

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

Dissertation

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

vorgelegt von
Sybille Brozio

Kiel, 24.November 2014

Referent:..... Professor Dr. H.-R. Bork

Koreferent:..... Professor Dr. H.-P. Piorr

Tag der mündlichen Prüfung: 17.02.2015

Zum Druck genehmigt: 17.02.2015

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit – abgesehen von der Beratung durch die Betreuer – selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt habe. Sie ist nach Inhalt und Form meine eigene Arbeit.

Die Arbeit habe ich an keiner anderen Stelle im Rahmen eines Prüfungsverfahrens vorgelegt. Sie wurde nicht veröffentlicht bzw. wurde nicht zur Veröffentlichung eingereicht.

Ich versichere, dass ich die Arbeit unter Einhaltung der Regeln guter wissenschaftlicher Praxis erarbeitet habe.

Kiel, 24.11.2014

Danksagung

Ein herzlicher Dank gilt Professor Dr. Hans-Peter Piorr an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, der mich für diese Arbeit begeistert, mir seine grundlegenden Modellideen überlassen und bei der Modellanpassung freie Hand gelassen hat.

Ich bedanke mich bei Professor Dr. Hans-Rudolf Bork für die Übernahme der Betreuung meiner Dissertation an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

Ein herzliches Dankeschön gilt meinen Kolleginnen Mirella Zeidler und Dr. Caroline Schleier für die Beratung und Hilfestellung in technischer und textlicher Form, die so zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Bei Dr. Thomas Schatz bedanke ich mich für die fachliche Beurteilung der bodenkundlichen Themenbereiche.

Frank Torkler, Susanne Büchner, Dr. Karsten Lorenz und die Kollegen der „Bioenergie-Gruppe“ an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde haben mich moralisch und fachlich unterstützt – vielen herzlichen Dank!

Ein besonderes Dankeschön möchte ich an meine Freundin Astrid Hahn richten, sowie an meine Eltern Christine und Dr. Fritz Brozio für ihre finanzielle Unterstützung und den Wettlauf um den Abschluss unserer Projekte bzw. die Veröffentlichung unserer Arbeiten.

Beim Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg und bei der PCK Raffinerie GmbH Schwedt bedanke ich mich für die langjährige finanzielle Unterstützung unserer Bioenergie-Projekte an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.

Ich möchte mich vor allem bei Prof. em. Dr. Rolf Schmidt bedanken, der mich in der Anfangsphase der Arbeit unterstützt und immer wieder ermuntert hat eine Dissertation zu verfassen. Leider ist er 2011 verstorben. Im Gedenken an ihn, möchte ich ihm diese Arbeit widmen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
1.1 Landwirtschaftliche Biomasse und Bioenergie: Definition	1
1.2 Theoretische Grundlagen von Potenzialanalysen	3
1.3 Literaturübersicht zu Biomasse-Potenzialanalysen	4
1.3.1 Globale Biomasse-Abschätzungen.....	4
1.3.2 EU- bis deutschlandweite Abschätzungen	5
1.3.3 Regionale und lokale Potenzialstudien.....	10
1.4 Ertragsmodellierung der landwirtschaftlichen Produktion	11
1.5 Anforderungen an eine standortbezogene Potenzialanalyse der landwirtschaftlichen Biomasse	12
1.6 Ziele und Hypothesen	14
2. Material und Methoden	15
2.1 Verwendete Modelle und Programme	15
2.2 Ertragsmodellierung landwirtschaftlicher Biomasse mittels BYM.....	15
2.2.1 Ertragsermittlung	16
2.2.2 Ermittlung von standortangepassten Fruchtfolgen	18
2.2.3 Verbrauchsermittlung Nahrungs- und Futtermittel, Einstreu, Humusbilanz	21
2.2.3.1 Regionaler Verbrauch für Nahrung, Futter und Saatgut	21
2.2.3.2 Regionaler Futter- und Einstreubedarf	21
2.2.3.3 Bilanzierung des verfügbaren Stroh und Humusbilanzierung	23
2.2.4 Umrechnung der Biomasse in nutzbare Energiemengen.....	27
2.3 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage	31
2.3.1 Landnutzung: Ackerfläche	32
2.3.2 Niederschlag	33
2.3.3 Ertragsfähigkeit der Böden	36
2.3.3.1 Bodenschätzung.....	36
2.3.3.2 Digitale nationale Bodendaten	39
2.3.3.3 Länderspezifische Bodendaten	42
2.3.3.4 Europäische Bodendaten	42
2.3.4 Übersicht der Datengrundlage.....	43
3. Ergebnisse	46
3.1 Erstellung der Datengrundlagen in unterschiedlichen Skalen	46
3.1.1 Landnutzungsdaten: Datenbasis und deren Vergleich.....	46
3.1.2 Niederschlag: Datenbasis und deren Vergleich	49
3.1.3 Ertragsfähigkeit des Bodens: Datenbasis und deren Vergleich	52
3.1.3.1 Vergleich DIBOS und GEMDAT	52
3.1.3.2 GEMDAT und DIBOS im Vergleich mit BÜK300 Ertragsklassen.....	53
3.1.3.3 Vergleich digitaler, regionaler und nationaler Bodendaten	55
3.1.3.4 Vergleich länderspezifischer Bodenschätzungsdaten.....	58
3.1.3.5 Europäische Bodendaten im Vergleich	58
3.2 Generierung einer europäischen Bodenzahl	59
3.2.1 Ableitung der Bodenart	60
3.2.1.1 Brandenburg: Ableitung der Bodenart aus BÜK300	62
3.2.1.2 Deutschland: Ableitung der Bodenart aus BÜK1000	64
3.2.1.3 Europa: Ableitung der Bodenart aus europäischen Bodendaten	66
3.2.2 Ableitung der Entstehung	68
3.2.3 Ableitung der Zustandsstufe	70

3.2.3.1	Brandenburg und Deutschland: Ableitung der Zustandsstufe aus BÜK300 und BÜK1000	71
3.2.3.2	Europa: Ableitung der Zustandsstufe aus europäischen Bodendaten	72
3.2.3.3	Vergleich der ermittelten Zustandsstufen	73
3.2.4	Ableitung der Bodenzahl	74
3.2.4.1	Ableitung eines Korrekturfaktors Klima, Relief, geographische Breite	74
3.2.5	Validierung der Bodenzahlen	78
3.2.5.1	Brandenburg: Validierung der modellierten Bodenzahl aus der BÜK300	78
3.2.5.2	Deutschland: Validierung der modellierten Bodenzahl aus der BÜK1000	83
3.2.5.3	Europa: Validierung der modellierten Bodenzahl aus den europäische Bodendaten..	85
3.2.6	Zusammenfassung: Datengrundlage Ertragsfähigkeit der Böden	89
3.3	Die Modellierungsgrundlagen im Überblick	91
3.4	Validierung und Anpassungen des Biomasse-Ertragsmodells	94
3.4.1	Anbauregionen: Modellanpassungen für die nationale und europäische Skala	94
3.4.1.1	Datenbasis zur Ableitung der Anbauregionen	96
3.4.1.2	Statistische Analysen zur Ableitung der Anbauregionen	97
3.4.1.3	Ableitung der Anbauregionen	97
3.4.2	Bewirtschaftungsintensität und Fruchtfolgen	100
3.4.2.1	Fruchtfolgen in Brandenburg	101
3.4.2.2	Definition und Bewertung der Fruchtfolgen in Deutschland und Europa	102
3.4.3	Ertragsberechnung Fruchtarten	104
3.4.3.1	Ertragsvalidierung	104
3.4.3.2	Anpassung der Ertragsfunktionen	106
3.5	Bioenergiepotenziale	110
3.5.1	Ermittlung der Verbrauchsdaten	111
3.5.1.1	Bedarfsanalyse nach Pro-Kopf-Verbrauch (Szenario a + b)	111
3.5.1.2	Bedarfsanalyse nach Produktionsschwerpunkten (Szenario c + d)	112
3.5.1.3	Bewertung der Bedarfsszenarien	114
3.5.1.4	Regionaler Futterbedarf	114
3.5.1.5	Einstreu und Gülle	118
3.5.1.6	Handelsbilanz in Europa	118
3.5.2	Szenario 1: Referenz-Potenziale für Biokraftstoffe in Europa	119
3.5.2.1	Landwirtschaftliche Nutzung in Europa	120
3.5.2.2	Ertragssteigerung ausgewählter Fruchtarten in Europa	123
3.5.2.3	Biokraftstoff-Potenziale in Europa	124
3.5.3	Szenario 1: Referenz-Szenario für Biogaspotenziale in Europa	127
3.5.4	Szenario 2: Standort-Szenarien	129
3.5.4.1	Jährlich nutzbare Trockenmasse	130
3.5.4.2	Standort-Szenario: Biokraftstoff-Potenziale	134
3.5.4.3	Standort-Szenario: Biogas-Potenzial	141
3.5.4.4	Standort-Szenario: Landwirtschaftliche pflanzliche Reststoffe	146
4.	Diskussion	153
4.1	Überblick der Bioenergie-Szenarien und –potenziale	153
4.2	Modell-Inputdaten	157
4.2.1	Landnutzungsdaten	157
4.2.2	Niederschlagsdaten	158
4.2.3	Bodendaten	158
4.3	Biomasse-Ertragsmodell	160
4.3.1	Fruchtfolgen	161

4.3.2	Ertragsberechnungen	162
4.3.3	Erträge der Nebenprodukte	163
4.4	Potenzialstudien	163
4.4.1	Bewirtschaftungsintensität	163
4.4.2	Verbrauchsszenarien	164
4.4.3	Theoretische Biomasse	166
4.4.4	Bioenergie-Potenziale.....	166
4.4.4.1	Biokraftstoff-Potenziale.....	167
4.4.4.2	Biogas aus Gülle und Ganzpflanzensilagen.....	168
4.4.4.3	Bioenergie aus Stroh	169
4.5	Weiterer Forschungsbedarf	170
5.	Zusammenfassung.....	172
6.	Summary	173
	Literaturverzeichnis	175
	Verzeichnis verwendeter Geodaten und deren Dokumentationen	187
	Abkürzungsverzeichnis	190
	Umrechnungsfaktoren und Bioenergie-Kennzahlen	191
	Abbildungsverzeichnis	192
	Tabellenverzeichnis	197
	Anhang	202

1. Einführung

Politische Zielsetzungen auf nationaler und internationaler Ebene streben an, den Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung deutlich zu erhöhen. Die Europäische Union (EU) hat das Ziel ausgegeben, den Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch auf 20 % im Jahr 2020 zu steigern (EUROPÄISCHES PARLAMENT 2009). Die Nutzung von Biomasse als Energieträger wird durch diese politischen Vorgaben gefördert, die mit dem CO₂-Einsparpotenzial bei energetischer Verwertung pflanzlicher Ressourcen begründet werden. Jeder Mitgliedstaat wurde beauftragt seinen Anteil an erneuerbaren Energien zu erhöhen und die Energieeffizienz um 20 % bis 2020 zu erhöhen. Im Verkehrssektor wurde das Mindestziel eines 10 %-igen Anteils von Biokraftstoffen am Benzin- und Dieselkraftstoffverbrauch bis 2020 verankert (RAT DER EUROPÄISCHEN UNION 2007, EUROPÄISCHES PARLAMENT 2009)

Doch nicht nur die politischen Ziele des Klimaschutzes, auch die Endlichkeit fossiler Brennstoffe drängen zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien. Damit stellen sich folgende Fragen: Können fossile Energieträger, welche in 100 bis 150 Jahren knapp werden (BGR 2009), durch neue Verfahren der Energiegewinnung ersetzt werden? Welchen Anteil kann die Energiebereitstellung aus der Land- und Forstwirtschaft einnehmen, ohne Nahrungs- und Futtermittelproduktion oder den nachhaltigen Umgang mit den natürlichen Ressourcen zu gefährden?

In der Landwirtschaft werden hauptsächlich Nahrungs- und Futtermittel produziert. Die Erzeugung von Biomasse zur stofflichen und energetischen Verwertung erlangt zusätzlich zu den konventionellen Nutzungszweigen der landwirtschaftlichen Produkte zunehmend an Bedeutung. Die vorliegende Arbeit fokussiert auf die regionale Analyse erzeugbarer landwirtschaftlicher Biomasse. Ziel ist die Entwicklung eines Tools, mit dem die standortbedingten Einflüsse auf die pflanzlichen Ertragsleistungen innerhalb der verschiedenen landwirtschaftlichen Nutzungssysteme abgebildet werden können. Auf dieser Grundlage wäre eine Abschätzung der standörtlichen Potenziale für die energetische Nutzung von Biomasse im klein- und großräumigen Maßstab möglich. Die Notwendigkeit derartiger Untersuchungen liegt darin,

- Planungssicherheit für Investitionen und landwirtschaftliche Betriebe zu schaffen,
- Grundlagen für die Entscheidungsträger über Förderinstrumente für erneuerbare Energien zu schaffen und
- Klimabilanzmodelle mit standort- und regionalbezogenen CO₂-Effizienzstrategien unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien rechnen zu können.

Im Vergleich zu bisherigen Studien stehen nicht ökonomische Untersuchungen im Vordergrund, sondern es wird das Standortpotenzial landwirtschaftlicher Feldfrüchte modelliert. Von der verfügbaren Biomasse ausgehend kann in ökonomischen Szenarien die Wirtschaftlichkeit der pflanzlichen Ressourcen für eine energetische Nutzung abgeleitet werden.

1.1 Landwirtschaftliche Biomasse und Bioenergie: Definition

Die vorliegende Arbeit umfasst die Analyse landwirtschaftlicher Biomasse, welche jährlich auf Ackerflächen produziert werden kann. Sowohl die Feldfrüchte (z.B. Roggen, Mais, Raps) als auch deren Nebenprodukte (Stroh, Rübenblatt etc.) bilden die Basis für die Erzeugung von Bioenergie in fester, gasförmiger oder flüssiger Form, um daraus Wärme, Strom oder Treibstoff zu produzieren. Auch organische Reststoffe aus der Viehhaltung wie Gülle und Mist werden betrachtet (Abb. 1).

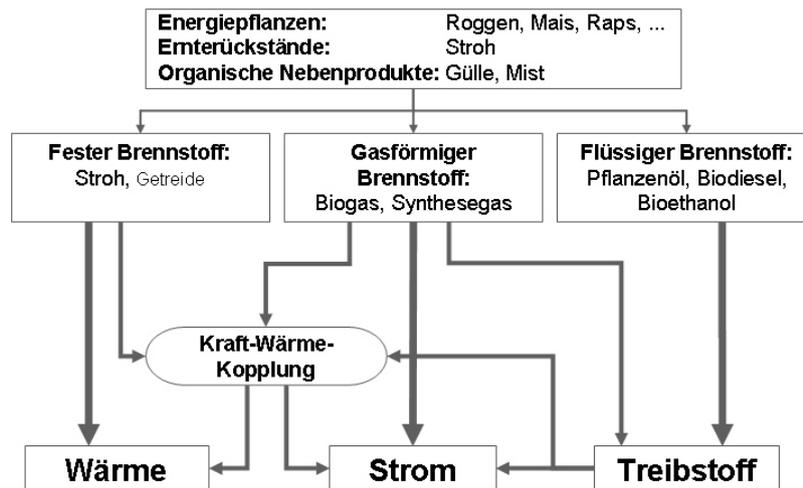


Abb. 1: Biomasse und daraus erzeugbare Bioenergie in der Landwirtschaft (MÜLLER 2006, verändert).

Als Bioenergie wird die energetische Nutzung von Biomasse bezeichnet, sie wird nach ihren Inputstoffen und Aggregatzuständen in mehrere Produktlinien untergliedert:

- Der effektivste Weg ist die direkte **Verbrennung** von Biomasse und die Nutzung von Wärme, da wenig Prozessenergie verloren geht. Doch gibt es Probleme bei der Verbrennung nichtholzartiger Biomasse hinsichtlich der Reinheit (erhöhte Emission, hohe Asche- und Chlorgehalte (OBERNBERGER 2012) und ethische Bedenken bei der Verwendung von Getreidekorn (Tank-Teller-Diskussion: KRIENER 2007, berlinpolis 2008, DIE GRÜNEN 2008, PIORR 2010).
- **Biogas ist das Produkt aus der** Umwandlung von Biomasse durch Fermentation in ein methanhaltiges Gas. Das Gas kann in Blockheizkraftwerken (BHKW) verstromt werden, die dabei anfallende Wärme kann durch Kraft-Wärme-Kopplung genutzt werden. Das Gas kann auch direkt ins Gasnetz eingespeist und zum Verbraucher transportiert werden, eine Nutzung als Treibstoff ist ebenfalls möglich (FNR 2012).
- **Biokraftstoffe** werden in die sogenannte erste, zweite und dritte Generation eingeteilt: Zur ersten Generation gehören Pflanzenöle, Biodiesel und Ethanol, die aus kleinen Pflanzenteilen hergestellt werden (BMZ 2011).
 - Ölhaltige Biomasse bildet die Grundlage für die Erzeugung von Pflanzenöl und in einem weiteren Schritt dessen Umesterung zu Biodiesel.
 - Die Ethanolherzeugung basiert in Europa vor allem auf der Verarbeitung zuckerhaltiger (Zuckerrübe) oder stärkehaltiger Biomasse (Getreidekorn). (KALTSCHMITT et al. 2009)

Unter Biokraftstoffen der zweiten Generation wird die Umwandlung zellulose- oder ligninhaltiger Biomasse (u.a. Getreidestroh, Holz) in synthetischen Kraftstoff sowie aufbereitetes Biogas bezeichnet. Es bestehen geringe qualitative Anforderungen an die verwendete Biomasse bis auf einen hohen Trockenmassegehalt (FNR 2012). Inzwischen werden Biokraftstoffe der 3. Generation diskutiert und deren Herstellung getestet. In der Pilotphase befindet sich so die Synthese von Wasserstoff z.B. aus überschüssiger Windenergie (DIWALD 2010). Auch Biokraftstoffe aus Algen werden der 3. Generation der Biokraftstoffe zugeordnet (BMZ 2011).

In der Praxis kommen in erster Linie landwirtschaftliche Hauptfrüchte als Energieträger zum Einsatz. So wird der Silomais neben der konventionellen Nutzung zur Versorgung der Viehbestände als Ferment in Biogasanlagen verwendet, Winterraps zur Biodieselherstellung oder die Stärke des Getreidekorns bzw. der Zucker in Zuckerrüben als Grundstoff zur Produktion von Bioethanol genutzt. Es kann durch die zunehmende Nutzung der Haupternteprodukte zur Bioenergieerzeugung eine Konkurrenz zu konventionellen Verarbeitungszweigen, wie Nahrungs- und Futtermittelindustrie entstehen, was sich in der Debatte über „Tank oder Teller“ (KRIENER 2007, berlinpolis 2008, DIE

GRÜNEN 2008, PIORR 2010) äußerte. Spezielle Züchtungen von Energiepflanzen-Arten (Sorghum, Miscanthus, etc.) konnten sich bisher nicht gegen konventionelle landwirtschaftliche Feldfrüchte durchsetzen, was sich in der Entwicklung der Anbauflächen potenzieller Biogas-Inputstoffe, den Pflanzen zur Grünernte, in Deutschland zeigt (Abb. 2).

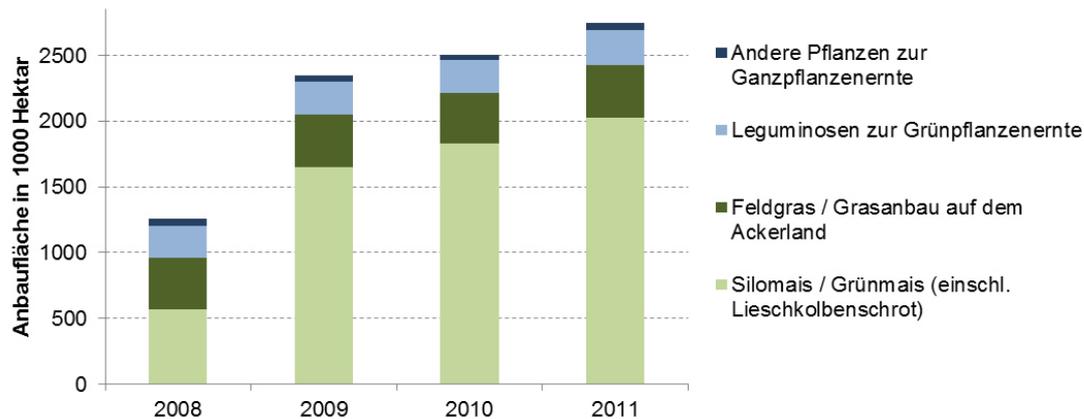


Abb. 2: Anbauflächen von Pflanzen zur Grünernte 2008 bis 2011 in Deutschland (nach DESTATIS 2012).

Eher geht der Trend zurzeit dahin, etablierte Feldfrüchte züchterisch zu speziellen Sorten (Energiemais) weiter zu entwickeln. Um der Flächenkonkurrenz entgegenzuwirken, wird die Nutzung landwirtschaftlicher Restprodukte zur Bioenergieerzeugung als Lösung angesehen (u.a. EDWARDS et al. 2006, SCHÜTTE 2012). Eine Potenzialanalyse landwirtschaftlicher Biomasse sollte daher eine Berechnung der landwirtschaftlichen Nebenprodukte integrieren. Doch auch hierfür müssen Bedarfsanalysen erfolgen, da die Erträge der Reststoffe an das Ertragsniveau der Kulturpflanze gekoppelt sind (Korn-Stroh-Verhältnisse, u.a. in KTBL 2005) bzw. durch deren energetische Nutzung der Entzug an Biomasse erhöht und damit die landwirtschaftliche Kreislaufwirtschaft beeinträchtigt wird.

1.2 Theoretische Grundlagen von Potenzialanalysen

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Entwicklung eines GIS-basierten Modells zur Analyse verfügbarer Biomasse aus der Landwirtschaft. Derartige Potenzialanalysen umfassen die Untersuchung der Verfügbarkeit agrarischer Rohstoffe und ihrer Koppelprodukte, die hinsichtlich ihrer räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit sowie ihrer stofflichen Zusammensetzung stark variieren können. Im Vordergrund der vorliegenden Arbeit steht die Frage, wie viel Biomasse aus einer Region zur Erzeugung von Bioenergie jährlich zur Verfügung gestellt werden kann. Dabei werden die Grundsätze der Nachhaltigkeit wie der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und der Fruchtfolgegestaltung in die Betrachtung einbezogen.

Begriffsdefinition Potenzial

„Das *theoretische Potenzial* beschreibt das in einer gegebenen Region theoretisch innerhalb eines bestimmten Zeitraumes physikalisch nutzbare Biomasseangebot (z.B. die in der gesamten Pflanzenmasse gespeicherte Energie). Es wird allein durch die gegebenen physikalischen Nutzungsgrenzen bestimmt und markiert damit die Obergrenze des theoretisch realisierbaren Beitrages zur Biomassebereitstellung. Wegen unüberwindbarer technischer, ökologischer, struktureller und administrativer Schranken kann das theoretische Potenzial meist nur anteilig erschlossen werden. Das theoretische Biomassepotenzial bildet die Grundlage des technischen Potenzials.“ (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001).

„Das *technische Potenzial* beschreibt den Teil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen nutzbar ist. Zusätzlich dazu werden die

gegebenen strukturellen und ökologischen Begrenzungen sowie gesetzliche Vorgaben berücksichtigt, da sie letztlich auch - ähnlich den technisch bedingten Eingrenzungen - "unüberwindbar" sind. Es beschreibt damit den zeit- und ortsabhängigen, primär aus technischer Sicht möglichen Beitrag einer regenerativen Energie zur Deckung der Energienachfrage..." (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001).

Nach Kaltschmitt & Hartmann (2001) beinhaltet das technische Potenzial auch die Restriktionen, dass der Bedarf für die menschliche und tierische Ernährung sowie für die Humusreproduktion gedeckt sein muss. GRUNDMANN (2008) unterscheidet zwischen dem eigentlichen technischen und dem *ökologischen* Potenzial (Abb. 3). Dabei schränkt das ökologische Potenzial das technische Potenzial durch bestimmte Standorteigenschaften, klimatische Szenarien oder auch naturschutzfachliche Gegebenheiten ein.

„Das *wirtschaftlich erschließbare Potenzial* beschreibt den ebenfalls zeit- und ortsabhängigen Anteil des technischen Potenzials, der im jeweils betrachteten Nutzungssystem wirtschaftlich erschlossen werden kann. Da es sehr unterschiedliche Möglichkeiten gibt, die Wirtschaftlichkeit einer Option zur Deckung der Energienachfrage zu bestimmen, existieren immer eine Vielzahl unterschiedlichster wirtschaftlicher Potenziale. Zusätzlich kommen noch sich häufig ändernde wirtschaftliche Randbedingungen hinzu (z. B. Ölpreisänderung, Veränderung des steuerlichen Abschreibungsmöglichkeiten, Energie- oder Ökosteuer). ...“ (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001). Dieses Potenzial kann durch politische Maßnahmen (z. B. Förderprogramme) die Potenziale positiv oder negativ beeinflussen.

Das *nachhaltig verfügbare Potenzial* entspricht der langfristig in der Region aktivierbaren Biomasse unter Berücksichtigung aller vorgenannten ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Restriktionen.

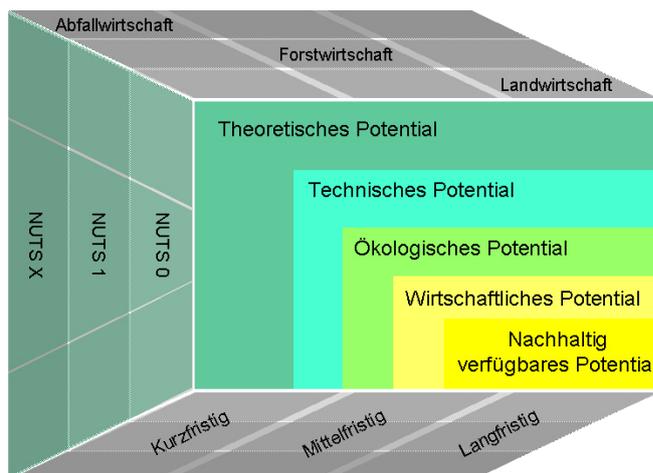


Abb. 3: Räumliche, zeitliche und thematische Ebenen der Potenzialanalysen (GRUNDMANN 2008).

1.3 Literaturübersicht zu Biomasse-Potenzialanalysen

Die Recherche hinsichtlich der Abschätzung von Biomasseaufkommen ergab eine Vielzahl von Hinweisen auf Potenzialstudien zum Thema Bioenergie in Bundesländern, Landkreisen oder Gemeinden. Im Folgenden wird ein Überblick über wichtige Studien, deren Ergebnisse sowie Datengrundlagen und Bezugsräume gegeben.

1.3.1 Globale Biomasse-Abschätzungen

YAMAMOTO et al. (2001) betrachtete als einer der Ersten die Nahrungsmittelproduktion hinsichtlich ihres Potenzials zur Bioenergiebereitstellung im globalen Maßstab. Dabei wurden statistische Daten von 1961-1990 analysiert und ein linearer Trend bis 2050 und 2100 berechnet. Anhand von Prognosen der Bevölkerungsentwicklung wurde der Bedarf an Nahrungsmitteln den prognostizierten

Erntemengen gegenübergestellt und für 11 Regionen (z.B. Westeuropa) Biomassepotenziale ausgewiesen.

KIM & DALE (2004) erarbeiteten eine globale Potenzialstudie zur Bioethanolproduktion auf der Basis von landwirtschaftlichen Reststoffen und Koppelprodukten. Für Europa wird ein Bioethanolpotenzial von 69,2 GL (Giga-Liter) angegeben.

Für 2050 ermittelten SMEETS et al. (2007) in einer globalen Studie mögliche Bioenergie-Potenziale. Über einen bottom-up Ansatz werden Bevölkerungsentwicklung, Pro-Kopf-Verbrauch und die Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion modelliert. Aus Statistiken und Literaturangaben werden Trendanalysen durchgeführt. Die Ertragsabschätzung von Energiefrüchten erfolgte anhand eines einfachen Pflanzenwachstumsmodells. Die räumliche Genauigkeit ist begrenzt auf nationale und kontinentale Aussagen.

Der Wissenschaftsrat der Bundesregierung zu globalen Umweltveränderungen (WBGU 2009) publizierte Modelldaten des Biomassepotenzials anhand von räumlich differenzierten Daten in einem Raster von $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Sie beruht auf dem Modell „LPJmL“ und ermittelt die Nettoprimärproduktion in 12 Gruppen von Feldfrüchten. Es werden zwei Bewässerungsszenarien und vier Landnutzungsszenarien unterschieden und Potenziale für die Jahre 2000 und 2050 ausgewiesen. Zur Biomasse-Potenzialberechnung wurde das IMAGE-Modell von LEEMANS & VAN DEN BORN (1994) integriert, welches ein einfaches Photosynthesemodell darstellt. Es modelliert mittlere Wachstumsraten während der Vegetationsperiode basierend auf der Formel:

$$B_y = H_i (B_g - R)$$

B_g ist die gesamte Biomasseproduktion ($t\ ha^{-1}\ TM$), R ist der Verlust an Biomasse durch Respiration ($t\ ha^{-1}\ TM$) und H_i beinhaltet einen Ernteindex, welcher die Biomasseproduktion in einen ökonomisch nutzbaren Ertrag umwandelt ($t\ ha^{-1}\ TM$). Die landwirtschaftlichen Feldfrüchte werden in Fruchtartgruppen aggregiert. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Erfassung holzartiger Biomasse.

1.3.2 EU- bis deutschlandweite Abschätzungen

KALTSCHMITT & HARTMANN (2003) haben aus statistischen Daten technische Potenziale für Deutschland und die EU15-Staaten abgeleitet. Die Biomassepotenziale liegen im Jahr 2000 / 2001 für Deutschland bei insgesamt $887\ PJ\ a^{-1}$, für EU15 bei $5224\ PJ\ a^{-1}$. Sie differenzieren die Potenziale nach holzartiger Biomasse, landwirtschaftlichen Nebenprodukten, Reststoffen und Energiepflanzen. Es wurde ein Vergleich zu Brasilien und Indien gezogen aber auch eine globale Abschätzung vorgenommen. Das Flächenpotenzial für Energiepflanzenanbau in Deutschland wurde auf 2 Mio. ha geschätzt. Dieser Flächenbedarf ging auch in die Potenzialstudien des ÖKO-INSTITUTS (2004) ein.

Das ÖKO-INSTITUT (2004) ermittelte deutschlandweit Potenziale für vier Szenarien: Referenz, Umwelt, Biomasse, Nachhaltigkeit. Die Analysen umfassten dabei Rest- und Durchforstungsholz, landwirtschaftliche Reststoffe (Stroh, Gülle, Ernterückstände), Reststoffe aus der Abfallwirtschaft und Energiepflanzen (Kurzumtriebsholz, Pflanzenöl, Getreide, Gräser etc.) und zeigten die Entwicklung des Primärenergiebedarfs von 2010, 2020 und 2030 und deren Bereitstellungskosten, Beschäftigungseffekte und Umweltwirkungen (Klimagas) auf. Das Gesamtpotenzial für 2030 der energetisch nutzbaren Biomasse-Reststoffe liegt in dieser Studie zwischen 545 PJ (Umwelt-Szenario) und 658 PJ (Biomasse-Szenario) pro Jahr. Direkt aus der Landwirtschaft (Stroh, Biogas aus Gülle, Festmist, Ernterückständen und Grünschnitt) kommen 165 bis 203 $PJ\ a^{-1}$. Im Referenz-Szenario 2020 wird in dieser Studie von einem Flächenpotenzial von 2,03 Mio. ha für energetische Zwecke ausgegangen, was den Angaben von KALTSCHMITT & HARTMANN (2003) entspricht. Das Anbaupotenzial von Energiepflanzen steigt 2030 auf 2,61 Mio. ha im Referenz-Szenario, die Spanne wird von 2,47 Mio. ha (Umwelt-Szenario) bis 3,94 Mio. ha (Biomasse-Szenario) angegeben (ÖKO-INSTITUT 2004).

THRÄN et al. (2005) betrachtete die EU28-Staaten, für welche länderspezifisch die Potenziale der Energiepflanzen, Reststoffe bzw. Rückstände anhand von Agrarstatistiken und Szenariorechnungen unter Berücksichtigung der Marktsituationen und agrarpolitischen Richtlinien analysiert werden. „Die Biomassepotenziale für das Basisjahr 2000 umfassen 620 bis 1360 PJ a⁻¹ für Deutschland und 4090 - 6850 PJ a⁻¹ für die EU15.“... „Vergleicht man schließlich die europaweit gesteckten Ziele mit der Ende 2002 erreichten Biomassenutzung von ca. 2200 PJ a⁻¹ in den EU15, so resultiert daraus die Forderung einer 2,5-fachen Erhöhung zur Erreichung der für das Jahr 2010 im Weißbuch definierten Ziele von 5626 PJ a⁻¹, was einer jährlichen Zunahme von 12,5 % entspricht.“ Die Ergebnisse der Stoffstromanalyse von ÖKO-INSTITUT (2004) stimmen mit den hier ermittelten Potenzialen für Deutschland überein.

Eine Biogas-Potenzialanalyse auf Bundeslandebene von HOFMANN (2006) beruht auf einer statistischen Analyse von möglichen Biogasfermenten von SCHATTAUER & WILFERT (2004) und weist ein technisches Biogas-Potenzial für Deutschland von insgesamt 200 PJ aus.

ERICSSON & NILSSON (2006) führten für 15 EU-Länder eine detaillierte Abschätzung der Potenziale durch. Fünf Szenarien in drei Zeitspannen (kurz-, mittel-, langfristig) wurden betreffend landwirtschaftlicher Restprodukte, Energiefrüchte und überschüssigen Ackerlandes modelliert. Die Ergebnisse zeigen, dass unter bestimmten Beschränkungen der nutzbaren Ackerfläche, die mögliche nutzbare Bioenergie bis 11,7 EJ a⁻¹ in der EU15 und 5,5 EJ a⁻¹ in den osteuropäischen Ländern (ACC10 = Bulgarien, Tschechische Republik, Ungarn, Polen, Rumänien, Slowakische Republik, Estland, Lettland, Litauen) beträgt. So wurde eingeschätzt, dass das Biomasseziel von 5,6 EJ a⁻¹ in der EU15 bis zum Jahr 2010 basierend auf erneuerbare Energieträger (EUROPÄISCHEN KOMMISSION 1997) zu erreichen ist.

In den Studien der Europäischen Umweltagentur (EEA 2007) wird davon ausgegangen, dass ab 2020 in Deutschland auf der ackerbaulich genutzten Fläche keine Fläche für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung steht. Es wird vor allem in der Nutzung von Grünland eine Chance für die Bioenergieproduktion gesehen. Das Modell HEKTOR dient dabei der Darstellung der zeitlich dynamischen Biomassepotenziale aus der Landwirtschaft auf regionaler Ebene (SIMON 2007).

EDWARDS et al. (2006) betrachteten mittels eines GIS-basierten Ansatzes die Potenziale von Getreidestroh als Bioenergiequelle in den EU27-Mitgliedsstaaten. Die EUROSTAT (Statistikportal der Europäischen Gemeinschaft)-Ertragsdaten von Getreidekorn mit einer räumlichen Differenzierung auf NUTS2-Ebene (NUTS = National Units) wurden durch das Korn-Strohverhältnis in potenzielle Strohmenge umgerechnet. Den räumlichen Bezug bilden die Landnutzungsdaten von CORINE Landcover 2000 (EEA-ETC/TE 2002) bzw. die statistischen Daten: Die Erträge aus den Statistikdaten werden auf die Ackerflächen dieser Landnutzungsdaten übertragen.

WEISER et al. (2011) berücksichtigt bei der Analyse von Getreidestrohpotenzialen in Deutschland zusätzlich verschiedene Humusbilanzmodelle. Basierend auf Agrarstatistiken 1999, 2003 und 2007 werden pro Landkreis die Erträge gemittelt und über Korn-Stroh-Indizes das Aufkommen von Getreidestroh ermittelt. Anhand Einstreubedarf und Humusbilanzierung nach dem Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten VDLUFA unteren und oberen Werten (VDLUFA 2004) sowie der dynamische Humuseinheitenmethode (dyn. HE) nach HÜLSBERGEN (2003) werden Strohpotenziale ermittelt. Das Potenzial liegt in Deutschland zwischen 7 und 13 Mio. t Getreidestroh, was einem theoretischen Energiepotenzial von 100-189 PJ entspricht (WEISER et al. 2011).

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über eine Reihe von Publikationen zu Potenzialabschätzungen von Bioenergieressourcen und deren Berechnungsgrundlagen.

Tabelle 1: Potenzialbestimmung Bioenergie global, in Europa und Deutschland (eigene Zusammenstellung).

Potenziale Bioenergie	Literatur				
	YAMAMOTO et al. 2001	KALTSCHMITT 2003	NIKOLAOU et al. 2003	KIM & DALE 2004	ÖKO-INSTITUT 2004
Landwirtschaftliche Biomassearten	Nahrungsmittelproduktion, Biomasserückstände	Nebenprodukte, Rückstände und Energiepflanzen	Koppelprodukte und tierische, Nebenprodukte	Rückstände, Nachwachsende Rohstoff	Reststoffe (Stroh, Gülle, Ernterückstände) Energiepflanzen
Ertragsabschätzung: Modell / Datengrundlage	Referenzstatistiken 1961-1990		EUROSTAT	FAOSTAT (1997-2001)	nationale Statistiken, HEKTOR
Potenzialebene und Thematik	Bedarfsanalysen	technisches Potenzial	technisches Potenzial, Kostenanalysen	Bioethanol	
Szenarien	linearer Trend bis 2100				Referenz, Umwelt, Biomasse, Nachhaltigkeit
Zeitraum	1961-1990, 2050 / 2100		2000		2010, 2020, 2030
Bezugsraum	global	EU15	Europa	global	Deutschland
Kleinste räumliche Einheit	11 Regionen (Teile von Kontinenten)	Land	Land	Land / Kontinent	Land
landwirtschaftliches Biomassepotenzial Deutschland [PJ pro Jahr]	keine Differenzierung für Deutschland	887 PJ Technisches Brennstoffpotenzial Stroh: 9 Mio. t = 127 PJ	241,5 PJ		<u>2030</u> Umwelt: 165 PJ Biomasse: 203 PJ Technisches Brennstoffpotenzial Stroh: 3,5-4 Mio. t = 49-56 PJ

Potenziale Bioenergie	Literatur					
	THRÄN 2005	HOFMANN 2006	ERICSSON & NILSSON 2006	EDWARDS et al. 2006	EEA 2007	SIMON 2007
Landwirtschaftliche Biomassearten	Energiepflanzen, Reststoffe, Rückstände	tierische Exkremente, Ernterückstände, Futterreste, nachwachsende Rohstoffe	Rückstände, Energiefrüchte	Getreidestroh		Nebenprodukte, Rückstände und Energiepflanzen
Ertragsabschätzung: Modell / Datengrundlage	Nach ÖKO-INSTITUT 2004		FAOSTAT	EUROSTAT	CAPSIM / HEKTOR	HEKTOR
Potenzialebene und Thematik		technisches Biogas-Potenzial	technisches Potenzial	ökonomisches Potenzial	technisches Potenzial	Schwerpunkt: nachhaltige Flächenpotenziale
Szenarien			unterschiedliche Anbauflächen, Zeit + Ertragsniveau (gering / hoch)		Referenz, Umwelt,	REF: Referenz, NH: Nachhaltigkeit, NHSV: Reduzierte Exporte
Zeitraum			Sz. 1: kurzfristig, Sz. 2: medium, Sz. 3: langfristig	2003	2010, 2020, 2030	2000 - 2030
Bezugsraum	EU28	Deutschland	EU15	EU27	EU25	Deutschland, Polen, Tschechien, Ungarn
Kleinste räumliche Einheit	Land	Bundesland	Land	National Units Level 2, 5x5km	Land	Land
landwirtschaftliches Biomassepotenzial Deutschland [PJ pro Jahr]	<u>2000</u> 620-1.360 PJ	Biogas aus der Landwirtschaft = 200 PJ	Stroh + Maisreste: 110-170 PJ Energiefrüchte: Sz.1: 240 PJ Sz. 2b: 760 PJ Sz. 3: 0 PJ	nicht separat ausgewiesen	0 ha -> 0 PJ	<u>2010</u> REF: 598 PJ NH: 597 PJ NHSV: 644 PJ <u>2030</u> REF: 774 PJ NH: 685 PJ NHSV: 790 PJ

Potenziale Bioenergie	Literatur				
	SMEETS et al. 2007	KREWITT et. al. 2008	WBGU 2009	WEISER et al. 2011	PANOUTSOU ET AL. 2012
Landwirtschaftliche Biomassearten	Energiefrüchte, landwirtschaftliche Reststoffe	landwirtschaftliche Reststoffe, Energiepflanzen	Nettoprimärproduktion 12 Gruppen von Feldfrüchten	Getreidestroh (ohne Körnermais)	Stroh von: Getreide, Reis, Körnermais, Sonnenblume, Raps
Ertragsabschätzung: Modell / Datengrundlage	Quickscan / Ertrag: IMAGE	Marktanalysen	LPJmL	Agrarstatistik: Mittelwert aus 1999, 2003, 2007	Statistik
Potenzialebene und Thematik	technisches Potenzial	umsetzbares Potenzial		technisches, ökologisches Potenzial	technisches, ökonomisches Potenzial
Szenarien	Bewirtschaftungsintensitäten, Ertragsniveaus	Potenzieller prozentualer Anteil am Bedarf	2 Bewässerungsszenarien, 4 Landnutzungsszenarien	Humusbilanzmethoden: Sz1: untere Werte Sz2: obere Werte nach VDLUFA (2004) Sz3: dyn. HE nach HÜLSBERGER (2003)	CAPRI 2000
Zeitraum	2050	2004, 2030, 2050	2000, 2050	1999, 2003, 2007	2004, 2020, 2030
Bezugsraum	global	global	global	Deutschland	EU 27
Kleinste räumliche Einheit	Land / Kontinente	Land	Raster 0,5° x 0,5°	Landkreis	Land (NUTS 2)
landwirtschaftliches Biomassepotenzial Deutschland [PJ pro Jahr]	nicht separat ausgewiesen	<u>2030</u> Strom: 5-10% Wärme: 10-15% Kraftstoff: 20-25% <u>2050</u> Strom: 5-10% Wärme: 15-20% Kraftstoff: 25-30%	nicht separat ausgewiesen	Getreidestroh (ohne Körnermais): Szenario 1: 186 PJ Szenario 2: 143 PJ Szenario 3: 100 PJ	Szenario 2004: 5125 kTOE 2020 8883 kTOE 2030: 7496 kTOE

Diese Studien zur Ermittlung von Biomassepotenzialen gehen zumeist von durchschnittlich erzielten Erträgen aus, errechnet aus Agrarstatistiken. Es werden teilweise Trends zur Ertragssteigerung abgeleitet und zur Projektion der landwirtschaftlichen Erträge in die Zukunft genutzt. Sie berücksichtigen in den meisten Fällen keinen direkten Standortbezug und klimatische oder bodenspezifische Einflüsse auf den Ertrag werden oft ignoriert und mittlere Erträge verwendet, wie auch SMEETS et al. (2007) festgestellt hat. Die kleinste räumliche Einheit entspricht höchstens denjenigen der amtlichen Statistiken; in den Veröffentlichungen werden Zusammenfassungen für nationale oder internationale Potenziale angegeben. Erst in neueren Studien wird eine stärkere regionale Differenzierungen angestrebt (EDWARDS et al. 2006, WGBU 2009).

Thematisch umfassen die analysierten Biomasse-Studien aus dem landwirtschaftlichen Bereich vor allem die Erfassung von Bioenergie aus Energiepflanzen (Mais, Raps, Sorghum, Miscanthus und Sonnenblumen) (ÖKO-INSTITUT 2004, SIMON 2007). Zunehmend werden Bioenergiepotenziale aus landwirtschaftlichen Nebenprodukten ermittelt (WEISER 2011, PANOUTSOU et al 2012).

Nachhaltigkeitskriterien werden in den europäischen oder nationalen Studien dahingehend berücksichtigt, dass die Umsetzung von europäischen Richtlinien fortgeschrieben wird. Vom zurzeit genutzten Ackerland sollen bis 2030 3 % als Naturschutzflächen ausgewiesen und der ökologische Anbau auf 20 bis 30 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche ausgedehnt werden - als Produzent von biogenen Energieträgern soll er ausgeschlossen werden (ÖKO-INSTITUT 2004, THRÄN 2005).

Standortspezifische Studien beruhen vor allem auf der Ableitung von Biomassepotenzialen anhand von Satellitendaten (SMEETS et al. 2007, WBGU 2009). Damit können große Regionen erfasst werden, allerdings ist die Aussage dieser Studien an den Aufnahmezeitpunkt und die Qualität der Satellitendaten geknüpft.

Neben der Erfassung der Biomassen an sich wird in den Studien das Flächenpotenzial für die Erzeugung von Bioenergie angegeben. Die Ergebnisse weichen allerdings stark voneinander ab: Nach einer Zusammenstellung der Flächenpotenziale von PIORR (2010) stehen für die Bioenergienutzung in Europa 20 Mio. bis maximal 142 Mio. ha zur Verfügung, was auch je nach betrachteter Zeitspanne und Szenario stark schwankt.

Tabelle 2: Flächenpotenzial des Anbaus von Energiepflanzen in Europa (nach PIORR 2010).

Autoren	Flächenpotenzial für Bioenergieerzeugung	Bezugsjahre und Restriktionen
YAMAMOTO et al. (2001)	EU15 (Westeuropa): 30 Mio. ha	Zusätzliches Ackerland durch Umwandlung von Brachflächen und degradierten Flächen
WBGU (2003)	Gesamteuropa: 22 Mio. ha	Ökologische Leitplanke: 10 % des Ackerlandes 10 % des Weidelandes
EEA (2006)	EU25: 95,8 Mio. ha EU25: 142 Mio. ha	2020 2030
THRÄN et al. (2005)	EU25: 59 Mio. ha EU28: 66 Mio. ha	2020 2020
EEA (2007)	EU25: 20 Mio. ha	2030

1.3.3 Regionale und lokale Potenzialstudien

Auf regionaler und lokaler Ebene wurden in vielen Regionen Deutschlands Potenzialanalysen durchgeführt, um Aussagen zu Entwicklungsmöglichkeiten von erneuerbaren Energien aufzuzeigen und Biomasse-Anbaustrategien zu entwerfen (LANDESINITIATIVE ZUKUNFTSENERGIE NRW 2002, MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORST MECKLENBURG-VORPOMMERN 2001, INSTITUT FÜR ZUKUNFTSENERGIESYSTEME (IZES) 2002, IFAS 2004, SMUL 2007). Im Bundesland Brandenburg wurde 2002 eine erste Studie für die Landkreise Barnim und Uckermark im „Regionalatlas Erneuerbare Energien“ (AUTORENKOLLEKTIV 2002) veröffentlicht. Hier wurde eine erste

standortspezifische Abschätzung hinsichtlich einer regionalen Bioenergie-Potenzialanalyse durch PIORR et al. dargestellt. Im gleichen Jahr veröffentlichten SCHMITZ et al. (2002) für den Landkreis Steinfurt das Potenzial zum Einsatz heimischer Nachwachsender Rohstoffe mit dem Schwerpunkt Holz. Das Interesse der Kommunen wuchs mit dem vermehrten Ausbau der Erneuerbaren Energien und verknüpft sich mit der Fragestellung, wie viel Bioenergie in der Region nachhaltig erzeugt werden kann. Zumeist geben die regionalen Studien einen Überblick zur Erschließung erneuerbarer Energiequellen speziell für diese Region (AGENDA 21 HERZOGENAURACH 2004, CIOLEK et al. 2006).

Seit 2008 werden in Städten, Gemeinden, Landkreisen und Regionalen Planungsgemeinschaften „Regionale Energiekonzepte“ erarbeitet, um die nationalen Zielvorgaben mit regionalen Handlungsmöglichkeiten zu untersetzen. Durch die nationale Klimaschutzinitiative des BMU (2007) wurde die Möglichkeit eröffnet, regionale Studien zu Energieeinsparung und Potenzialen für erneuerbare Energien zu erarbeiten und daraus Energiestrategien für einzelne Regionen zu entwerfen. Insbesondere durch diese finanzielle Förderung des BMU wurde auch auf lokaler und kommunaler Ebene das Interesse an Potenzialstudien groß. Laut BMU (2013) wurden in „1.700 Städten und Gemeinden über 3.000 Klimaprojekte auf den Weg gebracht“.

Allerdings lässt sich feststellen, dass den Analysen in aller Regel Statistikdaten zugrunde liegen. Szenarien hinsichtlich klimatischer Veränderungen, Änderungen von Anbaustrukturen oder Abbildungen der Ertragssteigerungen etc. finden kaum Eingang in Studien auf regionaler Ebene.

1.4 Ertragsmodellierung der landwirtschaftlichen Produktion

Ertragsmodelle dienen der Berechnung von standortspezifischen Erträgen landwirtschaftlicher Fruchtarten. Sie sind konzipiert für die Abbildung des Pflanzenwachstums, um Auswirkungen von Veränderungen im landwirtschaftlichen Management, von Standorteigenschaften oder Umweltwirkungen abzubilden. Die Eingangsparameter umfassen unter anderem Klimadaten, detaillierte Profilbeschreibungen der Böden usw. Eine Übertragung auf größere Einzugsbereiche ist schwierig. Dies liegt vor allem an dem Bedarf einer hohen Zahl und Genauigkeit von Eingabeparametern, der auf großräumiger nationaler oder gar europäischer Ebene nicht gedeckt werden können. Beispiele finden sich in den Modellen AGROSIM (MIRSCHER et al. 1993) oder CERES aus dem Modellierungssystem DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, TSUJI et al. 1994).

Neben diesen speziellen Pflanzenwachstumsmodellen, deren Übertragbarkeit auf größere Regionen durch die hohe Anzahl an Modellinputdaten begrenzt ist, werden regional landwirtschaftliche Betriebsmodelle zur Modellierung des Pflanzenwachstums in der Landwirtschaft angewendet. Eine Übersicht von den in Deutschland am häufigsten angewendeten landwirtschaftlichen Modellen und deren integrierte Ertragsabschätzung wurde durch ROEDENBECK (2004) erarbeitet (Tabelle 3).

Tabelle 3: Modelle zur Ertragsmodellierung in landwirtschaftlichen Betrieben

(eigene Zusammenstellung nach: ROEDENBECK 2004).

	KUL	REPRO	PROLAND	RAUMIS	MODAM
Systemgrenze	lw. Betrieb	lw. Betrieb	lw. Region	lw. Region	Betrieb / Region
Subsystem	lw. Betrieb	Schlag	25x25m Raster	Landkreis	Regionshof
Inputparameter Standortinformationen	Daten des lw. Betriebes auf Schlagkartei-Ebene	Schlaggrößen, Bodenarten, Musterprofile, Relief Tagesmittel und –Summen Niederschlag, Temperatur und Globalstrahlung	BÜK50; Ableitung von nFK; Punktuelle Klimastationen: Niederschlag, Temperatur extrapoliert über DHM40 (digitales Höhenmodell)	Agrarstatistiken (FADN) u. Kalkulationsdaten hauptsächlich nach KTBL	Klimaregion mit Bodendaten (Ackerzahl, Wetterdaten)
Methode der Ertragsabschätzung	Hoftorsalden; Ertragssituation der Betriebe wird eingegeben	Ertragssituation der Betriebe wird eingegeben	KUHLMANN 1995: Linear-limitationales Modell, WEINMANN 2002	Agrarstatistik pro Landkreis	ROTH 1995: Abschätzung durch Pflanzenbauexperten

lw. = landwirtschaftlich

Diese Modelle werden auch für Bioenergie-Potenzialstudien verwendet (z.B. GÖMANN et al. 2007). Die Analysen decken vorwiegend kleine Bezugsräume, einzelne Betriebe und Regionen ab, da die Datengrundlagen nicht für größere Räume in der nötigen Auflösung vorliegen. In den meisten Modellen finden Ertragsstatistiken der landwirtschaftlichen Betriebe Eingang, welche jahresabhängig und marktabhängig Erträge und Erntemengen widerspiegeln. In MODAM und PROLAND werden die Erträge durch einfache Ertragsfunktionen abgeschätzt, die auf der Ackerzahl bzw. Ackerzahlklassen als Produktivitätsanzeiger beruhen. Klimadaten werden nicht berücksichtigt.

1.5 Anforderungen an eine standortbezogene Potenzialanalyse der landwirtschaftlichen Biomasse

GREIFF et al. (2008) testeten eine Übertragung der nationalen und europäischen Potenzialstudien von ÖKO-INSTITUT (2004), NITSCH et al. (2004) und THRÄN et al. (2005) auf die regionale Ebene. Im Resümee wird auf die unzureichenden Möglichkeiten der Anpassung der untersuchten Modelle an die standortspezifischen Gegebenheiten hingewiesen.

Für die Einschätzung der regionalen Verfügbarkeit von Bioenergie ist allerdings die Einbeziehung des Standortes von Bedeutung, um die Abschätzung standortspezifischer Erntemengen unter Nachhaltigkeitsaspekten (Einhaltung von Richtlinien der guten fachlichen Praxis hinsichtlich der Erhaltung der Fruchtartenvielfalt und der Sicherung der organischen Bodensubstanz) zu betrachten sowie um die Ableitung klimatischer Szenarien und den Einfluss von Klimaveränderungen zu verdeutlichen.

Ein GIS-basierter Modellierungsansatz verspricht eine Regionalisierung von Bioenergiepotenzialen. Erst mit der Anwendung von Geodaten können kleinräumige, regionale Analysen der landwirtschaftlichen Produktion erfolgen. Weiterhin ist eine Untersuchung der Standortpotenziale unabhängig von den Verwaltungsgrenzen möglich. In der Regel wurde bisher in regionalen Studien

mit Ertrags- und Anbaudaten aus den Agrarstatistiken gearbeitet, die auf Verwaltungsebene (z.B. Landkreise) vorliegen.

Es soll das Ertragsniveaus der landwirtschaftlichen Feldfrüchte bei gleicher oder ähnlicher Bewirtschaftungsweise differenziert auf die natürlichen Standortbedingungen visualisiert werden, ein Vergleich von Bewirtschaftungsintensitäten und die ökologischen Effekte der Bioenergienutzung erfolgen können. Weiterhin sollte die Möglichkeit bestehen, Nutzflächen auszuschließen (erosionsgefährdete Standorte, Naturschutzgebiete etc.) oder regional die Bewirtschaftung an die vermehrte Nachfrage von Bioenergieträgern anzupassen (Energie-Fruchtfolgen). Eine standortdifferenzierte Potenzialanalyse schließt auch die Ertragsermittlung von Nebenprodukten ein.

Landwirtschaftliche Ertragsmodelle (nach Kap. 1.4) können Ertragsunterschiede visualisieren, doch benötigen sie einen hohen Input von Daten und Parametern, welche an den landwirtschaftlichen Betrieb angepasst werden müssen. Für eine lokale Potenzialanalyse ist so z.B. die Bereitstellung von klimatischen Tageswerten zwar machbar, allerdings stellt dies für regionale oder nationale Analysen ein Hindernis dar.

Es wird ein Modell zur Bioenergie-Potenzialbestimmung benötigt, welches durch die Anwendung von Geodaten regionale Analysen zulässt, um die Versorgungssicherheit von Bioenergieanlagen und die Nutzung regionaler Biomasse zu gewährleisten.

Dieses sollte sich zwischen dem hohen Datenaufwand der Ertragsmodellierung und der auf landwirtschaftlichen Statistiken beruhenden Biomasse-Potenzialstudien bewegen, eine räumliche Standort-Differenzierung widerspiegeln und klimatische bzw. landwirtschaftliche Szenarien ermöglichen.

Das Modell muss standortspezifische Ertragsmodellierungen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen mit der Ermittlung der Erträge der Nebenprodukte verknüpfen. Geeignet ist ein Modell mit einer einfachen Anpassung an die Region, einem geringen Datenbedarf und der möglichst flächendeckenden Verfügbarkeit des Dateninputs für den Untersuchungsraum.

1.6 Ziele und Hypothesen

Aus den aufgezeigten Restriktionen der verwendeten Modelle zur Biomasse-Ertragsmodellierung ergeben sich folgende vorrangige Ziele dieser Arbeit:

- Die Modellierung von Biomassepotenzialen erfolgt anhand regionaler Ertragsermittlung.
- Die Ergebnisse der Ertragsermittlung werden anhand von Agrarstatistiken validiert.
- Es erfolgen Untersuchungen zu den Datenanforderungen des Biomasse-Ertragsmodells auf unterschiedlichen Maßstabsebenen. Das Modell soll auf lokaler, regionaler bis europäischer Ebene angewendet werden. Ziel ist, für die europäische Skala eine Datengrundlage für die Modellierung mittels des Biomasse-Ertragsmodells zu erarbeiten.
- In das Biomasse-Ertragsmodell sollen Nachhaltigkeitskriterien integriert werden.
- Die Biomasse-Potenziale sollen regional differenziert visualisiert werden.

Mit diesen Zielen verknüpfen sich folgende Hypothesen:

- 1 Auf der Basis des Biomasse-Ertragsmodells (Biomass Yield Model = BYM) ist eine Berechnung standorttypischer landwirtschaftlicher Erträge von Feldfrüchten und deren Koppelprodukten möglich.
- 2 Diese Erträge der landwirtschaftlichen Feldfrüchte werden mit hinreichender Genauigkeit durch das Ertragsmodell wiedergegeben.
- 3 Eine Anwendung des Modells ist in verschiedenen räumlichen Maßstäben möglich:
 - 3.1 Das Modell ist von der Gemeindeebene auf eine lokale, standortspezifische Anwendung übertragbar und damit auf der landwirtschaftlich Feld- bzw. Betriebsebene anwendbar.
 - 3.2 Das Modell erlaubt eine Potenzialanalyse größerer Untersuchungsräume: Abbildung von Potenzialen in Deutschland bis hin zu EU27-Mitgliedsstaaten.
- 4 Das Modell ermöglicht die Integration von Nachhaltigkeitskriterien mit folgenden Parametern:
 - 4.1 Das Modell kann hinreichend genau Fruchtfolgerestriktionen berücksichtigen, um damit standortspezifische ackerbauliche Grundsätze, wie einen geringstmöglichen Pflanzenschutzinsatz und die Ertragssicherheit zu gewährleisten.
 - 4.2 Das Modell ermöglicht zentrale Aussagen zur Nachhaltigkeit des Anbausystems, indem der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit durch Integration eines Moduls zur Humusbilanzierung sichergestellt werden kann. Daraus können Aussagen zur potenziellen Nutzung von Koppelprodukten getroffen werden.
 - 4.3 Das Modell integriert mit zentralen klimatischen Parametern die Anforderungen, in hinreichendem Ausmaß die Wirkungen des Klimawandels visualisieren zu können.

2. Material und Methoden

2.1 Verwendete Modelle und Programme

Auf der Grundlage der Modellanforderungen wurde ein Biomasse-Ertragsmodell BYM entwickelt, welches die Standortpotenziale von landwirtschaftlichen Feldfrüchten und deren Koppelprodukte bestimmt. Bisher angewendet wurde das Modell zur Untersuchung von landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsintensitäten in PIORR et al. (1998a) und SCHOLZEN (1999). Erstmals für die Bestimmung von Biomasse-Potenzialen wurde es für die Landkreise Uckermark und Barnim im Nordosten Brandenburgs angewendet (AUTORENKOLLEKTIV 2002). Seither wurde es stetig für die Abschätzung von regionalen Bioenergiepotenzialen weiterentwickelt. Das Modell beruht auf der Modellierung des Standortpotenzials als theoretisches Gesamt-Biomasseaufkommen. Davon ausgehend wird das technische Potenzial ermittelt, in dem die Biomasse, welche in den Bioenergie-Prozess eingeht, selektiert und anhand von Faustzahlen aus der Praxis in die jeweilige Produktlinie umgerechnet wird. Dieses technische Potenzial wird basierend auf statistischen Untersuchungen weiter spezifiziert und soweit möglich ein nachhaltig verfügbares Potenzial ermittelt, welches auch langfristig erzeugt werden kann.

