

Ein
Entscheidungsunterstützungssystem
für den Zwischenfruchtanbau -
Konzeption, Entwicklung, Validierung

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität
zu Kiel



vorgelegt von
Rainer Matthias Sodtke

Kiel
2003

Referent/in: Prof. Dr. H.-R. Bork

Korreferent/in: Prof. Dr. K. Dierßen

Tag der mündlichen Prüfung: 10. November 2003

Zum Druck genehmigt: Kiel, 12. November 2003

.....
Prof. Dr. W. Depmeier
Dekan

Danksagungen

Die vorliegende Arbeit entstand überwiegend während meiner Tätigkeit als Doktorand am Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie des Zentrums für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) in Müncheberg. Wie viele der Arbeiten am ZALF gestaltete sie sich als interessante interdisziplinäre und lehrreiche Aufgabe. Meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. Hans-Rudolf Bork, danke ich daher in besonderem Maße für viele Anregungen und wertvolle Gespräche. Herrn Professor Dr. Klaus Dierßen sei Dank für die Übernahme des Korreferats.

Bedanken möchte ich mich bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), die diese Arbeit finanziell unterstützt hat. Den Mitarbeitern der DBU sei Dank für das unkomplizierte Verfahren der Berichterstattung sowie für die zusätzlich eingeräumte Zeit bei der Erstellung des Abschlussberichtes.

Herrn Prof. Bork und Herrn Dr. Armin Werner sei ein besonderer Dank für die Möglichkeiten der Projektbearbeitung sowie der technischen und räumlichen Ausstattung am ZALF. Ein besonderer Reiz der Arbeit am ZALF war die Gelegenheit zu transdisziplinärem fachlichem Austausch. Ich möchte mich deshalb bei allen ZALF-Mitarbeitern für die vielen Gespräche bedanken, die mir inhaltlich und methodisch sehr weiter geholfen haben. Hervorheben möchte ich insbesondere Dr. Reinhold Roth, Dr. Johann Bachinger, Dr. Gert Berger, Dr. Eva Reining, Dr. Uli Stachow, Dr. Ralf Wieland, Dr. Wilfried Mirschel sowie Dr. Kurt-Christian Kersebaum. Dr. Jörg Pauly, Dr. Johannes Hufnagel sowie Frau Dorett Berger sei Dank für die kritischen inhaltlichen Anregungen zum vorliegenden Text.

Ganz besonders möchte ich mich bei Dr. Jörg Pauly bedanken, der mir bei der persönlichen Betreuung und mit seinem freundschaftlichen Rat immer gerne zur Seite stand.

Ein besonderes Dankeschön geht an Anne Winter und ihre Kolleginnen in den verschiedenen Sekretariaten für die Bereitstellung des organisatorischen Rahmens, für ihre unermüdliche Unterstützung und ihren Einsatz bei den alltäglichen „Kleinigkeiten“ sowie den vielen freundschaftlichen Gesprächen am Rande. Ein großes Dankeschön auch an Rosel Steinke und Birgit Rümmler, die mir bei meinen unzähligen Literaturrecherchen viel geholfen und sehr zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ein Dankeschön für die Überlassung von Versuchsdaten geht ebenfalls an Dr. Armin Werner sowie Gabriele Bähr und allen anderen, die an der Erhebung der Daten beteiligt waren.

Von großer Bedeutung für mich war die Gemeinschaft und die Diskussionsbereitschaft unter den Doktoranden und Diplomanden am ZALF. Stellvertretend für alle möchte ich Klaus Hollenberg, Corinna Prietzsch, Sybille Brozio, Ulla Corzelius und Hannes Reuter für ihre Hilfsbereitschaft und die vielen schönen Momente danken, sowie Jens Wünnenberg (†), der mir immer im Gedächtnis bleiben wird.

Ein weiterer großer Dank geht an Prof. Dr. Norbert Lütke Entrup und Dr. Fritz-Ferdinand Gröblichhoff, Soest, für die inhaltliche Unterstützung, die Beantwortung meiner Fragen sowie die fruchtbaren Diskussionen. Ein großer Dank auch an alle weiteren befragten Experten: Prof. Dr. G. Kühn, Dr. G. Berger, Dr. J. Brunotte, Dr. M. Flake, Dr. W. Peyker, M. Hamann, F. Hoffmann, D. Klinkmann, K. Möller, M. Nanz sowie K. Sandbrink für ihre vielfältigen Anmerkungen und Anregungen. Sie alle haben maßgeblich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen.

Danken möchte ich auch meinem jetzigen Chef Herrn Prof. Dr. Hans Pretzsch sowie meinen Kollegen vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU München in Freising für ihre Diskussionsbereitschaft, Motivation und Unterstützung in der Abschlussphase dieser Arbeit.

An dieser Stelle möchte ich mich auch herzlich bei meinen Eltern für ihre Unterstützung bei der Verwirklichung meiner Pläne und allen meinen Handlungen bedanken.

Der größte Dank gilt meiner Familie, meiner Frau Heike und meinen Töchtern Kerstin und Annika für ihre Unterstützung und den Rückhalt, den sie mir in schwierigen Zeiten gegeben haben. Sie haben mit viel Geduld ertragen, dass mir während der Promotion oft nur wenig Zeit für die Familie blieb.

Kranzberg, im August 2003

Rainer Sodtke

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Abhandlung abgesehen von der Beratung durch den Betreuer – nach Inhalt und Form meine eigene Arbeit ist. Die Abhandlung wurde nicht – ganz oder teilweise – einer anderen Stelle im Rahmen eines Prüfungsverfahrens vorgelegt, veröffentlicht oder zur Veröffentlichung eingereicht.

(Datum, Unterschrift)

Lebenslauf

Name: Rainer Matthias Sodtke
Geburtstag: 18.06.1969
Geburtsort: Freising
Staatsangehörigkeit: deutsch
Heimatort: Kranzberg
Familienstand: verheiratet, 2 Kinder
Ehefrau: Heike Marion, geb. Homann, Dipl.-Geoökologin
Kinder: Kerstin Marie, geb. 07.07.1999
Annika Lisa, geb. 23.10.2002

Schulbesuch:

1975 – 1988 in Wangen/Allgäu und Leutkirch/Allgäu, Abschluss: Abitur 1988

Grundwehrdienst:

1989 – 1990 Hammelburg/Unterfranken und Sonthofen/Allgäu

Studium:

1990 – 1997 Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Studiengang: Geoökologie/Diplom (13 Semester), Abschluss: Diplom, März 1997

2001 – 2002 Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Studiengang Geographie/Promotion (2 Semester)

Berufstätigkeit:

April 1997 – Sept. 2000 Doktorand am Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF), Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie, Müncheberg

seit Mai 2001 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München in Freising

meiner lieben Heike,

Kerstin und

Annika

*Es ist besser, ein Problem zu erörtern,
ohne es zu entscheiden,
als es zu entscheiden,
ohne es erörtert zu haben.*

JOSEPH JOUBERT
französischer Moralist und Schriftsteller

*An irgendeinem Punkt
muss man den Sprung ins Ungewisse wagen.
Erstens, weil selbst die richtige Entscheidung falsch ist,
wenn sie zu spät erfolgt.
Zweitens, weil es in den meisten Fällen
so etwas wie eine Gewissheit gar nicht gibt.*

LEE IACocca
US-amerikanischer Industriemanager



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Zielstellung.....	1
1.1 Einführung.....	1
1.2 Ziele dieser Arbeit	2
2 Theoretischer Hintergrund.....	4
2.1 Entscheidungsproblematik im Zwischenfruchtanbau	4
2.2 Die rationale Entscheidungsfindung	7
2.3 Entscheidungsunterstützungssysteme für den Zwischenfruchtanbau	10
2.4 Fuzzy-Inferenzverfahren zur Lösung unsicherer Entscheidungsprobleme.....	15
2.4.1 Unsicherheiten im Entscheidungsprozess	15
2.4.2 Unschärfe Mengen	16
2.4.3 Mengen-Operatoren für unsharp Mengen.....	18
2.4.4 Unschärfes Schließen (Fuzzy-Inferenz).....	18
2.5 Arbeitshypothesen	22
3 Material und Methoden.....	24
3.1 Wissensakquisition.....	24
3.2 Parameteridentifikation.....	25
3.3 Wissensrepräsentation.....	25
3.4 Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems	26
3.5 DSS-Validierung.....	26
3.5.1 Validierung wissensbasierter Entscheidungsunterstützungssysteme	26
3.5.2 Sensitivitäts-Validierung	27
3.5.3 Regressionsanalytische Plausibilitäts-Validierung	29
3.5.4 Vorhersage-Validierung	29
3.5.5 Beurteilung von DSS-Ergebnissen	36
4 Pflanzenbauliches Wissen für die DSS-Entwicklung	37
4.1 Anbauziele des Zwischenfruchtanbaus.....	37
4.1.1 Futternutzung.....	38
4.1.2 Zufuhr von Organischer Bodensubstanz	40
4.1.3 Verbesserung des Bodengefüges.....	41
4.1.4 Auflockerung von Unterbodenverdichtungen (Unterbodenlockerung)	41
4.1.5 Stickstoffanreicherung durch Leguminosen	42
4.1.6 Biologische Unkrautbekämpfung	43
4.1.7 Phytosanitäre Wirkung (insbesondere Nematodenbekämpfung).....	44
4.1.8 Bodenschutz vor Wind- und Wassererosion	45
4.1.9 Nährstoffkonservierung.....	47
4.1.10 Weitere Anbauziele.....	50
4.2 Das Entscheidungsfeld im Zwischenfruchtanbau	52
4.2.1 Einflussfaktoren auf die Bestandesentwicklung	52
4.2.2 Ergebnisgrößen im Entscheidungsfeld	55

4.3 Handlungsalternativen im Zwischenfruchtanbau	59
4.3.1 Anbauformen und Ansaatverfahren	59
4.3.2 Anbauverfahren für Untersaaten.....	61
4.3.3 Anbauverfahren für Stoppel- bzw. Blanksaaten.....	66
4.4 Bewertung von Zwischenfruchtanbauverfahren	72
5 Aufbau des Entscheidungsunterstützungssystems	74
5.1 Übersicht	74
5.2 Modul Zielgrößenanforderung	82
5.3 Modul Zielgrößenpotenzial	89
5.4 Modul Zielgrößenabgleich	108
5.5 Parameterdateien (Wissensrepräsentation)	112
5.6 Graphische Benutzeroberfläche und Ausgabe der Modellergebnisse.....	113
5.6.1 Graphische Benutzeroberfläche	113
5.6.2 Ausgabe der Modellergebnisse	115
6 Validierung des Entscheidungsunterstützungssystems	118
6.1 Sensitivitäts-Validierung	118
6.2 Regressionsanalytische Plausibilitäts-Validierung	121
6.3 Vorhersage-Validierung.....	124
6.4 Beurteilung von DSS-Ergebnissen durch Experten.....	129
7 Diskussion	136
7.1 Wissensakquisition und Konzeption des DSS.....	136
7.2 DSS-Entwicklung und Grenzen des DSS.....	141
7.3 DSS-Validierung.....	150
8 Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis	155
9 Zusammenfassung	158
10 Summary	160
11 Literaturverzeichnis	162
11 Anhang	187
A1 Programmdateien	187
A2 Parameterdateien	221
A3 Ergebnisse der Parameteridentifikation	227
A4 Ergebnisse der Regressionsanalysen	229
A5 Fragebogen I zur Vorhersage-Validierung des DSS.....	240
A6 Fragebogen II zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen durch Experten	246
A7 Ergebnisse der Expertenbefragung zur Vorhersage-Validierung und aktuelle DSS- Ergebnisse	259
A8 Experteninterviews - Gedächtnisprotokolle.....	291
A9 Ergebnisse der Expertenbefragung zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen	297
A10 Fenster der DSS-Benutzeroberfläche	309

1 Einleitung und Zielstellung

1.1 Einführung

Boden- und grundwasserschonende Landnutzungssysteme fordern aus unterschiedlichsten Gründen eine ganzjährige Bodenbedeckung. Durch die Integration von Zwischenfrüchten in die Fruchtfolge kann dieses Ziel erreicht werden (z.B. EICH et al. 1978, ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, PREUSCHEN und BERNATH 1983, KÜNKELE und STEINBRENNER 1988, BUCHNER und KOLBE 1989, DORAN und SMITH 1991, LAL et al. 1991, LANGDALE et al. 1991, MEISINGER et al. 1991, RENIUS et al. 1992, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, BERENDONK und THUIR 1995, HAMPL 1996). Zwischenfrüchte, die zwischen zwei Hauptfrüchten angebaut werden, bieten wegen der Bodenbedeckung vielfältige Vorteile und Nutzungsmöglichkeiten wie eine Bodenstrukturverbesserung, Schutz vor Erosion und Nährstoffauswaschung oder eine Nutzung als Grundfutter (z.B. ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, RENIUS et al. 1992). Die Etablierung von Zwischenfruchtbeständen ist allerdings mit Risiken verbunden: Insbesondere die Vielzahl möglicher Fruchtarten mit spezifischen Standortansprüchen und unterschiedlichen Eignungen und Leistungen hinsichtlich verschiedener Anbauziele, die Vielzahl verschiedener Anbauverfahren und Anbaurestriktionen in bestimmten Fruchtfolgen setzen für einen erfolgreichen Anbau beim Landwirt ein hohes Maß an Erfahrung voraus (DORAN und SMITH 1991, RENIUS et al. 1992). In einzelnen Entscheidungssituationen muss der Landwirt sich auf Erfahrungswissen von Experten (Anbauberatern) verlassen, das häufig vage und unsicher ist (POHLMANN 1993a). Die Planung der Zwischenfruchtanbauverfahren orientiert sich an nur unsicher zu bewertenden Anbauzielen. Nicht sicher bekannte oder schwer vorhersagbare standortspezifische Eigenschaften und wechselnde Fruchtfolgesituationen bringen zusätzliche Unsicherheiten in den Entscheidungsprozess (BUCHNER und KOLBE 1989, RENIUS et al. 1992, INGELS et al. 1993). Außerdem steht während der Ernteperiode aufgrund der hohen Arbeitszeitbelastung kaum Zeit zur Verfügung geeignete Entscheidungshilfen heranziehen (ENGEL 1997). Häufig werden deshalb ungeeignete Verfahren oder Produktionsmittel angewandt, von denen schädliche Umweltwirkungen ausgehen können (POHLMANN 1993a). Viele Landwirte nutzen die pflanzenbaulichen und ökologischen Vorteile des Zwischenfruchtanbaus nicht (LÜTKE ENTRUP et al. 1990, PREUSCHEN und BERNATH 1983, ROTH 2000).

Hier bietet sich die Entwicklung computer-basierter Entscheidungsunterstützungssysteme an, die das Fachwissen und die Problemlösungsfähigkeiten von Experten integrieren und situationsspezifisch anwenden können. Sie geben somit Entscheidungshilfen für eine verbesserte landwirtschaftliche Betriebsführung und Beratung, wie sie von vielen Autoren gefordert werden (z.B. HUISMANN 1987, REINER 1987, CÓLENO 1988, HARSH 1988, SIEKMANN und MCROBBIE 1988, SCHWAIBERGER et al. 1990, SCHWAIBERGER 1991, POHLMANN 1993a, SCHIEFER 1994, WAGNER 1994, Cox 1995, LINK et al. 1995, BALDIOLI und ENGEL 1997, ENGEL 1997, SHAFFER et al. 1998, WERNER et al. 2000, MCCOWN 2002a und b). Diese Entscheidungsunterstützungssysteme (engl.: decision support systems = DSS) müssen die hohe Varianz der Informationen, verwendete linguistische Begriffsvariablen (z.B. „hohes Nährstoffangebot“) und die Unsicherheiten im Entscheidungsprozess verarbeiten können, um Fehlentscheidungen zu vermeiden (ROMMELFANGER 1994, ZIMMERMANN 1996). Gleiches gilt für die Zuordnung nicht eindeutiger bzw. nur größenordnungsmäßiger Nutzenwerte zu unterschied-

lichen Handlungsalternativen. Solche vagen Bewertungen können in der Form unscharfer Mengen (Fuzzy-Sets), z.B. durch unscharfe Nutzenbewertungen, unscharfe Rangordnungsverfahren und unscharfe Schlussfolgerungsmechanismen (Fuzzy-Inferenzverfahren), ausgedrückt und verarbeitet werden (ROMMELFANGER 1994). Dadurch wird es Anwendern eines wissensbasierten DSS möglich, die Grundgedanken eines Experten nachzuvollziehen, was eine wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz eines Entscheidungsunterstützungssystems und damit für seine erfolgreiche Umsetzung in die Praxis ist.

1.2 Ziele dieser Arbeit

In der vorliegenden Arbeit wird davon ausgegangen, dass der Landwirt als Entscheidungsträger die Unterstützung durch Experten hinsichtlich ihres Fachwissens und ihrer Problemlösungsfähigkeiten benötigt. Die Entscheidungsunterstützung betrifft die Bereiche Informationsbeschaffung, Definition von Zielen und Zielpräferenzen, Auswahl geeigneter Handlungsalternativen sowie Bewertung (unscharfer) zielbezogener Handlungskonsequenzen. Des Weiteren wird angenommen, dass mögliche Experten dem Entscheidungsträger die benötigte Unterstützung aufgrund räumlicher und zeitlicher Beschränkungen nicht (immer) persönlich zukommen lassen können, obwohl eine situationsspezifische Entscheidungsunterstützung vonnöten ist. Als Lösungsmöglichkeiten bieten sich insofern nur computergestützte Entscheidungsunterstützungssysteme an, die Fachwissen und Problemlösungsfähigkeiten von Experten integrieren und situationsspezifisch anwenden können sowie die Unsicherheiten im Entscheidungsprozess durch unscharfe Schlussfolgerungsverfahren verarbeiten können. Das Resultat soll ein computergestütztes Entscheidungshilfesystem sein, das Nutzer aus Praxis, Beratung und Planung in einer standort-, situations- und zielbezogenen Entscheidungsfindung beim Anbau von Zwischenfrüchten und in der Risikoabschätzung der Zwischenfruchtetablierung unterstützt.

Die Wissensgrundlage dieses Entscheidungshilfesystems stellt agrarwissenschaftliches Wissen zu Auswahl, Anlage und Pflege von Zwischenfruchtbeständen dar, das die Anbauformen Winter- und Sommerzwischenfruchtanbau und die Ansaatverfahren Blank- oder Stoppelsaat und Untersaat einschließt. Dieses Wissen soll aus der wissenschaftlichen Fachliteratur, eigenen Untersuchungen, Befragungen erfahrener Landwirte und wissenschaftlicher Experten und Ergebnissen früherer Forschungsvorhaben akquiriert und anschließend in geeigneter Form strukturiert und zusammengefasst werden.

Es sollen insbesondere zielorientierte (ökonomische und ökologische Anbauziele) und anwendbare Managementstrategien abgeleitet werden, die auf unterschiedliche Fruchtfolgen (situationsspezifisch) und verschiedene klimatische und pedogene Bedingungen innerhalb Deutschlands (standortspezifisch) übertragbar sind. Dazu müssen geeignete Bewertungsalgorithmen entwickelt werden, durch die sich diese Strategien hinsichtlich verschiedener Anbauziele bewerten lassen. Außerdem sollen auch Risiken der Bestandesetablierung abhängig von Produktionssystem und Standort (z.B. Trockenperioden vor und nach der Aussaat auf sandigen Standorten in Nordostdeutschland) abgeschätzt werden können. Einflussgrößen und deren Wirkungsmuster auf die Anbauverfahren sollen qualitativ und quantitativ

(in regelbasierten Systemen) abgebildet und in eine anwendbare Form eines Modellprototyps überführt werden.

Es wird gefordert, dass der Prozess der Entscheidungsfindung für den Anwender (Landwirt) transparent bleiben muss, um eigenes Erfahrungswissen hinzuzufügen zu können und ihm eine Kontrollmöglichkeit zu schaffen. Schließlich soll das Entscheidungshilfesystem in komplexen Landschaftshaushaltsmodellen das Entscheidungsverhalten von Landnutzern bei der Gestaltung von Zwischenfruchtanbauverfahren standortspezifisch (in Modellregionen) abbilden können.

Um die Eignung und breite Anwendbarkeit des Entscheidungsunterstützungssystems für die Beratung und landwirtschaftliche Praxis zu gewährleisten, soll der Modellprototyp auf PC-Ebene überführt und in eine eigenständige Software (sog. stand-alone-Programm) transferiert werden. Ebenso soll eine geeignete graphische Benutzeroberfläche für das DSS entwickelt werden. Durch die Entwicklung der Stand-alone-Software ist es möglich, das Entscheidungsunterstützungssystem leicht an landwirtschaftliche Betriebe und Berater im Sinne einer Praxiserprobung und weiteren Überprüfung (Modellverifikation) weiterzugeben. So kann das DSS Landwirten unmittelbar oder mittelbar (über Beratungsinstitutionen) eine Unterstützung zu Zwischenfruchtanbaufragen in ihrer konkreten Betriebssituation liefern und auf seine Praxiseignung und Anwenderfreundlichkeit überprüft werden.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Entscheidungsproblematik im Zwischenfruchtanbau

Unter Zwischenfruchtanbau versteht man den Anbau von Gründungs- und Futterpflanzen zwischen zwei Hauptfrüchten (KREIL et al. 1983, RENIUS et al. 1992, DIEPENBROCK et al. 1999). Man unterscheidet die *Anbauformen Sommer- und Winterzwischenfrucht*. Erstere wird entweder als *Untersaat* in Getreide, Mais oder Ackerbohnen gesät, oder als *Stoppelsaat* direkt nach Aberntung des Getreides angelegt. Winterzwischenfrüchte werden zwischen Spätsommer und Frühherbst als *Blanksaat* bestellt und wachsen im folgenden Frühjahr bis an die nachfolgende Hauptfrucht heran (vgl. Abb. 2.1).

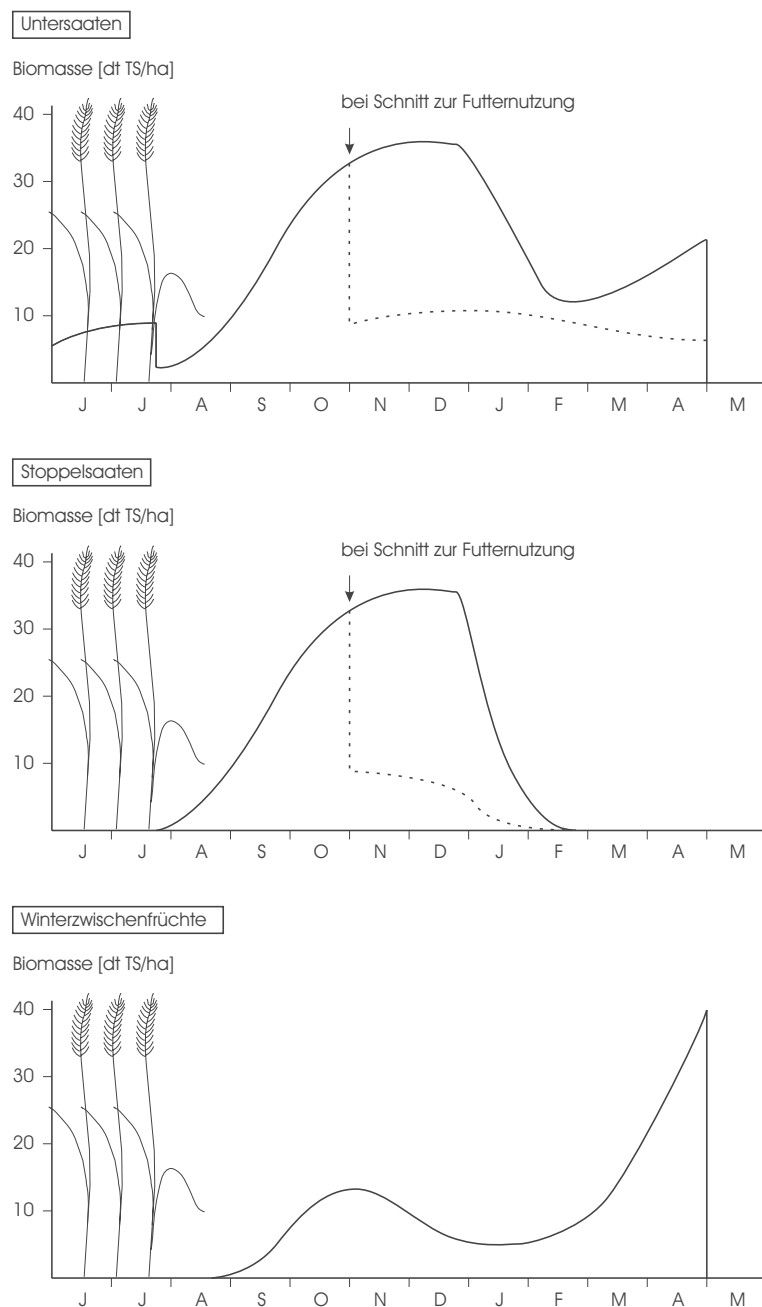


Abb. 2.1: Bestandesdynamik von Zwischenfrüchten bei unterschiedlichen Anbauformen (Sommer-, Winterzwischenfrüchte) bzw. Ansaatverfahren (Unter- bzw. Stoppelsaat), nach DIEPENBROCK et al. 1999, verändert.

Zwischenfrüchte bieten vielfältige Nutzungsmöglichkeiten (*Anbauziele*), in Futterproduktion, Gründüngung und ökologischen Wirkungen (z.B. BUCHNER und KOLBE 1989, BERENDONK und THUIR 1995). Die komplexen physikalischen, chemischen und biologischen Wirkungen auf die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit lassen sich nur recht unvollkommen differenzieren. Ein dichter Zwischenfruchtbestand fördert u.a. die mikrobiologische Aktivität und Gare des Bodens, verbessert die Bodenstruktur, führt dem Boden organische Substanz zu, speichert Nährstoffe und verhindert das Aufkommen von Unkräutern (PREUSCHEN und BERNATH 1983, RENUIS et al. 1992, HAMPL 1996). Ökologische Vorteile sind die Erhöhung der Artenvielfalt, die Verringerung der Bodenerosion und der Nährstoffbelastung von Oberflächengewässern sowie der Nitratauswaschung in das Grundwasser.

Die Anbaufläche von Zwischenfrüchten in der Bundesrepublik Deutschland betrug 1990 1,6 Millionen Hektar, was etwa der doppelten Anbaufläche von Zuckerrüben und Körnerraps entspricht (RENIUS et al. 1992). Die vielfältigen pflanzenbaulichen und ökologischen Vorteile werden von vielen Futterbaubetrieben sowohl integriert als auch organisch wirtschaftenden Betrieben genutzt (ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, PREUSCHEN und BERNATH 1983, RENUIS et al. 1992, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, HAMPL 1996). Viele Ackerbaubetriebe bauen jedoch häufig keine Zwischenfrüchte an (LÜTKE ENTRUP et al. 1990, PREUSCHEN und BERNATH 1983). Die Gründe hierfür liegen zum einen in der zunehmenden Intensivierung des Pflanzenbaus in Deutschland seit den 50er Jahren, die bei Untersaaten zu Problemen beim Mähdrusch bzw. bei der Anwendung von Bodenherbiziden führte (BOHLE und WAGNER 1976, ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, KREIL et al. 1983, RENUIS et al. 1992). Zum anderen ist der ökonomische Nutzen von Zwischenfruchtgründüngungen selten offensichtlich (LÜTKE ENTRUP et al. 1990, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992).

Ein zentrales Problem stellt die pflanzenbauliche Entscheidungsfindung dar. Häufig fehlen dem Landwirt in einzelnen Entscheidungssituationen wesentliche Informationen oder auch das hinreichende Wissen, z.B. die richtige Bestelltechnik oder die geeigneten Pflanzenarten auszuwählen (HUISMANN 1987, REINER 1987, SCHWAIBERGER et al. 1990, AUBURN und BUGG 1991, DORAN und SMITH 1991, SCHWAIBERGER 1991, BALDIOLI und ENGEL 1997, ENGEL 1997). Die Planung von Anbauverfahren, die sich an nur unsicher zu bewertenden Anbauzielen oder Kombinationen von Anbauzielen orientieren muss, erweist sich ebenfalls als sehr komplex. Die Vielzahl möglicher Zwischenfruchtarten mit ihren spezifischen Fruchtfolgewirkungen und Anforderungen an den geeigneten Saattermin, Saatbett, Wasserangebot oder Stickstoffangebot, müssen auf die Standortbedingungen (Klima, Boden) und die aktuelle Bodensituation des Schlages abgestimmt werden (vgl. PREUSCHEN und BERNATH 1983, RENUIS et al. 1992, HAMPL 1996, LUNA 2002). Nicht sicher bekannte oder schwer vorhersagbare standortspezifische Eigenschaften und wechselnde Fruchtfolgesituationen bringen zusätzliche Unsicherheiten in den Entscheidungsprozess (RENIUS et al. 1992). Je nach Anbauziel sind zielspezifische Leistungspotentiale der einzelnen Arten sowie die entstehenden variablen Verfahrenskosten (Saatgutkosten, Maschinenkosten) zu berücksichtigen (RENIUS et al. 1992, BUCHNER und KOLBE 1989, BOCKHOLT 1996b). Aufgrund dieser vagen Anfangs- und Zielzustände bzw. äußeren Einflüsse ist das Systemverhalten schwer kalkulierbar und un-

präzise. Das hierfür notwendige Wissen ist sehr komplex und heterogen. Vielfach liegt nur heuristisches Wissen über die jeweiligen Zusammenhänge vor (POHLMANN 1993a).

Fehler bei der Bestellung und Bodenbearbeitung können aber zu unbefriedigenden Beständen führen, die eine unzureichende Bodenbedeckung aufweisen und z.B. zu Unkraut- und Ungrasproblemen führen (LÜTKE ENTRUP et al. 1990, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, BOCKHOLT 1996b, HAMPL 1996). Mögliche Entscheidungssituationen sind z.B. die Auswahl tiefwurzelnder Fruchtarten in Kombination mit Bodenlockerungsmaßnahmen bei Bodenverdichtungen (HAMPL 1996, S. 27) oder die Entscheidung für eine geeignete Winterzwischenfrucht bei beabsichtigter Futternutzung (RENIUS et al. 1992, S. 108): „*Genügt die Wasserkapazität des Schlages für Welsches Weidelgras oder sollte man Futterraps oder Grünroggen, die weniger Wasser benötigen und viel früher zugunsten der Nachfrucht abräumen, wählen?*“.

Die Entscheidungsfindung muss auch die unterschiedlichen Planungsebenen der landwirtschaftlichen Anbauplanung (strategische, taktische oder operationelle Planung) berücksichtigen (SCHWAIBERGER 1991, POHLMANN 1993a, SCHIEFER 1994). Strategisch-taktische Entscheidungen betreffen lang- und mittelfristige Probleme. Im Zwischenfruchtanbau sind das z.B. die Eingliederung einer Zwischenfrucht in die Fruchtfolge, die Entscheidung für ein Ansaatverfahren, abhängig von den Hauptfrüchten (z.B. Winterung oder Sommerung als Vor- bzw. Nachfrucht) oder arbeitswirtschaftlichen Aspekten der gesamten Fruchtfolge, die standort- und zielbezogene Auswahl der Zwischenfruchtarten (vgl. RENIUS et al. 1992, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, HAMPL 1996).

Taktisch-operationelle Entscheidungen im Zwischenfruchtanbau betreffen die Bestandesetablierung und -führung (*Maßnahmengestaltung*) und somit die Elemente der Zwischenfruchtanbauverfahren (Entscheidungsvariablen), die im wesentlichen Pflanzenart, Bodenbearbeitung, Bestellverfahren, Saattermin, Saatmenge, Düngung, Pflegemaßnahmen und Umbruchtermin darstellen (vgl. BUCHNER und KOLBE 1989, LÜTKE ENTRUP et al. 1990, BERENDONK 1997). Jede Entscheidungssituation wird durch die vorherrschenden Rahmenbedingungen (Faktoren), die Wechselwirkungen zwischen den Maßnahmen zur Vor-, Zwischen- und Nachfrucht und durch deren Auswirkungen auf die jeweiligen Anbauziele geprägt. Faktoren der Entscheidungsfindung sind die Anbauziele des Zwischenfruchtanbaus, die Fruchtfolge (Ansprüche und Anbauziele von Vor- und Nachfrucht), die jeweilige Anbausituation und die spezifischen Standorteigenschaften. Der *Zielerfolg* hängt von Art, Etablierungserfolg und Entwicklung der Zwischenfrüchte ab und dient wiederum als Bewertungsmaßstab der gewählten Anbauverfahren.

Zur Unterstützung der Entscheidungsfindung bei der landwirtschaftlichen Anbauplanung wird seit einigen Jahren auf die Möglichkeiten computer-basierter Entscheidungsunterstützungssysteme verwiesen (z.B. HUISMANN 1987, REINER 1987, CÓLENO 1988, HARSH 1988, SCHWAIBERGER et al. 1990, SCHWAIBERGER 1991, POHLMANN 1993a, SCHIEFER 1994 und 2003, LINK et al. 1995, RICHTER und SEPPELT 1996, AUBRY et al. 1997, ENGEL 1997, SMITH et al. 1997, ASCOUGH et al. 1998, DUNN et al. 1998, EL-SWAIFY 1998, JONES et al. 1998, SHAFFER und BRODAHL 1998, YAKOWITZ 1998, GUNN et al. 1999, MATTHEWS et al. 1999, SEPPELT 1999, WERNER et al. 2000, MCCOWN 2002a und b, CORNELISSEN et al. 2003). Diese können wert-

volle Informationen liefern, den Entscheidungsprozess strukturieren helfen und Entscheidungsalternativen bewerten, indem sie übertragbare Zusammenhänge und das Fachwissen von Experten integrieren und verarbeiten. Sie müssen sich an der *Theorie der rationalen Entscheidungsfindung* orientieren und Empfehlungen für alle relevanten Aspekte der Bestandesführung geben können (z.B. KELLING 1991, WAGNER 1993a, KUHLMANN 1999). Die unterschiedlichen Planungsebenen sollten entsprechend ihrer zeitlichen und organisatorischen Betrachtungsweise (z.B. Schlag, Betrieb) berücksichtigt werden (POHLMANN 1993a, AUBRY et al. 1997), was eventuell nur mit verschiedenen separaten Systemen realisiert werden kann (SCHIEFER 1994, WERNER et al. 2000).

2.2 Die rationale Entscheidungsfindung

Entscheidungen werden definiert als die Auswahl einer von zwei oder mehreren Handlungsalternativen, die dem Entscheidungsträger zur Realisierung eines Zieles zur Verfügung stehen (LAUX 1982, SCHWAIBERGER 1991, ROMMELFANGER 1994, YAKOWITZ 1998). Die Gesamtheit der Handlungsmöglichkeiten wird als Aktionsraum oder Entscheidungsraum bezeichnet. Die Handlungsalternativen lassen sich wiederum in einzelne Maßnahmen aufteilen (Entscheidungsvariablen), die durch den Entscheidungsträger bestimmt werden, und deren Wertebereich (Restriktionen) die Auswahl an Handlungsalternativen beschränkt (POWER 2001). Der Entscheidungsprozess kann als Ableitung einer Entscheidung aus Entscheidungsprämissen interpretiert werden (BAMBERG und COENENBERG 1991). Bei einer rationalen Entscheidung werden als Entscheidungsprämissen zwei verschiedene Arten von Informationen angesehen (LAUX 1982): Zum einen werden *wertfreie Aussagen* über Handlungsalternativen, Umweltzustände und den sich daraus ergebenden Ergebnissen im *Entscheidungsfeld* beschrieben. Zum anderen werden *wertende Aussagen*, wie der Entscheidungsträger Konsequenzen von Entscheidungen subjektiv beurteilt, im *Zielsystem* wiedergegeben (vgl. Abb. 2.2).

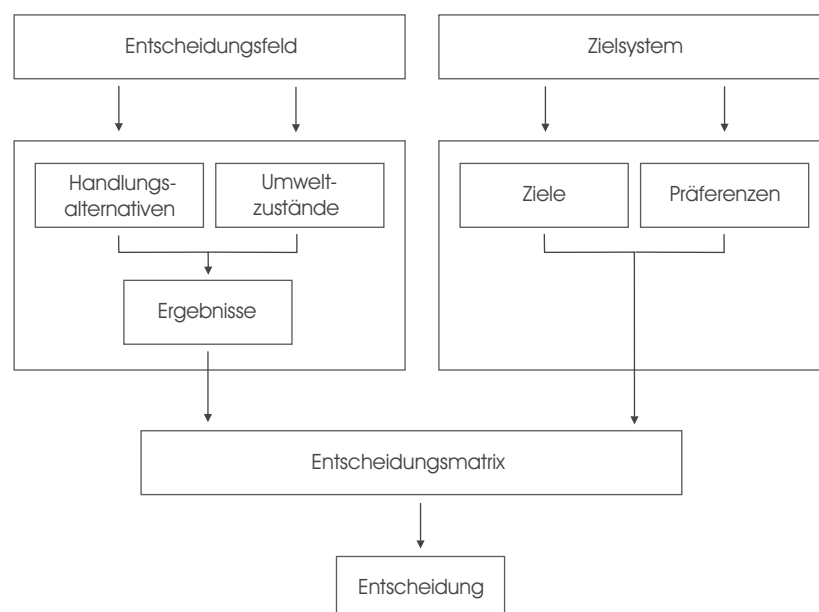


Abb. 2.2: Komponenten des Grundmodells der rationalen zielorientierten Entscheidung nach KELLING (1991).

Eine rationale Entscheidung zwischen den verschiedenen Handlungsmöglichkeiten ist nur dann möglich, wenn der Entscheidungsträger über Informationen aus seiner Umwelt verfügt, die das Ergebnis der Handlungsmöglichkeiten beeinflussen, aber nicht vom Entscheidungsträger beeinflusst werden können (BAMBERG und COENENBERG 1991, WAGNER 1993a). Jede denkbare Konstellation der Umweltbedingungen (Zustandsvariablen), die das Ergebnis einer der Handlungsmöglichkeiten beeinflussen, wird als Zustand bezeichnet. Die Menge aller möglichen Umweltzustände nennt man Zustandsraum (POWER 2001). Je nach subjektiver Erwartungsstruktur des Entscheiders über die Umweltzustände lassen sich Entscheidungen in die Kategorien „Entscheidungen bei Sicherheit“, „Risikosituationen“, „Entscheidungen bei bewusst handelnden Gegenspielern“ und „Entscheidungen bei Unsicherheit“ gliedern (MAG 1990, SCHWAIBERGER 1991). Nach der Analyse von Handlungsmöglichkeiten und Umweltbedingungen können die Ergebnisse, die bei einer bestimmten Handlungsalternative und beim Vorhandensein eines bestimmten Systemzustandes (bestimmte Umweltbedingungen) auftreten, in einer Ergebnisfunktion zusammengefasst werden. Die Gesamtheit der Ergebnisse lässt sich zum Beispiel in einer Ergebnismatrix darstellen (MAG 1990, KELLING 1991).

Damit der Entscheidungsträger eine rationale Entscheidung treffen kann, muss er die von ihm verfolgten Ziele (Maßstäbe) konkretisieren, bevor er die verschiedenen Ergebnisse aus seiner Sicht bewerten kann. Optimale Entscheidungen sind immer nur auf bestimmte Ziele hin optimal, und sind deshalb immer zielgerichtete Entscheidungen (MAG 1989 in KELLING 1991, WAGNER 1993a). Ein Ziel ist dadurch charakterisiert, dass ein zukünftiger Zustand angestrebt wird, der gleich oder verschieden vom gegenwärtigen Zustand sein kann (HAUSCHILDT 1977). Es wird definiert über Zielinhalte, das angestrebte Ausmaß und den zeitlichen Bezug der Ziele (HEINEN 1966 in KELLING 1991). In den Zielinhalten drückt sich aus, aus welchen Bestandteilen der Entscheidungsträger seinen Zielbeitrag sehen will (z.B. Erhöhung der mikrobiellen Aktivität im Boden oder Verringerung der Nitratauswaschung). Um das angestrebte Ausmaß der Ziele zu erreichen kann der Entscheidungsträger zu einen Alternativen suchen, für die die Zielvariablen optimale Werte annehmen. Zum anderen kann die Lösungssuche bereits dann abgebrochen werden, wenn die Zielvariable einen bestimmten, vom Entscheidungsträger als befriedigend erachteten Wert übersteigt.

Da unterschiedliche Ergebnisse in der Einschätzung eines Entscheidungsträgers unterschiedliche Werte besitzen, liegt es an der Präferenz des Entscheidungsträgers, ob er ein Ereignis einem anderen vorzieht (REHKUGLER und SCHINDEL 1985). Man unterscheidet Präferenzen hinsichtlich Art (relative Vorteilhaftigkeit), Höhe (Ausmaß der Zielgrößen), Zeit und Risiko bzw. Unsicherheit (BAMBERG und COENENBERG 1991). Unterliegen Managemententscheidungen multiplen Zielsetzungen, die wiederum unterschiedliche Zielinhalte aufweisen können, steht die Erfüllung eines Zieles gelegentlich im Konflikt mit der Erfüllung eines anderen (RICHTER und SEPPELT 1996, JONES et al. 1998, SEN und YANG 1998, YAKOWITZ 1998, SEPPELT 1999). Im Allgemeinen wird eine Problemlösung anhand einer Präferenzordnung der verschiedenen Ziele vorgenommen, die allerdings spezifisch für jeden Entscheidungsträger ist und somit nicht generell objektiviert werden kann. Je nach Entscheidungsproblem und Präferenzordnung existieren verschiedene Lösungsansätze aus dem Bereich der *Multikrite-*

riellen Optimierung (MCDM, ZIMMERMANN 1987, CHEN und HWANG 1992, ASCOUGH et al. 1998, SEN und YANG 1998, YAKOWITZ 1998).

Schließlich können die einzelnen Handlungsalternativen vom Entscheidungsträger entsprechend dem Nutzen, den sie für ihn haben, bewertet werden. Dazu werden die Informationen aus dem Entscheidungsfeld mit den Informationen des Zielsystems in einer Entscheidungsmatrix verbunden. Den in der Ergebnismatrix ausgewiesenen Ergebnissen werden mit Hilfe der subjektiven Präferenzen Maßzahlen der Vorzüglichkeit oder Nutzengrößen (Bewertungsvariablen) zugeordnet. Die Nutzenbeiträge der verschiedenen Ergebnisse einer Aktion werden zusammengefasst, so dass schließlich jeder Aktion nur noch ein Gesamtnutzen (mit einer Maßzahl der Vorzüglichkeit) zugewiesen wird. Als Problemlösung wird in der Regel die als beste bewertete Alternative ausgewählt (ZIMMERMANN 1987, MAG 1990, ROMMELFANGER 1994, ASCOUGH et al. 1998, YAKOWITZ 1998).

Zusammenfassend lassen sich die Schritte der Entscheidungsfindung wie folgt darstellen (vgl. KUHLMANN 1999, MCCOWN 2002a):

- Problemanalyse und Definition anzustrebender Ziele
- Sammlung und Interpretation von Informationen (Daten)
- Ableitung möglicher Handlungsalternativen
- Vorhersage raum-zeitlich variabler Umweltzustände
- Vorhersage relevanter Konsequenzen der Handlungsalternativen
- Bewertung der Handlungsalternativen und
- Auswahl der effizientesten Handlungsalternative (Entscheidung).

Nach der Durchführung einer Maßnahme erfolgt i.A. eine Bewertung der Ergebnisse, die rekursiv als Information zur Verbesserung zukünftiger Entscheidungsprozesse einfließen kann. Grundsätzlich kann eine Entscheidung um so besser getroffen werden, je präziser die Kenntnis über die Entscheidungssituation ist (WAGNER 1993a, ROMMELFANGER 1994).

Die Theorie der rationalen Entscheidung wurde von verschiedener Seite kritisiert. Sie sieht den Entscheider als rational handelnden Menschen, der seine Ressourcen so verwendet, dass ein maximaler Zweckerfolg oder Nutzen erreicht wird (WÖHE 1990 in KELLING 1991). Die Theorie beruht auf Modellvorstellungen eines geschlossenen Systems des Entscheidungsprozesses, bei dem Entscheidungsprämissen als gegeben angenommen werden. Sie beschreibt nicht, wie Entscheidungsprobleme entstehen und auf welche Weise der Entscheider zu den Prämissen seiner Entscheidung gelangt. Sie beachtet auch nicht den Entscheidungsprozess, in dessen Verlauf der Entscheider in ständiger Wechselbeziehung zu seiner Umwelt steht. Insbesondere SIMON (1957, in KELLING 1991) kritisierte, dass der Entscheidungsträger in der Regel weder die unterstellten Informationen besitzt, noch in der Lage ist, die Menge möglicher Entscheidungskonsequenzen zu ordnen und sie auf diese Weise zu bewerten. Entsprechend reagieren Entscheidungsträger in den meisten Situationen rein gewohnheitsmäßig (Routineentscheidungen), suchen weder alternative Handlungsmöglichkeiten, noch werden Informationen über mögliche Konsequenzen gewonnen. Echtes Entscheiden, also Problemlösungsverhalten, wird erst dann erforderlich, wenn das Individuum einer ganz neuen Situation begegnet (HEINEN 1966, in KELLING 1991).

2.3 Entscheidungsunterstützungssysteme für den Zwischenfruchtanbau

Zur Identifikation optimaler Handlungsalternativen wird auch für die landwirtschaftliche Anbauplanung immer wieder die Notwendigkeit der Entwicklung von Entscheidungsunterstützungssystemen betont (z.B. HUISMANN 1987, REINER 1987, CÓLENO 1988, HARSH 1988, SCHWAIBERGER et al. 1990, SCHWAIBERGER 1991, WAGNER 1992, POHLMANN 1993a, SCHIEFER 1994 und 2003, LINK et al. 1995, COX 1996, AUBRY et al. 1997, ENGEL 1997, SMITH et al. 1997, ASCOUGH et al. 1998, DUNN et al. 1998, EL-SWAIFY 1998, JONES et al. 1998, SHAFFER und BRODAHL 1998, YAKOWITZ 1998, MATTHEWS et al. 1999, WERNER et al. 2000, MCCOWN 2002a und b). *Entscheidungshilfesysteme* (engl.: *decision support systems*, DSS) sind interaktive, computer-basierte Systeme, die Entscheidungsträger unterstützen sollen Daten und Modelle zu nutzen, Probleme zu identifizieren und zu lösen und Entscheidungen zu treffen (BONCZEK et al. 1981, vgl. auch HARSH 1988, JONES et al. 1998, CARLSSON und TURBAN 2002). Die Problemlösung durch Entscheidungshilfesysteme bezieht sich in der Regel auf schlecht oder unstrukturierte („semi-strukturierte“) Probleme (SPRAGUE und CARLSON 1982 in HARSH 1988, PUPPE 1988, KURBEL 1992). DSS sollen die Entscheidungsfindung nicht ersetzen, sondern nur unterstützen, und die Effektivität der Entscheidungen verbessern (TURBAN 1995, KURBEL 1992, COX 1996, MCCOWN 2002b). Sie sollen sich einfach in Entscheidungsprozesse integrieren lassen, schnell Informationen bereitstellen können und ihre Ergebnisse leicht zu interpretieren sein (SCHEER 1988 in KELLING 1991, MCCOWN 2002a).

„Vollständige“ DSS sollten eine Sprach-, eine Wissens- und eine Problemlösungskomponente aufweisen und dafür baukastenartig verschiedene Modell- und Methodenbausteine integrieren, die dem Entscheidungsträger helfen, das Entscheidungsproblem besser zu strukturieren, Handlungsalternativen zu formulieren und deren mögliche Konsequenzen zu bewerten. (BONCZEK et al. 1981, CÓLENO 1988, HARSH 1988, COX 1996, ENGEL 1997, MOON et al. 1998, MATTHEWS et al. 1999, RAUSCHER 1999, POWER 2001). Solche Methodenbausteine können Teilsysteme zur Verhandlungsunterstützung zwischen Entscheidungsträgern und Interessenvertretern (Bereitstellung von Argumentationsstrukturen, Verdeutlichung von Wertschätzungen und Präferenzen), zur Datenverwaltung (Dokumente, Datenbanken, digitale Schlagkarteien, Geographische Informationssysteme), verschiedene Teilsysteme zum Wissensmanagement im weiteren Sinne (einschließlich numerischer Simulationsmodelle, wissensbasierter Systeme, Systeme zur Datenvisualisierung), Teilsysteme zur Bewertung von Szenarien, die aus bestimmten Entscheidungen resultieren, sowie Teilsysteme zur Auswahl optimaler Entscheidungen sein (HUISMANN 1987, JONES et al. 1998, MOON et al. 1998, RAUSCHER 1999, MATTHEWS et al. 1999). Die Kopplung der Teilsysteme übernimmt ein Managementsystem, das wiederum über eine Benutzeroberfläche vom Entscheidungsträger gesteuert werden kann (HARSH 1988).

Den wissensbasierten Systemen (Expertensystemen) kommt in diesem Zusammenhang eine besondere Bedeutung zu, da sich mit ihnen sowohl die oft benötigte spezifische Sachkenntnis und Problemlösungsfähigkeiten von Experten, als auch die inhärenten *Unsicherheiten* und *Unschärfen* der Angaben und Sachzusammenhänge verarbeiten lassen (BERGEMEIER und REINER 1987, HUISMANN 1987, REINER 1987, PUPPE 1988, CÓLENO 1988, SIEKMANN und McROBBIE 1988, KELLING 1991, KURBEL 1992, SCHIEFER 1994, SMITH et al. 1997,

MOON et al. 1998, MATTHEWS et al. 1999, HOLSAPPLE 2001, MCCOWN 2002a). *Wissensbasierte Systeme* sind Softwaresysteme, bei denen das Fachwissen über ein Anwendungsgebiet (*domain knowledge*) explizit und unabhängig vom allgemeinen Problemlösungswissen dargestellt wird, und die für die Darstellung und Auswertung des Wissens Methoden der Künstlichen Intelligenz verwenden (PUPPE 1988, HARSH 1988, KURBEL 1992, TURBAN 1995, POWER 2001). Kern des wissensbasierten Systems ist somit die *Wissensbasis*, in der das Fachwissen in geeigneter Repräsentationsform abgelegt ist. Die Auswertung der Wissensbasis und die Verarbeitung des Fachwissens übernimmt eine *Problemlösungs- und Abarbeitungskomponente*, die auch Schlussfolgerungen durchführt und somit Inferenzmaschine genannt wird (HARSH 1988, KURBEL 1992). *Expertensysteme* sind Wissensbasierte Systeme, die spezifische Problemlösungsfähigkeiten menschlicher Experten in einem eng abgegrenzten Anwendungsbereich nachbilden und dieses Expertenwissen auf schwierige Probleme der realen Welt anwenden können (BARR und FEIGENBAUM 1981, PUPPE 1988, KURBEL 1992). Wissensbasis, Wissensakquisitions-, Problemlösungs-, Dialog- und Erklärungskomponente lassen sich in vielen Fällen strukturell nicht klar voneinander trennen (PUPPE 1988, KURBEL 1992). Abb. 2.2 stellt die funktionale Architektur eines Expertensystems schematisch dar.

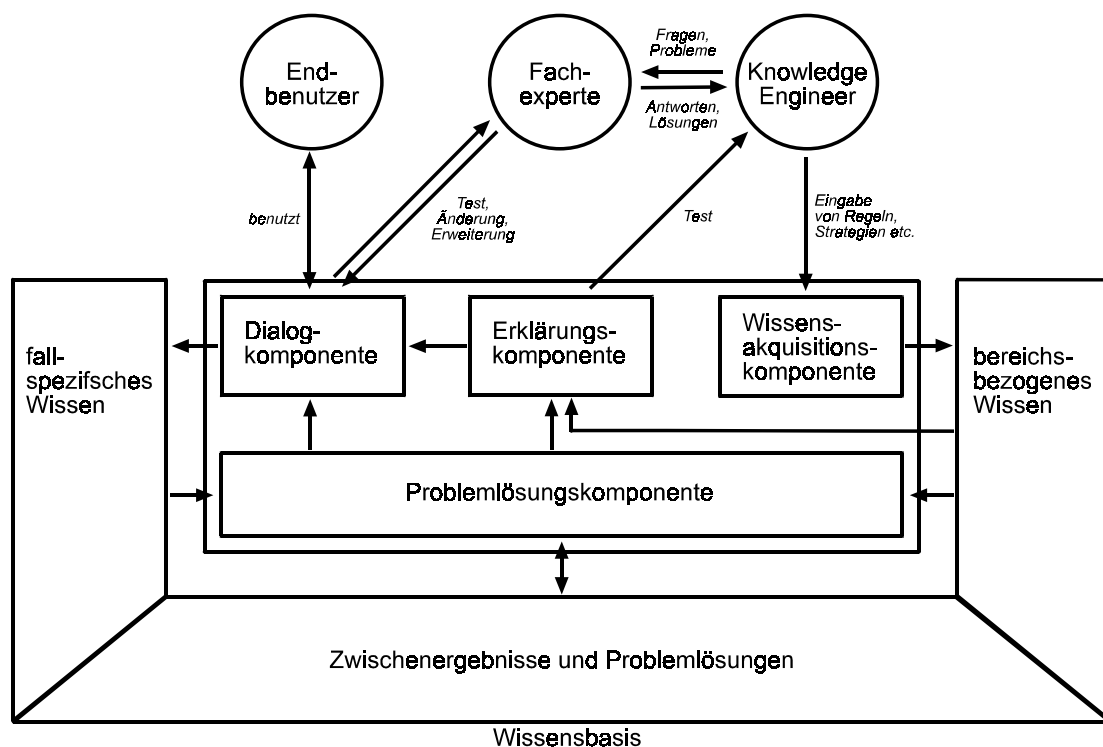


Abb. 2.3: Expertensystemkomponenten und Zusammenwirken zwischen Expertensystem und an der Entwicklung und Anwendung beteiligten Personen (nach PUPPE 1988 und KURBEL 1992, verändert). Eckig gezeichnete Kompartimente stellen Komponenten des Expertensystems, Kreise die beteiligten Personen, Pfeile den Informations- bzw. Datenfluss dar.

Das Wissen bzw. die Daten dieser Anwendungsbereiche sind meist unsicher, unvollständig oder zeitabhängig, häufig liegt auch gar kein klares Wissen vor (PUPPE 1988). Wissen wird dabei von Daten dadurch unterschieden, dass es mit von einem Computer interpretierbaren

Anleitungen über seine Verwendung gekoppelt ist, und somit zur Lösung verschiedenartiger Probleme benutzt werden kann (PUPPE 1988, HOLSAPPLE 2001).

Ein *Experte* besitzt ein spezifisches Fachwissen, das er über einen langen Zeitraum durch Lernen und Erfahrung erworben hat (WAGNER 1993b, TURBAN 1995, CORNELISSEN et al. 2003). Er kennzeichnet sich i.d.R. durch die folgenden Eigenschaften: er ist in der Lage, Probleme zu verstehen und zu lösen, Ergebnisse zu erklären, lernfähig zu sein, Wissen zu reorganisieren, Regeln zu übertreten, die eigene Kompetenz zu beurteilen und sich auch im Grenzbereich seines Fachwissens noch plausibel zu verhalten (PUPPE 1988, KURBEL 1992). Heutzutage wird allgemein angenommen, dass zur Entwicklung eines Expertensystems ein *Wissensingenieur (Knowledge Engineer)* erforderlich ist, und ein Experte sein Wissen mit Hilfe einer Wissensakquisitions- oder Dialogkomponente nicht selbst einbringen kann (PUPPE 1988, HARSH 1988, KURBEL 1992). Der Knowledge Engineer konstruiert das Expertensystem, indem er das Wissen aus dem Fachexperten „extrahiert“ (z.B. durch Befragung; Wissenserhebung = Wissensakquisition im engeren Sinne, SCHNEIDER 1994), dieses aufbereitet, geeignet strukturiert und in einer für die Darstellung im System angemessenen Form beschreibt und das erfasste Wissen mit Hilfe eines Entwicklungswerkzeuges oder einer Programmiersprache implementiert (KURBEL 1992; Wissensakquisition im weiteren Sinne, SCHNEIDER 1994). Die Expertensystementwicklung durchläuft folgende verschiedene Entwicklungsphasen, die in Abb. 2.3 dargestellt sind (nach BUCHANAN 1983, zitiert in PUPPE 1988 bzw. KURBEL 1992; vgl. auch HAYES-ROTH 1983, zitiert in HARSH 1988; WAGNER 1992 und 1993b; AUBRY et al. 1997).

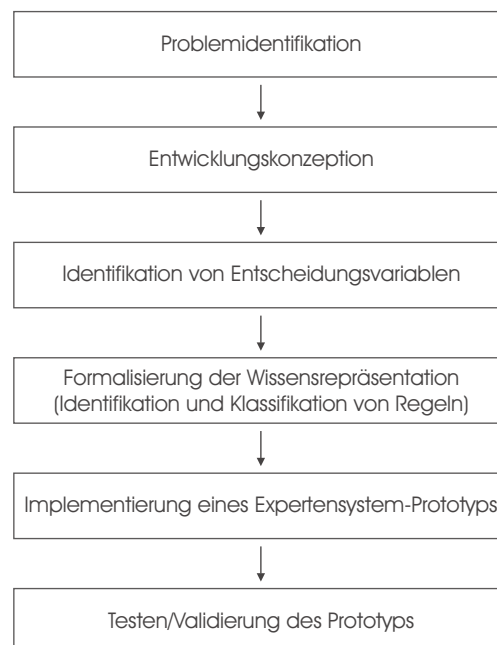


Abb. 2.3: Flussdiagramm der Expertensystementwicklung mit verschiedenen Entwicklungsphasen (nach BUCHANAN 1983, zitiert in PUPPE 1988 bzw. KURBEL 1992, vgl. auch HARSH 1988, SCHNEIDER 1994).

In der Landwirtschaft wurden Entscheidungshilfesysteme für sehr unterschiedliche Anwendungsgebiete wie strategische Planung, betriebswirtschaftliches Management, Marketing, Tier- und Pflanzenproduktion und ökologische Fragestellungen entwickelt (SCHWAIBERGER

1991, WAGNER 1992, ENGEL 1997). Nach CARIDAD et al. (1996, zitiert in ENGEL 1997) existieren mehr als 100 Systeme in diesen Bereichen, EDWARD-JONES (1993, zitiert in ENGEL 1997) zählt 67 Programmsysteme im Pflanzenschutz. ENGEL (1997) selbst nennt 59 Expertensysteme im Bereich Pflanzenbau, von denen knapp 40% dem Pflanzenschutz (Unkraut-, Krankheits- und Schädlingsbekämpfung), knapp 30% der Bestandesführung (Beregnung, Pflanzen- und Sortenwahl), knapp 20% zu Diagnosesystemen (z.B. Bestimmungshilfen von Unkräutern), 8% der Düngung und 5% zu Umweltaspekten (Vermeidung von Nitrat- und Pestizideinträgen in das Grundwasser) zuzurechnen sind. Strategische Entscheidungen werden von den bisher entwickelten Systemen nur selten unterstützt (SCHIEFER 1994, LINK et al. 1995). Da einmal ausgearbeitete strategische Pläne aber nur selten überarbeitet werden müssen, besteht hier auch nur ein geringer Entwicklungsbedarf (CÓLENO 1988, SCHWAIBERGER 1991). Auf der taktisch-operationellen Ebene ist eine Entscheidungsunterstützung durch DSS hingegen besonders wichtig (CÓLENO 1988, POHLMANN 1993a, SMITH et al. 1997).

Auch für den Zwischenfruchtanbau wurden bereits verschiedene Systeme entwickelt. So stellen SCHWAIBERGER et al. (1990) ein Anbauplanungsprogramm vor, das auf dem „Zwischenfruchtpaß“ der Landwirtschaftskammer Rheinland (BUCHNER und KOLBE 1989) beruht und sich am Ablauf einer landwirtschaftlichen Beratung orientiert. Das Programm gibt zielbezogene Empfehlungen einzelner Zwischenfrüchte, entweder automatisch (für Beratungszwecke), oder über eine standortspezifische Vorauswahl, die dem Anwender (Landwirt) – unter Zuhilfenahme seines Erfahrungswissens – die endgültige Auswahl aus einer Artenliste bzw. mithilfe von Zusatzinformationen (z.B. anbautechnische Hinweise) selbst überlässt. BALDIOLI und ENGEL (1997) berichten über das interaktive Multimedia-Informationssystem „Phacelia Online“ im World-Wide Web (WWW), das ebenfalls auf dem „Zwischenfruchtpaß“ beruht und eine interaktive Auswahl von Zwischenfrüchten über Datenbankabfragen ermöglicht. Beide Systeme ermöglichen aber weder eine multikriterielle Bewertung verschiedener Anbauverfahren je Zwischenfrucht, noch berücksichtigen sie Unschärfen im integrierten Fachwissen. AUBURN und BUGG (1991) stellen ein Datenbank-basiertes Informationssystem für den Zwischenfruchtanbau im Rahmen des Sustainable Agriculture Research and Education Program (SAREP) vor, das (v.a. nordamerikanische) Literaturhinweise und -inhalte zu artspezifischen Umweltansprüchen, Wachstumseigenschaften, Management, Wirkungen sowie Anwendungsmöglichkeiten beinhaltet. Das System gibt schriftliche Informationen für die landwirtschaftliche Beratung aus und soll zukünftig mit einem Expertensystem für die Zwischenfruchtauswahl kombiniert werden (vgl. auch INGELS et al. 1994).

Mehrere Simulationsmodelle können wesentliche Teilaspekte des Zwischenfruchtanbaus beschreiben, wie Wachstumsdynamik, Nährstoffhaushalt und Bodenerosion: MIRSCHEL (1995) stellt ein Biomasse-Simulationsmodell für die Zwischenfrüchte Ölrettich, Gelbsenf, Phacelia, Winterraps und Winterrüben vor, das anhand von Daten Ostbrandenburgs parametrisiert wurde, sich aber bislang nicht auf andere Standorte übertragen lässt (MIRSCHEL 1999). HOFFMANN (1988) berichtet über ein Simulationsmodell für den Stickstoffumsatz im Boden in Teilfruchtfolgen. Das Modell kann die Stickstoffaufnahme von Zwischenfrüchten simulieren, differenziert diese jedoch nicht weiter nach Arten und Anbauverfahren. Auch SCHÖLL et al. (1997) stellen ein Bodenstickstoff-Simulationsmodell dar, das die Prozesse Zersetzung, Mi-

neralisation und Nitrifikation abgestorbenen Pflanzenmaterials beschreibt, bislang aber auf die Zwischenfrucht Winterroggen beschränkt ist. BLOMBÄCK und ECKERSTEN (1997) sowie BLOMBÄCK (1998) beschreiben die Anwendung und Anpassung des prozessbasierten Simulationsmodells SOILN, das die C- und N-Dynamik in Boden und Pflanzen beschreiben kann, für den Zwischenfruchtanbau. ROTH (1996) beschreibt die Anpassung und Parametrisierung des Stickstoffhaushaltsmodells MINERVA für verschiedene Zwischenfrüchte (vgl. auch BEBLIK 1996). Einfache Ansätze zur Beschreibung der Stickstoffdynamik beim Anbau von Zwischenfrüchten wurden auch für das Stickstoffhaushaltsmodell HERMES (KERSEBAUM et al. 2001 und 2002) entwickelt, nach verschiedenen Zwischenfruchtarten bzw. Anbauverfahren wird jedoch nicht differenziert (KERSEBAUM 1999). SHARPLEY und SMITH (1991) berichten über Ansätze den Einfluss von Zwischenfrüchten auf den Nährstoffaustrag über Oberflächenabfluss modellhaft zu beschreiben; die beteiligten Prozesse können jedoch noch nicht befriedigend abgebildet werden. LANGDALE et al. (1991) berichten über die Anpassung von Modellen zur Wind- (Wind Erosion Equation, WEQ, SKIDMORE und SKIDDOWAY 1978) und Wassererosion (Allgemeine Bodenabtragungsgleichung = Universal Soil Loss Equation, USLE, WISCHMEIER und SMITH 1966, vgl. auch BORK 1991) anhand von Ergebnissen aus nordamerikanischen Zwischenfruchtversuchen sowie über die daraus resultierende Entwicklung computer-gestützter Erosionsmodelle, die den Einfluss einer zeitlich variablen Deckung durch Zwischenfruchtmulch berücksichtigen (Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE, MCCOOL und RENARD 1990) bzw. Erosion und Nitratverlagerung unter Zwischenfruchtbeständen simulieren können (Erosion-productivity Impact Calculator, EPIC, PUTMAN et al. 1988, MEISINGER et al. 1991). BORK (1991) sowie BORK und SCHRÖDER (1996) geben eine Übersicht über Modellkonzeption, Entwicklungsstand und Anwendungseignung verschiedener gegenwärtig verfügbarer Bodenerosionsmodelle und schließen, dass diese alle für den praktischen Einsatz noch nicht ausreichend validiert bzw. übertragbar sind.

Viele Autoren weisen auf die geringe *Akzeptanz von DSS* in der Praxis landwirtschaftlicher Entscheidungen hin (z.B. SCHIEFER 1994, WAGNER 1994, LINK et al. 1995, COX 1996, PARKER und CAMPION 1997, ASCOUGH et al. 1998, GELB 1999, KUHLMANN 1999, LUCEY 1999, CARLSSON und TURBAN 2002, MCCOWN 2002a und b, ROSSKOPF und WAGNER 2003). Insbesondere Expertensystemtechnologien wurden schlecht angenommen (MCCOWN 2002b). Als Ursachen werden technologische Gründe, Fehler bei der DSS-Konzeption sowie Verständnisprobleme der Anwender genannt. Zu ersteren zählt, dass die Bedienung vieler DSS ohne zusätzlichen technischen Support zu komplex ist, dass häufig Monitoring-Daten benötigt werden, deren Erhebung für Landwirte zu aufwendig ist, und dass der Computer noch von zu wenigen Landwirten als Planungswerkzeug genutzt wird (WAGNER 1994, COX 1996, JONES et al. 1998, KUHLMANN 1999, ROSSKOPF und WAGNER 2003).

Zu den zweiten Ursachen zählt, dass die von DSS bereitgestellten Informationen häufig nur für Ausnahmesituationen nützlich sind. DSS finden bislang v.a. bei Personen Verbreitung, die wenig Unterstützung aufgrund ihrer Erfahrung brauchen, und weisen somit ein ungünstiges Kosten/Nutzen-Verhältnis auf (COX 1996). Häufig besteht ein zu geringer Austausch zwischen DSS-Entwicklern und potenziellen Nutzern: die Ansätze gehen von idealisierten, vermeintlichen Zielen des Landwirtes aus bzw. unterstützen Routineentscheidungen, für die

keine DSS benötigt werden (SCHIEFER 1994, JONES et al. 1998, McCOWN 2002b). Insbesondere versuchen viele DSS durch die Erstellung von Managementempfehlungen den Entscheidungsträger zu ersetzen und ignorieren dabei, dass Landwirte ihre Entscheidungen selbständig treffen wollen und auch lernfähige und befähigte Systemanwender sein können (McCOWN 2002b).

Die Nutzerakzeptanz wird auch durch eine *wahrgenommene Nützlichkeit* des DSS, weniger durch dessen Benutzerfreundlichkeit bestimmt (ASCOUGH et al. 1998, JONES et al. 1998, McCOWN 2002b, ROSSKOPF und WAGNER 2003). Hier kann bei den Nutzern ein Nicht-Verstehen der Entscheidungshilfe bzw. des theoretischen Hintergrundes, Unvermögen große Mengen von Informationen/Wissen zu handhaben, Missachtung der Entscheidungshilfen zugunsten vergangener Erfahrungen, sowie ein größeres Vertrauen auf eine persönliche Beratung vorliegen (CARLSSON und TURBAN 2002).

Nach Meinung der genannten Autoren besteht aber ein großer Bedarf der Landwirte nach einer guten taktischen Planung und Entscheidungsfindung, für die die Unterstützung durch DSS nützlich ist. Zukünftige DSS sollten dem Anwender als Hilfsmittel in einem modifizierten Entscheidungsprozess dienen und als sogenannte ‚co-creating information systems‘ Vorteile des Wissens aus Forschung und Praxis nutzen. Als Beratungswerkzeug können DSS über Mittler (Berater) an Landwirte herangebracht werden (LINK et al. 1995, McCOWN 2002b). Sie sollten aber keine Handlungsalternativen vorschreiben, sondern dem Anwender die Möglichkeit geben aus Handlungen zu lernen und den Entscheidungsprozess zu modifizieren (‚Learning Laboratory‘, McCOWN 2002b). Darüber hinaus können sie als formaler Rahmen zur Vermittlung von Regeln und Zielen sowie zur Rechtfertigung und Dokumentation der landwirtschaftlichen Praxis dienen.

Eine Schlüsselrolle in der DSS-Entwicklung (ROGERS 1995 in McCOWN 2002b) nimmt die *Reduktion von Unsicherheit* ein, die aus mangelhafter Berücksichtigung relevanter Systemobjekte, unklaren Ausgangszuständen, unklaren Zielen, weichen oder unbekanntem Grenzen, sowie schlecht vorhersagbaren Konsequenzen entstehen (vgl. KUHLMANN 1999, HOFSTEDE 1992 in McCOWN 2002b). DSS können als Werkzeug für ‚rationale‘ Schlussfolgerungen dienen, indem sie die Struktur von Entscheidungsprozessen und damit die Handlungsursachen benennen, die die Handlungsmuster bedingen (SENGE 1990 in McCOWN 2002b).

2.4 Fuzzy-Inferenzverfahren zur Lösung unsicherer Entscheidungsprobleme

2.4.1 Unsicherheiten im Entscheidungsprozess

Entscheidungen in der Pflanzenproduktion betreffen Objekte wie Böden, Pflanzenarten, Maßnahmen von Anbauverfahren usw., die typischerweise eine hohe räumliche und zeitliche Varianz und zahlreiche Wechselwirkungen untereinander aufweisen, stark von nicht-kontrollierbaren Einflussgrößen, z.B. Witterungseinflüssen usw., abhängen (COX 1996, DUNN et al. 1998, JONES et al. 1998, MOON et al. 1998, KUHLMANN 1999). Die Eigenschaften dieser Objekte können oft nur durch linguistische Zustandsvariablen (z.B. „sehr feucht“, „lange Trockenperiode“, „hohes Nährstoffangebot“) beschrieben werden (ROMMELFANGER 1994). Auch Experten können unter diesen unsicheren Voraussetzungen zu unterschiedlichen und z.T.

widersprüchlichen Einschätzungen gelangen (z.B. SINCLAIR und WALKER 1998, WALKER und SINCLAIR 1998, CORNELISSEN et al. 2003). Diese Bedingungen führen somit zu einer hohen Varianz der Informationen und zu *Unsicherheiten im Entscheidungsprozess*. Diese Unsicherheiten müssen in Entscheidungshilfesysteme integriert werden, um Fehlentscheidungen zu vermeiden. Ursachen für Unsicherheiten nicht-stochastischer Variablen (Variablen, die nicht statistisch oder mit Angabe von Wahrscheinlichkeiten beschreibbar sind) sind nach ROMMELFANGER (1994) die Unschärfe menschlicher Empfindung (intrinsische Unschärfe), informationale Unschärfe (Schwierigkeiten, Informationen zu einem Gesamturteil zu aggregieren) und relationale Unschärfe (Aussagen, bei denen die Interdependenzen zwischen einzelnen Größen unscharf formuliert sind).

Das Hauptproblem ist, dass sich den unterschiedlichen Handlungsalternativen häufig keine eindeutigen, d.h. nur größenordnungsmäßige, Nutzenwerte zuordnen lassen. Diese vagen Bewertungen können aber in Form unscharfer Mengen, z.B. durch unscharfe Nutzenbewertungen, Präferenzordnungen und Rangordnungsverfahren für unscharfe Mengen und unscharfe Schlussfolgerungsmechanismen, ausgedrückt werden (ROMMELFANGER 1994, ZIMMERMANN 1987, CARLSSON und TURBAN 2002). ROMMELFANGER (1994, S. 165) konstatiert:

„Die Modellierung linguistischer Variablen mittels Fuzzy-Mengen und die Fuzzy-Inferenzverfahren (bieten) einen Weg (...), menschliche Denkprozesse zu formalisieren und damit Expertensysteme zu konstruieren, die diesen Namen auch verdienen“.

Die Verwendung von Fuzzy-Inferenzverfahren in Experten- bzw. wissensbasierten Entscheidungsunterstützungssystemen ermöglicht den Anwendern eines solchen Systems, die Grundgedanken eines Experten nachzuvollziehen (ROMMELFANGER 1994, CORNELISSEN et al. 2003). Dieses wiederum ist eine wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz eines Entscheidungsunterstützungssystems und damit für seine erfolgreiche Umsetzung in die Praxis.

2.4.2 Unschärfe Mengen

Die Theorie unscharfer Mengen (Fuzzy-Logik) nach ZADEH (1965) stellt eine Erweiterung des klassischen Mengenbegriffs nach CANTOR dar. Während die klassische Mengenlehre ein binäres System eindeutiger Zugehörigkeiten von Elementen zu Mengen beinhaltet, verarbeitet die Fuzzy-Logik auch Unsicherheiten mit gleitenden Zugehörigkeiten zwischen 0 und 1 (ZIMMERMANN 1996). Ziel der Fuzzy-Logik ist die Klassifizierung unscharfer und unvollständiger Sachzusammenhänge der realen Welt sowie die mathematische Nachbildung menschlicher Denkweisen und Schlussfolgerungsmechanismen.

Für jedes Element x einer Grundmenge X kann man den Grad der Zugehörigkeit zu einer unscharf beschriebenen Teilmenge \tilde{A} durch die Zuordnung einer reellen Zahl $\mu_A(x)$ ausdrücken. Dabei wird üblicherweise der Wertebereich der Zugehörigkeitsfunktion μ_A auf das abgeschlossene Intervall $[0,1]$ beschränkt, der Funktionswert 0 denjenigen Objekten zugeordnet, die nach Ansicht des Experten die gewünschte Eigenschaft mit Sicherheit nicht aufweisen, und der Wert 1 denjenigen Objekten zugeordnet, die diese Eigenschaft mit Sicherheit erfüllen:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad \text{mit } \mu_A: X \rightarrow [0, 1] \quad (2.1)$$

\tilde{A} wird dabei als *unscharfe Menge* auf X (fuzzy set in X) bezeichnet, μ_A als Zugehörigkeitsfunktion (membership function), charakteristische oder Kompatibilitätsfunktion (ROMMELFANGER 1994). Die Menge aller unscharfen Mengen auf einer Menge X wird *Fuzzy-Potenzmenge* (fuzzy power set) $\tilde{\mathcal{P}}(X)$ genannt.

Die Theorie unscharfer Mengen bietet zwar die Möglichkeit, Abstufungen in der Zugehörigkeit zu einer Menge beliebig genau zu beschreiben, in praktischen Anwendungsfällen ist dies aber kaum möglich. Die benutzten Funktionen sind daher als mehr oder minder gute Darstellungsformen der subjektiven Vorstellung anzusehen, wie sie Einzelpersonen (Experten) eingeschätzt haben. Bei der Modellierung benutzt man zumeist einfache Funktionsformen, wie stückweise lineare Funktionen, bei denen wenige festgelegte Punkte durch Geradenstücke verbunden werden, oder Funktionen, die durch wenige Parameter beschrieben werden (ROMMELFANGER 1994); Beispiele sind Fuzzy-Zahlen und Fuzzy-Intervalle des L-R-Typs. Eine *Fuzzy-Zahl* ist eine konvexe, normalisierte unscharfe Menge \tilde{A} auf der Menge der reellen Zahlen \mathfrak{R} , für die genau eine reelle Zahl x_0 mit $\mu_A(x) = 1$ existiert und μ_A stückweise stetig ist (z.B. trianguläre Zugehörigkeitsfunktion). Ein *Fuzzy-Intervall* ist eine konvexe, normalisierte unscharfe Menge \tilde{A} auf \mathfrak{R} , für die mehr als eine reelle Zahl mit $\mu_A(x) = 1$ existiert und μ_A stückweise stetig ist (z.B. trapezförmige Zugehörigkeitsfunktion). Eine Fuzzy-Zahl \tilde{M} wird als L-R-Fuzzy-Zahl $\tilde{M} = (m; \alpha; \beta)_{LR}$ bezeichnet, wenn sich ihre Zugehörigkeitsfunktion mit geeigneten Referenzfunktionen L und R darstellen lässt:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} L\left(\frac{m-x}{\alpha}\right) & \text{für } x \leq m, \quad \alpha > 0 \\ R\left(\frac{x-m}{\beta}\right) & \text{für } x > m, \quad \beta > 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

Der eindeutig bestimmte Wert m mit $\mu_M(m) = 1 = L(0)$ ist der Gipfelpunkt der Fuzzy-Zahl, die Größen a und b werden linke bzw. rechte Spannweite von \tilde{M} genannt. L-R-Fuzzy-Zahlen mit der Referenzfunktion $L(u) = R(u) = \text{Max}(0, 1-u)$ werden aufgrund des Erscheinungsbildes ihrer Zugehörigkeitsfunktion auch als trianguläre unscharfe Mengen, entsprechende L-R-Fuzzy-Intervalle als trapezförmige unscharfe Mengen (Fuzzy-Intervalle) bezeichnet (Abb. 2.5).

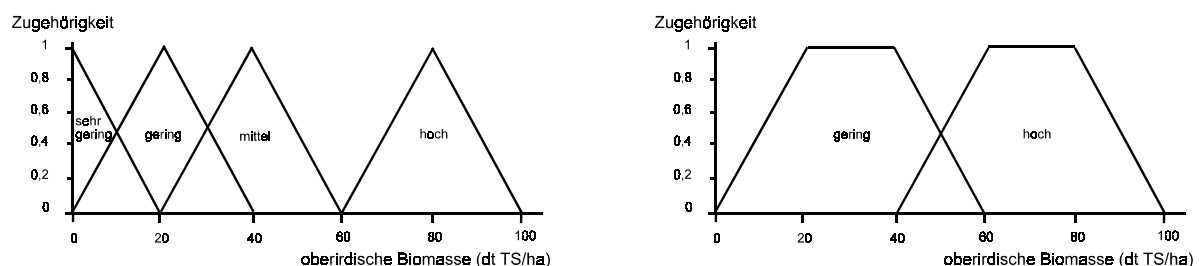


Abb. 2.5: Unscharfe Mengen möglicher Ausprägungen der Variable Oberirdische Biomasse von Zwischenfrüchten, dargestellt als L-R-Fuzzy-Zahlen (links) bzw. L-R-Fuzzy-Intervalle (rechts).

2.4.3 Mengen-Operatoren für unscharfe Mengen

Unschärfe Mengen lassen sich mithilfe von *Fuzzy-Mengenoperatoren* miteinander verknüpfen in Form von Schnittmengen („logisches und“) bzw. Vereinigungsmengen („logisches oder“) (ROMMELFANGER 1994). Die einfachste Form einer UND-Verknüpfung stellt der Minimum-Operator dar. Er definiert die Zugehörigkeit eines Messwertes zur Schnittmenge zweier Fuzzy-Mengen als den niedrigsten Wert der Zugehörigkeiten zu den einzelnen Sets:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min}(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \forall x \in X \quad (2.3)$$

Der Maximum-Operator ist die einfachste ODER-Verknüpfung. Er nimmt die größere der beiden Zugehörigkeiten an:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \forall x \in X \quad (2.4)$$

Die menschliche Denkweise gestaltet sich jedoch meist kompromissfreudiger und lässt nur selten einen dieser beiden Extremwerte für die Verknüpfung zu. In der Regel wird die Zugehörigkeit zu einer neu kombinierten Menge zwischen Minimum- und Maximum-Operator liegen, weswegen von der Verwendung des Minimum-Operators in nicht-technischen Anwendungen meist abgeraten wird (ROMMELFANGER 1994). Statt dessen stehen kompensatorische Operatoren wie z.B. das arithmetische und das geometrische Mittel sowie die Verknüpfung mit variablem Kompensationsgrad (*γ -Verknüpfung*) zur Verfügung:

$$\mu_{\frac{A+B}{2}}(x) = \frac{1}{2}(\mu_A(x) + \mu_B(x)) \quad \forall x \in X \quad \text{Arithmetisches Mittel} \quad (2.5)$$

$$\mu_{\sqrt{A \cdot B}}(x) = \sqrt{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)} \quad \forall x \in X \quad \text{Geometrisches Mittel} \quad (2.6)$$

$$\mu_{A \cdot \gamma B}(x) = (\mu_{A \cdot B}(x))^{1-\gamma} \cdot (\mu_{A+B}(x))^\gamma \quad \forall x \in X, \quad \gamma \in [0, 1] \quad \gamma\text{-Verknüpfung} \quad (2.7)$$

Die Mengenoperatoren Algebraisches Produkt und Algebraische Summe stellen Extremfälle der Verknüpfung mit variablem Kompensationsgrad für die Werte $\gamma = 0$ bzw. $\gamma = 1$ dar:

$$\mu_{A \cdot B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad \text{Algebraisches Produkt} \quad (2.8)$$

$$\mu_{A+B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad \text{Algebraische Summe} \quad (2.9)$$

2.4.4 Unscharfes Schließen (Fuzzy-Inferenz)

Schlussfolgerungen von einem Zustand (Zustandsvariable, Inputvariable) auf eine Bewertung (Bewertungsvariable, Outputvariable) stellen *Implikationen* dar und lassen sich wie folgt formalisieren:

WENN Input „hoch“, DANN ist Output mit „gut“ zu beurteilen.

Ein Regelblock oder eine Menge von Implikationen werden als *Inferenz* bezeichnet. Die Regelbasis (System von Inferenzregeln R_i) eines regelbasierten Systems mit m Inputvariablen und einer Outputvariablen besteht aus folgender allgemeinen Form:

$$R_i: \text{ WENN } x_1 = A_{i1} \text{ UND } x_2 = A_{i2} \text{ UND } \dots \text{ UND } x_m = A_{im} \text{ DANN } y = B_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

mit x_1, x_2, \dots, x_m die nicht-fuzzy Inputvariablen (Zustandsvariablen)
 $A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{im}$ die linguistischen Terme der Inputvariablen x_i
 y die Outputvariable (Bewertungsvariable)
 B_1, B_2, \dots, B_n die linguistischen Terme der Outputvariablen

Solange keine der mögliche Kombinationen aus inhaltlichen Gründen ausgeschlossen werden kann, gilt für die Anzahl der Regeln m' , wenn für jedes der r Merkmale m Ausprägungen möglich sind (ROMMELFANGER 1994). Bei sehr vielen Regeln steigt nicht nur der Rechenaufwand, sondern es wird auch immer unwahrscheinlicher, dass die Experten die Regeln richtig aufstellen können. Auf jeden Fall sollten nur so viele Ausgangssituationen unterschieden werden, dass die Experten diese bewusst unterscheiden können. Wenn hingegen die Zielbewertung auf einer stärker gegliederten Skala erfolgt (hierarchisches System), gibt es (auf der obersten Ebene) keine direkten Probleme.

Da sowohl die Variable der Prämisse, als auch die Variable der Konklusion nur endlich viele Ausprägungen aufweisen, lässt sich eine Bewertung mit dem Zustand $K_1(U)$ bzw. durch Vektoren mit Zugehörigkeitswerten (Fuzzy-Vektoren) beschreiben. Der Übergang von einem exakten Wert $K_1(U)$ zu einem Fuzzy-Vektor wird als *Fuzzifizierung* bezeichnet (ROMMELFANGER 1994):

$$\mu^{K_1}(U) = (\mu_{\text{niedrig}}^{K_1}(K_1(U)), \mu_{\text{mittel}}^{K_1}(K_1(U)), \mu_{\text{hoch}}^{K_1}(K_1(U))) \quad (2.10)$$

Wird eine Implikation durch eine Relation beschrieben, die nur eine Ausprägung aufweist (also eigentlich nicht-fuzzy ist), so wird der Wahrheitsgrad der Prämisse übertragen als der *Erfülltheitsgrad* (*degree of fulfilment DOF*) der Konklusion. Bei Fuzzy-Implikationen mit mehreren Inputvariablen resultiert der Erfülltheitsgrad einer Regel aus *Verknüpfungen* der Wahrheitsgrade aller Inputvariablen $\text{DOF}_{R_i}(E)$ und der Zugehörigkeitsfunktion der Bewertungsvariable $\mu_{R_i}^Y(y)$. Die aktuelle Zustandsbeschreibung $(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_m)$ erfolgt durch die Zuordnung der Fuzzy-Mengen $\mu_{B_i}(y)$ zu jeder Regel R_i und eine anschließende Vereinigung der Fuzzy-Mengen zu einer Gesamtbewertung über alle Regeln (*Aggregation*). Dafür stehen zwei Inferenzschemata zur Verfügung. In technischen (Fuzzy-Control) Anwendungen wird häufig die *Max-Min-Inferenz* benutzt. Die Implikation erfolgt hier über den Minimum-Operator, der ein „Abschneiden“ der Zugehörigkeitsfunktion bewirkt (Abb. 2.6):

$$R_i: \mu_{\hat{B}_i}(y) = \text{Min} \{ \mu_{i1}(\hat{x}_1), \mu_{i2}(\hat{x}_2), \dots, \mu_{im}(\hat{x}_m), \mu_{B_i}(y) \} \quad (2.11)$$

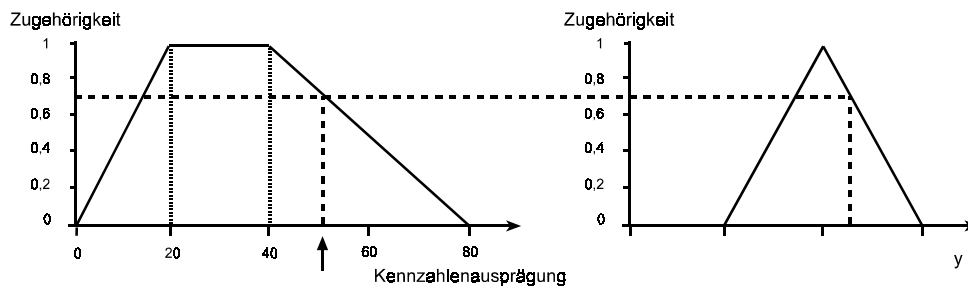


Abb. 2.6: Max-Min-Inferenz.

Die Gesamtbewertung wird durch die Aggregation der Bewertungen $\mu_R^E(y)$ mithilfe des Maximum-Operators vorgenommen:

$$\mu_R^E(y) = \bigcup_i \mu_{R_i}^E(y) = \text{Max}(\mu_{\hat{B}_1}(y), \mu_{\hat{B}_2}(y), \dots, \mu_{\hat{B}_n}(y)) \tag{2.12}$$

Die Max-Min-Inferenz führt dazu, dass die Regeln mit einem mittleren DOF-Wert einen relativ zu starken Einfluss bekommen (ROMMELFANGER 1994). Für nicht-technische Anwendungen bietet sich deshalb das Inferenzschema der *Max-Prod-Inferenz* an, bei der die Erfülltheitsgrade der Regeln über das Algebraische Produkt ermittelt werden, so dass sich eine gestauchte Zugehörigkeitsfunktion ergibt (Abb. 2.7):

$$R_i: \mu_{\hat{B}_i}(y) = \mu_{i1}(\hat{x}_1) \cdot \mu_{i2}(\hat{x}_2) \cdot \dots \cdot \mu_{im}(\hat{x}_m) \cdot \mu_{B_i}(y) \tag{2.13}$$

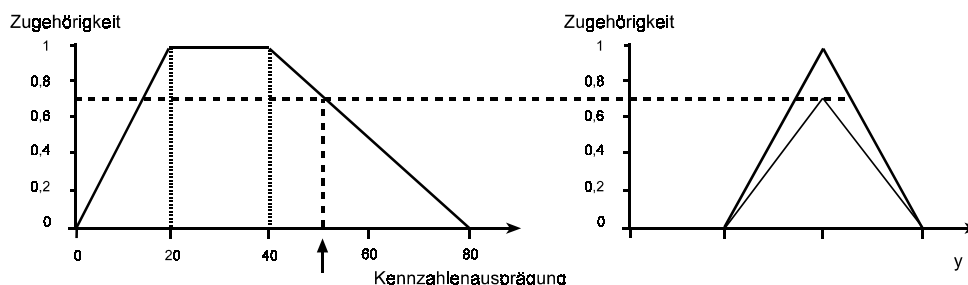


Abb. 2.7: Max-Prod-Inferenz.

Der Gesamterfüllungsgrad wird bei diesem Inferenzschema anhand der Algebraischen Summe berechnet:

$$\text{DOF}_{\text{gesamt}}(y) = \left[1 - \prod_{i=1}^m (1 - \text{DOF}(R_i)) \right] \tag{2.14}$$

Als abschließender Schritt der Inferenz wird eine Verdichtung der ermittelten Fuzzy-Gesamtbewertung, die sog. *Defuzzifizierung*, vorgenommen. In der Praxis sind das Schwerpunktverfahren oder das Flächenhalbierungsverfahren üblich (Abb. 2.8). In hierarchischen Systemen ist die Defuzzifizierung nur als Reduktionsschritt zur Vereinfachung nachfolgender Rechnungen oder als Orientierungshilfe nötig. Bei einer hierarchischen Regelverarbeitung wird empfohlen, die vorliegenden Fuzzy-Bewertungen direkt als Inputs für die nächste Ag-

gregationsstufe zu verwenden, wobei die zugehörigen Erfüllungsgrade als Zugehörigkeitsgrade aufgefasst werden. Eine Defuzzifizierung bietet sich hingegen an, wenn zu viele Fuzzy-Ausprägungen in der Bewertung auftreten; neben zu großem Rechenaufwand kann dies insbesondere bei vielen Hierarchiestufen zur Folge haben, dass sich die Bewertungen immer mehr zur Mitte hin orientieren (ROMMELFANGER 1994).

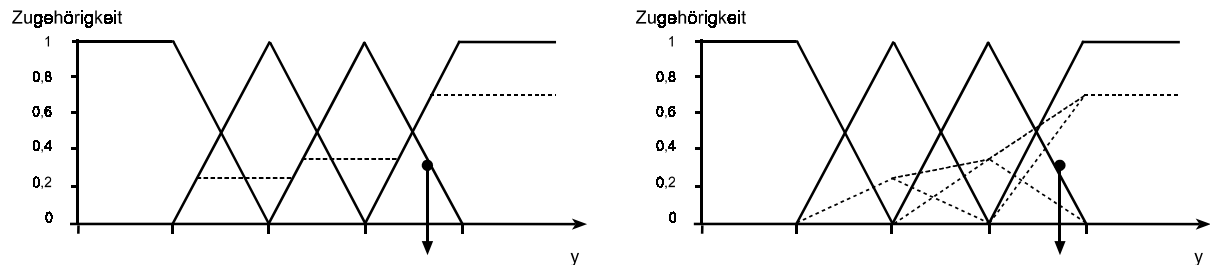


Abb. 2.8: Defuzzifizierung anhand des Schwerpunktverfahrens, links: Max-Min-Inferenz mit Aggregation durch den Maximum-Operator, rechts: Max-Prod-Inferenz mit Aggregation durch die Algebraische Summe.

Somit lässt sich der Grad der Zielerfüllung u_i für das Anbauziel i bezüglich der Handlungsalternative x durch das *Fuzzy-Inferenzbild* $\mu^Y(x)$ ausdrücken, das eine Max-Min-Verknüpfung der unscharfen Ergebnisgrößenmatrix μ^E mit der Fuzzy-Relation R (Regelwerk) darstellt (Gl. 2.15):

$$u_i = \mu^Y = \mu^E \circ R \tag{2.15}$$

mit

$$\mu^E = \begin{pmatrix} \mu_{A_1}^{E_1}(E_1(x)), \mu_{A_2}^{E_1}(E_1(x)), \dots, \mu_{A_m}^{E_1}(E_1(x)) \\ \vdots \\ \mu_{A_1}^{E_n}(E_n(x)), \mu_{A_2}^{E_n}(E_n(x)), \dots, \mu_{A_m}^{E_n}(E_n(x)) \end{pmatrix} \text{ und } \mu_{A_k}^{E_j} = \{ (e_{xst}, \mu_{A_k}^{E_j}(e_{xst})) \mid e \in E \}$$

wobei e_{xst} : Wert der Ergebnisvariable E_j für Handlungsalternative x , und Zwischenfrucht s ;
 $\mu_{A_k}^{E_j}$: Zugehörigkeitsfunktion (Fuzzy-Set) für Ausprägung A_k der Ergebnisgröße E_j .

Abb. 2.9 zeigt ein Fuzzy-Inferenzschema mit den Inferenzschritten *Fuzzifikation*, *Verknüpfung*, *Implikation*, *Aggregation* und *Defuzzifikation*. Dargestellt ist ein Beispiel eines einfachen Regelsystems mit drei unterschiedlich gewichteten Regeln zur Ableitung der Zwischenfruchtbiomasse aus den Inputgrößen Saattermin und Stickstoffangebot (N-Angebot; vgl. auch Kap. 5.3).

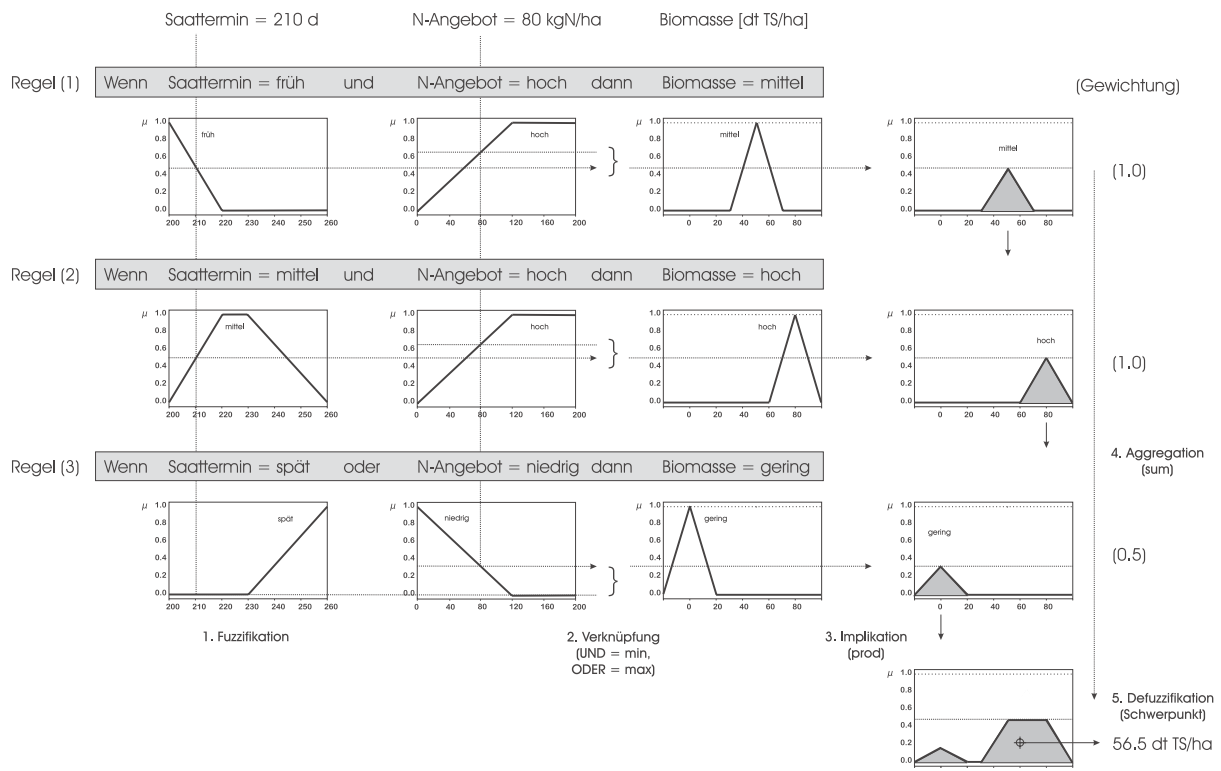


Abb. 2.9: Fuzzy-Inferenzschema mit den Schritten Fuzzifikation, Verknüpfung, Implikation, Aggregation und Defuzzifikation am Beispiel eines einfachen Regelsystems zur Ableitung der Zwischenfruchtbiomasse aus den Inputgrößen Saattermin und Stickstoffangebot (N-Angebot), vgl. Kap. 5.3.

2.5 Arbeitshypothesen

Aus der Aufgabenstellung und den dargelegten Informationen aus der Literatur lassen sich folgende Arbeitshypothesen für diese Arbeit formulieren:

- (1) Die notwendigen Informationen für den Aufbau eines Entscheidungsunterstützungssystems lassen sich über die Analyse agrarwissenschaftlicher Fachliteratur und durch direkte Befragungen von Experten aus Wissenschaft und praktischer Landwirtschaft akquirieren. Das erfasste Expertenwissen lässt sich strukturieren und in einer angemessenen Form für eine systemhafte Darstellung beschreiben.
- (2) Entscheidungen im Zwischenfruchtanbau lassen sich anhand der Theorie der rationalen Entscheidungsfindung darstellen. Sie betreffen die Auswahl von Handlungsalternativen (Zwischenfruchtanbauverfahren), die dem Landwirt zur Verwirklichung einer oder mehrerer Anbauziele zur Verfügung stehen. Die Entscheidungssituation wird bestimmt durch Entscheidungsprämissen des Entscheidungsfeldes (Handlungsalternativen, nicht-kontrollierbare Zustandsvariablen) und des Zielsystems sowie die anschließende Bewertung der Handlungsalternativen und ihrer Konsequenzen.
- (3) Die Planung von Zwischenfruchtanbauverfahren erfolgt unter Unsicherheit (intrinsic Unsicherheit über den Systemzustand bzw. informationale Unsicherheit des Expertenwissens). Die unsicheren Informationen lassen sich mit unscharfen Mengen (Fuzzy-

- Sets) mathematisch darstellen. Unscharfe Schlussfolgerungen bzw. unscharfe Nutzenbewertungen der Experten können mit Fuzzy-Inferenzsystemen formalisiert werden.
- (4) *Unter Verwendung eines Entwicklungswerkzeuges oder einer Programmiersprache kann ein rechnergestütztes Entscheidungshilfesystem (DSS) entwickelt werden, das Landwirte bei der Entscheidungsfindung in Auswahl geeigneter Zwischenfruchtarten und Anbauverfahren beratend unterstützen soll. Die Entscheidungsunterstützung soll standort-, situations- und zielbezogen sein, die Anbauformen Sommer- und Winterzwischenfrüchte sowie die Ansaatverfahren Unter- und Stoppelsaat berücksichtigen.*
 - (5) *Die Entscheidungsfindung im DSS kann für den Anwender transparent gestaltet werden. Der Anwender verfügt über Möglichkeiten, eigenes Erfahrungswissen hinzufügen bzw. den Entscheidungsprozess kontrollieren zu können.*
 - (6) *Die DSS-Entwicklung kann – wie jede Modellbildung – nur unter gewissen Restriktionen und Vereinfachungen erfolgen. Die Aussagefähigkeit des DSS, das sich auf nur beschränkt aussagekräftige (Experten-)Informationen sowie auf notwendigerweise abstrahierende Modellansätze stützt, kann nur begrenzt sein.*
 - (7) *Der DSS-Prototyp lässt sich auf PC-Ebene in eine eigenständige Software (stand-alone-Programm) zur Anwendung in Beratung und landwirtschaftlicher Praxis überführen. Eine graphische Benutzeroberfläche dient als Dialog- und Erklärungskomponente und ermöglicht dem Anwender eine einfache Bedienung des DSS.*
 - (8) *Sensitivitätsanalysen der Zwischen-, Ziel- und Ergebnisgrößen können einen Beitrag zur Überprüfung (Validierung) des wissensbasierten DSS liefern, indem sie eine angemessene Sensitivität und Stabilität des DSS und seiner Subsysteme hinsichtlich der relevanten Zustandsgrößen sowie der integrierten Entscheidungsvariablen belegen.*
 - (9) *Plausibilitätsanalysen der berechneten Ergebnisgrößen liefern einen weiteren Beitrag zur DSS-Validierung: Die vom DSS ermittelten Ergebnisgrößen (Zielgrößen) des Entscheidungsfeldes lassen sich über Vergleiche mit standort- und situationsspezifisch bestimmten Werten aus der Fachliteratur überprüfen.*
 - (10) *Vergleiche der DSS-Ergebnisse (Anbauempfehlungen) mit Empfehlungen von Experten aus Wissenschaft, Beratung und Praxis ermöglichen eine Vorhersage-Validierung des DSS für bestimmte Fallbeispiele. Die notwendigen Expertenangaben lassen sich aus Fragebogen-gestützten Recherchen gewinnen.*
 - (11) *Im Rahmen der DSS-Validierung lassen sich DSS-Ergebnisse für bestimmte Fallbeispiele auch über eine direkte kritische Beurteilung durch Experten überprüfen. Auch diese Experteninformationen lassen sich über Fragebögen recherchieren.*

3 Material und Methoden

3.1 Wissensakquisition

Grundlage des entwickelten Entscheidungsunterstützungssystems ist ein vielschichtiges Expertenwissen zu den pflanzenbaulichen Aspekten des Zwischenfruchtanbaus. Die Wissensakquisition (im Sinne von Wissenserhebung) erstreckt sich auf Wissen von befragten Experten sowie Informationen und Daten aus der wissenschaftlichen Literatur (= Sekundärmaterial, SCHNEIDER 1994). Das akquirierte Wissen wurde in Regelsysteme oder Modellgleichungen überführt, die in alle Teilsysteme des DSS (Entscheidungsfeld, Zielsystem und Bewertungssystem) integriert werden konnten. Die Literaturdaten wurden aufgeteilt in Daten, die ausschließlich für die DSS-Entwicklung (s. Kap. 3.4) genutzt wurden, und in Daten, die für die anschließende DSS-Validierung (s. Kap. 3.5) herangezogen wurden. Erstere wurden lediglich für das Teilsystem Entscheidungsfeld bei der Erstellung von Algorithmen/Modellgleichungen für die Module Deckungsgrad (Herbst, Frühjahr) bzw. Stickstoffgehalt verwendet.

Obwohl in der Literatur ein sehr umfangreiches Wissen zum Zwischenfruchtanbau zur Verfügung steht, kann aus ihr eine artspezifische Bestandesentwicklung (charakteristische Zielgrößen wie die oberirdische Biomasse), abhängig von aggregierten Einflussfaktoren Vegetationszeit, Wasser- und Nährstoffangebot, nicht befriedigend abgeleitet werden. Um dieses Wissensdefizit zu schließen wurden Befragungen von Experten (Agrarwissenschaftler mit Erfahrungen im Zwischenfruchtanbau) in Form von persönlichen Gesprächen durchgeführt (LÜTKE ENTRUP 1998, PAULY 1998, ROTH 1998, BACHINGER 1999). Die Ergebnisse dieser Befragungen wurden als Gedächtnisprotokolle dokumentiert (s. Anhang A8). Auf diese Weise konnten lückenhafte oder fehlende Informationen des Literaturwissens erfragt und durch das Expertenwissen komplettiert werden.

Die Analyse wissenschaftlicher Literatur erstreckte sich auf umfassende Arbeiten zu verschiedenen Fragen des Zwischenfruchtanbaus (v.a. RENIUS et al. 1992, auch PREUSCHEN und BERNATH 1983, HAMPL 1996), broschiierte Anbauempfehlungen und tabellarische Übersichten zur Zwischenfrucht-Entwicklung (EICH et al. 1978, ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, SIMON 1983, BUCHNER und KOLBE 1989, BERENDONK und THUIR 1995), wissenschaftliche Einzelarbeiten wie Dissertationen, Diplomarbeiten und deren Veröffentlichungen (z.B. SCHULTHEIß 1990, ROTH 1996, SODTKE 1996), sowie Artikel in wissenschaftlichen und praxisorientierten Fachzeitschriften (z.B. SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992). Die umfassenden Arbeiten und broschiierten Anbauempfehlungen enthalten z.T. sehr detaillierte Expertenangaben, Empfehlungen für den Anbau einzelner Fruchtarten (optimale Saattermine, Saatenmengen, Anbaueignungen etc.), umfangreiche Informationen aus z.T. vielzähligen Forschungsergebnissen und langjährigen Erfahrungen. Die wissenschaftlichen Einzelarbeiten behandeln in der Regel thematisch begrenzte Fragestellungen, wie die Untersuchung einzelner Fruchtarten, Standorte bzw. Verfahren etc. Sie enthalten aber mehr oder weniger umfangreiche Daten zu Biomasse-Entwicklung, N-Aufnahme und Boden-N_{min}-Gehalten, die für eine (Teil-)Validierung des DSS herangezogen werden können. Die Fachzeitschriften-Artikel behandeln zumeist in knapper Form problematische Aspekte des Zwischenfruchtanbaus und enthalten entsprechende Anbauempfehlungen und Erfahrungswerte von Experten und Beratern.

Diesen Arbeiten konnten folgende Angaben und Informationen entnommen werden:

- *Informationen zum Aufbau des Zielsystems wie die relevanten Managementziele und zugehörige Präferenzen für die Zielerfüllung (Anforderungen an spezifische Zielgrößen wie artspezifische Biomassen bzw. Deckungsgrade, z.B. BUCHNER und KOLBE 1989, RENIUS et al. 1992, BERENDONK und THUIR 1995),*
- *Informationen zum Aufbau des Entscheidungsfeldes (Zielgrößen Herbstbiomasse, Frühjahrsbiomasse, Deckungsgrad (Herbst, Frühjahr), Biomasse von Untersaaten nach Aberten der Deckfrucht),*
- *Angaben zur Erstellung der Submodelle für die aggregierten Einflussgrößen Stickstoffangebot, Wasserangebot und Feldaufgang (RENIUS et al. 1992),*
- *Daten zur Erstellung von Biomasse-Deckungsgrad- bzw. Biomasse-Stickstoffgehalt-Relationen und zur Identifikation entsprechender Parameter (SODTKE 1996),*
- *Daten und Informationen zu einzelnen Fruchtarten, Standorten bzw. Verfahren etc. und insbesondere Daten zur Biomasse-Entwicklung, N-Aufnahme und Boden-N_{min}-Gehalten (wissenschaftliche Einzelarbeiten: Dissertationen, Veröffentlichungen).*

Literaturarbeiten mit größeren Datenmaterial, die insbesondere auch umfassende Angaben zu den Anbaubedingungen der Zwischenfrüchte enthielten (Standorteigenschaften, Anbaumaßnahmen) wurden fast ausschließlich für die DSS-Validierung herangezogen (vgl. Tab. 3.2 und Kap. 3.5).

3.2 Parameteridentifikation

Für die Modellierung der Ziel- bzw. Ergebnisgrößen *Zwischenfruchtdeckungsgrad* bzw. *aufgenommene Stickstoffmenge im Zwischenfruchtbestand* wurden Literaturdaten für verschiedene Zwischenfrüchte von SODTKE (1996)¹ bzw. BERGER (1990), BÄHR (1998), DREESMANN (1992), EULENSTEIN (1988), FOERSTER und KLEINE (1990), ILGEN (1990), JUSTUS (1996), LEHMANN et al. (1991), LÜTKE ENTRUP et al. (1990), OBENAUF (1984a), ROTH, S. (1996), SMUKALSKI und OBENAUF (1988), SMUKALSKI und ROGASIK (1991) sowie WEISE et al. (1994) herangezogen (vgl. Tab. 3.2). Mit dem Parameteridentifikationsprogramm MODELMAKER wurden Modellgleichungen (MICHAELIS-MENTEN-Sättigungsfunktionen) an diese Daten angepasst. Entsprechende fruchtartspezifische Modellparameter wurden identifiziert (vgl. Kap. 5.3).

3.3 Wissensrepräsentation

Zur Zusammenfassung des Kenntnisstandes wurde das abstrakt vorliegende Expertenwissen gemeinsam mit den befragten Experten in Regeln übersetzt (Wissensstrukturierung, SCHNEIDER 1994). Diese Regeln wurden zu geeigneten Regelsystemen zusammengefasst und in einer hierarchischen Struktur kombiniert (wissensbasiertes System). Die Experteninformationen sind in der Regel vage oder unscharfe Abschätzungen und werden häufig durch linguistische Terme charakterisiert (SINCLAIR und WALKER 1998, WALKER und SINCLAIR 1998, CORNELISSEN et al. 2003). Mithilfe der unscharfen Logik (z.B. ROMMELFANGER 1994; ZIMMER-

¹ Die Arbeit von SODTKE (1996) enthält Daten zu Grünbracheansaaten im Sommerrotationsanbau, vgl. hierzu Abschnitt 4.2.2

MANN 1996) wurden diese Variablen als unscharfe Mengen (Fuzzy-Sets) dargestellt und die relationalen Informationen (Regeln) in Fuzzy-Inferenzsysteme transformiert.

3.4 Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems

Sowohl die hierarchische Modellstruktur, als auch die Implementierung der regelhaften Prinzipien in Fuzzy-Regelsystemen konnte mit dem Simulations- und Programmierungs-Softwarepaket Matlab 5.3 (Simulink 2.2, Fuzzy-Toolbox: THE MATH WORKS 1999) realisiert werden (DSS-Prototyp unter UNIX). Mit der Blocksimulationsumgebung Simulink konnte die Modellstruktur übersichtlich gestaltet werden, indem sie in verschiedene Submodelle gegliedert bzw. die entwickelten Regelsysteme in diese integriert wurde. Mithilfe der Software Matlab GUIDE wurde eine graphische Benutzeroberfläche (graphical user interface, GUI) für den DSS-Prototyp entworfen.

Um aus dem DSS-Prototyp (UNIX) eine PC-fähige stand-alone Software zu erhalten, wurden die in Matlab M-Code geschriebenen Modelldateien (Skripte, Funktionen) in eine PC-fähige Programmiersprache übersetzt und entsprechend dem Modellprototyp strukturiert. Dieses konnte mittels der objektorientierten Programmiersprache Python 2.0 (Linux, Windows) erfolgen. Die mit Hilfe der Matlab Fuzzy-Toolbox erstellten Fuzzy-Inferenzsysteme können unter Python mit Hilfe einer von WIELAND (2000) erstellten Schnittstelle und eines C-Compilers (z.B. gcc) aufgerufen und genutzt werden. Mithilfe der Visualisierungssoftware Glade 1.0/GTK+ 1.3 bzw. PythonGTK wurde außerdem eine graphische Benutzeroberfläche (GUI) für das PC-fähige DSS erstellt. Über diese kann ein Modellanwender einfach Informationen zu den Einflussgrößen des jeweiligen Standortes bzw. der Betriebssituation eingeben, Modellsimulationen berechnen und sich die errechneten Ergebnisse in Textform ausgeben lassen (Dialog- und Erklärungskomponente).

3.5 DSS-Validierung

3.5.1 Validierung wissensbasierter Entscheidungsunterstützungssysteme

Im Anschluss an die Modellentwicklung soll das Entscheidungsunterstützungssystem und dessen Ergebnisse überprüft werden. Die Validierung von wissensbasierten Entscheidungsunterstützungssystemen wird aber von vielen Autoren (ZIMMERMANN 1987, PUPPE 1988, KURBEL 1992, SCHNEIDER 1994) als schwierig erachtet. Bei DSS, die wie im vorliegenden Fall helfen Beratungs- und Planungsprobleme zu lösen, wird auf Methoden der qualitativen Validierung verwiesen. KURBEL (1992, S. 193 ff., vgl. auch SMITH et al. 1997) unterscheidet für die Validierung wissensbasierter Systemen folgende sechs mögliche Vorgehensweisen:

- *Face-Validierung: kritische Beurteilung des DSS durch ein Projektteam, Experten etc.,*
- *Vorhersage-Validierung: Prüfung von Testfällen mit bekannten Ergebnissen,*
- *Turing-Validierung: Unterscheidung von Expertenempfehlungen und Modellergebnissen für ein Fallbeispiel durch unabhängige Experten,*
- *Feldtest-Validierung: Test des DSS-Prototyps in einer realen Anwendungsumgebung,*
- *Subsystem-Validierung: Test einzelner DSS-Komponenten (z.B. einzelne Subsysteme, Module, Modellgleichungen) und*

- *Sensitivitäts-Validierung: Kontrolle der Veränderung von Ausgangsgrößen bei Variation der Eingangsgrößen.*

Die Validierung des Entscheidungsunterstützungssystems wurde mit vier unterschiedlichen Ansätzen durchgeführt: Zum einen wurden Sensitivitätsanalysen für verschiedene Modellsysteme durchgeführt (kombinierte *Subsystem-Sensitivitäts-Validierung*), bei der die Wertebereiche von Eingangsgrößen variiert und die Entwicklung der Ausgangsgrößen verfolgt wurden. Verfügbare Daten aus der wissenschaftlichen Literatur konnten herangezogen werden, um regressionsanalytische Vergleiche zwischen Mess- und Simulationsergebnissen durchzuführen (*Plausibilitäts-Validierung*). Des Weiteren wurden Ergebnisse von Experten zu verschiedenen Testfällen (Fallbeispielen) in Fragebogen-gestützten Interviews eingeholt, um eine *Vorhersage-Validierung* anhand dieser Expertenempfehlungen und zusätzlicher Literaturangaben durchzuführen. Schließlich wurde eine *kritische Beurteilung der Modellergebnisse* für bestimmte Fallbeispiele durch Experten vorgenommen (Face-Validierung des DSS bzw. Turing-Test von Expertenempfehlungen und Modellergebnissen).

Auf die Durchführung eigener Feldversuche (Feldtest-Validierung) wurde nach Anlage und Durchführung eines Versuches im Herbst/Winter 1997/98 auf einer Fläche der Forschungsstation Müncheberg (ZALF) verzichtet. Die Gründe dafür waren wie folgt: Einerseits beinhaltet das Modell eine Vielzahl an Verfahrensvariationen, die sich hinsichtlich Standort, Anbausituation, Zwischenkultur, deren Anbauzielen und deren pflanzenbaulichen Management unterscheiden. Andererseits wurde erkannt, dass durch praktische Versuche während der Projektlaufzeit mit den verfügbaren Mitteln nur ein nicht ausreichender Teil der genannten Variationen für die Modellvalidierung abgedeckt werden kann. Es wären maximal zwei Versuche durchführbar gewesen, die zudem noch auf Standorten mit ähnlichen Klimaeigenschaften (z.B. Müncheberg, Dedelow) lokalisiert gewesen wären.

3.5.2 Sensitivitäts-Validierung

Die Sensitivitäts-Validierung wurde für einzelne Komponenten des Entscheidungsunterstützungssystems (Modellsysteme) durchgeführt, ist also zugleich auch eine *Subsystem-Validierung*. Hierfür bot sich die Differenzial-Sensitivitätsanalyse nach COX und BAYBUTT (1981, vgl. auch HAMBLY 1994) an: einzelne Eingangsgrößen der DSS-Subsysteme werden in plausiblen Wertebereichen variiert, wobei die übrigen Eingangsgrößen konstant gehalten werden. Die Sensitivität S einer Größe X_i auf eine Ausgangsgröße Y wird nach Gl. (3.1) anhand der partiellen Ableitungen (approximiert über ihre finiten Differenzen) bestimmt:

$$S(X_i) = \frac{\partial Y}{\partial X_i} \frac{X_i}{Y} \approx \frac{\Delta Y}{\Delta X_i} \frac{X_i}{Y} \quad (3.1)$$

Anschließend wird die resultierende Veränderung der Ausgangsgrößen der Subsysteme verfolgt und bewertet. Als Bewertungsmaßstab für die Sensitivität der Submodelle wurde geprüft, ob sich die Werte der Ausgangsgrößen in üblicherweise auftretenden Bereichen befinden und angemessen, d.h. nicht zu stark oder zu schwach, auf die variierten Eingangsgrößen reagieren. Sensitive Eingangsgrößen sollten dabei eine Variation der Wertebereiche der Ausgangsgrößen von mindestens 20% bewirken (HUTH 2003). Kleine Änderungen der Ein-

gangsgrößen sollten das Ergebnis der Ausgangsgrößen nicht deutlich ändern (Stabilitätsforderung). Tab. 3.1 listet übersichtlich die untersuchten Subsysteme des DSS, die jeweilig variierten Eingangsgrößen mit ihren Wertebereichen und die verfolgten Ausgangsgrößen auf.

Tab. 3.1: Für die Sensitivitäts-Validierung untersuchte DSS-Subsysteme, Eingangs- und Ausgangsgrößen sowie variierte Wertebereiche.

Sub-systeme	Eingangsgrößen	Wertebereich	Ausgangsgrößen	Wertebereich	
Stickstoffangebot NA	Stickstoffdüngung zur Zwischenfrucht	ND	0-120 kg N/ha	Stickstoffangebot zur Zwischenfrucht NA	0-120 kg N/ha
	Boden-N _{min} -Gehalt nach Vorfruchternte	NB	0-120 kg N/ha		
	Ernte-/Wurzelrückstände Vorfrucht	ER _{VF}	0-100 dt TS/ha		
	C:N-Verhältnis Ernterückstände	ER _{VF}	15-100 -		
	Luftkapazität des Bodens	LK	3-25 mm/m		
	Häufigkeit Spätsommertrockenperiode	NS _S	0-1 1/a		
	Bestellverfahren der Zwischenfrucht (Krumenlockerung)	BV	1-3 (relativ)		
Wasserangebot WA	Jahresniederschlagssumme	NS _A	400-1050 mm	Wasserangebot zur Zwischenfrucht WA	0-250 mm
	nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes	nFK _{We}	10-160 mm/m		
Feldaufgang FA	Ernte-/Wurzelrückstände Vorfrucht	ER _{VF}	0-100 dt TS/ha	Feldaufgang der Stoppelsaat FA	0-100 %
	Bestellverfahren (Saatbettqualität, Art der Saatgutablage)	BV	1-3 (relativ)		
	Saatbettanspruch Zwischenfrucht	SBA _{ZF}	1-3 (relativ)		
	Saatmenge der Zwischenfrucht	SM _{ZF}	0.5-2 kg/ha		
	Häufigkeit Spätsommertrockenperiode	NS _S	0-1 1/a	Etablierungserfolg der Untersaat E _{US}	0-1 (relativ)
	Ernte-/Wurzelrückstände Deckfrucht	ER _{VF}	0-100 dt TS/ha		
	Erntetermin Deckfrucht	ET _{VF}	180-240 d		
	Etablierungspotenzial Untersaat	EP _{US}	0-1.2 (relativ)		
Häufigkeit Spätsommertrockenperiode	NS _S	0-1 1/a			
Zielgrößen Untersaaten ZGS	Konkurrenzfähigkeit Untersaat	KF _{US}	0-1.75 (relativ)	Etablierungspotenzial Untersaat EP _{US}	0-1.2 (relativ)
	Konkurrenzfähigkeit Deckfrucht	KF _{DF}	0-1.75 (relativ)		
	Stickstoffangebot zur Deckfrucht (Frühjahrsdüngung)	N _{DF}	0.75-1.25 kg N/ha	Ertragspotenzial der Deckfrucht EP _{DF}	0-1 (relativ)
	Wasserangebot zur Deckfrucht	WA _{DF}	400-950 mm		
	nutzbare Feldkapazität (Boden)	nFK _{We}	50-300 mm/m		
	Saattermin der Untersaat	ST _{US}	1-6 (relativ)		
	Saatmenge der Untersaat	SM _{US}	0.5-2 kg/ha		
	Saattermin der Deckfrucht	ST _{DF}	1-3 (relativ)		
	Saatmenge der Deckfrucht	SM _{DF}	1-2 kg/ha		
	Untersaatspezifisches Biomassemodell	ZF	1-3 -		
Zielgrößen Herbst ZGH	Saattermin	ST	180-260 d	Herbstbiomasse B _H	0-80 dt TS/ha
	Stickstoffangebot	ND	0-120 kg N/ha		
	Wasserangebot	WA	0-250 mm	Herbstdeckungsgrad D _H	0-100 %
	Feldaufgang	FA	0-100 %		
	Etablierungserfolg Untersaat	EP _{US}	0-1 (relativ)		
	Umbruchtermin Zwischenfrucht	UT _{ZF}	180-365 d		
	Ende der Vegetationsperiode	VP	180-365 d		
	Zwischenfruchtspezif. Biomassemodell	ZF	1-9 -		
Zielgrößen Frühjahr ZGF	Herbstbiomasse	B _H	0-80 dt TS/ha	Frühjahrsbiomasse B _F	0-80 dt TS/ha
	Herbstdeckungsgrad	D _H	0-100 %		
	Zwischenfruchtspezifische Winterhärte	WH	0-1 -	Frühjahrsdeckungsgrad D _F	0-100 %
	Klimatische Winterstärke (rel.)	WK	1-4 (relativ)		
	Umbruchtermin Zwischenfrucht	UT _{ZF}	365-500 d		
	C:N-Verhältnis Zwischenfruchtbiomasse	CN _{ZF}	-		
N-Aufnahme	Herbstbiomasse	B _H	0-80 dt TS/ha	N-Aufnahme Herbst N _H	0-250 kg N/ha
	Herbstdeckungsgrad	D _H	0-100 %		
	Frühjahrsbiomasse	B _F	0-80 dt TS/ha	N-Aufnahme Frühjahr N _F	0-250 kg N/ha
	Frühjahrsdeckungsgrad	D _F	0-100 %		
	Zwischenfruchtspezifische Parameter	N _{max}	0-500 kg N/ha		
		kN	0-60 dt TS/ha		

3.5.3 Regressionsanalytische Plausibilitäts-Validierung

Für die Plausibilitäts-Validierung bieten sich regressionsanalytische Vergleiche von Ergebnissen der Subsysteme mit Messdaten, die aus einschlägiger wissenschaftlicher Literatur gewonnen werden konnten, an (HOSHMAND 1998). Hierfür konnten aus verschiedenen wissenschaftlichen Einzelarbeiten (v.a. Projektberichte, Dissertationen, Diplomarbeiten und deren Veröffentlichungen) Daten zur Zwischenfruchtentwicklung (ober- und unterirdische Biomasse, Deckungsgrad, Stickstoffgehalte in Aufwuchs und Boden) gewonnen werden, die in diesen Arbeiten in Abhängigkeit verschiedener Fruchtarten, Anbaubedingungen und Standorteigenschaften ermittelt wurden. Fehlende Angaben zu diesen Einflussfaktoren wurden über plausible Schlüsse ergänzt. Über Simulationen mit dem DSS konnten für die gleichen Fruchtarten, Anbau- und Standortbedingungen Modellergebnisse für die Zielgrößen (Herbstbiomasse, Herbstdeckungsgrad, N-Menge im Herbst) berechnet werden, so dass regressionsanalytische Vergleiche zwischen Mess- und Simulationsergebnissen möglich wurden. Für die Regressionsanalyse wurde eine lineare Regression mit der Statistiksoftware SPSS 11.0 (SPSS INC.) durchgeführt (Gl. 3.2).

$$Z_{DSS} = c_z + r_z \cdot Z_{Lit} \quad (3.2)$$

mit Z_{DSS}	Simulationsergebnisse der Zielgrößen,
Z_{Lit}	Messergebnisse der Zielgrößen aus der Literatur,
c_z	Regressionskonstante (hier $c_z = 0$),
r_z	Regressionskoeffizient.

Das Bestimmtheitsmaß gibt Informationen über die Güte der Korrelation zwischen Mess- und Simulationsergebnissen. Für die Regressionsanalyse wurden nur solche Daten verwendet, die nicht zur Modellbildung bzw. Parametrisierung von Modellgleichungen benutzt wurden. Tab. 3.2 stellt die verfügbaren Literaturquellen und Daten zu Ziel- und Einflussgrößen übersichtlich dar.

3.5.4 Vorhersage-Validierung

Für die Vorhersage-Validierung des DSS wurden Anbauempfehlungen von Zwischenfrüchten für unterschiedliche Testfälle (Fallbeispiele) recherchiert und mit entsprechenden Ergebnissen des DSS verglichen (vgl. SMITH et al. 1997). Hierfür wurden verschiedene Experten mit Hilfe von Fragebögen bzw. persönlichen Interviews befragt. Diese Experten waren neben Wissenschaftlern auch Landwirte und landwirtschaftliche Berater öffentlicher bzw. privater Organisationen. Für die Befragung wurden 29 Experten aus verschiedenen Regionen Deutschlands ausgewählt, um ein möglichst breites standörtliches Spektrum an Fallbeispielen und entsprechendes Erfahrungswissen abzudecken. Da der Rücklauf der Fragebögen zunächst allerdings sehr gering war, wurde versucht, evtl. aufgetretene Verständnisprobleme telefonisch bzw. im direkten Gespräch zu lösen und gegebenenfalls ein weiterer Fragebogen verschickt. Von den angeschriebenen Experten und Landwirten sandten insgesamt nur 13 Personen, davon ein Landwirt, einen auswertbaren Fragebogen zurück. Diese Personen, die von ihnen beantworteten Fallbeispiele und die Anzahl der von ihnen vorgeschlagenen Anbauverfahren sind in Tab. 3.3 dargestellt. Die Fragebögen sind im Anhang A5 enthalten.

Tab. 3.2 (Fortsetzung): Verfügbare Quellen und Daten zu Ziel- und Einflussgrößen für die Überprüfung der Teilmodelle zur Ermittlung der Zielgrößenpotenziale.

Quelle	WWg	EWg	Sonst.	WRa	SRa	WRu	ÖR	GS	Sonst.	WR	Ph	Sonst.	FLeg	Klee- gras	GLeg	Ge- menge	(Wdh)	ST	ND	SM	BV _{ZF}	BV _{US}	B _H	N _H	B _W	N _W	D _H	N _B	B _F	N _F	B _{DF}		
Lehmann 1991						x ³	x ²	x	SRü	x		EK, SD			AB, SWi, BL		1(3)	3-4	1	1	-	-	B	N	B _W	N _W	-	-	-	-	-		
Lütke Entrup 1995	x								SRü	x							2(1)	1	-	-	-	-	B	-	-	-	-	-	-	-	-		
Lütke Entrup, Blome 1990								x		x							1(4)	1	-	-	-	-	B	N	-	-	-	-	-	-	-		
Lütke Entrup et al. 1991		x					x	x		x							1(2-3)	1 (3)	3	1	2	-	B	N	-	-	-	-	-	-	-		
Lütke Entrup et al. 1998a	x		DWg, Kng, RSw									RK	10,13				1-5(2-3)	1-2	-	1	-	1: WW, WR	B	-	-	-	D _H	N _B	-	-	B _{DF}		
Lütke Entrup et al. 1998b			DWg, Kng, RSw														1(3)	1	1	1	-	1: AB	B	-	-	-	-	N _B	-	-	B _{DF}		
Majdi et al. 1991	x						x	x							FE		1(1)	1	-	-	-	-	B	N	-	-	-	-	-	-	-		
Maijer 1998		x					x	x	SB	x					SWi	20,21	3(3)	1-3	1	1-2	-	-	B	N	-	-	-	-	-	-	-	-	
Martinez, Guiraud 1990	x						x	x									1(1)	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Merkelbach 1990			DWg									WK					2(2)	4	1	1	-	1: WW	B	-	-	-	D _H	(N _B)	-	-	B _{DF}		
Mohammadi 1974							x	x	SB						AB, SWi		1(2)	1	1	2	1	1	B	N	B _W	N _W	-	-	-	-	-	-	
Noatsch 1983							x			x							1(10)	-	-	-	-	-	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Obenauf 1980							x		FK	x							1(4)	3	2	1	1	-	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Obenauf 1984a							x	x ³									1(3)	3	2	1	1	-	B	-	B _W	-	-	-	-	-	-	-	
Pagel 1984	x																4(1)	1	10	-	1	-	-	N	-	-	-	N _B	-	-	-	-	
Raderschall, Gebhardt 1990	x									WG							1(1)	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	B _F	N _F	-	-	-
Roth 1974								x							WWi, FE		1(2)	1	1	1	1	-	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Roth 1988/1990	x	x	DWg, Kng, SSw						WK, SD				14				1(3-4)	1-2	-	1-2	(1)	1	B	-	B _W	-	-	-	-	-	-	-	B _{DF}
Roth 1991	x	x	DWg				x		WK								1(1)	1	4	1	-	1	B	-	-	-	-	N _B	-	-	-	-	
Roth, S. 1996	x	x						x									2(2)	1	1	1	1	-	B	N	-	-	-	N _B	-	-	-	-	
Rüegg 1994								x		x							5(1)	1	1	1	1	-	B	N	-	-	-	N _B	(B _F)	(N _F)	-	-	
Scharf et al. 1990									SIRU ⁴								1(1)	1	10	-	-	-	B	N	B _W	N _W	-	-	-	-	-	-	-
Scharnow 1998								x									1(1-2)	1	1	1	1	-	B	N	B _W	N _W	-	N _B	B _F	N _F	-	-	
Schmidt 1997							x	x ⁵		x							2(3)	(2)	1(2)	1-2	-	-	B	N	-	-	-	N _B	-	-	-	-	
Schultheiß 1991			DWg, Kng, RSw						WK, RK								1(11)	-	8	-	-	-	B	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schulz 1990							x ¹	x ¹		x							3(1)	1-2	1	2	-	2: WG, WW	B	N	-	-	-	D _H	N _B	B _F	N _F	B _{DF}	

Tab. 3.2 (Fortsetzung): Verfügbare Quellen und Daten zu Ziel- und Einflussgrößen für die Überprüfung der Teilmodelle zur Ermittlung der Zielgrößenpotenziale.

Quelle	WWg	EWg	Sonst.	WRa	SRa	WRü	ÖR	GS	Sonst.	WR	Ph	Sonst.	FLeg	Klee-gras	Ge-menge	(Wdh)	ST	ND	SM	BV_ZF	BV_US	B _H	N _H	B _W	N _W	D _H	N _B	B _F	N _F	B _{DF}					
Schumann 1994b			DWg										WK			1(1)	1-2	1	1	-	1: WG	B	-	-	-	D _H	(N _B)	-	B _{DF}						
Smukalski, Oberauf 1988						x										3(1)	3	-	3	-	-	B	N	-	-	-	-	-	-						
Smukalski, Rogasik 1991						x				x				GL		1(1)	1	1	1	1	-	B	N	B _W	N _W	-	N _B	-	-						
Sörensen 1993	x					x				x		SB				1(1)	3	-	-	-	-	B	N	-	-	-	N _B	-	-						
Steffens, Veiter 1983						x										1(1)	1	4	-	1	-	B	N	-	-	-	N _B	-	-						
Sticksel 1994						x									18	1(6)	1	1-2	-	(1)	1	B	N	-	-	-	-	-	-						
Tigges, Lütke Entrup 1992	x					x										1(1)	1	1	-	-	-	B	N	-	-	-	N _B	-	-						
Tigges et al. 1991	x					x			SRü		x					2(1)	2	1	-	-	-	B	-	-	-	-	N _B	-	-						
Wallgren, Linden 1991	x															3(1)	-	1	-	-	-	B	-	-	-	N _B	-	-	-						
Wantulla 1987						x										1(3)	1	1	1	1	-	B	N	-	-	-	N _B	-	-						
Weise et al. 1994						x										6(1)	1	3	1	5	-	-	-	-	-	-	N _B	-	-						
Weschke 1985						x									27	1(2)	1	1	1	1	-	B	-	-	-	-	-	-	B _F	-					
Wildmann 1989										x				SWI, PE		9(1)	1	1	3	-	-	B	N	-	-	D _H	N _B	B _F	N _F	-					
Zitterell 1981				x										AB, FE	22	1(1-3)	3	1	1	1	-	B	N	-	-	-	N _B	-	-	-					
Anbauempfehlungen:																																			
Berendonk, Thuir 1997	x	x		x	x	x	x	x	SRü, SIRü		x		WK, PK, IK																						
Buchner, Kolbe 1989	x	x	DWg	x	x	x	x	x	SRü, SIRü, FK		x	SB, BW, KM	WK, PK, IK																						
Lütke Entrup 1990									SRü		x																								
Lütke Entrup 1995	x	x		x	x	x	x	x	SRü, SIRü		x		WK, PK																						
Renius et al. 1992																																			
Sommer, Rieckmann 1997	x	x		x	x	x	x	x			x		WK, PK, IK																						

Zwischenfrüchte: EWg = Einjähriges Weidelgras, WWg = Weisches Weidelgras, DWg = Deutsches Weidelgras, KG = Knaulgras, RSW = Roischwengel, SSW = Schatschwengel, WRA = Wintertraps, SRA = Sommertraps, WRü = Wintertraps, SRü = Sommertraps, SIRü = Weisches Weidelgras, FK = Futtekkohl, OR = Orlöttich, GS = Gelbsenf, PH = Phacelia, SB = Sonnenblume, WRü = Buchweizen, KM = Kulturmalve, WR = Wintergrünroggen, WG = Wintergerste, WK = Weisklee, RK = Rokitze, PK = Perserklee, AK = Alexandrinerklee, BW = Buchweizen, WM = Wintermalve, WR = Wintergrünroggen, WG = Wintergerste, WK = Weisklee, RK = Rokitze, PK = Perserklee, AK = Alexandrinerklee, IK = Inkamattklee, GK = Gelbklee, SD = Serradella, SWI = Sommerwicke, WWI = Winterwicke, WL = Weiße Teillupine, BL = Blaue Bitterlupine, GL = Gelbe Bitterlupine, AB = Ackerbohne, FE = Felderbse, PE = Platterbse, LBG = Lössberger Gemenge, 10 = Weisches Weidelgras + Rotklee, 11 = Einjähriges Weidelgras + Perserklee, 12 = Einjähriges Weidelgras + Alexandrinerklee, 13 = Deutsches Weidelgras + Weißklee, 14 = Klee gras, nicht spezifiziert, 15 = Ackerbohne + Winterwicke, 16 = Felderbse + Winterwicke, 17 = Winterwicke + Winterroggen, 18 = Ackerbohne + Hafer, 19 = Felderbse + Gelbsenf + Hafer, 20 = Ackerbohne + Felderbse + Sonnenblume, 21 = Felderbse + Gelbsenf + Sonnenblume, 22 = Deutsches Weidelgras + Weißklee, 23 = Sommerwicke + Einjähriges Weidelgras, 24 = Felderbse + Hafer, 25 = Felderbse + Sonnenblume, 26 = Felderbse + Sommerwicke + Wintertraps, 27 = Leguminosengemenge, nicht spezifiziert, FLeg = Feinleguminosen-Reinnsaaten, GLeg = Grobleguminosen-Reinnsaaten, Einflussgrößen: ST = Saattermine, ND = Stufen der Stickstoffdüngung, SM = Saatmenge [kg/ha], BV_{ZF} = Bestellverfahren als Stoppelsaat, BV_{US} = Bestellverfahren als Untersaat (einschließlich der Deckfrucht), (Wdh) = Wiederholungsmessung (unterschiedliche Jahre), Deckfrüchte: WW = Winterweizen, WR = Winterroggen, WG = Wintergerste, SW = Sommerweizen, SG = Sommergerste, AB = Ackerbohnen, Zielgrößen: B_F = oberirdische Biomasse im Spätherbst, N_H = oberirdische N-Menge im Spätherbst, B_W = oberirdische Biomasse im Frühjahr, B_{DF} = oberirdische Biomasse der Deckfrucht im Spätherbst, B_F = oberirdische Biomasse im Frühjahr, N_F = oberirdische N-Menge im Frühjahr, D_H = Deckungsgrad im Frühjahr, D_F = Deckungsgrad im Spätherbst, Erläuterung der Anmerkungen: ¹ Orlöttich + Gelbsenf, ² Verschiedene Sorten, ³ Chinakohl-Wintertraps-Bastard, ⁴ Brassica rapa Hybrid, ⁵ Gelbsenf + Phacelia, ⁶ Orlöttich + Wintertraps.

Tab. 3.3: Auflistung der befragten Experten, beantwortete Fallbeispiele und Anzahl vorgeschlagener Anbauverfahren für die Vorhersage-Validierung sowie beurteilte DSS-Ergebnisse für einzelne Fallbeispiele.

Experte	Organisation	Bereich	Vorhersage-Validierung		Beurteilung von DSS-Ergebnissen
			beantwortete Fallbeispiele	Anbauverfahren	
Berger, G., Dr.	ZALF Müncheberg	Wissenschaftler	1a/c/d	6	1a/c
Brunotte, J., Dr.	FAL Braunschweig	Wissenschaftler	6a/b	2	6b/c
Flake, M., Dr.	TU Braunschweig und Alfeld/Leine,	Wissenschaftler, Landwirt	4a/b, 6b/d	2	4a
Hamann, M.	Deutsche Saatveredelung Halle/Dörlau	Saatgutfirma	3b	3	3b
Hoffmann, F.	SLVA Rheinland-Pfalz, Oppenheim	Berater	2a	1	2a/b/c
Klinkmann, D.	LMS Landwirtschaftsberatung Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin	Berater	1a/f/h, 3c, 4b/c	6	-
Kreisstelle Soest	LWK Westfalen-Lippe, Soest	Berater	9c	2	-
Kühn, G., Prof., Dr., emer.	Ehem. ZALF, Forschungsstation Dedelow	Wissenschaftler	1e/g	2	1d
Liebold, L.	Saatenunion Brandenburg, Friedrichsthal	Saatgutfirma	1a/b/c/e	5	1a/c/d
Lütke Entrup, N., Prof., Gröblichhoff, F., Dr.	FH-Gesamthochschule Paderborn, Soest	Wissenschaftler	5c, 7a/b, 8b, 9a/b	13	9a/b
Möller, K.	Saatenunion Brandenburg, Friedrichsthal	Saatgutfirma	4a, 5e, 6c, 9b	8	4a, 5e, 6b/c, 9b
Nanz, M.	SLVA Rheinland-Pfalz, Oppenheim	Berater	2a/b/c	9	-
Peyker, Dr. W.	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Wandersleben	Berater	2b, 3b, 5a/b/c/d	8	2b/c, 3b, 5a/b/c/d
Sandbrink, K.	LWK Weser-Ems, Oldenburg	Berater	7c, 8a	4	7a/b/c, 8a

Jedem Experten wurden insgesamt sechs Fallbeispiele mit unterschiedlichen standörtlichen bzw. pflanzenbaulichen Situationen aus einer Liste von ursprünglich 18 verschiedenen Varianten vorgelegt. Die Standorte unterschieden sich hinsichtlich Jahresniederschlag und Bodenart: es wurden drei Standortgruppen mit geringem, mittlerem und hohem Niederschlag (ca. 500, ca. 650 bzw. ca. 800 mm/a, mit einer Schwankungsbreite von ± 30 bzw. 50 mm/a) gebildet. Für jede dieser Standortgruppen wurden wiederum drei Standorte mit sandigem, lehmigen bzw. Löß-Substrat, entsprechenden Ackerzahlen (ca. 40, ca. 65, >90) bzw. entsprechend gestufter nutzbarer Wasserkapazität gebildet. Um diese „Standorte“ besser auf reale Standorte übertragen zu können, wurden sie zudem verschiedenen landschaftlichen Großregionen zugeordnet (vgl. Tab. 3.4). Jeder „Standort“ wies in Anlehnung an verschiedene Literaturbeispiele (ALDAG et al. 1977, BERGER 1990, DREESMANN 1992, EULENSTEIN 1988, FOERSTER und KLEINE 1990, GARBE 1987, ILGEN 1990, JUSTUS 1996, KOCH 1996, KORTE 1989, LÜTKE ENTRUP et al. 1990, RADERSCHALL und GEBHART 1990, SCHARF et al. 1991, SCHARTOW 1998, SCHMIDT 1997, STEFFENS und VETTER 1983, WANTULLA 1987, WESCHKE 1985, WILDMANN 1989) wiederum zwei verschiedene typische Fruchtfolgen bzw. Vorfrüchte für den Anbau von Zwischenfrüchten und eine spezifische Kombination von zwei bis drei Anbauzielen für den Zwischenfruchtanbau auf. Die befragten Experten machten ihre Angaben

jedoch häufig auch zu von ihnen variierten Fruchtfolgen bzw. Vorfrüchten und geänderten Anbauzielkombinationen, so dass sich je Standort zwischen zwei und acht Varianten der pflanzenbaulichen Situation ergaben, für die Informationen gewonnen werden konnten. In der Summe wurden 68 Anbauverfahren für insgesamt 32 Anbausituationen recherchiert. Für einen Großteil der Verfahrensvorschläge liegt die Einschätzung nur eines einzelnen Experten zugrunde, für viele Varianten konnte nur ein Verfahren recherchiert werden. Für eine der ursprünglichen Varianten (Fallbeispiel 3a, vgl. Tab. 3.4) konnten keine Expertenangaben gewonnen werden.