Das Biomasse-Ertragsmodell (Biomass-Yield-Model = BYM, Abb. 4) soll für regionalspezifische und standortangepasste Fruchtfolgen das jährliche theoretische Biomasseaufkommen ermitteln. Das System besteht aus Ertragsfunktionen und Fruchtfolgealgorithmen, die an jeweils einen Klima- und Bodenparameter gekoppelt sind. Dahingehend wurden die Modellinputdaten für unterschiedliche Modellregionen und -Maßstäbe recherchiert bzw. entwickelt.

Zur Recherche und Analyse von Geodaten wurde das Geoinformationssystem ArcGIS der Firma ESRI verwendet. Die Programmierung erfolgt in Visual Basic for Application (VBA). Mit dem Microsoft Office-Produkten EXCEL und ACCESS wurden Datenbanken aufgebaut und ausgewertet. Die Ableitung von Funktionen erfolgte mit TableCurve 2D/3D des Statistiksoftware-Anbieters STATCON, die statistische Auswertung mittels SPSS von IBM. Für die Visualisierung von Bodenarten-Körnungsdreiecken wurde das Programm TAL (TEH 2002) verwendet.

2.2 Ertragsmodellierung landwirtschaftlicher Biomasse mittels BYM

Das Biomasse-Ertragsmodell (Biomass-Yield-Model = BYM, Abb. 4) soll für regionalspezifische und standortangepasste Fruchtfolgen das jährliche theoretische Biomasseaufkommen ermitteln. Die Modellbasis besteht aus Ertragsfunktionen und Fruchtfolgealgorithmen, die an Klima- und Bodenparameter gekoppelt sind. Die Fruchtfolgealgorithmen enthalten neben Cross Compliance (CC)-Regelungen (RAT DER EUROPÄISCHEN UNION 2009) die Stellung der Frucht innerhalb der Fruchtfolge in Abhängigkeit vom Standort. Nach einer standortspezifischen Zuordnung von Fruchtfolgen kann über die Ertragsfunktionen für jede Fruchtart in diesen Fruchtfolgen der Ertrag ermittelt werden. Diese Erträge werden über die Vorfruchtwirkung korrigiert. Das Biomasse-Ertragsmodell verfügt demzufolge neben den Ertragsberechnungen der Einzelfruchtarten auch über eine fruchtfolgespezifische Ertragskorrektur, welche je nach Standort variiert. Dies bietet einen Vorteil gegenüber den schon genannten Ertragsmodellen, welche meist fruchtartsspezifisch entwickelt werden und keine Modellierung von ganzen Fruchtfolgen ermöglichen.

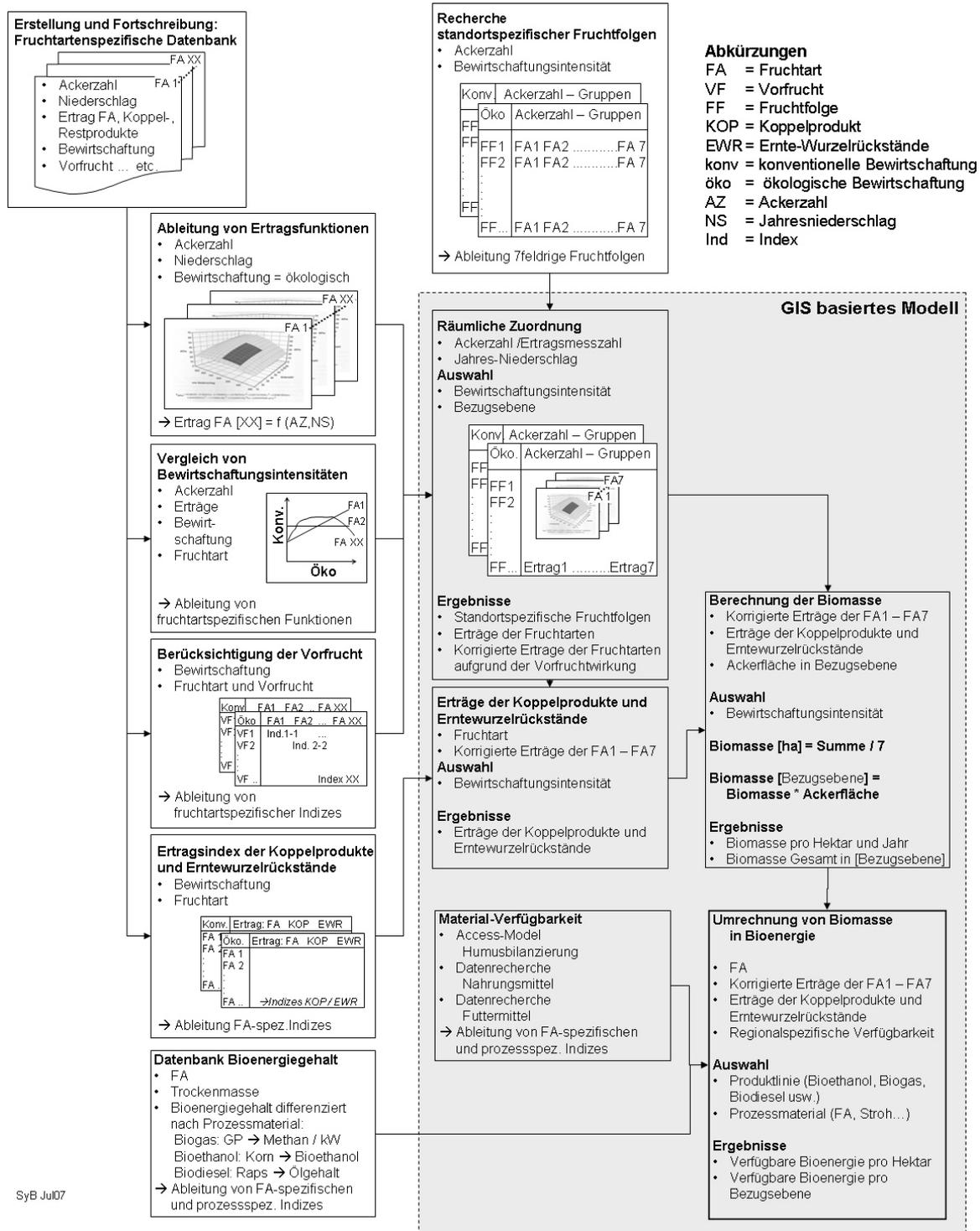


Abb. 4: Das Biomasse-Ertragsmodell BYM im Überblick, eigene Darstellung.

2.2.1 Ertragsermittlung

Es wurden bisher die in Deutschland am häufigsten angebaute Fruchtarten in das Modell integriert:

- Getreide: Winterweizen (WW), Winterroggen (WRO), Wintergerste (WG), Triticale (TR), Sommerweizen (SW), Sommergerste (SG), Hafer (HA), Körnermais (KM)
- Ölsaaten und Hackfrüchte: Winterraps (WRa), Sommerraps (SRa), Sonnenblume (SoBlu), Kartoffel (Kar), Zuckerrübe (ZR)
- Futterpflanzen und Hülsenfrüchte: Silomais (SM), Futtererbse (FE), Ackerbohne (AB), Lupine (LUP), Klee gras (KGr), Luzerne (LUZ)

Das Modell wurde erstmals angewendet, um Ertragsunterschiede zwischen Ökolandbau und konventionellem Anbau zu visualisieren (PIORR et al. 1998b). Für die in Deutschland angebaute dominanten Fruchtarten wurden unter Berücksichtigung der Bewirtschaftungsintensität mithilfe dreidimensionaler Ertragsfunktionen (Abb. 5) das Ertragsniveau im ökologischen Anbau räumlich differenziert modelliert, da man hier davon ausgeht, dass Boden- und klimatische Einflüsse den Ertrag einer Kulturpflanze bestimmen. Abgeleitet wurden diese Ertragsfunktionen basierend auf den Parametern Ackerzahl und Jahresniederschlag aus einer fruchtartspezifisch angelegten Ertragsdatenbank aus Sorten- und Feldversuchen (KOCH 1998, SCHOLZEN 1999).

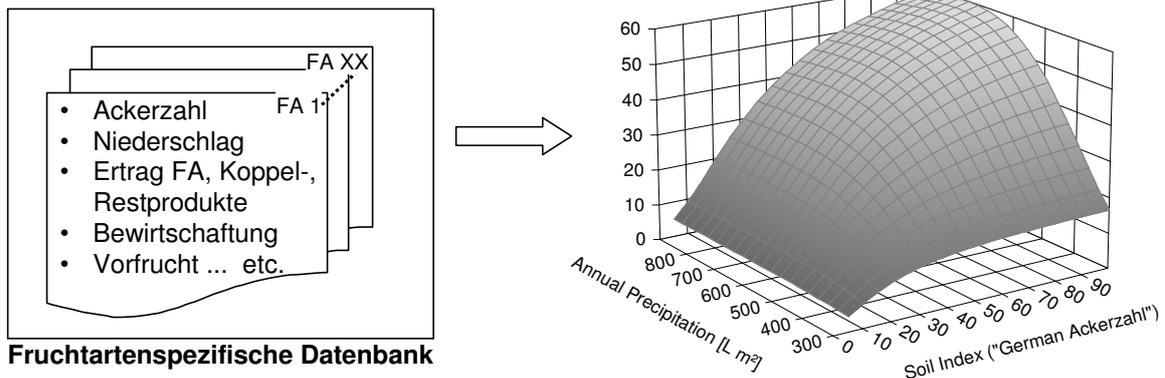
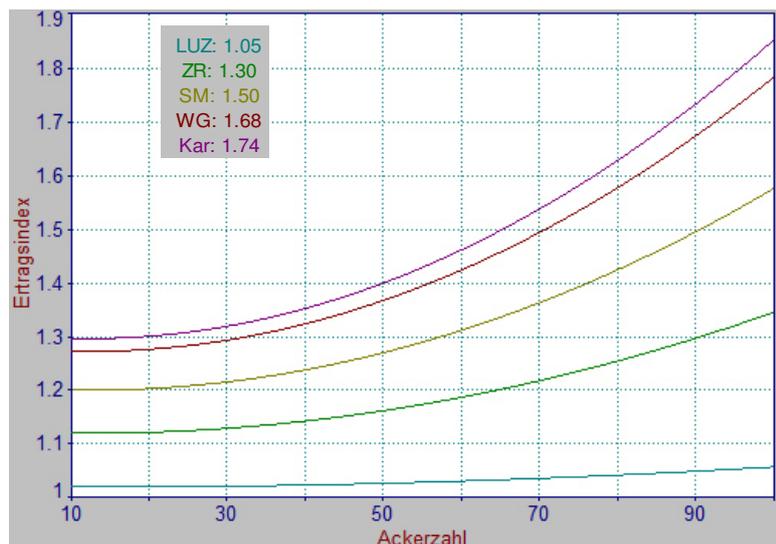


Abb. 5: Ableitung einer 3D-Ertragsfunktion am Beispiel Winterweizen: Kornenertrag basierend auf Ackerzahl und Jahresniederschlag (Ökolandbau), eigene Darstellung nach PIORR 1998b.

Die Ertragsfunktion ist demzufolge eine Funktion aus der Produktivität des Bodens und der zur Verfügung stehenden Niederschläge und simuliert die Erträge im Ökolandbau. Für die Ertragsermittlung im konventionellen Anbau liegt eine Funktion differenziert nach Ackerzahl und Fruchtart vor (KOCH 1998, SCHOLZEN 1999).

$$\text{Ertrag}_{\text{konv}} = \text{Ertrag}_{\text{eco}} * \text{Ertragsindex}$$

$$\text{Ertragsindex} = \frac{1 + ((0.0097 * AZ^2 - 0.2321 * AZ + 41.41) \div 100) * (\text{Index}_{\text{FA}} - 1)}{1}$$



Je nach Fruchtart wird der Ertragsunterschied bei steigender Ackerzahl zwischen ökologisch und konventionell verändert (Abb. 6).

Abb. 6: Veränderung der Ertragsindizes anhand Ackerzahl und fruchtartspezifischer Index, eigene Darstellung.

Neben der Summe der Erträge der Hauptfrucht werden im Biomasse-Ertragsmodell auch die Erträge der Koppelprodukte berechnet. Dazu gibt es unterschiedliche Annahmen der Korn:Stroh bzw. Blatt:Wurzel-Verhältnisse. Die Daten der KTBL (2005) lagen bei der Definition der Parameter zugrunde und wurden durch PIORR et al. (1998b) ergänzt. Allerdings liegen die Indizes über denen der Direktzahlungsverpflichtungen (DIREKTZAHLVERPFL 2004), wonach sich ein höheres Potenzial der Koppelprodukte ergibt. PIORR et al. (1998b in: SCHOLZEN 1999) gibt aber auch für den ökologischen

Anbau die Indizes an (Tabelle 4). Da hier auf die Verwendung von Halmverkürzern verzichtet wird, erhöhen sich die Indizes und damit die Erträge der Nebenprodukte im ökologischen Landbau.

Tabelle 4: Verhältnis von Haupternteprodukt zu Nebenernteprodukt bzw. zu Ernte- und Wurzel-Rückständen (Korn: Stroh-Verhältnis bzw. Wurzel: Laub-Verhältnis): Korn bzw. Wurzel = 1 (nach PIORR 1998b in SCHOLZEN 1999)

	Anbau	Nebenernteprodukte		Ernterückstände
		konventionell	ökologisch	
Getreide	WRo	1,4	1,6	0,13
	TR	1,3	1,4	0,14
	WW	0,9	1,2	0,13
	SW	1	1,2	0,25
	WG	1	1,1	0,25
	SG	1,1	1,1	0,25
	HA	1,2	1,3	0,24
	SM	0	0	0,14
	KM	1,3	1,4	0,14
Ölfrüchte und Faserpflanzen	WRa	1,7	1,9	0,15
	SRa	2	2	0,15
	AB	2	2	0,26
	FE	1,4	1,4	0,26
	LUP	1,5	1,5	0,27
	LUZ	0	0	0,32
	KGr	0	0	0,43
	SoBlu	4,1	4,1	0,12
Knollen- und Wurzelfrüchte	ZR	0,8	0,8	0,05
	Kar	0,4	0,4	0,04

Die Erträge des Haupternteproduktes, der Koppelprodukte und der Ernterückstände summiert, ergibt die landwirtschaftliche erzeugbare potenzielle Biomasse.

2.2.2 Ermittlung von standortangepassten Fruchtfolgen

Fruchtfolgen regeln die Abfolge des Anbaus verschiedener Fruchtarten auf dem Ackerland. Damit werden die Anbauanteile einzelner Arten begrenzt und positive Vorfruchtwirkungen gezielt genutzt. Auf diese Weise kann negativen Effekten wie Erosion, Verminderung der Bodenfruchtbarkeit, Schaderregerbefall und Verunkrautung entgegengewirkt werden. Die Erträge können fruchtfolgebedingt stark differieren (HONERMEIER & GAUDCHAU 2001, ENTRUP et al. 2003, PAFFRATH 2005 u.a.). Wichtig sind daher ausgewogene Fruchtfolgen mit unterschiedlichen Fruchtarten und das Einschalten des Zwischenfruchtanbaus. Der Getreideanteil sollte 50 % (maximal 75 %) in der Fruchtfolge nicht überschreiten. Anbaupausen (Tabelle 5) von bis zu 4 Jahren sollten eingehalten werden, um die Gefahr des Bestandsbefalls an Pilzen und Nematoden zu minimieren (GALLER 2005, MÜLLER 1986, FREYER 2003).

Tabelle 5: Anbaupausen bei ausgewählten landwirtschaftlichen Kulturen (MÜLLER 1986, FREYER 2003).

Anbauf Frucht	Jahre	Ursachen
Winterroggen	1	Pilze
Winterweizen	2	Pilze, Nematoden
Wintergerste	2	Pilze
Triticale	1	Pilze
Silomais	3	Pilze
Winterraps	3 - 4	Nematoden, Pilze

Cross Compliance umfasst Bestimmungen zu den Anbauumfängen der Kulturarten mit Auswirkungen auf die Struktur des Fruchtfolgemoduls (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW 2007):

- Regelungen zur Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand,
- Regelungen zur Erhaltung von Dauergrünland,
- 19 einschlägige, schon bestehende EU-Regelungen.

Nach Cross Compliance wird von einem gesamtbetrieblichen Ansatz ausgegangen. Dies bedeutet, dass ein Betrieb, der Direktzahlungen erhält, in allen Produktionsbereichen (z.B. Ackerbau, Viehhaltung, Gewächshäuser, Sonderkulturen) und allen seinen Betriebsstätten, auch wenn diese in unterschiedlichen Bundesländern liegen, CC-Verpflichtungen einhalten muss. Verstöße führen bei den flächenbezogenen Maßnahmen zu Kürzungen der entsprechenden Förderung. Im Fruchtfolgemodul wurden die Regelungen zu den Anbauumfängen der Feldfrüchte berücksichtigt. Unter anderem ist einzuhalten (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW 2007):

- „Mindestens 40 % der Ackerflächen eines Betriebes müssen in der Zeit vom 1. Dezember bis 15. Februar entweder mit Pflanzen bewachsen sein oder die auf der Oberfläche verbleibenden Pflanzenreste dürfen nicht untergepflügt werden. Eine Einsaat hat vor dem 1. Dezember zu erfolgen.“
- Um die organische Substanz im Boden und die Bodenstruktur zu erhalten, ist ein Anbauverhältnis mit mindestens drei Kulturen sicherzustellen, jede Kultur muss mindestens 15 % der Ackerfläche umfassen. Falls die Vorgaben zum Anbauverhältnis nicht eingehalten werden, muss entweder jährlich eine Humusbilanz erstellt werden oder der Bodenhumusgehalt mit Hilfe von Bodenproben untersucht werden.
- Die Humusbilanz darf im Durchschnitt von drei Jahren nicht unter einen Wert von minus 75 kg Humuskohlenstoff (Humus-C) pro Hektar und Jahr absinken.“

Zur Erstellung und Bewertung von Fruchtfolgen werden Agrarstatistiken herangezogen (Anbauf rüchte mit Anbauflächen) und die dominierenden Feldfrüchte auf möglichst kleiner räumlicher Ebene ermittelt. Bei der Fruchtfolgegestaltung werden sowohl die standortangepasste Kulturauswahl, die Auswertung von Agrarstatistiken und Anbaupausen (Tabelle 5) sowie Vorfruchtwirkungen berücksichtigt. Die Vorfruchtwirkungen werden bewirtschaftungsspezifisch für den ökologischen und den konventionellen Anbau definiert (SCHOLZEN 1999; Anhang T-1, T-2). Die Fruchtfolgeerstellung orientiert sich an positiven Ertragseffekten, so dass jeweils die günstigste Vorfrucht gewählt wird (Abb. 7).

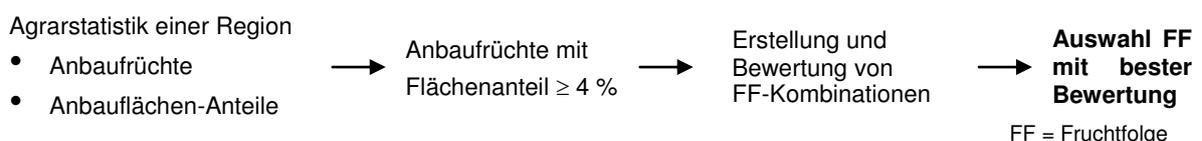


Abb. 7: Ablaufschema für die Erstellung einer repräsentativen Fruchtfolge für eine Region (ZEIDLER & PIORR 2007, verändert).

Primär geht die ökologische Vorfruchtwirkung ein, da hier die Vorfruchteignung allein durch die Eigenschaften der Anbaufrüchte bestimmt wird. Die Vorfrucht kann ökologische Auswirkungen auf die Nachfrucht haben, z.B. Humusverbesserung, Reduzierung des Krankheitsbefalls bei idealer Vorfrucht. Anhand der Vorfruchteignungen der Feldfrüchte erfolgt eine Bewertung der Fruchtfolgen differenziert für den ökologischen und konventionellen Anbau (Tabelle 6). Es wurden 7 Bewertungsstufen ausgewiesen, die aufgrund der Vorfruchtwirkung im konventionellen Anbau weiter untergliedert werden können, was vor allem bei ungünstiger Vorfruchteignung (Stufen 3 - 6) zum Tragen kommt. Bei der Fruchtfolgegestaltung sollte beim konventionellen Anbau die Bewertungsstufe 3, beim ökologischen Anbau die Stufe 2 nicht überschritten werden.

Tabelle 6: Bewertungstabelle für die Einschätzung von Fruchtfolgen (Eignung der Vorfrüchte für die Nachfrüchte) (ZEIDLER & PIORR 2007).

Bewertungsstufe	ökologischer Anbau	konventioneller Anbau
1	++	+ / * / m
2	+	+ / * / m / -
3	(-)	+
4	(-)	*
5	(-)	m
6	(-)	-
7	-	+ / * / m / -

++	sehr günstig (Ertrags- und Qualitätsleistung 110-120%)
+	günstige Vorfrucht (Ertrags- und Qualitätsleistung 100-110%)
*	günstige Vorfrucht, aber Luxusfolge, weil andere Nachfrüchte die Vorfruchtwirkung besser ausnutzen können, längere vegetationsfreie Zeiträume ggf. durch Zweit- und Zwischenfruchtanbau nutzbar
m	mit Einschränkungen möglich
(-)	ungünstig (Ertrags- und Qualitätsleistung 90-100%)
-	sehr ungünstig, unmöglich (Ertrags- und Qualitätsleistung 80-90%)

In einer ersten Version des Fruchtfolge-Moduls zur Abbildung von Bewirtschaftungsunterschieden zwischen ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung für den ostdeutschen Raum wurden folgende Fruchtfolgen ermittelt (KOCH 1998) (Tabelle 7).

Tabelle 7: Modell-Fruchtfolgen differenziert nach Ackerzahl-Gruppen und Bewirtschaftungssystem 1998 (PIORR 1998b nach KOCH 1998).

Ackerzahl Gruppe	Fruchtfolgen im Anbausystem	
	Ökologisch	Konventionell
< 20	LUZ - LUZ - HA - WRo - LUP - WRo - SG	LUZ - TR - HA - WRo - LUP - WRo - SG
20 – 29	LUZ - LUZ - Kar - WG - LUP - WRo - SG	LUZ - Kar - WRo - SM - HA - WRo - SG
30 – 39	LUZ - LUZ - WW - WRo - LUP - WRo - SG	WRa - WW - WRo - HA - TR - WRo - WG
40 – 49	LUZ - LUZ - SM - WW - FE - WG - WRo	WRa - WW - WG - SM - WW - WRo - WG
50 – 59	KGr - KGr - Kar - WW - FE - WG - WRo	WRa - WW - WG - ZR - SM - WW - FE
60 – 69	KGr - KGr - WRa - WW - AB - ZR - WRo	SM - WW - WG - WRa - WW - WG - ZR
70 – 79	KGr - KGr - WW - WRo - AB - ZR - WRo	SM - WW - WG - WRo - WW - WG - ZR
> 80	KGr - KGr - Kar - WW - AB - ZR - WW	SM - WW - WW - ZR - WW - WG - ZR

Nach Aufstellung der Bewertungsmatrix und erneuter Analyse von Agrarstatistiken bis 2008 wurde die Reihenfolge der Fruchtarten überarbeitet. Einzelne Fruchtarten wurden ersetzt, da deren Anbauhäufigkeit sich gegenüber 1998 veränderte. So z.B. ist im konventionellen Anbau Luzerne und Kartoffel aus den Fruchtfolgen zugunsten einer weiteren Getreideart gewichen. Das Fruchtfolgemodul geht standardmäßig von folgenden Fruchtfolgen aus (Tabelle 8):

Tabelle 8: Modell-Fruchtfolgen differenziert nach Ackerzahl-Gruppen und Bewirtschaftungssystem 2007 (ZEIDLER & PIORR 2007).

Ackerzahl Gruppe	Fruchtfolgen im Anbausystem	
	Ökologisch	Konventionell
< 20	LUZ - LUZ - WRo - HA - LUP - SG - WRo	SG - WRo - TR - LUP - WRo - HA - LUP
20 – 29	LUZ - LUZ - WRo - Kar - WG - LUP - SG	WRo - WG - SM - TR - SG - WRo - HA
30 – 39	LUZ - LUZ - WRo - LUP - WW - SG - WRo	WRo - TR - SM - WW - WRo - WG - WRa
40 – 49	LUZ - LUZ - WG - FE - WW - SM - WRo	WRa - WW - WG - SM - WW - WRo - WG
50 – 59	KGr - KGr - WG - FE - WW - Kar - WRo	WW - WG - WRa - WW - WG - ZR - SM
60 – 69	KGr - KGr - WRa - WW - ZR - AB - WRo	SM - WW - WG - WRa - WW - WG - ZR
70 – 79	KGr - KGr - WRo - ZR - AB - WW - WRo	WW - WG - ZR - SM - WW - WG - WRa
> 80	KGr - KGr - Kar - WW - AB - WW - ZR	WW - WRa - WW - ZR - WW - WG - ZR

Diese Fruchtfolgen werden in der zu betrachtenden Region mittels des Moduls und anhand der Agrarstatistiken validiert und angepasst. Es ist ebenso möglich Szenarien zu bilden, die die ökonomische Entwicklung in einer Region widerspiegeln, so z.B. den vermehrten Anbau von Energiefrüchten visualisieren und vor allem auch bewerten.

Die Modellbasis besteht aus dem Fruchtfolgemodul und der Ertragsabschätzung. Es werden folgende Parameter berechnet:

- 7-feldrige standortangepasste Fruchtfolge¹,
- Ertragsermittlung der Fruchtarten mit Vorfruchtwirkungen,
- Ertragsermittlung der Ernterückstände und Koppelprodukte einschließlich der Wurzelbiomasse,
- Biomasseerträge pro Hektar und bezogen auf die Ackerfläche einer Region.

Anschließend erfolgt die Ermittlung von Verbräuchen.

2.2.3 Verbrauchsermittlung Nahrungs- und Futtermittel, Einstreu, Humusbilanz

Um Rohstoff-Konkurrenz zwischen Nahrungs-, Futtermittelindustrie und Bioenergieerzeugung auszuschließen, wird der regionalspezifische Verbrauch durch Nahrungs- und Futtermittelindustrie abgeschätzt und von den Erntemengen aus dem Modell abgezogen. Dazu ist eine Recherche von Verbrauchsdaten in Nahrungs- und Futtermittelindustrie aus statistischen Angaben nötig.

2.2.3.1 Regionaler Verbrauch für Nahrung, Futter und Saatgut

Verbrauchsdaten werden auf nationaler Ebene angegeben. Um Daten für die verschiedenen Skalen bereitzustellen, wurden eigene Methoden entwickelt, die im Ergebnisteil näher erläutert werden. Es sind dabei folgende Ableitungen entwickelt worden:

- Ermittlung der Bedarfe anhand Pro Kopf-Verbräuche,
- Ermittlung der Bedarfe anhand regionaler standortbedingter Produktionsschwerpunkte.

Auswertungen und Szenarien der Verbrauchsberechnung sind in Kap. 3.5.1 aufgeführt. In den vorliegenden Untersuchungen fließen auch Handelsbilanzen (Handelsbilanz = Import-Export) in die Berechnung ein (Kap. 3.5.1.6).

2.2.3.2 Regionaler Futter- und Einstreubedarf

Es können nationale bis regionale Viehbestandsstatistiken aus InVeKoS bzw. Statistikportalen (DESTATIS, EUROSTAT) zugrunde gelegt werden. Um Futter- und Einstreubedarfe zu ermitteln, sind

¹ Nicht gleichbedeutend mit sieben unterschiedlichen Fruchtarten. Wiederholter Anbau einer Frucht auf diesen sieben Feldern ist möglich und spiegelt die Anbauhäufigkeit einer Fruchtart wider.

die Umrechnungen von Tieranzahl in Großvieheinheiten nötig. Die Umrechnungen der differenzierten Daten erfolgt nach KTBL (2005), S. 576 bzw. nach EU (2009; Anhang 1). Die Verbräuche werden möglichst anhand von

- in der Region üblichen Haltungsform,
- der Anzahl an Stalltagen,
- und der Anzahl der Tiere bzw. deren Großvieheinheiten (GV) differenziert.

Für eine regionale Bedarfsermittlung **im Bundesland Brandenburg** wurden Daten aus Literaturrecherchen (HAENEL 2008, KIRCHGEBNER 2004, KTBL 2005, ZOLLITSCH et al. 2002, DAMME et. al. 2002, FELDHAUS et. al. 2001) und Brandenburger Expertengesprächen (NEUBERT 2009) zusammengeführt. Die Ermittlung regionaler Futterrationen erfolgt für die einzelnen Tierartgruppen nach Tabelle 9.

Tabelle 9: Futterbedarf (netto) für einzelne Tierartgruppen (Grundrationen für ausgewählte Futtermittel)
Angaben in Tonnen Trockenmasse je Großvieheinheit (GV) in Brandenburg (nach NEUBERT 2009).

Tierarten	Getr	We	TR	Ge	HA	KM	SM	Sth	GS	AFu	Heu
Kälber									0,85		
Mutterkühe							0,275	0,275	4,4	0,55	
Milchkühe	1,123						2,4	0,072	1,848	0,48	
männliche Rinder 0.5-2 Jahre							3,9	0,025	0,85	0,225	
sonst. Rinder							0,45	0,05	3,5	1	
Zuchtsauen		0,921		1,254	0,64						
Mastschweine		0,9	0,9	1,8		2,6					
Schafe (Wirtschaftsmast)						0,548			2,555		1,569
Mutterschafe											3,098
Zuchtböcke											3,098
Legehennen (<0,5 Jahre)		0,971	0,307	0,137		0,902					
Legehennen (>0,5 Jahre)		2,607	0,824	0,369		2,422					
Pferde					1,095			1,095			1,46

Getr - Getreide, We - Weizen, TR - Triticale, Ge - Gerste, HA - Hafer, KM - Körnermais, SM - Silomais,
Sth - Stroh, GS - Grassilage, AFu - Ackerfutter

Übersteigen die regionalen Verbräuche in einer Gemeinde die potenziellen Erntemengen, wird von einer Veränderung der Futterration ausgegangen, z.B. ein höherer Gras- bzw. Ackerfutteranteil im Futter.

Eine Differenzierung der Anteile der Haltungsformen wird nach HAENEL (2008) vorgenommen (Tabelle 10).

Tabelle 10: Anteil der Haltungsformen in Brandenburg: Anteil von güllebasierte Systemen
[% der aufgestellten Tiere] (HAENEL 2008).

Rinder	%	Schweine	%
Milchkühe	58,2	Sauen	1,1
Färsen	40,0	Aufzuchtferkel	84,6
Mastbullen	56,7	Mastschweine	84,6
Mutterkühe	0	Eber	1,9
Zuchtbullen	57,1	Schweine	71,8
Sonstige	29,0		

Die Anzahl der Stalltage wurde folgendermaßen festgelegt: Rinder (ohne Milchkühe) 200 d a^{-1} , Schweine und Milchkühe 365 d a^{-1} und Schafe, Ziegen 150 d a^{-1} (PIORR 2007) und ist vergleichbar mit Angaben aus EDER (2007). Der Futterbedarf von Getreidestroh wird für Brandenburg anhand der Futterrationen aus Tabelle 9; Spalte „Sth“ nach ermittelt. Jedoch gibt es keine offiziellen Statistiken zum Einstreubedarf, weshalb ein oberer Bedarf in Einraumtieflaufställen von 12 kg pro Tag und GV angenommen wird (HAIGER et al. 1988).

Für die überregionale Betrachtung **in Deutschland und Europa** konnten folgende Daten recherchiert werden:

- Haltungsformen anhand nationaler Daten für Anteile von gülle- und strohbasierten Managementsystemen nach LEIP et al. 2010, Table 4.6; S. 88.
- Der Einstreubedarf wird differenziert nach Anzahl der Stalltage und Tierartgruppen basierend auf HUTCHINGS et al. (2010), Table 3-6, S. 22.

Tabelle 11: Anzahl der Stalltage und jährlicher Einstreubedarf nach HUTCHINGS et al. (2010).

	Milchkühe	Andere Rinder	Sauen	Andere Schweine	Schafe / Ziegen	Pferde
Stalltage pro Jahr	180	180	365	365	30	180
Einstreu [kg a^{-1}]	1500	500	600	200	20	500

Unter Berücksichtigung der Stalltage und des Jahreseinstreubedarfs werden die Strohmenge-Bedarfe für Deutschland und Europa ermittelt abschlägig der Anteile strohbasierter Managementsysteme nach LEIP et al. (2010).

Die Futterbedarfsberechnungen erfolgen durch gleiche Bilanzierung wie im Nahrungsmittelsektor (Kap. 2.2.3.1) und anhand DÄMMGEN et al. (2010). Der Futterbedarf von Silomais und Stroh ermittelt sich aus der Anzahl der Milchkühe und deren Milchleistung (produzierte Milchmenge/Milchkuh: Anhang A-1) und der zur Erhaltung dieser Milchleistung nötigen Raufuttermenge pro Milchkuh.

Tabelle 12: Raufutterration der Milchkühe differenziert nach Milchleistung nach DÄMMGEN et al. (2010).

Milchleistung [kg]	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Raufutter [kg]	4149,3	4241,1	4333	4424,9	4516,7	4608,6	4700,5	4792,3

Diese Raufuttermengen setzen sich aus folgenden Anteilen von Mais, Gras und Stroh zusammen nach DÄMMGEN et al. (2010):

$$\text{Stroh} = 0,02 \text{ kg kg}^{-1}; \text{Gras} = 0,44 \text{ kg kg}^{-1}; \text{Mais} = 0,45 \text{ kg kg}^{-1}$$

Beide Autoren gehen davon aus, dass die Futterration maisbasiert erfolgt. Doch gibt es Regionen, in denen die Fütterung von Milchkühen grünlandbasiert erfolgt (STYPINSKI 2011). Um dies zu berücksichtigen und aufgrund fehlender Daten wird davon ausgegangen, dass mit einem hohen Grünlandanteil in der Region die grünlandbasierte Fütterung überwiegt. Dieser Anteil (Anhang A-2 nach EUROSTAT 2013b) wird in den NUTS2-Regionen bei der Verbrauchsberechnung der Futtermengen von Silomais und Stroh für die Rinder berücksichtigt.

2.2.3.3 Bilanzierung des verfügbaren Strohs und Humusbilanzierung

Für die Ermittlung von verfügbarem Stroh ist eine spezielle Untersuchung und Methodenentwicklung nötig. Die Strohmenge, die für eine außerlandwirtschaftliche Nutzung, in erster Linie zur energetischen Nutzung zur Verfügung steht, wird im Wesentlichen vom Strohaufkommen im Getreideanbau abzüglich des Strohanteils für die Viehhaltung, speziell zur Fütterung und als Einstreu, bestimmt. Das Strohaufkommen lässt sich dabei vereinfacht über Kennwerte zum Korn:Strohverhältnis (Tabelle 4) ableiten.

Neben der Versorgung der Viehbestände mit Einstreu und Futter (Kap. 2.2.3.2) werden die Koppelprodukte zur Erhaltung der Humusbilanz auf den Ackerflächen benötigt. Bei einer Strohentnahme für energetische Zwecke werden dem Standort Nährstoffe und vor allem Kohlenstoff

entzogen und die Humusbildung vermindert (VETTER 2001). Eine negative Humusbilanz wäre nicht mit einer nachhaltigen Landwirtschaft vereinbar. Die verfügbare Menge von Getreidestroh für eine energetische Nutzung ist demzufolge von drei wesentlichen Faktoren abhängig:

- Anfallende Strohmenge, welche sich aus dem Biomasse-Ertragsmodell ableiten lässt,
- Anteil des Strohs, der für die Viehhaltung zur Fütterung und als Einstreu benötigt wird (Kap. 3.5.1.4)
- Anteil des Strohs, der zum Ausgleich der Humusbilanz benötigt wird.

Um regional die verfügbaren Strohmenge zu errechnen, wurde ein Modul zur Humusbilanzierung integriert, welches Humuszehrung und Humusreproduktion regional bilanziert. Dazu wurden verschiedene Systeme untersucht und schlussendlich die Methoden der VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten 2004) verwendet, da diese der guten landwirtschaftlichen Praxis auf konventionell bewirtschafteten Betrieben entspricht. Im Überblick ist die Ableitung der verfügbaren Strohmenge in Abb. 8 dargestellt.

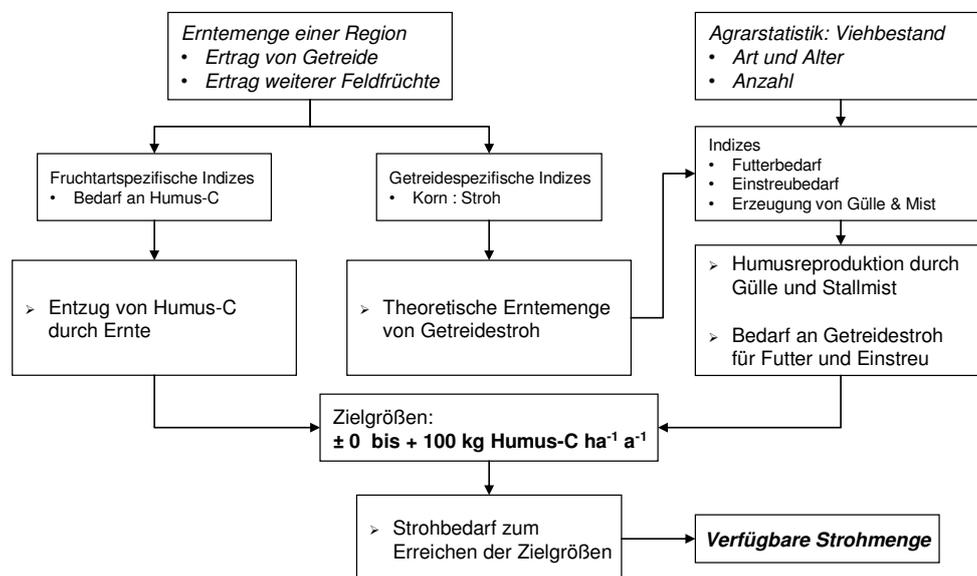


Abb. 8: Ableitung verfügbarer Strohmenge durch Einstreu- und Futterbedarfsermittlung bzw. Humusbilanzierung, eigene Darstellung.

An die Ableitung von Versorgungsmengen für die Tierbestände (statistische Tierbestandsdaten: Tierarten, das Alter der Tiere und deren Anzahl) schließt sich die Berechnung von Humussalden an: Dabei wird auf der Grundlage der Fruchtartanteile die Humuszehrung durch die Entnahme der Feldfrüchte ermittelt. Die Humusreproduktionsrate setzt sich zusammen aus den potenziell verfügbaren Gülle- und Mistmengen von Rindern und Schweinen bzw. aus den krautigen Reststoffen. Es wird die Menge an Getreidestroh bis zum Erreichen der Zielgröße von einer ausgeglichenen / positiven Humusbilanz ermittelt. Nach VDLUFA (2004) ist für den Humussaldo-Bereich von -75 bis +100 kg Humus-C ha⁻¹ eine optimale Ertragssicherheit bei geringem Verlustrisiko und damit eine langfristige Einstellung standortangepasster Humusgehalte gegeben. Das Modell gibt als Standard die Humussalden ±0 und +100 kg Humus-C ha⁻¹ vor, sodass Szenarien zur Abbildung dieses Nachhaltigkeitsaspekts modelliert werden können.

Das Modell wurde in einer ACCESS-Datenbank realisiert. (Abb. 9). Damit ist eine Einschätzung der auf dem Feld zu verbleibenden Strohmenge unter der Berücksichtigung von Futter-, Einstreumengen sowie einem definierten Humussaldo möglich. Die Eingangsparameter können regional angepasst werden: die Zielgröße der Humusbilanz ist variabel, fruchtspezifische Humuszehrungsraten oder Humusbedarfe können variiert das organische Material ausgewählt werden.

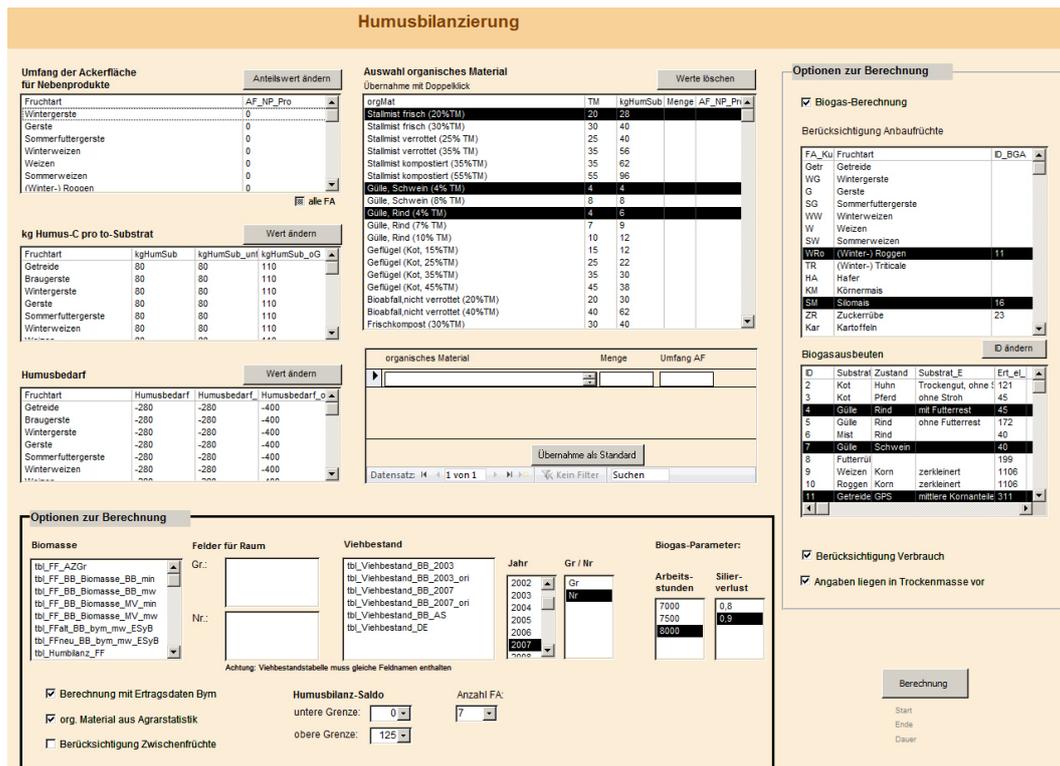


Abb. 9: Access-Oberfläche des Humusbilanz-Moduls (nach ZEIDLER 2007a).

Weiterhin ist die Berücksichtigung des Zwischenfruchtanbaus bei der Bilanzierung der organischen Substanz zur Humusreproduktion als Parameter der nachhaltigen Bewirtschaftung im Bereich der Bioenergie möglich.

Für das Bundesland Brandenburg liegen InVeKoS-Daten auf der räumlichen Ebene der Gemeinden vor, außerhalb des Bundeslandes werden Regionalstatistiken genutzt. Über die Altersstruktur werden die Großvieheinheiten ermittelt. Die Gülleberechnung erfolgt anhand der Auswertung des Rinder- und Schweinebestandes unter Berücksichtigung des Anteils güllebasierter Haltungssysteme in Brandenburg (Tabelle 10).

Die Umrechnung des Tierbestandes in Güllemengen erfolgt nach KTBL (2007):

- 1 Großvieheinheit (GV) = 1 Rind über 2 Jahre bzw. 1,43 Rinder zwischen 1-2 Jahren = 29 t Gülle pro Jahr für Milchkühe (bei 8 % Trockensubstanz (TS)); 23 t Gülle für Kälber und Rinder
- 1 GV = 2 Zuchtsauen = 21 t Gülle pro Jahr (bei 6 % TS).

Aus den Tierbestandsdaten werden so die Güllemengen abgeleitet, welche als Biogassubstrate eingesetzt werden. Sie gehen zu 100 % in die Biogasberechnung ein. Abschlägig durch einen Trockenmasseverlust durch die Biogasproduktion werden diese Güllemengen zur Bilanzierung eines (mindestens) ausgeglichenen Humussaldos übernommen: Um den Trockenmasseverlust in der Biogasgülle zu berücksichtigen, gehen deren Trockensubstanzgehalte (TS) mit 4 % TS in die Humusbilanzberechnung ein. Das bedeutet, erst erfolgt eine Nutzung als Biogassubstrat, danach trägt sie abschlägig des Trockenmasseverlustes zur Humusreproduktion bei. In der Literatur wird ein Masseabbau von ca. 2-3 % Trockensubstanz beim Gärprozess angegeben (REINHOLD et al. 2006).

Bei theoretisch flächendeckender und einheitlicher Ausbringung der Gülle auf die Ackerflächen pro Region wird ein Teil der Humuszeehrung ausgeglichen, doch muss davon ausgegangen werden, dass zusätzlich Ernte- und Wurzelrückstände, sowie krautige Reststoffe bzw. Strohanteile nötig sind, um eine ausgeglichene bzw. positive Humusbilanz zu erreichen. Diese Reststoffe werden aus dem Biomasse-Ertragsmodell ermittelt. Letztendlich erfolgt der regionale Ausgleich der Humusbilanz anhand des Getreidestrohs bis zum Erreichen der Zielgröße von ± 0 bis $+100 \text{ kg Humus-C ha}^{-1}$. Nur

das restliche Stroh (abzüglich des Bedarfs an Futter und Einstreu) ist nutzbar für eine potenzielle Bioenergieproduktion.

Humuszehrung

Für die anbauspezifische Änderung der Humusvorräte von Böden durch den Anbau verschiedener Feldfrüchte wird zwischen "unteren" und "oberen" Werten unterschieden (VDLUFA 2004). Die unteren Werte wurden nach der ROS-Methode (ROS = "Reproduktionswirksame organische Substanz", Äquivalenz zur Vergleichssubstanz organische Stallungstrockenmasse, ASMUS & HERRMANN 1977) für Böden in gutem Zustand, mit optimaler mineralischer Stickstoff-Düngung und angepasster Fruchtfolge festgelegt. Die oberen Werte unterliegen der HE-Methode. HE bedeutet Humuseinheiten und zielt auf das Äquivalent der organischen Bodensubstanz (LEITHOLD et al. 1997). Diese Größen lassen sich nach KÖRSCHENS et al. 2004 ineinander umrechnen: 1 t Humus-C = 5 t ROS oder 1,72 t HE (Tabelle 13). Die Angaben von VDLUFA beziehen sich auf die Veränderung des Humusvorrates des Bodens in kg Humuskohlenstoff pro Hektar und Jahr (VDLUFA 2004).

Tabelle 13: Humusbedarfswerte unterschiedlicher Feldfrüchte:
Untere und obere Bedarfswerte nach VDLUFA (2004).

Fruchtart	Humusbedarf [kg Humus-C ha ⁻¹ a ⁻¹]	
	untere Werte	obere Werte
Getreide	-280	-400
Silomais TM	-560	-800
Winterraps	-280	-400
Kartoffel	-760	-1000
Zuckerrübe	-760	-1300

Dieser Humusbedarf beinhaltet nicht die Humusersatzleistung der Erntereste und wird in der Humusbilanzierung gesondert berechnet.

Humusreproduktion

Die Humus-Reproduktion wird im Gegensatz zum Humusbedarf nicht pro Hektar sondern je Tonne Frischmasse Substrat angegeben. Für die Humusreproduktionsleistung von 1 Tonne Frischmasse Getreidestroh wird nach VDLUFA (2004) eine Spanne von 80 - 110 kg Humus-C angegeben. Im BYM wird mit den unteren Werten gerechnet, d.h. bei Getreide mit einer Humusreproduktion von 80 kg Humus-C t_{Getr}⁻¹. Die Humusreproduktionsleistung kann jedoch noch geringer sein, u. a. bei Anbauverhältnissen mit mehr als 75 % Getreide- und Rapsanbau. Nach Angaben von ZIMMER et al. (2009) liegt die maximale Humusreproduktionsleistung von Stroh in Brandenburg bei nur 60 kg Humus-C t⁻¹ FM. Diese Daten sind allerdings nicht durch Feldversuche belegt, werden in Fachkreisen diskutiert bzw. sind bis dato nicht in die VDLUFA-Methoden integriert worden. Abb. 10 zeigt einen Vergleich dieser unterschiedlichen Humus-Reproduktionsraten anhand der Agrarstatistiken 2001 bis 2007 in Brandenburg (nach Agrarstatistik 2009).

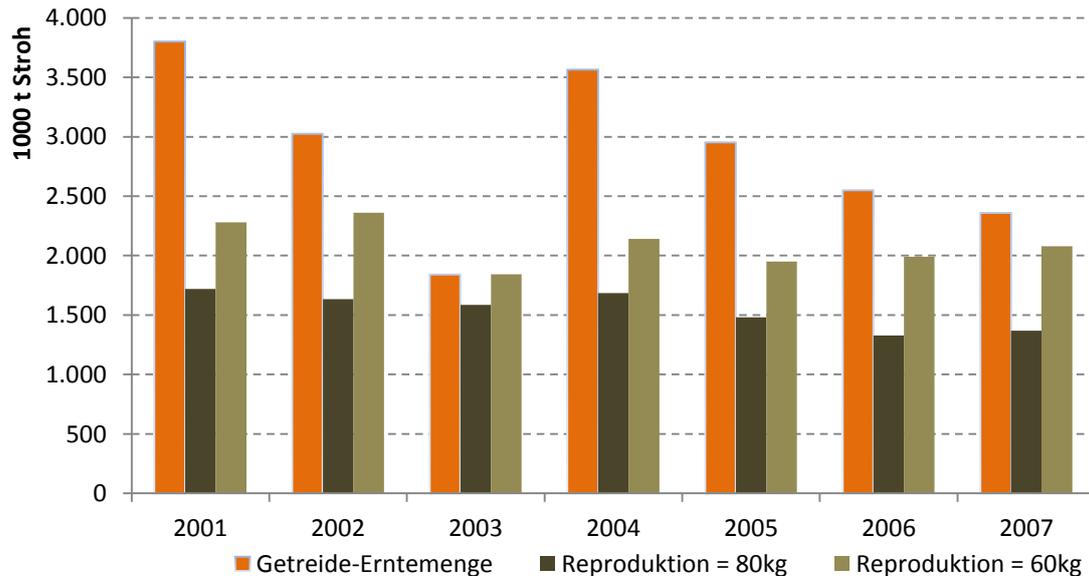


Abb. 10: Vergleich von Getreidestroh-Erntemengen mit Humusbedarfsmengen bei unterschiedlichen Humus-Reproduktionsraten (80 kg Humus-C t⁻¹ Getreidestroh / 60 kg Humus-C t⁻¹ Getreidestroh); eigene Berechnung auf der Basis der Agrarstatistik Brandenburg 2001-2007 (DESTATIS 2008).

Die daraus abzuleitenden potenziell verfügbaren Strohmenge unterscheiden sich je nach Erntemenge und Reproduktionsleistung und liegen bei einer Reproduktionsleistung von Getreidestroh von 80 kg Humus-C t_{Getreide}⁻¹ im Mittel bei 43,9 %, bei einer geringeren Reproduktion von 60 kg Humus-C t_{Getreide}⁻¹ nach ZIMMER et al. (2009) liegt sie bei 24,3 %. Allerdings sind jahresbedingte Schwankungen sehr hoch, so dass die verfügbare Strohmenge, wie im Jahr 2003 auch gegen 0 % gehen kann. Da es zurzeit allerdings noch keine publizierten neuen Kennzahlen gibt, wird im Modell mit den VDLUFA-Daten gerechnet. Das Bilanzierungsmodul lässt eine einfache Modifizierung dieser Grundlagendaten zu, sodass hier auch Szenarien mit geringeren Reproduktionsraten modelliert werden können.

Bei der Humusreproduktion durch auf Ackerland ausgebrachte organische Materialien werden Gülle- und Strohmaximalwerte (25 t ha⁻¹ (20-30 t ha⁻¹)) berücksichtigt. Werden höhere Mengen benötigt, muss der Strohanteil auf der Fläche erhöht werden, um eine ausgeglichene Humusbilanz zu erzielen.

Für die Berechnung wird der anfallende Stallmist von Kälbern, Milchkühen und Ammen- und Mütterkühen mit 20 % TM (Stallmist frisch) sowie der Gülleanfall von Rindern und Schweinen mit 4 % TM herangezogen, um den Trockenmasseverlust der Biogasgülle zu berücksichtigen. Das bedeutet eine vorrangige Nutzung der Gülle als Biogasferment, danach zur Humusreproduktion, abschlägig des Trockenmasseverlustes.

2.2.4 Umrechnung der Biomasse in nutzbare Energiemengen

Mit dem Modellergebnis „Jährlich nutzbare Trockenmasse“ kann ein theoretisches Biomassepotenzial des Standortes ermittelt werden. Dabei wird die gesamte erntebare Biomasse (außer Wurzelrückstände) über die Fruchtfolge summiert und ein Mittelwert über die sieben betrachteten Jahre errechnet. Wird ein unterer Heizwert der landwirtschaftlichen Biomasse von 14 MJ pro kg (HARTMANN & KALTSCHMITT 2002, S. 567) angenommen, kann aus dieser jährlich nutzbaren Trockenmasse eine theoretisch nutzbare Energiemenge ermittelt werden, welches das mögliche Gesamtpotenzial der landwirtschaftlichen Produktionsflächen widerspiegelt.

Nach Analyse der Bedarfsmengen im Nahrungsmittelsektor, zur Versorgung der Viehbestände oder zum Ausgleich der Humusbilanz gelten die in der Region übrigen Erntemengen als verfügbare Potenziale zur Bioenergieproduktion. Je nach Inputstoff werden die Mengen in die Produktlinien Biogas, Biodiesel und Bioethanol nach deren Bioenergieinhalten umgerechnet (Abb. 11). Für die

einzelnen Produktlinien erfolgten umfassende Recherchen, teilweise Aktualisierungen bzw. Ergänzungen von Parameterwerten.

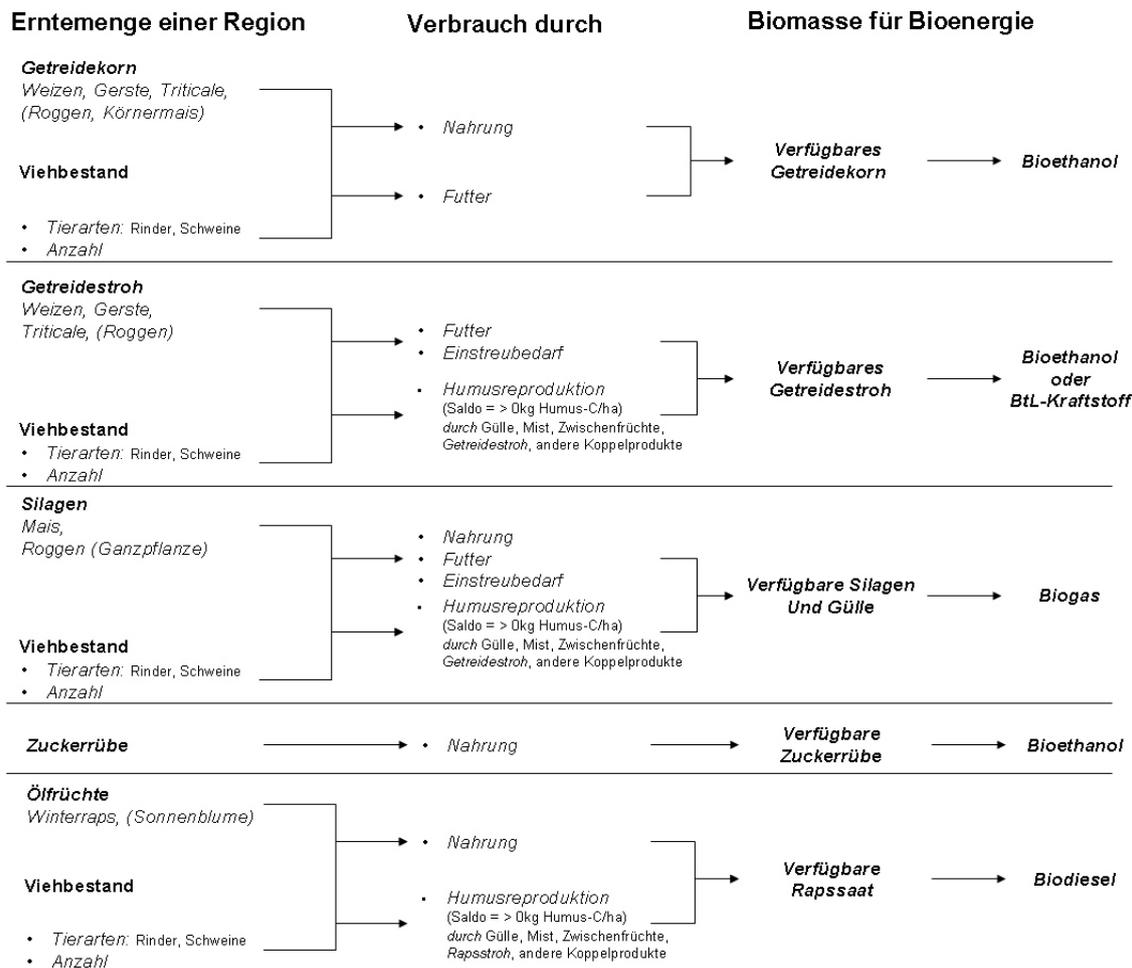


Abb. 11: Beispiele unterschiedlicher Inputstoffe als Rohstoff zur Bioenergieerzeugung und deren Verbräuche bzw. Restriktionen in der Nutzung, eigene Darstellung.

Es besteht innerhalb der Bioenergie-Produktlinien in den meisten Fällen keine Konkurrenz. Nur bei der von Roggenkorn zur Bioethanolherstellung und der Fermentation von Roggen-Ganzpflanzensilagen (GPS) in Biogasanlagen werden die verfügbaren Erntemengen von Roggenkorn zu jeweils 100 % angesetzt, da es nicht möglich ist, modelltechnisch festzulegen, in welche Produktlinie investiert wird.

Bioethanol

Bioethanol wird aus der alkoholischen Vergärung von stärke- und/oder zuckerhaltigen Pflanzen gewonnen. Während des Produktionsprozesses werden die Zellulosefasern durch spezifische Enzyme in Zucker umgewandelt und dieser weiter durch Fermentation und Destillation zu Bioethanol verarbeitet. Für die Bioethanol-Produktion können damit Getreide, Silomais, Zuckerrüben und Kartoffeln genutzt werden. In Europa wird Bioethanol hauptsächlich aus Rübenzucker oder Getreidestärke gewonnen. Grundsätzlich können alle Getreidearten als Energiegetreide angebaut und genutzt werden. Untersuchungen zeigen jedoch, dass einige Getreidesorten, wie Roggen, Triticale und Weizen höhere Biomasseerträge erwarten lassen als andere Getreidepflanzen. Der Einsatz von Winterroggen stellt vor allem für leichte Böden und aufgrund seiner Ertragsstabilität auch unter schlechteren Klimabedingungen ein gutes Potenzial dar, Triticale und Weizen sind für die Bioethanolproduktion aufgrund des hohen Stärkegehaltes besonders gut geeignet (SCHATZ 2009).

In vorliegender Studie wurden die Kornerträge der Getreidearten in spezifische Bioethanolmengen umgerechnet. Die Ethanolerträge hängen vor allem vom Stärkegehalt im Korn ab. Diese sind von der Fruchtart, aber auch von den angebauten Sorten abhängig.