Um die von den Experten vorgeschlagenen Anbauverfahren mit den Ergebnissen des DSS vergleichen zu können, wurden die Fragebögen so gestaltet, dass sich die Expertenvorschläge für die Zwischenfruchtanbauverfahren aus den gleichen Elementen (Maßnahmen) und Ausprägungen dieser Elemente zusammensetzten, die auch das DSS unterstützt. Folgende Verfahrenselemente (und Ausprägungen) wurden erfragt: Methode der Saatbettbereitung (fein, mittel, grob) und Saatgutablage (Drillsaat, Breitsaat, Untersaat) (= Bestellverfahren), Zwischenfruchtart bzw. -gemenge, Saattermin (Herbst/Frühjahr: früh, mittel, spät, bei Untersaaten; Dekaden zwischen Mitte Juli und Ende September bei Stoppelsaaten/Winterzwischenfrüchten), Saatmenge (gering, normal, hoch) und Höhe der Stickstoffdüngung (in Stufen von 20 kg N/ha zwischen 0 und 100 kg N/ha). Zusätzlich erfragte Verfahrenselemente (Zwischenfruchtsorte, Deckfrucht-Management bei Untersaaten, Pflegemaßnahmen und Aufwuchsnutzung der Zwischenfrüchte) wurden von nahezu keinem Experten beantwortet. Für weitere Vergleiche der Vorschläge mit den DSS-Ergebnissen sollten die Verfahren von den Experten auch hinsichtlich der mit ihnen erreichbaren Zielgrößen Biomasse und Deckungsgrad (jeweils im Spätherbst und vor Frühjahrsumbruch) sowie hinsichtlich des Erfolges beim Erreichen der jeweiligen Anbauziele (jeweiliger Zielerfüllungsgrad zwischen 0 = nicht erfüllt und 1 = erfüllt) bewertet werden.

Für alle Varianten der Fallbeispiele, für die Expertenangaben vorlagen, wurden auch Anbauverfahrensvorschläge mit dem DSS ermittelt. Um die DSS-Ergebnisse mit den Expertenangaben vergleichen zu können, wurden die verschiedenen Anbauverfahren einer Zwischenfruchtart je Fallbeispiel zu einem Verfahren zusammengefasst, das die Spannweite der Ausprägungen der einzelnen Verfahrenselemente widerspiegelt (z.B. Saattermin Mitte bis Ende August, Stickstoffdüngung 40-80 kg N/ha etc.). Je Fallbeispiel wurde folgendes verglichen: die Anzahl der vorgeschlagenen Anbauverfahren (bei Zielerfüllungsgraden > 0.8 und < 0.8), die Anzahl vorgeschlagener Zwischenfruchtarten (in den Kategorien: beim DSS gleich, zusätzlich, fehlend) und die Übereinstimmung der aggregierten Anbauverfahren je gleiche Zwischenfrucht hinsichtlich verschiedener Charakteristika. Als Charakteristika der Anbauverfahren wurden die Verfahrenselemente (Saattermin, Bestellverfahren, N-Düngung, Saatmenge), die Zielgrößen der Bestandesentwicklung (Biomasse, Deckungsgrad, in Spätherbst bzw. Frühjahr) und die Zielerfüllungsgrade der jeweiligen Anbauziele herangezogen. Lagen Überschneidungen bei den Spannweiten der Ausprägungen der jeweiligen Charakteristika vor, wurden die jeweiligen Verfahrensvorschläge hinsichtlich des Charakteristikums als übereinstimmend angesehen. Anschließend wurde das Gesamtergebnis für alle Fallbeispiele quantitativ ausgewertet.

Tab. 3.4: Standorte, Anbausituationen und deren Einflussfaktoren für die Vorhersage- und Face-Validierung des DSS.

Nr.	Nieder- schlag [mm/a]	Boden- art, AZ ¹	Standort- beispiele	Fruchtfolge ²	Vorfrucht der Zwischenfrucht	Frühest- er Saat- termin ³	Anbauziele ⁴									Expert- en ⁵			
							NK	N2	BS	OS	BG	UB	FN	UK	NB	E	AV		
1a b c d e f g h	ca. 500 (470- 530)	SI2 (40)	Ostbranden- burg, Meck- lenburg- Vorpommern	WRa (ZF) - SW - WR - Ha	Winterraps	E Jul	x		x	x							3	4	
				WRa (ZF) - SW - WR - Ha	Winterraps	E Jul			x	x	x							1	1
				KG-Kart-SW(ZF)-FE-WW-WR	Sommerweizen	M Aug		x						x				2	4
				WRa - WW (ZF) - Mais - WR	Winterweizen	M Aug	x		x	x								1	1
				WRa - WW (ZF) - Mais - WR	Winterweizen	M Aug	x		x		x							2	3
				WRa - WW (ZF) - Mais - WR	Winterweizen	M Aug		x	x				x					1	1
				WRa - WW - Mais (ZF) - SG	Mais	M Sep	x		x									1	1
				WRa - WW - Mais (ZF) - SG	Mais	M Sep		x	x				x					1	1
2a b c		Ls3 (65)	Rheinessen Sachsen, Sachsen- Anhalt	ZR - WW - WW (ZF)	Winterweizen	A Aug	x		x						x	2	4		
				ZR - SG - WW (ZF)	Winterweizen	A Aug	x			x			x			2	3		
				ZR - WW - SG (ZF)	Sommergerste	M Aug	x		x	x							1	4	
3a b c		Ut3 (>90)	Magdeburger Börde, Halle, Thüringer Becken	ZR - WW - WG (ZF)	Wintergerste	A Jul			x		x				x	-	-		
				ZR - SW (ZF) - FE - WG	Sommerweizen	M Aug	x		x	x			(x)			2	4		
				ZR - SW (ZF) - FE - WG	Sommerweizen	M Aug			x	x				x		1	1		
4a b c	ca. 650 (620- 680)	S (40)	Nordwest- deutsche Geest, Ober- rheinebene	Kart - WR (ZF) - ZR - SG	Winterroggen	A Aug	x			x						2	4		
				Kart - WR (ZF) - ZR - SG	Winterroggen	A Aug		x		x						2	1		
				Kart - WG (ZF) - ZR - SG	Wintergerste	M Jul		x	x	x						1	1		
5a b c d e		Lt3 (65)	Mittelgebirge (Rheinisches Schieferge- birge, Mittel- deutschland, Hessen, Franken, Sachsen)	KG-WW-WR(ZF)-Mais-WW-WR	Winterroggen	A Aug		x	x				x			1	3		
				KG-SW-SG(ZF)-AB-WW-WR	Sommergerste	M Aug			x				x	x		1	1		
				AB(ZF) - SW - WG - Ha	Ackerbohne	E Aug	x		x	x						2	5		
				WRa - WW - WR(ZF) - Ha	Winterroggen	M Aug	x		x					x		1	1		
				WRa - WW - WR(ZF) - Ha	Winterroggen	M Aug	x				x			x		1	1		
6a b c d		Ut3 (>90)	Braun- schweig- Hildesheimer Lößbörde, Wetterau	ZR - WW - WG (ZF)	Wintergerste	A Jul	x		x						x	1	1		
				ZR - SW (ZF) - Ha - WG	Sommerweizen	M Aug	x		x		x				2	2			
				ZR - SW (ZF) - Ha - WG	Sommerweizen	M Aug			x		x			x		1	1		
				ZR - SW (ZF) - Ha - WG	Sommerweizen	M Aug		x		x	x					1	1		
7a b c	ca. 800 (750- 850)	S (40)	Oldenburg, Emsland, Niederrhein, Schleswig- Holstein	Mais - WG (ZF) - Mais - WR	Wintergerste	A Jul	x		(x)	(x)			x			1	4		
				Mais - WW (ZF) - Mais - WR	Winterweizen	A Aug	x		(x)	(x)			x			1	2		
				Mais - WR (ZF) - Mais - WR	Winterroggen	M Aug	x						x			1	3		
8a b		Lt3 (65)	Schwäbisch- Fränkische Alb, Eifel, Sauerland, Oberbayern	KG- Kart- SW- AB- WR(ZF)- Ha	Winterroggen	M Aug		x					x	x		1	1		
				KG- Kart- SW- AB- WR(ZF)- Ha	Winterroggen	M Aug		x	x		x					1	1		
9a b c		Ut3 (>90)	Soester Bör- de, Kraich- gau, Gäu, Niederbayern	ZR - WW (ZF) - AB - WW - WG	Winterweizen	A Aug	x		x		x					1	1		
				ZR - WW - WG (ZF)	Wintergerste	M Jul	x		x	x						2	3		
				ZR - WW - WG (ZF)	Wintergerste	M Jul	x			x		x				1	2		

Erläuterungen:

¹ AZ = Ackerzahl, SI2 = schwach lehmiger Sand, Slu = lehmig-schluffiger Sand, Ut3 = mittel toniger Schluff, S = Sand, Lt3 = mittel toniger Lehm

² WW = Winterweizen, WR = Winterroggen, WG = Wintergerste, SW = Sommerweizen, SG = Sommergerste, Ha = Hafer, ZR = Zuckerrüben, WRa = Winterraps, Kart = Kartoffeln, ÖL = Öllein, AB = Ackerbohnen, FE = Felderbse, KG = Kleegras, (ZF) = Zwischenfrucht (als Untersaat, Stoppelsaat oder Winterzwischenfrucht)

³ A = Anfang, M = Mitte, E = Ende, Jul = Juli, Aug = August, Sep = September

⁴ NK = Stickstoffkonservierung, N2 = Luftstickstoff-Fixierung, BS = Bodenschutz, OS = Anreicherung von organischer Substanz, BG = Verbesserung der Bodengefüges, UB = Unterbodenlockerung, FN = Futternutzung (hier: Weide), UK = Unkrautverdrängung, NB = Nematodenbekämpfung.

⁴ Expertenvorschläge: E = Anzahl der Experten je Fallbeispiel, AV Anzahl der vorgeschlagenen Anbauverfahren je Fallbeispiel.

3.5.5 Beurteilung von DSS-Ergebnissen

Die angeschriebenen wissenschaftlichen Experten sollten über die oben dargestellte Angabe von optimalen Anbauverfahren hinaus auch die DSS-Ergebnisse für die jeweiligen Fallbeispiele kritisch beurteilen. Hierfür wurden im Frühjahr 2000 noch während der DSS-Entwicklung entsprechende Anbauempfehlungen mit dem DSS berechnet und in dafür erstellte Fragebögen integriert. Je Experte enthielten diese Fragebögen Ergebnisse für sechs der 18 oben genannten Fallbeispiele (vgl. Tab. 3.4). Wie bei der Vorhersage-Validierung schlossen die Anbauempfehlungen die Angabe der empfohlenen Fruchtarten, der Anbauverfahrenselemente, die Höhe der berechneten Zielgrößen Biomasse, Deckungsgrad und Stickstoffaufnahme (jeweils Herbst, Frühjahr), die Verfahrenskosten und die berechneten Zielerfüllungsgrade ein. Sofern das DSS mehrere Anbauverfahren vorschlug, wurden die Verfahren abgestuft nach dem Erfolg der Zielerfüllung in einem Ranking bewertet und sortiert dargestellt. Die Experten sollten die Ergebnisse sowohl hinsichtlich der Plausibilität der empfohlenen Fruchtarten und Anbauverfahren, als auch hinsichtlich der Höhe der Zielgrößen, der Zielerfüllungsgrade und der Reihung bewerten und gegebenenfalls kommentieren. Diese Vorgehensweise kommt einer *Face-Validierung* des DSS nahe, bei der das DSS (bzw. dessen Ergebnisse) durch ein Projektteam oder externe Experten kritisch beurteilt werden soll (KURBEL 1992).

Die Ergebnisse dieser Experten-Beurteilung flossen anschließend in die Entwicklung und Verbesserung des DSS ein (sog. Prototyping, SCHNEIDER 1994), so dass verbesserte Vorhersage-Ergebnisse möglich wurden (vgl. Vorhersage-Validierung, Kap. 6.3). Die Kritik der Experten lässt sich also nur auf den damaligen DSS-Entwicklungsstand beziehen und muss mit den aktuellen Ergebnissen der Vorhersage-Validierung verglichen werden. Zusätzlich wurden weitere Informationen in direkten Gesprächen mit einzelnen Experten eingeholt, um die notwendigen Verbesserungen durchführen zu können (LÜTKE ENTRUP und GRÖBLINGHOFF 2000, PAULY 2000). Die Ergebnisse dieser Gespräche wurden in Gedächtnisprotokollen dokumentiert. Die DSS-Ergebnisse für die Beurteilung und die Bewertungen der Experten sowie die Gedächtnisprotokolle sind im Anhang A7, A8 bzw. A9 dargestellt.

4 Pflanzenbauliches Wissen für die DSS-Entwicklung

Entscheidungen über Handlungsalternativen im Zwischenfruchtanbau (Anbauform und Anbauverfahren) werden durch die natürlichen Anbauvoraussetzungen (Bodenart und Klima des jeweiligen Standortes), die Fruchtfolge (einschl. Erntezeitpunkt der Vorfrucht und Anbauzeitpunkt der Folgefrucht), die Gesamtkosten und die Anbauziele bestimmt (LEHMANN und ROSENBERG 1991, RENIUS et al. 1992, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, LÜTKE ENTRUP 1995, DIEPENBROCK et al. 1999). Das pflanzenbauliche Wissen für die Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems erstreckt sich deshalb auf Wissen zum Zielsystem (Anbauziele, deren Zielinhalte, Zielgrößen und Präferenzen), zum Entscheidungsfeld (Zustandsraum mit Zustandsvariablen, Entscheidungsraum mit Entscheidungsvariablen, Informationen zum Aufbau von Ergebnisfunktionen für die Zielgrößen) sowie zum Bewertungssystem (Bestimmung von Nutzengrößen).

4.1 Anbauziele des Zwischenfruchtanbaus

Zwischenfrüchte werden wegen verschiedener Nutzungsmöglichkeiten und ihren vielfältigen günstigen Wirkungen auf die Fruchtfolge angebaut (Anbauziele). Die Anbauziele haben einen sehr großen Einfluss auf die Wahl der Zwischenfrucht und die Gestaltung der Anbauverfahren. Neben dem allgemeinen Ziel einer Auflockerung der Fruchtfolge durch Erhöhung der Artenvielfalt werden als wichtigste Anbauziele des Zwischenfruchtanbaus die folgenden genannt (z.B. ROSTOCK 1981, PREUSCHEN und BERNATH 1983, GEISLER 1988, KREUZ 1988, BUCHNER und KOLBE 1989, VUILLE 1989, LAL et al. 1991, LEHMANN und ROSENBERG 1991, BRUNOTTE et al. 1992, RENIUS et al. 1992, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, GERHOLD 1993, VON KESSEL 1994, LÜTKE ENTRUP 1995, BOCKHOLT 1996b, HAMPL 1996, INGELS et al. 1994, BERENDONK 1997 und 2001, SOMMER und RIECKMANN 1997, HEGE 1998, RIECKMANN und SOMMER 1998, DIEPENBROCK et al. 1999, ROTH 2000, LUNA 2002):

- Futternutzung (als Weide-, Grün- oder Silagefutter)
- Verbesserung und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit (Gründüngung):
 - Zufuhr von Organischer Bodensubstanz
 - Verbesserung des Bodengefüges (Förderung der Krümelstruktur)
 - Auflockerung von Unterbodenverdichtungen
 - Stickstoffanreicherung durch Leguminosen (Luftstickstoff-Fixierung)
 - Biologische Unkrautbekämpfung
 - Phytosanitäre Wirkung (Nematodenbekämpfung)
- Boden- und Gewässerschutz:
 - Bodenschutz vor Wind- und Wassererosion
 - Nährstoffkonservierung (Verwertung von Wirtschaftsdüngern und Nährstoffen, die nicht mehr von der Hauptfrucht genutzt werden können, und Vermeidung der Nitrat- auswaschung in der winterlichen Sickerperiode)

Allgemein gilt, dass die ökologischen Funktionen des Zwischenfruchtanbaus am sichersten durch einen rasch bodendeckenden, besonders in der Anfangsentwicklung massenwüchsigen Pflanzenbestand erreicht werden (LAL et al. 1991, BERENDONK 1997). Tab. 4.1 stellt hinsichtlich der genannten Anbauziele Leistungspotenziale verschiedener Zwischenfrüchte dar,

die aus Literaturquellen gewonnen werden konnten. Im Folgenden werden die Anbauziele des Zwischenfruchtanbaus, ihre Zielinhalte und Präferenzen näher charakterisiert.

4.1.1 Futternutzung

Zwischenfrüchte erlauben bei der Wahl geeigneter Arten eine Futternutzung in Herbst oder Frühjahr. Sie können dabei sowohl als Stoppelsaat, als auch als Untersaat angelegt werden. Als Nutzungsformen bieten sich Weidefutter, Grünfutter oder Silage für die überjährige Reserve an (EICH et al. 1978, ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, KREIL et al. 1983, OBENAUF 1984a, LEHMANN 1987, GEISLER 1988, KREUZ 1988 und 1990, BUCHNER und KOLBE 1989, ROTH 1990, GARDNER und FAULKNER 1991, RENIUS et al. 1992, GERHOLD 1993, SIMON 1993, VON KESSEL 1994, BERENDONK und THUIR 1995, SOMMER und RIECKMANN 1997, RIECKMANN und SOMMER 1998, BERENDONK 2001). Die einzelnen Pflanzenarten eignen sich jedoch nur unterschiedlich gut für die jeweilige Nutzungsform, was sich insbesondere in Futterqualität und Ertrag widerspiegelt (vgl. Tab. 4.1). Die Futterqualität ist abhängig von Saat- und Schnitttermin und lässt sich über den Gehalt an Trockensubstanz (im Frischfutter), an Rohprotein, Rohfasern sowie der Nettoenergieleistung bestimmen.

Für ein wiederkäuergerechtes Futter muss auf eine Ansaatmischung aus rohfaserhaltigen (Gräser) und eiweißreicheren Arten (Kreuzblütler, Leguminosen; ca. 15-30%) bzw. auf sich ergänzende Weideflächen geachtet werden (GEISLER 1988, GARDNER und FAULKNER 1991, RENIUS et al. 1992, BECKMANN 1998). Hauptanbaubedeutung für die Futternutzung haben – neben Winterroggen, Wickroggen, Winterrübsen sowie Winter- und Sommerraps – Einjähriges und Welsches Weidelgras sowie Klee-Grasgemische wie Einjähriges Weidelgras + Perserklee bzw. Alexandrinerklee oder Deutsches Weidelgras + Weißklee bzw. Inkarnatklee (ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, KREIL et al. 1983, VON KESSEL 1994, LÜTKE ENTRUP 1995, SOMMER und RIECKMANN 1997, RIECKMANN und SOMMER 1998, BERENDONK 2001).

Schnittwürdige Erträge entsprechen nach EICH et al. (1978) sowie KREIL et al. (1983) mindestens 80 dt Frischmasse/ha bzw. einer Trockenmasse von ca. 10 dt TS/ha. DIEPENBROCK et al. (1999) geben sogar mindestens 20 dt TS/ha an. Um ausreichend Biomasse bilden zu können, müssen Stoppelsaaten deshalb möglichst bald nach der Ernte einer frühräumenden Vorfrucht (z.B. Wintergerste, Frühkartoffeln) bestellt werden (RENIUS et al. 1992, SOMMER und RIECKMANN 1997, BECKMANN 1998). Aus Futterqualitätsgründen sollte die Bestellung hauptsächlich erfolgreich erfolgen und das Stroh abgefahren werden (RENIUS et al. 1992, SOMMER und RIECKMANN 1997). Gras- und Klee-Grasuntersaaten unter Winterroggen und Wintergerste können bereits im August/September, die übrigen Sommerzwischenfrüchte ab Ende September bis z.T. in den Dezember Weidefutter liefern (EICH et al. 1978, RENIUS et al. 1992, SIMON 1993). Das Beweiden oder Abmähen zur Futternutzung beeinträchtigt, außer bei Lupinen, die Gründüngungswirkung von Stoppelfrüchten (insbesondere die Anreicherung von organischer Substanz: SIMON 1982, BUCHNER und KOLBE 1989, RENIUS et al. 1992). Detaillierte Angaben zur Eignung, Nutzungsterminen und Erntetechnik unterschiedlicher Ansaaten finden sich beispielsweise bei SIMON (1982 und 1993). Die meisten Anbauziele von Zwischenfrüchten, z.B. Unkrautunterdrückung, Nährstoffkonservierung, lassen sich aber mit der Futternutzung verbinden und sogar positiv verstärken (OBENAUF 1984a, GARDNER und FAULKNER 1991).

Tab. 4.1: Leistungspotenziale verschiedener Zwischenfrüchte hinsichtlich verschiedener Anbauziele (nach BUCHNER und KOLBE 1989, RENIUS et al. 1992, BERENDONK und THUIR 1995).

Zwischenfrucht	Futternutzung			Gründüngung										Mulchsaat-eignung Mais	Zucker-rüben	Bienen weide
	Weide	Grün-futter	Silage	all-gemein	O.S.-Anrei-cherung	Boden-gefüge verbes-erung	Unter-boden-lockerung	N ₂ -Fixie-rung	Un-kraut-bekäm-pfung	Nematoden-bekämpfung	Zucker-rüben	Kartof-feln	Nähr-stoff-konser-rierung			
Dt. Weidelgras	3	2	3	3	2	3	0	0	3	0	2	2	3	0	0	0
Einj. Weidelgras	2	3	3	3	3	3	0	0	3	0	1	2	3	1	0	0
W. Weidelgras	3	3	3	3	3	3	0	0	3	0	1	2	3	1	1	0
Winterroggen	2	3	2	2	2	2	2	0	1	0	0	1	2	1	0	0
Sommerraps	1	2	2	3	2	2	1	0	3	0	0	2	2	1	0	3
Winterraps	2	2	2	2	2	2	1	0	3	0	0	2	3	1	0	0
Sommerrüben	1	2	1	3	2	2	2	0	3	0	0	2	3	1	0	3
Winterrüben	2	1	1	3	2	2	2	0	3	0	0	3	3	1	0	0
Stoppelrüben	2	2	3	1	1	2	5	0	1	0	0	1	1	0	0	0
Futterkohl	0	2	2	1	1	2	2	0	2	0	0	1	1	0	0	0
Ölrettich	1	1	1	3	2	2	3	0	3	3	3	3	3	1	1	3
Gelbsenf	0	0	1	3	2	2	1	0	3	3	0	2	2	1	1	3
Sareplasanf	0	1	2	3	2	2	1	0	3	0	0	2	2	0	0	3
Phacelia	0	1	1	3	2	3	1	0	3	1	0	2	3	1	1	3
Sonnenblume	1	1	2	3	2	3	3	0	2	0	0	2	3	1	0	2
Kulturmalve	0	1	0	2	2	2	2	0	3	0	0	2	2	0	0	0
Buchweizen	0	1	0	2	2	3	1	0	3	2	2	2	3	1	1	2
Weißklee	3	2	1	2	2	2	0	3	3	0	0	1	2	0	0	2
Rotklee	2	2	1	3	3	2	3	3	3	0	0	1	3	0	0	3
Perserklee	2	2	0	2	2	2	0	3	3	0	0	1	2	1	1	2
Inkarnatklee	1	2	1	2	2	2	0	3	3	0	0	1	3	1	1	2
Alexandrinerklee	2	2	1	2	2	2	0	3	3	0	0	1	3	1	1	2
Erdklee	1	0	0	3	2	2	1	3	3	0	0	1	2	1	1	2
Steinklee	0	0	0	3	2	2	3	3	0	0	0	1	2	0	0	3
Serradella	2	2	1	3	2	2	3	3	3	0	0	1	3	0	0	2
Sommerwicke	1	1	1	2	2	2	1	3	3	0	0	1	2	1	1	2
Winterwicke	0	2	1	2	3	3	1	3	3	0	0	1	3	0	0	2
Weißer Bitterlupine	0	0	0	3	2	1	3	3	2	0	3	1	3	0	1	1
Blaue Bitterlupine	0	0	0	3	2	1	3	3	2	0	3	1	3	0	1	1
Gelbe Süßlupine	0	1	1	3	2	1	3	3	2	0	3	1	3	0	1	1
Ackerbohne	1	1	1	2	2	2	1	3	2.5	0	0	1	2	1	0	1
Felderbse	1	2	1	2	2	2	1	3	2.5	0	0	1	2	1	0	1
Platterbse	1	2	1	3	2	2	2	3	3	0	0	1	2	0	0	1
Knautgras	3	3	2	3	3	3	0	0	3	0	0	2	3	1	1	0
Wiesenschwingel	3	3	3	3	2	3	0	0	3	0	0	2	2	1	1	0
Rotschwingel	3	2	2	3	2	3	0	0	3	0	0	2	2	1	1	0
EWg + WWg	3	3	3	3	3	2	0	0	3	0	1	3	3	1	0	0
WWg + WRa	2	2	2	3	2	2	1	0	3	0	1	3	2	1	0	0
WWg + SB	2	2	2	3	2	2	2	0	3	0	1	2	2	1	0	0
WWg + WK	3	1	2	3	3	3	0	2	3	0	0	3	3	0	0	2
DWg + WK	3	1	1	3	3	3	0	2	3	0	0	3	3	0	0	2
EWg + PK	2	3	2	3	3	3	0	2	3	0	0	2	2	1	0	2
EWg/WWg + AK	2	3	2	3	3	3	0	2	3	0	0	2	2	1	1	2
WWg + IK	1	3	2	3	3	3	0	2	3	0	0	3	3	1	1	2
WWg + WK + RK	3	3	2	3	3	3	2	2	3	0	0	3	3	0	0	2
WWg + WK + GK	3	2	2	3	3	3	2	2	3	0	0	3	3	0	0	2
Rot- u. Weißklee	3	2	1	3	3	3	2	3	3	0	0	1	3	0	0	3
Gelb- u. Weißklee	3	2	1	3	2	2	2	3	3	0	0	1	2	0	0	3
WWg + IK + WWi	2	3	2	1	3	3	0	2	3	0	0	3	3	1	1	2
WR + WWi	0	2	2	1	2	2	2	2	3	0	0	2	2	1	0	0
WRa + FE + SWi	2	2	0	2	2	2	1	2	3	0	0	1	3	1	0	2
WRa /SRa + FE	0	2	0	2	2	2	1	2	3	0	0	1	3	1	0	2
WRa /SRa + SWi	0	2	0	2	2	2	1	2	3	0	0	1	3	1	0	2
WRa + WL	0	0	0	3	2	2	3	2	3	0	0	1	3	0	0	0
AB + FE + SWi	0	2	0	2	2	3	1	3	2.5	0	0	1	3	1	0	2
AB + FE	0	2	0	2	2	3	1	3	2.5	0	0	1	3	1	0	2
AB + SWi	0	2	0	2	2	3	1	3	2.5	0	0	1	3	1	0	2
FE + SWi	0	2	0	2	2	3	1	3	2.5	0	0	1	3	1	0	2
Gelbklee	3	2	1	2	2	2	2	3	3	0	0	1	2	0	0	2

Zu den Abkürzungen der Zwischenfrüchte vgl. Tab. 5.1. Potenzialstufen: 0 = sehr gering (kein), 1 = gering, 2 = mittel, 3 = hoch.

4.1.2 Zufuhr von Organischer Bodensubstanz

Zwischenfrüchte führen dem Boden über Wurzelausscheidungen, ständig neugebildete und wieder abgestoßene Feinstwurzeln und über ihren abgestorbenen Spross organische Substanz zu. Diese ist aufgrund ihres günstigen C/N-Verhältnisses leicht zersetzbar und stellt bei günstiger Verteilung im Boden einen idealen Nährhumus dar. Bodenmikrobiologische Stoffwechselprozesse werden so gefördert und damit die Mineralisierung der organischen Bodensubstanz (Strohrotte) verbessert (MOHAMMADI 1974, ROTH 1974, 1987, 1988 und 1990, EICH et al. 1978, HARLFINGER 1980, OBENAUF 1980 und 1984a, ZITTERELL 1981, BECKER und BUHLMANN 1982, ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, PREUSCHEN und BERNATH 1983, KLIMANEK 1987a, LEHMANN 1987, GEISLER 1988, KREUZ 1988, 1990, 1991a und c, ILGEN 1990, BRUCE et al. 1991, DRURY et al. 1991, LAL et al. 1991, RENIUS et al. 1992, CLAUPEIN 1994, VON KESSEL 1994, HAMPL 1996, STOPES et al. 1996, HEGE 1998, DIEPENBROCK et al. 1999, LUNA 2002). Dieses Anbauziel ist deshalb besonders auf leichten, sandigen Böden mit einem hohen Umsatz an organischer Substanz bedeutsam. Je sorgfältiger die Bestellung der Gründüngung durchgeführt wird und je länger die Vegetation dauert, um so mehr Pflanzensubstanz wird erzeugt und um so tiefer und intensiver werden Krume und Unterboden von feinsten Wurzeln durchzogen. Je nach Ansaatverfahren können durchschnittlich 35-50 dt TS/ha, z.T. bis zu 95 dt TS/ha, an Nährhumus produziert werden (BECKER und BUHLMANN 1982, ROTH 1986, 1988 und 1990, KLIMANEK 1987a/b, ROTH et al. 1988, BÖNING et al. 1988, KREUZ 1990b und 1991a, RENIUS et al. 1992, HEGE 1998).

Je nach Menge der Pflanzenrückstände, ihrem Alter und ihrer Zusammensetzung werden die einzelnen Zwischenfruchtarten in ihrer Zielleistung unterschiedlich bewertet (HARLFINGER 1980, KLIMANEK 1987a/b, BUCHNER und KOLBE 1989, EICH et al. 1978). Besonders gut beurteilt werden Gräser und Klee gras, weil sie große Mengen an Wurzelsubstanz bilden, die erst allmählich während der Vegetationszeit der Folgefrucht wieder mineralisiert wird (KUNDLER et al. 1981 in ROSTOCK 1981, ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, ROTH 1986, KLIMANEK 1987a, LEHMANN 1987, RENIUS et al. 1992, LÜTKE ENTRUP 1995, vgl. auch Kap. 4.1.9). Insbesondere bei einem langjährigen Zwischenfruchtanbau konnte eine Erhöhung des Humusgehaltes nachgewiesen werden (RENIUS et al. 1992, CLAUPEIN 1994). BUGG (1991) empfiehlt, den Zwischenfruchtbestand vor Umbruch möglichst lange abreifen zu lassen, um den Ligningehalt zu erhöhen. Auch der Verzicht auf eine wendende Bodenbearbeitung (z.B. Untersaaten) kann dem Abbau der organischen Substanz entgegenwirken (MOHAMMADI 1974, ROTH 1986, 1987, 1988 und 1990, ROTH et al. 1988, BRUCE et al. 1991, BUCHNER 1993b). So unterscheiden BRUCE et al. (1991) auch zwischen eingearbeiteter Pflanzensubstanz und Zwischenfruchtmulch, der bei konservierender Bodenbearbeitung auf der Bodenoberfläche verbleibt. Besonders vorteilhaft wirkt sich eine Kombination von Grün- und Strohdüngung aus (z.B. ROTH 1974, HARLFINGER 1980). Allerdings kann die Strohdüngung wegen einer schlechteren Wasser- und Stickstoffverfügbarkeit auch die Zwischenfruchtetablierung behindern (CHRISTOPH et al. 1991, RENIUS et al. 1992, EICH et al. 1978, HEGE 1998). Bei gleichzeitiger Futternutzung von Sommerzwischenfrüchten verringert sich die Zufuhr an organischer Substanz um 20-30 % (Gräser) bzw. 40-60 % (übrige Zwischenfrüchte, SIMON 1982, BRUNOTTE et al. 1992).

4.1.3 Verbesserung des Bodengefüges

Zwischenfrüchte üben einen positiven Einfluss auf die bodenbiologische Aktivität und das Bodengefüge aus und bringen damit eine Verbesserung verschiedener bodenphysikalischer Eigenschaften mit sich (ZADRAZIL 1971, MUSHTAQ 1973, BOGUSLAWSKI et al. 1976, EICH et al. 1978, KREMER-SCHILLINGS 1981, ZITTERELL 1981, ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, LOH 1983, PREUSCHEN und BERNATH 1983, KLÄY 1984, GEISLER 1988, BUCHNER und KOLBE 1989, MCVAY et al. 1989, KREUZ 1990b, 1991c und 2000, RENIUS et al. 1992, GRUBER 1994, HAMPL 1996, HEGE 1998, DIEPENBROCK et al. 1999, BERENDONK 2001). Die leicht abbaubare organische Substanz des intensiven Wurzelwerks von Zwischenfrüchten führt dem Boden Energie und Nährstoffe zu, die Bodenmikroorganismen und Regenwürmern als Nahrungsquelle dienen. Pilzmyzel und Bakterienkolonien können Bodenpartikel und Haarwurzeln umhüllen und stabile Bodenaggregate bilden (ZADRAZIL 1971, BRAMM und CZERATZKI 1977, LEHMANN 1987, MCVAY et al. 1989, LAL et al. 1991, HAMPL 1996, RENIUS et al. 1992, LUNA 2002). Es wird hier von „lebendverbauten beständigen Krümeln“ (Krümelstabilität) gesprochen (SEKERA in RENIUS et al. 1992), die der Krume eine schwammartige Struktur mit großen Oberflächen verschaffen (HAMPL 1996). Diese drückt sich u.a. in einer Erhöhung des Porenvolumens, einer erhöhten Speicherkapazität für Luft und Wasser, einer verbesserten Bearbeitbarkeit sowie Belastbarkeit der Böden und einer verringerten Verschlammungsneigung aus. Sie fördert vielfältige Stoffwechselprozesse im Boden und wird in der Landwirtschaft als der „Garezustand des Bodens“ bezeichnet (ZADRAZIL 1971, MUSHTAQ 1973, EICH et al. 1978, OBENAUF 1980, PREUSCHEN und BERNATH 1983, KLÄY 1984, RENIUS et al. 1992, HAMPL 1996). Restsubstanzen vorhergehender Kulturen sowie Rückstände von Pflanzenschutzmitteln können schneller abgebaut werden. In der Regel muss ein „garer“ Boden für die Folgekultur nicht mehr erneut gepflügt oder tief bearbeitet werden (LÜTKE ENTRUP in RENIUS et al. 1992, HAMPL 1996).

Prinzipiell eignen sich für eine Gründüngung zur Erhöhung der Krümelstabilität und der damit verbundenen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit alle Zwischenfruchtarten (SOMMER und RIECKMANN 1997), diese sollten aber ein besonders intensives Wurzelwachstum aufweisen (PREUSCHEN und BERNATH 1983, HAMPL 1996). Gründüngung und Strohdüngung wirken bei richtiger Einmulchtechnik bei der Krümelbildung komplex zusammen und verstärken sich positiv (ZADRAZIL 1971, BOGUSLAWSKI et al. 1976, LOH 1983, RENIUS et al. 1992). Die Bodenstrukturverbesserung lässt sich auch mit anderen Anbauzielen wie der Futternutzung kombinieren (BUCHNER 1993b).

4.1.4 Auflockerung von Unterbodenverdichtungen (Unterbodenlockerung)

Zwischenfruchtpflanzen mit tiefgreifenden Wurzelsystemen (Pfahlwurzler) tragen zur Durchlüftung und Erschließung des Unterbodens bei (EICH et al. 1978, PREUSCHEN und BERNATH 1983, GEISLER 1988, RENIUS et al. 1992, BUCHNER 1993b, GRUBER 1994, HAMPL 1996, BERENDONK 2001, LUNA 2002). Indem sie den verfestigten Unterboden biologisch stabilisieren und Wirkungsmöglichkeiten für Bodentiere wie Regenwürmer schaffen, können Pflugsohlenverdichtungen und Strukturschäden beseitigt werden. So wird das Risiko von Ertragseinbußen der Nachfrucht durch Staunässe im Wurzelbereich verringert.

Empfohlen wird das mechanische Aufbrechen von Unterbodenverdichtungen (z.B. durch den Zweischichtenpflug) und der anschließende Anbau von Ölrettich, Raps, Ackerbohnen, Platt-erbsen, Serradella, Rotklee oder Lupinen als Stoppelsaat nach Winter- oder Sommergetreide (ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, PREUSCHEN und BERNATH 1983, RENIUS et al. 1992, BUCHNER 1993b). Aber auch Gemenge mit Gräsern wie Inkarnatklee plus Einjähriges Weidelgras, Alexandrinerklee plus Einjähriges Weidelgras oder Winterraps plus Deutsches Weidelgras sind geeignet. Auch dieses Anbauziel lässt sich mit anderen Zielen wie Futternutzung kombinieren (BUCHNER 1993b).

4.1.5 Stickstoffanreicherung durch Leguminosen

Leguminosen werden im Zwischenfruchtbau vor allem wegen ihrer Fähigkeit Luftstickstoff zu fixieren und somit die Fruchtfolge biologisch mit Stickstoff anzureichern angebaut (HARGROVE 1986, ZUHRT und MÄRTIN 1987, BERENDONK 1997, HEGE 1998, OPITZ VON BOBERFELD und BECKMANN 1998, DIEPENBROCK et al. 1999). Sie haben deshalb besonders im organischen Landbau und auf sehr nährstoff- und humusarmen Böden eine große Bedeutung (EICH et al. 1978, KLUGE und SCHRAMM 1990, AUBURN und BUGG 1991, DORAN und SMITH 1991, KREUZ 1991c, SIMON 1993, INGELS et al. 1994, KÖNIG 1996, STOPES et al. 1996, SOMMER und RIECKMANN 1997, WIVSTAD 1997, MÖLLER und REENTS 1999). Die Symbiose mit den N-sammelnden Knöllchenbakterien (Rhizobien) wirkt sich v.a. im fortgeschrittenen Wachstumsabschnitt positiv auf N-Versorgung der Pflanzen aus, so dass – bei geringem Angebot an mineralischem Bodenstickstoff – auch ein Stickstoffvorrat zugunsten der Nachfrüchte aufgebaut werden kann (ROTH 1974, MITCHELL und TEEL 1977, ZITTERELL 1981, ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, ROUGHLEY et al. 1983, KLÄY 1984, HARGROVE 1986, EULENSTEIN 1988, SARRANTONIO und SCOTT 1988, McVAY et al. 1989, RUSSELL und HARGROVE 1989, WAGGER 1989a/b, HOLDERBAUM et al. 1990, LEMON et al. 1990, HOYT und MIKKELSEN 1991, LAL et al. 1991, MEISINGER et al. 1991, TORBERT und REEVES 1991, WALLGREN und LINDÉN 1991, RANNELLS und WAGGER 1997, BECKMANN 1998, RIECKMANN und SOMMER 1998, VAUGHAN und EVANYLO 1998, LUNA 2002). Die symbiontisch fixierte Stickstoffmenge lässt sich über die erweiterte Differenzmethode aus dem Stickstoffmehrertrag von Leguminosen gegenüber Nichtleguminosen, zzgl. der jeweiligen Mineralstickstoffmenge im Boden, berechnen (MANZKE und CLAUPEIN 1991, BECKMANN 1998), obwohl diese Methode die N_2 -Fixierungsleistung gegenüber ^{15}N -Messungen um 8-10% unterschätzt (PAGEL 1994).

Als geeignete Arten für den Sommerzwischenfruchtanbau werden v.a. Grobleguminosen wie Ackerbohne, Felderbse, Sommerwicke und Lupine genannt, im Winterzwischenfruchtanbau Winterwicke und Inkarnatklee (ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, HOLDERBAUM et al. 1990). Auch ohne zusätzliche N-Gabe können Zwischenfruchtleguminosen (Erbsen-Lupinen-Gemenge) ähnlich hohe Stickstoffmengen im Aufwuchs wie Nichtleguminosen aufweisen (BERENDONK 1997). Eine mäßige Stickstoffdüngung kann Biomasseproduktion und N_2 -Fixierungsleistung deutlich erhöhen (SCHOMBERG und WEAVER (1990), hohe N_{\min} -Mengen im Boden hemmen die N_2 -Fixierung (BECKMANN 1998). Auf Lößböden (Ackerzahl 65) ermittelte BERENDONK (1997) eine N_2 -Fixierungsleistung in Höhe von ca. 80 kg N/ha bei einer Stickstoff-

aufnahme von ca. 40 kg N/ha aus dem Bodenvorrat. ESSER und LÜTKE ENTRUP (1982), ZUHRT und MÄRTIN 1987 sowie EICHHORN (2000) nennen Werte von ca. 40-80 kg N/ha (vgl. auch KLÄY 1984, WAGGER 1989b, LAL et al. 1991, WALLGREN und LINDÉN 1991, SCHAUPP 1993, RANELLS und WAGGER 1997). Für Sommerwicke bzw. Perserklee geben BECKMANN (1998) sowie OPITZ VON BOBERFELD und BECKMANN (1998) N₂-Fixierungsleistungen von 100-150 kg N/ha bei frühen Saatterminen, bzw. 35-110 kg N/ha bei späten Saatterminen an (vgl. auch MITCHELL und TEEL 1977, HARGROVE 1986, MCVAY et al. 1989, HOLDERBAUM et al. 1990, DORAN und SMITH 1991, HOYT und MIKKELSEN 1991, MEISINGER et al. 1991, KÖNIG 1996, LUNA 2002). Bei Gras-Leguminosen-Gemengen sind die entsprechenden Werte mit 40-110 kg N/ha bzw. 20-90 kg N/ha um ca. 20-60% niedriger.

Da die stickstoffreichen Ernterückstände von Leguminosen besonders leicht umgesetzt werden, sollten diese Bestände möglichst spät, frühestens im Spätherbst bzw. Winter bei nachlassenden Temperaturen oder erst im Frühjahr umgebrochen werden, damit der Stickstoff der Nachfrucht zugeführt werden kann (BERENDONK 1991 und 1997, LAL et al. 1991, WALLGREN und LINDÉN 1991, RENIUS et al. 1992, STOPES et al. 1996, VAUGHAN und EVANYLO 1998, MÖLLER und REENTS 1999). Die genannten Leguminosen lassen sich zugleich auch als eiweißreiche Futterpflanzen (Grünfütter oder Silage) nutzen. Eine Mischung von Grobleguminosen mit Gräsern, Kleearten und Kreuzblütlern verringert dabei die Kosten und ermöglicht eine größere Anbausicherheit und eine schnellere Bodenbedeckung (ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, BECKMANN 1998).

4.1.6 Biologische Unkrautbekämpfung

Die Regulierung des Unkrautbesatzes durch Zwischenfrüchte hat besonders in engen Fruchtfolgen Bedeutung, die eine unzureichende Bodenbedeckung, starke Bodenverdichtungen und einen hohen Besatz an Problemunkräutern aufweisen. Sie ist aber auch eine interessante Alternative für Landwirte, die ihre Herbizidanwendungen (v.a. Voraufbau-Herbizide) nicht intensivieren bzw. reduzieren möchten oder wie im Organischen Landbau überhaupt keine Pflanzenschutzmittel anwenden (PREUSCHEN und BERNATH 1983, HAMPL 1996, BECKMANN 1998), und ist somit ein Beitrag zur Verbesserung der Oberflächen- und Grundwasserqualität (WORSHAM et al. 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992). Schnell wachsende und intensiv den Boden bedeckende Zwischenfrüchte (z.B. Ölrettich, Phacelia oder Untersaaten) können nach der Getreideernte gekeimte Unkräuter und Ausfallgetreide durch Konkurrenz leicht verdrängen (OBENAUF 1980, KREMER-SCHILLINGS 1981, PREUSCHEN und BERNATH 1983, WERNER 1986, ROTH 1987, VUILLE 1989, WILDMANN 1989, KREUZ 1990b, MERKELBACH 1990, SCHUMANN 1990 und 1994a/b, SMUKALSKI und ROGASIK 1990, BERENDONK 1991 und 2001, GRÖBLINGHOFF et al. 1991, HEYLAND und MERKELBACH 1991, LAL et al. 1991, SCHULTHEIS 1991, SMUKALSKI et al. 1991, WORSHAM et al. 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, KVIST 1992, SCHUMANN und HEYLAND 1992, AMMON et al. 1995, BOCKHOLT 1996b, HEGE 1998, RIECKMANN und SOMMER 1998, DIEPENBROCK et al. 1999). Auch der Mulch abgestorbener Zwischenfrüchte im Frühjahr kann eine vergleichbare Wirkung wegen verringerter Licht- und Wärmedurchlässigkeit haben (TEASDALE und MOHLER 1993). Durch die

Förderung der sog. „Bodengare“ unter dem Zwischenfruchtbestand werden im Boden befindliche Unkräuter zusätzlich zum Keimen angeregt, die dann ebenfalls von den Zwischenfrüchten verdrängt werden können (RENIUS et al. 1992). Die Unkrautunterdrückung durch Kleeuntersaaten in Getreide ist größer als durch Gräser und umso stärker, je früher die Untersaat erfolgt (ROTH 1987, MERKELBACH 1990, HEYLAND und MERKELBACH 1991). Eine vollständige Verdrängung der Unkräuter wird jedoch nicht erreicht. Es wird auch von einer unkrautunterdrückenden Wirkung durch die Ausscheidung sog. Allelochemikalien durch Zwischenfrüchte berichtet (PUTNAM 1986, 1990 in LUNA 2002, LAL et al. 1991, WORSHAM et al. 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992). Spätsaatverträgliche Arten wie Phacelia, Raps, Rübsen, Ölrettich oder Senf sind geeignet eine Zeitspanne ohne Bodenbedeckung nach der Getreideernte für eine flache Stoppelbearbeitung zur mechanischen Unkrautbekämpfung zu nutzen (BERENDONK 1991, GRUNDWÜRMER 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, LÜTKE ENTRUP 1995, SOMMER und RIECKMANN 1997). Stoppel- und Untersaatmischungen können sogar speziell auf Unkrautvernichtung ausgerichtet werden. So kann z.B. Ölrettich gegen schwer bekämpfbare Wurzelunkräuter, wie einen hohen Quecken- oder Distelbesatz, eingesetzt werden (RENIUS et al. 1992, HAMPL 1996).

Bei Fehlern in der Bodenbearbeitung oder zu später Saat spätsaatempfindlicher Arten können allerdings auch unzureichende, lückige Bestände entstehen, die das Unkraut nur schlecht unterdrücken (WILDMANN 1989, KREUZ 1991c, WUNDERLICH et al. 1992, VON KESSEL 1994, LÜTKE ENTRUP 1995, BOCKHOLT 1996b, BARKUSKY et al. 1991, SCHUMANN 1994a/b, RIECKMANN und SOMMER 1998). Gleiches gilt auch für extreme Frühsaaten von Sommerraps, Sommerrübsen oder Gelbsenf, die aufgrund ihrer photoperiodischen Reaktion sehr schnell in eine generative Phase übergehen, dabei Stängel und Blüten bilden und nur noch eine geringe Blattmasse aufweisen. Wegen der Gefahr der Samenbildung müssen diese Bestände noch im Herbst abgehäckselt werden, was ihre unkrautunterdrückende Wirkung weiter schmälert (LÜTKE ENTRUP 1990). Um das Durchwachsen und spätere Aussamen winterharter Zwischenfrüchte in der Nachfrucht (z.B. Winterwicken in Sommerweizen) zu vermeiden, wird vor dem Umbruch der Zwischenfrucht ein sorgfältiges Abschneiden der Bestände empfohlen (INGELS et al. 1994, HAMPL 1996).

4.1.7 Phytosanitäre Wirkung (insbesondere Nematodenbekämpfung)

Allgemein gilt, dass durch den Zwischenfruchtanbau wegen der *Auflockerung der Fruchtfolgen*, besseren Wachstumsbedingungen und einer positiven Allelopathie zwischen einzelnen Pflanzenarten negative Auswirkungen von Schaderregern, insbesondere epidemisch auftretende Krankheiten bei den Hauptkulturen sowie die Abundanz von Schädlingen, vermindert werden (ROTH 1974, EICH et al. 1978, ZITTERELL 1981, PREUSCHEN und BERNATH 1983, BUGG 1991, LAL et al. 1991, INGELS et al. 1994, HAMPL 1996, WYLAND et al. 1996, KOCH 1997, GUERTAL et al. 1998, HEGE 1998, LUNA 2002). So lässt sich die im Kartoffelanbau häufig zu findende virusbedingte *Eisenfleckigkeit* durch den Anbau von Zwischenfrüchten eindämmen. Diese Krankheit wird durch das Tabak-Rattle-Virus ausgelöst, das durch Nematoden der Gattungen *Trichodorus* und *Paratrichodorus* übertragen wird und an Kartoffelknollen „eisenflecki-

ge“ Nekrosen verursacht (ROSTOCK 1981, RENIUS et al. 1992). Die Krankheit wird auch durch verschiedene Unkräuter (z.B. Hirtentäschelkraut) übertragen und tritt auf Böden mit hohem Porenvolumen besonders in nassen Jahren bzw. bei Beregnung auf. Mit der richtigen Auswahl an Zwischenfrüchten - insbesondere Lupinen, Örettich und Weidelgräser - lässt sich der Schorfbefall an den Kartoffeln reduzieren. Rübsen, Raps, Phacelia und Gelbsenf scheiden in gefährdeten Gebieten für den Zwischenfruchtanbau aus (EICH et al. 1978, ROSTOCK 1981, HEINECKE 1983 in LEHMANN 1987, RENIUS et al. 1992, BOCKHOLT 1996b).

Im Rübenanbau ist die chemische Bekämpfung von *Rübennematoden* (Rübenzystenälchen, *Heterodora schachtii*) bereits seit den 1980er Jahren durch biologische Verfahren abgelöst worden (RENIUS et al. 1992). Speziell gezüchtete Örettich- und Senfsorten sind in der Lage, die Besatzdichte der Rübennematoden erheblich zu vermindern (COENEN 1980, VUILLE 1989, VON KESSEL 1994, KOCH 1997, SOMMER und RIECKMANN 1997, RIECKMANN und SOMMER 1998, BERENDONK 2001). In den resistenten Sorten können sich die eingewanderten Weibchen nicht bis zur Zystenbildung entwickeln, da sie dafür ein sehr hohes Nahrungsangebot benötigen. Dieses wird ihnen von den Zwischenfrüchten nicht zur Verfügung gestellt, so dass dadurch die Besatzdichte erheblich reduziert wird. Eine 100%ige Wirkung wird jedoch nicht erzielt, da die gesamte Krume mit Unterboden nur selten vollkommen von den Pflanzen durchwurzelt wird, wie es beispielsweise bei einer Frühjahrsbegrünung der Fall wäre (RENIUS et al. 1992, BUCHNER 1993b, KOCH 1997). Um einen möglichst hohen Bekämpfungserfolg zu gewährleisten, sollte die Aussaat von nematodenresistenten Örettich und Gelbsenf früh (bis spätestens Anfang August) erfolgen, da für den Schlupf der Larven hohe Bodentemperaturen erforderlich sind (LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, BERENDONK 1991, VON KESSEL 1994, SOMMER und RIECKMANN 1997, RIECKMANN und SOMMER 1998, BERENDONK 2001).

4.1.8 Bodenschutz vor Wind- und Wassererosion

Bodenerosion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ist v.a. auf verarmte Fruchtfolgen mit wenigen Kulturpflanzen und den bevorzugten Anbau von Reihenkulturen wie Zuckerrüben und Mais zurückzuführen. Darüber hinaus wirken Form und Intensität der Bodenbearbeitung (Pflugeinsatz) und lange Zeiten ohne Bodenbedeckung erosionsverstärkend (PREUSCHEN und BERNATH 1983, AUERSWALD 1986, FRIELINGHAUS et al. 1988 und 1997a/b, WOLFGARTEN et al. 1988, GOECK 1989a und b, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, BARKUSKY und FRIELINGHAUS 1991, BRUNOTTE 1991, GRUNDWÜRMER 1991, LANGDALE et al. 1991, SCHÄFER 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RÜEGG 1994, HAMPL 1996, MAIDL und GRUNDWÜRMER 1996, MAIER 1998, BORK et al. 1999). Über den Bodenabtrag erfolgt auch ein Austrag von an Bodenpartikel gebundenen Phosphaten aus landwirtschaftlich genutzten Flächen und damit ein möglicher Eintrag in Oberflächengewässer, wodurch deren Eutrophierung verstärkt wird (LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, WERNER et al. 1989 in BRUNOTTE et al. 1992, SHARPLEY und SMITH 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, LÜTKE ENTRUP 1995).

Einen wirksamen Schutz vor Bodenerosion (Wasser- und Winderosion) in der Zeit zwischen zwei Hauptfrüchten bietet eine im Herbst und evtl. im Frühjahr intensiv wachsende und möglichst geschlossene Pflanzendecke eines Zwischenfruchtbestandes. Gleiches gilt für den

Strohmulch der Vorfrucht (Strohkompost) sowie für den Mulch erfrorener Zwischenfrüchte im Winter und anschließenden Frühjahr (EICH et al. 1978, AUERSWALD et al. 1986, ZUHRT und MÄRTIN 1987, BARKUSKY 1986 und 1988, ROTH 1987, 1988 und 1990, FRIELINGHAUS et al. 1988 und 1997a/b, KREUZ 1988, WOLFGARTEN et al. 1988, BUCHNER und KOLBE 1989, GOECK 1989a und b, KAINZ 1989 und 1991, WILDMANN 1989, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, MARTIN 1990, BARKUSKY und FRIELINGHAUS 1991, BRUNOTTE 1991, GRUNDWÜRMER 1991, KESSEL und DAHMS 1991, LANGDALE et al. 1991, SCHÄFER 1991 und 1992, SHARPLEY und SMITH 1991, BRUNOTTE et al. 1992, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, SCHAUPP 1993, RÜEGG 1994, HEGE 1998, MAIER 1998, DIEPENBROCK et al. 1999, FRIELINGHAUS und SCHÄFER 1999, BERENDONK 2001). Die Schutzwirkung beruht zum einen auf der feinverteilten Wurzelmasse, der Erhöhung des Grobporenanteils im Boden sowie der Aggregatstabilität. Damit verbunden ist eine erhöhte Wasserspeicherkapazität und verbesserte Wasserinfiltration in den Boden und ein dadurch verminderter oberirdischer bzw. oberflächennaher Wasserabfluss sowie Bodenabtrag (PREUSCHEN und BERNATH 1983, AUERSWALD 1984 und 1986, FRIELINGHAUS et al. 1988 und 1997a, KAINZ 1989 und 1991, MCVAY et al. 1989, RUSSELL und HARGROVE 1989, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, MARTIN 1990, LAL et al. 1991, NADERMAN 1991, SCHÄFER 1992, HAMPL 1996). Zum anderen beruht die Schutzwirkung auf einer dichten Bodenbedeckung mit Pflanzenmaterial, die die Verschlammungswirkung durch Regentropfenerosion verringern kann (AUERSWALD 1984 und 1986, MARTIN 1990, KAINZ 1991, LAL et al. 1991, LUNA 2002) und deren Effektivität durch eine ausreichend große Biomasse und ein möglichst lang andauernde Bodenbedeckung bestimmt wird (LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, HAMPL 1996, HEGE 1998). FRIELINGHAUS et al. (1997a/b) geben für einen wirksamen Schutz vor Wassererosion Richtwerte von ≥ 20 dt TS/ha bzw. $> 50\%$ Bodendeckung, bei Winderosion $> 20\%$ Bodendeckung durch Pflanzen(-rückstände) vor (vgl. auch LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992). Die Schutzwirkung kann sich ohne nachfolgende (konservierende) Bodenbearbeitung auch über die zeitliche Dauer, in der die Pflanzenbestände auf dem Schlag stehen, hinaus erstrecken (z.B. AUERSWALD 1984, LÜTKE ENTRUP 1995).

Nicht absterbenden Winterzwischenfrüchten (z.B. Winterraps, Winterrüben, Welsches Weidelgras, Inkarnatklie, Winterwicke, Grünroggen) wird der größte Bodenschutzeffekt zugesprochen (BARKUSKY 1988, FRIELINGHAUS et al. 1988, LANGDALE et al. 1991, BOCKHOLT 1996b). SCHÄFER (1991 bzw. 1986, in BRUNOTTE et al. 1992) wies bei mehrjährigen Untersuchungen keine signifikanten Unterschiede verschiedener Zwischenfrüchte (Welsches Weidelgras, Grünroggen, Gelbsenf, Erdklie) nach und gibt für den Zeitraum zwischen Vorfruchternte und Aussaat der Nachfrucht abgetragene Bodenmengen von $3 - 404 \text{ g/m}^2$ bzw. einen relativen Bodenabtrag (im Vergleich zum unbedeckten Boden) von $3 - 32\%$ an (vgl. auch AUERSWALD 1986, AUERSWALD et al. 1986, BARKUSKY 1988, WOLFGARTEN et al. 1988, GOECK 1989 a und b, WILDMANN 1989). AUERSWALD (1984), KAINZ 1989 und 1991 sowie LANGDALE et al. (1991) verweisen sogar auf eine Reduktion der Bodenerosionsverluste von bis zu 96% bzw. 99% . Um Bodenerosion bei sich spät entwickelnden Reihenkulturen (Mais, Ackerbohnen) zu vermeiden, wird auch die gleichzeitige Untersaat konkurrenzschwacher Arten wie z.B. Erdklie, Weißklie, Deutsches Weidelgras, Knaulgras, Rot- oder Schafschwingel in Mais empfohlen (KLÄY 1984, ZUHRT und MÄRTIN 1987, FRIELINGHAUS et al. 1988, LAL et al. 1991,

SCHÄFER 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, BUCHNER 1993a, SANDBRINK 1995, FRIELINGHAUS und SCHÄFER 1999). In Winter- oder Sommergerste bieten sich z.B. Knäulgrasuntermischaaten an (BARKUSKY und FRIELINGHAUS 1991, KREUZ 1991a, FRIELINGHAUS et al. 1997a).

4.1.9 Nährstoffkonservierung

Stickstoffbedürftige Zwischenfrüchte sind in der Lage, erhebliche Reststickstoffmengen (Nitrat- und Ammoniumstickstoff), die im Boden nach der Ernte der Hauptfrucht verbleiben, aufzunehmen und vor einer Verlagerung mit den Winterniederschlägen zu bewahren (BRAMM und CZERATZKI 1977, EICH et al. 1978, ZITTERELL 1981, STEFFENS und VETTER 1983, ELMERS und HARTMANN 1986 und 1987, FOERSTER 1987, GUSTAFSON 1987, LEHMANN 1987, WANTULLA 1987, BERTILSSON 1988, GEISLER 1988, KLASSE 1988, KÜNKEL und STEINBRENNER 1988, SMUKALSKI und OBENAUF 1988, WOLFGARTEN et al. 1988, DRECHSLER und EULENSTEIN 1989, JUERGENS-GSCHWIND 1989, MACHET und MARY 1989, MULLER et al. 1989, RUSSELL und HARGROVE 1989, STEENVOORDEN 1989, ULSCHNER und NEUMANN 1989, WAGGER 1989b, WILDMANN 1989, CHAPOT et al. 1990, FOERSTER und KLEINE 1990, GUIRAUD et al. 1990, JUSTUS und KÖPKE 1990 und 1991, KLUGE und SCHRAMM 1990, LÜTKE ENTRUP et al. 1990 und 1998b, ILGEN 1990, MARTINEZ und GUIRAUD 1990, RADERSCHALL und GEBHARDT 1990, ROTH 1990 und 1991, SHEPHERD und LORD 1990, SMUKALSKI und ROGASIK 1990, DREESMANN und KÖPKE 1991, EVANYLO 1991, HOYT und MIKKELSEN 1991, JENSEN 1991, LEHMANN et al. 1991, MEISINGER et al. 1991, PAGEL und ZOSCHKE 1991, SCHARF et al. 1991, SMUKALSKI et al. 1991, WALLGREN und LINDÉN 1991, BRUNOTTE et al. 1992, HERZOG und KONRAD 1992, LÜTKE ENTRUP 1992b, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, SCHMALER et al. 1992, SHIPLEY et al. 1992, WUNDERLICH et al. 1992, BERGER et al. 1993, CLAUPEIN 1993 und 1994, FIEGENBAUM 1993, JACKSON et al. 1993, SCHAUPP 1993, SØRENSEN 1993, SØRENSEN und THORUP-KRISTENSEN 1993, INGELS et al. 1994, VON KESSEL 1994, LICKFETT et al. 1994, PAGEL 1994, RÜEGG 1994, STICKSEL 1994, WEISE et al. 1994, AUFHAMMER et al. 1995, LÜTKE ENTRUP 1995, HAMPL 1996, LATUS et al. 1996, WYLAND et al. 1996, BERENDONK 1997 und 2001, RANELLS und WAGGER 1997, HEGE 1998, MAIER 1998, SAINJU et al. 1998, SCHARF 1998, THOMSEN und CHRISTENSEN 1998, VAUGHAN und EVANYLO 1998, DIEPENBROCK et al. 1999, BERGSTRÖM und JOKELA 2000, LUNA 2002). Gleiches gilt auch für andere leicht lösliche Nährstoffe wie Kalium, Calcium, Magnesium, Bor sowie Phosphate (OBENAUF 1980, HARGROVE 1986, MCVAY et al. 1989, SMUKALSKI und ROGASIK 1990, LAL et al. 1991, MEISINGER et al. 1991, SCHRÖDER und WOLL 1986, BUCHNER und KOLBE 1989, FRICKE et al. 1996, EICHLER 1997, LUNA 2002). Neben dem Reststickstoff können sie auch solchen Stickstoff aufnehmen, der im Spätsommer und Herbst aus dem organisch gebundenen Bodenvorrat durch Mineralisation v.a. bei warm-feuchten Bedingungen freigesetzt wird, sowie Stickstoff aus zusätzlicher Gülleüngung (z.B. WANTULLA 1987, KREUZ 1988 und 1990, SCHULZ 1990, STÖHRING und REHBEIN 1990). Durch den Aufbau von Trockenmasse in Spross und Wurzeln wird Stickstoff organisch gebunden und kann erst durch Remineralisation wieder verfügbar werden. Bei einer starken Wuchsleistung im Herbst können hierbei bis zu 200 kg N/ha aufgenommen wer-

den (VETTER und STEFFENS 1982, EULENSTEIN 1988, DRECHSLER und EULENSTEIN 1989, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, BERENDONK 1997, MAIER 1998).

Zusätzlich vermindern Zwischenfrüchte durch ihre Wasseraufnahme und Evapotranspiration die Sickerwassermenge, je nach Trockenmasseproduktion und Jahresniederschlag um 10-20% bzw. 20-170 mm. Dadurch kann die Versickerungsrate der Nährstoffe und die Nährstoffkonzentration im Sickerwasser herabgesetzt bzw. der Sickerwasserabfluss um ca. vier Wochen verlagert werden (BRAMM und CZERATZKI 1977, JÄGGLI 1978 in LEHMANN 1987, VETTER und STEFFENS 1982, STEFFENS und VETTER 1983, WANTULLA 1987, BERTILSSON 1988, KÜNKEL und STEINBRENNER 1988, JUERGENS-GSCHWIND 1989, MACHET und MARY 1989, RUSSELL und HARGROVE 1989, STEENVOORDEN 1989, CHAPOT et al. 1990, SHEPHERD und LORD 1990, AUBURN und BUGG 1991, GRÖBLINGHOFF et al. 1991, MEISINGER et al. 1991, REICOSKY und WARNES 1991, SMUKALSKI et al. 1991, HERZOG und KONRAD 1992, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, JACKSON et al. 1993, VON KESSEL 1994, PAGEL 1994, STICKSEL 1994, WYLAND et al. 1996, BERENDONK 1997, SCHATOW 1998). Ohne Zwischenfruchtanbau oder bei alleiniger Strohdüngung können hingegen große N-Verluste auftreten (z.B. KLASSE 1988).

Phacelia, Ölrettich, Gelbsef, Raps sowie Winterrüben wird ein hohes Nährstoffkonservierungspotenzial zugesprochen (BRAMM und CZERATZKI 1977, ELSERS und HARTMANN 1986 und 1987, FOERSTER 1987, WANTULLA 1987, BERTILSSON 1988, HEß und FRANKEN 1988, JUERGENS-GSCHWIND 1989, MACHET und MARY 1989, MULLER et al. 1989, ILGEN 1990, SCHULZ 1990, MAIDL et al. 1991, MEISINGER et al. 1991, SMUKALSKI et al. 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, JACKSON et al. 1993, LICKFETT et al. 1994, STICKSEL 1994, KÖNIG 1996, LATUS et al. 1996, BERENDONK 1997, MAIER 1998), ebenso Wickroggen, Winterroggen sowie Gräsern, die hohe Stickstoffmengen v.a. in der Wurzelsubstanz binden können, die wiederum erst allmählich während der Vegetationszeit der Folgefrucht freigesetzt werden (KREUZ 1988, RUSSELL und HARGROVE 1989, STEENVOORDEN 1989, WAGGER 1989a/b, ROTH 1990 und 1991, SHEPHERD und LORD 1990, JENSEN 1991, MEISINGER et al. 1991, PAGEL und ZOSCHKE 1991, LÜTKE ENTRUP 1992b, RENIUS et al. 1992, SHIPLEY et al. 1992, LÜTKE ENTRUP und STEMANN 1993, SØRENSEN 1993, SØRENSEN und THORUP-KRISTENSEN 1993, THOMSEN 1993, INGELS et al. 1994, PAGEL 1994, BERENDONK 1997, RANELLS und WAGGER 1997, SAINJU et al. 1998, THOMSEN und CHRISTENSEN 1998, VAUGHAN und EVANYLO 1998). BERGER und KRETSCHMER (1991), SCHMALER et al. 1992 bzw. BERGER et al. (1993) weisen darauf hin, dass nicht-winterharte Zwischenfrüchte nach einem frostbedingten Absterben und anschließender feucht-milder Witterung erhebliche Mengen des aufgenommenen Stickstoffs durch Mineralisation wieder freisetzen können (vgl. auch EULENSTEIN 1988, DRECHSLER und EULENSTEIN 1989, ILGEN 1990, DREESMANN und KÖPKE 1991, MAIDL et al. 1991, JACKSON et al. 1993, VAN DAM und FU 1996). VILSMEIER und GUTSER 1988, WAGGER (1989a/b), JENSEN (1991), SOMDA et al. (1991), LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992 sowie VAUGHAN und EVANYLO (1998) verweisen dazu auf den Zusammenhang zwischen relativem Stickstoffgehalt der eingearbeiteten Pflanzensubstanz und der Mineralisations- bzw. Immobilisierungsrate: so wird Stickstoff bei Gehalten $\leq 1,3$ % (C:N-Verhältnis $\geq 25-40$) (vorübergehend) immobilisiert (mehrwöchige Lag-Phase, schwer abbaubarer N-Pool), bei Gehalten \geq

1,8 % ($C:N \leq 25$) tritt Netto-Mineralisation auf (leicht abbaubarer N-Pool, vgl. auch HARLFINGER 1980, ZITTERELL 1981, HARGROVE 1986, GUTSER und VILSMEIER 1988, KREUZ 1988, SARRANTONIO und SCOTT 1988, MACHET und MARY 1989, RUSSELL und HARGROVE 1989, HOLDERBAUM et al. 1990, MARTINEZ und GUIRAUD 1990, DORAN und SMITH 1991, DRURY et al. 1991, EVANYLO 1991, HOYT und MIKKELSEN 1991, MICHALSKI et al. 1991, MEISINGER et al. 1991, SØRENSEN 1993, SØRENSEN und THORUP-KRISTENSEN 1993, INGELS et al. 1994, PAGEL 1994, RÜEGG 1994, LATUS et al. 1996, WIVSTAD 1997, LÜTKE ENTRUP et al. 1998b, SCHATOW 1998, THOMSEN und CHRISTENSEN 1998, LUNA 2002). Aus diesem Grund sind auch Leguminosen, die zusätzlichen Luftstickstoff fixieren, ein langsames Frühjahrswachstum aufweisen und deren abgestorbene Pflanzenmasse ($C:N$ -Verhältnis $\approx 8-16$, MOHAMMADI 1974, WAGGER 1989b, HOYT und MIKKELSEN 1991, BECKMANN 1998, MÖLLER und REENTS 1999) rasch mineralisieren kann, für dieses Anbauziel eher ungeeignet (BRAMM und CZERATZKI 1977, FOERSTER 1987, KÜNKEL und STEINBRENNER 1988, JUERGENS-GSCHWIND 1989, KLUGE und SCHRAMM 1990, MEISINGER et al. 1991, KVIST 1992, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, SHIPLEY et al. 1992, PAGEL 1994, SCHMIDT 1994, HAMPL 1996, KÖNIG 1996, MAIDL und AIGNER 1998, RYDBERG 1998, SAINJU et al. 1998, MÖLLER und REENTS 1999). Gemenge aus Leguminosen und Nichtleguminosen (z.B. Wickroggen) können hingegen sowohl Stickstoff effektiv konservieren, als diesen auch der Nachfrucht zügig zur Verfügung stellen (STÖHRING und REHBEIN 1990, MEISINGER et al. 1991, SHIPLEY et al. 1992, WUNDERLICH et al. 1992, KÖNIG 1996, BECKMANN 1998, VAUGHAN und EVANYLO 1998).

Das Potenzial der Nährstoffkonservierung kann durch pflanzenbauliche Maßnahmen (Art, Sorte, Saattermin, N-Angebot u.a.) gesteuert werden, v.a. muss ausreichend Biomasse aufgebaut werden, was eine hohe N-Aufnahme bewirkt (ELERS und HARTMANN 1986, SMUKALSKI und OBENAUF 1988, JUERGENS-GSCHWIND 1989, MACHET und MARY 1989, MULLER et al. 1989, STEENVOORDEN 1989, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, LÜTKE ENTRUP et al. 1990, LAL et al. 1991, MEISINGER et al. 1991, REICOSKY und WARNES 1991, SCHARF et al. 1991, SMUKALSKI et al. 1991, HERZOG und KONRAD 1992, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, SØRENSEN 1993, PAGEL 1994, LÜTKE ENTRUP 1995, SANDBRINK 1995, MAIDL und AIGNER 1998, VAUGHAN und EVANYLO 1998). Der Pflanzenbestand sollte besonders in der Anfangsentwicklung massenwüchsig sein, um den Boden rasch zu bedecken und das Bodenprofil tief und intensiv zu durchwurzeln (BERENDONK 1997, KLUGE und SCHRAMM 1990, MEISINGER et al. 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, SHIPLEY et al. 1992, VON KESSEL 1994, SAINJU et al. 1998, LUNA 2002). Besonders bedeutsam ist neben der Qualität von Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung der Saattermin: Stoppelsaaten sollten für eine umfangreiche N-Aufnahme bis spätestens Ende August gesät sein, bei Standorten mit frühem Vegetationsende auch früher (ELERS und HARTMANN 1986, SMUKALSKI und OBENAUF 1988, STEENVOORDEN 1989, FOERSTER und KLEINE 1990, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, LEHMANN et al. 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, MAIDL und AIGNER 1998). Zur Förderung einer raschen Jugendentwicklung wird meist auch eine Startdüngung von 20 bis 60 kg N/ha empfohlen (FOERSTER und KLEINE 1990, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, PAGEL 1994, LÜTKE ENTRUP 1995, vgl. Kap. 4.3.3/Düngung). Bei hohen Reststickstoffgehalten bzw. einer hohen Stickstoffnachlieferung wird allerdings angere-

ten auf eine Stickstoffdüngung zu verzichten (SMUKALSKI und OBENAUF 1988, GRÖBLINGHOFF et al. 1991, HERZOG und KONRAD 1992, BERENDONK 1997, MAIDL und AIGNER 1998). Bei spät nachfolgenden Hauptfrüchten wird auch von frühen Umbrüchen abgeraten. Brachezeiten zwischen Zwischenfrucht und Nachfrucht sollten möglichst kurz gehalten, eine Winterfurche mit langen Zeiten unbedeckten Bodens vermieden werden (KREIL et al. 1983, FOERSTER 1987, LEHMANN 1987, SMUKALSKI und OBENAUF 1988, MACHET und MARY 1989, FOERSTER und KLEINE 1990, LÜTKE ENTRUP und STEMANN 1990, KLUGE und SCHRAMM 1990, WALLGREN und LINDÉN 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, SØRENSEN und THORUP-KRISTENSEN 1993, PAGEL 1994, STICKSEL 1994, HAMPL 1996, KÖNIG 1996, ROTH 1996, MAIDL und AIGNER 1998). Eine Schnittnutzung zur Futtergewinnung kann zur Reduzierung von Nitratausträgen beitragen (KÖNIG 1996, vgl. auch STICKSEL 1994). Gasförmige Stickstoffverluste aus dem Zwischenfruchtmulch (Volatilisation von NH_3 bzw. N_2O -Denitrifikationsverluste), die in den ersten zwei Wochen nach dem Absterben bis zu 14% betragen können, können durch Einarbeitung des Pflanzenmaterials verhindert werden (RADERSCHALL und GEBHARDT 1990, JANZEN und MCGINN 1991, MICHALSKI et al. 1991, PAGEL 1994, WIVSTAD 1997).

Nach der späten Ernte von Mais oder Ackerbohnen mit z.T. sehr hohen Restnitratgehalten im Boden steht nur noch relativ wenig Vegetationszeit zur Verfügung. Hier bieten sich nur Untersaaten mit einem entsprechenden Vegetationsvorsprung im Vergleich zu Stoppelsaaten an. Nach der Ernte dieser Deckfrüchte vermögen die Untersaaten abhängig von der noch zur Verfügung stehenden Vegetationszeit durchschnittlich 30 bis 80 kg N/ha, z.T. bis zu 150 kg N/ha, aufzunehmen (LÜTKE ENTRUP und STEMANN 1990 und 1993, REICOSKY und WARNES 1991, TIGGES et al. 1991, LÜTKE ENTRUP 1992b, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, SHIPLEY et al. 1992, FIEGENBAUM 1993, GEBAUER 1993, POHLMANN 1993b, LÜTTMANN und MÜLLER 1994, SCHÖBERLEIN et al. 1994, SANDBRINK 1995, LÜTKE ENTRUP et al. 1998b).

4.1.10 Weitere Anbauziele

Bei geplanter *Mulchsaat der nachfolgenden Hauptkultur* (Mais, Zuckerrüben) wird allgemein eine sorgfältige, hauptfruchtmäßige Bestellung der Zwischenfrüchte angeraten (z.B. LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, BARKUSKY und FRIELINGHAUS 1991, BERENDONK 1991, BRUNOTTE 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, BOCKHOLT 1996b, SOMMER und RIECKMANN 1997, EICHHORN 2000, BERENDONK 2001). Ziel ist die Erstellung eines guten, gleichmäßigen und unkrautfreien Bestandes, der nach dem Abfrieren bzw. Abspritzen des Zwischenfruchtbestandes im Frühjahr gute Aussaatbedingungen für die anschließende Hauptfrucht gewährleistet. Auf diese Weise kann die Primärbodenbearbeitung bei trockenem Boden im Sommer erfolgen, die Zwischenfrucht vermag im Folgenden das günstige, lockere Bodengefüge biologisch zu stabilisieren. Besonders geeignete Arten für die Mulchsaat sind Gelbsenf und Phacelia (BARKUSKY 1988, BUCHNER und KOLBE 1989, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, BARKUSKY und FRIELINGHAUS 1991, GRUNDWÜRMER 1991, KAINZ 1991, KESSEL und DAHMS 1991, LÜTKE ENTRUP 1995, SOMMER und RIECKMANN 1997, RIECKMANN und SOMMER 1998), aber

aber auch Ölrettich und Sommerrüben (ZUHRT und MÄRTIN 1987, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, BOCKHOLT 1996b), die sich durch Spätsaatverträglichkeit auszeichnen, eine gute und schnelle Bodenbedeckung aufweisen und alle über Winter gut abfrieren (vgl. Tab. 4.1). Werden überwinterte Zwischenfruchtarten gewählt, müssen diese im Frühjahr in der Regel chemisch abgetötet werden. Erfolgt keine Abtötung, sind z.T. hohe Ertragsseinbußen durch Konkurrenz zu erwarten (LAL et al. 1991, SCHÄFER 1991, WORSHAM et al. 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992).

Die Überführung von Zwischenfruchtbeständen in eine anschließende *Hauptfrucht zur Futternutzung* oder *Grassamengewinnung* oder in nachfolgende *Rotationsbrache* bzw. *Dauerbegrünung* ist nahezu ausschließlich mit reinen Gras- bzw. Klee-grasansaat zu erreichen (BUCHNER 1993b, HAMPL 1996). Diese Zielsetzungen reichen aber über die eigentlichen Aufgaben des Zwischenfruchtanbaus hinaus.

Zwischenfruchtbestände können auch für die *Wildäsung* eine wichtige Aufgabe erfüllen und stehen deshalb im Interesse von Jägern und Jagdverbänden. So gilt z.B. ein Ölrettichbestand als hervorragende Deckung für Niederwild; für die Ansaat von Daueräsungsflächen und Wildäckern werden verschiedene artenreiche Gemenge aus Gräsern und Kleearten sowie Kreuzblütlern, Sonnenblumen, Buchweizen oder Grobleguminosen empfohlen (ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, EICHHORN 2000).

Blühende Zwischenfruchtbestände, besonders von Phacelia, Senf und Kleearten können insbesondere für Bienenzüchter eine Bedeutung als *Bienenweide* haben (ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, BUCHNER und KOLBE 1989, EICHHORN 2000). Auch für andere Nutzarthropoden stellen sie eine zusätzliche direkte oder indirekte Nahrungsquelle dar; positive Effekte auf Artenanzahl und -diversität, insbesondere von Bodenarthropoden, wurden beobachtet (BUGG 1991, LAL et al. 1991, BOCKHOLT 1996b, HAMPL 1996, HARENBERG 1997, LUNA 2002).

Schließlich wird auch ein *landschaftsästhetischer Aspekt* als mögliches Anbauziel genannt. So können blaublühende Phaceliafelder, gelbblühender Raps oder Senf oder tiefrotblühender Inkarnatklee die Kulturlandschaft optisch aufwerten und für den Spaziergänger im Herbst eine Bereicherung sein (HAMPL 1996, EICHHORN 2000).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es für den Zwischenfruchtanbau eine ganze Reihe verschiedener Anbauziele gibt, die sich – mit Einschränkungen – auch miteinander kombinieren lassen. So ist z.B. bei einem geplanten Anbauziel Bodenschutz eine gleichzeitige Futternutzung erst im Frühjahr (unmittelbar vor Aussaat der Nachfrucht) möglich. Bei einer Kombination von Futternutzung und Humusanreicherung müssen Einbußen bei der Zufuhr an organischer Substanz hingenommen werden. Die Zielerfüllung aller Anbauziele ist abhängig von wesentlichen *Zielgrößen der Bestandesentwicklung*: ober- und unterirdische Biomasse, Deckungsgrad sowie die aufgenommene N-Menge, jeweils im Spätherbst und Frühjahr.

4.2 Das Entscheidungsfeld im Zwischenfruchtanbau

Das Entscheidungsfeld des Zwischenfruchtanbaus wird durch Entscheidungsvariablen der Anbauverfahren (z.B. Saattermin, Bestellverfahren) sowie nicht-kontrollierbare Zustandsvariablen der betrieblichen Fruchtfolge (Vegetationszeit) und des Standortes (Klima, Witterungsbedingungen, Bodeneigenschaften) bestimmt, die bei der Bestandesentwicklung komplex zusammenwirken (z.B. MEISINGER et al. 1991, RENIUS et al. 1992). Sie lassen sich zu folgenden Einflussfaktoren zusammenfassen (ROTH 1998): *Vegetationszeit*, *Nährstoffangebot* (Stickstoffangebot), *Wasserangebot* (einschließlich der Bedingungen für den Feldaufgang) und zwischenfruchtspezifische *Bestandesentwicklungspotenziale*. Aufgrund jährlicher Schwankungen in der Länge der Vegetationszeit, ungünstiger Witterungsbedingungen (besonders Trockenperioden), Varianzen im Nährstoffangebot (v.a. Stickstoff), in der Bearbeitbarkeit des Bodens und in der verfügbaren Arbeitszeit, kann die Bestandesentwicklung der Zwischenfrüchte räumlich und zeitlich stark schwanken (LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, RENIUS et al. 1992, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, DIEPENBROCK et al. 1999; vgl. Tab. 4.2). Der Einfluss des pH-Wertes auf die Bestandesentwicklung wird als vernachlässigbar gering angesehen (ROTH 1998), weshalb dieser Faktor hier nicht berücksichtigt wird.

4.2.1 Einflussfaktoren auf die Bestandesentwicklung

Vegetationszeit

Die Anbauziele des Zwischenfruchtanbaus lassen sich nur verwirklichen, wenn für die Bestandesentwicklung eine ausreichende Vegetationszeit zwischen zwei Hauptfrüchten zur Verfügung steht (DEBRUCK et al. 1983, PREUSCHEN und BERNATH 1983, BARKUSKY 1988, GEISLER 1988, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, LAL et al. 1991, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, SØRENSEN 1993, GRUBER 1994, HAMPL 1996, BLOMBÄCK und ECKERSTEN 1997, FRIELINGHAUS et al. 1997a, HEGE 1998, DIEPENBROCK et al. 1999). Sie ist begrenzt durch die Ernte- und Saattermine von Vor- bzw. Nachfrucht sowie die Temperaturen bis zum Ende der Vegetationsperiode. Sie ist der wichtigste Faktor für die Wahl der Anbauform, das Ansaatverfahren und die Auswahl der Arten (PREUSCHEN und BERNATH 1983, LEHMANN 1987, GEISLER 1988, RENIUS et al. 1992, DIEPENBROCK et al. 1999). Oft spielt hier die verfügbare Arbeitszeit zur Zeit der Zwischenfruchtbestellung die entscheidende Rolle (LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992).

Die Vegetationszeit kann durch unterschiedlich früh einsetzende Herbstfröste von sehr unterschiedlicher Dauer sein. EICH et al. (1978) geben für Ostdeutschland ein durchschnittliches Vegetationsende um den 15. Oktober an, in günstigen Jahren sollen aber auch noch danach besonders von Kruziferen beachtliche Zuwachsraten erzielt werden können. Die Überwinterungsrate nicht winterharter Sommerzwischenfrüchte ist abhängig von Saatzeit und Feldaufgang (LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990). Spät auflaufende Pflanzen sind jünger und winterfester, bei üppigeren Beständen besteht die Gefahr im Winter abzufrieren. Daneben gibt es aber auch erhebliche Sortenunterschiede. In Klimabereichen mit kurzer Vegetationszeit wie in Schleswig-Holstein oder den Mittelgebirgen werden Untersaaten, Winterzwischenfrüchte oder spätsaatverträgliche Stoppelsaaten empfohlen (RENIUS et al. 1992, HAMPL 1996).

Unter den gegebenen Strahlungsbedingungen im ausgehenden Jahr ist der Saattermin der Zwischenfrucht eine wesentliche Kontrollmöglichkeit für die Länge der Vegetationszeit (Entscheidungsvariable). So soll jeder Wachstumstag im Juli zu einer besseren Bestandesentwicklung als eine Woche im September führen (LEHMANN 1987, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, ROTH 1998, vgl. auch KLIMANEK 1987b). Bei früher Aussaat und normalen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen können schon nach ca. 50 Vegetationstagen schnittwürdige Futtererträge erreicht werden (EICH et al. 1978).

Nährstoffangebot (Stickstoffangebot)

Um eine optimale Zielleistung der Zwischenfruchtbestände – insbesondere bei Futternutzung – zu erreichen, müssen diese optimal mit Nährstoffen versorgt sein (BLOMBÄCK und ECKERSTEN 1997, SOMMER und RIECKMANN 1997, DIEPENBROCK et al. 1999). Zum *Nährstoffangebot* (Stickstoffangebot) tragen neben einer mineralischen oder organischen Düngergabe (Entscheidungsvariable, vgl. Kap. 4.3) auch nutzbare Reststickstoffmengen nach der Vorfruchternte und die herbstliche Stickstoffnachlieferung des Bodens bei. Letztere kann auf besseren Böden ca. 30 bis 40 kg N/ha erreichen (BERENDONK 1991 und 1997). Bei Leguminosen ist auch ein Anteil aus der Luftstickstoff-Fixierung mit Hilfe von Knöllchenbakterien hinzuzurechnen (BERENDONK 1997). Bei organischen Düngern ist von einer allmählichen Zersetzung des Materials und somit von einer verzögerten bzw. vergleichsweise verringerten Nährstoffverfügbarkeit auszugehen (SØRENSEN 1993). So kann die Einarbeitung von Getreidestroh oder Maisstoppeln (weites C:N-Verhältnis ≈ 60) sowohl das Stickstoffangebot durch Netto-Immobilisation von ca. 0,8-1,2 kg N/dt Stroh, als auch die Stickstoffaufnahme von Zwischenfrüchten deutlich verringern (SARRANTONIO und SCOTT 1988, MACHET und MARY 1989, STÖHRING und REHBEIN 1990, JENSEN 1991, MICHALSKI et al. 1991, HERZOG und KONRAD 1992, THOMSEN und CHRISTENSEN 1998). Residuen mit engem C:N-Verhältnis (Leguminosen C:N ≤ 25) können wegen rascher Mineralisation hingegen noch Stickstoff freisetzen (vgl. auch CLAUPEIN 1994, LÜTKE ENTRUP et al. 1998b).

Wasserangebot und Feldaufgang

Das *Wasserangebot* eines Standortes kann anhand des Niederschlags und der Bodenart charakterisiert werden (PREUSCHEN und BERNATH 1983, BUCHNER und KOLBE 1989). Bei ausreichenden Niederschlägen lassen sich Zwischenfrüchte auf allen Böden anbauen (LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, LÜTKE ENTRUP 1995). In Trockengebieten hängt das Gelingen der Bestände entscheidend von den zur Verfügung stehenden Niederschlägen oder eventueller Grundwasserzufuhr ab (EICH et al. 1978, KAINZ 1991, RENIUS et al. 1992). So sind die Monate Juli und August, die Hauptwachstumszeit von Sommerzwischenfrüchten, in weiten Teilen Deutschlands mit durchschnittlich 80 mm Regen zwar die niederschlagsreichsten Monate (RENIUS et al. 1992), wenn aber ungünstige Witterungsbedingungen oder *Trockenperioden* insbesondere zu Beginn der Vegetationsperiode mit dem höchsten Strahlungsangebot auftreten, kann die Bestandesentwicklung leiden (BÖNING et al. 1988, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, RENIUS et al. 1992, SCHMIDTLEIN und HEI-

ßENHUBER 1992, CLAUPEIN 1993). Nach PREUSCHEN und BERNATH (1983) sind Schwankungen der Niederschläge von 60-140% in den einzelnen Jahren möglich. Auf Standorten, deren durchschnittlicher Jahresniederschlag geringer als 500-600 mm ist, wie z.B. in den Regenschattengebieten der Vordereifel, des Oberrheingrabens, des Thüringer Waldes sowie des Harzvorlandes bzw. in Nordost-Deutschland kann insbesondere in Trockenjahren häufig kein erfolgreicher Zwischenfruchtanbau betrieben werden (ROTH et al. 1988, KREUZ 1991a, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, BUCHNER 1993b, PEYKER und KERSCHBERGER 1995, HOFFMANN 1996, FRIELINGHAUS et al. 1997a).

Ein gleichmäßiger *Feldaufgang* wird auch in den Sommermonaten generell durch ein sorgfältig hergerichtetes, nicht zu lockeres, aber abgesetztes Saatbett sowie eine je nach Frucht angepasste und möglichst rasche Bestellung nach der Bodenbearbeitung gefördert (PREUSCHEN und BERNATH 1983, VUILLE 1989, CHRISTOPH et al. 1991, HAMPL 1996, BOCKHOLT 1996b, DIEPENBROCK et al. 1999). Er ist die Voraussetzung der erfolgreichen Etablierung eines Zwischenfruchtbestandes (PREUSCHEN und BERNATH 1983). Besonders auf leichteren Böden muss auf eine sachgerechte Bodenbearbeitung (ca. 20 cm Pflugtiefe) und eine sorgfältige Bestellung in ein festes Saatbett geachtet werden (Entscheidungsvariable; CHRISTOPH et al. 1991, GRÖBLINGHOFF et al. 1991, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, RENUIS et al. 1992). Bei Trockenheit und größeren Strohresten wird das Walzen des Saatbettes für einen optimalen Bodenschluss empfohlen (PREUSCHEN und BERNATH 1983, GRUNDWÜRMER 1991, RENUIS et al. 1992, HAMPL 1996, BOCKHOLT 1996b, SOMMER und RIECKMANN 1997), Bodenbearbeitung und Drillsaat sollten nicht länger als eine Stunde auseinander liegen (PREUSCHEN und BERNATH 1983). Für einen optimalen Feldaufgang wird auch geraten das Stroh abzufahren (z.B. bei geplanter Futternutzung; GEISLER 1988, RENUIS et al. 1992).

Die Ansprüche an die Wasserversorgung sind bei den einzelnen Arten unterschiedlich und müssen bei der Auswahl der Art mitberücksichtigt werden (BUCHNER und KOLBE 1989, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, DIEPENBROCK et al. 1999, vgl. Tab. 4.2). GRÖBLINGHOFF et al. 1991, POHLMANN 1993b sowie HOFFMANN (1996) geben einen durchschnittlichen Wasserbedarf (und -verbrauch) von 600-800 l Wasser je kg Trockensubstanz, entsprechend ca. 80-240 mm Niederschlag, an (z.B. Rotklee: vgl. KREUZ 1991c, MAIDL und BRUNNER 1998). KREUZ 1991c und MEISINGER et al. (1991) nennen Werte von ca. 300 l/kg Trockensubstanz (bei ausreichender Stickstoffdüngung, vgl. auch KREMER-SCHILLINGS 1981, KREIL et al. 1983, BERKOWITZ et al. 1986, in AUBURN und BUGG 1991, CHAPOT et al. 1990, SHEPHERD und LORD 1990, REICOSKY und WARNES 1991). Der Wasserverbrauch durch Zwischenfrüchte kann sich in Trockengebieten nachteilig auf Wachstum und Ertrag der Nachfrüchte und – beim Untersaatanbau – insbesondere der Deckfrucht auswirken (BARKUSKY 1986 und 1988, BÖNING et al. 1988, MACHET und MARY 1989, LEMON et al. 1990, DORAN und SMITH 1991, GARDNER und FAULKNER 1991, JENSEN 1991, LAL et al. 1991, MEISINGER et al. 1991, CLAUPEIN 1994, SCHMIDT 1994, SCHÖBERLEIN et al. 1994, FRIELINGHAUS et al. 1997a, SCHATOW 1998, ROTH 2000). Ähnliches gilt auch für eine verringerte Stickstoffverfügbarkeit (Netto-Immobilisation) bzw. allelopathische Effekte, die bei Mais und Zuckerrüben nach Grünroggen (mit weitem C:N-Verhältnis; MITCHELL und TEEL 1977, WAGGER 1989a, DORAN und SMITH 1991, EVANYLO 1991, LAL et al. 1991, MEISINGER et al. 1991, TORBERT und REEVES 1991, TOLLENAAR et al.

1993, RÜEGG 1994, VAUGHAN und EVANYLO 1998), Wintergerste (UISCHNER und NEUMANN 1989), Gräsern (MARTINEZ und GUIRAUD 1990, LÜTKE ENTRUP et al. 1998b) bzw. Phacelia (KREMER-SCHILLINGS 1981) beobachtet wurden.

In Trockengebieten wird deshalb entweder der Anbau abfrierender Zwischenfrüchte (STICKSEL 1994, SCHATOW 1998), von Arten wie Buchweizen, Phacelia, Sonnenblume (HAMPL 1996) oder Knaulgrasuntersaaten (KREUZ et al. 1988, ROTH 1990, 1991 und 2000, KREUZ 1991c und 2000), die einen geringen Wasserbedarf aufweisen und auch bei Trockenheit zügig auflaufen, oder von Gemengen, die einen höheren Leguminosen- als Grasanteil aufweisen (RENIUS et al. 1992), empfohlen. Bei schlechter Bearbeitbarkeit der Böden (z.B. schwere Tonböden, auf denen weder in trockenen noch in feuchten Sommern eine Stoppelsaat möglich ist) sollen Untersaaten gegenüber Stoppelsaaten vorgezogen werden (GEISLER 1988, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, KREUZ 1991a, RENIUS et al. 1992), deren Ansaatrisiko in Trockenperioden geringer ist (HAMPL 1996). Die Saatmenge bei Untersaaten sollte auf 30-50% der Blanksaatmenge reduziert werden (SCHMIDT 1994). Häufig wird in diesen Gebieten vom Zwischenfruchtanbau (als Untersaat) auch gänzlich abgeraten (z.B. POHLMANN 1993b, PEYKER und KERSCHBERGER 1995, HOFFMANN 1996 und 2000, KREUZ 2000, KÜHN 2001, PEYKER 2001). Ein früheres Abtöten der Bestände kann den Wasserverbrauch (bzw. N-Immobilisation) zugunsten der Nachfrucht einschränken (BARKUSKY 1988, EVANYLO 1991, MEISINGER et al. 1991, INGELS et al. 1994), ebenso wie eine Reduktion der Blattfläche durch Schröpfschnitt oder Beweidung (GARDNER und FAULKNER 1991, VAUGHAN und EVANYLO 1998). Der Mulch abgestorbener Zwischenfrüchte kann allerdings die Evaporation in nachfolgenden Trockenperioden wiederum mindern (SARRANTONIO und SCOTT 1988, WILDMANN 1989, TEASDALE und MOHLER 1993, vgl. auch KREUZ 1991c).

4.2.2 Ergebnisgrößen im Entscheidungsfeld

Für die Ermittlung der Zielerfüllung von Anbauzielen werden charakteristische Zielgrößen der Bestandesentwicklung benötigt (vgl. Kap. 4.1), die im Entscheidungsfeld als *Ergebnisgrößen* bestimmt werden können (vgl. Tab. 4.2, Tab. 3.2). Dabei haben die folgenden Ergebnisgrößen eine zentrale Bedeutung:

- *oberirdische Biomasse (im Spätherbst und Frühjahr),*
- *Deckungsgrad (im Spätherbst und Frühjahr) sowie*
- *aufgenommene N-Menge (im Spätherbst und Frühjahr).*

Aus den Expertenbefragungen (LÜTKE ENTRUP 1998, PAULY 1998, ROTH 1998, BACHINGER 1999) konnten insbesondere artgruppenspezifische Angaben (Erwartungswerte) zur Ergebnisgröße *oberirdische Biomasse*, abhängig von den Einflussfaktoren Vegetationszeit (Saattermin), Stickstoff- und Wasserangebot, gewonnen werden. Es wurden Regeln akquiriert wie: „*Unter günstigen Bedingungen (früher Saattermin, hohes Wasser- und Stickstoffangebot) kann eine oberirdische Biomasse von bis zu 80 dt TS/ha erreicht werden.*“ (ROTH 1998). Die vollständigen Befragungsergebnisse sind im Anhang A8 dargestellt.

Tab. 4.2: Anbautechnische Daten, Ansprüche und Spannweiten der Biomasse verschiedener Zwischenfrüchte (nach GEISLER 1988, BUCHNER und KOLBE 1989, VUILLE 1989, RENIUS et al. 1992, BERENDONK und THUIR 1995, RIECKMANN und SOMMER 1998, DIEPENBROCK et al. 1999, KTBL 1999, EICHHORN 2000).

Zwischenfrucht	Saattermin	Saattbettanspruch	Untersaat		Saatmenge (kg/ha)		Reihenabstand (cm)	Saattiefe (cm)	Saattgutkosten (€/kg)	N-Düngung (kg N/ha)		Wasserbedarf	Winterhärte	Biomasse (dt TS/ha)		Wurzeltiefe (cm)	
			Eignung	KF	Stoppelsaat	Untersaat				Gründüng.	Futterbau			oberirdisch	Wurzel	maximal	Hauptmasse
Dt. Weidelgras	Jul - A Aug	1	3	2	40	7.45	10-20	1-2	1.94	30-50	80-100	3	3	15-40	25	≤ 70	10
Einj. Weidelgras	Jul - M Aug	1	1	3	30-40	20	10-20	1-2	1.79	30-50	80-100	3	1	30-40	15-45	≤ 70	10
W. Weidelgras	Jul - A Aug	1	3	3	40	20-45	10-20	1-2	1.74	30-50	80-140	2	2 (3)	20-45	15-30	≤ 60	10
Winterroggen	M Sep - E Okt	1	0	-	140-200	-	12-20	1-2	0.72	30-50	80-120	2	3	30-50	8-11	90-160	10
Sommerraps	A - E Aug	1	0	-	10-16	-	12-20	1-2	1.12	30-50	70-100	2	1	18-60	15-30	80-150	15
Winterraps	Jul - A Sep	1	0	-	10-20	-	12-25	1-2	1.89	30-50	80-120	3	3 (2)	25-60	0-30	80-150	20
Sommerrüben	Jul - M Sep	1	0	-	10-12	-	12-20	1-2	1.89	30-50	80-100	2	0	25-40	10-20	80-150	15
Winterrüben	Jul - M Sep	1	0	-	10-20	-	12-25	1-2	1.89	30-50	80-120	2	3 (2)	30-45	0-30	80-150	15
Stoppelrüben	Jul - M Aug	1	0	-	1-4	-	25-50	1-2	10.23	-	80-100	3	3 (2)	20-65	1-2	80-150	-
Futterkohl	A-E Jul	1	0	-	4-5	-	30-60	1-2	12.78	-	100-200	3	1	30-60	8-10	150-260	-
Ölrettich	Jul - A Sep	3	0	-	15-30	-	12-20	1-2	2.81	30-50	80-100	2	1	16-62	12-25	150-200	15
Gelbsenf	M Aug - A Sep	3	0	-	15-30	-	12-20	1-2	1.89	30-50	70-100	2	0	15-45	10-15	80-150	10
Sareptasenf	Jul - A Sep	1	0	-	5-10	-	12-20	1-2	1.89	30-50	80-100	2	0	20-40	10-15	80-150	10
Phacelia	Jul - E Aug	1	0	-	8-15	-	12-20	1-2	5.73	30-50	80-100	2	0	15-55	8-15	80-120	20-30
Sonnenblume	Jul - M Aug	1	0	-	20-40	-	20-40	3-4	0.61	50	70-100	2	0	25-65	15-25	150-200	12
Kulturmalve	Jul - M Aug	1	0	-	10	-	15-20	1-2	1.89	30-50	-	2	0	25-35	15-18	> 90	-
Buchweizen	Jul - E Aug	1	0	-	60	-	12-20	2-3	0.61	30-50	-	2	0	15-40	4-6	80-150	30
Weißklee	Jul - Aug	1	3	1	12	6-12	10-12	1-2	3.83	0	0	3	3	15-38	10-15	≤ 70	0-20
Rotklee	Jul - Aug	1	2	3	20	7.5-20	10-20	1-2	4.4	0-30	0-30	3	2	15-30	12-20	150-200	0-30
Perserklee	Jul - A Aug	1	0	-	20	7.5-20	10-15	1-2	4.4	0-30	0-30	2-3	0	20-40	5-12	≤ 80	0-25
Inkamatklee	Jul - A Aug	1	0	-	30	-	10-15	1-2	4.4	0-30	0-30	2	2 (3)	20-30	5-12	≤ 80	0-20
Alexandrinerklee	Jul - M Aug	1	0	-	35	-	10-15	1-2	1.89	0-30	0-30	3	0	20-40	5-12	≤ 80	0-30
Erdklee	Jul - A Aug	1	2	2	30	7.5	15-20	1-2	4.4	0-30	0-30	2	0	20-65	8-10	≤ 80	0-25
Steinklee	E Jul - A Aug	1	2	3	30	7.5	15-20	1-2	4.4	0-30	0-30	1-3	2	40-60	8	150-200	0-30
Serradella	Jul - A Aug	1	2	1	40	10-50	14-20	2-3	1.89	0-30	0-30	2	0	10-20	8-10	80-150	0-25
Sommerwicke	A - M Aug	2.5	0	-	120-160	-	15-20	3-5	3.07	0-30	0-30	2	1	15-30	8-10	80-150	0-25
Winterwicke	Jul - Aug	2	0	-	100	-	15-20	3-5	3.07	0-30	0-30	2-3	3	20-30	15-20	≤ 80	0-30
Weißer Bitterlupine	A - E Jul	2.5	0	-	220	-	15-20	2-5	3.07	0-30	0-30	2-3	0	35-45	15-25	150-200	0-30
Blaue Bitterlupine	A Jul - M Aug	2.5	0	-	180-210	-	15-20	2-5	3.07	0-30	0-30	2	0	18-45	15-25	150-200	0-30
Gelbe Süßlupine	A Jul - M Aug	2.5	0	-	160-200	-	15-25	2-5	3.07	0-30	0-30	1-2	0	18-45	15-25	150-200	0-30
Ackerbohne	A - E Jul	2.5	0	-	220	-	15-25	5-7	0.61	0-30	0-30	3	0	15-45	15-20	80-110	0-18
Felderbse	A - E Jul	2.5	0	-	200	-	15-25	4-8	0.61	0-30	0-30	2-3	1	15-35	8-10	≤ 80	0-15
Platterbse	A Jul - M Aug	2	0	-	150	-	20-25	4-6	3.07	0-30	0-30	1-2	0	20-40	10-20	80-150	0-20
Knautgras	Untersaat (H/F)	1	3	2	-	7-14	10-20	1-2	2.05	30-50	80-100	1-2	3	-	-	-	-
Wiesenschwingel	Untersaat (H)	1	2	3	-	8	10-20	1-2	2.17	30-50	80-100	2	3	-	-	-	-
Rotschwingel	Untersaat (H)	1	3	2	-	6	10-20	1-2	2.05	30-50	80-100	1-2	3	-	-	-	-
EWg + WWg	Jul - A Aug	1	1	3	20 + 20	20	10-14	1-2	1.76	30-50	80-100	2-3	1	30-40	15-25	≤ 70	10
WWg + WRa	Jul - A Aug	1	0	-	30 + 2	-	10-14	1-2	1.75	30-50	80-100	2-3	2 (3)	35-40	15-25	80-150	15
WWg + SB	Jul - M Aug	1	0	-	20 + 20	-	15-25	2-3	1.18	30-50	60-80	2	1	35-45	15-25	150-200	10
WWg + WK	A Mär - E Apr	1	3	3	-	12 + 6	10-14	1-2	2.44	0-40	0-70	3	2	20-40	20-25	60-70	10
DWg + WK	A Mär - E Apr	1	3	2	-	12 + 6	10-14	1-2	2.57	0-40	0-70	3	3	20-40	20-25	≤ 70	10
EWg + PK	Jul - M Aug	1	0	-	20 + 10	-	10-14	1-2	2.66	30-40	60	2	0	25-35	10-18	≤ 80	35
EWg/WWg + AK	Jul - M Aug	1	0	-	20 + 15	-	10-14	1-2	1.84	30-40	60	2-3	1	25-35	10-18	≤ 80	30
WWg + IK	Jul - M Aug	1	0	-	20 + 10	-	10-14	1-2	2.62	30-40	60	2	2 (3)	25-35	10-18	≤ 80	20
WWg + WK + RK	A Mär - E Apr	1	2-3	3	-	9-30	10-14	1-2	2.45	0-40	0-70	2-3	2	20-30	-	-	-
WWg + WK + GK	A Mär - E Apr	1	3	3	-	10-30	10-14	1-2	2.75	0-40	0-70	2-3	2	20-30	-	-	-
RK + WK	A Mär - E Apr	1	2	3	-	6	10-15	1-2	4.31	0-30	0-30	3	2	-	-	-	-
GK + WK	A Mär - E Apr	1	3	2	-	8	10-15	1-2	4.33	0-30	0-30	2-3	2	-	-	-	-
WWg + IK + WWi	E Jul - A Sep	1	0	-	20+20+30	-	10-20	2-3	3.07	-	30-80	2	3	30-70	19-22	≤ 80	30
WR + WWi	A - M Sep	2	0	-	80 + 50	-	12-20	2-4	1.62	-	30-80	2	2 (3)	30-60	10-15	80-160	30
WRa + FE + SWi	A - M Aug	2	0	-	2+50+40	-	12-20	2-4	1.71	20-40	30-50	3	0	30-40	10-20	80-150	15
WRa /SRa + FE	A - M Aug	2	0	-	2 + 80	-	12-20	2-4	0.64	20-40	30-50	2-3	0	30-40	10-20	80-150	15
WRa /SRa + SWi	A - M Aug	2	0	-	2 + 50	-	12-20	2-4	3.02	20-40	30-50	3	0	30-40	10-20	80-150	15
WRa + WL	M Jul - M Aug	2	0	-	2 + 150	-	12-20	2-4	3.05	30	-	2-3	0	30-45	15-25	150-200	30
AB + FE + SWi	A Jul - M Aug	2.5	0	-	80+60+40	-	12-25	4-6	1.16	0-30	0-30	3	0	15-40	10-20	80-150	20
AB + FE	A Jul - M Aug	2.5	0	-	100 + 60	-	12-25	4-6	0.61	0-30	0-30	3	0	15-40	10-20	80-150	20
AB + SWi	A Jul - M Aug	2.5	0	-	100 + 60	-	12-25	4-6	1.53	0-30	0-30	3	0	15-40	10-20	80-150	20
FE + SWi	A Jul - M Aug	2.5	0	-	125 + 45	-	12-25	4-6	1.26	0-30	0-30	2-3	0	15-40	10-20	80-150	20
Gelbklee	Jul - A Aug	1	3	2	20	8	10-15	1-2	3.83	0-30	0-30	2	3	-	-	-	-

Zu den Abkürzungen der Zwischenfrüchte vgl. Tab. 5.1. KF = Konkurrenzfähigkeit als Untersaat; Untersaattermine: H = Herbst, F = Frühjahr; Saattbettanspruch: 1 = fein, 2 = mittel, 3 = grob; Merkmalsausprägungen (Untersaateignung, Wasserbedarf, Winterhärte): 0 = sehr gering (kein), 1 = gering, 2 = mittel, 3 = hoch.

Diese Informationen wurden für verschiedene Zwischenfrüchte erfragt, die sich hinsichtlich ihrer qualitativen Bestandesentwicklung unterscheiden. Andere Zwischenfrüchte sollen sich qualitativ einem dieser Ansätze zuordnen lassen, so dass verschiedene Gruppen von Zwischenfrüchten mit gleichen qualitativen Eigenschaften gebildet werden konnten. Die regelhaft vorliegenden Informationen konnten für die Entwicklung von unscharfen Regel- und Schlussfolgerungssystemen (Fuzzy-Inferenzsystemen) genutzt werden (vgl. Abschnitt 5.3).

Für die Bestimmung der Ergebnisgröße *aufgenommene Stickstoffmenge* wurden Daten der oberirdischen Biomasse und N-Gehalte verschiedener Zwischenfrüchte herangezogen, die Arbeiten von BERGER (1990), BÄHR (1998), DREESMANN (1992), EULENSTEIN (1988), FOERSTER und KLEINE (1990), ILGEN (1990), JUSTUS (1996), LEHMANN et al. (1991), LÜTKE ENTRUP et al. (1991), OBENAUF (1984a), ROTH, S. (1996), SMUKALSKI und OBENAUF (1988), SMUKALSKI und ROGASIK (1991) sowie WEISE et al. (1994) entnommen werden konnten. Es lagen Daten für die Fruchtarten Ölrettich, Gelbsenf, Phacelia, Winterraps, Winterrüben, Welsches und Einjähriges Weidelgras sowie wenige Datensätze verschiedener Leguminosenansaat (Ackerbohne, Felderbse, Sommerwicke, Gelbe Lupine, Blaue Lupine, Perserklee, Erdklee, Seradella, Ackerbohne + Winterwicke, Felderbse + Winterwicke) vor. Mit dem Parameteridentifikationsprogramm MODELMAKER konnten Sättigungsfunktionen in Form einer MICHAELIS-MENTEN-Kinetik (Gl. 4.1, RICHTER und SEPPELT 1996, vgl. auch Kap. 5.3) an die vorliegenden Daten angepasst und entsprechende fruchtartspezifische Modellparameter identifiziert werden:

$$N_H = N_{max} \cdot B_H / (B_H + k_N) \quad (4.1)$$

Abb. 4.1 zeigt einen Graphen der Modellanpassung für die Zwischenfrucht Ölrettich. Aufgrund der relativ geringen Anzahl verfügbarer Datensätze wurden die Daten der Grasarten bzw. der Leguminosen für das Fitting zusammengefasst. Weitere Graphen der Modellanpassung für die übrigen genannten Zwischenfrüchte sind im Anhang A3 aufgeführt. Die identifizierten Parameter k_N und N_{max} wurden wie bei der Zielgröße *oberirdische Biomasse* auf andere Zwischenfrüchte übertragen, die sich zu bestimmten Zwischenfruchtgruppen zusammenfassen lassen. Die Parameter für alle Zwischenfrüchte sind in der Parameterdatei P1 enthalten und können dem Anhang A2 entnommen werden.

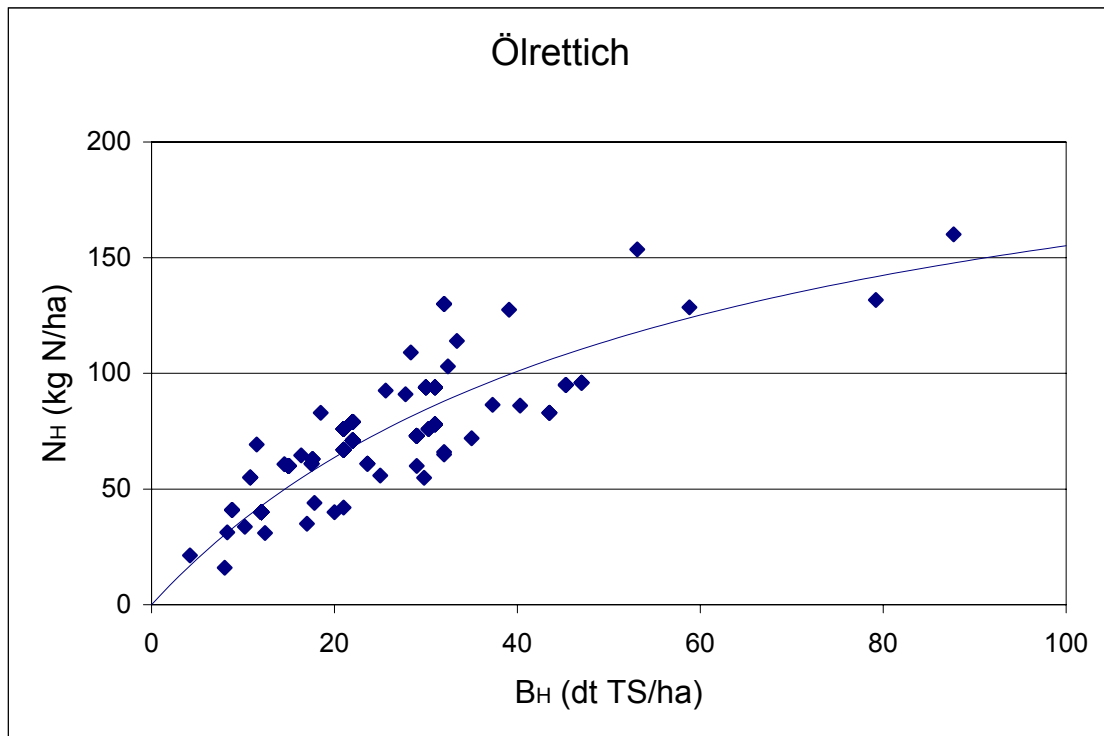


Abb. 4.1: Graph der Modellanpassung der MICHAELIS-MENTEN-Sättigungsfunktion (durchgezogene Linie) an Literaturdaten der aufgenommenen N-Menge (Spätherbst) N_H in Abhängigkeit von der oberirdischen Biomasse (Spätherbst) B_H (Punkte) für die Zwischenfrucht Ölrettich.

Für die Beschreibung der Ergebnisgröße *Deckungsgrad* liegen zu wenige Zwischenfruchtdaten in der Literatur vor. Hierfür konnten Daten von SODTKE (1996) ausgewertet werden, der anhand von Feldversuchen die zeitliche Dynamik der Bestandesentwicklung für die Fruchtarten Ölrettich, Gelbsenf, Buchweizen, Phacelia, Grobleguminosengemenge sowie Klee gras ermittelt hat. Bei den Ansaaten handelte es sich zwar um Grünbrachen im Sommerrotationsanbau, die Fruchtarten sind jedoch identisch mit denen, die für den Zwischenfruchtanbau Verwendung finden. Die Entwicklung der Deckungsgrade in Relation zur oberirdischen Biomasse sollte vergleichbar sein (PAULY 1998). Auch diese Daten konnten mit (transformierten) MICHAELIS-MENTEN-Sättigungsfunktionen modelliert (Gl. 4.2, vgl. Kap. 5.3) sowie entsprechende fruchtartspezifische Modellparameter identifiziert werden:

$$DG_H = B_H \cdot 100 / (B_H + k_{DG}) \cdot (DG_{max} + k_{DG}) / DG_{max} \quad (4.2)$$

Abb. 4.2 zeigt einen Graphen der Modellanpassung für die Zwischenfrucht Buchweizen. Weitere Graphen der Modellanpassung für die übrigen genannten Kulturen sind ebenfalls im Anhang A3 aufgeführt. Wie bei den anderen Zielgrößen wurden die identifizierten Parameter k_{DG} und DG_{max} auf solche Zwischenfrüchte übertragen, die sich zu bestimmten Zwischenfruchtgruppen zusammenfassen lassen. Die Parameter für alle Zwischenfrüchte sind in der Parameterdatei P2 enthalten und können dem Anhang A2 entnommen werden.

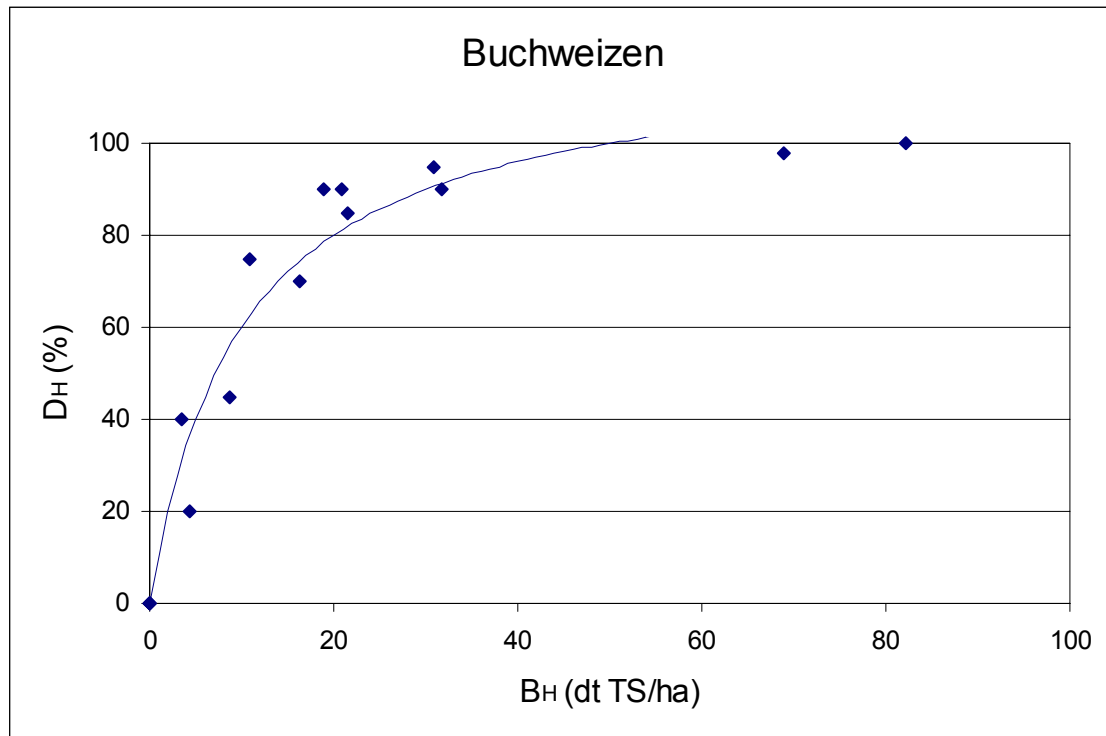


Abb. 4.2: Graph der Modellanpassung der MICHAELIS-MENTEN-Sättigungsfunktion (durchgezogene Linie) an Literaturdaten des Deckungsgrades (Spätherbst) D_H in Abhängigkeit von der oberirdischen Biomasse (Spätherbst) B_H (Punkte) für die Zwischenfrucht Buchweizen.

4.3 Handlungsalternativen im Zwischenfruchtanbau

4.3.1 Anbauformen und Ansaatverfahren

Für den Zwischenfruchtanbau gibt es eine Vielzahl möglicher Handlungsalternativen (Anbauverfahren) und angepasster Verfahrenstechniken. Man unterscheidet die *Anbauformen* Sommer- und Winterzwischenfrüchte. Erstere können je nach Ansaatverfahren in Untersaaten und Stoppelsaaten (Blanksaaten) gegliedert werden (ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, SIMON 1982, KREIL et al. 1983, GEISLER 1988, RENIUS et al. 1992, HEGE 1998, DIEPENBROCK et al. 1999). Da Winterzwischenfrüchte nur als Blanksaat angelegt werden, werden diese mit den Stoppelsaaten auch zu sog. *Nachsaaten* zusammengefasst (PREUSCHEN und BERNATH 1983). Sommer- und Winterzwischenfrüchte lassen sich auch kombinieren (Gemenge geeigneter Pflanzenarten), z.B. für die zweimalige Futternutzung im Herbst des Ansaatjahres und folgenden Frühjahr (DIEPENBROCK et al. 1999). Für jede dieser Anbauformen können unterschiedliche Anbauverfahren (Handlungsalternativen) durchgeführt werden. Ein Anbauverfahren stellt die Summe aller acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen dar. Jedes Anbauverfahren gliedert sich in einzelne Elemente (Entscheidungsvariablen wie z.B. Saattermin, Bestellverfahren). Anzahl und Art der Verfahrenselemente sind je nach Ansaatverfahren unterschiedlich.

Untersaaten von Zwischenfrüchten werden in den Bestand einer Deckfrucht oder zugleich mit dieser gesät. Die Untersaat kann sich bereits während des Deckfruchtwachstums entwickeln.

Nach dem Abernten der Deckfrucht haben Untersaaten gegenüber Nachsaaten einen Entwicklungsvorsprung. Grundsätzlich können Untersaaten in Wintergetreide, Sommergetreide, Mais oder Ackerbohnen ausgebracht werden (KREIL et al. 1983, HAMMANN 1987, GEISLER 1988, MEISINGER et al. 1991, RENIUS et al. 1992, LÜTKE ENTRUP 1995, FRIELINGHAUS et al. 1997a, EICHHORN 2000). Untersaaten verlängern die Bodenruhe, bilden schneller geschlossene Bestände als Stoppelsaaten, brauchen keine aufwendige Neubestellung und können auch bei trockener Witterung ohne Startschwierigkeiten weiter wachsen. Sie sind aber (fast) nur mit Gräsern und Kleearten zu gestalten und verlangen lange Vorplanungszeiten (ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, PREUSCHEN und BERNATH 1983, ROTH 1987 und 1988, FRIELINGHAUS et al. 1988, LÜTKE ENTRUP 1995, HAMPL 1996, EICHHORN 2000). Vorrangig eignen sich für Untersaaten feuchte und frische Standorte bzw. Bewässerungsflächen (EICH et al. 1978, DIEPENBROCK et al. 1999), aber auch schwere Tonböden kommen in Frage (RENIUS et al. 1992).

Stoppelsaaten werden direkt nach Aberntung der Vorfrucht als Nachsaat angelegt. Für dieses Ansaatverfahren sind eine Vielzahl von Fruchtarten vorhanden, die eine breite Palette von Möglichkeiten für alle Anbauziele, die meisten Standorte und betriebliche Situationen eröffnen. Bei sorgfältiger und zeitgerechter Bestellung zeichnen sie sich in der Bestandesetablirung durch eine hohe Sicherheit aus (MEISINGER et al. 1991, RENIUS et al. 1992). In der Regel bieten sich Stoppelsaaten nur nach der Getreideernte an (KREIL et al. 1983, LÜTKE ENTRUP 1995). Im Vergleich zu Untersaaten bedecken Stoppelsaaten allerdings nur für eine geringere Zeit den Boden, bilden weniger ober- sowie unterirdische Biomasse, sind besonders bei feuchtem Bodenzustand als Bestand schlechter befahrbar bzw. für Weidetiere und Maschinen weniger tragfähig und verursachen höhere Verfahrenskosten (RENIUS et al. 1992, DIEPENBROCK et al. 1999).

Winterzwischenfrüchte werden ab dem Spätsommer bestellt und wachsen im folgenden Frühjahr bis an die nachfolgende Hauptfrucht heran. Sie liefern die sichersten und größten Futtermengen und sind zugleich eine gute Gründüngung (KREIL et al. 1983, GEISLER 1988, RENIUS et al. 1992, DIEPENBROCK et al. 1999). Die Biomasseentwicklung von Winterzwischenfrüchten erfolgt im wesentlichen im Frühjahr (GEISLER 1988, DIEPENBROCK et al. 1999). Winterzwischenfrüchte können auf fast allen Böden und, wenn über Winter genügend Wasser zu Verfügung steht, auch auf armen, trockenen Sandböden angebaut werden. Sie haben eine hohe Ertragssicherheit aufgrund der Ausnutzung der Winterniederschläge, bilden eine langanhaltende Gründecke, die den Boden ca. 210-240 Tage (von August bis April) bedeckt und im Winter vor Nährstoffausträgen und Bodenerosion schützt, und begünstigen eine gute Gülle- verwertung (RENIUS et al. 1992). Nachteilig wirken sich die Erhöhung Herbstarbeitsspitze während der Ernte von Spätgetreide und Hackfrüchten oder während der Herbstbestellung aus. Auf trockenen Sandstandorten besteht zudem die Gefahr eines zu starken Wasserverbrauchs zu Lasten der Nachfrucht, der besonders bei einem späten Umbruch im April 100 mm oder mehr erreichen kann (RENIUS et al. 1992, GEISLER 1988, FRIELINGHAUS et al. 1997a, DIEPENBROCK et al. 1999).

4.3.2 Anbauverfahren für Untersaaten

Das Gelingen von Untersaaten hängt von folgenden Faktoren ab: Verhältnis der Konkurrenzkräfte von Deckfrucht und Untersaat, Entwicklung der Deckfrucht, Kulturzustand des Ackers, Verfahren und Zeitpunkt der Einsaat, und Klima bzw. Witterung (PREUSCHEN und BERNATH 1983, ROTH 1987, GEISLER 1988, RENIUS et al. 1992). Demzufolge setzen sich Untersaatanbauverfahren aus deckfruchtbezogenen und untersaatbezogenen Elementen (Entscheidungsvariablen) zusammen. Deckfruchtbezogene Elemente sind die *Deckfruchtart/-sorte* (und damit deren *Konkurrenzkraft*) und Maßnahmen, die die Entwicklung der Deckfrucht beeinflussen (z.B. deren *Saattermin*, *Saatmenge*, *Stickstoffdüngung* usw.). Untersaatbezogene Elemente sind *Untersaatart*, *Saatgutablage*, *Saattermin*, *Saatmenge* und die *N-Düngung* zur Zwischenfrucht.

Konkurrenzkraft und Konkurrenzwirkungen

Der größte Einfluss auf die Bestandesentwicklung und das Gelingen von Untersaaten geht vom Verhältnis der Konkurrenzkräfte zwischen Deckfrucht und Untersaat aus. Beide müssen richtig aufeinander abgestimmt werden (RODER 1957, PREUSCHEN und BERNATH 1983, KLÄY 1984, WERNER 1986, ROTH 1987, 1988, 1990 und 2000, ROTH et al. 1988, MERKELBACH 1990, HEYLAND und MERKELBACH 1991, LAL et al. 1991, SCHULTHEIß 1991, KVIST 1992, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, LÜTKE ENTRUP 1993, SCHULTHEIß und OPITZ VON BOBERFELD 1994). Damit die Deckfrucht nicht durch eine hochgewachsene Untersaat beeinträchtigt wird, muss die Untersaat mit einer langsameren Jugendentwicklung immer genügend hinter der Deckfruchtentwicklung zurück und im Wuchs kurz bleiben (ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, PREUSCHEN und BERNATH 1983, GEISLER 1988, HAMPL 1996, DIEPENBROCK et al. 1999). Wenn eine Untersaat höher als ca. 30 cm wächst, könnte ein Mäh-drescher bei der Ernte nicht genügend tief schneiden oder würde zu viel Grünmasse mitern-ten, die ein anschließendes Trocknen der Getreidekörner erfordert (BOHLE und WAGNER 1976, ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, BÖNING et al. 1988, GEISLER 1988). RENIUS et al. (1992, S. 68) geben folgenden Leitsatz bei Planungen von Untersaaten vor (vgl. auch KVIST 1992, LÜTKE ENTRUP 1993, RYDBERG 1998):

„Starke Deckfrüchte erlauben starke und schwache Untersaatpflanzen; schwache Deckfrüchte nach Art und Entwicklungszustand erlauben nur schwache Untersaaten“.

Als starke Deckfrüchte gelten Wintergerste, Winterweizen, Sommerweizen und Hafer, als schwache Sommergerste bzw. Winterroggen und die übrigen Arten, wenn sie nur schwache Bestände entwickeln konnten oder ein schlechter Kulturzustand des Ackers vorliegt. So können beispielsweise unter einem kräftigen Winterweizen im Frühjahr starke Untersaaten wie Welsches Weidelgras, Bastard-Weidelgras, Rotklee und Rotklee-Gemische untergesät werden, unter (schwacher) Sommergerste nur konkurrenzschwächere Arten wie Deutsches Weidelgras (mittelfrühe bis mittelspäte Sorten), Knautgras, Rotschwingel, Weißklee oder Gelbklee sowie deren Gemische (ROTH 1987, KREUZ 1988, 1991a und c, JENSEN 1991, KVIST 1992, RENIUS et al. 1992, LÜTKE ENTRUP 1993, SIMON 1993, OPITZ VON BOBERFELD und SCHULTHEIß 1994, RYDBERG 1998, BERGSTRÖM und JOKELA 2000; vgl. Tab. 4.2). Über Saat-

termin und Saatmenge der Untersaat sowie über Stickstoffdüngung, Saatmenge und Sortenwahl (Blatthaltung, Blattlänge) der Deckfrucht kann man einen gezielten Einfluss auf die Konkurrenzwirkung nehmen (RODER 1957, BOHLE und WAGNER 1976, ROTH 1985, 1986, 1987, 1988, 1990 und 2000, ROTH et al. 1988, MERKELBACH 1990, HEYLAND und MERKELBACH 1991, SCHULTHEIß 1991, KVIST 1992, LÜTKE ENTRUP 1992a und 1993, RENIUS et al. 1992, SCHUMANN und HEYLAND 1992, WUNDERLICH et al. 1992, OPITZ VON BOBERFELD und SCHULTHEIß 1994, SCHULTHEIß und OPITZ VON BOBERFELD 1994, SCHUMANN 1994a/b, PEYKER und KERSCHBERGER 1995, LÜTKE ENTRUP et al. 1998a). Je konkurrenzstärker eine Untersaat ist, desto später sollte deren frühester Saattermin liegen (LÜTTMANN und MÜLLER 1994). Auch stark verringerte Saatmengen der Untersaat können ein starkes Zwischenfruchtwachstum im Herbst ermöglichen, jedoch steigt die Gefahr von lückigen Beständen (SCHULTHEIß 1991, KVIST 1992). Je früher die Untersaat erfolgt, desto genauer sind die Saatmengen einzuhalten (STEMANN und LÜTKE ENTRUP 1993). Bei Beachtung dieser Grundsätze entwickeln sich Untersaaten unter normalen, gut gedüngten Deckfruchtbeständen nur schwach, so dass sie als Konkurrenten kaum in Erscheinung treten bzw. den Mähdrusch nicht stören (ROSTOCK 1981, ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, BUCHNER 1993b, LÜTKE ENTRUP et al. 1998a).

Saattermine und Saatverfahren für Getreideuntersaaten

Für die Einsaat in Getreide kommen drei Varianten in Betracht: Herbstuntersaaten in Wintergetreide, Frühjahrsuntersaaten in Wintergetreide und Frühjahrsuntersaaten in Sommergetreide (z.B. RENIUS et al. 1992, GEISLER 1988).

Für die *Herbstuntersaat in Wintergetreide* (Deckfrüchte Wintergerste, Winterroggen oder Winterweizen) kommen die Grasarten Deutsches Weidelgras (mittelspäte bis späte Sorten), Knaulgras, Wiesenschwingel und Rotschwingel in Frage (BUCHNER und KOLBE 1989, LÜTKE ENTRUP 1992a, RENIUS et al. 1992, BERENDONK und THUIR 1995). Welsches und Einjähriges Weidelgras scheiden aus, da sie bei Herbstaussaat zum Schossen neigen und zu starke Konkurrenz auf die Deckfrucht ausüben (KREUZ 1988, RENIUS et al. 1992). Im Frühjahr kann zusätzlich Klee untergesät werden, die Saatstärken der Gräser sind dann um 25 % zu kürzen, die N-Gabe ist um ca. 30-40 % zu reduzieren. Dieses Verfahren ist z.B. bei Rotklee-Gras-Untersaaten unter schwachgedüngten Deckfrüchten wie im Ökologischen Landbau interessant, bei dem auf diese Weise die Gräser in ihrer Konkurrenzkraft gegenüber dem Rotklee gestärkt werden können. Herbstuntersaaten sind bei sorgfältiger Handhabung Frühjahrsuntersaaten in den entsprechenden Winterungen in der Bestandesentwicklung stark überlegen, da sie eine schnellere Bodenbedeckung nach Ernte der Deckfrüchte erreichen, dadurch besser Unkraut unterdrücken, den Boden besser durchwurzeln, dadurch trockenheitsresistenter sind und eine größere ober- und unterirdische Biomasse bilden (ROTH 1986, 1987, 1990 und 2000, ROTH et al. 1988, KREUZ 1991c, RENIUS et al. 1992, WUNDERLICH et al. 1992, OPITZ VON BOBERFELD und SCHULTHEIß 1994, LÜTKE ENTRUP et al. 1998a). Innerhalb der jeweiligen Periode entwickeln sich die meisten Untersaaten bei früheren Saatterminen besser als bei späteren (KVIST 1992, SCHUMANN 1990, SCHULTHEIß und OPITZ VON BOBERFELD 1994). Der optimale Herbstuntersaattermin (mit Getreideaussaat, kurz nach Aufgang, im

3-4-Blattstadium) wird durch das Konkurrenzverhältnis, abhängig von Untersaatart und Entwicklungszustand des Getreides, bestimmt (LÜTKE ENTRUP 1992a).

Für *Frühjahrsuntersaaten in Wintergetreide* kommen die oben genannten Grasarten, Welches Weidelgras und deren Klee grasgemenge mit Weiß-, Rot- und Gelbkle in Frage (GEISLER 1988, RENIUS et al. 1992, WUNDERLICH et al. 1992, BERENDONK und THUIR 1995), eingeschränkt auch das konkurrenzstarke Einjährige Weidelgras (BUCHNER und KOLBE 1989). Rotschwingel, Schafschwingel und Knaulgras eignen sich wegen ihrer Trockenheitsverträglichkeit besonders für leichte und zur Austrocknung neigende Standorte (BUCHNER 1993b). LÜTKE ENTRUP (1992) und RENIUS et al. (1992) unterscheiden die folgenden drei Saattermine bzw. Saatverfahren:

- (1) die sehr frühe Einsaat im Februar/März, breitwürfig mit der ersten N-Gabe mit dem pneumatischen Düngestreuer, gelingt mit großer Sicherheit,
- (2) die frühe Drillsaat ab Mitte März bis Mitte April mit evtl. anschließendem Einwalzen, gelingt mit guter Sicherheit,
- (3) die späte Untersaat nach der letzten (mechanischen) Unkrautbekämpfung im April/Mai, v.a. im ökologischen Landbau. Bei erfolgreicher, mehrmaliger Unkrautbekämpfung mit Striegel oder Egge und günstiger Witterung zur Aussaat gelingt auch die späte Untersaat sicher. Auch bei diesem Termin kann die Untersaat als Drillsaat erfolgen. Bei großen Flächen bieten sich Kombinationen von Striegel oder Hacke mit einem Schleuderstreuer an (HAMPL 1996).

Frühjahrsuntersaaten in Sommergetreide werden meist gleichzeitig mit der Deckfrucht gesät. Deshalb stehen der Untersaat bereits im wichtigen Jugendstadium Licht, Wasser und Nährstoffe voll zur Verfügung. Aufgrund des guten Saatbettes und der guten Jugendentwicklung kann die Untersaat in der Regel die Dürreperiode im Mai/Juni gut überstehen, die Gefahr des Misslingens der Untersaat in Sommerungen ist daher gering (RENIUS et al. 1992). RENIUS et al. unterscheiden auch hier drei Saattermine bzw. -verfahren (vgl. KVIST 1992, LÜTKE ENTRUP 1992a):

- (1) die sehr frühe Untersaat: flache Drillsaat zugleich mit der Deckfrucht oder in einem direkt anschließenden zweiten Arbeitsgang (Sommerweizen und Hafer, sicheres Verfahren gegenüber Trockenzeiten, kräftiger Bestand; Sommergerste),
- (2) die verzögerte Untersaat: Drillsaat im 3-4-Blattstadium (Sommergerste mit starker Untersaat, Hafer auf feuchtem Ackerstandort oder bei nasser Frühjahrswitterung, Sommerungen im Ökologischen Landbau mit später mechanischer Unkrautbekämpfung) und
- (3) die stark verzögerte Untersaat: 4-6-Blattstadium (Sommergerste mit starker Untersaat, bzw. mit schwacher Untersaat und mehr als 600 mm Jahresniederschlag oder feuchtem Ackerstandort, hier droht sonst Überwachsen durch Untersaat und Ernteminderung).

Ein gutes Saatbett, eine exakte Drillsaat und eine evtl. Nacharbeit mit der Walze sichern auch bei Trockenheit einen gleichmäßigen und raschen Aufgang (PREUSCHEN und BERNATH 1983). Problematisch kann sich die frühe Lagerneigung der Deckfrüchte, v.a. bei N-Überdüngung

von Sommergerste und Hafer, auswirken, eine vorsichtige Stickstoffgabe bzw. Halmverstärker werden angeraten. Sommergetreide räumen alle erst spät den Acker, weshalb die Untersaatenbestände sich nach der Ernte erst später als nach Winterungen entwickeln können.

Um nach Ernte der Deckfrucht eine zügige Bestandesentwicklung der Untersaaten durch intensiven Lichteinfall zu fördern, sollen die Getreidestoppeln kurz geschnitten, das Stroh möglichst flach auf dem Boden verteilt werden (BOHLE und WAGNER 1976, ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982). Mit den ersten Spätsommerniederschlägen entwickeln sich dann die Untersaaten in der Regel sehr gut (BUCHNER 1993b).

N-Düngung bei Getreideuntersaaten

In erster Linie ist der Lichteinfall für die Untersaatentwicklung entscheidend (KORNHER 1970 in RENIUS et al. 1992, MERKELBACH 1990, SCHUMANN 1994b, SCHULTHEIß und OPITZ VON BOBERFELD 1994). Zu hohe Stickstoffgaben zur Deckfrucht in der *ersten Frühjahrsdüngung* im Februar/März regen bei der Deckfrucht Bestockung und Blattwuchs übermäßig an, so dass Licht- und Wasserkonkurrenz für die Untersaat zu groß werden und diese oft nicht bestehen kann (KREIL et al. 1983, RENIUS et al. 1992, SCHUMANN und HEYLAND 1992, SIMON 1993, LÜTKE ENTRUP et al. 1998a). Klee reagiert dabei empfindlicher auf die Beschattung als Gräser. Diese wiederum profitieren auch stärker von der N-Düngung zur Deckfrucht und können somit als untersaatverträglicher und in der Anlage als sicherer eingestuft werden (ROTH et al. 1988, SCHULTHEIß 1991, KVIST 1992, LÜTKE ENTRUP 1993, RYDBERG 1998).

Damit eine Gras- oder Klee grasuntersaat auch im intensiven Getreideanbau sicher etabliert werden kann, darf die erste N-Gabe im Frühjahr 40 kg N/ha nicht überschreiten. Bei Grasuntersaaten kann die Stickstoffdüngung voll auf den Getreideertrag eingestellt werden, bei Kleeuntersaaten muss die N-Gabe mit Vorsicht auf etwas niedrigerem Niveau gegeben werden (max. 80 kg N/ha, SIMON 1993). Mehrmalige (drei bis fünf) Teilungen der Stickstoffgaben (heute üblich), fördern sowohl den Getreideertrag, als auch die Sicherheit der Untersaat. Welsches Weidelgras unter Winterweizen ist dann voll bestandsbildend, Rotklee und Weißklee ausreichend (RENIUS et al. 1992).

Um die Bestandesentwicklung der Untersaaten nach der Deckfruchternte zu fördern, wird eine mineralische oder organische (Gülle) N-Gabe empfohlen: bei Grasuntersaaten zur Futternutzung 80-100 kg N/ha, zur Gründüngung 50-75 kg N/ha, bei Klee grasuntersaaten zur Futternutzung 50-80 kg N/ha, zur Gründüngung 30-50 kg N/ha (RENIUS et al. 1992). Bei schwachen Beständen und ungünstiger Witterung sollten jeweils die höheren N-Mengen bzw. weitere Zuschläge verabreicht werden (MERKELBACH 1990). Bei höheren Reststickstoffmengen im Boden (z.B. eine nicht genutzte Ähren-Spätdüngung) kann die N-Gabe um ca. 20-25 % gekürzt werden. Klee grasuntersaaten dürfen nicht mit Stickstoff überdüngt werden, um eine botanische Verschiebung zugunsten der Grasanteils zu vermeiden (RENIUS et al. 1992).

Untersaaten in Mais und Ackerbohnen

Die Bedeutung von Untersaaten im Maisanbau resultieren v.a. aus den Umweltproblemen beim Anbau dieser Kultur: häufig zu hohen Düngergaben und mangelndem Bodenschutz (KLÄY 1984, ZUHRT und MÄRTIN 1987, TIGGES et al. 1991, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, BUCHNER 1993a, GEBAUER 1993, LÜTTMANN und MÜLLER 1994, MILTNER und LEHMANN 1994, SCHMIDT 1994, PEYKER und KERSCHBERGER 1995). Untersaaten in Ackerbohnen dienen v.a. dem Anbauziel der Konservierung erhöhter Bodennitratgehalte während und nach der Hauptfruchternte (LÜTKE ENTRUP und STEMANN 1990 und 1993, LÜTKE ENTRUP 1992b, RENIUS et al. 1992, CLAUPEIN 1993, SCHÖBERLEIN et al. 1994, AUFHAMMER et al. 1995, LÜTKE ENTRUP et al. 1998b). Für beide Kulturen bieten sich deshalb Gras- (bzw. Klee-)untersaaten an, die die Erträge der Hauptkultur nicht beeinträchtigen, wie z.B. relativ frühe Untersaaten mit Deutschem Weidelgras (späte Sorten) oder Knaulgras bzw. Welsches Weidelgras mit späteren Saatterminen und erhöhten Saatmengen. FIEGENBAUM 1993, AUFHAMMER et al. (1995) bzw. JUSTUS (1996) sowie KLÄY (1984), WERNER (1986) bzw. SCHMIDT (1994) berichten auch von Versuchen mit Winterraps-, Wintergerste-, Ölrettich und Gelbsenfuntersaaten in Ackerbohnenbestände bzw. Platterbsen-, Erdklee-, Weißklee-, Rotklee-, Gelbklee-, Phacelia- und Ölrettichuntersaaten in Mais.

Für Ackerbohnen und Mais werden drei (bzw. fünf) unterschiedliche Saattermine bzw. -verfahren genannt (LÜTKE ENTRUP 1992b, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, STEMANN und LÜTKE ENTRUP 1993, LÜTTMANN und MÜLLER 1994, MILTNER und LEHMANN 1994, SANDBRINK 1995):

- (1) *frühe Untersaat* zur Saat der Ackerbohnen bzw. zur Saat/Spitzen des Maisbestandes: flache Drillsaat (2 cm) von Deutschem Weidelgras (spät) oder Knaulgras in Ackerbohnen, bzw. Rotschwingel in Mais ermöglicht die Aufnahme von überschüssigem Nitrat während und nach der Vegetationszeit der Hauptkultur, geringe Saatmenge (4-5 kg/ha). Der frühe Termin – in Verbindung mit Drillsaat – bietet die günstigsten Bedingungen für einen hohen Feldaufgang (LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, STEMANN und LÜTKE ENTRUP 1993, AUFHAMMER et al. 1995).
- (2) *mittelfrühe Untersaat* zum Aufgang der Ackerbohnen bzw. im 2-3-/5-6-Blattstadium des Maisbestandes: flache Drillsaat (2 cm) von Deutschem Weidelgras (spät), Knaulgras oder Weißklee in Mais und Ackerbohnen, leicht erhöhte Saatmenge (4-7 kg/ha: KLÄY 1984, GOECK 1989b, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, BUCHNER 1993a, BERENDONK und THUIR 1995, BOCKHOLT 1996a)
- (3) *späte Untersaat* bei 10 cm Wuchshöhe der Ackerbohnen bzw. 30 cm Wuchshöhe des Maisbestandes: Drillsaat von Deutschem Weidelgras oder Breitsaat von Welschem Weidelgras, bzw. deren Mischungen mit Knaulgras, Weiß- oder Rotklee, mit erhöhter Saatmenge (15-30 kg N/ha: GOECK 1989b, LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN 1992, RENIUS et al. 1992, BUCHNER 1993b, LÜTKE ENTRUP und STEMANN 1993, BERENDONK und THUIR 1995, SANDBRINK 1995, BOCKHOLT 1996a), in sehr feuchten Regionen (HAMMANN 1987) bzw. im Ökologischen Landbau wegen der spät erfolgenden mechanischen Unkrautbekämpfung

notwendig (PREUSCHEN und BERNATH 1983, MEISINGER et al. 1991, LÜTKE ENTRUP 1992b, CLAUPEIN 1993). Allerdings findet in diesem Stadium durch Ackerbohnen und Mais bereits eine starke Beschattung bzw. ein hoher Wasserverbrauch statt, die die Untersaatentwicklung bzw. -sicherheit beeinträchtigen können (PREUSCHEN und BERNATH 1983, RENIUS et al. 1992, CLAUPEIN 1993, LÜTKE ENTRUP und STEMANN 1993).

Um Bodenerosion in der Zeit zwischen Aussaat sich spät entwickelnder Reihenkulturen und der vollständigen Ausbildung ihres Blätterdaches zu vermeiden bzw. Unkraut zu unterdrücken, wird auch die gleichzeitige Untersaat konkurrenzschwacher Kleearten wie z.B. Erdklee, Weißklee, Gelbklee, Knautgras, Rot- oder Schafschwingel in Mais empfohlen (KLÄY 1984, WERNER 1986, GOECK 1989 a und b, SCHÄFER 1991, LÜTKE ENTRUP 1992a, RENIUS et al. 1992, SCHAUPP 1993, MILTNER und LEHMANN 1994, SCHMIDT 1994). Allerdings reagiert Mais auf die Konkurrenz dieser Untersaaten häufig mit Ertragsdepressionen (LAL et al. 1991, SCHÄFER 1991, POHLMANN 1993b, SCHAUPP 1993, SCHÖBERLEIN et al. 1994, PEYKER und KERSCHBERGER 1995). Bei normaler Saatstärke der Untersaaten können Ertragsverluste von bis zu 35 %, bei halbiertes Saatmenge bis zu 15 % entstehen. Bei ungünstiger Jahreswitterung leidet v.a. die Ertragssicherheit bei Mais (Ertragsschwankungen), weshalb besonders in Trockengebieten die Saatmenge von Untersaaten auf 30-50% reduziert sowie ein (sehr) später Saattermin gewählt werden sollte (SCHMIDT 1994).

4.3.3 Anbauverfahren für Stoppel- bzw. Blanksaaten

Als wesentliche Elemente der Anbauverfahren von Stoppelsaaten werden *Zwischenfruchtart, Bodenbearbeitung, Saatgutablage, Saattermin, Saatmenge* und *N-Düngung* genannt (z.B. DEBRUCK et al. 1983, GEISLER 1988, BUCHNER und KOLBE 1989, MEISINGER et al. 1991, RENIUS et al. 1992, BERENDONK und THUIR 1995, DIEPENBROCK et al. 1999; s. Tab. 4.2).

Zwischenfruchtart

Je nach Verwendungszweck (Anbauziel), Saatzeitpunkt bzw. Anbauverfahren, aber auch je nach Witterung und Bodenzustand variiert die Eignung der verschiedenen Fruchtarten (DEBRUCK et al. 1983, GEISLER 1988, BUCHNER und KOLBE 1989, RENIUS et al. 1992, BOCKHOLT 1996b, BERENDONK 1997, HAMPL 1996, DIEPENBROCK et al. 1999; vgl. Tab. 4.1 und 4.2). Nach SOMMER und RIECKMANN (1997) können zu Gründüngungszwecken prinzipiell alle Zwischenfrüchte herangezogen werden, PREUSCHEN und BERNATH (1983) und HAMPL (1996) betonen v.a. die Bedeutung von Arten bzw. Gemengen mit hohen Wurzeleistungen. Auf armen, trockenen Sandböden wird der Anbau trockenheitstoleranter Arten wie z.B. Serradella, Gelbe und Blaue Bitterlupine, Peluschke (Unterart der Felderbse) und Örettich empfohlen (RENIUS et al. 1992). Häufig wird auch zu Mischungen geraten, die im Anbau allgemein sicherer sein sollen als entsprechende Reinsaaten, weil sie unterschiedliche Witterungsbedingungen in der Vegetationszeit besser ausgleichen können (RENIUS et al. 1992, HAMPL 1996). Die Gemenge sollen Pflanzen mit unterschiedlichen Wurzelsystemen (Tief- und Flachwurzler), N-Sammler und N-Zehrer (Leguminosen und Kruziferen) kombinieren. Die Mischungspartner sollten aber

einen ähnlichen Wachstumsrhythmus haben, und die Saatstärken sind je nach Konkurrenzkraft richtig zu aufeinander abzustimmen.

Probleme der *Selbstverträglichkeit von Pflanzenarten als Haupt- und Zwischenfrucht* müssen beim Anbau berücksichtigt werden, um Fruchtfolgekrankheiten nicht zu fördern (RENIUS et al. 1992, BERENDONK 1991, PREUSCHEN und BERNATH 1983, HAMPL 1996, DIEPENBROCK et al. 1999). In der Regel sollten die einzelnen Arten nicht häufiger als jedes dritte Jahr aufeinander folgen. Insbesondere bei Mischungen mit vielen Fruchtarten müssen oft verlängerte Anbaupausen in Kauf genommen werden (RENIUS et al. 1992).

Getreide und *Mais* erlauben grundsätzlich die Aussaat aller Arten. Für *rübenreiche Fruchtfolgen* sind nematodenresistente Arten wie Ölrettich und Gelbsenf und Neutralpflanzen wie Phacelia, Gras, Klee, Hülsenfrüchte oder Buchweizen zu bevorzugen (BOCKHOLT 1996b). Zwischenfruchttraps und andere Kreuzblütler wie Stoppelrüben, Rübsen sowie die älteren Ölrettich- und Senfsorten, die nematodenvermehrend wirken können, sind hier ausgeschlossen (BERENDONK 1991, SOMMER und RIECKMANN 1997).

In Fruchtfolgen mit *Körnerraps* wird wegen möglichen Kohlherniebefalls vom Zwischenfruchtanbau mit Kreuzblütlern abgeraten (RENIUS et al. 1992, BOCKHOLT 1996b). Nach BERENDONK (1991) ist in Rapsfruchtfolgen der Anbau der Kreuzblütlerarten Futterkohl (Markstammkohl) und Ölrettich sowie der Stoppelrübensorten „Aarselia“ und „Teutonengold“ allerdings möglich.

Bei *Kartoffel Fruchtfolgen*, bei denen in nassen Jahren auf Böden mit hohem Porenvolumen Probleme mit Eisenfleckigkeit auftreten können, bieten sich Lupinen, Ölrettich oder Weidelgräser an. Winterrübsen, Raps, Phacelia und Gelbsenf scheiden in gefährdeten Gebieten für den Zwischenfruchtanbau aus (EICH et al. 1978, ROSTOCK 1981, RENIUS et al. 1992, BOCKHOLT 1996b).

Stärkere Schäden durch Unverträglichkeitsreaktionen treten besonders auch bei *Leguminosen* auf, wenn sie in zu enger Fruchtfolge nacheinander angebaut werden. Besonders empfindlich reagieren Rotklee und Felderbse, gefolgt von Sommerwicke und Ackerbohne. Winterwicken sind sehr gut selbstverträglich. Der Gemengeanbau mit Gräsern mildert aber die Selbstunverträglichkeit von Leguminosen (RENIUS et al. 1992).

Bodenbearbeitung und Bestellverfahren

Das Gelingen der Stoppelsaaten und damit die Qualität des Zwischenfruchtanbaus wird ganz wesentlich von Bodenbearbeitung und Saattechnik bestimmt (VOGT 1982, DEBRUCK et al. 1983, KREIL et al. 1983, NOATSCH 1983, PREUSCHEN und BERNATH 1983, GEISLER 1988, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, RENIUS et al. 1992, WOLF 1993, GRUBER 1994, HAMPL 1996). Art und Qualität der Bestellverfahren haben sich v.a. nach Anbauziel und Fruchtart zu richten (RENIUS et al. 1992). Bei Futternutzung muss das Stroh abgefahren, rasch gepflügt und in ein möglichst festes Saatbett bestellt werden um Zeit und Wasser zu sparen (RENIUS et al. 1992, vgl. Kap. 4.2.1). SOMMER und RIECKMANN (1997) vertreten die Meinung, dass zu Gründüngungszwecken generell eine minimierte Bodenbearbeitung ausreicht, da es bei dieser Zielsetzung im Gegensatz zur Futtererzeugung nicht unbedingt auf möglichst hohe Er-

tragsleistungen ankomme. KREIL et al. 1983, GEISLER 1988, LÜTKE ENTRUP et al. (1990), RENIUS et al. (1992), HAMPL (1996) und BOCKHOLT (1996) empfehlen aber gerade auch bei geplanter Gründung die hauptfruchtmäßige Bestellung von Zwischenfrüchten mit Pflug und Drillsaat. Auf diese Weise kann die Wasserversorgung der Zwischenfrüchte durch ein optimales Saatbett gesichert, eventuell vorhandene Pflugsohlenverdichtungen beseitigt werden und bestehen somit die besten Voraussetzungen für eine optimale Bestandesentwicklung. PREUSCHEN und BERNATH (1983) sowie HAMPL (1996) weisen bei der Bodenbearbeitung außerdem auf die Vorzüge einer nichtwendenden Lockerung der Unterkrume hin, die mit Schichtengrubbern, Rotorgrubber-Kombinationen, Spatenmaschinen und besonders mit dem Zweischichtenpflug erfolgen kann.

Stoppelsaaten zur Gründung erlauben das Einhäckseln des Vorfruchtstrohs in die Stoppel. Allerdings muss für eine gute Verteilung und sofortige, nicht zu tiefe Einarbeitung in den Boden gesorgt werden, damit das Stroh gut verrotten kann (VOGT 1982, DEBRUCK et al. 1983, PREUSCHEN und BERNATH 1983, GEISLER 1988, CHRISTOPH et al. 1991, RENIUS et al. 1992, GRUBER 1994). Große Strohpolster in der Krume verhindern deren schnellen Abbau, verhindern den optimalen Kontakt zwischen Saatgut und Bodenmatrix, legen Nährstoffe fest und ermöglichen evtl. die Entstehung von Giftstoffen (PREUSCHEN und BERNATH 1983, CHRISTOPH et al. 1991, GRUNDWÜRMER 1991, BRUNOTTE et al. 1992, WOLF 1993, GRUBER 1994). Bei großen Strohresten muss die Stoppel vor der Saatbettbereitung noch ein zusätzliches Mal bearbeitet werden. Für diese Arbeiten eignen sich vielzinkige (Flach-)Grubber Schälplüge oder Scheibeneggen (PREUSCHEN und BERNATH 1983, RENIUS et al. 1992). Nach der Stroheinarbeitung sollte die Bestellung der Stoppelsaat um 8-10 Tage verzögert werden, um eine erste Strohersetzung und das Keimen bzw. Auflaufen von Ausfallgetreide und Unkraut zu fördern (RENIUS et al. 1992).

RENIUS et al. (1992) unterscheiden drei Bestellverfahren für Stoppelsaaten (S.99 ff.):

- (1) Das „*feine*“ *Bestellverfahren* erfolgt konventionell über Pflug, Packer und Drillsaat in ein feinkrümeliges, festes Saatbett, das nicht zu locker, aber abgesetzt ist, ähnlich der Rapsbestellung als Hauptfrucht, zum sicheren, ertragreichen Futter- oder Gründungsbau. Die Pflugtiefe soll nicht über 15 cm betragen, damit Ausfallgetreide auflaufen kann. Gräser, Kleearten, Futterrapse, Phacelia, und andere Feinsaaten wie Stoppelrüben, Futterkohl und Kohlrübe sowie Winterzwischenfrüchte verlangen diese Methode für einen gleichmäßigen Feldaufgang. Bei einer geplanten Mulchsaat der Nachfrucht sollte dieses Verfahren immer angewandt werden (vgl. auch VOGT 1982, PREUSCHEN und BERNATH 1983, CHRISTOPH et al. 1991, GRUBER 1994, BOCKHOLT 1996b, BERENDONK 2001).
- (2) Beim „*mittelfeinen*“ *Bestellverfahren* erfolgt die Bodenbearbeitung und Strohverteilung über Schälen oder Fräsen, unter günstigen Bedingungen über mehrmaliges Grubbern (z.B. Schwergrubber, Scheibeneggen) oder Bearbeitung mit der Spatenrollegge (vgl. auch VOGT 1982, CHRISTOPH et al. 1991, GRUBER 1994). Die Drillsaat in das so entstandene mittelfeine, feste Saatbett ist für Grobleguminosen, und Grobleguminosengemenge mit Gräsern oder Kreuzblütlern (Ölrettich) oder Phacelia geeignet. Durch Fräse, Grubber und

Scheibenegge wird der Boden allerdings weniger gewendet und trocknet mehr aus, weswegen i.d.R. die Saatmenge etwas erhöht werden muss (PREUSCHEN und BERNATH 1983).

- (3) Im „*groben*“ *Bestellverfahren* kann das Saatbett durch mehrmalige Grubber-Spatenrollarbeitsvorgänge vorbereitet werden. Das Saatgut kann breitwürfig, eventuell gemischt mit dem Dünger (Kalkammonsalpeter) vor dem letzten Arbeitsgang ausgebracht werden oder in einem Arbeitsgang mit dem Sänavator oder anderen kombinierten Stoppelbearbeitungs- und Bestellverfahren (vgl. VOGT 1982, NOATSCH 1983, WOLF 1993, GRUBER 1994, HÖNER 1994, SOMMER und RIECKMANN 1997). Mit dieser Methode lassen sich besonders Ölrettich und Gelbsenf bestellen, unter günstigen Bedingungen auch Ackerbohnen, Sommerwicken, Felderbsen und Lupinen. Nach BERENDONK (1991) sind im Gegensatz zu RENIUS et al. (1992) auch Raps und Rübsen sehr gut für eine breitwürfige Saat nach einem Grubberstrich geeignet. Das Ausbringen von Zwischenfrüchten mit dem Düngestreuer gewährleistet aber keinen optimalen Kontakt zwischen Saatgut und Feinerde. Deshalb steigt die *Unsicherheit* in der Etablierung der Stoppelsaaten, es ist schon bei geringem Wassermangel mit verspätetem, lückigen Aufgang, unvollkommener Durchwurzelung und starker Verunkrautung zu rechnen, ggf. muss die Saatstärke um ein Drittel erhöht werden (PREUSCHEN und BERNATH 1983, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, RENIUS et al. 1992, HAMPL 1996, RIECKMANN und SOMMER 1998). Für die Ausbringung von Gemengen mit unterschiedlichen Samengrößen bzw. -gewichten ist der Schleuderstreuer generell ungeeignet, da sich das Saatgut im Flug entmischen kann (PREUSCHEN und BERNATH 1983, HÖNER 1994, HAMPL 1996).

Saattermin

Je nach Saatzeitpunkt variiert die Eignung der verschiedenen Zwischenfruchtarten. Mögliche Saattermine variieren zwischen Mitte/Ende Juli und Anfang/Mitte September (BUCHNER und KOLBE 1989, BERENDONK 1991, vgl. Tab. 4.2). Eine möglichst frühe Saat im Juli erfordern Futterkohl (Markstammkohl), alle Leguminosen (Grobleguminosen wie Lupinen, Erbsen, Wicken, Ackerbohnen und Feinleguminosen wie Perser- und Alexandrinerklee) und Gräser, die bei Saatzeitverzögerung in der Anfangsentwicklung beeinträchtigt werden. Die Kreuzblütlerarten Raps, Rübsen, Ölrettich und besonders Gelbsenf, aber auch Phacelia sind besser an spätere Saatzeiten angepasst und entwickeln sich auch dann noch recht schnell (z.B. DEBRUCK et al. 1983, KREIL et al. 1983, BERENDONK 1991 und 1997, BECKMANN 1998).

Bei frühen Saatterminen werden Sommerraps und Sommerrübsen sowie Gelbsenf aufgrund ihrer photoperiodischen Reaktion (Langtagspflanzen) sehr schnell generativ, d.h. sie bilden schnell Stängel und Blüten, werfen früh die Laubblätter ab und bilden keine geschlossene Gründecke mehr. Die Winterformen von Raps und Rübsen bleiben hingegen vegetativ und weisen einen höheren Futterwert (höherer Anteil an verdaulicher organischer Masse) auf (BRETSCHNEIDER-HERRMANN und SCHUSTER 1967, OBENAUF 1984b, GEISLER 1988, RENIUS et al. 1992, LÜTKE ENTRUP 1995, DIEPENBROCK et al. 1999).

Bei Winterzwischenfrüchten ist der richtige Saattermin besonders wichtig. Wegen der Gefahr des Abfrierens dürfen Winterzwischenfrüchte nicht zu üppige Bestände vor dem Winter ent-

wickeln (BOCKHOLT 1996b). Die höchsten Erträge werden bei Aussaat Ende August/Anfang September erzielt, bei Spätsaaten sinken die Erträge schnell ab. Winterraps sollte bis spätestens Anfang September, Winterrübsen, Welsches Weidelgras, Inkarnatkliee und Winterwicke bis Mitte September bestellt werden. Grünroggen, der auf Frühsaaten empfindlich reagiert, sollte von Ende September bis Mitte Oktober bestellt werden (GEISLER 1988, RENIUS et al. 1992).

Saatmenge

Aus langjährigen Erfahrungen in der Praxis wurden für die meisten Zwischenfruchtarten geeignete Saatstärken und Saatsmengen abgeleitet (z.B. BUCHNER und KOLBE 1989, vgl. Tab. 4.2). Abhängig von Saattermin, Bodenzustand und Witterung können die optimalen Saatsmengen oft innerhalb einer gewissen Spannweite variieren. Als Faustregeln gelten: je später die Saat, desto enger die Reihenweiten, desto höher die Saatsmenge (GEISLER 1988, BOCKHOLT 1996b). Je sorgfältiger und feiner das Saatbett ist und je genauer die Tiefenablage des Saatgutes eingehalten wird, desto geringere Aussaatmengen sind notwendig, um lückenlose und in den eventuell vorhandenen Gemischanteilen unveränderte Bestände zu erzielen (PREUSCHEN und BERNATH 1983, HAMPL 1996). Bei Mischungen sind zudem die Konkurrenzkraft und davon abgeleitete kritische Saatstärken der jeweiligen Mischungspartner zu beachten, damit die konkurrenzkräftigere Art nicht die schwächere verdrängt (RENIUS et al. 1992).

Düngung

Je nach Pflanzenart, Saattermin, Standort und Anbauziel ist bei Zwischenfrüchten eine Stickstoffdüngung nach der Saat von bis zu 100 kg N/ha erforderlich (ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982, DEBRUCK et al. 1983, KREIL et al. 1983, GEISLER 1988, BARKUSKY und FRIELINGHAUS 1991, BERENDONK 1991, 1997 und 2001, LÜTKE ENTRUP 1995, BOCKHOLT 1996b, DIEPENBROCK et al. 1999; s. Tab. 4.3, vgl. auch Tab. 4.2). Für Weidelgräser konnten bei N-Gaben von bis zu 240 (!) kg N/ha noch Ertragssteigerungen beobachtet werden (ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982). Die Stickstoffdüngung sollte aber am Entzug der Zwischenfrüchte im Aufwuchs orientiert werden. Bei früherer Saat auf besseren Böden können höhere, bei späterer Saat oder auf ärmeren, leichteren Böden sollten niedrigere Stickstoffmengen gegeben werden (BERENDONK 1991, 1997). Eine zu spät erfolgte Bestellung kann nicht durch erhöhte N-Gaben ausgeglichen werden (RENIUS et al. 1992, BERENDONK 2001). Gräser und Kruziferen erfordern bei Gründüngung eine geringere N-Düngung als bei Futternutzung. Bei Winterzwischenfrüchten sollte diese erst im Frühjahr verabreicht werden (RENIUS et al. 1992). Bei Leguminosen kann auf eine Stickstoffdüngung verzichtet werden (PREUSCHEN und BERNATH 1983, RENIUS et al. 1992, BERENDONK 1997 und 2001), bzw. es wird eine Startdüngung von max. 20-30 kg N/ha empfohlen (z.B. GEISLER 1988).

Soll mit dem Zwischenfruchtanbau Stroh in den Acker eingebracht werden, sollte die N-Düngung um ca. 20-30 kg N/ha bzw. (0,5-)1 kg N/dt Stroh erhöht werden (EICH 1979 in ROSTOCK 1981, GEISLER 1988, vgl. auch Kap. 4.2.1). Ob die N-Düngung organisch oder mineralisch verabreicht wird, ist nach LÜTKE ENTRUP et al. (1990) unerheblich (vgl. auch BEREN-

DONK 1997, SOMMER und RIECKMANN 1997). PREUSCHEN und BERNATH (1983) vertreten hingegen die Meinung, dass nur organische Dünger verwendet werden sollten, da nur diese die Mikroorganismenaktivität für Garebildung und Verrottung von Stoppelresten fördern. Im Organischen Landbau ist bei geplanter Gründüngung (N_2 -Fixierung) eine Düngung der Bestände nicht sinnvoll. Außerdem wird empfohlen, ein geplante PK-Düngung für die nachfolgende Hauptfrucht bereits auf die abgeerntete Getreidestoppel zu verabreichen, der Zwischenfruchtbestand konserviert diese Nährstoffe und ist dann auch selbst optimal versorgt (ESSER und LÜTKE ENTRUP 1982).

Tab. 4.3: Empfohlene Stickstoffdüngung (kg N/ha) je nach Pflanzengruppen, beabsichtigter Nutzung (Anbauziel) und Güte bzw. N-Vorrat des Standortes (Quelle: BOCKHOLT 1996b)

Anbauziel Standortqualität N-Vorrat	Futternutzung		Gründüngung	
	besser hoch	schlechter gering	besser hoch	schlechter gering
Gräser	60 - 80	80 - 100	20 - 40	30 - 50
Kleegrass	30 - 50	40 - 70	0 - 20	20 - 40
Leguminosen	0	0 - 20	0	0 - 20
Phacelia, Buchweizen	-	-	30 - 40	bis 50
Kreuzblütler	70 - 90	90 - 110	20 - 40	40 - 60

Pflege und Ernte der Zwischenfruchtbestände

Um den Wasserverbrauch der Zwischenfruchtbestände einzuschränken (z.B. in Trockengebieten), kann das Wachstum durch Abschleppen, Abmähen, Walzen oder Mulchen begrenzt werden (GARDNER und FAULKNER 1991, HAMPL 1996, VAUGHAN und EVANYLO 1998). Abschleppen und Walzen führen besonders bei noch nicht zu hoch gewachsenen Beständen zu einem Abknicken der Halme, so dass der Bestand nur im Wachstum begrenzt und nicht abgetötet wird. Ähnliche Effekte kann man mit dem Abmähen auf hoher Stoppel (in 10-15 cm Höhe, ca. 50% der Grünmasse) erreichen, bei dem das abgemähte Grüngut noch im Bestand abwelken kann, bevor es auf den Boden gelangt (PREUSCHEN und BERNATH 1983, LEHMANN 1987, HAMPL 1996). Um das Wurzelwachstum winterharter Zwischenfrüchte anzuregen, empfehlen PREUSCHEN und BERNATH (1983) sowie HAMPL (1996) vor dem Winter ebenfalls einen Schröpschnitt von ca. 2/3 der Grünmasse (Schnitthöhe > 8-10 cm) durchzuführen.

Winterzwischenfrüchte wie Winterrüben können etwa Mitte April, Winterraps Ende April zur Futternutzung geerntet werden. Mit der Blüte Anfang Mai nimmt die Futterqualität stark ab. Grünroggen kann von Ende April bis Mitte Mai ca. 60 bis 80 dt TS/ha Frischfutter liefern (RENIUS et al. 1992).

Der Umbruch der Zwischenfruchtbestände sollte sehr sorgfältig durchgeführt werden, um zu verhindern, dass Teile der Zwischenfrüchte überleben und evtl. zu schwer bekämpfbaren Unkräutern in der Nachfrucht werden (KVIST 1992). Dabei sollte darauf geachtet werden, dass kleinräumig nicht zu große Grünmassen in den Boden eingearbeitet werden, um Fäulnis und eine wegen Sauerstoffmangels verzögerte Verrottung des Pflanzenmulches zu vermei-

den (PREUSCHEN und BERNATH 1983, LEHMANN 1987, HAMPL 1996). Dazu sollten die Bestände zunächst locker auf hohe Stoppel geschnitten werden, je nach Jahreszeit und Witterung ein bis eineinhalb Wochen abwelken können und anschließend mit Grubber oder Scheibenegge flach in die obere Bodenschicht (3-4 cm tief) eingemischt werden. Dieses gilt insbesondere für große Grünmassen (Winterzwischenfrüchte bzw. Bestandeshöhen > 20-30 cm: DEBRUCK et al. 1983, GEISLER 1988, HEGE 1998), bei denen auch ein Abschneiden der Bestände durch ein mehrmaliges Bearbeiten mit dem Grubber mit anschließender Scheibenegge, Schälplflug oder Fräse möglich ist (PREUSCHEN und BERNATH 1983, HAMPL 1996).

4.4 Bewertung von Zwischenfruchtanbauverfahren

In die Bewertung der Zwischenfruchtanbauverfahren müssen die Ergebnisse von Zielsystem und Entscheidungsfeld einfließen. Durch einen Abgleich der genannten Ziel- und Ergebnisgrößen (vgl. Abschnitte 4.1 und 4.2) können den jeweiligen Handlungsalternativen charakteristische Bewertungsvariablen oder Nutzengrößen zugeordnet werden (MAG 1990, vgl. Kap. 2.2). Dabei müssen die verschiedenen Nutzenbeiträge der vom Entscheidungsträger gewählten Anbauziele je nach Präferenz (Gewichtung dieser Ziele) zu einem Gesamtnutzen aggregiert werden. Unscharfe Ziel- bzw. Ergebnisgrößen sollten sich dabei über Fuzzy-Inferenzverfahren miteinander verknüpfen lassen (z.B. ROMMELFANGER 1994, vgl. Kap. 2.4).

Auch der ökonomische Nutzen sollte Eingang in die Bewertung finden (z.B. BECKER und BUHLMANN 1982, DOLESCHEL 1992, RENIUS et al. 1992, BRUNOTTE et al. 1995, vgl. Kap. 4.1). Neben dem pflanzenbaulichen Nutzen können sich finanzielle Vorteile aus einem eventuell vorhandenen Futterwert, staatlichen Förderungsmöglichkeiten, der möglichen Einsparung von Düngemitteln sowie Mehrerträgen bei der Nachfrucht ergeben, die den variablen Kosten der Anbauverfahren gegenüberstehen (z.B. LÜTKE ENTRUP et al. 1990, DOLESCHEL 1992, RENIUS et al. 1992, BRUNOTTE et al. 1995, PEYKER und KERSCHBERGER 1995, HAMPL 1996). Der ökonomische Nutzen lässt sich aber nur bei reiner Futterproduktion berechnen, bei Langzeiteffekten durch Gründüngung ist dieser nur schwer abzuleiten (z.B. PREUSCHEN und BERNATH 1983, LÜTKE ENTRUP und BLOME 1990, GARDNER und FAULKNER 1991, CLAUPEIN 1994, BRUNOTTE et al. 1995, WYLAND et al. 1996). Deshalb vertreten z.B. PREUSCHEN und BERNATH (1983) und SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER (1992) die Ansicht, dass die Wirtschaftlichkeit der Verfahren bei der Anbauentscheidung nur von untergeordneter Bedeutung ist. ROBERTSEN et al. (1991) stellen eine Bewertungsmöglichkeit über Simulationsrechnungen vor: Ergebnisse mit dem EPIC-Modell (vgl. Kap. 2.3) zeigten für die Integration von Zwischenfrüchten in eine 25-jährige Mais-Sojabohnen-Fruchtfolge ein Einsparpotenzial der Stickstoffverluste um bis zu 50% bei vernachlässigbaren Ertragswirkungen; der ökonomische Langzeitnutzen (bzw. Malus) lässt sich also als die Differenz zwischen eingesparten Stickstoffkosten (plus evtl. Futtergewinnen) und zusätzlichen Anbaukosten darstellen.

Zu den *variablen Kosten* des Zwischenfruchtanbaus zählen neben den Kosten für Saatgut (vgl. Tab. 4.2) und Düngung die variablen Maschinenkosten, die bei Aussaat und Pflege des Bestandes entstehen, und auch Kosten einer eventuellen Bestandesabtötung (vgl. SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, BRUNOTTE et al. 1995, PEYKER und KERSCHBERGER 1995). Letz-

tere fallen nur bei den nicht abfrierenden Arten (v.a. Winterzwischenfrüchte oder bei geplanter Mulchsaat der Nachfrucht) an und werden von SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER (1992) im Falle einer chemischen Abtötung mit etwa 75 €/ha veranschlagt. BRUNOTTE et al. (1995) merken jedoch an, dass vergleichbare Kosten für eine Nachaufspritzung auch bei konventionellen Anbauverfahren ohne Zwischenfruchtanbau anfallen. ACHILLES et al. (1999) geben für die entstehenden Düngungs- und variablen Maschinenkosten pauschale Werte an, die in Tab. 4.4 dargestellt sind. Die fruchtartspezifischen Saatgutkosten sind in Tab. 4.2 dargestellt.

Tab. 4.4: Variable Kosten von Zwischenfruchtanbauverfahren (nach ACHILLES et al. 1999, umgerechnet).

Ansaatverfahren	Bestellverfahren	Bodenbearbeitung (€/ha)	Saatbettbereitung (€/ha)	Düngestreur (€/ha)	N-Düngerkosten (€/kg N)	Häckseln (€/ha)
Stoppelsaat	fein	21.5	9.2	4.6	4.6	12.3
	mittel	8.2	0	4.6	4.6	12.3
	grob	6.65	0	0	4.6	12.3
Untersaat	Drillsaat	0	0	4.6	4.6	12.3

Bei Stoppelsaaten fallen im Vergleich zu Untersaaten für Saatgut und Bestellung höhere Kosten an. Je nach Arten- und Sortenwahl sowie Intensität und Häufigkeit der Bodenbearbeitung ergeben sich Kosten von 75 bis 125 €/ha. Allein das Saatgut der Stoppelsaaten ist durchschnittlich ungefähr doppelt so teuer wie das der Untersaaten. Untersaaten kosten dem gegenüber nur ca. 20 bis 50 €/ha (LÜTKE ENTRUP 1992a, RENIUS et al. 1992, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, GEBAUER 1993, LÜTKE ENTRUP 1995, BOCKHOLT 1996a, HAMPL 1996). Artenreiche Gemenge verursachen höhere Saatgutkosten.

Viele Autoren (z.B. EICH et al. 1978, RENIUS et al. 1992, HAMPL 1996, EICHHORN 2000) weisen darauf hin, dass die Gründüngung Arbeitsgänge enthält, die grundsätzlich der Bodenbearbeitung zuzurechnen sind. Schäl- und Pflugfurche im Herbst sind auch ohne Einarbeitung von Gründüngungsbeständen bzw. Ernterückständen erforderlich.

Nach (SOMMER und RIECKMANN 1997) wird in Wasserschutzgebieten der Anbau von Zwischenfrüchten z.T. als freiwillige Vereinbarung mit ca. 50 bis 100 €/ha je nach Aufwand der Maßnahme finanziell honoriert (vgl. auch HOFFMANN 1996). In Brandenburg soll zukünftig über Regelungen des Kulturlandschaftsprogramms KULAP Aufwandsentschädigungen für den Zwischenfruchtanbau gewährt werden, die bei Untersaaten ca. 40 €/ha, bei Stoppelsaaten 60 €/ha betragen (BACHINGER 1999, MLUR 2000).

5 Aufbau des Entscheidungsunterstützungssystems

5.1 Übersicht

Für den Aufbau des Entscheidungsunterstützungssystems wurde eine Struktur gewählt, die sich eng an der in Kap. 2.2 dargelegten Theorie der rationalen Entscheidungsfindung (Laux 1982, BAMBERG und COENENBERG 1991) orientiert, um die Entscheidungsprozesse objektivierbar und nachvollziehbar zu machen. Das DSS integriert somit folgende wichtigste Komponenten: ein Zielsystem zur Ableitung von Zielgrößenpräferenzen (Modul „*Zielgrößenanforderung*“), ein Entscheidungsfeld zur Verknüpfung von Handlungsalternativen und nicht-kontrollierbaren Zustandsgrößen (Modul „*Zielgrößenpotenzial*“), ein Bewertungssystem zur Bewertung und Identifikation optimaler Handlungsmöglichkeiten (Modul „*Zielerfüllungsgrad*“) sowie eine graphische Benutzeroberfläche. Damit lehnt sich der Ansatz an die Entscheidungssituation eines Landwirtes an, der die Entscheidung über die Durchführung eines Anbauverfahrens anhand der Abwägung (Abgleich) zwischen zielgerichteten *Anforderungen* an die Zielgrößen der Pflanzenbestände einerseits und *Leistungspotenzialen* der Bestandesentwicklung, abhängig von Standort, pflanzenbaulicher Situation und Management, andererseits vornimmt (vgl. Beispiele in Abschnitt 2.1, S. 5).

Im Teilsystem „*Zielgrößenanforderung*“ (ZGA-Modul) werden Anforderungswerte an die Zielgrößen der Bestandesentwicklung (s.u.) berechnet, die sich fruchtart- und (teilweise) verfahrensspezifisch aus den gewählten Anbauzielen und der Höhe der gewünschten Zielleistung ergeben. Das Teilsystem „*Zielgrößenpotenzial*“ (ZGP-Modul) berechnet Erwartungswerte für die den Zielgrößen entsprechenden Ergebnisgrößen (Zielgrößenpotenzial einer Zwischenfrucht), die sich aufgrund der spezifischen Standortbedingungen (Klima- und Bodeneigenschaften), der pflanzenbaulichen Situation (Maßnahmen zu Vor- und Nachfrucht) und den berechneten Zwischenfruchtanbauverfahren (Handlungsalternativen) ergeben. Das Teilsystem „*Zielgrößenabgleich*“ (ZEG-Modul) vollführt schließlich schrittweise für jedes Anbauverfahren und alle Zielgrößen einen Abgleich zwischen Standortpotenzialen und Anforderungswerten. Je nach Verhältnis und Ausprägung von Höhe und Streuung (Unsicherheit) der Zielgrößenpotenziale und Zielgrößenanforderungen werden die einzelnen Anbauverfahren je gewähltes Anbauziel mit einem Zielerfüllungsgrad als Maßzahl der Vorzüglichkeit (Nutzengröße) im Intervall $[0,1]$ bewertet. Diejenigen Anbauverfahren, deren Zielerfüllungsgrade größer/gleich einer vom Modellanwender frei wählbaren Schranke sind, werden in einer Matrix empfehlenswerter Verfahren zusammengefasst und als Ergebnismatrix, sortiert nach zugehörigem Zielerfüllungsgrad, im Ergebnisfenster der Benutzeroberfläche ausgegeben bzw. in eine Datei geschrieben. Abb. 5.1 stellt die Struktur des Entscheidungsunterstützungssystems grafisch dar.

Eingangsgrößen in das DSS sind die *Zustandsvariablen* (Standortfaktoren und Faktoren des pflanzenbaulichen Managements), die *Entscheidungsvariablen* (vorgegebene Wertebereiche) sowie die *Anbauziele*. Zur Bewertung der Anbauverfahren werden entsprechend der Ergebnisse aus der Wissensakquisition (vgl. Kap. 4.1 und 4.2) folgende Ziel- bzw. Ergebnisgrößen der Zwischenfruchtbestandesentwicklung berechnet:

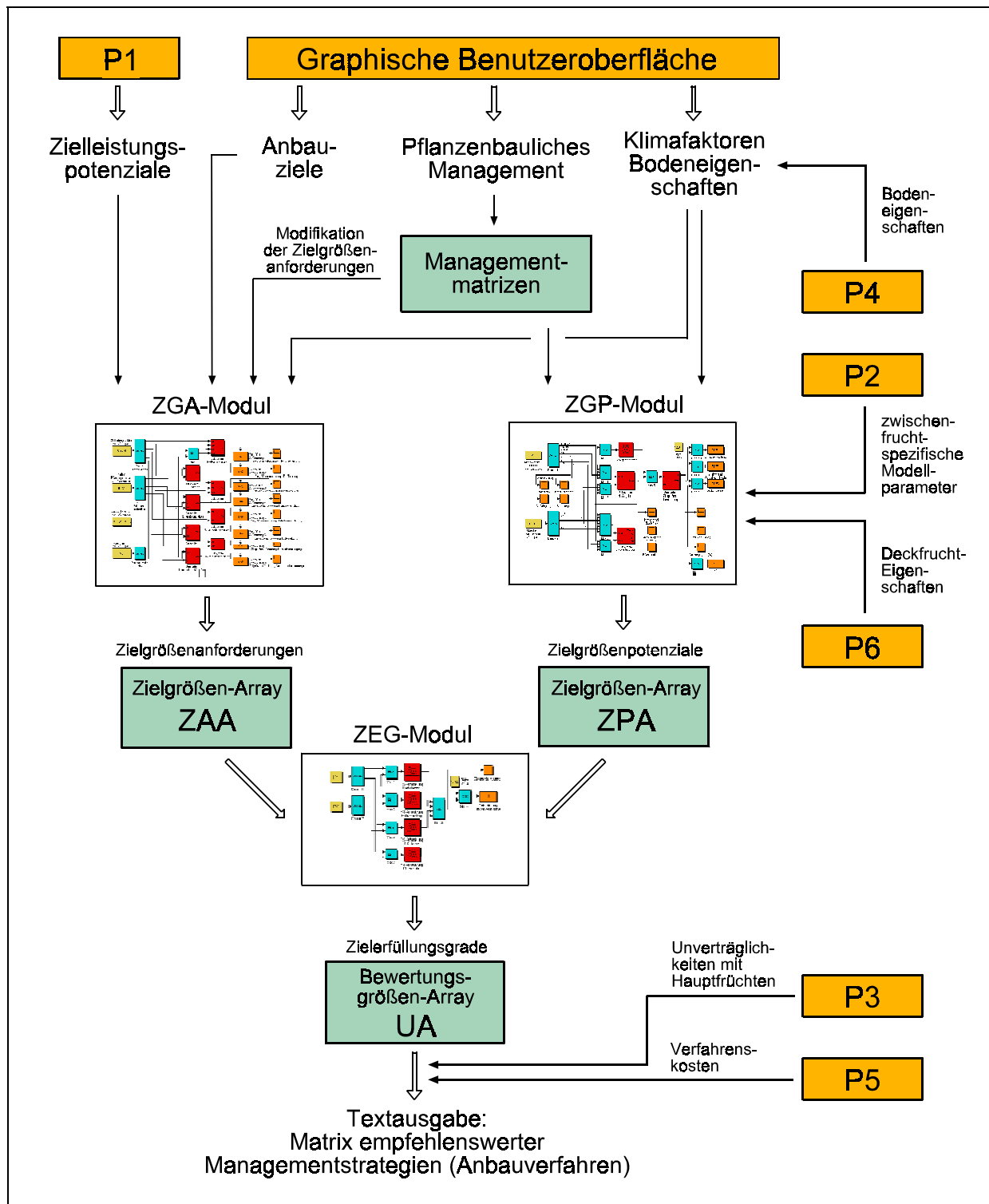


Abb. 5.1: Modellstruktur des Entscheidungshilfesystems. Dargestellt sind die Elemente (Kästen) und Relationen (Pfeile) des DSS. Die Modellelemente sind die drei wesentlichen Teilmodelle (Module, weiß hinterlegte Kästen) und die Datenquellen (Graphische Benutzeroberfläche und Parameterdateien, gelb hinterlegte Kästen) und die modellintern berechneten Matrizen bzw. Arrays (grün hinterlegte Kästen). Die Inputdaten (Einflussgrößen) werden aus GUI und Parameterdateien eingelesen, z.T. zu Managementmatrizen transformiert (pflanzenbauliche Einflussgrößen) und an die Module ZGA bzw. ZGP übergeben. Die berechneten Zielgrößenarrays (ZAA, ZPA) werden an das ZEG-Modul übergeben und der Bewertungsgrößen-Array UA ermittelt. Unter Einbeziehung weiterer Informationen aus den Parameterdateien wird dieser zur Ergebnismatrix umgeformt und an die Benutzeroberfläche zurückgegeben.

- *oberirdische Biomasse,*
- *Deckungsgrad,*
- *aufgenommene Stickstoffmenge.*

Diese Größen werden jeweils für die beiden Zeitpunkte zu Vegetationsende (Spätherbst) bzw. vor dem Umbruch zur Nachfrucht (Frühjahr) berechnet, so dass sich insgesamt sechs Zielgrößen ergeben. Weitere aussagekräftige Größen der Bestandesentwicklung (z.B. Biomasseentwicklung zu einem früheren Zeitpunkt, Aufwuchsgeschwindigkeit etc.) ließen sich für die Vielzahl der Pflanzenarten aus Literatur bzw. Expertenangaben nicht ausreichend ableiten. In der Literatur (z.B. PREUSCHEN und BERNATH 1983, HAMPL 1996) wird auch immer wieder auf den Zusammenhang zwischen Wurzelbiomasse von Zwischenfrüchten und dem Erfolg von Anbauzielen (z.B. Stabilisierung des Bodengefüges, Anreicherung von organischer Substanz, vgl. Abschnitt 4.1) hingewiesen. Für die einzelnen Fruchtarten existieren allerdings auch zu dieser Zielgröße nur sehr wenige Literatur- bzw. Expertenangaben, so dass auf ihre Berechnung verzichtet und die Wechselwirkung Wurzelbiomasse – Anbauzielerfolg aus der oberirdischen Biomasse abgeleitet wird. Abb. 5.2 und Tab. 5.1 geben eine Übersicht über die Subsysteme des DSS-Moduls „Zielgrößenpotenzial“ sowie deren Eingangs- und Ausgangsgrößen.

Um die genannten Zielgrößen für jede im Modell implementierte Zwischenfruchtart ermitteln zu können, werden die Teilmodelle für alle vom Anwender gewählten Zwischenfruchtarten und alle Anbauverfahren nacheinander durchgerechnet. Insgesamt sind 33 Zwischenfruchtarten (Reinsaaten) und weitere 18 Gemenge als Stoppelfrüchte bzw. 12 Reinsaaten sowie sieben Gemenge als Untersaaten in das Modell integriert (vgl. Tab. 5.2).

Die eigentliche DSS-Steuerung erfolgt über ein Satz an Skripten und Funktionen. Als Programmiersprache wurde für den Modellprototyp die Skriptsprache von Matlab (M-Code) gewählt (THE MATH WORKS 1998 a), um deren Simulationsoberfläche Simulink 2.2 nutzen und die in der Matlab Fuzzy Toolbox entwickelten Fuzzy-Inferenz-Systeme einbinden zu können. Für die spätere PC-fähige Version wurde die objektorientierte Sprache Python 2.0 sowie die Grafiksoftware GTK+ verwendet. Über die graphische Benutzeroberfläche des DSS erfolgt der Aufruf eines Start-Skripts, das über den Aufruf weiterer Skripte und Funktionen die Eingaben in der Benutzeroberfläche auswertet, die einzelnen Handlungsalternativen (Managementmatrizen) und Teilsysteme berechnet, die Datenübergabe zwischen den Teilsystemen steuert sowie die Ergebnismatrix in Textformat übersetzt. Tab. 5.3 gibt einen Überblick über die Programmcode-Dateien, die darin enthaltenen Funktionen (Submodelle) und deren Aufgaben.

Da das DSS in zentralen Bereichen auf Expertenwissen aufbaut, integriert es entsprechend der von PUPPE (1988) und KURBEL (1992) vorgeschlagenen Struktur für Expertensysteme (vgl. Kap. 2.3) auch Teilsysteme, die den Komponenten Wissensbasis, Dialog-, Erklärungs- und Problemlösungskomponente zuzuordnen sind. Nach dieser Definition gehören die dargestellten DSS-Module sowohl zur Problemlösungskomponente, als auch zur Wissensbasis, die sich nicht (immer) scharf voneinander trennen lassen (z.B. Fuzzy-Inferenzsysteme). Die Er-

klärungskomponente, die Erklärungen über den Systemzustand bzw. Erläuterungen zu erfragten Eingabedaten oder Wissenszusammenhängen liefern soll, wurde auf die wesentlichen Angaben beschränkt und in die Dialogkomponente (graphische Benutzeroberfläche, vgl. Kap. 5.6) integriert. Eine Wissensakquisitionskomponente, über die ein Anwender oder Fachexperte eigenes neues Wissen in das System eingeben kann, wurde nicht entwickelt. Einzelne Wissensrepräsentationsformen (z.B. integrierte Modellgleichungen, die Ausprägung einzelner unscharfer Mengen oder die Gestaltung der Inferenzregeln in Fuzzy-Systemen) können aber leicht im Programmcode der jeweiligen Dateien verändert werden.

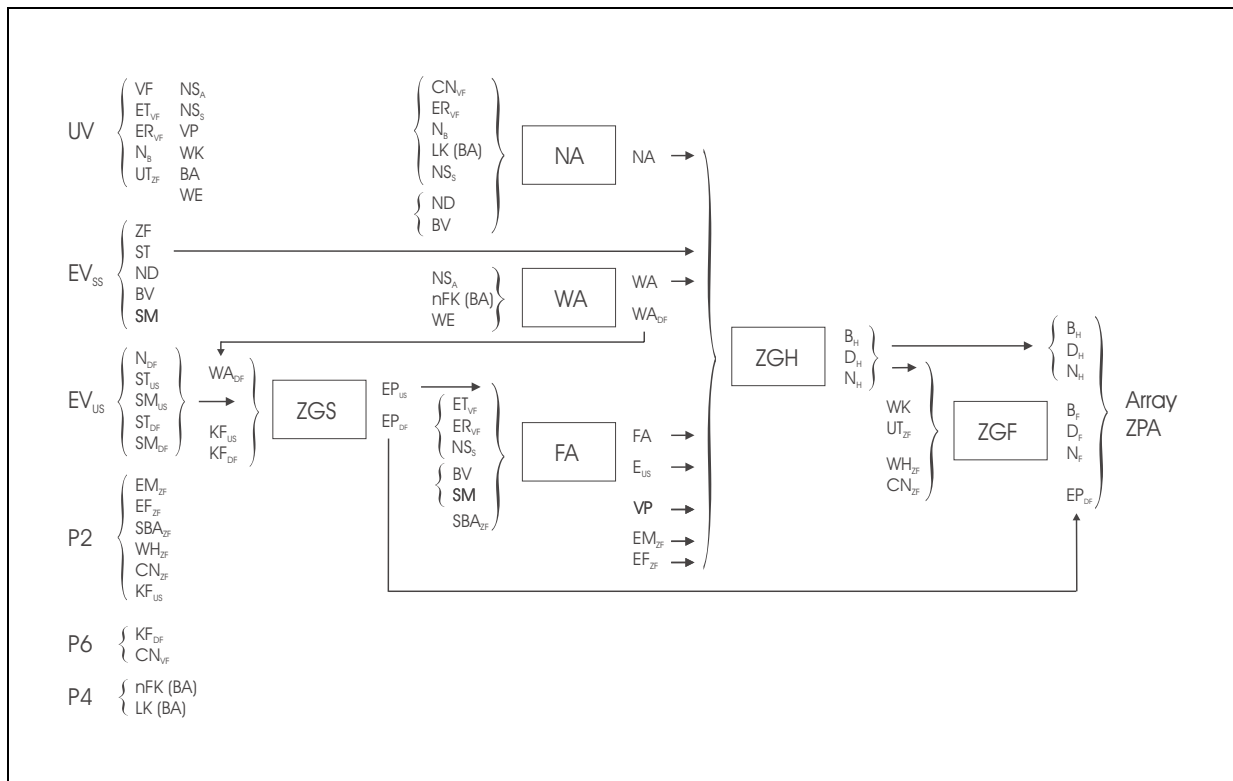


Abb. 5.2: Aufbau und Funktionsweise des DSS-Moduls „Zielgrößenpotenzial“. Die Eingangsgrößen auf der linken Seite sind zu folgenden Vektoren zusammengefasst: Umweltvariablen UV (Standortvektor und Fruchtfolgevektor), Entscheidungsvariablen des Stoppelsaatmanagements EV_{SS}, Entscheidungsvariablen des Untersaatmanagements EV_{US}, zwischenfruchtspezifische Kenngrößen aus der Datei P2, vorfrucht-(deckfrucht-) spezifische Kenngrößen aus der Datei P6. Bei Stoppelsaatbauverfahren werden die Eingangsgrößen in den drei Subsystemen „Stickstoffangebot“ (NA), „Wasserangebot“ (WA) und „Feldaufgang“ (FA) zu den gleichnamigen Zwischengrößen verarbeitet, die als Input zu den Subsystemen „Zielgrößen Spätherbst“ ZGH bzw. „Zielgrößen Frühjahr“ (ZGF) dienen. Bei Untersaatbauverfahren wird zusätzlich das Subsystem „Zielgrößen Untersaat“ (ZGS) durchlaufen, das dem FA-Modul zusätzlich die Größe „Etablierungspotenzial der Untersaat“ liefert. Die Ausgabegrößen des gesamten ZGP-Moduls werden in den Array ZPA geschrieben. Die Abkürzungen der Eingangs-, Zwischen- und Ausgabegrößen können Tab. 5.1 entnommen werden.

Die Wissensrepräsentation erfolgt über verschiedene Darstellungsformen von Algorithmen und Parametern innerhalb der Teilsysteme. Der Fachliteratur entnommene fallspezifische Parameter (z.B. bestandesdynamische Kenngrößen von Zwischenfruchtarten, bodenhydrologische Eigenschaften verschiedener Bodenarten) sind in verschiedenen Parameterdateien abgelegt. Akquiriertes Wissen wurde über Algorithmen in das DSS integriert. Hierfür wurden sowohl Modellgleichungen, die z.T. der Literatur entnommen werden konnten, als auch viel-

fach Fuzzy-Inferenz-Systeme gewählt, sofern nur unsicheres Wissen aus Expertenangaben zur Verfügung stand. Insbesondere bei letzteren überschneiden sich Wissensbasis und Problemlösungskomponente, z.B. in der Definition der Ausprägung der Zustandsvariablen über unscharfe Mengen bzw. in der Definition der Inferenzregeln.

Die integrierten Fuzzy-Inferenz-Systeme wurden mit der Matlab Fuzzy Toolbox 2.0 (THE MATH WORKS 1998 c) einheitlich nach dem Mamdani-Typ entwickelt. Gewöhnlich wurden zur Fuzzifikation trianguläre Zugehörigkeitsfunktionen (Fuzzy-Sets) verwendet, in einigen Fällen auch trapezförmige, sigmoidale oder polynomiale Funktionen. In der Regel wurden zwei bis drei, seltener vier Zugehörigkeitsfunktionen für jede Inputvariable aufgestellt. Die gewünschte Form der Output-Funktion (Bewertungsvariable) konnte meistens über eine Variation der Gewichtungsfaktoren der einzelnen Regeln erreicht werden.

Die Matlab Fuzzy Toolbox ermöglicht die Verwendung verschiedener Verknüpfungsoperatoren. Der UND-Operator (Schnitt zweier Fuzzy-Sets, engl.: *intersection*) wurde gewöhnlich durch die Multiplikation der Sets (Algebraisches Produkt) dargestellt. ODER-Operatoren (Vereinigungsmengen zweier Sets, *fuzzy union operators*) wurden in den Fuzzy-Modellen nicht verwendet. Als Implikationsmethode wurde im allgemeinen ebenfalls das Algebraische Produkt (*scaling function*), als Aggregationsprozess meistens der Summen-Operator, der die Output-Sets aller Regeln summiert, genutzt (Max-Prod-Inferenz). Zur Defuzzifikation wurde schließlich die Berechnung des Schwerpunktes aus dem aggregierten Fuzzy-Set gewählt.

Tab. 5.1: Subsysteme des DSS-Moduls „Zielgrößenpotenzial“ und deren Eingangs- und Ausgangsgrößen.

Subsystem	Eingangsgrößen	Ausgangsgrößen
Stickstoffangebot NA	C:N-Verhältnis der Ernterückstände CN _{VF} Ernte- und Wurzelrückstände der Vorfrucht (dt TS/ha) ER _{VF} N _{min} -Gehalt des Bodens nach Ernte der Vorfrucht (kg N/ha) N _B Luftkapazität des Bodens LK (BA) Häufigkeit einer Spätsommertrockenperiode NS _S Stickstoffdüngung zur Zwischenfrucht (kg N/ha) ND Bestellverfahren der Zwischenfrucht (Krumenlockerung) BV	Stickstoffangebot zur Zwischenfrucht (kg N/ha) NA
Wasserangebot WA	Jahresniederschlagssumme (mm) NS _A nutzbare Feldkapazität des Bodens nFK (BA) effektive Durchwurzelungstiefe des Bodens (dm) WE	Wasserangebot zur Zwischenfrucht (mm) WA Wasserangebot zur Deckfrucht (mm) WA _{DF}
Feldaufgang FA	Ernte- und Wurzelrückstände der Vorfrucht (dt TS/ha) ER _{VF} Häufigkeit einer Spätsommertrockenperiode NS _S Bestellverfahren (Saatbettqualität, Art der Saatgutablage) BV Saatmenge der Zwischenfrucht (kg/ha) SM _{ZF} Saatbettanspruch der Zwischenfrucht SBA _{ZF}	Feldaufgang der Stoppelsaat (rel.) FA
Zielgrößen Untersaaten ZGS	Etablierungspotenzial der Untersaat EP _{US} Erntetermin der Deckfrucht ET _{VF} Ernte- und Wurzelrückstände der Deckfrucht (dt TS/ha) ER _{VF} Häufigkeit einer Spätsommertrockenperiode NS _S	Etablierungserfolg der Untersaat (rel.) E _{US}
Zielgrößen Herbst ZGH	Wasserangebot zur Deckfrucht (mm) WA _{DF} Stickstoffangebot zur Deckfrucht (Frühjahrsdüngung in kg N/ha) N _{DF} Saattermin der Untersaat ST _{US} Saatmenge der Untersaat (kg/ha) SM _{US} Saattermin der Deckfrucht ST _{DF} Saatmenge der Deckfrucht (kg/ha) SM _{DF} Konkurrenzfähigkeit der Untersaat KF _{US} Konkurrenzkraft der Deckfrucht KF _{DF}	Ertragspotenzial der Deckfrucht (rel.) EP _{DF}
Zielgrößen Frühjahr ZGF	Saattermin ST Stickstoffangebot (kg N/ha) NA Wasserangebot (mm) WA Feldaufgang FA Etablierungserfolg der Untersaat E _{US} Ende der Vegetationsperiode VP Biomassemodell der Zwischenfrucht EM _{ZF} Biomassefaktor Zwischenfrucht EF _{ZF}	Herbstbiomasse (dt TS/ha) B _H Herbstdeckungsgrad (%) D _H N-Menge/Herbst (kg N/ha) N _H
Zielgrößen Frühjahr ZGF	Herbstbiomasse (dt TS/ha) B _H Herbstdeckungsgrad (%) D _H Klimatische Winterstärke (rel.) WK Umbruchtermin der Zwischenfrucht UT _{ZF} Winterhärte der Zwischenfrucht WH _{ZF} C:N-Verhältnis der Zwischenfruchtbiomasse CN _{ZF}	Frühjahrsbiomasse (dt TS/ha) B _F Frühjahrsdeckungsgrad (%) D _F N-Menge/Frühjahr (kg N/ha) N _F

Tab. 5.2: In das DSS integrierte Zwischenfruchtarten (Reinsaaten bzw. Gemenge), deren Abkürzungen, mögliche Ansaatverfahren als Untersaat (US) oder Stoppelsaat (SS) sowie deren Zuordnung zu Zwischenfruchtgruppen (Biomassemodell BM).

Zwischenfruchtarten	(Lat. Bezeichnung)	Abk.	SS	US	BM ³	Zwischenfruchtgemenge ¹	Abk.	SS	US	BM ³
Dt. Weidelgras	<i>Lolium perenne</i>	DWg	x	x	4	Einj. + W. Weidelgras	EWg+WWg	x	x	4
Einjähriges Weidelgras	<i>Lolium westerwoldicum</i>	EWg	x	x	4	W. Weidelgras + Winterraps	WWg+WRa	x		4
Welsches Weidelgras	<i>Lolium multiflorum</i>	WWg	x	x	5	W. Weidelgras	WWg+SB			5
Knautgras	<i>Dactylis glomerata</i>	Kng		x	5	+ Sonnenblume		x		
Wiesenschwingel	<i>Festuca pratensis</i>	WSw		x	4	W. Weidelgras + Weißklee	WWg+WK	x	x	8
Rotschwingel	<i>Festuca rubra genuina</i>	RSw		x	5	Dt. Weidelgras + Weißklee	DWg+WK	x	x	8
Grünroggen	<i>Secale cereale</i>	WR	x		3	Einj. Weidelgras	EWg+PK	x		9
Sommerraps	<i>Brassica napus</i>	SRa	x		2	+ Perserklee				
Winterraps	<i>Brassica napus</i>	WRa	x		1	Einj. oder W. Weidelgras	EWg/WWg			8
Sommerrüben	<i>Brassica rapa var. rapa</i>	SRü	x		2	+ Alexandrinerklee	+AK	x		
Winterrüben	<i>Brassica rapa var. rapa</i>	WRü	x		1	W. Weidelgras	WWg+IK	x		9
Stoppelrüben	<i>Brassica rapa</i>	StRü	x		4	+ Inkarnatklee				
Futterkohl	<i>Brassica napus</i>	FK	x		4	W. Weidelgras + Weißklee	WWg+WK			8
Ölrettich	<i>Raphanus sativa</i>	ÖR	x		1	+ Rotklee	+RK		x	
Gelbsenf	<i>Sinapis alba</i>	GS	x		2	W. Weidelgras + Weißklee	WWg+WK			9
Sareptasenf	<i>Brassica juncea</i>	SSe	x		1	+ Gelbklee	+GK		x	
Phacelia	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	PH	x		1	Rotklee + Weißklee	RK+WK		x	6
Sonnenblume	<i>Helianthus annuus</i>	SB	x		1	Gelbklee + Weißklee	GK+WK		x	7
Kulturmalve	<i>Malva verticillata</i>	KM	x		1	Landsberger Gemenge ²	LBG	x		9
Buchweizen	<i>Fagopyrum esculentum</i>	BW	x		1	Winterroggen + Winterwicke	WR+WWi	x		9
Weißklee	<i>Trifolium repens</i>	WK	x	x	7	Sommer- oder Winterraps +	WRa+FE			8
Rotklee (Wiesenklee)	<i>Trifolium pratense</i>	RK	x	x	6	Felderbse + Sommerwicke	+SWi	x		
Gelbklee	<i>Medicago lupulina</i>	GK		x	7	Sommer- oder Winterraps	WRa+FE			8
Perserklee	<i>Trifolium resupinatum</i>	PK	x		6	+ Felderbse		x		
Inkarnatklee	<i>Trifolium incarnatum</i>	IK	x		6	Sommer- oder Winterraps	WRa+SWi			8
Alexandrinerklee	<i>Trifolium alexandrinum</i>	AK	x		6	+ Sommerwicke		x		
Bodenfrüchtiger Klee	<i>Trifolium subterraneum</i>	EK	x	x	6	Winterraps	WRa+WL			8
Steinklee	<i>Melilotus officinalis</i>	SK	x	x	6	+ Weiße Tellerlupine		x		
Serradella	<i>Ornithopus sativa</i>	SD	x	x	7	Ackerbohne + Felderbse	AB+FE			6
Winterwicke	<i>Vicia villosa</i>	WWi	x		7	+ Sommerwicke	+SWi	x		
Sommerwicke	<i>Vicia sativa</i>	SWi	x		7	Ackerbohne + Felderbse	AB+FE	x		6
Weißer Bitterlupine	<i>Lupinus albus</i>	WL	x		6	Ackerbohne + Sommerwicke	AB+SWi	x		6
Blaue Bitterlupine	<i>Lupinus angustifolius</i>	BL	x		6	Felderbse + Sommerwicke	FE+SWi	x		7
Gelbe Süßlupine	<i>Lupinus luteus</i>	GL	x		7					
Ackerbohne	<i>Vicia faba</i>	AB	x		6					
Felderbse	<i>Pisum sativum</i>	FE	x		7					
Wiesenplatterbse	<i>Lathyrus sativus</i>	PE	x		7					

¹ Einj. Weidelgras = Einjähriges Weidelgras; W. Weidelgras = Welsches Weidelgras; Dt. Weidelgras = Deutsches Weidelgras

² Landsberger Gemenge = Welsches Weidelgras + Inkarnatklee + Winterwicke

³ Verwendete Biomassemodelle: 1 = FISEOR, 2 = FISEGS, 3 = FISEWR, 4 = FISEGR, 5 = FISEGR, 6 = FISELG, 7 = FISELG1, 8 = FISEKG, 9 = FISEKG1.

Tab. 5.3: Programmcode - Dateien, enthaltene Funktionen und ihre Aufgaben.

Datei	Funktion bzw. Skript	Aufgabe
intercrop.py	1 Klassenobjekt	definiert die Objekte der graphischen Benutzeroberfläche (GUI)
intercrop_handlers.py	insges. 215 Funktionen	Callbacks der GUI-Objekte
start.py	start	übergeordnetes Skript: Funktions- und Skriptaufruf, Textausgabe
	stf	Skript zum Aufruf der Submodelle
	erg_fun	Verbale Ausgabe der Ergebnismatrix für Stoppel- und Untersaaten
	dateien_lesen	liest die Parameterdateien P1 bis P6 ein
Managementmatrizen.py	mm_fun	erstellt eine Managementmatrix für Stoppelsaaten
	mmus_fun	erstellt eine Managementmatrix für Untersaaten
	stv_fun	erstellt eine Standortfaktormatrix
Zielgroessen potential.py	zg_potential	übergeordnete Funktion, Laden der Fuzzy-Inferenzsysteme
	zge	Berechnung von Zielgrößenpotenzialen bei Stoppelsaaten
	zgeus	Berechnung von Zielgrößenpotenzialen bei Untersaaten
	n_angebot	Berechnung des Stickstoffangebots zur Zwischenfrucht
	w_angebot	Berechnung des Wasserangebots zur Zwischenfrucht
	feldaufgang	Berechnung des Feldaufgangs der Zwischenfrucht
	zgh	Zielgrößenpotenziale Spätherbst
	zgf	Zielgrößenpotenziale Frühjahr
Zielgroessen anforderung.py	zganf	übergeordnete Funktion, Laden der Fuzzy-Inferenzsysteme
	zga	übergeordnete Funktion, anbauzielabhängige Berechnung der Zielgrößenanforderungen
	nkonservierung	Zielgrößenanforderungen: Anbauziel N-Konservierung
	n2fixierung	Zielgrößenanforderungen: Anbauziel N2-Fixierung
	bodenschutz	Zielgrößenanforderungen: Anbauziel Bodenschutz
	osanreicherung	Zielgrößenanforderungen: Anbauziel O.S.-Anreicherung
	bodengefuege	Zielgrößenanforderungen: Anbauziel Bodengefüge
	unterboden	Zielgrößenanforderungen: Anbauziel Unterbodenlockerung
	futternutzung	Zielgrößenanforderungen: Anbauziel Futternutzung
	unkrautverdraengung	Zielgrößenanforderungen: Anbauziel Unkrautverdrängung
Zielerfuellungsgrad.py	zferg	übergeordnete Funktion: Auswertung des Zielleistungsvektors, Zusammenstellen der Ergebnismatrix
	zielerreichungsgrad	Berechnung von Zielerreichungsgraden für alle Anbauverfahren
	zeg_modifikation	Modifikation der Zielerreichungsgrade je Anbauzielkombination
	verfahrenskosten	Berechnung von Verfahrenskosten für alle Anbauverfahren
	verfahren_filtern	Herausfiltern geeigneter Anbauverfahren
	verfahren_sortieren	Sortierung der Verfahren nach Zielerreichungsgrad oder Kosten
	kurzauswahl	Aggregation der Ergebnismatrix auf ein Anbauverfahren pro Zwischenfrucht
Textausgabe.py	titel	verbale Ausgabe der Bezeichnung des Programmsystems
	namen	weist der Ergebnismatrix verbale Ausdrücke u. Formatierungen zu
	anbauziel	weist der Ergebnismatrix verbale Ausdrücke für die Anbauziele zu
	saatmenge	weist der Ergebnismatrix artspezifische Saatmengen zu
	pflanzenarten	Textausgabe (Dialog- und Erklärungskomponente)
	zielleistungen	Textausgabe (Erklärungskomponente): gewählte Zielleistungen

5.2 Modul Zielgrößenanforderung

Allgemeines

Im Teilmodell „Zielgrößenanforderung“ erfolgt die Berechnung von Anforderungswerten an die Zielgrößen der Bestandesentwicklung abhängig von den unterschiedlichen Anbauzielen des Zwischenfruchtanbaus. Folgende neun Anbauziele wurden in das DSS aufgenommen:

- Nutzung des Zwischenfruchtaufwuchses als Grünfutter, Weide, Silage (*Futternutzung*)
- Akkumulation von organischer Bodensubstanz (*O.S.-Anreicherung*)
- Stabilisierung der Krümelstruktur des Bodens (*Bodengefügestabilisierung*)
- Auflockerung von Unterbodenverdichtungen (*Unterbodenlockerung*)
- Reduktion von Wasser- und Winderosion (*Bodenschutz*)
- Vermeidung von Nitratauswaschung im Winter (*Stickstoffkonservierung*)
- Biologische Luftstickstoffbindung durch Leguminosen (*N₂-Fixierung*)
- Biologische Unkrautbekämpfung (*Unkrautverdrängung*)
- Biologische Schaderregerbekämpfung, speziell Nematoden (*Nematodenbekämpfung*)

Die Berechnung der Zielgrößenanforderungswerte erfolgt getrennt für jedes Anbauziel in verschiedenen Submodellen. Die Submodelle bestehen zumeist aus Fuzzy-Inferenzsystemen, die regelhafte Expertenangaben integrieren, z.T. auch aus einem vernetzten System von Modellgleichungen und Fuzzy-Inferenzsystemen (z.B. beim Anbauziel N-Konservierung). Inputfaktoren in das ZGA-Modul sind die Ausprägungen der neun verschiedenen Anbauziele (Zielleistungen), die vom Modellanwender in der Benutzeroberfläche ausgewählt und spezifiziert werden können. Die Angaben werden im Zielleistungsvektor ZLV gespeichert. Tab. 5.4 zeigt die berücksichtigten Anbauziele, die Zielleistungsmerkmale und deren mögliche Ausprägungen.

Tab. 5.4: Berücksichtigte Anbauziele und deren Zielleistungen.

Anbauziel	Zielleistung	
	Merkmal	Ausprägung
Futternutzung **	Futterertrag	0-50 dt/ha
O.S.-Anreicherung	angereicherte O.S.-Menge	qualitativ *
Bodengefügestabilisierung	Krümelstruktur	qualitativ *
Unterbodenlockerung	Unterbodenstruktur	qualitativ *
Bodenschutz	rel. Bodenabtrag	100-0 %
Stickstoffkonservierung	konservierte N-Menge	kg N/ha
N ₂ -Fixierung	fixierte N-Menge	kg N/ha
Unkrautverdrängung	Unkrautbesatz	qualitativ *
Nematodenbekämpfung	Nematodenbesatz	qualitativ *

* Ausprägung qualitativer Merkmale: nicht - gering - mäßig - hoch - sehr hoch

** Auswahl der Nutzungsform (Grünfutter, Weide, Silage) und Futterqualität (gering - mittel - hoch) möglich.

Weitere Einflussgrößen sind artspezifische Zielpotenziale, die die Fähigkeit einer Zwischenfruchtart charakterisieren, ein Anbauziel über eine bestimmte Zielgröße (z.B. die Ertragsleistung) zu erreichen. Diese Zielpotenziale sind in der Parameterdatei *P1* für alle Anbauziele und Zwischenfrüchte gespeichert (vgl. Kap. 5.5 und Anhang A2). Hinzu kommen noch einige Faktoren des pflanzenbaulichen Managements (vorfruchtbezogene Maßnahmen wie Strohdüngung und Elemente der Zwischenfruchtanbauverfahren wie Stickstoffdüngung und Bodenbearbeitung), die die Erfüllung einiger Anbauziele (Stickstoffkonservierung, N₂-Fixierung, Bodenschutz, O.S.-Anreicherung, Unkrautregulierung) beeinflussen (z.B. Erhöhung der O.S.-Anreicherung durch Strohdüngung). Das ZGA-Modul wird für alle Zwischenfruchtanbauverfahren, die sich hinsichtlich dieser Verfahrenselemente unterscheiden (Matrix *M2*), und für alle gewählten Zwischenfruchtarten (Artenvektor *ZFAV* bzw. *USAV*) berechnet. Als Ergebnis resultiert das 4-dimensionale Zielgrößenanforderungsarray (*ZAA*), mit den Dimensionen Anbauziel, Zielgröße, Zwischenfruchtart und Anbauverfahren (vgl. Abb. 5.3).

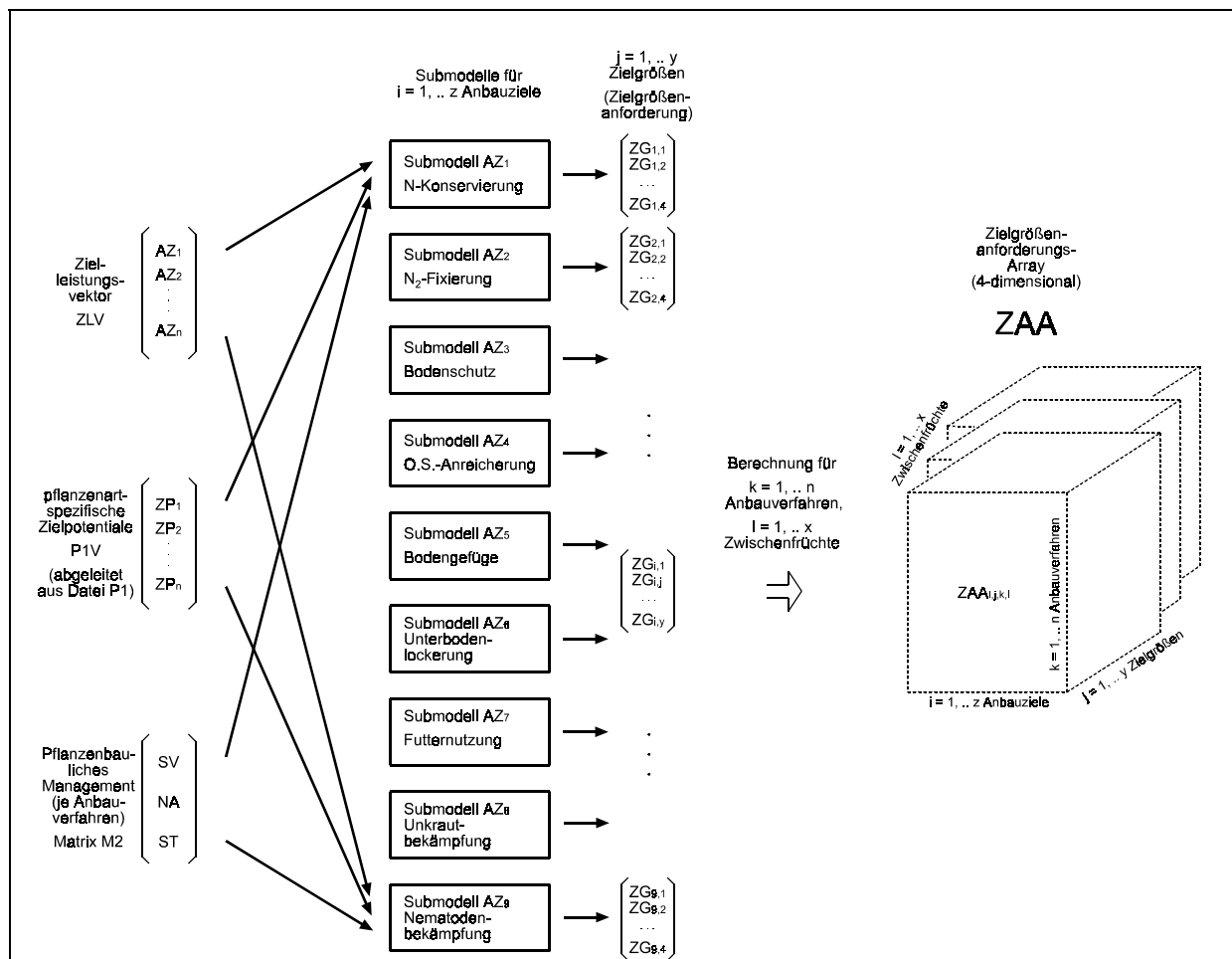


Abb. 5.3: Struktur des Teilmodells Zielgrößenanforderung. Inputs in die Submodelle sind jeweils die Zielleistungen der Anbauziele und die artspezifischen Zielpotentiale. Zusätzliche Inputs sind die Zustandsgrößen N-Angebot (Anbauziele N-Konservierung, N₂-Fixierung), Strohverteilung (Bodenschutz, O.S.-Anreicherung) und Saattermin (Nematodenbekämpfung). Die Anforderungswerte werden je Anbauziel, Zielgröße, Anbauverfahren und Zwischenfrucht berechnet: es resultiert das 4-dimensionale Zielgrößenanforderungsarray ZAA.

Die Berechnung der Anforderungen an die Zielgrößen erfolgt je Anbauziel in getrennten Submodellen. Eine Erweiterung um zusätzliche Anbauziele zu einem späteren Zeitpunkt ist auf diese Weise mit einem geringen Programmieraufwand möglich. Die Submodelle *Bodenschutz*, *Bodengefüge*, *Unterbodenlockerung*, *O.S.-Anreicherung*, *Unkrautverdrängung* und *Nematodenbekämpfung* beinhalten Fuzzy-Inferenzsysteme (FIS), die Expertenwissen zur Ableitung der Zielgrößenanforderungen aus den jeweiligen Zielleistungen verarbeiten. Die Submodelle *N₂-Fixierung* und *Futternutzung* verwenden nur Modellgleichungen, die der Literatur entnommen wurden. Das Submodell *N-Konservierung* stellt einen hybriden Ansatz aus Modellgleichungen und FIS dar. Tab. 5.5 stellt die bewerteten Zielgrößen je Anbauziel dar.

Tab. 5.5: Bewertete Zielgrößen und verwendete Fuzzy-Inferenzsysteme je Anbauziel.

Anbauziel	Zielgrößen (Bewertungsvariablen)						Fuzzy-Inferenzsysteme
	Herbst			Frühjahr			
	Biomasse	Deckungsgrad	N-Menge	Biomasse	Deckungsgrad	N-Menge	
Stickstoffkonservierung	x		x		x	x	FISSW
N ₂ -Fixierung	x		x			x	-
Bodenschutz		x			x		FISZBS
O.S.-Anreicherung	x			x			FISZOS
Bodengefüge	x	x					FISZAE, FISZAD
Unterbodenlockerung	x	x					FISZAE, FISZAD
Futternutzung	x			x			-
Unkrautbekämpfung		x			x		FISZAD
Nematodenbekämpfung	x	x					FISZAE, FISZAD

Integrativer Ansatz (Submodelle BS, BG, UB, OSA, UK, NV)

Die Parameter der Fuzzy-Inferenzsysteme FISZBS, FISZOS, FISZAE und FISZAD wurden aus Angaben von BUCHNER und KOLBE (1989) abgeleitet. Dabei wurden die für einzelne Zwischenfrüchte angegebenen (relativen) Zielleistungswerte (in den Stufen 0 = sehr gering, 1 = gering, 2 = mittel, 3 = hoch) den angegebenen oberirdischen Biomassen zugeordnet. Hierbei wurde angenommen, dass eine spezifische Höhe der Biomasse bzw. des damit korrelierten Deckungsgrades einer Zwischenfrucht die Zielleistung in der angegebenen Stufe bedingt. Aus dem Umkehrschluss dieser Annahme ergibt sich für das Erreichen einer bestimmten Stufe der Zielleistung die Anforderung an eine fruchtartsspezifische Höhe der oberirdischen Biomasse, resp. des Deckungsgrades. Weiterhin wurde angenommen, dass für das Erreichen der Zielleistung „niedrig“ die halbe Biomasse benötigt wird, die für das Erreichen der Stufe „mittel“ notwendig ist. Diese Zusammenhänge wurden in den Regelsystemen FISZAE und FISZAD über die Gewichtungsfaktoren der Regeln abgebildet. Bei den Fuzzy-Systemen FISZBS und FISZOS wurde die zusätzliche Inputvariable „Strohmenge“ integriert, da die Strohecke bei einer vorgenommenen Strohdüngung den Boden zusätzlich vor Erosion schützen bzw. zur Erhöhung der organischen Inputmenge nach Umbruch des Zwischen-

fruchtbestandes und somit zur Zielerfüllung der Anbauziele Bodenschutz bzw. O.S.-Anreicherung beitragen kann (z.B. BUCHNER 1993b, vgl. Kap. 4.1.8). Tab. 5.6 stellt die Parameter und die Verknüpfungsregeln der verwendeten Fuzzy-Modelle übersichtlich dar.

Tab. 5.6: Variablen, Zugehörigkeitsfunktionen, Parameter und Regelbasis der Fuzzy-Inferenzsysteme im Submodell Zielgrößenanforderung (Systemtyp: Mamdani, UND-Verknüpfungsoperator: prod, Implikation: prod, Aggregation: sum, Defuzzifikation: centroid).

Variablen	Zugehörigkeitsfunktionen (MF)		Parameter der MF der jeweiligen Fuzzy-Inferenzsysteme (FIS)						
	Ausprägung	Funktion ¹	FISZBS1	FISZOS	FISZAE	FISZAD	FISSW ²		
Input 1: Zielleistung ²	MF1: 'gering' MF2: 'hoch'	trimf trimf	[0, 100, 100] [0, 0, 100]	[0, 0, 4] [0, 4, 4]	[0, 0, 4] [0, 4, 4]	[0, 0, 4] [0, 4, 4]	[50, 450, 850] [450, 850, 1250]		
Input 2: Zielpotenzial ²	MF1: 'gering' MF2: 'hoch'	trimf trimf	[0, 0, 100] [0, 100, 100]	[0, 0, 100] [0, 100, 100]	[0, 0, 100] [0, 100, 100]	[0, 0, 100] [0, 100, 100]	[20, 20, 280] [20, 280, 280]		
Input 3: Strohdüngung (dt TS/ha)	MF1: 'gering' MF2: 'hoch'	trimf trimf	[0, 0, 100] [0, 100, 100]	[0, 0, 100] [0, 100, 100]	- -	- -	- -		
Output: Zielgrößenanforderung ³	MF1: 'kein'	trimf	[-20, 0, 20]	[-25, 0, 25]	[-25, 0, 25]	[-50, 0, 50]	[-320, -220, -120]		
	MF2: 'gering'	trimf	[40, 60, 80]	[5, 30, 55]	[175, 200, 225]	[350, 400, 450]	[120, 220, 320]		
	MF3: 'hoch'	trimf	[120, 140, 160]	[175, 200, 225]	-	-	[150, 250, 350]		
	MF4: 'sehr hoch'	trimf	-	-	-	-	[590, 690, 790]		
Regelbasis ⁴				Gewichtungsfaktoren der Regeln					
Regel	Input 1	Input 2	Input 3	Output	FISZBS1	FISZOS	FISZAE	FISZAD	FISSW
1	1	1		1	-	-	1	1	3 (1)
2	1	2		1	-	-	1	1	1 (0.85)
3	2	1		2	-	-	0.3333	0.3333	4 (1)
4	2	2		1	-	-	0.3333	0.3333	2 (0.85)
5	1	1	2	1	0.5	1	-	-	-
6	1	2	2	1	1	1	-	-	-
7	1	1	1	1	0.5	0.2	-	-	-
8	1	2	1	1	1	0.2	-	-	-
9	2	1	2	3	0.5	-	-	-	-
				2	-	0.3333	-	-	-
10	2	2	2	2	0.075	-	-	-	-
				1	-	0.3333	-	-	-
11	2	1	1	3	0.5	0.0666	-	-	-
12	2	2	1	3	0.13	-	-	-	-
				1	-	0.0666	-	-	-

¹ Funktionstyp der Zugehörigkeitsfunktion: trimf = trigonometrisch

² FISSW: Input 1 = Jahresniederschlag (mm), Input 2 = nutzbare Feldkapazität des durchwurzelbaren Raumes, nFKWe (mm)

³ Output Zielgrößenanforderung: Biomasse (dt TS/ha) bei FISZOS, FISZAE; Deckungsgrad (%) bei FISBS1, FISZAD; Sickerwassermenge (l/m²) bei FISSW.

⁴ Schreibweise der Regeln: WENN Input 1 = ... UND Input 2 = ... UND Input 3= ..., DANN Output = ...

Submodell N-Konservierung

Die *Zielleistung der N-Konservierung* ZL_{NK} wird definiert als die Fähigkeit, eines Zwischenfruchtbestandes einen *gewünschten Anteil* ZL' des Stickstoffangebotes zu speichern, der während der Wachstumsperiode der Zwischenfrucht potenziell auswaschungsgefährdet ist (*auswaschungsgefährdeter Stickstoff* N_L , Gl. 5.1):

$$ZL_{NK} = \min\left(\left(N_L \cdot \frac{ZL'}{100}\right), NA\right) \quad (5.1)$$

Die Menge des *auswaschungsgefährdeten Stickstoffs* N_L ergibt sich aus dem Angebot an mineralischen Stickstoff (*N-Angebot* NA) und dem Sickerwasseranteil am Infiltrationswasser, der nach MAIDL und BRUNNER (1998) aus der *winterlichen Sickerwassermenge* SW und der *nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes* nFK_{We} in Gl. (5.2) bestimmt wird:

$$N_L = NA \cdot \frac{SW}{SW + nFK_{We}} \quad (5.2)$$

Die winterliche Sickerwassermenge wird aus den Zustandsvariablen *Jahresniederschlag* NS_a und *nFK_{We}* über das Fuzzy-Inferenzsystem FISSW (Gl. 5.3) berechnet. Die Parameter des FIS können der Tab. 4.4 entnommen werden.

$$SW = f_{FIS}(NS_a, nFK_{We}) \quad (5.3)$$

Die *Zielgrößenanforderung an die oberirdische Biomasse (Ertragsanforderung)* $ZGA_{NK,B}$ ergibt sich für Nichtleguminosen aus Gl. (5.4). Sie stellt einen Zusammenhang zwischen der oberirdischen Biomasse und der pflanzlich gebundenen Stickstoffmenge in der Form einer transformierten Michaelis-Menten-Funktion dar. Die artspezifischen Parameter dieser Funktion (N_{max} und k_N) konnten durch Parameteridentifikation anhand von Daten der oberirdischen Biomasse bzw. N-Gehalte verschiedener Zwischenfrüchte (BERGER 1990, u.a., vgl. Kap. 4.2.2) gewonnen werden. Die Parameter werden aus der Parameterdatei *P1* eingelesen (vgl. Anhang A2).

$$ZGA_{NK,B} = ZL_{NK} \cdot k_N / N_{max} - ZL_{NK} \quad (5.4)$$

Bei Leguminosen ergibt sich der Anteil konservierten Stickstoffs N_K aus der Differenz von pflanzengebundener Stickstoffmenge N_P und der aus dem Luftstickstoff fixierten N-Menge N_F (Gl. 5.5):

$$N_{Kons} = N_P - N_F \quad (5.5)$$

Die *Ertragsanforderung* $ZGA_{NK,B}$ für Leguminosen ergibt sich aus Modellansätzen nach DUC et al. (1988) und ROUGHLEY et al. (1983) (zur Herleitung s. das Submodell „N₂-Fixierung“):

$$ZGA_{NF,B} = \frac{\sqrt{x_1^2 + 2x_2 \cdot k_N} - x_1}{x_2}$$

$$\text{mit } x_1 = \frac{N_{\max} \cdot ZP_{NF} \cdot b - 1}{ZL_{NK}} + 1$$

$$x_2 = \frac{2a \cdot N_{\max} \cdot ZP_{NF}}{ZL_{NK}}$$
(5.6)

und den Parametern $a = 0.0054$ und $b = 0.49$.

Die *Zielgrößenanforderung an den Deckungsgrad (Deckungsgradanforderung)* $ZGA_{NK,DG}$ ergibt sich aus der nach Gl. (5.4) bzw. (5.6) errechneten Ertragsanforderung (Gl. 5.7). Es handelt sich hierbei ebenfalls um eine Funktion vom Typ einer Michaelis-Menten-Kinetik, für die anhand von Daten nach SODTKE (1996) für verschiedene Grünbrachearten (Sommer-Rotationsbrache von Ölrettich, Gelbsenf, Phacelia u.a.) die artspezifischen Parameter DG_{\max} und k_{DG} identifiziert und auf die entsprechenden Zwischenfruchtarten übertragen werden konnten (vgl. Kap. 4.2.2). Die Parameter werden aus der Datei *P2* eingelesen (s. Anhang A2).

$$ZGA_{NK,DG} = ZGA_{NK,B} \cdot 100 / (ZGA_{NK,B} + k_{DG}) \cdot (DG_{\max} + k_{DG}) / DG_{\max}$$
(5.7)

Submodell N_2 -Fixierung

Die *Zielgrößenanforderung an die oberirdische Biomasse (Ertragsanforderung)* $ZGA_{NF,B}$ abhängig von einer gewünschten N_2 -Fixierungsleistung von Zwischenfruchtleguminosen wird nach Gl. (5.8) definiert. Wie beim Submodell „N-Konservierung“ stellt sie einen Zusammenhang zwischen der oberirdischen Biomasse und der pflanzlich gebundenen Stickstoffmenge in der Form einer transformierten Michaelis-Menten-Funktion dar. Dabei wird die aus dem Luftstickstoff fixierte N-Menge N_F nach Gl. (5.5) als Anteil der pflanzengebundenen Stickstoffmenge N_P betrachtet. Außerdem wird gemäß der Angaben nach DUC et al. (1988) von einer dynamischen, von der Zwischenfruchtbiomasse abhängigen N_2 -Fixierungsrate ausgegangen. Durch Transformation des Modellansatzes von DUC et al. ergibt sich die folgende Ertragsanforderung an den Zwischenfruchtbestand:

$$ZGA_{NF,B} = \frac{\sqrt{x_1^2 + x_2} - x_1}{2a}$$

$$\text{mit } x_1 = (b - ZL_{NF}) / (ZP_{NF} \cdot N_{\max})$$

$$x_2 = 4a \cdot ZL_{NF} \cdot k_N / (ZP_{NF} \cdot N_{\max})$$
(5.8)

und den Parametern $a = 0.0054$ und $b = 0.49$.

Das aktuelle Zielleistungspotenzial für die N_2 -Fixierung ZP_{NF} wird nach Gl. (5.9) aus dem Produkt aus artspezifischem Zielleistungspotenzial ZP_{NF}' und dem Reduktionsfaktor r_{NF} ermittelt:

$$ZP_{NF} = ZP_{NF}' \cdot r_{NF}$$
(5.9)

Die *artspezifischen Zielleistungspotenziale* ($ZP_{NF}' \in [0,1]$) wurden aus Angaben von BUCHNER und KOLBE (1989) für jede Zwischenfruchtart abgeleitet. Der von der Höhe des Stickstoffangebotes NA abhängige Reduktionsfaktor r_{NF} wird nach ROUGHLEY et al. (1983) folgendermaßen berechnet (Gl. 5.10):

$$r_{NF} = \begin{cases} 1 & \text{für } NA \leq 20 \text{ kg N/ha} \\ (1 - 0.0065 \cdot (NA - 20)) & \text{für } NA > 20 \text{ kg N/ha} \end{cases} \quad (5.10)$$

mit $r_{NF} = \in [0,1]$

Die *Zielleistungspotenziale* ZP_{NF}' werden wie auch die artspezifischen Stickstoffaufnahme-Parameter N_{max} und k_N (vgl. Submodell „N-Konservierung“) je Zwischenfrucht aus der Parameterdatei $P1$ eingelesen (s. Anhang A2).

Submodell Futternutzung

Beim Anbauziel Futternutzung besteht die Möglichkeit sich für eine bestimmte Nutzungsform der Zwischenfrucht (Weide, Grünfutter oder Silage) und eine bestimmte Futterqualität (in den Stufen „gering“ - „mittel“ - „hoch“) zu entscheiden. Die vom Anwender gewählten Kenngrößen werden in den Zielleistungsvektor ZLV aufgenommen. Für die Erfüllung des Anbauziels wurde angenommen, dass eine Zwischenfrucht die gewünschte Form der Nutzung ermöglicht und Futter mindestens von der gewünschten Qualität liefert. Die entsprechenden Parameter wurden BUCHNER und KOLBE (1989) entnommen.

Weiterhin wurde angenommen, dass ein je nach Fruchtart und Nutzungsform unterschiedlich hoher Teil der oberirdischen Biomasse B_{FN} bei der Futtergewinnung nicht mitgeerntet werden kann. Dieser muss zu der gewünschten Futtermenge $ZL_{FN,B}(NF)$ der Zwischenfrucht addiert werden. Entsprechende fruchtartspezifische Werte konnten QUADE (1993) entnommen werden und wurden in die Parameterdatei $P1$ aufgenommen (s. Anhang A2). Die Zielgrößenanforderung für das Anbauziel Futternutzung $ZGA_{FN,B}$ ergibt sich aus Gl. (5.11):

$$ZGA_{FN,B}(NF, ZF) = ZL_{FN}(NF) + B_{FN}(NF, ZF) \quad (5.11)$$

5.3 Modul Zielgrößenpotenzial

Allgemeines

Im Teilmodell „Zielgrößenpotenzial“ wird die potentielle Entwicklung der Zwischenfruchtbestände standort- und managementbezogen berechnet (Standortleistung). Als Kenngrößen der Bestandesentwicklung dienen wiederum die sechs Zielgrößen *Biomasse*, *Deckungsgrad* und *aufgenommene Stickstoffmenge* in Spätherbst und Frühjahr, für die mögliche Erwartungswerte berechnet werden. Die Berechnung der Zielgrößen erfolgt in nach den Wachstumsphasen getrennten Submodellen (Zielgrößenpotential Herbst: *ZGH-Submodell*, Zielgrößenpotential Frühjahr: *ZGF-Submodell*). Diese stellen jeweils vernetzte Systeme aus verschiedenen Modellgleichungen und Fuzzy-Inferenzsystemen dar. Einflussgrößen sind die über die Benutzeroberfläche abgefragten Standort- und Managementfaktoren. Diese werden in drei weiteren Submodellen zu den Zwischengrößen *Stickstoffangebot*, *Wasserangebot* und *Feldaufgang* aggregiert, die wiederum zusammen mit dem Anbauverfahrenselement *Saattermin* dem ZGH-Submodell als Input dienen (vgl. Kap. 4.2.1).

Bei der Zielgrößenberechnung von Untersaatverfahren wird ein weiteres Submodell (Zielgrößenpotential Sommer: *ZGS-Submodell*) den anderen Submodellen vorangestellt berechnet. Dieses liefert den *Etablierungserfolg der Untersaat nach Aberntung der Deckfrucht* als Zwischengröße, die dann anstelle der Zwischengröße *Feldaufgang* dem ZGH-Submodell als Input dient. Tab. 5.7 zeigt die in das Modell integrierten Standortfaktoren (Klimafaktoren und Bodeneigenschaften) und die für sie verwendeten Ausprägungen (Abstufungen). Tab. 5.8 stellt die verwendeten Pflanzenbaulichen Anbaufaktoren (Managementfaktoren, getrennt nach Stoppelfrüchten und Untersaaten) und deren Ausprägungen, dar.

Es wurden vier Klimafaktoren und fünf Bodeneigenschaften in das Modell integriert. Der *durchschnittliche Jahresniederschlag* wurde als grobes Maß für das regionale Wasserangebot gewählt, das das gesamte Wasserangebot zur Zeit der Bestandesentwicklung einer Zwischenfrucht bestimmt. Die *Wahrscheinlichkeit einer Spätsommertrockenheit* bezieht sich auf die Existenz von Trockenperioden während oder kurz nach einem möglichen Termin für die Zwischenfruchtaussaat. Spätsommertrockenperioden können das Bodenwasserangebot für die Keimlinge begrenzen und dienen als Schätzgröße zur Bestimmung von Unsicherheiten beim Feldaufgang oder möglichen Totalausfällen einer Saat. Das *Ende der Vegetationsperiode* begrenzt die Dauer der Vegetationsperiode und damit das Pflanzenwachstumspotential. Die *Winterhärte*, die als Häufigkeit sehr niedriger Wintertemperaturen (< -5 °C) definiert wird, wirkt sich auf die Sterberate der Pflanzen im Winter aus. Für diese Variable wurde eine Ausprägung in unscharf begrenzte, linguistisch terminierte Klassen (Fuzzy-Variable) gewählt. Die Bodeneigenschaften *Bodenart* und die *organische Bodensubstanz* bestimmen die nutzbare Feldkapazität (Bodenwasserkapazität). Die Bodenwasserkapazität und die *Durchwurzelungstiefe des Bodens* haben einen bedeutenden Einfluss auf das Wasserangebot für der Zwischenfruchtbestände (vgl. Kap. 4.2.1).

Tab. 5.7: Standortfaktoren (Klimafaktoren und Bodeneigenschaften)

Standortfaktoren		Klassifikation	Ausprägungen	Streuung	
				Eingabe über GUI	modell-intern
Klima-faktoren	Jahresniederschlag	kontinuierlich	450-850 mm	Min - Max	-
	Wahrscheinlichkeit einer Spätsommertrockenperiode	kontinuierlich	in x von 10 Jahren	Min - Max	-
	Ende der Vegetationsperiode	9 Dekaden	Anfang Oktober - Ende Dezember	-	∇ 5 Tage
	Winterhärte	4 Stufen	schwach - mäßig - kalt - sehr kalt	-	∇ 0,5 Stufen
Boden-eigen-schaften	Bodenart	32 Klassen	z.B.: „stark lehmiger Sand“ ¹	-	-
	Gehalt an organischer Bodensubstanz	5 Klassen	z.B.: „schwach humos“ ¹	-	-
	Durchwurzelungstiefe	10 Stufen	1 - 10 dm	-	-
	<i>nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes</i> ²	kontinuierlich	-	-	∇ 10 %
	<i>Luftkapazität</i> ²	kontinuierlich	-	-	∇ 20 %

¹ nach Bodenkundliche Kartieranleitung (AG BODENKUNDE 1994)

² aus Bodenart, Gehalt an organischer Substanz und Durchwurzelungstiefe abgeleitete Größen.

Die meisten dieser Faktoren wurden als Fuzzy-Variablen in das Modell integriert. Angaben zu Unsicherheiten dieser Einflussgrößen (Streubreite) können dabei z.T. direkt vom Anwender über die graphische Benutzeroberfläche (GUI) eingegeben werden (z.B. Jahresniederschlag). Für einen anderen Teil dieser Faktoren (z.B. Ende der Vegetationsperiode) werden über die Benutzeroberfläche bestimmte Klassenbereiche (Ausprägungen mit unscharfen Grenzen) gewählt, für die modellintern festgesetzte Streubreiten verrechnet werden (vgl. Tab. 5.8).

Für den Zwischenfruchtanbau als Stoppelsaat wurden zehn Managementfaktoren in das Modell integriert. Drei dieser Faktoren beziehen sich auf die vorangehende Hauptfrucht (*Vorfruchtart, Menge der Ernterückstände, Restnitratmenge im Boden*), die alle die Höhe des mineralischen Stickstoffangebotes zur Zwischenfrucht beeinflussen. Die *Menge der Ernterückstände* (Strohdüngung), die *Art der Bodenbearbeitung* und die *Saatmethode* haben einen großen Einfluss auf den Kontakt des Samens bzw. Keimlings mit der Bodenmatrix (Wasserangebot für den Keimling) und beeinflussen deshalb das Keimlingswachstum (Auf-laufrate) und die Pflanzendichte (z.B. Renius et al. 1992, vgl. Kap. 4.2.1). Das Verfahrenselement *Saatmenge der Zwischenfrucht* dient als Möglichkeit, die Bodenbedeckung im Falle geringerer Pflanzendichten zu erhöhen. *Saattermin* und *Umbruchtermin* bestimmen die Entwicklung des Pflanzenwachstums über die Länge der Vegetationsperiode. Die *Stickstoffdüngung* zur Zwischenfrucht wird als direkter Beitrag zum Stickstoffangebot betrachtet. Die Wahl der *Zwischenfruchtart* schließlich beeinflusst spezifische Effekte der Zustandsgrößen (Länge der Vegetationsperiode, Wasserangebot, Stickstoffangebot), die die Zielgrößen (Zwischenfruchtertrag, Deckungsgrad) bestimmen. Die meisten dieser Einflussgrößen sind wiederum als Fuzzy-Variablen in das Modell integriert, deren Streubreiten entweder direkt über die Benutzeroberfläche eingegeben oder indirekt über die Angabe unscharfer Ausprägungen modellintern ermittelt werden.

Tab. 5.8: Pflanzenbauliche Anbaufaktoren (Managementbezogene Zustandsvariablen und Entscheidungsvariablen) im DSS für Stoppelsaat- und Untersaatenbauverfahren

Frucht	Managementfaktoren	Klassifikation	Ausprägungen	Streuung	
				Eingabe über GUI	modellintern
Hauptfrucht (Vorfrucht)	Hauptfruchtart	10 Vorfrüchte	z.B.: Getreide, Leguminosen	-	-
	C:N-Verhältnis ⁴	kontinuierlich	15 - 100	-	∇ 20 %
	Erntetermin ⁴	8 Dekaden	Anfang Juli - Mitte September	-	∇ 5 Tage
	Menge der Ernterückstände	kontinuierlich	0 - 100 dt TS/ha	Min - Max	-
	Restnitratmenge im Boden (geschätzt)	kontinuierlich	0 - 250 kg N/ha	Min - Max	-
Zwischenfrucht (Stoppelsaat)	Bodenbearbeitung (Saatbettqualität) ^{1,2}	3 Stufen	Pflug, Schwergrubber, Grubber	-	∇ 0,1 Stufen
	Saatmethode ^{1,2}	2 Stufen	Drillsaat - Breitsaat	-	-
	Saattermin ¹	8 Dekaden	Anfang Juli - Mitte September	-	∇ 5 Tage
	Saatmenge ¹	3 Stufen	gering - normal - hoch	-	∇ 0,5 Stufen
	Zwischenfrucht ¹	51 Varianten	Arten/Gemenge vgl. Tab. 4.1	-	-
	Stickstoffdüngung ¹	6 Stufen	0, 20, 40, 60, 80, 100 kg N/ha	-	∇ 10 kg N/ha
	Umbruchtermin	24 Dekaden	Anfang Oktober - Ende Mai	-	∇ 5 Tage
Hauptfrucht (Deckfrucht)	aktuelle Konkurrenzfähigkeit ¹	3 Stufen	schwach - mittel - stark	-	-
	Saattermin ¹	3 Termine	früh - mittel - spät	-	-
	Saatmenge ¹	3 Stufen	gering - normal - hoch	-	-
	Stickstoffdüngung (Frühjahr) ¹	3 Stufen	gering - normal - hoch	-	∇ 0,2 Stufen
Zwischenfrucht (Untersaat)	Saatmethode ^{1,3}	2 Stufen	Drillsaat - Breitsaat	-	-
	Saattermin ^{1,3}	6 Termine	Herbst (früh - mittel - spät), Frühjahr (früh - mittel - spät)	-	-
	Saatmenge ¹	3 Stufen	gering - normal - hoch	-	-
	Zwischenfrucht ¹	19 Varianten	Arten/Gemenge vgl. Tab. 4.1	-	-
	Stickstoffdüngung ¹	6 Stufen	0, 20, 40, 60, 80, 100 kg N/ha	-	∇ 10 kg N/ha
	Umbruchtermin	24 Dekaden	Anfang Oktober - Ende Mai	-	∇ 5 Tage

¹ Die Anbauverfahrenselemente (Entscheidungsvariablen) können vom Modellanwender als fixierte oder variable Einflussgrößen gewählt werden.

² Bodenbearbeitung und Saatmethode von Stoppelsaaten sind zu den drei Bestellverfahren („fein“ = Pflug + Drillsaat, „mittelfein“ = Schwergrubber + Drillsaat, „grob“ = Grubber + Breitsaat) zusammengefasst.

³ Saatmethode der Untersaat abhängig vom Saattermin (früher + mittlerer Termin = Drillsaat, später Termin = Breitsaat).

⁴ Diese Faktoren werden modellintern aus der Angabe der Hauptfrucht und artspezifischen Angaben in der Parameterdatei P6 abgeleitet.

Die Einflussgrößen werden in verschiedenen Vektoren wie folgt zusammengefasst: standortbezogene Angaben im Standortvektor *STV*, vor- und nachfruchtbezogene Angaben im Fruchtfolgevektor *FFV* und zwischenfruchtbezogene Angaben in verschiedenen Managementvektoren. Alle Einflussgrößen können vom Modellanwender über eine zugehörige graphische Benutzeroberfläche eingegeben werden. Bei einigen Zustandsvariablen (z.B. Jahresniederschlag, Menge der Ernterückstände) ist bei Unsicherheiten bzw. räumlichen Schwankungen eine Angabe von Spannweiten möglich (s. oben). Sollte es dem Anwender nicht möglich sein alle Einflussgrößen auf bestimmte Werte festzusetzen, werden diese Faktoren auf bestimmte

Grundeinstellungen (Defaults) gesetzt. In diesem Fall ist eine Modellrechnung unter weniger genaueren Bedingungen ebenfalls möglich.

Diese Auswahl der zwischenfruchtbezogenen Angaben bestimmt Anzahl und Kombinationsmöglichkeiten der empfohlenen Anbauverfahren. Die Anbauverfahren von Stoppelsaaten setzen sich aus den Elementen (Entscheidungsvariablen) *Zwischenfruchtart*, *Bestellverfahren* (Kombination aus Bodenbearbeitung und Aussaatverfahren), *Saattermin*, *Saatmenge* und *Stickstoffdüngung* zusammen. Die Anbauverfahren von Untersaaten bestehen aus deckfruchtbezogenen Entscheidungsvariablen (*Deckfrucht*, *aktuelle Konkurrenzfähigkeit der Deckfrucht*, *Saattermin der Deckfrucht* und *erste Frühjahrsdüngung zur Deckfrucht*) und untersaatbezogenen Entscheidungsvariablen (*Untersaatart*, *Saattermin der Untersaat*, *Stickstoffdüngung zur Zwischenfrucht*; vgl. Tab. 5.8). Die Entscheidungsvariablen können vom Modellanwender entweder auf bestimmte Werte fixiert oder variabel (in einer vordefinierten, begrenzten und diskreten Anzahl von Varianten) gehalten werden. Bei Stoppelfrüchten werden festgesetzte Werte in den Managementvektor *ZFMV*, Angaben über fixierte oder variable Werte in den Managementvariationsvektor *ZFVV* geschrieben. Bei Untersaaten erfolgt Angabe untersaatbezogener Entscheidungsvariablen in die entsprechenden Vektoren *USMV* bzw. *USVV*, deckfruchtbezogene Angaben in die Vektoren *DFMV* bzw. *DFVV*. Je nach Wahl fixierter oder variabler Ausprägung der Verfahrenselemente ergeben sich unterschiedlich viele Kombinationen dieser Elemente, die jeweils unterschiedliche Anbauverfahren darstellen. Diese Verfahrenskombinationen werden durch spezifische Funktionen („mm_fun“, „mmus_fun“, vgl. Tab. 5.3) berechnet und in Managementmatrizen variabler Größe zusammengestellt. Insgesamt werden drei verschiedene Managementmatrizen erstellt, die sich auf das unterschiedliche Management von Stoppelsaat- und Untersaatverfahren beziehen (M1 bzw. M3). Diejenigen Anbaufaktoren (Bodenbearbeitung, Stickstoffdüngung), die auch die Erfüllung der Anbauziele (Stickstoffkonservierung, N₂-Fixierung, Bodenschutz, Unkrautregulierung) direkt beeinflussen, werden zu einer dritten Matrix (M2) zusammengefasst, die Anforderungen an die berechneten Zielgrößen (im Modul Zielgrößenanforderung) modifiziert (siehe Kap. 5.3).

Submodell N-Angebot

Das *Stickstoffangebot zur Zwischenfrucht* N_A wird im Submodell *N-Angebot* ermittelt. Es stellt eine Funktion aus dem aktuellem Stickstoffangebot des Bodens nach Ernte der Vorfrucht (*residualer Boden-N_{min}-Gehalt* N_R), der *Stickstoffnachlieferung des Bodens* während der Zwischenfruchtwachstumsperiode N_N und der *Stickstoffdüngung zur Zwischenfrucht* N_D , abhängig vom *Stickstoffangebot des durchmischten Oberbodens* N_{OB} , dar (Gl. 5.12):

$$N_A = \begin{cases} 0 & \text{für } N_{OB} + N_N < 0 \\ N_R + N_N + N_D & \text{für } N_{OB} + N_N \geq 0 \end{cases} \quad (5.12)$$

Der *residuale Boden-N_{min}-Gehalt* kann vom Modellanwender in der Benutzeroberfläche (GUI, mit Angabe der Streubreite) angegeben werden. Die *Stickstoffdüngung* kann entweder im GUI (Stoppelsaat- bzw. Untersaat-Management) als feste Angabe gewählt werden oder er-

gibt sich aus dem jeweils berechneten Anbauverfahren (Anbauverfahrenselement). Die *Stickstoffnachlieferung des Bodens* wird als Funktion der *Ernterückstände der Vorfrucht (Strohdüngung SD)*, deren artspezifisches *C:N-Verhältnis CN_{VF}* , des durch Mikroorganismen *immobilisierten Stickstoffs N_{im}* und der *Mineralisationsrate r_{min}* beschrieben (Gl. 5.13):

$$N_N = SD \cdot r_{min} \left(\frac{100}{2 \cdot CN_{VF}} - N_{im} \right) \quad (5.13).$$

Die Menge immobilisierten Stickstoffs wird dabei auf den Wert $N_{im} = 1,5$ kg N/dt Stroh festgesetzt (SCHEFFER et al. 1992). Die gedüngte Strohmenge und das C:N-Verhältnis des Strohs werden in der Benutzeroberfläche (mit ihren Streubreiten) abgefragt. Die *Mineralisationsrate r_{min}* wird aus den Inputvariablen *Luftkapazität des Bodens LK*, *Häufigkeit einer Sommertrockenperiode NS_s* und dem Anbauverfahrenselement *Bestellverfahren BV* (Einfluss des Bestellverfahrens auf die Krumenlockerung) über das Fuzzy-Inferenzsystem FISNMIN nach Gl. (5.14) ermittelt. Die Informationen zur Aufstellung der Regeln des Fuzzy-Inferenzsystems wurden Literaturangaben entnommen (RENIUS et al. 1992, SCHEFFER et al. 1992):

$$r_{min} = f_{FIS} (LK, NS_s, BV) \quad (5.14)$$

Bei der Strohdüngung mit stickstoffarmen Getreidestroh (weites C:N-Verhältnis: $CN_{VF} > 30$) wird (kurzfristig) mehr Stickstoff durch Bodenmikroorganismen immobilisiert und die Funktion in Gl. (5.13) negativ. Dieses Stickstoffdefizit kann durch das *Stickstoffangebot im durchmischten Oberboden N_{OB}* ausgeglichen werden. Dieses wird durch eine Funktion aus dem *residualen Boden- N_{min} -Gehalt N_R* und der *Stickstoffdüngung zur Zwischenfrucht N_D* , abhängig von der Durchmischung der Krume durch das jeweilige Bestellverfahren, beschrieben (Gl. 5.15). Beim „feinen“ Verfahren wird angenommen, dass durch die Kombination aus Grubber- und Pflugbearbeitung die gesamte Krume (angenommene Krumenmächtigkeit 30 cm) gleichmäßig durchmischt wird und deshalb der gesamte *residuale Boden- N_{min} -Gehalt N_R* dem Stickstoffangebot des Oberbodens zuzurechnen ist. Beim „mittelfeinen“ Verfahren mit tiefer (Schwer-) Grubberbearbeitung (ca. 20 cm tief) werden nur 2/3 des N_{min} -Gehaltes, beim „groben“ Stoppelsaatverfahren mit flacher (ca. 10 cm tiefer) Grubberbearbeitung (und ebenso bei den Untersaatverfahren ohne Bodenbearbeitung) werden nur 1/3 des N_{min} -Gehaltes angerechnet:

$$N_{OB} = \begin{cases} N_R + N_D & \text{für } BV = 1 \text{ ("fein")} \\ \frac{2}{3} \cdot N_R + N_D & \text{für } BV = 2 \text{ ("mittel")} \\ \frac{1}{3} \cdot N_R + N_D & \text{für } BV = 3 \text{ ("grob")} \end{cases} \quad (5.15)$$

Wird ein (mögliches) Stickstoffdefizit aus der Strohdüngung durch das Stickstoffangebot im Oberboden nicht ausgeglichen (z.B. bei schlechter Durchmischung der Krume beim „groben“ Bestellverfahren und geringer Stickstoffdüngung), wird das N-Angebot für die Zwischenfrucht in Gl. (5.12) als $N_A = 0$ gesetzt. Wird das Stickstoffdefizit ausgeglichen bzw. ist die Stickstoffnachlieferung durch ein engeres C:N-Verhältnis der Vorfrucht (z.B. Leguminosen) positiv,

wird N_A als Summe aus *residuaalem Boden- N_{min} -Gehalt* N_R , *Stickstoffnachlieferung* N_N und *Stickstoffdüngung* N_D berechnet.

Submodell Wasserangebot

Das Wasserangebot für das Zwischenfruchtwachstum (Bestandeswasserangebot) wird als Funktion der Zustandsvariablen *Jahresniederschlag* NS_a und *nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes* nFK_{W_e} im Fuzzy-Inferenzsystem FISWAZF berechnet (Gl. 5.16):

$$WA = f_{\text{FIS}}(NS_a, nFK_{W_e}) \quad (5.16)$$

Die nFK_{W_e} wird nach Tabellenwerten der Bodenkundlichen Kartieranleitung (nFK in Vol. %, AG BODENKUNDE 1994, S. 297) aus der *Bodenart*, dem *Gehalt an organischer Bodensubstanz (Humusgehalt)* und durch Multiplikation mit der *effektiven Durchwurzelungstiefe des Bodenprofils* W_e bestimmt. Die nFK -Tabellewerte nach Bodenarten und Humusgehalten sind in der Parameterdatei P4a gespeichert (vgl. Anhang A2). Bodenart und Gehalt an organischer Bodensubstanz können vom Modellanwender im GUI in den Klassen, die die Bodenkundliche Kartieranleitung vorgibt, angegeben werden. Die *effektive Durchwurzelungstiefe des Bodenprofils* W_e wird nach Gl. (5.17) aus dem Maximum der im GUI angegebenen *Tiefe des Bodenprofils* W_B und der *maximalen Durchwurzelungstiefe von Zwischenfrüchten* W_{ZF} berechnet. Die maximale Durchwurzelungstiefe wird von ROTH (1998) für alle Zwischenfrüchte pauschal mit $W_{ZF} = 50$ cm angegeben:

$$W_e = \max(W_B, W_{ZF}) \quad (5.17)$$

Die Berechnung der Größen W_B und nFK_{W_e} erfolgt in der Funktion „sv_fun“ der Datei „Managementmatrizen.py“, die auf die Parameterdateien P4a (bzw. P4b) zurückgreift und die berechneten Werte für nFK , nFK_{W_e} (bzw. LK) in die Standortfaktormatrix SV schreibt. Die Parameter des Fuzzy-Inferenzsystems FISWAZF sind in Tab. 5.9 dargestellt.

Submodell Feldaufgang

Der Feldaufgang einer Zwischenfrucht (Stoppelsaat) wird als Funktion der Zustandsvariablen Verteilungsqualität der Ernte- und Wurzelrückstände (Strohverteilung SV), Saatbettqualität SB, Saatbettanspruch SBA einer Zwischenfrucht, Saatmenge der Zwischenfrucht SM, Art der Saatgutablage SA und Wahrscheinlichkeit von Spätsommertrockenperioden NS_S in einem Fuzzy-Inferenzsystem berechnet (Gl. 5.18):

$$FA = \begin{cases} f_{FIS,1}(SV, SB, SBA, SM, NS_S) & \text{für } SA = 0 \quad (\text{Drillsaat}) \\ 0.8 \cdot f_{FIS,2}(SV, SB, SBA, SM, NS_S) & \text{für } SA = 1 \quad (\text{Breitsaat}) \end{cases} \quad (5.18)$$

Saatgutablage (Drillsaat, Breitsaat) und Saatbettqualität, die durch die Art und Weise der Bodenbearbeitung bestimmt wird, sind Teil des Anbauverfahrenselements Bestellverfahren. Bei Drillsaat erfolgt die Berechnung im Fuzzy-Inferenzsystem FISFADS, bei Breitsaat in FISFABS. Die Strohverteilung wird als Funktion der Saatbettqualität und der *Menge der Ernte- und Wurzelrückstände der Vorfrucht (Strohdüngung SD)*, die im GUI abgefragt wird, aufgefasst und in dem vorangeschalteten Fuzzy-Inferenzsystem FISSV berechnet (Gl. 5.19):

$$SV = f_{FIS}(SD, SB) \quad (5.19)$$

Bei der Berechnung von Untersaatanbauverfahren wird in diesem Submodell anstelle des Feldaufgangs der *Etablierungserfolg einer Untersaat E_{US}* ermittelt. Dieser stellt eine Funktion der Zustandsvariablen *Etablierungspotential der Untersaat EP_U* , (*Outputgröße des ZGS-Submodells*), *Strohdüngung SD*, *Wahrscheinlichkeit von Spätsommertrockenperioden NS_S* und dem *Erntetermin der Deckfrucht ET* dar und wird im Fuzzy-Inferenzsystem FISFAUS berechnet (Gl. 5.20). Der Erntetermin der Deckfrucht wird als fester deckfruchtspezifischer Wert aus der Parameterdatei P6 eingelesen.

$$E_{US} = f_{FIS}(SD, EP_U, NS_S, ET) \quad (5.20)$$

Die Parameter des Fuzzy-Modelle sind in Tab. 5.10 dargestellt.

Tab. 5.10: Variablen, Zugehörigkeitsfunktionen und Parameter der Fuzzy-Inferenzsysteme im Submodell Felddaugang (Systemtyp: Mamdani, UND-Verknüpfungsoperator: prod, Implikation: prod, Aggregation: sum, Defuzzifikation: centroid).

Variablen	Zugehörigkeitsfunktionen (MF)		Parameter der MF der jeweiligen Fuzzy-Inferenzsysteme (FIS)		Variablen	Zugehörigkeitsfunktionen (MF)		Parameter der MF	
	Ausprägung	Funktion	FISFAD	FISFAB		Ausprägung	Funktion		
Input 1: Strohverteilung	MF1: 'gut' MF2: 'schlecht'	trimf trimf	[0,5, 1,3] [1, 3, 3,5]	[0,5, 1,3] [1, 3, 3,5]	Input 1: Ernterückstände	MF1: 'gering' MF2: 'hoch'	trimf trimf	FISFAUS [0, 0, 100] [0, 100, 100]	
Input 2: Saatbettanspruch	MF1: 'hoch' MF2: 'niedrig'	trimf trapmf	[0, 0,3333, 1] [0,3333, 1, 3, 4]	[0, 0,3333, 1] [0,3333, 1, 3, 4]	Input 2: Etablierungspotent.	MF1: 'gering' MF2: 'hoch'	zmf smf	[0, 1,5] [0, 1,5]	
Input 2: Saatmenge (kg/ha)	MF1: 'gering' MF2: 'normal' MF3: 'hoch'	trimf trimf trimf	[0, 0, 1] [0, 1, 2] [1, 2, 2]	[0, 0, 1] [0, 1, 2] [1, 2, 2]	Input 3: Häufigkeit einer Sommer trockenheit	MF1: 'gering' MF2: 'hoch'	trimf trimf	[0, 0, 1] [0, 1, 1]	
Input 4: Häufigkeit einer Sommer trockenheit	MF1: 'gering' MF2: 'hoch'	trimf trimf	[0, 0, 1] [0, 1, 1]	[0, 0, 1] [0, 1, 1]	Input 4: Erntetermin DF	MF1: 'früh' MF2: 'spät'	trimf trimf	[180, 180, 240] [180, 240, 240]	
Output: Überwinterungsrate	MF1: 's. gering' MF2: 'gering' MF3: 'mälsig' MF4: 'hoch' MF5: 'sehr hoch'	trimf trimf trimf trimf trimf	[0, 0,2, 0,4] [0,2, 0,4, 0,6] [0,3, 0,5, 0,7] [0,7, 0,9, 1,1] [0,8, 1, 1,2]	[0, 0,2, 0,4] [0,2, 0,4, 0,6] [0,3, 0,5, 0,7] [0,7, 0,9, 1,1] [0,8, 1, 1,2]	Output: Etablierungserfolg	MF1: 's. gering' MF2: 'gering' MF3: 'mälsig' MF4: 'mittelhoch' MF5: 'hoch' MF6: 'sehr hoch'	trimf trimf trimf trimf trimf trimf	[-0,2, 0, 0,2] [0,05, 0,25, 0,45] [0,3, 0,5, 0,7] [0,8, 1, 1,2] [1,3, 1,5, 1,7] [1,8, 2, 2,2]	
Regelbasis					Regelbasis				
Regel	Input 1	Input 2	Input 3	Input 4	Output	GF	Output	GF	
1	1	1	1	1	1	0,25	1	0,25	
2	1	1	1	0,5	1	0,5	1	0,5	
3	1	1	2	1	2	0,25	2	0,125	
4	1	1	2	2	1	0,25	1	0,25	
5	1	1	3	1	3	0,75	3	0,375	
6	1	1	3	2	1	0,75	1	0,75	
7	1	2	1	1	1	0,05	1	0,025	
8	1	2	1	2	1	0,05	1	0,05	
9	1	2	2	1	5	0,1	5	0,05	
10	1	2	2	2	1	0,1	1	0,1	
11	1	2	3	1	4	0,08	4	0,04	
12	1	2	3	2	1	0,08	1	0,08	
13	2	1	1	1	1	0,1	1	0,05	
14	2	1	1	2	1	0,1	1	0,1	
15	2	1	2	1	1	0,1	1	0,05	
16	2	1	2	2	1	0,1	1	0,1	
17	2	1	3	1	1	0,1	1	0,05	
18	2	1	3	2	1	0,1	1	0,1	
19	2	2	1	1	1	0,02	1	0,01	
20	2	2	1	2	1	0,02	1	0,02	
21	2	2	2	1	2	0,03	2	0,015	
22	2	2	2	2	1	0,03	1	0,03	
23	2	2	3	1	3	0,04	3	0,02	
24	2	2	3	2	1	0,04	1	0,04	

* Funktionstyp der Zugehörigkeitsfunktion: trimf = trigonometrisch, trapmf = trapezförmig, zmf = trapezförmig, smf = sigmoidal abnehmend, smf = sigmoidal zunehmend

ZGH-Submodell (Submodell Zielgrößen Herbst)

Inputs für das ZGH-Submodell sind (u.a.) der *Saattermin der Zwischenfrucht* und die aggregierten Zwischengrößen *Stickstoffangebot*, *Wasserangebot* und *Feldaufgang*, die in drei Submodellen aus den abgefragten Standort- und Managementfaktoren errechnet werden. Im ZGH-Submodell wird das Zielgrößenpotenzial der beiden Zielgrößen *oberirdische Biomasse im Spätherbst* B_H (kurz: Herbstbiomasse) und *Deckungsgrad im Spätherbst* (Herbstdeckungsgrad DG_H) für jede gewählte Zwischenfrucht und jedes Anbauverfahren berechnet. Die Ertragsberechnung erfolgt standardisiert in neun unterschiedlichen Fuzzy-Inferenzsystemen, die sich in ihrer qualitativen Bestandesentwicklung, d.h. hinsichtlich der Reaktion auf die Zustandsvariablen *Saattermin*, *Stickstoff-* und *Wasserangebot* unterscheiden. Jede integrierte Zwischenfruchtart wird einem dieser Modelle zugeordnet. Artspezifische Charakteristika (spezifische Ertragshöhe) werden durch eine anschließende Multiplikation des Modellergebnisses mit *spezifischen Ertragsfaktoren* e_H aus der Parameterdatei P2 ermittelt (Gl. 5.21):

$$E_P = e_H \cdot f_{\text{FIS}}(\text{ST,NA,WA}) \quad (5.21)$$

Die neun unterschiedlichen Fuzzy-Modellansätze repräsentieren folgende Pflanzengruppen (vgl. Tab. 5.2):

- FISEOR: spätsaatverträgliche Nichtleguminosen (z.B. Ölrettich),
- FISEGS: Nichtleguminosen mit starker Blühneigung und Ertragsdepressionen bei frühen Saatterminen (z.B. Gelbsenf, Sommerraps),
- FISEWR: sehr spätsaatverträgliche aber relativ ertragsschwache Nichtleguminosen (Grünroggen),
- FISEGR1: Grasarten mit hohem Wasserbedarf (z.B. Deutsches Weidelgras),
- FISEGR2: trockenheitstolerante Grasarten (z.B. Knaulgras),
- FISELG1: Leguminosen mit hohem Wasserbedarf (z.B. Ackerbohne, Rotklee),
- FISELG2: trockenheitstolerante Leguminosen (z.B. Gelbe Lupine, Serradella),
- FISEKG1: Leguminosen-Nichtleguminosen-Gemenge mit hohem Wasserbedarf (z.B. Klee gras mit Dt. Weidelgras) und
- FISEKG2: trockenheitstolerante Leguminosen-Nichtleguminosen-Gemenge (z.B. Wickroggen).

Informationen zur Aufstellung der Regeln dieser Fuzzy-Inferenzsysteme wurden über die Expertenbefragung gewonnen (ROTH 1998). Die Parameter der unterschiedlichen Fuzzy-Modelle sind in Tab. 5.11 dargestellt. Abb. 5.4 zeigt Fuzzy-Inferenzbilder der oberirdischen Biomasse, abhängig von Saattermin und N-Angebot, als Ergebnis von Modellsimulationen der Fuzzy-Inferenzmodelle am Beispiel verschiedener Zwischenfruchtarten.

Über die Fuzzy-Inferenzsysteme wird das artspezifische Ertragspotenzial E_P ermittelt, das das Ergebnis bei einer langen Vegetationsperiode (Vegetationsende Ende Dezember) und unter günstigen Keim- und Auflaufbedingungen für das Saatgut (bei 100% Feldaufgang) darstellt. Sollten witterungs- oder anbauverfahrensbedingt ungünstigere Auflaufbedingungen herrschen, wird dieses Ertragspotential mit einem *Feldaufgang* geringer 100% multipliziert (Gl. 5.23), der in einem separaten Submodell berechnet wird. Bei Untersaaten entspricht

dem Feldaufgang der *Etablierungserfolg nach der Deckfruchternte*, der für Untersaatanbauverfahren im ZGS-Submodell ermittelt wird.

In der Regel liegt das Ende der Vegetationsperiode bereits vor Ende Dezember. Deswegen wird das erhaltene Ertragspotenzial mit einer weiteren, von der Vegetationszeit abhängigen Funktion e_{VP} multipliziert, die einer CHAPMAN-RICHARDS-Funktion entspricht (Gl. 5.22). Diese Funktion wird häufig zur Beschreibung biologischer Wachstumsprozesse verwandt und kann die sigmoidale Bestandesdynamik von Kulturpflanzen nachvollziehen (GEISLER 1983).

$$e_{VP} = p^{(1-e^{kt})} \quad \text{mit} \quad t = t_{VE} - ST \quad (5.22)$$

$$B_H = e_{VP} \cdot FA \cdot E_P \quad (5.23)$$

Dabei stellen t_{VE} das Ende der Vegetationsperiode, ST den Saattermin der Zwischenfrucht und FA den Feldaufgang dar. Es resultiert die Ergebnisgröße (oberirdische Herbstbiomasse B_H), die als Funktion von Saattermin, Vegetationsende, N-Angebot, Wasserangebot und Feldaufgang beschrieben werden kann.

Die artspezifischen Deckungsgrade (Herbstdeckungsgrad DG_H) werden aus der oberirdischen Biomasse über die Funktion in Gleichung (5.24) berechnet:

$$DG_H = B_H \cdot 100 / (B_H + k_{DG}) \cdot (DG_{max} + k_{DG}) / DG_{max} \quad (5.24)$$

Diese Funktion stellt eine transformierte Michaelis-Menten-Kinetik dar. Die darin enthaltenen Parameter k_{DG} und DG_{max} werden aus der Datei P2 eingelesen (vgl. Kap. 5.5, Anhang A2). Es handelt sich dabei um artspezifische Parameter, die durch die Parameteridentifikation anhand von Literaturdaten (Biomassen und Deckungsgrade, SODTKE 1996) gewonnen werden konnten (vgl. Kap. 4.2.2).

Die *aufgenommene N-Menge im Herbstbestand* N_H wird nach einer Michaelis-Menten-Funktion aus der Herbstbiomasse B_H und den artspezifischen Parametern k_N und N_{max} nach Gl. (5.25) berechnet. Diese Parameter wurden ebenfalls durch Parameteridentifikation aus Literaturdaten (Biomasse und Stickstoffgehalt) bestimmt (BERGER 1990 u.a., vgl. Kap. 4.2.2) und werden aus der Parameterdatei P2 eingelesen (vgl. Kap. 5.5 und Anhang A2).

$$N_H = N_{max} \cdot B_H / (B_H + k_N) \quad (5.25)$$

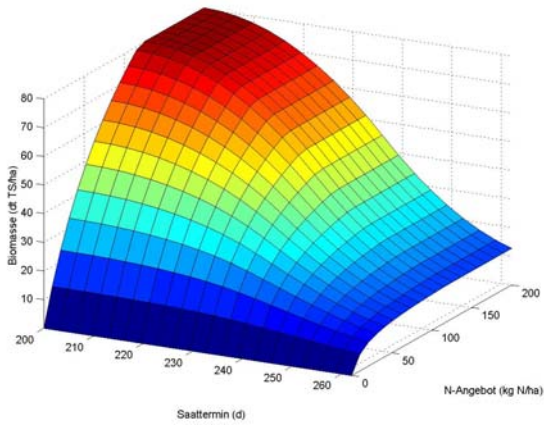
Um Unsicherheiten in den Angaben eines Modellanwenders (z.B. Minimum- und Maximumangaben bei Jahresniederschlag, Sommertrockenperiode, Strohdüngungshöhe, Boden- N_{min} -Gehalt) in die Ermittlung der Zielgrößenpotenzialhöhen einzubeziehen, werden die Zielgrößen dreimal in der vorstehend beschriebenen Weise für die Minimal-, Maximal- und Durchschnittswerte (Zentralwerte) der Zustandsvariablen berechnet. Inputgrößen, für die der Anwender in der Benutzeroberfläche keine Streuung angeben kann, die aber in der Angabe auch eine unscharfe Ausprägung aufweisen (z.B. Gehalt an organischer Bodensubstanz: *schwach* humos, Durchwurzelungstiefe *ungefähr* 8 dm etc., vgl. Tab. 5.8) werden modellintern ebenfalls Streuungen (unscharfe Bereiche) zugewiesen, deren Minimal-, Maximal- und Durchschnittswerte den entsprechenden Zielgrößenberechnungen zugewiesen werden.

Tab. 5.11: Variablen, Zugehörigkeitsfunktionen, Parameter und Regelbasis der Fuzzy-Inferenzsysteme im ZGH-Submodell (Systemtyp: Mamdani, UND-Verknüpfungsoperator: prod, Implikation: prod, Aggregation: sum, Defuzzifikation: centroid).

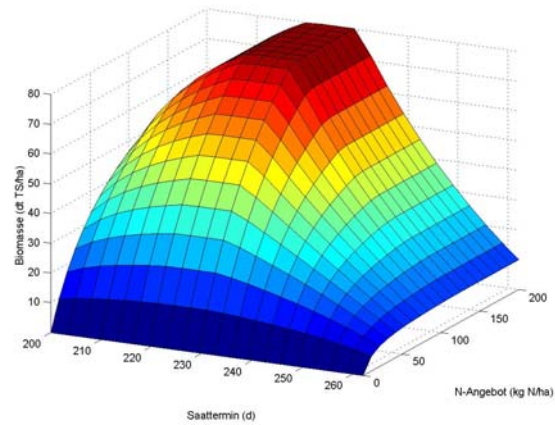
Variablen		Zugehörigkeitsfunktionen (MF)		Parameter der MF der jeweiligen Fuzzy-Inferenzsysteme (FIS)									
		Ausprägung	Funktion *	FISEOR	FISEGS	FISEWR	FISEGR1	FISEGR	FISELG1	FISELG	FISEKG1	FISEKG	
Input 1: Saattermin (d)	MF1: 'früh'		zmf **	[200, 272]	200, 220, 230, 262] *	[226, 303]	[200, 252]	[200, 252]	[200, 252]	[200, 252]	[200, 252]	[200, 252]	
	MF2: 'spät'		smf **	[200, 272]	[230, 262, 262] **	[226, 303]	[200, 252]	[200, 252]	[200, 252]	[200, 252]	[200, 252]	[200, 252]	
	MF3: 'sehr früh'		trimf	-	[200, 200, 220]	-	-	-	-	-	-	-	
Input 2: N-Angebot (kg N/ha)	MF1: 'gering'		trapmf	[0, 0, 0, 120]	[100, 0, 0, 120]	[0, 0, 0, 120]	[0, 0, 0, 120]	[0, 0, 0, 120]	[0, 0, 0, 120]	[0, 0, 0, 120]	[0, 0, 0, 120]	[0, 0, 0, 120]	
	MF2: 'hoch'		trapmf	[0, 120, 200, 200]	[0, 120, 200, 400]	[0, 120, 200, 200]	[0, 120, 200, 200]	[0, 120, 200, 200]	[0, 120, 200, 200]	[0, 120, 200, 200]	[0, 120, 200, 200]	[0, 120, 200, 200]	
Input 3: Wasserangebot (mm)	MF1: 'schlecht'		trimf	[0, 0, 250]	[0, 0, 250]	[0, 0, 250]	[0, 0, 250]	[0, 0, 250]	[0, 0, 250]	[0, 0, 250]	[0, 0, 250]	[0, 0, 250]	
	MF2: 'gut'		trimf	[0, 250, 250]	[0, 250, 250]	[0, 250, 250]	[0, 250, 250]	[0, 250, 250]	[0, 250, 250]	[0, 250, 250]	[0, 250, 250]	[0, 250, 250]	
Output: Biomasse (dt TS/ha)	MF1: 'kein'		trimf	[-10, 0, 10]	[-20, 0, 20]	[-20, 0, 20]	[-20, 0, 20]	[-20, 0, 20]	[-20, 0, 20]	[-20, 0, 20]	[-20, 0, 20]	[-20, 0, 20]	
	MF2: 'gering'		trimf	[0, 10, 20]	[-10, 10, 30]	[-15, 5, 25]	[-15, 5, 25]	[-15, 5, 25]	[-15, 5, 25]	[-15, 5, 25]	[-15, 5, 25]	[-15, 5, 25]	
	MF3: 'mäßig'		trimf	[10, 20, 30]	[30, 50, 70]	[0, 20, 40]	[0, 20, 40]	[0, 20, 40]	[20, 40, 60]	[20, 40, 60]	[0, 20, 40]	[0, 20, 40]	
	MF4: 'hoch'		trimf	[70, 80, 90]	[60, 80, 100]	[45, 65, 85]	[60, 80, 100]	[60, 80, 100]	[60, 80, 100]	[60, 80, 100]	[60, 80, 100]	[60, 80, 100]	
Regelbasis ***				Gewichtungsfaktoren der Regeln									
Regel	Input 1	Input 2	Input 3	Output	FISEOR	FISEGS	FISEWR	FISEGR1	FISEGR	FISELG1	FISELG	FISEKG1	FISEKG
1	2	1	1	1	0.005	0.015	0.005	0.005	0.015	0.005	0.015	0.005	0.015
2	2	1	2	1	0.05	0.075	0.05	0.05	0.05	0.16	0.16	0.05	0.05
3	2	1	1	1	0.01	0.15	0.01	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
4	2	2	2	2	0.5	0.75	0.25	0.55	0.55	1	1	0.55	0.55
5	1	1	1	1	0.0035	0.0035	0.00035	0.00035	0.001	0.035	0.1	0.035	0.1
6	1	2	2	1	0.25	0.25	0.1	0.2	0.2	-	-	0.08	0.2
				3	-	-	-	-	-	0.08	0.08	-	-
7	1	2	1	1	0.35	0.35	0.35	0.25	0.75	0.35	1	0.25	0.75
8	1	2	2	4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
9	3	1	1	1	-	0.002	-	-	-	-	-	-	-
10	3	1	2	1	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-
11	3	2	1	1	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-
12	3	2	2	3	-	0.25	-	-	-	-	-	-	-

* Funktionstyp der Zugehörigkeitsfunktion: trimf = trigonometrisch, trapmf = trapezförmig, zmf = sigmoidal abnehmend, smf = sigmoidal zunehmend
 ** beim FIS FISEGS trapezförmige (MF1) bzw. trigonometrische Zugehörigkeitsfunktion (MF2)
 *** Schreibweise der Regeln: WENN Input 1 UND Input 2 UND Input 3, DANN Output.