Es gingen die durchschnittlichen Stärkegehalte des Getreidekorns in die Berechnung ein (Tabelle 14). Die Erntemengen werden in Stärkeerträge umgerechnet und aus diesen die Ethanolmengen abgeleitet. Dabei entspricht 1 dt Stärke einer Ausbeute von 64 Litern Ethanol (SENN 2005).

Tabelle 14: Trockenmasse, Korn:Stroh-Verhältnis (KTBL 2005, PIORR 2007) und Stärkegehalte für die Ethanol-Berechnung nach SENN (2005) für ausgewählte Energiefrüchte.

Anbaufrucht	Parameter für Biomasse- und Stroh-Berechnung		Parameter für Ethanol-Berechnung	
	Trockenmasse (TM) in %	Korn-Stroh-Verhältnis (kon. Anbau)	Stärkegehalt in der TM %	Liter Ethanol pro Tonne Frischmasse Korn
Winterroggen	86	1,7	63,36	348,7
Winterweizen	86	0,9	68,48	376,9
Wintergerste	86	1,0	63,00	346,8
Triticale	86	1,3	69,42	382,1
Körnermais	86	0,82**	61,45	338,2
Silomais	32	-	61,45*	125,8
Zuckerrübe	23			107,59
Winterraps	91	1,7		

1 dt Stärke = 64 Liter Ethanol

* Stärkegehalt für Körnermais

** eigene Berechnung

Biodiesel

Biodiesel ist ein biogener Kraftstoff, welcher den konventionellen Dieselkraftstoff ersetzen kann und wird vor allem aus Raps und Sonnenblumen gewonnen. In Mitteleuropa wird hauptsächlich der Raps als die geeignete Pflanze mit einem Ölgehalt im Samen von 40-52 % angesehen. In Einzelfällen werden auch Sonnenblumen verwendet, deren Ölgehalt mit 40-50 % angegeben wird (KTBL 2005). Die Ölsaaten werden in einer Ölmühle gepresst und so Pflanzenöl gewonnen. Als Nebenprodukt entsteht Rapsschrot, welches in der Futtermittelindustrie Verwendung findet. In einer Umesterungsanlage wird das Pflanzenöl zu Biodiesel weiterverarbeitet.

Hinsichtlich der Ölausbeuten und des Biodieselpotenzials wurde eine untere Ölausbeute zugrunde gelegt, welche sich auf regional ansässige Betreiberinformationen bezieht. So können aus einer Tonne Winterraps 0,35 Tonnen Rapsöl und 358 Liter Biodiesel potenziell erzeugt werden (Biodieselanlage Kleisthöhe 2006). Der Ölgehalt der Sonnenblume liegt im Mittel bei 40 % (0,4 t Öl pro t FM). Die Ausbeute von Biodiesel entspricht der Ausbeute von Rapsöl. Diese Werte liegen im unteren Bereich der Annahmen von FNR (2012). Die geringeren angenommenen Ausbeuten bilden insofern auch die Versorgungssicherheit der potenziellen Bioenergieanlagen ab.

Biokraftstoff aus Getreidestroh

Aus Getreidestroh können Biokraftstoffe der 2. Generation hergestellt werden. Dazu zählt die Bioethanolproduktion aus lignozellulosehaltigen Stoffen, wie es durch IOGEN (2007) praktiziert wird. Demnach können aus 1 Tonne Stroh 250 Liter Ethanol erzeugt werden. Bei Verwendung der gesamten Getreidepflanze zur Ethanolproduktion liegen demnach die Ethanolerträge zwischen 600 bis 770 Liter Ethanol je Tonne Frischmasse – die Berechnung bezieht sich auf den Ertrag von 1 Tonne Frischmasse Getreidekorn, wobei die Stroherträge über das Korn-Strohverhältnis berechnet werden (Tabelle 4).

Getreidestroh kann auch zur Herstellung von BtL-Kraftstoffen (Biomasse-to-Liquid) genutzt werden. Hier liegen nur wenige Kennzahlen vor, die die Ausbeute von Synthesekraftstoff aus Stroh beschreiben. In RAFFELT (2008) wird davon ausgegangen, dass aus 7 t Frischmasse Stroh 1 Tonne Synthesekraftstoff erzeugt werden kann.

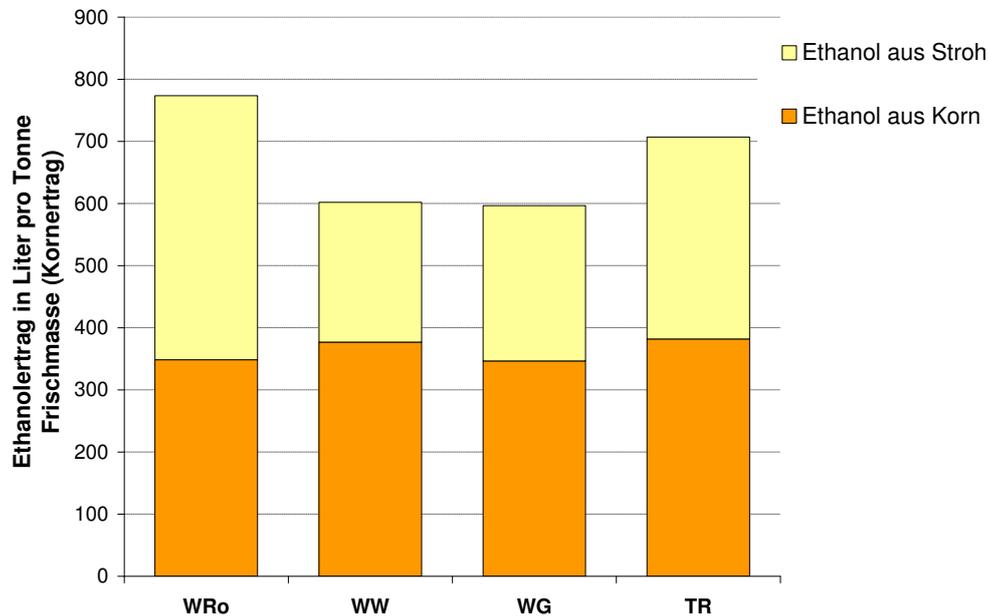


Abb. 12: Theoretischer Ethanolertrag der Getreidearten Winterroggen (WRo), Winterweizen (WW), Wintergerste (WG) und Triticale (TR) abgeleitet über Kornertrag von 1 Tonne Frischmasse und den Korn-Stroh-Verhältnissen, eigene Berechnung.

Biogas

Zur Ableitung von potenziellen Biogasmengen gehen die Erträge von Silomais und Winterroggen ein, da diese Früchte am häufigsten als Fermente in Biogasanlagen verwendet werden. Die Erträge von Winterroggen-Ganzpflanze (40 % Trockensubstanz) und Silomais (35 % Trockensubstanz) (TS-Gehalt nach KTBL 2005) werden mit einem üblichen Silierverlust von 10 % korrigiert.

In bestehenden Biogasanlagen werden zumeist Gülle mit Silagen als Kosubstrat verwendet – der Gülleanteil kann dabei 0 bis 100 % betragen. Auch Betriebe mit geringen Viehzahlen können durch die Ergänzung mit Energiepflanzen oder die Investition in Gemeinschaftsanlagen ihre Güllemengen energetisch verwerten.

Potenzielle elektrische Leistung und Anzahl von Biogasanlagen basieren auf Silageerträgen und Güllemengen und werden auf der Grundlage von Basisausbeuten bei einem Wirkungsgrad von 35 % nach KTBL (2007) ermittelt:

- 311 kWh_{el} bzw. 80 m³ pro Tonne Frischmasse Roggen-Ganzpflanzensilage (GPS) mit 35 % TM
- 315 kWh_{el} bzw. 86 m³ pro Tonne Frischmasse Maissilage mit 30 % TM
- 45 kWh_{el} bzw. 23,7 m³ pro Tonne Frischmasse Rindergülle
- 40 kWh_{el} bzw. 19,2 m³ pro Tonne Frischmasse Schweinegülle
- 172 kWh_{el} bzw. 93,75 m³ pro Tonne Frischmasse Rindermist
- 383 kWh_{el} bzw. 162 m³ pro Tonne Frischmasse Geflügelmist
- 1106 kWh_{el} pro Tonne Frischmasse Getreidekorn

Die potenzielle Zahl der Anlagen wird auf eine durchschnittliche Leistung der Biogasanlagen von 500 kW_{el} gesetzt, weiterhin wird angenommen, dass die Anlagen 8.000 Volllaststunden im Jahr laufen.

2.3 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Das Biomasse-Ertragsmodell wurde für den ostdeutschen Untersuchungsraum entwickelt. Anwendung fand das Modell für räumliche Ebene der Gemeinden in KOCH (1998), SCHOLZEN (1999) und BERDEL (1999) für Brandenburg und Ostdeutschland. Erstmals wurde das Modell zur Abschätzung von landwirtschaftlichen Biomassepotenzialen in AUTORENKOLLEKTIV (2002) verwendet.

Das Biomasse-Ertragsmodell ist flexibel und leicht zu modifizieren bzw. an regionale Unterschiede anzupassen. Modellinput für die Ableitung der landwirtschaftlich erzeugbaren Biomasse ist einerseits die Ackerfläche der Region, andererseits Standorteigenschaften, wie Jahresniederschlag und Bodenproduktivität (Ackerzahl). Die einfache Struktur des Modells (Abb. 4) und die geringe Anzahl an Modellinputparametern ermöglichen eine räumliche Modellierung im ESRI-Programm ArcGIS. Die Programmierung der Algorithmen erfolgt in Visual Basic for Application (VBA) und unterstützt die Ansprüche der flexiblen Gestaltung, um neue Erkenntnisse hinsichtlich der Ertragsfunktionen oder Fruchtfolgealgorithmen, so z.B. die Etablierung von Energiefruchtfolgen, in das Modell aufzunehmen. Es ist sowohl für den Vergleich unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensitäten als auch zur Abschätzung von spezifischen Bioenergiepotenzialen geeignet. Die Ergebnisse des Biomasse-Ertragsmodells bilden die Grundlage zur regionalen Auswertung hinsichtlich nutzbarer Energiemengen.

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Prüfung der Übertragbarkeit des Modells auf unterschiedliche räumliche Ebenen. Wie in Abb. 13 dargestellt, sollen Anwendungen auf regionaler Ebene erfolgen (Modellierungen in Landkreisen und Gemeinden: Modellregion 1 und 2), andererseits deutschlandweite bis europäische Biomasse-Potenzialanalysen möglich werden (Modellregion 3).



Abb. 13: Untersuchungsgebiete und Modellierungsebenen.

Zur Übertragung des Modells auf diese unterschiedlichen Modellierungsebenen ist die Recherche verfügbarer Daten nötig. An diese Datengrundlagen knüpfen sich folgende Anforderungen: Sie sollen

- flächendeckend bzw. digital vorliegen und
- müssen den Modellinputparametern entsprechen.

Um das Biomasse-Ertragsmodell von regionaler bis europäischer Ebene anzuwenden, müssen Datenlücken aufgezeigt werden und eventuelle Einschränkungen in der Anwendbarkeit des Modells, sowohl thematisch (Potenzialebene) als auch maßstabsspezifisch (z.B. kleinste räumliche Einheit), erfolgen. Liegen Daten nicht in der nötigen Form vor, sind Anpassungen des Modells einerseits oder Modifikationen vorhandener Daten erforderlich.

Um eine räumliche Analyse durchzuführen, ist eine Modellierungsebene notwendig, für welche die Inputparameter der Ertragsalgorithmen verfügbar sind. Als Basis für die Modellierung werden folgende Geodaten benötigt:

- Geodaten zur Nutzung als Ackerfläche in einer Region,
- Geodaten zum Jahresniederschlag und
- Geodaten zur Ertragsfähigkeit der Böden (Ackerzahl).

In den folgenden Kapiteln werden die recherchierten Daten aufgelistet und deren Anwendung im Modell beschrieben.

2.3.1 Landnutzung: Ackerfläche

Die ackerbaulich genutzte landwirtschaftliche Fläche stellt die in der vorliegenden Modellentwicklung maßgebliche Arbeitsebene dar. Zur flächendeckenden Abschätzung der Landnutzungsanteile – speziell der Ackerflächen – wurden folgende Daten recherchiert:

- Jährlich aktualisiert werden von den Landesämtern für Landwirtschaft die Feldblockdaten von InVeKoS mit einer Differenzierung der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Ackerland, Grünland und Dauerkultur herausgegeben. Diese liegen im Maßstab von 1:5.000 vor. In Deutschland ist die Akquise dieser Daten über die Landwirtschaftsämter möglich, die kostenlose Bereitstellung wird allerdings nicht immer gewährleistet. Für das Bundesland Brandenburg sind die Daten kostenfrei über die Homepage des zuständigen Amtes erhältlich, in Sachsen-Anhalt muss eine Schutzgebühr entrichtet werden. Bisher ist es nötig, bei einer deutschlandweiten Betrachtung jedes einzelne Bundesland nach diesen Daten zu befragen (eigene Recherche).
- Die Ackerflächen liegen in den Digitalen Landschaftsmodellen DLM vor. Sie werden in ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) der Landesvermessungsämter geführt und sind dort käuflich zu erwerben. Der Maßstab der Daten beträgt 1:10.000. In Brandenburg erfolgte die letzte Aktualisierung der Ackerflächen im Jahr 2008. Die Flächen variieren jedoch im Vergleich zwischen DLM, Agrarstatistik und InVeKoS. Daher werden laut Informationen des Landesbetriebes Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB) in den folgenden Ausgaben des DLM die Ackerflächen durch den Datensatz der InVeKoS - Feldblockdaten ersetzt, sodass die aktuellen Nutzungsdaten in DLM mit den InVeKoS-Daten übereinstimmen.
- National und europaweit dient CORINE Landcover als Modellierungsgrundlage. Diese Geodaten werden von der Europäischen Umweltagentur (EEA) im Maßstab 1:300.000 herausgegeben. Dahinter steht eine rasterbasierte Landnutzungskartierung von Satellitendaten.

CORINE Landcover ist eine Landnutzungskartierung auf der Basis von Satellitendaten für das entsprechende Referenzjahr 1990, 2000, 2006. Eine erste Landnutzungskarte wurde als CORINE Landcover Database 1990 herausgegeben. Das Projekt ist Teil des European Commission Programms „COoRdinate INformation on the Environment (CORINE)“. Die Karten enthalten die Landnutzungsinformation und Landnutzungsänderungen in Europa. Ziel ist eine einheitliche Landnutzungsklassifikation und die Identifikation von Landnutzungsänderungen im Vergleich zu den bisherigen Aufnahmejahren in Europa. Die Nutzungsinventur wird alle zehn Jahre fortgeschrieben (EEA-ETC/TE 2002).

In der vorliegenden Arbeit wird mit den CORINE Landcover CLC2000 und CLC2006 gearbeitet, CLC2000 ist für die EU27-Länder verfügbar, in CLC2006 wurden zusätzlich Daten für Norwegen und die Schweiz bereitgestellt. Die Daten basieren auf einer standardisierten Methode und Nomenklatur der Satellitenbildinterpretation (Landsat-5, Landsat-7) im Maßstab von 1:100.000 mit

einer Genauigkeit von 100 m, die kleinste kartierte Flächeneinheit ist 25 ha. Bebaute Fläche, Landwirtschaft, Wälder und naturnahe Flächen, Feuchtsflächen und Wasserflächen sind die Hauptklassen im Level 1. Diese werden weiter differenziert bis zu 44 Landnutzungsklassen in Level 3. Landwirtschaftlich genutzte Flächen werden in Ackerland mit der Differenzierung bewässert/unbewässert angegeben. CORINE Landcover enthält keine Informationen zur Art der Bewirtschaftung (konventionell/ökologisch) oder zu den angebauten Fruchtarten. Brachland ist als Klasse nicht enthalten. Kleine Felder und kleinflächige Nutzungen werden in „Heterogene landwirtschaftliche Flächen“ zusammengefasst (Level 2) und in „Einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen“, „Komplexe Parzellenstrukturen“ bzw. „Landwirtschaft und natürliche Bodenbedeckung“ in Level 3 untergliedert.

In der EU27 liegen die Anteile der ackerbaulich genutzten Flächen bei ca. 25,5 %. Als potenzielles Ackerland kann zusätzlich die Klasse der heterogen landwirtschaftlich genutzten Flächen (het.lw.) angesehen werden, was eine zusätzliche Fläche von fast 10 % der Landfläche bedeuten würde (Abb. 14). Weiterhin gehört die Klasse der Dauerkulturen (DK) zur ackerbaulich genutzten Fläche.

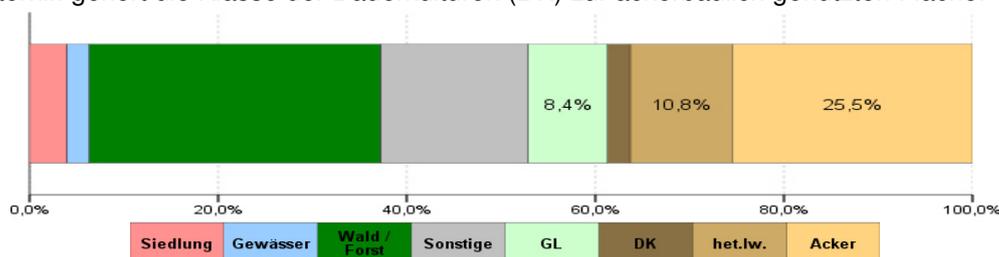


Abb. 14: Anteil der Landnutzungen an der Landfläche der EU27-Mitgliedsstaaten (eigene Berechnung nach CLC2000) – GL = Grünland; DK = Dauerkultur; het.lw. = heterogen landwirtschaftlich genutzten Flächen.

2.3.2 Niederschlag

Als bedeutendster klimatischer Faktor wird der Jahresniederschlag herangezogen. Diese Daten liegen räumlich differenziert für den gesamten Untersuchungsraum vor: Für Deutschland wurden Datensätze des Deutschen Wetterdienstes (DWD) im Raster von 1 km² recherchiert. Es liegen sowohl ein langjähriges Mittel für den Zeitraum 1961 bis 1990 und als auch einzelne Datensätze zu Jahres-Niederschlagssummen von 1950 bis 2011 vor. Weiterhin liegen Monatsniederschlagssummen für Einzeljahre vor.

Weltweit kann auf einen kostenlosen Datensatz zurückgegriffen werden (WORLDCLIM 2008), der im geodätischen Koordinatensystem vorliegt und eine räumliche Auflösung von 30 Grad pro Rasterzelle aufweist. Umgerechnet auf ein metrisches Koordinatensystem entspricht diese Auflösung für Mitteleuropa ungefähr einer Rastergröße von 1 km² und ist damit vergleichbar mit den Daten des DWD. Allerdings bezieht sich der Rasterdatensatz auf mittlere Jahresniederschlagsdaten des Zeitraums von 1950 bis 2000 (Abb. 16), weshalb es mit den DWD-Rasterdaten nicht 100 %-ig vergleichbar ist. Die Dichte des Wetterstationsnetzes ist in den Ländern sehr unterschiedlich und birgt daher eine räumliche Fehlerquelle. Das Netz ist in Deutschland beträchtlich dichter als in den baltischen Staaten, sodass die flächenhaft dargestellten Daten hier statistisch ungenauer sein könnten. (Abb. 15).

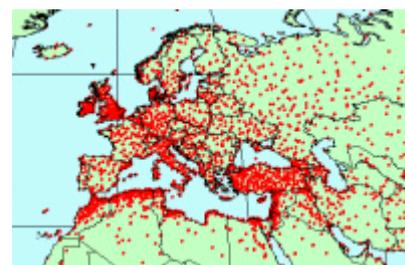


Abb. 15: Verteilung der Klimastationen mit Niederschlagsmessung in Europa, die in den Datensatz einfließen (aus: WORLDCLIM 2008).

Der Niederschlag nimmt infolge des Wandels vom vorwiegend ozeanischen zum stärker kontinental geprägten Klima von der Küste in das Landesinnere und nach Osten ab. In den Gebirgsregionen treten höhere Niederschläge auf. In Deutschland liegen die mittleren Jahresniederschläge bei ca. 800 mm pro Jahr mit regional und jahresbedingt großen Unterschieden (Abb. 16).

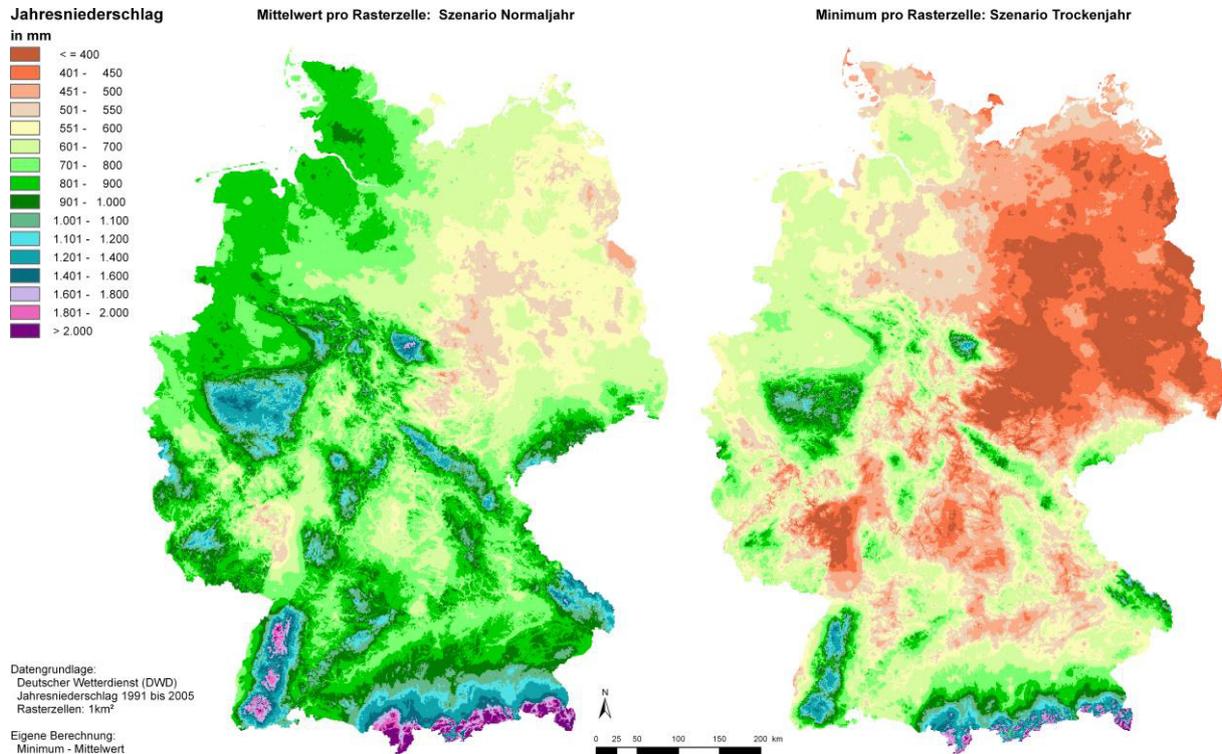
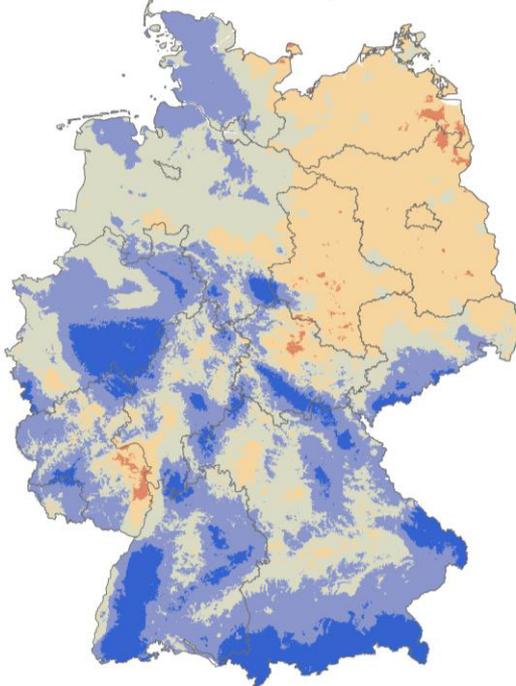


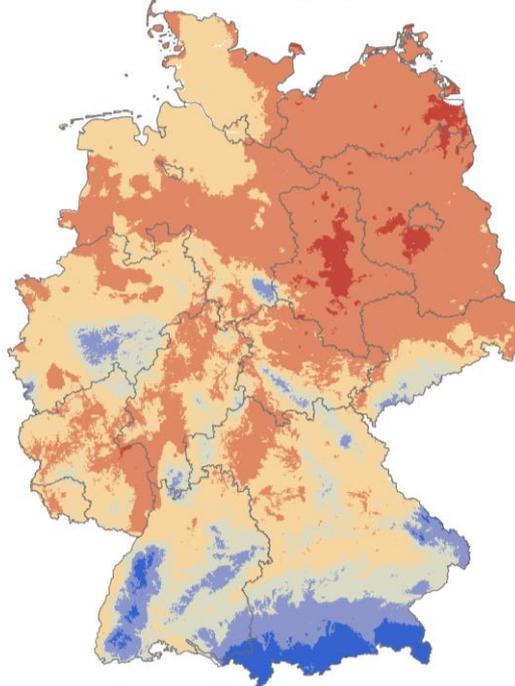
Abb. 16: Jahresniederschlag in Deutschland: Mittelwert und Minimum von 1991 bis 2005 (nach DWD 2007).

Für die Bewertung von Erträgen verschiedener Fruchtartgruppen können die Niederschlagssummen in den Vegetationszeiten bedeutend sein. Daher wurden für die Winterfrüchte und Sommerfrüchte relevante Niederschlagszeiträume festgelegt und mittlere sowie minimale Niederschlagssummen für diese Jahre ermittelt (Abb. 17-18). Für die Sommerfrüchte wurde ein Zeitraum von März bis August gewählt, für die Winterfruchtarten ein ertragsbildender Zeitraum von September bis Juni.

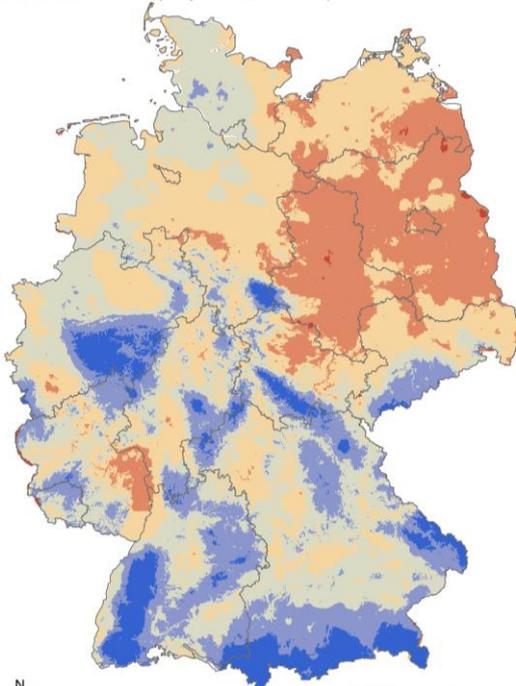
Szenario "normal": Median
Winterfruchtarten (September - Juni)



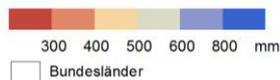
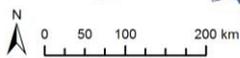
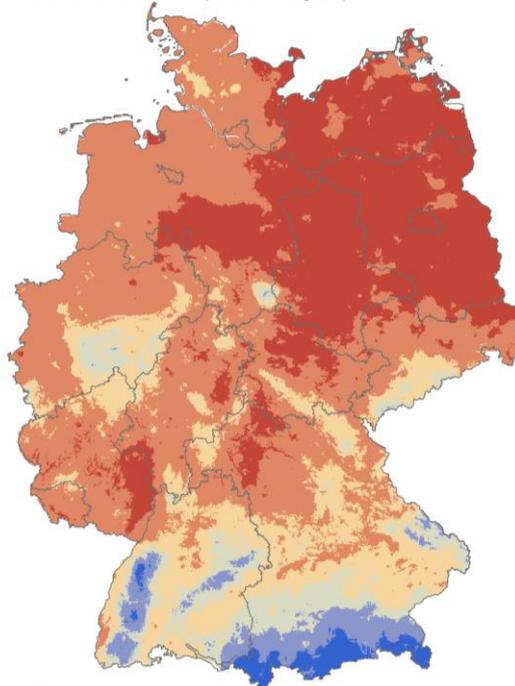
Szenario "normal": Median
Sommerfruchtarten (März - August)



Szenario "trocken": Minimum
Winterfruchtarten (September - Juni)



Szenario "trocken": Minimum
Sommerfruchtarten (März - August)



□ Bundesländer

Datengrundlage: DWD: Monatssummen Niederschlag 2005-2010
Verwaltungsgrenzen VG250@ATKIS
© Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2008

Abb. 17: Niederschlag in Deutschland von 2005-2010: Grundlagen der Szenarien „normal“ (Median) und „trocken“ (Minimum) differenziert nach fruchtartspezifischen Vegetationszeiträumen, eigene Berechnung nach DWD Raster-Jahresdaten 2005-2010.

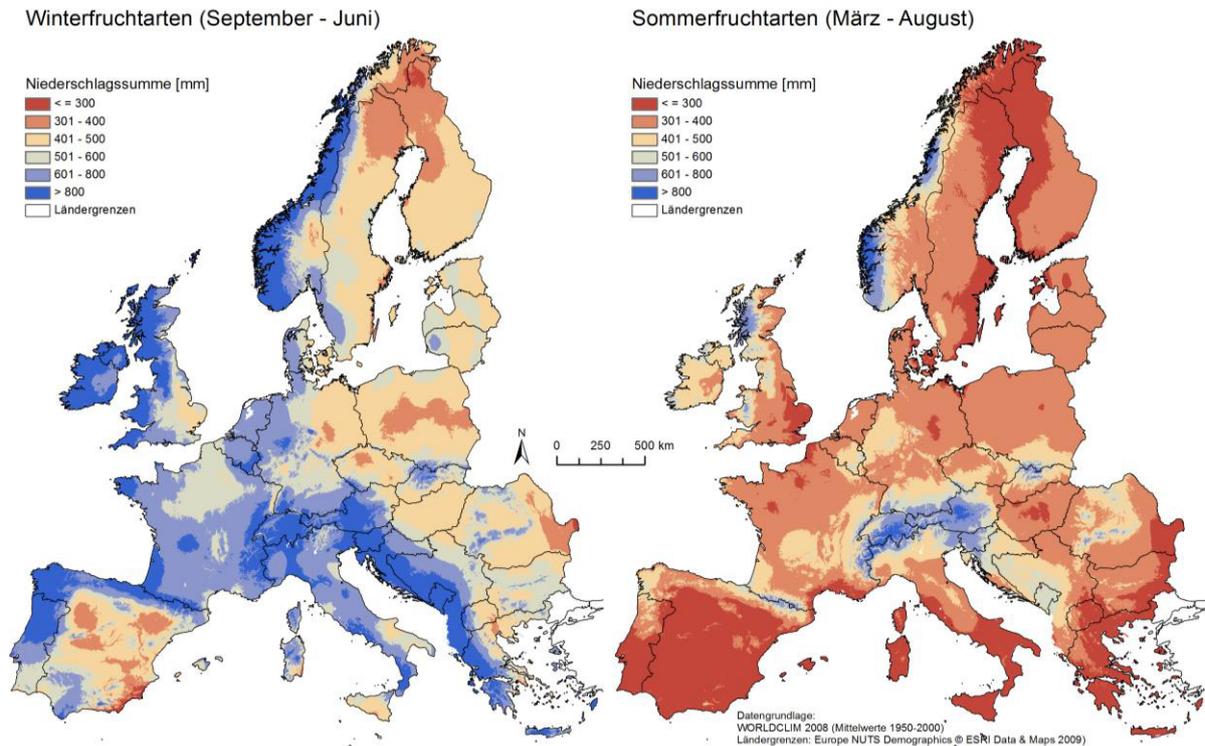


Abb. 18: Niederschlagssummen fruchtartspezifischer Vegetationszeiträume in Europa für Winter- (links) und Sommerfrüchte (rechts) im Niederschlagsszenario „normal“ (Median), eigene Berechnung nach WORLDCLIM 2008-Rasterdaten: mittlere Monatssummen 1950-2000.

2.3.3 Ertragsfähigkeit der Böden

Das Biomasse-Ertragsmodell beruht auf der Bewertung der landwirtschaftlichen Leistungsfähigkeit von Böden mittels des Bodenwertes „Ackerzahl“ und damit dem Zusammenhang von steigenden Erträgen mit höherer Ackerzahl (ROTH 1995, PIORR 1998b u.a.). Die Ertragsfähigkeit der Böden fußt damit auf dem in Deutschland in den 1930er Jahren aufgestellten System des Ackerschätzungsrahmens (ROTHKEGEL 1930, 1952).

2.3.3.1 Bodenschätzung

Nach ROTHKEGEL (1952) lassen sich folgende Aspekte zur landwirtschaftlichen Schätzungslehre und der Ableitung der Bodenzahl bzw. Ackerzahl benennen: Die Einteilung der Böden erfolgte anhand von Bodenarten, deren Entstehung und Bodeneigenschaften. Die Bodenarten sind nach den Anteilen der tonigen Bestandteile unterteilt, dabei wird der Boden als Gemenge aus Sand, Schluff und Ton aufgefasst, wobei die Kornfraktionen in Sand mit Grobschluff (2,0 – 0,01 mm) und tonige Bestandteile mit Feinschluff (< 0,01 mm) unterteilt werden:

Tabelle 15: Bodenarten in der landwirtschaftlichen Schätzungslehre (nach ROTHKEGEL 1952).

Bodenart ID	Bezeichnung Bodenart	Zeichen	Tonige Bestandteile %
1	Sand	S	unter 10
2	Anlehmiger Sand	SI	10 bis 13
3	Lehmiger Sand	IS	14 bis 18
4	Stark lehmiger Sand	SL	19 bis 23
5	Sandiger Lehm	sL	24 bis 29
6	Milder Lehm	L	30 bis 40
7	Schwerer Lehm	LT	41 bis 60
8	Ton	T	über 60

Neben den Bodenarten werden Zustandsstufen definiert, um den Grad der Entwicklung des Bodens vom unveränderten Ausgangsgestein zum „Endzustand der Bodenbildung“ einzuschätzen. Der Boden durchläuft in seiner Entwicklung demnach Stufen, in denen er für die landwirtschaftliche Nutzung in verschiedenem Maße geeignet ist. Für Ackerböden stellt Stufe 1 „das Höchstmaß der Leistungsfähigkeit“ dar und die Stufe 7 „den für die landwirtschaftliche Kultur geringwertigsten Boden“. Die Zustandsstufen hängen vor allem vom Humusgehalt, der Wasserversorgung und vom Kalkgehalt der Bodenkrume ab.

Ein dritter Parameter, der zur Ableitung der Bodenzahl herangezogen wird, ist die Entstehung des Bodens. Es werden folgende Gruppen nach „... geologischen Gesichtspunkten unterschieden:

- die Diluvialböden (Zeichen D), die aus dem Moränenschutt der Eiszeit entstanden sind,
- die vom Wind herangewehten Lößböden (Lö),
- die angeschwemmten Alluvialböden (Al) und
- die Verwitterungsböden (V), die in der Regel noch auf dem Gestein ruhen, aus dem sie entstanden sind. Die besonders steinhaltigen Verwitterungsböden werden in einer Untergruppe als Trümmer- oder Gesteinsböden (Vg) bezeichnet. ...“

Der Boden wird „bis zur einer Tiefe untersucht, die für das Wachstum der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen nach von Bedeutung ist, auf tiefgründigem Boden also bis zu einer Tiefe von 1 m und mehr. ...“ (ROTHKEGEL 1952).

Die Merkmale Bodenart, Zustandsstufe und Entstehung werden in einem Klassenzeichen zusammengeführt, welches dann über den Ackerschätzungsrahmen in Bodenzahlen übersetzt wird (Anhang T-3). Die einzelnen Reaktionen der Bodenzahl auf die zugrunde liegenden Merkmale Bodenart, Entstehung und Zustandsstufen sind in Abb. 19 dargestellt: Die Bodenzahlen sind abhängig von den Anteilen an tonigen Bestandteilen (Bodenart) und nehmen mit höheren Zustandsstufen ab.

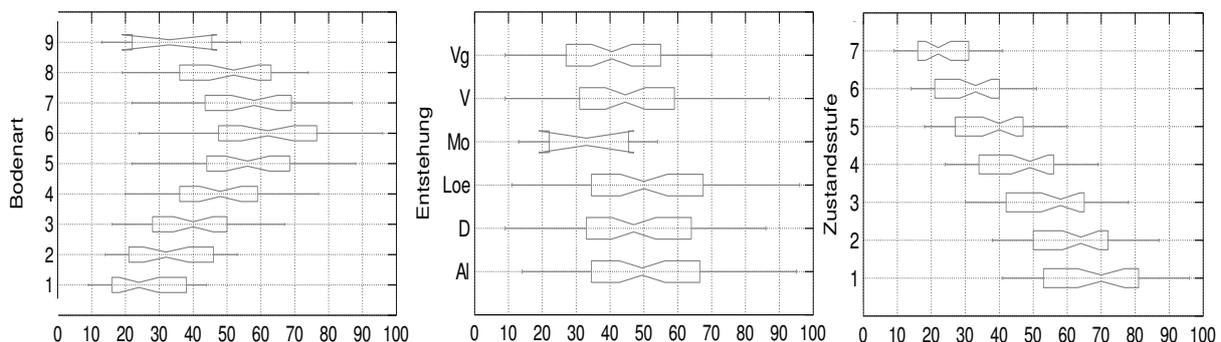


Abb. 19: Reaktion der Bodenzahl auf die zugrunde liegenden Parameter: Bodenart (Bodenart ID nach Tabelle 15 (S. 36) / ID „9“ = Moor), Entstehung und Zustandsstufe (Datengrundlage DIBOS Landkreise Uckermark und Barnim), eigene Berechnung.

Die geringsten Bodenzahlen sind bei Bodenart Sand (ID =1) und hohen Zustandsstufen zu erwarten. Mit ansteigendem Lehmanteil steigen die Bodenzahlen an, bei hohen tonigen Anteilen nehmen sie hingegen wieder ab. Mit geringerer Zustandsstufe werden höhere Bodenzahlen erwartet, auch die Varianz nimmt zu. Der Entstehungstyp jedoch wirkt sich nicht spezifisch auf das Niveau der Bodenzahl aus, organische Böden haben im Mittel geringere Bodenzahlen als mineralische.

Eine Korrektur der Bodenzahlen in Ackerzahlen erfolgt durch besondere Standorteigenschaften, wie klimatische Bedingungen, Geländebeziehungen, Bodenverdichtung und Steingehalte (AD-HOC-AB BODEN 2005).

Die Bodendaten wurden in analogen Karten geführt, doch erst seit kurzer Zeit erfolgt eine Digitalisierung der analogen Karten. Leider kann nur in den Landkreisen Barnim und Uckermark auf diese digitalisierten Daten in Zusammenarbeit mit den Katasterämtern der Landkreise zurückgegriffen

werden. Diese Daten werden als DIBOS-Daten bezeichnet und enthalten das Klassenzeichen der Bodenschätzung, die Bodenzahl, Ackerzahl und Grünlandzahl.

Nach Auswertung dieser vorliegenden DIBOS-Daten wurde festgestellt, dass die Ackerzahlen von den Bodenzahlen um durchschnittlich + 2,7 Bodenzahl abweichen. Das Ertragsniveau der Ackerflächen wird also in den Landkreisen Uckermark und Barnim durch die Standorteigenschaften 2 bis 3 Bodenzahl höher eingeschätzt, als die Bodenzahl nach dem Klassenzeichen ausgibt.

Tabelle 16: Korrelation der Bodenparameter aus DIBOS in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Berechnung.

Korrelation Pearson	Zustandsstufe	Entstehung	Bodenzahl	Ackerzahl
Bodenart (nur mineralisch)	-0,163	-0,034	0,848	0,817
Zustandsstufe	1	0,016	-0,620	-0,641
Entstehung		1	-0,026	-0,022
Bodenzahl			1	0,986
Ackerzahl				1

Die Ackerzahl korreliert mit 0,986 hoch signifikant zur Bodenzahl. Acker- und Bodenzahl hängen stark von der Bodenart ab (Tabelle 16). Zustandsstufe und Entstehungsart bilden das Ergebnis der Bodenzahl weniger stark ab. Allerdings variieren die zugrunde liegenden Daten in der Art der Entstehung sehr gering: 97 % der Flächen sind Dilluvialböden, 3 % Alluvialböden. Lößböden und Verwitterungsböden treten nur ein- bzw. zweimal auf. Die Zustandsstufe ist negativ mit Boden- und Ackerzahl korreliert, was sich aus der Definitionsweise der Stufen erklärt: Gute Böden bekommen eine geringere Zustandsstufe (beste = 1), leichtere Böden eine höhere Stufe (maximal 7) zugewiesen.

Ackerzahlen werden auch in sogenannte Landbaugebiete zusammengefasst, um landwirtschaftliche Nutzungstypen auszuweisen. Für das Bundesland Brandenburg werden folgende Landbaugebiete (LBG) ausgewiesen (nach LVL 2008):

- LBG V: bis Ackerzahl unter 23 – Grenzstandort der landwirtschaftlichen Nutzung, für Roggen (Lupine, Seradella) geeignet,
- LBG IV: Ackerzahlen 23 - 28 – Roggen-Kartoffel- und z.T. Mais-fähig
- LBG III: Ackerzahlen 29 - 35 – Roggen-Kartoffel-, bedingt Gersten-Raps- und Weizen-fähig
- LBG II: Ackerzahlen 36 - 45 – Gersten-Weizen-Zuckerrüben-fähig
- LBG I: Ackerzahlen größer 45 – Weizen-Zuckerrüben-fähig

Es besteht die Möglichkeit, generalisierte Daten zu nutzen, um eine großräumige Modellierung durchzuführen:

- Ostdeutschland: Die GEMDAT (1995) ist eine gemeindespezifische Datenbank der ostdeutschen Bundesländer und enthält Informationen zur Landnutzung, so auch zur Bodengüte der Acker- und Grünlandfläche in einer Gemeinde. Als Modellinput wird die mittlere Ackerzahl pro Gemeinde verwendet. Die räumliche Zuweisung erfolgte anhand der Gemeindegrenzen aus dem Jahr 1995.
- Westdeutschland: Es liegt eine analoge Karte der mittleren Ertragsmesszahl der Gemeinden von 1958 im Maßstab 1:1.000.000 vor (Hrsg.: Institut für Landeskunde in der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung, Bad Godesberg). Diese Karte wurde gescannt, georeferenziert und durch Bildbearbeitungsmethoden überwacht klassifiziert (Anhang A-3), auf die Gemeindegrenzen von 2003 digitalisiert und anschließend auf die CORINE Landcover Klasse Ackerland ausgeschnitten. Eine Gewichtung der Ertragsmesszahl auf die Anteile von Ackerland und Grünland wurde nicht durchgeführt. Die Ertragsmesszahl entspricht einem flächengewichteten Mittelwert der Grünland- und Ackerzahl (PREETZ 2003). Die Karte enthält eine farblich abgestufte vorrangige Nutzung von Acker (braun) und Grünland (grün) bzw. Wald (ohne Zuordnung von Gütestufen) bezogen auf das Kartierungsjahr 1937 und erfasst folgende Gütestufen der Ertragsmesszahl:

< 21; 21 – 24; 25 – 32; 33 – 40; 41 – 50; 51 – 63; 64 – 79; > 79.

2.3.3.2 Digitale nationale Bodendaten

Den aktuellen nationalen Bodendaten liegen die Methoden der Bodenkundlichen Kartieranleitungen KA4 (AG BODEN 1994) und KA5 (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN 2005) zugrunde. Sie liegen in unterschiedlichen räumlichen Maßstäben vor und werden von den Landesämtern oder national von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) herausgegeben. Unter anderem werden digitale Bodenübersichtskarten (BÜK) in unterschiedlichen Maßstabsebenen und Aktualitäten erstellt, in denen Bodengesellschaften oder Bodenregionen als Legendeneinheiten definiert werden und für diese Leitbodenformen mit ihren Bodeneigenschaften in Datenbanken hinterlegt sind. Sowohl die Kornfraktionen des Feinbodens als auch die Einschätzungen der Bodeneigenschaften unterscheiden sich von der Bodenschätzung und sind daher nur über Umrechnungsalgorithmen vergleichbar.

BÜK300

Die Daten der Bodenübersichtskarte liegen für das Bundesland Brandenburg im Maßstab 1:300.000 vor und bestehen aus zwei Teilen (LBGR 2007): Aus den Geodaten und einer Sachdatenbank – dem Flächenbodenarchiv (FBA), welches eine spezielle Bodenansprache ermöglicht. Verbunden sind die Geodaten mit dem FBA über die Blattlegendeneinheiten (= „LegNr.“), denen eine Kombination mehrerer Flächenbodenformen zugeordnet wird. Zu diesen Flächenbodenformen gibt es je nach Nutzung unterschiedliche Parametersätze, welche die Horizontbeschreibungen mit Korngrößen, chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften enthalten. Außerdem werden die Flächenanteile der Bodenformen in den Legendeneinheiten genannt (Abb. 20).

Flächenbodenformenarchiv BÜK 300

parameterisierte Bodenform (landwirtschaftlicher Nutzungsbezug):

GGn:f-s(Sf)

Deckungsgrad (ha)	Frequenz	rel. Deckungsgrad (%)	rel. Frequenz (%)	rel. Flächen-gewicht (%)	Verbreitungsgrad
44411	291	1,45	2,03	1,74	4

Bezug zur Blattlegeneinheit (BÜK 300)					
Leg_nr	Deckungsgrad (ha)	Frequenz	rel. Deckungsgrad	rel. Frequenz (%)	rel. Flächen-gewicht (%)
12	6510	28	0,22	0,20	0,21
21	21625	130	0,72	0,92	0,82
22	1314	16	0,04	0,11	0,08
23	846	4	0,03	0,03	0,03
24	1233	7	0,04	0,05	0,05
25	3613	32	0,12	0,22	0,17
28	8544	50	0,28	0,39	0,32
72	6294	46	0,21	0,33	0,27
87	241	3	0,01	0,02	0,01

Tiefen + Mächtigkeiten (cm)														pH - Werte / Kalk (M.-%)									
Hor	HSK	Tiefe	P25	P75	n	V	verbal	Mächt	P25	P75	n	V	verbal	CaCl2	Klasse	P25	P75	n	V	verbal	Kalk		
1	Ap:ff-s(Sf)	30	25	30	146	0,05	h	30	25	30	146	0,25	h	6,2	s1	5,4	6,8	24	0,15	h	c0		
2	Go:ff-s(Sf)	60	60	110	270	0,37	m	30	20	40	269	0,49	m	6,1	s1	5	7,0	55	0,25	m	c0		
3	Gor:ff-s(Sf)	100	85	145	113	0,40	m	35	20	50	113	0,64	n	6,8	s0	5,1	7,6	18	0,21	h	c0		
4	Gr:ff-s(Sf)	200	171	200	366	0,90	n	70	35	105	365	0,74	n	6,5	s1	5,6	7,1	35	0,18	h	c0		

Körnung (M.-%)																					
Hor	HSK	BA	S	P25	P75	n	V	verbal	U	P25	P75	n	V	verbal	T	P25	P75	n	V	verbal	GB
1	Ap:ff-s(Sf)	Ss	89	89	91	11	0,03	h	8	6	9	11	0,42	m	4	3	5	12	0,37	m	0
2	Go:ff-s(Sf)	Ss	97	95	100	27	0,03	h	2	1	3	27	0,74	n	1	0	2	32	1,48	e	0
3	Gor:ff-s(Sf)	Ss	95	93	95	9	0,03	h	2	2	3	9	0,74	n	3	2	3	12	0,49	m	0
4	Gr:ff-s(Sf)	Ss	96	91	96	20	0,05	h	3	2	6	23	0,64	n	2	1	3	36	0,74	n	0

Austauschkapazität (cmolc/kg)										Humus / Kohlenstoff (M.-%)											
Hor	HSK	pot	Klasse	P25	P75	n	eff	Klasse	P25	P75	n	V	verbal	Ct	P25	P75	n	V	verbal	Humus	Klasse
1	Ap:ff-s(Sf)	19	KAK4	9,6	25,8	18						0,64	n	1,90	1,27	3,69	24	0,52	n	3,2	h3
2	Go:ff-s(Sf)	3	KAK1	1,7	5,3	42						0,68	n	0,17	0,09	0,36	48	0,59	n	0,3	h1
3	Gor:ff-s(Sf)	2,3	KAK1	1,6	3,4	13						0,56	n	0,15	0,09	0,24	15	0,78	n	0,3	h1
4	Gr:ff-s(Sf)	3,3	KAK1	1,7	4,5	28						0,69	n	0,27	0,09	0,46	25	0,99	n	0,5	h1

Bodenphysik I														Einheiten: Ld(KA5), TRD: (g/cm³), Kf: (cm/d)					
Hor	HSK	Ld(KA5)	Klasse	P25	P75	n	TRD	P25	P75	n	V	verbal	Kf	P25	P75	n	V	verbal	
1	Ap:ff-s(Sf)	1,7	3	1,65	1,68	3	1,63	1,59	1,64	11	0,01	h	161	161	161	1		-	
2	Go:ff-s(Sf)	1,6	3	1,63	1,69	3	1,63	1,63	1,63	27	0,02	h	55	36	99	8	0,73	n	
3	Gor:ff-s(Sf)	1,7	3	1,54	1,71	3	1,63	1,63	1,63	9	0,02	h	107	89	144	11	0,46	m	
4	Gr:ff-s(Sf)	1,6	3	1,63	1,68	3	1,63	1,63	1,66	20	0,01	h	48	48	48	1		-	

Bodenphysik II (Vol.-%)																						
Hor	HSK	FK(KA5)	FK	P25	P75	n	V	verbal	nFK(KA5)	nFK	P25	P75	n	V	verbal	LK(KA5)	LK	P25	P75	n	V	verbal
1	Ap:ff-s(Sf)	20,7	49,7	49,6	49,9	3	0,01	h	14,8	18,9	18,9	18,9	3	0,00	h	20,2	6,7	6,4	7,1	3	0,16	
2	Go:ff-s(Sf)	17,2	23,5	11,2	29,8	11	0,70	n	13,8	20,4	10,9	28,4	9	0,65	n	21,2	13,5	8,9	26,2	11	1,04	e
3	Gor:ff-s(Sf)	17,2	22,2	15,9	32,5	10	0,13	h	13,8	21,3	18,0	22,9	24,7	0,14	h	21,2	14,2	12,1	16,9	19	0,25	m
4	Gr:ff-s(Sf)	17,2	35,1	33,2	35,6	3	0,04	h	13,8	32,5	30,6	32,9	3	0,04	h	21,2	2,7	2,0	4,8	3	0,82	n

Abb. 20: Screenshot des Flächenbodenformenarchivs (FBA) der BÜK300: Beispiel eines Parametersatzes einer Bodenform mit landwirtschaftlicher Nutzung nach LGBR 2007.

Das Problem für eine Berechnung im GIS besteht in der horizontweisen Beschreibung der Bodenformen und der indirekten Angabe des Deckungsgrades der Flächenbodenform. Dadurch muss eine Ableitung von Parametern über das Profil der Flächenbodenform (FBF) mit Gewichtung nach der Mächtigkeit des Horizontes erfolgen. Andererseits muss dann – da mehrere Flächenbodenformen in einem bestimmten Deckungsgrad in einer Legeneinheit vorkommen – nochmals gemittelt werden, um mit numerischen Daten eine weitere Verschneidung der GIS-Daten zu ermöglichen. Zusammenfassend lässt sich das System folgendermaßen darstellen (Tabelle 17):

Tabelle 17: Darstellung der Organisation der Daten der BÜK 300 (eigene Darstellung).

1. Ebene = Geodaten: BÜK-Polygon mit einer Legendeneinheit (LegNr.)		
2. Ebene = Flächenbodenarchiv: Sachdatenbank: Verknüpfung über LegNr. zu Flächenbodenformen		
LegNr A	- FBF 0	Deckungsgrad (DG) = xx %
	- FBF 1	DG (FBF 1) = xx %
	- FBF XX ...	DG XX = xx %
LegNr B ...	- FBF XX ...	DG XX = xx%
3. Ebene = Horizontbeschreibungen: Je FBF → Eigenschaften der Horizonte (YY)		
	- Horizont 1	Horizontbeschreibungen: Tiefe (Mächtigkeit); Gehalt an Sand, Schluff, Ton; sowie chemische und physikalische Bodeneigenschaften
	- Horizont 2	
	- Horizont Y ...	

Das LBGR gibt neben den Grunddaten der BÜK300 auch ausgewertete Themenkarten heraus, wie z.B. eine Ertragspotenzialabschätzung. Die Klassifizierung erfolgte auf der Grundlage von Interpretationen des Klassenzeichens (LBGR 2006) und beruht demzufolge auf Daten der Bodenschätzung, die den Nutzern nicht zur Verfügung stehen. Es werden sieben Klassen (nur ackerbaulich genutzte Standorte wurden ausgewertet) gebildet, welche in Brandenburg folgende Flächenanteile besitzen (Abb. 21).

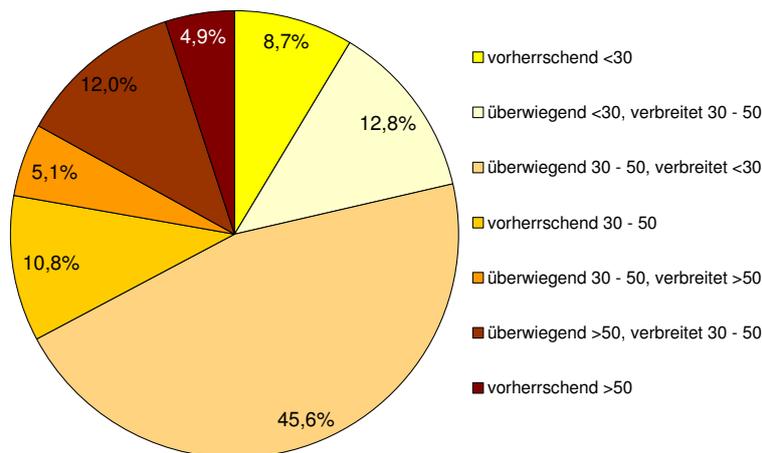


Abb. 21: Ertragsklassen der Bodenübersichtskarte BÜK 300 (LBGR 2007) auf den Ackerflächen Brandenburgs (ATKIS-BasisDLM 2008), eigene Berechnung.

Die Bodenzahlen und damit auch die potenziellen Ertragsleistungen von Feldfrüchten nehmen in dieser Reihenfolge in den Einzelgruppen ab. Das Kreisdiagramm enthält die prozentualen Anteile der BÜK300-Ertragsklassen in Brandenburg – ausgeschnitten auf die Ackerflächen (ATKIS), um die Qualität der Klassifizierung bewerten zu können. Eine Klasse mit geringen Flächenanteilen kann bei Vergleichen mit anderen Bodendaten einen größeren Fehler enthalten als Klassen mit höheren Flächenanteilen. Am häufigsten (45,6% der Ackerflächen) treten Böden der Ertragsklasse „überwiegend 30-50 und verbreitet <30“ auf.

BÜK1000

Die vektorbasierte „Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland“ aus dem Jahr 2005 liegt digital im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK1000) vor. Die BÜK1000 (BGR 2005) ist wesentlicher Inhalt der Flächendatenbank des Fachinformationssystems Bodenkunde der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (FISBo BGR). Sie beinhaltet die Verbreitung der Böden in 72 Kartiereinheiten auf dem Niveau von Leitbodenassoziationen, der Aggregierungsstufe 4, gemäß der bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 1994).

Die Karte ist das Ergebnis einer Gemeinschaftsarbeit des Bundes und der Länder und kann für länderübergreifende Aufgaben genutzt werden. Zur digitalen Karte gehören auch bodenkundliche

Schätzprofile die aus der Punktdatenbank des FISBo gewonnen wurden. Diese Leitbodenprofile enthalten – wie auch das Flächenbodenarchiv der BÜK300 – Profildaten zum Feinboden, Skelettanteil und horizontbezogene Bodeneigenschaften wie Humusgehalt, nutzbare Feldkapazität usw. Analog zur BÜK300 können über die Mächtigkeiten der Horizonte Aussagen zum Gesamtprofil errechnet werden. Allerdings liegt im Gegensatz zur BÜK300 pro Polygon nur ein Profil vor, welches vorrangig die Klassen der KA4 (AG BODEN 1994) enthält (z.B. Humusklasse) und nicht den numerischen Wert der Bodeneigenschaft beinhaltet.

2.3.3.3 Länderspezifische Bodendaten

Für den Untersuchungsraum in den weiteren europäischen Ländern konnte kein flächendeckender Datensatz zur Ertragsfähigkeit der Ackerstandorte recherchiert werden (MÖBES 2006), für einzelne Länder vorwiegend im nordosteuropäischen Raum wurden allerdings der deutschen Ackerzahl vergleichbare Bodenindizes gefunden. Die Methoden weichen allerdings von der Kartierung in Deutschland ab und liegen nur in wenigen Ländern digital vor. Eine Übersicht zu verfügbaren Daten gibt Tabelle 18.

Tabelle 18: Recherche einer Datengrundlage zur Modellierung der Biomasse in Polen, Tschechien und Baltikum: Verfügbare Bodendaten mit Ertragsparametern (BROZIO et al. 2007).

	Länderspezifische Daten	Maßstab	Räumlicher Bezug / Format	Verfügbarkeit
PL	„Land Quality Index“ / Produktivität	1:500.000	Raster	eigene Digitalisierung eines Rasterbildes (IUNG 1980)
EE	„BONITEET“ (100-Punkte-Skala)	1:10.000	Shape	erworben bei: Estonian Soil Map @Maa-amet (Estonian National Land Board)
LV	Land quality and cadastre	1:10.000	analoge Karten	nicht verfügbar
LT	„Produktivitätsgrad“ (100-Punkte-Skala)	1:300.000	Mittelwerte in Verwaltungsgrenzen	eigene Digitalisierung eines Rasterbildes (FAO project 1998)
CZ	„Soil ecological unit“	k. A.	Vektordaten	nicht verfügbar

Für Estland konnten die Daten käuflich erworben werden (ESTONIAN NATIONAL LAND BOARD 2006), in Polen (IUNG 1980) und Litauen (FAO PROJECT 1998) standen Internetversionen der Bodenkarten zur Verfügung, die aufbereitet wurden. Diese Bilddateien wurden georeferenziert und anschließend klassifiziert, um damit einen digitalen und flächendeckenden Datensatz der Ertragsfähigkeit der Böden in den Ländern Polen und Litauen für die jeweils kleinstmögliche räumliche Ebene zu erzeugen. Auch in der Tschechischen Republik (CZ) werden ökologische Bodeneinheiten (ZBĪRAL 1995) ausgewiesen, welche allerdings nicht zur Verfügung standen.

2.3.3.4 Europäische Bodendaten

Neben nationalen Daten erfolgte eine Recherche von europäischen Bodendaten. Es konnten Geodaten des European Soil Bureau (ESB) recherchiert werden, welche unterschiedliche Generalisierungen, unterschiedliche Themen und Räume abdecken.

Den europäischen Bodendaten liegen folgende Korngrößenunterteilungen zugrunde (SOVEUR 1997). Es werden die Kornfraktionen Sand (2,0 – 0,05 mm), Schluff (0,05 – 0,002 mm) und Ton (< 0,002 mm) unterschieden. Die Einteilung der Texturen erfolgt laut USDA (2010) in zwölf Bodenartenklassen anhand des Körnungsdreiecks (Anhang A-4).