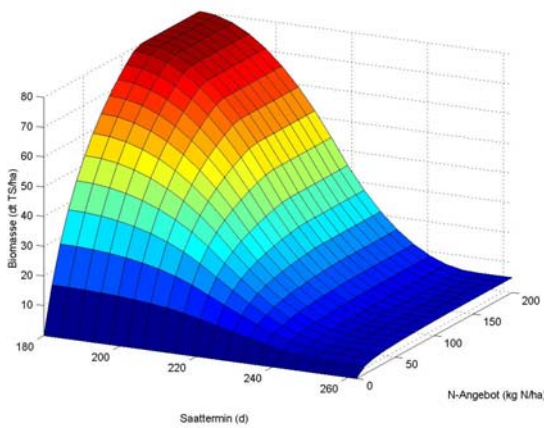
Ölrettich



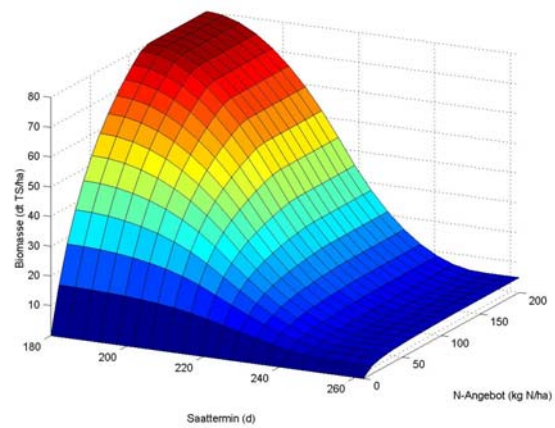
Gelbsenf



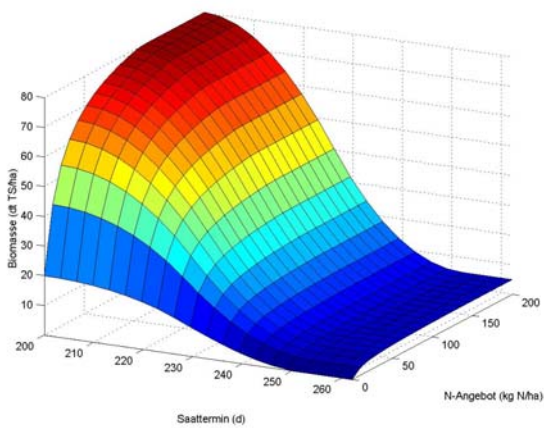
Gräser (Welsches Weidelgras)



Gräser (trockenheitstolerant)



Kleegras (Dt. Weidelgras + Weißklee)



Kleegras (trockenheitstolerant)

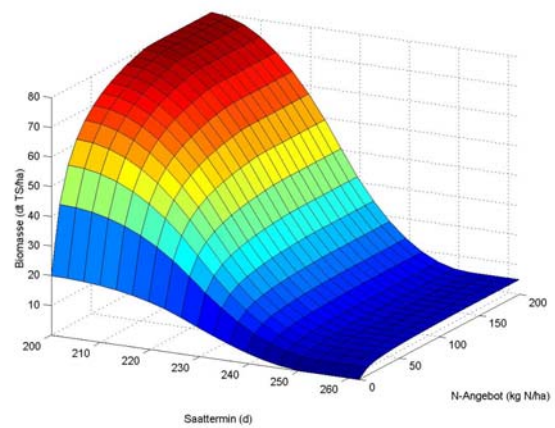
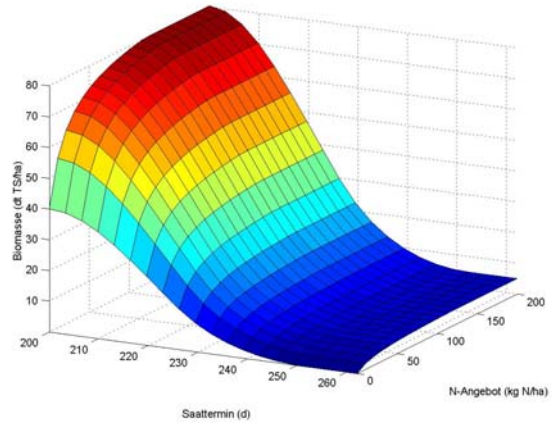
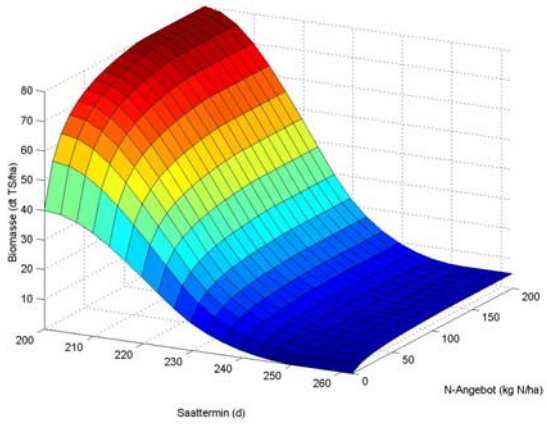


Abb. 5.4: Fuzzy-Inferenzbilder (surface plots) der oberirdischen Biomasse (dt TS/ha) abhängig von den Zustandsvariablen Saattermin (in Dekaden) und N-Angebot (in kg N/ha) bei gutem Wasserangebot für die Zwischenfrüchte Ölrettich, Gelbsenf, Gräser (Welsches Weidelgras), Gräser (trockenheitstolerant), Leguminosen (Ackerbohne), Leguminosen (trockenheitstolerant), Kleegras (Deutsches Weidelgras + Weißklee), Kleegras (trockenheitstolerant) und Winterroggen als Ergebnis der Modellsimulation der Fuzzy-Inferenzsysteme FISEOR, FISEGS, FISEGR, FISEGR1, FISELG, FISELG1, FISEKG, FISEKG1, FISEWR. Deutlich zu erkennen sind die die Spätsaatempfindlichkeit bei Gräsern und Leguminosen und die zunehmende Spätsaattoleranz bei Ölrettich, Gelbsenf und Winterroggen. Zu frühe Saattermine (Juli) führen bei der Langtagspflanze Gelbsenf zu starker Blühneigung und frühem Blattabwurf und damit zu Ertragseinbußen. Während bei den Nichtleguminosen Stickstoffangebote von bis zu 120 kg N/ha noch zu Biomassesteigerungen führen, wird bei steigendem Leguminosenanteil die zunehmende Unabhängigkeit von einem hohen Stickstoffangebot deutlich.

Leguminosen (Ackerbohne)

Leguminosen (trockenheitstolerant)



Grünroggen

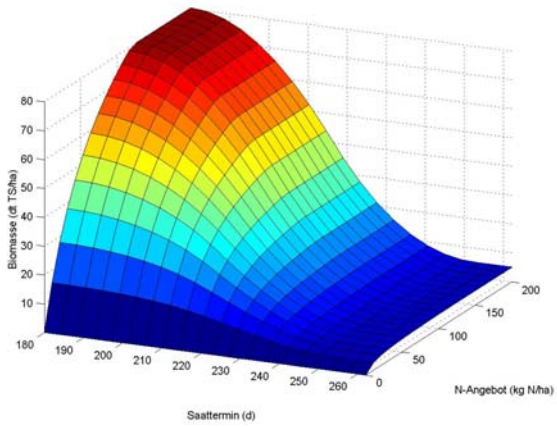


Abb.5.4 (Fortsetzung): Fuzzy-Inferenzbilder der oberirdischen Biomasse.

ZGF-Submodell (Submodell Zielgrößen Frühjahr)

Im ZGF-Submodell werden die Zielgrößenpotenziale der Bestandesentwicklung (oberirdische Biomasse und Deckungsgrad) im Frühjahr berechnet. Inputs sind die errechneten Zielgrößenpotenziale des ZGH-Submodells, die aus dem GUI eingelesenen Zustandsgrößen *Winterstärke* und *Umbruchtermin* und artspezifische Parameter aus der Datei P2 (s. Anhang A2). Zunächst wird über die Multiplikation der Herbstbiomasse mit einer artspezifischen Sterberate der Erwartungswert B_{HR} als Maß für die Zwischenfruchtbiomasse bestimmt, die den Winter überlebt (*residuale Herbstbiomasse*, Gl. 5.26):

$$B_{HR} = B_H \cdot r_S \quad (5.26)$$

Die Sterberate r_S wird über das Fuzzy-Inferenzsystem FISESR aus den Inputs *Winterstärke* WS (eingelesen aus der Benutzeroberfläche), artspezifische *Winterhärte* WH (Parameter aus Datei P2) und dem *Saattermin* ST des jeweils berechneten Anbauverfahrens ermittelt (Gl. 5.27). Weniger winterharte Zwischenfrüchte können nur milde Winter (teilweise) überleben, winterharte überstehen auch kältere Winter:

$$r_S = f_{FIS}(WS, WH, ST) \quad (5.27)$$

Die Zielgröße Frühjahrsertrag B_F stellt eine Funktion aus der Biomasse, die am Ausgang des Winters verblieben ist, und der Zeit dar, die für einen Neuaufwuchs bis zum Umbruch noch zur Verfügung steht. Diese Größe wird deshalb über das Fuzzy-Inferenzsystem FISEFJ aus der *residualen Herbstbiomasse* B_{HR} und dem *Umbruchtermin* UT bestimmt (Gl. 5.28):

$$B_F = f_{FIS}(B_{HR}, UT) \quad (5.28)$$

Der *Frühjahrsdeckungsgrad* DG_F stellt die Summe aus Deckungsgrad zu Beginn der Vegetationsperiode DG_{F1} und dem Deckungsgrad aus dem Neuaufwuchs im Frühjahr DG_{F2} dar (Gl. 5.29):

$$DG_F = DG_{F1} + DG_{F2} \quad (5.29)$$

Der *Deckungsgrad zu Beginn der Vegetationsperiode* DG_{F1} entspricht dem Herbstdeckungsgrad DG_H abzüglich des über Winter abgestorbenen und abgebauten Anteils und wird über die Funktion in Gl. (5.30) beschrieben:

$$DG_{F1} = (1 - a_{DG} \cdot r_S) \cdot DG_H \quad (5.30)$$

Die in Gl. (5.30) enthaltene *Abbaurrate* a_{DG} wird über das Fuzzy-Inferenzsystem FISDFJ aus dem *C:N-Verhältnis* der Zwischenfruchtbiomasse CN_F und dem Umbruchtermin UT bestimmt (Gl. 5.31):

$$a_{DG} = f_{FIS}(CN_F, UT) \quad (5.31)$$

Das C:N-Verhältnis wird nach der Funktion in Gl. (5.32) bestimmt, die eine transformierte Michaelis-Menten-Funktion darstellt:

$$CN_F = (2 \cdot B_H + k_N) \cdot 100 / (2 \cdot N_{max}) \quad (5.32)$$

Die in dieser Gleichung enthaltenen artspezifischen Parameter k_N und N_{max} wurden aus Literaturdaten (Biomasse und Stickstoffgehalt) verschiedener Autoren (BERGER 1990 u.a., vgl. Kap. 4.2.2) bestimmt und werden ebenfalls aus der Parameterdatei P2 eingelesen (s. Anhang A2).

Der *Deckungsgrad aus dem Neuaufwuchs im Frühjahr* DG_{F2} wird wie im ZGH-Submodell aus der im Frühjahr hinzu wachsenden oberirdischen Biomasse B_F nach Gl. (5.33) bestimmt. Die Parameter k_{DG} und DG_{max} werden wiederum aus der Datei P2 eingelesen (vgl. ZGH-Submodell):

$$DG_{F2} = B_F \cdot 100 / (B_F + k_{DG}) \cdot (DG_{max} + k_{DG}) / DG_{max} \quad (5.33)$$

Die *aufgenommene N-Menge im Frühjahrsbestand* N_F wird nach einer Michaelis-Menten-Funktion aus der Frühjahrsbiomasse B_F und den artspezifischen Parametern k_N und N_{max} (s. oben) nach Gl. (5.34) berechnet:

$$N_F = N_{max} \cdot B_F / (B_F + k_N) \quad (5.34)$$

Wie im ZGH-Submodell werden auch hier die Zielgrößenpotenziale als Fuzzy-Variablen bestimmt, deren Werte in einer dreimaligen Berechnung des Submodells (jeweils mit den Minimal-, Maximal- und Zentralwerten der Zustandsvariablen als Inputs) ermittelt werden. Die Informationen zur Aufstellung der Regeln der Fuzzy-Inferenzsysteme FISESR, FISEFJ und FISEDF wurden hauptsächlich über die Expertenbefragung gewonnen (ROTH 1998).

ZGS-Submodell (Submodell Zielgrößen Untersaaten)

Standortpotenziale für Zwischenfrüchte, die als Untersaaten angelegt werden, werden über die separate Funktion „zgeus“ berechnet (vgl. Tab. 5.3), die ähnlich dem beschriebenen Stoppelsaatmodell (Funktion „zge“) aufgebaut ist. Im Untersaatmodell wird vor der Berechnung der anderen Submodelle zusätzlich das ZGS-Submodell aufgerufen, in dem über die Bestimmung der Konkurrenz zwischen Deckfrucht und Untersaat das *relative Ertragspotenzial der Deckfrucht* und das *Etablierungspotenzial der Untersaat* berechnet wird.

Das *Etablierungspotenzial der Untersaat* EP_{US} wird definiert als das Verhältnis der Konkurrenzkräfte von Untersaat und Deckfrucht (Gl. 5.35):

$$EP_{US} = \frac{KK_{US}}{KK_{DF}} \quad (5.35)$$

Das *relative Ertragspotenzial der Deckfrucht* EP_{DF} wird nach Gl. (5.36) definiert:

$$EP_{DF} = \frac{1}{2} \left(3 - \frac{KK_{US}}{KK_{DF}} \right) \quad (5.36)$$

Tab. 5.12: Variablen, Zugehörigkeitsfunktionen und Parameter der Fuzzy-Inferenzsysteme im Submodell Frühjahrsaufwuchs (Systemtyp: Mamdani, UND-Verknüpfungoperator: prod, Implikation: prod, Aggregation: sum, Defuzzifikation: centroid).

Variablen	Zugehörigkeitsfunktionen (MF)		Parameter der MF FISESR	Variablen	Zugehörigkeitsfunktionen (MF)		Parameter der MF FISEFJ	Variablen	Zugehörigkeitsfunktionen (MF)		Parameter der MF FISDFJ
	Ausprägung	Funktion *			Ausprägung	Funktion *			Ausprägung	Funktion *	
Input 1: Winterstärke	MF1: 'mild'	trimf	[1, 1, 4]	Input 1: Nachwinterertrag	MF1: 'gering'	trimf	[-1, 0, 100]	Input 1: C:N-Verhältnis	MF1: 'gering'	trapmf	[0, 0, 10, 40]
	MF2: 'kalt'	trimf	[1, 4, 4]		MF2: 'hoch'	trimf	[0, 100, 120]		MF2: 'hoch'	trapmf	[0, 0, 40, 40]
Input 2:	MF1: 'gering'	trimf	[0, 0, 0.5]	Input 2: Umbruchtermin	MF1: 'früh'	trimf	[0, 0, 150]	Umbruchtermin	MF1: 'früh'	zmf	[0, 150]
	MF2: 'mittel'	trimf	[0, 0.5, 1]		MF2: 'spät'	trimf	[0, 150, 150]		MF2: 'spät'	smf	[0, 150]
Winterhärte	MF3: 'hoch'	trimf	[0.5 1 1]								
	MF1: 'gering'	zmf	[180, 270]								
Saattermin	MF2: 'normal'	smf	[180, 270]								
	MF1: 'kein'	trimf	[-0.2, 0, 0.2]	Output: Frühjahrsertrag	MF1: 'gering'	trimf	[-30, 0, 30]	Output: Deckungsgrad im Frühjahr	MF1: 'gering'	trimf	[-0.25, 0, 0.25]
MF2: 'gering'	trimf	[0, 0.2, 0.4]	MF2: 'mittel'		trimf	[70, 100, 130]	MF2: 'mittel'		trimf	[0.25, 0.5, 0.75]	
Überwinterungsra- te	MF3: 'mäßig'	trimf	[0.15, 0.35, 0.55]	MF3: 'hoch'	trimf	[270, 300, 330]		MF3: 'hoch'	trimf	[0.75, 1, 1.25]	
	MF4: 'mittelhoch'	trimf	[-0.15, 0.05, 0.25]								
	MF5: 'hoch'	trimf	[0.6, 0.8, 1]								
	MF6: 'sehr hoch'	trimf	[0.8, 1, 1.2]								
Regelbasis											

Regel	Input 1	Input 2	Input 3	Output	GF	Regel	Input 1	Input 2	Input 3	Output	GF
1	1	1	1	1	0.1	1	1	1	1	1	0.3
2	1	1	2	1	0.32	2	1	2	1	1	0.05
3	1	2	1	4	0.1	3	2	1	2	2	0.3
4	1	2	2	6	0.04	4	2	2	3	3	0.1
5	1	3	1	3	0.25						
6	1	3	2	6	0.25						
7	2	1	1	1	0.25						
8	2	1	2	1	0.1						
9	2	2	1	1	0.1						
10	2	2	2	1	0.04						
11	2	3	1	2	0.1						
12	2	3	2	5	0.1						

* Funktionstyp der Zugehörigkeitsfunktion: trimf = trigonometrisch, trapmf = trapezförmig, zmf = sigmoidal abnehmend, smf = sigmoidal zunehmend

Die *Konkurrenzkraft der Untersaat* KK_{US} stellt das Produkt aus dem *Konkurrenzpotenzial der Untersaat* KP_{US} und der art- (und sorten-)spezifischen *Konkurrenzfähigkeit* KF_{US} dar, die Literaturangaben (RENIUS et al. 1992) entnommen und in die Parameterdatei P2 integriert wurde (s. Anhang A2). Das *Konkurrenzpotenzial der Untersaat* KP_{US} wird als Funktion von Stickstoffangebot (*N-Frühjahrsdüngung* N_{DF}), *Wasserangebot* WA_{DF} , *Saattermin* ST_{US} und *Saatmenge der Untersaat* SM_{US} über eines von drei unterschiedlichen Fuzzy-Inferenzsystemen (FISKPG1, FISKPG2, FISKPKL) berechnet (Gl. 5.37):

$$KK_{US} = KF_{US} \cdot f_{FIS}(N_{DF}, WA_{DF}, ST_{US}, SM_{US}) \quad (5.37)$$

Die drei unterschiedlichen Fuzzy-Modellansätze repräsentieren folgende Pflanzengruppen:

- FISKPG1: Grasarten mit hohem Wasserbedarf (z.B. Deutsches Weidelgras),
- FISKPG2: trockenheitstolerante Grasarten (z.B. Knaulgras, Rotschwingel) und
- FISKPKL: Leguminosen und Leguminosen-Nichtleguminosen-Gemenge (z.B. Kleearten und Klee grasgemische).

Die *Konkurrenzkraft der Deckfrucht* KK_{DF} wird entsprechend den Untersaaten als Produkt aus dem *Konkurrenzpotenzial der Deckfrucht* KP_{DF} und der *Konkurrenzfähigkeit der Deckfrucht* berechnet. Die *Konkurrenzfähigkeit der Deckfrucht* stellt wiederum das Produkt aus der *artspezifischen Konkurrenzfähigkeit der Deckfrucht* KF_{DF} und der *aktuellen Konkurrenzfähigkeit der Deckfrucht* KF_{akt} dar. Letztere repräsentiert den aktuellen Zustand des Deckfruchtbestandes, z.B. je nach Betriebssystem oder Winterwitterung, und kann vom Anwender in der Benutzeroberfläche spezifiziert werden. Die artspezifische *Konkurrenzfähigkeit der Deckfrucht* konnte Literaturangaben (RENIUS et al. 1992) entnommen werden und wird aus der Parameterdatei P6 eingelesen (vgl. Kap. 5.5 und Anhang A2). Das *Konkurrenzpotenzial der Deckfrucht* KP_{DF} wird als Funktion von Stickstoffangebot (*N-Frühjahrsdüngung* N_{DF}), *Wasserangebot* WA_{DF} , *Saattermin* ST_{DF} und *Saatmenge der Deckfrucht* SM_{DF} über das Fuzzy-Inferenzsystem FISKPDF berechnet (Gl. 5.38):

$$KK_{DF} = KF_{DF} \cdot KF_{akt} \cdot f_{FIS}(N_{DF}, WA_{DF}, ST_{DF}, SM_{DF}) \quad (5.38)$$

Das bei den Gl. (5.37) und (5.38) verwendete *Wasserangebot zur Deckfrucht* WA_{DF} wird über das Fuzzy-Inferenzsystem FISWADF aus den Inputs *Jahresniederschlag* NS_a und *nutzbare Feldkapazität* nFK nach Gl. (5.39) berechnet:

$$WA_{DF} = f_{FIS}(NS_a, nFK) \quad (5.39)$$

Wie in den anderen Submodellen werden auch hier die Zielgrößenpotenziale als Fuzzy-Variablen bestimmt, deren Werte in einer dreimaligen Berechnung des Submodells (jeweils mit den Minimal-, Maximal- und Zentralwerten der Zustandsvariablen als Inputs) ermittelt werden. Die Informationen zur Aufstellung der Regeln der Fuzzy-Inferenzsysteme im ZGS-Submodell wurden sowohl aus Literaturangaben (RENIUS et al. 1992), als auch über die Expertenbefragung gewonnen (ROTH 1998).

Tab. 5.13: Variablen, Zugehörigkeitsfunktionen und Parameter der Fuzzy-Inferenzsysteme Modul Untersaat (Systemtyp: Mamdani, UND-Verknüpfungoperator: prod, Implikation: prod, Aggregation: sum, Defuzzifikation: centroid.

Variablen	Zugehörigkeitsfunktionen (MF)		Parameter der MF der jeweiligen Fuzzy-Inferenzsysteme (FIS)									
	Ausprägung		Funktion *		FISKPG1 (Gras)		FISKPG2 (Rotschwengel)		FISKPKL (Klee, Klee gras)		FISKPDF	
Input 1: N-Angebot (kgN/ha)	MF1: 'gering'	MF2: 'hoch'	trimf	trapmf	[0.75, 0.75, 1]	[0.75, 0.75, 1]	[0.75, 0.75, 1]	[0.75, 0.75, 1]	[0.75, 0.75, 1]	[0.75, 0.75, 1]	[0.75, 0.75, 1.25]	[0.75, 1.25, 1.25, 1.25]
Input 2: Wasserangebot (mm)	MF1: 'gering'	MF2: 'mittel'	MF2: 'hoch'	trimf	trimf	trimf	[0, 150, 400]	[0, 150, 400]	[0, 150, 400]	[0, 150, 400]	[150, 150, 650]	[150, 650, 650]
Input 3: Saattermin (d)	MF1: 'früh'	MF2: 'mittel'	MF2: 'spät'	trimf	trimf	trimf	[1, 1, 4]	[1, 1, 4]	[1, 1, 4]	[1, 1, 4]	[1, 1, 3]	[1, 3, 3]
Input 4: Saatmenge (kg/ha)	MF1: 'gering'	MF2: 'hoch'	trimf	trimf	[0.6, 0.6, 2]	[0.6, 0.6, 2]	[0.6, 0.6, 2]	[0.6, 0.6, 2]	[0.6, 0.6, 2]	[0.6, 0.6, 2]	[1, 1, 2]	[1, 2, 2]
Output: Konkurrenzpotential	MF1: 'sehr gering'		trimf		[0.25, 0.35, 0.45]	[0.25, 0.35, 0.45]	[0.25, 0.35, 0.45]	[0.25, 0.35, 0.45]	[0.25, 0.35, 0.45]	[0.25, 0.35, 0.45]	[-0.1, 0, 0.1]	
	MF2: 'gering'		trimf		[0.45, 0.55, 0.65]	[0.3, 0.4, 0.5]	[0.45, 0.55, 0.65]	[0.45, 0.55, 0.65]	[0.45, 0.55, 0.65]	[0.45, 0.55, 0.65]	[0.4, 0.5, 0.6]	[0.55, 0.65, 0.75]
	MF3: 'mäßig gering'		trimf		[0.7, 0.8, 0.9]	[0.7, 0.8, 0.9]	[0.7, 0.8, 0.9]	[0.7, 0.8, 0.9]	[0.7, 0.8, 0.9]	[0.7, 0.8, 0.9]	[0.6, 0.7, 0.8]	
	MF4: 'mäßig hoch'		trimf		[0.8, 0.9, 1]	[0.8, 0.9, 1]	[0.8, 0.9, 1]	[0.8, 0.9, 1]	[0.8, 0.9, 1]	[0.8, 0.9, 1]	[0.85, 0.95, 1.05]	
	MF5: 'hoch'		trimf		[0.9, 1, 1.1]	[0.9, 1, 1.1]	[0.9, 1, 1.1]	[0.9, 1, 1.1]	[0.9, 1, 1.1]	[0.9, 1, 1.1]	[0.9, 1, 1.1]	
	MF6: 'sehr hoch'		trimf		[1.1, 1.2, 1.3]	[1.1, 1.2, 1.3]	[1.1, 1.2, 1.3]	[1.1, 1.2, 1.3]	[1.1, 1.2, 1.3]	[1.1, 1.2, 1.3]		
	MF7: 'extrem hoch'		trimf		[1.4, 1.5, 1.6]	[1.2, 1.3, 1.4]	[1.4, 1.5, 1.6]	[1.4, 1.5, 1.6]	[1.4, 1.5, 1.6]	[1.4, 1.5, 1.6]		
	MF8: 'extrem gering'		trimf		[0.1, 0.2, 0.3]	[0.1, 0.2, 0.3]	[0.1, 0.2, 0.3]	[0.1, 0.2, 0.3]	[0.1, 0.2, 0.3]	[0.1, 0.2, 0.3]		
Regelbasis				FISKPG1		FISKPG2		FISKPKL		FISKPDF		
Regel	Input 1	Input 2	Input 3	Input 4	Output	GF	Output	GF	Output	GF	Output	GF
1	1	1	1	1	1	0.03	1	0.02	1	0.075	1	0.025
2	1	1	1	2	3	0.06	4	0.1	2	0.1	1	0.05
3	1	1	2	1	8	0.005	8	0.0008	8	0.0125	1	0.035
4	1	1	2	2	2	0.01	1	0.0033	1	0.04	1	0.07
5	1	1	3	1	8	0.00125	8	0.0004	8	0.01	-	-
6	1	1	3	2	1	0.0025	8	0.0008	8	0.01	-	-
7	1	2	1	1	2	0.03	2	0.02	3	0.04	3	0.1
8	1	2	1	2	5	0.06	5	0.1	6	0.05	4	0.2
9	1	2	2	1	1	0.005	8	0.001	2	0.005	2	0.1
10	1	2	2	2	3	0.01	1	0.0033	3	0.02	3	0.2
11	1	2	3	1	8	0.00125	8	0.0004	1	0.0025	-	-
12	1	2	3	2	2	0.0025	8	0.0008	2	0.005	-	-
13	1	3	1	1	3	0.03	4	0.02	4	0.075	-	-
14	1	3	1	2	6	0.06	6	0.1	7	0.1	-	-
15	1	3	2	1	2	0.005	1	0.001	3	0.0125	-	-
16	1	3	2	2	4	0.01	2	0.0033	5	0.04	-	-
17	1	3	3	1	1	0.00125	8	0.0004	2	0.005	-	-
18	1	3	3	2	3	0.0025	8	0.0008	3	0.01	-	-
19	2	1	1	1	2	0.08	2	0.075	1	0.075	1	0.125
20	2	1	1	2	5	0.16	5	0.4	2	0.1	1	0.25
21	2	1	2	1	1	0.005	1	0.0033	8	0.0125	1	0.175
22	2	1	2	2	2	0.04	1	0.0133	1	0.04	1	0.35
23	2	1	3	1	8	0.0025	8	0.0033	8	0.01	-	-
24	2	1	3	2	1	0.01	8	0.0033	8	0.01	-	-
25	2	2	1	1	3	0.08	3	0.075	3	0.04	4	0.5
26	2	2	1	2	6	0.16	6	0.4	6	0.05	6	1
27	2	2	2	1	2 / 3	0.002 / 0.003	1	0.0033	2	0.005	2	0.5
28	2	2	2	2	3	0.04	2	0.0133	3	0.02	5	1
29	2	2	3	1	1	0.0025	8	0.0033	1	0.0025	-	-
30	2	2	3	2	2	0.01	8	0.0033	2	0.005	-	-
31	2	3	1	1	4	0.08	4	0.075	4	0.075	-	-
32	2	3	1	2	7	0.16	7	0.4	7	0.1	-	-
33	2	3	2	1	3	0.0125	2	0.004	3	0.0125	-	-
34	2	3	2	2	5	0.04	3	0.0133	5	0.04	-	-
35	2	3	3	1	2	0.005	8	0.0016	2	0.005	-	-
36	2	3	3	2	3	0.01	8	0.0033	3	0.01	-	-

* Funktionstyp der Zugehörigkeitsfunktion: trimf = trigonometrisch, trapmf = trapezförmig

5.4 Modul Zielgrößenabgleich

Allgemeines

Das ZEG-Modul gliedert sich in die Funktionen (Submodelle) *Zielerreichungsgrad*, *ZEG-Modifikation*, *Verfahrenskosten*, *Verfahren-Filtern*, (*Kurzauswahl*), *Verfahren-Sortieren* und die übergeordnete Funktion *zerg* (vgl. Tab. 5.3). In der übergeordneten Funktion wird der Zielleistungsvektor ZLV hinsichtlich der gewählten Anbauzielkombinationen ausgewertet, verschiedene Variablen initialisiert und die übrigen Funktionen nacheinander aufgerufen, die die Inputarrays ZPA und ZAA verarbeiten. Anschließend wird aus den Ergebnissen eine neue Matrix UAA erstellt, die zeilenweise je Anbauverfahren die Verfahrenselemente, die berechneten Zielgrößen, die Verfahrenskosten und die ermittelten *Zielerfüllungsgrade* ZEG je Anbauziel enthält.

Funktion Zielerreichungsgrad

Innerhalb der Funktion „*Zielerreichungsgrad*“ werden für jedes berechnete Anbauverfahren und jedes gewählte Anbauziel Zielerfüllungsgrade als unscharfe Bewertungsvariablen ermittelt. Die Berechnung der Zielerfüllungsgrade erfolgt über einen numerischen Vergleich der unscharfen Variablen Zielgrößenanforderung (*zga*) und Zielgrößenpotenzial (*zgp*), die den Inputarrays ZAA bzw. ZPA entstammen. Entsprechend der Zielgrößenanforderungswerte wird dieser Vergleich für jede Zielgröße (Biomasse, Deckungsgrad) und jedes Anbauziel folgendermaßen durchgeführt: schrittweise werden für die drei charakteristischen Parameter (Zentralwert, Minimum, Maximum) der Fuzzy-Zahl *zgp* die Zugehörigkeitsgrade zur Fuzzy-Zahl *zga* nach Gl. (5.40) ermittelt.

$$u_i = \begin{cases} 0 & \text{für } zgp_i \leq zga_{\min} \\ \frac{zgp_i - zga_{\min}}{2(zga_x - zga_{\min})} & \text{für } zga_{\min} < zgp_i \leq zga_x \\ 1 - \frac{zga_{\max} - zgp_i}{2(zga_{\max} - zga_x)} & \text{für } zga_x < zgp_i < zga_{\max} \\ 1 & \text{für } zgp_i \geq zga_{\max} \end{cases} \quad (5.40)$$

Die drei resultierenden *Zugehörigkeitswerte* $u_i \in [0, 1]$ stellen die Parameter der neuen Fuzzy-Zahl *Zielerfüllungsgrad* $ZEG = (u_1, u_2, u_3)_{LR}$ dar (vgl. Abb. 5.5).

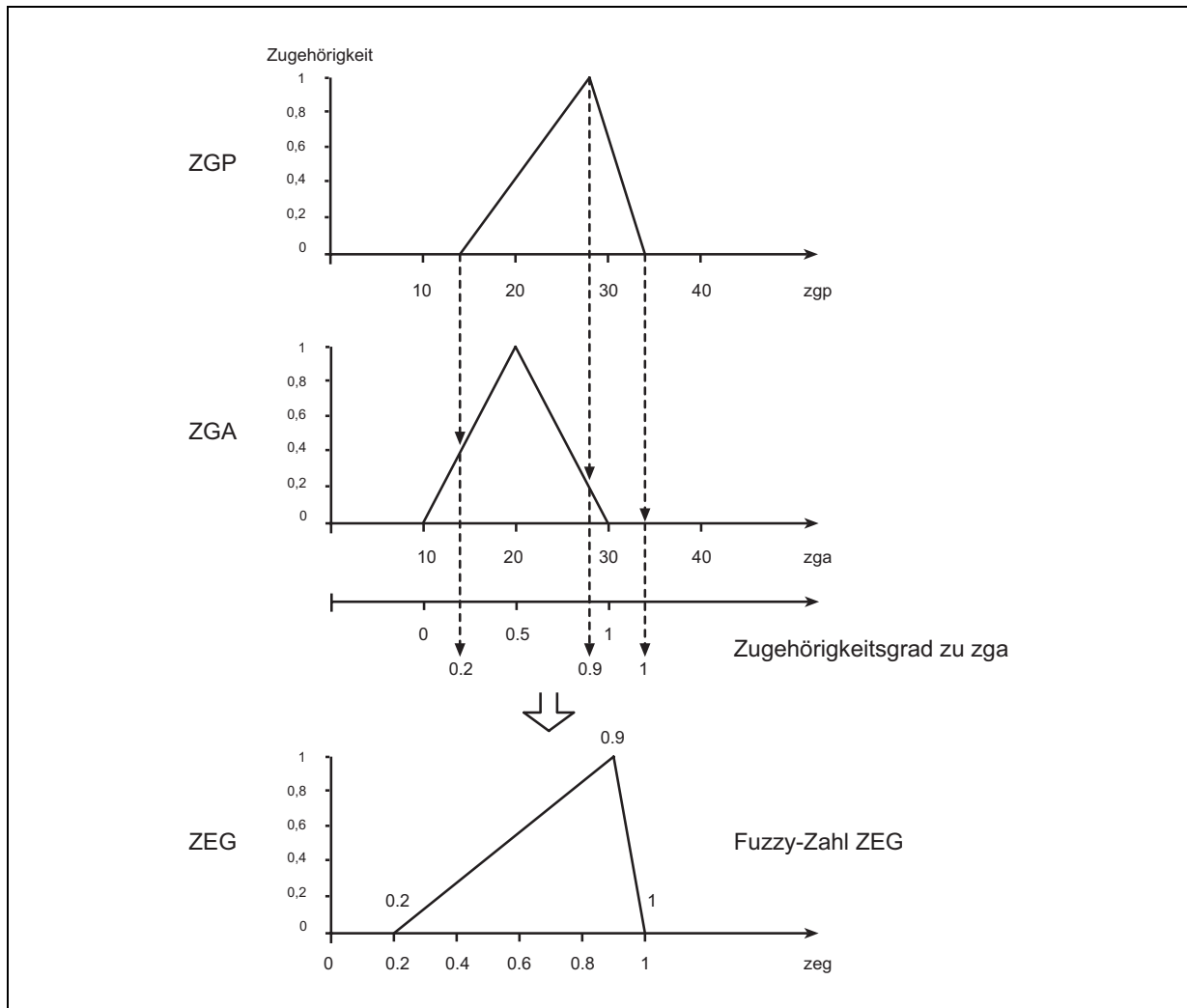


Abb. 5.5: Ermittlung der unsharpen Bewertungsvariable *Zielerfüllungsgrad ZEG* aus den Fuzzy-Zahlen *Zielgrößenpotenzial zgp* und *Zielgrößenanforderung zga*.

Funktion ZEG-Modifikation

In dieser Funktion werden Modifikationen der Zielerfüllungsgrade je nach gewählter Kombination der Anbauziele vorgenommen. Der Grund liegt darin, dass der Erfolg mancher Anbauziele konträr zum Erfolg anderer Anbauziele steht (vgl. Kap. 4.1). Einzelne Anbauziele hängen von einer möglichst langen und erfolgreichen Bodenbedeckung des Zwischenfruchtbestandes ab (z.B. N-Konservierung, Bodenschutz, Unkrautverdrängung) bzw. von der vollständigen Einarbeitung der Biomasse nach der Vegetationsperiode (z.B. O.S.-Anreicherung, N₂-Fixierung). Andere Anbauziele (Futternutzung) erfordern allerdings das (möglichst) umfangreiche Abernten der oberirdischen Biomasse zum optimalen Zeitpunkt (z.B. bereits im frühen Herbst). Bei einer Kombination dieser Anbauziele wird deswegen nur eine mögliche Futternutzung im Frühjahr (vor Umbruch) zugelassen (vgl. Tab. 5.14)

Tab. 5.14: Modifikation der Zielerfüllungsgrade je nach Anbauzielkombination.

Anbauzielkombinationen ¹					Anweisung ²			
FN	NF	OS	NK, BS, UK	andere AZ	Modifikation der Zielerfüllungsgrade			Kennziffer (azk)
					FN	NF	andere	
x	x	x	x	-	nur Fj.	H / Fj.	H / Fj.	2
x	x	x	-	x	nur Fj.	H / Fj.	H / Fj.	2
x	x	-	x	-	nur Fj.	H / Fj.	H / Fj.	2
x	x	-	-	x	H / Fj.	nur H.	H / Fj.	1
x	-	x	x	-	nur Fj.	-	H / Fj.	2
x	-	x	-	x	nur Fj.	-	H / Fj.	2
x	-	-	x	-	nur Fj.	-	H / Fj.	2
x	-	-	-	x	H / Fj.	-	H / Fj.	1
-	x	-	x		-	H / Fj.	H / Fj.	3
-	x	x	x		-	H / Fj.	H / Fj.	3
-	-		x		-	-	H / Fj.	3
-	-	x	x		-	-	H / Fj.	3

¹ Anbauziele: FN = Futternutzung, NF = N2-Fixierung, OS = O.S.-Anreicherung, NK = Stickstoffkonservierung, BS = Bodenschutz, UK = Unkrautverdrängung, andere AZ = Anbauziele: Bodengefügestabilisierung, Unterbodenlockerung, Nematodenbekämpfung.

² Als Zielerfüllungsgrad je Anbauziel und jeweiliges Anbauverfahren gilt: nur H. = ZEG für Herbst-Zielgrößen, nur Fj. = ZEG für Frühjahrs-Zielgrößen, H / Fj. = der höchste Zielerfüllungsgrad von Herbst- oder Frühjahrs-Zielgrößen.

Funktion Verfahrenskosten

In der Funktion „*Verfahrenskosten*“ werden die variablen Verfahrenskosten aus Angaben nach ACHILLES et al. (1999) in €/ha ermittelt. Sie setzen sich aus den variablen Maschinenkosten, den Düngungskosten und den Saatgutkosten zusammen. Die *Saatgutkosten* eines Anbauverfahrens ergeben sich aus dem Produkt der KTBL-Listenpreise des Jahres 1999, die in der Parameterdatei P2 integriert sind, und den empfohlenen Aussaatmengen der jeweiligen Verfahren (vgl. Tab. 4.2 und Anhang A2).

Die *Düngungskosten* setzen sich aus den Düngemittelkosten und den variablen Maschinenkosten für den Einsatz eines Düngestreuers zusammen. Wird bei einem Anbauverfahren bereits ein Düngestruer für die Ausbringung des Saatgutes verwendet (grobes Stoppelsaatverfahren), so entfallen hier diese Maschinenkosten. Bei Anbauverfahren mit Stickstoffdüngergaben von 80 bzw. 100 kg N/ha wird angenommen, dass die Stickstoffgabe auf zwei Ausbringungstermine (Spätsommer, Frühjahr) verteilt wird. Für diese Verfahren werden somit Kosten für einen zweifachen Düngestreuerereinsatz berechnet.

Die *variablen Maschinenkosten* setzen sich aus den Kosten für die Bodenbearbeitung, die Saatbettbereitung und die Saatgutablage (und ein eventuelles Häckseln des Zwischenfruchtbestandes) zusammen. Kosten für die Saatbettbereitung fallen nur beim feinen Stoppelsaatverfahren an. Kosten für die Saatgutablage (Drillsaat) entfallen beim groben Stoppelsaatverfahren. Bei Untersaatverfahren entfallen die Kosten für die Bodenbearbeitung. Zur Kostenberechnung wird bei diesen Verfahren als Saatgutablage generell die Drillsaat angenommen. Bei Klee-grasuntersaaten mit Herbstaussaat der Gräser (und einer Kleeaussaat im Frühjahr)

werden die doppelten Drillkosten angesetzt. Die jeweils anfallenden Kosten sind in die Parameterdatei P5 integriert (vgl. Kap. 5.5 sowie Tab. 4.4, Kap. 4.4, vgl. auch Anhang A2).

Funktion Verfahren-Sortieren

In der Funktion „Verfahren-Sortieren“ werden die Anbauverfahren nach höchstem Zielerfüllungsgrad oder geringsten Verfahrenskosten gemäß der vom Anwender in der Benutzeroberfläche getroffenen Auswahl sortiert. Bei der Auswahl „ohne Sortierung“ erfolgt die Ausgabe der Anbauverfahren entsprechend der Reihenfolge der Berechnung, also alle Anbauverfahren pro Fruchtart nacheinander. Dabei stellt die Sortierung nach den Verfahrenskosten ein einfaches Ranking scharfer Zahlen dar. Sollen die Verfahren nach den ZEG sortiert werden, erfolgt dieses entsprechend der unscharfen Zielerfüllungsgrade in einem Rangordnungsverfahren (Ranking) für unscharfe Mengen. Hierfür wurde das Niveau-Ebenen-Verfahren nach ROMMELFANGER (1994) verwendet. Als Ranking-Funktion wird bei diesem Verfahren die Gl. (5.41) verwendet:

$$H(U_i) = \frac{1}{3} \sum_{s=1}^3 \bar{U}_i^{\alpha_s} \tag{5.41}$$

Dabei stellen \bar{U}_i^{α} die (gewogenen) arithmetischen Mittel der \forall -Niveau-Mengen U_i^{α} dar mit:

$$\bar{U}_i^{\alpha} = \frac{u_{i1}^{\alpha} + u_{i2}^{\alpha}}{2} \frac{(u_{i2}^{\alpha} - u_{i1}^{\alpha})}{u_{i2}^{\alpha} - u_{i1}^{\alpha}} = \frac{1}{2} (u_{i1}^{\alpha} + u_{i2}^{\alpha})$$

In Anlehnung an ROMMELFANGER wurden die α -Niveaus mit $\alpha = 0,9; 0,6; 0,3$ gewählt. Abb. 5.6 veranschaulicht das Ranking-Verfahren.

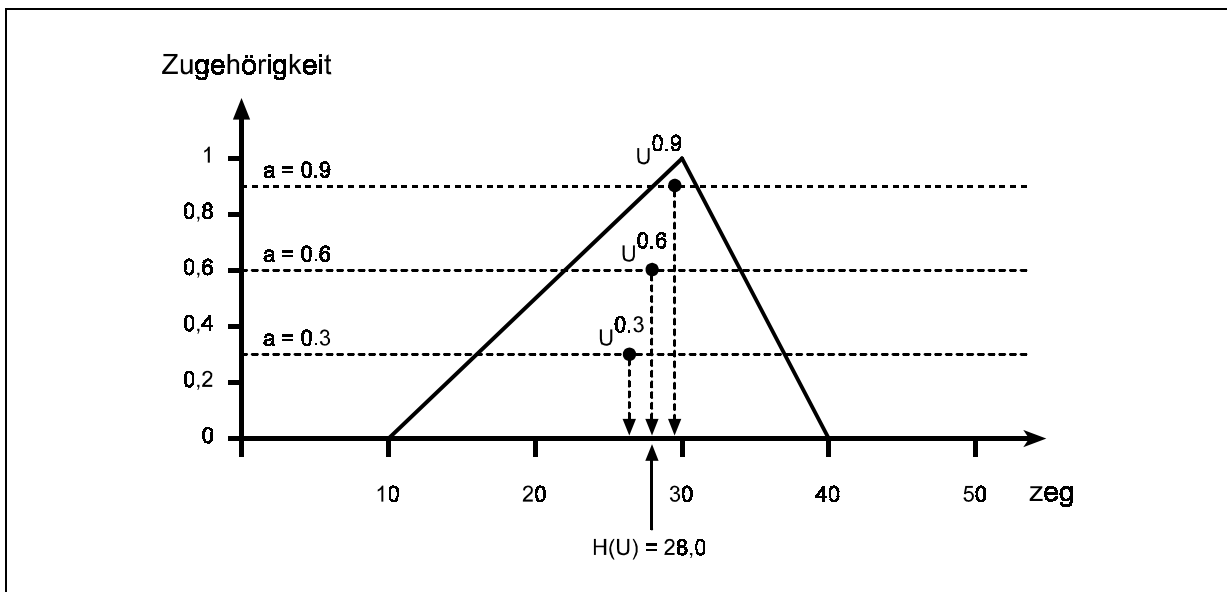


Abb. 5.6: Funktionsweise des Niveau-Ebenen-Verfahren mit den α -Niveaus $\alpha = 0,9, \alpha = 0,6$ und $\alpha = 0,3$ als unscharfes Rangordnungsverfahren (nach Rommelfanger 1994). In dem Beispiel ergeben die gewogenen arithmetischen Mittel die Werte $U^{0,9} = 29,5, U^{0,6} = 28,0$ und $U^{0,3} = 26,5$. Durch Anwendung der Ranking-Funktion erhält man den Ranking-Wert $H(U) = 28,0$ als scharfe Bewertungsvariable.

Wurden mehr als ein Anbauziel für die Auswahl der Anbauverfahren gewählt, erfolgt das Ranking der Verfahren mit aggregierten ZEG-Werten. Als Aggregationsfunktion H' wird je Anbauverfahren das Produkt der nach Gl. (5.41) bestimmten Ranking-Funktionswerte H für alle gewählten Anbauziele verwendet (Gl. 5.42):

$$H' = \prod_{i=1}^n H_i \quad (5.42)$$

für n gewählte Anbauziele.

Funktion Verfahren-Filtern

Die Funktion „*Verfahren-Filtern*“ filtert diejenigen Anbauverfahren aus der Ergebnismatrix, deren Zielerfüllungsgrade größer oder gleich einer vom Anwender gewählten Schranke sind. Diese Schranken können für jedes gewählte Anbauziel einzeln im Fenster „Einschränkung von Anbauverfahren“ in der Benutzeroberfläche definiert werden. Wie in der Funktion „*Verfahren-Sortieren*“ wird als Vergleichskriterium für die unscharfe Bewertungsvariable ZEG der Funktionswert der Ranking-Funktion nach dem Niveau-Ebenen-Verfahren herangezogen (Gl. 5.41).

Funktion Kurzauswahl

Die Funktion „*Kurzauswahl*“ stellt eine einfache Möglichkeit dar, die Ergebnismatrix auf ein Anbauverfahren pro Zwischenfrucht zu beschränken. Nach erfolgter Sortierung der Anbauverfahren wird in dieser Funktion nur das erste Anbauverfahren je Zwischenfrucht, also dasjenige mit dem höchsten Zielerfüllungsgrad, in die Ergebnismatrix geschrieben. Mit dieser Funktion soll nur ein mögliches Verfahren für die Auswahl optimaler Anbauverfahren aufgezeigt werden. In der aktuellen Version des DSS wurde die Funktion deshalb nicht aktiviert und auch nicht als Auswahlmöglichkeit in die Benutzeroberfläche aufgenommen.

5.5 Parameterdateien (Wissensrepräsentation)

Ein wesentlicher Bestandteil des im DSS gespeicherten Wissens (Wissensrepräsentationskomponente) sind neben den bereits dargestellten Fuzzy-Inferenzsystemen die Parameterdateien P1, P2, P3, P4, P5 und P6. Sie enthalten zum einen vielfältige zwischenfrucht-spezifische Informationen, z.B. über die Eignung für die jeweiligen Anbauziele (Zielpotenziale) oder wichtige Parameter der Bestandesentwicklung (Modelltyp der Herbstbiomasse, art-spezifische Ertragsfaktoren, Relationsfaktor Biomasse – Deckungsgrad, spezifische Saatsmengen usw.). Zum anderen sind hier auch vorfrucht- bzw. deckfruchtbezogene Parameter, die variablen Kosten der Anbauverfahren sowie Informationen über die nutzbaren Feldkapazitäten der Bodenartengruppen gespeichert. Tab. 5.15 gibt einen Überblick über die in den Parameterdateien enthaltenen Informationen. Die Parameterdateien sind im Anhang A2 dargestellt.

Tab. 5.15: Parameterdateien im DSS

Parameter-datei	Inhalt	Parameter	Quelle
P1	Zielpotenziale	Zielpotenziale für 59 Zwischenfrüchte und 9 Anbauziele	BUCHNER und KOLBE 1989, SODTKE 1996
P2	Bestandesdynamik	Saatmengen, Modell und Ertragsfaktor Herbstbiomasse, Saatbettanspruch, Winterhärte, Biomasse-Deckungsgrad-Relation, Relationsfaktor Deckungsgrad Frühjahr, Konkurrenzfähigkeit, Modell, Ertragsfaktor und Saatmenge als Untersaat, Saatgutkosten, Mulchsaateignung für Mais und Zuckerrüben jeweils für 59 Zwischenfrüchte	BUCHNER und KOLBE 1989, RENIUS et al. 1992, SODTKE 1996, ROTH 1998, ACHILLES et al. 1999
P3	Unverträglichkeiten mit Hauptfrüchten	Unverträglichkeiten für 59 Zwischenfrüchte und 11 Hauptfrüchte	RENIUS et al. 1992
P4	Bodenarten	nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität für 34 Bodenarten-gruppen, 3 Lagerungsdichten und 5 Humusklassen	AG BODENKUNDE 1994
P5	Verfahrenskosten	Stickstoff-Düngerkosten, Variable Maschinenkosten (Boden-lockerung, Saatbettbereitung, Saatgutablage, Düngerausbringung, Häckseln der Zwischenfrucht) in DM/ha für 4 Bestellverfahren (Stoppel- und Untersaat)	ACHILLES et al. 1999
P6	Zielgrößenpotenziale Deckfrucht	Konkurrenzfähigkeit, charakteristische Saat- und Erntetermine, C:N-Verhältnis des Strohs für 11 Hauptfrüchte	RENIUS et al. 1992

5.6 Graphische Benutzeroberfläche und Ausgabe der Modellergebnisse

5.6.1 Graphische Benutzeroberfläche

Um das DSS leichter bedienen und die notwendigen Daten einfacher eingeben zu können, wurde eine zugehörige graphische Benutzeroberfläche (engl.: graphical user interface, GUI) entwickelt. Mit deren Hilfe kann ein Anwender, z.B. ein Berater oder Landwirt, auch ohne umfassende computertechnische Fähigkeiten oder Programmiererfahrungen Zugang zum DSS erhalten (Dialogkomponente). Über verschiedene Eingabefenster des GUI können die notwendigen Informationen über die Fruchtfolge und die klimatischen und bodenbezogenen Standortbedingungen, die gewünschten Anbauziele des Zwischenfruchtanbaus und pflanzenbauliche Vorgaben für die Zwischenfruchtanbauverfahren spezifiziert werden. Das GUI gliedert sich in insgesamt zehn Fenster. Die Fensterinhalte stellen kurze Sachinformationen (z.B. Überschriften, Einheiten etc.) und verschiedene GUI-Elemente zur Informationseingabe wie Listboxes, Pop-up-Menüs, Schaltflächen, Eingabefelder etc. dar. Auf Hilfefunktionen und entsprechende Hilfsinformationen wurde in dieser Prototyp-haften Version des GUI weitgehend verzichtet. Abb. 5.7 zeigt die Funktionsweise der DSS-Benutzeroberfläche, in Abb. 5.8 ist beispielhaft das Eingabefenster „Anbauziele“, das verschiedene Listboxes und Stringbut-tons enthält, dargestellt. Die Oberflächen der weiteren GUI-Fenster sind im Anhang A10 ent-halten.

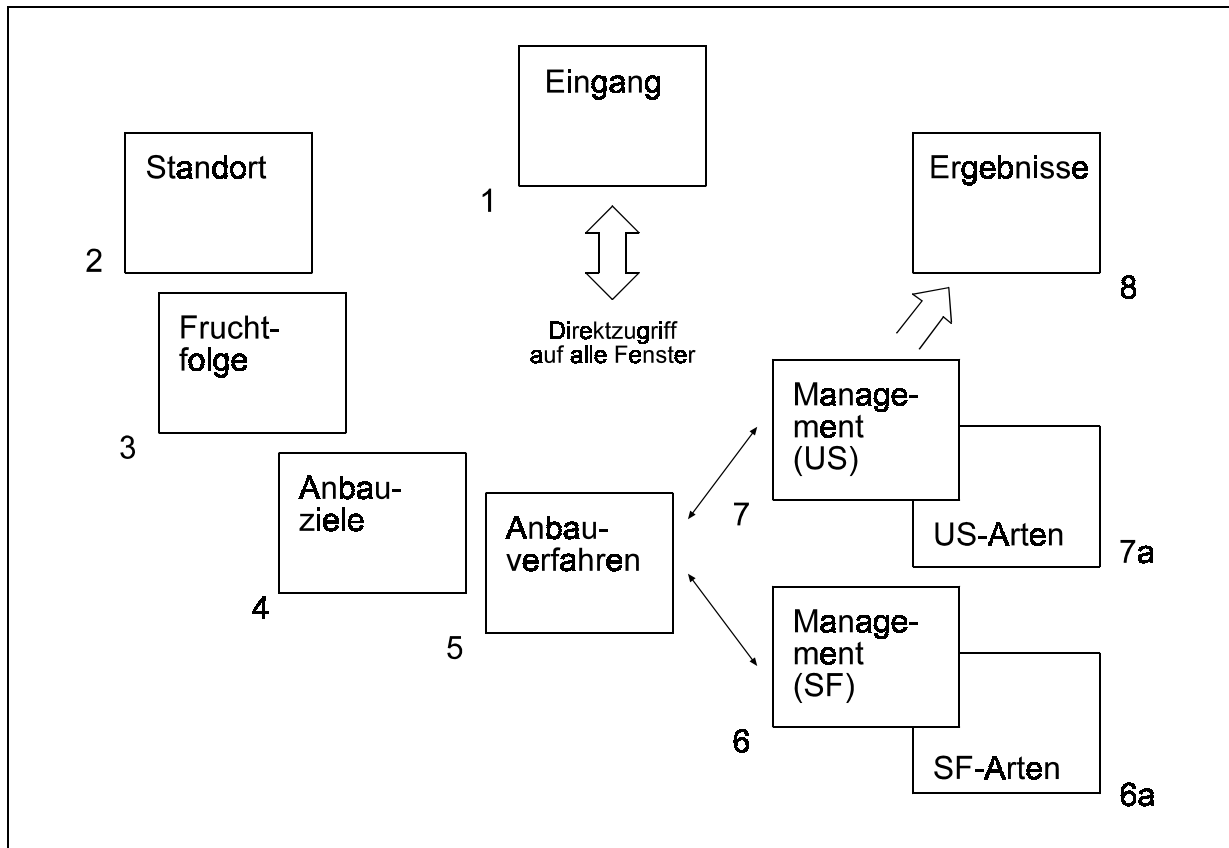


Abb. 5.7: Funktionsweise der Graphischen Benutzeroberfläche (GUI) des Entscheidungshilfesystems. Das GUI gliedert sich in ein Eingangsfenster und 9 Unterfenster, die einzeln über das Eingangsfenster oder nacheinander in Reihenfolge (2-8) aufgerufen werden können. Abhängig von den Eingaben öffnen sich in dieser Folge wahlweise die Fenster 6 oder 7 (oder beide nacheinander) bzw. die Fenster 6a und 7a, von denen auf die jeweils nachfolgenden Fenster zugegriffen werden kann.

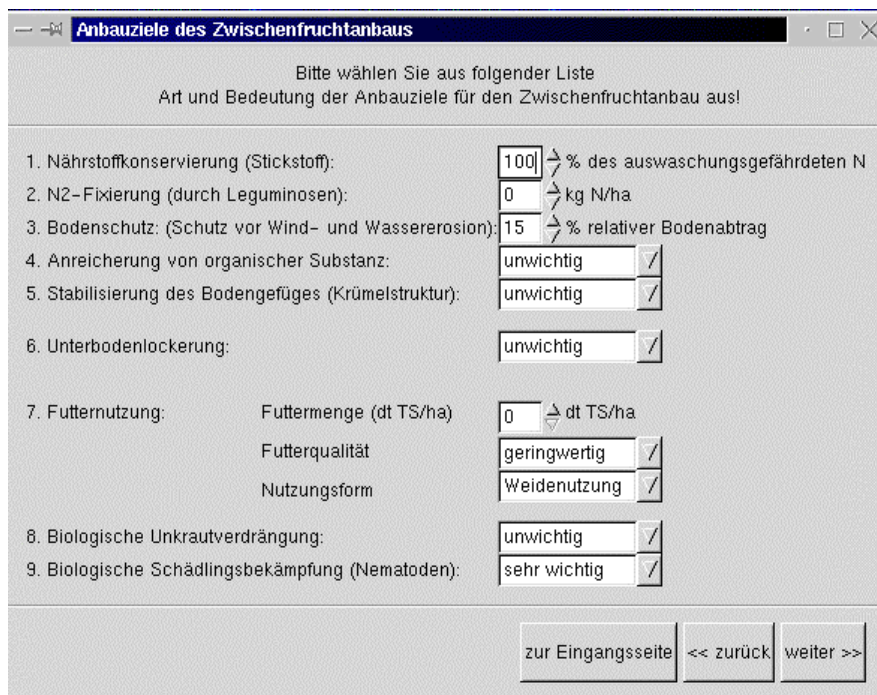


Abb. 5.8: Fenster „Anbauziele“ der DSS-Benutzeroberfläche.

Neben einem Eingangsfenster, von dem aus ein Anwender alle anderen Fenster des GUI ansteuern kann, wurden neun weitere Fenster für die Daten- und Informationseingabe entwickelt. Diese Fenster gliedern sich thematisch nach den einzugebenden Informationen: Angaben zu den Anbauzielen, Angaben zur Fruchtfolge, Angaben zu den Standortfaktoren, Einschränkung der Anbauverfahren, Pflanzenbauliche Angaben zu Stoppelsaatverfahren, Wahl der Stoppelsaatarten, Pflanzenbauliche Angaben zu Untersaatverfahren, Wahl der Untersaatarten und die Ergebnisausgabe. Von jedem Fenster lässt sich über das Anwählen entsprechender Schaltflächen zurück zum Eingangsfenster, zum jeweils vorausgegangenen oder zum nachfolgenden Fenster wechseln. Auf diese Weise können auch alle Fenster nacheinander aufgerufen werden. Abhängig von bestimmten Angaben (gewünschtes Saatverfahren: Untersaat, Stoppelsaat oder beide) öffnen sich nach dem Fenster Nr. 5 („Anbauverfahren“) die nachfolgenden Fenster Nr. 6 („Management von Stoppelsaaten“) oder Nr. 7 („Management von Untersaaten“) bzw. beide nacheinander, so dass in diesen weitere Angaben zum speziellen Management (z.B. die Spezifikation eines Anbauverfahrenselements, Auswahl der Pflanzenarten) gegeben werden können. Möchte der Anwender für die Simulation bestimmte Pflanzenarten auswählen, öffnen sich nach den Fenstern Nr. 6 bzw. 7 entsprechend die Fenster Nr. 6a bzw. Nr. 7a („Auswahl von Pflanzenarten“), in denen er einzelne Arten, aber auch Artengruppen (z.B. Leguminosen) gezielt auswählen kann.

Bei manchen Angaben zum pflanzenbaulichen Management der Zwischenfruchtbestände (Spezifikation der Anbauverfahrenselemente) können die Zustandsgrößen wahlweise als feste Vorgaben oder variabel gesetzt werden, um die Auswahl an berechneten Verfahren (und auch die Rechenzeit) einzuschränken. Sollten für einzelne Zustandsgrößen vom Anwender keine Angaben gemacht werden können, so werden statt deren vom DSS festgesetzte Standardwerte (Defaults) benutzt. Bei bestimmten Zustandsgrößen (Jahresniederschlag, Häufigkeit einer Sommertrockenperiode) können auch Spannweiten (Minimum und Maximum) angegeben werden, um die Varianz bzw. Unsicherheit dieser Größen in die Berechnung und die Qualität der Ergebnisaussage mit einbeziehen zu können. Mit diesen verschiedenen Möglichkeiten der Informationseingabe ist eine Berechnung von Anbauverfahren auch unter unsicherem Wissensstand des Anwenders möglich.

5.6.2 Ausgabe der Modellergebnisse

Das Simulationsergebnis des DSS ist die Ausgabe einer Anbauempfehlung in Textformat. Die Ausgabe der Modellergebnisse erfolgt sowohl im Ergebnisfenster, als auch im Terminalfenster des Betriebssystems (Linux). Im Terminalfenster werden darüber hinaus auch Informationen über den aktuellen Systemzustand des DSS (z.B. Wiedergabe eingegebener Informationen, aktueller Rechenvorgang) ausgegeben. Damit stellt das GUI nicht nur eine Dialog- sondern teilweise auch eine Erklärungskomponente dar. Eine graphische Darstellung von Modellergebnissen ist bislang nicht möglich. Die komplexen Ergebnisse der ausgegebenen Anbauverfahren ließen sich graphisch aber auch nur unvollkommen darstellen. Neben der visuellen Ergebnisausgabe werden die empfohlenen Anbauverfahren außerdem in eine zugehörige Datei geschrieben, die später editiert oder ausgedruckt werden kann. Abb. 5.9 zeigt ein Beispiel einer Textausgabe dieser Empfehlung.

Zu Beginn der Textausgabe werden die gewählten Anbauziele und die für sie gewünschten Zielerfüllungen (Zielleistungen) wiedergegeben. Es folgt eine Auflistung der ausgewählten Zwischenfruchtarten und evtl. der vom DSS abgelehnten Arten, die mit den Hauptfrüchten der angegebenen Fruchtfolge (z.B. wegen einer möglichen Krankheitsübertragung) unverträglich sind. Anschließend erfolgt die Modellsimulation, die durch eine entsprechende Ausgabe angezeigt wird (Angaben zum Systemzustand: berechnetes DSS-Modul bzw. berechnete Zwischenfruchtart). Schließlich erfolgt die Ausgabe der empfohlenen Anbauverfahren jeweils getrennt für die gewählten Anbauformen (Stoppelsaat bzw. Untersaat) in Tabellenform. Die Matrix der empfohlenen Anbauverfahren enthält zeilenweise alle empfehlenswerten Anbauverfahren. Die Reihenfolge der Anbauverfahren erfolgt dabei gemäß der Auswahl im Fenster Nr. 5 (Einschränkung der Anbauverfahren) sortiert nach höchstem Zielerfüllungsgrad, nach geringsten Verfahrenskosten bzw. „unsortiert“ (in der Reihenfolge der Berechnung, d.h. alle Anbauverfahren einer Zwischenfruchtart untereinander). In den Spalten der Matrix enthält jedes Anbauverfahren die Verfahrenselemente Zwischenfruchtart, Saattermin, N-Düngung, Bestellverfahren und Saatmenge. Angehängt werden außerdem die Erwartungswerte der Zielgrößen Herbst- bzw. Frühjahrsbiomasse, Herbst- bzw. Frühjahrsdeckungsgrad (jeweils Angabe der Spannweite), die oberirdisch aufgenommenen Stickstoffmengen (Herbst/Frühjahr), die Verfahrenskosten und die berechneten Zielerfüllungsgrade für jedes gewählte Anbauziel (vgl. Abb. 5.9).

Modellvalidierung: Berechnung von Anbauverfahren für die Beispielsstandorte

Liebenburg (AZ 95-98)
Zuckerrüben-Wintergetreide-Fruchtfolge

Sie haben die Ausgabe von möglichen Stoppel- und Untersaatverfahren in Kurzauswahl gewählt.

Ihre gewünschten Anbauziele und Zielforderungen sind:

N-Konservierung: 80 % austragsgefährdeter Stickstoff
Bodenschutz: 20 % relativer Bodenabtrag
Nematodenbekämpfung: ziemlich wichtig

Für die gewünschten Anbauziele können unter den gegebenen standörtlichen und pflanzenbaulichen Bedingungen folgende Stoppelsaatverfahren für den Zwischenfruchtanbau empfohlen werden:

Zwischenfrucht	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestell-fahren	Saat-menge (kg/ha)	oberird. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		variable Verfahrenskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Nemat
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	
1. Ölrrettich	Ende Juli	100	"fein"	25	20-35	7-10	70-90	80-100	65-95	35-45	320	0.9 (0.3-1)	1	0.9 (0.6-1)
2. Ölrrettich	Ende Juli	80	"fein"	25	20-35	5-10	70-90	70-100	60-95	35-45	301	0.9 (0.5-1)	1	0.8 (0.2-1)
3. Ölrrettich	Ende Juli	80	"mittel"	25	20-35	5-10	70-85	75-100	60-90	35-45	257	0.9 (0.3-1)	1	0.9 (0.4-1)
4. Ölrrettich	Ende Juli	60	"fein"	25	15-35	4-10	60-90	60-100	50-95	30-45	273	0.9 (0.6-1)	1	0.8 (0-1)
5. Ölrrettich	Ende Juli	60	"mittel"	25	15-35	5-10	65-85	70-100	55-90	35-45	229	0.9 (0.5-1)	1	0.8 (0.1-1)
6. Gelbsenf	Anfang August	80	"fein"	25	15-35	0	50-80	35-55	45-90	20-35	256	0.8 (0-1)	1	0.9 (0.6-1)
7. Ölrrettich	Anfang August	100	"fein"	25	20-35	5-10	70-85	75-100	60-90	35-45	320	0.8 (0.1-1)	1	0.9 (0.4-1)
8. Ölrrettich	Anfang August	60	"fein"	25	12-35	4-10	60-85	60-100	45-90	30-45	273	0.9 (0.5-1)	1	0.8 (0-1)
9. Ölrrettich	Anfang August	80	"fein"	25	15-35	5-10	65-85	70-100	55-90	35-45	301	0.9 (0.4-1)	1	0.8 (0.1-1)
10. Gelbsenf	Anfang August	60	"mittel"	25	15-30	0	50-75	35-55	40-85	20-35	184	0.8 (0-1)	1	0.9 (0.4-1)
11. Ölrrettich	Anfang August	80	"mittel"	25	20-30	5-10	70-85	75-100	60-90	35-45	257	0.8 (0.1-1)	1	0.9 (0.3-1)
12. Ölrrettich	Anfang August	60	"mittel"	25	15-30	5-10	65-85	65-100	55-90	30-45	229	0.9 (0.4-1)	1	0.8 (0-1)
13. Gelbsenf	Anfang August	60	"fein"	25	12-35	0	45-80	30-55	35-90	20-35	228	0.8 (0-1)	1	0.8 (0-1)
14. Gelbsenf	Anfang August	40	"mittel"	25	10-30	0	40-75	30-55	30-80	15-35	165	0.8 (0-1)	1	0.8 (0-1)
15. Gelbsenf	Anfang August	40	"fein"	25	7-30	0	30-75	20-55	20-85	12-35	209	0.8 (0-1)	0.9 (0.7-1)	0.8 (0-1)
16. Gelbsenf	Anfang August	20	"mittel"	25	0-30	0	0-75	0-50	0-75	0-30	146	0.8 (0-1)	0.8 (0-1)	0.8 (0-1)

Die Untersaatverfahren werden für die Deckfrucht Wintergerste für einen erwarteten Deckfrucht-Mindesttertrag von 95 % (bezogen auf den Deckfruchttertrag ohne Untersaat) berechnet. Für die gewünschten Anbauziele können unter den gegebenen standörtlichen und pflanzenbaulichen Bedingungen für die Deckfrucht Wintergerste keine Untersaatverfahren für den Zwischenfruchtanbau empfohlen werden.

***** DSS Intercrop 0.2 beendet. *****

Abb. 5.9: Beispiel einer Textausgabe der Zwischenfruchtanbauempfehlung. Dargestellt ist die Empfehlung von Anbauverfahren für den Standort Liebenburg und die Anbauziele N-Konservierung, Bodenschutz und Nematodenbekämpfung. Die empfohlenen Anbauverfahren stehen in Reihen untereinander und bestehen aus den Verfahrenselementen (Zwischenfrucht, Saattermin, N-Düngung, Bestellverfahren, Saatmenge), den berechneten Zielgrößen (oberirdische Biomasse, Deckungsgrad und N-Aufnahme in Spät-herbst bzw. Frühjahr), den Verfahrenskosten und den Zielerfüllungsgraden je gewähltes Anbauziel.

6 Validierung des Entscheidungsunterstützungssystems

6.1 Sensitivitäts-Validierung

Die Sensitivitäts-Validierung der untersuchten Subsysteme ergab für die meisten Eingangsgrößen eine mittlere bis hohe Sensitivität ($\geq 20\%$) in Bezug auf deren Einfluss auf die Wertespanne der Ausgangsgrößen der Subsysteme. Folgende Eingangsgrößen wiesen eine geringe Sensitivität (10-20 %) auf: *Bestellverfahren der Zwischenfrucht BV* (Submodell Stickstoffangebot), *Ernte- und Wurzelrückstände der Vorfrucht ER_{VF}* (Submodell Feldaufgang), *Wasserangebot zur Deckfrucht WA_{DF}* , *nutzbare Feldkapazität des Bodens nFK_{We}* , sowie die *Saatmenge der Deckfrucht SM_{DF}* (Submodell Zielgrößen Untersaaten, Ausgangsgröße Etablierungspotenzial der Untersaat), *Saattermin der Deckfrucht ST_{DF}* (Submodell Zielgrößen Untersaaten, Ausgangsgröße Ertragspotenzial der Deckfrucht) sowie der *Herbstdeckungsgrad D_H* (Submodell Zielgrößen Frühjahr, Ausgangsgröße Frühjahrsdeckungsgrad). Folgende Eingangsgrößen wiesen eine sehr geringe Sensitivität ($<10\%$) auf: *Luftkapazität des Bodens LK* (Submodell Stickstoffangebot), *Saattermin der Deckfrucht ST_{DF}* (Submodell Zielgrößen Untersaaten), die *zwischenfruchtspezifische Winterhärte WH* sowie die *klimatische Winterstärke WK* (Submodell Zielgrößen Frühjahr, Ausgangsgröße Frühjahrsdeckungsgrad). Tab. 6.1 stellt die absoluten und relativen Wertespannen der Ausgangsgrößen der jeweiligen Subsysteme bei einzeln variierten Eingangsgrößen dar. Abb. 6.1 gibt graphische Darstellungen der Sensitivitätsanalyse am Beispiel ausgewählter Eingangs- und Ausgangsgrößen wieder.

Die Ergebnisse der Sensitivitäts-Validierung lassen sich nahezu direkt auch auf die Sensitivität der Variablen hinsichtlich der Zielgrößen *Biomasse*, *Deckungsgrad* sowie *aufgenommene N-Menge* (Herbst und Frühjahr) übertragen, da die von Subsystem zu Subsystem übergebenen Variablen (*Stickstoffangebot*, *Wasserangebot*, *Feldaufgang der Stoppelsaat* bzw. *Etablierungserfolg der Untersaat*, *Herbstbiomasse* bzw. *-deckungsgrad*, *Frühjahrsbiomasse* bzw. *-deckungsgrad*) eine (nahezu) 100-prozentige Sensitivität auf die Ausgangsgrößen der in der Hierarchie folgenden Subsysteme haben.

Tab. 6.1: Ergebnisse der Sensitivitäts-Validierung. Absolute und relative Wertespans der Ausgangsgrößen der untersuchten DSS-Subsysteme bei einzeln variierten Eingangsgrößen. Zu den Abkürzungen und Dimensionen der Ausgangsgrößen vgl. Tab. 3.1.

Sub-systeme	Eingangsgrößen		Wertespanne der Ausgangsgrößen			
			absolut		relativ %	
Stickstoffangebot NA			NA			
	Stickstoffdüngung zur Zwischenfrucht	ND	120	100.0		
	Boden-N _{min} -Gehalt nach Vorfruchtternte	NB	120	100.0		
	Ernte-/Wurzelrückstände Vorfrucht	ER _{VF}	≥ 120	100.0		
	C:N-Verhältnis Ernterückstände	ER _{VF}	≥ 120	100.0		
	Luftkapazität des Bodens	LK	8.8	7.3		
	Häufigkeit Spätsommertrockenperiode	NS _S	34.8	29.0		
Wasserangebot WA			WA		WA _{DF}	
	Jahresniederschlagssumme	NS _A	116.7	46.7		
Feldaufgang FA			FA			
	Ernte-/Wurzelrückstände Vorfrucht	ER _{VF}	0.16	16.0		
	Bestellverfahren (Saatbettqualität, Saatgutablage)	BV	0.68	68.0		
	Saatbettanspruch Zwischenfrucht	SBA _{ZF}	0.48	48.0		
	Saatmenge der Zwischenfrucht	SM _{ZF}	0.8	80.0		
	Häufigkeit Spätsommertrockenperiode	NS _S	0.8	80.0		
			E _{US}			
	Ernte-/Wurzelrückstände Deckfrucht	ER _{VF}	1.36	68.0		
	Erntetermin Deckfrucht	ET _{VF}	0.96	48.0		
	Etablierungspotenzial Untersaat	EP _{US}	1.92	96.0		
Zielgrößen Unter-saaten ZGS			EP _{US}		EP _{DF}	
	Konkurrenzfähigkeit Untersaat	KF _{US}	1.2	100.0	0.50	100.0
	Konkurrenzfähigkeit Deckfrucht	KF _{DF}	0.87	72.5	0.50	100.0
	Stickstoffangebot zur Deckfrucht (Frühjahrsdüngung)	N _{DF}	0.10	8.3	0.10	20.0
	Wasserangebot zur Deckfrucht	WA _{DF}	0.15	12.5	0.48	96.0
	nutzbare Feldkapazität (Boden)	nFK _{We}	0.15	12.5	0.45	80.0
	Saattermin der Untersaat	ST _{US}	0.54	45.0	0.42	84.0
	Saatmenge der Untersaat	SM _{US}	0.24	20.0	0.28	56.0
	Saattermin der Deckfrucht	ST _{DF}	0.05	4.2	0.08	16.0
	Saatmenge der Deckfrucht	SM _{DF}	0.22	18.3	0.22	44.0
Untersaatspezifisches Biomassemodell	ZF	0.97	80.8	0.11	22.0	
Zielgrößen Herbst ZGH			B _H		D _H	
	Saattermin	ST	75.1	93.9	69.8	69.8
	Stickstoffangebot	ND	79.9	99.9	99.9	99.9
	Wasserangebot	WA	79.9	99.9	99.9	99.9
	Feldaufgang	FA	79.9	99.9	100.0	100.0
	Etablierungserfolg Untersaat	EP _{US}	79.9	99.9	100.0	100.0
	Umbruchtermin Zwischenfrucht	UT _{ZF}	79.9	99.9	100.0	100.0
	Ende der Vegetationsperiode	VP	79.9	99.9	100.0	100.0
Zielgrößen Frühjahr ZGF			B _F		D _F	
	Herbstbiomasse	B _H	75.6	94.5	99.6	99.6
	Herbstdeckungsgrad	D _H	0.0	0.0	18.5	18.5
	Zwischenfruchtspezifische Winterhärte	WH	75.5	94.4	8.8	8.8
	Klimatische Winterstärke (rel.)	WK	30.4	38.0	8.8	8.8
	Umbruchtermin Zwischenfrucht	UT _{ZF}	≥ 80.0	100.0	100.0	100.0
N-Aufnahme			N _H		N _F	
	Herbstbiomasse	B _H	142.0	94.7	0.0	0.0
	Herbstdeckungsgrad	D _H	-	-	-	-
	Frühjahrsbiomasse	B _F	0.0	0.0	142.0	94.7
	Frühjahrsdeckungsgrad	D _F	-	-	-	-
	Zwischenfruchtspezifische Parameter	N _{max}	≥ 150	100.0	≥ 150	100.0
	kN	≥ 150	100.0	146	97.3	

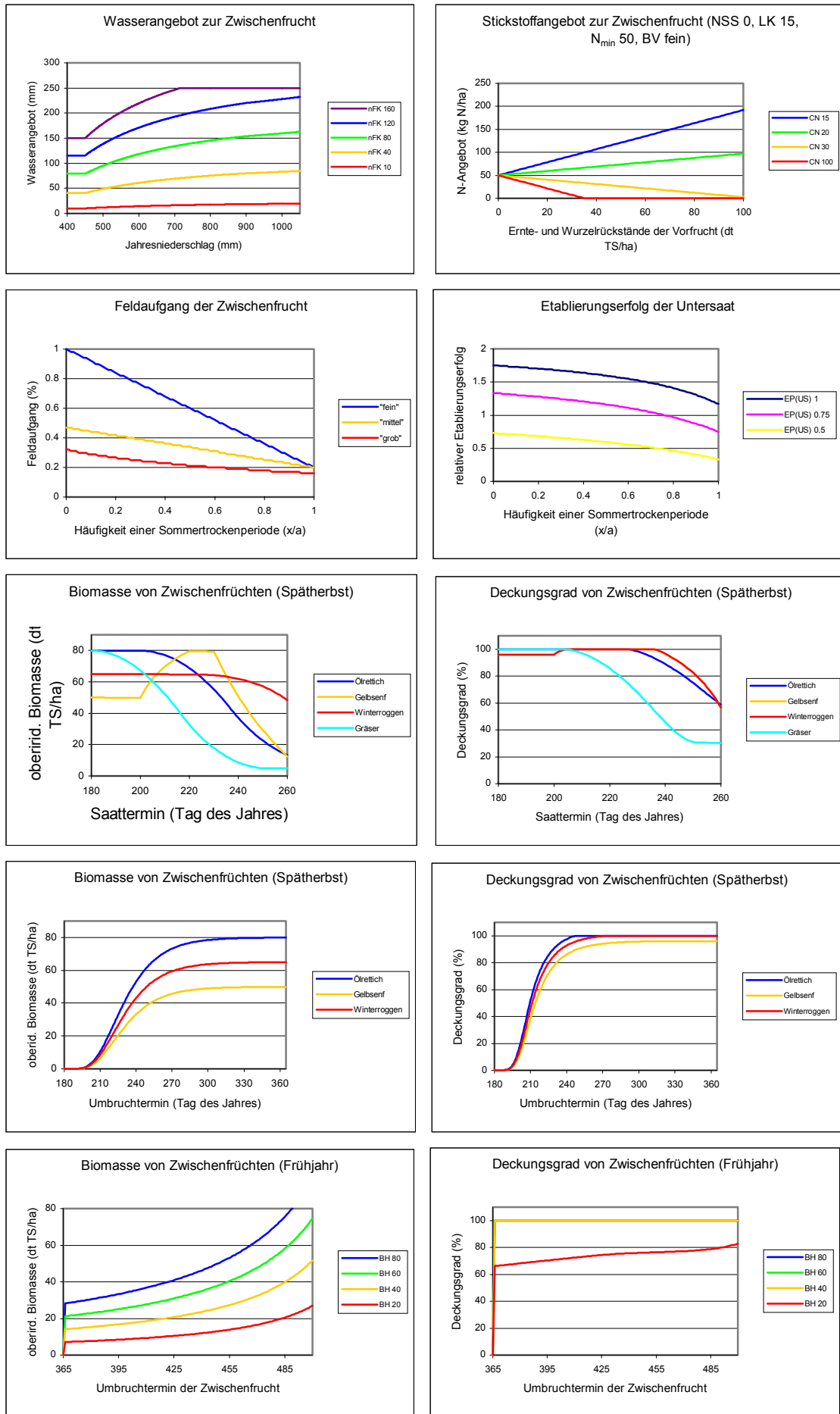


Abb. 6.1: Graphische Darstellungen der Ergebnisse der Sensitivitäts-Validierung am Beispiel ausgewählter Eingangs- und Ausgangsgrößen der untersuchten DSS-Subsysteme.

6.2 Regressionsanalytische Plausibilitäts-Validierung

Die Regressionsanalyse zwischen Literaturdaten und Simulationsergebnissen des DSS ergab für die geprüften Zielgrößen von 52 Zwischenfrüchten insgesamt gute bis zufriedenstellende Übereinstimmungen. Die Zwischenfrüchte Platterbse, Gelbklee, Winterraps + Felderbse, Ackerbohne + Winterwicke und Luzerne konnten aufgrund zu geringer Datensätze nicht statistisch ausgewertet werden. Die Zwischenfrüchte Ölrettich, Gelbsenf und Phacelia wurden bezüglich der Zielgrößen Frühjahrsbiomasse und -N-Menge ebenfalls nicht ausgewertet. Diese Fruchtarten gelten als nicht (bzw. bedingt) winterhart (BUCHNER und KOLBE 1989), weshalb die DSS-Ergebnisse (nahezu) keine lebende Frühjahrsbiomasse aufweisen. Die von den Autoren angegebenen Messdaten beziehen sich jedoch auf die gesamte (lebende und tote) Biomasse, so dass die Werte in diesen Fällen nicht vergleichbar sind. Abb. 6.2 zeigt einen Scatter plot der Regressionsanalyse für die Zielgröße „oberirdische Biomasse (Spätherbst)“ am Beispiel der Zwischenfrucht Ölrettich. Scatter plots der Regressionsanalysen mit den Daten aller geprüften Zwischenfrüchte sind im Anhang A4 aufgeführt. Die Bestimmtheitsmaße und die Korrekturfaktoren der Regressionsgleichungen für alle geprüften Zwischenfrüchte und die Zielgrößen *oberirdische Biomasse*, *aufgenommene N-Menge* sowie *Deckungsgrad im Spätherbst* sind übersichtlich in Tab. 6.2 (Stoppelsaaten) bzw. Tab. 6.3 (Untersaaten) dargestellt. Tab. 6.4 enthält die entsprechenden Ergebnisse für die Zielgrößen im Frühjahr.

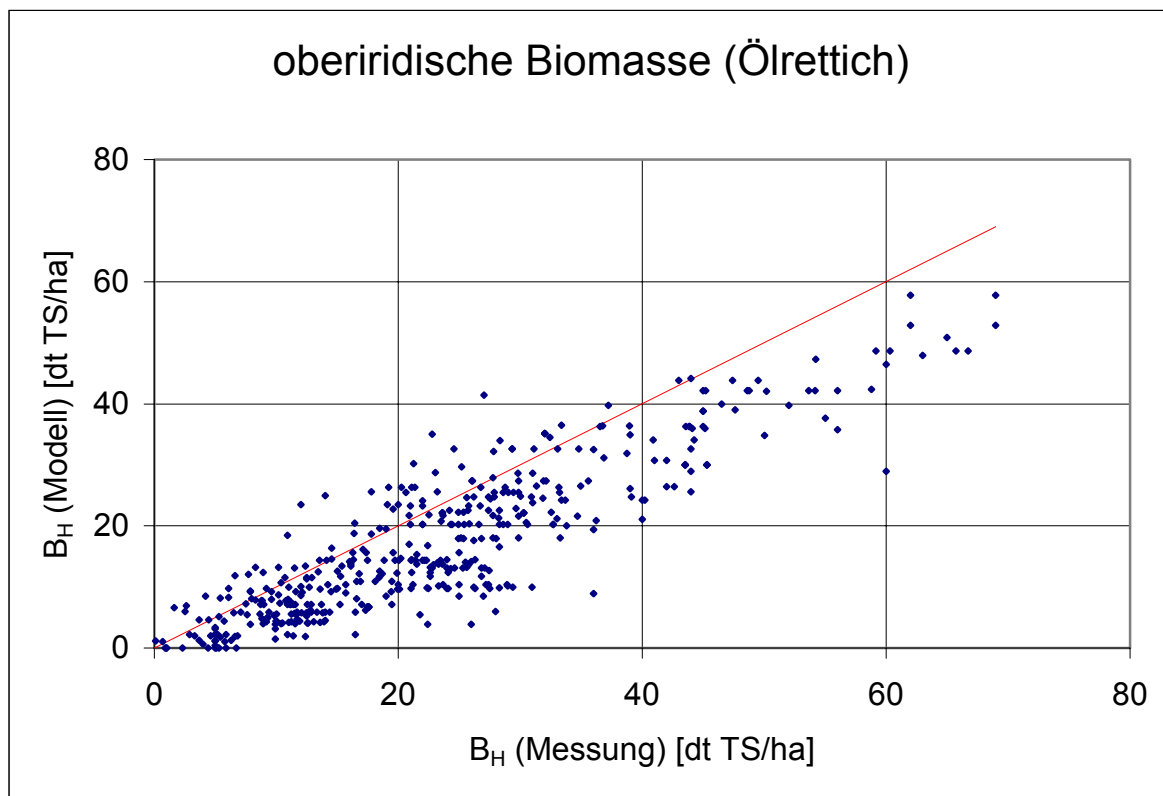


Abb. 6.2: Scatter plot der Regressionsanalyse für die Zielgröße „oberirdische Biomasse (Spätherbst)“ der Zwischenfrucht Ölrettich.

Tab. 6.2: Ergebnisse der Regressionsanalyse von Literaturdaten und Simulationsergebnissen für die Zielgrößen oberirdische Biomasse B_H , oberirdische N-Menge N_H sowie Deckungsgrad D_H , jeweils im Spätherbst, für verschiedene Zwischenfrüchte (Stoppelsaaten): Anzahl der Datensätze n_D , Anzahl der Quellen n_Q , Bestimmtheitsmaße r^2 , Regressionskoeffizienten r_Z .

Zwischenfrucht	B_H				N_H				D_H			
	n_D	n_Q	r^2	r_Z	n_D	n_Q	r^2	r_Z	n_D	n_Q	r^2	r_Z
Einjähriges Weidelgras	85	8	.863	.731	54	5	.829	.999	-	-	-	-
Welsches Weidelgras	34	14	.936	.831	18	6	.891	.976	-	-	-	-
Wintergrünroggen	43	8	.903	.774	16	2	.915	1.558	-	-	-	-
Wintergerste ¹	7	2	.957	.945	7	1	.973	1.773	-	-	-	-
Winterraps	225	22	.915	.745	137	15	.811	.842	8	2	.976	.700
Sommerraps	71	5	.956	.735	5	1	.977	.638	-	-	-	-
Winterrüben	101	16	.939	.791	60	10	.898	.678	-	-	-	-
Sommerrüben	32	6	.969	.936	14	1	.948	.856	-	-	-	-
Stoppelrüben	9	2	.850	.820	9	2	.865	.772	-	-	-	-
Futterkohl	4	1	.806	.940	-	-	-	-	-	-	-	-
Örettich	448	28	.929	.758	222	16	.921	.785	30	4	.943	.810
Gelbsenf	345	29	.944	.838	212	22	.884	.833	19	3	.936	.637
Phacelia	146	22	.958	.886	146	16	.733	.900	33	4	.454	.893
Sonnenblume	31	3	.936	.906	28	3	.967	.957	-	-	-	-
Rotklee	4	1	.680	.242	4	1	.696	.239	-	-	-	-
Perserklee	30	6	.772	.600	26	4	.802	.755	-	-	-	-
Alexandrinerklee	16	3	.968	.847	2	3	.874	.394	-	-	-	-
Bodenfrüchtiger Klee	9	1	.993	.814	9	1	.996	.782	-	-	-	-
Serradella	6	1	.993	.906	6	1	.971	1.317	-	-	-	-
Sommerwicke	40	7	.987	.987	40	6	.930	.851	-	-	-	-
Blaue Bitterlupine	15	2	.896	.696	15	2	.945	.872	-	-	-	-
Gelbe Bitterlupine	3	2	.919	.743	3	2	.992	.918	-	-	-	-
Ackerbohne	16	3	.762	.679	16	4	.703	.620	-	-	-	-
Felderbse	37	7	.949	.909	15	6	.854	.681	-	-	-	-
EWg + Perserklee	14	1	.899	1.095	14	1	.908	1.431	-	-	-	-
EWg + Alexandrinerklee	6	2	.844	1.004	-	-	-	-	-	-	-	-
EWg + Sommerwicke ²	6	2	.913	.743	-	-	-	-	-	-	-	-
WWg + Rotklee	4	2	.973	.493	-	-	-	-	-	-	-	-
WWg + Sommerwicke ³	14	1	.931	.924	14	1	.931	.932	-	-	-	-
Winterroggen + Winterwicke	15	2	.844	.755	15	2	.895	.747	-	-	-	-
Winterraps + FE + SWi	3	1	.994	1.193	-	-	-	-	-	-	-	-
Gelbsenf + Hafer + FE ⁴	3	1	.998	.373	-	-	-	-	3	1	.980	1.646
Gelbsenf + SB + FE ⁴	6	1	.979	.973	6	1	.976	.928	-	-	-	-
Sonnenblume + AB + FE ⁴	9	1	.957	.695	9	1	.947	.747	-	-	-	-
Hafer + Ackerbohne ⁵	3	1	.863	.510	3	1	.828	.489	-	-	-	-
Hafer + Felderbse ⁶	8	1	.995	.528	8	1	.973	.626	-	-	-	-
Ackerbohne + FE + SWi	6	3	.850	.909	2	1	.836	1.093	-	-	-	-
AB + FE + SWi + GL ⁷	4	1	.993	.538	4	1	.995	.537	-	-	-	-
Felderbse + Winterwicke ⁸	2	1	.999	.778	2	1	1.0	.820	-	-	-	-

Abkürzungen:

EWg = Einjähriges Weidelgras

AB = Ackerbohne

SWi = Sommerwicke

GL = Gelbe Bitterlupine

WWg = Welsches Weidelgras

FE = Felderbse

SB = Sonnenblume

Zwischenfrüchte mit Anmerkungen wurden mit den Modellparametern von folgenden Zwischenfrüchten gerechnet:

¹ Wintergrünroggen

⁵ Winterraps + Sommerwicke

² Einjähriges Weidelgras + Perserklee

⁶ Winterraps + Felderbse

³ Welsches Weidelgras + Rotklee

⁷ Ackerbohne + Felderbse + Sommerwicke

⁴ Winterraps + Felderbse + Sommerwicke

⁸ Felderbse + Sommerwicke

Tab. 6.3: Ergebnisse der Regressionsanalyse von Literaturdaten und Simulationsergebnissen für die Zielgrößen oberirdische Biomasse B_H , oberirdische N-Menge N_H sowie Deckungsgrad D_H , jeweils im Spätherbst, für verschiedene Zwischenfrüchte (Untersaaten): Anzahl der Datensätze n_D , Anzahl der Quellen n_Q , Bestimmtheitsmaße r^2 , Regressionskoeffizienten r_Z .

Zwischenfrucht	B_H				N_H				D_H			
	n_D	n_Q	r^2	r_Z	n_D	n_Q	r^2	r_Z	n_D	n_Q	r^2	r_Z
Deutsches Weidelgras	60	7	.571	.613	4	1	.985	2.315	20	2	.794	1.138
Einjähriges Weidelgras	5	1	.899	.862	-	-	-	-	-	-	-	-
Welsches Weidelgras	127	5	.762	1.257	89	4	.710	3.318	30	1	.887	1.031
Knautgras	67	7	.766	.838	2	1	.987	1.548	4	1	.759	1.021
Rotschwingel	18	3	.353	.236	6	1	.995	1.012	14	1	.961	.729
Schafschwingel ¹	7	1	.450	.617	-	-	-	-	-	-	-	-
Weißklee	23	5	.773	.974	4	1	.984	3.408	14	2	.860	1.917
Rotklee	83	5	.795	.951	56	1	.680	1.013	56	2	.833	.953
Serradella	10	1	.529	2.546	-	-	-	-	-	-	-	-
WWg + Rotklee	6	1	.811	3.667	-	-	-	-	-	-	-	-
DWg + Weißklee	14	3	.586	1.072	4	1	.994	4.055	4	1	.914	2.137
RSw + Weißklee ²	12	1	.964	.416	12	1	.943	1.594	12	1	.996	1.413

Abkürzungen: WWg = Welsches Weidelgras, DWg = Deutsches Weidelgras, RSw = Rotschwingel

Zwischenfrüchte mit Anmerkungen wurden mit den Modellparametern von folgenden Zwischenfrüchten gerechnet:

¹ Rotschwingel, ² Deutsches Weidelgras + Weißklee

Tab. 6.4: Ergebnisse der Regressionsanalyse von Literaturdaten und Simulationsergebnissen für die Zielgrößen oberirdische Biomasse B_F und oberirdische N-Menge N_F sowie Deckungsgrad D_F im Frühjahr, für verschiedene Zwischenfrüchte (Stoppel- bzw. Untersaaten = US): Anzahl der Datensätze n_D , Anzahl der Quellen n_Q , Bestimmtheitsmaße r^2 , Regressionskoeffizienten r_Z .

Zwischenfrucht	B_F				N_F				D_F			
	n_D	n_Q	r^2	r_Z	n_D	n_Q	r^2	r_Z	n_D	n_Q	r^2	r_Z
Welsches Weidelgras	2	1	.347	.130	2	2	.481	.596	-	-	-	-
Wintergrünroggen	19	1	.764	.370	18	1	.772	.918	-	-	-	-
Wintergerste	4	1	.255	.302	4	2	.345	.527	-	-	-	-
Winterraps	62	3	.764	.245	52	4	.459	.158	-	-	-	-
Winterrüben	3	4	.776	.825	3	4	.823	1.160	-	-	-	-
Sommerwicke	3	2	.857	.008	3	2	.798	.107	-	-	-	-
Winterwicke	2	1	.934	.432	-	-	-	-	-	-	-	-
Gelbe Lupine	2	1	1.0	.390	2	1	1.0	.540	-	-	-	-
Winterwicke/ Winterroggen	6	1	.706	.373	6	1	.703	.527	-	-	-	-
Gelbsenf + Hafer + FE ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1		
Hafer + Felderbse ²	4	1			4	1			-	-	-	-
Deutsches Weidelgras (US)	3	1			-	-	-	-	4	1		
Welsches Weidelgras (US)	1	1			-	-	-	-	-	-	-	-
Knautgras (US)	3	1			-	-	-	-	2	1		
Rotschwingel (US)	3	1			-	-	-	-	6	1		
Weißklee (US)	-	-	-	-	-	-	-	-	14	1		
Rotklee (US)	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1		
DWg + Weißklee (US)	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1		
RSw + Weißklee (US) ³	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1		

Abkürzungen: FE = Felderbse, DWg = Deutsches Weidelgras, RSw = Rotschwingel, US = Untersaat

Zwischenfrüchte mit Anmerkungen wurden mit den Modellparametern von folgenden Zwischenfrüchten gerechnet:

¹ Winterraps + Felderbse + Sommerwicke, ² Winterraps + Felderbse, ³ Deutsches Weidelgras + Weißklee

Für die meisten Stoppelsaaten wurden gute Bestimmtheitsmaße der Zielgröße *oberirdische Biomasse (Spätherbst)* ermittelt. Die ermittelten Regressionskoeffizienten weichen jedoch z.T. erheblich von dem Wert 1 (exakte Übereinstimmung) ab, so dass entsprechende Korrekturen der zwischenfruchtspezifischen Ertragsfaktoren e_H nötig wurden (vgl. Gl. 5.21, Kap. 5.3, S. 98). Für einzelne Zwischenfrüchte wurden keine guten Übereinstimmungen ermittelt (z.B. Rotklee, Perserklee, Ackerbohne und die meisten Untersaaten). Die Gründe liegen zum einen in der z.T. schlechten Datenlage: für nur 11 der geprüften Zwischenfrüchte lagen mehr als 50 Datensätze vor. Zum anderen wichen die Messergebnisse der unterschiedlichen Autoren bei vergleichbaren Einflussbedingungen z.T. erheblich voneinander ab, was eine große Streuung der Daten und entsprechend schlechte Bestimmtheitsmaße zur Folge hatte. Aufgrund der wenigen Daten, die der Regressionsanalyse zur Verfügung standen, muss allerdings die Aussagesicherheit der Analyseergebnisse zurückhaltend bewertet werden.

Die Werte für die Zielgrößen *oberirdische N-Menge* und *Deckungsgrad (Spätherbst)* zeigen ähnliche Ergebnisse wie für die Biomasse. Die Datenlage war bei diesen Zielgrößen allerdings noch wesentlich schlechter: für nur 8 von 41 Zwischenfrüchten lagen mehr als 50 Datensätze vor (N-Menge). Beim Deckungsgrad waren nur für 5 von 13 Zwischenfrüchten gleich oder mehr als 20 Datensätze vorhanden. Für diese Zielgrößen lassen sich also nur vorsichtige Tendenzen ableiten.

Die entsprechenden Zielgrößen im Frühjahr zeigten insgesamt noch schlechtere Ergebnisse in der Übereinstimmung. Nur für die Fruchtart Winterwicke konnte ein Bestimmtheitsmaß größer 0.9 ermittelt werden, alle anderen Zwischenfrüchte wiesen schlechtere Übereinstimmungen auf. Die Regressionskoeffizienten zeigen nahezu durchgehend Werte, die erheblich von 1 abweichen. Auch in diesen Fällen muss jedoch auf die schlechte Datenlage verwiesen werden, die nur bei einer Fruchtart (Winterraps) mehr als 20 Datensätze aufweist.

6.3 Vorhersage-Validierung

Der Rücklauf der Fragebögen für die Vorhersage-Validierung von den 29 angeschriebenen Experten war zunächst sehr gering. Nach der Klärung evtl. aufgetretener Verständnisprobleme per Telefon bzw. im direkten Gespräch, schickten von den angeschriebenen Personen nur 13 einen auswertbaren Fragebogen zurück.

Die befragten Experten machten ihre Angaben häufig auch zu von ihnen variierten Fruchtfolgen bzw. Vorfrüchten und geänderten Anbauzielkombinationen, so dass sich je Standort zwischen zwei und acht Varianten der pflanzenbaulichen Situation ergaben, für die Informationen gewonnen werden konnten. In der Summe wurden 68 Anbauverfahren für insgesamt 32 Anbausituationen recherchiert. Für einen Großteil der Verfahrensvorschläge liegt die Einschätzung nur eines einzelnen Experten zugrunde, für viele Varianten konnte nur ein Verfahren recherchiert werden. Für eine der ursprünglichen Varianten (Fallbeispiel 3a, vgl. Tab. 3.4, S. 35) konnten keine Expertenangaben gewonnen werden.

Expertenangaben und DSS-Ergebnisse wurden hinsichtlich folgender Kriterien verglichen: Anzahl vorgeschlagener Anbauverfahren (bei Zielerfüllungsgraden > 0.8), Anzahl vorgeschlagener Zwischenfrüchte (in den Kategorien: beim DSS gleich, zusätzlich, fehlend) sowie

Übereinstimmung der Anbauverfahren je gleiche Zwischenfrucht hinsichtlich der Verfahrenselemente, Zielgrößen und Zielerfüllungsgrade. Sofern Überschneidungen bei den Spannweiten der Ausprägungen der jeweiligen Charakteristika vorlagen, wurden die jeweiligen Verfahrensvorschläge hinsichtlich des Charakteristikums als übereinstimmend angesehen. Als minimale Überschneidungen wurden übereinstimmende Ausprägungsstufen der Charakteristika angesehen. Zu den Größen der Stufen der einzelnen Verfahrenselemente vergleiche Tab. 5.8 (S. 91) für die Zielgrößen wurden Stufen à 5 dt TS/ha (oberirdische Biomasse) bzw. à 5 % (Deckungsgrad) unterstellt. Tab. 6.5 stellt die Ergebnisse dieser Vergleiche für alle Fallbeispiele dar. Die Verfahrensvorschläge der Experten sowie die entsprechenden DSS-Ergebnisse können dem Anhang A7 entnommen werden.

Im Vergleich zu den Expertenangaben konnten mit dem DSS insgesamt befriedigende bis gute Ergebnisse erzielt werden. In der Summe wurden 49 der von den Experten vorgeschlagenen Anbauverfahren (Zwischenfruchtarten) ebenso vom DSS vorgeschlagen, 19 Verfahren wurden vom DSS nicht empfohlen. Zusätzlich schlug das DSS für alle Fallbeispiele insgesamt 190 weitere Anbauverfahren vor. Die vom DSS nicht empfohlenen Varianten werden im folgenden aufgeführt und kurz diskutiert:

Winterrüben (Fallbeispiel 1a) wird hinsichtlich dem Zielerfüllungsgrad für das Anbauziel O.S.-Anreicherung entsprechend BUCHNER und KOLBE (1989) schlechter als von den Experten bewertet. Da es sich bei diesem Fallbeispiel um eine Raps-Fruchtfolge handelt, dürften wegen der Gefahr eines Kohlherniebefalls ohnehin keine Kreuzblütler (also auch kein Ölrettich oder Gelbsenf) empfohlen werden (vgl. Kap. 4.1.7), was das DSS bei einer entsprechenden Vorgabe auch nicht macht.

Winterraps (1b) wird nur eine sehr geringe Leistung hinsichtlich Bodengefügeverbesserung zugesprochen und kann hier nicht empfohlen werden. Wie bei (1a) dürften in diesem Fallbeispiel (Raps-Fruchtfolge) keine Kreuzblütler empfohlen werden.

Landsberger Gemenge (1c) erreicht als Gras-Leguminosen-Gemenge ähnlich wie der Wickroggen nicht die erforderliche N₂-Fixierungsleistung. Von den Experten wird die Zielleistung allerdings auch geringer als 0.8 (hinreichendes Auswahlkriterium) bewertet.

Gelbsenf und Winterraps (1e) erreichen nicht die erforderliche Leistung zur Bodengefügeverbesserung (vgl. Fallbeispiel 1b). Auch hier (Raps-Fruchtfolge) dürften keine Kreuzblütler empfohlen werden.

Die Untersaat Deutsches Weidelgras plus Weißklee (1f) erreicht als schwache Untersaat unter dem konkurrenzstarken Winterweizen in diesem Fallbeispiel nicht die erforderliche Biomasse für die gewünschten Zielleistungen. Nur das starke Untersaatgemenge Welsches Weidelgras + Gelbklee + Weißklee kann hier empfohlen werden.

Die Untersaat Deutsches Weidelgras plus Weißklee (1h) unter Mais erreicht bei dem späten Maiserntetermin nicht mehr die erforderliche Biomasse für die gewünschten Zielleistungen. In diesem Fall kann nur eine Weißklee-Reinsaat als Untersaat empfohlen werden.

Sommer- und Winterraps (4a) können wegen ihrer zu geringen Leistungsfähigkeit beim Ziel O.S.-Anreicherung nicht empfohlen werden. Auch der Experte hat die Zielerfüllung dieser

Fruchtarten mit 0.25 deutlich geringer als empfehlenswert eingestuft. Raps (und Gelbsenf) dürften in diesem Fallbeispiel (Kartoffel-Fruchtfolge) wegen der Förderung des Rattle-Virus nicht empfohlen werden (vgl. Kap. 4.1.7).

Alexandrinerklee und Perserklee (5a) erreichen in diesem Fall nicht die erforderliche Biomasse zur Zielerfüllung.

Einjähriges plus Welsches Weidelgras (5b) erreicht nicht die erforderliche Biomasse zur Zielerfüllung.

Welsches Weidelgras (5c) kann als sehr starke Untersaat in Ackerbohnen erst im späten Frühjahr gesät werden, erreicht dann aber bei dem späten Erntetermin des Ackerbohnen nicht mehr die erforderliche Biomasse zur Zielerfüllung.

Einjähriges plus Welsches Weidelgras (7a) erreicht nicht die erforderliche Biomasse zur Zielerfüllung.

Die Stoppelrüben (7b) erreichen bei einem Saattermin Anfang August nicht mehr die erforderliche Biomasse zur Zielerfüllung.

Welsches Weidelgras plus Einjähriges Weidelgras plus Rotklee (8a) befindet sich nicht in der Zwischenfruchtauswahl des DSS. Vergleichbare Zwischenfrüchte (z.B. Welsches Weidelgras + Rotklee) werden nicht empfohlen, da es sich in diesem Fallbeispiel (organische Fruchtfolge) um einen konkurrenzschwachen Winterroggen handelt. Es können nur schwache Untersaaten bzw. Stoppelsaaten empfohlen werden, die zudem hohe N₂-Fixierungsleistungen aufweisen (Leguminosen-Reinsaaten).

Rotklee (8b) kann wie bei (8a) als starke Untersaat nicht für die schwache Deckfrucht Winterroggen empfohlen werden.

Phacelia und Gelbsenf (9c) eignen sich nur schlecht für die Unterbodenlockerung und können hier nicht empfohlen werden.

Der eingehendere Vergleich der 49 Anbauverfahren mit übereinstimmenden Zwischenfruchtarten weist in den meisten Fällen gute Übereinstimmungen zwischen Expertenangaben und DSS-Ergebnissen auf: die Verfahrenselemente *Saattermin*, *N-Düngung*, *Bestellverfahren* und *Saatmenge* wurden in nur 9, 15, 8 bzw. 12 Fällen über- bzw. unterschätzt. Die errechneten Zielgrößen *Biomasse (Herbst)*, *Biomasse (Frühjahr)*, *Deckungsgrad (Herbst)* und *Deckungsgrad (Frühjahr)* weisen in 33, 29, 26 bzw. 28 Fällen Übereinstimmungen auf; in 9, 12, 3 bzw. 7 Fällen lagen keine Ergebnisse der Experten vor. Die Zielerfüllungsgrade wurden in 57 von 149 Nennungen übereinstimmend bewertet: 42 Nennungen wurden vom DSS überbewertet, 28 unterbewertet, wobei die Abweichungen nur in 7 bzw. 5 Fällen größer als 0.3 sind. Für 22 Nennungen von Anbauzielen lagen keine Bewertungen der Experten vor.

6.4 Beurteilung von DSS-Ergebnissen durch Experten

Vorbemerkungen zur Expertenbefragung

Der Rücklauf der Fragebögen für die Beurteilung der DSS-Ergebnisse war noch geringer als bei der Vorhersage-Validierung. Ca. die Hälfte der angeschriebenen Experten haben auf die Versendung der Fragebögen nicht geantwortet. Sogar dann nicht, wenn ein 2. Anschreiben bzw. ein persönliches Telefongespräch mit der Zusage der Ausfüllung geführt wurde. Von den übrigen Experten sahen sich viele nicht in der Lage, Aussagen über ihre nächste Anbau-region hinaus zu machen. D.h., sie konnten nur die Ergebnisse eines Fallbeispiels beurteilen und keine Aussagen darüber machen, wie sich die Anbauempfehlungen bei sich stetig ändernden einzelnen Einflussfaktoren (z.B. einem Niederschlagsgradienten) verändern (z.B. HOFFMANN 2000, FLAKE 2000, KÜHN 2001). Insgesamt gaben elf Experten Beurteilungen zu insgesamt 21 verschiedenen Fallbeispielen ab (bei 10 Mehrfach-Beurteilungen).

Des weiteren waren die meisten Experten nicht in der Lage das Gesamtergebnis der Anbauempfehlungen zu bewerten, sondern kritisierten bzw. bewerteten einzelne Einflussfaktoren wie bestimmte Fruchtfolgeglieder oder einzelne empfohlene Zwischenfrüchte, Biomassen, aufgenommene N-Mengen, Verfahrenskosten etc. Ein häufiger Kritikpunkt war das vorgeschlagene Fruchtfolgebeispiel, für das die Experten keine Anbauverfahren vorschlagen konnten, da es in dieser Form in ihrer Anbauregion nicht vorkommt bzw. untypisch ist. Stattdessen wurden von den Experten alternative Fruchtfolgebeispiele vorgeschlagen, für die die DSS-Ergebnisse bewertet wurden (BRUNOTTE 2000, FLAKE 2000, GRÖBLINGHOFF und LÜTKE ENTRUP 2000, HOFFMANN 2000, KÜHN 2001, PEYKER 2001). Die Beurteilungen der Experten lassen sich einerseits in allgemeine Hinweise zu den Anbauempfehlungen, Anbauzielen, zur Stickstoffdüngung und zu einzelnen Zwischenfrüchten, andererseits in Beurteilungen von DSS-Ergebnissen zu den jeweiligen Fallbeispielen gliedern.

Kritische Hinweise und Verbesserungsvorschläge für die Darstellung der DSS-Ergebnisse

Grundsätzlich wird ein Entscheidungsunterstützungssystem für die Anbauempfehlung von Zwischenfrüchten sehr begrüßt (z.B. PEYKER 2001). Es wird angeregt, die Anbauverfahrensvorschläge dahingehend zu verbessern, dass sowohl bei den Einflussfaktoren, als auch bei den Ergebnissen Wertespanspannen dargestellt werden sollten (z.B. Saattermin von Phacelia: Ende Juli bis Anfang August, Biomasse: 10-20 dt TS/ha, Zielerfüllung 0.5-1, BERGER 2000). Auch die Unsicherheiten für eine erfolgreiche Etablierung von Zwischenfruchtbeständen sollten dargestellt werden. So gedeihen insbesondere in Regionen mit geringen Jahresniederschlägen (um 500 mm) und häufiger Spätsommertrockenheit bestimmte Zwischenfrüchte in manchen Jahren gut, in anderen Jahren dagegen überhaupt nicht. Eine sichere Bewertung der Zwischenfruchtanbauverfahren ist deswegen nicht möglich bzw. die Zielerfüllungsgrade fallen im Mittel deutlich schlechter aus (BERGER 2000, HOFFMANN 2000). Im Anschluss an die Expertenbefragung wurde die Ergebnisausgabe des DSS überarbeitet, so dass nun die geforderten Wertespanspannen je Anbauverfahren dargestellt werden können (vgl. Abb. 5.9, S. 117, bzw. die DSS-Ergebnisse für die Fallbeispiele im Anhang A7).

Die Bewertung von Zwischenfruchtanbauverfahren kann – wie geschehen – immer nur anhand der Anbauziele erfolgen (HOFFMANN 2000). Die Empfehlung sollte aber in einer Rangreihenfolge nach Zielfunktionen und Verfahrenskosten geschehen (PEYKER 2001). Eine entsprechende Ergebnisdarstellung ist im vorliegenden DSS optional möglich.

Zur Ermittlung der Zielerfüllung sollten die Durchwurzelungstiefe, die unterirdische Biomasse sowie das C:N-Verhältnis zum Zeitpunkt des Umbruchs eine Rolle spielen (Hamann 2001). Diese Größen waren aber auch schon in der ursprünglichen DSS-Version integriert (vgl. Kap. 5). Außerdem wird angeregt, der Anbauempfehlung bestimmte Restriktionen vorzuschalten, z.B. Gräser nur bei Jahresniederschlägen > 600 mm/Jahr anzubauen, Feinsämereien nur auf Standorten, bei denen Saatbettbereitung ohne erhebliche Aufwendungen möglich sind, auszubringen sowie „klassische“ Futterpflanzen nur dann zu verwenden, wenn eine Futternutzung erwünscht ist (PEYKER 2001). Derartige Restriktionen wurden bislang nicht in das DSS aufgenommen, da entsprechende Zusammenhänge bereits integriert sind: So resultiert zum einen die Standorteignung der Zwischenfrüchte bereits aus den Fuzzy-Modellansätzen für die oberirdische Biomasse (vgl. ZGH-Submodell, Kap. 5.3). Zum anderen wird die Eignung von Zwischenfrüchten für die Erfüllung bestimmter Anbauziele aus den spezifischen Zielpotenzialen ermittelt (vgl. Kap. 5.2 und Parameterdatei P1 im Anhang A2).

Anmerkungen der Experten zu den Anbauverfahrensvorschlägen

Verschiedene Experten (HAMANN 2001, HOFFMANN 2000, LIEBOLD 2000) weisen darauf hin, dass der Zwischenfruchtanbau in Trockengebieten (z.B. Brandenburg, Magdeburger Börde, Rheinhessen) aus ökonomischer und aus wassersparender Sicht begrenzt ist und – wie auch bei fehlender Futternutzung – von vielen Praktikern abgelehnt wird. Ohne besondere Fördermittel ließen sich Zwischenfrüchte in diesen Fällen kaum anbauen.

Es wird kritisiert, dass die Höhe der in den DSS-Ergebnissen prognostizierten oberirdischen Biomasse z.T. doppelt so hoch wie üblicherweise beobachtet ist (GRÖBLINGHOFF und LÜTKE ENTRUP 2000): Bei Ölrettich, Gelbsef, Phacelia, Winterraps und Sonnenblumen werden gewöhnlich oberirdische Biomassen von 30-40 (max. 50) dt TS/ha erreicht, bei Einjährigem und Welschem Weidelgras (frühe Aussaat, feuchte Standorte) 40-45 dt TS/ha, bei den übrigen Gräsern und Klee 30-35 (feuchtere Standorte) bzw. 20-30 dt TS/ha (trockenere Standorte) und bei Untersaaten 10-20 dt TS/ha. Entgegen dieser Ansicht gibt allerdings ROTH (1998) für günstige Standorte durchaus maximale Biomassen von ca. 80 dt TS/ha für verschiedene Zwischenfrüchte an. Und auch verschiedene andere Autoren konnten bei Versuchen regelmäßig höhere Biomassen ermitteln: so gibt KREUZ (1990 und 2000) für Knautgrasuntersaaten auf trockenen Standorten in der Magdeburger Börde 40-70 dt TS/ha (einschl. Ernte- und Wurzelrückstände) und BERGER (1990) für die Stoppelsaaten Gelbsef, Ölrettich, Phacelia bis zu 90 dt TS/ha an. Die Wertespanspannen der aktuellen DSS-Ergebnisse zeigen aber deutlich die zu erwartende Schwankungsbreite der Aufwüchse, die auch die Angaben von GRÖBLINGHOFF und LÜTKE ENTRUP (2000) besser widerspiegeln.

Bei Gründüngungsnutzung nach Getreide reichen mäßige Stickstoffgaben (20-60 kg N/ha) aus, um die N-Mineralisation im Boden anzuregen und die Jugendentwicklung der Zwischen-

früchte zu fördern. Bei Futternutzung wird eine N-Düngung von 80-100 kg N/ha empfohlen (GRÖBLINGHOFF und LÜTKE ENTRUP 2000, MÖLLER 2001). So können Zwischenfrüchte bei einem Saattermin Mitte August bereits nach ca. 2-3 Wochen (Anfang September) einen Deckungsgrad von mehr als 50% entwickeln (LÜTKE ENTRUP und GRÖBLINGHOFF 2000).

Weiterhin wird angemerkt, dass Gräser als Zwischenfrucht nur dann sinnvoll sind, wenn eine Futternutzung vorgesehen ist. Dabei sind nur Einjähriges Weidelgras sowie Gemische aus Einjährigem und Welschem Weidelgras von Bedeutung. Deutsches Weidelgras hat eine zu langsame Jugendentwicklung (PEYKER 2001, MÖLLER 2001). Gräser können auch Probleme für die Nachfrucht bringen, da das Einbringen des Aufwuchses in den Boden nur mit erheblichen Aufwendungen möglich ist. Des weiteren besteht die Gefahr, dass die Gräser in der Nachfrucht wieder austreiben und dann nur sehr schwer bekämpfbar sind. Ein gut entwickelter Grasbestand trocknet den Boden tiefgründig aus; bei geringen Niederschlagsmengen wären damit Mindererträge bei der Nachfrucht zu befürchten (PEYKER 2001).

Bei der Untersaateignung von Einjährigem Weidelgras scheiden sich die Geister: Einerseits wird eine entsprechende Untersaat in Winterroggen als denkbar und u.U. erfolgversprechend angesehen (PEYKER 2001). Andererseits wird konstatiert, dass Einjähriges Weidelgras grundsätzlich nicht als Untersaat – weder in Getreide, noch in Mais oder Ackerbohnen – geeignet ist, da es zum raschen Schossen neigt und deshalb große Konkurrenz auf die Deckfrucht ausübt bzw. zu Ernteerschwernissen führt (GRÖBLINGHOFF und LÜTKE ENTRUP 2000).

Die Beurteilungen der DSS-Ergebnisse für die einzelnen Fallbeispiele sind in Tab. 6.6 zusammengefasst, wo sie den aktuellen DSS-Ergebnissen zum Vergleich gegenübergestellt sind.

Vergleich von Experten-Beurteilungen und aktuellen DSS-Ergebnissen

Der Vergleich von Experten-Hinweisen und Ergebnissen der aktuellen DSS-Version zeigt insgesamt eine gute Übereinstimmung (vgl. Tab. 6.6). Bei fast allen Fallbeispielen sind die von den Experten kritisierten Zwischenfrüchte im aktuellen DSS-Ergebnis nicht mehr vorhanden. Ebenso erscheinen nun die meisten der von den Experten als fehlend angemahnten Zwischenfrüchte in den aktuellen Anbauempfehlungen. Bei folgenden Fallbeispielen sind noch Abweichungen zwischen Expertenangaben und DSS-Ergebnissen vorhanden:

Fallbeispiel 1a:

Der Zielerfüllungsgrade von Welschem Weidelgras und Sonnenblume sind im DSS-Ergebnis etwas erhöht. Die vom DSS empfohlene N-Düngung zu Klee gras erscheint mit bis zu 80 kg N/ha ebenfalls erhöht.

Fallbeispiel 2b/c:

Nach PEYKER (2000) sind Gräser nur bei Futternutzung sinnvoll. Laut BUCHNER und KOLBE (1989) ist Welsches Weidelgras allerdings auch für das Anbauziel O.S.-Anreicherung bedeutsam, weshalb die Empfehlung hier auch sinnvoll erscheint. PEYKER schätzt den Zwischenfruchtanbau in diesem Fallbeispiel wegen der Gefahr einer Spätsommertrockenheit insgesamt als kritisch ein. Diese Unsicherheit spiegelt sich allerdings auch im DSS-Ergebnis

in der Spannweite der Herbstbiomasse mit 0-25 dt TS/ha wieder. Nach HOFFMANN (2000) finden in Trockengebieten Untersaaten kaum Verwendung.

Fallbeispiel 3b:

PEYKER (2000) bewertet eine Untersaat in Sommerweizen als sehr risikoreich wegen möglicher Ertragsverluste der Deckfrucht. Die vom DSS empfohlene starke Klee gras-Untersaat (WWg + WK + GK) erscheint somit als fraglich. Welsches Weidelgras wird von PEYKER (2000) und HAMANN (2001) als zu leistungsschwach angesehen. Die im DSS-Ergebnis prognostizierte Herbstbiomasse ist ebenfalls gering, ein Anbau erscheint aber möglich (vgl. KREUZ 1990a). Aufgrund des relativ frühen Umbruchtermins wird die Frühjahrsbiomasse geringer als wie von HAMANN erwartet auf max. nur 20 dt TS/ha eingestuft.

Fallbeispiel 4a:

Ein Saattermin Anfang August wird von MÖLLER (2001) für Sonnenblumen als zu spät erachtet. Das DSS-Biomasse-Ergebnis von 30-50 dt TS/ha erscheint aber im Hinblick auf Angaben von MAIER (1998) und ROTH (1998) als plausibel. MÖLLER empfiehlt auch keine Leguminosen zur Stickstoffkonservierung, die vom DSS vorgeschlagenen Gemenge aus Leguminosen und Nichtleguminosen sind aber auch nach BUCHNER und KOLBE (1989) bei diesem Anbauziel empfehlenswert.

Fallbeispiel 5a:

PEYKER (2000) rät von einer Untersaat aus Deutschem Weidelgras und Weißklee aufgrund zu langsamer Jugendentwicklung ab. Die vom DSS vorgeschlagenen Untersaaten (DWg + WK, WK, GK + WK, GK) erscheinen somit als fraglich. Im DSS-Ergebnis fehlen auch die empfohlenen Stoppelfrüchte Alexandrinerklee und Perserklee.

Fallbeispiel 5b:

Auch in diesem Fallbeispiel wird von einer Untersaat (Gelbklee bzw. Weißklee) in Sommergerste (Braugerste) abgeraten (PEYKER 2000). Die vom DSS vorgeschlagenen Untersaaten (DWg + WK, WK, GK) erscheinen als fraglich. Im DSS-Ergebnis fehlen die empfohlenen Stoppelfrüchte Einjähriges Weidelgras sowie Einjähriges und Welsches Weidelgras.

Fallbeispiel 5c:

Bei der vorgeschlagenen späten Klee gras-Untersaat (WWg + WK) erscheint die Höhe der Saatmenge von nur 6 kg/ha im Gegensatz zu 30 kg/ha (PEYKER 2000) als fraglich.

Fallbeispiel 5d:

Zur Zielerfüllung empfiehlt das DSS ähnlich PEYKER (2000) eine Klee gras-Untersaat mit Welschem Weidelgras (WWg + WK + GK). Das von PEYKER empfohlene Einjährige Weidelgras ist nach GRÖBLINGHOFF und LÜTKE ENTRUP (2000) nicht als Untersaat geeignet.

Fallbeispiel 5e:

Zur Stickstoffkonservierung empfiehlt MÖLLER (2001) auch hier keine Leguminosen, die vom DSS vorgeschlagenen Klee grasgemenge erscheinen aber möglich (vgl. BUCHNER und KOLBE 1989).

Fallbeispiel 7a/b/c:

Im Gegensatz zu SANDBRINKS (2000) Empfehlung werden hier die Stoppelfrüchte Gelbsenf und Ölrettich vom DSS nicht empfohlen, da sie sich nach BUCHNER und KOLBE (1989) nicht ausreichend zu Futternutzung eignen.

Fallbeispiel 8a:

SANDBRINK (2000) empfiehlt hier Lupine, Felderbse oder Ackerbohne. Der Saattermin Mitte August ist allerdings zu spät für diese Stoppelfrüchte, so dass das DSS diese hier nicht empfiehlt. Statt deren werden vom DSS die Stoppelsaaten Perserklee und Alexandrinerklee vorgeschlagen, was wiederum durch eine entsprechende Empfehlung von PEYKER (2000) beim Fallbeispiel 5a gestützt wird.

Fallbeispiel 9a/b:

Wie bei den Fallbeispielen 4a und 5e empfiehlt MÖLLER (2001) zur Stickstoffkonservierung keine Leguminosen, die vom DSS vorgeschlagenen Gemenge aus Leguminosen und Nichtleguminosen (Klee gras, Landsberger Gemenge, Wickroggen) erscheinen aber möglich (vgl. auch BUCHNER und KOLBE 1989). Die vom DSS vorgeschlagene Stickstoffdüngung zu Wickroggen, Welschem und Einjährigem Weidelgras in Höhe von bis zu 100 kg N/ha erscheint zu hoch (vgl. 30-60 kg N/ha, GRÖBLINGHOFF und LÜTKE ENTRUP 2000). Ebenso sind die vom DSS prognostizierten Herbstbiomassen mit bis zu 65 dt TS/ha (Gelbsenf, Phacelia, Sonnenblume), 60 dt TS/ha (Einjähriges bzw. Welsches Weidelgras) bzw. bis zu 75 dt TS/ha (Untersaaten) z.T. deutlich höher als die von GRÖBLINGHOFF und LÜTKE ENTRUP angegebenen Biomassen.

Tab. 6.6: Beurteilung der DSS-Ergebnisse zu den Fallbeispielen durch verschiedene Experten und Vergleich von Experten-Beurteilung und aktuellen DSS-Ergebnissen. Unterschiede sind durch Fettdruck hervor-gehoben.

Fall-bei-spiel	Beurteilung durch die Experten	Quellen	Aktuelles DSS-Ergebnis	Bewer-tung
1a	<i>PH</i> : Saattermin E Jul - A Aug <i>DWg</i> , <i>EWg</i> , <i>WWg</i> : N-Konservierung geringer <i>SB</i> , <i>EWg+WWg</i> : N-Konservierung = ca. 0.7 Alle: Bodenschutz: = 0.8; O.S.-Anreicherung = 0.7 Klee gras: N-Düngung = ca. 20 kg N/ha <i>SB</i> nicht empfehlenswert (Fruchtfolge mit <i>WRa</i>)	Berger 2000 Liebold 2000	<i>PH</i> : Saattermin A Aug - A Sep Kein <i>DWg</i> , <i>EWg</i> <i>WWg</i> , <i>SB</i> : N-Konservierung = 0.8-1 Bodenschutz = 0.8; O.S.-Anreicherung = 0.8-1 Klee gras: N-Düngung = ca. 20-80 kg N/ha wenn <i>WRa</i> in Fruchtfolge: keine <i>SB</i> möglich	✓ ✓ 1 ✓ 2 ✓
1c	<i>Leguminosen</i> : N-Düngung = 0 kg N/ha	Berger 2000, Liebold 2000	<i>FE</i> , <i>PE</i> , <i>WRa+WL</i> , <i>AB</i> -Gemenge, Klee-Untersaat: N-Düngung = 0 kg N/ha	✓
1d	<i>WRa</i> , <i>WRü</i> wie angegeben <i>DWg</i> nicht möglich bei Saattermin ab M Aug	Liebold 2000 Kühn 2001	Kein <i>WRa</i> , <i>WRü</i> Kein <i>DWg</i>	✓ ✓
2a	<i>ÖR</i> , <i>GS</i> fehlen	Hoffmann 2000	<i>ÖR</i> , <i>GS</i> vorhanden	✓
2b/c	<i>ÖR</i> , <i>GS</i> , <i>PH</i> fehlen <i>BW</i> : Saattermin bis M Jul Gräser, <i>Leguminosen</i> wegen früher Saattermin kritisch zu beurteilen Lupine/ <i>Leguminosen</i> nicht empfehlenswert, zu teuer <i>Leguminosen</i> : N-Düngung = 0 kg N/ha Klee gras: N-Düngung = max. 20 kg N/ha Gräser nur bei Futternutzung sinnvoll <i>DWg</i> , <i>EWg</i> , <i>EWg+WWg</i> , <i>WWg+SB</i> nicht möglich Fein <i>leguminosen</i> nicht empfehlenswert Zwischenfruchtanbau insgesamt kritisch wegen Gefahr von Spätsommertrockenheit (Gelingen 50%)	Hoffmann 2000 Peyker 2001	<i>ÖR</i> , <i>GS</i> , <i>PH</i> vorhanden Kein <i>BW</i> (Saattermin > A Aug) Klee gras-Untersaat <i>WWg+WK+GK</i> möglich Keine Lupine/ <i>Leguminosen</i> - Klee gras: N-Düngung = 0 kg N/ha <i>WWg</i> : auch für O.S.-Anreicherung geeignet (1) Kein <i>DWg</i> , <i>EWg</i> etc. Keine Fein <i>leguminosen</i> Spannweite der Biomasse 0-25 dt TS/ha spiegelt Unsicherheit wieder	✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓
3b	Untersaat in Sommerweizen hohes Risiko (mögliche Ertragsverluste) <i>DWg</i> , <i>EWg</i> , <i>WWg</i> , <i>BW</i> nicht empfehlenswert <i>ÖR</i> , <i>GS</i> gute Zwischenfrucht (mulchsaatgeeignet) <i>GS</i> , <i>PH</i> fehlen, evtl. <i>LBG</i> <i>ÖR</i> , <i>BW</i> o.k. <i>DWg</i> , <i>WWg</i> nur bei Saattermin < E Jul Biomasse B_F : 30-40 (<i>WWg</i>), 10-20 dt TS/ha (<i>DWg</i>)	Peyker 2001 Hamann 2001	Untersaat: <i>WWg+WK + GK</i> Kein <i>DWg</i> , <i>EWg</i> , <i>BW</i> <i>WWg</i> : geringe Biomasse, Anbau aber möglich ³ <i>ÖR</i> , <i>GS</i> vorhanden <i>GS</i> , <i>PH</i> vorhanden Kein <i>BW</i> <i>WWg</i>: Saattermin M Aug mit geringer Biomasse Bei Saattermin M Aug: B_F = 7-20 dt TS/ha (<i>WWg</i>)	3 ✓ ? ✓ ✓ ✓ ✓ ?
4a	<i>GS</i> , <i>ÖR</i> , <i>PH</i> fehlen, Lupinen zu teuer <i>SB</i> Saattermin E Jul/ A Aug zu spät <i>Leguminosen</i> für N-Konservierung nicht empfehlenswert, zu teuer	Flake 2000 Möller 2001	<i>GS</i> , <i>ÖR</i> , <i>PH</i> vorhanden <i>SB</i>: Saattermin A Aug mit 30-50 dt TS/ha Keine <i>Leguminosen</i> -Reinsaaten mehr <i>EWg+PK</i> , <i>EWg/WWg+AK</i> , <i>WWg+IK</i> , <i>LBG</i> , <i>WWi+WR</i> für N-Konservierung möglich (1)!	✓ 4 ✓ ✓
5a	<i>DWg+WK</i> nicht empfehlenswert <i>AK</i> , <i>IK</i> , <i>PK</i> günstige Zwischenfrucht	Peyker 2001	<i>DWg+WK</i> , <i>WK</i> nicht mehr als Stoppelsaaten Untersaat: <i>DWg+WK</i>, <i>WK</i>, <i>GK+WK</i>, <i>GK</i> <i>IK</i> vorhanden <i>AK</i> , <i>PK</i> fehlen	✓ 3 ✓ 5
5b	<i>GK</i> -, <i>WK</i> -Untersaat in Sommergerste nicht empfehlenswert <i>EWg</i> , <i>WWg</i> empfehlenswert	Peyker 2001	Untersaat: <i>DWg+WK</i>, <i>WK</i>, <i>GK</i> <i>WWg</i> in DSS-Ergebnis, <i>EWg</i>, <i>EWg+WWg</i> fehlen	3 ✓ 6
5c	<i>StRü</i> , <i>WRa</i> nur bei Futternutzung empfehlenswert <i>WSw</i> (Untersaat) nicht empfehlenswert <i>DWg</i> (späte Sorten), <i>Kng</i> : frühe Untersaat möglich <i>WWg</i> : späte Untersaat (Saatmenge: 30 kg/ha, Breitsaat) möglich	Peyker 2001	Keine <i>StRü</i> , <i>WRa</i> Kein <i>WSw</i> <i>DWg</i> , <i>Kng</i> : Saattermin: F(früh) <i>WWg+WK</i> , <i>GK</i> : Saattermin: F(spät), Saatmenge: 6 kg/ha, reine <i>WWg</i>-Untersaat fehlt	✓ ✓ ✓ 7

7 Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit werden im Folgenden anhand der aufgestellten Arbeitshypothesen (vgl. Kap. 2.5) diskutiert.

7.1 Wissensakquisition und Konzeption des DSS

(1) Die notwendigen Informationen für den Aufbau eines Entscheidungsunterstützungssystems lassen sich über die Analyse agrarwissenschaftlicher Fachliteratur und durch direkte Befragungen von Experten aus Wissenschaft und praktischer Landwirtschaft akquirieren. Das erfasste Expertenwissen lässt sich strukturieren und in einer angemessenen Form für eine systemhafte Darstellung beschreiben.

Für den Zwischenfruchtanbau existiert eine umfangreiche Fachliteratur und ein vielschichtiges pflanzenbauliches Expertenwissen von Fachleuten aus Wissenschaft, Beratung und Praxis. Im vorliegenden Fall wurde eine indirekte Wissensakquisition gewählt, bei der der Knowledge Engineer (Modellentwickler) Wissen von Experten „extrahiert“ und in das Entscheidungsunterstützungssystem (Wissensrepräsentationskomponente) einbringt (quasi-manuelle Vorgehensweise, vgl. HARSH 1988, KURBEL 1992, WAGNER 1993b). Mit dieser Vorgehensweise ist zwar ein erheblicher Aufwand verbunden – die Wissensakquisition wird deshalb als Engpass der Entwicklung wissensbasierter Systeme bezeichnet („Knowledge engineering bottleneck“, KURBEL 1992, S. 70, vgl. auch HARSH 1988, SCHNEIDER 1994, GUNN et al. 1999) – zu Beginn des Projektes lag aber weder eine bestehende Akquisitionskomponente für eine direkte Wissensangabe durch Experten vor, noch sollte im Rahmen des Projektes eine automatische Wissensakquisition angestrebt werden (vgl. SCHNEIDER 1994). In der vorliegenden Arbeit sind Werkzeugentwickler und Wissensingenieur in einer Person – dem Autor – vereint, der sowohl Aufgaben der Wissensaufnahme und -verarbeitung, als auch der Implementierung wahrgenommen hat. Dieser ist aber – wie gefordert („Don't be your own expert“, WATERMAN 1986) – nicht identisch mit dem/den Fachexperten, der wiederum verschieden vom Endbenutzer (Landwirte bzw. Berater) ist, der objektivierte Wissen unabhängig vom Fachexperten nutzen möchte.

Als Methoden der Wissensakquisition standen neben der Literaturschau Fragebogen-gestützte Interviews bzw. direkte Gespräche mit Experten zur Verfügung (vgl. WATERMAN 1986, KURBEL 1992, WAGNER 1993b, SMITH et al. 1997, WALKER und SINCLAIR 1998, GUNN et al. 1999, CORNELISSEN et al. 2003). Expertenwissen und Daten konnten sowohl für die DSS-Entwicklung, als auch für die DSS-Validierung gewonnen werden. Für den DSS-Aufbau wurde sowohl Literatur-, als auch Expertenwissen verwendet, das in Regelsysteme oder Modellgleichungen überführt und in alle DSS-Teilsysteme (Entscheidungsfeld, Zielsystem und Bewertungssystem) integriert werden konnte. Wichtige Informationen, insbesondere solche für die Ableitung funktioneller Relationen zwischen Ergebnisgrößen und aggregierten Einflussgrößen (vgl. Kap. 4.2.1), wurden in direkten Gesprächen mit verschiedenen wissenschaftlichen Experten gewonnen (z.B. LÜTKE ENTRUP 1998, ROTH 1998, vgl. Anhang A8).

Insbesondere die richtige Auswahl der Experten ist wichtig für die Akquisition und Verfügbarkeit „geeigneten“ Wissens (KURBEL 1992, WAGNER 1993b, TURBAN 1995, CORNELISSEN et al.

2003). Diese müssen sowohl befähigt, als auch bereit dazu sein ihr Wissen zur Verfügung zu stellen. Die landwirtschaftliche Beratung zu Zwischenfruchtanbaufragen wird in Deutschland zwar von vielen Beratern der Landwirtschaftsämter, -kammern bzw. Saatgutunternehmen vorgenommen. Es existieren aber insgesamt nur wenige Experten, die über langjährige und breit gestreute Erfahrungen im Zwischenfruchtanbau verfügen. Zu letzteren gehören die für die DSS-Entwicklung befragten Experten (Lütke Entrup, Roth). Die geringe Anzahl der Befragten könnte zwar die Aussagesicherheit der akquirierten Informationen einschränken (HAUSCHILDT 1990). Es wird aber davon ausgegangen, dass sich dieser Umstand nicht nachteilig auswirkt, da die Experten über Erfahrungen aus vieljährigen wissenschaftlichen Arbeiten (z.B. Feldversuche) verfügen. WATERMAN (1986) empfiehlt sogar – wie bei dieser Arbeit geschehen – sich bei der Wissensakquisition auf einen oder zwei Experten zu beschränken. Auf diese Weise werden Probleme vermieden, die bei einer nur oberflächlichen Analyse und Nachbildung der Problemlösungsprozesse vieler Experten bzw. bei Implementierung divergierender Meinungen in die Wissensbasis auftreten können (KURBEL 1992, WAGNER 1993b).

WATERMAN (1986) weist auf ein Paradoxon beim Knowledge Engineering hin: „je besser und leistungsfähiger ein Experte ist, um so weniger ist er in der Lage, sein Problemlösungswissen explizit zu beschreiben“ (KURBEL 1992, S. 78). Der Knowledge Engineer muss also dem Experten Hilfestellungen für die explizite Ausdrucksweise des Wissens geben und geeignete Erhebungsmethoden verwenden. Die in dieser Arbeit gewählte Erhebungsmethode entspricht der von CORNELISSEN et al. (2003) vorgestellten *Transition-interval-estimation* Methode, die im Vergleich zu anderen gängigen Methoden als die geeignetste angesehen wird, da sie die Verarbeitung von Informationen nur eines Experten erlaubt und auch die Verarbeitung ungenauen Wissens über die Verwendung unscharfer Mengen bzw. Fuzzy-Inferenzen ermöglicht. Die Vorteile dieser Methode werden darin gesehen, dass die Experten keine exakten numerischen Angaben machen müssen, sondern unscharfe Intervalle angeben können, und dass die Methode vergleichsweise wenig aufwendig und zeitraubend ist. Nachteile sind, dass sich Grenzwerte genannter Fuzzy-Intervalle nicht (immer) klar bestimmen lassen, und dass sich die Methode nicht auf nominale Variablen anwenden lässt (CORNELISSEN et al. 2003).

Die Analyse wissenschaftlicher Literatur erstreckte sich auf umfassendere Literaturwerke (z.B. RENIUS et al. 1992), tabellarische Anbauempfehlungen (z.B. BUCHNER und KOLBE 1989), wissenschaftliche Einzelarbeiten (z.B. SCHULTHEIß 1990), sowie Artikel in Fachzeitschriften (z.B. SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992). Während die umfassenden Arbeiten und Anbauempfehlungen z.T. sehr detaillierte Expertenangaben, Anbauempfehlungen, Forschungsergebnisse etc. enthalten, stellen die wissenschaftlichen Einzelarbeiten in der Regel fallbasierte Einzeluntersuchungen dar, die mehr oder weniger umfangreiche Daten zu Bestandesentwicklung enthalten. Erstere ließen sich v.a. für Konzeption und Aufbau des DSS auswerten (Informationen zum Aufbau von Zielsystem, Entscheidungsfeld und dessen Submodelle). Die Daten der letzteren konnten zur Erstellung der notwendigen Biomasse-Deckungsgrad- bzw. Biomasse-Stickstoffgehalt-Relationen (vgl. Kap. 4.2.2) sowie insbesondere zur (Teil-) Validierung des DSS herangezogen werden. Softwaresysteme für die Literaturanalyse (z.B. Textfilterungssysteme, vgl. GUNN et al. 1999) wurden nicht verwendet.

(2) *Entscheidungen im Zwischenfruchtanbau lassen sich anhand der Theorie der rationalen Entscheidungsfindung darstellen. Sie betreffen die Auswahl von Handlungsalternativen (Zwischenfruchtanbauverfahren), die dem Landwirt zur Verwirklichung einer oder mehrerer Anbauziele zur Verfügung stehen. Die Entscheidungssituation wird bestimmt durch Entscheidungsprämissen des Entscheidungsfeldes (Handlungsalternativen, nicht-kontrollierbare Zustandsvariablen) und des Zielsystems sowie die anschließende Bewertung der Handlungsalternativen und ihrer Konsequenzen.*

Die Analyse des verfügbaren pflanzenbaulichen Wissens (Kap. 4) hat gezeigt, dass sich die Entscheidungsproblematik im Zwischenfruchtanbau auf die Theoreme der rationalen Entscheidungsfindung (LAUX 1982, BAMBERG und COENENBERG 1991) übertragen lässt. Nach RENIUS et al. (1992), SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER (1992) sowie LÜTKE ENTRUP (1995) ist die Entscheidungsfindung zu geeigneten Anbauverfahren sowohl von vielfältigen Anbauzielen, als auch von nicht bzw. nicht direkt beeinflussbaren Zustandsgrößen (Standorteigenschaften, Fruchtfolge sowie Anbausituation) abhängig.

Das *Zielsystem* beinhaltet verschiedene Anbauziele, die im wesentlichen Futternutzung, Zufuhr von organischer Bodensubstanz, Verbesserung des Bodengefüges, Auflockerung von Unterbodenverdichtungen, Stickstoffanreicherung durch Leguminosen, biologische Unkrautbekämpfung, Nematodenbekämpfung, Bodenschutz vor Erosion sowie Nährstoffkonservierung darstellen (z.B. PREUSCHEN und BERNATH 1983, GEISLER 1988, BUCHNER und KOLBE 1989, VUILLE 1989, LAL et al. 1991, RENIUS et al. 1992, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, LÜTKE ENTRUP 1995, BOCKHOLT 1996b, HAMPL 1996, BERENDONK 1997, SOMMER und RIECKMANN 1997, DIEPENBROCK et al. 1999). Die Ziele lassen sich durch unterschiedliche Zielinhalte und Präferenzen charakterisieren. So sind die Ziele in der Regel standort- bzw. fruchtfolgespezifisch und führen je nach Art der Zwischenfrucht und Anbausituation (Vorfrucht, Strohrreste, nach der Vorfruchternte verbliebene Bodennährstoffe) zu unterschiedlichen Anforderungen an die Zwischenfruchtbestände bzw. deren Kenngrößen *Biomasse*, *Deckungsgrad* sowie *aufgenommene Stickstoffmenge* (Zielgrößenanforderungen bzw. -präferenzen, vgl. Kap. 4.1). Die zeitbezogenen Präferenzen an diese Zielgrößen lassen sich auf die Termine Spätherbst (vor Vegetationsende) bzw. Frühjahr (vor Umbruch zur Nachfrucht) reduzieren (ROTH 1998). Alle Zielgrößenpräferenzen weisen eine mehr oder weniger große Unsicherheit auf, da die ausgewerteten Expertenangaben z.T. nur grobe Abschätzungen liefern, große Spannweiten in den Angaben existieren bzw. unterschiedliche Einschätzungen der verschiedenen Experten vorliegen. Die Anbauziele lassen sich mit Einschränkungen auch miteinander kombinieren. Zielkombinationen bringen jedoch neue Präferenzen an die jeweiligen Zielgrößen bzw. Einschränkungen an die Auswahl der Anbauverfahren mit sich.

Die *Anbauverfahren im Zwischenfruchtanbau* gliedern sich in einzelne Elemente (Entscheidungsvariablen), die verschiedene Eigenschaften (Ausprägungen) aufweisen können und durch den Entscheidungsträger bestimmt werden. Die Elemente stehen untereinander in Beziehung und wirken sich auf die Zielgrößen und Bewertungsgrößen (Zielerfüllungsgrade) aus, anhand derer sich die Verfahren untereinander bewerten lassen. Aus der Fachliteratur und der Expertenbefragung ließen sich die wesentlichen Verfahrenselemente *Zwischen-*

frucht, Bodenbearbeitung, Saatverfahren, Saattermin, Saatmenge, Düngung sowie Pflegemaßnahmen identifizieren (RENIUS et al. 1992, ROTH 1998). Die Elemente Bodenbearbeitung und Saatverfahren lassen sich zum Bestellverfahren zusammenfassen (PAULY 1998, ROTH 1998).