Es wurden für den gesamten europäischen Raum eine European Soil Database (ESDB 2001) in unterschiedlichen räumlichen Auflösungen (10km² und 1km² - im Folgenden wird mit den 1km²-Rasterdaten gearbeitet) und für Osteuropa der Datensatz SOTER (Soil Terrain Database, SOTER 1993) recherchiert. Weiterhin liegt eine Auswertung hinsichtlich der organischen Bodensubstanz des Oberbodens im 1km²-Raster vor (Organic Carbon, ESDBv2, JONES et al. 2003).

Ein flächendeckend für Europa verfügbarer Datensatz zu Lößvorkommen in Europa wurde von HAASE et al. (2007) entwickelt und dem Projekt zur Verfügung gestellt.

Die Bodeneigenschaft pH-Wert liegt in unterschiedlichen Datensätzen vor: „pH in Europe“ (REUTER et al. 2009) enthält die pH-Werte (CaCl_2) der Böden in EU25 (Maßstab 1:1 Mio.) und liegt digital vor. Im globalen Maßstab existieren Geodaten mit klassifizierten pH-Werten (FAO Geonetwork 2007, IGBP-DIS 1998).

2.3.4 Übersicht der Datengrundlage

Es liegen in den Untersuchungsräumen folgende Geodaten (Tabelle 19) vor. Die Modellinputparameter Ackerland und Niederschlag wurden erfolgreich für den gesamten Modellierungsraum mit einheitlichen Datensätzen recherchiert. Es zeigte sich, dass kein einheitlicher Datensatz der Ertragsleistung von Ackerböden für Europa vorhanden ist.

Tabelle 19: Recherche einer flächendeckenden Datengrundlage zur Modellierung der Biomasse: Verfügbarkeit der Modell-Inputparameter.

Geo-Datensatz	kurze Datenbeschreibung	Maßstab	Format	Aktualität	Kleinste Bezugsfläche / Genauigkeit	Verfügbarkeit	Modellinput
Verwaltungsgrenzen							
ArcGIS and Map© ESRI	National Units		Shape	2006		digital, EU	Verwaltungsgrenzen: Verbindung zu Agrarstatistiken
ATKIS@VG250	Verwaltungsgrenzen Deutschland	1:250.000	Shape	2003 / 2006		digital, DE	
Basis-DLM: ATKIS	Verwaltungsgrenzen	1:10.000	Shape	2005	10 Meter	digital, BB	
Landnutzung							
CORINE Landcover 2000 und 2006	Auswertung von Satellitendaten hinsichtlich der Landnutzung	1:100.000	Shape	2000 und 2006	25 Hektar, Mindestbreite 100 m	digital, 30 europäische Länder	Ackerland
Basis-DLM: ATKIS	Amtliche Topographische Karte	1:10.000	Shape	2005	10 Meter	digital, BB	
InVeKoS Feldblockdaten	Verwaltungssystem der landwirtschaftlichen Flächen	1:5.000	Shape	2007	Feldblock	digital, BB	
Niederschlag							
Rasterkarten des Deutschen Wetterdienstes (DWD)			Raster	Monats- und Jahresdaten 1991 bis 2005	1 km ²	digital, DE	Jahresniederschlag; Niederschlag differenziert nach fruchtartsspezifischen Vegetationszeiträumen
WORLDCLIM			Raster	Jahres- und Monatssummen: Mittelwerte 1950-2000	ca. 1 km ² (Mitteleuropa)	digital, weltweit	
Boden							
Deutschland							
DIBOS: Bodenschätzung	Katasterdaten Folie 42: Boden- und Ackerzahlen in Einzelpolygonen	1:25.000	Shape	1935, teilweise aktualisiert		digital, UM & BAR	flächenscharfe Ackerzahl
GEMDAT	Gemeindedatenbank	1:250.000	Shape	1995	Gemeinde	digital, Ost-DE	mittlere Ackerzahl
Ertragsmesszahl (EMZ)	Karte der Bodengüte auf Gemeindeebene	1:1 Mio.	Analoge Karte	1958	Gemeinde 2004	West-DE. eigene Digitalisierung	mittlere Ertragsmesszahl

Geo-Datensatz	kurze Datenbeschreibung	Maßstab	Format	Aktualität	Kleinste Bezugsfläche / Genauigkeit	Verfügbarkeit	Modellinput
Bodenübersichtskarte BÜK 300	Datenbank der Leitbodenformen	1:300.000	Shape + Datenbank	2007		digital, BB	Ableitung nötig
Bodenübersichtskarte BÜK 1000	Datenbank der Leitbodenformen	1: 1 Mio.	Shape + Datenbank	2005		digital, DE	Ableitung nötig
Länderspezifische Bodendaten							
PL: „Land Quality Index“	Bilddatei	1:500.000	analoge Karte	k.A.		eigene Digitalisierung	Land Quality Index
EE: „BONITEET“	Estonian Soil Map	1:10.000	Shape	k.A.		erworben	Boniteet Mittelwert
LV: Land quality and cadastre	Analoge Karten	1:10.000	analoge Karte	k.A.		nicht verfügbar	
LT: „Produktivitätsgrad“	Bilddatei	1:300.000	analoge Karte	k.A.		eigene Digitalisierung	Mittelwerte in Verwaltungsgrenzen
CZ: Bodenart Eigenschaften	Feinboden nach USDA, nFK, Bodenmächtigkeit		Raster	2007	1 km ²	erworben	Ableitung nötig
Europäische Bodendaten							
European Soil Database (ESDB)	Europäische Bodendaten mit Bodeneinheiten basierend auf Bodengesellschaften	1:1 Mio.	Raster + Datenbank	2005	1km ²	digital, EU25	Ableitung nötig
European Soil Data: Organic content	Organische Bodensubstanz im Oberboden	1:1 Mio.	Raster	2005	1 km ²	digital, EU	
Loess in Europa (Haase et al. 2007)	Europäische Lößvorkommen	1:2,5 Mio.	Shape	2007		digital, EU	
SOTER	Bodendaten mit Bodeneinheiten basierend auf Bodengesellschaften	1:2,5 Mio.	Shape + Datenbank	1997		digital, Osteuropa	
pH in Europe (REUTER et al. 2009)	pH- Werte (CACl ₂) der Böden in EU25	1:1 Mio.	Raster	2009	5 km ²	digital, EU25	
Bodendaten Global							
FAO Geonetwork 2007: pH-Klassen	pH Werte global		Raster	2007	5*5 arc minutes	digital, global	Ableitung nötig
IGBP-DIS 1998: pH-Klassen			Raster	1998	17*17 arc minutes	digital, global	

3. Ergebnisse

Aus der Recherche verfügbarer Geodaten ergibt sich folgender Arbeitsplan zur Ableitung der Modellgrundlage in verschiedenen räumlichen Ebenen. Ziel ist, für die europäische Skala eine Datengrundlage zu erarbeiten, welche auf einheitlicher Datengrundlage beruht.

Es erfolgt zunächst ein Vergleich von Daten, dargestellt mit stärkeren Doppelpfeilen. Aus Landnutzungsdaten werden Ackerflächen exportiert und mit Agrarstatistiken verglichen. Den Ackerflächen werden die Ertragsfähigkeiten der Böden zugewiesen und mit den Niederschlagsdaten verschnitten. So entsteht eine Datengrundlage zur Modellierung der Biomasse und Bioenergie. Sowohl Modellinput als auch Ergebnisse werden miteinander verglichen (Abb. 22).

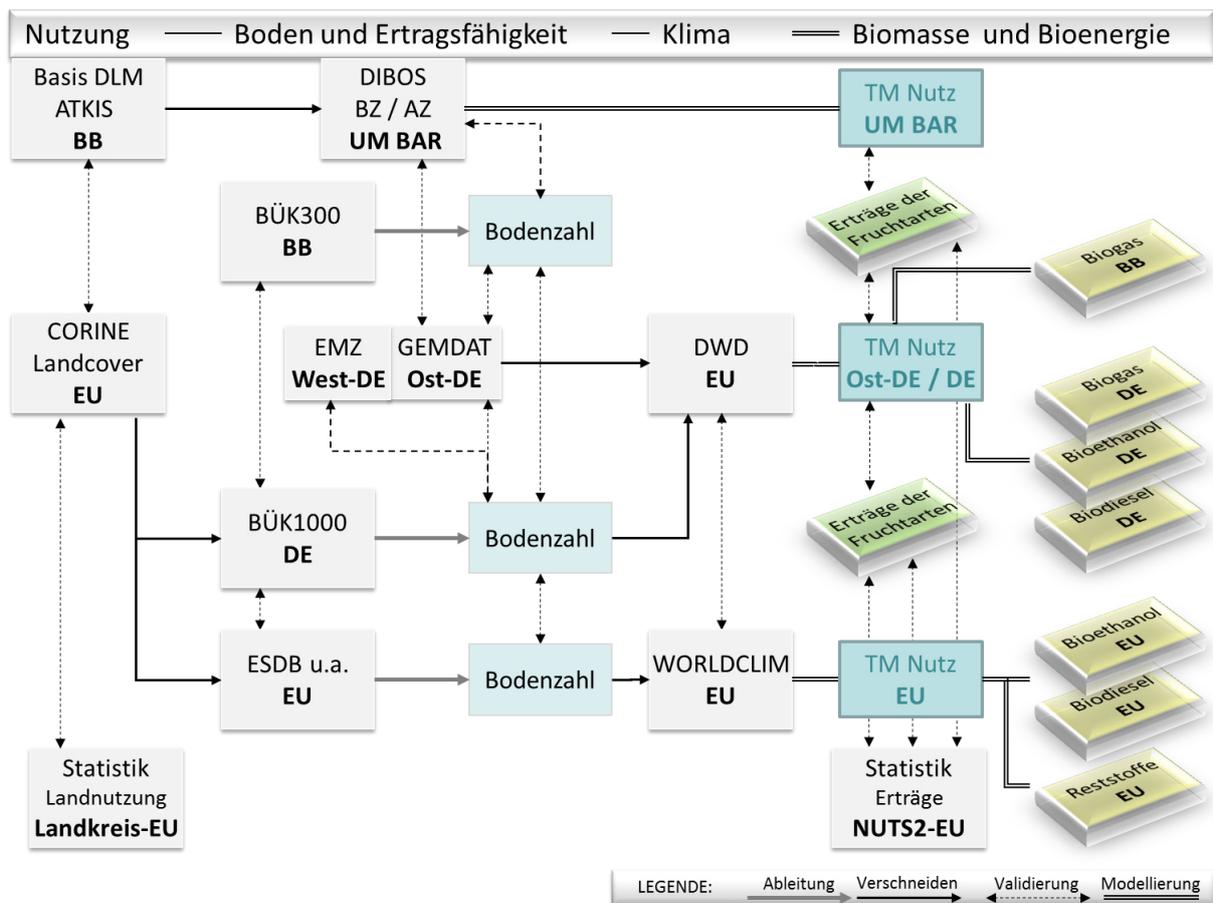


Abb. 22: Übersicht der Ableitung von Bioenergie-Szenarien: Datengrundlagen (Datensatz nach Tabelle 19), Vergleiche und Validierung (vertikale Pfeile), Ableitungen von Inputdaten, Biomasse-Modellierungen und Bioenergie-Szenarien; Regionaler Bezug: BB=Brandenburg, DE=Deutschland, EU=Europäische Union.

3.1 Erstellung der Datengrundlagen in unterschiedlichen Skalen

3.1.1 Landnutzungsdaten: Datenbasis und deren Vergleich

Die Anteile von Ackerland in den Regionen hängen von der räumlichen Genauigkeit und der Aktualität der Daten ab, wie die folgenden Tabellen (Tabelle 20, Tabelle 21) zeigen.

Im Vergleich zwischen Agrarstatistik und Geodaten ist zu beachten, dass die Ackerflächen in den Geodaten mindestens 3 % höher ausfallen als in den Agrarstatistiken angegeben. Dies liegt vor allem am Erfassungsmaßstab der Geodaten, wie die anschließende Analyse zeigt.

Tabelle 20: Ackerfläche in Brandenburg in Abhängigkeit von Datenquelle und Aktualität, eigene Darstellung.

Geodaten	Maßstab / Bezugsraum	Aktualität	Ackerfläche Brandenburgs	
			in Hektar	Vergleich zu Agrarstatistik 2006
CORINE 2000	1:100.000	2000	1.233.327	118,3 %
CORINE 2006	1:100.000	2006	1.221.512	117,2 %
ATKIS (Basis-DLM)	1:10.000	2005	1.103.333	105,9 %
		2008	1.098.318	105,4 %
InVeKoS Feldblock	1:5.000	2007	1.077.298	103,4 %
Agrarstatistik	Landkreis /	2006	1.042.200	100,0 %
	NUTS 2	2007	1.034.886	99,3 %

Auch auf europäischer Ebene gibt es teils starke Abweichungen zwischen statistischen Daten und den Geodaten der Landnutzung (Tabelle 21).

Tabelle 21: Bodennutzung in 1.000 ha in den EU-Staaten nach EUROSTAT (2007a: Jahr 2000), CORINE 2000.

Fläche [1.000 ha]	Landwirtschaftlich (lw.) genutzt		Ackerland		Heterogen lw. genutzt
	EUROSTAT 2000	CORINE 2000	EUROSTAT 2000	CORINE 2000	
AT	3.239	2.743	1.381	1.099	750
BE	1.370	1.766	867	672	730
BG	5.116	5.733	3.468	3.918	1.191
CY	151	442	89	264	142
CZ	4.254	4.556	3.084	3.262	718
DE	16.954	21.400	11.800	13.682	2.929
DK	2.695	3.319	2.468	2.794	468
EE	823	1.477	844	664	554
ES	24.991	25.439	13.249	12.381	8.937
FI	2.255	2.944	2.178	1.606	1.334
FR	29.414	32.903	18.308	15.384	7.356
GR	3.984	5.281	2.223	2.194	2.197
HU	5.807	6.308	4.500	4.959	484
IE	4.276	4.716	1.074	544	540
IT	14.490	15.639	8.424	8.310	4.704
LT	2.696	4.002	2.932	2.222	1.345
LU	131	0	68	0	0
LV	1.839	2.839	970	916	990
MT	10	15	9	0	15
NL	1.886	2.514	1.018	772	663
PL	16.177	20.081	14.063	13.968	3.270
PT	3.679	4.267	1.717	1.342	2.284
RO	13.714	13.498	9.364	8.158	2.032
SE	3.121	3.939	2.706	3.004	676
SI	499	708	171	113	460
SK	1.931	2.436	1.450	1.668	433
UK	18.602	14.318	5.928	6.081	1.486
EU27	184.105	203.285	114.352	109.974	46.688

In der gesamten EU27 liegen die Abweichungen im Vergleich zwischen den Agrarstatistiken aus dem Jahr 2000 und den CORINE-Daten zwar nur bei 2,7 %. Doch zeigen sich in einigen Ländern große

Unterschiede, was vor allem an der Zuordnung der Ackerflächen in die Klasse der „heterogen genutzten Landwirtschaftsflächen“ liegt. In Spanien und Frankreich ist der Anteil dieser Flächen sehr hoch.

Aus CORINE Landcover wurden folgende Klassen als potenzielle Ackerflächen ausgewählt, um die maximale Anbaufläche von pflanzenbaulichen Kulturen zu erfassen. Sie stammen aus der Kategorie „Agricultural areas“.

- 211: Arable land: Non-irrigated arable land
- 212: Arable land: Permanently irrigated land
- 213: Arable land: Rice fields
- 221: Permanent crops: Vineyards
- 222: Permanent crops: Fruit trees and berry plantations
- 223: Permanent crops: Olive groves
- 241: Heterogeneous agricultural areas: Annual crops associated with permanent crops
- 242: Heterogeneous agricultural areas: Complex cultivation patterns
- 243: Heterogeneous agricultural areas: “Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation”
- 244: Heterogeneous agricultural areas: Agro-forestry areas

Die landwirtschaftlichen Nutzflächen haben sich laut Statistik in den letzten Jahren verändert. In Abb. 23 wird deutlich, dass die landwirtschaftliche Nutzfläche seit 1989 stetig abnimmt. Vor allem die Grünlandfläche ist um 18 % gesunken, aber auch die Ackerfläche hat ca. 10 % im Vergleich zu 1989 abgenommen. Zugenommen hat die forstwirtschaftliche Nutzfläche um 20 %.

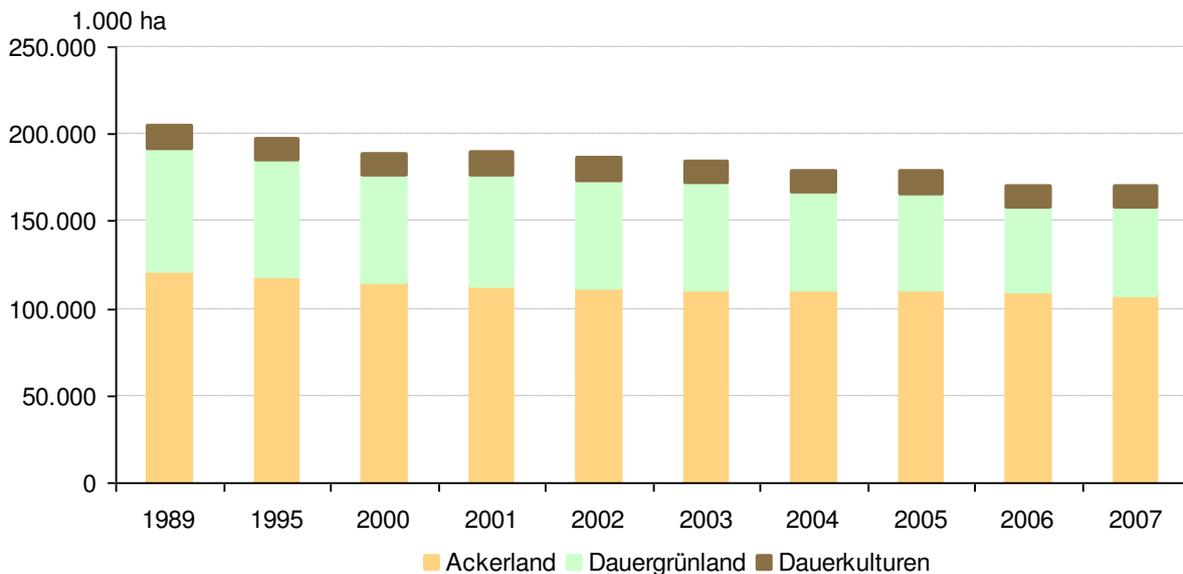


Abb. 23: Entwicklung der Flächen von Ackerland, Dauergrünland und Dauerkulturen in EU27, eigene Darstellung nach EUROSTAT 2009.

Je nach Modellregion des Inputdatensatzes **Ackerland** finden im BYM folgende Daten Anwendung:

- Deutschland und Europa: CORINE Landcover
- lokale bis regionale Analysen in Deutschland: standortspezifische Daten aus ATKIS oder InVeKoS

3.1.2 Niederschlag: Datenbasis und deren Vergleich

Der Deutsche Wetterdienst DWD gibt neben den Rasterdaten des langjährigen Mittels (1961-1990) Jahres- und Monatsdaten heraus. Daher können Auswertungen für eine bestimmte Zeitspannen hinsichtlich unterschiedlicher Niederschlagsszenarien vorgenommen werden: Es wurden aus den Jahres-Niederschlagssummen von 1991 bis 2005 pro Rasterzelle Minimum (Trockenjahr), Median (Normaljahr) und Maximum (Feuchtjahre) berechnet. In Tabelle 22 sind für den Zeitraum 1991 bis 2005 die Jahresdaten statistisch zusammengefasst: In einem Normaljahr fielen in Deutschland durchschnittlich 809 mm Niederschlag, im Trockenjahr fiel 28 % weniger, in Feuchtjahren 32 % mehr Niederschlag als im Normaljahr. Besonders geringe Niederschläge treten in Ostdeutschland auf.

Der Niederschläge WORLDCLIM 2008 (Mittelwerte 1950-2000) liegen in Deutschland um 90 mm geringer als im 15-jährigen Mittel der Jahre 1991-2005 der DWD-Daten (Vergleich zum Normaljahr) und um 54 mm als das ebenfalls vom DWD herausgegebene 30-jährige Mittel von 1961-1990.

Die Monatssummen können für unterschiedliche Zeiträume summiert und damit die verfügbaren Niederschläge während unterschiedlicher Vegetationsperioden darstellen. Für Sommerfrüchte wird der Zeitraum März-August (=NSS), für Winterfrüchte von September-Juni (=NSW) als Wachstumsperiode definiert. Dies wurde anhand des Zeitraums 2005 (Winter 2004) bis 2010 vorgenommen und der Median aus diesen Zeiträumen als Modellgrundlage ermittelt.

Die Niederschläge im Sommerzeitraum liegen in Deutschland im Mittel bei 73 % des Niederschlags im Winterzeitraum (Spanne: 51-100 %). Die Korrelationen zwischen den Niederschlägen NSS und NSW sind sehr hoch:

- Datenbasis DE - DWD: $r = 0,912$
- Datenbasis EU - WORLDCLIM: $r = 0,7799$

Tabelle 22: Niederschlag in Deutschland und Europa nach Daten des DWD oder WORLDCLIM: Jahressummen sowie Niederschlagssummen nach Fruchtartgruppen Sommer- (NSS)/Winterfruchtarten (NSW) Minimum, Mittelwert und Maximum in den Niederschlags-Szenarien „trocken“, „normal“ und „feucht“, eigene Berechnungen.

Szenario	Zeitraum	DWD-Jahresdaten 1991-2005			WORLDCLIM Jahresmittel 1950-2000		
		DE: Niederschlagssumme [mm a ⁻¹]			EU: Niederschlagssumme [mm a ⁻¹]		
		Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum
trocken	Jahres- summe	268	583	2.705	95	753	2923
normal		402	809	3.384			
feucht		481	1.064	4.124			
		DWD-Monatsdaten 2005-2010			WORLDCLIM Monatsmittel 1950-2000		
trocken	NSS	188	380	1740	13	364	1424
	NSW	127	536	2272			
normal	NSS	248	447	2022			
	NSW	306	609	2535	91	614	2563
feucht	NSS	293	552	2069			
	NSW	342	702	2689			

Es treten Abweichungen zwischen WORLDCLIM und DWD auf, vor allem die regionale Differenzierung in WORLDCLIM sind nicht so stark wie in DWD (Abb. 24). Vor allem treten Abweichungen im Hoch- und Mittelgebirge auf – also vorwiegend in nicht-ackerbaulich genutzten Gebieten.

Die Differenz zwischen den Niederschlagsszenarien „normal“ und „trocken“ (Median minus Minimum) beträgt in Deutschland für die Sommerniederschläge im Mittel 67 mm (Standardabweichung = 33 mm, Index = 84 %, Standardabweichung = 7 %). In der Vegetationszeit der Winterfrüchte liegen die Differenzen bei 73 mm (Standardabweichung = 38 mm, Index = 87 %, Standardabweichung = 6 %).

Vor allem in Süddeutschland erreichen die Niederschläge des „Trocken“-Szenarios fast 100 % des „Normal“-Jahres (Abb. 25).

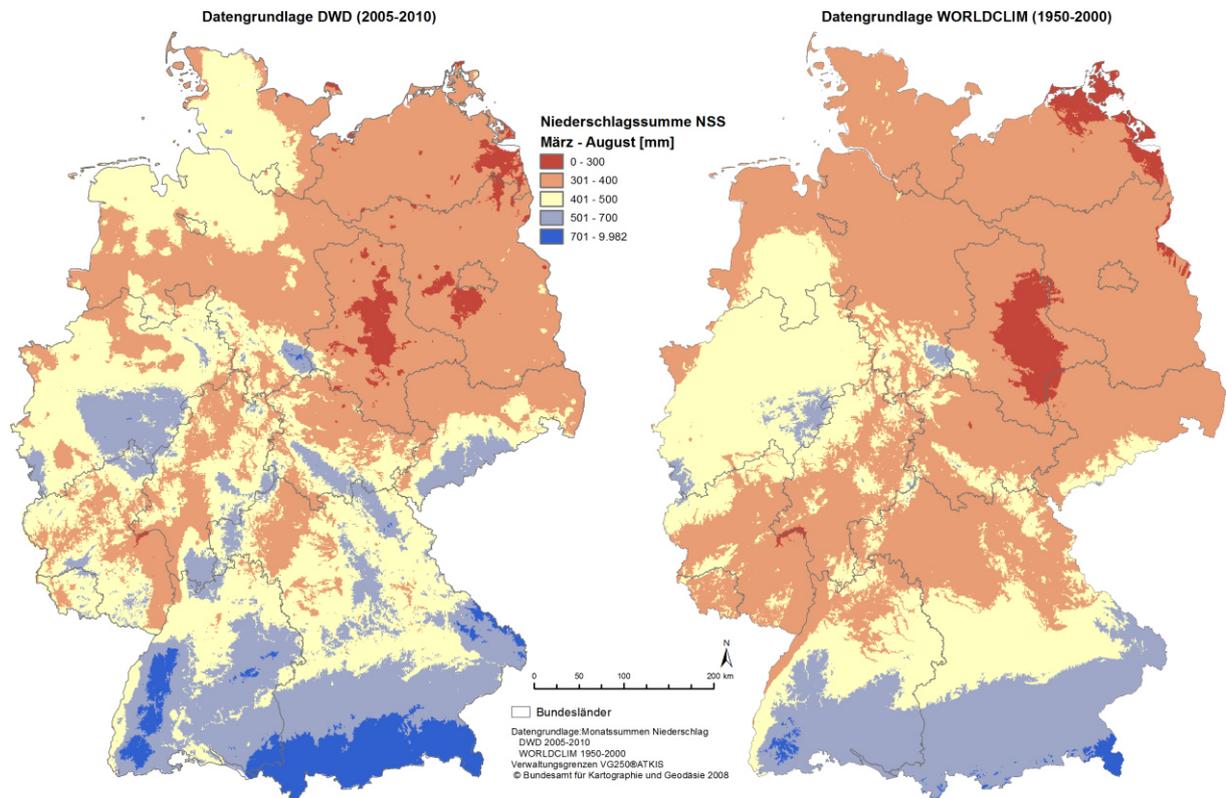


Abb. 24: Vergleich der Datengrundlagen DWD (links) und WORLDCLIM (rechts): Darstellung der Niederschlagssumme Sommerfruchtarten (NSS) in Deutschland, eigene Berechnungen.

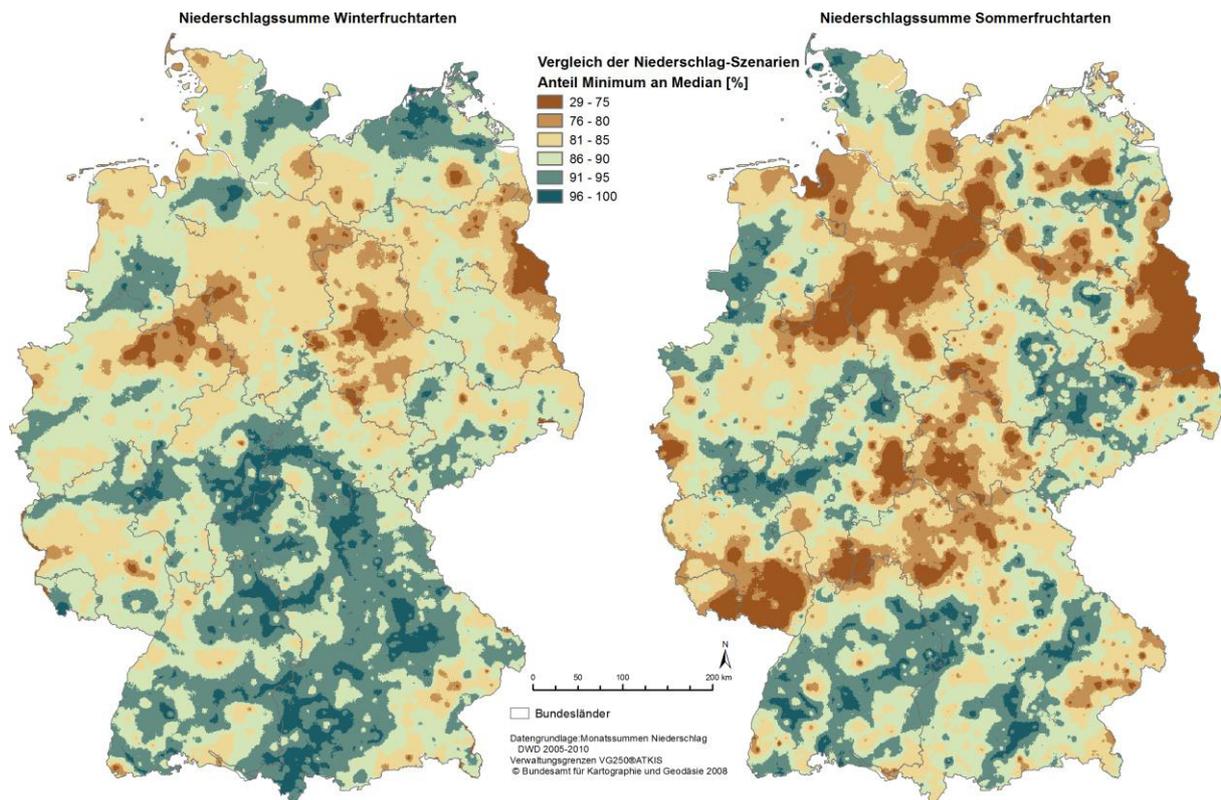


Abb. 25: Vergleich der Niederschlags-Szenarien „normal“ (Median) und „trocken“ (Minimum) nach DWD: Darstellung der prozentualen Anteile des Minimums am Medianwert pro Rasterzelle für Winter- (NSW - links) und Sommerfruchtarten (rechts - NSS) in Deutschland, eigene Berechnungen.

Für die Modellierung mittels des Biomasse-Ertragsmodells werden für Deutschland die Daten des Deutschen Wetterdienstes verwendet und folgende Szenarien untersucht: Der **Medianwert** aus den Niederschlagsdaten bildet ein **Normaljahr**. Szenarien zum Dürre- bzw. **Trockenjahr** basieren auf den **Minimumwerten** der Rasterdaten des gleichen Zeitraumes.

Für **Fruchtartspezifische Wachstumszeiten** stehen monatliche Niederschlagssummen zur Verfügung, aus denen der Median 2005 bis 2010 ermittelt wurden.

Für die Potenzialbestimmung in Europa wird der mittlere Niederschlag des Zeitraumes von 1950-2000 sowie monatliche Niederschlagssummen für fruchtartspezifische Wachstumszeiten aus WORLDCLIM 2008 angewendet.

Neben diesen aktuellen Niederschlagsdaten können anhand wissenschaftlicher Prognosen (WECHSUNG et al. 2008, WORLDCLIM 2010) auch Zukunftsszenarien einbezogen werden.

3.1.3 Ertragsfähigkeit des Bodens: Datenbasis und deren Vergleich

Im Folgenden werden die Datensätze zur Ertragsfähigkeit von Böden (Kap. 2.3.3) miteinander verglichen, um spätere Abweichungen der Modellierung der landwirtschaftlichen Biomasse beim Vergleich mit Agrarstatistiken in den unterschiedlichen räumlichen Skalen interpretieren zu können.

3.1.3.1 Vergleich DIBOS und GEMDAT

In den Landkreisen Uckermark und Barnim (96 Gemeinden) wird deutlich, dass die GEMDAT (1995) das Niveau von DIBOS-Ackerzahlen widerspiegelt (Tabelle 23, Abb. 26), allerdings geht durch die Generalisierung auf Gemeindeebene die Vielfalt in der Region verloren (Abb. 27). Berechnet wurden die statistischen Kennzahlen aus DIBOS bezogen auf die räumliche Ausdehnung der GEMDAT-Polygone, also den Gemeindegrenzen von 1995, und es wurde damit ein Vergleich der Ackerzahlen zwischen GEMDAT und DIBOS hergestellt.

Tabelle 23: Statistischer Vergleich der Ackerzahlen aus GEMDAT und aus DIBOS (digitalisierte Bodenschätzung) in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Berechnung.

Bodendaten	GEMDAT		DIBOS	
	Uckermark	Barnim	Uckermark	Barnim
Minimum	18	18	6	7
Flächengewichteter Mittelwert \bar{x}	39	31	43	35
Maximum	52	46	81	65
Standardabweichung	6,8	5,7	10,8	10,1

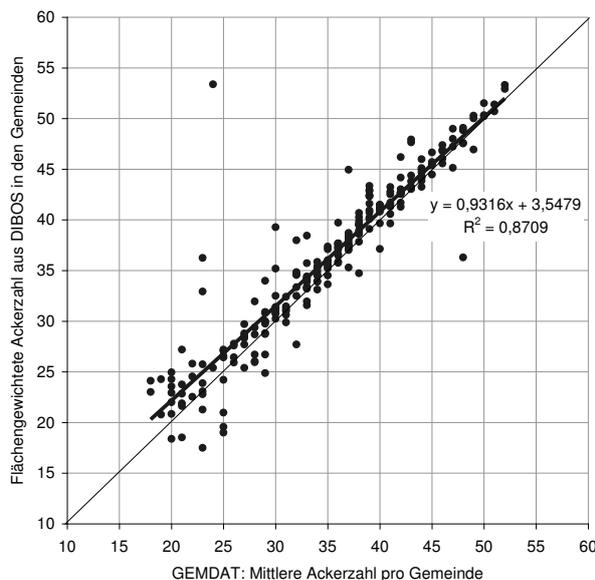


Abb. 26: Mittlere Ackerzahlen der GEMDAT (X-Achse) und Mittelwerte der digitalisierten Bodenschätzung (DIBOS) in den Gemeinden (Y-Achse) von Uckermark und Barnim, eigene Berechnung.

Die Ackerzahlen von GEMDAT und DIBOS korrelieren mit einem R^2 von 0,8709 hoch signifikant. Die Mittelwerte der digitalisierten Bodenschätzung bezogen auf die Gemeindegrenzen der GEMDAT weichen nicht signifikant von den mittleren Ackerzahlen der GEMDAT ab. Es ist allerdings deutlich eine Verlagerung der mittleren Ackerzahlen nach DIBOS vor allem im Bereich geringerer Ackerzahlen um zwei bis fünf Bodenpunkte zu erkennen (Abb. 26).

Räumlich sind die Unterschiede in Abb. 27 visualisiert. Flächig dargestellt sind die in der GEMDAT enthaltenen mittleren Ackerzahlen in Ackerzahl-Gruppen. Für jede einzelne Gemeinde sind die DIBOS-Daten nach Häufigkeiten der gleichen Ackerzahl-Gruppen berechnet und in Kreisdiagrammen visualisiert worden. Gleicht die Farbgebung der Kreisdiagramme der Farbe der Fläche, entspricht das größtenteils einer Übereinstimmung der Ackerflächen nach Einschätzung der DIBOS-Daten mit der mittleren Ackerzahl-Gruppe aus der GEMDAT.

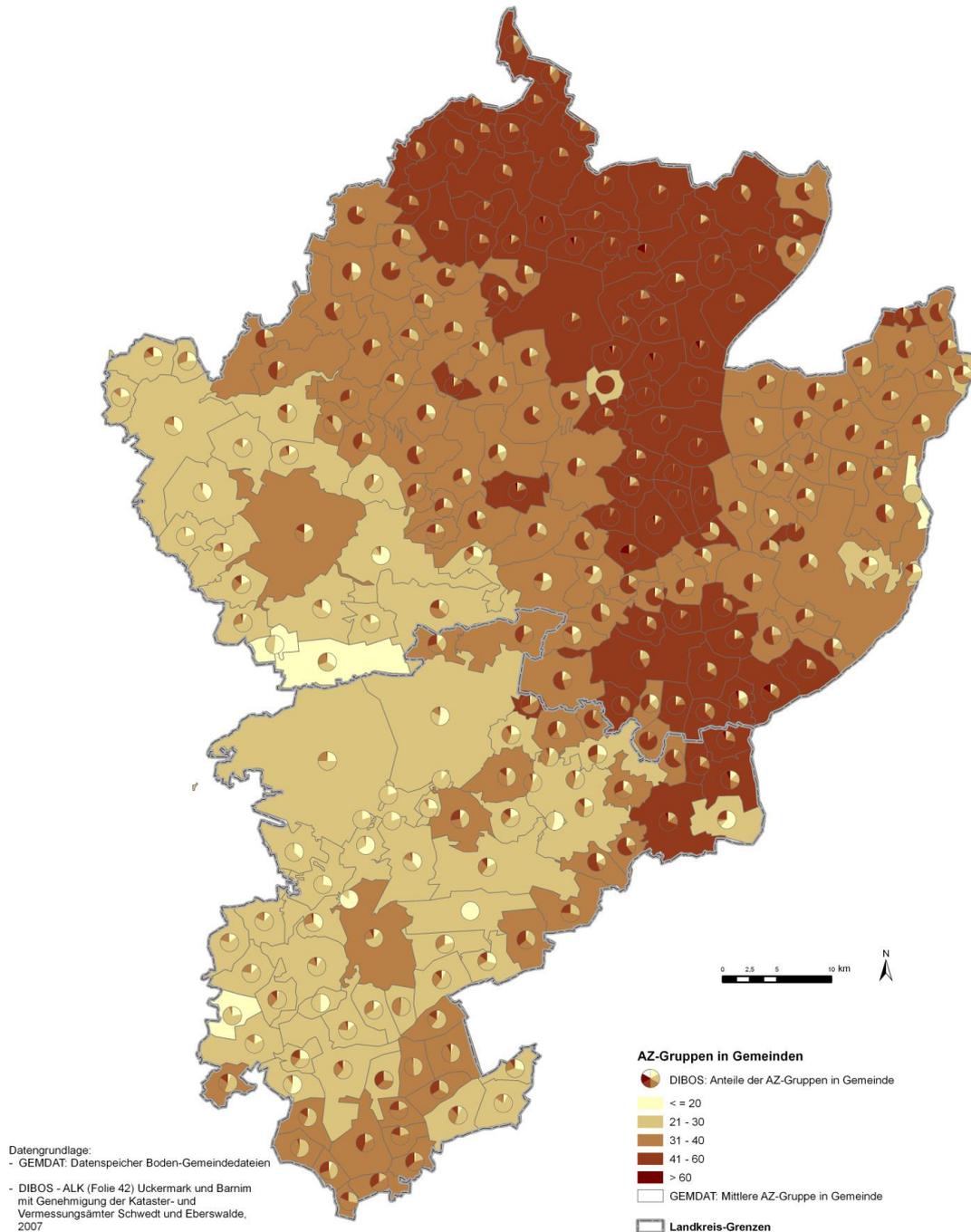


Abb. 27: Räumlicher Vergleich der Ackerzahlen aus der digitalisierten Bodenschätzung (Anteile der Ackerzahl-Gruppen in den Gemeinden als Kreisdiagramm) und der GEMDAT (flächenhafte Darstellung) bezogen auf die Gemeindegrenzen der GEMDAT in den Landkreisen Barnim (südlicher Landkreis) und Uckermark (nördlicher Landkreis), eigene Berechnung.

3.1.3.2 GEMDAT und DIBOS im Vergleich mit BÜK300 Ertragsklassen

Die Ertragsklassen der BÜK300 wurden einerseits mit den Ackerzahlen der GEMDAT für das Bundesland Brandenburg (Abb. 28) und andererseits mit den DIBOS-Bodenzahlen der Landkreise Uckermark und Barnim (Abb. 29) verglichen. Die Säulendiagramme geben die Mittelwerte der Boden- bzw. Ackerzahlen in den Ertragsklassen der BÜK300 wieder, für die DIBOS-Daten ist der Flächenanteil der Ertragsklassen im Balkendiagramm angegeben.

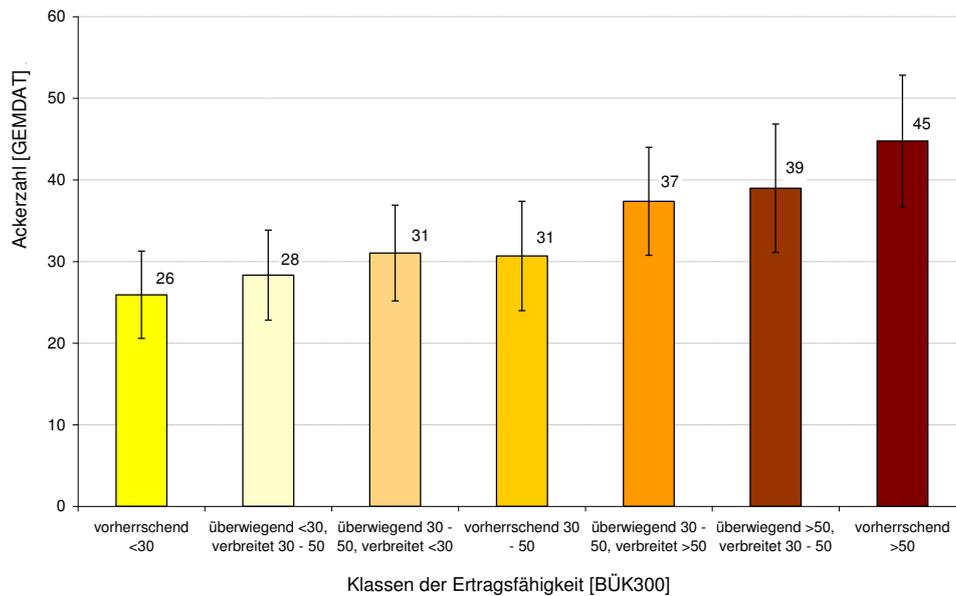


Abb. 28: Vergleich der BÜK300-Ertragsklassen mit GEMDAT in Brandenburg: Mittelwert und Standardabweichung der GEMDAT-Ackerzahl innerhalb der BÜK300-Klassen der Ertragsfähigkeit, eigene Berechnung.

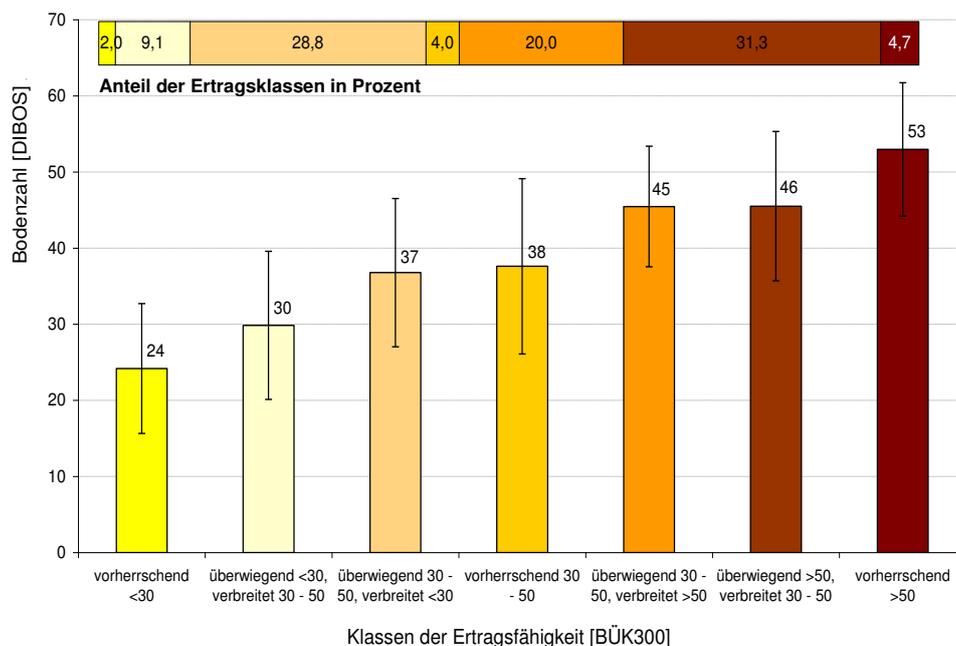


Abb. 29: Vergleich der BÜK300-Ertragsklassen mit DIBOS-Bodenzahlen in den Landkreisen Uckermark und Barnim: Mittelwert und Standardabweichung der DIBOS-Bodenzahlen in den BÜK300-Ertragsklassen, oben - Balkendiagramm: Anteile der BÜK300-Ertragsklassen in den Ackerflächen von Uckermark und Barnim in Prozent, eigene Berechnung.

Die Mittelwerte von DIBOS und GEMDAT sind mit den Klassen der BÜK300-Ertragsfähigkeit vergleichbar, teilweise jedoch nicht eindeutig zuzuordnen: Vor allem die mittleren Klassen „überwiegend 30-50“ bzw. „vorherrschend 30-50“ sind statistisch nicht durch die Bodenzahlen aus DIBOS oder die Ackerzahlen aus GEMDAT zu differenzieren. Die GEMDAT weist für Brandenburg außerdem in der BÜK300-Ertragsklasse „vorherrschend >50“ mit einer mittleren Ackerzahl von 45 geringere Ackerzahlen aus, was allerdings durch den geringen Flächenanteil dieser Klasse in Brandenburg (vgl. Abb. 21) statistisch nicht eindeutig belegbar ist. Aus den DIBOS-Daten wurde mit

einer mittleren Bodenzahl von 53 in Uckermark und Barnim in etwa der Wert ermittelt, welcher der Klassenbezeichnung der BÜK300-Ertragsklasse „vorherrschend > 50“ entspricht.

Die Klassen der BÜK300-Ertragsfähigkeit sind demnach für Modellierungszwecke in einem Ertragsmodell wenig geeignet, da sie die flächenscharfen Bodenschätzungen nicht widerspiegeln.

3.1.3.3 Vergleich digitaler, regionaler und nationaler Bodendaten

Neben den thematischen Karten der BÜK-Daten können aus den Datenbanken der Bodenübersichtskarten BÜK300 und BÜK1000 (Kap. 2.3.3.2) eigene Ableitung der Bodeneigenschaften (z.B. Bodenart) aus den Flächenbodenarchiven gewonnen werden. Damit wird die Basis gelegt sowohl für einen räumlichen Vergleich der BÜK untereinander als auch für eigene Berechnungen von Bodenertragsparametern.

Um eine dominierende Bodenart pro Legendeneinheit aus der BÜK300 zu bestimmen, müssen folgende Arbeitsschritte erfolgen:

1. Gewichtung der Gehalte von Sand, Schluff und Ton über Horizont-Mächtigkeiten und auf anteilige Verteilung der Gehalte auf Summe von 100 % unter Berücksichtigung der Grobbodenanteile → Mittelwerte von Sand, Schluff und Ton bis 1 m Tiefe und Ableitung der gewichteten Bodenart der Flächenbodenform,
2. Gewichtung der Fraktionen Sand, Schluff und Ton über den Deckungsgrad der Flächenbodenform in der Legenden-Nummer und Verteilung der Gehalte auf Summe von 100 %,
3. Ableitung der Bodenart nach KA4 (nach KERSEBAUM 2006).

Die Ergebnisse sind sowohl die mittleren Gehalte an Sand, Schluff und Ton als auch die Einstufung der Bodenart nach KA4 pro Legendeneinheit.

In Brandenburg ergeben sich aus der BÜK300 folgende acht mineralische Hauptbodenarten der landwirtschaftlich genutzten Standorte mit den in Tabelle 24 angegebenen Flächenanteilen: am häufigsten sind sandige Standorte vertreten.

Tabelle 24: Flächenanteile der mittleren Bodenarten der BÜK300 in Brandenburg, eigene Berechnung.

Flächenanteile der Bodenarten nach KA4 in Brandenburg [%]											
Ss	Su2	Su3	Sl2	Sl3	Sl4	St2	Ls3	Ls4	Lts	Lt3	ohne Zuweisung*
26,5	14,9	1,2	16,4	24,1	5,5	1,5	0,4	0,4	0,5	3,4	5,3

*z.B. humose Böden

Das Ergebnis ist in Abb. 30 für die ackerbaulich genutzten Standorte visualisiert.

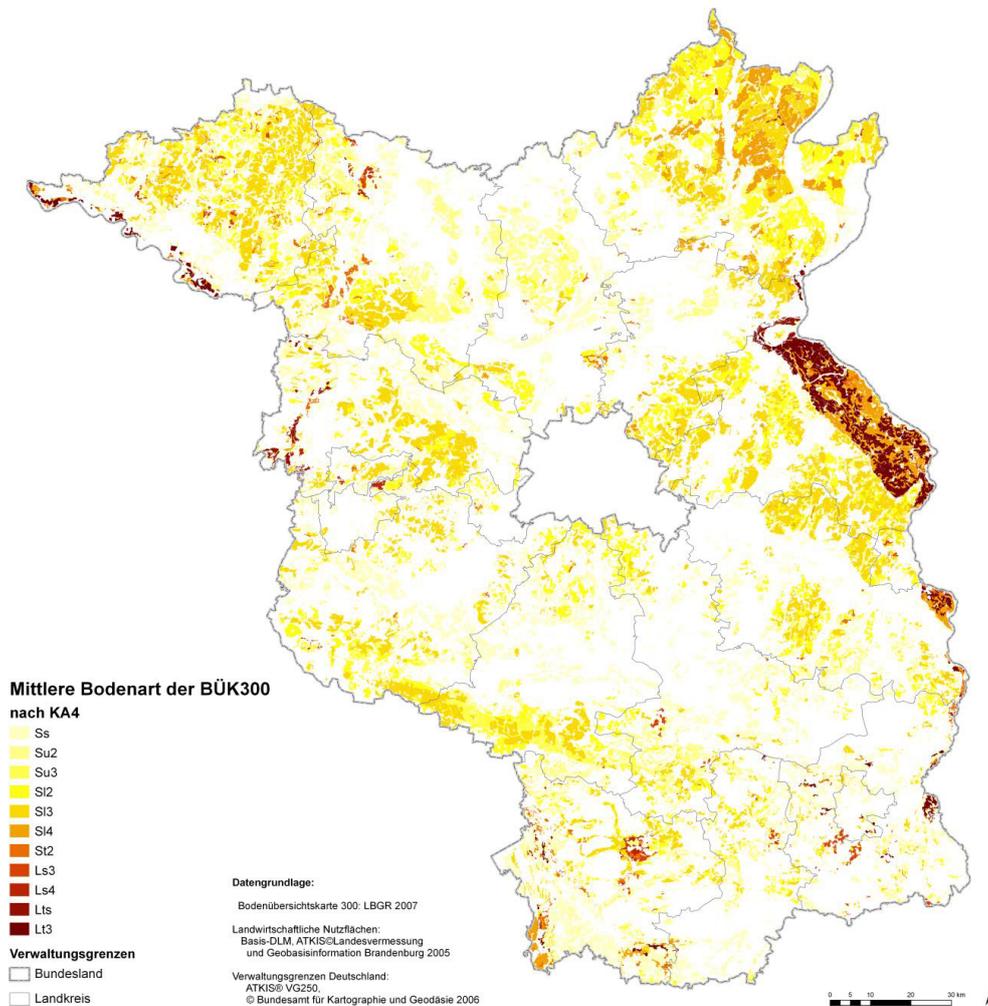


Abb. 30: BÜK300: Räumliche Verteilung der mineralischen Bodenarten in Brandenburg nach KA4 durch Ableitung einer mittleren, flächengewichteten Bodenart pro Legendennummer für ackerbaulich genutzte Standorte, eigene Berechnung.

Vergleich von BÜK300 und BÜK1000

Wie für die BÜK300 werden für die BÜK1000 über die Mächtigkeiten der Profile und deren Flächenanteile in der Flächenbodenform mittlere Feinböden und Bodeneigenschaften abgeleitet. So ist ein Vergleich z.B. der pH- und Humusklassen des Oberbodens aus der BÜK300 und der BÜK1000 für Brandenburg möglich (Abb. 31). Methodisch wurde eine generalisierte Übertragung der BÜK300 auf die Flächen der BÜK1000 vorgenommen – in die Analyse gingen nur die Ackerflächen ein. Pro BÜK1000-Polygon wurde die am häufigsten auftretende BÜK300-Legendennummer ermittelt (Median) und über diese die Bodeneigenschaften der Bodendaten miteinander verglichen.

Zwischen den Humusklassen der BÜK300 und nationalen Bodendaten ist kein direkter Zusammenhang zu erkennen (Abb. 31), was zum einen an der starken Generalisierung der BÜK1000 liegt. Andererseits treten in Brandenburg die Humusgehaltsstufen humusfrei und sehr schwach humos h0-h1 nur mit geringen Flächenanteilen auf. Die flächenmäßig dominante Klasse h2 ist mit über 85 % sowohl in der BÜK300 als auch in der BÜK1000 stark vertreten. In der Gehaltsstufe „mittel humos“ h3 treten laut BÜK300 Humusklassen von h2 bis h6 auf, wobei der Flächenanteil von h3 in BÜK300 20 % beträgt. Die Klasse h4, flächenhaft nur von geringer Ausdehnung, enthält vorwiegend die BÜK300-Klasse h2. Ein großer Teil der Ackerflächen Brandenburgs wird in der BÜK1000 den organischen Böden zugeordnet. Die Datensätze sind bezüglich der Humusgehaltsstufen nur bedingt vergleichbar. Die pH-Werte lassen keine Differenzierung in den nationalen Daten erkennen (Abb. 32).

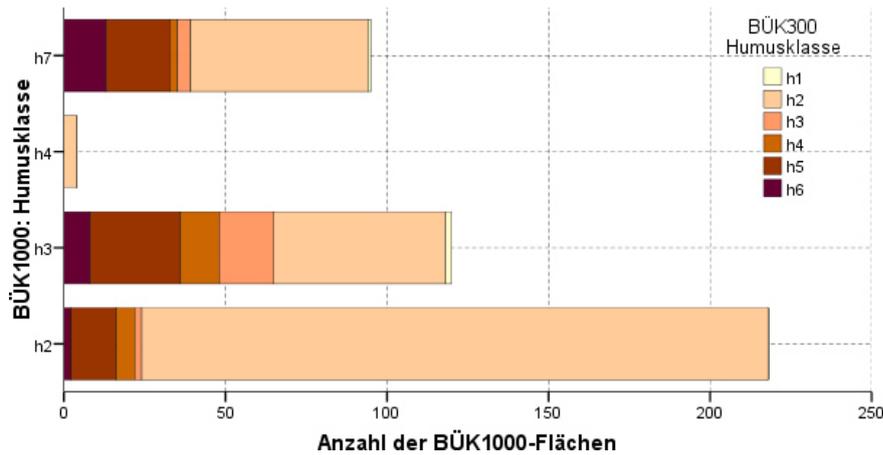


Abb. 31: Vergleich der BÜK-Daten BÜK1000 und BÜK300: Anzahl der BÜK300 Humusklassen in den BÜK1000-Humusklassen in Brandenburg, eigene Berechnung.

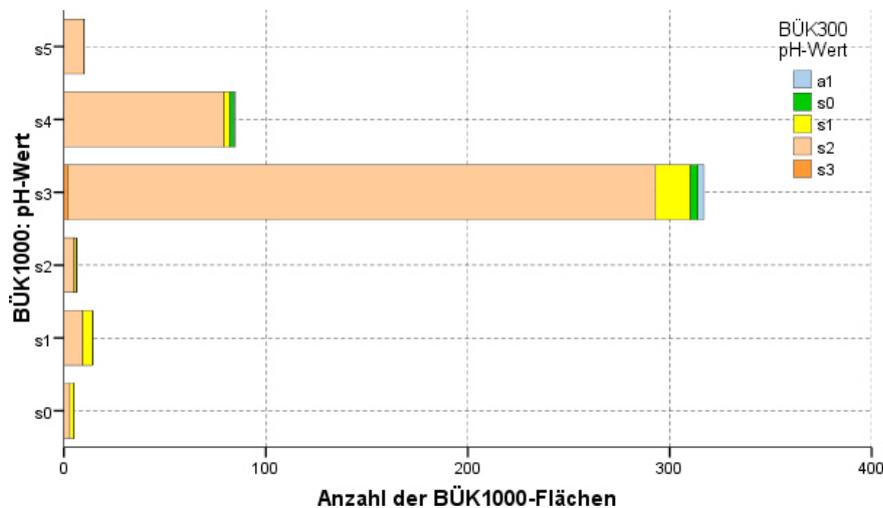


Abb. 32: Vergleich der BÜK-Daten BÜK1000 und BÜK300: Anzahl der BÜK300 pH-Wertklassen in den BÜK1000-pH-Wertklassen in Brandenburg, eigene Berechnung.

Die von BÜK300 auf BÜK1000 generalisierten Bodenarten weisen ebenso deutliche Abweichungen auf (Tabelle 25). In Brandenburg dominieren Sande bis lehmige Sande, sodass die Anzahl der Polygone von lehmigeren und schluffigeren Bodenarten so gering ist, dass eine statistisch gesicherte Aussage nicht möglich ist. In der BÜK1000-Klasse der schwach lehmigen Sanden (SI2) dominiert die BÜK300-Klasse reiner Sand. Es treten aber auch schwach schluffige Sande (Su2) bzw. mittel lehmige Sande auf. Im Durchschnitt könnte dementsprechend die Einstufung als SI2 nachvollzogen werden.

Tabelle 25: Vergleich der BÜK-Daten BÜK1000 und BÜK300: Anzahl der BÜK300 Bodenarten nach KA5 in den BÜK1000-Bodenarten in Brandenburg, eigene Berechnung.

Bodenart: BÜK1000	BÜK300											Häufigste BÜK300 Bodenart
	Ss	Su2	SI2	SI3	St2	Su3	SI4	Ls3	Ls4	Lts	Lt3	
SI2	94	50	40	47	6		3		2		1	Ss
Su3	8	24	14	9			2	1				Su2
SI4	1	1	4	5			3					SI3
Slu	4			1	1		3			1	3	Ss
Ls2	2									1	3	Lt3
Ls4			1	1			2					SI4
Uls			2	1		1						SI2

Diese Vergleiche zeigen die eingeschränkte Vergleichbarkeit der nationalen Bodendaten. Diese bieten allerdings die Möglichkeit einer flächendeckenden Analyse der Böden und eine einheitliche Auswertung der landwirtschaftlichen Flächen.

3.1.3.4 Vergleich länderspezifischer Bodenschätzungsdaten

Den Ertragsdaten der Böden in Deutschland, Polen und anderen osteuropäischen Ländern (Kap. 2.3.3.3) liegen unterschiedliche Nomenklaturen der Ertragsklassifikation zugrunde, was sich vor allem in Grenzregionen zeigt. In Abb. 33 ist diese für Deutschland (West) und Polen (Ost) dargestellt - hier liegen auf naturräumlich ähnlichen Standorten sehr unterschiedliche Bodenzahlen vor. Während die GEMDAT mittlere Ackerzahlen bis 40 Bodenpunkten ausweist, liegen in polnischer Nachbarschaft die Bodenproduktivitäten bei über 60 Bodenpunkten.

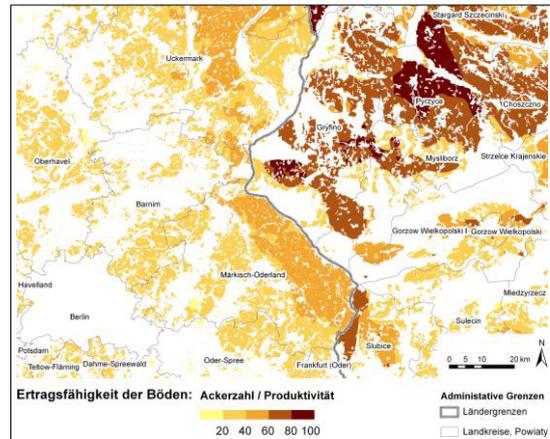


Abb. 33: Klassifizierung der Bodenproduktivität von Ackerflächen in der Grenzregion Deutschland (nach GEMDAT) und Polen (Produktivität), eigene Darstellung.

In Litauen wird ein enges Bodenzahlenspektrum (30 bis 50) mit einer mittleren Ertragsfähigkeit deutlich, was allerdings an der Darstellung der Produktivität als Mittelwert in den Verwaltungseinheiten der NUTS3-Ebene liegt. Es wird deutlich, dass eine Modellierung der landwirtschaftlichen Biomasse auf dieser Grundlage nur eingeschränkt möglich ist, da die Heterogenität der Ackerflächen durch die starke Generalisierung nicht wiedergegeben wird.