Nicht-kontrollierbare Zustandsgrößen des Entscheidungsfeldes sind die Standortbedingungen (Klima- und Bodeneigenschaften, z.B. Vegetationszeit, Jahresniederschlag, Bodenart), die Fruchtfolge und die Anbausituation (Managementvariablen von Vor- und Nachfrucht, z.B. Erntetermin der Vorfrucht, Menge der Strohreste, Umbruchtermin zur Nachfrucht) sowie die variablen Verfahrenskosten (RENIUS et al. 1992, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992, LÜTKE ENTRUP 1995). Letztere setzen sich aus den *Saatgutkosten*, den *Düngungskosten* und den *variablen Maschinenkosten* (für Bodenbearbeitung, Saatgut- und Düngerausbringung, sowie eine evtl. Bestandespflege) zusammen (z.B. PEYKER und KERSCHBERGER 1995).

Die Auswahl geeigneter Zwischenfruchtanbauverfahren hängt vom erwarteten (prognostizierten) Etablierungserfolg einer Zwischenfrucht ab. Dieser lässt sich auch im Entscheidungsfeld aus den Kenngrößen *Biomasse*, *Deckungsgrad* und *aufgenommene Stickstoffmenge* ableiten (Zielgrößenpotenziale), die zu den charakteristischen Zeitpunkten Spätherbst bzw. vor dem Frühjahrsumbruch bestimmt werden können. Die Zielgrößenpotenziale werden durch die aggregierten Einflussfaktoren *Angebot an Nährstoffen*, *Wasser* und *Strahlung (Vegetationsdauer)*, *Feldaufgang des Saatgutes* sowie zwischenfruchtspezifische Ertragspotenziale bestimmt, die sich wiederum aus den standort- und situationsspezifischen Zustandsgrößen sowie den verfahrensspezifischen Entscheidungsvariablen ableiten lassen (RENIUS et al. 1992, ROTH 1998).

Die Entscheidung für ein geeignetes Zwischenfruchtanbauverfahren erfolgt über eine *Bewertung der Verfahren*. Diese Bewertung stellt einen Abgleich zwischen den aus den Anbauzielen resultierenden Anforderungen an die Zwischenfruchtbestände und den aus Standort und Anbausituation bzw. Anbauverfahren prognostizierten Zielgrößenpotenzialen dar. Als Bewertungsgrößen, anhand derer sich die Verfahren untereinander bewerten lassen, können Zielerfüllungsgrade (Nutzensgrößen) dienen, die ein Maß für das (prognostizierte) Erreichen erforderlicher Zielgrößenwerte darstellen (MAG 1990, YAKOWITZ 1998). Dabei müssen die verschiedenen Nutzenbeiträge der vom Entscheidungsträger gewählten Anbauziele je nach Präferenz und Gewichtung der Ziele zu einem Gesamtnutzen aggregiert werden. Unscharfe Ziel- bzw. Ergebnisgrößen sollten sich über Fuzzy-Inferenzverfahren miteinander verknüpfen lassen (z.B. ROMMELFANGER 1994, ZIMMERMANN 1996).

Der direkte finanzielle Nutzen der Anbauverfahren (z.B. Futterwert, finanzielle Förderung) hat bei der Bewertung nur eine untergeordnete Bedeutung (z.B. PREUSCHEN und BERNATH 1983, LÜTKE ENTRUP et al. 1990, SCHMIDTLEIN und HEIßENHUBER 1992). Der Grund liegt darin, dass sich dieser nur bei (Futter-)Nutzung der Bestände eindeutig ermitteln, bei den übrigen Anbauzielen aber nur schwer ableiten lässt. Die variablen Verfahrenskosten können aber neben den Zielerfüllungsgraden als zusätzliches Auswahlkriterium für die Identifikation eines optimalen Anbauverfahrens herangezogen werden.

(3) Die Planung von Zwischenfruchtanbauverfahren erfolgt unter Unsicherheit (intrinsische Unsicherheit über den Systemzustand bzw. informationale Unsicherheit des Expertenwissens). Die unsicheren Informationen lassen sich mit unscharfen Mengen (Fuzzy-Sets) mathematisch darstellen. Unschärfe Schlussfolgerungen bzw. unscharfe Nutzenbewertungen der Experten können mit Fuzzy-Inferenzsystemen formalisiert werden.

Die Quellen der Unsicherheiten in pflanzenbaulichen Entscheidungsprozessen sind vielfältig: Einflussfaktoren der Bestandesentwicklung wie standortspezifische Eigenschaften und wechselnde Fruchtfolgesituationen sind häufig nicht sicher bekannt und aufgrund ihrer hohen räumlichen und zeitlichen Varianz nur schwer vorhersagbar (z.B. COX 1996, DUNN et al. 1998, JONES et al. 1998, MOON et al. 1998, KUHLMANN 1999). Dieses gilt insbesondere für Zwischenfruchtbestände, deren Bestandesentwicklung aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen, einer unterschiedlich langen Vegetationsdauer oder Varianzen im Nährstoffangebot räumlich und zeitlich stark schwanken kann (z.B. LÜTKE ENTRUP et al. 1990). Aufgrund dieser Unsicherheiten gelangen Experten in der Einschätzung der Bestandesentwicklung und der möglichen Zielerfüllung zu unterschiedlichen und z.T. widersprüchlichen Einschätzungen (intrinsische Unschärfe, z.B. CORNELISSEN et al. 2003).

Bewertungen der Experten erfolgen in der Regel über die Verwendung linguistischer Zustands- und Ergebnisvariablen, die sich nicht (immer) eindeutigen Wertebereichen zuordnen lassen und zu einer hohen Varianz der Informationen führen (informationale Unschärfe, z.B. DUNN et al. 1998, ROTH 1998, SINCLAIR und WALKER 1998, WALKER und SINCLAIR 1998, CORNELISSEN et al. 2003). V.a. lassen sich den einzelnen Handlungsalternativen oft nur unscharfe Nutzenwerte (Zielerfüllungsgrade) zuordnen, was zu weiteren Unsicherheiten im Entscheidungsprozess führt (relationale Unschärfe, z.B. ROMMELFANGER 1994).

Anhand verschiedener Aspekte der relevanten pflanzenbaulichen Entscheidungsprozesse konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass sich die akquirierten Expertenangaben mithilfe von unscharfen Mengen (Fuzzy-Sets) mathematisch darstellen lassen (z.B. die Beschreibung charakteristischer Wertebereiche des Nährstoff- und Wasserangebotes, von Saatterminen, Saatmengen etc.). Die von den Experten formulierten unscharfen Regeln (Schlussfolgerungen, z.B. ROTH 1998) konnten durch verschiedene Fuzzy-Inferenzsysteme nachvollzogen werden (z.B. die Ableitung der erwarteten Herbstbiomasse aus Saattermin, Nährstoff- und Wasserangebot, vgl. Kap. 5.3). Mithilfe der Fuzzy-Logik ließ sich das erworbene Expertenwissen so formalisieren, dass Aussagen über Entscheidungsfeld, Zielsystem und Bewertungssystem von Zwischenfruchtanbauverfahren möglich sind. Damit ist es möglich sowohl zielgerichtete Handlungsempfehlungen zu geben, als auch Risiken in der Bestandesetablierung, die durch das pflanzenbauliche Management (z.B. Untersaaten, Strohdüngung, grobe Saatbettbereitung) oder den Standort (z.B. unsicheres Wasserangebot) bedingt sind, abzuschätzen und zu bewerten (vgl. Kap. 6.3). Diese Ergebnisse bestätigen die Aussagen verschiedener Autoren (SIEKMANN und MCROBBIE 1988, ROMMELFANGER 1994, ROGERS 1995 in MCCOWN 2002b, DUNN et al. 1998, CARLSSON und TURBAN 2002, CORNELISSEN et al. 2003), die die Bedeutung der Verarbeitung unscharfen Wissens in Entscheidungsunterstützungssystemen mithilfe von Fuzzy-Inferenzverfahren betonen. Diese ermöglichen DSS-Anwen-

dern, die Grundgedanken von Experten nachzuvollziehen, was wiederum eine wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz eines DSS und damit für seine erfolgreiche Umsetzung in die Praxis ist.

7.2 DSS-Entwicklung und Grenzen des DSS

(4) Unter Verwendung eines Entwicklungswerkzeuges oder einer Programmiersprache kann ein rechnergestütztes Entscheidungshilfesystem (DSS) entwickelt werden, das Landwirte bei der Entscheidungsfindung in Auswahl geeigneter Zwischenfruchtarten und Anbauverfahren beratend unterstützten soll. Die Entscheidungsunterstützung soll standort-, situations- und zielbezogen sein, die Anbauformen Sommer- und Winterzwischenfrüchte sowie die Ansaatverfahren Unter- und Stoppelsaat berücksichtigen.

Wie bereits dargelegt stammen die meisten Informationen für den Aufbau eines Entscheidungsunterstützungssystems (DSS) aus Literatur- und Expertenwissen. Für dessen Integration in ein wissensbasiertes DSS, das die spezifische Sachkenntnis und Problemlösungsfähigkeiten der Experten (z.B. HARSH 1988, KURBEL 1992) sowie die inhärenten Unsicherheiten und Unschärfen des akquirierten Expertenwissens (z.B. ROMMELFANGER 1994, ZIMMERMANN 1996) verarbeiten kann, mussten die anhand des Expertenwissens erstellten Fuzzy-Inferenzsysteme in eine effektive und leicht bedienbare Programmumgebung eingebettet werden. Diese konnte mit den verwendeten Werkzeugen (Matlab 5.3, Matlab Simulink, Matlab Fuzzy Toolbox, Matlab Guide) in der Form eines Prototyps auf einer UNIX-Plattform erstellt und in einer übersichtlichen Struktur gestaltet werden. Die spätere Portierung des DSS-Prototyps auf PC-Ebene mithilfe der objektorientierten Programmiersprache Python 2.0 sowie der Grafiksoftware GTK+ (Linux) ermöglicht die einfache Weitergabe an und Bedienbarkeit durch einen Endnutzer unter Beibehaltung der gewählten DSS-Struktur. Eine DSS-Shell bzw. Programmiersprachen für die Erstellung von Expertensystemen wie PROLOG oder LISP (WAGNER 1993b), die weniger Gestaltungsfreiheit geboten hätten, wurden nicht verwendet (vgl. auch SMITH et al. 1997). Ebenso konnten bereits bestehende Beratungs- bzw. Simulationsmodelle nicht verwendet werden, da sie entweder keine Bewertungen verschiedener Anbauverfahren, keine multikriteriellen Bewertungen sowie keine Darstellung unsicheren Fachwissens integrieren (SCHWAIBERGER et al. 1990, AUBURN und BUGG 1991, BALDIOLI und ENGEL 1997), noch sich auf verschiedene Standorte (SHARPLEY und SMITH 1991, MIRSCHER 1995) bzw. Zwischenfrüchte oder Anbauverfahren (HOFFMANN 1988, MCCOOL und REYNARD 1990, LANGDALE et al. 1991, MEISINGER et al. 1991, ROTH 1996, BLOMBÄCK und ECKERSTEN 1997, SCHÖLL et al. 1997, KERSEBAUM et al. 2001 und 2002) übertragen lassen.

Entsprechend der Entscheidungstheorie gliedert sich das DSS in die Module Zielsystem (*Zielgrößenanforderung*), Entscheidungsfeld (*Zielgrößenpotenzial*), Bewertungssystem (*Zielgrößenabgleich*) sowie ein graphische Benutzeroberfläche. Diese Struktur kann die Entscheidungssituation eines Landwirts gut abbilden, der die Entscheidung über die Durchführung eines Anbauverfahrens anhand eines Abgleichs zwischen zielgerichteten Anforderungen an die Zielgrößen der Pflanzenbestände einerseits und Leistungspotenzialen der Bestandesentwicklung, abhängig von Standort, pflanzenbaulicher Situation und Management,

andererseits, vornimmt (z.B. KELLING 1991, RENIUS et al. 1992, vgl. Ausführungen zur Hypothese (2)). Über die Anlehnung der DSS-Struktur an die Struktur rationaler Entscheidungen werden die berechneten Entscheidungsprozesse objektivierbar und nachvollziehbar (BAMBERG und COENENBERG 1991, LAUX 1982).

Als wissensbasiertes Entscheidungsunterstützungssystem enthält das DSS auch Komponenten, die nach der von PUPPE (1988) bzw. KURBEL (1992) vorgeschlagenen Struktur für Expertensysteme den Teilsystemen Wissensbasis, Dialog-, Erklärungs- und Problemlösungskomponente zuzuordnen sind. Diese lassen sich aber nicht (immer) scharf voneinander trennen: so gehören alle drei DSS-Module und insbesondere die jeweils integrierten Fuzzy-Inferenzsysteme sowohl zur Problemlösungskomponente, als auch zur Wissensbasis. Die graphische Benutzeroberfläche dient als Dialog- und Erklärungskomponente der einfachen DSS-Bedienung, der Eingabe benötigter Eingangsgrößen wie Zustandsvariablen, Entscheidungsvariablen und Anbauziele sowie der Ausgabe der Anbauempfehlungen (vgl. MOON et al. 1998 sowie die Ausführungen zur Hypothese (5)).

Entsprechend der Ergebnisse aus der Wissensakquisition (vgl. Hypothese (2)) unterstützt das DSS die zielorientierte Auswahl von Zwischenfruchtanbauverfahren unter Integration der identifizierten neun Anbauziele. Die weitere Option ‚Mulchsaat der Nachfrucht‘ kann die Verfahrensauswahl zusätzlich beschränken. Eine standort- bzw. situationsgerechte Auswahl wird im Entscheidungsfeld über die Integration wesentlicher Standortfaktoren (z.B. Jahresniederschlag, Bodenart) sowie Faktoren des Vor- und Nachfruchtmanagements (z.B. Art der Vorfrucht, Menge der Ernte- und Wurzelrückstände, Umbruchtermin zur Nachfrucht), die über die Benutzeroberfläche abgefragt werden, gewährleistet. Modellintern werden diese Faktoren mit den Elementen der Handlungsalternativen in einzelnen Submodellen zu den Zwischengrößen *Vegetationsdauer (Saattermin)*, *Stickstoffangebot*, *Wasserangebot* sowie *Feldaufgang* bzw. *Etablierungserfolg von Untersaaten* aggregiert (vgl. Hypothese (6)).

Das DSS gibt Handlungsempfehlungen für die Anbauformen Sommer- und Winterzwischenfrüchte bzw. die Ansaatverfahren Unter- und Stoppelsaat. Die empfohlenen Handlungsalternativen unterscheiden sich hinsichtlich der Verfahrenselemente (Entscheidungsvariablen) *Zwischenfrucht*, *Bestellverfahren* (nur Stoppelsaaten), *Saattermin*, *Saatmenge*, *Stickstoffdüngung zur Zwischenfrucht*, sowie (nur bei Untersaaten) *Saattermin*, *Saatmenge* und *Stickstoffdüngung der Deckfrucht*. Als Ziel- und Ergebnisgrößen der Bestandesentwicklung werden *oberirdische Biomasse*, *Deckungsgrad* sowie *aufgenommene Stickstoffmenge* des Zwischenfruchtbestandes, jeweils zu den Zeitpunkten Vegetationsende (Spätherbst) bzw. vor dem Umbruch zur Nachfrucht (Frühjahr) berechnet, über die sich die Zielerfüllung der vom Anwender gewählten Anbauziele berechnen und bewerten lässt.

Das DSS unterstützt die Anbauempfehlung von 51 Stoppelfrüchten (33 Reinsaaten und 18 Gemenge) sowie 19 Untersaaten (12 Reinsaaten, 7 Gemenge), deren spezifische Charakteristika (Zielpotenziale, Bestandesentwicklungspotenziale, Saatmengen, Saatgutkosten etc.), die aus Literatur und Parameteridentifikation gewonnen werden konnten, in verschiedenen Parameterdateien abgelegt sind. Die zwischenfruchtbezogenen Ziel- und Ergebnisgrößen werden standort-, situations- und verfahrensspezifisch aus den abgeleiteten Zwischengrößen des Entscheidungsfeldes über verschiedene Modelle der Biomasseentwicklung (Fuzzy-Infe-

renzsysteme), die aus Angaben der Expertenbefragung erstellt wurden, und den genannten Parametern ermittelt.

(5) Die Entscheidungsfindung im DSS kann für den Anwender transparent gestaltet werden. Der Anwender verfügt über Möglichkeiten, eigenes Erfahrungswissen hinzufügen bzw. den Entscheidungsprozess kontrollieren zu können.

Die Entscheidungsfindung im DSS erfolgt entsprechend der Entscheidungstheorie über einen Abgleich von Ziel- und Ergebnisgrößen (Zielgrößenpotenziale bzw. -anforderungen) sowie eine anschließende Bewertung je Anbauverfahren im Bewertungssystem (*Submodell Zielgrößenabgleich*, vgl. die Ausführungen zur Hypothese (4)). Die Ziel- und Ergebnisgrößen resultieren aus den Teilsystemen des Ergebnisfeldes und des Zielsystems, die wiederum hierarchisch in einzelne Submodelle gegliedert sind (vgl. Kap. 5.1 – 5.3). Dieser modulare Aufbau sowie die Ausgabe der Ergebnisgrößen je Anbauverfahren geben dem Anwender Möglichkeiten die Entscheidungswege im DSS überprüfen und nachvollziehen zu können.

Das Zielsystem (*Submodell Zielgrößenanforderung*) integriert vereinfachte Ansätze zur Ableitung der *Zielgrößenanforderungen* aus vorgegebenen Zielpräferenzen, die für die meisten Anbauziele in Form von Fuzzy-Inferenzsystemen implementiert wurden. Die notwendigen Informationen wurden aus der Relation oberirdische Biomasse – Zielleistung nach Literaturangaben von BUCHNER und KOLBE (1989) abgeleitet. Abhängigkeiten von anderen Faktoren (z.B. Einfluss der Menge der Ernte- und Wurzelrückstände auf den Bodenschutz und die Anreicherung an organischer Bodensubstanz) konnten weiteren Literaturangaben entnommen werden (z.B. BUCHNER 1993B). Beim Ziel Stickstoffkonservierung wurde auch das standortbedingte Potenzial der Auswaschungsgefährdung (nach MAIDL und BRUNNER 1998) berücksichtigt. Beim Ziel N₂-Fixierung wurde eine biomasseabhängige dynamische N₂-Fixierungsrate aus Modellansätzen nach DUC et al. (1988) und ROUGHLEY et al. (1983) integriert.

Im Entscheidungsfeld (*Submodell Zielgrößenpotenzial*) werden die Ergebnisgrößen je Zwischenfrucht standort-, situations- und verfahrensspezifisch aus den abgeleiteten Zwischengrößen Wasserangebot, Stickstoffangebot, Feldaufgang sowie Saattermin bestimmt. Das DSS integriert hierfür verschiedene Fuzzy-Inferenzsysteme, die aus Informationen der Expertenbefragung (LÜTKE ENTRUP 1998, ROTH 1998) erstellt wurden, und verschiedene zwischenfrucht- und verfahrensspezifische Parameter aus der Literaturlauswertung (z.B. BUCHNER und KOLBE 1989, BERENDONK und THUIR 1995) verarbeiten. Die Zwischengrößen werden zuvor in eigenen Submodellen berechnet, die verschiedene Lösungsansätze aus der Fachliteratur zur N-Mineralisation und N-Immobilisation (z.B. SCHEFFER et al. 1992), zur N₂-Fixierung (z.B. DUC et al. 1988), zum Wasserangebot (z.B. AG BODENKUNDE 1994) sowie zum Feldaufgang (z.B. RENIUS et al. 1992) integrieren.

Im *Submodell Zielgrößenabgleich* werden die Ziel- und Ergebnisgrößen (Zielgrößenpotenziale bzw. -anforderungen) je Anbauverfahren miteinander abgeglichen. Jedes Anbauverfahren erhält entsprechend Höhe und Streuung der unscharfen Ziel- und Ergebnisgrößen Zielerfüllungsgrade als zielspezifische unscharfe Bewertungsvariablen. Die für die Ermittlung und Sortierung der Bewertungsgrößen bzw. der zugehörigen Anbauverfahren verwendeten Funk-

tionen wurden in Anlehnung an ROMMELFANGER (1994) erstellt. In diesem Submodell werden je nach gewählter Anbauzielkombination entsprechend der Ergebnisse der Wissensakquisition die Zielgrößenpräferenzen der Anbauziele modifiziert sowie variable Verfahrenskosten je Anbauverfahren nach ACHILLES et al. (1999) und KTBL (1999) ermittelt.

Eine Wissensakquisitionskomponente, über die der Anwender oder ein Fachexperte eigenes Erfahrungswissen hinzufügen bzw. das integrierte Wissen überprüfen kann, wurde nicht entwickelt. Einzelne Wissensrepräsentationsformen, die über verschiedene Darstellungsformen wie integrierte Modellgleichungen, die Ausprägung einzelner unscharfer Mengen oder die Gestaltung der Inferenzregeln in Fuzzy-Inferenzsystemen innerhalb der Teilsysteme erfolgt, können aber leicht im Programmcode der jeweiligen Dateien verändert werden (vgl. auch SMITH et al. 1997). Die der Fachliteratur entnommenen bzw. aus der Parameteridentifikation gewonnenen Kenngrößen (z.B. zwischenfruchtspezifische Parameter, bodenhydrologische Eigenschaften verschiedener Bodenarten) sind in verschiedenen Parameterdateien abgelegt, in denen sie leicht verändert werden können.

Darüber hinaus erlaubt die DSS-Struktur vielfältige Erweiterungsmöglichkeiten, z.B. hinsichtlich weiterer Anbauziele, Zielgrößen, Zwischenfruchtarten usw. Dieses lässt sich mit geringem Aufwand im Programmcode bewerkstelligen. Zur Aufnahme weiterer Experteninformationen lassen sich auch ganze Modellkomponenten, die in eigenen Dateien abgelegt sind (z.B. Fuzzy-Inferenzsysteme, DSS-Subsysteme, Parameterdateien), mit geringem Aufwand verbessern oder gar austauschen.

(6) Die DSS-Entwicklung kann – wie jede Modellbildung – nur unter gewissen Restriktionen und Vereinfachungen erfolgen. Die Aussagefähigkeit des DSS, das sich auf nur beschränkt aussagekräftige (Experten-)Informationen sowie auf notwendigerweise abstrahierende Modellansätze stützt, kann nur begrenzt sein.

Für den Zwischenfruchtanbau existiert eine Vielzahl an Zwischenfrüchten, die untereinander kombiniert werden können, sowie eine Vielfalt an Anbausituationen (Standorte, pflanzenbauliche Situation) und Anbauverfahren. Die verschiedenen Zwischenfrüchte weisen eine Vielfalt spezifischer Entwicklungsreaktionen hinsichtlich Wasserangebot (Bestellverfahren, Feldaufgang, Wasserstress), Stickstoffangebot (N-Mineralisation, N-Immobilisation, Fähigkeit zur N₂-Fixierung), Saattermin usw. auf, die wiederum unterschiedliche spezifische Zielerfüllungen mit sich bringen. Für die Gesamtheit dieser unterschiedlichen Fälle liegen keine detaillierten Informationen, insbesondere hinsichtlich Bestandesentwicklung und Zielerfüllung, vor. Das von den Experten bzw. aus der Fachliteratur akquirierbare Informationsangebot ist auf einzelne Fallbeispiele und allgemeine Zusammenhänge beschränkt (z.B. LÜTKE ENTRUP 1998). Nach CORNELISSEN et al. (2003) besteht bei Expertenangaben ein negativer Zusammenhang zwischen Problemkomplexität und Präzision der Schlussfolgerungen: je detaillierter die Informationen sein sollen, desto ungenauer werden die Aussagen. Die Entwicklung des DSS musste bei der Modellbildung notwendigerweise vereinfachen und abstrahieren, was in einigen Teilbereichen allerdings zu Beschränkungen der Aussagefähigkeit des DSS führt. Dieser Umstand soll anhand der einzelnen Teilsysteme und Submodelle dargestellt werden.

Die Relationen *Zielgrößen – Zielerfüllung* in den Submodellen des Teilsystems *Zielgrößenanforderung* sind z.T. relativ ungenau bzw. unscharf: für viele Anbauziele sind nur qualitative Präferenzen der Zielausprägung möglich bzw. integriert (z.B. bei den Anbauzielen Bodengefügeverbesserung, Nematodenverdrängung etc.). Für einige Anbauziele (z.B. N-Konservierung, Bodenschutz) sind auch quantitative Angaben in der Fachliteratur bzw. Modellansätze verfügbar (z.B. HOFFMANN 1988, MCCOOL und RENARD 1990, LANGDALE et al. 1991, MEISINGER et al. 1991, SHARPLEY und SMITH 1991, MIRSCHEL 1995, ROTH 1996, BLOMBÄCK und ECKERSTEN 1997, SCHÖLL et al. 1997, KERSEBAUM et al. 2001 und 2002). Durch Integration entsprechender (komplexerer) Simulationsmodelle in das DSS könnte bei diesen Zielen zukünftig eine genauere Ableitung der Zielgrößenpräferenzen möglich werden.

Die vom DSS berechneten Ziel- und Ergebnisgrößen für die Bewertung der Anbauverfahren musste auf eine geringe Anzahl beschränkt werden (*oberirdische Biomasse, Deckungsgrad, aufgenommene Stickstoffmenge*, jeweils ermittelt zu den Zeitpunkten Spätherbst und Frühjahr, vgl. Hypothese (4)). Weitere Ziel- bzw. Ergebnisgrößen, wie z.B. die Wurzelbiomasse von Zwischenfrüchten, bzw. Werte der genannten Zielgrößen zu anderen Zeitpunkten, werden nicht berechnet. Einerseits ließen sich wegen der Vielzahl der Pflanzenarten aus den verfügbaren Literatur- bzw. Expertenangaben funktionelle Zusammenhänge (z.B. OBENAUF 1984a) für diese Größen nicht ausreichend ableiten. Andererseits ist deren (direkter) Einfluss auf die Zielerfüllung von nur untergeordneter Bedeutung (ROTH 1998). Bestimmte Zielpräferenzen, die sich ausdrücklich auf die Höhe der unterirdischen Biomasse beziehen (z.B. beim Anbauziel Gefügeverbesserung, vgl. auch HAMANN 2001) lassen sich nur indirekt aus der oberirdischen Biomasse sowie den zwischenfruchtspezifischen Zielpotenzialen ableiten.

Die Handlungsalternativen des Zwischenfruchtmanagements sind auf die (wenigen) Entscheidungsvariablen *Bestellverfahren, Saattermin, Saatmenge sowie Stickstoffdüngung* beschränkt. Diese Größen sind als diskrete Variablen im DSS integriert, d.h. sie sind nicht kontinuierlich, sondern können nur innerhalb (weniger) fester Stufen (beschränkte Anzahl an Ausprägungen) variieren. Innerhalb eines Anbauverfahrens ist keine (zeitliche) Variation, z.B. bei der N-Düngung, möglich. Ein Verfahrenselement *Pflegemaßnahmen* wurde nicht berücksichtigt, da Zwischenfruchtbestände in der Praxis nur selten geschröpft werden, und entsprechend nur mangelhafte Experteninformationen verfügbar sind. Gleiches gilt für eine *Düngung mit* (bzw. Abhängigkeit des Wachstums von) *anderen Nährstoffen*.

Die Vielzahl von Einflussfaktoren des Standortes und der pflanzenbaulichen Situation sowie deren Kombinationen wurden zu aggregierten Einflussfaktoren *Wasserangebot, Stickstoffangebot, Feldaufgang* bzw. *Etablierungspotenzial von Untersaaten* zusammengefasst, deren Einfluss auf die Bestandesentwicklung relativ einfach aus Experten- und Literaturwissen abzuleiten ist. Die Ermittlung dieser aggregierten Größen bringt allerdings gewisse Unsicherheiten bzw. mögliche Fehler mit sich. Da sie sich über Feldmessungen nicht direkt bestimmen lassen, ist ihre korrekte Berechnung nur schwer zu überprüfen (vgl. DSS-Validierung, Hypothese (8)).

Das *Stickstoffangebot* wird als Summe aus dem *residualen Boden-N_{min}-Gehalt nach Ernte der Vorfrucht, der Stickstoffnachlieferung des Bodens* sowie der *Höhe der Stickstoffdüngung zur Zwischenfrucht* berechnet. Die Stickstoffdüngung wird nur als Summenwert berücksich-

tigt: Informationen über den Einfluss einer geteilten oder zeitlich gestaffelten N-Gabe (bzw. Stickstoffdynamik) konnten nicht recherchiert werden. Die Stickstoffnachlieferung wird nach Angaben von SCHEFFER et al. (1992) sowie RENIUS et al. (1992) als Funktion von Ernterückständen der Vorfrucht, deren C:N-Verhältnis, der (standort- und managementabhängigen) Mineralisations- und Immobilisierungsrate durch Mikroorganismen beschrieben. Die raumzeitliche Variabilität des N-Angebotes wird aus der in der Benutzeroberfläche angegebenen Streubreite des N_{\min} -Gehaltes bzw. der Ernte- und Wurzelrückstände sowie aus der modellierten berechneten Streuung der N-Düngung berechnet. Die verwendeten Funktionen sind stark vereinfachend, für die Zielsetzung des DSS (Empfehlung geeigneter Anbauverfahren) können sie aber das Stickstoffangebot bzw. -defizit (z.B. bei großen verbleibenden Mengen von Getreidestroh) sowie die beobachteten Variabilitäten ausreichend gut darstellen. Für diesen Zweck hätte sich prinzipiell auch die Verwendung umfassenderer Stickstoff-Simulationsmodelle (s. oben, vgl. Kap. 2.3) angeboten: dieses würde jedoch zu einem unverhältnismäßig stark steigenden Rechenaufwand für dieses Submodell führen, und der zusätzliche Informationsgewinn im Hinblick auf die Zielsetzung wäre vermutlich sehr gering.

Das *Wasserangebot* wird nach Angaben von AG BODENKUNDE (1994) sowie ROTH (1998) aus den Standortfaktoren *Jahresniederschlag*, *Bodenart*, *Humusgehalt* sowie *Durchwurzelungstiefe* bestimmt. Auch diese Zusammenhänge sind stark vereinfachend. Abgesehen vom Zeitraum der Etablierung der Zwischenfruchtkeimlinge (Feldaufgang), sind die Aussagemöglichkeiten im Hinblick auf die Zielstellung jedoch ausreichend. Als maximale Durchwurzelungstiefe von Zwischenfrüchten wird im DSS der aus der Expertenbefragung (ROTH 1998) gewonnene pauschale Wert von 50 cm verwendet (vgl. Kap. 5.3). BUCHNER und KOLBE (1989) geben für verschiedene Zwischenfrüchte zwar durchaus unterschiedliche maximale Durchwurzelungstiefen von bis zu 260 cm (Futterkohl) an. Inwieweit Zwischenfrüchte mit derart tief reichenden Wurzelsystemen wirklich in der Lage sind ihre Wasserversorgung aus sehr tiefen Bodenschichten zu decken, ließ sich aus der Literatur nicht befriedigend recherchieren. Der verwendete (relativ geringe) Wert erscheint aber auch im Hinblick auf die Angaben von BUCHNER und KOLBE (1989) als tragbar, die für alle dort genannten Fruchtarten Maximaltiefen der Hauptwurzelmasse von < 30 cm angeben.

Der *Feldaufgang* von Stoppelsaaten bzw. der *Etablierungserfolg* von Untersaaten wird entsprechend der Angaben von RENIUS et al. (1992) aus den Managementvariablen *Ernte-Wurzelrückstände*, *Bestellverfahren* (Saatbettqualität und Saatgutablage), *Saatbettanspruch* der Zwischenfrucht, *Saatmenge* sowie der standortbedingten *Wahrscheinlichkeit von Spätsommertrockenperioden* ermittelt. Die Informationen wurden in Fuzzy-Inferenzsysteme integriert, deren Ergebnisse die Expertenangaben relativ gut nachvollziehen können.

Die zwischenfruchtbezogenen Ergebnisgrößen werden in den Submodellen *Zielgrößen Herbst* und *Zielgrößen Frühjahr* aus den aggregierten Zwischengrößen des Entscheidungsfeldes berechnet. Die Herbstergebnisgrößen werden entsprechend der aus der Expertenbefragung (LÜTKE ENTRUP 1998, ROTH 1998) gewonnenen Informationen über neun unterschiedliche Biomassemodelle (Fuzzy-Inferenzsysteme) ermittelt. Betrachtete Zwischenfrüchte müssen einem dieser Modelle in ihrer qualitativen Reaktion auf die Einflussgrößen Saattermin, Wasser- sowie Stickstoffangebot zugeordnet werden. Unterschiede in der Ertragshö-

he zwischen einzelnen Fruchtarten einer Modellgruppe, wie sie z.B. BUCHNER und KOLBE (1989) oder BERENDONK und THUIR (1995, vgl. Tab. 4.2) angeben, können über die Multiplikation mit aus diesen Quellen abgeleiteten zwischenfruchtspezifischen Ertragspotenzialen nachvollzogen werden. Die qualitative Reaktion auf Nährstoff- oder Wasserstress bleibt jedoch bei Früchten innerhalb einer Gruppe gleich. Diese Tatsache kann z.B. zu Unterschieden zwischen gemessenen und berechneten Biomassen einzelner Zwischenfrüchte führen bzw. zu geringe Unterschiede verschiedener Zwischenfrüchte bei zunehmendem Wasser- oder Nährstoffstress ergeben, da z.B. jeweils nur zwei unterschiedliche Modelle für Grasarten, Leguminosen bzw. Leguminosen-Nichtleguminosen-Gemenge (jeweils trockenheitstolerantere und -intolerantere Arten) existieren (vgl. Ergebnisse der Expertenbeurteilung, Kap. 6.4). Unsicherheiten bzw. Schwankungsbreiten der Ziel- bzw. Ergebnisgrößen können über die Berechnung der Streubreite der Einflussfaktoren ermittelt werden.

Die Ergebnisgrößen *Deckungsgrad* und *aufgenommene N-Menge* werden über Modellgleichungen aus der oberirdischen Biomasse berechnet, sind also als von dieser Größe nicht unabhängige Größen anzusehen. Input in diese Gleichungen sind die artspezifischen Parameter, die anhand der Parameteridentifikation (vgl. Kap. 4.2.2) mithilfe von Literaturdaten (z.B. BERGER 1990, SODTKE 1996 u.a.) gewonnen werden konnten. Im Fall der Biomasse-Stickstoffmengen-Relation konnten die Parameter für jede Zwischenfrucht jedoch nicht mit der gleichen Sicherheit bestimmt werden, da je Fruchtart unterschiedlich viele Daten aus der Literatur zur Verfügung standen. Entsprechende Daten konnten nur für 15 Reinsaaten und 2 Gemenge recherchiert werden, für einige Früchte (z.B. Sommerraps, Deutsches Weidelgras, Winterwicke etc.) lagen keine Daten vor, so dass Ergebnisse verwandter Arten auf diese übertragen werden mussten. Im Falle der Bestimmung der Biomasse-Deckungsgrad-Relation mussten sogar Literaturdaten von Grünbracheansaaten in Sommerrotation herangezogen werden, die sich jedoch auf die entsprechenden Zwischenfrüchte übertragen lassen sollen (PAULY 1998). Auch hier lagen nur Daten für 4 Reinsaaten und 3 Gemenge vor; die identifizierten Parameter mussten auf die übrigen Arten in plausibler Weise übertragen werden.

Die Ergebnisgrößen des Submodells *Zielgrößen Frühjahr* (oberirdische Biomasse, Deckungsgrad, aufgenommene Stickstoffmenge) werden aus den jeweiligen Ergebnisgrößen des Submodells *Zielgrößen Herbst* abgeleitet, so dass auch diese Größen als nicht unabhängige Größen anzusehen sind. Neben den Herbst-Zielgrößen werden für deren Berechnung auch die Einflussfaktoren *Winterstärke*, *Saat-* und *Umbruchtermin* sowie artspezifische Parameter (z.B. *Winterhärte der Zwischenfrucht*) herangezogen. Der Frühjahrsdeckungsgrad wird als Summe aus dem verbleibenden Deckungsgrad des Herbstaufwuchses und dem Deckungsgrad des Neuaufwuchses im Frühjahr bestimmt. Die aufgenommene N-Menge im Frühjahr wird entsprechend der N-Menge im Spätherbst über die aus Literaturdaten identifizierte Biomasse-Stickstoffmengen-Relation ermittelt.

Im Falle von Untersaatverfahren wird im Submodell *Zielgrößen Untersaaten* das *Etablierungspotenzial der Untersaat* sowie das *relative Ertragspotenzial* der jeweiligen Deckfrucht bestimmt. Beide Größen werden in einem sehr vereinfachenden Modell über das Verhältnis der Konkurrenzkräfte von Untersaat und Deckfrucht ermittelt, die wiederum aus der jeweiligen Konkurrenzsituation (artspezifisches *Konkurrenzpotenzial* von Untersaat bzw. Deck-

frucht, *Wasserangebot*, *Stickstoffangebot* sowie *Saattermin*) bestimmt werden. Die hierfür nötigen Informationen wurden Experten-Literaturdaten (RENIUS et al. 1992) entnommen und in drei Fuzzy-Inferenzmodelle integriert. Ähnlich dem Submodell *Zielgrößen Herbst* repräsentieren diese drei Modelle Gruppen von Untersaaten, zu einer von diesen jede berechnete Untersaat hinsichtlich ihres spezifischen Konkurrenzverhaltens (näherungsweise) zugeordnet werden muss. Einflüsse von Deckfrucht- bzw. Untersaatsorten, Pflanzenschutzmitteln (Herbiziden) sowie von zeitlichen Mustern der Stickstoffdüngung zur Deckfrucht konnten in diesem aggregierten Ansatz nicht berücksichtigt werden.

Im DSS wurden aufgrund mangelnder Informationen keine Sortenunterschiede bei den Zwischenfrüchten berücksichtigt. Die integrierten Zwischenfruchtgemenge müssen entsprechend der Reinsaaten als „starre“ Zwischenfruchtkombinationen angesehen werden: die Zwischenfruchtarten sind für Gemenge nicht frei kombinierbar. Gleiches gilt auch für die relativen Mischungsanteile im Gemenge, da die jeweiligen Saattmengen entsprechend der Experteninformationen fest vorgegeben sind. Prinzipiell lassen sich aber unterschiedliche Zwischenfruchtsorten – ebenso wie bislang nicht integrierte Gemenge – mit geringem Aufwand in das DSS aufzunehmen (z.B. über den Eintrag spezifischer Kenngrößen in die Parameterdateien).

(7) Der DSS-Prototyp lässt sich auf PC-Ebene in eine eigenständige Software (stand-alone-Programm) zur Anwendung in Beratung und landwirtschaftlicher Praxis überführen. Eine graphische Benutzeroberfläche dient als Dialog- und Erklärungskomponente und ermöglicht dem Anwender eine einfache Bedienung des DSS.

Aus dem UNIX-basierten DSS-Prototyp (Matlab M-Code) konnte mithilfe der objektorientierten Programmiersprache Python 2.0 sowie der Grafiksoftware GTK+ eine PC-fähige DSS-Version mit einer einfach zu bedienenden graphischen Benutzeroberfläche für das Betriebssystem Linux entwickelt werden. Mit dieser Portierung konnte die gewählte DSS-Struktur, einschließlich der dargestellten Funktionalitäten, beibehalten werden. Insbesondere die mit der Matlab Fuzzy Toolbox erstellten Fuzzy-Inferenzsysteme lassen sich über einen integrierten Stand-alone-Code (WIELAND 2000) unverändert und unabhängig von der Entwicklungsoftware nutzen (und gegebenenfalls leicht korrigieren oder austauschen).

Die Benutzeroberfläche (vgl. Kap. 5.6) dient als Dialogkomponente (vgl. HARSH 1988, KURBEL 1992, MOON et al. 1998), über die ein Anwender auch ohne umfassende computertechnische Fähigkeiten oder Programmiererfahrungen Zugang zum DSS erhalten kann. Über verschiedene Eingabefenster können die benötigten Eingangsgrößen wie Zustandsvariablen, Entscheidungsvariablen und Anbauziele eingegeben sowie Anbauempfehlungen berechnet, eingesehen und verwaltet werden. Die Fenster enthalten verschiedene Steuerelemente zur Navigation und Eingabe wie Listboxes, Pop-up-Menüs, Schaltflächen, Eingabefelder etc., wie sie auch aus anderen fensterbasierten Software-Programmen bekannt sind (z.B. SMITH et al. 1997). Die einzelnen Steuerelemente sind auf bestimmte Grundeinstellungen (Defaults) voreingestellt, die eine schnelle Bedienung des DSS erleichtern sowie auch eine Berech-

nung ermöglichen, wenn der Anwender Werte einzelner Eingabegrößen nicht bzw. nicht genau kennt (vgl. MOON et al. 1998). Unsicherheiten und räumliche Schwankungsbreiten können in der Benutzeroberfläche für die meisten Zustandsvariablen (z.B. *Jahresniederschlag*, *Häufigkeit einer Sommer trockenperiode*) in Form von Spannweiten (Minimum und Maximum) eingegeben werden. Modellintern werden diese Größen als unscharfe Variablen verrechnet, damit deren Varianz bzw. der unsichere Wissensstand des Anwenders in die Qualität der Ergebnisaussage mit einbezogen werden kann. Umfassende Dateneingaben oder das Einlesen großer Dateien (z.B. Wetterdaten) sind nicht nötig.

Das Ergebnis einer DSS-Berechnung ist die Ausgabe von Anbauempfehlungen im Textformat, die für jedes empfohlene Anbauverfahren die jeweiligen Verfahrenselemente, die berechneten Zielgrößen, Verfahrenskosten sowie Zielerfüllungsgrade darstellt. Eine graphische Darstellung von Modellergebnissen ist bislang nicht möglich. Die komplexen Ergebnisse der ausgegebenen Anbauverfahren ließen sich graphisch auch nur unvollkommen darstellen. Neben der Ergebnisausgabe in der Benutzeroberfläche werden die empfohlenen Anbauverfahren außerdem in eine zugehörige Datei geschrieben, die später editiert oder ausgedruckt werden kann.

Während einer laufenden Berechnung des DSS werden im Terminalfenster auch Informationen über den aktuellen Systemzustand des DSS (z.B. Wiedergabe eingegebener Informationen, aktueller Rechenvorgang) ausgegeben (Protokollfunktion, vgl. McCOWN 2002b). Damit stellt die Benutzeroberfläche nicht nur eine Dialog- sondern teilweise auch eine Erklärungskomponente dar (vgl. KURBEL 1992, SMITH et al. 1997), die dem Anwender eine zusätzliche Kontrollmöglichkeit gibt. Die Erklärungskomponente wurde aber in dieser Prototyphaften Version der Benutzeroberfläche auf die wesentlichen Angaben beschränkt: Auf Hilfsfunktionen und entsprechende Hilfsinformationen wurde weitgehend verzichtet. Erläuterungen zu erfragten Eingabedaten oder Wissenszusammenhängen werden nicht gegeben.

Über die Erstellung bzw. Veränderung charakteristischer Inputgrößendateien kann das DSS auch ganze Datensätze unterschiedlicher Standort- bzw. Fruchtfolgesituationen im Stapelverarbeitungsbetrieb (Batch-Betrieb) nacheinander durchrechnen. Diese Funktion eignet sich besonders für die Überprüfung des DSS anhand verschiedener Fallbeispiele (vgl. Kap. 6.3 und 6.4 sowie die Ausführungen zu den Hypothesen (10) und (11)). Aber auch ein Anwender (Berater) kann diese Funktion, z.B. für die Berechnung auf mehreren Schlägen, gut nutzen.

Mit der vorliegenden Stand-alone-Software ist es nun möglich, das Entscheidungsunterstützungssystem leicht an die Endnutzer – landwirtschaftliche Betriebe bzw. Berater – im Sinne einer Praxiserprobung und weiteren Überprüfung (Modellverifikation) weiterzugeben. So kann das DSS Landwirten unmittelbar oder mittelbar (über Beratungsinstitutionen) eine Unterstützung zu Zwischenfruchtanbaufragen in ihrer konkreten Betriebssituation liefern und auf seine Praxiseignung und Anwenderfreundlichkeit überprüft werden. Die (bislang) noch ausschließliche Verfügbarkeit der DSS-Software im Betriebssystem Linux sowie dessen bislang noch geringe Verbreitung wird hierbei nicht als problematisch gesehen. Zum einen findet Linux als freies Betriebssystem zunehmend größeren Einsatz auch in privat genutzten PCs. Zum anderen werden z.Zt. immer weitere und bessere Möglichkeiten entwickelt, um Linux-Software auch unter Windows-basierten PCs nutzen zu können (z.B. CD-gestützte Mini-

Betriebssysteme etc.). Die verwendete Programmiersprache Python bzw. die Grafiksoftware GTK+ sind prinzipiell auch unter Windows einsetzbar. Geringe zukünftige Veränderungen im Programmcode bzw. Kopplungen mit Windows-basierten Programmen sind möglich.

7.3 DSS-Validierung

(8) Sensitivitätsanalysen der Zwischen-, Ziel- und Ergebnisgrößen können einen Beitrag zur Überprüfung (Validierung) des wissensbasierten DSS liefern, indem sie eine angemessene Sensitivität und Stabilität des DSS und seiner Subsysteme hinsichtlich der relevanten Zustandsgrößen sowie der integrierten Entscheidungsvariablen belegen.

Durch die Validierung des Entscheidungsunterstützungssystems konnte gezeigt werden, dass die einzelnen DSS-Komponenten stabile Ergebnisse liefern (Kap. 6.1). Bei Variation der Eingangsgrößen weisen die Ausgangsgrößen keine Sprünge bzw. übermäßig starke Veränderungen im Verlauf ihrer Werte auf. Kleine Veränderungen der Inputs führen also zu gleichen bzw. ähnlichen Ergebnissen bei den Ausgangsgrößen. Dieses ist eine wesentliche Forderung für die Gültigkeit eines wissensbasierten Entscheidungsunterstützungssystems (COX und BAYBUTT 1981, KURBEL 1992, HAMBY 1994, COX 1996, MATTHEWS et al. 1999).

Die in der Hierarchie der Subsysteme übergebenen Variablen, insbesondere die aggregierten Einflussgrößen (*Stickstoffangebot, Wasserangebot, Feldaufgang der Stoppelsaat* bzw. *Etablierungserfolg der Untersaat*) zeigen eine (nahezu) 100-prozentige Sensitivität auf die Ausgangsgrößen der in der Hierarchie folgenden Subsysteme, insbesondere die Zielgrößen *Biomasse, Deckungsgrad, aufgenommene N-Menge* in Spätherbst und Frühjahr. Damit ist eine wichtige Forderung aus den Expertenbefragungen (z.B. ROTH 1998) erfüllt.

(9) Plausibilitätsanalysen der berechneten Ergebnisgrößen liefern einen weiteren Beitrag zur DSS-Validierung: Die vom DSS ermittelten Ergebnisgrößen (Zielgrößen) des Entscheidungsfeldes lassen sich über Vergleiche mit standort- und situationsspezifisch bestimmten Werten aus der Fachliteratur überprüfen.

Die Plausibilitäts-Validierung ergab für die geprüften Zielgrößen insgesamt gute bis zufriedenstellende Ergebnisse (Kap. 6.2). Grundlage der Analyse war ein regressionsanalytischer Vergleich von Simulationsergebnissen des DSS mit verfügbaren Daten von bis zu 52 Zwischenfrüchten aus der Fachliteratur. Die meisten Literaturdaten wurden für die Zielgrößen *Herbstbiomasse* bzw. *N-Menge* im Herbst recherchiert. Für die übrigen Zielgrößen waren nur wenige Daten, für ebenfalls wenige Zwischenfrüchte verfügbar. Darüber hinaus waren in den wenigsten Quellen alle notwendigen Einflussgrößen ausreichend dokumentiert (z.B. die *Menge der Ernterückstände der Vorfrucht*, der *Boden-N_{min}-Gehalt nach Vorfruchternte*, das angewandte *Bestellverfahren*, die *Saatmengen* der Zwischenfrüchte usw.), weshalb einzelne Einflussgrößen aufgrund plausibler Schlüsse geschätzt werden mussten. Dieser Umstand schränkt die Aussagekraft der Regressionsanalyse ein.

Insbesondere für die zentrale Zielgröße *oberirdische Biomasse (Spätherbst)* wurden bei den meisten Stoppelsaaten gute Bestimmtheitsmaße identifiziert. Nur in einigen Fällen wurden (größere) Über- bzw. Unterschätzungen ermittelt. Die Frühjahrszielgrößen weisen insgesamt schlechte Bestimmtheitsmaße auf. Die Fälle mit schlechten Übereinstimmungen lassen sich in der Regel auf eine schlechte Datenlage für diese Fruchtarten bzw. auf z.T. erheblich voneinander abweichende Messergebnisse der unterschiedlichen Autoren (bei vergleichbaren Einflussbedingungen) zurückführen. Insbesondere letzterer Umstand hatte eine große Streuung der Daten und entsprechend schlechte Bestimmtheitsmaße zur Folge. Auch aufgrund der wenigen zur Verfügung stehenden Daten muss die Aussagesicherheit der Analyseergebnisse zurückhaltend bewertet werden; für die meisten Zielgrößen lassen sich nur vorsichtige Tendenzen ableiten. Dieses bestätigt die Meinung von COX (1996), der die (ausschließliche) Plausibilitäts-Validierung von DSS nur als eingeschränkt geeignet ansieht.

(10) Vergleiche der DSS-Ergebnisse (Anbauempfehlungen) mit Empfehlungen von Experten aus Wissenschaft, Beratung und Praxis ermöglichen eine Vorhersage-Validierung des DSS für bestimmte Fallbeispiele. Die notwendigen Expertenangaben lassen sich aus Fragebogen-gestützten Recherchen gewinnen.

Die Fragebogen-gestützte Recherche von Expertenangaben erwies sich als schwierig. Von den ohnehin nur wenigen Experten im Bereich Zwischenfruchtanbau antworteten die meisten nicht bzw. schickten auch nach direkten (Telefon-) Gesprächen und der Klärung evtl. aufgetretener Verständnisprobleme keine auswertbaren Fragebögen zurück (Kap. 6.3, sog. „bottle-neck“, vgl. KURBEL 1992). Ein weiteres Problem war, dass die befragten Experten ihre Angaben häufig auch zu von ihnen variierten pflanzenbaulichen Situationen bzw. geänderten Anbauzielkombinationen machten. In der Summe konnten von 13 Personen 68 Anbauverfahren für insgesamt 32 Anbausituationen recherchiert werden. Für einen Großteil der Verfahrensvorschläge liegt die Einschätzung nur eines einzelnen Experten zugrunde, für viele Varianten konnte nur ein Verfahren recherchiert werden.

Ca. 28% der Expertenvorschläge wurden vom DSS nicht empfohlen. Die Gründe für Abweichungen zwischen DSS-Ergebnissen und Expertenempfehlungen (empfohlene Zwischenfrüchte) lassen sich v.a. auf Abweichungen zwischen den recherchierten Expertenangaben und den für die DSS-Entwicklung verwendeten Literatur- bzw. Expertenquellen (BUCHNER und KOLBE 1989, RENIUS et al. 1992, ROTH 1998) zurückführen. Dieses gilt für das erreichbare Biomassepotenzial einzelner Zwischenfrüchte, für die richtige Abstimmung der Konkurrenzpotenziale von Deckfrucht und Untersaat, für das Zielerfüllungspotenzial hinsichtlich einzelner Anbauziele sowie die Unverträglichkeit mit einzelnen Hauptfrüchten. Weitere Abweichungen sind darauf zurückzuführen, dass sogar die Experten ihre Anbauempfehlungen mit derart geringen Zielerfüllungsgraden bewerteten, dass das DSS diese nicht empfehlen kann, bzw. dass Zwischenfrüchte empfohlen wurden, die sich nicht in der Auswahl des DSS befinden.

Die Anbauverfahren mit übereinstimmenden Zwischenfruchtarten bei Expertenangaben und DSS-Ergebnissen weisen in den meisten Fällen gute Übereinstimmungen hinsichtlich der

Verfahrenselemente *Saattermin*, *N-Düngung*, *Bestellverfahren* und *Saatmenge* (ca. 75 - 84% Übereinstimmung), der errechneten Zielgrößen *Biomasse (Herbst und Frühjahr)*, *Deckungsgrad (Herbst und Frühjahr)* (ca. 53 - 67%) sowie der Zielerfüllungsgrade (ca. 38%) auf. Das DSS kann also situationsspezifische Informationen und Startbedingungen zu Ergebnissen (Szenarioanalysen) verarbeiten, aus denen sich relevante und korrekte situationsspezifische Entscheidungen ableiten lassen (vgl. McCOWN 2002b).

(11) Im Rahmen der DSS-Validierung lassen sich DSS-Ergebnisse für bestimmte Fallbeispiele auch über eine direkte kritische Beurteilung durch Experten überprüfen. Auch diese Experteninformationen lassen sich über Fragebögen recherchieren.

Die Beurteilung von DSS-Ergebnissen für bestimmte Szenarien durch Experten wird als bedeutendste Validierungsmethode wissenschaftlicher DSS angesehen (z.B. SMITH et al. 1997, MOON et al. 1998, YAKOWITZ 1998). Auch bei dieser Expertenbefragung war aber der Rücklauf der Fragebögen sehr gering, nur ca. die Hälfte der angeschriebenen Experten haben geantwortet. Von diesen sahen sich viele nicht in der Lage, Aussagen über ihre nächste Anbauregion hinaus zu machen, d.h., sie konnten nur die Ergebnisse eines Fallbeispiels beurteilen und keine Aussagen darüber machen, wie sich die Anbauempfehlungen bei sich stetig ändernden einzelnen Einflussfaktoren (z.B. einem Niederschlagsgradienten) verändern (z.B. HOFFMANN 2000, FLAKE 2000, KÜHN 2001). Insgesamt konnten Beurteilungen zu 21 verschiedenen Fallbeispielen von insgesamt elf Experten recherchiert werden (Kap. 6.4).

Des Weiteren waren die meisten Experten nicht in der Lage das Gesamtergebnis der Anbauempfehlungen zu bewerten, sondern kritisierten bzw. bewerteten einzelne Einflussfaktoren wie bestimmte Fruchtfolgeglieder oder einzelne empfohlene Zwischenfrüchte, Biomassen, aufgenommene N-Mengen, Verfahrenskosten etc. Ein häufiger Kritikpunkt war das vorgeschlagene Fruchtfolgebeispiel, für das die Experten keine Anbauverfahren vorschlagen konnten, da es in dieser Form in ihrer Anbauregion nicht vorkommt bzw. untypisch ist. Stattdessen wurden von den Experten alternative Fruchtfolgebeispiele vorgeschlagen, für die die DSS-Ergebnisse bewertet wurden (BRUNOTTE 2000, FLAKE 2000, GRÖBLINGHOFF und LÜTKE ENTRUP 2000, HOFFMANN 2000, KÜHN 2001, PEYKER 2001).

Die Experten gaben folgende allgemeine kritische Hinweise zur Ergebnisdarstellung des DSS ab: Sowohl bei den Einflussfaktoren, als auch bei den Ergebnisgrößen der Anbauverfahrensvorschläge sollten Wertespanspannen sowie die Unsicherheiten für eine erfolgreiche Bestandesetablierung (z.B. in Trockengebieten) dargestellt werden. Die im Anschluss an die Expertenbefragung folgende Überarbeitung der DSS-Ergebnisausgabe (Prototyping, vgl. SCHWAIBERGER 1991, SCHNEIDER 1994) ermöglicht nun die Darstellung der geforderten Wertespanspannen je Anbauverfahren (vgl. Abb. 5.9, S. 117, bzw. die DSS-Ergebnisse für die Fallbeispiele im Anhang A5).

Eine weitere Forderung ist, dass die Bewertung der Anbauverfahren anhand der Anbauziele erfolgen (HOFFMANN 2000), die Empfehlung aber auch in einer Rangreihenfolge nach Zielerfüllung und Verfahrenskosten darstellbar sein sollte (PEYKER 2001). Die Bewertung der An-

bauverfahren erfolgt im DSS anhand der Anbauziele; die geforderte Ergebnisdarstellung ist optional möglich.

Zur Ermittlung der Zielerfüllung sollten die Durchwurzelungstiefe, die unterirdische Biomasse sowie das C:N-Verhältnis zum Zeitpunkt des Umbruchs eine Rolle spielen (HAMANN 2001). Durchwurzelungstiefe und C:N-Verhältnis waren bereits in der ursprünglichen DSS-Version integriert (vgl. Kap. 5). Der Einfluss der unterirdischen Biomasse wird im DSS aus der oberirdischen Biomasse und fruchtspezifischen Zielleistungspotenzialen abgeschätzt.

Die angeregten Restriktionen für die Anbauempfehlung (Gräser bei Jahresniederschlägen > 600 mm/Jahr, „klassische“ Futterpflanzen nur bei Futternutzung, PEYKER 2001, vgl. Kap. 6.4) wurden nicht in das DSS aufgenommen, da entsprechende Zusammenhänge bereits integriert sind. So resultiert zum einen die Standorteignung der Zwischenfrüchte bereits aus den Fuzzy-Modellansätzen für die oberirdische Biomasse (vgl. ZGH-Submodell, Kap. 5.3). Zum anderen wird die Eignung von Zwischenfrüchten für die Erfüllung bestimmter Anbauziele aus den spezifischen Zielpotenzialen ermittelt (vgl. Kap. 5.2 und Parameterdatei P1, Anhang A2). Darüber hinaus eignen sich Knaulgrasuntersaaten durchaus auch für den Anbau in Trockengebieten (< 550 mm/Jahr), wie ROTH (1991) und KREUZ (1990 und 2000) belegen konnten.

Des Weiteren wird kritisiert, dass in einigen Fallbeispielen zu große oberirdische Biomassen prognostiziert werden (Sonnenblume bis 50 dt TS/ha, Gelbsenf, Phacelia bis 65 dt TS/ha, Einjähriges bzw. Welsches Weidelgras bis 60 dt TS/ha sowie verschiedene Untersaaten bis zu 75 dt TS/ha). GRÖBLINGHOFF und LÜTKE ENTRUP (2000) geben an, dass in der Regel nicht mehr als 30-50 dt TS/ha erreicht werden. Entgegen dieser Ansicht nennt ROTH (1998) für günstige Standorte allerdings durchaus maximale Biomassen von bis zu 80 dt TS/ha für verschiedene Zwischenfrüchte (vgl. Anhang A7). Und auch verschiedene andere Autoren konnten bei Feldversuchen regelmäßig höhere Biomassen ermitteln: so gibt MAIER (1998) für Sonnenblume bis zu 68 dt TS/ha, BERGER (1990) für die Stoppelsaaten Gelbsenf, Ölrettich, Phacelia bis zu 90 dt TS/ha an. Für Knaulgras-Untersaaten auf trockenen Standorten in der Magdeburger Börde konnte KREUZ (1990 und 2000) 40-70 dt TS/ha (einschl. Ernte- und Wurzelrückstände) ermitteln. Die Wertespannen der aktuellen DSS-Ergebnisse zeigen die zu erwartende Schwankungsbreite der Aufwüchse, die auch die Angaben von GRÖBLINGHOFF und LÜTKE ENTRUP (2000) besser widerspiegeln.

PEYKER (2001) und MÖLLER (2001) kritisieren die Empfehlung von Gräsern als Zwischenfrucht (Einjähriges Weidelgras, Gemenge aus Einjährigem und Welschem Weidelgras), da sie im Frühjahr erhebliche Aufwendungen verursachen (Einbringen des Aufwuchses in den Boden, Bekämpfungsprobleme wieder austreibender Pflanzen, tiefgründige Austrocknung des Bodens). Gräser seien nur bei beabsichtigter Futternutzung sinnvoll. Laut KREUZ (1988), BUCHNER und KOLBE (1989), ROTH (1990) u.a. sind die genannten Arten allerdings auch für andere Anbauziele (z.B. O.S.-Anreicherung, Bodengefügeverbesserung) bedeutsam, weshalb eine entsprechende Empfehlung durch das DSS durchaus sinnvoll erscheint.

PEYKER (2001) bewertet Untersaaten in Sommerweizen als sehr risikoreich wegen möglicher Ertragsverluste der Deckfrucht. Die vom DSS empfohlene starke Kleegras-Untersaat (Welsches Weidelgras plus Weiß- und Gelbklee) erscheint somit als fraglich. Bei der Untersaat-

eignung von Einjährigem Weidelgras machten die Experten widersprüchliche Angaben: Einerseits wird eine entsprechende Untersaat in Winterroggen als denkbar und u.U. erfolgversprechend angesehen (PEYKER 2001). Andererseits wird konstatiert, dass sich Einjähriges Weidelgras grundsätzlich nicht als Untersaat eignet, da es zum raschen Schossen neigt und deshalb große Konkurrenz auf die Deckfrucht ausübt bzw. zu Ernteerschwernissen führt (ROTH 1985, GRÖBLINGHOFF und LÜTKE ENTRUP 2000). Entsprechend BUCHNER und KOLBE (1989) wird dem Einjährigen Weidelgras im DSS zwar eine Untersaateignung eingeräumt, allerdings auch ein starkes Konkurrenzpotenzial (vgl. Parameterdatei P2 im Anhang A2), so dass es vom DSS nur noch ausnahmsweise (bei sehr starken Deckfrüchten) als Untersaat empfohlen werden kann.

Nach Überarbeitung des DSS zeigt der Vergleich von Experten-Hinweisen und aktuellen Ergebnissen insgesamt eine gute Übereinstimmung. Bei fast allen Fallbeispielen sind die von den Experten kritisierten Zwischenfrüchte im aktuellen DSS-Ergebnis nicht mehr vorhanden. Ebenso erscheinen nun die meisten der von den Experten als fehlend angemahnten Zwischenfrüchte in den aktuellen Anbauempfehlungen. Die noch vorhandenen Abweichungen zwischen Expertenangaben und DSS-Ergebnissen lassen sich zu folgenden Bereichen zusammenfassen: es fehlen empfohlene Stoppelfrüchte (4), Zielerfüllungsgrade sind erhöht (2), angegebene Saatmengen sind zu gering (1), die Stickstoffdüngung (zu Gräsern und Klee-gras) ist überhöht (4), der Saattermin ist zu spät (1).

Die von SANDBRINK (2000) vorgeschlagenen Zwischenfrüchte Gelbsenf und Ölrettich (Fallbeispiel 7a/b/c) bzw. Lupine, Felderbse sowie Ackerbohne (Fallbeispiel 8a) werden vom DSS nicht empfohlen (vgl. Kap. 6.4). Erstere eignen sich nicht ausreichend zur Futternutzung (BUCHNER und KOLBE 1989). Für letztere ist ein Saattermin Mitte August zu spät für eine ausreichende Biomassebildung (z.B. BERENDONK und THUIR 1995).

MÖLLER (2001) kritisiert die Empfehlung von Leguminosen zur Stickstoffkonservierung. Die vom DSS vorgeschlagenen Gemenge aus Leguminosen und Nichtleguminosen (z.B. Klee-gras, Landsberger Gemenge, Wickroggen) sind aber nach BUCHNER und KOLBE (1989) bei diesem Anbauziel empfehlenswert (vgl. auch Kap. 4.1.9).

Die Auswertung der Expertenbefragung konnte insgesamt zeigen, dass das DSS Experteneinschätzungen für unterschiedliche Fallbeispiele („Was-wäre-wenn“-Fragen, vgl. MOON et al. 1998, YAKOWITZ 1998) befriedigend bis gut abbilden kann. Die in das DSS integrierten Objekte bzw. das Problemlösungswissen können das Entscheidungsproblem also ausreichend gut beschreiben (vgl. McCOWN 2002b). Unsicherheiten der Expertenangaben können durch die Bandbreite der vorgeschlagenen Zwischenkulturen bzw. Anbauverfahren sowie durch die Streubreite der Ausprägungen der Anbauverfahrenselemente gut nachvollzogen werden. In der Aussagequalität kommt das DSS damit der von Experten sehr nahe.

8 Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis

In der wissenschaftlichen Fachliteratur wird in den letzten Jahren auf eine geringe Akzeptanz von DSS in der landwirtschaftlichen Praxis hingewiesen (z.B. SCHIEFER 1994, WAGNER 1994, LINK et al. 1995, COX 1996, PARKER und CAMPION 1997, ASCOUGH et al. 1998, GELB 1999, KUHLMANN 1999, LUCEY 1999, CARLSSON und TURBAN 2002, MCCOWN 2002a und b, ROSSKOPF und WAGNER 2003). Neben technologischen Gründen, werden v.a. Fehler bei der DSS-Konzeption sowie Verständnisprobleme der Anwender als Ursachen genannt. Trotz der schlechten Akzeptanz besteht aber ein großer Bedarf der Landwirte nach vertrauenswürdigen und wissenschaftlich fundierten DSS, die eine taktische Planung und Entscheidungsfindung unterstützen, Unsicherheiten im Entscheidungsprozess verringern, Regeln und Ziele formal vermitteln oder „nur“ zur Rechtfertigung und Dokumentation der landwirtschaftlichen Praxis dienen (z.B. COX 1996, JONES et al. 1998, MCCOWN 2002b). Neu entwickelte DSS sollten aber keine starren Handlungsalternativen vorschreiben und damit versuchen den Entscheidungsträger zu ersetzen. Vielmehr sollten sie das Wissen aus Forschung *und* Praxis nutzen („co-creating information systems“), dem Anwender die Möglichkeit geben aus Handlungen zu lernen sowie den Entscheidungsprozess zu modifizieren („Learning Laboratory“, MCCOWN 2002b, vgl. auch SCHWAIBERGER et al. 1990, SMITH et al. 1997, JONES et al. 1998, SCHIEFER 2003). Als Beratungswerkzeug sollten DSS über Mittler (Berater) an Landwirte herangebracht werden, damit sie richtig angewandt und an eine breite Basis weitergegeben werden können (LINK et al. 1995, MCCOWN 2002b).

Das vorliegende Entscheidungsunterstützungssystem soll pflanzenbauliche Entscheidungen der Anwender in für sie neuen bzw. unbekanntem oder unsicheren Situationen im Zwischenfruchtanbau unterstützen, indem es Empfehlungen zum zielorientierten Bestandesmanagement gibt. Mögliche Anwender des DSS sind neben Landwirten auch Personen aus den Bereichen Beratung, Verwaltung, Forschung und Lehre. Wichtigste Zielgruppe sind *Landwirte*, die über keine oder nur geringe Erfahrungen mit dem Zwischenfruchtanbau verfügen (z.B. Junglandwirte, Umstellungsbetriebe). Vermittelt über *Berater* kann das DSS diesen Praktikern Empfehlungen zur Etablierung und zum zielorientierten Management der Zwischenfruchtbestände geben. Das DSS strukturiert den Entscheidungsprozess, integriert Wissen aus Forschung, Beratung und Praxis, vermittelt Regeln und Ziele, quantifiziert und verringert Unsicherheiten und erfüllt somit die genannten wichtigsten Kriterien für landwirtschaftliche DSS (z.B. COX 1996, MCCOWN 2002b). Insbesondere trägt es zur Arbeitserleichterung im Planungs- und Entscheidungsprozess bei, indem es eine eingeschränkte Auswahl von Verfahrensvorschlägen zur Verfügung stellt und die einzelnen Ergebnisse analysiert und bewertet. Das DSS unterstützt auch den Lernprozess der Anwender: die Entscheidungsfindung lässt sich leicht – z.B. über geänderte Zielpräferenzen, Beschränkungen in der Auswahl von Zwischenfrüchten oder Verfahrenselementen – modifizieren. Die Handlungsalternativen werden nicht einzeln oder starr vorgegeben, sondern lassen sich über individuell wählbare Kriterien einschränken und für eine Auswahl miteinander vergleichen (vgl. SCHWAIBERGER et al. 1990). Das DSS versucht also nicht die Erfahrung und Urteilsfähigkeit des Entscheidungsträgers zu ersetzen (vgl. MCCOWN 2002b).

Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Anwendung in *Ausbildung und Lehre* (z.B. von Landwirten). Da in der Ausbildung häufig v.a. Wissen vermittelt wird (COLÉNO 1988, CARLSSON

und TURBAN 2002), bestehen die Möglichkeiten des DSS v.a. darin, die Auszubildenden dabei zu unterstützten Beurteilungen vorzunehmen und diese zu analysieren (vgl. BALDIOLI und ENGEL 1990).

Anwendungsmöglichkeiten des DSS im Bereich der *Forschung* sind v.a. im weiteren Wissenserwerb, in der verbesserten Modellierung und Repräsentation des pflanzenbaulichen Wissens sowie in der Analyse komplexer Entscheidungssituationen zu sehen (vgl. SIEKMANN und McROBBIE 1988, McCOWN 2002b). Um z.B. den Einfluss des Zwischenfruchtmanagements auf Nitratausträge oder Bodenerosion besser simulieren zu können, könnte das DSS mit umfassenderen Modellen zur Simulation der Stickstoffdynamik (z.B. HOFFMANN 1988, BLOMBÄCK und ECKERSTEN 1997, SCHÖLL et al. 1997, KERSEBAUM et al. 2001 und 2002, KERSEBAUM und BEBLIK 2001) bzw. Bodenerosionsmodellen (z.B. MCCOOL und RENARD 1990, LANGDALE et al. 1991, MEISINGER et al. 1991, BORK und SCHRÖDER 1996, FRIELINGHAUS et al. 2000 und 2001) gekoppelt werden. Zur Unterstützung ökonomisch-ökologischer Bewertungen von Landnutzungssystemen oder zur verbesserten Abbildung sich ändernder agrarpolitisch-ökonomischer Rahmenbedingungen auf betrieblicher bzw. regionaler Ebene ließe sich das DSS auch in Simulationsprogramme höherer Komplexität integrieren. Denkbar wäre z.B. die Einbindung in Fruchtfolgegeneratoren (z.B. BACHINGER et al. 2002, BACHINGER und ZANDER 2001 und 2002), agrarökonomisch-ökologische Bewertungs- und Optimierungsmodelle (z.B. ZANDER und KÄCHELE 2000, ZANDER 2001 und 2003) oder komplexe Landschaftshaushaltsmodelle (z.B. WENKEL 1999). Die hierfür nötigen Schnittstellen könnten über die integrierten Input- und Outputdateien für den Stapelverarbeitungsbetrieb des DSS (ASCII-Format) bereit gestellt werden. Der Python-Programmcode des DSS lässt sich mit speziellen Bindings für verschiedene Programmiersprachen (C, C++, Java etc.) kombinieren und eignet sich sehr gut für einen Aufruf durch externe Programme unter verschiedenen Betriebssystemen (MS Windows, Macintosh, UNIX, Linux). Für anspruchsvollere Anwendungen, die größere Datenmengen austauschen müssen, müssten zukünftig eventuell zusätzliche Datenbankschnittstellen geschaffen werden.

Die Vorteile des DSS liegen in der Zeitersparnis sowie der Erhöhung von Genauigkeit und Flexibilität der Entscheidungen (vgl. SMITH et al. 1997). Die Validierung hat gezeigt, dass das DSS auch unter variierenden Umwelt- und pflanzenbaulichen Bedingungen qualitativ richtige, genaue und übertragbare Ergebnisse erbringen kann (vgl. COLÉNO 1988). Sogenannte „Was-wäre-wenn“-Fragen (Szenarioanalysen) lassen sich mit dem DSS beantworten (vgl. MOON et al. 1998, YAKOWITZ 1998, McCOWN 2002b). Das DSS lässt sich z.B. hinsichtlich der integrierten Fruchtarten, charakteristischen Zielgrößen, des regelhaften Wissens etc. erweitern (vgl. SCHNEIDER 1994) und ist prinzipiell auch auf ähnliche Entscheidungsprobleme in der Land- und Forstwirtschaft übertragbar. Insbesondere die verwendeten unscharfen Schlussfolgerungssysteme (Fuzzy-Inferenz-Systeme) erlauben die Einbindung unsicherer Experteneinschätzungen, wie sie auch in vielen anderen Problembereichen vorliegen (z.B. ROMMELFANGER 1994, ZIMMERMANN 1996, DUNN et al. 1998, CORNELISSEN et al. 2003).

In der Praxis wurde das DSS bislang jedoch noch nicht erprobt. Eine Überprüfung des Systems in einer realen Anwendungsumgebung (unter Feldtest-Bedingungen) bzw. ein Test auf praktische Eignung einzelner Komponenten (insbesondere der Benutzeroberfläche) stehen noch aus. Ein solcher Schritt wäre wichtig, um die *Akzeptanz und Anwendungseignung* auch

bei der Zielgruppe der landwirtschaftlichen Berater zu überprüfen sowie die Partizipation und den Austausch mit potenziellen Nutzern zu intensivieren (vgl. SCHWAIBERGER 1991, SCHNEIDER 1994, LINK et al. 1995, COX 1996, PARKER und CAMPION 1997, SMITH et al. 1997, ASCOUGH et al. 1998, JONES et al. 1998, LUCEY 1999, McCOWN 2002b). Hierfür müssten insbesondere weitere mehrjährige Überprüfungen der Modellergebnisse in praktischen Feldtestversuchen erfolgen. Zeitgleich müsste das DSS auch regelmäßig gewartet werden, um die Empfehlungen immer wieder aktualisieren (z.B. die Integration neuer Sorten, Versuchsergebnisse usw., vgl. COLÉNO 1988) bzw. zusätzlichen technischen Support geben zu können (vgl. WAGNER 1994, COX 1996). Schließlich müsste auch die Anwenderfreundlichkeit des DSS über einen Prozess des Lernens und Weiterentwickelns („Learning and re-invention“, McCOWN 2002b, vgl. SMITH et al. 1997, JONES et al. 1998, MOON et al. 1998) verbessert werden. Denkbar wären hier Weiterentwicklungen bzw. Verbesserungen der Benutzeroberfläche, von Hilfefunktionen und Erläuterungen sowie die Entwicklung einer Wissensakquisitionskomponente. Da diese Aufgaben jedoch kaum im Rahmen eines wissenschaftlichen Forschungsprojektes zu bewältigen sind (z.B. PARKER und CAMPION 1997), werden zukünftige Weiterentwicklungen des DSS wohl nur in Zusammenarbeit von Wissenschaft und kommerziellen Softwareentwicklungsfirmen möglich sein. Dabei wäre erstere für die Akquisition und Aktualisierung von Expertenwissen zuständig, während letztere v.a. Aufgaben der Schnittstellenprogrammierung, Softwarepflege, Gestaltung benutzerfreundlicher Software etc. übernehmen müssten (SCHWAIBERGER 1991, LINK et al. 1995, ROSSKOPF und WAGNER 2003).

9 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die Konzeption, Entwicklung und Validierung eines computergestützten Entscheidungsunterstützungssystems (decision support system, DSS) dargestellt, das Nutzern aus Praxis, Beratung und Planung ermöglichen soll, standort-, situations- und zielbezogene Entscheidungen zur Etablierung von Zwischenfruchtbeständen zu treffen. Das DSS wurde als ein wissensbasiertes System konzipiert, das Wissen und Erfahrungen von Experten verarbeitet. Das Expertenwissen ließ sich sowohl aus mehreren Befragungen von Experten aus Wissenschaft und landwirtschaftlicher Praxis, als auch aus der wissenschaftlichen und landwirtschaftlichen Fachliteratur akquirieren.

Es konnte gezeigt werden, dass sich die Entscheidungsproblematik im Zwischenfruchtanbau mithilfe der Theorie der rationalen Entscheidungsfindung systematisch darstellen lässt. Die Entscheidungsfindung betrifft die Auswahl geeigneter Anbauverfahren, die sowohl von vielfältigen Anbauzielen (z.B. Nährstoffkonservierung, Bodenschutz), als auch von nicht bzw. nicht direkt beeinflussbaren Zustandsgrößen im Entscheidungsfeld (z.B. Anbausituation, Standorteigenschaften) bestimmt wird. Ein Zwischenfruchtanbauverfahren gliedert sich in einzelne Entscheidungsvariablen wie Zwischenfrucht, Saattermin etc., die sich auf verschiedene Ziel- bzw. Ergebnisgrößen und Bewertungsgrößen auswirken.

Mit dem Softwarepaket Matlab 5.3 (Simulink 2.2, Fuzzy Toolbox 2.0) konnte ein UNIX-basierter DSS-Prototyp entwickelt werden, der sich entsprechend der Entscheidungstheorie in Zielsystem, Entscheidungsfeld und Bewertungssystem gliedert. Aus Entscheidungsfeld und Zielsystem werden Potenziale bzw. Anforderungen an die Zielgrößen *Biomasse*, *Deckungsgrad* sowie *aufgenommene Stickstoffmenge* zu den charakteristischen Zeitpunkten *Spätherbst* und *Frühjahr* bestimmt. Angelehnt an die Entscheidungssituation eines Landwirtes erfolgt die Bewertung der Anbauverfahren durch einen Abgleich von Zielgrößenanforderungen und Zielgrößenpotenzialen. Über eine Fuzzy-Nutzenbewertung erhalten die Verfahren spezifische Zielerfüllungsgrade: diejenigen Anbauverfahren, deren Leistungspotenziale die Anforderungen zu einem bestimmten Grad erfüllen, werden in einer Matrix empfehlenswerter Verfahren zusammengefasst und nach zugehörigem Zielerfüllungsgrad sortiert.

Die Planung von Zwischenfruchtanbauverfahren erfolgt unter Unsicherheit (unsicher zu bewertende Anbauziele, nicht sicher bekannte standortspezifische Eigenschaften, wechselnde Fruchtfolgesituationen). Auch das Expertenwissen ist mit Unsicherheiten verbunden (ungegenaue Angaben, Verwendung unscharfer verbaler Bezeichnungen). Die Expertenangaben ließen sich mit unscharfen Mengen (Fuzzy-Sets) mathematisch darstellen. Unscharfe Schlussfolgerungen konnten durch Fuzzy-Inferenzsysteme formalisiert werden.

Um eine anwenderfreundliche, PC-fähige und von der Entwicklungssoftware unabhängige Stand-Alone-Software zu erhalten, wurden die entwickelten Modellstrukturen in die objektorientierte Programmiersprache Python 2.0 übersetzt und mit einer dafür entwickelten graphischen Benutzeroberfläche (GTK+ 1.3) gekoppelt. Über diese können die notwendigen Informationen eingegeben, Modellempfehlungen berechnet und die Ergebnisse benutzerfreundlich abgefragt werden. Das DSS benötigt nur wenige Eingabegrößen, für die häufig Unsicherheiten und räumliche Schwankungsbreiten eingegeben und verrechnet werden können.

Die Ergebnisse des DSS wurden anhand weiterer Experteninterviews und Literaturdaten überprüft. In die Befragungen wurden sowohl Wissenschaftler, als auch Landwirte und Berater einbezogen, um eine möglichst hohe Anwendungseignung und Akzeptanz des DSS in Praxis, Beratung und Planungsebene zu erreichen. Durch die Validierung konnte gezeigt werden, dass die einzelnen DSS-Komponenten stabile und plausible Ergebnisse liefern. Für unterschiedliche Fallbeispiele (Szenarien) kann das DSS situationsspezifische Informationen und Startbedingungen verarbeiten sowie entsprechende Experteneinschätzungen abbilden.

Dabei werden Unsicherheiten der Expertenangaben gut durch die Bandbreite der vorgeschlagenen Zwischenkulturen bzw. Anbauverfahren und durch die Streubreite der Ausprägungen der Verfahrenselemente nachvollzogen. In der Aussagequalität kommt das DSS damit der von Experten sehr nahe.

Mit dem Entscheidungshilfesystem ist es nun möglich, Landwirten unmittelbar oder mittelbar (über Berater) zielbezogene Empfehlungen zu Etablierung und Management von Zwischenfruchtbeständen zu geben. Unterschiedliche klimatische und bodenbezogene Standortbedingungen, wie sie innerhalb Deutschlands auftreten, als auch unterschiedliche Anbausituationen und Anbauziele des Zwischenfruchtanbaus finden Berücksichtigung.

Das Forschungsprojekt wurde finanziert aus Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU).

10 Summary

This thesis depicts the development of a computer-based decision support system (DSS) – including conception, implementation, and validation – supporting various users from practice, extension, and planning in making decisions on the establishment of cover crop stands in a site-specific, situation-specific and objective-oriented manner. The DSS was conceived as a knowledge-based-system processing comprehensive knowledge and experiences from experts. This expert knowledge was acquired by several interviews of farmers and researchers and by an extensive analysis of scientific and agricultural literature.

Decision-making in cover crop management was shown to be represented systematically by the theory of rational decision-making. Decisions apply the selection of appropriate cropping strategies and are determined by both, multiple cropping objectives (e.g.: nitrogen conservation, soil protection against erosion) and non-(directly)-controllable state measures in the decision space (e.g.: cropping situation, site characteristics). A cover crop management strategy is structured by single decision variables (like cover crop, sowing date etc.) effecting specific objective variables and evaluation measures.

With the software package Matlab 5.3 (Simulink 2.2, Fuzzy Toolbox 2.0) a UNIX-based DSS prototype was implemented. According to the decision theory it was structured into the components objective system, decision space, and evaluation system. From decision space and objective system specific potentials of and requirements to the objective variables *biomass*, *soil cover*, and *nitrogen uptake* at characteristic dates – *late-autumn* and *spring-time* – are determined. Following a farmer's decision situation cropping strategies are evaluated by an adjustment between requirements and potential efficiency of the crop stands. Via a fuzzy utility evaluation strategies receive specific degrees of objective fulfilment. Cropping strategies which efficiency complies with the requirements for a particular degree are combined to a matrix of recommendable strategies and sorted by the respective degree of fulfilment.

Planning of cover cropping strategies occurs with uncertainty (uncertainly valuable cropping objectives, site-specific characteristics not known for sure, changing situations of the crop rotation). Also expert knowledge is associated with uncertainties (imprecise statements, use of fuzzy linguistic terms). Expert information could be mathematically transferred into fuzzy sets. Fuzzy reasoning could be formalised by fuzzy inference systems.

For obtaining a user-friendly, portable PC software independent from the implementation software the model structure was translated into the object-oriented programming language Python 2.0 and combined with a newly-developed graphical user interface (GUI; GTK+ 1.3). Via the GUI necessary information may be entered, DSS recommendations to be calculated, and results to be edited in a user-friendly manner. The DSS requires only few input information most of which may be entered and calculated with specific uncertainties and range of spatial variation.

The results of the DSS were validated by additional expert interviews and data from literature. Experiences from scientists, farmers and advisors were consulted to obtain a maximum acceptance of the DSS on farm level as well as in extension services and the political consultancy. Through validation the DSS components were shown to provide stable and plausible results. For various case studies (scenarios) the DSS is able both, to process situation-specific information and initial values and to render results similar to respective expert recommendations. Uncertainties in expert information are mirrored by the range of recommended cover crops and cropping strategies, respectively, as well as by the variation of the decision variable values. The quality of DSS information therefore is very close to that of human experts.

With the decision support system now it is possible directly or indirectly (via extension personnel) to give farmers objective-oriented recommendations for the establishment and management of cover crop stands. Various climatic and edaphic site conditions as occurring within Germany as well as differing cropping situations and cropping objectives are reflected.

This research project was funded by the German Federal Environmental Foundation (DBU).

11 Literaturverzeichnis

ACHILLES, W., BAEY-ERNSTEN, H., FRISCH, J., FRITZSCHE, S., FRÖBA, N., FUNK, M., GRIMM, E., HARTMANN, W., KLOEPFER, F., SAUER, N., SCHWAB, M., SIEGEL, F., WEIERSHÄUSER, L., WITZEL, E. (1999): Betriebsplanung 1999/2000 - Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt: KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft, 16. Aufl., Landwirtschaftsverlag: Münster-Hiltrup.

AG BODENKUNDE (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. Arbeitsgruppe Bodenkunde der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 4. Aufl., Schweizerbart, Stuttgart, 392 S.

ALDAG, R., IBRAHIM, S.A., MEYER, B. (1977): Voraussdünung von Sommerweizen durch N-Gaben zur Vor-Zwischenfrucht Raps. Zweijährige Freilandversuche auf mitteldeutscher Löß-parabraunerde mit Nitrat- und Ammonium-Dünger-N. Göttinger Bodenkundliche Berichte 48, 235 S.

AMMON, H.-U., SCHERRER, C., MAYOR, J.-P. (1995): Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993 – Unkrautentwicklung und Bodenbedeckung. Agrarforschung 2(9), 369-372.

ASCOUGH, J.C., DEER-ASCOUGH, L.A., SHAFFER, M.J., HANSON, J.D. (1998): Subjective evaluation of decision support systems using multiattribute decision making (MADM). In: EL-SWAIFY, S.A., YAKOWITZ, D.S. [Hrsg.]: Multiple Objective Decision Making for Land, Water and Environmental Management. Proceedings of the First International Conference on Multiple Objective Decision Support Systems (MODSS) for Land, Water and Environmental Management – Concepts, Approaches and Applications. Honolulu, Hawaii, September 1996. Lewis, Boca Raton, 269-280.

AUBRY, C., PAPY, F., CAPILLON, A. (1997): Modelling Decision-Making Processes for Annual Crop Management. Agricultural Systems 56 (1), 45-65.

AUBURN, J.S., BUGG, R.L. (1991): An information data base on cover crops. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 11-14.

AUERSWALD, K. (1984): Die Bestimmung von Faktorenwerten der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung durch künstliche Starkregen. Diss. Technische Universität München, 212 S.

AUERSWALD, K. (1986): Wie entsteht, wie vermeidet man Bodenerosion? DLG-Mitteilungen 3, 1-4.

AUERSWALD, K., KAINZ, M., VOGL, W. (1986): Vergleich der Erosionsgefährdung durch Maisfruchtfolgen (C-Faktor). Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 63(1), 3-8.

AUFHAMMER, W., FIEGENBAUM, A., KÜBLER, E. (1995): Zur Problematik der Stickstoffrückstände von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) – Teil 3: Nutzung und Sicherung von Nitratstickstoff im Boden nach Ackerbohnen durch Untersaaten. Bodenkultur 46(1), 25-37.

BÄHR, G. (1998): Versuchsergebnisse zum Zwischenfruchtanbau 1986-1995. Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF). Daten der Messergebnisse in elektronisch gespeicherter Form (MS Excel).

BACHINGER, J. (1999): Mündliche Mitteilung: Expertenbefragung am 17.10.1999. Das Gedächtnisprotokoll des Experteninterviews ist im Anhang A8 dargestellt.

BACHINGER, J., HUFNAGEL, J., ROTH, R. (2002): Der Fruchtfolgegenerator – regelbasierte Generierung von Fruchtfolgen für ökologische und integrierte Produktionssysteme. Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF), Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie. <http://www.zalf.de/lnd/ffgen.pdf>, 07.08.2002.

- BACHINGER, J., ZANDER, P. (2001): Crop rotation planning tool for organic farms. - In: EFITA 2001 – Third Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and the Environment, June 18-20, 2001, Montpellier, France, Vol. 1, 89-94.
- BACHINGER, J., ZANDER, P. (2002): Modell zur Unterstützung strategischer und taktischer Fruchtfolgeplanung im Ökologischen Landbau. - In: MAIDL, F.-X., DIEPENBROCK, W. [Hrsg.]: 45. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 26.-28. September 2002, Berlin. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 14, 88-89.
- BALDIOLI, M., ENGEL, TH. (1997): Phacelia Online: Das Informationssystem für den Zwischenfruchtanbau: Berichte der GIL 10, 14-17.
- BAMBERG, G., COENENBERG, A.G. (1991): Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. WiSo-Kurzlehrbücher. Vahlen Verlag, München, 272 S.
- BARKUSKY, D. (1986): Erosionsbekämpfung im Maisbau durch konservierende Bodenbearbeitung und Untersaaten: Synthetische Information, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit, Müncheberg, 30 S.
- BARKUSKY, D. (1988): Maßnahmen zur Bekämpfung der Wassererosion beim von Anbau Silomais auf D2a/D3a-Standorten des Jungmoränengebietes der DDR. Diss. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Berlin, 96 S.
- BARKUSKY, D., FRIELINGHAUS, M. (1991): Mulchsaaten zur Verminderung der Wasser- und Winderosionsgefährdung. Feldwirtschaft 32(8), 388-390.
- BARR, A., FEIGENBAUM, E.A. (1981): The handbook of artificial intelligence, Los Altos, California.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR und PFLANZENBAU (1992): Versuchsergebnisse der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising - München. Pflanzenbauversuche in Bayern/ Zwischenfruchtanbau, Freising.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR und PFLANZENBAU (1993): Versuchsergebnisse der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising - München. Pflanzenbauversuche in Bayern/ Zwischenfruchtanbau, Freising.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR und PFLANZENBAU (1994): Versuchsergebnisse der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising - München. Pflanzenbauversuche in Bayern/ Zwischenfruchtanbau, Freising.
- BEBLIK, A.J. (1996): Beschreibung des Modells MINERVA zur Simulation des N-Haushalts. In: RICHTER, G.M. & BEBLIK, A.J. (1996): Nitrat- und Ammoniumausstrag aus Ackerböden ins Grundwasser unterschiedlich belasteter Trinkwassereinzugsgebiete Niedersachsens. Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben BEO 0339121 C, TU Braunschweig, Institut für Geographie und Geoökologie, 5-32.
- BECKER, F.A., BUHLMANN, V. (1982): Gründüngung auf Sandboden. DLG-Mitteilungen 10/82, 614-616.
- BECKMANN, E. (1998): Zum Wert von *Vicia sativa* L. und *Trifolium resupinatum* L. unter variierenden Bedingungen im Zwischenfruchtanbau. Dissertation Univ. Gießen, 150 S.
- BERENDONK, C., (1991): Zwischenfrüchte bringen Pluspunkte, Dlz Agrarmagazin 6, 64-66.
- BERENDONK, C. (1997): Zwischenfruchtanbau zum Wasserschutz. Hannoversche Land- und Forstwirtschaftliche Zeitung 26, 12-14.
- BERENDONK, C. (2001): Zwischenfrüchte zur Futternutzung, Gründüngung, Boden- und Wasserschutz 2001. Landwirtschaftskammer Rheinland, Landwirtschaftszentrum Haus Riswick, Fachbereich Grünland und Futterbau (pdf-Dokument), Kleve, 7 S.
- BERENDONK, C., THUIR, H. (1995): Empfehlungen für den Feldfutter- und Zwischenfruchtanbau sowie für die Brachebegrünung - integriert, wirtschaftlich, umweltverträglich. Landwirt-

schaftskammer Rheinland, Abt. Land- und Gartenbau, Gruppe Landbau, Referat Grünland (Selbstverlag), Bonn, 18. Aufl., 59 S.

BEGERMEIER, A., REINER, L. (1987): SAVOIR – eine Shell zur Erstellung von Expertensystemen. In: MAIER, S., MANGSTL, A. [Hrsg.]: Integrierte Systeme. 8. Jahrestagung der GIL in Weihenstephan, Oktober 1987. Agrarinformatik 13, 230-241.

BERGER, G. (1990): Untersuchungen zur Wirkung des Zwischenfruchtanbaus auf die winterliche N_{\min} -Dynamik im Boden und die N-Konservierungsleistung unter den spezifischen Bedingungen der sandigen Böden des nordostdeutschen Tieflandes. Dissertation A, Forschungszentrum Müncheberg der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR.

BERGER, G., KRETSCHMER, H. (1991): Zwischenfruchtanbau – immer eine Maßnahme zur Verringerung von Nitratauswaschung? Feldwirtschaft 32, 462-464.

BERGER, G., RICHTER, K., SCHMALER, K. (1993): Zur Wirkung des Zwischenfruchtanbaus auf die winterliche N_{\min} -Dynamik im Boden und auf die N-Konservierungsleistung unter den spezifischen Bedingungen der sandigen Böden des nordostdeutschen Tieflandes. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 6, 21-24.

BERGER, G., (2000): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte und zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen für unterschiedliche Fallbeispiele vom 31.05.2000.

BERGSTRÖM, L.F., JOKELA, W.E. (2000): Ryegrass cover crop effects on nitrate leaching in spring barley fertilized with $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$. Journal of Environmental Quality 30, 1659-1667.

BERTILSSON, G. (1988): Lysimeter studies on nitrogen leaching and nitrogen balances as affected by agricultural practices. Acta Agriculturae Scandinavica 38, 3-11.

BLOMBÄCK, K., ECKERSTEN, H. (1997): Simulated growth and nitrogen dynamics of a perennial rye grass. Agricultural and Forest Meteorology 88, 37-45.

BLOMBÄCK, K. (1998): Carbon and nitrogen in catch crop systems – modelling of seasonal and long-term dynamics in plant and soil. Dissertation Swedish Univ. of Agricultural Sciences, Uppsala. Acta universitatis agriculturae sueciae – Agraria 134, 31 S.

BOCKHOLT, K. (1996a): Untersaaten schonen Böden, Gewässer, Geldbeutel. dlz 4, 45-46.

BOCKHOLT, K. (1996b): Zwischenfrüchte mit Konzept auswählen und bestellen. dlz 7, 28-31.

BOGUSLAWSKI, E. VON, ZADRAZIL, F., DEBRUCK, J. (1976): Der Einfluß langjähriger Stroh- und Gründüngung sowie Stickstoffdüngung auf Faktoren der Bodenfruchtbarkeit. 1. und 2. Mitteilung. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 143, 249-269.

BOHLE, H., WAGNER, F. (1976): Wechselseitige Beeinflussung von Deckfrucht und Untersaat bei verschiedener Stoppellänge. Wirtschaftseigene Futter 22(1), 12-21.

BONCZEK, R.H., HOLSAPPLE, C.W., WHINSTON, A.B. (1981): Foundations of Decision Support Systems, New York.

BÖNING, H., ZEHLER, A., BÄTZ, A. (1988): Auswertung zum Versuch V 491 „Anbaueignung von Untersaaten“. Zuarbeit für FE-Bericht „Lösungen für Untersaaten in der intensiven Pflanzenproduktion zur optimalen Ausnutzung der Vegetationszeit und zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit“. FZB Müncheberg, Bad Lauchstädt, 17 S.

BORK, H.-R. (1991): Bodenerosionsmodelle – Forschungsstand und Forschungsbedarf. In: BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN [Hrsg.]: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Bd. 3 Bodenerosion. Berichte über Landwirtschaft, Neue Folge, Sonderheft 205. Parey, Hamburg und Berlin, 51-67.

BORK, H.-R., DALCHOW, C., FRIELINGHAUS, M. (1999): Bodenentwicklung, Bodenzerstörung und Schutzbedürftigkeit von Böden in der Vergangenheit. In: FRIELINGHAUS, M., BORK, H.-R. [Koord.]: Schutz des Bodens. Umweltschutz – Grundlagen und Praxis 4, Economica, Bonn, 16-28.

- BORK, H.-R., SCHRÖDER, A. (1996): Quantifizierung des Bodenabtrages anhand von Modellen. In: BLUME, H.-P. [Hrsg.]: Handbuch der Bodenkunde. 2. Lieferung, Ecomed, Landsberg/Lech, 1-44.
- BRAMM, A., CZERATZKI, W. (1977): Untersuchungen über die Wirkung unterschiedlicher Zwischenfrüchte auf einige bodenphysikalische Eigenschaften und den Nährstoffaustrag. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 25, 55-62.
- BRETSCHNEIDER-HERRMANN, B., SCHUSTER, W. (1967): Phytotron-Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur und der Tageslänge auf verschiedene Kruziferenarten mit vergleichbaren Beobachtungen zu Feldversuchsergebnissen. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 126, 33-50.
- BRUCE, R.R., HENDRIX, P.F., LANGDALE, J.W. (1991): Role of cover crops in recovery and maintenance of soil productivity. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 109-114.
- BRUNOTTE, J. (1991): Maßnahmen zum Bodenschutz im Zuckerrübenanbau. KTBL-Arbeitspapier 159, Darmstadt, 102 S.
- BRUNOTTE, J. (2000): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte und zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen für unterschiedliche Fallbeispiele vom 17.05.2000.
- BRUNOTTE, J., TIGGES, U., LÜTKE ENTRUP, N. (1992): Die Bedeutung der Zwischenfrucht in der Zuckerrübenfruchtfolge. Zuckerrübe 41(4), 224-229.
- BRUNOTTE, J., ROTH, C.H., HOLLMANN, P., SOMMER C. (1995): Was Erosionsschutz konkret bringt. DLG-Mitteilungen 8, 20-25.
- BUCHANAN B., BARSTOW, D., BECHTEL, R., BENNET, J., CLANCEY, W., KULIKOWSKI, C., MITCHELL, T., WATERMAN, D. (1983): Constructing an Expert System. In: HAYES-ROTH, F., WATERMAN, D.A., LENAT, D.B. [Hrsg.]: Building Expert Systems. Reading, 127-168.
- BUCHNER, W., KOLBE, G. (1989): Zwischenfruchtpass. Landwirtschaftskammer Rheinland (Selbstverlag), Bonn, 2. Aufl.
- BUCHNER, W. (1993a): Untersaaten im Mais. dlz 5, 35-36.
- BUCHNER, W. (1993b): Die Pflicht zur Kür machen – Herbstbegrünung und Flächenstilllegung kombinieren. dlz 6, 58-62.
- BUGG, R.L. (1991): Cover crops and control of arthropod and pests of agriculture. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 157-163.
- CARLSSON, C., TURBAN, E. (2002): DSS: directions for the next decade. Decision Support Systems 33, 105-110.
- CHAPOT, J.-Y., SCHWAB, G., HUCK, C. (1990): Estimation sur lysimètres de l'incidence de l'introduction d'un engrais vert dans une rotation blé-mais sur la lixiviation des nitrates. In: CALVET, R. [Hrsg.]: Nitrates, agriculture, eau. International symposium, Paris, November 7-8, 1990. Institut Nationale Agronomique Paris-Grignon, Frankreich, 411-416.
- CHEN, S.J., HWANG, C.-H. (1992): Fuzzy Multiple Attribute Decision Making – Methods and Applications. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- CHRISTOPH, H., BOSSE, O., OTTO, R. (1991): Bodenbearbeitung zur Stoppelfruchtbestellung nach Strohdüngung. Feldwirtschaft 32 (1), 17-20.
- CLAUPEIN, W. (1993): Strategien zur Vermeidung hoher Restnitratmengen im Boden nach dem Anbau von Ackerbohnen. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 6, 29-32.

- CLAUPEIN, W. (1994): Zwischenfruchtanbau und Untersaaten zur Verminderung des Stickstoffaustrags - Möglichkeiten und Grenzen. In: SCHULTHEISS, U., DÖHLER, H. [Hrsg.]: Strategien zur Verminderung der Nitratauswaschung in Wasserschutzgebieten. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, KTBL-Arbeitspapier 206, 51-60.
- COENEN, H. (1980): Einfluß von Anbauintensität und Anbautechnik verschiedener Zwischenfruchtarten auf die Ertrags- und Qualitätsbildung bei Zuckerrüben unter Berücksichtigung unterschiedlicher Nematodenverseuchung. Diss. Universität Bonn, 190 S.
- COLÉNO, A. (1988): Wissensbasierte Systeme zur Prozeßplanung und Prozeßführung: Einsatzmöglichkeiten in der Pflanzenproduktion. In: Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft, Frankfurt am Main [Hrsg.]: Internationaler DLG-Computercongreß. Wissensbasierte Systeme in der Landwirtschaft - Auf dem Weg zum Anwender. Bad Soden, 19.-22. Juni 1988, 64-71.
- CORNELISSEN, A.M.G., VAN DER BERG, J., KOOPS, W.J., KAYMAK, U. (2002): Elicitation of expert knowledge for fuzzy evaluation of agricultural production systems. *Agriculture, ecosystems and Environment* 95, 1-18.
- COX, D.C., BAYBUTT, P. (1981): Methods for Uncertainty Analysis: A Comparative Survey. *Risk Analysis* 1, 251-258.
- COX, P.G. (1996): Some issues in the design of agricultural decision support systems. *Agricultural Systems* 52 (2/3), 355-381.
- DAM, A.M. VAN, FU, G., (1996): Effects of low temperature, soil water content and soil type on mineralization of catch crop shoot material. In Schröder, J.J. [Hrsg.]: Long term reduction of nitrate leaching by cover crops. First progress report of EU concerted action (AIR3) 2108. AB-DLO Report 59, 20-28.
- DEBRUCK, J., FISCHBECK, G., KAMPE, W. (1983): Getreidebau aktuell. Fruchtfolge und Düngung, Bodenbearbeitung und Saattechnik, Arten- und Sortenwahl, Pflanzenschutz. 7. Aufl., DLG-Verlag u.a.: Frankfurt (Main), 199 S.
- DIEPENBROCK, W., FISCHBECK, G., HEYLAND, K.-U., KNAUER, N. (1999): Spezieller Pflanzenbau. 3. Aufl., Ulmer: Stuttgart, 523 S.
- DOLESCHSEL, P. (1992): Wie rentabel Erosionsschutz ist. *DLG-Mitteilungen* 4, 62-64.
- DORAN, J.W., SMITH, M.S. (1991): Role of cover crops in nitrogen cycling. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: *Cover Crops for Clean Water*. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 85-90.
- DRECHSLER, H., EULENSTEIN, F. (1989): Vergleich der N-Dynamik unter Zuckerrüben nach dem Anbau verschiedener Zwischenfrüchte. *Zuckerrübe* 38(6), 324-327.
- DREESMANN, S. (1994): Pflanzenbauliche Untersuchungen zu Rotklee- und Luzernegras-Grünbrachen in der modifizierten Fruchtfolge Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste. Dissertation Univ. Bonn, 1993, 112 S.
- DREESMANN, S., KÖPKE, U. (1991): Vorfruchteffekte einjähriger Leguminosen-Grünbrachen zu Senf und Zuckerrüben. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 4, 45-48.
- DRURY, C.F., STONE, J.A., FINDLAY, W.I. (1991): Influence of cover crops on denitrification and nitrogen mineralization. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: *Cover Crops for Clean Water*. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 94-96.
- DUC, G., MARIOTTI, A., AMARGER, N. (1988): Measurement of genetic variability for symbiotic dinitrogen fixation in field-grown faba bean (*Vicia faba* L.) using a low level ¹⁵N-tracer technique. *Plant and Soil* 106, 269-276.

- DUNN, E.G., KELLER, J.M., MARKS, L.A. (1998): Integrated decision making for sustainability – a fuzzy MADM model for agriculture. In: EL-SWAIFY, S.A., YAKOWITZ, D.S. [Hrsg.]: Multiple Objective Decision Making for Land, Water and Environmental Management. Proceedings of the First International Conference on Multiple Objective Decision Support Systems (MODSS) for Land, Water and Environmental Management – Concepts, Approaches and Applications. Honolulu, Hawaii, September 1996. Lewis, Boca Raton, 313-322.
- EICH, D., KÖRSCHENS, H., SCHOLZ, S., WISSING, P. (1978): Zwischenfruchtbau zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit. Empfehlungen für die Praxis: Bodenfruchtbarkeit, Markkleeberg: Landwirtschaftsausstellung der DDR, 1978, 24 S.
- EICHHORN, J. (2000a): Brachebegrünungen – Frühljahrsaussaat. Informationen für Ackerbau und Grünland 3/2000, Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz Rheinland-Pfalz, Mainz-Bretzenheim, 5 S.
- EICHHORN, J. (2000b): Zwischenfrucht- und Brachebegrünungen maximal nutzen. Informationen für Ackerbau und Grünland 7/2000, Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz Rheinland-Pfalz, Mainz-Bretzenheim, 6 S.
- EICHLER, B. (1997): Phosphataufnahme von Zwischenfrüchten und deren Beitrag zur Nutzung akkumulierter Phosphate im Boden unter Low-Input-Bedingungen. Diss. Universität Rostock, 135 S.
- ELERS, B., HARTMANN, H.D. (1986): Biologische Konservierung von Nitrat über Winter. VDLUFA-Schriftenreihe 20 (Kongreßband), 427-439.
- ELERS, B., HARTMANN H. D. (1987): Welche Zwischenfrüchte binden das meiste Nitrat? DLG-Mitteilungen, 102, 526-529.
- EL-SWAIFY, S.A. (1998): (MADM). land use planning for sustainable agriculture – are environmental conflicts inevitable? In: EL-SWAIFY, S.A., YAKOWITZ, D.S. [Hrsg.]: Multiple Objective Decision Making for Land, Water and Environmental Management. Proceedings of the First International Conference on Multiple Objective Decision Support Systems (MODSS) for Land, Water and Environmental Management – Concepts, Approaches and Applications. Honolulu, Hawaii, September 1996. Lewis, Boca Raton, 9-22.
- ENGEL, T. (1997): Nutzung von Informatik und Elektronik zur Systemanalyse und Unterstützung einer nachhaltigen Landwirtschaft. Habilitationsschrift, Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau der Technischen Universität München. Schriftenreihe der Zentralstelle für Agrardokumentation und -information (ZADI) 9, Bonn. 269 S.
- ESSER, J., LÜTKE ENTRUP, E. (1982): Ackerfutterbau und Gründüngung haben Zukunft: Die Arten und ihr Wert, Anbauformen und Nutzung. Landwirtschaftliche Schriftenreihe Boden, Pflanze, Tier: 19, Ruhr-Stickstoff AG Bochum, Landwirtschaftsverlag: Münster-Hiltrup, 120 S.
- EULENSTEIN, F. (1988): Verschiedene Zwischenfrüchte vor der Zuckerrübe und das Rübenblatt als Stickstoff-Überträger innerhalb der Rotation Rüben – Weizen – Gerste (Weizen) in vier niedersächsischen Marktfrucht-Betrieben mit unterschiedlicher Ackerbautechnik auf Löß-Parabraunerden. Diplomarbeit am Institut für Bodenkunde, Georg-August-Universität Göttingen, 124 S.
- EVANYLO, G.K. (1991): Rye nitrogen cycling for corn and potato production. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 101-103.
- FIGENBAUM, A. (1993): Die Wirkung pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die Stickstoffdynamik im System Boden-Pflanze nach Ackerbohnen. Dissertation Univ. Hohenheim, 166 S.
- FLAKE, M. (2000): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte und zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen für unterschiedliche Fallbeispiele vom 15.06.2000.

- FOERSTER, P. (1987): Restnitrat im Boden – Minderung durch Zwischenfrüchte. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems 134(17), 34-36.
- FOERSTER, P., KLEINE, K. (1990): Einfluß von Zwischenfrüchten bei unterschiedlicher Zwischenfruchtverwertung und Gülledüngung auf die N_{\min} -Mengen im Boden und auf die N-Aufnahme in den Pflanzen. Kali-Briefe (Büntehof) 20 (3), 241-260.
- FRICKE, E., BAUMGÄRTEL, G.K., SEVERIN, K. (1996): N- und K-Düngung mit Kartoffelfruchtwasser: Erträge und Nährstoffausnutzung bei Zwischenfrüchten und Getreide. 108. VDLUFA-Kongress, Trier, vom 16-21 Sep 1996. Darmstadt, VDLUFA-Schriftenreihe 44, 489-494.
- FRIELINGHAUS, M., DEUMLICH, D., FUNK, R., HELMING, K., KRETSCHMER, H., ROTH, R., THIÈRE, J., VÖLKER, L., WINNIGE, B. (1997a): Merkblätter zur Bodenerosion in Brandenburg. ZALF-Bericht 27, Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung, Müncheberg, 56 S.
- FRIELINGHAUS, M., HÖFLICH, G., JOSCHKO, M., ROGASIK, H., SCHÄFER (1997b): Auswertung eines Langzeitexperimentes zur konservierenden Bodenbearbeitung von Sandböden und Einschätzung des Erfolges. Arch. Acker- Pfl. Boden 41, 383-402.
- FRIELINGHAUS, M., DEUMLICH, D., FUNK, R., SCHÄFER, H., BEESE, F., ELLERBROCK, R., MÜLLER, L., ROGASIK, H. (1999): Modelle und Methoden zur Abschätzung der Risiken der Bodennutzung. In: FRIELINGHAUS, M., BORK, H.-R. [Koord.]: Schutz des Bodens. Umweltschutz – Grundlagen und Praxis 4, Economica, Bonn, 52-95.
- FRIELINGHAUS, MO., PETELKAU, H., SCHÄFER, H., SEIDEL, K. MÜLLER, L. (2001): Soil indicator systems - the basis for soil conservation decisions to control soil erosion and soil compaction. Archives of Agronomy and Soil Science 47 (1-2), 19-35.
- FRIELINGHAUS, M., SCHÄFER, H. (1999): Umsetzung des praktischen Bodenschutzes. In: FRIELINGHAUS, M., BORK, H.-R. [Koord.]: Schutz des Bodens. Umweltschutz – Grundlagen und Praxis 4, Economica, Bonn, 96-117.
- FRIELINGHAUS, MO., WINNIGE, B. SCHÄFER, H. (2000): Soil surface cover indication and management for soil erosion control. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 93: 220-223.
- GARBE, V. (1987): Verunkrautung und Auftreten von Schädlingen bei unterschiedlichen Systemen der Bodenbearbeitung zu Zuckerrüben, Dissertation Univ. Göttingen, 108 S.
- GARDNER, J.C., FAULKNER, D.B. (1991): Use of cover crops with integrated crop-livestock production systems. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 185-191.
- GEBAUER, W.-G. (1993): Pluspunkte in Wasserschutzgebieten. dlz 5, 36-37.
- GEISLER, G. (1983): Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Parey: Berlin u.a.
- GEISLER, G. (1988): Pflanzenbau. Ein Lehrbuch. Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. 2. Aufl., Parey: Berlin u.a., 530 S.
- GELB, E.M. (1999): Adoption of IT by Farmers. Does Reality Reflect the Potential Benefit? In: RICKERT, U., HELBIG, R., SCHIEFER, G. [Hrsg.]: Role and Potential of IT, Intranet and Internet for Advisory Services. Proceedings of an European Symposium as Part of the Second European Conference of the European Federation of Information Technology in Agriculture, Food and Environment (EFITA), September 27-30, 1999. Universität Bonn, 13-23.
- GERHOLD, K.H. (1993): Maiszwischenfrüchte. Die Grüne 129(40), 28-31.
- GOECK, J. (1989): Untersuchungen zur Wassererosion im Silomaisanbau mit und ohne Untersaat (Weißklee) bei variierten Saatterminen unter Berücksichtigung der Ertragsleistung. Dissertation Universität Kiel, 138 S.

- GOECK, J. (1989): Erosion control in maize fields in Schleswig-Holstein (F.R.G.). In: SCHWERTMANN, U. et al. [Hrsg.]: Soil erosion protection measures in Europe. Proceedings of the European Community Workshop on Soil Erosion Protection, Freising, Germany, May 24-26, 1988. Soil Technology Series 1, Catena, Cremlingen, 83-92.
- GRÖBLINGHOFF, F.-F., BLOME, K.-H., LÜTKE ENTRUP, N. (1991): Zwischenfrüchte in Fruchtfolgen mit Zuckerrüben richtig nutzen. *Feldwirtschaft* 32 (9), 417-420.
- GRÖBLINGHOFF, F.F., LÜTKE ENTRUP, N. (2000): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte und zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen für unterschiedliche Fallbeispiele vom 30.05.2000.
- GRUBER, W. (1994): Viele Verfahren für die Zwischenfruchtbestellung. *Landwirtschaftliches Wochenblatt Westfalen-Lippe* 151(24), 36-37.
- GRUNDWÜRMER, J. (1991): Erfahrungen mit dem Erosionsschutz in der landwirtschaftlichen Praxis. In: BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN [Hrsg.]: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Bd. 3 Bodenerosion. Berichte über Landwirtschaft, Neue Folge, Sonderheft 205. Parey, Hamburg und Berlin, 117-133.
- GUERTAL, E.A., SIKORA, E.J., HAGAN, A.K., RODRÍGUEZ-KÁBANA, R. (1998): Effect of winter cover crops on populations of southern root-knot and reniform nematodes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 70, 1-6.
- GUIRAUD, G., MARTINEZ, J., LATIL, M., MAROL, C. (1990): Action d'une culture dérobée sur la bilan d'un engrais azoté. In: CALVET, R. [Hrsg.]: Nitrates, agriculture, eau. International symposium, Paris, November 7-8, 1990. Institut Nationale Agronomique Paris-Grignon, Frankreich, 425-430.
- GUNN, A., SUTCLIFFE, G., WALKER, D. (1999): Knowledge acquisition for natural resource management. *Computers and Electronics in Agriculture* 23(1), 71-82.
- GUSTAFSON, A. (1987): Nitrate leaching from arable land in Sweden under four cropping systems. *Swedish Journal of Agricultural Research* 17, 169-177.
- GUTSER, R., VILSMEIER, K. (1988): Mineralisation verschiedener Zwischenfrüchte und N-Verwertung durch Pflanzen. *Kali-Briefe* 19, 199-211.
- HAMBY, D.M. (1994): A Review of Techniques for Parameter Sensitivity Analysis of Environmental Models. *Environmental Monitoring Assessment* 32, 135-154.
- HAMANN, M. (2001): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte und zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen für unterschiedliche Fallbeispiele vom 26.01.2001.
- HAMMANN, H. (1987): Methode 'Immergrün' im Getreide und Mais und nach Mais. *Die Grüne* 115(28), 23-26.
- HAMPL, U. (1996): *Gründüngung: Grundlage der Bodenfruchtbarkeit*. Stocker: Graz u.a., 119 S.
- HARENBERG, A. (1997): Auswirkungen abgestuft extensiv geführter Anbausysteme in verschiedenen Fruchtfolgen (Raps-, Zuckerrübenfruchtfolge) und einer selbstbegründenden Dauerbrache auf Spinnen (Arachnida: Araneae). Diss. Technische Universität Braunschweig.
- HARGROVE, W.L. (1986): Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. *Agronomy Journal* 78, 70-74.
- HARLFINGER, E. (1980): Einfluß der Zwischenfrucht auf die Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit. Synthetische Information. Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit, Müncheberg, 21 S.
- HARSH, B. (1988): Künstliche Intelligenz – Methoden und Werkzeuge und die Bedeutung des Wissenserwerbs. In: Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft, Frankfurt am Main [Hrsg.]: Inter-

nationaler DLG-Computercongreß. Wissensbasierte Systeme in der Landwirtschaft - Auf dem Weg zum Anwender. Bad Soden, 19.-22. Juni 1988, 189-212.

HAUSCHILDT, J. (1977): Entscheidungsziele: Zielbildung in innovativen Entscheidungsprozessen, Tübingen.

HAUSCHILDT, J. (1990): Methodische Anforderungen an die Ermittlung des Wissensbasis von Expertensystemen. Die Betriebswirtschaft 4, 525-537.

HAYES-ROTH, F., WATERMAN, D.A., LENAT, D.B. (1983): An Overview of Expert Systems. In: HAYES-ROTH, F., WATERMAN, D.A., LENAT, D.B. [Hrsg.]: Building Expert Systems. Reading, 3-30.

HEGE, U. (1998): Pflanzenernährung und Düngung. In: DÖRFLER, J. [Hrsg.]: Die Landwirtschaft. Lehrbuch für Landwirtschaftsschulen. Bd. 1: Pflanzliche Erzeugung. 11. Aufl. BLV [u.a.]: München, 744 S.

HERZOG, A., KONRAD R. (1992): Nitrogen movement in arable soil and ways of reducing nitrogen losses - preliminary results. J. Agron. Crop Sci. 169: 135-142.

HEß, J., FRANKEN, H. (1988): Über die Reduzierung von Nitratverlusten nach Leguminosen durch den Anbau von Cruciferen. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 57, 55-60.

HEYLAND, K.-U., MERKELBACH, H. (1991): Die Möglichkeiten des Einsatzes von Untersaaten zur Unkrautunterdrückung sowie Konkurrenzwirkungen von Unkraut und Untersaat auf die Ertragsbildung des Winterweizens. Bodenkultur 42(4), 347-359.

HOFFMANN, F. (1988): Ergebnisse von Simulationsrechnungen mit einem Bodenstickstoffmodell zur Düngung und zum Zwischenfruchtbau in Trinkwasserschutzgebieten. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 151, 281-287.

HOFFMANN, F. (1996): Zwischenfruchtanbau im Trockengebiet? Erfahrungen aus Rheinhesen. Deutsche Zuckerrübenzeitung 32(4), 12-13.

HOFFMANN, F. (2000): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte und zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen für unterschiedliche Fallbeispiele vom 19.05.2000.

HOLDERBAUM, J.F., DECKER, A.M., MEISINGER, J.J., MULFORD, F.R., VOUGH, L.R. (1990): Fall-seeded legume cover crops for no-tillage corn in the humid east. Agronomy Journal 82, 117-124.

HOLSAPPLE, C.W. (2001): Knowledge management decision support of decision making. Decision Support Systems 31, 1-3.

HÖNER, G. (1994): Preiswerte Sätechnik für Grünbrache und Zwischenfrüchte. top agrar 7, 68-71.

HOSHMAND, A.R. (1994): Statistical Methods for Environmental and Agricultural Sciences. CRC Press, Boca Raton/Florida, 439 S.

HOYT, G.D., MIKKELSEN, R.L. (1991): Soil nitrogen movement under winter cover crops and residues. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 91-94.

HUISMANN, W. (1987): Künstliche Intelligenz zur Optimierung des landwirtschaftlichen Betriebes – Managementunterstützung durch Kombination von Simulation, Experten- und Datenbankmanagementsystemen. In: MAIER, S., MANGSTL, A. [Hrsg.]: Integrierte Systeme. 8. Jahrestagung der GIL in Weihenstephan, Oktober 1987. Agrarinformatik 13, 124-135.

HUTH, A. (2003): Mündliche Mitteilung vom 27.01.2003.

- ILGEN, B. (1990): Wachstumsverlauf und N-Aufnahme verschiedener Zwischenfruchtarten in Abhängigkeit vom NO₃-N Angebot im Boden. Dissertation ETH Zürich, 9105, 112 S.
- INGELS, C., HORN, M.V., BUGG, R.L., MILLER, P.R. (1994): Selecting the right cover crop gives multiple benefits. *California Agriculture* 48 (5), 43-48.
- JACKSON, L.E., WYLAND, L.J., STIVERS, L.J. (1993): Winter cover crops to minimize nitrate losses in intensive lettuce production. *Journal of Agricultural Science* 121, 55-62.
- JANZEN, H.H., MCGINN, S.M. (1991): Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure. *Soil Biology and Biochemistry* 23, 291-297.
- JENSEN, E.S. (1991): Nitrogen accumulation and residual effects of nitrogen catch crops. *Acta Agriculturae Scandinavica* 41, 333-344.
- JONES, A.C., EL-SWAIFY, S.A., GRAHAM, R., STONEHOUSE, D.P., WHITEHOUSE, I. (1998): A synthesis of state-of-the-art on multiple objective decision making for managing land, water and the environment. In: EL-SWAIFY, S.A., YAKOWITZ, D.S. [Hrsg.]: *Multiple Objective Decision Making for Land, Water and Environmental Management. Proceedings of the First International Conference on Multiple Objective Decision Support Systems (MODSS) for Land, Water and Environmental Management – Concepts, Approaches and Applications*. Honolulu, Hawaii, September 1996. Lewis, Boca Raton, 719-729.
- JUERGENS-GSCHWIND, S. (1989): Ground water nitrate in other developed countries (Europe) – relationships to land use patterns. In: FOLLETT, R.F. [Hrsg.]: *Nitrogen management and ground water protection. Developments in agricultural and managed-forest ecology* 21, Elsevier, Amsterdam u.a., 75-138.
- JUSTUS, M. (1996): Optimierung des Anbaues von Ackerbohnen – Reduzierung von Nitratverlusten und Steigerung der Vorfruchtwirkung zu Sommergetreide. Schriftenreihe des Instituts für Organischen Landbau 3, Dissertation Univ. Bonn, 131 S.
- JUSTUS, M., KÖPKE, U. (1990): Drei Strategien zur Reduzierung von Nitratverlusten beim Anbau von Ackerbohnen. 34. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Bonn, vom 27-29 Sep. 1990. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 3, 187-190.
- JUSTUS, M., KÖPKE, U. (1991): Ackerbohnen: Anbauverfahren zur Reduzierung von Nitratverlusten und Steigerung der Vorfruchtwirkung. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 4, 331-334.
- KAINZ, M. (1989): Runoff, erosion and sugar beet yields in conventional and mulches cultivation results of the 1988 Experiments. In: SCHWERTMANN, U. et al. [Hrsg.]: *Soil erosion protection measures in Europe. Proceedings of the European Community Workshop on Soil Erosion Protection*, Freising, Germany, May 24-26, 1988. *Soil Technology Series* 1, Catena, Cremlingen, 103-114.
- KAINZ, M. (1991): Schutzmaßnahmen gegen Bodenerosion. In: BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN [Hrsg.]: *Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit*, Bd. 3 Bodenerosion. *Berichte über Landwirtschaft, Neue Folge, Sonderheft 205*. Parey, Hamburg und Berlin, 83-98.
- KELLING, A. (1991): Entscheidungen und Entscheidungsunterstützungssysteme auf der betrieblichen Ebene. Bericht B 91/4, Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre der Rheinischen Friedrichs-Wilhelm-Universität Bonn, Bonn.
- KERSEBAUM, K.-C. (1999): Mündliche Mitteilung.
- KERSEBAUM, K.-C., BEBLIK, A.J. (2001): Performance of a nitrogen dynamics model applied to evaluate agricultural management practices. - In: SHAFFER, M.J., MA, L., HANSEN, S. [Hrsg.]: *Modeling carbon and nitrogen dynamics for soil management*, Lewis: Boca Raton, 549-569.

- KERSEBAUM, K.-C., LORENZ, K., WENDROTH, O., REUTER, H.I., SCHWARZ, J., JÜRSCHIK, P. (2001): Effects of site specific nitrogen fertilization on nitrogen leaching. Comparison of different strategies in arable fields based on observations and simulations. In: EFITA 2001 – Third Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and the Environment, June 18-20, 2001, Montpellier, France, Vol. 2., 683-688.
- KERSEBAUM, K.-C., LORENZ, K., REUTER, H.I. WENDROTH, O. (2002): Modeling Crop Growth and Nitrogen Dynamics for Advisory Purposes Regarding Spatial Variability. - In: AHUJA, L.R., MA, L., HOWELL, T.A. [Hrsg.]: Agricultural System Models in Field Research and Technology Transfer, Lewis: Boca Raton, 229-252.
- KESSEL, R., DAHMS, K.-P. (1991): Mulchsaatverfahren in der Zuckerrübenbestellung – Erfahrungen und Erkenntnisse aus Produktionsexperimenten auf DN-Standorten Mecklenburgs. *Feldwirtschaft* 32(9), 415-417.
- KESSEL, W.-C. VON (1994): Fragen der Fruchtfolge und Zwischenfruchtprobleme. *Zuckerrübe* 43(4), 230-234.
- KLASSE, H.-J. (1988): Entwicklung einer Schnellmethode zur Bestimmung des Ammoniumstickstoffs in Gülle und Klärschlamm sowie Lysimeterversuche zur Beurteilung von Strohdüngung und Zwischenfruchtanbau als Maßnahmen zur Konservierung von Stickstoff aus der Gülledüngung, Dissertation Univ. Bonn, 157 S.
- KLÄY, R. (1984): Untersaaten zu Mais – gegenseitige Beeinflussung von Unterkultur und Mais, sowie Auswirkungen auf Bodenstruktur, Nitratauswaschung, Stickstoff-Fixierung und die Entwicklung der Folgekulturen. Dissertation, ETH Zürich, 203 S.
- KLIMANEK, E.-M. (1987a): Dynamik der C- und N-Mineralisierung von Ernte- und Wurzelrückständen. In: Quantifizierung des Stickstoffkreislaufes unter besonderer Berücksichtigung der Mineralisierung organischer Substanz und Maßnahmenkombinationen für Höchsterträge. Vorträge anlässlich des Symposiums im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen dem FZB Müncheberg und dem IUNG Pulawy vom 29. Mai bis 2. Juni 1987 in Bad Lauchstädt. Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit, Müncheberg, 42-54.
- KLIMANEK, E.-M. (1987b): Ernte- und Wurzelrückstände landwirtschaftlich genutzter Fruchtarten. Wissenschaftliche Einzelveröffentlichung. Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit, Müncheberg, 56 S.
- KLINKMANN, D. (2000): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte für unterschiedliche Fallbeispiele vom 29.05.2000.
- KLUGE, T., SCHRAMM, E. (1990): Gründüngung zwischen Bodenverbesserung und Grundwasserbelastung: eine sozial-ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Nutzung von Wassereinzugsgebieten. Sozial-ökologische Arbeitspapiere 37, Institut für Sozial-ökologische Forschung, Frankfurt am Main, 42 S.
- KOCH, U. (1997): Beurteilung von langfristig differenzierten Bewirtschaftungssystemen in dreifeldrigen Zuckerrübenfruchtfolgen und deren Nachwirkungen. Diss. Universität Bonn, 147 S.
- KÖNIG, U.J. (1996): Zwischenfruchtanbau von Leguminosen: Verfahren zur Minimierung der Nitratausträge und Optimierung des N-Transfers in die Folgefrüchte. Schriftenreihe des Institutes für Biologisch-Dynamische Forschung, Darmstadt, 6, 148 S.
- KORTE, K. (1989): Auswirkungen der konservierenden Bodenbearbeitung auf Unkrautentwicklung und Unkrautbekämpfung sowie den Ertrag bei Zuckerrübe und Mais. Dissertation Univ. Göttingen, 109 S.
- KREMER-SCHILLINGS, W. (1981): Untersuchung zur Wirkung von Zwischenfrüchten auf Ertrag und Qualität einer Fruchtfolge - Diss. Univ. Bonn, 133 S.
- KREIL, W., SIMON, W., WOJAHN, E. (1983): Futterpflanzenbau – Empfehlungen, Richtwerte, Normative. Bd. 2: Ackerfutter. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 255 S.

- KREISSTELLE SOEST (2000): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte für unterschiedliche Fallbeispiele vom 04.05.2000.
- KREUZ, E., ROTH, R., RIETSCH, S. (1988): Ergebnisse und Erfahrungen beim Anbau von Untersaaten. *Feldwirtschaft* 29(8), 365-367.
- KREUZ, E. (1990a): Einfluß einer Knautgras-Untersaat auf Korn- und Strohertrag sowie auf die Strohqualität der Deckfrucht Wintergerste. *Feldwirtschaft* 31 (2), 65-67.
- KREUZ, E. (1990b): Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und Erhöhung sowie Stabilisierung der Erträge durch Knautgras-Untersaat. *Feldwirtschaft* 31(8), 358-360.
- KREUZ, E. (1991a): Der Anbauwert des Knautgrases im integrierten Pflanzenbau. *KALI-Briefe*, 20(9), 743-746.
- KREUZ, E. (1991b): Einfluß der Witterung auf die Erträge von Knautgras-Zwischenfrucht und die Auswirkungen auf die Nachfrüchte in Dreifelder-Fruchtfolgen. *KALI-Briefe* 20(9), 737-742.
- KREUZ, E. (1991c): Untersaaten im Getreide. *Feldwirtschaft* 32(6), 285-286.
- KREUZ, E. (2000): Schriftliche Mitteilung, 16.05.2000.
- KUHLMANN, F. (1999): Farm level information systems: Development and Perspectives. In: SCHIEFER, G., HELBIG, R., RICKERT, U. [Hrsg.]: *Perspectives of Modern Information and Communication Systems in Agriculture, Food Production and Environmental Control (Vol. A). Proceedings of the Second European Conference of the European Federation of Information Technology in Agriculture, Food and Environment (EFITA), September 27-30, 1999.* Universität Bonn, 7-17.
- KÜHN, G. (2001): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte und zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen für unterschiedliche Fallbeispiele vom 31.01.2001.
- KÜNKEL, K., STEINBRENNER, K. (1988): Anbauplanung und Fruchtfolgegestaltung in Trinkwasserschutzgebieten. *Feldwirtschaft* 29, 369-371.
- KURBEL, K. (1992): *Entwicklung und Einsatz von Expertensystemen: eine anwendungsorientierte Einführung in wissensbasierte Systeme.* Springer, Berlin, New York u.a., 2. Aufl., 212 S.
- KVIST, M. (1992): *Catch crops undersown in spring barley – competitive effects and cropping methods.* *Crop production science* 15, Dissertation Univ. Uppsala/Schweden, 210 S.
- LAL, R., REGNIER, E., ECKERT, D.J., EDWARDS, W.M., HAMMOND, R. (1991): Expectations of cover crops for sustainable agriculture. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: *Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee.* Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 1-10.
- LANGDALE, G.W., BLEVINS, R.L., KARLEN, D.L., MCCOOL, D.K., NEARING, M.A., SKIDMOORE, E.L., THOMAS, A.W., TYLER, D.D., WILLIAMS, J.R. (1991): Cover crops effects on soil erosion by wind and water. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: *Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee.* Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 15-22.
- LATUS, C., WURBS, A., MERBACH, W. (1996): Zeitweilige Konservierung von Stickstoff durch Zwischenfrüchte und dessen Nutzung durch Folgefrüchte. In: MERBACH, W., BORK, H.-R. [Hrsg.]: *Kohlenstoff- und Stickstoffumsatz im System Pflanze - Boden.* ZALF-Bericht 23, 115-118.
- LAUX, H. (1982): *Entscheidungstheorie. Grundlagen.* Heidelberger Lehrtexte Wirtschaftswissenschaften. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 349 S.
- LEHMANN, J. (1987): Zwischenfutter ist mehr als nur Grünfutter. *Die Grüne* 115(28), 9-18.
- LEHMANN, J., BRINER, H.U., ROSENBERG, E. (1991): Zwischenkulturen - was können sie und was können sie nicht? *Landwirtschaft Schweiz* 4(4), 151-158.

- LEHMANN, J., ROSENBERG, E. (1991): Zwischenkulturen und ihre Verwendung. Landwirtschaft Schweiz 4(4), 159-162.
- LEMON, R.G., HONS, F.M., SALADINO, V.A. (1990): Tillage and clover cover crop effects on grain sorghum yield and nitrogen uptake. Journal of Soil and Water Conservation 45, 125-127.
- LICKFETT, T., WILDENHAYN, M., PRZEMECK, E. (1994): Zuviel Nitrat nach Raps – was tun? DLG-Mitteilungen 8/94, 32-33.
- LIEBOLD, L. (2000): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte und zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen für unterschiedliche Fallbeispiele vom 21.08.2000.
- LINK, P., KUHLMANN, F., WAGNER, P. (1995): Expertensysteme in der Landwirtschaft – Bestandsaufnahme und Perspektiven. Berichte über Landwirtschaft 73 (1), 1-32.
- LITWIN, U. (1987): Bestimmungsgründe und Meßbarkeit des Nutzens computergestützter Entscheidungshilfen. In: MAIER, S., MANGSTL, A. [Hrsg.]: Integrierte Systeme. 8. Jahrestagung der GIL in Weihenstephan, Oktober 1987. Agrarinformatik 13, 115-123.
- LOH, M. (1983): Auswirkungen verschiedener Zwischenfrüchte auf die Aggregatstabilität einer Parabraunerde aus Löß., Diss. Universität Bonn, 132 S.
- LUCEY, S. (1999): MORPH - Delivering the Benefits of Decision Support Systems. In: SCHIEFER, G., HELBIG, R., RICKERT, U. [Hrsg.]: Perspectives of Modern Information and Communication Systems in Agriculture, Food Production and Environmental Control (Vol. A). Proceedings of the Second European Conference of the European Federation of Information Technology in Agriculture, Food and Environment (EFITA), September 27-30, 1999. Universität Bonn, 391-394.
- LUNA, J. (2002): Multiple Impacts Cover Crops in Farming Systems. Department of Horticulture, Oregon State University, Corvallis/Oregon, USA. http://ifs.orst.edu/pubs/multiple_impacts_cover_cro.html, vom 17.04.2002.
- LÜTKE ENTRUP, N. (1992a): Brache begrünen mit Untersaaten? DLG-Mitteilungen 10, 40-42.
- LÜTKE ENTRUP, N. (1992b): Nach Ackerbohnen Nitrat binden und nutzen. dlz 3, 86-88.
- LÜTKE ENTRUP, N. (1993): Mit Untersaaten kostengünstig begrünen. top agrar 3, 86-91.
- LÜTKE ENTRUP, N., STEMANN, G. (1990): Biologische Stickstoffbindung durch Ackerbohnen und Stickstoffsicherung mit Untersaaten. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 3, 285-288.
- LÜTKE ENTRUP, N., STEMANN, G. (1993): Untersaaten in Ackerbohnen speichern Stickstoff. top agrar 3, 92-93.
- LÜTKE ENTRUP, N. (1995): Zwischenfrüchte verbessern die Fruchtfolge, Dlz Agrarmagazin 6, 20-24.
- LÜTKE ENTRUP, N. (1998): Mündliche Mitteilung: Expertenbefragung, Soest, März 1998.
- LÜTKE ENTRUP, N., BLOME, K.-H., 1990 Zwischenfrüchte mit hohem Wert - In Produktionskreisläufen denken. Dlz Agrarmagazin 6, 12-17.
- LÜTKE ENTRUP, N., BRODOWSKI, N., DÖRENDAHL, A. (1998a): Integration von spezifischen Begrünungsverfahren in Bodennutzungssysteme durch Untersaaten in Getreide als Bausteine umweltverträglicher Produktionsverfahren zum Schutz des Bodens und der Gewässer. Abschlussbericht über das Forschungsvorhaben 04400 der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Universität-Gesamthochschule Paderborn, Abteilung Soest, Fachbereich Agrarwirtschaft, 74 S.

- LÜTKE ENTRUP, N., GRÖBLINGHOFF, F.F., BLOME, K.-H. (1990): Ökologische und ökonomische Nutzung des Zwischenfruchtanbaues im integrierten Pflanzenbau - Abschlußbericht des Forschungsprojektes.
- LÜTKE ENTRUP, N., GRÖBLINGHOFF, F.F. (2000): Experteninterview vom 13.03.2000, Soest. Das Gedächtnisprotokoll des Experteninterviews ist im Anhang A8 dargestellt.
- LÜTKE ENTRUP, N., SCHLAUTMANN, C., GRÖBLINGHOFF, F.F. (1998b): Umweltverträglicher Anbau von Körnerleguminosen (Ackerbohnen) zur Extensivierung der Pflanzenproduktion durch Untersaat von Gräsern für die Herbst- und Winterbegrünung, zur Verminderung des Nitrataustrages, zum Schutz des Bodens und des Grundwassers sowie Untersuchungen zur Integration und Bewertung in Anbausystemen. Schlussbericht über das Forschungsvorhaben 91 HS 016 des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Universität-Gesamthochschule Paderborn, Abteilung Soest, Fachbereich Agrarwirtschaft, 93 S.
- LÜTKE ENTRUP, N., ZERHUSEN, P. (1992): Mais und Umwelt. Eine Studie über die Umweltverträglichkeit des Maisanbaus – Probleme und Lösungsansätze. Studien zur Agrarökologie 4, Kovač, Hamburg, 269 S.
- LÜTTMANN, G., MÜLLER, J. (1994): Grasuntersaat – Viele Erfahrungen liegen vor. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems 141(12), 18-21.
- MACHET, J.M., MARY, B. (1989): Impact of agricultural practices on the residual nitrogen in soil and nitrate losses. In: GERMON, C. [Hrsg.]: Management systems to reduce impact of nitrates. Proceedings of a conference held in Brussels, 24-25 September, 1987. Elsevier Applied Science, Barking, UK, 126-145.
- MAG, W. (1990): Grundzüge der Entscheidungstheorie. WiSt-Taschenbücher wirtschaftswissenschaftliches Studium. Verlag Vahlen, München, 233 S.
- MAIDL, F.X., AIGNER, A. (1998): Bedeutung von Anbauverfahren und Zwischenfruchtarten für N-Konservierung und Nitrataustrag. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 11, 115-116.
- MAIDL F.X., BRUNNER H. (1998): Strategien zur Umsetzung einer flächendeckend gewässer-schonenden Landbewirtschaftung – Ableitung standortspezifischer Bewirtschaftungsanforderungen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt: KTBL-Arbeitspapier 252, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 230 S.
- MAIDL, F.X., SUCKERT, J., FUNK, R., FISCHBECK, G. (1991): Standorterhebungen zur Stickstoffdynamik nach Anbau von Körnerleguminosen. Journal of Agronomy and Crop Science 167(4), 259-268.
- MAIDL S., GRUNDWÜRMER J. (1996): Damit der Boden bleibt, wo er hingehört, ist der Erosionsschutz auf Hanglagen Thema Nr. 1. dlz 3, 62-65.
- MAIER, A. (1998): Vergleichende Versuche zum umweltschonenden Anbau von Silomais und alternativen Pflanzenarten im Kraichgau zur Ganzpflanzensilage-Gewinnung für die Bullenmast. Dissertation Univ. Hohenheim, 148 S.
- MANZKE, F., CLAUPEIN, W. (1991): Schätzung der symbiontisch fixierten Stickstoffmenge mit der erweiterten Differenzmethode. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 4, 293-296.
- MARTIN, W. (1990): Bodenerosion durch Wasser – Standort und Nutzung entscheiden. dlz 3, 54-58.
- MARTINEZ, J., GUIRAUD, G. (1990): A lysimeter study of the effects of a ryegrass catch crop, during a winter wheat/maize rotation, on nitrate leaching and on the following crop. J. Soil Sci. 41, 5-16.
- MATTHEWS, K.B, SIBBALD, A.R, CRAW, S. (1999): Implementation of a spatial decision support system for rural land use planning: integrating geographic information system and envi-

ronmental models with search and optimisation algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture* 23 (1), 9-26.

MCCOOL, D.K., RENARD, K.G. (1990): The revised universal soil loss equation. *Proceedings of the International Symposium on Water Erosion, Sedimentation, and Resource Conservation*. Central Soil and Water Conservation Research Training Center, Dehradun, India.

MCCOWN, R.L. (2002a): Locating agricultural decision support systems in the troubled past and socio-technical complexity of 'models for management'. *Agricultural Systems* 74, 11-25.

MCCOWN, R.L. (2002b): Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects. *Agricultural Systems* 74, 179-220.

MCVAY, K.A., RADCLIFFE, D.E., HARGROVE, W.L. (1989): Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirements. *Soil Science Society of America Journal* 53, 1856-1862.

MEISINGER, J.J., HARGROVE, W.L., MIKKELSEN, R.L., WILLIAMS, J.R., BENSON, V.W. (1991): Effects of cover crops on groundwater quality. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: *Cover Crops for Clean Water*. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 57-68.

MERKELBACH, H. (1990): Die Möglichkeiten des Einsatzes von Untersaaten zur Unkrautunterdrückung sowie Konkurrenzwirkungen von Unkraut und Untersaat auf die Ertragsbildung des Winterweizens. *Dissertation Univ. Bonn*, 1991, 147 S.

MICHALSKI, V., RAUHE, K., SCHARF, H. (1991): Einfluß von Strohdüngung und Zwischenfrucht-Gründung mit gestaffelten ¹⁵N-Harnstoffgaben auf nachfolgendes Getreide. *Agribiological research* 44(2-3), 191-202.

MILTNER, R., LEHMANN, H. (1994): Bodenschutz durch Untersaaten. *Landwirtschaftliches Wochenblatt Westfalen-Lippe* 151(12), 34-36.

MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG (MLUR) DES LANDES BRANDENBURG (2000): Entwicklungsplan für den ländlichen Raum im Land Brandenburg bezogen auf die flankierenden Maßnahmen des Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAFGL), Abteilung Garantie gem. VO (EG) Nr. 1257/1999 Art. 35(1) – Förderperiode 2000-2006. Konsolidierte Fassung, Stand 19.09.2000.

MIRSCHER, W. (1995): Biomassebildungsmodell für Zwischenfrüchte (AGROSIM-ZF). In: WENKEL, K.O., MIRSCHER, W. [Hrsg.]: *Agroökosystemmodellierung*. Grundlage für die Abschätzung von Auswirkungen möglicher Landnutzungs- und Klimaänderungen. ZALF-Bericht 24, Müncheberg, 155-159.