Im Vergleich der Bodendaten wird deutlich (Tabelle 26), dass neben der unterschiedlichen Nomenklatur die zur Verfügung stehenden Datengrundlagen in sehr unterschiedlicher Bezugseinheit vorliegen, und damit ein Vergleich bzw. die einheitliche Verwendung als Datenbasis für die Biomasse-Modellierung nicht gegeben ist.

Tabelle 26: Flächengewichtete Bodenertragsfähigkeit: Minimum, Mittelwert und Maximum der Ackerflächen, eigene Berechnung.

Land	Bezeichnung der Bodenertragsfähigkeit	Räumliche Datengrundlage	Länderspezifische Bodenertragsfähigkeit		
			Minimum	Mittelwert	Maximum
Deutschland	Bodenzahl / Ackerzahl	Gemeinde / Feldblock	13	47	98
Polen	Land Quality Index	Bodeneinheit	15	61	95
Litauen	Produktivität	Mittelwert pro Verwaltungseinheit	30	40	50
Estland	Bonität	Feldblock	15	47	64

Die länderspezifischen Bodendaten zur Ertragsfähigkeit der landwirtschaftlichen Produktionsstandorte liegen nicht flächendeckend für Europa vor. Zudem basieren sie auf unterschiedlichen Nomenklaturen zur Ableitung der Produktivitäten. Sie sind daher eingeschränkt, so z.B. in der Betrachtung von nationalen Potenzialen, als Datengrundlage für eine großräumige Modellierung der landwirtschaftlichen Biomasse nutzbar. Ein Vergleich der Länder untereinander ist nicht möglich.

3.1.3.5 Europäische Bodendaten im Vergleich

Die Klassifizierung des Feinbodens in den Daten des ESB (European Soil Bureau) stützt sich auf die Fraktionierung des USDA (2010), fasst allerdings mehrere Klassen der Bodenarten anhand der überwiegenden Anteile der Kornfraktionen zusammen (Tabelle 27). In SOTER (SOVEUR 1997) sind die Klassen des Feinbodens differenzierter, allerdings wird nur der osteuropäische Raum abgedeckt.

Tabelle 27: Vergleich ESB (ESDBv2) und SOTER (SOVEUR 1997) Textureinteilung, eigene Darstellung.

ESB	Wert	SOTER
Very fine	clay > 60 %	clay
Fine	35 % < clay < 60 %	sandy clay, clay loam, clay, silty clay loam, silty loam
Medium fine	< 35 % clay and < 15 % sand	silty clay loam, silty loam, silt
Medium	18 % < clay < 35 % and >= 15 % sand,	sandy clay loam, clay loam, loam, silty loam, sandy loam, silty clay loam,
	oder	oder
	18 % < clay and 15 % < sand < 65 %	sandy loam, loam, silty loam, silt
Coarse	18% < clay and > 65 % sand	sandy loam, loamy sand, sand

Die europäischen Bodendaten des ESB werden in der Datenbank ESDB geführt. Sie entsprechen zwar dem Anspruch der räumlich flächendeckenden Verfügbarkeit, allerdings sind die Differenzierungen in Klassen der Bodenarten und anderen Bodeneigenschaften sehr gering. Die Klassengrößen erscheinen somit für eine differenzierte Standortansprache zur Berechnung des Biomasseaufwuchses nicht ausreichend.

Die SOTER-Daten enthalten wiederum detaillierte Informationen hinsichtlich Bodenarten und Bodeneigenschaften, doch sind sie nur für den osteuropäischen Raum verfügbar (Anhang T-6: Vergleich ESB und SOTER Bodeneigenschaften). Weiterhin scheint die räumliche Differenzierung geringer als in den Polygonen der ESB-Daten, was auf eine stärkere Generalisierung schließen lässt.

Die Modellierung mittels des Biomasse-Ertragsmodells beruht auf den Bodenschätzungsdaten – der räumlichen Differenzierung nach Ackerzahlen. Die Daten liegen aber nicht für alle Regionen digital vor.

In kleinen Regionen kann das Modell direkt auf die digitale Bodenschätzung (DIBOS) angewendet werden. Sie liegt jedoch für diese Untersuchung nur für die Landkreise Barnim und Uckermark vor.

Für die Modellierung des Bundeslandes Brandenburg bzw. Ostdeutschland kann auf die GEMDAT (1995) zurückgegriffen werden.

Für die Potenzialbestimmung in Europa liegen unterschiedliche digitale Bodendaten zu Bodenarten und Bodeneigenschaften vor – allerdings gibt es keine detaillierten flächendeckenden Informationen zur Ertragsfähigkeit. **Als Grundlage für eine einheitliche Modellierung des Biomassepotenzials auf europäischer Ebene muss daher ein äquivalenter Datensatz entworfen werden, der dem System der Bodenschätzung ähnelt, um vergleichbare Ergebnisse zu entwickeln.** Daher wird im Folgenden auf der Basis der digital vorliegenden Bodenarten und –eigenschaften eine Bodenzahl generiert, die dem System des Ackerschätzungsrahmens unterliegt. Es werden dazu Bodenarten, Zustandsstufen und Entstehungstypen abgeleitet und über den Ackerschätzungsrahmen die eine mittlere Bodenzahl ermittelt.

3.2 Generierung einer europäischen Bodenzahl

Für Europa gibt es laut der aufgezeigten Recherche keine einheitliche Klassifizierung hinsichtlich der Ertragsfähigkeit von Ackerböden. Um aber das Biomasse-Ertragsmodell im gesamten Untersuchungsraum anwenden und die Ergebnisse vergleichen zu können, ist eine einheitliche Klassifizierung nötig. Daher wird im Folgenden ein System entwickelt, um Bodenzahlen auf der Grundlage der digitalen Bodendaten und des Ackerschätzungsrahmens (Anhang T-3) zu erarbeiten. Dazu sind Ableitungen zu Bodenart, Bodenentstehung und Bodeneigenschaften nötig.

Begonnen wird mit einer Parametrisierung der Bodenübersichtskarte BÜK300 von Brandenburg, da diese eine Überprüfung der Methode anhand vorliegender Bodenschätzungsdaten ermöglicht. Anschließend wird die Methode auf die nationale (BÜK1000) bzw. internationale Ebene übertragen.

Die Bodenart, die Entstehung des Bodens und eine Zustandsstufe werden für die Profiltiefe von 1 m benötigt (siehe Kap. 2.3.3.1). Das System einer digitalen parametrisierten Bodenzahl soll sich für die Klassifikation mineralischer, ackerbaulich genutzter Böden eignen und im europäischen Maßstab Anwendung finden.

3.2.1 Ableitung der Bodenart

Die Bodenkunde erfährt in den letzten Jahrzehnten eine Novellierung der Bodeneigenschaften und eine Vereinheitlichung auf internationale Standards. Vor allem die Korngrößenansprache unterscheidet sich von der Systematik der Bodenschätzung aus den 1930er Jahren, sodass eine eindeutige Zuordnung der heutzutage verwendeten Korngrößen zu den Bodenarten nach Tabelle 15 und damit der Bodenschätzungsarten nicht möglich ist (Abb. 34):

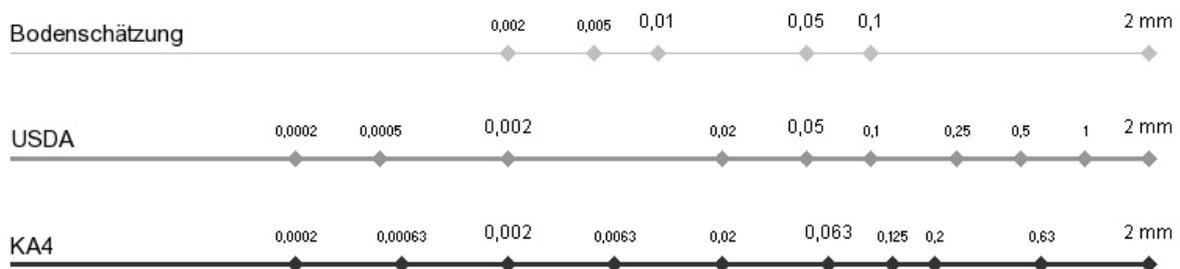
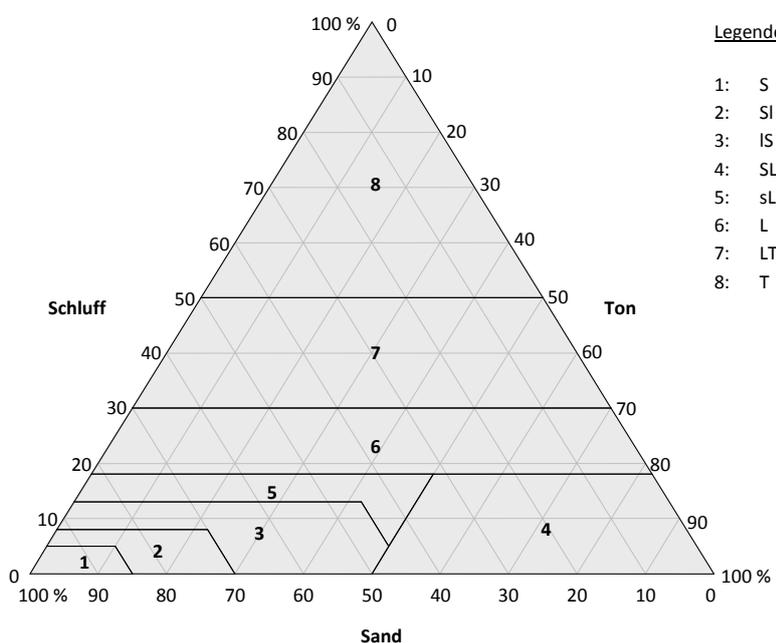


Abb. 34: Kornfraktionen in mm-Äquivalentdurchmesser der Bodendaten im Vergleich: Bodenschätzung (nach ROTHKEGEL 1950), KA4 (nach AG BODEN 1994) und USDA (nach USDA 2007) in logarithmischer Darstellung, Größere Zahlen = Kornfraktionen, Kleinere Zahlen = Unterfraktionen, eigene Darstellung.

In der Bodenschätzung richtet sich die Einteilung der Korngrößen nach den Anteilen der „abschlammbaren Teilchen“ mit einer Korngröße unter 0,01 mm (s. auch Tabelle 15). Diese Korngrößenfraktion ist in heutigen Bodenansprachen nicht zu finden und wird auch in der Literatur den heutigen Fraktionen nicht eindeutig zugeordnet (Anhang T-4, A-5).

In einer Untersuchung von ULONSKA (2006) (Anhang T-5) werden den Bodenschätzungs-Bodenarten



die Fraktionen von Sand-, Schluff- und Tongehalten zugeordnet. Mittels des Programms TAL (TEH 2002) konnte anhand dieser Grenzwerte ein Körnungsdreieck für die Bodenschätzung konstruiert werden (Abb. 35).

Abb. 35: Körnungsdreieck der Bodenschätzung basierend auf den Grenzwerten von ULONSKA (2006): Eigene Darstellung mit Hilfe des Programms TAL.

Liegen die Masse-%-Angaben von Sand-, Schluff- und Tongehalten vor, können anhand des Programms tabellarische und grafische Zuordnungen der Bodenarten zu dem entworfenen Körnungsdreieck „Bodenschätzung“ erzeugt werden und die Bodenschätzungsbodenarten ermittelt werden. Die Umrechnung von KA5-Bodenarten (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN 2005) in die Bodenschätzung erfolgt anhand der Sand-, Schluff- und Tongehalte laut KA5 (Tabelle 30, S. 144 ff). Sowohl die Grenzwerte Minimum und Maximum der Masse %-Angaben von Sand (S), Schluff (U) und Ton (T) als auch deren Mittelwerte wurden pro KA5-Bodenart in das konstruierte Bodenschätzungsdreieck übernommen, sodass pro Bodenart drei Datensätze in das Bodenschätzung-Körnungsdreieck importiert wurden. Daraus erfolgt nun die Zuordnung der KA5-Bodenarten mit Minimum, Mittelwert und Maximum der Gehaltsangaben zu Bodenschätzungsbodenarten (Tabelle 28).

Tabelle 28: Anzahl der Zuordnungen der KA5 Bodenarten (jeweils 3 Inputdatensätze: Mittelwert, Minimum, Maximum der Masse %-Angaben von Sand (S), Schluff (U) und Ton (T)) zu den Bodenschätzungsbodenarten nach TAL Δ (Körnungsdreieck) und Zuordnung der KA5 nach BMF (2005).

Bodenart KA5	Berechnete Bodenart bzw. Bodenartengrenze über TAL														Bodenart Bodenschätzung	
	S	S/SI	SI	SI/IS	IS	IS/SL	SL	SL/sL	sL	L	L/LT	LT	T	nach TAL Δ	nach BMF (2005)	
Ss	2	1												S	S	
Su2	1		1	1										(SI)	S	
SI2		1	1		1									(SI)	SI	
SI3				1	2									IS	IS	
St2		1			1			1						(IS)	IS	
Su3			1		2									IS	SI	
Su4					2			1						IS	IS	
Slu					1			1	1					(SL)	SL	
SI4					1				2					sL	SL	
St3								1	2					L	SL	
Ls2								1	2					L	sL	
Ls3								1	2					L	sL	
Ls4								1	2					L	SL	
Lt2										1	1	1		(L)	L	
Lts										1		2		LT	L	
Ts4										1	1	1		(L)	L	
Ts3												3		LT	LT	
Uu								3						SL	sL	
Us					1	2								SL	sL	
Ut2						3								SL	sL	
Ut3						3								SL	sL	
Uls						2	1							SL	sL	
Ut4						2			1					SL	L	
Lu								1	1	1				(L)	L	
Lt3												3		LT	LT	
Tu3											1	2		LT	LT	
Tu4									2	1				L	L	
Ts2											1	2		T	T	
Tl											1	2		T	T	
Tu2											2	1		LT	T	
Tt												3		T	T	
Anzahl	3	3	3	2	10	1	15	4	8	15	5	16	8			

Fett gedruckt: häufigste Zuordnung zur Bodenart

Da es sich bei den importierten Kornfraktionen um Grenzwerte handelt, ergibt sich nicht immer eine eindeutige Zuordnung zu einer Bodenschätzungs-Bodenart. Teilweise liegen sie auch auf Grenzen zwischen Bodenarten der Bodenschätzung. Einige Bodenarten wie Ts3, Uu und Tt werden eindeutig zugewiesen, bei z.B. Su2, Sl2, Slu und Lu treten mehrere Bodenarten auf.

Eine eindeutige Zuordnung der KA5-Bodenarten in Bodenschätzungsbodenarten gibt BMF (2005), wobei es sich hier um interne Arbeitsunterlagen für den Schätzungsbeirat des Bundesfinanzministeriums handelt, der diese Zuordnung als Näherungswerte verstanden haben möchte. Diese Zuordnungen sind als Vergleich zu der eigenen Berechnung in der Tabelle 28 aufgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Zuordnungen über das Körnungsdreieck den Ableitungen des BMF (2005) ähneln, die Hälfte der Einstufungen ist gleich. Die Sande und Tone werden ähnlich klassifiziert, Abweichungen gibt es vor allem in der Einschätzung der Schluffe. Über das Körnungsdreieck werden die Schluffe den stark lehmigen Sanden zugeordnet, das BMF (2005) stufte diese als sandige Lehme ein. Auch bei Sl4, St3 und den mittel bis stark sandigen Lehmen wurden andere Klassen zugeordnet. Oft weichen die Klassen eine Stufe voneinander ab.

3.2.1.1 Brandenburg: Ableitung der Bodenart aus BÜK300

Für die BÜK300-Legendennummern wurden aus dem Flächenbodenarchiv gemittelte Körnungsfractionen abgeleitet, sodass die Zuordnung der Bodenschätzungs-Bodenart auf der Basis des Körnungsdreiecks vorgenommen werden konnte (Abb. 36).

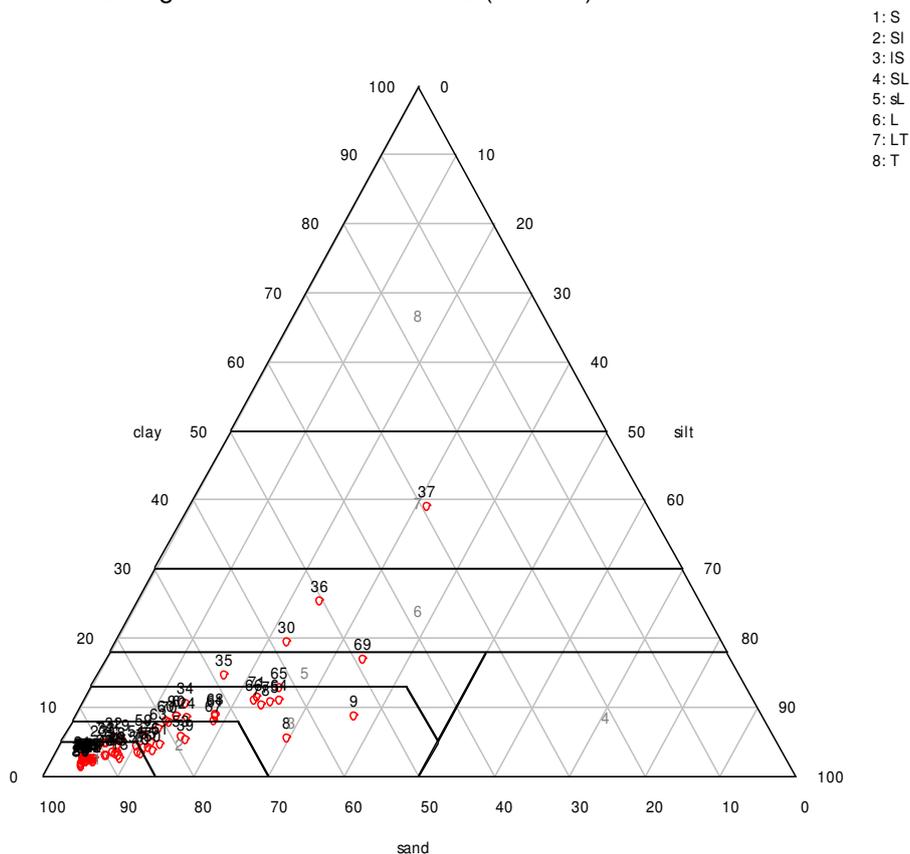


Abb. 36: BÜK300: Lage der Legendennummern (rote Punkte mit schwarzer Zahl) anhand Sand-, Schluff- und Tongehalten im Bodenschätzungs-Körnungsdreieck (eigene Darstellung mit Hilfe des Programms TAL).

Nach Zuordnung der Bodenschätzungs-Bodenarten wurden die Klassen statistisch auf deren Fraktionsanteile überprüft. Die Bodenarten differenzieren sich vorwiegend durch den Tongehalt, sowohl der mittlere Tongehalt als auch dessen Standardabweichungen trennen die

Bodenartenklassen voneinander. Schluff- und Sandgehalte zeigen Überschneidungen in den Klassen, wie die Standardabweichungen der Kornfraktionen der Bodenarten „IS“ und „sL“ belegen (Abb. 37).

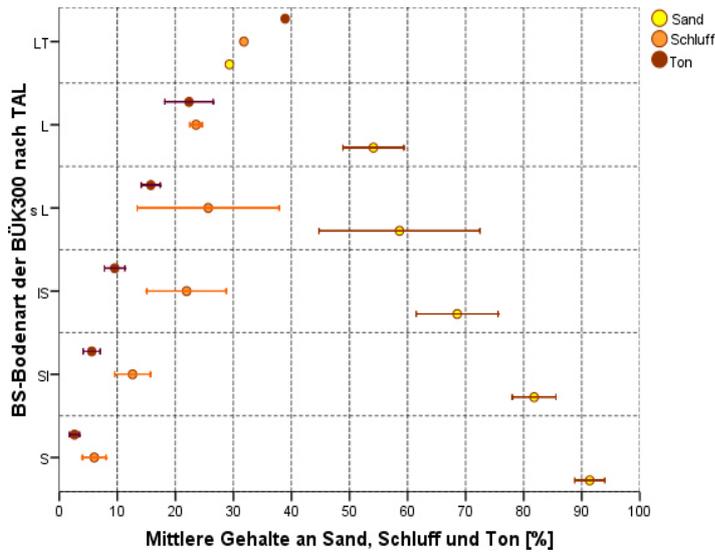


Abb. 37: BÜK300: Abgeleitete Bodenschätzung(BS)-Bodenarten aus Fraktionsanteilen je Legendennummer: Mittlere Gehalte an Sand, Schluff und Ton pro BS-Bodenart sowie deren Standardabweichungen, eigene Berechnung.

Insgesamt wurden 73 der 99 BÜK300-Legendennummern über die mittleren Korngrößenanteile in Bodenarten der Bodenschätzung übertragen. Die fehlenden Legendennummern setzen sich aus humosen oder nicht landwirtschaftlich genutzten Böden zusammen (Abb. 38).

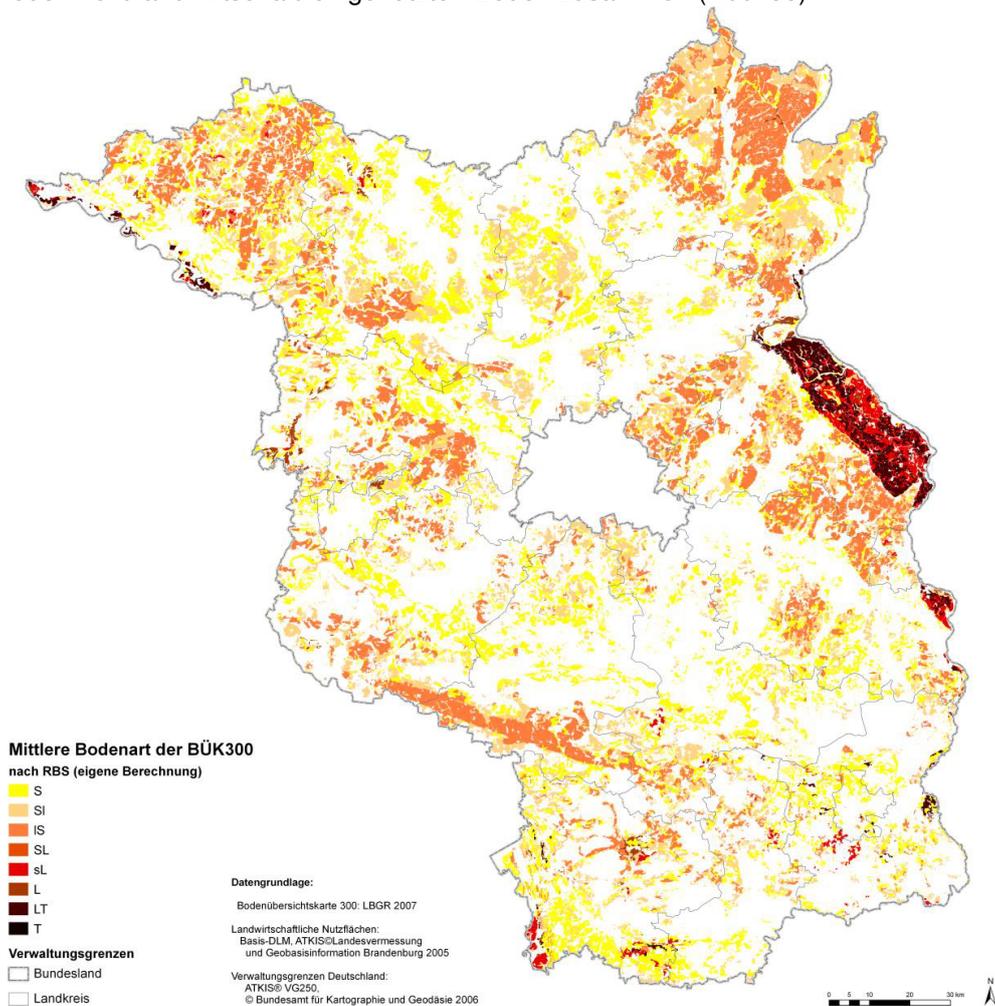


Abb. 38: BÜK300: Mittlere Bodenschätzungs-Bodenart bis 1m Tiefe der mineralischen Ackerflächen in Brandenburg; eigene Berechnung über TAL.

Tabelle 29: BÜK300: Anteil der BÜK300-Legendennummern mit KA5-Bodenart zu Bodenschätzungsbodenart, eigene Berechnung.

KA5	Ss	Su2		SI2	Su3	SI3	SI4		St2	Ls3	Ls4	Lts	Lt3
Bodenschätzung- Bodenart	S	S	SI	SI	IS	IS	IS	sL	L	sL	L	L	LT
Anteil in Prozent	100	58,8	41,2	100	100	100	55,9	44,1	100	100	100	100	100
Bodenart nach BMF (2005)	S			SI	SI	IS	SL		IS	sL	SL	L	LT

Sowohl die schwach schluffigen Sande als auch die stark lehmigen Sande werden auf die gezeigte Art und Weise nicht eindeutig den Bodenschätzungsbodenarten zugeordnet. Der größte Teil der Legendennummern ist jedoch eindeutig einer Bodenart zugeordnet, welche auch mit der Einstufung des BMF (2005) übereinstimmt. Die stark lehmigen Sande, die nach der Berechnung über das Körnungsdreieck zu 56% in der Klasse IS und zu 44% in der Klasse der sL liegen, wurden nach BMF (2005) der mittleren Klasse SL zugeordnet. Die stark sandigen Lehme Ls4 wurden als L klassifiziert, BMF (2005) gibt dafür aufgrund des hohen Sandgehaltes jedoch SL aus. Diese Gruppe ist in Brandenburg allerdings nur von geringer Ausdehnung. Daher ist keine statistisch gesicherte Zuordnung durch das Bodenschätzungsdreieck möglich. Auch eine weitere Differenzierung mittels der Entstehungstypen ergibt keine klarere Zuordnung (Anhang T-8). Humose Böden wurde der Klasse der moorigen Standorte „Mo“ zugeordnet.

3.2.1.2 Deutschland: Ableitung der Bodenart aus BÜK1000

Soweit die digitale Datengrundlage eine Ausweisung von Sand-, Schluff- und Tongehalten vornimmt, wird favorisiert, dass die Körnungsanteile über das Programm TAL in die Bodenart der Bodenschätzung anhand des konstruierten Bodenschätzungs-Texturdreiecks übersetzt werden. Im BÜK1000-Flächenbodenarchiv (FBA) wird allerdings pro Legendenummer nur ein dominierendes Bodensubstrat angegeben und nicht, wie in der BÜK300 eine Differenzierung der Korngrößenanteile. Auf der Basis dieses dominanten Bodensubstrats wird die Bodenart nach BMF (2005) zugeordnet (vgl. Tabelle 28) und kann für Deutschland visualisiert werden (Abb. 39).

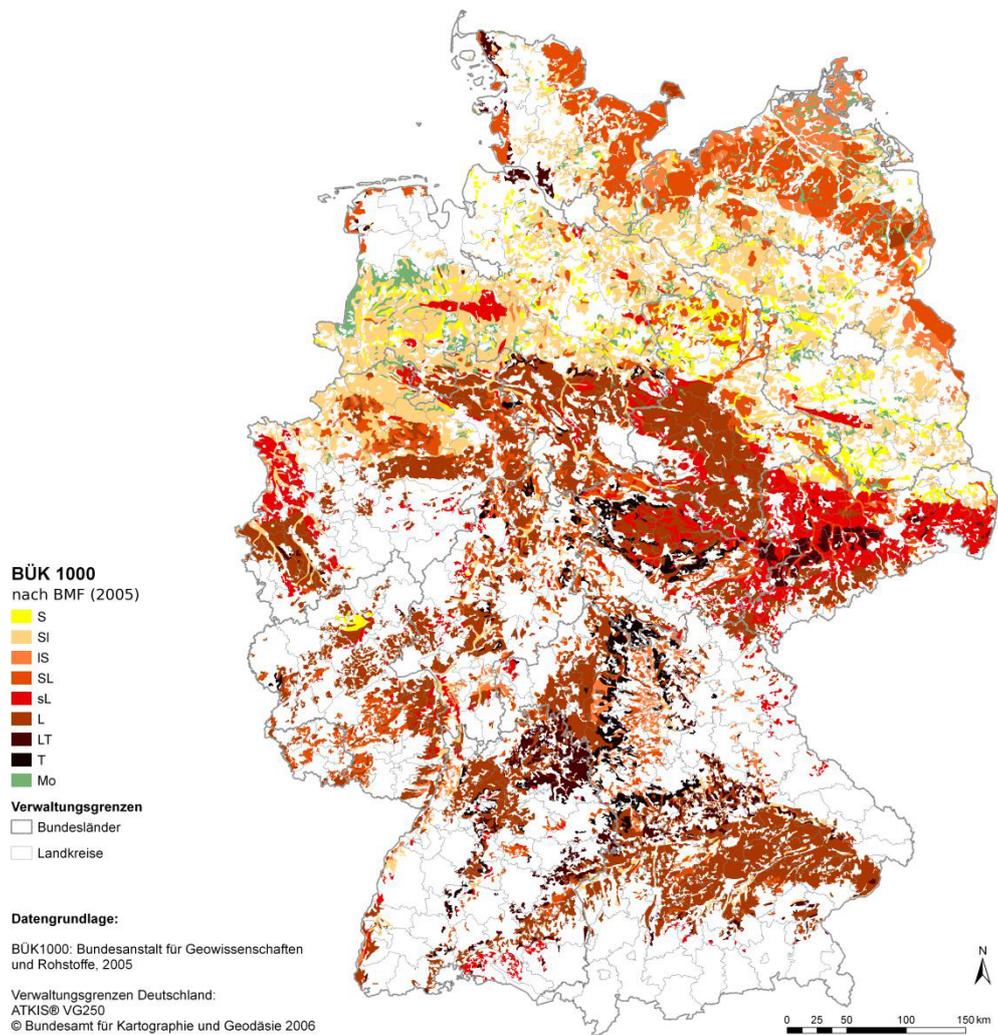


Abb. 39: BÜK1000: Dominante Bodenart nach Zuordnung der Bodenschätzungs-Bodenart nach BMF (2005), eigene Darstellung.

Die Generalisierung der Daten wird durch die hohe Homogenität offenbar – so ist im Ostteil Brandenburgs das Oderbruch als eine einheitliche Fläche erkennbar, im Vergleich zur BÜK300 wurden hier mindestens 4 Bodenarten ausgewiesen. Im gesamten Bundesland Brandenburg ist der Vergleich der dominanten Bodenschätzungs-Bodenart aus der BÜK1000 mit den Ergebnissen aus der BÜK300 möglich (Tabelle 30).

Tabelle 30: Vergleich der abgeleiteten Bodenschätzungs-Bodenarten aus den Bodenübersichtskarten in Brandenburg: Flächenanteile der mineralischen Bodenarten in BÜK1000 gegenüber BÜK300, eigene Berechnung.

BÜK1000-Bodenart	BÜK300-Bodenart						BÜK1000 Summe
	S	SI	IS	sL	L	LT	
S	10,1	2,2	1,8	0,1	0,2	0,2	14,7
SI	16,5	13,8	15,7	0,4	0,1	0,2	46,8
IS	3,3	4,5	4,7			0,1	12,7
SL	2,4	4,3	5,6	3,0	0,5	3,8	19,6
sL	0,4	0,7	2,6				3,7
L		0,4	2,1				2,6
BÜK300 Summe:	32,8	25,9	32,6	3,6	0,9	4,3	100,0

Abweichungen entstehen in der BÜK1000 in der häufigeren Zuordnung der Klasse der anlehmigen Sande SI statt reiner Sande S bzw. lehmiger Sande IS. Reine Sande kommen aufgrund der Generalisierung der BÜK1000 nur mit geringem Flächenanteil vor. Su3 wird laut des konstruierten Körnungsdreiecks den lehmigen Sanden zugeordnet, BMF (2005) weist hingegen die Klasse SI aus. Lehmige Standorte sind von geringerer Ausdehnung, weshalb keine Validierung dieser Standorte vorgenommen werden konnte. Auf einem Drittel der Ackerfläche in Brandenburg stimmen die Einstufungen überein. Bei Berücksichtigung einer Verschiebung um eine Bodenartenklasse, werden über 78 % der Ackerflächen ähnlich eingestuft.

3.2.1.3 Europa: Ableitung der Bodenart aus europäischen Bodendaten

Die europäischen Bodendaten unterliegen der internationalen USDA-Korngrößen-Klassifikation, die an die KA5 angepasst werden muss. Der jeweils betrachtete Korngrößenbereich von 0-2 mm weist eine Abweichung der Klassengrenze von 0,063 mm (KA5) auf 0,05 mm (USDA) auf (Abb. 34). Diese Verschiebung zwischen Sand und Schluff wurde durch eine räumliche Anpassung in den überlagerten Körnungsdreiecken der Bodenschätzung und von USDA erreicht (enthalten im Programm TAL). Es stellte sich heraus, dass die Abweichung gering ist: Im untersuchten Korngrößenbereich beträgt die Abweichung unter 1 %, weshalb sie im Folgenden vernachlässigt wird.

Es konnten keine Vergleiche der Korngrößen nach USDA und der deutschen Bodenschätzung recherchiert werden. Um dennoch eine Zuordnung der USDA-Bodenarten in das Bodenschätzungsschema als Grundlage der Biomassemodellierung zu erarbeiten, wurden die

Körnungsdreiecke von USDA (aus TAL – Anhang A-4) und Bodenschätzung (eigene Ableitung: Abb. 35) übereinander gelegt (Abb. 40).

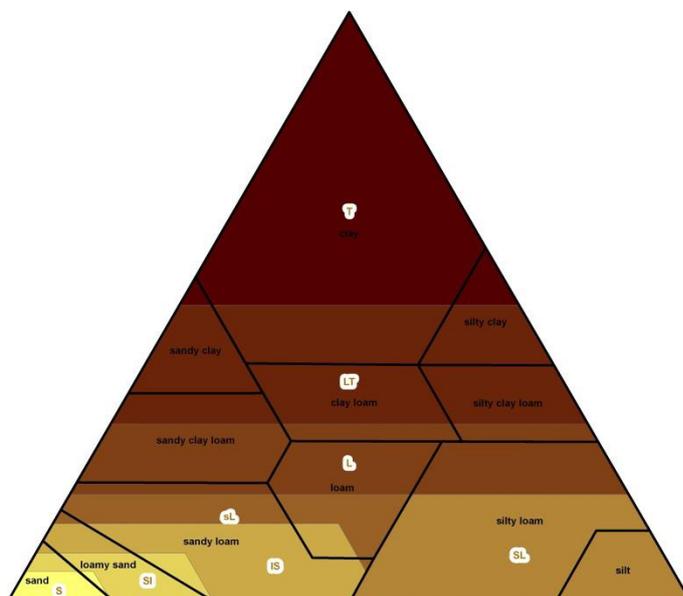


Abb. 40: Verschneidung der Körnungsdreiecke von Bodenschätzung (braune Flächen und weiß-braune Kürzel) und USDA (schwarze Grenzen und ausführliche Beschriftungen), eigene Ableitung.

Danach lassen sich europäische Bodenarten den Bodenschätzungs-Bodenarten mit den größten Flächenanteilen in den Bodenartendreiecken zuweisen (Tabelle 31). Organische Bodenarten „ORG“ werden der Bodenart „Mo“ zugeordnet.

Tabelle 31: Zuordnungen der Bodenarten nach USDA in dominante Bodenschätzungs-Bodenart.

USDA	sand	loamy sand	sandy loam	silt	silty loam	sandy clay loam	loam	clay loam	silty clay loam	silty clay	sandy clay	Clay
	S	LS	SL	Si	SiL	SCL	L	CL	SiCL	SiC	SC	C
Dominante Bodenart nach Bodenschätzung	S	SI	IS	SL		L		LT				T

Da die Daten von SOTER relativ grob gegliedert sind und nur für Osteuropa vorliegen, wurde die europäische Soil Geographical Database of Europe (SGDBE) des European Soil Bureau (ESB) für eine Umrechnung in Bodenzahlen genutzt. Die hier zugrunde liegende Bodendatenbank SGDBE enthält pro Datenbankeintrag „Soil Terrain Unit - STU“ differenziert für den Oberboden und Unterboden Texturklassen. Diese Klassen wurden auf der Basis der im MARS-Projekt entwickelten Pedotransfer-Regeln (BARUTH et al. 2006) verfeinert, für die Datensätze korrigiert bzw. konkretisiert:

- 0, 9 = no information or no texture class (not assigned to any STU)
- 1 = coarse (clay < 18% and sand > 65%)
- 2 = medium (18% < clay < 35% and sand < 65% or clay < 18% and 15% < sand < 65%)
- 3 = medium fine (clay < 35% and sand < 15%)
- 4 = fine (35% < clay < 60%)
- 5 = very fine (clay > 60%)
- 7 = rocks
- 8 = peat

Pro Fläche können mehrere STU auftreten (Flächenanteile gehen in die Berechnung ein), weshalb sich zusätzlich zu den Texturunterschieden in Ober- und Unterboden ein Mix der Textureigenschaften in der Fläche ergibt. Daraus wurde eine mittlere Bodenart laut Bodenschätzung errechnet und zugeordnet (Anhang T-7, Abb. 41).

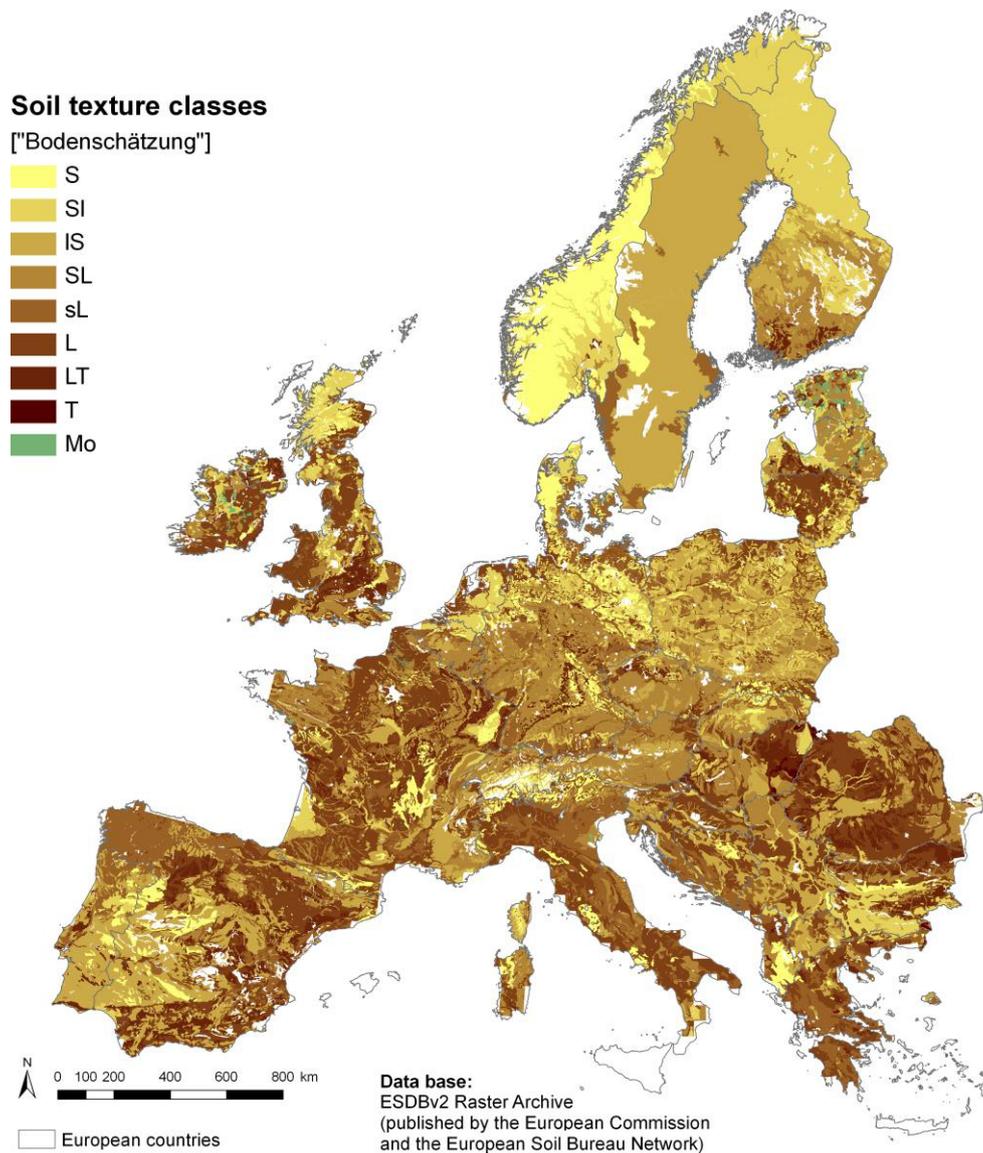


Abb. 41: ESDB: Ableitung der Bodenart nach Bodenart-Klassen der Bodenschätzung für Europa, eigene Ableitung.

3.2.2 Ableitung der Entstehung

In den Entstehungstypen werden die Ausgangssubstrate und die geologische Herkunft des Ausgangsmaterials abgebildet.

Die Zuweisung der Entstehung ist nach der geologischen Herkunft des Ausgangsmaterials möglich, welche sich z.B. in den BÜK300 Flächenbodenformen wiederfindet.

- Legendenummer 1 bis 9: Lößböden
- Legendenummer 10 bis 39: Alluvialböden
- Legendenummer 40 bis 71: Diluvialböden
- Legendenummer 72 bis 82: Moorböden
- Legendenummer 83 bis 99: ohne Zuordnung / Verwitterungsböden

Böden mit hohen Gesteinsanteilen oder flachgründige Böden erhalten den Suffix „g“. In der BÜK300 trat dies nur bei Verwitterungsböden und auf wenigen Flächen auf.

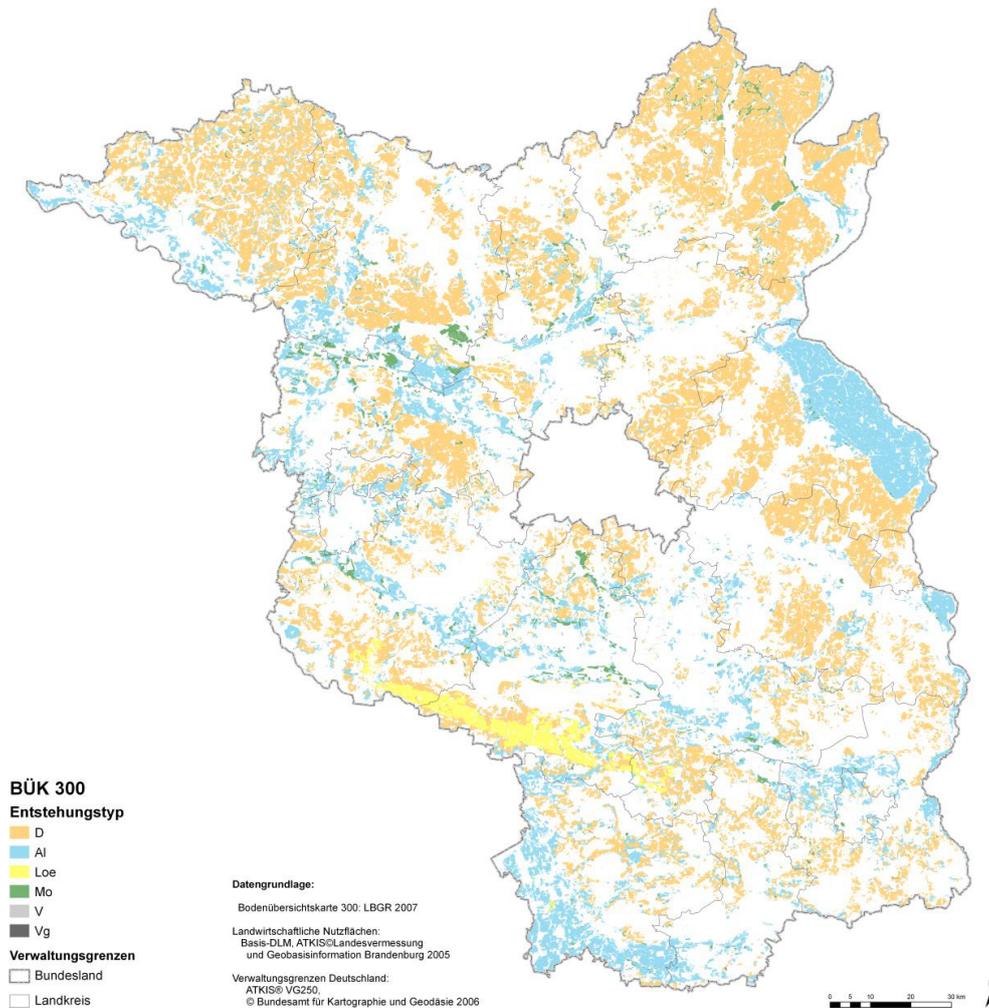


Abb. 42: BÜK300: Entstehungsart nach Legendennummer in Brandenburg, eigene Ableitung.

Der dominante Entstehungstyp in Brandenburg ist das Diluvium, in den Niederungen treten alluviale Böden und Moore auf. Löß tritt im Landkreis Teltow-Fläming auf (Abb. 42).

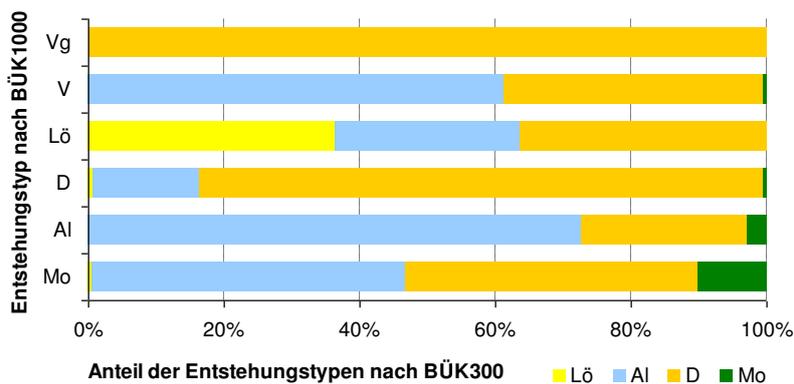


Abb. 43: Entstehung nach BÜK300 und BÜK1000 in Brandenburg, eigene Berechnung.

Für Europa werden die Entstehungstypen aus dem Parameter „Ausgangsmaterial“ der ESDB-Datenbank abgeleitet. Zusätzlich wurden diese Daten mit der europäischen Lößkarte von HAASE et al. (2007) verschnitten (Abb. 44).

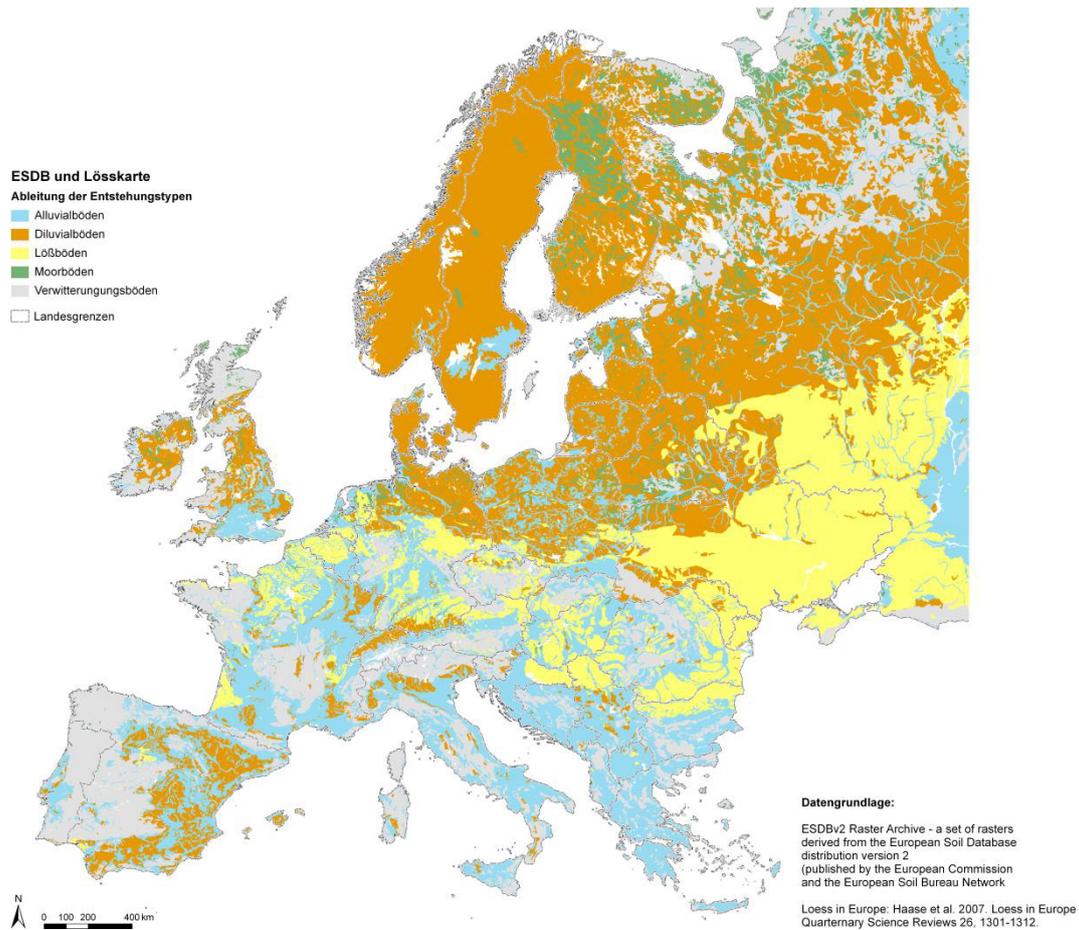


Abb. 44: ESDB und Lösskarte: Ableitung der Entstehungstypen für Europa, eigene Darstellung.

3.2.3 Ableitung der Zustandsstufe

Die Zustandsstufe ist definiert durch die aktuelle Situation des Bodens. Darin enthalten sind nach der landwirtschaftlichen Schätzungslehre (ROTHKEGEL 1952) Bodeneigenschaften wie pH-Wert, Humusgehalte und die Verfügbarkeit von Wasser. Diese Parameter tragen auch nach BAEUMER (1991) wesentlich zur Ertragsfähigkeit der Ackerböden bei. Darauf aufbauend werden zur Einschätzung der Zustandsstufe die Parameter **pH-Wert** und **organische Substanz** (korreliert mit dem organischen Kohlenstoffgehalt; AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN (2005)) für den obersten Horizont abgeleitet.

Die **nutzbare Feldkapazität** nFK wird für den Profildbereich bis maximal 1 m nach Methoden von HENNINGS (2000) und FRIEDRICH & VORDERBRÜGGE (2006) ermittelt. Über die Horizontmächtigkeiten erfolgt eine Gewichtung des Parameters bzw. eine Addition über das Profil. Weiterhin werden Grundwasserstand (Profiltiefe nur bis Obergrenze der reduktiven Horizonte), die Steinigkeit (Korrekturfaktor für den Grobbodenanteil) bzw. die Lagerungsdichte (Horizonte bis Lagerungsdichte $LD \leq 1,8$) zur Ableitung der nFK verwendet und mittels folgender Formel ermittelt:

$$\text{nFK-Horizont (Mineralboden) (mm)} = [\text{nFK (mm/dm)} + \text{HZ (mm/dm)}] \times [\text{HM (cm)/10}] \times [\text{KoF}]^{**}$$

nFK = nFK je Horizont

HZ = Humuszuschlag

HM = Horizontmächtigkeit

KoF = Korrekturfaktor für den Grobbodenanteil

** nach HENNINGS (2000) und FRIEDRICH & VORDERBRÜGGE (2006)

Um eine Zustandsstufe zu bestimmen, ist eine Klassifizierung der Bodenparameter pH-Wert, Humus und nFK nötig. Für die Bodeneigenschaften werden diese Einstufungen in Anlehnung an die

Bewertungen in KA5 (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN 2005) vorgenommen. Pro Parameter werden so die Zustandsstufen 1 bis 7 nach Tabelle 32 für Humusklasse, pH-Wert und nFK vergeben.

Dieses Schema gilt nur für mineralische Bodenarten.

Tabelle 32: Eigene Zuordnung der Klassen der Bodeneigenschaften zu den Zustandsstufen nach AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN (2005) und Wendland et al. (1993).

Zustandsstufe	Humus	pH-Wert		nFK _{We}	
	nach KA5, S. 112	s0 / a0	6,8-<7,2	in mm	Nach
1	h6	s0 / a0	6,8-<7,2	> = 270	KA 5, S. 349
2	h5	s1 / a1	6,1-<6,8 / 7,2-<7,9	220 - < 270	
3	h4	s2 / a2	5,4-<6,1 / 7,9-<8,6	180 - < 220	WENDLAND
4	h3	s3 / a3	4,7-<5,4 / 8,6-<9,3	140 - < 180	et al. (1993)
5	h2	s4 / a4	4,0-<4,7 / 9,3-<10,0	90 - <140	KA5, S. 349
6	h1	s5 / a5	3,3-<4,0 / 10,0-<10,7	50 - < 90	
7	h0	s6 / a6	<3,3 / ≥10,7	< 50	

KA5 = Bodenkundliche Kartieranleitung (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN 2005)

Die thematischen Layer der Zustandsstufen werden GIS-basiert miteinander über eine Mittelwertbildung zu einer Zustandsstufe pro Fläche vereint.

3.2.3.1 Brandenburg und Deutschland: Ableitung der Zustandsstufe aus BÜK300 und BÜK1000

Aus den Bodenübersichtskarten ist eine Ableitung der Bodeneigenschaften anhand der zugehörigen Boden-Profilbeschreibungen möglich. Es werden für die ackerbaulich genutzten Flächenbodenformen die Bodeneigenschaften Humus, der dominierende pH-Wert jeweils des obersten Horizonts bis 30 cm und die nutzbare Feldkapazität im Profil bis 1 m Tiefe ermittelt und klassifiziert.

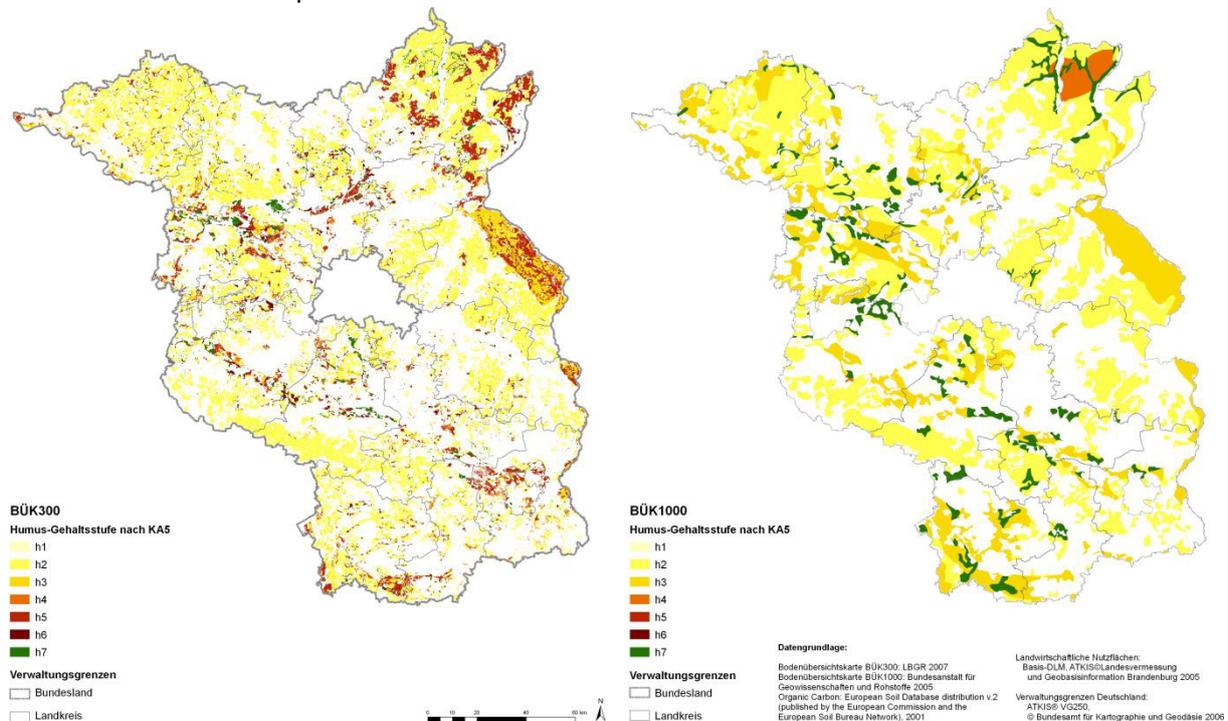


Abb. 45: Abgeleitete Humusklassen aus BÜK300 (links) und BÜK1000 (rechts) in Brandenburg, eigene Darstellung.

In der BÜK300 wird zusätzlich eine Gewichtung hinsichtlich der Dominanz der verschiedenen Bodenformen in der Legendennummer durchgeführt. Aus den drei Zustandsstufen ZS_{pH}, ZS_{Humus} und

ZS_{nFk} wird ein Mittelwert gebildet. Die Differenzierung der Zustandsstufe in Brandenburg anhand der BÜK300 ist gering und umfasst für das Bundesland Brandenburg die mittleren Zustandsstufen 3 bis 5. Im Gegensatz zur BÜK300 werden aus der BÜK1000 die dominierenden Eigenschaften pro Legendennummer ausgewählt, da keine nominalen Werte sondern die Eigenschaften in Klassen vorliegen. Infolge der Generalisierung in der BÜK1000, gehen die detaillierten Informationen der BÜK300 in der BÜK1000 verloren, doch geben sie die mittleren Eigenschaften der Region wieder (Abb. 45).

3.2.3.2 Europa: Ableitung der Zustandsstufe aus europäischen Bodendaten

Die Bodeneigenschaften Humus, nutzbare Feldkapazität und pH-Wert werden aus unterschiedlichen Kartengrundlagen ermittelt: Für die Ableitung der Bodeneigenschaft nFK wurde aus den SGDBE-Daten (European Soil Database (ESDB) 2005) anhand der MARS-Regeln (BARUTH et al. 2006) für eine Profiltiefe bis zu maximal 1 m und anhand der Klassifizierung nach Tabelle 32 die Zustandsstufe ZS_{nFK} abgeleitet (Abb. 46).

Zur Ableitung der Humusklasse dient die ESDB-Karte „Organic Carbon“ (2005) im Rasterformat mit einer Kantenlänge von 1 km. Anhand der Klassengrenzen der Humusgehaltsstufen aus der KA5 (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN 2005) werden die Daten in Humusklassen übersetzt und nach Tabelle 32 die Zustandsstufe für die europäische Bodenkarte abgeleitet. Die Flächen mit Humusklasse h7 werden der Zustandsstufe 1 zugewiesen, außer im Fall der Bodenart „Mo“. Dieses Schema gilt nur für mineralische Bodenarten (Abb. 46).

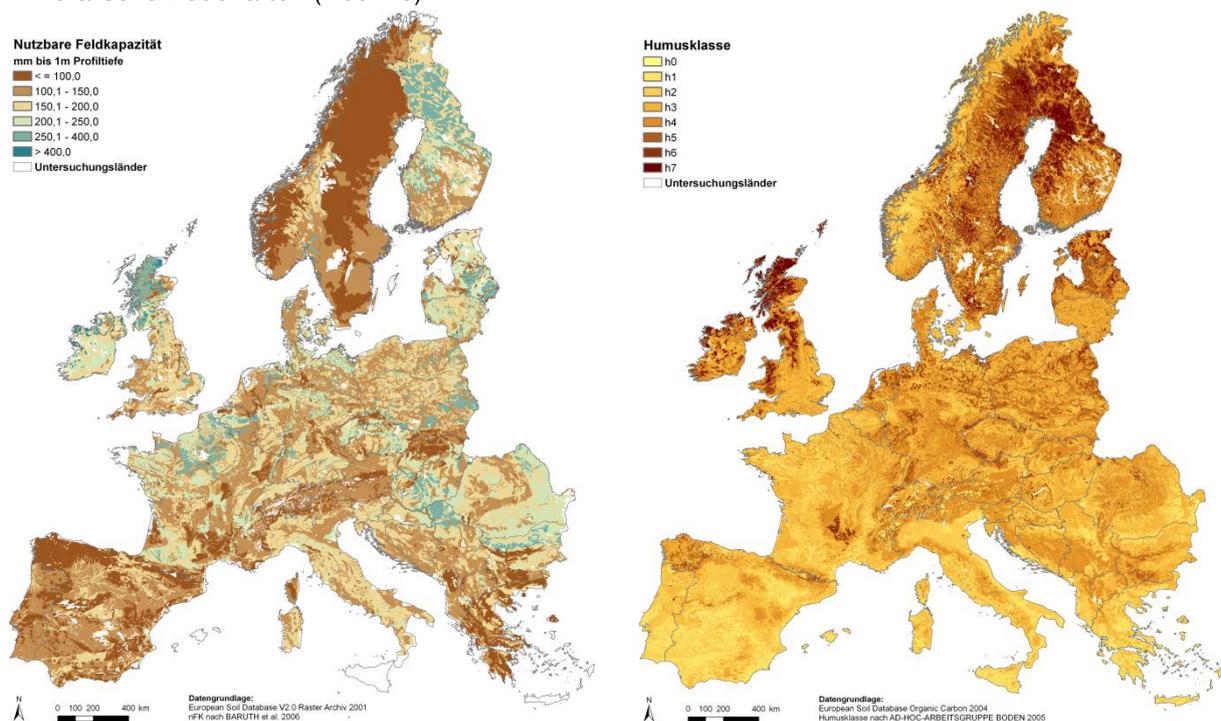


Abb. 46: Ableitung der nutzbaren Feldkapazität und Humusklasse aus den europäischen Bodendaten, eigene Berechnung.

Zur Abschätzung der Bodeneigenschaft pH-Wert standen die SOTER-Daten (Soil pH, pH Subsoil), zwei weltweit vorliegende Datensätze (FAO GeoNetwork 2007, IGBP-DIS 1998) und ein europäischer Datensatz des JRC (Joint Reserach Center, REUTER et al. (2009)) zur Verfügung.

Die räumliche Auflösung des IGBP-Datensatzes ist mit 17*17 arc minutes sehr grob und nicht verwendbar. In den höher aufgelösten (5*5 min) FAO-Daten werden pH-Klassen für dominante und subdominante Böden angegeben (<4.5, >=4.5-5.5, >5.5-7.2, 7.2-8.5, >8.5). Diese Einteilung und die räumliche Auflösung erscheinen unzureichend für eine weitere Analyse. Die SOTER-Daten liegen nur

für den osteuropäischen Raum vor und enthalten keine weitere räumliche Differenzierung als die IGBP-Daten.

Für den europäischen Raum liegen pH-Daten des JRC vor (REUTER et al. 2009). Sie enthalten eine räumliche Auflösung von 5x5 km und wurden für die EU25-Länder ermittelt. Diese pH-Wert-Rasterdaten nach REUTER et al. (2009) wurden in Zustandsstufen ZS_{pH} (Tabelle 32) kodiert.

Durch die Auswertung von layerbezogenen europäischen Rasterdaten pH, C_{org} und der Auswertung der ESDB-Daten wurden die Zustandsstufen ZS_{pH} , ZS_{Humus} und ZS_{nFk} in höherer räumlicher Differenzierung als im Vergleich zu den BÜK1000-Daten ermittelt. Der Mittelwert pro Rasterzelle ergibt die jeweilige Zustandsstufe.

3.2.3.3 Vergleich der ermittelten Zustandsstufen

In den BÜK-Daten erfolgt eine Generalisierung, was auch an den Histogrammen der Daten in den Landkreisen Uckermark und Barnim im Vergleich zu DIBOS deutlich wird (Abb. 47).

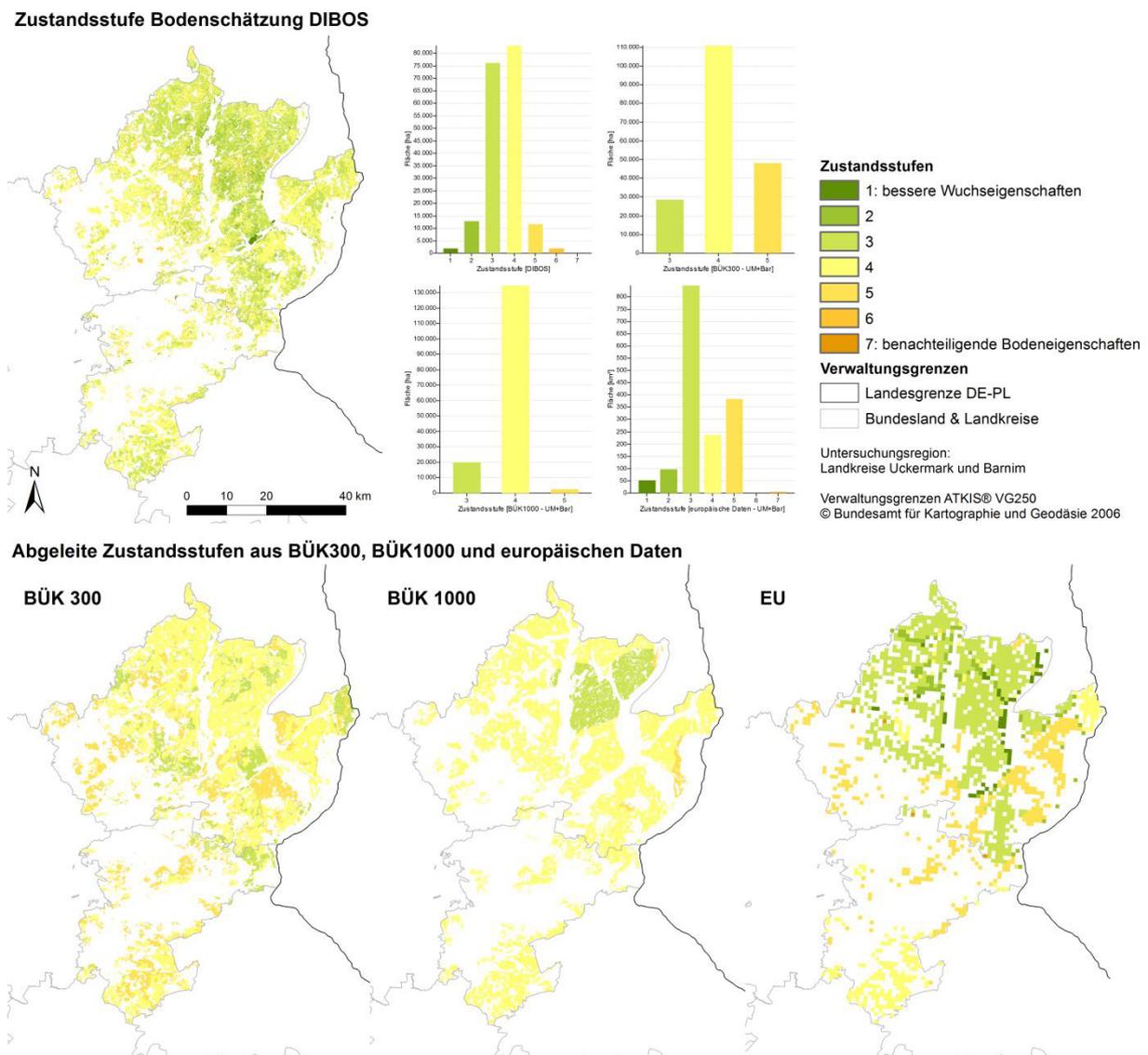


Abb. 47: Zustandsstufe laut DIBOS und abgeleitete Zustandsstufen in Uckermark und Barnim anhand unterschiedlicher Datenquellen (BÜK300, BÜK1000 und europäischer Bodendaten), eigene Darstellung.

Von DIBOS aus kann die Generalisierung der Zustandsstufen zur BÜK300 und weiter zur BÜK1000 anhand der Verteilung der Zustandsstufen in den Histogrammen nachvollzogen werden. Die rasterbasierte Auswertung der europäischen Datengrundlagen ergab die ähnlichste räumliche Verteilung der Zustandsstufen. Allerdings ist hier die Bewertung hin zu den besseren Zustandsstufen (Stufe 3 statt 4) leicht verschoben.

3.2.4 Ableitung der Bodenzahl

Aus Bodenart, der mittleren Zustandsstufe aus nutzbarer Feldkapazität, Humusklasse, pH-Wert und dem Entstehungstyp wird ein Klassenzeichen gebildet, welches dann mittels des Ackerschätzungsrahmens in eine mittlere Bodenzahl übersetzt wird (Abb. 48).

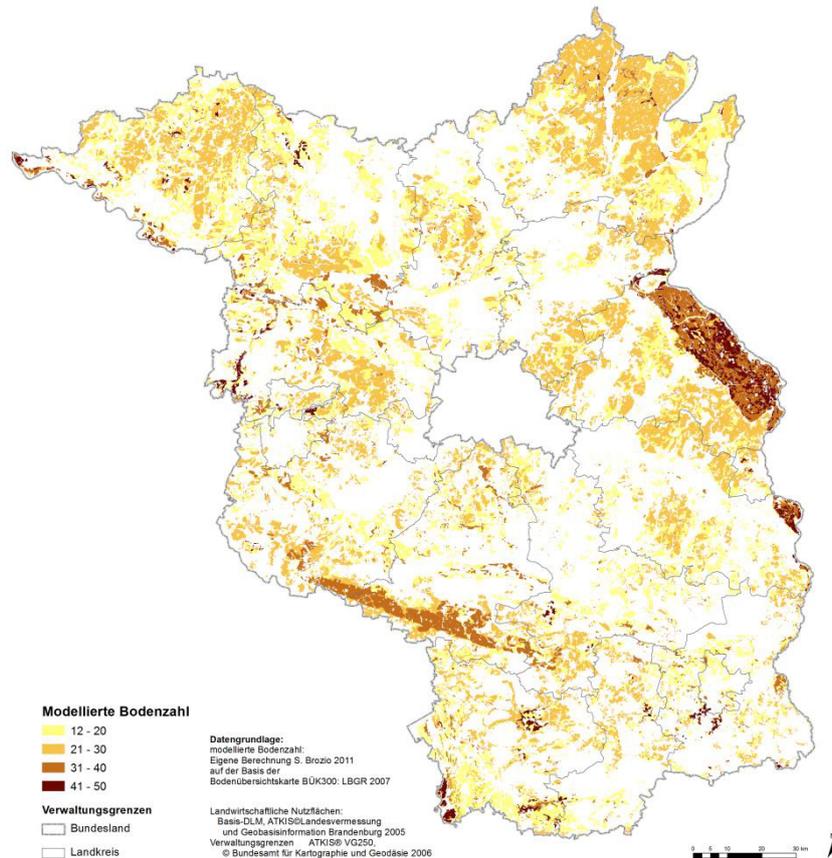


Abb. 48: BÜK300: Mittlere Bodenzahl nach Zuweisung des Klassenzeichens und Anwendung des Ackerschätzungsrahmens, eigene Ableitung.

Neben der Ermittlung des Klassenzeichens werden in der Bodenschätzung Abschläge hinsichtlich der geographischen Lage des Standortes vorgenommen. Neben Bodenart, Zustandsstufe und Entstehungstyp ist in großen Regionen mit einer hohen Varianz in Relief und Klima zu rechnen. Auch ein Abgleich mit der geographischen Breite und den klimatischen Bedingungen ist für die Abbildung von Ertragsleistungen der Böden vonnöten. So schlägt RUST (2006) sogar eine Aktualisierung der digitalen Bodenschätzungsdaten anhand digitaler Klimadaten vor. In Anlehnung daran wurde für die Übertragung der Bodenzahl auf nationale bzw. europäische Ebene ein Korrekturparameter entwickelt.

3.2.4.1 Ableitung eines Korrekturfaktors Klima, Relief, geographische Breite

Die Relation des Faktors ergibt sich aus der Änderung des Ertragsniveaus. Für Europa wurden Ertragsdaten auf NUTS2-Ebene recherchiert, flächendeckend vorhanden ist der Ertrag von Weizen,

der über mehrere Ertragsjahre gemittelt wurde, wobei Extremwerte nach statistischer Analyse eliminiert wurden (vgl. Kap. 3.4.1).

In gleicher räumlicher Ebene wie die europäischen Ertragsdaten wurden Durchschnittswerte für die klimatischen Geodaten, Reliefdaten, die Lage hinsichtlich der geographischen Breite und auf nationaler Ebene auch die Länge der Vegetationsdauer pro NUTS-Region für die landwirtschaftlichen Flächen ermittelt. Die entwickelte Datenbasis dient der Ableitung eines Korrekturfaktors, welcher es ermöglicht, Korrelationen zwischen Klima, Relief und Ertrag abzuleiten (Tabelle 33).

Tabelle 33: Korrelationsmatrix der naturräumlichen Parameter zum Weizenertrag, eigene Berechnung.

Korrelationen	Niederschlag		Temperatur		Relief		VegP	geografische Breite
	Jahr (Prec)	Mai-September	MW	Min	Höhe ü NN	Neigung		
Ertrag Weizen	0,270**	0,342**	-0,075	0,203**	-0,261**	-0,285**	0,546**	0,194**
VegP: Länge der Vegetationsperiode	0,399**	0,073	0,417**	0,585**	-0,236**	-0,038	1	-0,296**

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Die höchste Korrelation des Weizenertrages wurde zur Länge der Vegetationsperiode festgestellt. Da es Informationen zur Länge der Vegetationszeit allerdings nur auf NUTS0/1-Ebene vorliegen, erfolgt eine Modellierung anhand vorhandener klimatischer Daten sowie Lage- und Reliefparameter, die am höchsten mit der Länge der Vegetationsperiode (VegP) korrelieren. Auf NUTS0/1-Ebene werden die Daten zusammengefasst und eine Funktion zur Ableitung der Länge der Vegetationsperiode abgeleitet. Die Funktion ist folgendermaßen aufgebaut:

$$\text{VegP} = 155.1979 + 0.1155 \cdot \text{Prec} + 0.3656 \cdot \text{TMin} \cdot 10 - 0.0573 \cdot \text{Höhe} + 0.1444 \cdot \text{GeogrBreite}$$

(eigene Ableitung)

Die modellierte Länge der Vegetationsperiode erreicht eine Korrelation von 0,744 zu den Grundlagendaten, die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant (Abb. 49).

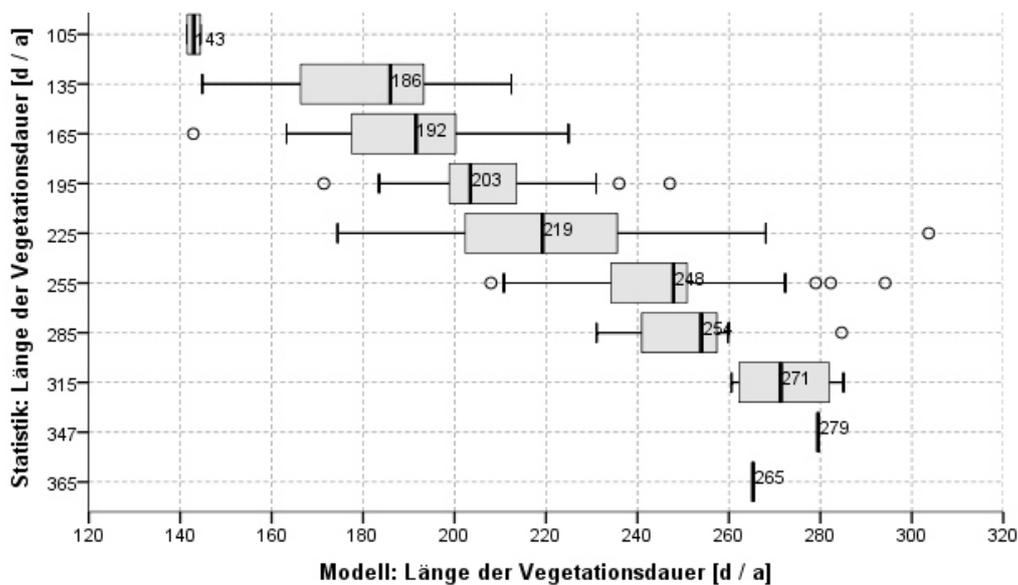


Abb. 49: Länge der Vegetationsperiode: Statistische Angaben und Modellierung, eigene Berechnung.

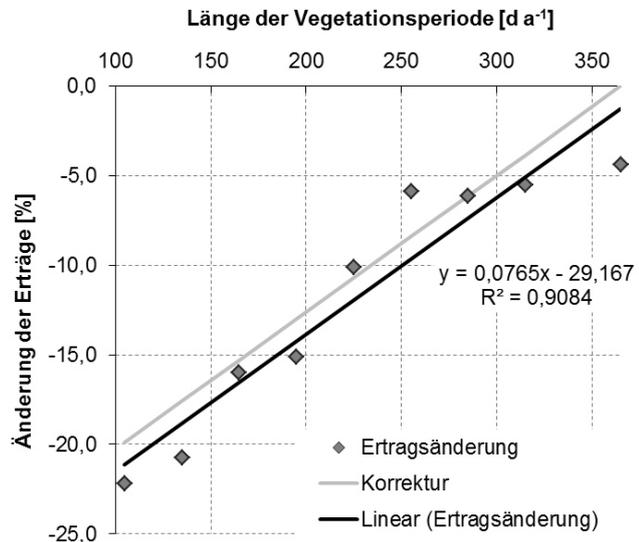
Damit konnte ein Geodatensatz entworfen werden, der für landwirtschaftliche Anbauflächen in Europa sowohl Relief als auch Lage- und klimatische Parameter zusammenfasst und einen Bezug zu den Ertragsänderungen ermöglicht. Um die Auswirkungen auf den Ertrag abzuleiten und damit das Niveau

des Korrekturfaktors zu bestimmen, wurden auf gleicher räumlicher Ebene die statistischen Daten mit den Erträgen des Weizens verglichen. Die Korrelation zwischen dem Parameter VegP und der Ertragsänderung liegt bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,298, was bedeutet, dass fast 30 % der Variabilität des Ertrags durch die Länge der Vegetationsperiode erklärt wird. Dies unterstreicht den Einfluss des entwickelten Parameters auf den Ertrag.

Über die Regressionsgleichung zwischen relativer Ertragsänderung und der Länge der Vegetationsperiode ist die Höhe der Bodenzahländerung zu ermitteln (Abb. 50).

$$\Delta \text{ BZ}[\%] = 0,0765 \cdot \text{VegP}[\text{d}] - 29,167$$

Abb. 50: Länge der Vegetationsperiode und mittlere Änderung des relativen Ertrages (Winterweizen), eigene Berechnung.

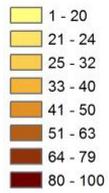


Nach Anwendung der Formeln schneidet die Gerade die X-Achse bei 381 Tagen – korrigiert auf die Länge eines Jahres von 365 Tagen ergibt sich folgende Gleichung zum Korrekturfaktor der Bodenzahl:

$$\text{Korrekturfaktor} = \Delta \text{ BZ}[\%] = 0,0765 \cdot \text{VegP}[\text{d}] - 27,9225$$

Nach Anwendung des Korrekturfaktors auf die Bodenzahl wurden folgende Bodenzahl-Karten für die BÜK1000 (Abb. 51) und europäischen Bodendaten (Abb. 52) entwickelt.

BÜK1000:Modellierte Bodenzahl



Kartengrundlage:

BÜK1000: Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe, 2005

Ackerflächen:
Corine landcover © EEA 2005

Verwaltungsgrenzen Deutschland:
ATKIS® VG250
© Bundesamt für Kartographie
und Geodäsie 2006

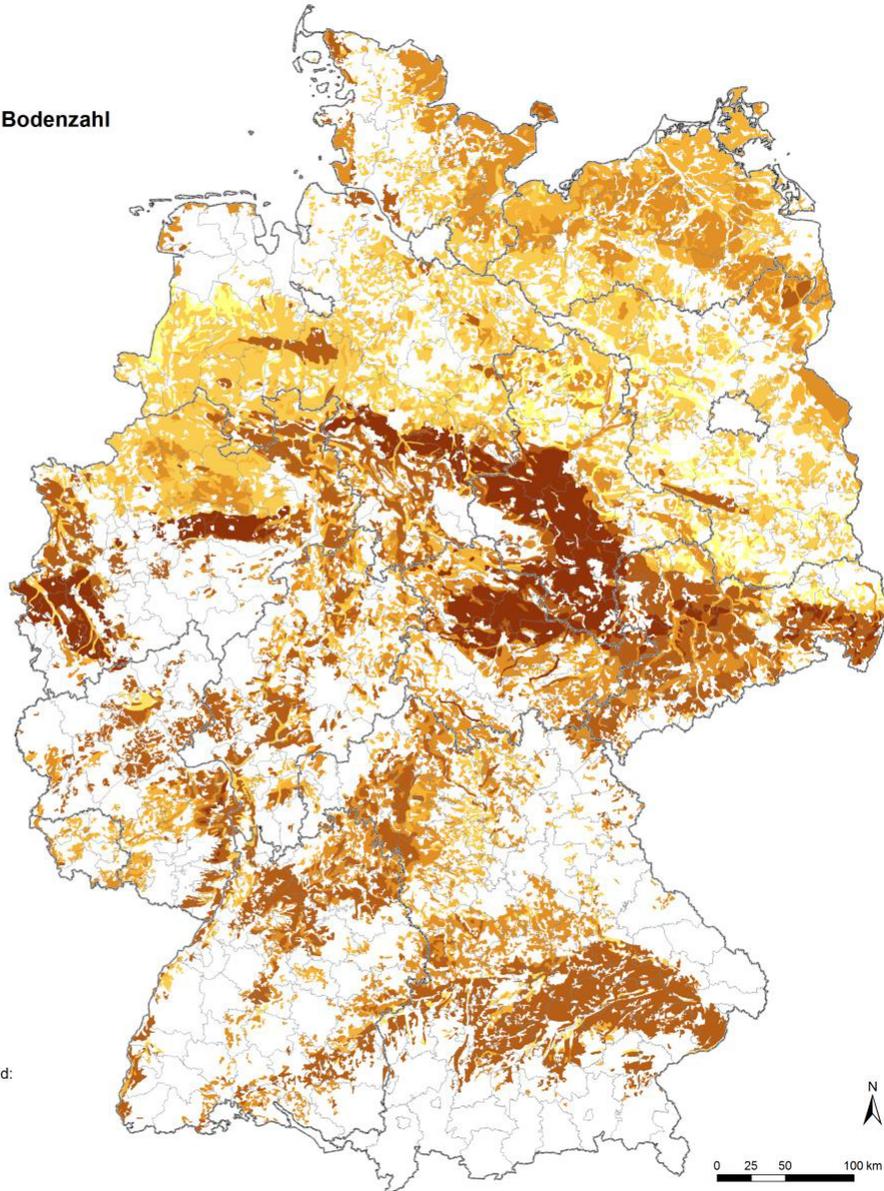


Abb. 51: BÜK1000: Modellierte korrigierte Bodenzahl für die Anbauflächen in Deutschland, eigene Ableitung.

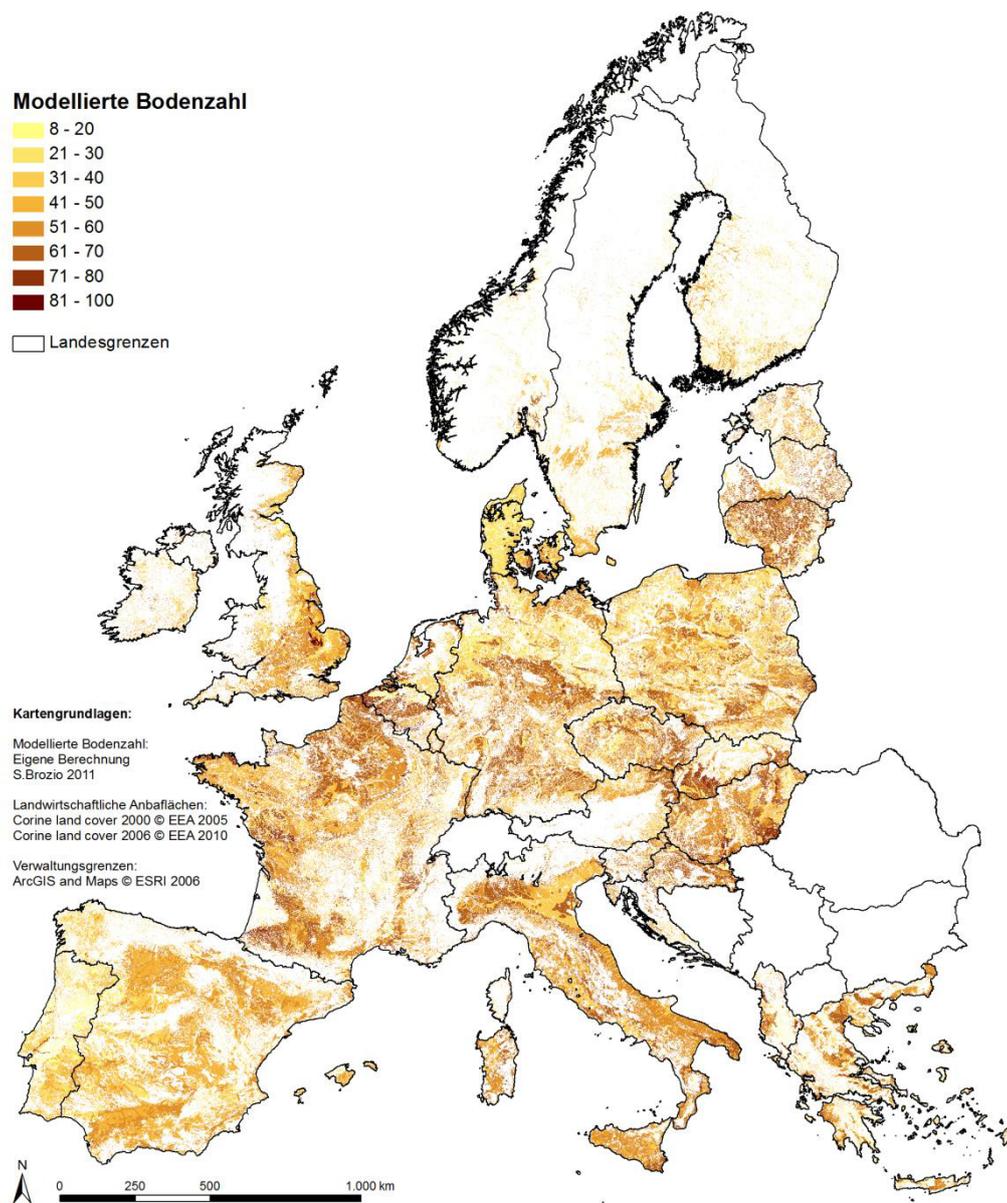


Abb. 52: Modellerte korrigierte Bodenzahl für die Anbauflächen in Europa, eigene Ableitung.

3.2.5 Validierung der Bodenzahlen

Die Validierung der generierten Bodenzahlen erfolgt einerseits durch den Vergleich der Einzelparameter Bodenart, Entstehung und Zustandsstufe. Diese liegen im Maßstab 1:25.000 in den brandenburgischen Landkreisen Uckermark und Barnim vor. Andererseits werden Vergleiche zwischen den Ergebnissen aus BÜK300, BÜK1000 und europäischen Datensätzen gezogen, sowie die generierte Bodenzahl mit der GEMDAT (Ostdeutschland) bzw. der Ertragsmesszahl (Westdeutschland) gegenübergestellt.

3.2.5.1 Brandenburg: Validierung der modellierten Bodenzahl aus der BÜK300

Eine Validierung der berechneten Parameter Bodenart, Entstehung und Zustandsstufe bzw. der generierten Bodenzahl erfolgt anhand der DIBOS-Daten in den Landkreisen Uckermark und Barnim. Die DIBOS-Daten beziehen sich auf einen räumlichen Maßstab von 1:25.000, die BÜK300 wiederum

auf einen Maßstab von 1:300.000. Daher wird ein räumlicher Vergleich anhand der im BÜK300-Polygon am häufigsten auftretenden Bodenart (Median) aus den DIBOS-Polygonen vorgenommen, was einer Generalisierung der DIBOS-Daten auf die BÜK300 entspricht. 49,8 % der Flächen weisen dabei die gleiche Zuordnung der Bodenart zwischen beiden Datensätzen auf (Tabelle 34, fettgedruckte Zahlen).

Tabelle 34: Bodenschätzungs-Bodenart: Anzahl der Zuordnungen der DIBOS-Mediane zu BÜK300-Flächen in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Berechnung.

BÜK300-Bodenart	DIBOS-Bodenart								Summe
	S	SI	IS	SL	sL	L	LT	T	
S	551	215	130	22	4		2		924
SI	74	95	101	11	2	1	2		286
IS	47	83	110	49	5	1		1	296
L	2	1	1	1	4	2	6	2	19
LT	2						9	3	14
Summe	676	394	342	83	15	4	19	6	

fett gedruckte Zahlen weisen auf die gleiche Zuordnung der Bodenart in beiden Datensätzen hin

In den Landkreisen Uckermark und Barnim treten dominierend Sande (S) auf, welche auch in der generalisierten BÜK300 als Sande ausgewiesen werden. Flächen, die den DIBOS-Bodenarten SI oder IS zugeordnet werden müssten, sind in BÜK300 vor allem als reine Sande S ausgewiesen. Lehme bis Tone (SL bis T) kommen in Uckermark und Barnim nur kleinflächig vor, weshalb diese nicht näher ausgewertet werden können (Abb. 53).

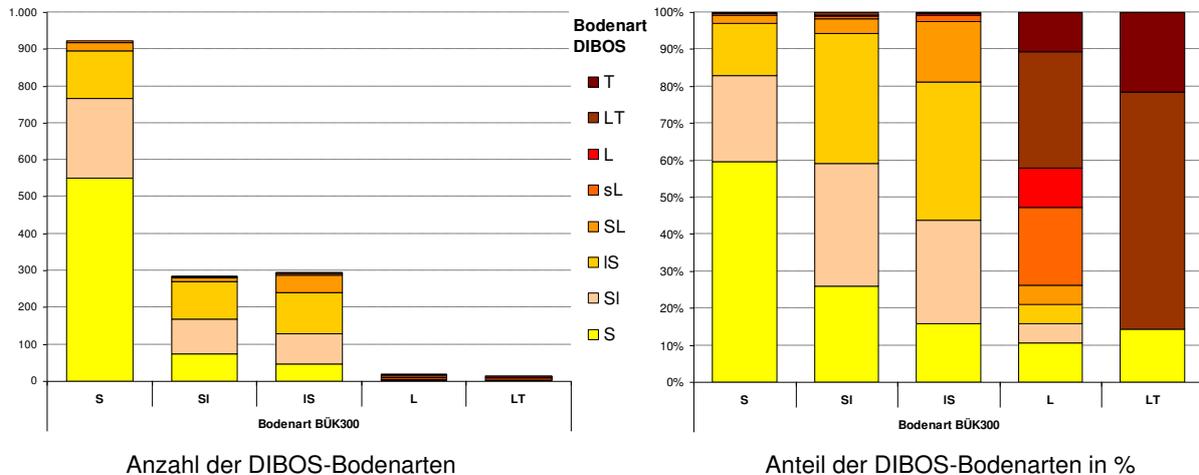


Abb. 53: Vergleich der Bodenarten-Gruppen der BÜK300 (Abszisse) und der mittleren DIBOS-Bodenart pro Fläche (Gestapelte Säulen) in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Darstellung.

Die ermittelten Bodenarten der BÜK300 sind nicht eindeutig zuzuordnen, da die heutige Textur-Klassifikation nicht mit der Bodenarten-Klasse übereinstimmt (Anhang A-5). Doch werden die Hauptanteile durch die gleichen oder angrenzenden Bodenarten nach DIBOS bestimmt. In der Gruppe SI ist ein hoher Anteil an DIBOS-Bodenarten IS zu verzeichnen, allerdings sind auch über 20 % der Sande (S) enthalten. Der Anteil der lehmigen Bodenarten nimmt zu.

Lehme kommen in dieser Region selten vor, daher ist ein Vergleich mit den DIBOS-Daten schwierig. Tendenziell lässt sich allerdings feststellen, dass in diesen Gruppen auch höhere Anteile an Lehmstandorten in DIBOS vorkommen und mit steigendem Tonanteil auch die Bodenart in der Klassifizierung in DIBOS von L zu LT wechselt.

Der Vergleich der Entstehungstypen zwischen BÜK300 und DIBOS beschränkt sich auf die Klassen D, AI und Dg, da im Median der Flächen der BÜK300 weitere Klassen der DIBOS-Daten nicht vertreten sind (Abb. 54).

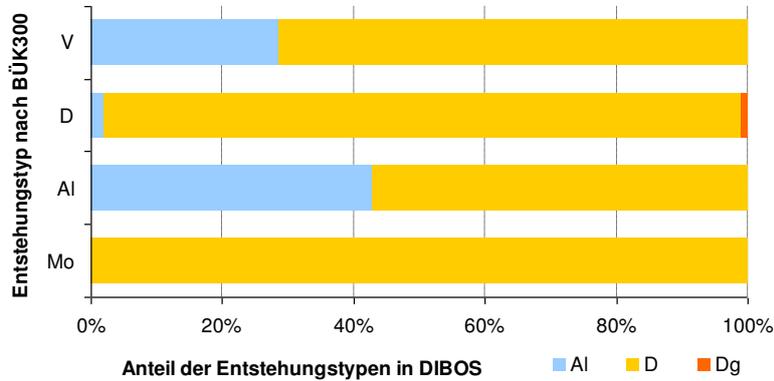


Abb. 54: Anteile der Entstehungstypen nach BÜK300 an DIBOS (Uckermark und Barnim), eigene Berechnung.

Die Genauigkeit der ermittelten Zustandsstufe wurde durch den Vergleich mit der Zustandsstufe aus den DIBOS-Daten berechnet. Flächengenau wurden die abgeleiteten Zustandsstufen von den DIBOS-Stufen abgezogen (Abb. 55). Der Mittelwert der Abweichung liegt bei + 0,21, was bedeutet, dass mit geringem Anteil eine höhere Zustandsstufen vergeben wurde. Die Standardabweichung liegt bei 0,887.

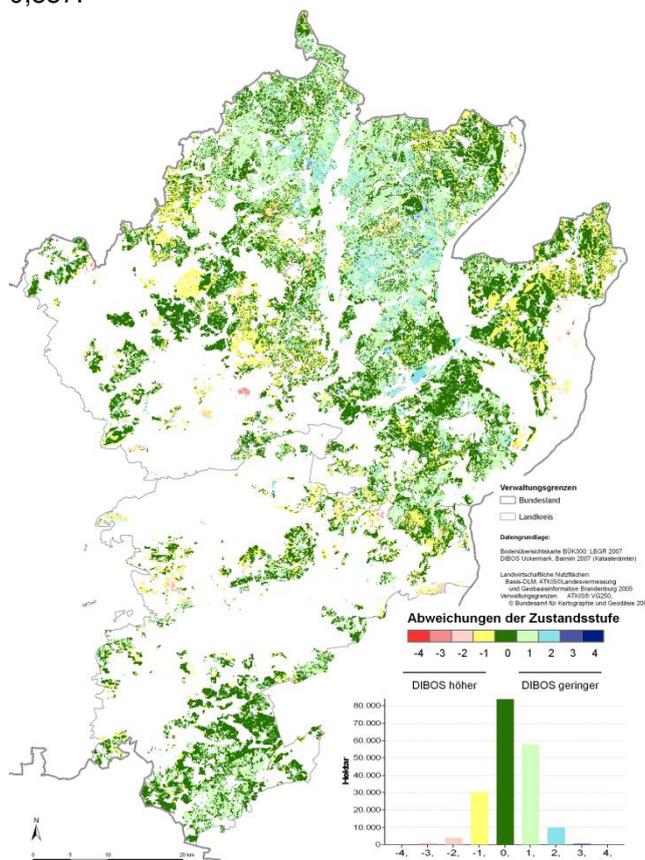


Abb. 55: Abweichung der abgeleiteten Zustandsstufen aus BÜK300 von DIBOS-Zustandsstufe in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Darstellung.

Die Korrelation der Bodenzahlen aus BÜK300 und DIBOS wird anhand der Mediane der DIBOS-Flächen innerhalb der BÜK300 Polygone ermittelt, um eine Generalisierung der DIBOS-Daten nachzuvollziehen. Das Bestimmtheitsmaß zu DIBOS liegt bei 0,5152 und zeigt eine signifikante Korrelation an. Allerdings fallen die modellierten BÜK300-Bodenzahlen geringer aus, so dass die Regressionsgerade von einer 1:1-Beziehung um ca. 5-15 Bodenpunkte abweicht (Abb. 56). Für eine statistisch gesicherte Aussage ist die vergleichende Flächenbasis allerdings zu gering.

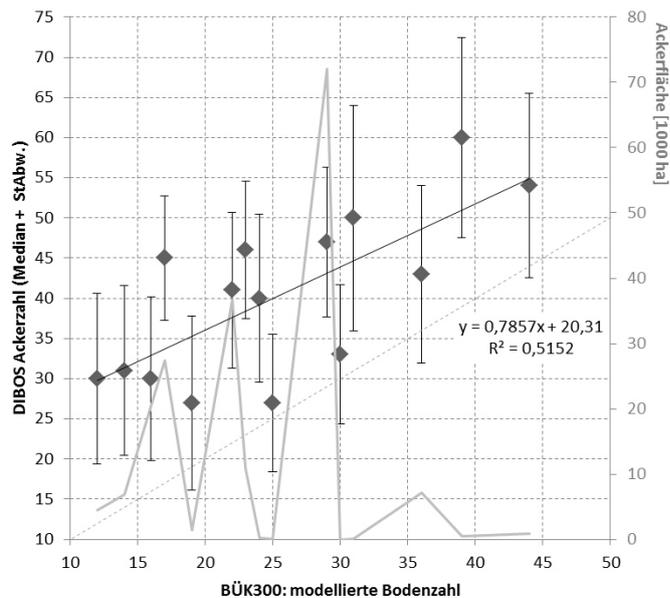


Abb. 56: Modellerte Bodenzahl im statistischen Vergleich zu DIBOS (Median und Standardabweichung) in Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Berechnung.

In Uckermark und Barnim entfallen die modellierten Bodenzahlen auf 63,5 % in die Klasse 20-29 Bodenpunkte, 20 % in die Gruppe mit <20 Bodenpunkten. Dies entspricht auch zum großen Teil den Verhältnissen laut DIBOS. Doch liegen die mittleren DIBOS-Bodenzahlen in den Gruppen 20-29 und 30-39 an der oberen Grenze, in den höheren generierten Bodenzahlgruppen treten eher geringere Bodenzahlen in DIBOS auf.

Mit Hilfe der GEMDAT kann die generierte Bodenzahl der BÜK300 für ganz Brandenburg bezogen auf die Verwaltungsgrenzen validiert werden. Es gilt aber bei diesem Vergleich zu bedenken, dass in der GEMDAT statt der Bodenzahl die mittleren Ackerzahlen und damit die Standortkorrekturen durch Klima- und Reliefverhältnisse pro Gemeinde ausgewiesen sind.

Die modellierte Bodenzahl liegt im Mittel ungefähr auf dem Niveau der GEMDAT (Abb. 57). Über die Ackerflächen ergibt sich eine Abweichung von -6,8 Bodenpunkten mit einer mittleren Bodenzahl von 25,5 und einer Standardabweichung von 10,7 (GEMDAT – BB: MW =32,2 / StAbw = 7,8).

Die klima-korrigierte Bodenzahl aus BÜK300 fällt im Mittel 9,6 Bodenpunkte geringer aus als die mittleren Ackerzahlen in der GEMDAT. Der flächengewichtete Mittelwert der Ackerflächen Brandenburgs liegt bei 23,6, die Standardabweichung bei 8,3 Bodenpunkten.

Die Korrelation der Bodenzahlen ist mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,9057 hoch und auf dem Niveau von 0,01 signifikant. Von den 1835 ausgewerteten Gemeinden in Brandenburg wurden 48,8 % (korrigierte Bodenzahl: 32 %) mit einer Abweichung um ± 5 Bodenpunkte und 82,5 % (korrigierte Bodenzahl: 67 %) um ± 10 Bodenpunkte klassifiziert. Vor allem die ertragsreicheren Standorte im Nordosten Brandenburgs (Landkreis Uckermark) werden unterschätzt (Abb. 58).

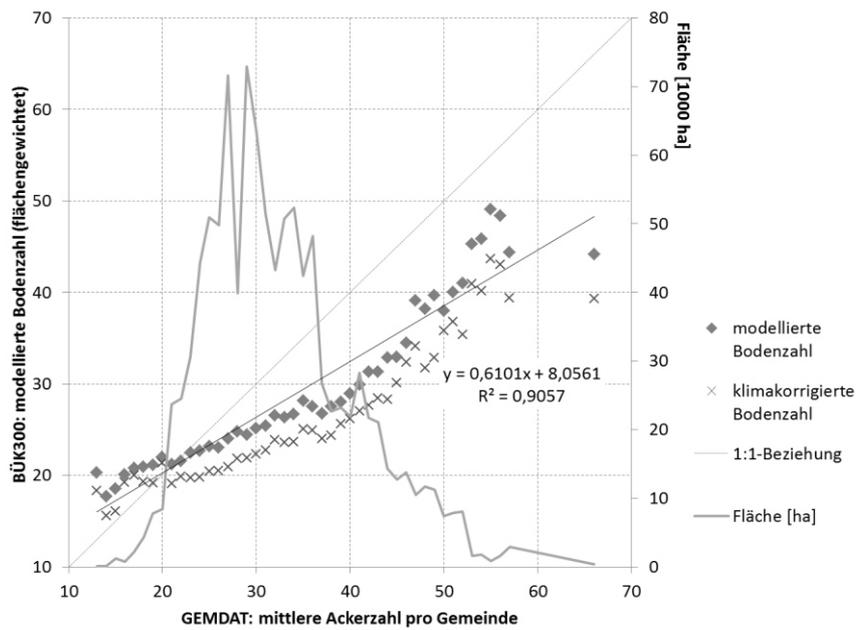


Abb. 57: Vergleich der mittleren Ackerzahl aus GEMDAT mit Mittelwert der modellierten BÜK300 Bodenzahlen (Punkte) und Verteilung der Ackerflächen pro GEMDAT-Ackerzahlen (Linie), eigene Berechnung.

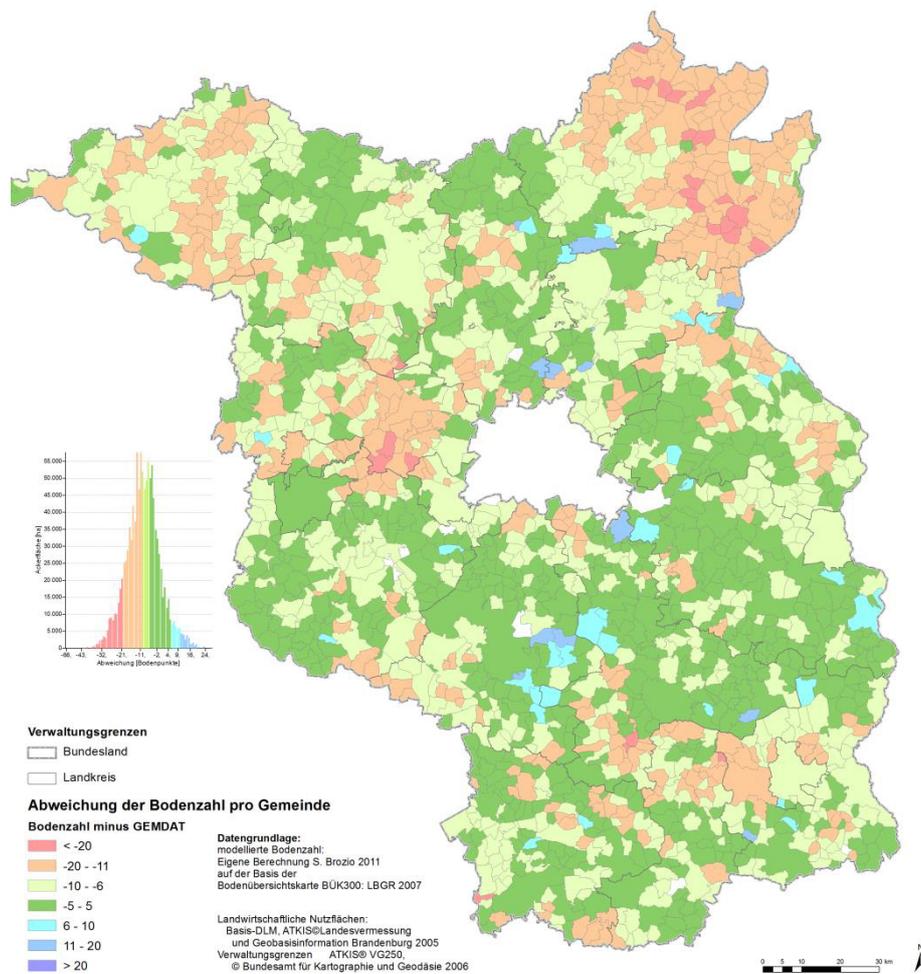


Abb. 58: Vergleich der modellierten Bodenzahl aus BÜK300 und GEMDAT pro Gemeinde in Brandenburg, eigene Berechnung.

Die BÜK300-Ertragsklassen werden in den dominant vorkommenden Klassen durch die modellierten Bodenzahlen mit etwas verringertem Niveau wiedergegeben (Abb. 59).

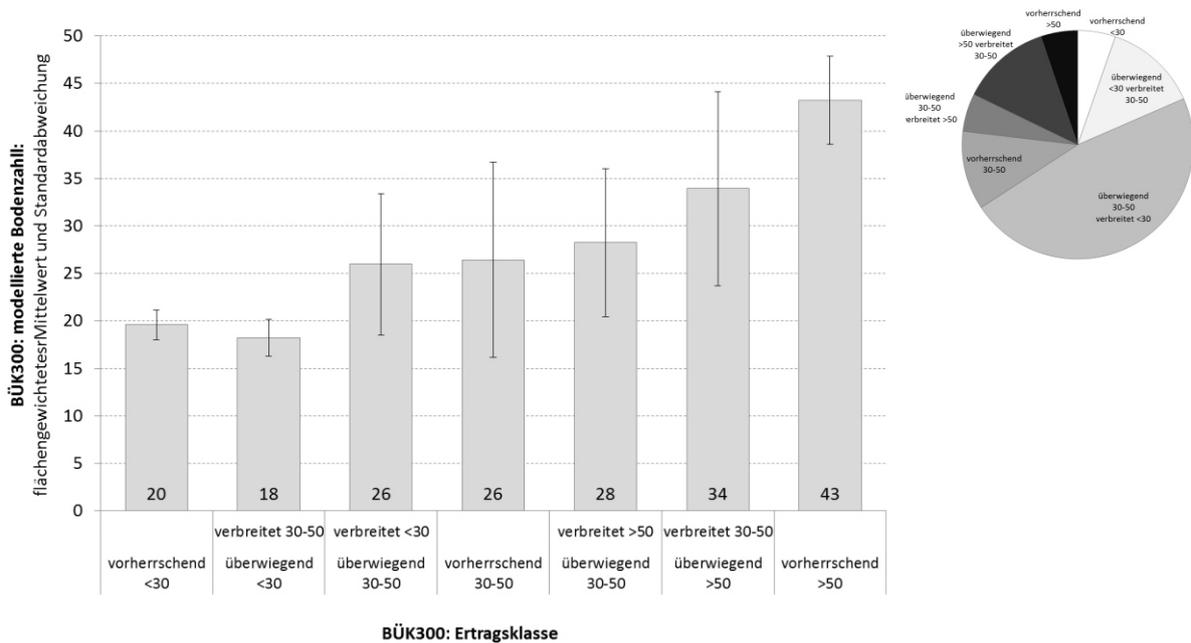


Abb. 59: Vergleich der modellierten Bodenzahl aus BÜK300 mit den BÜK300-Ertragsklassen in Brandenburg, eigene Berechnung.

3.2.5.2 Deutschland: Validierung der modellierten Bodenzahl aus der BÜK1000

Die Bodenzahlen aus BÜK1000 wurden mit der GEMDAT (Ostdeutschland) bzw. EMZ (Westdeutschland) anhand der mittleren Bodenzahl pro Gemeinde verglichen. Im Vergleich zur GEMDAT korrelieren die modellierten Bodenzahlen auf dem Niveau von 0,001 zweiseitig signifikant mit einem R^2 von 0,9632, was einer Übereinstimmung in 96 % der Gemeinden entspricht (Abb. 60).

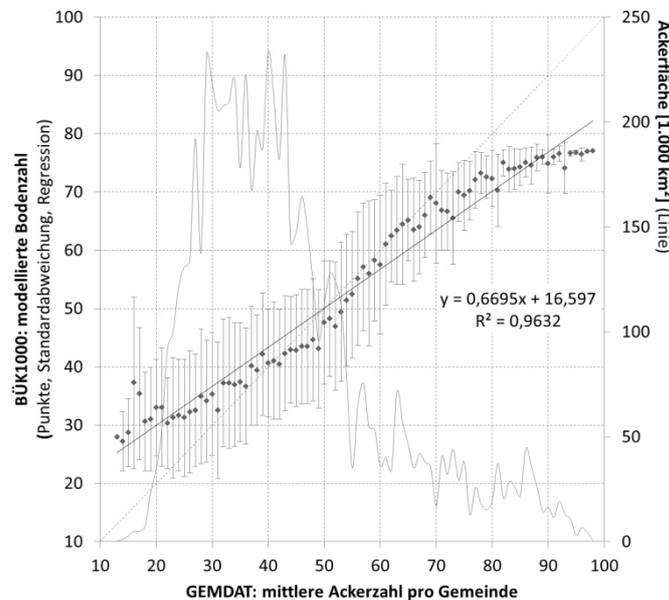


Abb. 60: BÜK1000: Abweichung der generierten Bodenzahl aus der BÜK1000 von der GEMDAT-Ackerzahl, eigene Berechnung.

Die modellierte Bodenzahl wird im Mittel um +2 Bodenpunkte überschätzt. Die Regressionsgerade liegt der 1:1-Beziehung zur GEMDAT und der generierten Bodenzahl sehr nahe.

Für den Vergleich zur EMZ-Karte wurden die Bodenzahlen pro Gemeinde in die EMZ-Gruppen gruppiert. Von den ausgewerteten 6025 Gemeinden wurden 2155 (=36 %) der richtigen EMZ-Gruppe zugeordnet, schließt man die Nachbargruppen ein, was einem Fehler von maximal 10 Bodenpunkten entspricht, wurden 81 % der Gemeinden ähnlich klassifiziert, wobei der Schwerpunkt eher auf einer Überschätzung liegt (Abb. 61).

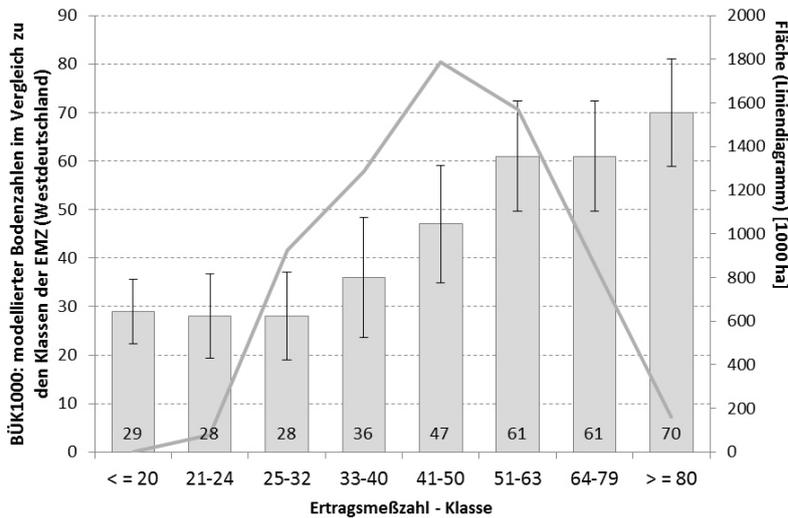


Abb. 61: BÜK1000: Vergleich der modellierten Bodenzahl aus der BÜK1000 mit den EMZ-Ertragsklassen in Westdeutschland, eigene Berechnung.

Es liegt eine Tendenz vor, dass in Gemeinden mit sehr niedrigen positive (=Überschätzung), in höheren Ackerzahlen negative Abweichungen (=Unterschätzung) auftreten, was sich auch im räumlichen Vergleich (Abb. 62) zeigt.

Flächengewichtet und auf die Ackerflächen nach CORINE bezogen liegt die Abweichung zwischen der Bodenzahl aus der BÜK1000 und der GEMDAT bzw. EMZ bei -1 Bodenpunkt. Vor allem in den gebirgigen und Regionen mit Lössanteilen weichen die generierten Bodenzahlen von GEMDAT und EMZ ab. Der Fehler ist dabei vor allem in der Generalisierung der BÜK1000-Daten zu suchen, wodurch die Extreme nicht mehr erfasst und nivelliert werden. Dabei kommt es vor allem in der Definition der Zustandsstufen zu geringeren Varianzen, die allerdings infolge der geringen Vergleichsdaten nicht statistisch zu belegen sind (Abb. 62).

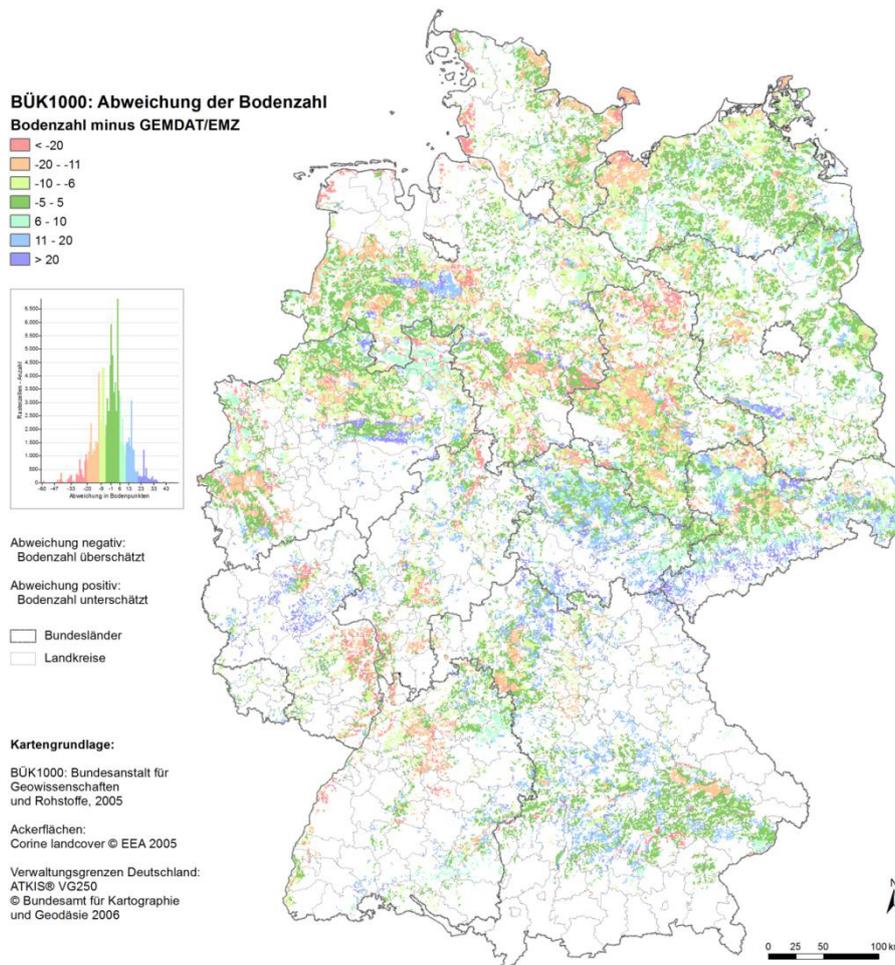


Abb. 62: BÜK1000: Abweichung der modellierten BÜK1000 Bodenzahl von EMZ (Westdeutschland) und Ackerzahl nach GEMDAT (Ostdeutschland), eigene Berechnung.

3.2.5.3 Europa: Validierung der modellierten Bodenzahl aus den europäische Bodendaten

Von den in Deutschland auftretenden 98 europäischen Bodeneinheiten SMU gingen 94 mineralische Einheiten in die Auswertung ein. Es ergibt sich eine Korrelation der abgeleiteten europäischen Bodenarten zu den Bodenarten der BÜK1000 von $r=0,534$. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant. Je nach Bodenart treten Abweichungen in der Zuordnung auf (Tabelle 35).

Tabelle 35: Prozentualer Anteil der Zuweisungen der Bodenarten aus ESDB im Vergleich zu den zugewiesenen Bodenarten aus BÜK1000 (Spalten = 100 %), eigene Berechnung.

Bodenart nach Bodenschätzung		BÜK1000							
ESDB (DE)	Flächenanteil in DE	S	SI	IS	SL	sL	L	LT	T
SI	15,1	1,4	12,1	0,9	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0
IS	18,5	2,4	6,1	2,5	0,8	0,9	5,4	0,4	0,1
SL	8,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,7	5,0	0,0	0,0
sL	37,3	0,1	2,7	0,2	9,1	5,7	19,1	0,2	0,2
L	17,4	0,2	1,5	1,6	5,5	2,1	2,5	4,0	0,1
LT	3,6	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	3,1

Reine Sande werden den anlehmigen Sanden zugeordnet. Die Abweichungen begrenzen sich meist auf Verschiebungen um eine Bodenklasse. Insgesamt ist die Zuordnung von 24 % der Flächen gleich, bei Berücksichtigung der angrenzenden Klassen 72,4 %. Eine höhere Abweichung ergibt sich in der

Klasse der Lehme. Lehmige Bodenarten werden in ihrem Anteil an Feinanteilen als zu hoch eingeschätzt. Allerdings ist deren Flächenanteil für eine verlässliche Aussage zu gering (Abb. 63).

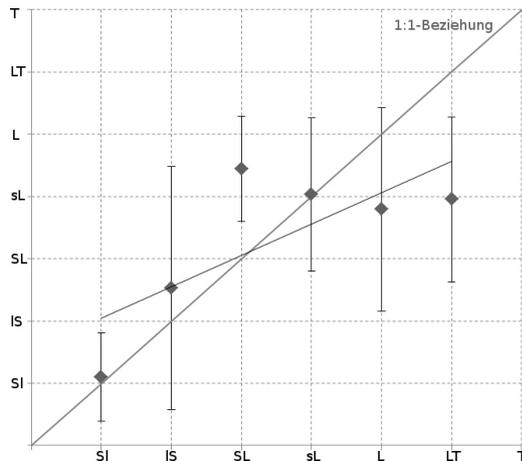


Abb. 63: Bodenarten in Deutschland: Mittlere Bodenart mit Standardabweichung aus den europäischen Bodendaten (Ordinate) im Vergleich zu BÜK1000 (nach BMF 2005 – Abszisse), eigene Berechnung.

Es ist keine andere Zuordnung möglich, wie die Zuweisung der Flächeneinheiten (SMU) im Vergleich zu den BÜK1000-Bodenarten zeigt (Tabelle 36).