MIRSCHER, W. (1999): Mündliche Mitteilung.

MITCHELL, W.H., TEEL, M.R. (1977): Winter annual cover crops for no-tillage corn production. *Agronomy Journal* 69, 569-573.

MOHAMMADI, M. (1974): Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus und der Bodenbearbeitung auf den Ertrag und den Mineralstoffentzug von Sommergetreide sowie den Humusgehalt des Bodens. *Dissertation Univ. Hohenheim*, 128 S.

MÖLLER, K. (2001): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte und zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen für unterschiedliche Fallbeispiele vom 01.02.2001.

MÖLLER, K., REENTS, H.J. (1999): Einfluß verschiedener Zwischenfrüchte nach Körnererbsen auf die Nitratgehalte im Boden und das Wachstum der Folgefrucht (Kartoffeln, Weizen). In: HOFFMANN, H., MÜLLER, S. [Hrsg.]: *5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau "Vom Rand zur Mitte" vom 23-25 Februar 1999*, Berlin, 109-112.

MOON, D.E., JECK, S.C., SELBY, C.J. (1998): Elements of a decision support system – information, model, and user management. In: EL-SWAIFY, S.A., YAKOWITZ, D.S. [Hrsg.]: *Multiple*

- Objective Decision Making for Land, Water and Environmental Management. Proceedings of the First International Conference on Multiple Objective Decision Support Systems (MODSS) for Land, Water and Environmental Management – Concepts, Approaches and Applications. Honolulu, Hawaii, September 1996. Lewis, Boca Raton, 323-334.
- MULLER, J.C., DENYS, D., MORLET, G., MARIOTTI, A. (1989): Influence of catch crops on mineral nitrogen leaching and its subsequent plant use. In: GERMON, C. [Hrsg.]: Management systems to reduce impact of nitrates. Proceedings of a conference held in Brussels, 24-25 September, 1987. Elsevier Applied Science, Barking, UK, 85-98.
- MUSHTAQ, M.A. (1973): Der Einfluss von Pflugfurche, Fräsdrill- und Direktsaat in Verbindung mit Zwischenfruchtanbau auf Gefügekennwerte einer Filderlehm-Parabraunerde und den Ertrag von Winterweizen. Diss. Universität Hohenheim, 160 S.
- NADERMAN, G.C. (1991): Effects of crop residue and tillage practices on water infiltration and crop production. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 23-24.
- NANZ, M. (2000): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte für unterschiedliche Fallbeispiele vom 19.05.2000.
- NOATSCH, F. (1983): Ackerbauliche Untersuchungen zur kombinierten Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Aussaat von kruziferen Zwischenfrüchten und Wintergetreide auf D-Standorten. Dissertation Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der Deutschen Demokratischen Republik, Bereich Pflanzenproduktionsforschung.
- OBENAUF, S. (1980): Einfluß von Saatzeit und Stickstoffdüngung auf die Pflanzenentwicklung, die Ertragsentwicklung und die Inhaltsstoffe von ausgewählten Kruziferen und Sommerroggen beim Anbau zur Gründüngung nach späträumenden Hauptfrüchten auf Standortgruppe 1/2. Dissertation Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, 108 S.
- OBENAUF, S. (1984a): Trockenmasse-Ertrag der oberirdischen Pflanzensubstanz und Wurzelmassebildung ausgewählter Kruziferen beim Anbau zur Gründüngung nach späträumenden Hauptfrüchten auf Sandboden. Arch. f. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkunde 28, 187-194.
- OBENAUF, S. (1984b): Untersuchungen zur limitierenden Wirkung von Temperatur- und Tageslänge auf das Wachstum ausgewählter Stoppelfruchtkruziferen. Arch. f. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkunde 28, 195-200.
- OPITZ VON BOBERFELD, W., BECKMANN, E. (1998): Zum Vorfruchtwert der Zwischenfrüchte *Vicia sativa* L. und *Trifolium resupinatum* L. Pflanzenbauwissenschaften 2(4), 183-189.
- OPITZ VON BOBERFELD, W., SCHULTHEIß, U. (1994): Zum Einfluß von Untersaaten zur Begrünung von Ackerbrachen auf die Vegetationsentwicklung und die Nitratdynamik. Journal of Agronomy and Crop Science 172, 52-61.
- PAGEL, R. (1994): Zum Einfluß von Leguminosen auf Nährstoffdynamik, Umweltbelastung und Pflanzenwachstum in Lysimeter- und Freilanduntersuchungen. Dissertation Univ. Gießen, 104 S.
- PAGEL, R., ZOSCHKE, M. (1991): Zum N-Haushalt bei Anbausystemen mit und ohne Eingliederung von Leguminosen – Ein Beitrag zur ressourcenschonenden Landwirtschaft. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 4, 41-44.
- PARKER, C.G., CAMPION, S. (1997): Improving the Uptake of Decision Support Systems in Agriculture. In: KURE, H., THYSEN, I., KRISTENSEN, A.R. [Hrsg.]: Proceedings of the First European Conference of the European Federation of Information Technology in Agriculture (EFITA), June 15-18, 1997. Universität Kopenhagen, Dänemark, 129-134.
- PAULY, J. (1998): Mündliche Mitteilung: Expertenbefragung vom 3.12.1998-14.01.1999. Das Gedächtnisprotokoll des Experteninterviews ist im Anhang A8 dargestellt.

- PAULY, J. (2000): Mündliche Mitteilung.
- PEYKER, W. (2001): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte und zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen für unterschiedliche Fallbeispiele vom 02.02.2001.
- PEYKER, W., KERSCHBERGER, M. (1995): Standpunkt zur Begrünung der Maiszwischenreihen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, 7 S.
- POHLMANN, J.M. (1993a): Wissensbasierte Problemlösung - Problemlösungsstrategien in wissensbasierten Systemen zur Abbildung pflanzenbaulicher Produktionsvorgänge, Münster, Landwirtschaftsverlag, 263 S.
- POHLMANN, W. (1993b): Von Untersaaten nicht zuviel erwarten. dlz 5, 38-39.
- POWER, D.J. (2001): Decision Support Systems Resources. <http://dssresources.com/>.
- POWER, J.F., BIEDERBECK, V.O. (1991): Role of cover crops in integrated crop production systems. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 167-175.
- PREUSCHEN, G., BERNATH, K. (1983): Die Kunst der Gründüngung - Voraussetzung für Bodenfruchtbarkeit. Stocker: Graz u.a., 164 S.
- PUPPE, F. (1988): Einführung in Expertensysteme. Studienreihe Informatik. Springer, Berlin u.a., 205 S.
- PUPPE, F. (1993): Systematic Introduction to Expert Systems. Knowledge Representations and Problem-Solving Methods. Springer, Berlin, Heidelberg, New York u.a., 352 S.
- PUTMAN, J., WILLIAMS, J.R., SAWYER, D. (1988): Using the erosion-productivity impact calculator (EPIC) model to estimate the impact of soil erosion for the 1985 RCA appraisal. J. Soil and Water Conservation 43, 321-326.
- QUADE, J. (1993): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. Hrsg.: Hydro Agri Dülmen GmbH, Dülmen. Landwirtschaftsverlag: Münster-Hiltrup u.a., 12. Aufl., 618 S.
- RADERSCHALL, R., GEBHARDT, H. (1990): Feldversuche zur N_{min} -Dynamik eines stauwasserbeeinflussten Plaggeneschs unter Winterzwischenfrüchten nach Anbau von Körnerleguminosen (*Vicia faba* L.). Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 153, 75-80.
- RANELLS, N.N., WAGGER, G.M. (1997): Winter annual grass-legume bicultures for efficient nitrogen management in no-till corn. Agriculture, Ecosystems and Environment 65, 23-32.
- RAUSCHER, H.M., (1999): Ecosystem management decision support for federal forests in the United States: a review. Forest Ecology and Management 114 (2-3), 173-197.
- REHKUGLER, H. und V. SCHINDEL (1985): Entscheidungstheorie. Erklärung und Gestaltung betrieblicher Entscheidungen. Fachbuchreihe für Studium, Fortbildung, Praxis. Florentz, München, 336 S.
- REICOSKY, D.C, WARNES, D.D. (1991): Evapotranspiration and nitrogen accumulation in a winter rye cover crop in the Northern Corn Belt. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 74-75.
- REINER, L. (1987): Bauernhof 2000 – integrierter Pflanzenbau mit Software und Sensoren. In: MAIER, S., MANGSTL, A. [Hrsg.]: Integrierte Systeme. 8. Jahrestagung der GIL in Weihenstephan, Oktober 1987. Agrarinformatik 13, 8-19.
- RENIUS, W., LÜTKE ENTRUP, E., LÜTKE ENTRUP, N. (1992): Zwischenfruchtbau zur Futtergewinnung und Gründüngung: ein Baustein zur Bodenfruchtbarkeit und zum Umweltschutz. DLG: Frankfurt/M., 3. Aufl., 244 S.

- RICHTER, O., SEPPELT, R. (1996): Quantitative aspects of sustainable agriculture. *Mathematics and Computers in Simulation* 42(2-3), 263-269.
- RIECKMANN, C., SOMMER, C. (1998): Den Stickstoff über Winter retten. *Land und Forst* 25, 13-18.
- ROBERTSEN, T., BENSON, V., WILLIAMS, J.R., LANDER, C.H., SCHERTZ, D.L. (1991): Long-run impacts of cover crops on yield, farm income, and nitrogen recycling. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: *Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA*, 117-120.
- RODER, W. (1957): Über den Einfluß unterschiedlicher Anbauarten (Blank- und Untersaat) auf das physiologische Verhalten einiger landwirtschaftlicher Futterpflanzen, insbesondere im Hinblick auf ihre Transpirationsintensität. Dissertation Universität Leipzig, 104 S.
- ROMMELFANGER, H. (1994): *Fuzzy Decision Support-Systeme: Entscheiden bei Unschärfe*. Springer: Berlin, New York u.a., 2. Aufl., 314 S.
- ROSSKOPF, K, WAGNER, P. (2003): Requirements for agricultural software and reasons for adoption constraints – results of empirical studies. In: HARNOS, Z., STEFFE, J., HERDON, M. [Hrsg.]: *EFITA2003 Conference Papers, 5-9 July 2003, Debrecen-Budapest, Hungary*, 651-657.
- ROSTOCK, E. (1981): Zwischenfruchtanbau und Kartoffelertrag. *Synthetische Information. FZB Müncheberg, Bereich Bad Lauchstädt*, 21 S.
- ROTH, R. (1974): Untersuchungen zum Ausgleich von Vorfrucht- und Fruchtfolgewirkungen durch Gründüngung und Stickstoff im konzentrierten Getreideanbau auf leichtem Boden. Dissertation Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, 132 S.
- ROTH, R. (1985): Lösungen für Untersaaten in der intensiven Pflanzenproduktion zur optimalen Ausnutzung der Vegetationszeit und zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit. Ergebnisse des 1. Untersuchungsjahres vom Standort Müncheberg. *FZ f. Bodenfruchtbarkeit Müncheberg*, 25 S.
- ROTH, R. (1986): Lösungen für Untersaaten in der intensiven Pflanzenproduktion zur optimalen Ausnutzung der Vegetationszeit und zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit. Ergebnisse des 2. Untersuchungsjahres am Standort Müncheberg und Friedrichshof. *FZ f. Bodenfruchtbarkeit Müncheberg*, 33 S.
- ROTH, R. (1987): Untersaaten in der intensiven Pflanzenproduktion auf grundwasserfernen Standorten. In: *Quantifizierung des Stickstoffkreislaufes unter besonderer Berücksichtigung der Mineralisierung organischer Substanz und Maßnahmenkombinationen für Höchstserträge. Vorträge anlässlich des Symposiums im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen dem FZB Müncheberg und dem IUNG Pulawy vom 29. Mai bis 2. Juni 1987 in Bad Lauchstädt. Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit, Müncheberg*, 142-155.
- ROTH, R. (1988): Möglichkeiten und Probleme beim Anbau von Untersaaten in der intensiven Pflanzenproduktion. *Tagungsberichte der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR* 261, 237-242.
- ROTH, R. (1990): Untersaaten auf grundwasserfernem Sandstandort – Ergebnisse 5-jähriger Untersuchungen. *Feldwirtschaft* 31 (8), 361-363.
- ROTH, R. (1991): Zur Aufnahme von Bodenstickstoffvorräten durch Knäulgrasuntersaat. *Feldwirtschaft* 32(8), 361-362.
- ROTH, R. (1998): Mündliche Mitteilung: Expertenbefragung vom 3.12.1998-14.01.1999. Das Gedächtnisprotokoll des Experteninterviews ist im Anhang A8 dargestellt.
- ROTH, R. (2000): *Promezhutochnye kul'tury v sovremennom zemledelii – opyt Vostochnoj Germanii [Zwischenfrüchte im modernen Ackerbau – Erfahrungen aus Ostdeutschland]*. *Novoe sel'skoe khozjajstvo* 2, 24-26 [in Russisch].

- ROTH, R., KREUZ, E., BÖNING, H., EHRENPFFORDT, V., GRÜNING, K., BÄHRE, G., BÄTZ, A., ZEHLER, A., FUNDER, U. (1988): Lösungen für Untersaaten in der intensiven Pflanzenproduktion zur optimalen Ausnutzung der Vegetationszeit und zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit. F/E-Bericht, FZ f. Bodenfruchtbarkeit, Müncheberg, 42 S.
- ROTH, S. (1996): Auswirkung des Anbaus abfrierender und überwinternder Zwischenfrüchte auf den Nitrataustrag. Kalibrierung des Pflanzenwachstums im N-Haushaltsmodell MINERVA. Diplomarbeit am Institut für Geographie und Geoökologie der Technischen Universität Braunschweig, 87 S.
- ROUGHLEY, R.J., SPRENT, J.I., DAY, J.M. (1983): Nitrogen fixation. In: HEBBLETHWAITE, P.D., [Hrsg.]: The Faba Bean (*Vicia faba* L.), Butterworths: London, 233-260.
- RÜEGG, W.T. (1994): Verfügbarkeit von Stickstoff für Silomais bei Mulchsaat in abgestorbene Zwischenfruchtbestände. Dissertation Technische Hochschule Zürich, 149 S.
- RUSSELL, M.P., HARGROVE, W.L. (1989): Cropping systems – ecology and management. In: FOLLETT, R.F. [Hrsg.]: Nitrogen management and ground water protection. Developments in agricultural and managed-forest ecology 21, Elsevier, Amsterdam u.a., 277-318.
- RYDBERG, I. (1998): Breeding of catch crops - a way to reduce nitrate leaching from arable land. Dissertation, Swedish Univ. of Agricultural Sciences, Uppsala, 31 S.
- SAINJU, U.M., SINGH, B.P., WHITEHEAD, W.F. (1998): Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. Agronomy Journal 90, 511-518.
- SANDBRINK, K. (1995): Untersaaten im Mais: Für und Wider. DLG-Mitteilungen 4, 24-26.
- SANDBRINK, K. (2000): Fragebogen zur Recherche von Anbauempfehlungen für Zwischenfrüchte und zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen für unterschiedliche Fallbeispiele vom 17.05.2000.
- SARRANTONIO, M., SCOTT, T.W. (1988): Tillage effects on availability of nitrogen to corn following a winter green manure crop. Soil Science Society of America Journal 52, 1661-1668.
- SCHÄFER, K. (1991): Zur Verminderung der Erosion im Maisbau durch Zwischenfrüchte und Mulchsaat. Feldwirtschaft 32 (10), 458-461.
- SCHÄFER, K. (1992): Zur Verminderung der Wassererosion im Rübenbau durch Zwischenfrüchte und Direktsaat. In: 35. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften vom 29-31 Aug 1991, 22-33.
- SCHARF, H., RAUHE, K., MICHALSKI, V. (1991): Die Bindung gestaffelter ¹⁵N-Harnstoffgaben durch Zwischenfrucht-Stoppelsaat und durch Strohdüngung auf einem degradierten Lößboden. Agribiological research 44 (2-3), 182-190.
- SCHARTOW, M. (1998): Der Einfluß von Bodenbearbeitung und N-Düngung nach Zwischenfrüchten auf die Ertragsbildung von Silomais. Dissertation Humboldt-Univ. Berlin, 1999, 81 S.
- SCHAUPP, H. (1993): Kultivierung annueller Wildleguminosen aus der Türkei zur Verwendung als Untersaat zum Erosionsschutz. Dissertation Univ. Hohenheim, 116 S.
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart: Enke, 13. Aufl., 491 S.
- SCHIEFER, G. (1994): Informationsmanagement in der Agrarwirtschaft – Situation und Perspektiven. Zeitschrift für Agrarinformatik 6, 118-125.
- SCHIEFER, G. (2003): New technologies and their impact on agriculture, environment and the food industry. In: HARNOS, Z., STEFFE, J., HERDON, M. [Hrsg.]: EFITA2003 Conference Papers, 5-9 July 2003, Debrecen-Budapest, Hungary, 3-11.
- SCHMALER, K., BERGER, G., RICHTER, K. (1992): Stickstoffkonservierung durch Zwischenfrüchte. Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Reihe Agrarwissenschaften 41(3), 47-52.

- SCHMIDT, H. (1997): Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau - Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. Dissertation Univ. Kassel, 161 S.
- SCHMIDT, L. (1994): Untersaaten müssen kein Wasser rauben, DLG-Mitteilungen 4, 26-27.
- SCHMIDTLEIN, E.-M., HEIßENHUBER, A. (1992): Zwischenfrüchte im Vergleich - Was sie leisten, was sie kosten. DZ Agrarmagazin 43 (6), 22-26.
- SCHNEIDER, E. (1994): Der Prozess der Wissensakquisition und seine Integration in den Expertensystem-Entwicklungsprozess. Dissertation Univ. Köln. Wirtschaftsinformatik 12, Verlag Eul, Bergisch Gladbach u.a., 430 S.
- SCHÖBERLEIN, W., MATTHIES, H., BETTAC, E. (1994): Grasuntersaaten in Ackerbohnen in ihrem Einfluss auf den Deckfruchtertrag und die Reduzierung des N-Austrages (2. Mitteilung). 35. Fachtagung des DLG-Ausschusses Gräser, Klee und Zwischenfrüchte, Fulda, 2.-3. Dez. 1993. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Frankfurt a. M., 31-43.
- SCHÖLL, L. VAN, DAM, A.M. VAN LEFFELAAR, P.A. (1997): Mineralisation of nitrogen from an incorporated catch crop at low temperatures: experiment and simulation. Plant and Soil 188, 211-219.
- SCHOMBERG, H.H., WEAVER, R.W. (1990): Early growth and dinitrogen fixation by arrowleaf clover in response to starter nitrogen. Agronomy Journal 82, 946-951.
- SCHRÖDER, D., WOLL, M. (1986): Austrag von Nährstoffen aus hoch und gering versorgten Ap-Horizonten im Kleinlysimeter-Experiment. VDLUFA-Schriftenreihe 20, 441-453.
- SCHULTHEIß, U. (1991): Zur Effizienz von Untersaaten für die Begrünung von Ackerbrachen. Diss. Univ. Gießen.
- SCHULTHEIß, U., OPITZ VON BOBERFELD, W. (1994): Untersuchungen zur gegenseitigen Beeinflussung der Deckfrucht Wintergerste und verschiedenen Untersaaten. Bodenkultur 45(1), 25-35.
- SCHULZ, H. (1990): Einfluss zeitlich und mengenmäßig gestaffelter Güllegaben in Verbindung mit Stroh- und/oder Gründüngung auf Pflanzenerträge, Nährstoffgehalte und einige chemische Bodeneigenschaften. Dissertation Univ. Rostock, 1991, 106 S.
- SCHUMANN, H. (1990): Bewertung von Untersaaten als alternative Unkrautbekämpfung in Wintergerste. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 3, 39-42.
- SCHUMANN, H. (1994a): Untersaaten statt Herbizide? DLG-Mitteilungen 8, 28-30.
- SCHUMANN, H. (1994b): Zur Frage der Bedeutung des Anwendungstermines von Herbiziden und Untersaaten zur Unkrautbekämpfung in Wintergerste und in der Fruchtfolge Winterweizen-Wintergerste-Zuckerrüben. Dissertation Univ. Bonn. Berichte aus der Agrarwissenschaft, Aachen, Shaker, 175 S.
- SCHUMANN, H., HEYLAND, K.-U. (1992): Zum Einfluß von Umwelt- und Produktionsbedingungen auf Konkurrenzbeziehungen in Wintergerstebeständen. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft 13, 161-169.
- SCHWAIBERGER, R. (1991): Informatische Unterstützung pflanzenbaulicher Entscheidungen – Anforderungen, Methoden und Lösungen. Dissertation Technische Univ. München, 175 S.
- SCHWAIBERGER, R., POHLMANN, J.M., BUCHNER, W. (1990): Aufbau eines Informationssystems für den standortgerechten Zwischenfruchtanbau. Zeitschrift für Agrar-informatik 19, 295-304.
- SEN, P., YANG, J.-B. (1998): Multiple criteria decision support in engineering design. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 264 S.
- SEPPELT, R. (1999): Applications of optimum control theory to agroecosystem modelling. Ecological Modelling 121(2-3), 161-183.

- SHAFFER, M.J., BRODAHL, M.K. (1998): Rule-based management for simulation in agricultural decision support systems. *Computers and Electronics in Agriculture* 21, 135-152.
- SHARPLEY, A.N., SMITH, S.J. (1991): Effects of cover crops on surface water quality. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: *Cover Crops for Clean Water*. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 41-49.
- SHEPHERD, M.A., LORD, E.I. (1990): Effect of crop rotation and husbandry in nitrate loss by leaching from sandland. In: CALVET, R. [Hrsg.]: *Nitrates, agriculture, eau*. International symposium, Paris, November 7-8, 1990. Institut Nationale Agronomique Paris-Grignon, Frankreich, 381-387.
- SHIPLEY, P.R., MEISINGER, J.J., DECKER, A.M. (1992): Conserving residual corn fertilizer nitrogen with winter cover crops. *Agronomy Journal* 84, 869-876.
- SIEKMANN, J. H., MCROBBIE, M. A. (1988): Wissensbasierte Systeme und ihre Anwendungsbereiche. In: Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft, Frankfurt am Main [Hrsg.]: *Internationaler DLG-Computercongreß*. Wissensbasierte Systeme in der Landwirtschaft - Auf dem Weg zum Anwender. Bad Soden, 19.-22. Juni 1988, 1-26.
- SIMON, W. (1982): Produktionsanleitung und Richtwerte für den Zwischenfruchtanbau. *Agrar-Empfehlungen für die Praxis*, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Markkleeberg, 7. Aufl., 96 S.
- SIMON, W. (1993): Grundfutter für Qualitätsmilch – Produktion und Einsatz – Ökologisierung der Futterwirtschaft. Auszüge und Verallgemeinerungen aus vier Projekten für die Standorte D1-2N, D5-6N, LÖ1-2/V4 und V-Vg6-8. Schwerin, Selbstverlag.
- SINCLAIR, F.L., WALKER, D.H. (1998): Acquiring qualitative knowledge about complex agroecosystems. Part 1: Representation as a natural language. *Agricultural Systems* 56 (3), 341-363.
- SKIDMORE, E.L., SIDDOWNAY, F.H. (1978): Crop residue requirements to control wind erosion. In: OSCHWALD, W.R. [Hrsg.]: *Crop residue management systems*. Special Publication 31, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 17-33.
- SMITH, E.G., LINDWALL, C.W., GREEN, M., PAVLIK, C.K. (1997): PARMS: A decision support system for planting and residue management. *Computers and Electronics in Agriculture* 16 (3), 219-229.
- SMUKALSKI, M., OBENAUF, S. (1988): Schutz vor Nährstoffaustrag durch Stoppelzwischenfrüchte. *Feldwirtschaft* 29, 424-425.
- SMUKALSKI, M., ROGASIK, J. (1990): Stoppelfruchtanbau ist Bestandteil ökologisch begründeter Landbewirtschaftung. *Feldwirtschaft* 31, 356-358.
- SMUKALSKI, M., ROGASIK, J., OBENAUF, S. (1991): Cultivation of cover crops to control nitrate leaching. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: *Cover Crops for Clean Water*. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 82-84.
- SODTKE, R. 1996: Bestandes- und Stickstoffdynamik von Grünbrachen. Diplomarbeit am Institut für Geographie und Geoökologie der Technischen Universität Braunschweig, 125 S.
- SODTKE, R., PAULY, J., WERNER, A. (1999): A fuzzy-based decision-support system for cover crop management strategies. Schiefer, G., HELBIG, R., RICKERT, U. [Hrsg.]: *Perspectives of Modern Information and Communication Systems in Agriculture, Food Production and Environmental Control (Vol. A)*. Proceedings of the Second European Conference of the European Federation of Information Technology in Agriculture, Food and Environment (EFITA), September 27-30, 1999. Universität Bonn, 275-287.
- SOMDA, Z.C., FORD, P.B., HARGROVE, W.L. (1991): Decomposition and nitrogen recycling of cover crops and crop residues. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: *Cover Crops for Clean Water*.

- Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 103-105.
- SOMMER, C., RIECKMANN, C. (1997): Winterrübsen sind spätsaatverträglich. Hannoversche Land- und Forstwirtschaftliche Zeitung 26, 8-11.
- SØRENSEN, J.N. (1993): Effects of catch crops on the content of soil mineral nitrogen before and after winter leaching. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 156, 61-66.
- SØRENSEN, J.N., THORUP-KRISTENSEN, K. (1993): Nitrogen effects of non-legume catch crops. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 156, 55-59.
- SPIES, M. (1993): Unsicheres Wissen: Wahrscheinlichkeit, Fuzzy-Logik, neuronale Netze und menschliches Denken. Spektrum Akad. Verl., Heidelberg, Berlin, Oxford, 389 S.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M. (1989): Agricultural practices to reduce nitrogen losses via leaching and surface runoff. In: GERMON, C. [Hrsg.]: Management systems to reduce impact of nitrates. Proceedings of a conference held in Brussels, 24-25 September, 1987. Elsevier Applied Science, Barking, UK, 72-84.
- STEFFENS, G., VETTER, H. (1983): Stickstoffverlagerung nach Gülledüngung mit und ohne Zwischenfruchtbau. Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft 40, 354-362.
- STEMANN, G., LÜTKE ENTRUP, N. (1993): Mit Untersaaten im Mais kostengünstig begrünen. top agrar 4, 68-71.
- STICKSEL, E. (1994): Experimentelle Untersuchungen und Modellrechnungen zu boden- und nutzungsbedingtem Nitrataustrag in einem Trinkwasserschutzgebiet. Diss. Technische Universität München, 167 S.
- STÖHRING, R., REHBEIN, G. (1990): Ackerbaulich-ökologische Lösungen. Klee-grasuntersaat – Stroh – Gülle in einem neuen Rostocker Dauerversuch. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 3, 277-280.
- STOPES, C., MILLINGTON, S., WOODWARD, L. (1996): Dry matter and nitrogen accumulation by three leguminous green manure species and the yield of a following wheat crop in an organic production system. Agriculture, Ecosystem and Environment 57, 189-196.
- TEASDALE, J.R., MOHLER, C.L. (1993): Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. Agronomy Journal 85, 673-680.
- THE MATH WORKS INC. (1999): MATLAB - The Language of Technical Computing. Using MATLAB, Version 5.3, 3rd printing revised for MATLAB 5.3 (online version), The Math Works: Natick (MA).
- THOMSEN, I.K. (1993): Nitrogen uptake in barley after spring incorporation of ¹⁵N-labelled Italian ryegrass into sandy soils. Plant and Soil 150, 193-201.
- THOMSEN, I.K., CHRISTENSEN, B.T. (1998): Cropping system and residue management effects on nitrate leaching and crop yields. Agriculture, Ecosystem and Environment 68, 73-84.
- TIGGES, U., STEMANN, G., LÜTKE ENTRUP, N. (1991): Maisanbau in Mulchsaat und Mais mit Grasuntersaaten - zwei Lösungsansätze für umweltschonende Anbautechnik. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 4, 63-66.
- TOLLENAAR, M., MIHAJLOVIC, M., VYN, T.J. (1993): Corn growth following cover crops: influence of cereal cultivar, cereal removal, and nitrogen rate. Agronomy Journal 85: 251-255.
- TORBERT, H.A., REEVES, D.W. (1991): Benefits of a winter legume cover crop to corn – rotation versus fixed-nitrogen effects. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 99-100.
- TURBAN, E. (1995): Decision Support and Expert Systems. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

- UISCHNER, C., NEUMANN, K.-H. (1989): Der Einfluß von Wintergerste als Winterzwischenfrucht auf die N-Dynamik im Boden. VDLUFA-Schriftenreihe 28(2), 559-573.
- VAUGHAN, J.D., EVANYLO, G.K. (1998): Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. *Agronomy Journal* 90, 536-544.
- VETTER, H., STEFFENS, G. (1982): Nährstoffverlagerung und Nährstoffeintrag in das oberflächennahe Grundwasser nach Gülledüngung. *Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung* 22, 159-172.
- VILSMEIER, K., GUTSER, R. (1988): Stickstoffmineralisation von Zwischenfrüchten im Modellversuch. *Kali-Briefe* 19, 213-223.
- VOGT, C. VON (1982): Bestelltechnik für Zwischenfrüchte – Hohe Schlagkraft erforderlich. *DLG-Mitteilungen* 10/82, 606-609.
- VUILLE, V. (1989): Praktische Hinweise für den erfolgreichen Zwischenfrucht-Anbau. *Die Grüne* 117(32), 18-21.
- WAGGER, M.G. (1989a): Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield of no-till corn. *Agronomy Journal* 81, 533-538.
- WAGGER, M.G. (1989b): Time of desiccation effects on plant composition and subsequent N release from several winter cover crops. *Agronomy Journal* 81, 236-241.
- WAGNER, P. (1992): Methodische Grundlagen und praktische Entwicklung eines Expertensystems für die Wirtschaftlichkeitsanalyse landwirtschaftlicher Betriebe. *Agrarwirtschaft, Sonderheft* 132, Frankfurt.
- WAGNER, P. (1993a): Die Nutzung entscheidungsunterstützender Modelle als Instrument der einzelbetrieblichen Anpassung unter sich ändernden Rahmenbedingungen. In: ALVENSLEBEN, R., LANGBEHN, C., SCHINKE, E. [Hrsg.]: *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V.*, Bd. 29, Münster-Hiltrup, 95-104.
- WAGNER, P. (1993b): Wissensakquisition für Expertensysteme. *Zeitschrift für Agrarinformatik* 1 (1), 10-18.
- WAGNER, P. (1994): Softwaregestaltung und Informationsbedarf – Computerprogramme zur Betriebsführung aus der Sicht der Anwender. *Zeitschrift für Agrarinformatik* 3 (2), 48-55.
- WALKER, D.H., SINCLAIR, F.L. (1998): Acquiring qualitative knowledge about complex agroecosystems. Part 2: Formal representation. *Agricultural Systems* 56 (3), 365-386.
- WALLGREN, B., LINDÉN, B. (1991): Residual Nitrogen Effects of Green Manure Crops and Fallow. *Swedish J. Agric. Res.* 21, 67-77.
- WANTULLA, A. (1987): Möglichkeiten zur Verringerung des Nitrataustrages bei Gülleanwendung in einer Silomais-Monokultur durch den Anbau von Zwischenfrüchten und den Einsatz von Dicyandiamid (DIDIN). *Dissertation Univ. Bonn*.
- WATERMAN, D.S. (1986): *A Guide to Expert Systems*. Addison-Wesley, Reading, Ma.
- WEISE, G., PICKERT, J., SCHUPPENIES, R. (1994): Praxisversuche zum Einfluß von winterharten und abfrierenden Zwischenfrüchten vor Mais im Vergleich zur winterbrache auf die N-Dynamik im Boden und den Maisertrag. *Kongressband der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 1994*, 235-238.
- WENKEL, K.-O. (1999): Dynamische Landschaftsmodelle für die angewandte Landschaftsökologie. - In: SCHNEIDER-SLIWA, R., SCHAUB, D., DANIEL, D., GEROLD, G. [Hrsg.]: *Angewandte Landschaftsökologie – Grundlagen und Methoden*, Springer: Berlin u.a., 107-133.
- WERNER, A. (1986): Die Nutzung zwischenpflanzlicher Konkurrenz in Form von Mischkultursystemen zur biologischen Unkrautbekämpfung in Mais und der Einfluß der Beipflanzen auf die Ertragsbildung der Kulturpflanze., *Dissertation Univ. Bonn*, 200 S.

- WERNER, A., BACHINGER, J., SODTKE, R., ROTH, R., JARFE, A., ZANDER, P., SCHULER, J. (2000): Decision support systems in crop production on the farm and field level.- In: KUKULA, S., FOTYMA, M., GORSKI, T., JURZYSTA, M., KUS, J., MARTYNIUK, S., MAZUREK, J., TERELAK, H. [Hrsg.]: Development of sustainable agriculture on the verge of the 21st century, 511-535.
- WESCHKE, H. (1985): Untersuchungen zum Einfluß ausgewählter ackerbaulicher und meliorativer Maßnahmen auf die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und Erträge in Produktionsexperimenten der LPG P Albertsroda einschließlich der Überleitung auf den Gesamtbetrieb sowie Vorschläge für die Auswertung der Ergebnisse, dokumentiert auf der Schlagkarte 1, 156 S.
- WIELAND, R. (2000): Schnittstelle zum Aufruf von Fuzzy-Inferenzsystemen (Matlab Fuzzy Stand-alone code) unter der objektorientierten Programmiersprache Python 2.0 mithilfe eines C-Compilers.
- WILDMANN, R. (1989): Die Auswirkungen von reduzierter Bodenbearbeitung und Gründüngung zum Erosionsschutz auf den Zuckerrübenantrag und die Rübenqualität im Kraichgau. Dissertation Univ. Hohenheim, 1990, 167 S.
- WISHMEIER, W.H., SMITH, D.D. (1965): Rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agricultural Handbook 282, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., USA.
- WIVSTAD, M. (1997): Green-manure crops as a source of nitrogen in cropping systems. Dissertation Swedish Univ. of Agricultural Sciences, Uppsala. Acta universitatis agriculturae sueciae – Agraria 34, 28 S.
- WOLF, G. (1993): Sorgfalt auch bei Zwischenfrucht – Bodenbearbeitung und Saattechnik wie bei Hauptfrüchten. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 27, 33-34.
- WOLFGARTEN, H. J., FRANKEN, H., LEIPERITZ, H. (1988): Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen zur Reduzierung der Bodenerosion und der Nitratverlagerung im Zuckerrübenanbau. 32. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Berlin, 6.-7. Okt. 1988. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 1: 50-52.
- WORSHAM, A.D. (1991): Role of cover crops in weed management and water quality. In: HARGROVE, W.L. [Hrsg.]: Cover Crops for Clean Water. Proceedings of an international conference, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 141-145.
- WUNDERLICH, B., SCHMIDTKE, K., RAUBER, R. (1992): Differenzierte Klee grasuntersaaten in Winterroggen – Wirkungen auf Ackerbegleitflora und Stickstoffhaushalt. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 5, 51-54.
- WYLAND, L.J., JACKSON, L.E., CHANEY, W.E., KLONSKY, K., KOIKE, S.T., KIMPLE, B. (1996): Winter cover crops in a vegetable cropping system: Impacts on nitrate leaching, soil water, crop yield, pests and management costs. Agriculture, Ecosystem and Environment 59, 1-17.
- YAKOWITZ, D.S. (1998): A multiattribute tool for decision support – ranking a finite number of alternatives. In: EL-SWAIFY, S.A., YAKOWITZ, D.S. [Hrsg.]: Multiple Objective Decision Making for Land, Water and Environmental Management. Proceedings of the First International Conference on Multiple Objective Decision Support Systems (MODSS) for Land, Water and Environmental Management – Concepts, Approaches and Applications. Honolulu, Hawaii, September 1996. Lewis, Boca Raton, 205-215.
- ZADEH, L.A. (1965): Fuzzy Sets. Information and Control 8, 338-353.
- ZADRAZIL, F. (1971): Der Einfluß von langjährigen Düngungsmaßnahmen mit Stroh- und Gründüngung sowie Stickstoffdüngung auf einige physikalische, chemische und biologische Bodeneigenschaften. Diss. Universität Gießen, 138 S.
- ZANDER, P. (2001): Interdisciplinary modelling of agricultural land use: MODAM - multi objective decision support tool for agroecosystem management. In: HELMING, K. [Hrsg.]: Multidis-

ciplinary Approaches to Soil Conservation Strategies: Proceedings International Symposium ESSC, DBG, ZALF, 11.-13. Mai 2001, ZALF-Bericht 47, Müncheberg, 155-160.

ZANDER, P. (2003): Agricultural land use and conservation options - a modelling approach. Dissertation, Universität Wageningen, 222 S.

ZANDER, P., KÄCHELE, H. (2000): Modellierung der Wechselwirkungen ökonomischer und ökologischer Ziele einer nachhaltigen Entwicklung der Landnutzung. MODAM – A Multi-Objective Decision Support Tool for Agroecosystem Management. In: SEYFARTH, W. [Hrsg.]: ZALF-Jahresbericht 1998/1999, Müncheberg, 146-147.

ZIMMERMANN, H.-J. (1987): Fuzzy Sets, Decision Making and Expert Systems. International Series in Management Science/ Operations Research. Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, Lancaster, 335 S.

ZIMMERMANN, H.-J. (1996): Fuzzy set theory - and its applications. Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, Lancaster, 435 S.

ZITTERELL, K. (1981): Wirkung von Zwischenfruchtexttrakten auf Getreidepflanzen in Hydrokultur und Gründüngungswirkung von Zwischenfrüchten im Feldversuch. 1981, Dissertation Univ. Hohenheim, 113 S.

ZUHRT, C., MÄRTIN, B. (1987): Zwischenfruchtanbau und Mais - ein Literaturüberblick. Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Halle 36(4), 3-11.

11 Anhang

A1 Programmdateien

Datei Mangementmatrizen

```

FFMV=[2,30,80,410,1]
USM=[95,1,1,2,200], \
  [1,1,1,1,1], \
  [1,1,1,2,40], \
  [1,1,1,1,1]]

def mm_fun(MV,VV,FFMV,STV):

  global M1, M1A, MMP
  t=0; t2=0;
  M1=[]
  M1A=[]

  if FFMV[0] == 9:
    CN = 15 # Leguminosen
  elif FFMV[0] > 6:
    CN = 30 # Mais, Hackfrüchte
  elif FFMV[0] < 7:
    CN = 100 # Getreide (Stroh)
  else:
    CN = 40 # Getreide (Wurzelrückstände)

  EWR = FFMV[1]
  NR = FFMV[2]
  UT = FFMV[3]
  Saattermin = [255, 245, 235, 225, 215, 205, 195, 185]
  BestVerf = [[1,0], [2,0], [3,1]]
  Saatmenge = [0.5, 1, 2]

  if VV[2] == 1:
    zst = range(0,9-MV[2])
  else:
    zst = range(0,8)

  if VV[4] == 1:
    znd = [MV[4]]
  else:
    znd = range(0,12,2)

  if FFMV[4] > 1: # bei Mulchsaat von ZR, Mais: nur Bestellverfahren
    mit Pflug
    zbv = [0]
  elif STV[7] == 1: # bei Unterbodenverdichtungen: nur Bestellverfahren mit Pflug
    zbv = [0]
  elif VV[1] == 1:
    zbv = [MV[1]-1]
  else:
    zbv = [2,1,0]

  if VV[3] == 1:
    zsm = [MV[3]-1]
  else:
    zsm = range(0,3)

  for st in zst:
    for nd in znd:
      for bv in zbv:
        for sm in zsm:
          ST = Saattermin[st]
          BV = BestVerf[bv]
          SM = Saatmenge[sm]
          ND = 10*nd
          A = [t, EWR, CN, NR, ND, ST, BV[0], BV[1], SM, UT]
          M1.append(A)
          A1 = [t, EWR, ND, ST]
          M1A.append(A1)
          t=t+1
  MMP=[t, zsm, zbv, zst]

def mmus_fun(FFMV,USM):
  # Diese Funktion erstellt eine Management-Matrix für Untersaatverfahren
  (bv=4).
  global M3,M3A,MMP
  DFMV=USM[0]; DFVV=USM[1]; USMV=USM[2]; USVV=USM[3]
  tUS=0
  M3=[]; M3A=[]

  if FFMV[0] == 9: # Ackerbohnen
    CN = 15; ET = 210
  elif FFMV[0] == 7: # Mais
    CN = 30; ET = 220
  elif FFMV[0] > 3: # Sommergetreide
    CN = 100; ET = 210
  elif FFMV[0] == 2: # Wintergerste
    CN = 100; ET = 180
  else: # Winterweizen, Winterroggen
    CN = 100; ET = 200 # Getreide (Wurzelrückstände)

  EWR = FFMV[1]
  NR = FFMV[2]
  UT = FFMV[3]

  # Saatmenge = [0.5 1 2];
  KDF=[2.5, 2.9, 2.6, 2.5, 1.65, 2.15, 1, 1] # Konkurrenzfähigkeiten
  der DF: WW,WG,WR,SW,SG,H,Mais,AB

  if DFVV[1] == 1: # Konkurrenzfähigkeit DF
    zk_df = [round(DFMV[1]*KDF[FFMV[0]]/3,2)]
  else:
    zk_df=[]
  for i in [1,0.5]:
    zk_df.append(round(i*KDF[FFMV[0]]/3,2))

  if DFVV[3] == 1:
    zsm_df = [float(DFMV[3]-1)/2+1]
  else:
    zsm_df = [2,1.5,1]

  if DFVV[4] == 1:
    zn_df = [DFMV[4]]
  else:
    zn_df = [200,150,100,50]

  zk_us = [1] # Konkurrenzfähigkeit US

  if USVV[3] == 1:
    zsm_us = [float(USMV[3]-1)/2+1]
  else:
    zsm_us = [1,1.5,2]

  if USVV[4] == 1:
    zn_us = [USMV[4]]
  else:
    zn_us = range(0,120,20)

  if FFMV[0] < 4: # Deckfrucht Wintergetreide (DF 1-3)
    if DFVV[2] == 1: # 3 Herbst-Saattermine der Winterung
      zst_df = [DFMV[2]]
    else:
      zst_df = [1,2,3]
    if USVV[2] == 1: # 3 Herbst- und 3 Frühjahrs-
      Untersaattermine
      zst_us = [USMV[2]]
    else:
      zst_us = [6,5,4,3,2,1] # Deckfrucht Sommergetreide, Mais,
  Ackerbohnen (DF 4-8)
  if DFVV[2] == 1: # 3 Frühjahrs-Saattermine der
    Sommerung
    zst_df = [DFMV[2]]
  else:
    zst_df = [1,2,3] # 3 Frühjahrs-Untersaattermine
  if USVV[2] == 1:
    zst_us = [USMV[2]]
  if zst_us < 4:
    zst_us = [4]
  else:
    zst_us = [6,5,4]
  for n_df in zn_df:
    for st_df in zst_df:
      for sm_df in zsm_df:
        for k_df in zk_df:
          for st_us in zst_us:
            for sm_us in zsm_us:
              for k_us in zk_us:
                for n_us in zn_us:
                  A = [tUS, k_df, st_df, sm_df, n_df, k_us, st_us, sm_us, EWR, CN, NR,
                    n_us, ET, UT]
                  M3.append(A)
                  A1 = [tUS, EWR, NR, n_us, 4]
                  M3A.append(A1)
                  tUS=tUS+1
  MMP=[tUS, [1], [1], [1]]

def stv_fun(P41,P42,STV,MMP):
  # Erstellen der Standortfaktormatrix SV mit nFK/LK abh. von Bodenart,
  Humusgehalt und Bestellverfahren
  # Berechnung der Humusgehaltsklasse nach Bdkd. Kartieranleitung, 4. Aufl.
  1994, S. 108
  global SV
  t=MMP[0]; zbv=MMP[1]; zsm=MMP[2]
  h = STV[5]
  if h > 3:
    h=3

  SV=[]
  zverf=t/(len(zbv)*len(zsm))
  v=0
  LK = P42[STV[4]][2]+P42[STV[4]][h+4] # Luftkapazität des
  Oberbodens pro dm
  nFKOBG = P41[STV[4]][1]+P41[STV[4]][h+4] # nFK des gelockerten
  Oberbodens
  nFKOBV = P41[STV[4]][3]+P41[STV[4]][h+4] # nFK des verdichteten
  Oberbodens

```

```
nFKUB = P41[STV[4]][2]          # nFK des Unterbodens          nFK5 = nFKOBG*1 + nFKOBV*2 + nFKUB*(min(5,STV[6])-3)
(ohne Humusgehalt)

for i in range(1,zverf+1):
  for j in zbv:
    for k in zsm:
      if j == 1:          # Bestellverfahren 1 (Pflug + Drillen)
        nFK = nFKOBG*3 + nFKUB*(STV[6]-3)
        nFK5 = nFKOBG*3 + nFKUB*(min(5,STV[6])-3)
      elif j == 2: # Bestellverfahren 2 (Schwergrubber + Drillen)
        nFK = nFKOBG*2 + nFKOBV*1 + nFKUB*(STV[6]-3)
        nFK5 = nFKOBG*2 + nFKOBV*1 + nFKUB*(min(5,STV[6])-3)
      else:          # Bestellverfahren 3 (Grubber + Breitsaat)
        nFK = nFKOBG*1 + nFKOBV*2 + nFKUB*(STV[6]-3)

s=[v, STV[0], STV[1], STV[2], STV[3], nFK, nFK5, LK, STV[5]]
SV.append(s)
v=v+1
# print "STV=",STV
# print "STV-Matrix:"
# for i in range(0,v):
#   print SV[i]

#mmus_fun(FFMV,USM)
#for i in range(0,len(M3)):
#   print M3[i]
#   print M3A[i]
```



```

txt=join(txt,'\012')
print txt

txt2=[]
# Ausgabe der Anbauverfahrensvorschläge
if AVV[0] == 2: # Stoppelsaaten
    ERGS=stf(mainObj,ZFMV,ZFVV,FFMV,STV,1)
    ERG=ERGS[0]
    ERG1=ERGS[1]
    ERGU=[""]
    txt2=join(txt2,'\012')
elif AVV[0] == 3: # Untersaaten
    vf=Namen([],P2,P6,FFMV,2,1)
    if P6[0][FFMV[0]] == 0: # VF nicht US-geeignet
        txt2.append('Für die Deckfrucht %s können keine Untersaatenbauverfahren empfohlen werden.' % (vf))
        ERGU=[""]
    txt2=join(txt2,'\012')
    print txt2
else:
    txt2.append('Die Untersaatenbauverfahren werden für die Deckfrucht %s für einen erwarteten Deckfrucht-Mindestertag von %s %s' % (vf,DFMV[0],%'))
    txt2.append('(bezogen auf den Deckfruchtertrag ohne Untersaatenbau) berechnet.')
    txt2=join(txt2,'\012')
    print txt2
    ERGU=stf(mainObj,USMV,USVV,FFMV,STV,2)
    ERG=ERGU[0]
    ERG1=join((txt2,' ',ERG1[1]),'\012')
else: # Stoppel- und Untersaaten
    vf=Namen([],P2,P6,FFMV,2,1)
    ERGS=stf(mainObj,ZFMV,ZFVV,FFMV,STV,1)
    txt2.append(' ')
    if P6[0][FFMV[0]] == 0: # VF nicht US-geeignet
        txt2.append('Für die Deckfrucht %s können keine Untersaatenbauverfahren empfohlen werden.' % (vf))
        ERGU=[""]
    txt2=join(txt2,'\012')
    print txt2
else:
    txt2.append('Die Untersaatenbauverfahren werden für die Deckfrucht %s für einen erwarteten Deckfrucht-Mindestertag von %s %s' % (vf,DFMV[0],%'))
    txt2.append('(bezogen auf den Deckfruchtertrag ohne Untersaatenbau) berechnet.')
    txt2=join(txt2,'\012')
    print txt2
    ERGU=stf(mainObj,USMV,USVV,FFMV,STV,2)
    ERG=join((ERGS[0],txt2,' ',ERG1[0]),'\012')
    ERG1=join((ERGS[1],txt2,' ',ERG1[1]),'\012')
txt3=[]
txt3.append(' ')
txt3.append('Ändern Sie bitte die Vorgaben für die zu erreichenden Zielleistungen')
txt3.append('bzw. die standörtlichen und pflanzenbaulichen Einflußgrößen.')
txt3.append(' ')
txt3.append('***** DSS Intercrop 0.2 beendet. *****')
txt3.append(' ')
if ERG1[107:112] == 'keine':
    if ERGU=="":
        txt3=join(txt3,'\012')
        txt=join((txt,ERG1,txt3),'\012')
    else:
        txt3=join(txt3[3:6],'\012')
        txt=join((txt,ERG1,txt3),'\012')
    else:
        txt3=join(txt3[3:6],'\012')
        txt=join((txt,ERG1,txt3),'\012')
    print txt3
return [ERG, ERG1,txt]

def valid(sto,ff,zf):
global STV,ZLV,AVV,FQV,ZFVV,ZFMV,ZFAV,DFVV,DFMV,USVV,USMV,USAV,USM,FFV,FFMV
from Vektoren import vektoren
for i in sto: # Standort
for j in ff: # Fruchtfolge
for k in zf: # Anbauverfahren als Stoppel- oder Untersaat
    Input=vektoren(i,j,k)
    STV=Input[0]
    ZLV=Input[1]
    AVV=Input[2]
    ZFVV=Input[3];ZFMV=Input[4];ZFAV=Input[5]
    DFVV=Input[6];DFMV=Input[7]
    USVV=Input[8];USMV=Input[9];USAV=Input[10]
    FFV=Input[11]
    FFMV=Input[12]
    USM=[DFMV,DFVV,USMV,USVV]
    ERG=start(AVV,0)
    output=open(Input[14], 'w')
    output.writelines([join((Input[13],ERG[2]),'\012')])
    print "Datei:", Input[14], "geschrieben."
    print "

#valid([9],[3],[2]) # Standort, Fruchtfolge, Anbauverfahren

```

Datei Textausgabe

```
from string import join
```

```
def titel(a):
    txt=[];erg=[]
    if a < 2:
        txt.append(' ')
        txt.append(' III N N TTTTTT EEEEE RRRRR CCCC RRRRR OOOO P PPPP ')
        txt.append(' I NN N T E R R C C R R O O P P ')
        txt.append(' I NN N T E R R C R R O O P P ')
        txt.append(' I NN N T EEE RRRRR C RRRRR O O P PPPP ')
        txt.append(' I N NN T E R R C R R O O P ')
        txt.append(' I N NN T E R R C C R R O O P ')
        txt.append(' III N N T EEEEE R R CCCC R R OOOO P ')
        txt.append(' ')
    if a < 3:
        txt.append(' ')
        txt.append(' ***** INTERCROP ***** ')
        txt.append(' * ')
        txt.append(' * Das Entscheidungsunterstützungssystem für den Zwischenfruchtanbau * ')
        txt.append(' * (c) R. Sodtke - Januar 2000 * ')
        txt.append(' * Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung ZALF e.V. * ')
        txt.append(' * Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie * ')
        txt.append(' * ')
        txt.append(' ***** INTERCROP ***** ')
        txt.append(' ')
    txt=join(txt,'\012')
    return txt

def Namen(A,P2,P6,FFMV,zf,mat):
    p=len(P2)
    t=len(A)
    c = ['Dt. Weidelgras ','Einj. Weidelgras ','W. Weidelgras ','Grünroggen ','Sommergras ','\
        'Winterraps ','Sommerrüben ','Winterrüben ','Stoppelrüben ','Futterkohl ','\
        'Örtlich ','Gelbsenf ','Sareptasenf ','Phacelia ','Sonnenblume ','\
        'Kulturmalve ','Buchweizen ','Weißklee ','Rotklee ','Perserklee ','\
        'Inkarnatklee ','Alexandrinerklee ','Erdklee ','Steinklee ','Serradella ','\
        'Sommerwicke ','Winterwicke ','W. Bitterlupine ','Bl. Bitterlupine ','G. Süßlupine ','\
        'Ackerbohne ','Felderbse ','Platterbse ','Knautgras ','Wiesenschwingel ','\
        'Rotschwingel ','EWg + W. Weidelgras ','WWg + Winterraps ','WWg + Sonnenblume ','WWg + Weißklee ','\
        'DWg + Weißklee ','EWg + Perserklee ','EWg(WWg) + Alexklee','WWg + Inkarnatklee ','WWg + Rot/Weißklee ','\
        'WWg+Gelb/Weißklee ','Rotkl. + Weißklee ','Gelbkl. + Weißklee ','Landsberger Gemenge','Wickroggen ','\
        'WRaps + FE + SWicke','WRaps + Felderbse ','WRaps + SWicke ','WRaps + W.T.Lupine ','Ackerbohne +FE +SWI',\
        'Ackerbohne +Ferbse ','Ackerbohne +SWicke ','Felderbse +SWicke ','Gelbklee ','\
        f = ['s.schw.','schwach','mittel','stark ','s.stark']
        g = ['gering','normal','hoch ']
        h = ['Winterweizen','Wintergerste','Sommerweizen','Sommergerste','Hafer','Winterraps','Frühkartoffeln','Mais','Ackerbohne','Leguminosen']

    # Verbale Ausgabe der Zwischenfruchtnamen
    if mat == 1:

        # Namen der Zwischenfruchtarten
        if zf == 1: # Ausgabe von ZF-Namen (Stoppel- und Untersaaten)
            Namensliste=[]
            for i in range(0,t):
                for j in range(0,p):
                    if A[i] == j:
                        Namensliste.append(c[j])
            return Namensliste

        # Name der Deckfrucht
        elif zf == 2: # Ausgabe von DF-Namen
            for j in range(0,11):
                if FFMV[0] == j:
                    DFName = h[j]
            return DFName

    # Übersetzung der Anbauverfahrensmatrix für Stoppelsaaten
    elif zf == 1:
        d = ['Anfang Juli ','Mitte Juli ','Ende Juli ','Anfang August ','\
            'Mitte August ','Ende August ','Anfang September','Mitte September ']
        e = ['fein' ,'"mittel"', "grob" ]
        STF2=A

    for i in range(0,t):
        # Namen der Pflanzenarten
        for j in range(0,p):
            if A[i][0] == j:
                STF2[i][0] = c[j]

        # Saattermine
        for k in range(0,8):
            if A[i][1] == (k*10)+185:
                STF2[i][1] = d[k]

        # N-Düngungsstufen
        nd=str(A[i][2])
        if len(nd) == 1:
            STF2[i][2] = join([' ',nd],")
        elif len(nd) == 2:
            STF2[i][2] = join([' ',nd],")
        else:
            STF2[i][2] = join(["",nd],")

        # Bestellverfahren
        for l in range(0,3):
            if A[i][3] == l+1:
```

```

STF2[i][3] = e[i]

# Biomasseerträge
for j in [5,7]:
    ehmin=str(A[i][j])
    ehmax=str(A[i][j+1])
    STF2[i][j+1] = ehmax
    if len(ehmax) == 1:
        if ehmax == '0':
            STF2[i][j] = ' '
        elif ehmin == ehmax:
            STF2[i][j] = 'ca.'
        elif len(ehmin) == 1:
            STF2[i][j] = join(' ',ehmin,-',')
        else:
            STF2[i][j] = join(' ',ehmin,-',')
    else:
        if ehmin == ehmax:
            STF2[i][j] = 'ca.'
        elif len(ehmin) == 1:
            STF2[i][j] = join(' ',ehmin,-',')
        else:
            STF2[i][j] = join(' ',ehmin,-',')

# Deckungsgrade und N-Aufnahme-Mengen
for j in [9,11,13,15]:
    dgmin=str(A[i][j])
    dgmax=str(A[i][j+1])
    STF2[i][j+1] = dgmax
    if len(dgmax) == 1:
        if dgmax == '0':
            STF2[i][j] = ' '
        elif dgmin == dgmax:
            STF2[i][j] = 'ca.'
        elif len(dgmin) == 1:
            STF2[i][j] = join(' ',dgmin,-',')
        elif len(dgmin) == 2:
            STF2[i][j] = join(' ',dgmin,-',')
        else:
            STF2[i][j] = join(' ',dgmin,-',')
    elif len(dgmax) == 2:
        if dgmin == dgmax:
            STF2[i][j] = 'ca.'
        elif len(dgmin) == 1:
            STF2[i][j] = join(' ',dgmin,-',')
        elif len(dgmin) == 2:
            STF2[i][j] = join(' ',dgmin,-',')
        else:
            STF2[i][j] = join(' ',dgmin,-',')
    if dgmin == dgmax:
        STF2[i][j] = 'ca.'
    elif len(dgmin) == 1:
        STF2[i][j] = join(' ',dgmin,-',')
    elif len(dgmin) == 2:
        STF2[i][j] = join(' ',dgmin,-',')
    else:
        STF2[i][j] = join(' ',dgmin,-',')

# Verfahrenskosten
vk=str(A[i][17])
if len(vk) == 2:
    STF2[i][17] = join(' ',vk,')')
elif len(vk) == 3:
    STF2[i][17] = join(' ',vk,')')
else:
    STF2[i][17] = join(' ',vk,')')

# Zielerfüllungsgrade
for j in range(18,len(A[i]),3):
    for k in range(0,3):
        A[i][j+k]=round(A[i][j+k],1)
    if A[i][j+1] == A[i][j+2]: # zegmin==zegmax
        if 0 < A[i][j+1] < 1:
            STF2[i][j] = join(' ',str(A[i][j]),')')
            STF2[i][j+1] = join(' ',str(A[i][j+1]),'-',')')
            STF2[i][j+2] = join(' ',str(A[i][j+2]),')',')')
        else:
            if A[i][j] in [0,1]:
                STF2[i][j] = join(' ',str(A[i][j]),[0]),')')
            else:
                STF2[i][j] = join(' ',str(A[i][j]),')')
            STF2[i][j+1] = ' '
            STF2[i][j+2] = " "
    else:
        STF2[i][j] = join(' ',str(A[i][j]),')')
        if A[i][j+1] == 0.0 or A[i][j+1] == 1.0:
            STF2[i][j+1] = join(' ',str(A[i][j+1]),[0]),'-',')')
        if A[i][j+2] == 0.0 or A[i][j+2] == 1.0:
            STF2[i][j+2] = join(' ',str(A[i][j+2]),[0]),')',')')
        else:
            STF2[i][j+2] = join(' ',str(A[i][j+2]),')',')')
        else:
            STF2[i][j+1] = join(' ',str(A[i][j+1]),'-',')')
            if A[i][j+2] == 0.0 or A[i][j+2] == 1.0:
                STF2[i][j+2] = join(' ',str(A[i][j+2]),[0]),')',')')
            else:
                STF2[i][j+2] = join(' ',str(A[i][j+2]),')',')')

return STF2

# Übersetzung der Anbauverfahrensmatrix für Untersaaten
else:

```

```

d = [' H(f) ',' H(m) ',' H(sp) ',' F(f) ',' F(m) ',' F(sp) ',' H(f)+F ',' H(m)+F ',' H(s)+F']
USV2=A
for i in range(0,t):
# Namen der Untersaaten
for j in range(0,p):
if A[i][0] == j:
USV2[i][0] = c[j]

for k in [1,5]:
if A[i][k] > 2.9/3: # sehr stark: starke WG; starke US (WWg, RK)
USV2[i][k] = f[4]
elif A[i][k] > 2.5/3: # stark: schwächere WG; WR,WW; schwächere WWg, RK
USV2[i][k] = f[3]
elif A[i][k] > 2.1/3: # mittelstark: schwächerer WR,WW,SW; HF
USV2[i][k] = f[2]
elif A[i][k] > 1.6/3: # schwach: starke SG; starke DWg, WK
USV2[i][k] = f[1]
else: # sehr schwach: schwache SG; schwache DWg, WK
USV2[i][k] = f[0]

# Saattermine
for l in range(0,6):
if A[i][2] == l+1:
if FFMV[0] < 3: # Winterungen
USV2[i][2] = d[l]
else: # Sommerungen
USV2[i][2] = d[l+3]
if A[i][6] == l+1:
if A[i][0] in c[39:46]: # für Klee gras-Untersaaten
if A[i][6] < 4: # mit Herbst-Untersaatterminen
USV2[i][6] = d[l+6] # ST-Angabe H- und Fj.-Termin
else:
USV2[i][6] = d[l]
else:
USV2[i][6] = d[l]

# Saatmengen
for m in range(0,3):
if (A[i][3]*2) == m+1:
USV2[i][3] = g[m]

# N-Düngungsstufen
for j in [4,8]:
if j == 4:
if A[i][j] < 1:
nd=g[0]
elif A[i][j] == 1:
nd=g[1]
else:
nd=g[2]
else:
nd=A[i][j]
nd=str(nd)
if len(nd) == 1:
USV2[i][j] = join([' ',nd],")
elif len(nd) == 2:
USV2[i][j] = join([' ',nd],")
else:
USV2[i][j] = join([' ',nd],")

# Rel. DF-Erträge
edfmin=str(A[i][9])
edfmax=str(A[i][10])
USV2[i][10] = edfmax
if len(edfmax) == 2:
if edfmin == edfmax:
USV2[i][9] = ' ca.'
elif len(edfmin) == 2:
USV2[i][9] = join([' ',edfmin,'-'],")
else:
USV2[i][9] = join([' ',edfmin,'-'],")
else:
if edfmin == edfmax:
USV2[i][9] = ' ca.'
elif len(edfmin) == 2:
USV2[i][9] = join([' ',edfmin,'-'],")
else:
USV2[i][9] = join([' ',edfmin,'-'],")

# Biomasseerträge
for j in [11,13]:
ehmin=str(A[i][j])
ehmax=str(A[i][j+1])
USV2[i][j+1] = ehmax
if len(ehmax) == 1:
if ehmax == '0':
USV2[i][j] = ' '
elif ehmin == ehmax:
USV2[i][j] = ' ca.'
elif len(ehmin) == 1:
USV2[i][j] = join([' ',ehmin,'-'],")
else:
USV2[i][j] = join([' ',ehmin,'-'],")
else:
if ehmin == ehmax:
USV2[i][j] = ' ca.'
elif len(ehmin) == 1:
USV2[i][j] = join([' ',ehmin,'-'],")
else:
USV2[i][j] = join([' ',ehmin,'-'],")

# Deckungsgrade und N-Aufnahme-Mengen
for j in [15,17,19,21]:

```

```

dgmin=str(A[i][j])
dgmax=str(A[i][j+1])
USV2[i][j+1] = dgmax
if len(dgmax) == 1:
    if dgmax == '0':
        USV2[i][j] = ' '
    elif dgmin == dgmax:
        USV2[i][j] = ' ca.'
    elif len(dgmin) == 1:
        USV2[i][j] = join([' ',dgmin,'-'],")
    elif len(dgmin) == 2:
        USV2[i][j] = join([' ',dgmin,'-'],")
    else:
        USV2[i][j] = join([' ',dgmin,'-'],")
elif len(dgmax) == 2:
    if dgmin == dgmax:
        USV2[i][j] = ' ca.'
    elif len(dgmin) == 1:
        USV2[i][j] = join([' ',dgmin,'-'],")
    elif len(dgmin) == 2:
        USV2[i][j] = join([' ',dgmin,'-'],")
    else:
        USV2[i][j] = join([' ',dgmin,'-'],")
if dgmin == dgmax:
    USV2[i][j] = ' ca.'
elif len(dgmin) == 1:
    USV2[i][j] = join([' ',dgmin,'-'],")
elif len(dgmin) == 2:
    USV2[i][j] = join([' ',dgmin,'-'],")
else:
    USV2[i][j] = join([' ',dgmin,'-'],")

# Verfahrenskosten
vk=str(A[i][23])
if len(vk) == 2:
    USV2[i][23] = join([' ',vk],")
elif len(vk) == 3:
    USV2[i][23] = join([' ',vk],")
else:
    USV2[i][23] = join(["",vk],")

# Zielerfüllungsgrade
for j in range(24,len(A[i]),3):
    for k in range(0,3):
        A[i][j+k]=round(A[i][j+k],1)
    if A[i][j+1] == A[i][j+2]: # zegmin==zegmax
        if 0 < A[i][j+1] < 1:
            USV2[i][j] = join(["",str(A[i][j]),"],")
            USV2[i][j+1] = join([' ',str(A[i][j+1]),'-'],")
            USV2[i][j+2] = join([' ',str(A[i][j+2]),'],"),")
        else:
            if A[i][j] in [0,1]:
                USV2[i][j] = join(["",str(A[i][j])[0]),"],")
            else:
                USV2[i][j] = join(["",str(A[i][j]),"],")
            USV2[i][j+1] = ' '
            USV2[i][j+2] = "
    else: # zegmin != zegmax
        USV2[i][j] = join(["",str(A[i][j]),"],")
        if A[i][j+1] == 0.0 or A[i][j+1] == 1.0:
            USV2[i][j+1] = join([' ',str(A[i][j+1])[0],'-'],")
        if A[i][j+2] == 0.0 or A[i][j+2] == 1.0:
            USV2[i][j+2] = join(["",str(A[i][j+2])[0],'.'],")
        else:
            USV2[i][j+2] = join(["",str(A[i][j+2]),'],"),")
        else:
            USV2[i][j+1] = join([' ',str(A[i][j+1]),'-'],")
            if A[i][j+2] == 0.0 or A[i][j+2] == 1.0:
                USV2[i][j+2] = join(["",str(A[i][j+2])[0],'.'],")
            else:
                USV2[i][j+2] = join(["",str(A[i][j+2]),'],"),")

return USV2

def pflanzenarten(i,P2,P3,MM,WV,AV,FFV,FFMV):
p=len(P3[1])-2 # Anzahl der Hauptfruchtarten
pzf=len(P3) # Anzahl der ZF-Arten

if i==1: # Stoppelsaaten
anzverf=len(MM)
USM=1
else: # Untersaaten
# global MV USM USAV M3 DFName;
anzverf=len(MM) # anzarten=19;

anzarten=len(AV)
arten=[]; arten1=[]; artensumme=0; artensumme2=0

# Initialisierung des Artenvektors AV

if VV[0] == 0: # wenn alle ZF-Arten gewünscht
AV=[]
for j in range(0,pzf):
AV.append(1)
anzarten=pzf

for k in range(0,8): # AV-Modifizierung bei Unverträglichkeiten
if FFV[k] == 1:
for j in range(0,anzarten):
if P3[j][k+1] == 0:
if AV[j] == 1:

```

```

AV[j] = 2

# AV-Modifizierung bei Mulchsaatwunsch für Nachfrucht ZR oder Mais
if FFMV[4] == 2:
    if FFV[4] == 1:
        # Anbau von Zuckerrüben
        for j in range(0,anzarten):
            if AV[j] == 1:
                if P2[j][15] == 0:
                    # keine Mulchsaateignung für ZR
                    AV[j] = 2
            elif FFMV[4] == 3:
                # Anbau von Mais
                if FFV[7] == 1:
                    for j in range(0,anzarten):
                        if AV[j] == 1:
                            if P2[j][14] == 1:
                                # keine Mulchsaateignung für Mais
                                AV[j] = 2

# AV-Modifizierung bei Untersaaten
if i == 2:
    for j in range(0,anzarten):
        if P2[j][9] < 1:
            # keine Untersaateignung
            AV[j] = 0

# Berechnung der Ausgabeparameter
for j in range(0,anzarten):
    if AV[j] > 0:
        arten1.append(j)
    if AV[j] == 2:
        arten2.append(j)
    else:
        arten.append(j)
    artensumme=artensumme+1

# Festsetzung der Textausgabestrings

if arten2 == []:
    textstring2=""
    zfstring2=""
elif FFMV[4] > 1:
    textstring2="Die folgenden Arten sind mit den von Ihnen angegebenen Hauptkulturen unvertraeglich bzw. sind nicht mulchsaatgeeignet und werden nicht berücksichtigt:"
    Namensliste=Namen(arten2,P2,P3,[1],1,1)
    zfstring2=Namensliste
else:
    textstring2="Die folgenden Arten sind mit den von Ihnen angegebenen Hauptkulturen unvertraeglich und werden nicht berücksichtigt:"
    Namensliste=Namen(arten2,P2,P3,[1],1,1)
    zfstring2=Namensliste

Namensliste=Namen(arten1,P2,P3,[1],1,1)
zfstring=Namensliste

if i == 1:
    if VV[0] == 0:
        textstring="Sie haben alle verfügbaren Stoppelfruchtarten gewählt."
        zfstring=""
    else:
        textstring="Sie haben folgende Stoppelfruchtarten gewählt:"
        vstring="Berechne %s mögliche Anbauverfahren jeweils für %d ausgewählte Stoppelfruchtart(en)... ' (anzverf , artensumme)
    else:
        DF=Namen([],P2,P2,FFMV,2,1)
        if VV[0] == 0:
            textstring="Für die Deckfrucht %s haben Sie alle verfügbaren Untersaatarten gewählt." % DF
            zfstring=""
        else:
            textstring="Für die Deckfrucht %s haben Sie folgende Untersaatarten gewählt:" % DF
            vstring="Berechne %s mögliche Anbauverfahren jeweils für %d ausgewählte Untersaatart(en)... ' (anzverf , artensumme)

# Textausgabe

print ''
print textstring
print ''
for i in range(0,len(zfstring)):
    print zfstring[i]
print ''
if arten2 == []:
    pass
else:
    print textstring2
    print ''
    z=len(zfstring2)
    for i in range(0,z):
        print zfstring2[i]
    print ''
print vstring
print ''

return arten

def anbauziel(ZLV,zf):
# stellt die ausgewählten Anbauziele linguistisch dar.

anzz=len(ZLV)
if zf == 1: # Stoppelsaaten
    Ziel=[NKonserv ,N2Fixrg ,BdSchutz ,OSAnr ,
          BdGefüge ,UBdLckrg ,Futter ,Futter (W.) ,
          Futter (GF) ,Futter (S.) ,Unkraut ,Nematoden ]
    else: # Untersaaten
    Ziel=[NKons ,N2Fix ,BdSch ,OSAnr ,
          BdGef ,UBdLck ,Futter ,Futter (W.) ,
          Futter (GF) ,Futter (S.) ,Unkrnt ,Nematod ]

A=[]

for i in range(0,2):
    if ZLV[i] > 0:

```

```

A.append(Ziel[i])
if ZLV[2] < 100:
    A.append(Ziel[2])
for i in range(3,6):
    if ZLV[i] > 0:
        A.append(Ziel[i])
if ZLV[6][0] > 0:
    A.append(Ziel[6+ZLV[6][2]])
for i in range(7,anzz):
    if ZLV[i] > 0:
        A.append(Ziel[i+3])

AnzAZ=a+len(A)
if a==0: AZ=""
elif a==1: AZ="%s" % tuple(A)
elif a==2: AZ="%s%s" % tuple(A)
elif a==3: AZ="%s%s%s" % tuple(A)
elif a==4: AZ="%s%s%s%s" % tuple(A)
elif a==5: AZ="%s%s%s%s%s" % tuple(A)
elif a==6: AZ="%s%s%s%s%s%s" % tuple(A)
elif a==7: AZ="%s%s%s%s%s%s%s" % tuple(A)
elif a==8: AZ="%s%s%s%s%s%s%s%s" % tuple(A)
else: AZ="%s%s%s%s%s%s%s%s%s" % tuple(A)
return [AZ,AnzAZ]

def zielleistungen(ZLV):
# stellt die ausgewählten Zieleistungsgrößen linguistisch dar.
zltxt=[]
Ziel=["N-Konservierung: ','N2-Fixierung: ','Bodenschutz: ','O.S.-Anreicherung: ','\
' Bodengefüge/Krümelstruktur:', 'Unterbodenlockerung: ','Futternutzung (W,GF,S): ','Futternutzung (Weide): ','\
'Futternutzung (Grünfütter):','Futternutzung (Silage): ','Unkrautverdrängung: ','Nematodenbekämpfung: ','\
Lstg=['unwichtig ','wenig wichtig ','mäßig wichtig ','ziemlich wichtig ','\
'sehr wichtig ',' kg N/ha ',' % relativer Bodenabtrag',' dt TS/ha ',' % austragsgefährdeter Stickstoff]

# Initialisierung neuer Zieleistungsvektor

C=[]
if ZLV[0] > 0:
    C.append([Ziel[0], '\011', str(ZLV[0]), Lstg[8]])
if ZLV[1] > 0:
    C.append([Ziel[1], '\011', str(ZLV[1]), Lstg[5]])
if ZLV[2] < 100:
    C.append([Ziel[2], '\011', str(ZLV[2]), Lstg[6]])
for i in range(3,6):
    if ZLV[i] > 0:
        C.append([Ziel[i], '\011', Lstg[ZLV[i]], ""])
if ZLV[6][0] > 0:
    C.append([Ziel[ZLV[6][2]+6], '\011', str(ZLV[6][0]), Lstg[7]])
for i in range(7,len(ZLV)):
    if ZLV[i] > 0:
        C.append([Ziel[i+3], '\011', Lstg[ZLV[i]], ""])

zltxt.append("")
for i in range(0,len(C)):
    zltxt.append(join(tuple(C[i]),""))
zltxt.append("")
return zltxt

def saattmenge(B,P2,zf):
# Ersetzen der relativen Saatstärken durch Saattmengen (kg/ha) aus Matrix P2.

STF1=B
if zf == 1: # Stoppelsaaten
for i in range(0,len(P2)):
for j in range(0,len(B)):
if B[j][0] == P2[i][0]-1:
smg = str(int(B[j][4] * P2[i][1]))
if len(smg) == 1:
smgstr = [' ',smg]
elif len(smg) == 2:
smgstr = [' ',smg]
else:
smgstr = [' ',smg]
STF1[j][4] = join(smgstr,")

else: # Untersaaten
for j in range(0,len(B)):
if B[j][0] == 2: # Welsches Weidelgras
smg = str(int(round(B[j][7] * (P2[B[j][0]][12]-10) + 10)))
else:
smg = str(int(round(B[j][7] * P2[B[j][0]][12])))
if len(smg) == 1:
smgstr = [' ',smg]
elif len(smg) == 2:
smgstr = [' ',smg]
else:
smgstr = [' ',smg]
STF1[j][7] = join(smgstr,")

return STF1

```

Datei Zielgroessenanforderung

```

import fuzzy
from Textausgabe import Namen
from math import sqrt

def zganf(ZLV,FFV,P1,P2,SV,M1A,NAV,USMV,arten):
    # Diese Funktion berechnet ein 4-dim Zielgrößenanforderungsarray ZAA

    ZAA=[]

    # Einlesen der Fuzzy-Systeme
    FIS=[]
    FISSW=fuzzy.read_fis("FISSW.fis")
    FIS.append(FISSW)
    FISZBS=fuzzy.read_fis("FISZBS.fis")
    FIS.append(FISZBS)
    FISZOS=fuzzy.read_fis("FISZOS.fis")
    FIS.append(FISZOS)
    FISZAE=fuzzy.read_fis("FISZAE.fis")
    FISZAD=fuzzy.read_fis("FISZAD.fis")
    FIS.append(FISZAE,FISZAD)

    for i in range(0,len(M1A)):
        M1A[i][2]=NAV[i]
    for i in arten:
        Namensliste=Namen([i],P2,P2,USMV,1,1)
        print " ",Namensliste[0]
        if FFV[7] == 1: # Kartoffelanbau
            P1V=P1[i][1:13]
            P1V.append(P1[i][14])
        else: # ZR-Anbau oder weder ZR/Kart.
            P1V=P1[i][1:14]
        P1V.append(P2[i][6]) # DGmax
        P1V.append(P2[i][7]) # kDG
        ZGA=zga(ZLV,P1V,SV,M1A,FIS)

    ZAA.append(ZGA)
    return ZAA

def zga(ZLV,P1V,SV,M1A,FIS):
    ZGA=[]
    for i in range(0,len(M1A)):
        M2=M1A[i]
        SV2=((SV[i][1][0]+SV[i][1][1])/2); SV2.append(SV[i][6])
        ZA=[]
        if ZLV[0] > 0:
            ZA1=nkonservierung(ZLV[0],P1V[0:3],P1V[13:15],SV2,M2[2][0],FIS[0])
            ZA.append(ZA1)
        if ZLV[1] > 0:
            ZA2=n2fixierung(ZLV[1],P1V[0:3],M2[2][0])
            ZA.append(ZA2)
        if ZLV[2] < 100:
            ZA3=bodenschutz(ZLV[2],P1V[3],(M2[1][0]+M2[1][0])/2,FIS[1])
            ZA.append(ZA3)
        if ZLV[3] > 0:
            ZA4=osanreicherung(ZLV[3],P1V[4],(M2[1][0]+M2[1][0])/2,FIS[2])
            ZA.append(ZA4)
        if ZLV[4] > 0:
            ZA5=bodengefuege(ZLV[4],P1V[5],FIS[3])
            ZA.append(ZA5)
        if ZLV[5] > 0:
            ZA6=unterbodenlockerung(ZLV[5],P1V[6],FIS[3])
            ZA.append(ZA6)
        if ZLV[6][0] > 0:
            ZA7=futtermutzung(ZLV[6],P1V[7:11])
            ZA.append(ZA7)
        if ZLV[7] > 0:
            ZA8=unkrautverdraengung(ZLV[7],P1V[11],FIS[3])
            ZA.append(ZA8)
        if ZLV[8] > 0:
            ZA9=nematodenbekaempfung(ZLV[8],P1V[12],M2[3],FIS[3])
            ZA.append(ZA9)
        ZGA.append(ZA)
    return ZGA

def nkonservierung(ZL,P1V,DGV,SV,NA,NKFIS):
    ZA1=[]
    NSA=SV[0]
    nFK=SV[1]
    Nmax=P1V[1]
    kN=P1V[0]
    NFix=P1V[2]
    Dmax=DGV[0]
    kDG=DGV[1]
    SW=fuzzy.eval_fis2((NSA,nFK),NKFIS[0]) # Sickerwassermenge
    if SW < 0:
        SW = 0
    elif SW > 700:
        SW = 700
    SWA=SW/(SW+nFK) # Sickerwasseranteil am Infiltrationswasser
    NL=NA*SWA # auswachsungsgefährdeter Stickstoff
    ZL1=min(NL*float(ZL)/100,NA) # Zielleistungsdefinition: N-Aufnahme-Soll als N-Leaching-Prozent
    if ZL1 >= Nmax:
        ZL1 = 0.999*Nmax
    elif ZL1 < 0:
        ZL1 = 0
    if NFix == 0: # Ertragsanforderung Herbst für Nichtleguminosen!
        EH=round(ZL1*kN/(Nmax-ZL1),1)
    else: # Ertragsanforderung Herbst für Leguminosen!

```



```

if ZL1==0:
  EH=0
else:
  if NA <= 60:
    r=1*NFix # N-Fixierungspotential je nach Leguminosenanteil der (Gemenge-)Ansaat: [0,1]
  else:
    r=min(1,max(0.001,(1-0.0065*(NA-20))))*NFix
  a=0.0054
  b=0.49
  x1=Nmax/ZL1*(r*b-1)+1
  x2=2*r*a*Nmax/ZL1
  EH=round((sqrt((x1**2)+2*x2*kN)-x1)/x2,1) # Ertragsanforderung für geringe und mittlere Biomassen
  if EH > 63:
    EH=round(kN/(Nmax/ZL1*(1-(b+a*63)*r)-1),1) # Ertragsanforderung für große Biomassen

DH=round(EH*100/(EH+kDG)*(Dmax+kDG)/Dmax,1) # DG-Anforderung: transf. M.M.-Funktion wie in zgh
ZA1.append(EH)
ZA1.append(0) # Ertragsanforderung Frühjahr
ZA1.append(0) # Deckungsgradanforderung Herbst
ZA1.append(DH) # Deckungsgradanforderung Frühjahr
return ZA1

def n2fixierung(NFix,P1V,NA):
  ZA2=[]
  if P1V[2] == 0:
    EH=500 # Ertragsanforderung Herbst für Nichtleguminosen!
    # EA zu hoch!
  else:
    Nmax=P1V[1]
    kN=P1V[0]
    # N2-Fixierungsanteil an N_Pfl abh. vom Nmin-Angebot n. Roughley, Sprent & Day (1983)
    if NA <= 20:
      r=1*P1V[2] # N-Fixierungspotential je nach Leguminosenanteil der (Gemenge-)Ansaat: [0,1]
    else:
      r=min(1,max(0,(1-0.0065*(NA-20))))*P1V[2]
    if r == 0:
      EH=500 # zu hohe Ertragsanforderung
    else:
      # N2-Fixierungsanteil an N_Pfl abh. von Biomasse n. Duc, Mariotti & Amarger (1988)
      # N_Pfl abh. von Biomasse als M.M.-Kinetik (eigenes Fitting), nach Biomasse umgeformt.
      a=0.0054 # a=0.0027
      b=0.49
      x1=b-NFix/(r*Nmax)
      x2=4*a*NFix*kN/(r*Nmax)
      EH=(sqrt((x1**2)+x2)-x1)/(2*a) # Ertragsanforderung für geringe und mittlere Biomassen
      EH=round(EH,1)
      if EH > 63:
        EH=round(kN*NFix/(Nmax*(b+a*63)*r-NFix),1) # Ertragsanforderung für große Biomassen
      ZA2.append(EH) # Ertragsanforderung Herbst (wahlweise zu Frühjahr)
      ZA2.append(EH) # Ertragsanforderung Frühjahr (wahlweise zu Herbst)
      ZA2.append(0) # Deckungsgradanforderung Herbst
      ZA2.append(0) # Deckungsgradanforderung Frühjahr
    return ZA2

def bodenschutz(ZL,ZP,SD,BSFIS):
  ZA3=[]
  ZA3.append(0) # Ertragsanforderung Herbst
  ZA3.append(0) # Ertragsanforderung Frühjahr
  DH=round(fuzzy.eval_fis3((ZL,ZP,SD),BSFIS[0]),1) # Deckungsgradanforderung Herbst
  DF=round(fuzzy.eval_fis3((ZL,ZP,SD),BSFIS[0]),1) # Deckungsgradanforderung Frühjahr
  ZA3.append(DH)
  ZA3.append(DF)
  return ZA3

def osanreicherung(ZL,ZP,SD,OSFIS):
  ZA4=[]
  EH=round(fuzzy.eval_fis3((ZL,ZP,SD),OSFIS[0]),1) # Ertragsanforderung Herbst
  EF=round(fuzzy.eval_fis3((ZL,ZP,SD),OSFIS[0]),1) # Ertragsanforderung Frühjahr
  ZA4.append(EH)
  ZA4.append(EF)
  ZA4.append(0) # Deckungsgradanforderung Herbst
  ZA4.append(0) # Deckungsgradanforderung Frühjahr
  return ZA4

def bodengefuege(ZL,ZP,BGFIS):
  ZA5=[]
  ZA5.append(round(fuzzy.eval_fis2((ZL,ZP),BGFIS[0]),1)) # Ertragsanforderung Herbst
  ZA5.append(0) # Ertragsanforderung Frühjahr
  ZA5.append(round(fuzzy.eval_fis2((ZL,ZP),BGFIS[1]),1)) # Deckungsgradanforderung Herbst
  ZA5.append(0) # Deckungsgradanforderung Frühjahr
  return ZA5

def unterbodenlockerung(ZL,ZP,BGFIS):
  ZA6=[]
  ZA6.append(round(fuzzy.eval_fis2((ZL,ZP),BGFIS[0]),1)) # Ertragsanforderung Herbst
  ZA6.append(0) # Ertragsanforderung Frühjahr
  ZA6.append(round(fuzzy.eval_fis2((ZL,ZP),BGFIS[1]),1)) # Deckungsgradanforderung Herbst
  ZA6.append(0) # Deckungsgradanforderung Frühjahr
  return ZA6

def futternutzung(ZL,ZP):
  ZA7=[]
  if ZL[2] == 0:
    # Futternutzung: Weide, Grünfütter oder Silage
    # Futterqualitätsanforderung bei Weidefütter
    if ZP[0] >= ZL[1]:
      EH=ZL[0] # Ertragsanforderung Herbst
      EF=ZL[0] # Ertragsanforderung Frühjahr
    elif max(ZP[1],ZP[2]) >= ZL[1]:
      # Futterqualitätsanforderung bei Grünfütter oder Silage
      EH=ZL[0]+ZP[3] # Ertragsanforderung Herbst
      EF=ZL[0]+ZP[3] # Ertragsanforderung Frühjahr
    else:
      EH=500 # EH zu hoch!
      EF=500 # EF zu hoch!
  elif ZL[2] == 1:
    # Futternutzung: Weide

```

```

if ZP[ZL[2]-1] >= ZL[1]:          # Futterqualitätsanforderung bei Weidefutter
  EH=ZL[0]                       # Ertragsanforderung Herbst
  EF=ZL[0]                       # Ertragsanforderung Frühjahr
else:
  EH=500                         # EH zu hoch!
  EF=500                         # EF zu hoch!

elif ZL[2] == 2:                 # Futternutzung: Grünfutter
  if ZP[ZL[2]-1] >= ZL[1]:       # Futterqualitätsanforderung bei Grünfutter
    EH=ZL[0]+ZP[3]              # Ertragsanforderung Herbst
    EF=ZL[0]+ZP[3]              # Ertragsanforderung Frühjahr
  else:
    EH=500                      # EH zu hoch!
    EF=500                      # EF zu hoch!

elif ZL[2] == 3:                 # Futternutzung: Silage
  if ZP[ZL[2]-1] >= ZL[1]:       # Futterqualitätsanforderung bei Silage
    EH=ZL[0]+ZP[3]              # Ertragsanforderung Herbst
    EF=ZL[0]+ZP[3]              # Ertragsanforderung Frühjahr
  else:
    EH=500                      # EH zu hoch!
    EF=500                      # EF zu hoch!

ZA7.append(EH)                   # Deckungsgradanforderung Herbst
ZA7.append(EF)                   # Deckungsgradanforderung Frühjahr
ZA7.append(0)
return ZA7

def unkrautverdraengung(ZL,ZP,UKFIS):
  ZA8=[]
  ZA8.append(0)                  # Ertragsanforderung Herbst
  ZA8.append(0)                  # Ertragsanforderung Frühjahr
  ZA8.append(round(fuzzy.eval_fis2((ZL,ZP),UKFIS[1]),1)) # Deckungsgradanforderung Herbst
  ZA8.append(round(fuzzy.eval_fis2((ZL,ZP),UKFIS[1]),1)) # Deckungsgradanforderung Frühjahr
  return ZA8

def nematodenbekaempfung(ZL,ZP,ST,NBFIS):
  ZA9=[]
  if ZP == 0:
    EH=500                       # EH zu hoch!
    DH=500                       # DH zu hoch!
  elif ST > 215:
    EH=500                       # Saattermin Mitte August oder später
    DH=500                       # EH zu hoch!
    DH=500                       # DH zu hoch!
  else:
    EH=round(fuzzy.eval_fis2((ZL,ZP),NBFIS[0]),1) # Ertragsanforderung Herbst
    DH=round(fuzzy.eval_fis2((ZL,ZP),NBFIS[1]),1) # Deckungsgradanforderung Herbst
  ZA9.append(EH)                 # Ertragsanforderung Frühjahr
  ZA9.append(0)
  ZA9.append(DH)                 # Deckungsgradanforderung Frühjahr
  ZA9.append(0)
  return ZA9

```

Datei Zielgroessenpotential

```

import fuzzy
from math import exp
from Textausgabe import Namen

#-----

def test_us(zf,modul):
    from string import join

    # Einlesen der Fuzzy-Systeme
    FIS=[]
    FISNMin=fuzzy.read_fis("FISNMin.fis")
    FISSV=fuzzy.read_fis("FISSV.fis")
    FISSW=fuzzy.read_fis("FISSW.fis")
    FIS.append([FISNMin,FISSV,FISSW])

    FISWAZF=fuzzy.read_fis("FISWAZF.fis")
    FIS.append([FISWAZF])

    FISSV=fuzzy.read_fis("FISSV.fis")
    FISFADS=fuzzy.read_fis("FISFAD.fis")
    FISFABS=fuzzy.read_fis("FISFAB.fis")
    FISFAUS=fuzzy.read_fis("FISFAUS.fis")
    FIS.append([FISSV,FISFADS,FISFABS,FISFAUS])

    FISEOR=fuzzy.read_fis("FISEOR.fis")
    FISEGS=fuzzy.read_fis("FISEGS.fis")
    FISEWR=fuzzy.read_fis("FISEWR.fis")
    FISEGR1=fuzzy.read_fis("FISEGR1.fis")
    FISEGR=fuzzy.read_fis("FISEGR.fis")
    FISELG1=fuzzy.read_fis("FISELG1.fis")
    FISELG=fuzzy.read_fis("FISELG.fis")
    FISEKG1=fuzzy.read_fis("FISEKG1.fis")
    FISEKG=fuzzy.read_fis("FISEKG.fis")
    FIS.append([FISEOR,FISEGS,FISEWR,FISEGR1,FISEGR,FISELG1,FISELG,FISEKG1,FISEKG])

    FISESR=fuzzy.read_fis("FISESR3.fis")
    FISEFJ=fuzzy.read_fis("FISEFJ.fis")
    FISDFJ=fuzzy.read_fis("FISDFJ.fis")
    FIS.append([FISESR,FISEFJ,FISDFJ])

    #EUS-Submodell
    #Deckfruchtbezogene Fuzzysysteme
    FISWADF=fuzzy.read_fis("FISWADF.fis")
    FISEDF=fuzzy.read_fis("FISEDF.fis")
    FISEUS=fuzzy.read_fis("FISEUS.fis")
    #FISUSK=fuzzy.read_fis("FISKEDF.fis")
    FISUSK=fuzzy.read_fis("FISKPDF.fis")

    #Untersaatbezogene Fuzzysysteme
    FISWADF1=fuzzy.read_fis("FISWADF1.fis")
    FISEDF1=fuzzy.read_fis("FISEDF1.fis")
    FISEUS1=fuzzy.read_fis("FISKPG1.fis")
    FISEUS2=fuzzy.read_fis("FISKPG2.fis")
    FISEUS3=fuzzy.read_fis("FISKPL.fis")
    FISUSK1=fuzzy.read_fis("FISUSK1.fis")
    FISUSK2=fuzzy.read_fis("FISUSK2.fis")
    FIS.append([FISWADF,FISEDF,FISEUS,FISUSK,FISWADF1,FISEDF1,FISEUS1,FISEUS2,FISEUS3,FISUSK1,FISUSK2])

    # Initialisierungen
    USMV=[1,1,1,2,40]
    SV=[[0,[650,650],[0.05,0.15],330,1,240,120,15,2,0,10],\
        [1,[600,650],[0.05,0.15],330,1,240,120,15,2,0,10],\
        [2,[600,650],[0.05,0.15],330,1,240,120,15,2,0,10]]
    P1=datei_lesen('/home/rainer/Documents/Intercrop/Pot/Pot1.txt',0,1)
    P2=datei_lesen('/home/rainer/Documents/Intercrop/Pot/Pot2.txt',0,1)
    for i in range(0,len(P2)):
        P2[i][0]=int(P2[i][0])
    P3=datei_lesen('/home/rainer/Documents/Intercrop/Pot/Pot3.txt',0,1)
    P41=datei_lesen('/home/rainer/Documents/Intercrop/Pot/Pot4_1.txt',0,0)
    P42=datei_lesen('/home/rainer/Documents/Intercrop/Pot/Pot4_2.txt',0,0)
    P5=datei_lesen('/home/rainer/Documents/Intercrop/Pot/Pot5.txt',0,0)
    P6=datei_lesen('/home/rainer/Documents/Intercrop/Pot/Pot6.txt',1,1)

    # Submodell Stickstoffangebot
    if modul == 0:
        Datei='/home/rainer/Documents/Intercrop/tmp/Test_NA.dat'
        Text=["NSSLK      SD      CN      NR      ND      BV      NA      NAmin      NAmax"]
        # N-Düngung
        for i in range(0,121):
            NSS = [0,0]
            LK = 15
            SD = [0,0]
            CN = 30
            NR = [0,0]
            ND = i
            BV = 1
            MV1 = [SD,CN,NR,ND,BV]
            SV1 = [NSS,LK]
            NA=n_angebot(MV1,SV1,FIS[0])
            Zeile = "%s\011%s\011%s\011%s\011%s\011%s\011%s\011%s" % (NSS[0],LK,SD[0],CN,NR[0],ND,BV,round(NA[0],2),round(NA[1],2),round(NA[2],2))
            print "Zeile: ", Zeile
            Text.append(Zeile)
        # N-Rest
        for i in range(0,101):
            NSS = [0,0]
            LK = 15
            SD = [0,0]

```

```

CN = 30
NR = [i,i]
ND = 0
BV = 1
MV1 = [SD,CN,NR,ND,BV]
SV1 = [NSS,LK]
NA=n_angebot(MV1,SV1,FIS[0])
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSS[0],LK,SD[0],CN,NR[0],ND,BV,round(NA[0],2),round(NA[1],2),round(NA[2],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for j in [15, 20, 30, 100]: # C:N-Verhältnis Ernterückstände
for i in range(0,101): # Ernterückstände der Vorfrucht SD
NSS = [0,0]
LK = 15
SD = [i,i]
CN = j#30
NR = [50,50]
ND = 0
BV = 1#k
MV1 = [SD,CN,NR,ND,BV]
SV1 = [NSS,LK]
NA=n_angebot(MV1,SV1,FIS[0])
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSS[0],LK,SD[0],CN,NR[0],ND,BV,round(NA[0],2),round(NA[1],2),round(NA[2],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for j in [0,0.5,1]: # Wkt. Sommertrockenheit
for i in range(0,101): # Ernterückstände der Vorfrucht SD
NSS = [j,j]
LK = 15
SD = [i,i]
CN = 20
NR = [50,50]
ND = 0
BV = 1#k
MV1 = [SD,CN,NR,ND,BV]
SV1 = [NSS,LK]
NA=n_angebot(MV1,SV1,FIS[0])
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSS[0],LK,SD[0],CN,NR[0],ND,BV,round(NA[0],2),round(NA[1],2),round(NA[2],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for j in [3,15,25]: # Luftkapazität
for i in range(0,101): # Ernterückstände der Vorfrucht SD
NSS = [0,0]
LK = j
SD = [i,i]
CN = 20
NR = [50,50]
ND = 0
BV = 1#k
MV1 = [SD,CN,NR,ND,BV]
SV1 = [NSS,LK]
NA=n_angebot(MV1,SV1,FIS[0])
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSS[0],LK,SD[0],CN,NR[0],ND,BV,round(NA[0],2),round(NA[1],2),round(NA[2],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for k in [1,2,3]: # Bestellverfahren
for i in range(0,101): # Ernterückstände der Vorfrucht SD
NSS = [0,0]
LK = 15
SD = [i,i]
CN = 20
NR = [50,50]
ND = 0
BV = k
MV1 = [SD,CN,NR,ND,BV]
SV1 = [NSS,LK]
NA=n_angebot(MV1,SV1,FIS[0])
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSS[0],LK,SD[0],CN,NR[0],ND,BV,round(NA[0],2),round(NA[1],2),round(NA[2],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
output=open(Datei,'w')
output.writelines([join((Text,'\012'))])
print "Datei:", Datei, "geschrieben."

# Submodell Wasserangebot
elif modul == 1:
Datei='/home/rainer/Documents/Intercrop/tmp/Test_WA.dat'
Text=["NSAnFK BV WA WAmIn WAmax"]
for k in [1,2,3]:
for j in [10, 40, 80, 120, 160]: # nFK
for i in range(400,1051): # NSA
BV =k #BV=1
nFK=j #nFK=SV[0][6]
NSA=[i,i] #NSA=SV[i][1]
WA=w_angebot(NSA,nFK,BV,FIS[1])
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSA[0], nFK, BV, round(WA[0],2), round(WA[1],2), round(WA[2],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for i in [450, 650, 850, 1050]: # NSA
for j in range(10, 161): # nFK
BV=1
nFK=j
NSA=[i,i]
WA=w_angebot(NSA,nFK,BV,FIS[1])
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSA[0], nFK, BV, round(WA[0],2), round(WA[1],2), round(WA[2],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
output=open(Datei,'w')
output.writelines([join((Text,'\012'))])
print "Datei:", Datei, "geschrieben."

# Submodell Feldaufgang
elif modul == 2:

```

```

Datei=/home/rainer/Documents/Intercrop/tmp/Test_FA.dat
Text=["NSSEWR BV_SB BV_SA SM SBA FA FAmin FAmax"]
BV = [[1,0],[2,0],[3,1]]
for k in range(0,3): # Bestellverfahren
for i in range(0,101): # Häufigkeit einer Spätsommertrockenperiode
NSS=float(i)/100,float(i)/100]
SD = [0,0]
BV_SB = BV[k][0]
BV_SA = BV[k][1]
SM = 1
SBA = 1
MV3 = [SD,BV_SB,BV_SA,SM,SBA]
FA=feldaufgang(NSS,MV3,FIS[2],1)
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSS[0], SD[0], BV_SB, BV_SA, SM, SBA, round(FA[0],2), round(FA[1],2), round(FA[2],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for k in range(0,3): # Bestellverfahren
for i in range(0,101): # Ernterückstände der Vorrucht SD
NSS = [0,0]
SD = [i,i]
BV_SB = BV[k][0]
BV_SA = BV[k][1]
SM = 1
SBA = 1
MV3 = [SD,BV_SB,BV_SA,SM,SBA]
FA=feldaufgang(NSS,MV3,FIS[2],1)
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSS[0], SD[0], BV_SB, BV_SA, SM, SBA, round(FA[0],2), round(FA[1],2), round(FA[2],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for k in range(0,3): # Bestellverfahren
for i in range(0,101): # Saatmenge
NSS = [0,0]
SD = [0,0]
BV_SB = BV[k][0]
BV_SA = BV[k][1]
SM = float(i)/50
SBA = 1
MV3 = [SD,BV_SB,BV_SA,SM,SBA]
FA=feldaufgang(NSS,MV3,FIS[2],1)
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSS[0], SD[0], BV_SB, BV_SA, SM, SBA, round(FA[0],2), round(FA[1],2), round(FA[2],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for k in range(0,3): # Bestellverfahren
for i in range(100,301): # Saatbettanspruch
NSS = [0,0] #NSS=[i,i]
SD = [0,0]
BV_SB = BV[k][0]
BV_SA = BV[k][1]
SM = 1
SBA = float(i)/100
MV3 = [SD,BV_SB,BV_SA,SM,SBA]
FA=feldaufgang(NSS,MV3,FIS[2],1)
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSS[0], SD[0], BV_SB, BV_SA, SM, SBA, round(FA[0],2), round(FA[1],2), round(FA[2],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
output=open(Datei,'w')
output.writelines([join((Text,'\012'))])
print "Datei:", Datei, "geschrieben."

# Submodell Feldaufgang Untersaaten (Etablierungserfolg)
elif modul == 3:
Datei=/home/rainer/Documents/Intercrop/tmp/Test_EUS.dat
Text=["NSSEWR ET_VF EP_US EE EEmin EEmax"]
BV = [[1,0],[2,0],[3,1]]
for k in [1,0.75,0.5]: # Etablierungspotenzial Untersaat
for i in range(0,101): # Häufigkeit einer Spätsommertrockenperiode
NSS = [float(i)/100,float(i)/100]
SD = [0,0]
ET = [180,180,180]
ZGS = [1,1,1,k,k,k]
MV2 = [SD,ET,ZGS]
EE=feldaufgang(NSS,MV2,FIS[2],2) # Etablierungserfolg der Untersaat
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSS[0], SD[0], ET[0], ZGS[3], round(EE[3],2), round(EE[4],2), round(EE[5],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for k in [1,0.75,0.5]: # Etablierungspotenzial Untersaat
for i in range(0,101): # Ernte- und Wurzelrückstände Deckfrucht
NSS = [0,0]
SD = [i,i]
ET = [180,180,180]#[240,240,240]
ZGS = [1,1,1,k,k,k]
MV2 = [SD,ET,ZGS]
EE=feldaufgang(NSS,MV2,FIS[2],2) # Etablierungserfolg der Untersaat
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSS[0], SD[0], ET[0], ZGS[3], round(EE[3],2), round(EE[4],2), round(EE[5],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for k in [1,0.75,0.5]: # Etablierungspotenzial Untersaat
for i in range(180,241): # Erntetermin Deckfrucht
NSS = [0,0]
SD = [0,0]
ET = [i,i,i]
ZGS = [1,1,1,k,k,k]
MV2 = [SD,ET,ZGS]
EE=feldaufgang(NSS,MV2,FIS[2],2) # Etablierungserfolg der Untersaat
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSS[0], SD[0], ET[0], ZGS[3], round(EE[3],2), round(EE[4],2), round(EE[5],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for k in [180,210,240]: # Erntetermin Deckfrucht
for i in range(0,121): # Etablierungspotenzial Untersaat
NSS = [0,0]
SD = [0,0]
ET = [k,k,k]
ZGS = [1,1,1,float(i)/100,float(i)/100,float(i)/100]

```

```

MV2 = [SD,ET,ZGS]
EE=feldaufgang(NSS,MV2,FIS[2],2) # Etablierungserfolg der Untersaat
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSS[0], SD[0], ET[0], ZGS[3], round(EE[3],2), round(EE[4],2), round(EE[5],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
output=open(Datei,'w')
output.writelines([join((Text,'\012'))])
print "Datei:", Datei, "geschrieben."

# Submodell Zielgrößen Untersaaten (ZGS)
elif modul == 4:
Datei="/home/rainer/Documents/Intercrop/tmp/Test_ZGS.dat"
Text=["NSA nFK      KFDF      STDF      SMDF      NDF      KFUS      STUS      SMUS      MODUS      EDFmax      EPDF      EP
      EPmin      EPmax"]
print "      NSA      nFK      KFDF      STDF      SMDF      NDF      KFUS      STUS      SMUS      MODUS      EDFmax      EPDF
      EP      EPmin      EPmax"
BV = [[1,0],[2,0],[3,1]]
for k in [50,100,200,300]: # nutzbare Feldkapazität
for i in range(400,951): # Jahresniederschlag
    KFDF = 1.1
    STDF = 1
    SMDF = 2
    NDF = 1
    KFUS = 1
    STUS = 3
    SMUS = 1
    MOD = 1
    NSA = [i, i]
    nFK = k #100 #160
    EDFmax = 1
    MVS = [KFDF,STDF,SMDF,NDF,KFUS,STUS,STDF,MOD]
    SVS = [NSA,nFK]
    EP=zgs(MVS,SVS,EDFmax,FIS[5]) # Etablierungspotenzial der Untersaat
    #Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSA[0], nFK, KFDF,STDF,SMDF,NDF,KFUS,STUS,SMUS,PZF,EDFmax,
round(EP[3],2), round(EP[4],2), round(EP[5],2))
    Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSA[0], nFK,
KFDF,STDF,SMDF,NDF,KFUS,STUS,SMUS,MOD,EDFmax, round(EP[0],2), round(EP[3],2), round(EP[4],2), round(EP[5],2))
    print "Zeile: ", Zeile
    Text.append(Zeile)
for k in [450,650,850]: # Jahresniederschlag
for i in range(0,301): # nutzbare Feldkapazität
    KFDF = 1.1
    STDF = 1
    SMDF = 2
    NDF = 1
    KFUS = 1
    STUS = 3
    SMUS = 1
    MOD = 1
    NSA = [k,k]
    nFK = i #100 #160
    EDFmax = 1
    MVS = [KFDF,STDF,SMDF,NDF,KFUS,STUS,STDF,MOD]
    SVS = [NSA,nFK]
    EP=zgs(MVS,SVS,EDFmax,FIS[5]) # Etablierungspotenzial der Untersaat
    Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSA[0], nFK,
KFDF,STDF,SMDF,NDF,KFUS,STUS,SMUS,MOD,EDFmax, round(EP[0],2), round(EP[3],2), round(EP[4],2), round(EP[5],2))
    print "Zeile: ", Zeile
    Text.append(Zeile)
for k in [0,0.5,1,1.5]: # Konkurrenzfähigkeit Untersaat
for i in range(10,175): # Konkurrenzfähigkeit Deckfrucht
    KFDF = float(i)/100
    STDF = 1
    SMDF = 2
    NDF = 1
    KFUS = k
    STUS = 3
    SMUS = 1
    MOD = 1
    NSA = [650,650]
    nFK = 200
    EDFmax = 1
    MVS = [KFDF,STDF,SMDF,NDF,KFUS,STUS,STDF,MOD]
    SVS = [NSA,nFK]
    EP=zgs(MVS,SVS,EDFmax,FIS[5]) # Etablierungspotenzial der Untersaat
    Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSA[0], nFK,
KFDF,STDF,SMDF,NDF,KFUS,STUS,SMUS,MOD,EDFmax, round(EP[0],2), round(EP[3],2), round(EP[4],2), round(EP[5],2))
    print "Zeile: ", Zeile
    Text.append(Zeile)
for k in [0.5,1,1.5]: # Konkurrenzfähigkeit Untersaat
for i in range(10,31): # Saattermin Deckfrucht
    KFDF = 1
    STDF = float(i)/10
    SMDF = 2
    NDF = 1
    KFUS = k
    STUS = 3
    SMUS = 1
    MOD = 1
    NSA = [650,650]
    nFK = 200
    EDFmax = 1
    MVS = [KFDF,STDF,SMDF,NDF,KFUS,STUS,SMUS,MOD]
    SVS = [NSA,nFK]
    EP=zgs(MVS,SVS,EDFmax,FIS[5]) # Etablierungspotenzial der Untersaat
    Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (NSA[0], nFK,
KFDF,STDF,SMDF,NDF,KFUS,STUS,SMUS,MOD,EDFmax, round(EP[0],2), round(EP[3],2), round(EP[4],2), round(EP[5],2))
    print "Zeile: ", Zeile
    Text.append(Zeile)
for k in [0.5,1,1.5]: # Konkurrenzfähigkeit Untersaat
for i in range(100,201): # Saatmenge Deckfrucht
    KFDF = 1
    STDF = 1

```



```

UT      = i #365
ST      = [180,180,180]
NA      = [120,120,120]
WA      = [250,250,250]
FA      = [1,1,1]
BioM    = k
BioF    = 1
tDG     = 60
kDF     = 15
uDF     = 85
Mod     = [BioM,BioF,tDG,kDF,uDF]
ZGH=zgh(VE,UT,ST,NA,WA,FA,Mod,FIS[3],1)
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (VE, UT, ST[0], NA[0], WA[0], FA[0], BioM,
BioF, tDG, kDF, uDF, round(ZGH[0],2), round(ZGH[1],2), round(ZGH[2],2), round(ZGH[3],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for k in [1,2,3,4,5,6,7,8,9]:      # 9 Stoppesaatmodelle
for i in range(180,366): # Umbruchtermin
VE      = 365
UT      = i #365
ST      = [180,180,180]
NA      = [120,120,120]
WA      = [250,250,250]
FA      = [1,1,1]
BioM    = k
BioF    = 1
tDG     = 60
kDF     = 15
uDF     = 85
Mod     = [BioM,BioF,tDG,kDF,uDF]
ZGH=zgh(VE,UT,ST,NA,WA,FA,Mod,FIS[3],1)
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (VE, UT, ST[0], NA[0], WA[0], FA[0], BioM,
BioF, tDG, kDF, uDF, round(ZGH[0],2), round(ZGH[1],2), round(ZGH[2],2), round(ZGH[3],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
output=open(Datei,"w")
output.writelines([join((Text,'\012'))])
print "Datei:", Datei, "geschrieben."

# Submodell Zielgrößen Frühjahr (ZGF)
elif modul == 6:
Datei="/home/rainer/Documents/Intercrop/tmp/Test_ZGF.dat"
Text=["BH  DH      WK      UT      ST      WH      Dmax      kDG      uDG      Nmax      kN      BF      BFmin
      BFmax      DF"]
print "
      BH      DH      WK      UT      ST      WH      Dmax      kDG      uDG      Nmax      kN      BF
      BFmin      BFmax      DF"
for k in [1,2,3,4]: # Winterkälte
for i in range(0,101): # Winterhärte
ZGH     = [80,80,80,100,100,100]
WK      = k
UT      = 485 # [i,i] #
ST      = [180,180,180]
WH      = float(i)/100
Dmax    = 60
kDG     = 15 # Ölrettich
uDG     = 85
Nmax    = 242
kN      = 56
PZF1   = [WH,Dmax,kDG,uDG,Nmax,kN]
ZGF=zgf(ZGH,WK,PZF1,ST,UT,FIS[4])
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (ZGH[0], ZGH[3], WK, UT, ST[0], WH, Dmax,
kDG, uDG, Nmax, kN, round(ZGF[0],2), round(ZGF[1],2), round(ZGF[2],2), round(ZGF[3],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for k in [0,0.5,1]: # Winterhärte
for i in range(25,101): # Winterkälte
ZGH     = [80,80,80,100,100,100]
WK      = float(i)/25
UT      = 485 # [i,i] #
ST      = [180,180,180]
WH      = k
Dmax    = 60
kDG     = 15 # Ölrettich
uDG     = 85
Nmax    = 242
kN      = 56
PZF1   = [WH,Dmax,kDG,uDG,Nmax,kN]
ZGF=zgf(ZGH,WK,PZF1,ST,UT,FIS[4])
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (ZGH[0], ZGH[3], WK, UT, ST[0], WH, Dmax,
kDG, uDG, Nmax, kN, round(ZGF[0],2), round(ZGF[1],2), round(ZGF[2],2), round(ZGF[3],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for k in [0,50,100]: # Deckungsgrad
for i in range(0,81): # Herbstbiomasse
ZGH     = [i,i,i,k,k,k]
WK      = 1
UT      = 485 # [i,i] #
ST      = [180,180,180]
WH      = 1
Dmax    = 60
kDG     = 15 # Ölrettich
uDG     = 85
Nmax    = 242
kN      = 56
PZF1   = [WH,Dmax,kDG,uDG,Nmax,kN]
ZGF=zgf(ZGH,WK,PZF1,ST,UT,FIS[4])
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (ZGH[0], ZGH[3], WK, UT, ST[0], WH, Dmax,
kDG, uDG, Nmax, kN, round(ZGF[0],2), round(ZGF[1],2), round(ZGF[2],2), round(ZGF[3],2))
print "Zeile: ", Zeile
Text.append(Zeile)
for k in [80,60,40,20]: # Herbstbiomasse
for i in range(365,501): # Umbruchtermin
ZGH     = [k,k,k,k+20,k+20,k+20]

```



```

NA      = [120,120,120]
Nmax    = i
kN      = 56
NFix    = 0
SV      = [[[.650,650],[],[],[],280],[]]
NZF     = n_aufnahme(ZP,NA,Nmax,kN,NFix,SV,FIS[0][2],0)
Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (ZP[0], ZP[3], ZP[6], ZP[9], NA[0],
Nmax, kN, NFix, SV[0][1][0], SV[0][6], round(NZF[0],2), round(NZF[1],2), round(NZF[2],2), round(NZF[3],2), round(NZF[4],2), round(NZF[5],2))
print Zeile
Text.append(Zeile)
for k in [20,40,60,80]: # Herbstbiomasse
for i in range(0,61): # kN
    ZP = [k,k,k,40,40,40,100,100,100,100,100,100,100]
    NA = [120,120,120]
    Nmax = 242
    kN = i
    NFix = 0
    SV = [[[.650,650],[],[],[],280],[]]
    NZF = n_aufnahme(ZP,NA,Nmax,kN,NFix,SV,FIS[0][2],0)
    Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (ZP[0], ZP[3], ZP[6], ZP[9], NA[0],
Nmax, kN, NFix, SV[0][1][0], SV[0][6], round(NZF[0],2), round(NZF[1],2), round(NZF[2],2), round(NZF[3],2), round(NZF[4],2), round(NZF[5],2))
print Zeile
Text.append(Zeile)
# for k in [20,40,60,80]: # Herbstbiomasse
# for i in range(0,101,20):# NFix
for k in [0]: # Herbstbiomasse
for i in range(0,0): #
    ZP = [k,k,k,40,40,40,100,100,100,100,100,100,100]
    NA = [120,120,120]
    Nmax = 242
    kN = 56
    NFix = float(i)/100
    SV = [[[.650,650],[],[],[],280],[]]
    NZF = n_aufnahme(ZP,NA,Nmax,kN,NFix,SV,FIS[0][2],0)
    Zeile = "%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s011%s" % (ZP[0], ZP[3], ZP[6], ZP[9], NA[0],
Nmax, kN, NFix, SV[0][1][0], SV[0][6], round(NZF[0],2), round(NZF[1],2), round(NZF[2],2), round(NZF[3],2), round(NZF[4],2), round(NZF[5],2))
print Zeile
Text.append(Zeile)
output=open(Datei,'w')
output.writelines([join((Text),'\012')])
print "Datei:", Datei, "geschrieben."

# Submodell ZG-Potential
else:
# Stoppelsaaten
if zf == 1:
    MM=[[0,[20,40],80,[30,50],20,205,1,0,1,450], \
        [1,[20,40],80,[30,50],40,205,1,0,1,450]]
    ZEA=zg_potential(P1,P2,MM,SV,USMV,[2,10,11],1)

# Untersaaten
else:
# [tUS, k_df, st_df, sm_df, n_df, k_us, st_us, sm_us, EWR, CN, NR, n_us, ET, UT]
MM=[[0,0.96,1,1.5,1,1,4,1.5,[20,40],30,[30,50],40,185,410], \
    [1,0.96,1,1.5,1,1,5,[20,40],30,[30,50],40,185,410], \
    [2,0.96,1,1.5,1,1,6,1.5,[20,40],30,[30,50],40,185,410]]
    ZEA=zg_potential(P1,P2,MM,SV,USMV,[0,2,35],2)

# Ergebnisausgabe
for i in range(0,len(ZEA)):
for j in range(0,len(ZEA[0])):
print ZEA[i][j]

#-----

def zg_potential(P1,P2,MM,SV,USMV,arten,zf):
# Diese Funktion berechnet ein 3-dim Zielgrößenpotentialarray ZEA

global NAV, KKUSM
KKUSM=[]

# Einlesen der Fuzzy-Systeme
FIS=[]
FISNMin=fuzzy.read_fis("FISNMin.fis")
FISSV=fuzzy.read_fis("FISSV.fis")
FISSW=fuzzy.read_fis("FISSW.fis")
FIS.append([FISNMin,FISSV,FISSW])

FISWAZF=fuzzy.read_fis("FISWAZF.fis")
FIS.append([FISWAZF])

FISSV=fuzzy.read_fis("FISSV.fis")
FISFADS=fuzzy.read_fis("FISFAD.fis")
FISFABS=fuzzy.read_fis("FISFAB.fis")
FISFAUS=fuzzy.read_fis("FISFAUS.fis")
FIS.append([FISSV,FISFADS,FISFABS,FISFAUS])

FISEOR=fuzzy.read_fis("FISEOR.fis")
FISEGS=fuzzy.read_fis("FISEGS.fis")
FISEWR=fuzzy.read_fis("FISEWR.fis")
FISEGR1=fuzzy.read_fis("FISEGR1.fis")
FISEGR=fuzzy.read_fis("FISEGR.fis")
FISELG1=fuzzy.read_fis("FISELG1.fis")
FISELG=fuzzy.read_fis("FISELG.fis")
FISEKG1=fuzzy.read_fis("FISEKG1.fis")
FISEKG=fuzzy.read_fis("FISEKG.fis")
FIS.append([FISEOR,FISEGS,FISEWR,FISEGR1,FISEGR,FISELG1,FISELG,FISEKG1,FISEKG])

FISESR=fuzzy.read_fis("FISESR3.fis")
FISEFJ=fuzzy.read_fis("FISEFJ.fis")
FISDFJ=fuzzy.read_fis("FISDFJ.fis")
FIS.append([FISESR,FISEFJ,FISDFJ])

```

```

#EUS-Submodell
#Deckfruchtbezogene Fuzzysysteme
FISWADF=fuzzy.read_fis("FISWADF.fis")
FISEDF=fuzzy.read_fis("FISEDF.fis")
FISEUS=fuzzy.read_fis("FISEUS.fis")
FISUSK=fuzzy.read_fis("FISKPDF.fis")

#Untersaatbezogene Fuzzysysteme
FISWADF1=fuzzy.read_fis("FISWADF1.fis")
FISEDF1=fuzzy.read_fis("FISEDF1.fis")
FISEUS1=fuzzy.read_fis("FISKPG1.fis")
FISEUS2=fuzzy.read_fis("FISKPG2.fis")
FISEUS3=fuzzy.read_fis("FISKPL.fis")
FISUSK1=fuzzy.read_fis("FISUSK1.fis")
FISUSK2=fuzzy.read_fis("FISUSK2.fis")
FIS.append([FISWADF,FISEDF,FISEUS,FISUSK,FISWADF1,FISEDF1,FISEUS1,FISEUS2,FISEUS3,FISUSK1,FISUSK2])

# Berechnung der ZG-Potentiale (Erwartungswerte) für Biomasse + DG (Herbst + Frühjahr)

# Stoppelsaaten
if zf == 1:
    ZEA=[]
    for i in arten:
        Namensliste=Namen([i],P2,P2,USMV,1,1)
        print " ",Namensliste[0]
        PZF=P2[i][2:9]
        PZF.append(P1[i][2])
        PZF.append(P1[i][1])
        PZF.append(P1[i][3])
        ZGP=zge(MM,SV,PZF,FIS)
        ZEA.append(ZGP)
        # unterschiedliche ZF-Eigenschaften (E-Modell, Saatbett-
        # anspruch, Winterhärte, E/DG-Relation, C:N-Parameter)
        # N2Fix-Potential
        # Übersetzung des zge3-Modell v. 06.06.00 mit Streuung (Min-Max-Werten)

# Untersaaten
else:
    global KUS
    ZEA=[]
    if MM==[]: # wenn Vorfrüchte nicht als Deckfrucht geeignet: KFDF=0
        NAV=[]
    else:
        for i in arten:
            MUS=[]
            Namensliste=Namen([i],P2,P2,USMV,1,1)
            print " ",Namensliste[0]
            for j in range(0,len(MM)):
                MUS1=[]
                for k in range(0,len(MM[j])):
                    MUS1.append(MM[j][k])
                MUS.append(MUS1)
                MUS[j][5]=round(MUS[j][5]*P2[j][9]/3,3)
                PZF=P2[j][10:12]
                PZF.append(P2[j][j])
                PZF.append(P1[j][2])
                PZF.append(P1[j][1])
                ZGP=zgeus(MUS,SV,PZF,FIS)
                if P2[j][10] in [6,7] or P2[j][0] in [2,37]:# keine Herbst-Untersaat möglich bei Kleearten oder Einjährigem Weidelgras (L. multiflorum)
                    # Übersetzung des zgeus1-Modell v. 15.06.00 mit Streuung (Min-Max-Werte)
                    for j in range(0,len(MUS)):
                        if MUS[j][6] < 4:
                            for k in range(0,13):
                                ZGP[j][k] = 0
                            ZEA.append(ZGP)
                KKUSM.append(KKUSV)
                # US-spezifische Komnkurrenzkraft
            return ZEA

# -----
def zge(M1,SV,PZF,FIS):
    global NAV
    ZGP=[]
    Mod=PZF[4:7]; Mod.insert(0,int(PZF[0])); Mod.insert(1,PZF[1])
    PZF1=PZF[3:9]
    NAV=[]
    for i in range(0,len(M1)):
        MV1=M1[i][1:5]; MV1.append(M1[i][6])
        MV3=M1[i][6:9]; MV3.insert(0,M1[i][1]); MV3.append(PZF[2])
        ST=[M1[i][5]]; ST.append(ST[0]+5); ST.append(ST[0]-5)
        BV=M1[i][6]
        UT=M1[i][9]
        SV1=SV[i][7:9]; SV1.insert(0,SV[i][2])
        nFK=SV[i][6]
        NSA=SV[i][1]
        NSS=SV[i][2]
        VE=SV[i][3]
        WK=SV[i][4]
        NA=n_angebot(MV1,SV1,FIS[0])
        NAV.append(NA)
        WA=w_angebot(NSA,nFK,BV,FIS[1])
        FA=feldaufgang(NSS,MV3,FIS[2],1)
        ZGH=zgh(VE,UT,ST,NA,WA,FA,Mod,FIS[3],1)
        ZGF=zgf(ZGH,WK,PZF1,ST,UT,FIS[4])
        ZP=ZGH
        for j in range(0,len(ZGF)/3):
            ZP.insert(3+j,ZGF[j])
            ZP.append(ZGF[j]+3)
        NZF=n_aufnahme(ZP,NA,PZF[7],PZF[8],PZF[9],SV,FIS[0][2],i)

    for j in range(0,12):
        ZP.append(NZF[j])
    ZGP.append(ZP)
    return ZGP
# -----

```

```

def zgeus(MUS,SV,PZF,FIS):
global NAV,KKUSV
ZGP=[]
Mod=PZF[4:7]; Mod.insert(0,int(PZF[0])); Mod.insert(1,PZF[1])
PZF1=PZF[3:9]
NAV=[]
BV=1 # gute Krümenlockerung bei Untersaatenbauverfahren (wie BV=1)
ZGSM=[]
KKUSV=[]
kdfm=[];stdfm=[];smdfm=[];ndfm=[]

# Erstellen des optimalen Managementvektors für EDF-Bezugsgröße (ohne Untersaat)
for i in range(0,len(MUS)):
kdfm.append(MUS[i][1])
stdfm.append(MUS[i][2])
smdfm.append(MUS[i][3])
ndfm.append(MUS[i][4])
MV0=[max(kdfm),min(stdfm),max(smdfm),max(ndfm),0,0,0]
ZGS=zgs(MV0,(SV[0][1],SV[0][5]),[1,1,1],FIS[5])
EDFmax=ZGS # Bezugsgröße: max. DF-Ertrag bei optimalen Bedingungen ohne Untersaat

# Berechnung der rel. DF-Erträge und den Untersaat-Sommerrückwüchsen
for i in range(0,len(MUS)):
MVS=MUS[i][1:8] # Managementvektor für Deckfrucht mit Untersaat
MVS.append(int(PZF[0])) # EUS-Modellindex für KPUS-Modell-Auswahl
SVS=[SV[i][1]]; SVS.append(SV[i][5]) # NSA, nFK
MV1=MUS[i][8:12]; MV1.append(BV)
SD=MUS[i][8]
ET=[MUS[i][12]];ET.append(min(240,ET[0]+5));ET.append(max(180,ET[0]-5))
UT =MUS[i][13]
SV1=SV[i][7:9]; SV1.insert(0,SV[i][2])
nFK=SV[i][6]
NSA=SV[i][1]
NSS=SV[i][2]
VE =SV[i][3]
WK =SV[i][4]

ZGS=zgs(MVS,SVS,EDFmax,FIS[5]) # Zielgrößenberechnung des Sommersaufwuchses (nur US-Modell)
ZGSM.append(ZGS)
KKUSV.append(KKUSV[0]) # US-spezifische Konkurrenzkraft
NA=n_angebot(MV1,SV1,FIS[0])
NAV.append(NA) # N-Angebot für Zielgrößenanforderung-Modell
WA=w_angebot(NSA,nFK,BV,FIS[1])
EE=feldaufgang(NSS,[SD,ET,ZGS],FIS[2],2) # Etablierungserfolg der Untersaat
ZGH=zgh(VE,UT,ET,NA,WA,EE,Mod,FIS[3],2) # Zielgrößen (Herbst) aus Untersaataufwuchs
ZGF=zgf(ZGH[3:9],WK,PZF1,ET,UT,FIS[4])
ZP=ZGH
for j in range(0,len(ZGF)/3):
ZP.insert(6+j,ZGF[j]) # Einsetzen des Frühjahrsaufwuchses
ZP.append(ZGF[j+3])

# N-Aufnahme der Zwischenfrucht: M-M-Kinetik
NFix=[]
NBod=[]
fRSD=[]
for j in range(3,6):
NZF=round(PZF[7]*ZP[j]/(ZP[j]+PZF[8]),1) # N-Menge im Herbstbestand: Nmax*B/(B+kN)
ZP.append(NZF)
NFix.append(round(NZF*(0.49+0.0054*ZP[j])*min(1,max(0,1-0.007*(NA[j]-3)-20))),1) # N2-Fixierungsanteil an der N-Menge
NBod.append(NZF-NFix[j]-3)

# N-Leaching
if j == 3:
NSA=(SV[i][1][0]+SV[i][1][1])/2
else:
NSA=SV[i][1][j-4]
nFK=SV[i][6]
Nmax=PZF[7]
kN=PZF[8]
SW=fuzzy.eval_fis2((NSA,nFK),FIS[0][2]) # Sickerwassermenge
if SW < 0:
SW = 0
elif SW > 700:
SW = 700
SWA=SW/(SW+nFK) # Sickerwasseranteil am Infiltrationswasser
NL=round(NA[j-3]*SWA,1) # auswachsungsgefährdeter Stickstoff

for j in range(6,9):
ZP.append(ZGF[j]) # N-Menge im Frühjahrbestand
ZGP.append(ZP)
return ZGP

#-----
def n_angebot(MV1,SV1,NFIS):
NA=[];NN=[]
if MV1[1] < 33:
SD=[(MV1[0][0]+MV1[0][1])/2]; SD.append(min(MV1[0][0],MV1[0][1])); SD.append(max(MV1[0][0],MV1[0][1])) # Menge der Ernterückstände
else:
SD=[(MV1[0][0]+MV1[0][1])/2]; SD.append(max(MV1[0][0],MV1[0][1])); SD.append(min(MV1[0][0],MV1[0][1])) # Menge der Ernterückstände
CN=[MV1[1][1]]; CN.append(1.2*CN[0]); CN.append(0.8*CN[0]) # C:N-Verhältnis der Ernterückstände
NR=[(MV1[2][0]+MV1[2][1])/2]; NR.append(min(MV1[2][0],MV1[2][1])); NR.append(max(MV1[2][0],MV1[2][1])) # restl. Nmin-Gehalt des Oberbodens
ND=[MV1[3]]; ND.append(max(0,ND[0]-10)); ND.append(ND[0]+10) # N-Düngung der ZF
BV=MV1[4] # Bestellverfahren mit untersch. Bearbeitungstiefe
NSS=[(SV1[0][0]+SV1[0][1])/2]; NSS.append(max(SV1[0][0],SV1[0][1])); NSS.append(min(SV1[0][0],SV1[0][1])) # Wkt. einer Sommertrockenheit
(~Bodenfeuchtigkeit)
LK=[SV1[1][1]]; LK.append(0.8*LK[0]); LK.append(min(25,1.2*LK[0])) # Luftkapazität des Bodens

for i in range(0,3):
Nim=1.5 # bei der Strohrotte durch M.O. immobilisierter Stickstoff
rmin=fuzzy.eval_fis3((LK[i],NSS[i],BV),NFIS[0]) # Mineralisationsrate
NN.append(int(SD[i]*(100/(2*CN[i])-Nim)*rmin)) # N-Nachlieferung aus der Mineralisation der Ernterückstände

```

```

# Änderung für DSS-Validierung
NN.append(int(SD[0]*(100/(2*CN[0])-Nim)*rmin)) # N-Nachlieferung aus der Mineralisation der Ernterückstände

# N-Angebot aus Mineralisation, Bodenvorrat und Düngung
if BV == 1:
    NA1=NR[i]+ND[i] # beim tiefen Pflügen gesamte Krume (30cm) durchmischt
elif BV == 2:
    NA1=0.6666*NR[i]+ND[i] # beim tiefen Grubbern oberste 20 cm durchmischt
else:
    NA1=0.3333*NR[i]+ND[i] # beim flachen Grubbern nur oberste 10 cm durchmischt
if NA1+NN[i] < 0:
    NA.append(0)
else:
    NA.append(min(200, NR[i]+ND[i]+NN[i]))
return NA

def w_angebot(NSA,nFK,BV,WFIS):
    WA=[]
    NSV=(NSA[0]+NSA[1])/2; NSV.append(min(NSA[0],NSA[1])); NSV.append(max(NSA[0],NSA[1]))
    nFKV=[nFK]; nFKV.append(max(10,nFK*0.9)); nFKV.append(min(160,nFK*1.1))
    for i in range(0,3):
        WA.append(min(250,fuzzy.eval_fis3((NSV[i],nFKV[i],BV),WFIS[0])))
    return WA

def feldaufgang(NSS,MV3,FAFIS,zf):
    global SV
    FA1=[];SV=[]
    NSS=(NSS[0]+NSS[1])/2; NSV.append(max(0,NSS[0],NSS[1])); NSV.append(min(1,NSS[0],NSS[1])) # Wkt. einer Sommertrockenheit (~Bodenfeuchtigkeit)
    SD=(MV3[0][0]+MV3[0][1])/2; SD.append(max(MV3[0][1],MV3[0][0])); SD.append(min(MV3[0][0],MV3[0][1])) # Menge der Ernterückstände

    # Stoppelsaaten: Feldaufgang
    if zf == 1:
        SB=[MV3[1]]; SB.append(max(1,SB[0]*0.9)); SB.append(min(3,SB[0]*1.1))
        SA=[MV3[2]]; SA.append(SA[0]*0.9); SA.append(SA[0]*1.1) # !!bei Fallunterscheidung SA=0 oder SA=1 keine Auswirkung der Streuung!
        SM=[MV3[3]]; SM.append(SM[0]*0.9); SM.append(min(2,SM[0]*1.1)) # !!Achtung!! hohe Saatmenge entspricht beim FA-Modell nicht immer dem max. Feldauf-
        gang! (s.u.)
        SBA=MV3[4]
        for i in range(0,3):
            SV.append(fuzzy.eval_fis2((SD[i],SB[i]),FAFIS[0]))
            if SA[i] < 0.5:
                FA1.append(fuzzy.eval_fis4((SV[i],float(SBA)/SB[i],SM[i],NSV[i]),FAFIS[1])) # Drillsaat
            else:
                FA1.append(0.8*fuzzy.eval_fis4((SV[i],float(SBA)/SB[i],SM[i],NSV[i]),FAFIS[2])) # Breitsaat
        FA=[FA1[0],min(FA1[1],FA1[2]),max(FA1[1],FA1[2])] # Korrektur der Min/Max-Werte, da für hohe Saatmengen FA nicht immer maximal

    # Untersaaten. SD/NSS-korrigierter US-Etablierungserfolg
    else:
        ET=MV3[1] # 3-facher Erntetermin der DF
        EUS=[MV3[2][3],MV3[2][4],MV3[2][5]] # Etablierungserfolg der Untersaat
        for i in range(0,3):
            FA1.append(round(fuzzy.eval_fis4((SD[i],EUS[i],NSV[i],ET[i]),FAFIS[3]),2)) # Untersaat-Aufwuchs
            FA=[MV3[2][0],MV3[2][1],MV3[2][2],FA1[0],FA1[1],FA1[2]] # EDF, korrigierter EUS

    return FA

def zgh(VE,UT,ST,NA,WA,FA,Mod,EHFIS,zf):
    ZGH=[];ZGDH=[]
    EF=Mod[1]
    Dmax=Mod[2]
    kDG=Mod[3]
    uDG=Mod[4]
    VE=min(VE,UT)

    # Stoppelsaaten
    if zf == 1:
        if Mod[0] == 2: # Änderung der min/max-Werte des Saattermins bei frühen Saatterminen von Gelbsenf
            if ST[0] < 225:
                ST.insert(1,ST[2]);ST=ST[0:4]
        # Untersaaten
        else:
            for i in range(0,3):
                ZGH.append(round(FA[i],3)) # 3-facher EDF-Wert je Anbauverfahren
            FA=FA[3:6] # Etablierungserfolg der Untersaat

        for i in range(0,3):
            EZF=fuzzy.eval_fis3((ST[i],NA[i],WA[i]),EHFIS[Mod[0]-1])*EF # 3-fache ZGH-Berechnung für Zentralwert, Minimum und Maximum
            EFA=FA[i]*EZF # Feldaufgang- bzw. US-Etablierungserfolg-bereinigte Biomasse
            vp=(VE-ST[i])/float(VE-ST[i]+10)*(365-ST[i]+10)/(365-ST[i]) # vegetationszeitabhängiger E-Faktor in Form einer MM-Kinetik
            EH=vp*EFA # Vegetationszeit-bereinigte Biomasse
            DH=EH*100/(EH+kDG)*(Dmax+kDG)/Dmax # Deckungsgrad als transformierte Michaelis-Menten-Funktion
            DH=min(DH,100)
            ZGH.append(round(EH,1))
            ZGDH.append(round(DH,1))
        for i in range(0,3):
            ZGH.append(ZGDH[i])
        return ZGH

def zgf(ZGH,WK,PZF1,ST,UT,EFFIS):
    ZGF=[];ZGDF=[];ZGN=[]
    if UT <= 365:
        UT = 0
        ZGF = [0,0,0,0,0,0,0,0] # kein Frühjahrsertrag
    else:
        UT = UT-365
        WH=PZF1[0]
        Dmax=PZF1[1]
        kDG=PZF1[2]
        uDG=PZF1[3]
        Nmax=PZF1[4]
        kN=PZF1[5]
        for i in range(0,3):
            SR=max(0,fuzzy.eval_fis3((WK,WH,ST[i]),EFFIS[0])) # 3-fache ZGF-Berechnung für Zentralwert, Minimum und Maximum
            EHR=ZGH[i]*SR # residuale Herbstbiomasse zu Beginn des Frühjahrs

```

```

CNF=min(40,(2*ZGH[i]+kN)*(2*Nmax))
DGA=fuzzy.eval_fis2((CNF,UT),EFFIS[2]) # Abbaurate # C:N im Frühjahr als transformierte MM-Kinetik
DGF1=DGA*(1-SR)*ZGH[i+3] # # residualer Deckungsgrad aus dem Herbst
EF=fuzzy.eval_fis2((EHR,UT),EFFIS[1]) # # Frühjahrsertrag (Neuaufwuchs)
DGF2=EF*100/(EF+kDG)*(Dmax+kDG)/Dmax # # Frühjahrdeckungsgrad durch Neuaufwuchs
DGF=DGF1+DGF2 # # Gesamt-Frühjahrsdeckungsgrad vor Umbruch
DGF=min(DGF, 100)
EFDG=(1+kDG)*DGF/100*Dmax/(Dmax+kDG) # # hypoth. Frühjahrsertrag aus DGF über transf. MM-Kinetik berechnet
NZF=Nmax*EFDG/(EFDG+kN) # # N-Menge im Frühjahrbestand: Nmax*B/(B+kN)
ZGF.append(round(EF, 1))
ZGDF.append(round(DGF, 1))
ZGN.append(round(NZF, 1))
for i in range(0,3):
    ZGF.append(ZGDF[i])
for i in range(0,3):
    ZGF.append(ZGN[i])
ZGFmax=max(ZGF[0],ZGF[1],ZGF[2])
ZGF[1]=min(ZGF[1],ZGF[2])
ZGF[2]=ZGFmax
return ZGF

def zgs(MVS,SV0,EDFmax,USFIS):
    global KPDF,KPUS,KKUS # KPDF/US für test_module.py; KKUS für Zielerfüllungsgrad.py
    ZGSi=[]
    KPDF=[]; KPUS=[]; KKDF=[]; KKUS=[]
    KPDF=MVS[0]
    STDF=MVS[1];SMDF=MVS[2] # !!hier ist noch eine Streuung möglich!
    NDF=[MVS[3]]; NDF.append(max(0.75,NDF[0]*0.95)); NDF.append(min(1.25,NDF[0]*1.05))
    KFUS=MVS[4]
    STUS=MVS[5];SMUS=MVS[6] # !!hier ist noch eine Streuung möglich!
    NSA=(SV0[0][0]+SV0[0][1])/2; NSA.append(min(SV0[0][0],SV0[0][1])); NSA.append(max(SV0[0][0],SV0[0][1]))
    nFK=(SV0[1]); nFK.append(max(0,nFK[0]*0.9)); nFK.append(min(300,nFK[0]*1.1))

    # Berechnung von EDFmax ohne Untersaat
    if MVS[6] == 0:
        for i in range(0,3):
            WADF=fuzzy.eval_fis2((NSA[i],nFK[i]),USFIS[0])
            KDF=KPDF*min(1,fuzzy.eval_fis4((NDF[i],WADF,STDF,SMDF),USFIS[5])) # Konkurrenzkraft der Deckfrucht
            EPDF=min(1.0,fuzzy.eval_fis2((0,0),USFIS[3])) # Schätzwert für den Relativvertrag der DF
            ZGSi.append(EPDF)
        ZGS=ZGSi

    # Berechnung von Deckfrucht-Untersaatverfahren
    else:
        # Erstellen des KP(US)-Modellindex' anhand EUS-Modellindex
        if MVS[7] == 1: usm=6 # Gräser, Dt.-Weidelgras-Gruppe (N-abhängig, spätsaatempfindlich)
        elif MVS[7] == 2: usm=7 # Gräser, Rotschwengel-Gruppe (spätsaatverträglich, schwächeres KP)
        else: usm=8 # Klee und Kleeertragsgemenge (N-unabhängig, lichtbedürftig)
        for i in range(0,3):
            # Wasserangebot Deckfrucht/Untersaat
            WADF=fuzzy.eval_fis2((NSA[i],nFK[i]),USFIS[0]);WADF1=WADF # Wasserangebot für Deckfrucht und Untersaat
            U_WA=fuzzy.eval_fis2((NSA[i],nFK[i]),USFIS[4]) # modellabh. Unsicherheit des Wasserangebotes
            if i == 1:
                WADF=WADF * U_WA
            elif i == 2:
                WADF=WADF * (2-U_WA)
            KPDF.append(round(fuzzy.eval_fis4((NDF[i],WADF,STDF,SMDF),USFIS[5]),3)) # Konkurrenzkraft der Deckfrucht
            KDF=KPDF*KPDF[i]
            KKDF.append(KDF)
            KPUS.append(round(fuzzy.eval_fis4((NDF[i],WADF,STUS,SMUS),USFIS[usm]),3)) # Konkurrenzkraft der Untersaat
            KUS=KFUS*KPUS[i]
            KKUS.append(round(KUS,3))
        # Ertragspotentiale nach gegenseitiger Konkurrenz von DF und US

        EPDF=min(1.0,1.5-0.5*KUS/KDF) # relatives Ertragspotential der Deckfrucht einschl. US-Konkurrenz
        EEUS=min(1.2,KUS/KDF) # Etablierungserfolg der Untersaat einschl. DF-Konkurrenz
        EEUSmin=EEUS * 1 # Schätzwert für den minimalen Ertrag der US
        EEUSmax=EEUS * 1 # Schätzwert für den maximalen Ertrag der US
        ZGSi.append([round(EPDF,3),round(EEUS,2),round(EEUSmin,2),round(EEUSmax,2)])
        EDF=(ZGSi[0][0],min(ZGSi[1][0],ZGSi[2][0]),max(ZGSi[1][0],ZGSi[2][0]))
        EUS=ZGSi[0][1]
        EUSmin=min(ZGSi[0][2],ZGSi[1][2],ZGSi[2][2])
        EUSmax=max(ZGSi[0][3],ZGSi[1][3],ZGSi[2][3])
        ZGS=[EDF[0],EDF[1],EDF[2],EUS,EUSmin,EUSmax]
        return ZGS

def n_aufnahme(ZP,NA,Nmax,kN,NFP,SV,FIS,i):
    # N-Aufnahme der Zwischenfrucht: M-M-Kinetik
    NZF=[]
    NFix=[]
    NBod=[]
    NL=[]
    fRSD=[]
    for j in range(0,6):

        # N-Menge im Bestand (H.+Fj.): Nmax*B/(B+kN)
        NZF.append(round(Nmax*ZP[j]/(ZP[j]+kN),1))

        # N2-Fixierungsanteil an der N-Menge
        if NFP == 0: # Nichtleguminosen
            NFix.append(0)
        else: # Leguminosen oder NLeg-Leg-Gemenge
            if j < 3:
                fRSD=min(1,max(0,1-0.0065*(NA[j]-20)))
            else:
                fRSD=min(1,max(0,1-0.0065*(NA[j]-3)-20))
            NFix.append(round((NFP*NZF[j])*(0.49+0.0054*ZP[j])*fRSD,1))
    if NFix[1] > NFix[2]:
        NFix=[NFix[0],NFix[2],NFix[1],NFix[3],NFix[4],NFix[5]]
    if NFix[4] > NFix[5]:
        NFix=[NFix[0],NFix[1],NFix[2],NFix[0],NFix[5],NFix[4]]
    for j in [1,4]:
        if NFix[j+1] < NFix[j-1]:

```

```

NFix[j+1] = NFix[j]-1
if NFix[j] > NFix[j-1]:
    NFix[j] = NFix[j-1]
for j in range(0,6):
    NZF.append(NFix[j])

for j in range(0,6):
    # Nmin-Aufnahme an der N-Menge
    NBod.append(NZF[j]-NFix[j])

# N-Leaching: eigener Fuzzy-Ansatz und nach Maidl et al. 1998 (?)
if j in [0,3]:
    NSA=(SV[j][1][0]+SV[j][1][1])/2
elif j in [1,2]:
    NSA=SV[j][1][j]-1
else:
    NSA=SV[j][1][j-4]
nFK=SV[j][6]
SW=fuzzy.eval_fis2((NSA,nFK),FIS) # Sickerwassermenge
if SW < 0:
    SW = 0
elif SW > 700:
    SW = 700
SWA=SW/(SW+nFK) # Sickerwasseranteil am Infiltrationswasser
if j < 3:
    Nmin=max(0,NA[j]-NBod[j]) # nicht aufgenommener Boden-Nmin
else:
    Nmin=max(0,NA[j-3]-NBod[j]) # nicht aufgenommener Boden-Nmin
NL.append(round(Nmin*SWA,1)) # auswachungsgefährdeter Stickstoff
NZF.append(NL[j])
return NZF

def potentialdateien_lesen(file):
    input=open(file,'r')
    datei=input.readlines()
    Pot=[]
    for i in range(0,len(datei)):
        Pot.append([])
        for j in range(0,len(datei[i])/16):
            Pot[i].append(float(datei[i][j*16:(j+1)*16]))
    return Pot

def datei_lesen(file,ind,tit):
    from string import join
    #global matrix
    input=open(file,'r')
    datei=input.readlines()
    matrix=[]
    for i in range(0,len(datei)):
        neuezeile=[]
        zeile=list(datei[i][0:len(datei[i])-1])
        if ind == 0:# Dateien ohne Zeilenindex in der ersten Spalte
            rzeile=zeile
            for j in range(0,zeile.count("\011")):
                element=float(join(rzeile[0:rzeile.index("\011")],"))
                neuezeile.append(element)
            rzeile=zeile[zeile.index("\011")+1:len(zeile)]
            zeile=rzeile
        elif ind == 1: # Dateien mit Zeilenindex in der ersten Spalte
            zeile.append("\011")
            for j in range(0,zeile.count("\011")-1):
                rzeile=zeile[zeile.index("\011")+1:len(zeile)]
                element=float(join(rzeile[0:rzeile.index("\011")],"))
                neuezeile.append(element)
            zeile=rzeile
        matrix.append(neuezeile)
    return matrix

```


Datei Zielerfüllungsgrad

```

import fuzzy
from Textausgabe import Namen

def filt(ZPA,ZAA,P2,P5,MM,KKUSM,USM,ZLV,AVV,arten,zf):
# Auswahl Stoppel- und Untersaatenbauverfahren anhand des Zielerfüllungsgrades

# Auswertung des Zielleistungsvektors
ziel=[]
azk=[]
anzziele=0;
for z in range(0,min(2,len(ZLV))):
if ZLV[z] > 0:
ziel.append(z)
anzziele=anzziele+1
if len(ZLV) > 2:
if ZLV[2] < 100:
ziel.append(2)
anzziele=anzziele+1
if len(ZLV) > 3:
for z in range(3,min(6,len(ZLV))):
if ZLV[z] > 0:
ziel.append(z)
anzziele=anzziele+1
if len(ZLV) > 6:
if ZLV[6][0] > 0:
ziel.append(6)
anzziele=anzziele+1
if len(ZLV) > 7:
for z in range(7,min(9,len(ZLV))):
if ZLV[z] > 0:
ziel.append(z)
anzziele=anzziele+1
if ziel.count(6) == 1: # Anbauziel Futtermutzung
if ziel.count(0 or 2 or 3 or 7) == 1: # Anbauzielkombination FN mit NKons, Bdsch, OSAAnr oder Unkr
azk.append(2)
else: # Anbauzielkombination FN ohne [NK, BS, OSA, UK]
azk.append(1)
else: # Anbauzielkombination ohne FN
azk.append(1)

# Initialisierung
UAA=[]
if ZPA==[]:
pass
else:
t=len(ZPA[0])
UA=[]
izf=0
FIS=fuzzy.read_fis("FISZEG.fis")

# Berechnung der Zielerreichungsgrade
for i in arten:
Namensliste=Namen([i],P2,P2,USM[2],1,1)
print " ",Namensliste[0]
ZE=ZPA[i]zf
ZA=ZAA[i]zf
izf=izf+1
ZEG=zielerreichungsgrad(ZA,ZE,zf,FIS) # Zielerreichungsgrade als ein Wert pro Verfahren und Anbauziel - ohne Streuung

ZEGM=zeg_modifikation(ZEG,ziel,azk[0])

# Finanzielle Bewertung der Anbauverfahren: Verfahrenskosten
VK=verfahrenskosten(P2,P5,MM,i,zf)

# Herausfiltern der Anbauverfahren mit ausreichend hohen Zielerreichungsgraden bzw. niedrigen Verfahrenskosten
# Hinreichende Bedingung für vorgeschlagene Anbauverfahren: ZEG aller gewählten Anbauziele größer Anforderung
UV=[]
if AVV[1] == 1:
for j in range(0,t):
UV.append(1)
else:
for j in range(0,t):
if int(round(VK[j])) <= AVV[3]:
Bed=[]
for k in range(0,anzziele):
ZEGF=0.6*ZEGM[j][k][0]+0.2*ZEGM[j][k][1]+0.2*ZEGM[j][k][2]
if ZEGF >= float(AVV[4+k])/100: # ZEG (aus Niveau-Ebenen-Verfahren) größer gewählte Schranke
Bed.append(1)
else:
Bed.append(0)
UV.append(min(Bed))
else:
UV.append(0)

# Zeilenweises Zusammenstellen der Ausgabematrix
D=[]
for j in range(0,t):
if UV[j] == 1: # hinreichende Bedingung (s.o.)
ZER=[]
pos=4

# Änderung für Ausgabe der Validierungsdaten
# if zf == 1: zk1 = [0,0,3,3,12,12,15,15]; zk2=[6, 6, 9, 9] # Stoppelsaaten, einschl. NZF
# else: zk1 = [3,3,6,6,15,15,18,18]; zk2=[9, 9,12,12] # Untersaaten, einschl. NZF

if zf == 1: zk1 = [1,2,4,5,13,14,16,17]; zk2=[7,8,10,11] # Stoppelsaaten, einschl. NZF
else: zk1 = [4,5,7,8,16,17,19,20]; zk2=[10,11,13,14] # Untersaaten, einschl. NZF

```

```

for k in zk1:
    # Darstellung der Biomasse-Spannweiten (Min-Max) abhängig von der Biomassehöhe

# Änderung für Ausgabe der Validierungsdaten
# ZER.append(ZE[j][k])

    if ZE[j][k] < 5:
        ZER.append(round(ZE[j][k]))
    elif ZE[j][k] < 15:
        ZER.append(int(round(ZE[j][k]/2.5)*2.5))
    else:
        ZER.append(round(ZE[j][k]/5)*5)

for k in zk2:
    ZER.insert(pos,round(ZE[j][k]/5)*5)
    pos=pos+1

# Stoppelsaaten
if zf == 1:
    D1=[i, MM[j][5], MM[j][4], MM[j][6], MM[j][8]]
    for l in range(0,len(ZER)):

# Änderung für Ausgabe der Validierungsdaten
# D1.append(ZER[l])
# Anhängen der 4 ZG-Spannweiten

    D1.append(int(ZER[l]))
    D1.append(int(round(VK[j])))
    for l in range(0,anziele):
        D1.append(round(ZEGM[j][l]*100)/100)
        for m in range(0,3):
            D1.append(round(ZEGM[j][l][m]*10)/10)
# Anhängen der 4 ZG-Spannweiten
# Anhängen der Verfahrenskosten
# Anhängen der ZEG für alle gewählten Anbauziele
# Anhängen der ZEG für alle gewählten Anbauziele
# Anhängen der ZEG für alle gewählten Anbauziele
# Anhängen der ZEG für alle gewählten Anbauziele
# D1.append(ZEGM[j][l][m])
# Anhängen der ZEG für alle gewählten Anbauziele
D.append(D1)

# Untersaaten
else:
    MUS = MM[j][1:5]
    MUS.append(KKUSM[izf-1][j])
    MUS.append(MM[j][6])
    MUS.append(MM[j][7])
    MUS.append(MM[j][11])
    DF_NEV=0.6*ZE[j][0]+0.2*ZE[j][1]+0.2*ZE[j][2]
    if DF_NEV*100 >= USM[0][0]:
        D1=MUS
        D1.insert(0,i)
        for l in [1,2]:
            D1.append(int(round(ZE[j][l]*100)))# Anhängen der EDF-Spannweiten
        for l in range(0,len(ZER)):
            # Untersaat-Managementmatrix (DF-Management)
            # US-Eignung: US-Konkurrenzskraft KK(US)=KP(US)*KF(US)
            # US-Saattermin
            # US-Saatmenge
            # ZF-N-Düngung
            # Fuzzy-DF-Ertragspotential nach dem Niveau-Ebenen-Verfahren (Rommelfanger 1994)
            # Fuzzy-DF-Ertragspotential größer/gleich geforderter Mindestertrag
            # Angabe der berechneten US-Kultur

# Änderung für Ausgabe der Validierungsdaten
# D1.append(int(ZER[l]))
# Anhängen der 4 ZG(ZF)-Spannweiten
# Anhängen der 4 ZG(ZF)-Spannweiten

    D1.append(int(round(VK[j])))
    for l in range(0,anziele):
        D1.append(round(ZEGM[j][l]*100)/100)
        for m in range(0,3):
            D1.append(round(ZEGM[j][l][m]*10)/10)
# Anhängen der Verfahrenskosten
# Anhängen der ZEG für alle gewählten Anbauziele
# Anhängen der ZEG für alle gewählten Anbauziele
# Anhängen der ZEG für alle gewählten Anbauziele
D.append(D1)

# 1.) Sortierung und Kurzauswahl des optimalen Verfahrens je ZF-Kultur
# UAA1=verfahren_sortieren(D,AVV,zf)
# UAA2=kurzauswahl(UAA1)
# Aneinanderreihen der Matrizen der einzelnen Pflanzenarten zur Gesamtmatrix
# for j in range(0,len(UAA2)):
# UAA.append(UAA2[j])

# 2.) Sortierung aller Verfahren ohne Kurzauswahl
# Aneinanderreihen der Matrizen der einzelnen Pflanzenarten zur Gesamtmatrix
for j in range(0,len(D)):
    UAA.append(D[j])
UAA=verfahren_sortieren(UAA,AVV,zf)
#UAA=UAA1

return UAA

def zielerreichungsgrad(ZAM,ZPM,zf,FIS):
#Berechnung des Zielerreichungsgrades für Pflanzenart i im Array UA
#Version v. 19.01.2000 f. Fuzzy-Ansatz
ZEG=[]
for i in range(0,len(ZAM)):
    # für alle Anbauverfahren
    ZEGA=[]
    for k in range(0,len(ZAM[0])):
        # für alle Anbauziele
        ZEGM=[]
        for j in range(0,4):
            # für alle Zielgrößen
            ZEGV=[]
            zga=ZAM[i][k][j]

for l in range(0,3):
    # 3 charakteristische Werte für unscharfes ZGP
    if zf == 1:
        zgp=ZPM[l][j]*3+l
    else:
        zgp=ZPM[l][3+j]*3+l
    # Stoppelsaaten
    # Untersaaten
    if zga == 0:
        zeg=1
    elif zgp < 0.8*zga:
        zeg=0
    elif zgp > 1.2*zga:
        zeg=1
    elif zgp < zga:
        zeg=(zgp-0.8*zga)/(2*0.2*zga)
    elif zgp > zga:
        zeg=(zgp-zga)/(2*0.2*zga)+0.5
    elif zgp == zga:

```

```

zeg=0.5

ZEGV.append(zeg)          # ZEG für 3 charakteristische Unschärfe-Werte
ZEGM.append(ZEGV)        # ZEG für alle Zielgrößen

# Umgruppierung der ZEGM: 3 Unschärfewerte - Zielgrößen
ZEGM_neu=[]
for l in range(0,3):
    ZEGV_neu=[]
    for j in range(0,4):
        ZEGV_neu.append(ZEGM[j][l])
    ZEGM_neu.append(ZEGV_neu)

ZEGA.append(ZEGM_neu)    # ZEG für alle Anbauziele
ZEG.append(ZEGA)        # ZEG für alle Anbauverfahren
return ZEG

def verfahrenskosten(P2,P5,MM,i,zf):
    VK=[]
    for j in range(0,len(MM)):
        # Stoppelsaaten
        if zf == 1:
            SK = MM[j][8]*P2[j][1]*P2[j][13]          # Saatgutkosten
            if MM[j][4] > 60:                          # Düngungskosten: Düngemittel + Düngestreuer
                DK = MM[j][4]*P5[0][0]+2*P5[MM[j][6]-1][4]
            elif MM[j][4] == 0:
                DK = 0
            else:
                DK = MM[j][4]*P5[0][0]+P5[MM[j][6]-1][4]

            # Maschinenkosten: Bodenlockerung + Saatbettbereitung + Saatgutablage (+ Häckseln: P5(:,. 6))
            if MM[j][6] == 3:
                if MM[j][4] == 0:
                    MK = P5[MM[j][6]-1][1]+P5[MM[j][6]-1][2]+P5[MM[j][6]-1][4] # zusätzlich Düngestreuer zur Saatgutausbringung
                else:
                    MK = P5[MM[j][6]-1][1]+P5[MM[j][6]-1][2]+P5[MM[j][6]-1][3] # Saatgutausbringung gemeinsam mit Düngung
            else:
                MK = P5[MM[j][6]-1][1]+P5[MM[j][6]-1][2]+P5[MM[j][6]-1][3]

        # Untersaaten
        else:
            SK = MM[j][7]*P2[j][12]/2*P2[j][13]        # Saatgutkosten
            if MM[j][11] > 60:                          # Düngungskosten: Düngemittel + Düngestreuer
                DK = MM[j][11]*P5[0][0]+2*P5[3][4]
            elif MM[j][11] == 0:
                DK = 0
            else:
                DK = MM[j][11]*P5[0][0]+P5[3][4]
            if i in [39,40,41,42,43,44,45]:           # für Klee gras-Untersaaten
                if MM[j][6] < 4:                       # mit Herbst-Untersaatterminen
                    MK = 2*P5[3][3]                   # Maschinenkosten: 2-maliges Drillen der Untersaat (Herbst + Frühjahr)
                else:
                    MK = P5[3][3]                     # Maschinenkosten: Drillen der Untersaat (+ Häckseln: P5(:,6))
            else:
                MK = P5[3][3]                           # Maschinenkosten: Drillen der Untersaat (+ Häckseln: P5(:,6))

    VK.append(SK+DK+MK)
# print SK, DK, MK
# print VK
return VK

def verfahren_sortieren(UAA,AVV,zf):
    if zf == 1:
        VK = 17 # Stoppelsaaten
    else:
        VK = 23 # Untersaaten
    if UAA == []:
        UAA1 = []
    else:
        UAA1=UAA
    if AVV[2] > 1:
        if AVV[2] == 2: # Sortierung nach Verfahrenskosten
            for i in range(0,len(UAA)):
                for j in range(VK+1,len(UAA[i]),3):
                    zegz=(0.6*UAA[i][j]+0.2*UAA[i][j+1]+0.2*UAA[i][j+2]) # ZEG-Kriterium: Niveau-Ebenen-Verfahren nach Rommelfanger 1994: aus Zentralwert, Minimum und
                    Maximum
                    UAA1[i][j]=zegz
                    UAA1[i].insert(0,UAA[i][VK])
                    UAA1.sort()
            elif AVV[2] == 3: # Sortierung nach maximalem Zielerreichungsgrad (Produkt aller ZEG)
                for i in range(0,len(UAA)):
                    zegp=1
                    for j in range(VK+1,len(UAA[i]),3):
                        zegz=(0.6*UAA[i][j]+0.2*UAA[i][j+1]+0.2*UAA[i][j+2]) # ZEG-Kriterium: Niveau-Ebenen-Verfahren nach Rommelfanger 1994: aus Zentralwert, Minimum und
                        Maximum
                        zegp=zegp*zegz
                        UAA1[i][j]=zegz
                        UAA1[i].insert(0,zegp)
                        UAA1.sort()
                    UAA1.reverse()
                for i in range(0,len(UAA1)):
                    UAA1[i]=UAA1[i][1:len(UAA1[i])]
            else:
                # keine Sortierung
                for i in range(0,len(UAA)):
                    for j in range(VK+1,len(UAA[i]),3):
                        zegz=(0.6*UAA[i][j]+0.2*UAA[i][j+1]+0.2*UAA[i][j+2]) # ZEG-Kriterium: Niveau-Ebenen-Verfahren nach Rommelfanger 1994: aus Zentralwert, Minimum und
                        Maximum
                        UAA1[i][j]=zegz
    return UAA1

def kurzauswahl(UAA1):
    UAA2=[]
    if UAA1 == []:

```

```

pass
else:
    UAA2.append(UAA1[0])                # Initialisierung Ergebnismatrix
    for i in range(1,len(UAA1)):
        if UAA1[i][0] > UAA1[i-1][0]:    # andere ZF-Kultur: Übergabe des ersten (optimalen) Anbauverfahrens
            UAA2.append(UAA1[i])
    return UAA2

def zeg_modifikation(ZEG,ziel,azk):
    ZEGA=[]
    UV=[]
    uv=len(ZEG); uz=len(ZEG[0]); ug=len(ZEG[0][0])

    for j in range(0,uv):                # für alle Anbauverfahren
        ZEGM=[]
        for k in range(0,uz):            # für alle Anbauziele
            ZEGV=[]
            for l in range(0,3):         # für 3 Unschärfewerte

# Anbauzielkombination FN mit NKons, Bdsch, OSAnr oder Unkr
            if azk == 2:
                if ziel.count(1) == 1 and k == ziel.index(1):    # N2-Fixierung
                    ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(1)][0],ZEG[j][ziel.index(1)][1])) # N2-Fixierung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
                elif ziel.count(3) == 1 and k == ziel.index(3):    # O.S.-Anreicherung
                    ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(3)][0],ZEG[j][ziel.index(3)][1])) # O.S.-Anreicherung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
                elif k == ziel.index(6):                            # Futternutzung
                    ZEGV.append(ZEG[j][ziel.index(6)][1])         # Futternutzung nur im Frühjahr (vor Umbruch) möglich
                else:
                    ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))             # minimaler ZEG aller Zielgrößen für alle anderen Anbauziele

# Anbauzielkombination ohne FN oder FN ohne [NK, BS, OSA, UK]
            else:
                if ziel.count(1) == 1 and k == ziel.index(1):    # N2-Fixierung
                    ZEGV.append(ZEG[j][ziel.index(1)][0]) # N2-Fixierung nur im Herbst möglich
                elif ziel.count(3) == 1 and k == ziel.index(3):    # O.S.-Anreicherung
                    ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(3)][0],ZEG[j][ziel.index(3)][1])) # O.S.-Anreicherung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
                elif ziel.count(6) == 1 and k == ziel.index(6):    # Futternutzung
                    ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(6)][0],ZEG[j][ziel.index(6)][1])) # Futternutzung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
                else:
                    ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))             # minimaler ZEG aller Zielgrößen für alle anderen Anbauziele

            ZEGM.append(ZEGV)
        ZEGA.append(ZEGM)
    return ZEGA

def zeg_modifikation2(ZEG,ziel,azk):
    ZEGA=[]
    UV=[]
    uv=len(ZEG); uz=len(ZEG[0]); ug=len(ZEG[0][0])

    for j in range(0,uv):                # für alle Anbauverfahren
        ZEGM=[]
        for k in range(0,uz):            # für alle Anbauziele
            ZEGV=[]
            for l in range(0,3):         # für 3 Unschärfewerte
                if ziel.count(1) == 0:    # keine N2-Fixierung
                if ziel.count(3) == 0:    # keine O.S.-Anreicherung
                if azk == 0:              # keine Futternutzung
                    ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))             # minimaler ZEG aller Zielgrößen
                elif azk == 1:           # Anbauziel Futternutzung ohne [NK,BS,OSA,UK]
                    if k == ziel.index(6):
                        ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(6)][0],ZEG[j][ziel.index(6)][1])) # Futternutzung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
                    else:
                        ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))         # minimaler ZEG aller Zielgrößen für alle anderen Anbauziele
                else:                    # Futternutzung mit [NK,BS,OSA,UK]
                    if k == ziel.index(6):
                        ZEGV.append(ZEG[j][ziel.index(6)][1])     # Futternutzung nur im Frühjahr (vor Umbruch) möglich
                    else:
                        ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))         # minimaler ZEG aller Zielgrößen für alle anderen Anbauziele
                else:                    # Anbauziel O.S.-Anreicherung
                if azk == 0:             # keine Futternutzung
                    if k == ziel.index(3):
                        ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(3)][0],ZEG[j][ziel.index(3)][1])) # O.S.-Anreicherung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
                    else:
                        ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))         # minimaler ZEG aller Zielgrößen
                    elif azk == 1:       # Anbauziel Futternutzung ohne [NK,BS,OSA,UK]
                        if k == ziel.index(3):
                            ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(3)][0],ZEG[j][ziel.index(3)][1])) # O.S.-Anreicherung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
                        elif k == ziel.index(6):
                            ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(6)][0],ZEG[j][ziel.index(6)][1])) # Futternutzung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
                        else:
                            ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))   # minimaler ZEG aller Zielgrößen für alle anderen Anbauziele
                    else:               # Futternutzung mit [NK,BS,OSA,UK]
                        if k == ziel.index(3):
                            ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(3)][0],ZEG[j][ziel.index(3)][1])) # O.S.-Anreicherung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
                        elif k == ziel.index(6):
                            ZEGV.append(ZEG[j][ziel.index(6)][1]) # Futternutzung nur im Frühjahr (vor Umbruch) möglich
                        else:
                            ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))   # minimaler ZEG aller Zielgrößen für alle anderen Anbauziele
                else:                   # Anbauziel N2-Fixierung
                if ziel.count(3) == 0:    # keine O.S.-Anreicherung
                if azk == 0:             # keine Futternutzung
                    if k == ziel.index(1):
                        ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(1)][0],ZEG[j][ziel.index(1)][1])) # N2-Fixierung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
                    else:
                        ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))         # minimaler ZEG aller Zielgrößen
                    elif azk == 1:       # Anbauziel Futternutzung ohne [NK,BS,OSA,UK]
                        if k == ziel.index(1):
                            ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(1)][0],ZEG[j][ziel.index(1)][1])) # N2-Fixierung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
                        elif k == ziel.index(6):
                            ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(6)][0],ZEG[j][ziel.index(6)][1])) # Futternutzung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
                    else:

```

```

ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))          # minimaler ZEG aller Zielgrößen für alle anderen Anbauziele
else:
    # Futternutzung mit [NK,BS,OSA,UK]
    if k == ziel.index(1):
        ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(1)][0],ZEG[j][ziel.index(1)][1])) # N2-Fixierung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
    elif k == ziel.index(6):
        ZEGV.append(ZEG[j][ziel.index(6)][1]) # Futternutzung nur im Frühjahr (vor Umbruch) möglich
    else:
        ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))          # minimaler ZEG aller Zielgrößen für alle anderen Anbauziele
else:
    # Anbauziel O.S.-Anreicherung
    if azk == 0:
        # keine Futternutzung
    if k == ziel.index(1):
        ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(1)][0],ZEG[j][ziel.index(1)][1])) # N2-Fixierung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
    elif k == ziel.index(3):
        ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(3)][0],ZEG[j][ziel.index(3)][1])) # O.S.-Anreicherung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
    else:
        ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))          # minimaler ZEG aller Zielgrößen
    elif azk == 1:
        # Anbauziel Futternutzung ohne [NK,BS,OSA,UK]
    if k == ziel.index(1):
        ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(1)][0],ZEG[j][ziel.index(1)][1])) # N2-Fixierung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
    elif k == ziel.index(3):
        ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(3)][0],ZEG[j][ziel.index(3)][1])) # O.S.-Anreicherung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
    elif k == ziel.index(6):
        ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(6)][0],ZEG[j][ziel.index(6)][1])) # Futternutzung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
    else:
        ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))          # minimaler ZEG aller Zielgrößen für alle anderen Anbauziele
else:
    # Futternutzung mit [NK,BS,OSA,UK]
    if k == ziel.index(1):
        ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(1)][0],ZEG[j][ziel.index(1)][1])) # N2-Fixierung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
    elif k == ziel.index(3):
        ZEGV.append(max(ZEG[j][ziel.index(3)][0],ZEG[j][ziel.index(3)][1])) # O.S.-Anreicherung sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr möglich
    elif k == ziel.index(6):
        ZEGV.append(ZEG[j][ziel.index(6)][2]) # Futternutzung nur im Frühjahr (vor Umbruch) möglich
    else:
        ZEGV.append(min(ZEG[j][k][0:ug]))          # minimaler ZEG aller Zielgrößen für alle anderen Anbauziele
ZEGM.append(ZEGV)
ZEGA.append(ZEGM)
return ZEGA

```

A2 Parameterdateien**Datei P1 Zwischenfruchtspezifische Anbauzielpotenziale für 59 Zwischenfrüchte und 9 Anbauziele (QUELLEN: BUCHNER et al. 1989, SODTKE 1996).**

Nr.	ZF	kN	Nmax	NFix	BS	OSA	BG	UBL	FN(W)	FN(G)	FN(S)	ER(FN)	UKV	NZR	NKT
1	DWg	100	500	0	91	85	92.5	0	3	2	3	10	92.5	0	70
2	EWg	100	500	0	79	85	85	0	2	3	3	15	85	0	40
3	WWg	100	500	0	91	82.5	82.5	0	3	3	3	15	82.5	0	30
4	WR	79	364	0	41	70	70	70	2	3	2	8	40	0	0
5	SRa	108	457	0	41	65	65	30	1	2	2	5	82.5	0	0
6	WRa	79	364	0	76	65	65	30	2	2	2	5	82.5	0	0
7	SRü	122	424	0	79	70	70	70	1	2	1	3	85	0	0
8	WRü	122	424	0	79	70	70	70	2	1	1	3	85	0	0
9	StRü	122	424	0	15	5	50	5	2	2	3	5	50	0	0
10	FK	122	424	0	20	30	65	65	0	2	2	5	65	0	0
11	ÖR	56	242	0	85	60	60	80	1	1	1	5	80	80	80
12	GS	195	597	0	85	70	70	40	0	0	1	5	85	85	0
13	SS	122	424	0	49	70	70	40	0	1	2	5	85	0	0
14	PH	146	482	0	79	70	85	40	0	1	1	5	85	40	0
15	SB	146	482	0	76	65	82.5	82.5	1	1	2	5	65	0	0
16	KM	146	482	0	53	70	70	70	0	1	0	5	85	0	0
17	BW	146	482	0	89	85	92.5	70	0	1	0	5	92.5	70	70
18	WK	130	532	1	75	85	85	0	3	2	1	8	85	0	0
19	RK	130	532	1	87	90	80	90	2	2	1	8	80	0	0
20	PK	130	532	1	67	80	80	0	2	2	0	8	80	0	0
21	IK	130	532	1	87	80	80	0	1	2	1	8	80	0	0
22	AK	130	532	1	83	80	80	0	2	2	1	8	80	0	0
23	EK	130	532	1	71	80	80	60	1	0	0	8	80	0	0
24	SK	130	532	1	29	60	60	80	0	0	0	8	0	0	0
25	SD	130	532	1	93	85	85	92.5	2	2	1	8	85	0	0
26	SWi	130	532	1	67	80	80	60	1	1	1	8	80	0	0
27	WWi	130	532	1	87	90	90	60	0	2	1	8	80	0	0
28	WL	130	532	1	76	65	65	82.5	0	0	0	8	65	0	82.5
29	BL	130	532	1	76	65	65	82.5	0	0	0	8	65	0	82.5
30	GL	130	532	1	76	65	65	82.5	0	1	1	8	65	0	82.5
31	AB	130	532	1	41	65	65	30	1	1	1	8	70	0	0
32	FE	130	532	1	58	75	75	50	1	2	1	8	75	0	0
33	PE	130	532	1	58	80	80	80	1	2	1	8	80	0	0
34	Kng	100	500	0	91	82.5	85	0	3	3	2	10	82.5	0	0
35	Wsw	100	500	0	91	82.5	85	0	3	3	3	10	82.5	0	0
36	Rsw	100	500	0	91	82.5	85	0	3	2	2	10	82.5	0	0
37	EWg + WWg	100	500	0	76	85	85	0	3	3	3	15	85	0	40
38	WWg + WRa	100	500	0	76	65	65	30	2	2	2	10	82.5	0	40
39	WWg + SB	100	500	0	76	65	65	65	2	2	2	10	82.5	0	40
40	WWg + WK	130	532	0.6	75	85	85	0	3	1	2	10	85	0	0
41	DWg + WK	130	532	0.6	75	85	85	0	3	1	1	10	85	0	0
42	EWg + PK	130	532	0.5	75	87.5	87.5	0	2	3	2	10	87.5	0	0
43	EWg/WWg + AK	130	532	0.45	75	87.5	87.5	0	2	3	2	10	87.5	0	0
44	WWg + IK	130	532	0.4	75	87.5	87.5	0	1	3	2	10	87.5	0	0
45	WWg + WK + RK	130	532	0.35	75	85	85	85	3	3	2	10	85	0	0
46	WWg + WK + GK	130	532	0.45	75	85	85	85	3	2	2	10	85	0	0
47	RK + WK	130	532	1	75	90	90	90	3	2	1	8	90	0	0
48	GK + WK	130	532	1	75	92.5	92.5	92.5	3	2	1	8	92.5	0	0
49	WWg + IK + WWi	130	532	0.45	75	85	85	0	2	3	2	15	85	0	0
50	WR + WWi	130	532	0.55	87	70	70	70	0	2	2	10	85	0	0
51	WRa + FE + SWi	130	532	0.73	67	70	70	40	2	2	0	8	85	0	0
52	WRa /SRa + FE	130	532	0.7	67	70	70	40	0	2	0	8	85	0	0
53	WRa /SRa + SWi	130	532	0.65	67	70	70	40	0	2	0	8	85	0	0
54	WRa + WL	130	532	0.78	67	65	65	82.5	0	0	0	8	82.5	0	0
55	AB + FE + SWi	130	532	1	67	70	85	40	0	2	0	8	70	0	0
56	AB + FE	130	532	1	58	70	85	40	0	2	0	8	70	0	0
57	AB + SWi	130	532	1	67	70	85	40	0	2	0	8	70	0	0
58	FE + SWi	130	532	1	67	70	85	40	0	2	0	8	70	0	0
59	GK	130	532	1	75	92.5	92.5	92.5	3	2	1	8	85	0	0

Datei P2 Zwischenfruchtspezifische Zielgrößenpotenziale

Saatmengen, Modell und Ertragsfaktor Herbstbiomasse, Saatbettanspruch, Winterhärte, Biomasse-Deckungsgrad-Relation, Relationsfaktor Deckungsgrad Frühjahr, Konkurrenzfähigkeit, Modell, Ertragsfaktor und Saatmenge als Untersaat, Saatgutkosten, Mulchsaateignung für Mais und Zuckerrüben jeweils für 59 Zwischenfrüchte. (Quellen: BUCHNER et al. 1989, RENIUS et al. 1992, SODTKE 1996, ROTH 1998, KTBL 1999).

Nr.	ZF	SM(SF)	Mod(SF)	fMod_Sf	SBA	WH	IDG	KDF	uDF	KF(US)	Mod(US)	fMod_U€	SM(US)	SGcos	MS_Mait	MS_ZF
1	DWg	40.0	4.0	0.39	1.0	1.0	40.0	27.0	0.9	2.15	4.0	0.4	7.45	1.94	0.0	0.0
2	EWg	40.0	4.0	1.0	1.0	0.3	40.0	27.0	0.9	5.25	4.0	0.6	20.0	1.79	1.0	0.0
3	WWg	40.0	5.0	1.0	1.0	1.0	40.0	27.0	0.9	3.9	5.0	0.5	20.0	1.74	1.0	1.0
4	WR	200.0	3.0	0.6	1.0	1.0	50.0	27.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.72	1.0	0.0
5	SRa	12.0	2.0	0.7	1.0	0.3	60.0	30.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.12	1.0	0.0
6	WRa	12.0	1.0	0.7	1.0	0.6	60.0	30.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.89	1.0	0.0
7	SRü	12.0	2.0	0.7	1.0	0.0	60.0	30.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.89	1.0	0.0
8	WRü	12.0	1.0	0.65	1.0	0.6	60.0	30.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.89	1.0	0.0
9	StRü	2.0	4.0	0.95	1.0	0.65	60.0	30.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	10.23	0.0	0.0
10	FK	4.0	4.0	0.75	1.0	0.3	60.0	30.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	12.78	0.0	0.0
11	ÖR	25.0	1.0	1.0	3.0	0.3	60.0	15.0	0.85	0.0	0.0	0.0	0.0	2.81	1.0	1.0
12	GS	25.0	2.0	1.0	3.0	0.0	60.0	30.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.89	1.0	1.0
13	SS	10.0	1.0	0.55	1.0	0.0	60.0	30.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.89	0.0	0.0
14	PH	12.0	1.0	1.0	1.0	0.0	50.0	10.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	5.73	1.0	1.0
15	SB	30.0	1.0	1.0	1.0	0.0	50.0	10.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.61	1.0	0.0
16	KM	10.0	1.0	0.55	1.0	0.0	50.0	10.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.89	0.0	0.0
17	BW	60.0	1.0	0.5	1.0	0.0	50.0	10.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.61	1.0	1.0
18	WK	12.0	7.0	0.4	1.0	1.0	60.0	15.0	0.9	1.88	7.0	0.45	6.0	3.83	0.0	0.0
19	RK	20.0	6.0	0.575	1.0	0.65	60.0	15.0	0.9	4.15	6.0	0.575	7.5	4.4	0.0	0.0
20	PK	20.0	6.0	1.0	1.0	0.0	60.0	15.0	0.9	0.0	6.0	0.575	7.5	4.4	1.0	1.0
21	IK	30.0	6.0	0.575	1.0	0.9	60.0	15.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	1.0	1.0
22	AK	35.0	6.0	1.0	1.0	0.0	60.0	15.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.89	1.0	1.0
23	EK	30.0	6.0	0.8	1.0	0.0	60.0	15.0	0.9	2.5	6.0	0.475	7.5	4.4	1.0	1.0
24	SK	30.0	6.0	1.1	1.0	0.65	60.0	15.0	0.9	3.0	6.0	0.6	7.5	4.4	0.0	0.0
25	SD	40.0	7.0	0.7	1.0	0.0	60.0	15.0	0.9	2.0	7.0	0.48	10.0	1.89	0.0	0.0
26	SWi	160.0	7.0	0.8	2.5	0.3	60.0	15.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.07	1.0	1.0
27	WWi	100.0	7.0	0.8	2.0	1.0	60.0	15.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.07	0.0	0.0
28	WL	220.0	6.0	0.8	2.5	0.0	60.0	15.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.07	0.0	1.0
29	BL	180.0	6.0	1.0	2.5	0.0	60.0	15.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.07	0.0	1.0
30	GL	180.0	7.0	1.0	2.5	0.0	60.0	15.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.07	0.0	1.0
31	AB	220.0	6.0	1.2	2.5	0.0	60.0	15.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.61	1.0	0.0
32	FE	200.0	7.0	1.0	2.5	0.3	60.0	15.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.61	1.0	0.0
33	PE	150.0	7.0	1.0	2.0	0.0	60.0	15.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.07	0.0	0.0
34	Kng	0.0	5.0	0.0	1.0	1.0	40.0	27.0	0.9	2.1	5.0	0.4	7.0	2.05	1.0	1.0
35	WSw	0.0	4.0	0.0	1.0	1.0	40.0	27.0	0.9	2.1	4.0	0.35	8.0	2.17	1.0	1.0
36	RSw	0.0	5.0	0.0	1.0	1.0	40.0	27.0	0.9	2.0	4.0	0.3	6.0	2.05	1.0	1.0
37	EWg + WWg	40.0	4.0	0.65	1.0	0.45	40.0	27.0	0.9	5.25	4.0	0.6	20.0	1.76	1.0	0.0
38	WWg + WRa	32.0	4.0	0.65	1.0	0.9	40.0	27.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.75	1.0	0.0
39	WWg + SB	40.0	5.0	0.7	1.0	0.35	40.0	27.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.18	1.0	0.0
40	WWg + WK	18.0	8.0	0.6	1.0	0.65	40.0	27.0	0.9	3.0	8.0	0.6	8.0	2.44	0.0	0.0
41	DWg + WK	18.0	8.0	0.6	1.0	1.0	40.0	27.0	0.9	2.05	8.0	0.6	8.0	2.57	0.0	0.0
42	EWg + PK	30.0	9.0	0.85	1.0	0.0	40.0	27.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.66	1.0	0.0
43	EWg/WWg + AK	35.0	8.0	0.85	1.0	0.35	40.0	27.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.84	1.0	1.0
44	WWg + IK	30.0	9.0	0.6	1.0	1.0	40.0	27.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.62	1.0	1.0
45	WWg + WK + RK	0.0	8.0	0.0	1.0	0.65	40.0	27.0	0.9	4.3	8.0	0.6	9.0	2.45	0.0	0.0
46	WWg + WK + GK	0.0	9.0	0.0	1.0	0.65	40.0	27.0	0.9	3.0	9.0	0.6	10.0	2.75	0.0	0.0
47	RK + WK	0.0	6.0	0.0	1.0	0.65	40.0	27.0	0.9	4.15	6.0	0.6	6.0	4.31	0.0	0.0
48	GK + WK	0.0	7.0	0.0	1.0	0.65	40.0	27.0	0.9	1.9	6.0	0.54	8.0	4.33	0.0	0.0
49	WWg + IK + WWi	70.0	9.0	0.75	1.0	1.0	40.0	27.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.07	1.0	1.0
50	WR + WWi	130.0	9.0	1.0	2.0	1.0	40.0	27.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.62	1.0	0.0
51	WRa + FE + SWi	92.0	8.0	1.0	2.0	0.0	60.0	0.85	0.85	0.0	0.0	0.0	0.0	1.71	1.0	0.0
52	WRa /SRa + FE	82.0	8.0	1.0	2.0	0.0	60.0	0.85	0.85	0.0	0.0	0.0	0.0	0.64	1.0	0.0
53	WRa /SRa + SWi	52.0	8.0	1.0	2.0	0.0	60.0	0.85	0.85	0.0	0.0	0.0	0.0	3.02	1.0	0.0
54	WRa + WL	152.0	8.0	1.2	2.0	0.0	60.0	0.85	0.85	0.0	0.0	0.0	0.0	3.05	0.0	0.0
55	AB + FE + SWi	180.0	6.0	1.2	2.5	0.0	60.0	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.16	1.0	0.0
56	AB + FE	160.0	6.0	1.2	2.5	0.0	60.0	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.61	1.0	0.0
57	AB + SWi	160.0	6.0	1.2	2.5	0.0	60.0	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.53	1.0	0.0
58	FE + SWi	170.0	7.0	1.2	2.5	0.0	60.0	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.26	1.0	0.0
59	GK	20.0	7.0	0.4	1.0	1.0	60.0	15.0	0.9	1.88	7.0	0.4	8.0	3.83	0.0	0.0

Datei P4.1 Nutzbare Feldkapazität für 34 Bodenartengruppen, 3 Lagerungsdichten und 4 Humusklassen (Quelle: AG BODENKUNDE 1994).

Bodenart	Bodenart	nFK (Ld1-2)	nFK (Ld3)	nFK (Ld4-5)	nFK+ (h0)	nFK+ (h1)	nFK +(h2)	nFK +(h3)
1	Ss	12	10.5	10.5	0	0.5	1	3
2	Sl2	19	17.5	16	0	0.5	1	3
3	Sl3	21.5	18	15.5	0	0.5	1	3
4	Sl4	20.5	17	14.5	0	0.5	1	3.5
5		27.5	21	17	0	0.5	1	3
6		18.5	14	13.5	0	0.5	1	3
7		15.5	15.5	12	0	0.5	1.5	4
8		17.5	16	13	0	0.5	1	3
9		23	20.5	18	0	0.5	1	3
10		26.5	22	20	0	0.5	1	3
11		21	15.5	13.5	0	0.5	1.5	4
12		20	15	13	0	0.5	1.5	4
13		21	16	12.5	0	0.5	1.5	4
14		17.5	15	11	0	0.5	1.5	4
15		17.5	14	10	0	1	2.5	5.5
16		17.5	13.5	10.5	0	0.5	1.5	4
17		21	17	14.5	0	0.5	1.5	4
18		28.5	26	22	0	0.5	1	3
19		26	22	19.5	0	0.5	1	3.5
20		27	25.5	22	0	0.5	1	3
21		27	25	21	0	0.5	1	3
22		25.5	23.5	21.5	0	0.5	1	3.5
23		22	20.5	18	0	0.5	1.5	4
24		16	16	11	0	2	5	10.5
25		18.5	14.5	11	0	1	2.5	5.5
26		21.5	14.5	11	0	1	2.5	5.5
27		21	15.5	11.5	0	1	2.5	5.5
28		19.5	16	12	0	0.5	1.5	4
29		17	15.5	15.5	0	0.5	1	3
30		9	7.5	7.5	0	0.5	1	3
31		11	8	8	0	0.5	1	3
32		14.5	12.5	12.5	0	0.5	1	3
33		21.5	20	20	0	0.5	1	3
34		17.5	16.5	16.5	0	0.5	1	3

Datei P4.2 Luftkapazität für 34 Bodenartengruppen, 3 Lagerungsdichten und 4 Humusklassen (Quelle: AG BODENKUNDE 1994).

Nr.	Bodenart	nFK (Ld1-2)	nFK (Ld3)	nFK (Ld4-5)	nFK+ (h0)	nFK+ (h1)	nFK +(h2)	nFK +(h3)
1	Ss	22.5	19.5	19.5	0	-1.5	-1	-1
2	Sl2	16.5	12.5	9	0	-1.5	-1	-1
3	Sl3	12.5	11	7	0	0	1	2
4	Sl4	12	10	5.5	0	0.5	1.5	2.5
5		8.5	6.5	5.5	0	0	1	2
6		18.5	15.5	11	0	0	1	2
7		9	9	7	0	0.5	1.5	3
8		17	13.5	11	0	-1.5	-1	-1
9		11.5	9	5.5	0	-1.5	-1	-1
10		9.5	7.5	4.5	0	-1.5	-1	-1
11		9.5	7	6	0	0.5	1.5	3
12		9	6.5	4.5	0	0.5	1.5	3
13		10.5	8	4.5	0	0.5	1.5	3
14		8	5	3.5	0	0.5	1.5	3
15		7	3.5	2.5	0	0.5	1.5	2.5
16		5	4.5	3.5	0	0.5	1.5	3
17		7.5	6	4	0	0.5	1.5	3
18		6.5	3	2	0	-1.5	-1	-1
19		8.5	6.5	3.5	0	0.5	1.5	2.5
20		8	5	2	0	-1.5	-1	-1
21		9	4	2	0	0	1	2
22		9.5	4.5	2	0	0.5	1.5	2.5
23		9	5.5	2.5	0	0.5	1.5	3
24		2.5	2.5	1.5	0	0	0	1
25		5	3.5	2	0	0.5	1.5	2.5
26		4	3	2	0	0.5	1.5	2.5
27		6	4.5	3.5	0	0.5	1.5	2.5
28		7	5.5	4	0	0.5	1.5	3
29		24	18.5	18.5	0	-1.5	-1	-1
30		28	25	25	0	-1.5	-1	-1
31		26	23.5	23.5	0	-1.5	-1	-1
32		23	19.5	19.5	0	-1.5	-1	-1
33		17.5	10	10	0	-1.5	-1	-1
34		22	16	16	0	-1.5	-1	-1

Datei P5 Anbauverfahrenskosten: Stickstoff-Düngerkosten, Variable Maschinenkosten (Bodenlockerung, Saatbettbereitung, Saatgutablage, Düngerausbringung, Häckseln der Zwischenfrucht) in €/ha für 4 Bestellverfahren (Stoppel- und Untersaat) (Quelle: ACHILLES et al. 1999).

Ansaatverfahren	Bestellverfahren	Bodenbearbeitung (€/ha)	Saatbettbereitung (€/ha)	Düngestreuer (€/ha)	N-Düngerkosten (€/kg N)	Häckseln (€/ha)
Stoppelsaat	fein	21.5	9.2	4.6	4.6	12.3
	mittel	8.2	0	4.6	4.6	12.3
	grob	6.65	0	0	4.6	12.3
Untersaat	Drillsaat	0	0	4.6	4.6	12.3

Datei P6 Deckfruchtspezifische Anbauverfahrenscharakteristika: Konkurrenzfähigkeit, charakteristische Saat- und Erntetermine, C:N-Verhältnis des Strohs für 11 Hauptfrüchte (Quelle: RENIUS et al. 1992).

Merkmal	WW	WG	WR	SW	SG	HF	war	KT	MS	AB	LEG
KF	2.5	2.9	2.6	2.5	1.65	2.15	0	0	1.3	1.5	0
ST	1	1	1	4	4	4	0	0	6	6	0
SM	300	300	300	300	300	300	0	0	400	500	0
ND_konv	200	180	150	130	120	100	0	0	400	20	0
ND_org	80	80	20	20	20	20	80	0	0	0	0
ET	205	185	205	215	215	215	185	185	225	215	215
CN	100	100	100	100	100	100	30	30	30	15	15

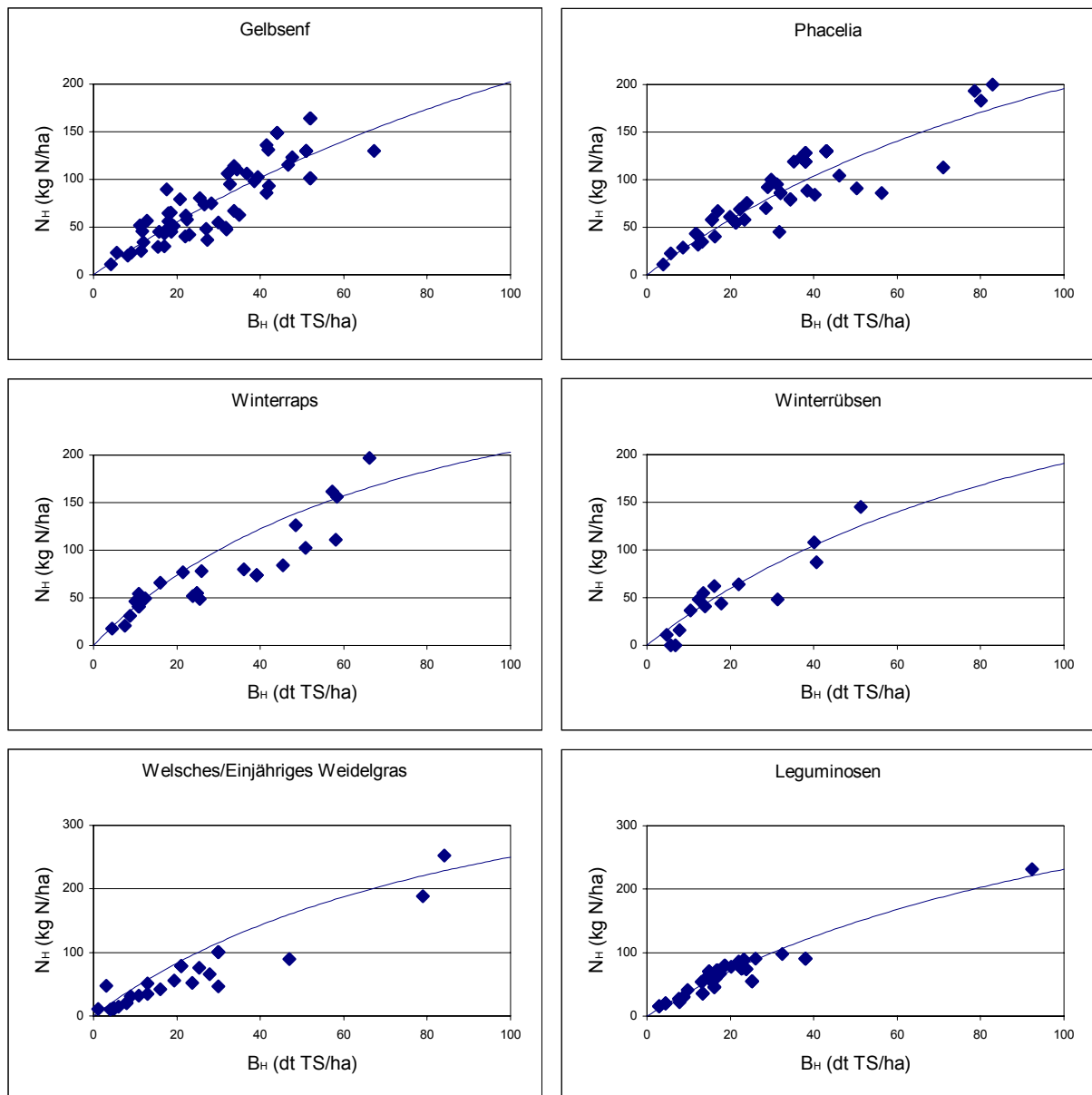
A3 Ergebnisse der Parameteridentifikation

Abb. A3.1: Graphen der Modellanpassung von MICHAELIS-MENTEN-Sättigungsfunktionen (durchgezogene Linie) an Literaturdaten der aufgenommenen N-Menge (Spätherbst) N_H in Abhängigkeit von der oberirdischen Biomasse (Spätherbst) B_H (Punkte) für die Zwischenfrüchte Gelbsenf, Winterraps, Winterrüben, Welsches und Einjähriges Weidelgras sowie verschiedene Leguminosen.

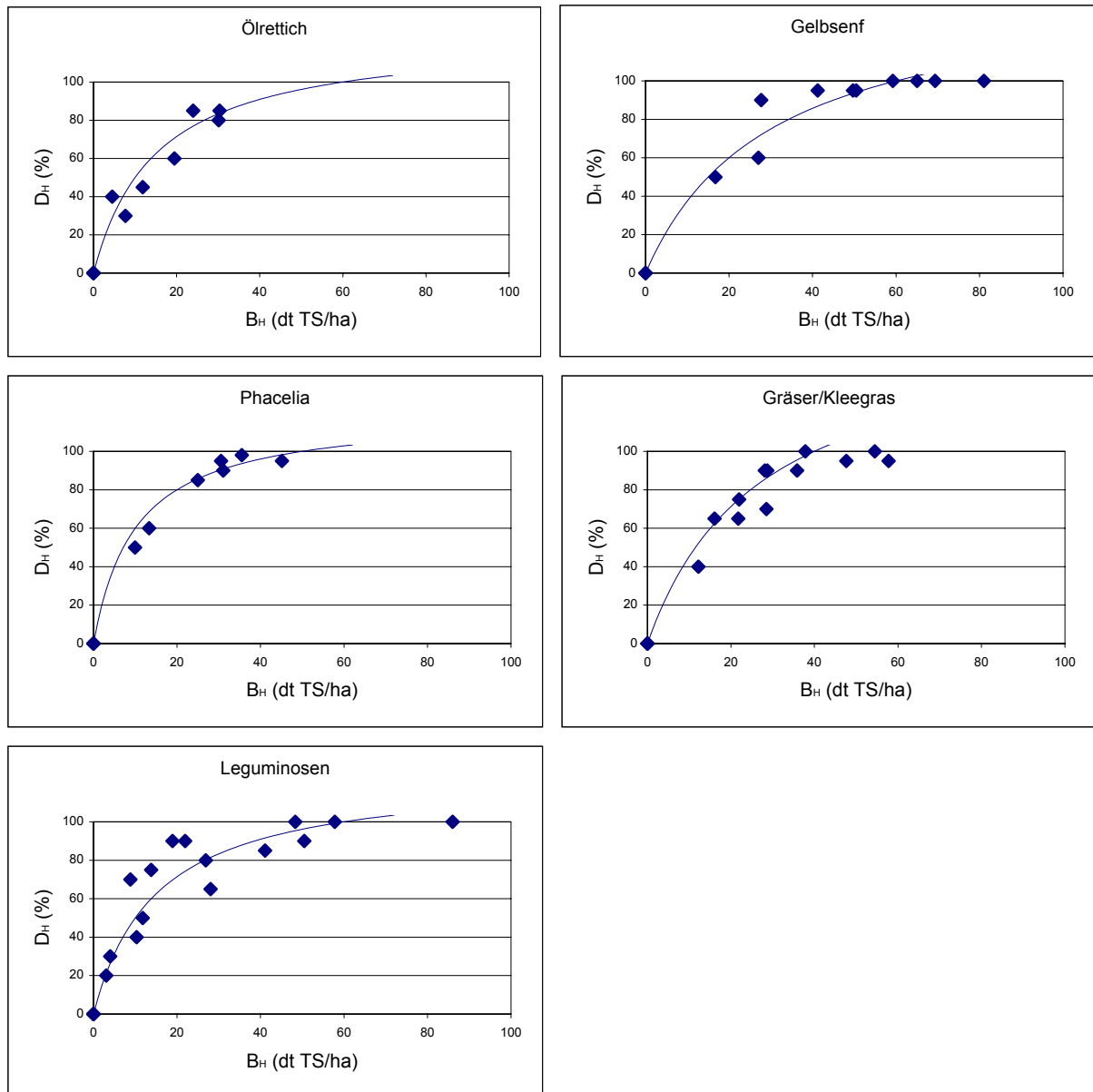


Abb. A3.2: Graphen der Modellanpassung von MICHAELIS-MENTEN-Sättigungsfunktionen (durchgezogene Linie) an Literaturdaten der Deckungsgrade (Spätherbst) D_H in Abhängigkeit von der oberirdischen Biomasse (Spätherbst) B_H (Punkte) für die Zwischenfrucht(gruppen) Örettich, Gelbsenf, Phacelia, Gräser/Klee gras sowie verschiedene Leguminosen.

A4 Ergebnisse der Regressionsanalysen

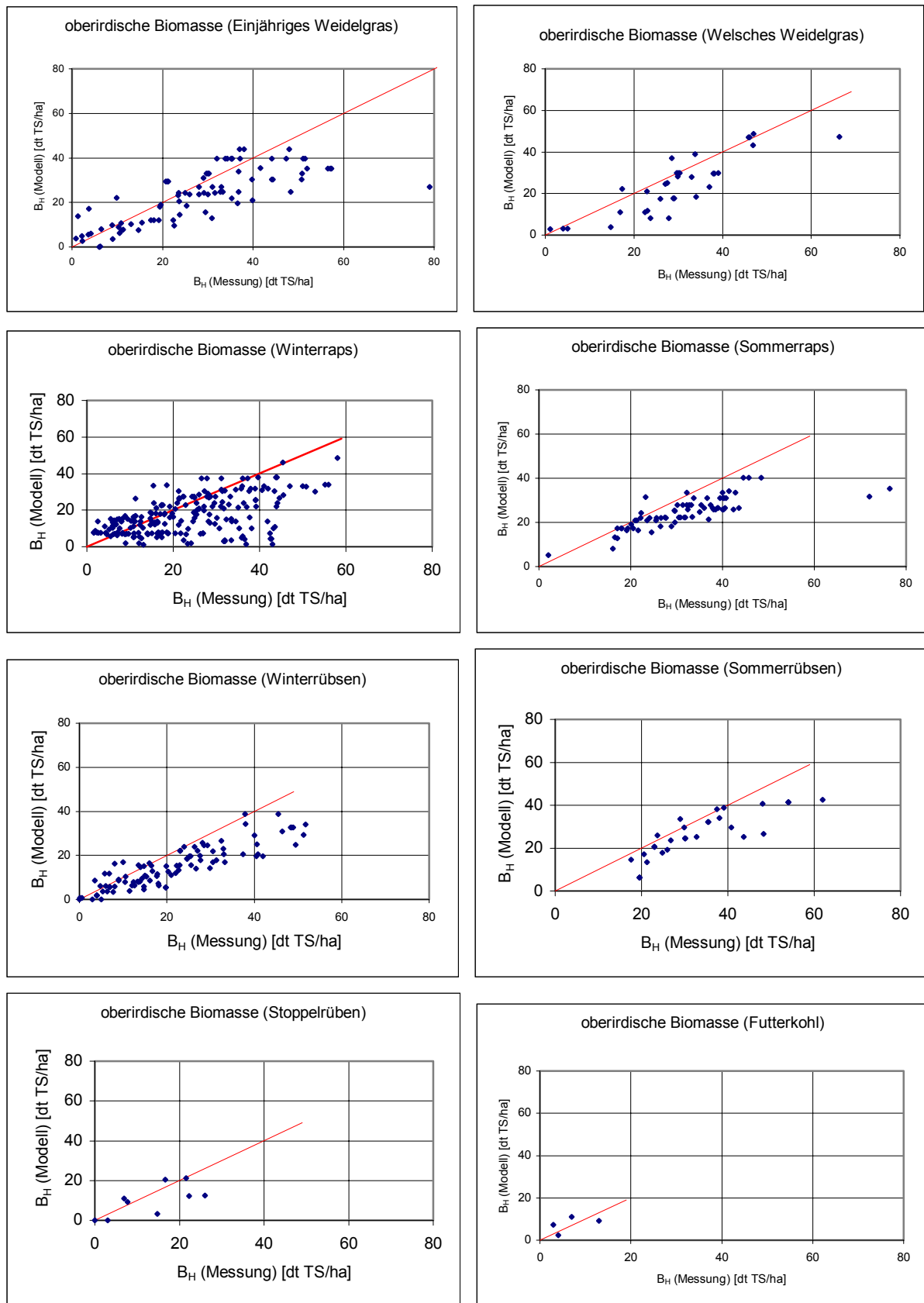


Abb. A4.1: Scatter plots der Regressionsanalysen für die Zielgröße „oberirdische Biomasse (Spätherbst)“ für verschiedene Zwischenfrüchte.

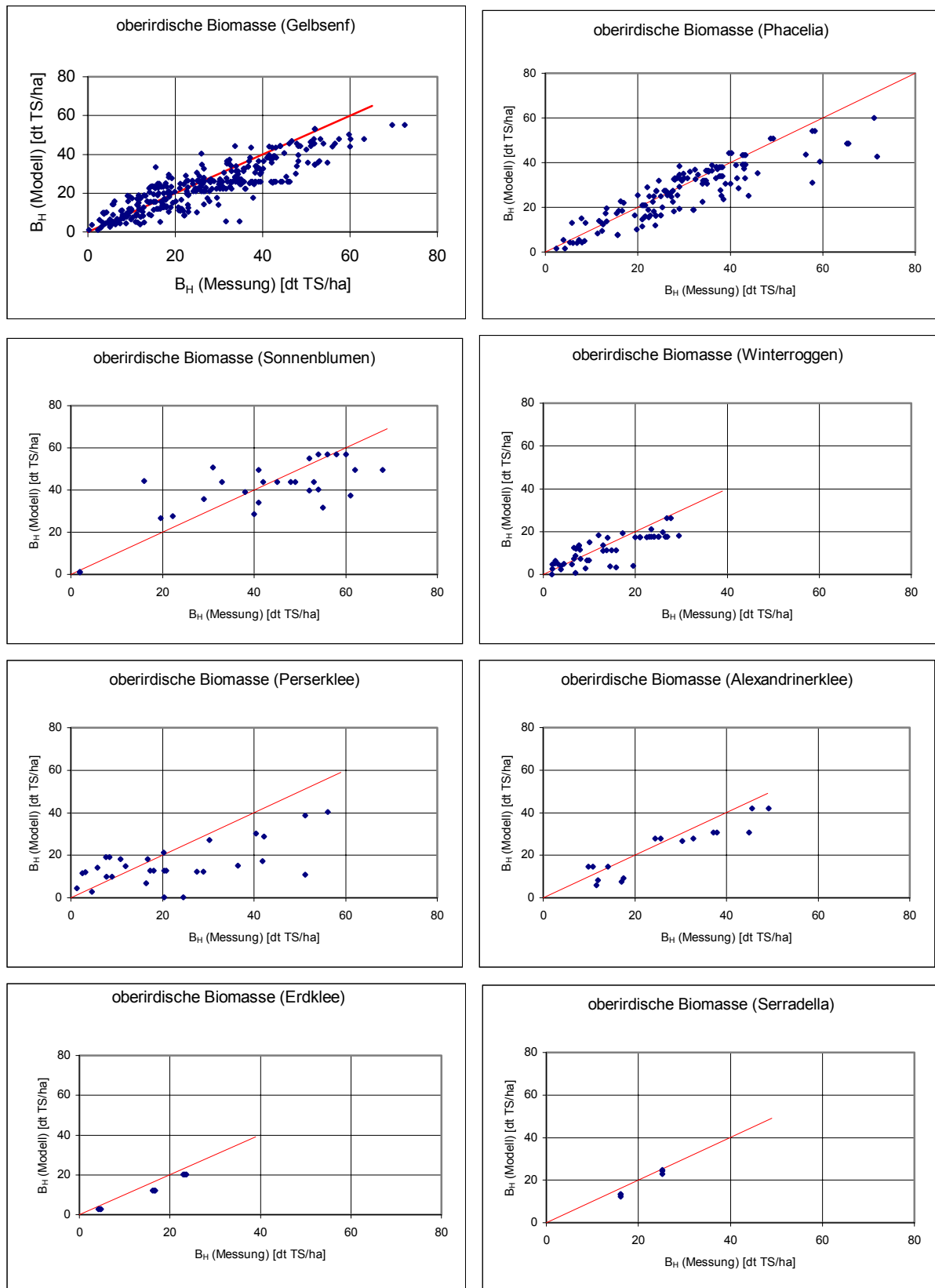


Abb. A4.1 (Fortsetzung): Scatter plots der Regressionsanalysen für die Zielgröße „oberirdische Biomasse (Spätherbst)“ für verschiedene Zwischenfrüchte.

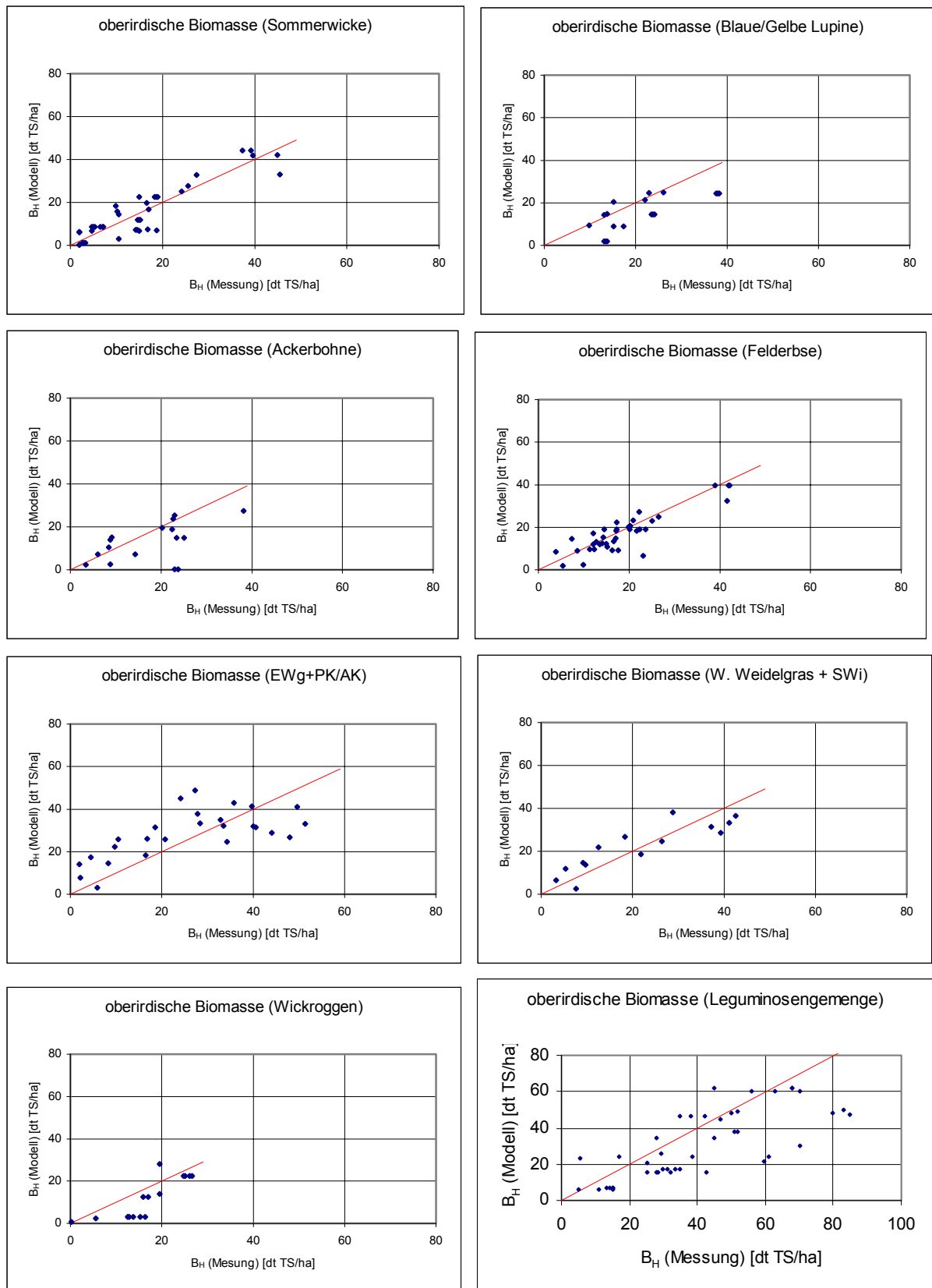


Abb. A4.1 (Fortsetzung): Scatter plots der Regressionsanalysen für die Zielgröße „oberirdische Biomasse (Spätherbst)“ für verschiedene Zwischenfrüchte.

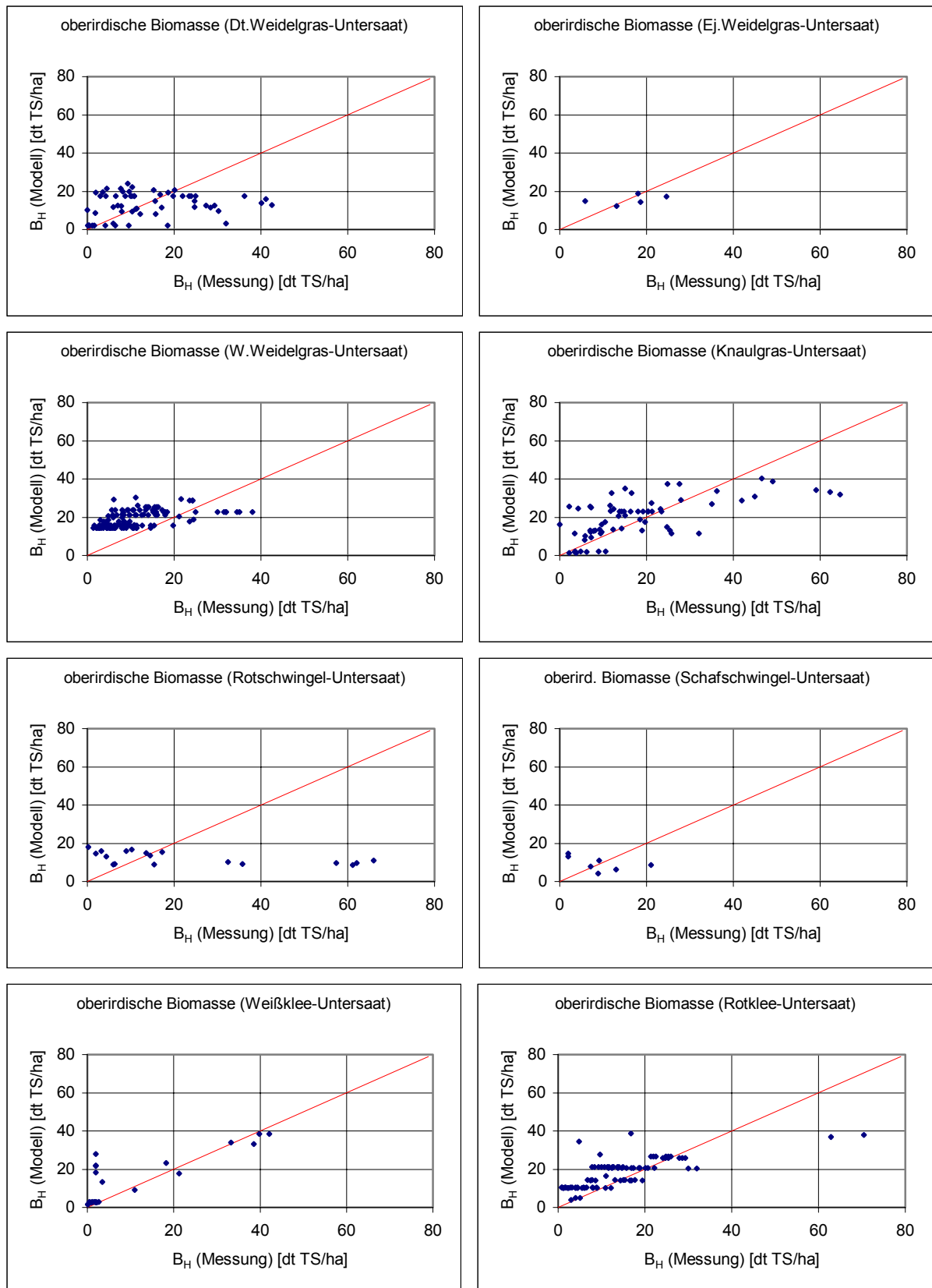


Abb. A4.1 (Fortsetzung): Scatter plots der Regressionsanalysen für die Zielgröße „oberirdische Biomasse (Spät-herbst)“ für verschiedene Zwischenfrüchte.

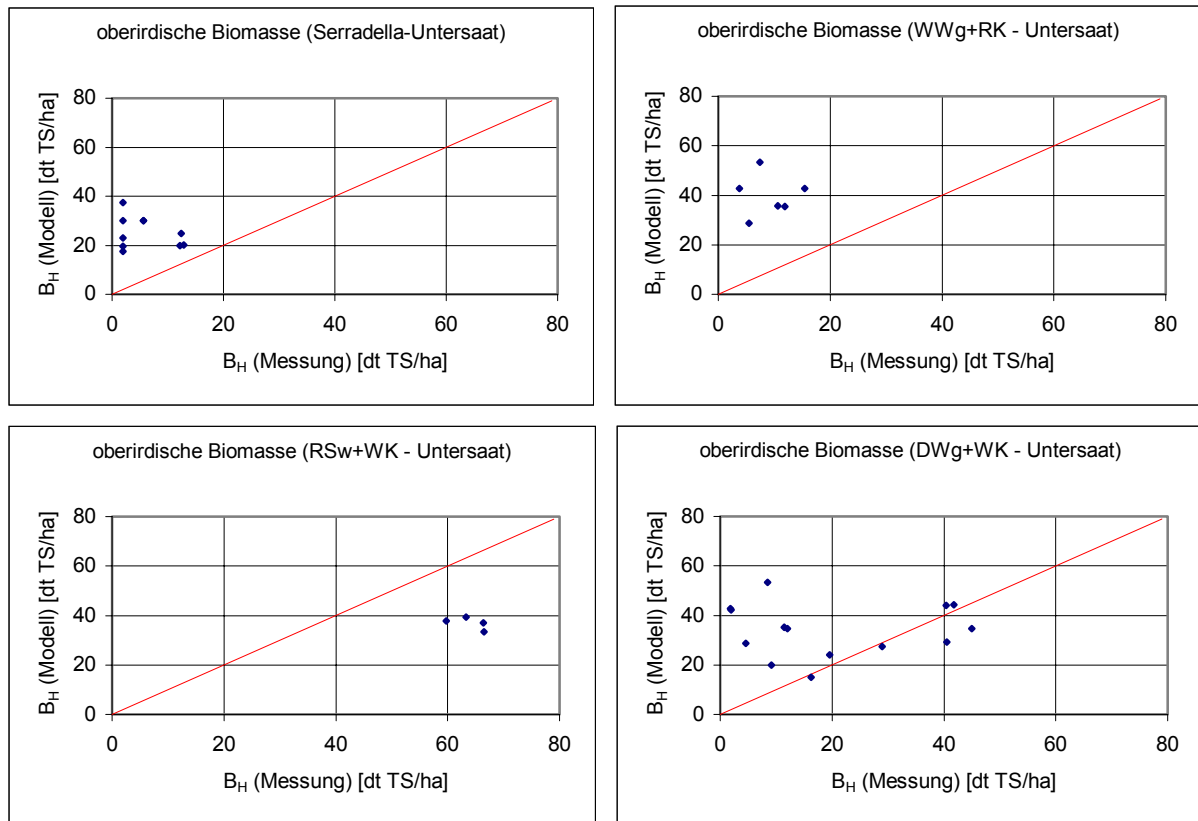


Abb. A4.1 (Fortsetzung): Scatter plots der Regressionsanalysen für die Zielgröße „oberirdische Biomasse (Spätherbst)“ für verschiedene Zwischenfrüchte.

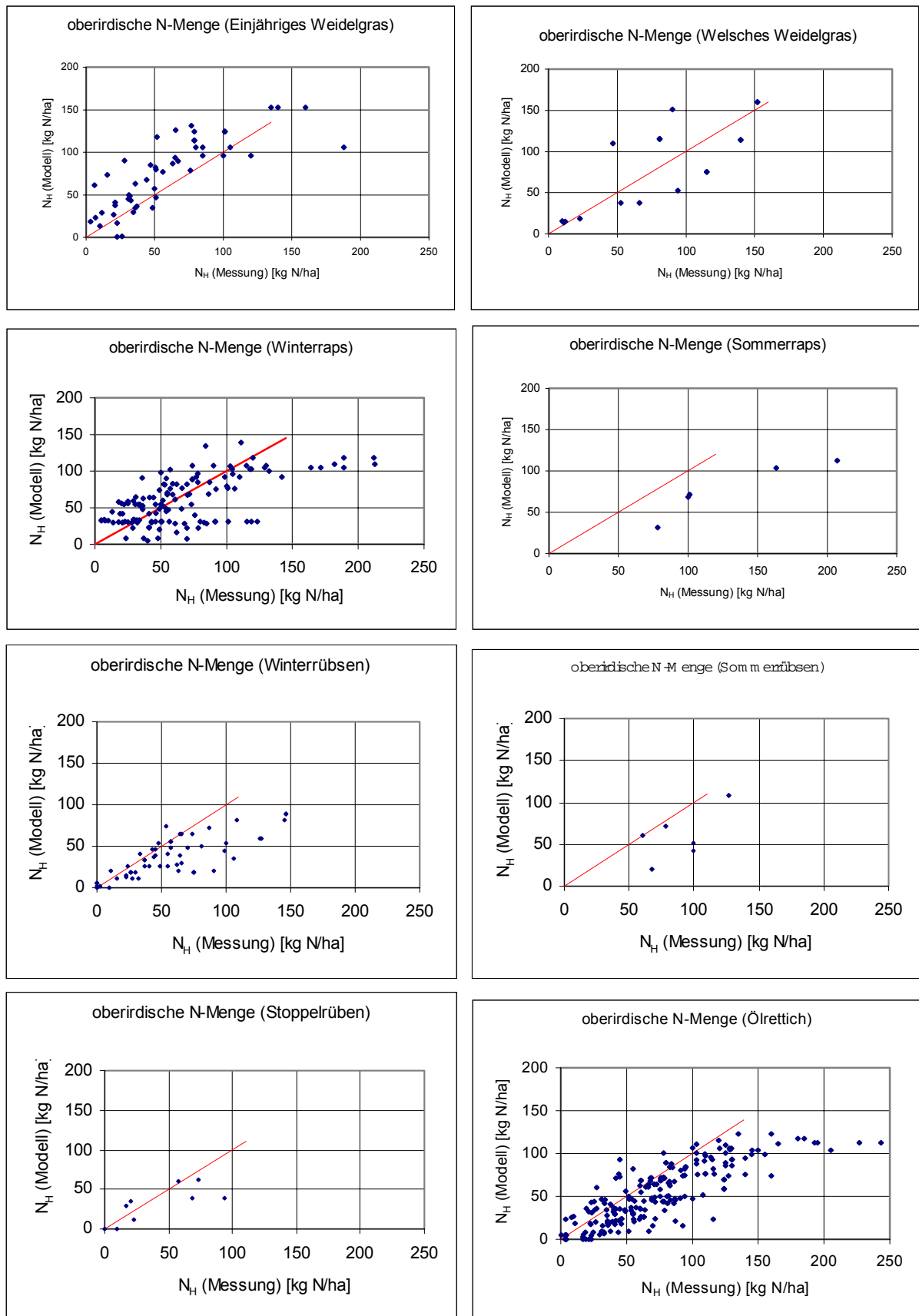


Abb. A4.2: Scatter plots der Regressionsanalysen für die Zielgröße „oberirdische N-Menge (Spätherbst)“ für verschiedene Zwischenfrüchte.

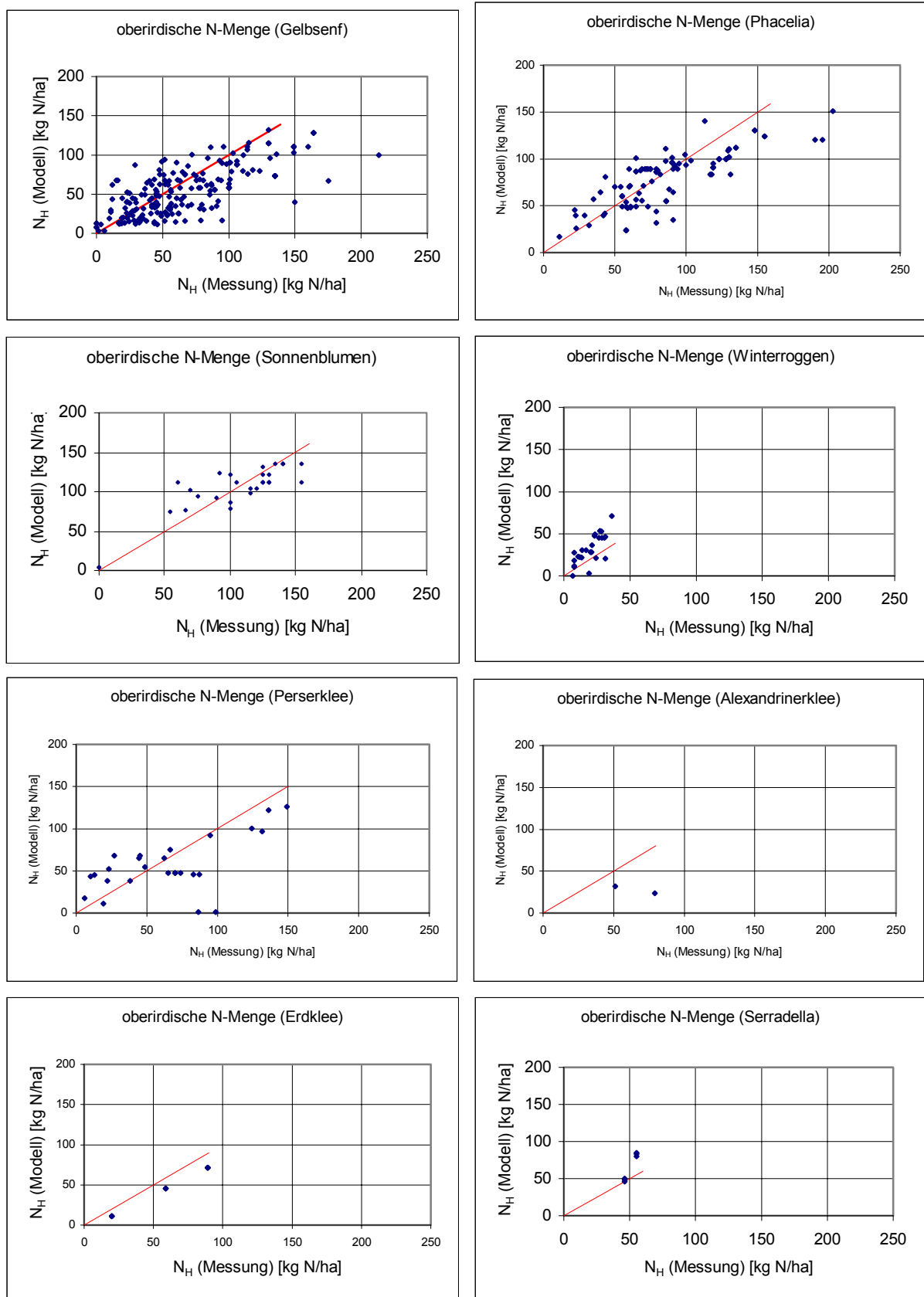


Abb. A4.2 (Fortsetzung): Scatter plots der Regressionsanalysen für die Zielgröße „oberirdische N-Menge (Spätherbst)“ für verschiedene Zwischenfrüchte.

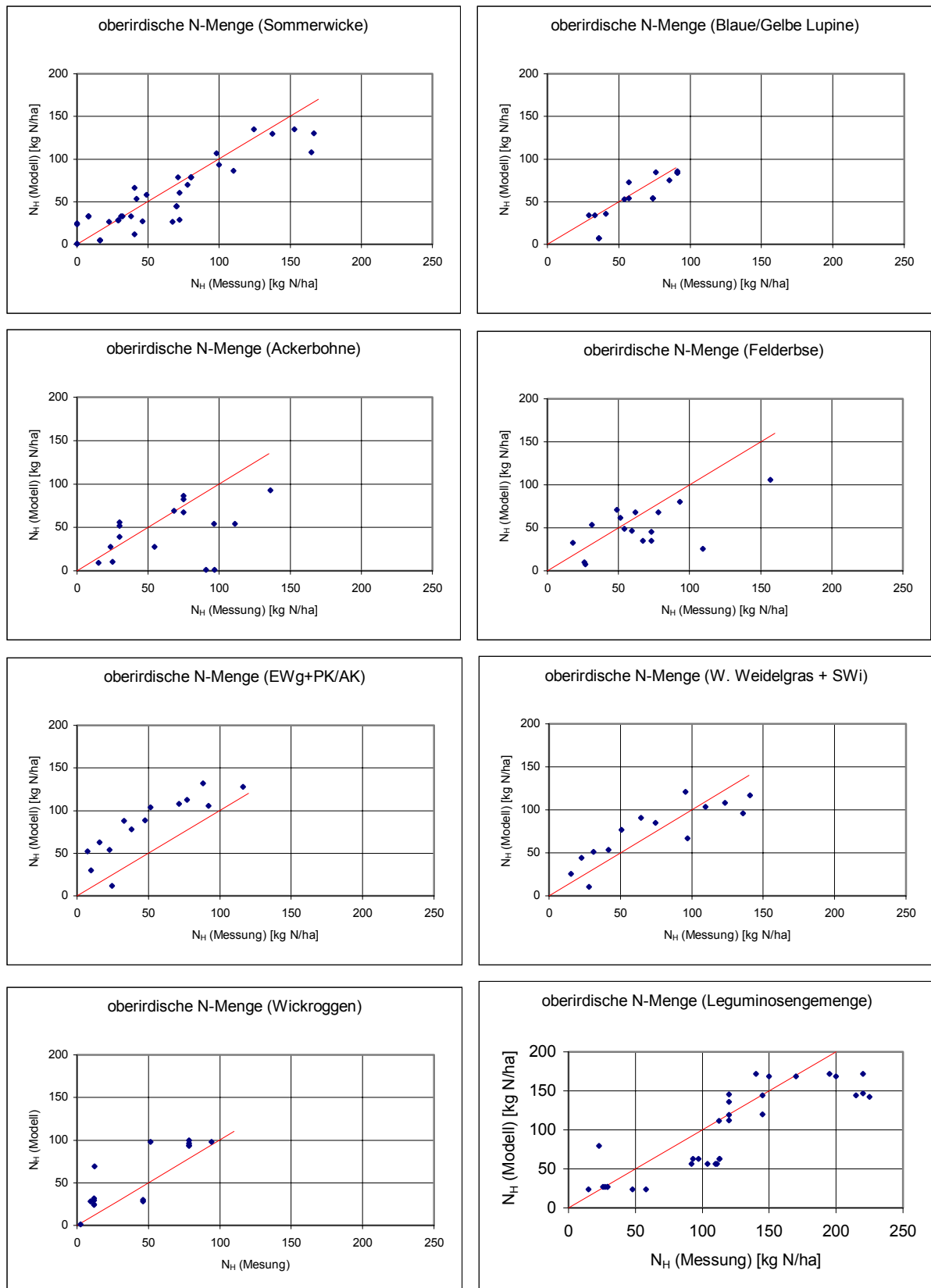


Abb. A4.2 (Fortsetzung): Scatter plots der Regressionsanalysen für die Zielgröße „oberirdische N-Menge (Spät-herbst)“ für verschiedene Zwischenfrüchte.

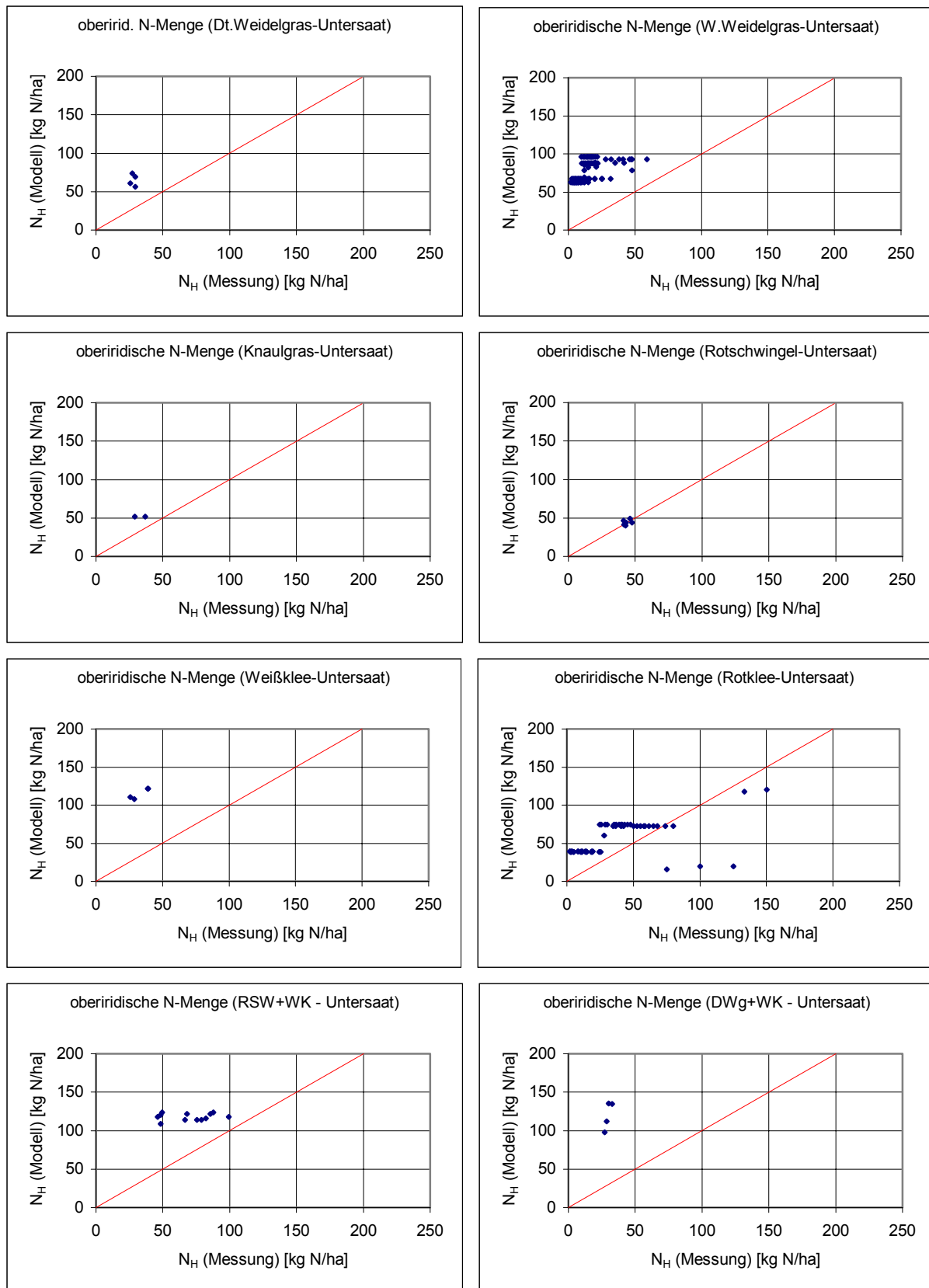


Abb. A4.2 (Fortsetzung): Scatter plots der Regressionsanalysen für die Zielgröße „oberiridische N-Menge (Spätherbst)“ für verschiedene Zwischenfrüchte.

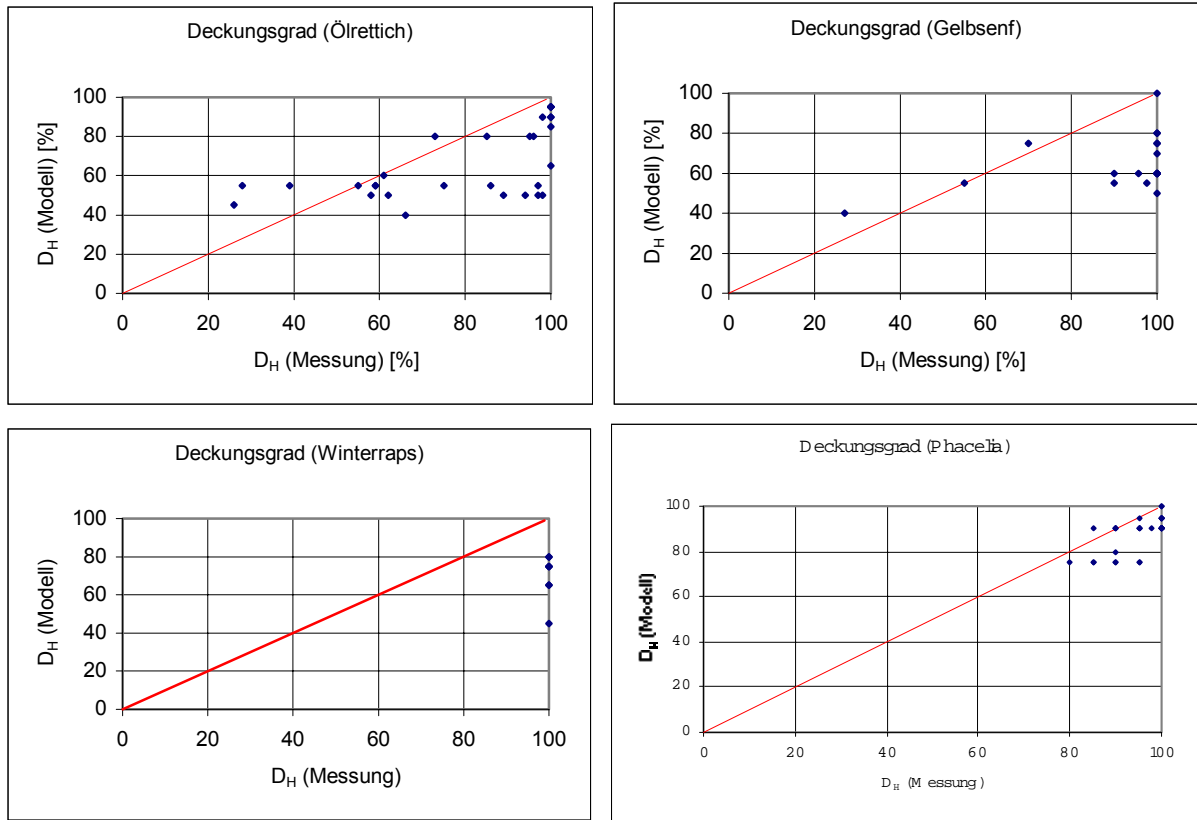


Abb. A4.3: Scatter plots der Regressionsanalysen für die Zielgröße „Deckungsgrad (Spätherbst)“ für verschiedene Zwischenfrüchte.

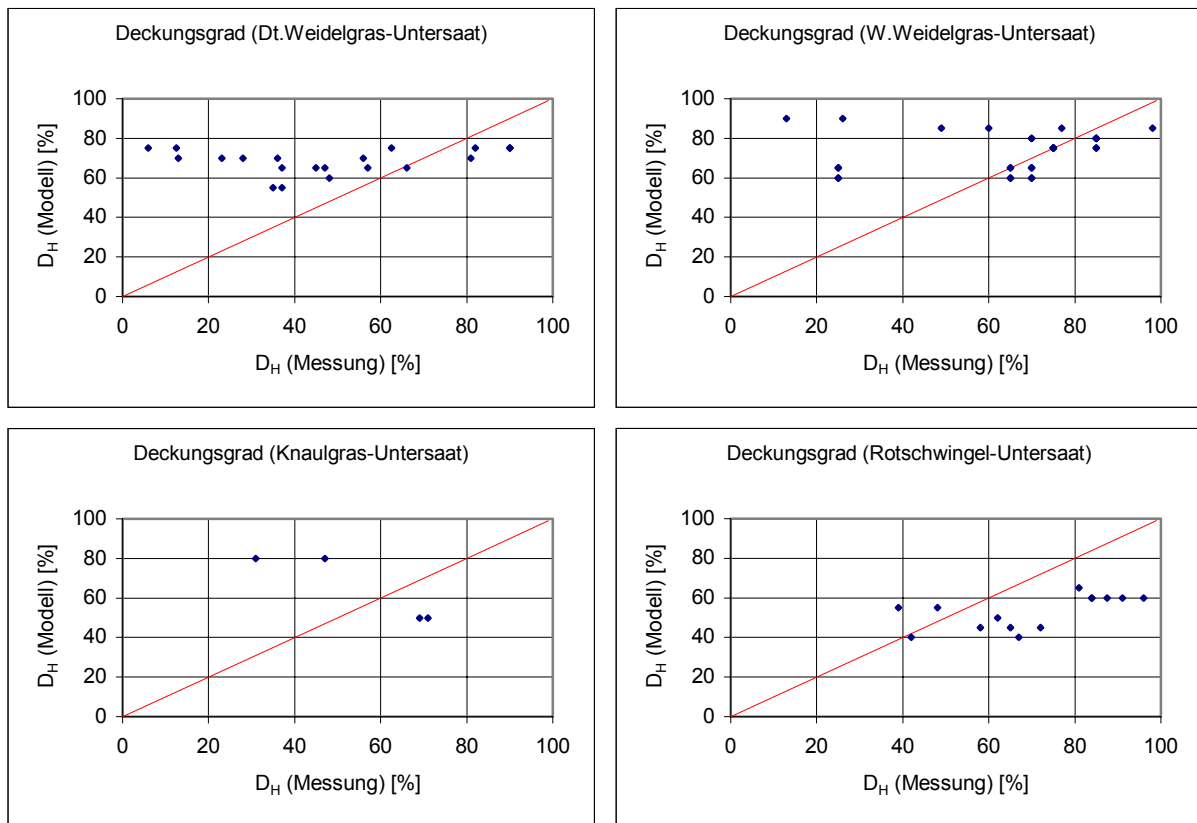


Abb. A4.3 (Fortsetzung): Scatter plots der Regressionsanalysen für die Zielgröße „Deckungsgrad (Spätherbst)“ für verschiedene Zwischenfrüchte.

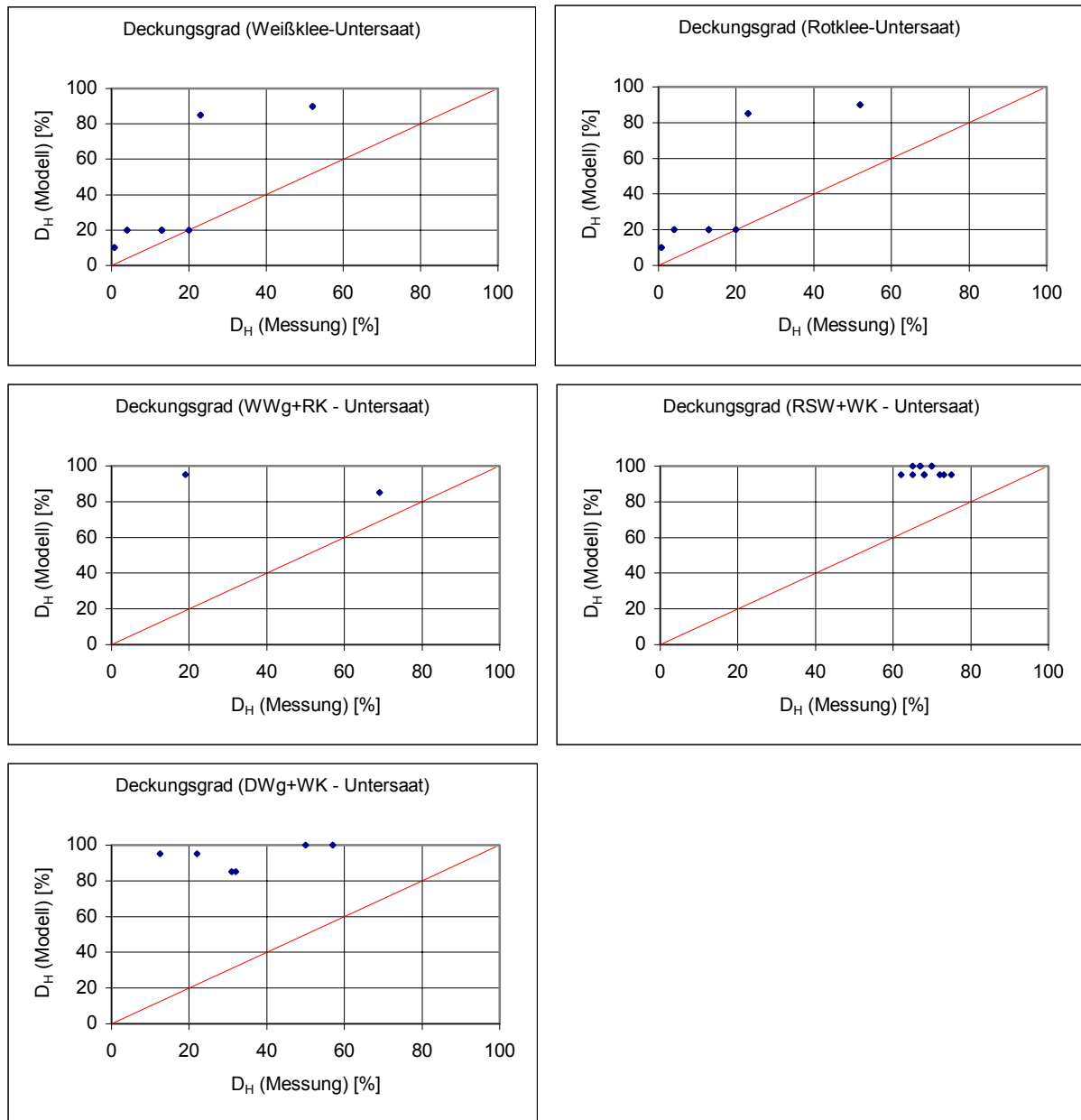
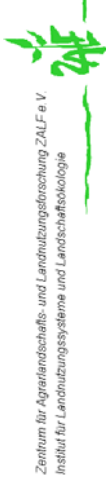


Abb. A4.3 (Fortsetzung): Scatter plots der Regressionsanalysen für die Zielgröße „Deckungsgrad (Spätherbst)“ für verschiedene Zwischenfrüchte.

A5 Fragebogen I zur Vorhersage-Validierung des DSS

Entscheidungshilfesystem zur Gestaltung von Untersaaten und Zwischenfruchtanbauverfahren Fragebogen Modellvalidierung - Experten aus Forschung und Beratung



Der Fragebogen bezieht sich beispielhaft auf die folgenden Standorte. Sie zeichnen sich durch die genannten klimatischen Bedingungen und Bodeneigenschaften aus.

1. Klimatische Bedingungen:	1a,b „NO-Deutschland“	1c „NO-Deutschland“	1d-f „NO-Deutschland“	1g,h „NO-Deutschland“	2a,b „Rheinessen“	2c „Rheinessen“
• Jahresniederschlagshöhe:	500 mm (450-550 mm)	500 mm (450-550 mm)	500 mm (450-550 mm)	500 mm (450-550 mm)	500 mm (450-550 mm)	500 mm (450-550 mm)
• Wahrscheinlichkeit von Spätsommer-Trockenperioden ²	3 – 4	3 – 4	3 – 4	3 – 4	3 – 4	3 – 4
• Ende der Vegetationsperiode:	Ende November	Ende November	Ende November	Ende November	Ende November	Ende November
• Winterstärke (tiefste Minimumtemperatur):	sehr kalt (häufig <-15°C)	sehr kalt (häufig <-15°C)	sehr kalt (häufig <-15°C)	sehr kalt (häufig <-15°C)	sehr kalt (häufig <-15°C)	sehr kalt (häufig <-15°C)

2. Bodeneigenschaften:

• Bodentyp:	Sand-Tieflehm-Fahlerde	Sand-Tieflehm-Fahlerde	Sand-Tieflehm-Fahlerde	Sand-Tieflehm-Fahlerde	Auengley	Auengley
• Ackerzahl:	ca. 40	ca. 40	ca. 40	ca. 40	ca. 65	ca. 65
• Bodenart:	lehmgiger Sand (SI2)	lehmgiger Sand (SI2)	lehmgiger Sand (SI2)	lehmgiger Sand (SI2)	sandiger Lehm (Ls3)	sandiger Lehm (Ls3)
• Humusgehalt:	1-2 %	1-2 %	1-2 %	1-2 %	1-2 %	1-2 %
• potentielle Durchwurzelungstiefe:	ca. 100 cm	ca. 100 cm	ca. 100 cm	ca. 100 cm	ca. 100 cm	ca. 100 cm

3. Das pflanzenbauliche Management der der Zwischenfrucht vorangehenden Hauptfrucht wird durch folgende Maßnahmen charakterisiert:

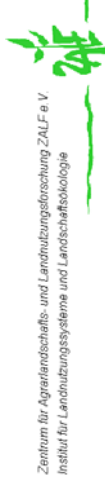
• Betriebssystem:	integriert	organisch-biologisch	integriert	integriert	integriert	organisch-biologisch
• Fruchtfolge ¹ :	WRa (ZF) - SW - WR - Ha	KG-Kart-SW(ZF)-HaLeg-W-W-WR	WRa - WW(ZF)-Mais- WR	WRa - WW - Mais(ZF)- SG	ZR - WW - SG(ZF)	ZR - WW - SG(ZF)
• Vorfruchtart (bzw. Deckfrucht):	Winterraps	Sommerweizen	Winterweizen	Mais	Winterweizen	Sommergerste
• Erntetermin (Dekade):	Anfang August	Mitte August	Mitte August	Mitte September	Anfang August	Anfang August
• Menge der Ernterückstände:	20-40 dt/ha	0 - 20 dt/ha	0 - 20 dt/ha	ca. 50 dt/ha	60-80 dt/ha	40 - 50 dt/ha
• Restlicher Boden-N _{min} -Gehalt nach der Vorfrucht:	40-60 kg N/ha	0 - 20 kg N/ha	20 - 60 kg N/ha	40 - 60 kg N/ha	60-100 kg N/ha	30 - 40 kg N/ha
• Umbruchermin für die Bestellung der Nachfrucht:	M Feb	M Feb	M Apr	M Apr	E März	E März

4. Folgende Anbauziele des Zwischenfruchtanbaus sollen verwirklicht werden: (Angabe mit der Bedeutung des Ziels. Das Erreichen der drei wichtigsten Anbauziele wird in Frage 6 abgefragt!)

• Futternutzung (Weidennutzung, mittlere Futterqualität)	ziemlich wichtig	ziemlich wichtig	(mäßig wichtig: 5 dt TS)	(ziemlich wichtig)	ziemlich wichtig
• Biologische Unkrautkontrolle	mäßig wichtig	mäßig wichtig	mäßig wichtig	mäßig wichtig	ziemlich wichtig
• Biologische Schaderregerkontrolle (bes. Nematoden)	ziemlich wichtig (80 %)	maß. wichtig: 20 kg N/ha	wichtig (10 kg N/ha)	sehr wichtig (100 %)	sehr wichtig (100 %)
• Anreicherung von organischer Substanz	ziemlich wichtig (20 %)	ziemlich wichtig (20 %)	mäßig wichtig (30 %)	mäßig wichtig (20%)	ziemlich wichtig (20%)
• Stabilisierung des Bodengefüges (Krümelstruktur)					
• Unterbodenlockerung					
• Biologische Stickstofffixierung durch Leguminosen					
• Stickstoffkonservierung (Verminderung des austragsgefährdeten Nitratstickstoffs in Prozent)					
• Bodenschutz (Verminderung des relativen Bodenabtrags durch Wind- oder Wassererosion in Prozent)					

¹ Erläuterung der Abkürzungen für die Fruchtfolgeglieder: WW = Winterweizen, WR = Winterroggen, WG = Sommerweizen, SG = Sommergerste, Ha = Hafer, ZR = Zuckerrüben, WRa = Winterraps, Kart = Kartoffeln, Öl = Öllein, AB = Ackerbohnen, FE = Felderbse, KG = Klee gras, Luz = Luzerne, (ZF) = Zwischenfrucht (als Untersaat, Stoppelsaat oder Winterzwischenfrucht).² in x von 10 Jahren

Entscheidungshilfesystem zur Gestaltung von Untersaaten und Zwischenfruchtanbauverfahren Fragebogen Modellvalidierung - Experten aus Forschung und Beratung

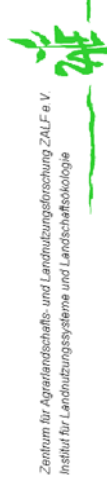


Der Fragebogen bezieht sich beispielhaft auf die folgenden Standorte. Sie zeichnen sich durch die genannten klimatischen Bedingungen und Bodeneigenschaften aus.

1. Klimatische Bedingungen:	3 „Magdeburger Börde“	3 „Magdeburger Börde“	4 „NW-deutsche Geest“	4 „NW-deutsche Geest“	5 „Mittelgebirge“	5 „Mittelgebirge“
<ul style="list-style-type: none"> Jahresniederschlagshöhe: Wahrscheinlichkeit von Spätsommer-Trockenperioden² Ende der Vegetationsperiode: Winterstärke (tiefste Minimumtemperatur): 	500 mm (450-550 mm) 3-4 Ende November kalt (selten < -10 °C)	500 mm (450-550 mm) 3-4 Ende November kalt (selten < -10 °C)	650 (600-700 mm) 1-2 Ende November kalt (selten < -10 °C)	650 (600-700 mm) 1-2 Ende November kalt (selten < -10 °C)	650 (600-700 mm) 1-2 Ende November kalt (selten < -10 °C)	650 (600-700 mm) 1-2 Ende November kalt (selten < -10 °C)
2. Bodeneigenschaften: <ul style="list-style-type: none"> Bodentyp: Ackerzahl: Bodenart: Humusgehalt: potentielle Durchwurzelungstiefe: 	Schwarzerde > 90 Lößlehm (Uf3) 2-3 % ca. 100 cm	Schwarzerde > 90 Lößlehm (Uf3) 2-3 % ca. 100 cm	Braunerde ca. 40 reiner Sand (mSfs) 1-2 % ca. 100 cm	Braunerde ca. 40 reiner Sand (mSfs) 1-2 % ca. 100 cm	Braunerde-Rendzina ca. 65 toniger Lehm (Lt3) 1-2 % ca. 50 cm	Braunerde-Rendzina ca. 65 toniger Lehm (Lt3) 1-2 % ca. 50 cm
3. Das pflanzenbauliche Management der der Zwischenfrucht vorangehenden Hauptfrucht wird durch folgende Maßnahmen charakterisiert: <ul style="list-style-type: none"> Betriebssystem: Fruchtfolge¹: Vorfruchtart (bzw. Deckfrucht): Erntetermin (Dekade): Menge der Ernterückstände: Restlicher Boden-N_{min}-Gehalt nach der Vorfrucht: Umbruchermin für die Bestellung der Nachfrucht: 	integriert ZR - WW - WG (ZF) Wintergerste Anfang Juli 60 - 80 dt/ha 20 - 30 kg N/ha M März	integriert ZR - SW (ZF) - FE - WG Sommerweizen Mitte August 60 - 80 dt/ha 40 - 60 kg N/ha A Apr	integriert Kart - WR (ZF) - SG Winterroggen Anfang August 30-40 dt/ha 50-60 kg N/ha M Feb	integriert Kart - WR - Ha - SG (ZF) Wintergerste Mitte Juli 30-40 dt/ha 20-60 kg N/ha E Mär	organisch-biologisch KG-WW-WR(ZF)-Mais- WW-WR Winterroggen Ende Juli 0-20 dt/ha 0-20 kg N/ha M Apr	organisch-biologisch KG-SW-SG(ZF)-AB- WW-WR Sommergerste Anfang August 0-20 dt/ha 0-20 kg N/ha A Apr
4. Folgende Anbauziele des Zwischenfruchtanbaus sollen verwirklicht werden: (Angabe mit der Bedeutung des Ziels. Das Erreichen der drei wichtigsten Anbauziele wird in Frage 6 abgefragt!)	mäßig wichtig mäßig wichtig ziemlich wichtig (20 %)	ziemlich wichtig sehr wichtig (100 %) ziemlich wichtig (20 %)	ziemlich wichtig z wichtig: 30 kg N/ha sehr wichtig (120 %) sehr wichtig (10%)	ziemlich wichtig sehr wichtig: 40 kg N/ha sehr wichtig (120 %) sehr wichtig (10%)	mäßig wichtig: 10 dtTS/ha ziemlich wichtig mäßig wichtig: 5 dt TS/ha mäßig wichtig: 10 kg N/ha ziemlich wichtig (30 %)	mäßig wichtig: 10 dtTS/ha ziemlich wichtig mäßig wichtig: 5 dt TS/ha mäßig wichtig: 10 kg N/ha ziemlich wichtig (30 %)

¹ Erläuterung der Abkürzungen für die Fruchtfolgeglieder: WW = Winterweizen, WR = Winterroggen, WG = Sommerweizen, SW = Sommerweizen, Ha = Hafer, ZR = Zuckerrüben, WRa = Winterrapss, Kart = Kartoffeln, ÖL = Öllein, AB = Ackerbohnen, FE = Felderbse, KG = Klee gras, Luz = Luzerne, (ZF) = Zwischenfrucht (als Untersaat, Stoppelsaat oder Winterzwischenfrucht. ² in x von 10 Jahren

Entscheidungshilfesystem zur Gestaltung von Untersaaten und Zwischenfruchtanbauverfahren Fragebogen Modellvalidierung - Experten aus Forschung und Beratung

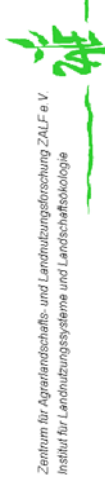


Der Fragebogen bezieht sich beispielhaft auf die folgenden Standorte. Sie zeichnen sich durch die genannten klimatischen Bedingungen und Bodeneigenschaften aus.

1. Klimatische Bedingungen:	5c „Mittelgebirge“	5d,e „Mittelgebirge“	6a „Hildesheimer Börde“	6b „Hildesheimer Börde“	7 „Oldenburg“
<ul style="list-style-type: none"> Jahresniederschlagshöhe: Wahrscheinlichkeit von Spätsommer-Trockenperioden² Ende der Vegetationsperiode: Winterstärke: 	650 (600-700 mm) 1-2 Ende November kalt (selten < -10 °C)	650 (600-700 mm) 1-2 Ende November kalt (selten < -10 °C)	650 (600-700 mm) 1-2 Ende November kalt (selten < -10 °C)	650 (600-700 mm) 1-2 Ende November kalt (selten < -10 °C)	800 mm (750-850 mm) 0,5-1 Ende November kalt (selten < -10 °C)
2. Bodeneigenschaften: <ul style="list-style-type: none"> Bodentyp: Ackerzahl: Bodenart: Humusgehalt: potentielle Durchwurzelungstiefe: 	Braunerde-Rendzina ca. 65 toniger Lehm (Lt3) 1-2 % ca. 50 cm	Braunerde-Rendzina ca. 65 toniger Lehm (Lt3) 1-2 % ca. 50 cm	Löß-Kolluvium > 90 Lößlehm (Ut3) 2-3 % ca. 100 cm	Löß-Kolluvium > 90 Lößlehm (Ut3) 2-3 % ca. 100 cm	podsolige Braunerde ca. 40 Sand (mSfs) 1-2 % ca. 100 cm
3. Das pflanzenbauliche Management der der Zwischenfrucht vorangehenden Hauptfrucht wird durch folgende Maßnahmen charakterisiert: <ul style="list-style-type: none"> Betriebssystem: Fruchtfolge¹: Vorfruchtart (bzw. Deckfrucht): Erntetermin (Dekade): Menge der Ernterückstände: Restlicher Boden-N_{min}-Gehalt nach der Vorfrucht: Umbruchermin für die Bestellung der Nachfrucht: 	integriert AB(ZF) - SW - WG - Ha Ackerbohne Ende August 0 dt/ha 60-80 kg N/ha M Feb	integriert WRa - WW - WR(ZF) - Ha Winterroggen Mitte August 20-40 dt/ha 40-60 kg N/ha M Feb	integriert ZR - WW - WG (ZF) Wintergerste Ende Juli 40-60 dt/ha 60-100 kg N/ha E März	integriert ZR - SW (ZF) - Ha - WG Sommerweizen Mitte August 20-30 dt/ha 60-80 kg N/ha M Feb	integriert Mais- WR(ZF)-Mais- WR Winterroggen Ende August 0-20 dt/ha 40-60 kg N/ha M Apr
4. Folgende Anbauziele des Zwischenfruchtanbaus sollen verwirklicht werden: (Angabe mit der Bedeutung des Ziels. Das Erreichen der drei wichtigsten Anbauziele wird in Frage 6 abgefragt!) <ul style="list-style-type: none"> Futternutzung (Weidenutzung, mittlere Futterqualität) Biologische Unkrautkontrolle Biologische Schaderregerkontrolle (bes. Nematoden) Anreicherung von organischer Substanz Stabilisierung des Bodengefüges (Krümelstruktur) Unterbodenlockerung Biologische Stickstofffixierung durch Leguminosen Stickstoffkonservierung (Verminderung des austragsgefährdeten Nitratstickstoffs in Prozent) Bodenschutz (Verminderung des relativen Bodenabtrags durch Wind- oder Wassererosion in Prozent) 	mäßig wichtig sehr wichtig (100 %) mäßig wichtig (30 %)	ziemlich wichtig sehr wichtig (100 %) ziemlich wichtig (20 %)	ziemlich wichtig sehr wichtig (100 %) sehr wichtig (10 %)	(ziemlich wichtig) (mäßig wichtig) ziemlich wichtig (z. wichtig: 20 kg N/ha) sehr wichtig (100 %) sehr wichtig (10 %)	sehr wichtig: 20 dt TS/ha sehr wichtig (100 %)

¹ Erläuterung der Abkürzungen für die Fruchtfolgen: WW = Winterweizen, WR = Winterroggen, WG = Sommerweizen, SW = Sommergerste, Ha = Hafer, ZR = Zuckerrüben, WRa = Winterrippen, Kart = Kartoffeln, ÖL = Öllein, AB = Ackerbohnen, KG = Kleegras, Luz = Luzerne, (ZF) = Zwischenfrucht (als Untersaat, Stoppelsaat oder Winterzwischenfrucht),² in x von 10 Jahren

Entscheidungshilfesystem zur Gestaltung von Untersaaten und Zwischenfruchtanbauverfahren Fragebogen Modellvalidierung - Experten aus Forschung und Beratung



Der Fragebogen bezieht sich beispielhaft auf die folgenden Standorte. Sie zeichnen sich durch die genannten klimatischen Bedingungen und Bodeneigenschaften aus.

1. Klimatische Bedingungen:	8 „Schwäbische Alb“	8 „Schwäbische Alb“	9a „Soester Börde“	9b „Soester Börde“	9c „Soester Börde“
<ul style="list-style-type: none"> Jahresniederschlagshöhe: Wahrscheinlichkeit von Spätsommer-Trockenperioden² Ende der Vegetationsperiode: Winterstärke: 	800 mm (750-850 mm) 0.5 – 1.5 Ende November kalt (selten < -10 °C)	800 mm (750-850 mm) 0.5 – 1.5 Ende November kalt (selten < -10 °C)	800 mm (750-850 mm) 0.5 – 1.5 Ende November kalt (selten < -10 °C)	800 mm (750-850 mm) 0.5 – 1.5 Ende November kalt (selten < -10 °C)	800 mm (750-850 mm) 0.5 – 1.5 Ende November kalt (selten < -10 °C)
2. Bodeneigenschaften: <ul style="list-style-type: none"> Bodentyp: Ackerzahl: Bodenart: Humusgehalt: potentielle Durchwurzelungstiefe: 	Rendzina-Braunerde ca. 65 toniger Lehm (Lt3) 1-2 % < 50 cm	Rendzina-Braunerde ca. 65 toniger Lehm (Lt3) 1-2 % < 50 cm	Parabraunerde > 90 Lößlehm (Ut3) 2-3 % ca. 100 cm	Parabraunerde > 90 Lößlehm (Ut3) 2-3 % ca. 100 cm	Parabraunerde > 90 Lößlehm (Ut3) 2-3 % ca. 100 cm
3. Das pflanzenbauliche Management der der Zwischenfrucht vorangehenden Hauptfrucht wird durch folgende Maßnahmen charakterisiert: <ul style="list-style-type: none"> Betriebssystem: Fruchtfolge¹: Vorfruchtart (bzw. Deckfrucht): Erntetermin (Dekade): Menge der Ernterückstände: Restlicher Boden-N_{min}-Gehalt nach der Vorfrucht: Umbruchermin für die Bestellung der Nachfrucht: 	organisch-biologisch KG-Kart-WR-Ha-SW-WR(ZF)-ÖL Winterroggen Mitte August 0-20 dt/ha 10-20 kg N/ha M Apr	organisch-biologisch KG-Kart-WR-Ha-SW-WR(ZF)-ÖL Winterroggen Mitte August 0-20 dt/ha 10-20 kg N/ha M Apr	integriert ZR - WW(ZF) - AB - WW - WG Winterweizen Mitte August 10-20 dt/ha 60-80 kg N/ha E März	integriert ZR - WW - WG (ZF) Wintergerste Mitte Juli 10-20 dt/ha 60-80 kg N/ha A Feb	integriert ZR - WW - WG (ZF) Wintergerste Mitte Juli 10-20 dt/ha 60-80 kg N/ha A Feb
4. Folgende Anbauziele des Zwischenfruchtanbaus sollen verwirklicht werden: (Angabe mit der Bedeutung des Ziels. Das Erreichen der drei wichtigsten Anbauziele wird in Frage 6 abgefragt!) <ul style="list-style-type: none"> Futternutzung (Weidenutzung, mittlere Futterqualität) Biologische Unkrautkontrolle Biologische Schaderregerkontrolle (bes. Nematoden) Anreicherung von organischer Substanz Stabilisierung des Bodengefüges (Krümelstruktur) Unterbodenlockerung Biologische Stickstofffixierung durch Leguminosen Stickstoffkonservierung (Verminderung des austragsgefährdeten Nitratstickstoffs in Prozent) Bodenschutz (Verminderung des relativen Bodenabtrags durch Wind- oder Wassererosion in Prozent) 	mäß. wichtig: 10 dt/TS/ha mäßig wichtig	ziemlich wichtig	ziemlich wichtig	ziemlich wichtig	ziemlich wichtig
	z wichtig: 30 kg N/ha	z wichtig: 30 kg N/ha	sehr wichtig (100 %)	sehr wichtig (120 %)	sehr wichtig (120 %)
	ziemlich wichtig (20 %)	ziemlich wichtig (10 %)	sehr wichtig (10 %)	sehr wichtig (10 %)	sehr wichtig (10 %)

¹ Erläuterung der Abkürzungen für die Fruchtfolgeglieder: WW = Winterweizen, WR = Winterroggen, WG = Sommergerste, SW = Sommerweizen, SG = Sommergerste, Ha = Hafer, ZR = Zuckerrüben, WRa = Winterrapss, Kart = Kartoffeln, ÖL = Öllein, AB = Ackerbohnen, FE = Felderbse, KG = Kleegras, Luz = Luzerne, (ZF) = Zwischenfrucht (als Untersaat, Stoppelsaat oder Winterzwischenfrucht).² in x von 10 Jahren

Bitte geben Sie Empfehlungen für die optimalen Zwischenfruchtanbauverfahren unter den konkreten Standort- und Betriebsituationen an.
5. Wie gestalten Sie den optimalen Zwischenfruchtanbau mit den folgenden pflanzenbaulichen Maßnahmen? (bitte markieren)

Standort:

1.

- Methode der Bodenbearbeitung (Saatbettbereitung)
- Zwischenfruchtart bzw. -gemenge (evtl. Sorte angeben)
- Saattermin (bei Untersaat)
- bei Untersaat: Deckfrucht (Sorte, Saattermin, N-Düngung, Pflanzenschutz)
- Saattermin (bei Stoppelsaat): (Dekade)
- Saatmethode
- Saatmenge (evtl. genauer angeben)
- Stickstoffdüngung (kg N/ha)
- Pflegemaßnahmen (bitte Art und Termin angeben)
- Aufwuchsnutzung (bitte Art und Termin angeben)

fein	mittel	grob	- (Untersaat)	
Herbst (in Winterung)				
früh	mittel	spät	früh	spät
Frühjahr				
mittel	spät			
# Mitte Jul	Ende Jul	Anf. Aug.	Mitte Aug.	Ende Sep.
				☐
Drillsaat		Breitsaat		Untersaat
gering		normal		hoch
0	20	40	60	80
≥ 100				

2.

fein	mittel	grob	- (Untersaat)	
Herbst (in Winterung)				
früh	mittel	spät	früh	spät
Frühjahr				
mittel				spät
# Mitte Jul	Ende Jul	Anf. Aug.	Mitte Aug.	Ende Sep.
				☐
Drillsaat		Breitsaat		Untersaat
gering		normal		hoch
0	20	40	60	80
≥ 100				

3.

fein	mittel	grob	- (Untersaat)	
Herbst (in Winterung)				
früh	mittel	spät	früh	spät
Frühjahr				
mittel				spät
# Mitte Jul	Ende Jul	Anf. Aug.	Mitte Aug.	Ende Sep.
				☐
Drillsaat		Breitsaat		Untersaat
gering		normal		hoch
0	20	40	60	80
≥ 100				

6. Versuchen Sie bitte, Ihr optimales Zwischenfruchtanbauverfahren zu bewerten. Nutzen Sie dazu die folgenden Kriterien:

- Feldaufgang der Zwischenfrucht (in %)
- Geschwindigkeit der Bodenbedeckung in Tagen (Erreichen von 50 % GIDG)
- Deckungsgrad (in %) im Spätherbst (Nov./Dezember)
- Ertrag (in dt TS/ha) im Spätherbst (Nov./Dezember)
- Deckungsgrad (in %) vor Frühjahrsumbruch
- Ertrag (in dt TS/ha) vor Frühjahrsumbruch

Erfolg beim Erreichen der unter 4.) genannten Anbauziele (= Zielerreichungsgrad in %):

1. Anbauziel:
2. Anbauziel:
3. Anbauziel:

1.
2.
3.

Bitte geben Sie Empfehlungen für die optimalen Zwischenfruchtanbauverfahren unter den konkreten Standort- und Betriebsituationen an.

5. Wie gestalten Sie den optimalen Zwischenfruchtanbau mit den folgenden pflanzenbaulichen Maßnahmen? (bitte markieren)

4. Standort:

- Methode der Bodenbearbeitung (Saatbettbereitung)
- Zwischenfruchtart bzw. -gemenge (evtl. Sorte angeben)
- Saattermin (bei Untersaat)
- bei Untersaat: Deckfrucht (Sorte, Saattermin, N-Düngung, Pflanzenschutz)
- Saattermin (bei Stoppelsaat): (Dekade)
- Saatmethode
- Saatmenge
- Stickstoffdüngung (kg/ha)
- Pflegemaßnahmen (bitte Art und Termin angeben)
- Aufwuchsnutzung (bitte Art und Termin angeben)

fein	mittel	grob	- (Untersaat)
Herbst (in Winterung)			
früh	mittel	spät	Frühjahr
			früh
			mittel
			spät
# Mitte Jul	Ende Jul	Anf. Aug.	Mitte Sep.
			Ende Sep
Drillsaat		Breitsaat	
gering		normal	
0	20	40	60
			80
			≥ 100

5.

fein	mittel	grob	- (Untersaat)
Herbst (in Winterung)			
früh	mittel	spät	Frühjahr
			früh
			mittel
			spät
# Mitte Jul	Ende Jul	Anf. Aug.	Mitte Sep.
			Ende Sep
Drillsaat		Breitsaat	
gering		normal	
0	20	40	60
			80
			≥ 100

6.

fein	mittel	grob	- (Untersaat)
Herbst (in Winterung)			
früh	mittel	spät	Frühjahr
			früh
			mittel
			spät
# Mitte Jul	Ende Jul	Anf. Aug.	Mitte Sep.
			Ende Sep
Drillsaat		Breitsaat	
gering		normal	
0	20	40	60
			80
			≥ 100

6. Versuchen Sie bitte, Ihr optimales Zwischenfruchtanbauverfahren zu bewerten. Nutzen Sie dazu die folgenden Kriterien:

- Feldaufgang der Zwischenfrucht (in %)
- Geschwindigkeit der Bodenbedeckung in Tagen (Erreichen von 50 % GIDG)
- Deckungsgrad (in %) im Spätherbst (Nov./Dezember)
- Ertrag (in dt TS/ha) im Spätherbst (Nov./Dezember)
- Deckungsgrad (in %) vor Frühjahrsumbruch
- Ertrag (in dt TS/ha) vor Frühjahrsumbruch

Erfolg beim Erreichen der unter 4.) genannten Anbauziele (= Zielerreichungsgrad in %):

1. Anbauziel:
2. Anbauziel:
3. Anbauziel:

1.
2.
3.

A6 Fragebogen II zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen durch Experten

Entscheidungshilfesystem zur Gestaltung von Untersaaten und Zwischenfruchtanbauverfahren **Fragebogen zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen für die Fallbeispiele**

Bitte bewerten Sie die vom Entscheidungshilfesystem für die jeweiligen Standorte und Betriebssituationen vorgeschlagenen Zwischenfruchtanbauverfahren. Korrigieren Sie bitte ggfs. einzelne Anbauverfahren in der Wahl der pflanzenbaulichen Maßnahmen bzw. beim Erfolg der gewünschten Anbauziele.