Tabelle 36: Anzahl der Bodeneinheiten SMU mit den Bodenarten Bodenschätzung und Bodenartenklassen ESDB im Vergleich zu den Bodenarten nach BMF 2005 in BÜK1000, eigene Berechnung.

ESDB Bodenschätzung	Bodenschätzung		Anzahl der häufigsten Bodenart aus BÜK1000							
	Oberboden1	Unterboden1	S	SI	IS	SL	sL	L	LT	T
SI	1	1	5	5	2	1	2			
IS	1	1	1	1	3		1	2		
		2		1		1	1	1	1	
	2	1		3			2			
		2			1				1	
SL	7	3							2	
	1	3				1				
	3	3				1	2	4		
sL	2	1							1	
		2		2	1	1	3			
		3					1	4		
	3	2						1		
L	4	2				1				
	1	3				1				
	2	2	1	3	3	6	4	8	3	
		4				1				
LT	3	3							1	
	4	2			1					
	4	4								2

Fett gedruckt: gleiche Zuordnung

Die anlehmigen Sande werden in reine und anlehmige Sande zu gleichen Teilen zugeordnet, sie besitzen allerdings jeweils die dominante Bodenart 1 in Ober- und Unterboden (clay < 18 % and sand > 65 %). Entscheidend für die Einstufung in reine Sande ist das Auftreten von steinig oder weiteren sandigen Bodenarten als subdominante Bodenart.

Die Entstehung wird in ESDB und BÜK1000 zum größten Teil gleich klassifiziert (Abb. 64): Der Median in den ESDB-Polygonen entspricht bis auf die Entstehung AI immer den jeweiligen Typen D, V, Loe und Mo. Die alluvialen Böden werden in der BÜK1000 am häufigsten als Lößböden eingestuft.

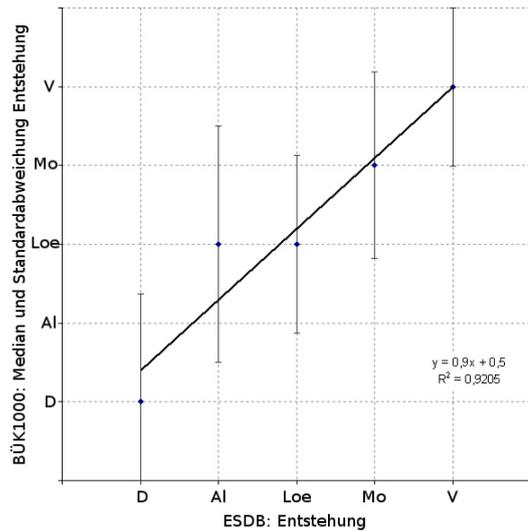


Abb. 64: Vergleich der Entstehungstypen in ESDB und BÜK1000, eigene Darstellung.

Die abgeleiteten Bodeneigenschaften können mit denen der BÜK300 und der BÜK1000 verglichen werden. Im Vergleich der Humusgehalte wird ersichtlich, dass in Brandenburg (BÜK300) die Klassen der Humusgehalte zwar generalisiert, aber im Großen und Ganzen die Differenzierungen wiedergegeben werden (Abb. 65).

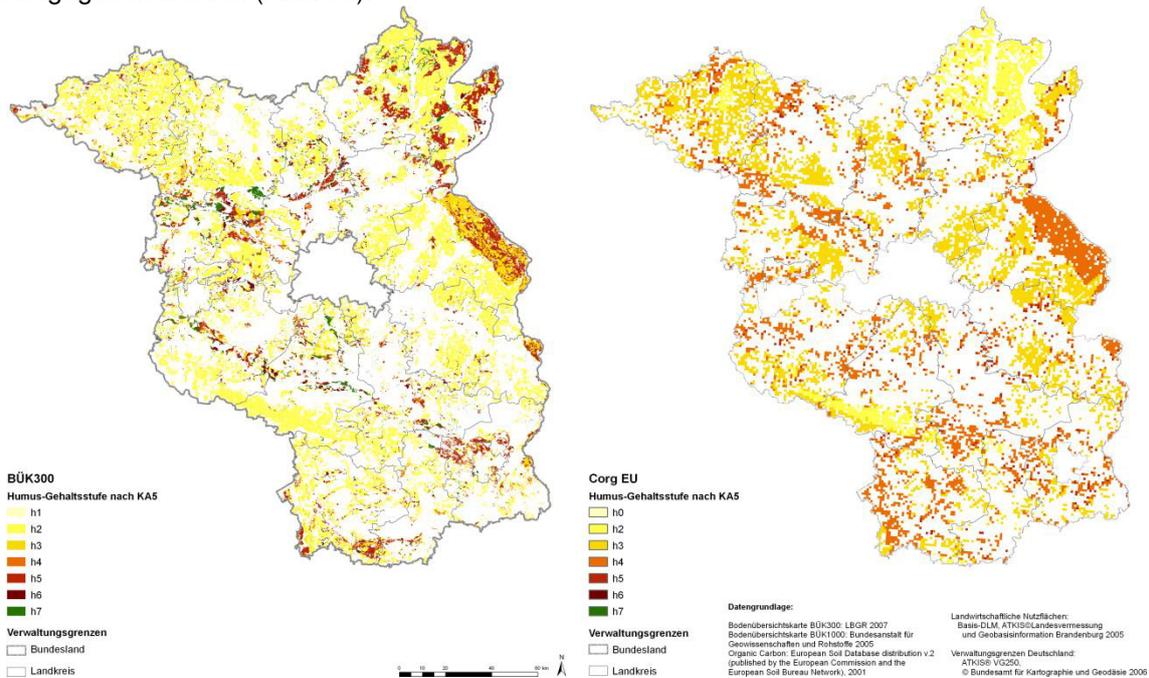


Abb. 65: Vergleich der abgeleiteten Humusklassen in BÜK300 (links) und aus ESDB-Corg (rechts), eigene Darstellung.

Ein visueller Vergleich der Zustandsstufen nFK und Humus aus BÜK1000 und den europäischen Bodendaten befindet sich im Anhang A-6.

Es folgt ein räumlicher Vergleich der Zustandsstufen abgeleitet aus BÜK300, BÜK1000 und den europäischen Daten mit den Zustandsstufen aus DIBOS, welche für die Landkreise Uckermark und Barnim vorliegen: Mindestens 43 % der Fläche wird in gleiche Zustandsstufen eingestuft, jeweils 31-36 % (+1) und 7-16 % (-1) weichen um eine Stufe ab (Abb. 66).

Die Zustandsstufen in BÜK300, BÜK1000 und EU wurden dementsprechend im Mittel der beiden Landkreise um 0,14 bis 0,59 Stufen höher eingeschätzt, was sich auf das Niveau der modellierten Bodenzahl laut Ackerschätzungsrahmen um +7 Bodenpunkte auswirken könnte (Tabelle 37).

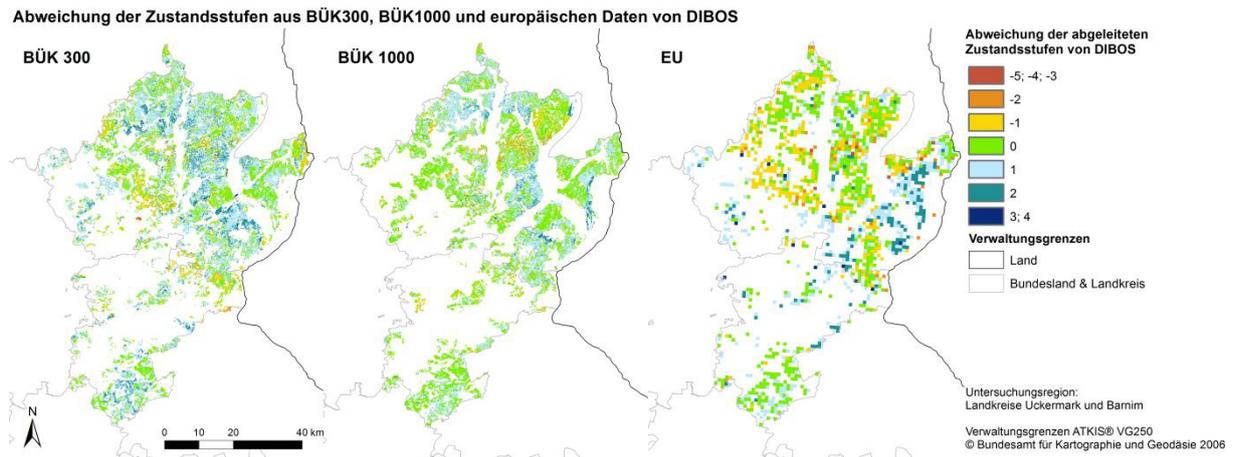


Abb. 66: Differenz der Zustandsstufen im Vergleich zu DIBOS: Zustandsstufen aus BÜK300, BÜK1000, und den europäischen Daten minus DIBOS-Zustandsstufe in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Darstellung.

Tabelle 37: Abweichung der Zustandsstufen von DIBOS zu modellierten Zustandsstufen unterschiedlicher in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Berechnung.

Abweichung der Zustandsstufe von DIBOS	BÜK300	BÜK1000	EU
Mittelwert	0,59	0,38	0,14
Standardabweichung	0,89	0,78	1,04

Im Vergleich der modellierten europäischen Bodenzahlen (Mittelwert=47) mit GEMDAT (Ackerzahl Mittelwert=44) wurde im flächengewichteten Durchschnitt eine Überschätzung von +3 Bodenpunkten ermittelt (Abb. 67).

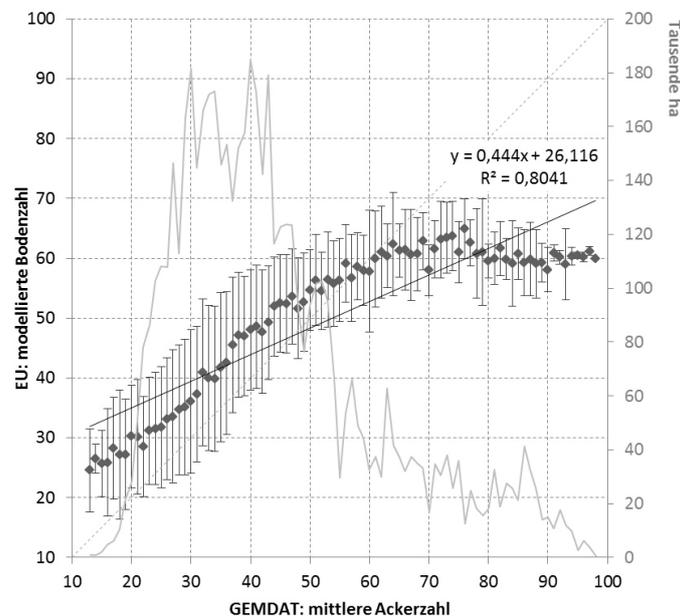


Abb. 67: ESDB: Mittlere Abweichung der klimakorrigierten Bodenzahl von GEMDAT-Ackerzahl, Spanne und Regressionsgerade, sowie Verteilung der Ackerflächen auf GEMDAT-Ackerzahlen (Linie) in Ostdeutschland, eigene Berechnung.

Die Korrelationen der modellierten Bodenzahlen wurden im Vergleich zu den Verwaltungsgrenzen (= Gemeinde) ermittelt, um einen Vergleich zur GEMDAT zu gewährleisten. Die EMZ-Daten wurden

für den westdeutschen Raum zum Vergleich herangezogen. Dabei spiegeln die modellierten Bodenzahlen das Niveau der EMZ-Klassen wider (Abb. 68).

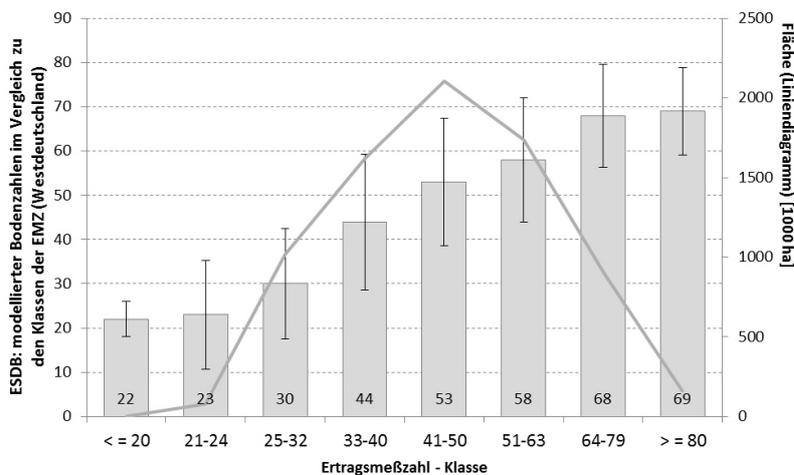


Abb. 68: ESDB: Vergleich der modellierten Bodenzahl zu EMZ-Ertragsklassen in Westdeutschland, eigene Berechnung.

Abweichungen entstehen vor allem durch die Zuordnung der Zustandsstufe. Der Flächenanteil von Zustandsstufe 1 ist sehr gering, der Anteil von Zustandsstufe 2 hoch – vor allem in Zustandsstufe 2 ist die Abweichung sehr hoch, was sich im Niveau der hohe Bodenzahlen widerspiegelt. Hohe Bodenzahlen werden laut Ackerschätzungsrahmen durch eine geringe Zustandsstufe (1-2) erreicht.

Bei Bodenarten entstehen die Abweichungen vorwiegend in der Klasse „SL“. Die Abweichungen in den Entstehungstypen ist eher gleich verteilt.

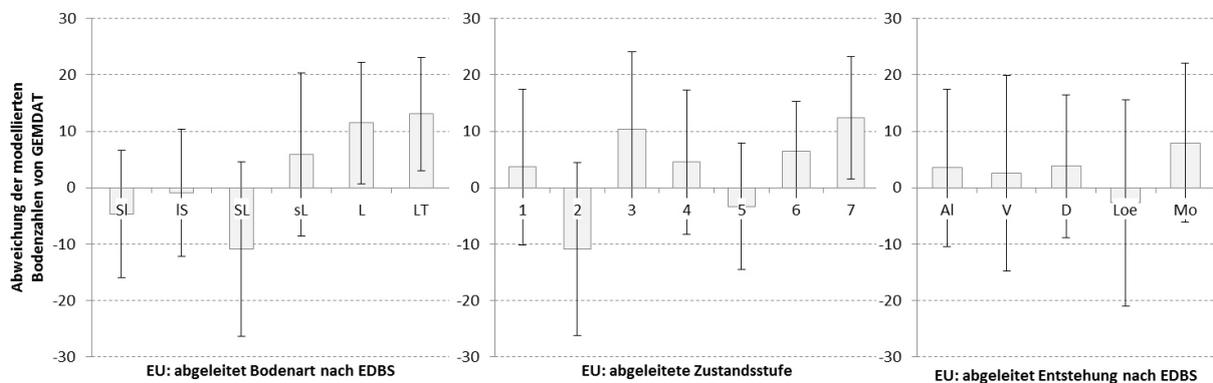


Abb. 69: ESDB: Mittlere Abweichung der modellierten Bodenzahl zur GEMDAT aufgeschlüsselt auf Bodenart und Zustandsstufen und Entstehungstyp abgeleitet aus europäischen Bodendaten in Ostdeutschland, eigene Berechnung.

3.2.6 Zusammenfassung: Datengrundlage Ertragsfähigkeit der Böden

Die Korrelationen der modellierten Bodenzahlen auf nationaler und europäischer Ebene mit den Ackerzahlen der GEMDAT sind mit Korrelationsfaktoren von 0,80 bis 0,96 sehr gut. Doch gibt es regionale Abweichungen, welche auf die Gruppierung der BÜK-Daten bzw. der ESDB zurückzuführen sind, was sich vor allem in der Häufung der mittleren Zustandsstufen widerspiegelt.

Eine weitere Abweichung ergibt sich aus dem Vergleich der generierten Bodenzahlen mit mittleren Ackerzahlen pro Gemeinde, deren Niveau sich von den Bodenzahlen unterscheiden kann und weitere Standortparameter, wie Relief und klimatische Parameter (nach RUST (2006)), enthält. Diese wurden durch die Einführung eines Klima-Korrekturfaktors einbezogen und hatte auf die Genauigkeiten der kleinmaßstäbigen Bodenzahlen aus BÜK1000 und den europäischen Bodenzahlen positiven Einfluss – das Niveau der modellierten Bodenzahlen stimmt mit den GEMDAT-Daten sehr gut überein.

Die Korrelationen geben aber nicht allein Aufschluss über die Genauigkeit der generierten Bodenzahl. Sie sollen nicht nur gleichsinnig korrelieren, das heißt, bei höheren Ackerzahlen steigende Bodenzahlen aufweisen, sondern auch das gleiche Niveau erreichen (Tabelle 38).

Tabelle 38: Korrelation der modellierten Bodenzahlen, eigene Berechnung.

Datenbasis	modellierte Bodenzahl		
	BÜK300	BÜK1000	EU
GEMDAT: Gemeinden	0,9044	0,9632	0,8041
BÜK300 modellierte Bodenzahl	1	0,695	0,4937
BÜK1000 modellierte Bodenzahl		1	0,4679
Bonität: Estland			0,4890
Litauen: Produktivität			0,4616
Polen: Produktivität (Klassen)			0,9207

Bodenzahlen als Modellinputparameter für die Ertragsfähigkeit der Böden liegen nicht flächendeckend für die EU und meist nur kleinräumig vor. Daher wurde eine Ableitung aus digital verfügbaren Bodendaten getestet. Das System beruht auf der Ableitung von mittleren Bodenzahlen aus dem Ackerschätzungsrahmens auf der Grundlage von Bodenart, Entstehung und Zustandsstufen.

Es wurde ein flächendeckender Datensatz aus der BÜK300 für Brandenburg, der BÜK1000 für Deutschland und ein europäischer Datensatz entworfen und anhand vorliegender Boden- und Ackerzahlen für Ostdeutschland (GEMDAT) bzw. Uckermark und Barnim (DIBOS) validiert.

Der Vergleich von DIBOS mit den Daten der BÜK300 ist aufgrund der Generalisierung der im Maßstab 1:300.000 vorliegenden BÜK schwierig. Das Niveau der Bodenzahlen scheint allerdings um -10 Bodenpunkte abzuweichen, d.h. die Bodenzahlen werden unterschätzt. Dieser Trend wird auch im Vergleich zur GEMDAT deutlich.

Die modellierten Bodenzahlen aus der BÜK1000 stimmen sehr gut mit der GEMDAT überein. Die absoluten Werte und die Differenzierung in den unteren Bodenpunkten sind höher, was einerseits an der Generalisierung der Bodendaten liegt. Andererseits ist der Vergleich mit den Ackerzahlen aus der GEMDAT mit Fehlern behaftet, da der Vergleich mit der Ackerzahl, welche weitere Standortparameter beinhaltet, vorgenommen wird, allerdings eine Bodenzahl modelliert wird.

Auf der Basis der digital vorliegenden Bodendaten war es möglich, auf europäischer Ebene eine einheitliche Bodenzahl-Karte nach dem System des Ackerschätzungsrahmens zu erstellen. Die europäischen Bodenzahlen weichen in den höheren Bodenpunkten von den GEMDAT-Ackerzahlen ab, was vorwiegend durch die Einschätzung der Zustandsstufen hervorgerufen wird. Dies liegt an der Generalisierung der eingegangenen Bodendaten und kann infolge fehlender kleinräumiger Geodaten und Validierungsdaten nicht verbessert werden.

Die Modellierung von Bodenzahlen anhand des Ackerschätzungsrahmens ist auf große Regionen übertragbar. Durch die Verwendung von generalisierten Bodendaten entstehen zwar Ungenauigkeiten, jedoch wird ein vergleichbares Niveau der Bodenzahlen abgebildet. Die Korrelationen der modellierten Bodenzahlen im Vergleich zur GEMDAT sind signifikant.

Die länderspezifischen Bodenproduktivitätsangaben aus Polen, Litauen und Estland sind aufgrund der unterschiedlichen Kartierungsmethoden schwer mit den modellierten Bodenzahlen vergleichbar.

3.3 Die Modellierungsgrundlagen im Überblick

Für die Ackerflächen und den Niederschlag als Inputdaten des Biomasse-Ertragsmodells liegen regionale, nationale und europäische Daten in digitaler Form vor (Tabelle 39).

Für die Ackerflächen wurde ein Vergleich zwischen den CORINE-Daten und den Angaben der Agrarstatistiken vorgenommen.

Die räumliche Auflösung der nationalen Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) liegt bei 1km² und ist durch eine geostatistische Auswertung (Zonal Statistics) auf die Ackerflächen als Basisfläche zu ermitteln. Mögliche Modell-Szenarien bilden unterschiedliche Eingangsdaten: So können aus jährlichen Rasterdaten der Niederschlagssummen mögliche Dürrejahre prognostiziert werden. WORLDCLIM (2008) bietet Rasterdaten zu globalen Niederschlägen in vergleichbarer räumlicher Auflösung wie die DWD-Daten an, weiterhin können Daten zu Niederschlagsprognosen der Jahre 2020 und 2050 einbezogen werden.

Hinsichtlich digitaler Bodendaten ergibt sich je nach Betrachtungsmaßstab ein sehr differenziertes Bild (Tabelle 39). Für die Landkreise Uckermark und Barnim bietet sich die digitale Bodenschätzung DIBOS als Modellierungsgrundlage an. Die Nutzung dieser Daten scheint aufgrund ihrer räumlichen Genauigkeit von Vorteil. Die DIBOS-Daten werden in den Katasterämtern der Landkreise geführt. Die Flächenabdeckung und Bereitstellungswillen sind sehr verschieden. Somit ist eine Datenakquise für die Betrachtung größerer Regionen relativ schwierig.

Auf der Bundeslandebene stehen für Brandenburg und die weiteren ostdeutschen Bundesländer die mittleren Ackerzahlen auf der Gemeindeebene zur Verfügung. Für Westdeutschland wurde für die vorliegenden Untersuchungen die Ertragsmesszahlkarte digitalisiert, so dass nunmehr für Deutschland auch flächendeckend eine Prüfung der Modellierungsansätze zur Analyse der Bodenproduktivität durchgeführt werden kann.

Nationale digitale Bodendaten sind Bodenübersichtskarten, welche aus den flächenhaften Bodengesellschaften und den dazugehörigen Datenbanken mit Bodeneigenschaften bestehen. In der BÜK300 (Brandenburg) sind pro Flächeneinheit mehrere Bodentypen mit ihren Eigenschaften verzeichnet, woraus sich über die Flächenanteile Karten zur Bodenart und Bodeneigenschaften generieren lassen. Die BÜK1000 (Deutschland) ist wie die BÜK300 aufgebaut, doch wird pro Fläche ein repräsentatives Profil aufgeführt. Daher sind die abgeleiteten Bodeneigenschaften die Parameter dieses dominanten Bodentyps.

Für die osteuropäischen Länder wurden Bodenschätzungssysteme recherchiert, welche meist dem russischen System entsprechen: Es werden Bodenart und Bodeneigenschaften nach der Produktivität der Ackerfläche eingeschätzt. Im Gegensatz zu der deutschen Bodenschätzung kommen jedoch logistische Parameter (Entfernung der Fläche vom nächsten Ort, Beschaffenheit der Transportwege etc.) hinzu, welche den Bodenwert verändern. Die Daten liegen für Estland flächenscharf vor, für Litauen wurde eine Karte digitalisiert, welche mittlere Bodenwerte in größeren Verwaltungseinheiten enthält. Sie ist demnach relativ ungenau.

In Polen weicht die Bodenschätzung von diesen Systemen ab: Es wird die Fläche nach ihrer Eignung für den Anbau bestimmter Feldfrüchte eingeschätzt. Das System beruht nicht auf Tabellenwerten. Daher ist es schlecht mit der Systematik in Deutschland und den Baltischen Staaten vergleichbar.

Eine einheitliche Datenbasis bieten die europäischen Bodendaten ESB. Ihre thematische Auflösung ist jedoch geringer als in den SOTER-Daten, deren räumliche Ausdehnung sich allerdings auf den osteuropäischen Raum beschränkt und die räumliche Differenzierung geringer ist als in ESB. Eine Ableitung zur Bodenqualität hinsichtlich der Ertragsfähigkeit der Ackerstandorte ist jeweils nicht enthalten.

Aus dieser Analyse der bestehenden Bodendaten ergibt sich, dass kein flächendeckender, methodisch einheitlicher Datensatz für die Modellierung der standorttypischen Photosyntheseleistung

landwirtschaftlicher Fruchtarten in Europa zur Verfügung steht. Es ist daher nötig, zu prüfen, ob aus den vorliegenden Bodendaten auch eine Ableitung der Ertragsfähigkeit von Böden möglich ist.

Es wurde ein System beruhend auf der Ableitung von mittleren Bodenzahlen aus dem Ackerschätzungsrahmens auf der Basis verfügbarer europäischer Bodendaten getestet und umgesetzt. Auf der Grundlage von Bodenart, Entstehung und Zustandsstufen konnte ein Klassenzeichen entwickelt werden, im Ergebnis entstand ein digitaler Datensatz zur Ertragsfähigkeit europäischer landwirtschaftlich genutzter Standorte. Vornehmlich durch die Verwendung generalisierter Eingangsdaten entstehen Abweichungen vor allem in der geringeren Varianz der modellierten Bodenzahlen. Das mittlere Niveau wird im Vergleich zu bestehenden Datensätzen abgebildet. Die Korrelationen der modellierten Bodenzahlen im Vergleich zur GEMDAT sind signifikant.

Tabelle 39: Modellierungsgrundlagen in unterschiedlichen räumlichen Ebenen im Vergleich: Flächengewichtete Mittelwerte von Landnutzungsdaten, Niederschlag, Vegetationsperiode und Bodendaten.
 (BAR + UM = Landkreise Barnim und Uckermark; BB = Bundesland Brandenburg;
 DE = Deutschland; EU = Europäische Union), eigene Darstellung.

Region		BAR + UM	BB	Ost-DE	West-DE	DE	EU
Landnutzung		Modellierungsbasis Anbaufläche in ha – verschnitten mit Bodendaten					
DIBOS	DIBOS	211.170					
BÜK300	InVeKoS 2012	193.254	1.061.232				
GEMDAT / EMZ	CLC06	228.769	1.298.781	5.689.451	8.229.731	13.919.182	
BÜK1000	CLC00	199.897	1.024.153	4.798.822	6.647.792	11.449.226	
EU (mod BZ)	CLC00+06	205.833	1.178.487	5.309.272	10.501.636	15.814.398	140.295.730
Agrarstatistik 2007		177.646	1.034.886	4.452.771	7.422.670	11.877.013	

Region		BAR + UM	BB	Ost-DE	West-DE	DE	EU
Klimadaten		Flächengewichteter Mittelwert (\bar{x}) in den Untersuchungsregionen					
DWD – Niederschlag: \bar{x} Jahresniederschlag in mm							
\bar{x} 1961-1990		555	556	607	863	785	
\bar{x} 1991-2005		563	572	630	881	804	
Min 1991-2005		417	401	436	638	576	
WORLDCLIM – Niederschlag: \bar{x} Jahresniederschlag in mm							
\bar{x} 1950-2000		561	561	585	795	729	747
\bar{x} 2050		545	544	563	736	682	708
Niederschlagssummen nach Fruchtartgruppen: \bar{x} in mm							
\bar{x} NSS		321	333	356	498	447	364
\bar{x} NSW		449	454	486	657	609	614
Vegetationsperiode (eigene Entwicklung): \bar{x} modellierte Vegetationsperiode in Tagen pro Jahr							
\bar{x} 2000		210	211	209	226	220	217
\bar{x} 2050		214	215	212	225	221	218

Region		BAR + UM	BB	Ost-DE	West-DE	DE	EU
Bodendaten		Flächengewichteter Mittelwert (\bar{x}) und Spanne (Minimum-Maximum) der modellierten Bodenwertzahl auf Ackerflächen					
DIBOS BZ / AZ		40 / 38 (5-84)/(6-81)					
BÜK300 modellierte BZ		34 (18-66)	34 (18-68)				
GEMDAT / EMZ		38 (18-52)	33 (13-66)	46 (13-98)	48 (15-90)	47 (13-98)	
BÜK1000 modellierte BZ		43 (25-70)	35 (19-70)	50 (19-87)	54 (19-87)	49 (19-87)	
EU modellierte BZ		41 (17-77)	35 (17-85)	46 (11-86)	48 (11-88)	47 (11-88)	47 (8-92)

3.4 Validierung und Anpassungen des Biomasse-Ertragsmodells

Die Betrachtung von Bioenergiepotenzialen zielt auf die Visualisierung von Biomasseaufkommen aus der Landwirtschaft, auf Lokalisierung dezentraler Bioenergiestandorte und deren Versorgungssicherheit. Dies erfordert eine möglichst kleinräumige Analyse anhand flächendeckend vorliegender Geodaten und auf der Basis unterschiedlicher Szenarien hinsichtlich der regionalen Bedarfe für Nahrungs- und Futtermittel, Ertragsschwankungen durch klimatische Einflüsse und Nachhaltigkeitskriterien, wie eine ausgeglichene Humusbilanz. Hinzu kommt eine Nachhaltigkeitsbetrachtung der Biogaspotenziale hinsichtlich der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Die Potenzialberechnungen gehen von den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis aus. Sie enthalten regional definierte Fruchtfolgen.

Das Modell gibt pro Modellierungseinheit folgende Ergebnisse aus:

- die gewählte Bewirtschaftungsweise (ökologisch oder konventionell),
- eine standortspezifische Fruchtfolge je nach Bewirtschaftungsweise,
- den Ertrag der Feldfrüchte innerhalb der Fruchtfolge im ökologischen Anbau,
- bei konventioneller Bewirtschaftung den Ertrag der Feldfrüchte innerhalb der Fruchtfolge im konventionellen Anbau,
- den korrigierten Ertrag der Feldfrüchte durch die Vorfruchtwirkung in Abhängigkeit der Bewirtschaftungsweise,
- den Ertrag der Koppelprodukte in Abhängigkeit von Feldfrucht und Bewirtschaftungsweise,
- den Ertrag der Ernte- und Wurzelrückstände in Abhängigkeit von Feldfrucht und Bewirtschaftungsweise,
- den durchschnittlichen Biomasseertrag in Trockenmasse pro Hektar bzw. pro Ackerfläche in einer Region gesplittet in Trockenmassen der Feldfrüchte, der Koppelprodukte und der gesamten nutzbaren Trockenmasse.
- Weiterhin werden durchschnittliche Erträge der Feldfrüchte und der wichtigsten Koppelprodukte ermittelt.

In den Ergebnissen soll das Biomasse-Ertragsmodell in unterschiedlichen räumlichen Ebenen und auf der Basis der entwickelten Datengrundlage der vorherigen Kapitel angewendet werden. Allerdings sind dazu weitere Modifizierungen des Modells nötig.

3.4.1 Anbauregionen: Modellanpassungen für die nationale und europäische Skala

Eine Übertragbarkeit des Biomasse-Ertragsmodells von Deutschland auf die europäische Ebene ist infolge unterschiedlicher Agrarstrukturen und Bewirtschaftungsweisen bzw. –intensitäten nicht generell möglich. Es sind daher Regionen mit ähnlichen naturräumlichen Eigenschaften und gleichartigen landwirtschaftlichen Anbaustrukturen zu ermitteln.

Innerhalb dieser Regionen können auf der Basis der spezifischen Standortbedingungen einheitliche Anbaubedingungen berücksichtigt werden:

- Fruchtfolgen können regionsangepasst im Fruchtfolgemodul dargestellt werden (Tabelle 8).
- eine Differenzierung von Bewirtschaftungsintensitäten im Hinblick auf konventionelle oder ökologische Wirtschaftsweisen oder aber durch veränderte Fruchtfolgen wird möglich und
- ein Szenario „Ertragssteigerung“ mit regionaler Differenzierung auf der Basis von Ertragsmodellen oder der Auswertung der Agrarstatistiken ist denkbar.

Für Deutschland gibt es einen flächendeckenden Datensatz der Naturräumlichen Gliederung nach MEYEN, SCHMIDTHÜSEN (1959-1962). Für Polen konnten Karten zu Naturräumen und Großlandschaften nach KAPALA (1988), verändert durch HAASE (2000) recherchiert werden. Für Europa liegen verschiedene Einteilungen vor, die allerdings auf unterschiedlichen Datenbasen beruhen und für diverse Themenbereiche entwickelt wurden (Tabelle 40).

Tabelle 40: Bestehende Datensätze zur Gliederung von Landschaften und Agrarregionen in Europa, eigene Darstellung.

	BioGeo	IPCC	VGEU	LSEU	AKR	AEZ
Datensatz	Biogeographical regions, Europe	Environmental classification	Natural vegetation of Europe	Landschaften PAN-Europa	Agrar-Klima-Regionen	Agro-Ecological Zones
Quelle	EEA (2008)	METZGER et al. (2003)	EUROSTAT GISCO database; Council of Europe and C.E.C. (1988)	(2003)	SCHULZKE et al. (1998)	FISCHER et al. (2002)
Einteilung	9 Regionen	12 Zonen, 77 Klassen	22 Typen, 160 Klassen	30 Landschaftstypen	7 Hauptklassen, 16 Klassen	22 Regionen, Landes- und Fruchtart-spezifisch
Landnutzung					X	X
Relief		X			Höhe üNN	Höhe üNN, Hangneigungsklassen
Boden		X		X		DSMW / WISEP*
Klima				X	T, NS, Sonnenscheindauer	T, NS, Evapotranspiration, Länge Vegetationsperiode
Vegetation, Ökosysteme	X	X	X	X		
Landwirtschaft						Fruchtartengruppen
Bezugsraum	Europa	EU27	West- und Südeuropa	Europa	Westeuropa	global
Aktualität statistische Verifizierung	2008	2003	1988	2003	1998 MW, StAbw der Klimadaten	1978 / 2002
Maßstab	1 : 1 Mio.		1 : 3.Mio.	1 : 25.Mio.	1: 7,5 Mio.	Auflösung Raster= 5° lat/long

* DSMW = Digital Soil Map of the World / WISEP = / World Inventory of Soil Emissions Potential

Die meisten Datensätze decken den Untersuchungsraum EU27 ab und beinhalten biogeographische Regionen mit Vegetationstypen differenziert nach klimatischen, Boden- und Reliefeigenschaften (vor allem Höhenlage). Landwirtschaftliche Gegebenheiten werden meist nicht berücksichtigt.

In den Agrarregionen nach SCHULZKE et al. (1998) werden Regionen über klimatische Verhältnisse und Reliefeigenschaften Hauptanbaufrüchte definiert. Eine Verschneidung mit Agrarstatistiken erfolgte nicht.

Im globalen Maßstab sind die Daten der FAO, Agro-Ecological Zones (AEZ), zur Ableitung der potenziellen Verteilung und Ertragsableitung unterschiedlicher Feldfrüchte verfügbar (FAO 1978-1981, FISCHER et al. 2002). Die AEZ charakterisieren Zonen ähnlicher klimatischer, Boden- und Reliefverhältnisse, auf deren Basis maximale Ertragspotenziale ermittelt werden. Die Karten sind fruchtartspezifisch und als multiple "land productivity"-Karte erhältlich. Die europäischen Daten bestehen in tabellarischer Form aus vornehmlich 4 Regionen (Ost, Nord, West und Süd) mit 8 Anbauklassen für verschiedene Fruchtarten. Die AEZ sind für die Nutzung im Biomasse-Ertragsmodell nicht geeignet, da hier eine Differenzierung anhand der Erträge stattfindet, ansonsten aber nur eine sehr grobe Abgrenzung der europäischen naturräumlichen Verhältnisse erfolgt.

Das Biomasse-Ertragsmodell beruht auf regional typischen Fruchtfolgen, die aus keiner der Zonierungen hervorgehen oder abgeleitet werden konnten.

Klassifikationen, wie BioGeo, IPCC, VGEU, LSEU, enthalten Zonen natürlicher Vegetation und basieren auf Klima- und Reliefparameter – landwirtschaftliche Parameter fehlen jedoch.

3.4.1.1 Datenbasis zur Ableitung der Anbauregionen

Es werden für die Ausweisung von Anbauregionen in Europa sowohl naturräumliche als auch statistische Daten herangezogen. Die Festlegung auf die räumliche Datenbasis erfolgte nach Recherche vorliegender statistischer Daten: Für die Unterscheidung von Anbauregionen in Europa wird auf die räumliche Differenzierung zurückgegriffen, die vollständig und einheitlich für Europa verfügbar ist: Pro NUTS-Region Level 2 (entspricht in Deutschland den Bundesländern) werden folgende Parameter berechnet:

Naturräumliche Eigenschaften (Mediane pro NUTS)

- Klimatische Parameter: Niederschlag als Jahressumme, Niederschlagssumme von Mai bis September, Jahresdurchschnittstemperatur, minimale Temperatur nach WORLDCLIM 2008
- Reliefeigenschaften: Höhe in m über NN, Neigung in Grad nach WORLDCLIM 2008
- Dauer der Vegetationsperiode (EEA 2005)

Auswertungen der Agrarstatistik (EUROSTAT 2009, Daten aus 2000-2007):

- Mittlerer Ertrag von Weizen, Gerste, Roggen, Raps, Silomais und Körnermais
- Anteile der Anbauflächen von Weizen, Gerste, Roggen, Raps, Silomais und Körnermais an der Ackerfläche

Die Auswertung erfolgt je nach Landesangaben auf regionaler bis nationaler Ebene auf NUTS-level 3 bis NUTS-level 1. Die Anbauregionen werden für die Ackerflächen ermittelt. Daher wurden die Geodaten auf die Standorte, welche potenziell für den Ackerbau nutzbar sind, ausgeschnitten. Grundlage dafür waren die CORINE 2000-Landnutzungsdaten mit folgenden Parametern (Tabelle 41):

Tabelle 41: Auswahl von Landnutzungstypen aus CORINE Landcover 2000 zur Maskierung der naturräumlichen Parameter auf potenziell nutzbare Ackerflächen in Europa, eigene Darstellung.

Ackerflächen:	Non-irrigated arable land	Nicht bewässertes Ackerland
	Permanently irrigated land	Regelmäßig bewässertes Ackerland
	Rice fields	Reisfelder
Dauerkulturen:	Vineyards	Weinbauflächen
	Fruit trees and berry plantations	Obst- und Beerenobstbestände
	Olive groves	Olivenhaine
Grünland:	Pastures	Wiesen und Weiden
Heterogene landwirtschaftliche Flächen:	Annual crops associated with permanent crops	Einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen
	Complex cultivation patterns	Komplexe Parzellenstrukturen
	Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	Landwirtschaft und natürliche Bodenbedeckung
Offene Flächen (ohne / geringe Vegetation):	Agro-forestry areas	Land- und forstwirtschaftliche Flächen
	Sparsely vegetated areas	Flächen mit spärlicher Vegetation
	Burnt areas	Brandflächen

Auf diese Flächen wurden die naturräumlichen Parameter (Klima, Relief, Vegetationsperiode) ausgeschnitten und pro NUTS-Region der Medianwert ermittelt. Die Agrarstatistiken liegen als Datenbank vor, die räumliche Zuweisung erfolgt über die Identifikation der NUTS-Region. Beide Datenbanken wurden über die NUTS-Region miteinander verschnitten und bilden eine gemeinsame Datenbasis für die anschließende statistische Analyse und Ausweisung der Agrarregionen in Europa.

3.4.1.2 Statistische Analysen zur Ableitung der Anbauregionen

Die statistische Analyse erfolgt mittels SPSS, eine Ermittlung der Datenbasis und die Visualisierung der Ergebnisse in ArcGIS. Die Eigenschaften der NUTS-Regionen werden in SPSS importiert. Da sehr unterschiedliche Eigenschaften mit unterschiedlichem Niveau in die Betrachtung einfließen, erfolgt eine Z-Transformation, was einer Standardisierung der Daten entspricht.

Im nächsten Schritt erfolgt eine Hauptkomponentenanalyse. Fehlende Werte gehen nicht in die Analyse ein und werden ausgeschlossen. Den sich ergebenden Faktoren werden die Eigenschaften zugeordnet, mit denen sie am ehesten korrelieren. Diese Faktoren bilden die Grundlage für die anschließende Clusteranalyse (Hierarchical Clustering), in der die optimale Clusterzahl untersucht wird und pro NUTS-Region ein Klasse für eine Anbauregion festgelegt wird. An die Clusteranalyse schließt sich eine Diskriminanzanalyse an, in der die Cluster nochmals überprüft werden.

3.4.1.3 Ableitung der Anbauregionen

Es wurden 283 Datensätze (NUTS-Regionen Level 2) mit 19 Eigenschaften ausgewertet. Davon beziehen sich fünf auf klimatische Verhältnisse und zwei auf Reliefparameter (Tabelle 42). Aus den Agrarstatistiken wurden die mittleren Erträge pro Hektar (2000-2007) und die Anbauanteile der Feldfrucht in Bezug auf die Ackerfläche ausgewertet. Dazu wurden die Fruchtarten Weizen, Gerste, Roggen, Raps, Silo- und Körnermais ausgewählt (EUROSTAT 2009).

Tabelle 42: Deskriptive Statistik der Eingangsparameter, eigene Berechnung.

Eigenschaften	Name	Deskriptive Statistik					Nach Z-Transformation	
		N	Min	Max	MW	StAbw	Min	Max
Jahresniederschlag	prec	283	274	1617	704,9	165,4	-2,61	5,52
Niederschlag Mai-September	prec59	283	16	687	309,5	100,5	-2,92	3,76
Mittlere Temperatur	tmean	283	0	186	92,6	35,6	-2,60	2,62
Minimale Temperatur	tmin	283	-20	12	-3,1	5,0	-3,31	3,08
Vegetationsperiode	vegp	283	104	365	220,1	39,0	2,96	3,71
Höhe	Hoehe	283	-5	2246	209,1	254,7	-0,84	8,00
Neigung	Neig	283	0	24	2,1	3,3	-0,63	6,70
Ertrag Weizen	Ert_We	274	0,53	8,91	4,9	2,2	-1,95	1,81
Ertrag Gerste	Ert_Ge	278	0,7	8	4,1	1,7	-1,97	2,26
Ertrag Roggen	Ert_Ro	235	0,46	7,04	3,5	1,6	-1,86	2,23
Ertrag Raps	Ert_Ra	218	0,73	5	2,5	0,9	-1,96	2,80
Ertrag Silomais	Ert_SM	218	4	66,2	33,2	15,0	-1,95	2,20
Ertrag Körnermais	Ert_KM	206	1	22,9	7,3	3,1	-2,02	5,00
Anteil Weizen	Ant_We	283	0	60,6	20,2	12,6	-1,60	3,21
Anteil Gerste	Ant_Ge	283	0	37	12,5	8,5	-1,48	2,88
Anteil Roggen	Ant_Ro	283	0	33,3	2,0	3,7	-0,52	8,36
Anteil Raps	Ant_Ra	283	0	23,9	4,7	5,4	-0,87	3,54
Anteil Silomais	Ant_SM	283	0	53,1	6,0	9,5	-0,63	4,97
Anteil Körnermais	Ant_KM	283	0	58	5,5	9,5	-0,58	5,52

Die naturräumlichen Eigenschaften und die Anbauanteile der Feldfrüchte wurden flächendeckend abgeleitet. Die Erträge der Fruchtarten liegen nicht flächendeckend vor, Weizen und Gerste haben die höchsten Deckungsgrade.

Die Korrelationen zwischen den Eigenschaften sind gering, die Korrelationen innerhalb der Gruppen von Eigenschaften (z.B. Erträge Weizen und Gerste, Niederschlagssumme und Niederschlag von Mai-September) fallen höher aus (Tabelle 43).

Tabelle 43: Korrelationsmatrizen der Eingangsparameter nach der Z-Transformation, eigene Berechnung.

	Z_prec	Z_prec59	Z_tmean	Z_tmin	Z_vegp	Z_Hoehe	Z_Neig
Z_prec	1	0,680	-0,044	0,180	0,502	0,053	0,322
Z_prec59	0,680	1	-0,624	-0,506	0,223	0,089	0,120
Z_tmean	-0,044	-0,624	1	0,811	0,066	0,080	0,200
Z_tmin	0,180	-0,506	0,811	1	0,354	-0,031	0,135
Z_vegp	0,502	0,223	0,066	0,354	1	-0,275	0,026
Z_Hoehe	0,053	0,089	0,080	-0,031	-0,275	1	0,654
Z_Neig	0,322	0,120	0,200	0,135	0,026	0,654	1

	Z_Ert_We	Z_Ert_Ge	Z_Ert_Ro	Z_Ert_Ra	Z_Ert_SM	Z_Ert_KM
Z_prec	0,448	0,460	0,394	0,353	0,149	0,353
Z_prec59	0,329	0,296	0,378	0,400	0,148	0,034
Z_tmean	-0,199	-0,111	-0,293	-0,357	-0,118	0,284
Z_tmin	0,309	0,368	0,173	0,118	0,077	0,588
Z_vegp	0,563	0,571	0,489	0,464	0,040	0,462
Z_Hoehe	-0,238	-0,175	-0,100	-0,169	0,156	0,063
Z_Neig	-0,167	-0,100	-0,035	-0,193	0,023	0,005
Z_Ert_We	1	0,972	0,872	0,878	0,316	0,633
Z_Ert_Ge	0,972	1	0,859	0,849	0,279	0,644
Z_Ert_Ro	0,872	0,859	1	0,850	0,228	0,439
Z_Ert_Ra	0,878	0,849	0,850	1	0,312	0,527
Z_Ert_SM	0,316	0,279	0,228	0,312	1	0,403
Z_Ert_KM	0,633	0,644	0,439	0,527	0,403	1

	Z_Ant_We	Z_Ant_Ge	Z_Ant_Ro	Z_Ant_Ra	Z_Ant_SM	Z_Ant_KM
Z_prec	-0,166	-0,145	-0,291	-0,169	0,415	0,203
Z_prec59	-0,184	0,018	0,030	0,130	0,294	0,243
Z_tmean	0,113	-0,228	-0,419	-0,448	-0,162	0,207
Z_tmin	0,137	-0,131	-0,429	-0,278	0,193	-0,067
Z_vegp	0,067	-0,317	-0,139	-0,017	0,395	0,100
Z_Hoehe	-0,055	0,468	-0,193	-0,059	-0,205	-0,054
Z_Neig	0,019	0,110	-0,261	-0,130	-0,149	0,025
Z_Ert_We	0,181	0,031	-0,148	0,275	0,618	-0,130
Z_Ert_Ge	0,248	0,048	-0,182	0,286	0,550	-0,095
Z_Ert_Ro	0,264	0,173	-0,076	0,450	0,439	-0,169
Z_Ert_Ra	0,141	0,112	0,033	0,379	0,479	-0,232
Z_Ert_SM	-0,199	0,328	0,196	-0,070	0,307	-0,234
Z_Ert_KM	-0,056	-0,031	-0,291	-0,166	0,488	-0,027
Z_Ant_We	1	0,095	-0,214	0,431	-0,315	-0,174
Z_Ant_Ge	0,095	1	0,054	0,404	-0,178	-0,378
Z_Ant_Ro	-0,214	0,054	1	0,216	-0,084	-0,278
Z_Ant_Ra	0,431	0,404	0,216	1	-0,090	-0,288
Z_Ant_SM	-0,315	-0,178	-0,084	-0,090	1	-0,060
Z_Ant_KM	-0,174	-0,378	-0,278	-0,288	-0,060	1

Da die Matrix Daten aus verschiedenen Themenbereichen enthält, wird jeweils eine Komponenteanalyse pro Thema Natur (naturräumlichen Eigenschaften), Ertrag und Fruchtartanteile durchgeführt.

Zu Beginn wurde die Matrix auf Eignung für eine Hauptkomponentenanalyse überprüft, wobei das Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin von jeweils höher 0,5 bedeutet, dass die Daten geeignet sind. Die Extraktionsmethode bildete eine Hauptkomponentenanalyse mit einer Varimax-Rotation mit Kaiser-Normalisierung. Die Komponenten mit einem Eigenwert größer bzw. nahe 1 gehen als Inputdaten dann in die Clusteranalyse ein. Anhand der Koeffizientenmatrix der

Komponentenwerte können den Komponenten die Eigenschaften zugeordnet werden, welche mit ihnen am ehesten korrelieren.

In der Analyse der Gruppe Natur wurden die ersten drei Faktoren ausgewählt. Sie enthalten über 90 % der Gesamtvarianz. Die Analyse der Erträge enthält nur eine Komponente mit einem Eigenwert größer 1. Dieser entspricht dem Ertrag von Weizen bei einer Korrelation von 0,971. In der weiteren Analyse geht der Faktor als Z-Wert des Weizenertrages ein, da dieser fast flächendeckend vorhanden ist, der Faktor allerdings nur für die Datensätze berechnet wird, in dem alle Erträge vorhanden sind. Die Gruppe der Anbauanteile wird durch 3 Faktoren bestimmt (Eigenwert >1): den Anbauanteil von Körnermais, Weizen bzw. Raps, und der Anbauanteil von Roggen.

Nach der Berechnung der bestimmenden Faktoren und der Zuweisung der Eigenschaften schließt sich die Clusteranalyse an. Es werden folgende Faktoren verwendet:

- Faktor 1 mit den Temperatur-Eigenschaften,
- Faktor 2 mit den Reliefparametern Höhe über NN und der Neigung,
- Faktor 3 mit Vegetationsperiode und Niederschlag,
- Faktor 4 = Z-Wert des Weizenertrages,
- Faktor 5 mit dem Anbauanteil von Körnermais,
- Faktor 6 mit dem Anbauanteil von Weizen und Raps,
- Faktor 7 mit dem Anbauanteil von Roggen.

Die optimale Anzahl der Cluster wird anhand der Anzahl der Schritte ermittelt, bei der die Koeffizienten einen Sprung aufweisen. Die Differenz aus der Gesamtanzahl ($n=274$) der Daten und der Schritt-Nummer ergibt die optimale Clusteranzahl. Die optimale Anzahl an Clustern ist recht gering: Deutliche Sprünge sind bei Schritt-Nr. 259-270 erkennbar, was einer Clusteranzahl von maximal 15 entsprechen würde. Ein erster kleiner Sprung ist bei einer Anzahl von 33 Clustern erkennbar, die Unterschiede zwischen den Clustern sind jedoch geringer. Das Ergebnis der Clusteranalyse ist die Zuordnung der NUTS-Region zu einem der 33 Cluster.

Klassen mit nur wenigen NUTS-Regionen wurden untersucht, ob sie mit anderen Klassen zusammengefasst werden können. Dazu wurde das Dendrogramm genutzt, um verwandte Klassen zu identifizieren. Diese Klassifizierung wurde durch eine Diskriminanzanalyse bestätigt, welche eine Abschätzung der Genauigkeit der Clusteranalyse ermöglicht (Tabelle 44).

Nur wenige NUTS-Regionen wurden dabei anderen Regionen zugeordnet. Eine Umcodierung erfolgte vor allem in Südschweden und den baltischen Ländern. Die Diskriminanzanalyse ergab, dass zuvor 93,8 % der NUTS-Region korrekt zugeordnet wurden.

Tabelle 44: Eigenwerte, Kumulierte Varianz und Korrelation der Diskriminanzfunktionen und Zuweisung der Eingangsparameter zu Funktionen, eigene Berechnung.

	Funktion						
	1	2	3	4	5	6	7
EW	17,79	9,18	5,60	4,46	2,97	2,45	0,98
$\Sigma\%$ Var.	40,97	62,11	75,01	85,27	92,11	97,75	100,00
r	0,97	0,95	0,92	0,90	0,86	0,84	0,70
Höchste Korrelation	Ert_We	Fac3_natur	Fac1_natur, Fac1_anteil	Fac2_natur, Fac3_anteil	Fac1_anteil, Fac2_natur	Fac3_anteil, Fac2_anteil	Fac3_natur, Ert_We

Die Funktionen entsprechen zu 40 % dem Ertrag von Weizen, weitere 20 % dem Faktor 3 Natur (Vegetationsperiode Vegp, Jahresniederschlag prec, Niederschlag Mai-September prec59).

Aus den 33 Clustern wurden so 29 Anbauregionen für Europa (EU27) statistisch gesichert auf der Basis naturräumlicher und landwirtschaftlicher (anbau- und ertragspezifischer) Unterschiede abgeleitet (Anhang T-9, T-10). Die Nummerierung der Anbauregionen erfolgte fortlaufend und entspricht in aufsteigender Reihenfolge dem mittleren Ertragsniveau von Weizen (Abb. 70).

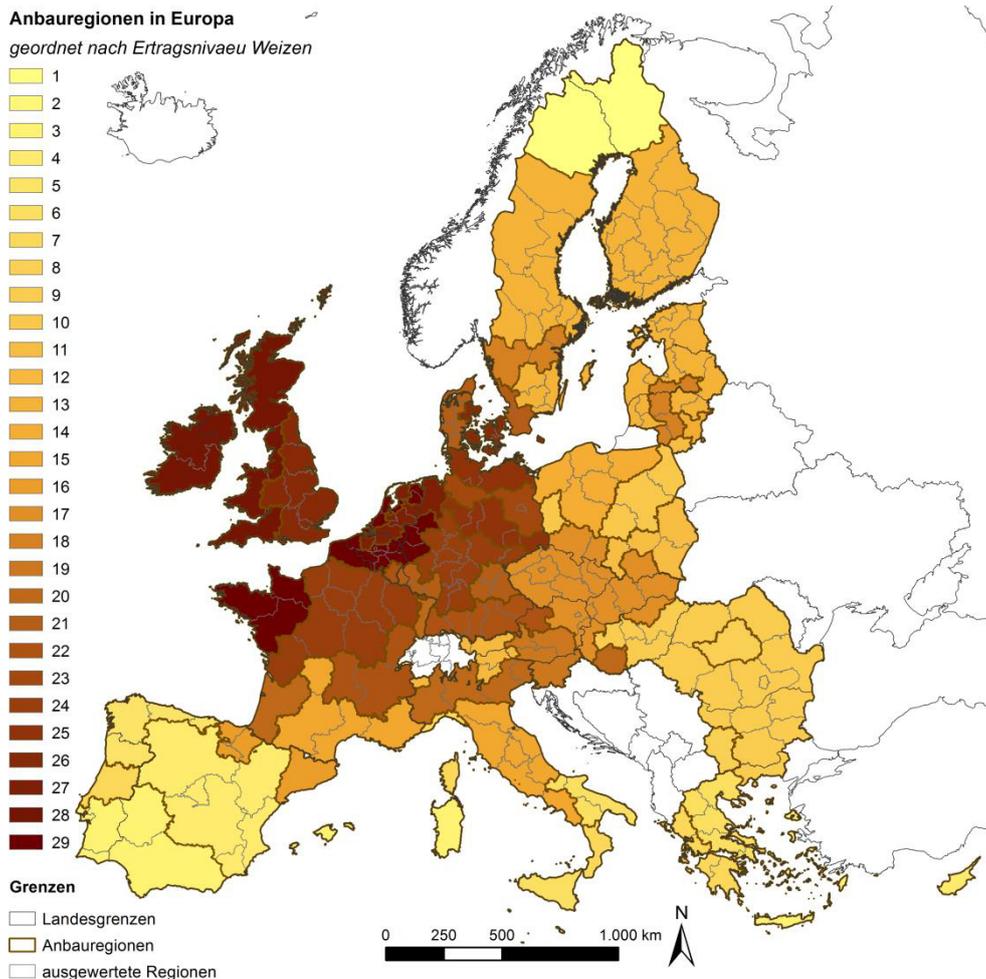


Abb. 70: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse: Anbauregionen der NUTS in Europa, Nummerierungen 1-29 geordnet entsprechend dem ansteigenden Ertragsniveau von Weizen, eigene Berechnung.

Die Korrelationen der Anbauregion zu bestehenden Systemen sind hoch: Alle Korrelationen (Tabelle 45) sind hoch signifikant ($p \leq 0.01$). Die höchste Korrelation wurde zu den Agrar-Klima-Regionen festgestellt.

Tabelle 45: Korrelationskoeffizienten der Anbauregionen zu anderen Klassifikation in Europa, eigene Berechnung.

Korrelation der Anbauregionen zu:	IPCC	VGEU	LSEU	AKR	AEZ
Koeffizient =	0,685	0,768	0,741	0,812	0,638

(vgl. Tabelle 40)

3.4.2 Bewirtschaftungsintensität und Fruchtfolgen

Die Bewirtschaftungsweise wird vom Anwender des Modells festgelegt: Es kann zwischen ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung gewählt werden. 100 % der Ackerfläche werden dann mit dieser Intensitätsstufe belegt und Fruchtfolgen, Ertragsfunktionen und Indizes nach dieser ausgewählt. Damit wird ein Vergleich zwischen den Bewirtschaftungsweisen ermöglicht. Eine räumliche Differenzierung ist möglich, wenn thematische Geodaten zur Bewirtschaftungsweise vorliegen (z.B. aus InVeKoS). Dann ist es modelltechnisch möglich, eine Differenzierung zu integrieren, indem das Modell zweimal durchlaufen wird – einmal für die ökologisch bewirtschafteten Flächen, der zweite Durchlauf erfolgt für die konventionell bewirtschafteten Flächen. Im Nachgang der Modellierung erfolgt eine Zusammenführung der Layer konventionelle und ökologische Bewirtschaftung.

Anhand der gewählten Bewirtschaftung und der Ertragsfähigkeit der Böden (differenziert nach Acker- / Bodenzahlgruppen) werden die Fruchtfolgen zugeordnet. Sie entsprechen einer standardisierten siebenfeldrigen Fruchtfolge des Ökolandbaus. Auch für den konventionellen Anbau, in dem drei- bis vierfeldrige Fruchtfolgen typisch sind, werden die sieben Felder beibehalten. Somit werden sowohl die Modellstruktur erhalten als auch die Anbauverhältnisse ausreichend abgebildet, indem die Feldfrüchte wiederholt in den sieben Feldern vorkommen.

3.4.2.1 Fruchtfolgen in Brandenburg

Das Ziel ist, die Anbauflächen der dominanten Feldfrüchte in der Untersuchungsregion im Vergleich zur Agrarstatistik abzudecken. Bisher gelingt das in den ostdeutschen Regionen mit durchschnittlich 90 % der Anbauflächen sehr gut. Für die Landkreise Uckermark und Barnim kann die Differenzierung kleinräumig auf der Basis der DIBOS-Daten erfolgen (Abb. 71).

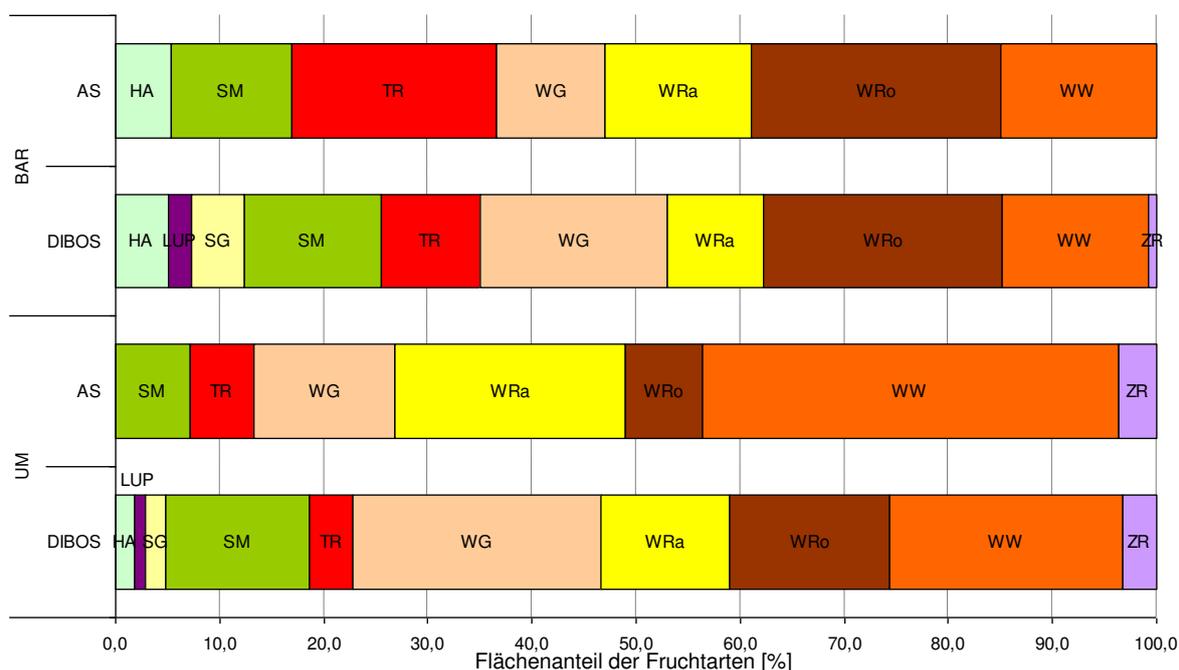


Abb. 71: Anteile der Fruchtarten [%] in Barnim (BAR) und Uckermark (UM) aus Agrarstatistik 2003 (AS) und Modell-Fruchtfolge basierend auf DIBOS, eigene Berechnung.