Erläuterung der verwendeten Bezeichnungen und Abkürzungen:

Zwischenfrüchte:	Saat- und Umbruchtermine	Zielgrößen	Anbauziele	Sonstiges
DWg, Dt. Weidelgras = Deutsches Weidelgras WWg, W. Weidelgras = Welsches Weidelgras EWg, Einj. Weidelgras = Einjähriges Weidelgras WRa, WRaps = Winterraps SB = Sonnenblume AB = Ackerbohne FE, FErbse = Felderbse SWi, SWicke = Sommerwicke W.T.Lupine = Weiße Tellerlupine WK = Weisklee AK = Alexandrinerklee IK = Inkamatklee PK = Perserklee Leg.gem. = Leguminosengemenge	A = Anfang (1. - 10.) M = Mitte (11. - 20.) E = Ende (21. - 31.) Jul = Juli Aug = August Sep = September Okt = Oktober Feb = Februar Apr = April	E(H) = Ertrag im Spätherbst E(F) = Ertrag im Frühjahr D(H) = Deckungsgrad im Spätherbst D(F) = Deckungsgrad im Frühjahr	NKons = Stickstoffkonservierung N2Fix = Luftstickstoff-Fixierung durch Leguminosen BdSch = Bodenschutz OSAnr = Anreicherung von organischer Bodensubstanz UBLkrg, BdGef = Unterbodenlockerung Futr = Futtermutzung Unkrt = biologische Unkrautbekämpfung Nemat = Biologische Schaderregerkontrolle	DF = Deckfrucht ZF = Zwischenfrucht var. = variabel N-Dg. = N-Düngung Konk. = Konkurrenz TS = Trockensubstanz schluff. = schluffig lehm. = lehmig sand. = sandig

Bestellverfahren: Bodenbearbeitung (Saatbettbereitung) + Saatgutablage

fein = Grubber + Pflug + Packer, Drillmaschine

mittelfein = Schwergrubber, Schältpflug oder Fräse, Drillmaschine

grob = Grubber oder Spatenrolle, breitwürfige Aussaat (z.B. Pneumatik-Düngestreuer)

DSS-Ergebnis: Empfehlung von Zwischenfruchtanbauverfahren für Fallbeispiel:

Bewertung, Bemerkungen

Fallbeispiel 1a: „NO-Deutschland“, Fruchtfolge: WRa (ZF) - SW - WR - Ha

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühj.	var. Verfahrrens-kosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	BdSch	OSAnr
It. Weidelgras	E Jul	0	fein	40	33	92	100	222	0,99	0,98	1
Einj. Weidelgras	A Aug	0	fein	40	46	100	82	210	1	0,96	1
W. Weidelgras	A Aug	0	fein	40	51	100	100	206	1	0,94	1
Phacelia	E Jul	0	fein	12	45	98	90	204	0,97	0,95	1
Sonnenblume	E Jul	0	fein	30	50	100	93	106	0,99	0,94	1
Grasgemenge: Elg+Mlg	A Aug	0	fein	40	46	100	83	208	1	0,94	1
Gemenge: Mlg+SB	A Aug	0	fein	40	46	100	84	162	1	0,94	1

Untersaaten: kein Vorschlag

Fallbeispiel 1c: „NO-Deutschland“, Fruchtfolge: KG - Kart - SW (ZF) - FE - WW -WR

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühj.	var. Verfahrrens-kosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: N2Fix	Unkrt
Alexandrinerklee	A Aug	20	fein	35	40	91	78	227	0,97	1
Sommerwicke	A Aug	40	fein	160	32	85	72	1077	0,87	1
Weiße Bitterlupine	A Aug	40	fein	100	32	85	100	717	0,87	1
Blaue Bitterlupine	A Aug	20	fein	220	45	94	82	1418	0,99	1
Gelbe Süßlupine	A Aug	20	fein	180	45	94	82	1178	0,99	1
Ackerbohne	A Aug	20	fein	180	45	94	82	1178	0,99	1
Felderbse	A Aug	40	fein	200	38	89	76	362	0,99	1
Klee gras: Mlg+Mk	A Aug	100	fein	18	46	100	87	269	0,97	1
Klee gras: Dlg+Mk	A Aug	100	fein	18	46	100	100	273	0,97	1
Klee gras: Elg+PK	A Aug	100	fein	30	36	96	81	339	0,86	1
Klee gr.: Elg (Mlg)+AK	A Aug	100	fein	35	36	96	81	309	0,86	1
Klee gras: Mlg+IK	A Aug	100	fein	30	36	96	81	337	0,86	1
Landsberger Gemenge	A Aug	100	fein	70	46	100	100	603	0,97	1
Leg. gem.: AB+FE+Sli	A Aug	20	fein	180	40	99	90	506	0,97	1
Leg. gem.: AB+FE	A Aug	20	fein	160	40	99	90	290	0,97	1
Leg. gem.: AB+Sli	A Aug	20	fein	160	40	99	90	578	0,97	1
Leg. gem.: FE+Sli	A Aug	20	fein	170	40	99	90	518	0,97	1

Untersaaten: kein Vorschlag

DSS-Ergebnis: Empfehlung von Zwischenfruchtanbauverfahren für Fallbeispiel:

Fallbeispiel 1d: „NO-Deutschland“, Fruchtfolge: WRa - WW (ZF) - Mais -WR

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	N-Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird.Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühj. Herbst	var.Verfahrenskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	BdSch	OSAnr
Dt., Weidelgras	E Jul	40	fein	40	34	94	100	269	1	0,97	0,99
M., Weidelgras	E Jul	20	fein	40	55	100	88	234	1	0,92	0,99
Winterraps	E Jul	60	fein	12	57	98	100	180	1	0,91	0,98
Winterrüben	E Jul	60	fein	12	51	94	100	180	1	0,91	0,98
Weißklee	E Jul	60	fein	12	40	91	100	226	1	0,85	1
Rotklee	E Jul	0	fein	20	44	93	81	242	1	0,95	1
Inkarnatklee	E Jul	60	fein	30	47	95	84	394	1	0,96	0,97
Winterwicke	E Jul	0	fein	100	44	93	100	670	1	0,96	1
Gemenge: Wlg+WRa	E Jul	40	fein	32	54	100	88	226	1	0,92	0,99
Klee gras: Wlg+Wk	E Jul	0	fein	18	47	100	84	156	1	0,92	0,99
Klee gras: Dlg+Wk	A Aug	0	fein	18	39	99	100	160	1	0,91	1
Klee gras: Wlg+IK	E Jul	60	fein	30	46	100	83	290	1	0,92	0,99
Landsberger Gemenge	A Aug	0	fein	70	39	99	100	490	1	0,91	0,99

Untersaaten: kein Vorschlag

Fallbeispiel 1g: „NO-Deutschland“, Fruchtfolge: WRa - WW - Mais (ZF) - SG

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	N-Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird.Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühj. Herbst	var.Verfahrenskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	BdSch	Futtr
Dt., Weidelgras	E Jul	0	fein	40	35	94	100	222	1	0,97	1
M., Weidelgras	E Jul	20	fein	40	67	100	98	234	1	0,92	0,91
Winterraps	E Jul	20	fein	12	58	99	100	142	1	0,91	1
Winterrüben	E Jul	20	fein	12	52	95	100	142	1	0,91	1
Weißklee	E Jul	20	fein	12	40	91	100	188	1	0,85	1
Winterwicke	E Jul	0	mittel	100	41	95	100	625	1	0,95	1
Klee gras: Dlg+Wk	A Aug	0	fein	18	46	100	100	160	1	0,92	1
Landsberger Gemenge	A Aug	0	fein	70	46	100	100	490	1	0,92	1

Untersaaten: kein Vorschlag

Bewertung, Bemerkungen

DSS-Ergebnis: Empfehlung von Zwischenfruchtanbauverfahren für Fallbeispiel:

Fallbeispiel 2a/b: „Rheinhausen, Sachsen-Anhalt“, Fruchtfolge: ZR - SG - WW (ZF)

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfah- ren (kg/ha)	Saat- menge (kg/ha)	oberird.Biomasse (dt TS/ha) Herbst Frühj.	Deckungsgrad (%) Herbst Frühj.	var. Verfahr- renskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: Nkons	var. Verfahr- renskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: Nkons	Unkrt	
												05Ähr
Dt., Weidelgras	A Aug	0	fein	40	23	42	77	100	222	1	0,99	1
Einj., Weidelgras	A Aug	20	fein	40	42	13	100	74	238	1	0,99	1
W., Weidelgras	E Jul	0	fein	40	46	49	100	100	206	1	1	1
Markstammkohl	E Jul	20	fein	4	73	22	100	100	198	1	0,99	1
Kulturmalve	E Jul	60	fein	10	44	0	98	44	173	1	0,97	1
Buchweizen	E Jul	60	fein	60	38	0	95	40	208	1	0,95	1
Weißklee	A Aug	0	fein	12	28	51	82	97	160	1	1	1
Rotklee	A Aug	0	fein	20	34	36	87	99	242	1	0,99	1
Inkarnatklee	E Jul	0	fein	30	44	46	93	100	328	1	0,99	1
Alexandrinklee	E Jul	60	fein	35	63	0	100	39	265	1	1	0,85
Sommerwicke	E Jul	0	fein	160	45	14	94	85	1030	1	0,99	1
Winterwicke	E Jul	0	grob	100	23	42	76	92	622	1	1	0,99
Weißer Bitterlupine	E Jul	60	fein	220	73	0	100	42	1456	1	1	0,85
Blaue Bitterlupine	E Jul	60	fein	180	73	0	100	42	1216	1	1	0,85
Gelbe Süßlupine	E Jul	60	fein	180	73	0	100	42	1216	1	1	0,85
Ackerbohne	E Jul	60	fein	220	73	0	100	42	400	1	1	0,85
Felderbse	E Jul	0	fein	200	52	16	97	93	310	1	0,99	1
Grasgemenge:Elg+Mlg	E Jul	20	fein	40	49	20	100	91	236	1	1	1
Gemenge: Mlg+SB	E Jul	20	fein	40	49	20	100	92	190	1	1	1
Klee gras: Mlg+Mk	A Aug	0	fein	18	39	41	99	100	156	1	0,99	1
Klee gras: Dlg+Mk	E Jul	0	mittel	18	26	46	81	100	116	1	1	1
Klee gr.: Elg(Mlg)+AK	E Jul	40	fein	35	43	18	100	91	242	1	0,99	1
Klee gras: Mlg+IK	E Jul	20	fein	30	40	42	100	100	252	1	0,99	1
Landsberger Gemenge	E Jul	0	mittel	70	26	44	81	100	445	1	1	1
Leg.gem.: AB+FE+Sli	E Jul	0	mittel	180	55	0	100	40	434	1	1	0,97
Leg.gem.: AB+FE	E Jul	0	fein	160	60	0	100	42	262	1	1	0,95
Leg.gem.: AB+Sli	E Jul	0	mittel	160	55	0	100	40	505	1	1	0,97
Leg.gem.: FE+Sli	E Jul	0	mittel	170	55	0	100	40	445	1	1	0,97

Untersaaten:

Untersaat	--- Deckfrucht-Management ---		--- Untersaat-Management ---		Ertragswartungen		var. Ver- Zielerfüllung							
	Konk.- Saat-termin	N-Dg., Saat- menge (DF)	Konk.- Saat- termin	N-Dg., Saat- menge (ZF)	frucht E(H) (%)	frucht E(H) D(F) (%)	frucht E(H) D(F) (%)	frucht E(H) D(F) (%)						
Mlg + Weißklee	H(f)	200	stark	H(f)	16	40	96	27	29	84	96	114	1	0,86
Dlg + Weißklee	H(f)	200	stark	H(m)	16	-	96	22	41	76	100	69,7	1	0,99
Mlg +Rot./Weißklee	H(f)	200	s.stark	H(f)	17	40	95	28	30	85	97	118	1	0,88
Mlg+Gelb./Weißklee	H(f)	200	stark	H(f)	20	40	96	27	29	84	96	137	1	0,86

Bewertung, Bemerkungen

DSS-Ergebnis: Empfehlung von Zwischenfruchtanbauverfahren für Fallbeispiel:

Fallbeispiel 2c: „Rheinhausen, Sachsen-Anhalt“, Fruchtfolge: ZR - WW - SG (ZF)

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat- termin	N- Düngung (kg N/ha)	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	oberird.Biomasse (dt TS/ha) Herbst Frühj.	Deckungsgrad (%) Herbst Frühj.	var.Verfah- renskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: N2Fix Futtr	Unkrt
Kleegras: Illig+IK	1. Aug	40	fein	18	40	100	203	0,99	1
Kleegras: Illig+IK	1. Aug	20	fein	18	36	96	188	1	1
Kleegras: Illig+IK	1. Aug	80	fein	30	38	98	318	0,97	1

Untersaaten: kein Vorschlag

Bewertung, Bemerkungen

DSS-Ergebnis: Empfehlung von Zwischenfruchtanbauverfahren für Fallbeispiel:

Bewertung, Bemerkungen

Fallbeispiel 3a: „Magdeburger-Hallesche Börde“, Fruchtfolge: ZR - WW - WG (ZF)

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird.Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühj.	var.Verfahrenskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:	
									BdSch	BdGef
Ölrettich	E Jul	100	fein	25	40	91	52	320	0,98	0,93
Weißer Bitterlupine	E Jul	0	fein	220	66	100	52	1390	0,96	1
Blaue Bitterlupine	E Jul	0	fein	180	66	100	52	1150	0,96	1
Gelber Süßlupine	E Jul	0	fein	180	66	100	52	1150	0,96	1

Untersaaten: kein Vorschlag

Fallbeispiel 3b: „Magdeburger-Hallesche Börde“, Fruchtfolge: ZR - SW (ZF) - FE - WG

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird.Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühj.	var.Verfahrenskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:	
									NKons	BdSch
It., Weidelgras	E Jul	60	fein	40	36	95	100	288	1	0,97
Einj., Weidelgras	E Jul	60	fein	40	57	100	47	276	1	0,86
M., Weidelgras	A Aug	0	fein	40	41	100	100	206	1	0,88
Ölrettich	E Jul	60	fein	25	40	91	52	273	1	0,91
Gelbsenf	A Aug	60	mittel	25	62	100	62	184	1	0,92
Phacelia	E Jul	60	fein	12	49	100	59	270	1	0,91
Sonnenblume	E Jul	20	fein	30	46	98	57	134	1	0,87
Buchweizen	A Aug	40	fein	60	32	92	48	189	1	0,95
Grasgemenge: Elg+Mlg	E Jul	0	fein	40	42	100	77	208	1	0,88
Gemenge: Mlg+SB	E Jul	0	fein	40	42	100	77	162	1	0,88

Untersaaten: kein Vorschlag

DSS-Ergebnis: Empfehlung von Zwischenfruchtanbauverfahren für Fallbeispiel:

Bewertung, Bemerkungen

Fallbeispiel 4a: „NW-deutsche Geest-Landschaft“, Fruchtfolge: Kart - WR (ZF) - ZR - SG

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird. Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Frühj. Herbst	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühj. Herbst	var. Verfahrenskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	OSÄhr
Dt., Weidelgras	E Jul	40	fein	40	28	34	85	93	269	1	1
Einj. Weidelgras	E Jul	20	fein	40	34	7	93	94	238	1	1
M. Weidelgras	A Aug	20	fein	40	34	25	94	100	234	1	0,99
Markstammkohl	A Aug	40	fein	4	58	12	99	100	217	1	0,99
Sonnenblume	E Jul	60	fein	30	48	0	99	92	172	0,97	0,99
Kulturmalve	E Jul	40	fein	10	32	0	91	82	154	0,95	0,94
Buchweizen	E Jul	40	fein	60	27	0	88	79	189	0,88	0,92
Weißklee	E Jul	0	fein	12	32	39	85	90	160	1	1
Rotklee	A Aug	0	fein	20	29	21	82	100	242	1	1
Perserklee	E Jul	0	fein	20	38	0	90	76	242	1	1
Inkarnatklee	E Jul	0	fein	30	38	27	90	100	328	1	1
Alexandrinerklee	E Jul	0	fein	35	50	0	96	85	199	1	1
Erdklee	E Jul	0	fein	30	32	0	85	71	328	1	0,99
Steinklee	A Aug	0	fein	30	58	41	99	100	328	1	0,99
Serradella	E Jul	0	fein	40	25	0	78	65	218	0,99	0,98
Sommerwicke	E Jul	0	mittel	160	36	7	89	100	985	1	0,99
Winterwicke	E Jul	0	mittel	100	34	42	87	92	625	1	1
Weißer Bitterlupine	E Jul	0	mittel	220	55	0	98	87	1345	1	1
Blaue Bitterlupine	E Jul	0	mittel	180	55	0	98	87	1105	1	1
Gelbe Sublupine	E Jul	0	mittel	180	55	0	98	87	1105	1	1
Ackerbohne	E Jul	0	mittel	220	55	0	98	87	289	1	1
Felderbse	E Jul	0	mittel	200	42	9	92	100	265	1	1
Platterbse	E Jul	0	mittel	150	46	0	94	82	925	1	0,99
Grasgemenge: Elg+Mlg	A Aug	40	fein	40	39	11	99	100	255	1	1
Gemenge: Mlg+SB	E Jul	20	fein	40	34	9	94	100	190	1	0,99
Klee gras: Mlg+Mk	A Aug	0	fein	18	31	22	89	100	156	1	0,99
Klee gras: Dlg+Mk	A Aug	0	fein	18	31	38	89	97	160	1	1
Klee gras: Elg+PK	E Jul	0	fein	30	31	0	89	74	226	1	0,99
Klee gr.: Elg (Mlg)+PK	E Jul	0	fein	35	31	8	89	98	195	1	0,99
Klee gras: Mlg+IK	E Jul	0	fein	30	31	22	89	100	224	1	0,99
Landsberger Gemenge	A Aug	0	fein	70	31	35	89	99	490	1	1
Leg.gem.: AB+FE+Smi	E Jul	0	grob	180	36	0	99	89	431	1	0,99
Leg.gem.: AB+FE	E Jul	0	mittel	160	49	0	100	92	217	1	1
Leg.gem.: AB+Smi	E Jul	0	grob	160	36	0	99	89	502	1	0,99
Leg.gem.: FE+Smi	E Jul	0	grob	170	36	0	99	89	442	1	0,99

DSS-Ergebnis: Empfehlung von Zwischenfruchtanbauverfahren für Fallbeispiel:

Bewertung, Bemerkungen

noch Fallbeispiel 4a: „NW-deutsche Geest-Landschaft“, Fruchtfolge: Kart - WR (ZF) - ZR - SG

Stoppelsaaten:

Untersaaten:

Untersaat -- Deckfrucht-Management -- --- Untersaat-Management -- Ertragserwartungen var.,Ver- Zielerfüllung
 Konk.,- Saat- N-Dg, Konk.,- Saat- N-Dg, Deck- ---- Untersaat ---- fahrers- für Anbauziel:
 fähig- termin menge (DF) termin menge (ZF) Frucht E(H) E(F) D(H) D(F) kosten NKons 0\$Ahr
 keit (dt TS/ha) (%) (%) (%) (DM/ha)

Serradella stark H(f) normal 200 schwach F(m) 40 - 99 27 0 80 66 120 1 0,99

Fallbeispiel 4c: „NW-deutsche Geest-Landschaft“, Fruchtfolge: Kart - WG (ZF) - ZR - SG

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestell-verfahren	Saat-menge (kg/ha)	oberird.Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	var.Verfahrenskosten (DM/ha)	Zielerfüllung NKons	0\$Ahr
It., Weidelgras	E Jul	60	fein	40	32	91	288	0,98	1
Einj., Weidelgras	E Jul	40	fein	40	44	100	257	1	1
W., Weidelgras	A Aug	40	fein	40	43	100	253	1	1
Rotklee	E Jul	0	fein	20	38	90	242	1	1
Inkarnatklee	E Jul	0	fein	30	38	90	328	1	1
Winterwicke	E Jul	0	fein	100	38	90	670	1	1
Grasmenge:Elg+Wlwg	E Jul	40	fein	40	44	100	255	1	1
Gemenge: Wlwg+SB	E Jul	40	fein	40	44	100	209	1	1

Untersaaten: kein Vorschlag

DSS-Ergebnis: Empfehlung von Zwischenfruchtanbauverfahren für Fallbeispiel:

Bewertung, Bemerkungen

Fallbeispiel 5a: „Mittelgebirge“, Fruchtfolge: KG - WW - WR(ZF) - Mais - WW - WR

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	Herbst Frühj.	var. Verfr. (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: N2Fix	BdSch	Futtr	
Weißklee	E Jul	80	fein	12	40	53	91	100	254	0,97	0,98	0,89
Winterwicke	E Jul	60	fein	100	46	62	94	100	736	1	1	0,97
Klee gras: Dlg+WK	E Jul	100	fein	18	59	77	100	100	273	0,88	0,99	1

Untersaaten:

Untersaat -- Deckfrucht-Management -- --- Untersaat-Management -- Ertragswartungen var. Ver- Zielerfüllung Konk.,- Saat- N-Dg. Konk.,- Saat- N-Dg. Deck- ---- Untersaat ---- fahrens- für Anbauziel: fähig- termin menge (DF) fähig- termin menge (ZF) Frucht E(H) E(F) I(H) I(F) kosten N2Fix BdSch Futtr keit

Dlg + Weißklee stark H(f) normal 200 stark H(sp) 16 80 95 29 40 87 100 154 0,94 0,98 0,95

Fallbeispiel 5b: „Mittelgebirge“, Fruchtfolge: KG - SW - SG (ZF) - AB - WW - WR

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	Herbst Frühj.	var. Verfr. (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: BdSch	Futtr	Unkrt	
Dt., Weidelgras	A Aug	80	fein	40	30	37	88	100	316	1	0,99	1
Winterraps	A Aug	80	fein	12	50	59	94	100	208	0,99	1	1
Winterrüben	A Aug	80	fein	12	44	53	89	100	208	0,99	1	1
Weißklee	A Aug	60	fein	12	30	37	83	95	226	0,97	0,99	1
Winterwicke	A Aug	40	mittel	100	30	37	84	95	672	1	0,99	1
Klee gras: Dlg+WK	A Aug	20	fein	18	35	42	94	100	188	0,99	1	1
Landsberger Gemenge	A Aug	20	fein	70	35	38	94	100	518	0,99	0,99	1

Untersaaten:

Untersaat -- Deckfrucht-Management -- --- Untersaat-Management -- Ertragswartungen var. Ver- Zielerfüllung Konk.,- Saat- N-Dg. Konk.,- Saat- N-Dg. Deck- ---- Untersaat ---- fahrens- für Anbauziel: fähig- termin menge (DF) fähig- termin menge (ZF) Frucht E(H) E(F) I(H) I(F) kosten N2Fix BdSch Futtr Unkrt keit

Dlg + Weißklee mittel F(f) normal 200 stark F(m) 16 80 97 19 24 70 83 164 0,89 0,81 1

DSS-Ergebnis: Empfehlung von Zwischenfruchtanbauverfahren für Fallbeispiel:

Bewertung, Bemerkungen

Fallbeispiel 5c: „Mittelgebirge“, Fruchtfolge: AB (ZF) - SW - WG - Ha

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	var. Verfränkosten (DM/ha)	var. Verfränkosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	Zielerfüllung für Anbauziel: OSAnr	Futtr
Winterraps	E Jul	0	fein	12	80	00	00	114	0,8	1	1
Stoppelsrüben	E Jul	0	fein	2	14	00	00	110	0,93	1	1

Untersaaten:

--- Deckfrucht-Management -- --- Untersaat-Management -- Ertragswartungen var. Ver- Zielerfüllung
 Konk.,- Saat- Saat- N-Dg. Konk.,- Saat- Saat- N-Dg. Deck- ---- Untersaat ---- fahrers- für Anbauziel:
 fähig- termin menge (DF) fähig- termin menge (ZF) frucht E(H) E(F) I(H) I(F) kosten NKons Bdsch OSAnr
 keit keit (%) (dt TS/ha) (%) (%) (DM/ha)

Einj. Weidelgras	mittel	F(f)	normal	200	stark	F(f)	10	-	96	38	8	98	100	44,3	0,91	1	1
M. Weidelgras	mittel	F(f)	normal	200	stark	F(f)	10	-	96	38	27	98	100	43,3	0,91	1	1

Fallbeispiel 5d/e: „Mittelgebirge“, Fruchtfolge: WRa - WW - WR (ZF) - Ha

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	var. Verfränkosten (DM/ha)	var. Verfränkosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	Zielerfüllung für Anbauziel: BdGef	Unkrt
Sonnenblume	E Jul	60	fein	30	58	0	100	93	172	0,98	0,98
Rotklee	E Jul	0	fein	20	46	33	94	100	242	0,99	1
Weißer Bitterlupine	E Jul	0	mittel	220	65	0	100	90	1345	1	1
Blaue Bitterlupine	E Jul	0	mittel	180	65	0	100	90	1105	1	1
Gelbe Süßlupine	E Jul	0	mittel	180	65	0	100	90	1105	1	1

Untersaaten:

--- Deckfrucht-Management -- --- Untersaat-Management -- Ertragswartungen var. Ver- Zielerfüllung
 Konk.,- Saat- Saat- N-Dg. Konk.,- Saat- Saat- N-Dg. Deck- ---- Untersaat ---- fahrers- für Anbauziel:
 fähig- termin menge (DF) fähig- termin menge (ZF) frucht E(H) E(F) I(H) I(F) kosten NKons Bdsch OSAnr
 keit keit (%) (dt TS/ha) (%) (%) (DM/ha)

Rotklee	stark	H(f)	normal	200	s.stark	F(f)	20	-	96	39	28	90	100	138	0,97	0,99	1
Serradella	stark	H(f)	normal	200	schwach	F(f)	40	-	98	44	0	93	81	120	0,99	1	1

DSS-Ergebnis: Empfehlung von Zwischenfruchtanbauverfahren für Fallbeispiel:

Bewertung, Bemerkungen

Fallbeispiel 6a: „Braunschweig-Hildesheimer Börde“, Fruchtfolge: ZR - WW - WG (ZF)

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird. Biomasse (dt TS/ha) Herbst Frühj.	Deckungsgrad (%) Herbst Frühj.	var. Verfahrrens-kosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	Zielerfüllung für Anbauziel: BdSch	Nemat	
ölrettich	E Jul	20	mittel	25	41	13	92	191	1	0,98	0,97
Gelbsenf	A Aug	0	mittel	25	59	0	99	118	1	0,97	0,91
Weiße Bitterlupine	E Jul	60	fein	220	80	0	100	1456	1	0,91	0,89
Blaue Bitterlupine	E Jul	60	fein	180	80	0	100	1216	1	0,91	0,89
Gelbe Süßlupine	E Jul	60	fein	180	80	0	100	1216	1	0,91	0,89

Untersaaten: kein Vorschlag

Fallbeispiel 6b/c: „Braunschweig-Hildesheimer Börde“, Fruchtfolge: ZR - SW (ZF) - Ha - WG

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird. Biomasse (dt TS/ha) Herbst Frühj.	Deckungsgrad (%) Herbst Frühj.	var. Verfahrrens-kosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	Zielerfüllung für Anbauziel: BdSch	BdGef	
Weiße Bitterlupine	A Aug	80	fein	220	61	0	100	89	1	0,96	0,87
Blaue Bitterlupine	A Aug	80	fein	180	61	0	100	89	1	0,96	0,87
Gelbe Süßlupine	A Aug	80	fein	180	61	0	100	89	1	0,96	0,87

Untersaaten:

Untersaat	Deckfrucht-Management Konk.,-fähigkeit	Saat-termin	Saatmenge (DF)	N-Dg. (DF)	Management	Ertrags-erwartungen	var. Verfahrrens-kosten	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	Zielerfüllung für Anbauziel: BdSch	BdGef							
Rotklee	stark	F(f)	normal	150	s.,stark	F(f)	20	100	98	44	31	93	100	252	0,98	0,99	0,93
Serradella	stark	F(f)	normal	150	schwach	F(f)	40	-	99	41	0	92	79	120	1	1	0,99

DSS-Ergebnis: Empfehlung von Zwischenfruchtanbauverfahren für Fallbeispiel:

Bewertung, Bemerkungen

Fallbeispiel 7a/b/c: „Oldenburg, Emsland, Niederrhein“, Fruchtfolge: Mais – WG/WW/WR (ZF) - Mais - WR

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird.Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Frühj. Herbst	Deckungsgrad (%)	var.,Verfahrenskosten (DM/ha)	Ertragserwartungen	var.,Verfahrenskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons Futtr
Dt., Weidelgras	E Jul	0	fein	40	86	100	100	222	100	1	0,97
Einj. Weidelgras	E Jul	40	fein	40	75	100	100	257	100	1	0,89
W. Weidelgras	A Aug	0	fein	40	123	100	100	206	100	1	1
Sommerraps	A Aug	20	fein	12	88	100	100	124	100	1	0,97
Winterraps	M Aug	0	fein	12	51	95	100	114	100	1	0,99
Winterrüben	A Aug	0	fein	12	53	95	100	114	100	1	1
Stoppelrüben	E Aug	0	fein	2	56	98	100	110	100	1	1
Markstammkohl	E Jul	20	fein	4	102	106	100	198	100	1	0,99
Steinklee	E Jul	0	fein	30	113	187	100	328	100	0,99	1
Grasgemenge:Elg+Wlkg	E Jul	20	fein	40	68	93	100	236	100	1	0,97
Gemenge: Wlkg+WlRa	A Aug	0	fein	32	54	112	100	179	100	1	1
Gemenge: Wlkg+SB	E Jul	20	fein	40	69	94	100	190	100	1	0,97

Untersaaten:

Untersaat	Deckfrucht-Management	--- Konk.,- fähig- keit	Saat-termin	Saatmenge (DF)	N-Dg. fähig- keit	Untersaat-Management	Saat-termin	Saatmenge (kg/ha)	Ertragserwartungen	var.,Verfahrenskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons Futtr						
Dt., Weidelgras	stark	200	H(f)	normal	200	mittel	F(f)	15	20	97	39	84	99	100	80,1	0,97	0,94
W. Weidelgras	stark	200	H(f)	normal	200	stark	F(f)	20	-	96	51	106	100	100	60,3	1	0,99
Wiesenschwengel	stark	200	H(f)	normal	200	schwach	H(sp)	16	-	96	32	70	91	100	60,3	0,98	0,85

Fallbeispiel 8a: „Schwäbisch-Fränkische Alb, Eifel, Sauerland“, Fruchtfolge: Klee gras - Kart - SW - AB - WR (ZF) - Ha

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird.Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Frühj. Herbst	Deckungsgrad (%)	var.,Verfahrenskosten (DM/ha)	Ertragserwartungen	var.,Verfahrenskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons Futtr	
Winterwicke	E Jul	0	fein	100	54	65	98	670	100	1	0,99	0,89

Untersaaten: kein Vorschlag

DSS-Ergebnis: Empfehlung von Zwischenfruchtanbauverfahren für Fallbeispiel:

Bewertung, Bemerkungen

Fallbeispiel 9a: „Soester Börde, Kraichgau, Niederbayern“, Fruchtfolge: ZR - WW (ZF) - AB - WW - WG

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird.Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühj.	var.renskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons Bdsch	OSAnr
Dt., Weidelgras	E Jul	0	fein	40	43	100	100	222	1	1
Einj. Weidelgras	A Aug	0	fein	40	58	100	91	210	1	0,99
M. Weidelgras	A Aug	0	fein	40	65	100	100	206	1	0,94
Gelbsenf	A Aug	0	mittel	25	76	100	54	118	1	0,95
Phacelia	E Jul	0	fein	12	62	100	51	204	0,99	0,92
Sonnenblume	E Jul	0	fein	30	70	100	53	106	1	0,94
Buchweizen	E Jul	0	fein	60	46	99	45	142	0,91	0,96
Grasmenge:Elg+Mlg	E Jul	0	fein	40	68	100	100	208	1	0,94
Gemenge: Mlg+SB	E Jul	0	fein	40	69	100	100	162	1	0,94

Untersaaten:

--- Deckfrucht-Management -- --- Untersaat-Management -- Ertragswartungen var.Ver- Zielerfüllung
 Konk.- Saat- N-Dg, Konk.- Saat- N-Dg, Deck- ---- Untersaat ---- fahrrens- für Anbauziel:
 fähig- termin menge (DF) fähig- termin menge (ZF) Frucht E(H) E(F) I(H) I(F) kosten NKons Bdsch OSAnr
 keit keit (%) (dt TS/ha) (%) (%) (DM/ha)

Dt., Weidelgras	mittel	F(f) normal	200	mittel	F(m) 8	-	98	31	56	89	100	37,8	0,95	0,97	0,99
Einj. Weidelgras	mittel	F(f) normal	200	stark	F(m) 10	-	97	42	13	100	74	44,3	1	0,95	0,89
M. Weidelgras	mittel	F(f) normal	200	stark	F(m) 10	-	97	42	44	100	100	43,3	1	0,94	0,86

Fallbeispiel 9b: „Soester Börde, Kraichgau, Niederbayern“, Fruchtfolge: ZR - WW - WG (ZF)

Stoppelsaaten:

Pflanzenart	Saat-termin	N-Düngung (kg N/ha)	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	oberird.Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühj.	var.renskosten (DM/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons Bdbef	Nemat
ölrettich	E Jul	40	fein	25	48	95	100	254	1	0,99
Weißer Bitterlupine	E Jul	0	fein	220	82	100	45	1390	1	0,91
Blaue Bitterlupine	E Jul	0	fein	180	82	100	45	1150	1	0,91
Gelbe Süßlupine	E Jul	0	fein	180	82	100	45	1150	1	0,91

Untersaaten: kein Vorschlag

A7 Ergebnisse der Expertenbefragung zur Vorhersage-Validierung und aktuelle DSS-Ergebnisse

Ergebnis der Expertenbefragung:

1a

NO-Deutschland (Sand, AZ 40), Raps-Fruchtfolge

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch		OSAnr
Phacelia	Mitte Juli	0	„fein“	12	35-40	0	ca. 100	ca. 20	?	?	?	0.8	0.8	0.8	Klinkmann (LMS)
Örtreisch	Mitte August	0 (-40)	„mittel“	normal	20-50	10-30	80-100	30-70	?	?	?	0.5-0.7	0.5-0.7	0.5-0.7	Berger (ZALF)
Winterrübsen	Ende August	0 (-40)	„mittel“	normal	20-50	10-30	80-100	30-70	?	?	?	0.5-0.7	0.5-0.7	0.5-0.7	Berger (ZALF)
Gelbsenf	Mitte August	(20-40)	„fein“	12	?	0	ca. 100	(ca. 100)	?	?	?	0.80	0.80	?	Liebold (S.U.)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	OSAnr
W. Weidelgras	A-M Aug	0-100	„fein“	40	7-25	7-15	35-80	45-100	35-100	35-65	457-624	0.8-1	0.8-1	1
Örtreisch	A Aug-A Sep	0-80	„g“, „f“	25	7-35	1-3	45-90	45-95	30-95	5-12	373-589	0.8-1	0.9-1	0.8-1
Gelbsenf	A-E Aug	0-80	„m“, „f“	25	10-35	0	40-85	40-80	30-95	0	230-501	0.8-1	0.8-1	1
Phacelia	A Aug-A Sep	0-80	„fein“	12	7-30	0	50-90	50-85	25-85	0	399-583	0.8-1	0.9-1	0.9-1
Sonnenblume	A Aug-A Sep	0-80	„fein“	30	7-30	0	50-90	50-85	25-85	0	207-391	0.8-1	0.9-1	0.8-1
Buchweizen	A Aug	0	„fein“	60	7-12	0	50-70	45-65	20-40	0	277	0.8	1	1
EWg + Perserklee	A-M Aug	20-80	„fein“	30	10-30	0	45-85	45-80	40-95	0	496-626	0.8-1	0.8-1	1
WWg + Inkarnatklee	A Aug	20	„fein“	30	10-20	7-12	50-70	60-85	40-70	35-45	492	0.9	0.8	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

1b

NO-Deutschland (Sand, AZ 40), Raps-Fruchtfolge

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:			Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		BdSch	OSAnr	BdGef	
Phacelia	Mitte Juli	0	„fein“	12	35-40	0	ca. 100	ca. 20	?	?	?	0.8	0.8	?	Klinkmann (LMS)
Winterraps	Mitte August	(20-40)	„fein“	5	?	0	ca. 100	(ca. 100)	?	?	?	0.60	0.8	0.8	Liebold (S.U.)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		BdSch	OSAnr	BdGef
Einj./Weidelgras	E Jul	60-100	„fein“	40	12-20	ca.1	50-75	50-70	55-85	4-5	539-632	0.9	1	0.8
W.Weidelgras	E Jul-A Aug	60-100	„fein“	40	15-30	10-15	55-90	70-100	60-115	50-70	532-624	1	1	0.8-1
Phacelia	E Jul-E Aug	0-100	„fein“	12	12-30	0	65-90	60-85	35-85	0	454-621	1	1	0.8-1
Sonnenblume	E Jul-E Aug	0-100	„fein“	30	15-30	0	70-90	65-85	40-85	0	391-428	1	1	0.8-1
Buchweizen	E Jul-E Aug	0-100	„fein“	60	5-15	0	45-75	40-70	20-45	0	332-499	0.9-1	1	0.8-1
Serradella	E Jul	0-100	„fein“	40	12-20	0	60-75	55-70	50-75	0	426-647	1	1	0.9
Felderbse	E Jul	60	„fein“	200	20-40	1-2	75-90	75-95	75-120	ca.5	735	1	1	0.8
EWg+Perserklee	E Jul-M Aug	0-100	„fein“	30	10-30	0	45-90	45-85	40-100	0	496-663	0.8-1	1	0.8-1
EWg(WWg)+Alexklee	E Jul	40-100	„fein“	35	10-20	ca.1	50-70	50-70	40-70	3-4	474-603	0.8-0.9	1	0.8-0.9
WWg+Inkarnatklee	E Jul-A Aug	0-100	„fein“	30	10-20	7-12	50-75	60-90	40-75	35-45	492-659	0.8-1	1	0.8-1
Ackerbohne+Ferbse	E Jul-A Aug	0-100	„m“-„f“	160	12-25	0	95-100	95-100	45-95	0	604-733	1	1	0.8-0.9

Ergebnis der Expertenbefragung:

1c
NO-Deutschland (Sand, AZ 40), organische Fruchtfolge

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellver-fahrung	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		N2Fix	Unkrt	
Landsberger Gemenge (Winterwicke)	A-M August	0	„fein“	normal	?	?	?	?	?	?	?	0.5-0.7	0.5-0.7	Berger (ZALF)
(Winterwicke +W-Roggen)	A-M August	0	„fein“	normal	?	?	?	?	?	?	?	0.5-0.7	0.5-0.7	Berger (ZALF)
Winterwicke	?	0	„fein“	normal	?	?	?	?	?	?	?	0.5-0.7	0.5-0.7	Berger (ZALF)
												?	?	Liebold (S.U.)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellver-fahrung	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	Unkrt
Winterwicke	M Aug	0	„m“-„f“	100	5-20	5-12	35-70	45-85	25-65	25-50	320-342	0.7	0.9
Wickroggen	M Aug	0	„m“-„f“	130	10-25	10-15	45-80	55-100	40-90	35-70	223-246	0.5	1
Felderbse	M Aug	0	„m“-„f“	200	7-20	1-2	45-75	45-80	30-80	4-7	135-157	0.8	0.8
Platterbse	M Aug	0	„m“-„f“	150	7-20	0	40-75	40-70	30-80	0	473-496	0.8	0.9
Wraps+W.T.Lupine	M Aug	0	„m“-„f“	152	7-20	0	90-100	90-95	30-75	0	476-499	0.7	1
Ackerbohne+FE+SWi	M Aug	0	„m“-„f“	180	7-20	0	90-95	90-95	30-70	0	222-244	0.8	1
Ackerbohne+FErbse	M Aug	0	„m“-„f“	160	7-20	0	90-95	90-95	30-70	0	110-133	0.8	1
Ackerbohne+SWicke	M Aug	0	„m“-„f“	160	7-20	0	90-95	90-95	30-70	0	258-280	0.8	1
Felderbse+SWicke	M Aug	0	„m“-„f“	170	10-25	0	95-100	90-95	35-90	0	227-250	0.9	1

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag Deckfrucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:					
	Konk.-fähigkeit	Saatmenge (kg/ha)	Konk.-fähigkeit	Saatmenge (kg/ha)		Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)	N2Fix	Unkrt			
Weißklee	s.sch w.	F(m) normal gering	s.sch w.	F(sp) 4	96-99	10-25	7-15	55-80	65-100	40-90	35-50	11	1	1
Serradella	s.sch w.	F(m) normal gering	s.sch w.	F(sp) 6	93-96	12-30	0	55-85	55-80	45-100	25-40	10	1	1
Gelbk.+Weißklee	s.sch w.	F(m) normal gering	s.sch w.	F(sp) 5	96-99	7-20	4-7	40-75	45-85	30-75	30-55	15	0.8	1
Gelbklee	s.sch w.	F(m) normal gering	s.sch w.	F(sp) 5	96-99	10-25	7-15	50-75	60-100	35-80	30-50	14	0.9	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

1d
NO-Deutschland (Sand, AZ 40), Mais-Fruchtfolge: ZF nach Winterweizen

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch OSAnr		
Phacelia	Mitte August	0 (-40)	„fein“	12	30-50	0	80-100	40-80	?	?	?	0.3-0.5	0.7-1.0	0.5-0.6	Berger (ZALF)
Gelbsenf	Mitte August	ca. 40	„f - m“	normal	ca. 20	ca. 10	ca. 100	ca. 25	?	?	?	0.5	0.5	0	Kühn (ZALF-FSD)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch OSAnr	
Ölrettich	M Aug	60	„m“, „f“	25	15-35	3-5	65-90	50-75	55-95	12-20	88-110	0.8	0.9	0.8
Gelbsenf	M Aug	60	„m“, „f“	25	20-40	0	55-85	25-40	50-100	0	65-87	0.8	0.8	1
Phacelia	M-E Aug	40	„fein“	12	10-25	0	60-90	25-40	30-70	0	109	0.8	0.8-0.9	0.8-0.9
Sonnenblume	M Aug	40-60	„fein“	30	12-30	0	65-90	30-45	40-80	0	58	0.8	0.9	0.8
Wickroggen	M Aug	40	„fein“	130	12-35	20-45	50-90	75-100	45-105	70-130	251	0.8	0.8	1

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons Bdsch OSAnr						
	Konk.f ähigkeit	Saat- menge (kg/ha)	Konk.f Saat- termin	Saat- menge (kg/ha)		Ob. Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Deckungsgrad (%) Herbst			N-Aufnahme (kg N/ha) Frühjahr H.					
W. Weidelgras	M I	normal	normal	16	95-100	10-40	12-35	45-100	60-100	45-145	45-70	20	0.8-0.9	0.8-0.9	1
Knaulgras	M I	normal	normal	4-14	92-100	10-35	10-30	45-90	55-100	45-125	45-70	18-24	0.8-0.9	0.8-0.9	1
WWg + GK + WK	M I	normal	normal	6-20	85-100	10-55	7-30	45-100	50-100	40-155	30-60	22-32	0.8-1	0.8-1	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

1e

NO-Deutschland (Sand, AZ 40), Mais-Fruchtfolge: ZF nach Winterweizen

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:			Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	BdGef	
Phacelia	Mitte August	0 (-40)	„fein“	12	30-50	0	80-100	40-80	?	?	?	0.3-0.5	0.7-1.0	-	Berger (ZALF)
Gelbsenf	Mitte August	ca. 40	„f - m“	normal	ca. 20	ca. 10	ca. 100	ca. 25	?	?	?	0.5	0.5	-	Kühn (ZALF-FSD)
Gelbsenf	Mitte August	(20-40)	„fein“	12	?	0	ca. 100	(ca. 100)	?	?	?	0.80	0.80	0.8	Liebold (S.U.)
Winterraps	Ende Juli	(20-40)	„fein“	5	?	0	ca. 100	(ca. 100)	?	?	?	0.80	0.60	0.8	Liebold (S.U.)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	BdGef
Phacelia	M-E Aug	40-60	„fein“	12	10-30	0	60-90	25-45	30-80	0	109	0.8	0.8-0.9	0.8-0.9
Sonnenblume	M Aug	40-60	„fein“	30	12-30	0	65-90	30-45	40-80	0	58	0.8	0.9	0.8

Untersaat	Deckfrucht-Management			Untersaat-Management			Ertrag			Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)			Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:				
	Konk.fähig keit	Saat-termin (kg/ha)	Saat-menge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha	Konk.fähig keit	Saat-termin (kg/ha)	Saat-menge (kg/ha)	N-Dg. (ZF) kg N/ha	Deckfrucht (%)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)		NKons	BdSch	BdGef		
W. Weidelgras	M I	H(f)	normal	normal	schw.	F(sp)	16	60-80	95-100	12-40	15-35	55-100	70-100	55-145	50-70	0.8-0.9	0.9	0.8
Knaulgras	M I	H(f)	normal	normal	schw.	H(sp)-F(f)	4-14	40-80	92-100	10-35	10-30	45-90	55-100	45-125	45-70	0.8-0.9	0.8-0.9	0.8
WWg + GK + WK	M I	H(f)	normal	normal	schw.	F(f-sp)	6-20	0-100	85-100	10-55	12-30	45-100	50-100	40-165	30-60	0.8-1	0.8-1	0.8-1

Ergebnis der Expertenbefragung:

1f
NO-Deutschland (Sand, AZ 40), Mais-Fruchtfolge: ZF nach Winterweizen

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag Deckfrucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		N-Aufnahme (kg N/ha) H. Fj.	Var. Ver- fahrens- kosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle		
	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha	Konk.- fähig keit		Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (ZF) kg N/ha			Ob. Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Deckungsgrad (%) Herbst		Frühjahr	Frühjahr
DWg + Weißklee	stark	H(f)	normal	normal	ca. 100	ca. 10	25-30	ca. 100	ca. 100	?	0.6	0.7	0.8	Klinkmann (LMS)

DSS-Ergebnis:

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag Deckfrucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		N-Aufnahme (kg N/ha) H. Fj.	Var. Ver- fahrens- kosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:					
	Konk.f ähig keit	Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha	Konk.f ähig keit		Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (ZF) kg N/ha			Ob. Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühjahr	Frühjahr	N2Fix	BdSc FN h
WWg + GK + WK	M I	H(f)	normal	normal	85-100	10-55	7-30	45-100	45-100	40-160	30-60	13-32	0.8	0.8-0.9	0.8-1

Ergebnis der Expertenbefragung:

1g

NO-Deutschland (Sand, AZ 40), Mais-Fruchtfolge: ZF nach Mais

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons BdSch	Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr			
Gelbsenf	Mitte September	(ca. 40)	„mittel“	normal	ca. 10	ca. 5	ca. 20	ca. 20	?	?	?	0.4 0.3	Kühn (ZALF-FSD)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons BdSch
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		
Örztlich	M Sep	0-20	„m“, „f“	25	5-10	1-4	30-55	20-45	20-45	5-15	83-110	0.8-0.6 1
Gelbsenf	M Sep	0	„m“, „f“	25	4-12	0	15-45	5-20	10-40	0	60-83	0.6 0.8
Phacelia	M Sep	0	„fein“	12	4-10	0	35-60	15-25	15-30	0	104	0.7 1
Sonnenblume	M Sep	0	„fein“	30	4-10	0	35-60	15-25	15-30	0	54	0.7 1

Ergebnis der Expertenbefragung:

1h

NO-Deutschland (Sand, AZ 40), Mais-Fruchtfolge: ZF nach Mais

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag Deckfrucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: N2Fix BdSch Futterm	Quelle			
	Konk.-fähigkeit keit	Saatmenge (kg/ha)	Konk.-fähigkeit keit	Saatmenge (kg/ha)		Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)				N-Aufnahme (kg N/ha)		
DWg + Weißklee			schw.	F(sp)	ca. 100	ca. 10	25-30	ca. 100	?	?	?	0.6 0.7 0.8	Klinkmann (LMS)

DSS-Ergebnis:

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag Deckfrucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: N2Fix BdSch Futterm				
	Konk.-fähigkeit keit	Saatmenge (kg/ha)	Konk.-fähigkeit keit	Saatmenge (kg/ha)		Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)			N-Aufnahme (kg N/ha)			
Weißklee	s.sw.	F(f)	s.sw.	F(sp)	87-100	3-12	5-15	20-55	35-75	12-45	20-35	16-21	0.8 0.8 1

Ergebnis der Expertenbefragung:

2a
Rheinhausen, Sachsen-Anhalt (Lehm, AZ 65), Zuckerrüben-Wintergetreide-Fruchtfolge, VF: Winterweizen

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell-/verfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:			Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	Nemat	
Gelbsenf	E Aug /A Sep	15-20	„fein“	normal	10-40	0	50-90	ca. 20	?	?	?	0.8	0.3-0.8	0.4-0.6	Hoffmann (SLVA)
Gelbsenf	A Aug	30-40	„fein“	20	?	?	ca. 100	20-30	?	?	?	?	?	?	Nanz (SLVA)
Öfretlich	A Aug	30-40	„fein“	25	?	?	ca. 100	20-30	?	?	?	?	?	?	Nanz (SLVA)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell-/verfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	Nemat
Öfretlich	A Aug	0-60	"m"-,"f"	25	0-30	0-3	0-85	0-75	0-85	0-10	83-110	0.8	0.8-1	0.8-1
Gelbsenf	A Aug	0-40	"m"-,"f"	25	0-30	0	0-75	0-50	0-75	0	60-87	0.8	0.8-1	0.8-1

Ergebnis der Expertenbefragung:

2b

Rheinhausen, Sachsen-Anhalt (Lehm, AZ 65), Zuckerrüben-Wintergetreide-Fruchtfolge, VF: Winterweizen

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:			Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	OSAnr	Unkrt	
Gelbsenf	E Aug - E Sep	60	„grob“	20	30-45	0	70-100	?	?	?	?	0.7-1	0.7-1	0.7-1	Peyker (TLL)
Gelbsenf	E Aug - A Sep	30-40	„mittel“	15-20	?	?	80-100	20-30	?	?	?	?	?	?	Nanz (SLVA)
Ölrettich	E Aug - A Sep	30-40	„mittel“	20-25	?	?	80-100	20-30	?	?	?	?	?	?	Nanz (SLVA)
Phacelia	E Aug - A Sep	30-40	„mittel“	15-20	?	?	80-100	20-30	?	?	?	?	?	?	Nanz (SLVA)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	OSAnr	Unkrt
Ölrettich	E Aug	20-40	„m ⁺ „f“	25	0-25	0-4	0-75	0-75	0-70	0-15	88-110	0.8	0.8	0.8-0.9
Gelbsenf	E Aug	0-20	„m ⁺ „f“	25	0-25	0	0-70	0-50	0-70	0	60-87	0.8	0.8	0.8
Phacelia	E Aug	0-20	„fein“	12	0-20	0	0-80	0-55	0-55	0	104-109	0.8	0.8	0.8

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag		Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:						
	Konk.-fähigkeit keit	Saatmenge (kg/ha)	Konk.-fähigkeit keit	Saatmenge (kg/ha)	Deckfrucht (%)	N-Dg. (ZF) kg N/ha	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)	NKons	OSAnr	Unkrt			
WWg + GK + WK	M I	H(f)	normal	normal	88-100	0	2-20	1-10	15-75	15-80	10-75	10-50	13-32	0.8	0.8	0.8

Ergebnis der Expertenbefragung:

2c
Rheinhausen, Sachsen-Anhalt (Lehm, AZ 65), Zuckerrüben-Winterweizen-Sommergerste-Fruchtfolge mit Mulchsaat der Zuckerrüben

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell-/verfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:			Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	OSAnr	
Gelbsenf	E Aug - E Sep	60	„grob“	20	30-45	0	70-100	?	?	?	?	0.7-1	?	0.7-1	Peyker (TLL)
Gelbsenf	E Aug - A Sep	30-40	„mittel“	15-20	?	?	80-100	20-30	?	?	?	?	?	?	Nanz (SLVA)
Örtretich	E Aug - A Sep	30-40	„mittel“	20-25	?	?	80-100	20-30	?	?	?	?	?	?	Nanz (SLVA)
Phacelia	E Aug - A Sep	30-40	„mittel“	15-20	?	?	80-100	20-30	?	?	?	?	?	?	Nanz (SLVA)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell-/verfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	OSAnr
W.Weidelgras	M Aug	40-60	„fein“	40	5-15	7-15	25-60	35-75	20-65	30-70	109	0.8	0.8-0.9	0.9-1
Örtretich	M Aug	60-80	„fein“	25	10-25	2-3	55-80	45-75	40-80	7-12	110-115	0.9-0.8	1	0.8-0.9
Gelbsenf	M-E Aug	40-60	„fein“	25	7-25	0	30-70	20-50	20-75	0	87	0.8-0.9	0.8-1	0.8-1
Phacelia	M-E Aug	40-60	„fein“	12	7-20	0	45-80	30-55	20-60	0	109	0.8	1	0.8-0.9

Ergebnis der Expertenbefragung:

3b

Magdeburger-Hallesche Börde (Löß, AZ >90), Zuckerrüben-Sommer-Wintergetreide-Fruchtfolge (Zuckerrüben- Wintergetreide-Fruchtfolge)

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell-/ver-fahren	Saat-menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:			Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	OSAnr	
Gelbsenf	E Aug - E Sep	60	„grob“	20	30-45	0	70-100	?	?	?	?	0.7-1	0.7-1	0.7-1	Peyker (TLL)
Gelbsenf	Anfang August	0	„grob“	10	35-40	0	ca. 100	ca. 20	?	?	?	-	0.5	0.5	Klinkmann (LMS)
Gelbsenf	Anfang August	0	„mittel“	normal	ca. 30	(0)	ca. 70	ca. 100	?	?	?	0.6	0.6	0.6	Hamann (DSV Halle)
Phacelia	Anfang August	0	„mittel“	normal	ca. 30	(0)	ca. 70	ca. 100	?	?	?	0.6	0.6	0.6	Hamann (DSV Halle)
W. Weidelgras	Anfang August	0	„mittel“	normal	ca. 30	50-60	ca. 70	ca. 100	?	?	?	0.6	0.6	0.6	Hamann (DSV Halle)

DSS-Ergebnis:

3a

Stoppelsaat

	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell-/ver-fahren	Saat-menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		BdSch	BdGef	Nemat
Örrettich	E Jul-A Aug	40-100	„g“-„f“	25	0-35	0-1	0-90	0-80	0-95	0-5	88-115	0.8-1	0.8-1	0.8-1
Gelbsenf	E Jul-A Aug	40-100	„g“-„f“	25	0-35	0	0-80	0-65	0-90	0	65-92	0.8-1	0.8-1	0.8-1

Stoppelsaat

	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell-/ver-fahren	Saat-menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	OSAnr
W. Weidelgras	M Aug	40-60	„fein“	40	5-15	7-20	30-65	40-85	25-70	35-80	109	0.8	0.8	0.8-0.9
Örrettich	M Aug	80-100	„m“-„f“	25	15-35	ca.2	65-90	45-75	55-95	7-10	92-115	0.8-0.9	1	0.8
Gelbsenf	M-E Aug	40-100	„m“-„f“	25	10-40	0	40-85	20-55	30-100	0	65-92	0.8-0.9	0.8-1	0.8-1
Phacelia	M Aug	40-80	„fein“	12	10-30	0	60-90	35-55	30-80	0	109-113	0.8-0.9	1	0.8-0.9
Sonnenblume	M Aug	60-80	„fein“	30	12-30	0	70-90	40-55	40-80	0	58-63	0.9-0.8	1	0.8
Wickroggen	M Aug	0-60	„m“-„f“	130	4-30	5-35	20-90	30-100	15-105	20-115	223-251	0.8	0.8-1	0.8-0.9

Untersaat

WWg + GK + WK	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag		Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)				Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:	
	Konk.-fähigkeit	Saat-menge (kg/ha)	Konk.-fähigkeit	Saat-termin	Deckfrucht (%)	N-Dg. (ZF)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)	NKons		BdSch	OSAnr
M1	F(f)	normal	s.sch	F(m)	91-100	20-60	3-40	2-20	20-100	12-130	17	0.8	0.8
		normal	w.	6		12-60			20-100	12-60		0.8	0.8-0.9

Ergebnis der Expertenbefragung:

3c

Magdeburger-Hallesche Börde (Löß, AZ >90), Zuckerrüben-Sommer-Wintergetreide-Fruchtfolge (Zuckerrüben- Wintergetreide-Fruchtfolge)

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saattmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		BdSch	OSAnr		Unkrt
Gelbsenf	Anfang August	0	„grob“	10	35-40	0	ca. 100	ca. 20	? ?	? ?	?	0.5	0.5	0.5	Klinkmann (LMS)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saattmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		BdSch	OSAnr	Unkrt
W. Weidelgras	M Aug	60-100	"fein"	40	7-15	10-20	35-65	50-85	30-70	45-75	109-114	0.8-0.9	0.9-1	0.9
Gelbsenf	M-E Aug	40-100	„m“-„f“	25	10-35	0	35-80	20-45	30-95	0	65-92	0.8-1	0.8-1	1-0.8
Phacelia	M-E Aug	80-100	"fein"	12	12-30	0	65-90	35-55	35-75	0	113	1	0.8-0.9	1
Sonnenblume	M Aug	60-100	"fein"	30	12-30	0	70-90	40-55	40-75	0	58-63	1	0.8	0.9
Buchweizen	M-E Aug	40-100	"fein"	60	7-15	0	45-70	25-40	20-40	0	77-81	0.9-1	0.8-0.9	1
Serradella	M Aug	20-100	"fein"	40	3-15	0	20-60	10-35	12-50	0	115-120	0.8-0.9	0.8	0.8-1
Winterwicke	M Aug	40-100	„m“-„f“	100	5-20	7-20	35-70	50-90	25-70	35-75	324-352	0.8	1	0.9
EWg + Perserklee	M Aug	60-100	"fein"	30	10-20	0	45-75	25-40	35-75	0	120	0.8	1	1
Wickroggen	M Aug	0-100	"M I"	130	4-30	5-35	20-90	30-100	15-100	20-110	223-255	0.8-1	0.8-0.9	0.8-1
Felderbse+SWinke	M Aug	100	"fein"	170	10-30	0	95-100	55-60	40-100	0	259	1	0.8	1

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag		Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)				Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)				
	Konk.-fähigkeit keit	Saat-termin	Saat-termin	Saat-menge (kg/ha)	N-Dg. (ZF)	Deckfrucht (%)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)	H. Fi.	Herbst	Frühjahr	BdSch	OSAnr	Unkrt
Serradella	M I	F(f)	F(f-sp)	10-20	0-100	91-100	3-30	0	25-85	10-45	12-100	7-25	14-33	0.8-0.9	0.8-1
WWg + GK + WK	M I	F(f)	F(m-sp)	6-10	60-100	91-100	3-40	4-20	20-100	20-100	12-130	12-60	17-28	0.8-0.9	0.8-1

Ergebnis der Expertenbefragung:

4a NW-deutsche Geestlandschaft (Sand, AZ 40), Kartoffel-Fruchtfolge: ZF nach Winterroggen

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellver-fahren	Saat-menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons OSAnr	Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr			
Örtlich	A - M August	20	„mittel“	normal	ca. 20	0	ca. 100	ca. 100	?	?	?	0.8	Möller (S.U.)
Gelbsenf	A - M August	20	„mittel“	normal	ca. 20	0	ca. 100	ca. 100	?	?	?	0.8	Möller (S.U.)
Sommerrapps	A - M August	20	„mittel“	normal	ca. 20	0	ca. 100	ca. 100	?	?	?	0.8	Möller (S.U.)
Winterrapps	A - M August	20	„mittel“	normal	ca. 20	0	ca. 100	ca. 100	?	?	?	0.8	Möller (S.U.)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellver-fahren	Saat-menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons OSAnr	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr			
Einj. Weidelgras	A Aug	0-60	„fein“	40	12-30	1-2	55-90	55-90	55-115	5-10	107-111	0.8-1	0.8-0.9
W. Weidelgras	A Aug	0-80	„fein“	40	15-35	12-25	60-95	75-100	65-135	55-90	105-114	0.8-1	0.8-1
Örtlich	A Aug	80	„m“, „f“	25	35-55	ca.3	90-100	ca.100	95-120	ca.12	92-115	0.9	0.8
Gelbsenf	A-E Aug	20-80	„m“, „f“	25	25-60	0	65-100	60-95	65-135	0	65-92	0.8-1	0.8-1
Phacelia	A-M Aug	20-80	„fein“	12	25-50	0	85-100	80-95	70-110	0	109-113	0.8-1	0.8-1
Sonnenblume	A Aug	40-80	„fein“	30	30-50	0	90-100	85-95	80-115	0	58-63	0.9-1	0.8-0.9
EWg + Persenkle	A-M Aug	0-60	„fein“	30	15-40	0	55-100	55-95	50-130	0	115-120	0.8-1	1
EWg (WWg)+Alexkle	A Aug	0-20	„fein“	35	15-30	ca.2	65-90	65-90	60-105	7-10	100-104	0.8-0.9	1
WWg + Inkarnatkle	A Aug	0-20	„fein“	30	15-30	12-20	65-85	80-100	60-95	50-65	114-119	0.9	1
Landsberger Gemenge	A-M Aug	0-40	„fein“	70	12-35	12-25	55-95	65-100	45-115	45-80	250-255	0.8-1	0.8-1
Wickroggen	A Aug	0-100	„m“, „f“	130	30-60	20-35	85-100	ca.100	95-165	75-115	223-255	1-0.8	0.9-1

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag		Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)				Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons OSAnr		
	Konk.-fähigkeit	Saat-termin	Konk.-fähigkeit	Saat-termin	Deckfrucht (%)	N-Dg. (ZF) kg N/ha	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)	Fj.				
Dt. Weidelgras	stark	H(m)	s.s.w.	F(m-sp)	95-100	20-40	12-30	7-15	55-90	55-110	50-70	14-24	0.8-0.9	0.8-0.9
Knaulgras	stark	H(m)	s.s.w.	F(f-sp)	96-100	0-80	12-40	7-20	55-100	60-140	50-70	16-19	0.8-1	0.8-1
WWg+Weißkle	stark	H(m)	s.s.w.	F(sp)	98-100	0-40	20-50	7-15	75-100	80-145	55-60	10-15	0.8-0.9	1
DWg+Weißkle	stark	H(m)	s.s.w.	F(f-sp)	97-100	0-60	20-50	12-25	70-100	70-150	55-60	11-30	0.8-0.9	1
WWg + GK + WK	stark	H(m)	s.s.w.	F(sp)	98-100	0-100	35-65	12-20	90-100	110-175	ca.60	13-22	0.9-1	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

4b

NW-deutsche Geestlandschaft (Sand, AZ 40), Kartoffel-Fruchtfolge: ZF nach Winterroggen

Untersaat in Winterroggen	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag Deckfrucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)				Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: N2Fix OSAnr	Quelle			
	Konk.-fähig keit	Saat-termin	Saat-menge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha		Konk.-fähig keit	Saat-termin	Saat-menge (kg/ha)	N-Dg. (ZF) kg N/ha				Ob. Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühjahr
Serradella		schw.	F(sp)	30	0	ca. 100	ca. 10	0	ca. 100	ca. 20	?	?	0.5	0.5	Klinkmann (LMS)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat

Winterwicke	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellver-fahren	Saat-menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Deckungsgrad (%) Herbst	N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: N2Fix OSAnr		
							Frühjahr	Herbst				
	A Aug	0-20	„m“-„f“	100	20-40	70-90	90-100	65-125	55-85	320-347	0.9	0.9

Untersaat

Weißklee Serradella WWg + GK + WK Gelbkl.+Weißklee Gelbklee	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag Deckfrucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)				Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: N2Fix OSAnr			
	Konk.-fähig keit	Saat-termin	Saat-menge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha		Konk.-fähig keit	Saat-termin	Saat-menge (kg/ha)	N-Dg. (ZF) kg N/ha			Ob. Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühjahr
	stark	H(m)	normal	normal	ca.98	25-45	15-25	80-95	ca.100	90-140	ca.50	21	0.9	0.8
	stark	H(m)	normal	normal	98-100	25-50	0	80-95	75-90	90-145	35-45	10-28	0.9-1	0.8-0.9
	stark	H(m)	normal	normal	98-100	35-60	12-15	90-100	ca.100	110-165	ca.60	13	0.8	1
	stark	H(m)	normal	normal	98-100	15-40	5-12	60-100	65-100	50-125	40-60	15-44	0.8-1	0.9-1
	stark	H(m)	normal	normal	98-100	15-40	10-20	65-85	80-100	60-125	40-50	14-40	0.8-1	0.9-1

Ergebnis der Expertenbefragung:

4c

NW-deutsche Geestlandschaft (Sand, AZ 40), **Kartoffel-Fruchtfolge: ZF nach Wintergerste**

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		N2Fix	BdSch		OSAAnr
Winterwicke	Mitte Juli	0	„fein“	60	30	30	ca. 100	ca. 100	?	?	?	1.0	0.8	0.8	Klinkmann (LMS)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		N2Fix	BdSch	OSAAnr
Alexandrinerklee	M-E Jul	0-20	„fein“	35	20-35	0	65-85	45-60	65-110	0	101-106	0.8-0.9	0.9	1
Serradella	M-E Jul	0-40	„fein“	40	20-35	0	70-85	45-60	65-110	0	111-115	0.8-0.9	1	1
Winterwicke	M Jul - A Aug	0-40	„m“, „f“	100	15-45	15-30	65-95	85-100	55-135	60-95	320-347	0.8-1	0.9-1	1
G. Süßlupine	M Jul - A Aug	0-60	„m“, „f“	180	20-55	0	70-100	45-70	70-160	0	565-593	0.8-1	0.8-1	0.9-1
Felderbse	M Jul	60	„m“, „f“	200	35-55	ca.2	90-100	75-85	120-160	ca.7	139-162	0.9-1	0.8	1
Platterbse	M Jul	60	„fein“	150	40-55	0	90-100	60-70	120-160	0	500	1	0.8	1
Ackerbohne+FE+SWi	M Jul - A Aug	0-40	„m“, „f“	180	20-50	0	95-100	70-75	65-145	0	222-249	0.8-1	1	0.9-1
Ackerbohne+FErbse	M Jul - A Aug	0-40	„m“, „f“	160	20-50	0	95-100	70-75	65-145	0	110-138	0.8-1	0.9	0.9-1
Ackerbohne+SWicke	M Jul - A Aug	0-40	„m“, „f“	160	20-50	0	95-100	70-75	65-145	0	258-285	0.8-1	1	0.9-1
Felderbse+SWicke	M Jul - A Aug	0-80	„m“, „f“	170	25-65	0	ca.100	70-80	85-180	0	227-259	0.8-1	1	1

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag		Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)				Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:							
	Konk.-fähigkeit keit	Saat-termin (kg/ha)	N-Dg. (DF) (kg N/ha)	Konk.-fähigkeit keit	Saat-termin (kg/ha)	N-Dg. (ZF) (kg N/ha)	Deckfrucht (%)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)		H.	Fj.	N2Fix	BdSch	OSAAnr			
Weißklee	MI	H(f)	normal	normal	s.s.w.	F(f)	6	20-40	ca.96	25-40	15-25	75-90	95-100	80-130	45-50	21	0.9	0.8-0.9	1
Serradella	MI	H(f)	normal	normal	s.s.w.	F(f-sp)	6-20	0-40	97-100	20-45	0	70-95	50-65	75-130	25-30	10-28	0.8-1	1	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

5a

Mittelgebirge (Lehm, AZ 65), Organische Fruchtfolge mit Winterroggen

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellver-fahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		N2Fix	BdSch Futter		
Alexandrinerklee	E Jul - M Aug	0	„fein“	normal	20-30	0	60-90	?	?	?	?	1	0.6-1	1	Peyker (TLL)
Inkarnatklee	E Jul - M Aug	0	„fein“	normal	20-30	0	60-90	?	?	?	?	1	0.6-1	1	Peyker (TLL)
Perserklee	E Jul - M Aug	0	„fein“	normal	20-30	0	60-90	?	?	?	?	1	0.6-1	1	Peyker (TLL)

Futtermutzung: Ende September / Anfang Oktober; Frühjahr: Gründüngung (Peyker, TLL)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellver-fahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		N2Fix	BdSch Futter	
Rotklee	A Aug	0	„fein“	20	7-12	5-7	35-55	45-60	25-45	25-35	123	1	0.8	1
Inkarnatklee	A Aug	0	„fein“	30	7-12	7-12	35-55	50-70	25-45	30-50	167	1	0.8	1
Winterwicke	A-M Aug	0	„m“-„f“	100	7-30	10-35	35-85	55-100	25-100	40-105	320-342	1	0.8-1	0.8-1
WWg + Inkarnatklee	A Aug	0	„fein“	30	10-20	15-25	50-75	70-95	40-75	55-80	114	1	0.9(1
Landsberger Gemenge	A Aug	0	„fein“	70	12-25	20-30	55-80	80-100	50-90	65-95	250	1	0.9	1
Wickroggen	A-M Aug	0	„m“-„f“	130	10-40	20-40	50-100	70-100	40-125	65-130	223-246	1	0.9-1	1

Untersaat	Deckfrucht-Management			Untersaat-Management			Ertrag			Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)			Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:			
	Konk.-fähigkeit	Saatmenge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha	Konk.-fähigkeit	Saatmenge (kg/ha)	N-Dg. (ZF) kg N/ha	Deckfrucht (%)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)	H. Fj.	Frühjahr		Herbst	N2Fix	BdSch Futter	
Weißklee	schw.	H(f)	normal gering	s.s.w.	F(f-sp)	4-12	0	97-100	7-35	10-30	45-85	60-100	35-110	30-50	1	0.8-1	1
DWg+Weißklee	schw.	H(f)	normal gering	s.s.w.	F(m-sp)	5-8	0	98-100	10-30	12-25	45-90	60-100	40-100	40-60	1	0.8-0.9	1
Gelbk.+Weißklee	schw.	H(f)	normal gering	s.s.w.	F(m-sp)	5-16	0	98-100	10-25	7-12	45-80	45-85	35-90	30-50	1	0.8-0.9	1
Gelbklee	schw.	H(f)	normal gering	s.s.w.	F(f-sp)	5-16	0	97-100	10-30	12-25	50-85	65-100	40-100	30-50	1	0.9-1	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

5b

Mittelgebirge (Lehm, AZ 65), Organische Fruchtfolge mit Sommergerste

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		BdSch	Futter		Unkrt
EWg + W. Weidelgras	A - M Aug	0	„fein“	normal	20-30	*)	60-100	60-100	?	?	?	0.7-1	1	0.6-0.9	Peyker (TLL)

*) Biomasse im Frühjahr je nach Nutzung (Futter, Gründüngung)
 Futtermutzung: Ende September / Anfang Oktober; Frühjahr: Gründüngung (Peyker, TLL)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		BdSch	Futter	Unkrt
W. Weidelgras	A Aug	0	„fein“	40	10-20	12-20	45-75	60-95	45-90	50-85	105	0.9	1.0	1
Winterwicke	A Aug	0	„m“-„f“	100	12-30	15-30	60-85	80-100	50-100	60-95	320-342	1	0.8-0.9	1
WWg+Inkarnatklee	A Aug	0	„fein“	30	10-20	12-20	50-75	65-95	40-75	50-70	114	0.9	1	1
LandsbergerGemenge	A Aug	0	„fein“	70	12-25	15-25	55-80	75-100	50-90	60-85	250	0.9	1	1
Wickroggen	M Aug	0	„m“-„f“	130	10-40	15-40	50-100	70-100	40-125	60-120	223-246	1	0.8-1	1

Untersaat	Deckfrucht-Management			Untersaat-Management			Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)			Var. Ver- fahrenskosten (€/ha)							
	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (ZF) kg N/ha	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)	Var. Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:	Unkrt					
Weißklee	schw.	F(f)	normal	gering	F(sp)	4-6	0	0	7-25	10-25	45-80	60-100	30-95	30-50	0.8-0.9	0.9-1	1
DWg+Weißklee	schw.	F(f)	normal	gering	F(sp)	8	0	0	10-30	12-25	45-85	65-100	40-95	40-60	0.9	1	1
Gelbklee	schw.	F(f)	normal	gering	F(sp)	8	0	0	10-25	10-25	45-75	65-100	35-85	30-45	0.9	1	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

5c

Mittelgebirge (Lehm, AZ 65), Ackerbohnen-Fruchtfolge

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Frühjahr	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühjahr	N-Aufnahme (kg N/ha) Herbst	Frühjahr	Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	BdSch	OSAAnr	Quelle			
	E Aug - E Sep	40	„grob“	20	30-45	0	70-100	?	?	?	?	0.7-1	0.7-1	0.7-1	Peyker (TLL)			
Untersaat in A- ckerbohnen	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag		Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver- fahrens- kosten (€/ha)		Zielerfüllung für Anbauziel: NKons		OSAAnr		Quelle			
	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (ZF) kg N/ha	Deck- frucht (%)	Ob. Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	N-Aufnahme (kg N/ha) H.	Fj.	Fj.	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	BdSch	OSAAnr	Quelle
	schw.	F	normal	schw.	F(f)	4	ca. 100	10-15	8-12	80-100	ca. 100	?	?	?	1.0	1.0	0.7	Lütke Entrup, N.
	schw.	F	normal	stark	F(m)	4	ca. 100	10-15	8-12	80-100	ca. 100	?	?	?	1.0	1.0	0.7	Lütke Entrup, N.
Knaulgras	schw.	F	normal	mittel	F(f)	4	ca. 100	10-15	8-12	80-100	?	?	?	1.0	1.0	0.7	Lütke Entrup, N.	
Rotschwingel	schw.	F	normal	schw.	F(f)	4	ca. 100	10-15	8-12	80-100	?	?	?	1.0	1.0	0.7	Lütke Entrup, N.	

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Frühjahr	Deckungsgrad (%) Herbst	Frühjahr	N-Aufnahme (kg N/ha) Herbst	Frühjahr	Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	BdSch	OSAAnr			
	E Aug	0	„m“, „f“	25	15-35	0	50-80	45-75	40-90	0	60-83	0.7	0.9	0.9			
Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag		Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver- fahrens- kosten (€/ha)		Zielerfüllung für Anbauziel: NKons		OSAAnr				
	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (ZF) kg N/ha	Deck- frucht (%)	Ob. Biomasse (dt TS/ha) Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	N-Aufnahme (kg N/ha) H.	Fj.	Fj.	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	BdSch	OSAAnr
	schw.	F(f)	normal	s.s.w.	F(f)	4	93-100	7-15	5-10	30-65	40-80	30-75	30-60	9	0.3	0.8	0.8
	schw.	F(f)	normal	s.s.w.	F(f)	4	94-100	7-20	7-15	40-75	50-95	40-90	35-70	9	0.7	0.9	0.9
Rotschwingel	schw.	F(f)	normal	s.s.w.	F(f)	4	97-100	4-12	3-7	25-55	30-65	20-55	25-50	8	0.1	0.5	0.4
WWG + GK + WK	schw.	F(f)	normal	s.s.w.	F(sp)	6	98-100	20-45	10-15	70-100	85-100	70-135	50-60	13	0.8	1	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

5d

Mittelgebirge (Lehm, AZ 65), Raps-Fruchtfolge

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch		Unkrt
Phacelia	E Jul - E Aug	40	„fein“	40	30-45	0	70-100	?	?	?	?	0.7-1	0.7-1	0.7-1	Peyker (TLL)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	Unkrt
W. Weidelgras	M Aug	20	„fein“	40	5-15	5-12	25-65	30-80	20-70	20-55	109	0.8	0.8	0.8
Ölrettich	M-E Aug	0-40	„m ^u „f ⁱ “	25	4-35	1-3	25-85	25-100	15-90	2-12	83-110	0.8-1	0.8-1	0.8-1
Gelbsenf	M-E Aug	20-40	„m ^u „f ⁱ “	25	7-40	0	35-85	30-80	25-95	0	65-87	0.8	0.8-1	1
Phacelia	M-E Aug	0-40	„fein“	12	3-25	0	25-90	25-85	10-80	0	104-109	0.8	0.8-1	0.8-1
Sonnenblume	M Aug	40	„fein“	30	12-30	0	70-90	65-85	40-80	0	58	0.8	1	0.9
Wickroggen	M Aug	0	„m ^u „f ⁱ “	130	7-30	7-25	35-90	45-100	30-100	25-80	223-246	0.8	0.8-0.9	1

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag		Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver- fahrens- kosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	Deck- frucht (%)	N-Dg. (ZF) kg N/ha	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)	NKons	BdSch
Knautgras	schw.	H(f)	s.sw.	F(f-sp)	93-100	20	3-25	25-100	24	0.8	0.8	0.8-1
WWg + GK + WK	schw.	H(f)	s.sw.	F(sp)	97-100	0-40	7-40	35-100	13-17	0.8	0.8-0.9	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

5e
Mittelgebirge (Lehm, AZ 65), Raps-Fruchtfolge

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdGef	
Örztlich	Mitte August	20	„mittel“	normal	ca. 30	0	ca. 100	ca. 100	?	?	?	0.9	0.5	Möller (S.U.)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdGef
Örztlich	M Aug	40	„m“, „f“	25	15-35	2-3	60-85	65-100	50-90	7-12	88-110	0.8	0
Phacelia	M Aug	20-40	„fein“	12	7-30	0	55-90	50-85	25-80	0	109	0.8	0.8
Sonnenblume	M Aug	40	„fein“	30	12-30	0	70-90	65-85	40-80	0	58	0.8	0.8
EWg + Perserklee	M Aug	0	„fein“	30	5-20	0	30-75	30-70	25-80	0	115	0.8	0.8

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag		Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver- fahrens- kosten		Zielerfüllung für Anbauziel:	
	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	Konk.- Saat- menge (kg/ha)	Saat- termin	Deck- frucht (%)	N-Dg. (ZF)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)	Var. Ver- fahrens- kosten (€/ha)	NKons	BdGef
Dt. Weidelgras	schw.	normal	s.sw.	F(f-sp)	92-100	20	4-15	20-65	15-75	14-24	0.8	0.8
WWg + GK + WK	schw.	normal	s.sw.	F(sp)	97-100	0-40	7-40	35-100	30-130	13-17	0.8	0.8

Ergebnis der Expertenbefragung:

6a

Braunschweig-Hildesheimer Lößbörde (Löß, AZ >90), Zuckerrüben-Wintergetreide-Fruchtfolge

Stoppe/Saat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrens- kosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch		Nemat
Gelbsenf	Ende August	40-60	„mittel“	normal	30-40	0	ca. 100	ca. 50	?	?	?	0.8-1.0	0.5-0.8	0.5-0.6	Brunotte (FAL)

DSS-Ergebnis:

Stoppe/Saat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrens- kosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	Nemat
Örtlich	E Jul - A Aug	0-100	„m“, „f“	25	5-55	0-4	35-100	25-100	20-120	3-20	88-115	0.8-1	0.8-1	0.8-1
Gelbsenf	E Jul - A Aug	0-100	„m“, „f“	25	5-55	0	25-100	15-75	15-135	0	60-92	0.8-0.9	0.8-1	0.8-1

Ergebnis der Expertenbefragung:

6b

Braunschweig-Hildesheimer Lösborde (LöB, AZ >90), Zuckerrüben- Sommer-/Wintergetreide-Fruchtfolge

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch BdGef		
Phacelia	Mitte August	40-60	„fein“	12	20-30	20-30	ca. 100	ca. 70	? ?	?	250	0.8-1.0	0.5-0.8	-	Brunotte (FAL)
Gelbsenf	Ende August	40-60	„f“-„m“	25	30-40	30-40	ca. 100	ca. 50	? ?	?	230	0.8-1.0	0.5-0.8	-	Brunotte (FAL)
Gelbsenf	Mitte August	0	„mittel“	20	?	0	ca. 100	ca. 30	? ?	?	?	1.0	0.95	1.0	Flake (L.w. Aisfeld)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch BdGef	
Gelbsenf	M-E Aug	40-100	„m“-„f“	25	25-60	0	65-100	60-95	65-140	0	65-92	0.8-1	0.9-1	0.8-1
Phacelia	M-E Aug	0-60	„fein“	12	12-45	0	70-100	65-95	40-115	0	104-109	0.9-1	0.8-1	0.8-1
Sonnenblume	M-E Aug	0-60	„fein“	30	15-45	0	70-100	70-95	45-115	0	58	0.9-1	0.8-1	0.8-1

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag		Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons BdSch BdGef								
	Saat-termin (kg/ha)	Saat-menge (kg/ha)	Saat-termin	Saat-menge (kg/ha)	Deckfrucht (%)	N-Dg. (ZF) kg N/ha	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)			N-Aufnahme (kg N/ha)	H. Fj.						
WWg + GK + WK	MI	F(f)	normal	hoch	schw.	F(sp)	6-10	0-60	94-100	20-50	10-20	70-100	85-100	65-145	50-60	0.8-1	0.8-0.9	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

6c

Braunschweig-Hildesheimer Lößbörde (Löß, AZ >90), Zuckerrüben- Sommer-/Wintergetreide-Fruchtfolge

Stoppe/saat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saattmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		BdSch	BdGef		Unkrt
Gelbsenf	Ende August	20	„m“ - „g“	normal	ca. 25	0	ca. 100	ca. 80	?	?	?	0.9	0.75	0.8	Möller (S.U.)

DSS-Ergebnis:

Stoppe/saat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saattmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		BdSch	BdGef	Unkrt
Gelbsenf	M-E Aug	20-100	„m“, „f“	25	25-60	0	65-100	60-95	65-140	0	65-92	0.9-1	0.8-1	1
Phacelia	M-E Aug	0-60	„fein“	12	12-45	0	70-100	65-95	40-115	0	104-109	0.8-1	0.8-1	1
Sonnenblume	M-E Aug	0-60	„fein“	30	15-45	0	70-100	70-95	45-115	0	58	0.8-1	0.8-1	0.9-1

Untersaat	Deckfrucht-Management Konk.-fähigkeit	Saattermin	Saattmenge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha	Konk.-fähigkeit	Untersaat-Management		Ertrag Deckfrucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:						
						Saattermin	Saattmenge (kg/ha)		Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)	BdSch	BdGef	Unkrt			
WWg + GK + WK	MI	F(f)	normal	Hoch	schw.	F(sp)	6-10	0-60	94-100	20-50	10-20	70-100	85-100	65-145	50-60	0.8-0.9	1	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

6d Braunschweig-Hildesheimer Lösßböde (Loß, AZ >90), Zuckerrüben- Sommer-/Wintergetreide-Fruchtfolge

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saattmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		N2Fix	OSAAnr		BdGef
Ackerbohne	Ende Juli	0	„mittel“	20	?	0	ca. 95	ca. 50	?	?	?	1.0	1.0	1.0	Flake (L.w. Alsfeld)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saattmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		N2Fix	OSAAnr	BdGef
Perserklee	M Aug	0	„fein“	20	10-25	0	50-80	45-75	35-90	0	123	0.8	0.9	0.9
Alexandrinerklee	M Aug	0	„fein“	35	10-25	0	50-80	45-75	35-90	0	101	0.8	0.9	0.9
Erdklee	M Aug	0	„fein“	30	7-20	0	40-70	40-70	30-75	0	167	0.8	0.8	0.8
Serradella	M Aug	0	„fein“	40	7-20	0	45-70	40-70	30-75	0	111	0.8	0.9	0.9
Sommerwicke	M Aug	0	„m“-„f“	160	10-25	1-2	50-80	50-90	35-90	5-10	504-527	0.8	0.8	0.9
Winterwicke	M Aug	0	„m“-„f“	100	10-25	7-20	45-80	60-100	35-90	35-75	320-342	0.8	1	1
Ackerbohne	M Aug	0	„m“-„f“	220	12-35	0	55-90	55-85	45-115	0	147-170	0.9	0.8	0.8
Felderbse	M Aug	0	„m“-„f“	200	12-35	1-3	55-85	60-95	45-110	5-12	135-157	0.9	0.8	0.8
Platterbse	M Aug	0	„m“-„f“	150	10-35	0	55-85	50-80	40-110	0	473-496	0.9	0.9	1
Wickroggen	M Aug	0	„m“-„f“	130	15-40	15-25	60-100	75-100	55-130	55-105	223-246	0.8	0.9	0.9
Ackerbohne+FE+SWi	M Aug	0	„m“-„f“	180	12-35	0	95-100	95-100	45-115	0	222-244	0.9	0.8	1
Ackerbohne+Erbse	M Aug	0	„m“-„f“	160	12-35	0	95-100	95-100	45-115	0	110-133	0.9	0.8	1
Ackerbohne+SWicke	M Aug	0	„m“-„f“	160	12-35	0	95-100	95-100	45-115	0	258-280	0.9	0.8	1
Felderbse+SWicke	M Aug	0	„m“-„f“	170	15-40	0	95-100	95-100	50-125	0	227-250	1	0.8	1

Untersaat	Deckfrucht-Management Konk.-fähigkeit	Saat-termin	Management Saattmenge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha	Untersaat-Management Konk.-fähigkeit	Saat-termin	Management Saattmenge (kg/ha)	N-Dg. (ZF) kg N/ha	Ertrag Deckfrucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		N-Aufnahme (kg N/ha)	Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:			
										Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)			Frühjahr	Herbst	N2Fix	OSAAnr
Weißklee	Ml	F(f)	normal	hoch	s.s.w.	F(f-sp)	4-12	0-40	95-100	10-35	7-20	50-85	60-100	30-50	0.8-1	1	1
Erdklee	Ml	F(f)	normal	hoch	schw.	F(m)	5	20	98-100	10-25	0	50-80	45-75	40-90	0.8	0.9	0.9
Serradella	Ml	F(f)	normal	hoch	s.s.w.	F(f-sp)	6-20	0-40	97-100	7-35	0	45-85	40-80	30-110	0.8-1	0.9-1	0.9-1
WWg+Weißklee	Ml	F(f)	normal	hoch	schw.	F(sp)	8	0	94-98	15-40	7-15	60-100	70-100	55-120	0.8	1	1
DWg+Weißklee	Ml	F(f)	normal	hoch	schw.	F(f-m)	8	0	96-100	15-35	10-25	60-95	70-100	55-120	0.8	1	1
WWg + GK + WK	Ml	F(f)	normal	hoch	schw.	F(sp)	10	0	94-98	20-45	10-15	70-100	90-100	70-140	0.8	1	1
Gelbk.+Weißklee	Ml	F(f)	normal	hoch	s.s.w.	F(f-m)	8-16	0-20	98-100	10-30	5-10	45-90	55-100	40-100	0.8-0.9	1	1
Gelbklee	Ml	F(f)	normal	hoch	s.s.w.	F(f-m)	8-16	0-20	95-100	10-30	7-20	50-80	60-100	40-95	0.8-0.9	1	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

7a Oldenburg, Emsland, Schleswig-Holstein (Sand, AZ 40), 7a Mais-Fruchtfolge, VF: Wintergerste

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellver-fahren	Saat-menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	Futter	
EWg + WWg	Mitte/E Juli	100	„fein“	normal	30-35	?	ca. 100	ca. 100	?	?	?	1.0	1.0	Lütke Entrup
Ewg	Mitte/E Juli	100	„fein“	normal	30-35	?	ca. 100	ca. 100	?	?	?	1.0	1.0	Lütke Entrup
WWg	Mitte/E Juli	100	„fein“	normal	30-35	?	ca. 100	ca. 100	?	?	?	1.0	1.0	Lütke Entrup
Winterraps	Anfang August	80	„fein“	normal	35-40	-	ca. 100	ca. 50	?	?	?	1.0	1.0	Lütke Entrup
Stoppelrüben	A Jul - A Aug	80	„fein“	normal	bis 75	-	ca. 100	-	?	?	?	1.0	1.0	Lütke Entrup

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellver-fahren	Saat-menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	Futter
Einj. Weidelgras	A-E Jul	20-100	„fein“	40	25-55	1-3	75-100	35-60	80-175	5-15	111-116	0.8-1	0.8-0.9
W. Weidelgras	A Jul - A Aug	0-100	„fein“	40	15-60	20-45	65-100	90-100	75-190	65-160	109-114	0.8-1	0.8-1
Winterraps	A Jul - A Aug	60-80	„fein“	12	25-40	7-25	65-85	60-95	85-125	40-85	63-67	0.8-0.9	0.8-0.9
Stoppelrüben	A-M Jul	20-80	„fein“	2	20-50	10-20	60-95	55-100	60-125	25-60	60	0.8-1	0.8-0.9
WWg+ Sonnenblume	A-M Jul	40-100	„fein“	40	25-45	2-3	75-100	40-55	95-145	7-12	87-92	0.9-1	0.8-0.9
EWg + Perserklee	A Jul - A Aug	0-100	„fein“	30	20-50	0	75-100	30-50	75-150	0	115-124	0.8-1	0.8-1
EWg(WWg)+Alexklee	A-E Jul	20-60	„fein“	35	20-45	1-4	75-100	45-65	75-135	5-15	104	0.8-1	0.8-0.9
LandsbergerGemeige	A Jul - A Aug	0-80	„fein“	70	20-45	25-40	70-100	95-100	65-140	85-130	250-259	0.8-1	0.8-1
WRaps+FE+SWincke	A Jul - A Aug	0-80	„m“, „f“	92	20-60	0	ca. 100	45-55	75-165	0	175-202	0.8-1	0.8-1

Untersaat	Deckfrucht-Management Konk.-fähigkeit		N-Dg. (DF) kg N/ha	Untersaat-Management Konk.-fähigkeit		N-Dg. (ZF) kg N/ha	Ertrag Deckfrucht (%)		Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:			
	termin	menge (kg/ha)		termin	menge (kg/ha)		Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		N-Aufnahme (kg N/ha)	Fj.	NKons	Futter
Knaulgras	H(sp)	normal	hoch	F(sp)	4	60-100	ca. 100	ca. 100	25-50	20-40	80-100	105-170	ca. 70	0.9-1	0.8-0.9
DWg+Weißklee	H(sp)	normal	hoch	F(sp)	5	0-80	ca. 100	ca. 100	25-65	20-45	80-100	85-175	55-60	0.8-1	0.8-1

Ergebnis der Expertenbefragung:

7b

Oldenburg, Emsland, Schleswig-Holstein (Sand, AZ 40), Mais-Fruchtfolge, VF: Winterweizen

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	Futter	
Winterraps	Anfang August	80	„fein“	normal	35-40	-	ca. 100	ca. 50	? ?	? ?	?	1.0	1.0	Lütke Entrup
Stoppelrüben	Anfang August	80	„fein“	normal	bis 75	-	ca. 100	-	? ?	? ?	?	1.0	1.0	Lütke Entrup

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	Futter
W. Weidelgras	A Aug	40-80	„fein“	40	15-40	25-45	65-100	90-100	75-145	95-150	109-114	0.8-1	0.8-0.9
Winterraps	A Aug	80	„fein“	12	25-40	20-25	65-85	80-95	85-120	70-85	67	0.8	0.8
EWg + Perserklee	A Aug	0-80	„fein“	30	20-50	0	75-100	30-50	75-145	0	115-124	0.8-1	0.8-0.9
LandsbergerGemeinge	A Aug	0-60	„fein“	70	20-40	25-45	70-100	95-100	65-130	85-135	250	0.8-1	0.8-0.9
WRaps+FE+SWicke	A Aug	20-40	„m“-„f“	92	20-55	0	ca.100	45-55	75-155	0	175-197	0.8-0.9	0.8

Ergebnis der Expertenbefragung:

7c

Oldenburg, Emsland, Schleswig-Holstein (Sand, AZ 40), Mais-Fruchtfolge, VF: Winterroggen

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	Futter	
Winterraps	Ende August	60	„fein“	10	25 (-30)	(25)	> 80	40	?	?	?	0.9	0.5	Sandbrink (LWK WE)
Winterrüben	Ende August	60	„fein“	10	25 (-30)	25	> 80	40	?	?	?	0.95	0.5	Sandbrink (LWK WE)
Grünroggen	Ende August	60	„fein“	normal	25 (-30)	(25)	> 80	40	?	?	?	0.6	0.5	Sandbrink (LWK WE)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	Futter
Winterraps	E Aug	20-40	„fein“	12	10-30	12-30	33-70	55-90	40-95	55-100	63	0.8-0.9	0.8
Winterrüben	E Aug	0	„fein“	12	7-20	10-25	30-65	45-80	25-65	35-70	58	0.8	0.4
Grünroggen	E Aug - M Sep	0-40	„fein“	200	7-25	20-45	35-75	60-100	35-95	65-135	179-184	0.8-1	0.8-1

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag Deckfrucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons	Futter			
	Saat-termin	Saat-menge (kg/ha)	Saat-termin	Saat-menge (kg/ha)		Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)				N-Aufnahme (kg N/ha)	H.	Fj.
Dt.Weidelgras	H(sp)	normal	hoch	hoch	93-94	15-35	60-95	75-100	65-135	55-70	14	0.8	0.8
Knautgras	H(sp)	normal	hoch	hoch	94-95	15-40	65-100	80-100	70-145	60-70	14-18	0.8-0.9	0.8-0.9
DWg+Weißklee	H(sp)	normal	hoch	hoch	ca.96	20-60	75-100	95-100	75-170	ca.60	11-15	0.8-1	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

8a

Schwäbisch-Fränkische Alb, Eifel, Sauerland, Oberbayern (Lehm, AZ 65), organische Fruchtfolge mit Kartoffeln #1, VF: Winterroggen

Untersaat in Winterroggen

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag Deckfrucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)				Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
	Saat-termin (kg/ha)	Saat-menge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha	Konk.-fähigkeit		Saat-termin (kg/ha)	Saat-menge (kg/ha)	N-Dg. (ZF) kg N/ha	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)		N2Fix
WWg +EWg +RK	H	norm.	gering	s.stark	ca. 100	?	?	?	?	?	?	?	?	Sandbrink (LWK WE)

DSS-Ergebnis:**Stoppelsaat**

Petersklee Alexandrinerklee	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellver-fahren	Saat-menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)		Zielerfüllung für Anbauziel:	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	N2Fix	Futter
	M Aug	0	"fein"	20	5-20	0	30-75	10-30	20-75	0	123	0.8	0.8	1
	M Aug	0	"fein"	35	5-20	0	30-75	10-30	20-75	0	101	0.8	0.8	1

Untersaat

Weißklee Weißklee Serradella Gelbk.+Weißklee Gelbklee	Deckfrucht-Management		N-Dg. (DF) kg N/ha	Untersaat-Management		Ertrag Deckfrucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)				Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:					
	Saat-termin (kg/ha)	Saat-menge (kg/ha)		Konk.-fähigkeit	Saat-termin (kg/ha)		Saat-menge (kg/ha)	N-Dg. (ZF) kg N/ha	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)	NKons	Futter	Unkrt		
	H(f)	normal	gering	s.sw.	F(sp)	4-6	0	10-35	10-30	50-85	65-100	35-115	30-50	11-16	0.9-1	0.9-1	1
	H(f)	normal	gering	s.sw.	F(sp)	6	0	12-35	12-30	55-90	70-100	45-115	35-50	16	1	1	1
	H(f)	normal	gering	s.sw.	F(sp)	6-10	0	12-40	0	55-90	20-40	45-125	12-20	10-14	1	1	1
	H(f)	normal	gering	s.sw.	F(sp)	5-8	0	7-30	5-15	40-90	40-90	30-100	25-55	15-22	0.8-0.9	0.8-0.9	1
	H(f)	normal	gering	s.sw.	F(sp)	5-8	0	7-30	10-30	45-85	60-100	35-105	30-50	14-20	0.8-1	0.9-1	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

8b

Schwäbisch-Fränkische Alb, Eifel, Sauerland, Oberbayern (Lehm, AZ 65), organische Fruchtfolge mit Kartoffeln #2, VF: Winterroggen

Untersaat in Winterroggen

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag Deck- frucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver- fahrens- kosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle						
	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha	Saat- menge (kg/ha)		N-Dg. (ZF) kg N/ha	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)		N2Fix	BdSch	BdGef			
Rotklee	schw. H	norm. gering	gering	F(s)	normal	0	ca. 100	20-30	10-15	80-100	ca. 100	?	?	0.8-1	1.0	1.0	Lütke Entrup

DSS-Ergebnis:**Stoppelsaat**

Felderbse+SWicke	Saattermin	N- Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)	Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)		Zielerfüllung für Anbauziel:		
								Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	N2Fix
	M Aug	0	„m“- f“	170	7-35	0	30-115	0	227-250	0.8	1	0.8

Untersaat

Serradella	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag Deck- frucht (%)	Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver- fahrens- kosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:				
	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (DF) kg N/ha	Saat- menge (kg/ha)		N-Dg. (ZF) kg N/ha	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)	NKons	BdSch	BdGef
	schw. H(f)	normal gering	gering	F(sp)	6-10	0	55-90	20-40	45-125	12-20	1	0.9	0.8-0.9

Ergebnis der Expertenbefragung:

9a

Soester Börde, Kraichgau, Niederbayern (Löb, AZ >90), Zuckerrüben-Ackerbohnen-Fruchtfolge, VF: Winterweizen

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:			Quelle
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	BdGef	
Gelbsenf	Mitte August	80	„mittel“	normal	35-40	15-20	ca. 100	ca. 80	? ?	? ?	?	1.0	1.0	1.0	Lütke Entrup

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	BdGef
Gelbsenf	M-E Aug	20-100	„m“, „f“	25	30-65	0	75-100	55-80	80-150	0	65-92	0.8-1	0.9-1	0.9-1
Phacelia	M Aug	20-60	„fein“	12	25-55	0	85-100	60-75	65-130	0	109	0.8-0.9	0.9	1
Sonnenblume	M Aug	40-60	„fein“	30	25-55	0	90-100	60-75	75-130	0	58	0.8-0.9	0.9	1

Untersaat	Deckfrucht-Management			Untersaat-Management			Ertrag			Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)			Var. Ver- fahrens- kosten (€/ha)			
	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (DF)	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (ZF)	Deck- frucht (%)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)	NKons	BdSch	BdGef
Knaulgras	mittel	H(f)	normal	hoch	schw.	F(m-sp)	ca.99	20-40	70-100	85-100	80-140	65-70	14-16	0.8-0.9	0.8-0.9	1
WWg+Weißklee	mittel	H(f)	normal	hoch	s.sw.	F(sp)	ca.100	25-55	85-100	ca.100	90-160	ca.60	15	0.9	0.8-0.9	1
WWg + GK + WK	mittel	H(f)	normal	hoch	s.sw.	F(sp)	ca.100	35-60	90-100	ca.100	105-170	ca.60	13-22	0.8-1	0.9	1
DWg+Weißklee	mittel	H(f)	normal	hoch	s.sw.	H(s)+F - F(sp)	95-100	25-60	85-100	ca.100	90-170	ca.60	15-30	0.8-0.9	0.8-0.9	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

9b Soester Börde, Kraichgau, Niederbayern (Löß, AZ >90), Zuckerrüben-Wintergetreide-Fruchtfolge, VF: Wintergerste #1

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch		OSAnr
Gelbsenf	Mitte August	80	„mittel“	normal	35-40	0	ca. 100	ca. 80	? ?	? ?	?	1.0	1.0	1.0	Lütke Entrup
Gelbsenf	Ende Juli (?)	20	„m“ - „g“	normal	ca. 25	0	ca. 100	ca. 80	? ?	? ?	?	0.9	0.9	0.3	Möller (S.U.)
Örztlich	Ende Juli	20	„m“ - „g“	normal	ca. 30	0	ca. 100	ca. 100	? ?	? ?	?	0.9	0.9	0.3	Möller (S.U.)

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestellverfahren	Saatmenge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	BdSch	OSAnr
Einj./Weidelgras	M-E Jul	0-80	„fein“	40	20-55	1-2	75-100	75-100	90-180	5-7	111-116	0.8-1	0.8-1	1
W. Weidelgras	M Jul - A Aug	0-100	„fein“	40	15-60	12-25	65-100	80-100	75-190	55-105	105-114	0.9-1	0.8-1	1
Örztlich	M Jul - M Aug	20-60	„m“ _{„f“}	25	30-65	2-4	80-100	95-100	80-130	7-15	88-110	0.9-1	0.8-1	0.9-1
Gelbsenf	A-M Aug	20-60	„m“ _{„f“}	25	35-65	0	80-100	80-100	90-150	0	65-87	0.8-1	0.8-1	1
Phacelia	M Jul - M Aug	0-60	„fein“	12	25-65	0	85-100	80-100	65-145	0	104-109	0.8-1	0.9-1	1
Sonnenblume	M Jul - M Aug	0-60	„fein“	30	25-65	0	90-100	85-100	75-145	0	54-58	0.8-1	0.8-0.9	0.9-1
WWg + Sonnenblume	M Jul	40-60	„fein“	40	25-45	1-2	80-100	80-100	100-150	5-7	87	0.9	0.8-0.9	0.9-1
EWg + Perserklee	M Jul - A Aug	0-60	„fein“	30	25-55	0	80-100	80-100	85-155	0	115-120	0.9	0.8-0.9	1
EWg(WWg)+Alexklee	M-E Jul	0-40	„fein“	35	25-50	1-2	80-100	85-100	85-150	5-10	100-104	0.8-0.9	0.8-0.9	1
LandsbergerGemeinde	M-E Jul	0-40	„fein“	70	30-50	15-20	85-100	ca.100	95-145	60-75	250-255	0.9-1	0.9	1
Wickroggen	M Jul - A Aug	0-100	„m“ _{„f“}	130	30-70	20-30	90-100	ca.100	100-185	75-105	223-255	0.8-1	1	1

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag		Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)				Var. Ver-fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:			
	Konk.-fähigkeit	Saatmenge (kg/ha)	Konk.-fähigkeit	Saatmenge (kg/ha)	Deckfrucht (%)	N-Dg. (ZF) kg N/ha	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)	H. Fj.		NKons	BdSch	OSAnr	
Dt.Weidelgras	s.stark	H(f)	normal	hoch	ca.100	20-60	ca.100	7-15	70-100	85-100	65-70	16-24	0.8-1	0.9	1
W. Weidelgras	s.stark	H(f)	normal	hoch	98-99	0-100	25-60	12-25	85-100	ca.100	105-190	15-24	0.9-1	1	1
Knaulgras	s.stark	H(f)	normal	hoch	ca.100	0-80	20-45	7-20	70-100	80-100	80-155	12-24	0.8-1	0.8-1	1
Wiesenschwingel	s.stark	H(f)	normal	hoch	95-100	40	20-40	7-15	70-100	85-100	80-145	18-27	0.8	0.8-0.9	1
WWg+Weißklee	s.stark	H(f)	normal	hoch	96-100	0-60	30-70	7-15	90-100	ca.100	105-185	10-19	0.8-0.9	0.9	1
DWg+Weißklee	s.stark	H(f)	normal	hoch	ca.100	0-40	30-65	12-20	85-100	ca.100	95-175	15-20	0.8	0.9	1
WWg + GK + WK	s.stark	H(f)	normal	hoch	ca.100	0-100	35-75	7-15	95-100	ca.100	110-195	13-22	0.9-1	0.9	1

Ergebnis der Expertenbefragung:

9c

Soester Börde, Kraichgau, Niederbayern (Löß, AZ >90), Zuckerrüben-Wintergetreide-Fruchtfolge, VF: Wintergerste #2

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		Quelle	
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	OSAnr		UBLck
Phacelia	Mitte August	40	„mittel“	normal	40-60	0	ca. 100	ca. 75	?	?	?	0.95-1	1.0	0.6	LWK Westf.- Lippe
Gelbsenf	Mitte August	40	„mittel“	normal	40-60	0	ca. 100	ca. 100	?	?	?	0.95-1	1.0	0.6	LWK Westf.- Lippe

DSS-Ergebnis:

Stoppelsaat	Saattermin	N-Düngung kg N/ha	Bestell- ver- fahren	Saat- menge (kg/ha)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)		Deckungsgrad (%)		N-Aufnahme (kg N/ha)		Variable Ver- fahrenskosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel:		
					Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr		NKons	OSAnr	UBLck
Ölrettich	M Jul - A Aug	20-60	„m ⁺ „f“	25	35-65	2-3	85-100	ca.100	90-130	7-15	88-110	0.9-1	1	0.8-1
Sonnenblume	M Jul - M Aug	20-60	„fein“	30	25-55	0	90-100	85-100	75-145	0	58	0.8-0.9	1	0.8-1

Untersaat	Deckfrucht-Management		Untersaat-Management		Ertrag		Untersaat-Bestandeskennwerte (Prognose)		Var. Ver- fahrens- kosten (€/ha)	Zielerfüllung für Anbauziel: NKons OSAnr UBLck							
	Konk.- fähig keit	Saat- menge (kg/ha)	Saat- menge (kg/ha)	N-Dg. (ZF)	Deck- frucht (%)	Ob. Biomasse (dt TS/ha)	Deckungsgrad (%)	N-Aufnahme (kg N/ha)									
WWg + GK + WK	s.stark	normal	hoch	schw.	F (m-sp)	6-10	0-100	ca.100	7-15	95-100	ca.100	110-195	ca.60	13-28	0.9-1	1	1

A8 Experteninterviews - Gedächtnisprotokolle

Roth, Reinhold, Dr. (ZALF Müncheberg), 1998

Termine: 3., 18., 22.12.1998 und 14.01.1999, Müncheberg

Erfragung von Wissen zur artspezifischen Bestandesentwicklung (charakteristische Zielgrößen wie die oberirdische Biomasse), abhängig von aggregierten Einflussfaktoren Vegetationszeit, Wasser- und Nährstoffangebot.

Angaben (Erwartungswerte) über Zwischenfruchterträge im Spätherbst (Ertragspotenziale), abhängig von den Zustandsvariablen Saattermin, Stickstoff- und Wasserangebot, für verschiedene Zwischenfruchtarten. Andere Zwischenfruchtarten sollen sich qualitativ einem dieser Ansätze zuordnen lassen, so dass verschiedene Gruppen von Zwischenfrüchten mit gleichen qualitativen Eigenschaften gebildet werden konnten.

Folgende Regeln wurden für die einzelnen Artengruppen akquiriert:

- Alle Artengruppen:

„durchschnittlich werden 5-35 dt TS/ha (entsprechend 50-350 dt Frischmasse/ha) erreicht“

„Günstigste Bedingungen für das Zwischenfruchtwachstum sind ein früher Saattermin (Anfang/Mitte Juli), ein hohes Wasserangebot und hohes Stickstoffangebot (Ausnahme: Gelbsef etc., s.u.). Unter diesen Bedingungen kann eine maximale oberirdische Biomasse von ungefähr 80 dt TS/ha erreicht werden.“

„Der maximale Ertrag wird bei Stickstoffangeboten von ca. 120 kg N/ha erreicht, darüber zeigen sich keine Ertragsunterschiede mehr.“

„Ist kein Stickstoff für den Pflanzenbestand verfügbar (hypothetisches Stickstoffangebot: 0 kg N/ha), kann keine oberirdische Biomasse gebildet werden.“

- Spätsaatverträgliche Nichtleguminosen (z.B. Ölrettich):

„Unter günstigsten Bedingungen erzielt Ölrettich bei einem Saattermin Mitte Juli eine maximale oberirdische Biomasse von ungefähr 80 dt TS/ha, Mitte August noch ca. 50 dt TS/ha und Mitte September nur etwa 15 dt TS/ha.“

„Bei hohem Wasserangebot und einem Stickstoffangebot von ungefähr 80 kg N/ha werden maximal etwa 65 dt TS/ha (Saattermin Mitte Juli) erreicht, Mitte August ungefähr 40 dt TS/ha, Mitte September ca. 10-15 dt TS/ha.“

„Bei einem mittleren Wasserangebot erreicht Ölrettich maximal 55-60 dt TS/ha (Saattermin Mitte Juli), Mitte August ca. 40-45 dt TS/ha, Anfang September ca. 10-15 dt TS/ha.“

„Bei schlechtem Wasserangebot erreicht Ölrettich maximal ca. 30 dt TS/ha (Saattermin Mitte Juli), Mitte August maximal ca. 15 dt TS/ha. Mitte September ist der Aufwuchs nur marginal.“

- Nichtleguminosen mit starker Blühneigung und Ertragsdepressionen bei frühen Saatterminen (z.B. Gelbsef, Sommerraps, Sommerrüben):

„Der günstigste Saattermin für Zwischenfrüchte dieser Gruppe ist Anfang/Mitte August. Bei einem hohen Wasser- und Stickstoffangebot kann eine maximale oberirdische Biomasse von ungefähr 65 dt TS/ha erreicht werden (schnelle Begrünung und Bedeckung).“

„Mitte Juli werden nur ca. 75 % der maximalen Biomasse erreicht (Stängelbildung), Ende August noch ca. 50 dt TS/ha und Mitte September nur etwa 15 dt TS/ha.“

- Sehr spätsaatverträgliche aber relativ ertragsschwache Nichtleguminosen (Grünroggen):

„Grünroggen erreicht bei einem Saattermin Anfang September und hohem Wasserangebot maximal ca. 60 dt TS/ha, bei mittlerem Wasserangebot maximal ca. 40 dt TS/ha, bei schlechtem Wasserangebot maximal nur 25 dt TS/ha.“

„Bei früheren Saatterminen wird keine höhere Biomasse erzielt.“

- Grasarten mit hohem Wasserbedarf (z.B. Deutsches Weidelgras, Wiesenschwingel):

„Zwischenfruchtgräser können unter günstigsten Bedingungen (Saattermin Anfang Juli) eine maximale oberirdische Biomasse von ungefähr 80 dt TS/ha erreichen, Mitte August ca. 30-35 dt TS/ha (spätester sinnvoller Saattermin), Ende August ca. 10-15 dt TS/ha.“

„Bei mittlerem Wasserangebot werden maximal 60-65 dt TS/ha erreicht (Anfang Juli), bei geringem Wasserangebot nur noch maximal 20-25 dt TS/ha. Der Wasserbedarf ist im allgemeinen größer als bei Ölrettich.“

- Trockenheitstolerante Grasarten (z.B. Knaulgras, Rotschwingel):

„Trockenheitstolerante Gräser können bei geringem Wasserangebot und Saattermin Anfang Juli noch bis zu 40 dt TS/ha entwickeln.“

- Leguminosen (z.B. Ackerbohne, Gelbe Lupine):

„Unter günstigen Bedingungen (Saattermin Anfang Juli) erreichen Leguminosen eine oberirdische Biomasse von bis zu 80 dt TS/ha.“

„Im Falle einer späteren Zwischenfruchtaussaat nimmt die Leguminosenbiomasse schneller ab, als die von Gräsern oder Kreuzblütlern.“

„Der Einfluss des Stickstoffangebotes auf die oberirdische Biomasse ist gering.“

„Trockenheitstolerante Leguminosen (Gelbe Lupinen) können bei mittlerem Wasserangebot Biomassen bis ca. 50-60 dt TS/ha, bei geringem Wasserangebot max. ca. 30-35 dt TS/ha bilden.“

- Leguminosen-Nichtleguminosen-Gemenge (z.B. Klee gras):

„Die qualitative Reaktion auf die Faktoren der Bestandesentwicklung (insbesondere auf das Stickstoffangebot) liegt zwischen den Reaktionen von Gräsern und Leguminosen.“

Der Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte kann auf Wassermangelstandorten im Frühjahr kritische für die Nachfrucht sein; wichtige Zusatzabfrage für Umbruch: welche Nachfrucht (z.B. spät gesäeter Silomais, früh gesäetes Getreide: 10.3. Lößböden/20.4. Sandböden)

N-Düngung: 0-30 kg N/ha (auf gut versorgten Lößböden nichts, auf Sand klein Startgabe), bei Futternutzung ausnahmsweise max. 100 kg N/ha (Futtergräser), Düngestufen: 0-25(30)-50-100 kg N/ha; höhere Mengen nur bei extremer N-Festlegung (Stroheinarbeitung) nötig.

Pauly, Jörg, Dr. (ZALF Müncheberg), 1998

Termine: 3., 18.12.1998 und 14.01.1999, Müncheberg

Erfragung von pflanzenbaulichem Wissen und systembezogenen Informationen zum Aufbau des Entscheidungsunterstützungssystems.

Bestellverfahren (BV):

- (1) je mehr Wasser vorhanden ist, desto geringer der Einfluss des Bestellverfahrens auf das Zwischenfruchtwachstum, evtl. hierbei Einfluss der Saatmenge berücksichtigen.
- (2) bei grobem Grubberverfahren: keine großkörnige Leguminosen oder Gräser, nur feinkörnige Leguminosen und Kruziferen. Letztere universell nutzbar, auch bei Strohdüngung.
- (3) N-Angebot bei Pflugverfahren: 5-30 kg N/ha (schlechte – gute Wasserversorgung).
- (4) Stickstoffaufnahme bei feinem BV > grobem BV (Grubber); bei guten Bedingungen (Feldkapazität, Saattermin, Witterung) > schlechten Bedingungen; N-Aufnahme ca. 15-60 kg N/ha.

Deckungsgrade von Zwischenfrüchten:

- (1) Deckungsgrad steht in funktionaler Beziehung zur Zwischenfruchtbiomasse.
- (2) Funktionaler Zusammenhang sollte sich aus Literaturdaten ableiten lassen.
- (3) Aus Daten von Grünbracheansaat (Zeitreihen von Biomasse und Deckungsgrad, SODTKE 1996), die den Arten beim Zwischenfruchtanbau entsprechen, sollte sich ein funktionaler Zusammenhang auch für Zwischenfrüchte ableiten lassen.

Bachinger, Johann, Dr. (ZALF Müncheberg), 1999

Termin: 17.10.1999, Müncheberg

Erfragung von pflanzenbaulichem Wissen zum Aufbau des Entscheidungsunterstützungssystems.

Wichtige Einflussfaktoren:

- (4) Verbleibt das Stroh auf dem Acker? Stroh bringt Probleme in der Etablierung der Untersaaten.
- (5) Problem der Arbeitsspitzen: entscheidendes Kriterium für die Landwirtschaft! Bsp. Zuckerrüben-Wintergerste-Winterweizen-Fruchtfolge (Lößbörde): bei schlechter Herbstwitterung hohe Belastung nach Drillen der Wintergerste mit Winterweizenaussaat etc.
- (6) Problem Betriebsform: Viehhaltung, muss Gülle verwertet werden? Präferenz von Stoppelsaaten: Gülle muss mit wendender Bodenbearbeitung (oder Gülle-Injektion) eingearbeitet werden, bei Untersaaten Ätزشäden möglich.
- (7) Problembereich Wintergerste: frühe Aussaat, frühes Räumen; anders bei Winterweizen.
- (8) Nematodenreduzierung mit Tagetes möglich.
- (9) Für Schnittnutzung der Zwischenfrüchte mind. 15-20 dt TS/ha notwendig (bei Grasuntersaaten)
- (10) Für Untersaaten Lagergetreide kritisch. Aussaattermine Frühjahr (ökologische Landbau), Herbst (integrierter Pflanzenbau)
- (11) Zwischenfruchtarten: Grünroggen (evtl. als Wickroggen) 150 kg/ha (teuer ca. 75€/ha) nach Winterroggen, Winterraps oder Hackfrucht (Frühjahrsflugfurche im organischen Landbau); Senf, Ölrettich oder Gemenge: pfluglose Minimalbodenbearbeitung im Frühjahr möglich; Blaue Lupine + Gras (zugunsten einer Hackfrucht im Frühjahr); Landsberger Gemenge.
- (12) Verunkrautung: Quecke? Pflugfurche nötig; sonst Bodenbearbeitung mit Schälppflug + Drille oder Kreiselegge + Drille, Reifenpacker (feuchtigkeitssparend)
- (13) N-Konservierung (=Minimierung von N-Verlusten): sehr gut Grünroggen (Frühsaat Ende August, Anfang September bis Vegetationsende, bis 50 kg/ha), bindet bis Mitte/Ende März 30-40 kg N/ha (geringe Temperaturansprüche); weniger gut Kreuzblütler (binden bis 100 kg N/ha bei mineralischer Düngung), aber Etablierungsrisiko auf Sandstandorten und bei kalter Witterung; sehr schlecht: nicht winterharte Sommerzwischenfrüchte binden in milden Wintern 10-50 kg N/ha, aber Verluste durch Remineralisation der Pflanzensubstanz; günstigste Variante: Grasuntersaaten (z.B. bei Lupinen, Felderbsen): kein Verbleib auswaschungsgefährdeter Restnitratmengen!
- (14) Wichtige Anbauziele: Bodenschutz (Wind-, Wassererosion), Unkrautbekämpfung (günstig: Bodenbearbeitung, fehlt bei Untersaaten, Problem perennierender Unkräuter wie v.a. Quecke)

-
- (15) Finanzielle Förderung der Zwischenfruchtanbaus durch das KULAP (Kulturlandschaftsprogramm) in Brandenburg: Untersaaten 35 €/ha; Stoppelsaaten 60 €/ha
- (16) Herbstuntersaaten können Fußkrankheiten im Getreide bedingen. Vorauf-
lauf-Behandlung von Windhalm schwierig.
- (17) Zwischenfruchtumbruch evtl. zur Zwischenfruchtbekämpfung im Frühjahr notwendig:
mehrjährige Arten wie Sonnenblume, Kruziferen (Ölrettich, Gelbsenf)
- (18) Zielerfüllung nur auf eine Nachkommastelle genau angeben, besser verbale Umschrei-
bung wie „ungefähr 0.8“, „unter 0.5“ oder „ziemlich hoch“ verwenden.

**Lütke Entrup, N., Prof. Dr.; Gröblichhoff, F.F., Dr.
(Gesamthochschule Paderborn-Soest), 2000**

Termin: 13.03.2000, Soest

Anbauziel Bodengefüge ist nur auf Tonböden ein Problem. Wird durch übliche Bodenbearbeitung gelockert (kein ZF-Anbauverfahren nötig). Anbauziel Schadverdichtungen evtl. zusätzlich aufnehmen (Unterbodenlockerung)

Beispiele für Anbauverfahren:

Münsterland, viehhaltender Betrieb

ZF-Ertrag ca. 40 dt TS/ha + 25 % Wurzeleistung = 50 dt TS/ha Biomasse

Bei 150-180 kg Nmin (N-Angebot nach Bodenbearbeitung), ca. 30 kg N/ha andüngen
= 200 kg N/ha in Spross und Wurzeln gespeichert.

Soest

40-60 kg N/ha N-Düngung, 80-130 kg N/ha in oberirdischer Biomasse gespeichert (bei Viehhaltung 20-30 kg N/ha)

ZF-Entwicklung:

Bei ST = Mitte August, nach 2-3 Wochen (1.-10. September) > 50% Deckungsgrad

Münsterland:

Futternutzung: EWg + WWg Gemenge A Juli (nach Wintergerste), 100 kg N/ha: 40-45 dt TS/ha Ernte (Nutzung als Anweilensilage - Rundballen)

O.S.-Anreicherung/Flächenstilllegung: Untersaat DWg + WK Gemenge (schwach), Frühjahr (in Winterweizen)

Futternutzung:

Kreuzblütler (Stoppelrüben, Winterraps) auf trockeneren Standorten (hohe Sicherheit)

Gräser auf feuchteren Standorten: 30-35 dt TS/ha + 20-25 dt TS/ha Wurzelbiomasse (auch Anbauziel O.S.-Anreicherung)

Sickerwasser durch Zwischenfrucht auffangen in Soest wichtig: Befahrbarkeit im Winter/Frühjahr günstiger, z.B. für Ackerbohnen-, Hafer-Aussaat im Dezember ergibt 15 dt/ha Mehrertrag! Nematoden sind hier kein Problem.

Konservierende Bodenbearbeitung: in Soest keine Direktsaat

Adressen für Expertenbefragung:

Apel, LWK Bonn

Miltner, LWK Münster

Prof. Müller, Universität Vechta/LWK Weser-Ems

v. Borstel, LWK Hannover

Dr. Sauermann, LWK Schleswig-Holstein

A9 Ergebnisse der Expertenbefragung zur Beurteilung von DSS-Ergebnissen**Berger, Gert, Dr., ZALF Müncheberg**

31.05.00

Fallbeispiele 1a, c

Allgemeine Anmerkungen:

Es wäre wünschenswert, wenn Spannen sowohl bei den Einflussfaktoren, als auch bei den Ergebnissen dargestellt werden könnten.

Phacelia kann zeitig (Ende Juli), aber auch noch Anfang August gedillt werden.

Wenn die Trockenheit berücksichtigt wird, fallen die Zielerfüllungsgrade im Mittel deutlich schlechter aus. Das sollte dargestellt werden.

Anmerkungen zu den Zwischenfruchtanbauverfahren:

Bsp. 1a

Hier wird unterstellt, dass der Anbau gelingt! Aber in 6 von 10 Jahren ist es zu trocken.

N-Konservierung heißt N-Aufnahme + Speicherung.

Gräser (Deutsches, Einjähriges, Welsches Weidelgras) haben z.T. Probleme mit der N-Aufnahme (keine Bewertung 0.99-1). Sonnenblume und Grasgemenge N-Kons. ca. 0.7, BS ca. 0.8, O.S.-Anreicherung ca. 0.7

Bsp. 1c

Klee gras darf nicht so hoch (100 kg N/ha) gedüngt werden.

Brunotte, J., Dr., FAL Braunschweig

17.05.00

Fallbeispiele 6b, c

Allgemeine Anmerkungen zum Fallbeispiel „Hildesheimer Börde“:

Die Fruchtfolge ZR-SW (ZF)- Ha- WG ist unüblich. Üblich in der Region ist: ZR-WW-WW (ZF) oder ZR-WW-WG (ZF). Wintergerste wird Mitte Juli geerntet, bei ca. 80 dt/ha Stroh und max. 60 kg/ha N. Das Anbauziel Nematodenbekämpfung ist sehr wichtig.

Anmerkungen zu den Zwischenfruchtanbauverfahren:

Bsp. 6b/c

Die Zwischenfrüchte Weiße/Blaue/Gelbe Lupine, Rotklee-Untersaat bzw. Serradella-Untersaat sind unüblich. Üblich sind Phacelia und Gelbsenf.

Flake, M., TU Braunschweig und Landwirt, Alfeld/Leine
31.05.00

Fallbeispiele 4a

Allgemeine Anmerkungen:

Uelzen: Fruchtfolge Kart- WR- ZR- SG (ZF). SG als Braugerste

Hildesheimer Börde: Fruchtfolge ZR- WW- WW/WG (ZF). Umbruch als Winterfurche, Mulchsaat vor Zuckerrüben sehr wichtig bei hoher Rübenquote. Mulchsaat erfordert ein gutes Saatbett.

Anmerkungen zu den Zwischenfruchtanbauverfahren:

Bsp. 4a

Gelbsenf, Ölrettich, Phacelia fehlen in der Anbauempfehlung. Lupinen sind mit über 550 €/ha zu teuer.

Gröblichhoff, F.F., Dr.
Lütke Entrup, N., Prof. Dr.
 30.05.00

Fallbeispiele 9a, b

Allgemeine Anmerkungen zum Fallbeispiel „Soester Börde“:

1. die Fruchtfolgen der Soester Börde sind nicht wie angegeben. Üblich in der Region ist: ZR-WW-(WW)-WG (ZF), Im Versuchsgut haben wir die FF ZR-AB-WW(ZF)-Mais, der Grund ist unsere konsequent pfluglose Wirtschaftsweise, nur mit der Vielzahl der Sommerungen sind die Probleme mit Krankheiten und Ernteresten zu lösen. Das wird die Ursache für das Missverständnis mit der Fruchtfolge sein. Allerdings wird das in dieser Befragungsrunde viele Missverständnisse zu Folge haben.

Somit ist üblicherweise Winterweizen oder Wintergerste Vorrucht vor Zwischenfrucht. Diese werden Anfang August bzw. Mitte Juli geerntet, 60-80 dt/ha Stroh und ca. 20-30 kg/ha N werden hinterlassen.

2. Die Ernte von Ackerbohnen erfolgt nicht vor Mitte August oft erst Ende August oder Anfang September, ein ZF-Anbau ist dann kaum noch möglich.

3. Die Bodenpunkte der Soester Börde liegen zwischen 70 und 80 und nur in wenigen Fällen darüber.

Anmerkungen zu den Zwischenfruchtanbauverfahren:

Bsp. 9b

1. Fruchtfolge: ZR-WW-WG(WW) -(ZF)

2. Saattermine: o.k., außer Gelbsenf besser Mitte August.

3. N-Düngung: überall 30-60kg/ha N nach Getreide,
bei Futterbau 80-100kg/ha N.

4. Bestellverfahren/Saatmenge: +/- o.k.

5. oberirdische Biomasse:

überall viel zu hoch (50dt/ha max.)

in der Praxis Senf Phacelia Sonnenblume 30-40dt/ha,
Gräser 20-30dt/ha = 50% der angegebenen Mengen

6. Deckungsgrad: o.k.

7. Verfahrenskosten: o.k.

8. Zielerfüllung N-Kons. 0.9-1.0
BdSch. 0.9-1.0
O.S.-Anr. 0.9-1.0

Untersaaten:

1. Einj. Weidelgras ist grundsätzlich nicht für Untersaaten geeignet - weder in Getreide, noch in Mais oder Ackerbohnen: sofortige Schossneigung dadurch zu große Konkurrenz bzw. Ernteschwernis.

2. Dt. Weidelgras sollte als Untersaat mit 8-10 kg/ha gesät werden. W. Weidelgras muss später F(sp) mit ca. 10-15 kg/ha gesät werden (in Getreide, für Ackerbohnen sind Ihre Angaben richtig).

3. Die Modellerträge bewegen sich am obersten Limit, ohne starke Düngung sind diese nicht zu erreichen, auch nicht nach Ackerbohnen. In der Praxis werden 10-20 dt/ha erreicht.

4. Verfahrenskosten ca. 20-25 €/ha.

5. Zielerreichung 0.9-1.0

Hamann, M., Deutsche Saatveredelung Halle-Dörlau
26.01.01

Fallbeispiele: 3b

Allgemeine Anmerkungen zum Fallbeispiel „Magdeburger-Hallesche Börde“:
Für das Trockengebiet Magdeburger-Hallesche Börde gibt es nur begrenzte Möglichkeiten des Zwischenfruchtanbaus. Für die Bewertung der Anbauziele sollte vielleicht noch die Durchwurzelungstiefe und die unterirdische Trockenmasse sowie das C:N-Verhältnis zum Zeitpunkt des Umbruchs eine Rolle spielen.

Anmerkungen zu den Zwischenfruchtanbauverfahren:

Bsp. 3b

Es fehlen Gelbsenf und Phacelia als häufig angewandte Zwischenfrucht, evtl. Landsberger Gemenge. Ölrettich und Buchweizen o.k., Welsches und Deutsches Weidelgras nur bei Aussaat Ende Juli oder früher, Biomasse im Frühjahr 30-40 dt TS/ha (Welsches Weidelgras) bzw. 10-20 dt TS/ha (Deutsches Weidelgras). Bei Untersaatanbauverfahren in die Deckfrucht Wintergerste sollte die Saatmenge der Deckfrucht auf 50% (entsprechend 70 kg/ha, zweizeilige Drillsaat) reduziert werden.

Hoffmann, F., Dr., SLVA Rheinland-Pfalz, Oppenheim
19.05.00

Fallbeispiele 2a, b, c

Allgemeine Anmerkungen zum Fallbeispiel „Rhein Hessen“:

In Rhein Hessen wird das Thema Zwischenfruchtanbau äußerst kontrovers diskutiert und von vielen Praktikern abgelehnt. Die Hauptgründe hierfür liegen im vorherrschenden Klima (hohe Durchschnittstemperaturen von 9-10 °C, Jahresniederschläge von 500 mm), keine Viehhaltung (!) und intensive Ackernutzung mit verschiedenen Zwischenfrüchten vor, meist im Zusammenhang mit Mulchsaatenverfahren in Zuckerrüben, Teilnahme am FUL-Programm oder Anbauverfahren in Wasserschutzgebieten. (Die Tendenz im Praxis-Anbau ist allerdings steigend.)

Aus diesen Gründen habe ich mich in der Bewertung der Zwischenfruchtanbauverfahren ausschließlich auf mein Beratungsgebiet beschränkt. Für die anderen Regionen kann ich keine Aussage treffen.

Fruchtfolgen:

Die von Ihnen vorgeschlagene Fruchtfolge gibt es in Rhein Hessen bis auf wenige Ausnahmen nicht. Zur Zeit herrschen Zuckerrüben, Winterweizen und Sommergerste sowie EU-Stillegung vor: ZR- WW- SG (ZF), ZR- SG- WW (ZF) oder ZR- SG- Kart- WW- (ZF). Nmin bis 60 kg N/ha, Erntetermin SG bzw. WW: Ende Juli bis Anfang August, Umbruchtermin der Zwischenfrucht entweder November oder Januar/Februar (Frost). Alle anderen Kulturen sind von untergeordneter Bedeutung.

Anbauziele:

Eine pauschale Angabe von Anbauzielen ist schwierig, zumal beispielsweise in Wasserschutzgebieten, bei verschiedenen Fruchtfolgetypen oder bei Agrarförderprogrammen auch verschiedene Zwischenfruchtanbauverfahren zweckmäßig sind. Nematodenbekämpfung, Unterbodenlockerung, Bodenschutz sehr wichtig.

Bewertung der Anbauverfahren:

Aufgrund der beschriebenen klimatischen Verhältnisse ist eine sichere Bewertung der Zwischenfruchtanbauverfahren nicht möglich. In einem Jahr gedeihen bestimmte Zwischenfrüchte prächtig, im nächsten Jahr dagegen überhaupt nicht. Außerdem kann eine Bewertung immer nur anhand der Anbauziele erfolgen, weshalb eine einheitliche Bewertung nicht sinnvoll ist. Ebenso kann nach unseren Erfahrungen ein guter Erosionsschutz bereits mit geringen Biomassen erreicht werden.

Validierung der DSS-Ergebnisse:

Bei den aufgeführten Zwischenfrüchten fehlen: Ölrettich, Gelbsenf (beide wegen biologischer Nematodenbekämpfung) und Phacelia. Gräser, Leguminosen sowie deren Gemenge sind wegen den in der Regel frühen Saatterminen (Getreideernte) sowie der nicht vorhandenen Viehhaltung kritisch zu beurteilen.

Anmerkungen zu den Zwischenfruchtanbauverfahren:

Bsp. 2a/b/c

Buchweizen, Saattermin Mitte Juli

Leguminosen N-Düngung = 0 kg N/ha, Klee gras 20 kg N/ha

Lupine in Rhein Hessen wahrscheinlich ungeeignet aufgrund hoher Boden-pH-Werte und freiem Kalk im Boden.

Felderbse, Ackerbohne haben mit ca. 200 bzw. 155 €/ha zu hohe Saatgutkosten. Erbsen als Zwischenfrucht in Form von Ausfallerbse-Aufwuchs. Die staatliche Beratung empfiehlt keine Leguminosen als Zwischenfrucht. Untersaaten sind in Rhein Hessen kaum gebräuchlich.

Kühn, Günter, Prof. Dr., ZALF/FSL Dedelow
31.01.01

Fallbeispiele 1d

Allgemeine Anmerkungen zum Fallbeispiel „Uckermark“:

Die angegebenen Fruchtfolgen sind für die Uckermark nicht relevant, 50% der Fruchtarten werden nicht angebaut. Winterraps gehört in die Fruchtfolgen: WRa- WW (ZF)- Mais- WW/WR oder WW- WW- WG/Triticale ohne Zwischenfruchtanbau. Winterweizen wird Mitte August geerntet, Mais Mitte September. Ernterückstände ca. 50 dt TS/ha, Nmin-Gehalt 40-60 kg N/ha.

Anmerkungen zu den Zwischenfruchtanbauverfahren:

Bsp. 1d

Deutsches Weidelgras ist nach Winterweizen nicht möglich: frühestmöglicher Saattermin Mitte August!

Liebold, L., Saaten-Union, Friedrichsthal

21.08.00

Fallbeispiele 1a, c, d

Allgemeine Anmerkungen:

Auf Standorten in Brandenburg wie Müncheberg oder gar noch schlechter werden sich schon allein aus ökonomischer und auch aus wassersparender Sicht Zwischenfrüchte nicht ohne besondere Fördermittel anbauen lassen.

Anmerkungen zu den Zwischenfruchtanbauverfahren:

Bsp. 1a

Sonnenblume nicht in Raps-Fruchtfolgen: Gefahr des Sclerotinia-Befalls

Bsp. 1c

Weiße/Blaue/Gelbe Lupine, Ackerbohne, Felderbse: keine N-Düngung erforderlich.

Bsp. 1d

Winterraps, Winterrüben (wie angegeben).

Möller, K., Saaten-Union, Friedrichsthal
01.02.01

Fallbeispiele 4a, 5e, 6b/c, 9b

Allgemeine Anmerkungen:

Als N-Düngung zur Zwischenfrucht reichen mäßige Gaben (20-40 kg N/ha) völlig aus, um die Jugendentwicklung zu fördern. Diese N-Gaben dienen zur Anregung der N-Mineralisation (priming-Effekt). Da die Zwischenfrüchte über den Winter absterben, wird der konservierte Stickstoff v.a. auf Sandböden schnell wieder freigesetzt.

Anmerkungen zu den Zwischenfruchtanbauverfahren:

Bsp. 4a

Keine Leguminosen zur N-Konservierung! Die Sonnenblume kostet nur Geld: Ende Juli/Anfang August ist viel zu spät in der Aussaat.

Bsp. 5e

Weißer Bitterlupine ist mit Verfahrenskosten > 650 €/ha unrentabel. Besser wären Ölrettich oder Phacelia. Zur N-Konservierung können keine Leguminosen (Klee- oder Rotklee-Untersaat) Verwendung finden (*Welsches Weidelgras möglich?*).

Bsp. 6b/c

Bei Vorfrucht Sommerweizen (Erntetermin Mitte August) sind Zwischenfruchtanbauverfahren mit frühen Saatterminen nicht möglich. Verfahren mit Kosten > 650 €/ha (Lupine) ist zu teuer. Für Ölrettich reichen Saatmengen von 20 kg/ha.

Bsp. 9b

Deutsches Weidelgras nur bei Futternutzung. Buchweizen möglich, besser wäre Ölrettich. Wegen dem Anbauziel N-Konservierung können keine Leguminosen (Reinsaaten oder Klee-Grasgemenge) empfohlen werden.

Peyker, W., Dr., Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Wandersleben
02.02.01

Fallbeispiele 2b/c, 3b, 5a/b/c/d

Allgemeine Anmerkungen:

Ich finde es sehr begrüßenswert, ein Modell für die Anbauempfehlung von Zwischenfrüchten zu erstellen. Vielleicht wäre es überdenkenswert gewisse Restriktionen vorzuschalten, beispielsweise: Gräser nur bei Jahresniederschlägen > 600 mm/Jahr, Feinsämereien nur auf Standorten, bei denen Saatbettbereitung ohne erhebliche Aufwendungen möglich sind, „klassische“ Futterpflanzen nur verwenden, wenn Futternutzung erwünscht ist, und die Empfehlung sollte in einer Rangreihenfolge nach Zielfunktionen und Kosten erfolgen.

Anmerkungen zu den Zwischenfruchtanbauverfahren:

Bsp. 2b/c („Rheinhessen“):

Die angegebenen Zwischenfrüchte (WWg + SB, EWg + WWg, EWg, DWg) sind nicht möglich.

Gräser als Zwischenfrucht machen nur Sinn, wenn eine Futternutzung vorgesehen ist. Dabei sind nur Einjähriges Weidelgras sowie Gemische aus Einjährigem und Welschem Weidelgras von Bedeutung. Deutsches Weidelgras hat ein zu langsame Jugendentwicklung. (Bei Ansaat von Dauergrünland wird immer ein gewisser Anteil Welsches Weidelgras zur Unterdrückung der Verunkrautung empfohlen.) Unter den gegebenen Standortbedingungen beträgt die Wahrscheinlichkeit des Gelingens der Zwischenfrucht entsprechend der Gefahr von Spätsommertrockenheit maximal 50 %. Es ist also keinem Landwirtschaftsbetrieb zu empfehlen.

Weitere Probleme: die Saatbettbereitung für Feinsämereien ist sehr aufwändig, mit dem vorgeschlagenen System nicht sicher zu erreichen und nach der Saat unabdingbar. Variable Verfahrenskosten sind damit auch etwas zu optimistisch.

Bei Gelingen der vorgeschlagenen Zwischenfrüchte können Anbauziele zwar erreicht werden, es gibt jedoch erhebliche Probleme für die Nachfrucht. Das Einbringen des Gräseraufwuchses in den Boden ist nur mit erheblichen Aufwendungen möglich. Des Weiteren besteht die Gefahr, dass die Gräser in der Nachfrucht wieder austreiben und dann nur sehr schwer bekämpfbar sind. Ein gut entwickelter Grasbestand trocknet den Boden tiefgründig aus. Bei den gegebenen Niederschlagsmengen wären damit Mindererträge bei der Nachfrucht zu befürchten.

Bsp. 3b („Magdeburger-Hallesche Börde“):

Deutsches und Welsches Weidelgras (Stoppel- und Untersaat) sind nicht möglich. Die Anbauverfahren für Ölrettich sind richtig. Buchweizen erscheint fraglich.

Hier ist die Fruchtfolge ZR- SW- WG- FE(ZF) sinnvoller. Aufgrund der Niederschlagsverhältnisse mit häufiger Vorsommertrockenheit stellt die Untersaat in Sommerweizen ein hohes Risiko dar. Deutliche Ertragsverluste beim Weizen müssen in der Mehrzahl der Jahre befürchtet werden. Empfehlungen zu Gräsern siehe 2a. Buchweizen stellt vergleichsweise höhere Ansprüche an das Saatbett und hat einen höheren Wasserbedarf. Auch hier besteht ein relativ hohes Ansaatrisiko. Ölrettich stellt eine gute Zwischenfrucht für den Standort dar. Es sollte jedoch darauf geachtet werden, dass Sorten mit einer geringen Neigung zur Rettichbildung gewählt werden. Meiner Meinung nach stellt der Gelbsef die Vorzugsvariante dar. Bei umgestellter Fruchtfolge könnte der Zuckerrübenanteil problemlos im kostengünstigen Mulchsaatverfahren geschehen.

Bsp. 5a („Mittelgebirge“):

Die angegebenen Zwischenfrüchte (Klee gras DWg + WK) sind nicht möglich.

Die vorgeschlagenen Zwischenfrüchte sind normalerweise Empfehlungen für Dauergrünlandbestände. Gerade im organisch-biologischen Anbau wären frohwüchsige Kleearten wie beispielsweise Alexandrinerklee, Inkarnatklee oder Perserklee in Reinsaat günstiger zu bewerten. Die Nachfrucht Mais könnte auch hier im bodenschonenden Mulchsaatverfahren angebaut werden.

Bsp. 5b („Mittelgebirge“):

Die angegebenen Zwischenfrüchte (Gelbklee, Weißklee) sind nicht möglich.

Eine legume Untersaat in Sommergerste, die nach der Stellung in der Fruchtfolge als Braugerste genutzt werden soll, ist keinesfalls zu empfehlen. Auch bei nachfolgenden Ackerbohnen erscheint eine legume Zwischenfrucht wenig sinnvoll. Da Futternutzung vorgesehen ist, wären schnellwüchsige Weidelgräser, auch aufgrund der vorherrschenden Niederschläge eher anzuraten.

Bsp. 5c („Mittelgebirge“):

Die angegebenen Stoppelsaaten (Stoppelrüben, Winterraps) und die Untersaat Wiesenschwingel sind nicht nach Ackerbohnen möglich. Die Untersaat-Anbauverfahren für Deutsches Weidelgras bzw. Knaulgras sind richtig.

Bei den Untersaaten hat die ausdauernde Gräserart Wiesenschwingel keine Chance. Eine Untersaat gelingt nicht. Die vorgegebenen Saatmengen sind nur bei einer frühen Drillsaat (zeitgleich zur Aussaat der Ackerbohne oder kurz danach, jedoch vor Aufgang der Ackerbohne) erfolgversprechend. Dabei sind nur späte Sorten Deutsches Weidelgras bzw. Knaulgras zu verwenden. Bei späterer Einsaat der Untersaat wären 30 kg/ha Welsches Weidelgras als Breitsaat auszubringen. Die vorgegebenen Zwischenfrüchte machen nur bei Futternutzung Sinn.

Bsp. 5d („Mittelgebirge“):

Die angegebenen Zwischenfrüchte (Lupinen, Rotklee, Sonnenblume, Serradella-Untersaat) sind nicht möglich bzw. fraglich.

Zwischenfrüchte aufgrund der variablen Verfahrenskosten keinesfalls zu empfehlen. Untersaaten von Einjährigen oder Welschen Weidelgras in Winterroggen sind denkbar und evtl. auch erfolgversprechend. Kleinkörnige Leguminosen mit sehr hohen Saatgutkosten sind aufgrund des sehr hohen Risikos bei Einsaat in Winterroggen nicht zu empfehlen.

Sandbrink, K., Landwirtschaftskammer Weser-Ems, Oldenburg
17.05.00

Fallbeispiele 7a/b/c, 8a

Anmerkungen zu den Zwischenfruchtanbauverfahren:

Bsp. 7a/b/c

Deutsches Weidelgras kann weder zur N-Konservierung, noch zu Futternutzung empfohlen werden, da hier Welsches Weidelgras zu deutlich im Vorteil ist. Wiesenschwingel hat ebenfalls nur im Dauergrünlandbereich Bedeutung. Für die Futternutzung im Herbst wird vorwiegend Einjähriges Weidelgras nach Wintergerstenanbau empfohlen. Zur N-Konservierung werden v.a. in Wasserschutzgebieten vorwiegend Kreuzblütler (Gelbsenf, Raps, Ölrettich, Rübsen) eingesetzt.

Bsp. 8a

Diese Fruchtfolge kommt im Raum Weser-Ems kaum vor. Lupinen, Erbsen und Ackerbohnen haben etwas mehr Bedeutung, auch in ökologisch wirtschaftenden Betrieben.

A10 Fenster der DSS-Benutzeroberfläche

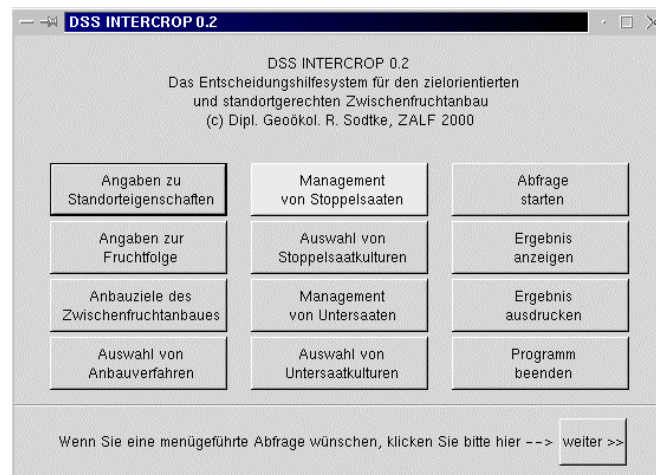


Abb. A10.1: Eingangsfenster der DSS-Benutzeroberfläche.

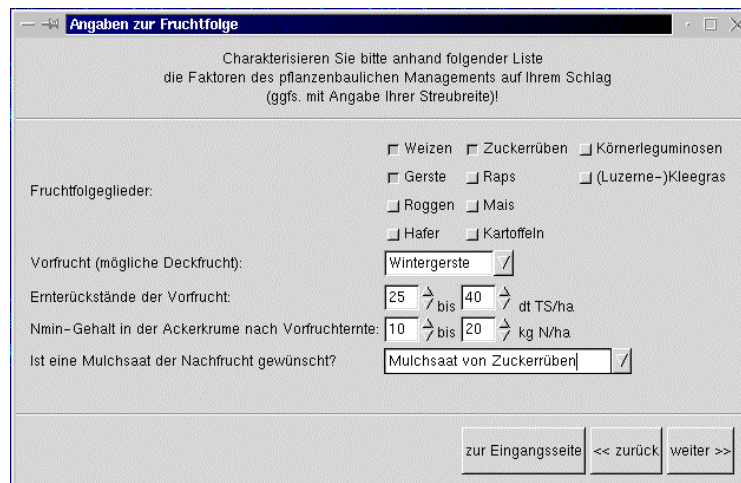


Abb. A10.2: Fenster „Angaben zur Fruchtfolge“ der DSS-Benutzeroberfläche.

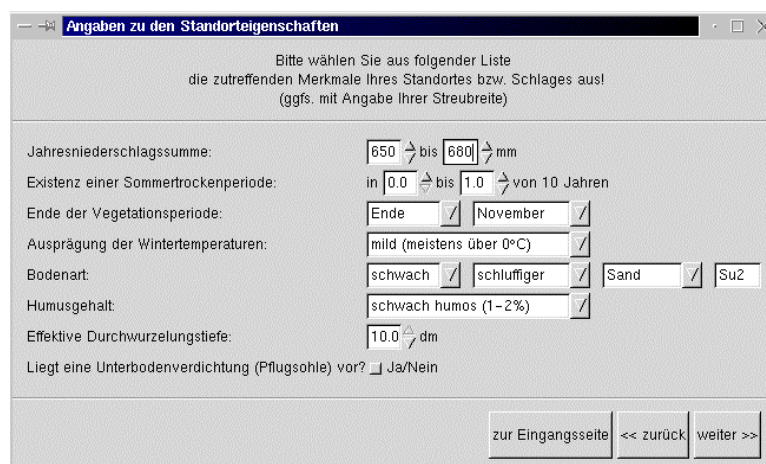


Abb. A10.3: Fenster „Angaben zu den Standortfaktoren“ der DSS-Benutzeroberfläche.

Abb. A10.4: Fenster „Einschränkung der Anbauverfahren“ der DSS-Benutzeroberfläche.

Abb. A10.5: Fenster „Pflanzenbauliche Angaben zu Stoppelsaatverfahren“ der DSS-Benutzeroberfläche.

Abb. A10.6: Fenster „Wahl der Stoppelsaatarten“ der DSS-Benutzeroberfläche.

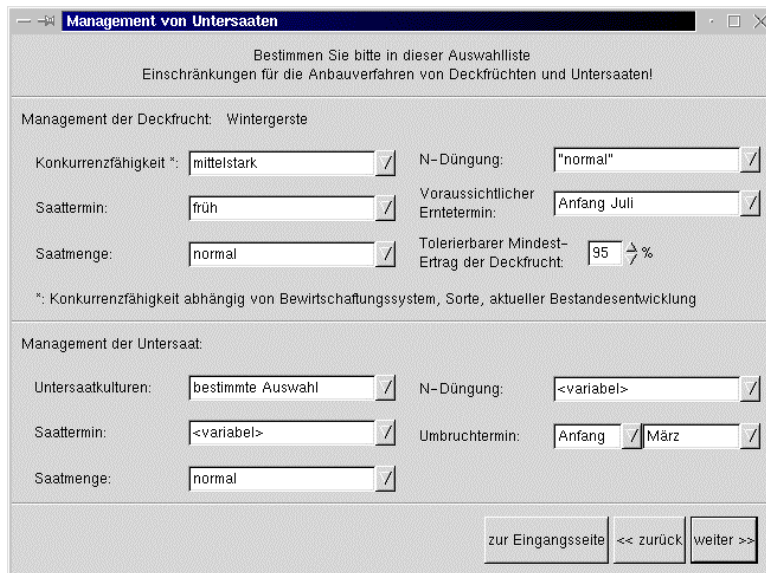


Abb. A10.7: Fenster „Pflanzenbauliche Angaben zu Untersaatverfahren“ der DSS-Benutzeroberfläche.

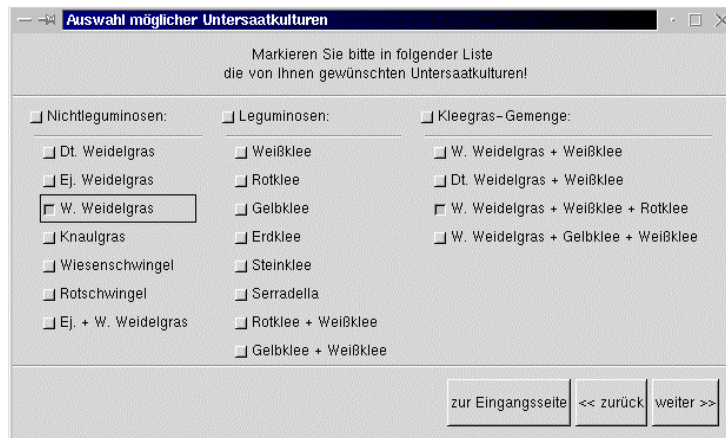


Abb. A10.8: Fenster „Wahl der Untersaatarten“ der DSS-Benutzeroberfläche.

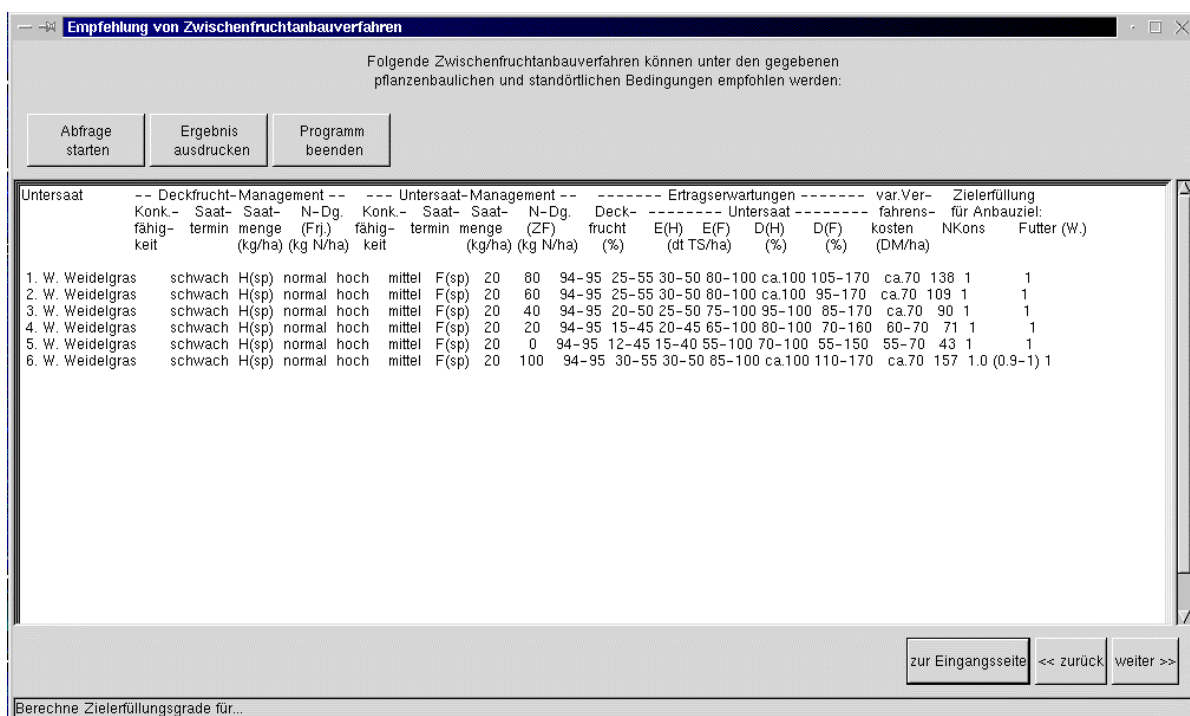


Abb. A10.9: Fenster „Ergebnisausgabe“ der DSS-Benutzeroberfläche.