Somit erreicht man eine hohe Übereinstimmung der Anbauflächen von bis zu 96 % der Ackerfläche (Tabelle 46). Für das Bundesland Brandenburg ist die Differenzierung durch die generalisierten Daten der GEMDAT nicht so hoch, was sich auch auf die Verteilung der Fruchtfolgen auswirkt: ca. 88 % der Anbauflächen werden korrekt dargestellt.

Tabelle 46: Brandenburg: Anteil gleicher Anbauflächen von Agrarstatistik und Biomasse-Ertragsmodell differenziert nach Datengrundlage, eigene Berechnung.

Bezugsraum	Differenzierung nach Bodenzahl-Gruppe aus	Vergleich mit Agrarstatistik: Anteil gleicher Flächen an Gesamtackerfläche in Prozent					
		1991	1995	1999	2003	2005	Mittelwert
Uckermark & Barnim	DIBOS	89,3	95,4	96,9	86,7	83,4	95,8
Brandenburg	GEMDAT	92,1	91,1	94,8	86,8	87,5	87,9

Flächen, die nicht richtig abgebildet werden, sind vorwiegend Fruchtarten mit geringem Deckungsgrad, wie Luzerne und Klee gras. In Regionen mit großflächigem Kartoffelanbau bzw. ökologisch wirtschaftenden Betrieben ist die Bewirtschaftungsweise als Modellinput anzupassen.

Damit werden für die ökologisch wirtschaftenden Betriebe andere Fruchtfolgen definiert und damit die Übereinstimmung der Modell-Fruchtfolgen mit den Agrarstatistiken erhöht.

3.4.2.2 Definition und Bewertung der Fruchtfolgen in Deutschland und Europa

Nach Anwendung des Fruchtfolgemoduls (Version 2007) auf Deutschland ergeben sich folgende anteilige Übereinstimmungen der Anbauflächen mit Agrarstatistiken (Tabelle 47).

Tabelle 47: Ost-Deutschland: Anteil gleicher Anbauflächen von Agrarstatistik und Biomasse-Ertragsmodell, eigene Berechnung.

Bezugsraum: Bundesland	Vergleich mit Agrarstatistik: Anteil gleicher Flächen an Gesamtackerfläche in Prozent		
	1995	1999	2003
Ost-Deutschland auf der Basis der GEMDAT			
Brandenburg	91,1	94,8	86,8
Mecklenburg-Vorpommern	90,5	87,2	76,1
Sachsen	85,1	86,9	84,4
Sachsen-Anhalt	94,6	92,6	87,0
Thüringen	84,4	81,3	77,5
Ost-Deutschland MW	89,1	88,6	82,4

Die Schwankungen zwischen den Bundesländern und in den Jahren sind sehr hoch: So ist in Schleswig-Holstein die Übereinstimmung von 97,3 % (2003) sehr gut, im gleichen Jahr in Rheinland-Pfalz mit 65,4 % gering. Dies verringert sich im Jahr 1999 sogar auf 55,6 %.

Daher ist eine regionale Anpassung des Fruchtfolgemoduls nötig und wurde anhand ZEIDLER & PIORR (2007) überarbeitet. Die Erstellung von Fruchtfolgen in Deutschland bzw. Europa erfolgt aus der Analyse der Agrarstatistiken 2000 bis 2007 (Anbaufürchte mit Anbauflächen), den Anbauregionen (Kap. 3.4.1) und der Bodenzahlgruppe nach den europäischen Bodenzahlen. Deren Gruppierung erfolgte in 8 Klassen nach dem gleichen Muster wie in Tabelle 8. Zur Ableitung der Fruchtfolgen erfolgt eine Bewertung der Vorfruchteignung nach Kap. 2.2.2, in dem zunächst die dominierenden Feldfrüchte und deren Anteile in der Region ermittelt und anschließend anhand der Vorfruchteignungen die Reihenfolge der Feldfrüchte optimiert wird. Die Bewertung der Vorfruchteignung muss dabei eine möglichst geringe Summe ergeben. Die Erstellung der Fruchtfolgen erfolgte weiterhin unter der Randbedingung, dass die Anbaufläche einer Fruchtart einen Anbauanteil von mindestens 4 % pro Anbauregion und Bodenzahlklasse (ZEIDLER & PIORR 2007) erreicht.

Diese Fruchtfolgen werden pro Land, Anbauregion und Bodenzahl-Gruppe ausgegeben, sowie deren Bewertung als Summe und Mittelwert nach Tabelle 6: je höher der Wert, desto geringer wird die Vorfruchteignung geschätzt.

Folgende Fruchtfolgen-Module werden in den einzelnen Modellebenen verwendet (Tabelle 48):

Tabelle 48: Differenziert Anwendung der Fruchtfolge-Module nach Modellebene, eigene Darstellung.

Modellebene	Bodendaten	Fruchtfolge-Modul
Uckermark / Barnim	DIBOS	Fruchtfolge nach Bodenzahlgruppen (Modul 2007)
Brandenburg	BÜK300	
Ostdeutschland	GEMDAT	Fruchtfolge nach Anbauregionen und Bodenzahlgruppen (Modul 2011)
Deutschland	BÜK1000	
Europa	europäische Bodenzahlen	

Für die einzelnen Modellebenen sind die Flächenanteile an den Ackerflächen der dominanten Fruchtarten den Agrarstatistiken gegenübergestellt (Abb. 72, 73).

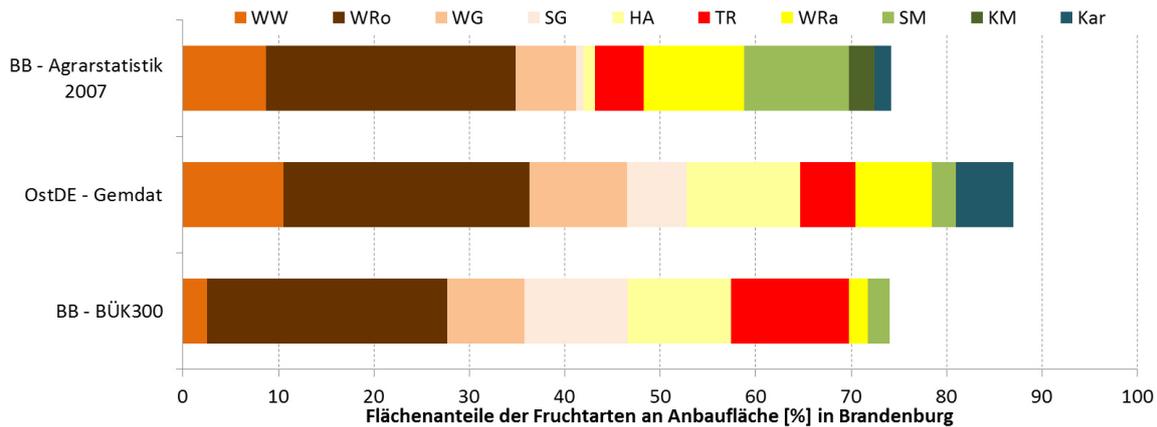


Abb. 72: Flächenanteile einzelner Fruchtarten in Brandenburg im Vergleich zur Agrarstatistik 2007 je nach Modellebene bzw. Datengrundlage, eigene Darstellung.

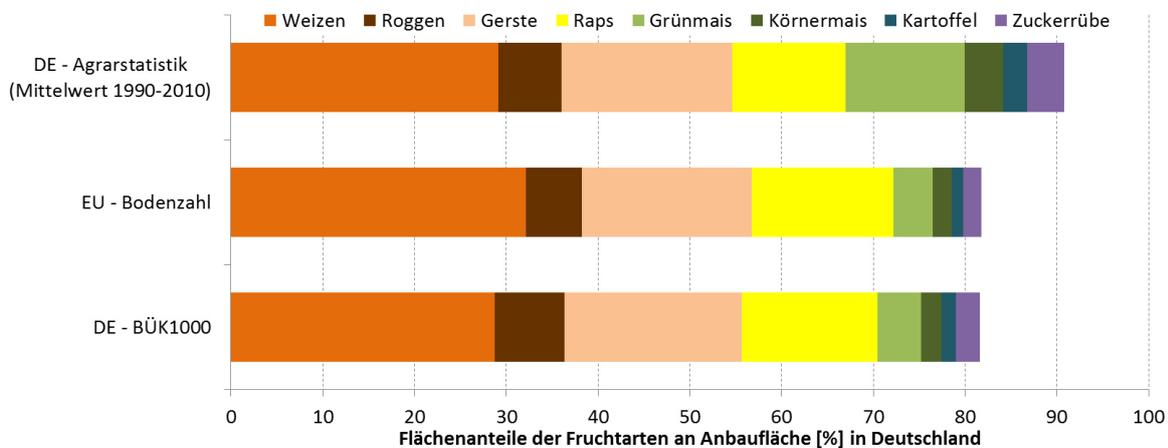


Abb. 73: Flächenanteile einzelner Fruchtarten in Deutschland im Vergleich zur Agrarstatistik (EUROSTAT Mittelwert 1990-2010) je nach Modellebene bzw. Datengrundlage, eigene Darstellung.

Die Anbauflächen werden zum größten Anteil gut durch die Modell-Fruchtfolgen wiedergegeben. Für einzelne Fruchtarten gibt es Abweichungen (Silomais und Hafer). Auf regionaler Ebene ist daher eine Anpassung nach aktuellen Statistiken anzustreben.

Die modellierten Fruchtfolgen für die Anbauregionen entsprechend den europäischen Bodenzahlen sind in der Tabelle T-11 im Anhang aufgelistet. Die Fruchtfolgen wurden anhand der Vorrfruchtignung nach Tabelle 6 in sieben Stufen bewertet und nach räumlicher Verschneidung (Ackerfläche und Fruchtfolge in NUTS-Bodenzahlgruppe-Region) eine mittlere Vorrfruchtignung visualisiert. Geringe Diversitäten in der Fruchtfolge führen zu hohen Bewertungsstufen (Maximum = 7 bedeutet reine Monokultur).

Vor allem getreideintensive Fruchtfolgen im Norden und Süden führen zu höheren Bewertungen (Abb. 74).

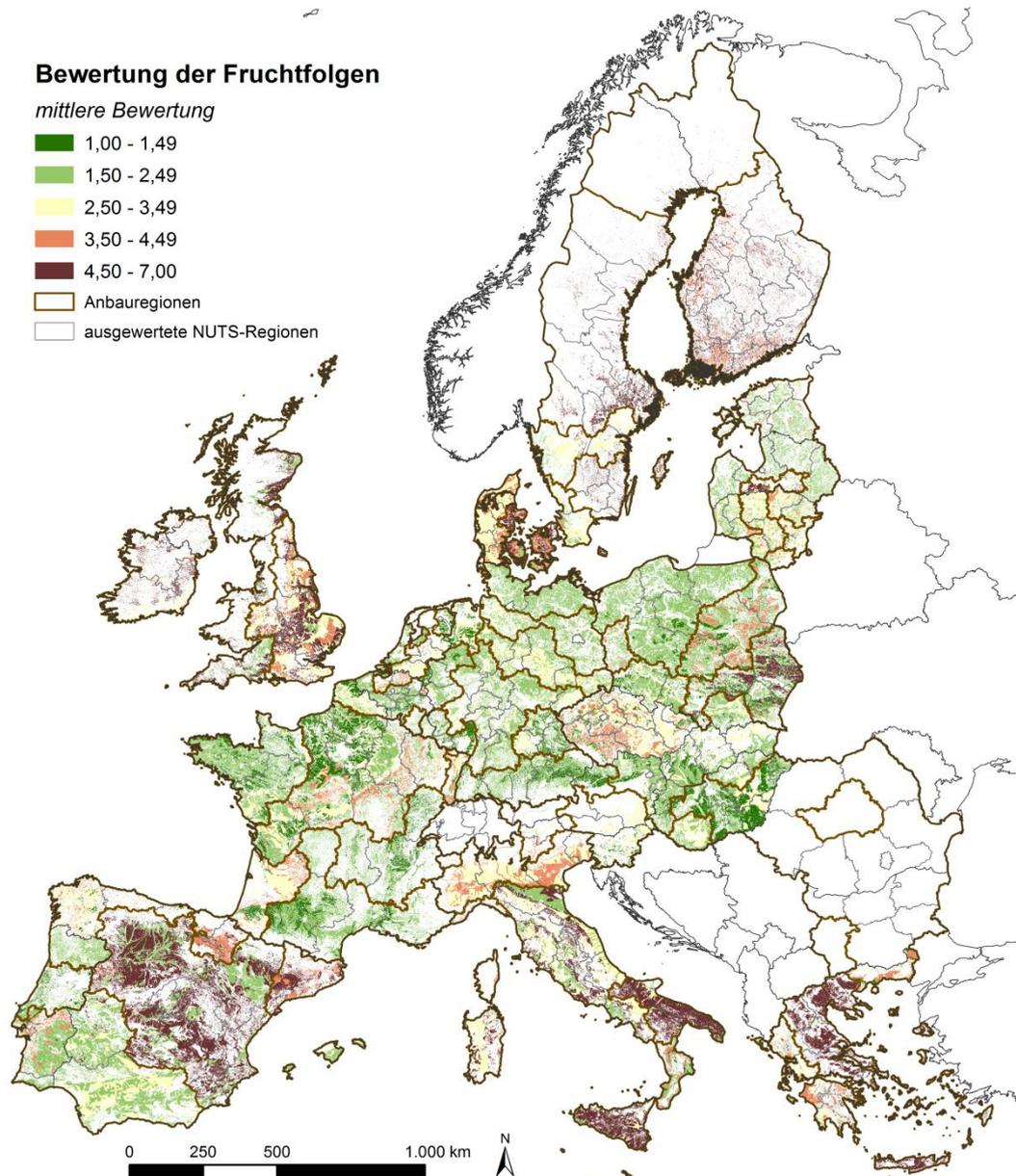


Abb. 74: Bewertung der Fruchtfolgen in Europa: Mittlere Eignungsstufe der Vorfrüchte für die Nachfrüchte in einer Fruchtfolge, eigene Darstellung.

3.4.3 Ertragsberechnung Fruchtarten

3.4.3.1 Ertragsvalidierung

Nach der Ermittlung der Fruchtfolge erfolgt die Ertragsberechnung der Feldfrüchte. Das Modell wurde zunächst für den ökologischen Anbau entwickelt, weshalb potenzielle ökologische Erträge zu Beginn berechnet werden. Die Ertragsfunktionen sind fruchtartspezifisch und ermöglichen die Kalkulation der Erträge über die Ertragsfähigkeit der Böden (Ackerzahl) und die jährliche Niederschlagssumme. Die Reaktion der Erträge auf Veränderung der Ackerzahl ist nahezu linear, der Anstieg der Gerade ist je nach Fruchtart unterschiedlich stark. Hingegen beschreibt die Abhängigkeit des Ertrages vom Niederschlag eine Kurve, welche sich bei zunehmenden Niederschlägen abflacht. Dies bedeutet, dass der Ertrag auf den Standorten limitiert ist und bei optimaler Wasserversorgung nicht mehr gesteigert werden kann. Bei höherer Wasserversorgung als optimal geht der Ertrag wieder zurück, was auch in der 3D-Funktion der Ertragsfunktionen deutlich wird (Abb. 5).

Die erste Phase der Modellentwicklung wurde 1998 abgeschlossen, seitdem haben sich die Erträge von verschiedenen Feldfrüchten im konventionellen Anbau gesteigert (Anhang A-7). Die ökologischen

Erträge hingegen sind laut SCHNEIDER (2006) bei keiner Fruchtart signifikant gestiegen. Basierend auf den ökologischen Erträgen der Feldfrüchte wird eine fruchtartsspezifische Funktion angewendet, welche die Erträge des konventionellen Anbaus ermittelt, die mit Agrarstatistiken verglichen werden können.

Die Umrechnung der Erträge aus dem ökologischen Anbau in konventionelle Erträge erfolgt bisher durch die Funktion (Kap. 2.2.1 nach SCHOLZEN 1999):

$$\text{Ertrag}_{\text{konv}} = \text{Ertra}_{\text{eco}} * \text{Ertragsindex}$$

$$\text{Ertragsindex} = \frac{(1 + ((0.0097 * AZ^2 - 0.2321 * AZ + 41.41) \div 100)) * (\text{Index}_{\text{FA}} - 1)}{1}$$

wobei AZ = Ackerzahl und Index_{FA} ein fruchtartsspezifischer Index bedeuten.

Die konventionellen Modellerträge wurden für das Bundesland Brandenburg den Agrarstatistiken 1999 (Jahr mit durchschnittlichen Niederschlägen) und 2003 (extremes Trockenjahr) sowie 2005 bis 2009 gegenübergestellt. Dazu wurden den Landkreisen mittlere Ackerzahlen und Jahresniederschläge zugeordnet und Modellerträge ermittelt. Die Korrelationen zwischen Modellertrag und Agrarstatistiken liegen zwischen 0,225 und 0,595 (Tabelle 49).

Tabelle 49: Korrelationen der Modell-Erträge (Version 1998) zu Agrarstatistik (BB – Mittelwert 2005-2009), eigene Berechnung.

	WW	WRo	WG	SG	HA	ZR	SM	WRa	Kar	TR
r	0,484	0,439	0,594	0,595	0,398	0,461	0,405	0,329	0,225	0,357

Die Abweichungen in Ackerzahlgruppen sind unterschiedlich stark. Die Modellerträge erreichen ein geringeres Niveau als die Erträge der Agrarstatistik (Tabelle 50): die Modellerträge im konventionellen Anbau werden ca. 20 % unterschätzt. So weichen die Erträge von Zuckerrübe und Winterweizen vor allem in den geringeren Ackerzahlgruppen ab. Die Abweichungen der Roggenerträge werden ab Ackerzahlen > 60 größer. Bei Winterraps allerdings weichen die Erträge in den höheren Ackerzahlgruppen stärker ab.

Tabelle 50: Abweichung der konventionellen Erträge (Version 1998) im Vergleich zu Agrarstatistiken (Brandenburg – Mittelwert 2005-2009), eigene Berechnung.

Fruchtart	Abweichungen in Ackerzahl-Gruppe [%]							Gesamt
	(+ = überschätzte Modellerträge / - = unterschätzte Modellerträge)							
	< 30	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-100	
AB	-25,89	-25,08	-23,65	-15,55	-6,55			-19,11
FE	-22,78	-24,45	-18,69	-19,22	-28,57	-47,01	-47,42	-25,14
HA	-32,64	-31,08	-26,44	-19,40	-16,52	-17,86	-31,29	-24,46
Kar	-25,08	-21,37	-13,20	-7,83	-6,78	-14,78	-37,68	-14,71
SG	-32,68	-33,05	-26,51	-20,96	-21,05	-23,10	-38,92	-26,25
SM	-37,16	-35,60	-30,97	-26,62	-21,22	-21,03	-24,18	-29,65
SW	-42,55	-36,17	-28,41	-24,23	-23,92	-28,41		-30,64
TR	-17,08	-21,96	-21,59	-15,09	-11,06	-15,27	-20,88	-18,47
WG	-35,49	-30,88	-20,62	-16,76	-14,42	-21,41	-34,69	-22,26
WRa	-23,49	-18,87	-7,92	1,32	4,71	0,20	-21,29	-7,24
WRo	-16,42	-26,33	-25,03	-20,55	-21,83	-25,15	-26,02	-23,49
WW	-42,11	-40,51	-32,24	-24,54	-20,36	-31,32	-33,72	-32,27
ZR	-41,13	-36,08	-33,41	-30,32	-25,10	-26,29	-27,82	-31,64

Der Ertragsindex zur Ableitung des konventionellen Ertrags vom ökologischen Ertrag entspricht nicht mehr den jüngeren Ertragsentwicklungen des konventionellen Anbaus. Weiterhin wird im Folgenden

untersucht, ob die Ertragskorrektur von der Ackerzahl abhängig ist, oder ob der Niederschlag eine stärkere Bedeutung zur Ableitung der konventionellen Erträge hat.

3.4.3.2 Anpassung der Ertragsfunktionen

Ertragsfunktionen für den ökologischen Anbau

Die Modellfunktionen für den ökologischen Anbau beruhen auf den Ackerzahlen und Jahresniederschlägen. Eine Anpassung des Modells von PIORR et al. (1998b) sollte die prognostizierten Umverteilungen der Niederschläge mit berücksichtigen. Modelle zum Klimawandel prognostizieren vor allem eine Umverteilung des Niederschlages innerhalb des Jahres statt eine Veränderung der Jahres-Niederschlagssummen: Die jährliche Niederschlagssumme wird sich in Deutschland mit +1 % nur gering verändern, hingegen werden größere Veränderungen bei der Niederschlagsverteilung über das Jahr prognostiziert: Im Mittel verändern sich die Niederschläge im Frühjahr um -9 %, im Sommer verringern sich die Niederschläge um 21 %, im Herbst (+5 %) und Winter (+19 %) wird von Niederschlagszunahmen ausgegangen (MEINKE et al. 2010). Um Klimaveränderung zu implementieren, wird eine Anpassung des Parameters „Jahresniederschlag“ auf den in der Vegetationszeit fallenden Niederschlag vorgenommen, sodass nur dieser Anteil für den jährlichen Biomasse-Aufwuchs entscheidend ist.

Eine erste modelltechnische Anpassung erfolgte durch Gruppierung der Fruchtarten in Winter- und Sommerfrucht und die entsprechende Zuordnung von niederschlagswirksamen Monaten:

- Winterfrucht: Niederschlagssumme September – Juni = „NSW“
- Sommerfrucht: Niederschlagssumme März – August = „NSS“

Die Anpassung erfolgte auf der Grundlage der bisherigen Ertragsberechnungen des ökologischen Anbaus, der zugehörigen Ackerzahl und den neu ermittelten Monatssummen der Niederschläge (DWD Monatssummen 2000-2010). Die Ertragsfunktionen wurden wiederum mit TableCurve 3D ermittelt. Dabei wurde auch eine Vereinfachung der Ertragsfunktionen angestrebt sowie eine höhere Spanne in den Eingangsdaten hinsichtlich der angestrebten Erweiterung der Modellregion von Ostdeutschland auf Deutschland und Europa.

Die ökologische Ertragsfunktion ermittelt aus x =Ackerzahl (Bodenzahl) und y =NS (differenziert nach Sommer- und Winterfrucht) den ökologischen Ertrag (z =Ertrag_{eco})

$$z=a+bx+cy+dx^2+ey^2+fx+gy+hx^3+iy^3+jx^2y$$

Dabei wurden fruchtartsspezifisch die Parameter a bis j angepasst (Tabelle 51). Auf der Grundlage von Agrarstatistiken (EUROSTAT NUTS 2 2000-2010) und den dort ermittelten Medianen für Bodenzahl und Niederschlag (NSS) wurde für selbige Formel die Parameter für Sonnenblume ermittelt.

Für Winterfruchtarten Winterroggen und Wintertriticale wurden mit einer anderen Funktion bessere Ergebnisse der Anpassung erzielt: Die Grundfunktion lautet:

$$z=(a+b\ln x+cy+dy^2+ey^3)/(1+f\ln x+g(\ln x)^2+hy+iy^2)$$

Tabelle 51: Neu berechnete Parameter P (a-j) und Bestimmtheitsmasse zu den Ertragsfunktionen im ökologischen Anbau der Modellversion I von PIORR et al. (1998b), eigene Berechnung.

P	Winterfrüchte / Mehrjährige NS = NSW				Sommerfrüchte NS = NSS		
	WW	WG	WRa	KGr	ZR	SM	LUZ
a	-23,7703016	-26,8333306	-17,3597005	-15,3768635	-101,594048	-5,98798579	-17,755935
b	0,043731076	0,141888075	0,095650078	0,772774202	7,760942275	0,875985923	1,482027538
c	0,148916742	0,163867235	0,10583958	-0,11786521	0,210214956	0,129818172	0,048928881
d	-0,01052804	-0,01114127	-0,00719247	-0,03740099	-0,16793954	-0,02200333	-0,03241677
e	-0,00029611	-0,00030647	-0,00019449	0,000493494	0,000518387	-0,00040615	0,000145857
f	0,003929235	0,003610964	0,002307541	0,008126492	0,027514194	0,007638816	0,006908174
g	6,16189e-05	6,44044e-05	4,13766e-05	0,000229771	0,000928914	0,000119563	0,000176282
h	1,69274e-07	1,66278e-07	1,04171e-07	-4,1414e-07	-9,7825e-07	2,69518e-07	-2,6879e-07
i	-2,5643e-06	-2,2161e-06	-1,4292e-06	-5,2037e-06	-2,9738e-05	-5,315e-06	-5,5569e-06
j	-5,9616e-06	-7,0826e-06	-4,4643e-06	-1,5823e-05	-2,213e-05	-1,8899e-05	-1,5167e-05
r ²	0,8923645869	0,8817577189	0,8785970972	0,72452339	0,9207565753	0,9551887659	0,9483276876

P	Sommerfrüchte NS = NSS						
	HA	SG	SW	FE	AB	Kar	LUP
a	-2,49319744	-2,59972887	-5,74120101	4,477088339	5,372506007	-72,5671773	4,029379505
b	0,350656697	0,328118227	0,37805007	-0,09664381	-0,11597257	5,543530196	-0,08697943
c	0,052185622	0,04950338	0,058835005	-0,02274729	-0,02729675	0,15015354	-0,02047256
d	-0,00874067	-0,00799815	-0,00817428	-0,00127504	-0,00153005	-0,11995682	-0,00114754
e	-0,00016122	-0,0001474	-0,0001825	0,000192165	0,000230599	0,000370276	0,000172949
f	0,002990324	0,002618344	0,002828784	0,001963631	0,002356357	0,019652995	0,001767268
g	4,74064e-05	4,31414e-05	4,35739e-05	1,34143e-05	1,60971e-05	0,00066351	1,20728e-05
h	1,06254e-07	9,51363e-08	1,334e-07	-2,2934e-07	-2,752e-07	-6,9875e-07	-2,064e-07
i	-2,0707e-06	-1,7859e-06	-2,1318e-06	-1,5393e-06	-1,8471e-06	-2,1241e-05	-1,3854e-06
j	-7,4935e-06	-6,8237e-06	-5,6628e-06	-4,7195e-06	-5,6634e-06	-1,5807e-05	-4,2475e-06
r ²	0,9547873657	0,9535542267	0,9686457335	0,8929387584	0,8929387584	0,9207565753	0,8929387584

P	Sommerfrüchte NS = NSS	Winterfrüchte NS = NSW	
	SoBlu	WRo	TR
a	1,898922212	-0,24362181	-0,2702691
b	-0,14031134	-0,43112335	-0,47911018
c	-0,03552699	0,036211899	0,04023363
d	0,008120269	-5,61E-05	-6,23E-05
e	0,000117822	2,26E-08	2,51E-08
f	0,002292786	-0,19357467	-0,19359768
g	-5,41E-05	0,01890985	0,01891409
h	-9,33E-08	-0,00141527	-0,00141523
i	-1,40E-06	1,13E-06	1,13E-06
j	-1,97E-05		
r ²	0,642899226	0,923077017	0,923044372

Das Bestimmtheitsmaß zwischen den Öko-Ertragsfunktionen der Version I von 1998 und den korrigierten Öko-Ertragsfunktionen der Version II von 2012 liegt bei mindestens 0,7 (KGr), erreicht aber meist eine hohe Korrelation ($r^2 = 0,9$). Der Parameter des Niederschlages konnte im Modell differenziert und die ökologischen Ertragsfunktionen angepasst werden.

Eine Ertragsfunktion der Sonnenblume im ökologischen Anbau war in der Version I nicht enthalten, so dass diese aus den Agrarstatistiken abgeleitet wurde. Für die weiteren Berechnungen konnten aufgrund fehlender Ertragsdaten aus ökologischem Anbau keine Unterschiede bei der Sonnenblume zwischen ökologischem und konventionellem Anbau vorgenommen werden.

Ertragsfunktionen für den konventionellen Anbau

Zusätzlich zu der Differenzierung der Jahresniederschläge in Niederschlagszeiträume der Fruchtartengruppen ist zu überprüfen, in welchem Maße die Ertragsfunktion des konventionellen Anbaus angepasst werden muss. Es konnten nur für die im Folgenden aufgeführten Fruchtarten die Funktionen angepasst werden, da für weitere Feldfrüchte keine aktuellen Statistiken zur Verfügung standen.

Tabelle 52: Korrelationen zwischen Jahresniederschlag (Mittelwerte EU-NUTS2) und Agrarstatistik (EU-NUTS2), eigene Berechnung.

	Mittlerer Ertrag der Fruchtarten (EU-NUTS2)					
	WW	WG	WRo	WRa	SM	ZR
Niederschlag (NS _{FAGr})	0,452**	0,380**	0,506**	0,383**	0,310**	0,383**
Bodenzahl (BZ _{gen})	0,360**	0,522**	0,421**	0,388**	0,030	0,279**

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Die Korrelationen der Erträge aus den Agrarstatistiken sind mit dem Niederschlag höher als mit der Bodenzahl (Tabelle 52). Daher wurden die neuen Funktionen zur Berechnung der konventionellen Erträge auf die Abhängigkeit der konventionellen Erträge vom Niederschlag umgestellt. Für Landkreise (Deutschland) bzw. NUTS2-Regionen (Europa) wurden mittlere Niederschläge und Ackerzahlen und über die Ertragsfunktionen des ökologischen Anbaus die Erträge ermittelt. Über TableCurve 3D erfolgte auf den Ebenen Deutschland (Tabelle 53) und Europa (Tabelle 54) die Ableitung der konventionellen Ertragsfunktion im Vergleich zu mittleren Erträgen aus 2005-2010.

$$z = a + bx + cy + dx^2 + ey^2 + fxy$$

$$x = \text{Ertrag}_{\text{eco}}; y = \text{NS}_{\text{FA-Gr}}; z = \text{Ertrag}_{\text{konv}}$$

Tabelle 53: Parameter der konventionellen Ertragsfunktionen Modellversion II 2012 - Deutschland.

	WW	WRo	WG	WRa	TR
a	-14,5820618	-5,0484307	-13,1894534	-3,5883473	-7,08049623
b	1,145061771	0,555140676	1,027889003	0,169255926	0,86993091
c	0,134545055	0,040605234	0,113715298	0,058331211	0,048165567
d	-0,01322985	-0,00750071	-0,01132465	0,003257181	-0,01139651
e	-0,00012065	-2,9143e-05	-0,00010385	-5,7125e-05	-3,4508e-05
f	0,001319976	0,001658144	0,001217742	0,001637299	0,001405863

	Kar	HA	SG	ZR	SM	KM (EU)	SoBlu (EU)
a	-42,2887392	-8,6753481	-8,77646663	-111,446869	-26,9633346	-4,16856173	-4,94558814
b	0,262744961	0,742021336	0,932563109	1,129405685	0,91015888	1,040599565	1,204818633
c	0,81488022	0,098827862	0,099419781	1,20825205	0,290003029	0,114458526	0,060808756
d	0,000100476	-0,01045259	-0,01586133	-0,00160293	-0,00541488	-0,00977264	-0,03734341
e	-0,00128651	-0,00014861	-0,0001476	-0,00174911	-0,00041805	-0,00016134	-9,9347e-05
f	0,002487808	0,001974957	0,002180694	0,002384269	0,002135508	0,00160604	0,001642585

Tabelle 54: Parameter der konventionellen Ertragsfunktionen Modellversion II 2012 - Europa.

	WW	WRo	WG	WRa	TR
a	-8,65238621	-4,82389346	-9,58820323	-5,18256241	-10,6628035
b	-0,26292294	0,133513622	0,052141971	0,262621423	1,122421379
c	0,103579557	0,04205928	0,090705335	0,049933237	0,071393186
d	0,010241647	0,001718972	0,005499014	0,002298806	-0,0114924
e	-9,5271e-05	-2,3683e-05	-8,5782e-05	-4,7159e-05	-5,8356e-05
f	0,001599571	0,001334633	0,001290064	0,001075992	0,000920535

	Kar	HA	SG	ZR	SM	KM	SoBlu
a	-62,1488964	-5,41999545	-4,6884196	-104,237808	-10,0822486	-4,16856173	-4,94558814
b	0,845324038	1,446603238	1,536711423	1,327810749	1,469402998	1,040599565	1,204818633
c	0,949036987	0,058717287	0,061642368	0,9773463	0,148717658	0,114458526	0,060808756
d	-0,00147164	-0,02220672	-0,02113787	-0,00223166	-0,00953939	-0,00977264	-0,03734341
e	-0,00158611	-8,6312e-05	-0,00010136	-0,00134099	-0,00018693	-0,00016134	-9,9347e-05
f	0,001795579	0,001595904	0,001616	0,00197241	0,001276252	0,00160604	0,001642585

Für Körnermais und Sonnenblumen war infolge der geringeren Anbauintensität die Datenlage in Deutschland gering, daher wurden die europäischen Funktionen übernommen. Die Korrelationen zwischen den Modellerträgen und den Agrarstatistiken liegen für den deutschen Parametersatz zwischen 0,39 und 0,7 und sind zweiseitig signifikant, die europäischen Modellerträge sind ebenfalls zweiseitig signifikant und korrelieren mit den Agrarstatistiken zwischen 0,21 und 0,57 (Tabelle 55).

Auch für den Sommerraps lagen nur wenige Ertragsdaten vor, weshalb ein Index zwischen den Erträgen Sommerraps und Winterraps-Erträgen ermittelt wurde (Ertrag SRa = 0,603*Ertrag WRa; R²=0,486). Dieser entspricht in etwa dem Verhältnis der Niederschlagssummen NSW / NSS (=0,621). Daher wird die Funktion des Winterraps auf den Sommerraps angewendet.

Tabelle 55: Korrelationen der Modell-Erträge (Modellversion II 2012) zu Agrarstatistik (DE NUTS2: Mittelwert 2005-2010; EU NUTS2: Mittelwerte 2000-2010).

Modellebene (-Input)	WW	WRo	WG	ZR	SM	WRa	Kar	TR	SG	HA
DE (Standorte)	0,470**	0,534**	0,392**	0,706**	0,677**	0,504**	0,435**	0,559**	0,590**	0,635**
								SoBlu	KM	
EU (Mittelwerte je NUTS2)	0,610**	0,760**	0,724**	0,441**	0,229**	0,595**	0,620**	0,540**	0,277**	

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 56: Abweichung der modellierten konventionellen Erträge (Version II 2012) im Vergleich zu Agrarstatistiken in Deutschland (DE: Mittelwert 2005-2010) in Prozent, eigene Berechnung.

Fruchtart	Abweichungen in Bodenzahl-Gruppe [%] (DE)						Gesamt
	(+ = überschätzte Modellerträge / - = unterschätzte Modellerträge)						
	< 30	30-39	40-49	50-59	60-69	>69	
HA	-4,4	-4,0	5,6	7,2	8,0	5,0	1,9
Kar	-14,6	1,1	14,1	11,8	13,3	-6,5	3,9
SG	-6,3	-3,5	8,4	6,4	7,6	-0,3	2,9
SM	-7,4	-1,9	7,9	5,4	5,6	4,6	2,6
TR	0,4	0,5	3,3	5,6	2,6	-4,0	2,4
WG	-4,9	-5,6	4,8	12,0	9,6	-2,3	2,2
WRa	-11,6	-8,1	6,2	17,4	16,5	21,0	3,7
WRo	4,2	-5,5	4,8	8,6	5,3	-1,6	0,7
WW	-7,7	-4,9	5,5	9,5	8,9	-3,2	3,8
ZR	-7,6	-0,4	5,0	5,0	3,1	4,1	1,8

Insgesamt muss mit einer leichten Überschätzung gerechnet werden (Tabelle 56). Allerdings weichen die Erträge in den einzelnen Bodenzahl-Gruppen bis zu 21% von den Angaben in den Agrarstatistiken ab. Bei einer jährlichen Ertragssteigerung von ca. 1 % (Kap. 3.5.2.2) müssten die modellierten Erträge auf dem Niveau von 2012-2014 liegen.

3.5 Bioenergiepotenziale

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebene Berechnung der fruchtartenspezifischen Biomasseerträge auf der Basis von Niederschlag, Bodenzahl und regionaltypischen Fruchtfolgen wird im Folgenden für die Ermittlung von Bioenergiepotenzialen eingesetzt. Die Potenziale werden in verschiedenen Szenarien mit gleicher Methodik ermittelt:

1. Auswertung der landwirtschaftlichen Biomasse:
 - Ermittlung der Anbauflächen und Ableitung von Fruchtfolgen
 - Ertragsermittlung von Anbaufrüchten mit dem Schwerpunkt auf den Fruchtarten Weizen, Roggen, Triticale, Körnermais, Raps, Sonnenblumen, Silomais
 - Ertragsermittlung von Nebenprodukten (Getreidestroh, Gülle, Mist etc.)
 - Erntemengen = Anbauflächen * Erträge,
2. Abzug von Verbräuchen und Ermittlung potenzieller Restmengen = Erntemengen – Verbrauch,
3. Umrechnung der Restmengen in Bioenergiemengen: Bioethanol, Biodiesel, Biogas, thermische Energie.

Es werden zwei Szenarien gebildet:

- **Szenario 1 - Referenz:** Anhand der Agrarstatistiken werden Vergleichsdaten ermittelt, um die Ergebnisse des Ertragsmodells zu validieren.
- **Szenario 2 - Standort:** In dem Biomasse-Ertragsmodell werden auf der Basis der Standorteigenschaften, die in den vorangegangenen Kapiteln in verschiedenen Skalen evaluiert wurden, potenzielle Biomasse-mengen für die energetische Verwertung berechnet.

In beiden Szenarien werden die gleichen Bedarfsanalysen für Nahrungs- und Futtermittel (Kap. 2.2.3) berücksichtigt, und es ist die Berechnung von bis zu fünf unterschiedlichen Potenzialen möglich:

- In den drei Ertrags- oder Anbaupotenzialen **Minimum**, **Mittelwert** und **Maximum** werden naturräumliche oder agrarstrukturelle Eigenschaften variiert (Niederschlag, Fruchtfolge).
- **2020:** Eine Potenzialrechnung beinhaltet eine langfristige Ertragsprognose aus Agrarstatistiken für das Jahr 2020. Es integriert die GIS-basierte Differenzierung von Anbauregionen in Europa anhand naturräumlicher Gegebenheiten und der Agrarstruktur (Bewirtschaftungsweise und

-Intensität). Für diese Anbauregionen werden die Ertragsdaten ausgewertet, um die Erträge der NUTS-Regionen zusammenzufassen und eine größere Datenbasis und damit eine höhere statistische Sicherheit zu erlangen (Kap. 3.5.2.2). Es können auch Niederschlagsprognosen einfließen.

- **Handel:** Für großräumige Analysen auf europäischer Ebene ist eine Integration von Warenströmen möglich, um die Potenziale nicht nur hinsichtlich einer Selbstversorgung des Untersuchungsraumes zu betrachten, sondern auch bestehende Handelsbeziehungen einzubeziehen. Weiterhin werden Humusbilanzen (Kap. 2.2.3.3) als zentrale kritische Größe einer nachhaltigen Landwirtschaft berücksichtigt.

3.5.1 Ermittlung der Verbrauchsdaten

Im Folgenden werden anhand der Bedarfsanalyse für die Region Berlin-Brandenburg die Ableitungen der Verbräuche beschrieben und Vergleiche mit regionalen Erntemengen gezogen, um eine verlässliche Methode der Bedarfsermittlung auszuweisen. Dazu werden durchschnittliche Verbräuche aus dem Zeitraum 2005-2007 herangezogen und vier Szenarien gebildet.

Szenario a): Pro-Kopf Verbrauch in Brandenburg,

Szenario b): Pro-Kopf Verbrauch in Brandenburg plus Berlin,

Szenario c): Verbrauch anhand von Produktionsschwerpunkten für Brandenburg,

Szenario d): Verbrauch anhand von Produktionsschwerpunkten für Brandenburg plus Berlin.

3.5.1.1 Bedarfsanalyse nach Pro-Kopf-Verbrauch (Szenario a + b)

Bei der Verwendung des Pro-Kopf-Verbrauchs ergibt sich eine räumliche Differenzierung durch die Integration von Einwohnerzahlen pro Ortschaft oder Verwaltungseinheit. Über die Einwohner in Brandenburg – ohne / einschließlich Berlin – können die Verbräuche auf diese räumlichen Ebene bezogen und auch Prognosen anhand der Bevölkerungsentwicklungen für 2020 / 2050 dargestellt werden. Die gesamte betrachtete Region (Brandenburg + Berlin) hat fast 6 Mio. Einwohner (Tabelle 57). Die Prognose für das Jahr 2020 sieht einen Rückgang der Einwohnerzahlen um knapp 170.000 für Brandenburg voraus, in Berlin dagegen steigt die Bevölkerung leicht an.

Tabelle 57: Bevölkerungsentwicklung in Brandenburg und Berlin (2007: DESTATIS 2009).

Einwohner	2007	2020	Quelle der Prognose 2020
Brandenburg	2.535.737	2.365.843	LASA Brandenburg 2009
Berlin	3.416.255	3.477.900	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin 2009
Summe	5.953.999	5.843.743	

Nimmt man mittlere Pro-Kopf-Verbräuche aus EUROSTAT 2009 an, ergeben sich folgende Nahrungsmittelbedarfsmengen in Brandenburg und Berlin (Tabelle 58).

Tabelle 58: Bruttonahrungsverbrauch pro Kopf in Deutschland: Mittelwert 2005-2007
 (Berechnung nach EUROSTAT 2009) und Analyse des Bedarfs in Brandenburg und Berlin.

Deutschland	Verbrauch in kg pro Kopf Nahrung	Nahrungsmittelbedarfsmengen [1.000 t]		
		Brandenburg (= Szenario a)	Berlin	Brandenburg + Berlin (=Szenario b)
Weizen	80,21	203	274	477
Roggen	10,33	26	35	61
Gerste	0,27	0,7	0,9	1,6
Körnermais	16,20	39	52	90
Zuckerrüben	231,77 ¹	588	792	1.379
Raps	18,81 ²	48	64	112

¹ Hochrechnung aus Zuckerverbrauch

² Hochrechnung aus Pflanzliche Fette und Öle / Ölsaaten und -früchte

Der Nahrungsmittelverbrauch anhand des Pro-Kopf-Verbrauchs (Tabelle 58) ergibt unter Einbeziehung von Berlin einen viel höheren Verbrauch an Nahrungsmitteln vor allem an Weizen und Zucker und damit eine solch hohe Menge, dass dieser Bedarf bei durchschnittlichen Erträgen nicht allein aus dem Bundesland Brandenburg stammen kann. Landwirtschaftliche Produkte werden allerdings über nationale und internationale Märkte gehandelt. Weiterhin wird im Vergleich zwischen den Erntemengen und dem Verbrauch deutlich, dass diese Art der Bedarfsanalyse nicht übertragbar ist: So liegt für Berlin und Brandenburg bei einem Bruttonahrungsverbrauch von Roggen (=10,33 kg pro Kopf) der Roggenbedarf bei über 61.000 t im Jahr. Demgegenüber steht eine Erntemenge von Roggenkorn in Brandenburg 2007 von 688.541 Tonnen. Damit würden in der Region nur 9 % der Erntemenge verbraucht. D.h. die Erntemenge von Roggen ist extrem höher als der Verbrauch, wobei Roggen im Vergleich zu anderen Bundesländern in Brandenburg seinen Anbauswerpunkt hat und auch innerhalb und außerhalb Deutschlands vermarktet wird. Andererseits übersteigt der Bedarf von Zuckerrüben von 1,38 Mio. t die z.B. 2008 in Brandenburg erzeugten Mengen an Zuckerrüben von 456.000 t deutlich. Daher ist die Methode der Bedarfsanalyse über die pro-Kopf-Bedarfe zwar eine praktikable und einfache Lösung, allerdings regional nicht verwendbar.

3.5.1.2 Bedarfsanalyse nach Produktionsschwerpunkten (Szenario c + d)

Um die vorgenannten Probleme der Ableitung von regionalen Bedarfsmengen über pro-Kopf-Bedarfe zu umgehen und regionale Anbauverhältnisse zu berücksichtigen, wurde unter dem Begriff „Produktionsschwerpunkte“ eine andere Art der Bedarfsermittlung vorgenommen. Dabei werden die gleichen Statistikgrundlagen wie in Szenario a und b genutzt (EUROSTAT 2009). Wie sich in der Bedarfsberechnung anhand von Pro-Kopf-Verbräuchen gezeigt hat, ergeben sich große Unterschiede zwischen dem Nahrungsmittelbedarf und den Erntemengen. Dies liegt vor allem daran, dass von Bundesland zu Bundesland die Anbauverhältnisse der landwirtschaftlichen Fruchtarten variieren: So wird zum Beispiel in Brandenburg rund 26 % der gesamtdeutschen Roggenerzeugung produziert (Abb.75).

Die Bedarfsanalyse „Produktionsschwerpunkte“ berücksichtigt agrarstrukturelle, demographische und standörtliche Gegebenheiten. Dazu werden die Erntemengen in Deutschland den Erntemengen in den einzelnen Bundesländern, z.B. Brandenburg (Szenario c), oder Regionen, wie Brandenburg + Berlin (Szenario d), gegenübergestellt (Roggenertrag Brandenburg = 25,88 % von Roggenertrag in Deutschland). Diese prozentualen Anteile werden dann auf die national vorliegenden Verbrauchsdaten angewendet und für die Bundesländer (Szenario c) oder Regionen (Szenario d) die Verbräuche errechnet.

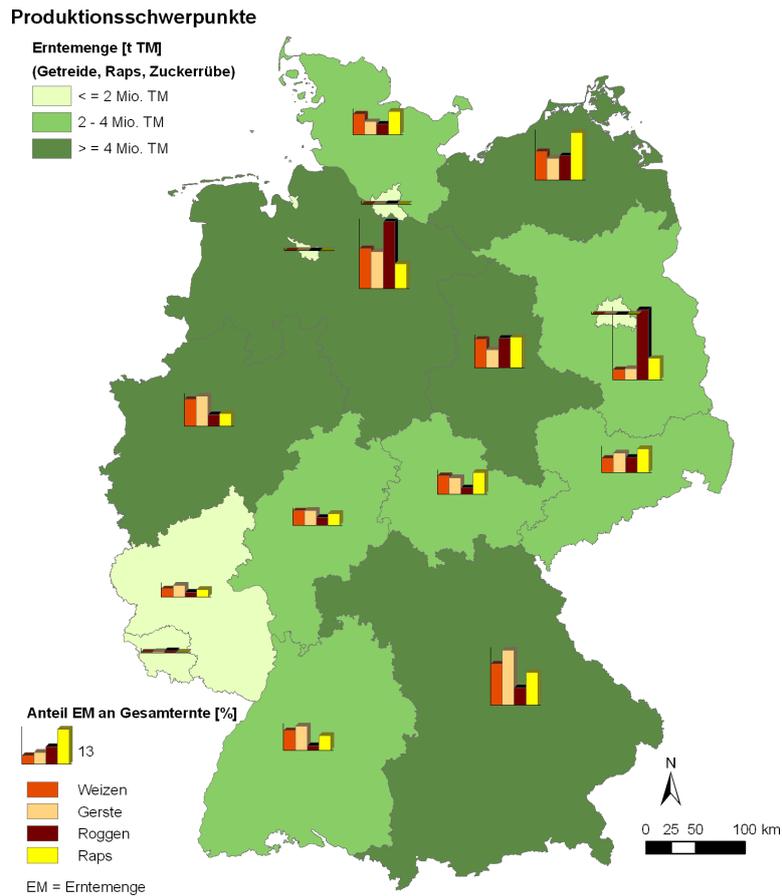


Abb. 75: Produktionsschwerpunkte in Deutschland: Anteile der Erntemengen der Bundesländer an der Gesamternte in Deutschland – Mittelwerte 2005-2007, eigene Berechnung.

Im Vergleich der Erntemengen (Brandenburg zu Deutschland bzw. Brandenburg + Berlin zu Deutschland) lassen sich so die Verbräuche der einzelnen Fruchtarten für Nahrungsmittel (Anteile Erntemenge in Region an Erntemenge Deutschland) ermitteln (Tabelle 59).

Tabelle 59: Hochrechnung des Nahrungsmittelverbrauchs für Brandenburg bzw. Brandenburg + Berlin (EM = Erntemenge, Nahrung = Verbrauch für Nahrungsmittel), eigene Berechnung.

EM / Nahrung in Tonnen handelsübliche Frishmasse	Deutschland (EUROSTAT 2009)		Brandenburg (Szenario c)			Brandenburg + Berlin (Szenario d)		
	EM [1.000 t]	Nahrung [1.000 t]	EM [t]	Anteil [%]	Nahrung [t]	EM [t]	Anteil [%]	Nahrung [t]
Weizen	22.316	6.610	852.806	3,82	252.601	853.430	3,82	252.786
Roggen	2.712	852	701.814	25,88	220.481	702.936	25,92	220.834
Gerste	11.321	22	463.247	4,09	900	463.547	4,09	901
Triticale	2.325	-	263.700	11,34	-	263.700	11,34	-
Körnermais	3.704	1.335	160.400	4,33	57.812	160.400	4,33	57.812
Zuckerrüben	23.690	19.121	455.895	1,92	367.968	455.895	1,92	367.968
Raps	5.201	1.548	409.527	7,87	121.890	409.527	7,87	121.890

Unter Einbeziehung der Produktionsschwerpunkte liegt der Bruttonahrungsverbrauch von Roggen in Brandenburg bei 220.481 t im Jahr. Die Unterschiede zwischen Szenario (c) und (d) sind infolge der geringen Produktionsmengen in Berlin sehr gering. Die Bedarfe für Futter und Saatgut können nach gleichem Schema ermittelt werden und sind in Tabelle 60 zusammengeführt.

Tabelle 60: Szenario 4: Verbrauch von Getreide, Zuckerrübe und Raps in Szenario d (Brandenburg + Berlin) für Nahrung, Futter und Saatgut, eigene Berechnung.

Tonnen mit handelsüblicher Frischmasse	Verbrauch [1.000 t] Deutschland	Verbrauch [t] Szenario d) Brandenburg + Berlin				Anteil am Verbrauch in Deutschland Szenario d) [%]
		Nahrung	Futter	Saatgut	Summe	
Weizen	17.233	252.796	381.151	20.829	654.766	3,8
Roggen	2.425	220.761	392.964	14.689	628.487	25,9
Gerste	9.908	915	305.045	12.583	318.529	3,2
Triticale	2.365	-	260.733	7.448	268.181	11,3
Körnermais	4.682	57.180	142.641	2.281	202.734	4,3
Zuckerrüben	19.134	367.959	247	-	368.215	1,9
Raps	1.659	121.860	8.380	420	130.690	7,9

3.5.1.3 Bewertung der Bedarfsszenarien

Für die Szenarien (a) Brandenburg und (b) Berlin + Brandenburg werden die Bedarfe bezogen auf die Bevölkerungszahlen 2007 Einwohner (Tabelle 57) und dem Pro-Kopf-Verbrauch in Deutschland hochgerechnet (Tabelle 58). Die Szenarien (c) (ohne Berlin) und (d) (mit Berlin) beinhalten indirekt den nationalen Handel, indem die Produktion, d.h. die Erntemengen, in den Bundesländern prozentual zur Gesamtproduktion gesehen werden. So wird zunächst der prozentuale Anteil des Verbrauchs in Deutschland an der Erntemenge in Deutschland für den angegebenen Zeitraum berechnet. Mit diesem prozentualen Anteil wird in jedem Bundesland der Verbrauch in Bezug zu den Erntemengen berechnet. Je höher also die Erntemengen in den Bundesländern sind, desto höher wird der Verbrauch angegeben. So beträgt z.B. der Anteil des angegebenen Verbrauchs von Weizen in Brandenburg aufgrund der geringen Erntemenge lediglich 3,8 % am Gesamtverbrauch, wohingegen beim Roggen aufgrund der höchsten Erntemengen in Deutschland der Anteil 25,9 % beträgt. Die Bedarfe von Roggen bezogen auf die Einwohnerzahlen (Pro-Kopf-Szenario) liegen hier bei nur 9,5 % und werden unterschätzt (Tabelle 61). Aufgrund der geringen Erzeugungsmengen von Zuckerrüben in Brandenburg sinkt auch das Verbrauchsszenario von 7,2 % im Pro-Kopf-Szenario auf 1,9 %.

Tabelle 61: Bedarfsszenarien im Vergleich: Verbrauch von Getreide, Zuckerrübe und Raps in Berlin und Brandenburg, eigene Berechnung.

Tonnen mit handelsübliche Frischmasse	Verbrauch [1000 t] in Deutschland	Pro Kopf * Einwohnerzahl		Produktionsschwerpunkte ¹	
		Szenario b)		Szenario d)	
		Verbrauch [t]	Verbrauch [%]	Verbrauch [t]	Verbrauch [%]
Weizen	17.233	691.874	4,0	654.766	3,8
Roggen	2.425	230.298	9,5	628.487	25,9
Gerste	9.908	364.472	3,7	318.529	3,2
Triticale	2.365	145.207	6,1	268.181	11,3
Körnermais	4.682	326.215	7,0	202.734	4,3
Zuckerrübe	19.134	1.379.473	7,2	368.215	1,9
Raps	1.659 ²	112.369	6,8	130.690	7,9

¹ Berechnung unter Berücksichtigung der Erntemengen in den Bundesländern

² ohne Berücksichtigung der in Deutschland verwendeten Mengen zur Erzeugung von Biodiesel

Berlin hat aufgrund der sehr geringen Erntemengen einen geringen Verbrauchsanteil der jeweils unter 0,1 % liegt und sich somit kaum auf die Verbrauchsmengen auswirkt. Mit dieser Berechnung werden Produktionsschwerpunkte, wie z.B. der Roggenanbau und ein geringfügiger Zuckerrübenanbau in Brandenburg berücksichtigt.

3.5.1.4 Regionaler Futterbedarf

Regionale Futterbedarfe richten sich nach Tierart, Haltungsform, Stalltagen und Futterbedarfen. Diese lassen sich teilweise aus Statistiken ableiten, die in unterschiedlicher räumlicher Differenzierung jährliche Daten für Anzahl an Tieren bzw. Tierartgruppen und teilweise auch Altersklassen enthalten.

Regional werden die Tierbestandsdaten in InVeKoS erfasst. Allerdings erfordert es hier die Bereitschaft der Landwirtschaftsämter in den Bundesländern oder Landkreisen, die Daten zur Verfügung zu stellen. Für das Bundesland Brandenburg standen sie für 2008/2009 dem Projekt zur Verfügung (Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLf) 2010: Tierbestandsdaten InVeKoS 2008/2009 des Landes Brandenburg).

Die Tierbestandsdaten liegen in Deutschland bis 2007 bis auf Landkreisebene stark differenziert nach Tierarten und Altersgruppen vor. Ab 2008 wurden die statistischen Erfassungen für die differenzierten Tierartengruppen auf Bundeslandebene zusammengefasst. Im Zehnjahresrhythmus erfolgt für einzelne Tierartengruppen (Rinder, Milchkühe, Schweine, Zuchtsauen und Schafe) eine Erfassung auf Landkreisebene. Die Veränderungen der Tierbestände in Deutschland waren in den letzten Jahren eher gering (Abb. 76).

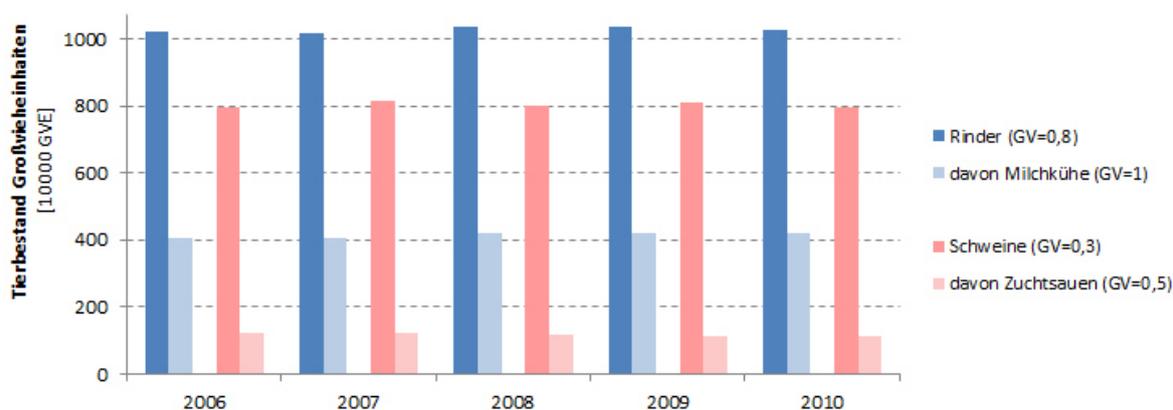


Abb. 76: Tierbestand in Deutschland: Gehaltene Tiere in Deutschland 2006-2010, Rinder, Milchkühe, Schweine und Zuchtsauen – in Großvieheinheiten (GV) (nach DESTATIS 2013).

Die Futterbedarfe von Getreidekorn (Tabelle 62) liegen im Bundesland Brandenburg unter der Hochrechnung des Futtermittelverbrauchs (Tabelle 60 - Futter) für Brandenburg, zum einen da hier nur der Bedarf für Brandenburg ermittelt wurde und zum anderen durch die abweichende Erfassungsmethodik der InVeKoS-Daten zu den Viehbestandsdaten laut Agrarstatistik (DESTATIS). Um eine Versorgungssicherheit der Viehbestände zu realisieren, wird die Berechnung der Futtermengen von Getreidekorn anhand des Szenarios „Produktionsschwerpunkte“ (Kap. 3.5.1.2) vorgenommen.

Zusätzlich zu Getreidekorn, Rüben und Rapssaat, deren Futterbedarfe in den nationalen Statistiken geführt werden, spielen vor allem Silomais und Stroh in der Versorgung der Tierbestände eine Hauptrolle. Diese werden in den Statistiken nicht berücksichtigt, da sie vorwiegend regionalem Handel unterliegen. Die Ermittlung des regionalen Futterbedarfs von Silomais und Stroh des Landes Brandenburg erfolgt daher nach Kap. 2.2.3.2 anhand von regionalen Viehbestandsstatistiken (InVeKoS 2008/2009) und den Futterrationen nach NEUBERT (2009, Tabelle 9).

Tabelle 62: Futterbedarf (Grundration) für Silomais und Getreidestroh für die Tierbestände in Brandenburg
 Angaben in Tonnen Frischmasse, nach InVeKoS (2008/2009) und NEUBERT (2009).

	Rinder	Schweine	Geflügel	Pferde	Schafe	Gesamt
Silomais	2.209.618	-	-	-	-	2.209.618
Stroh	57.172	-	791	26.887	-	84.850

Der Bedarf liegt in Brandenburg bei rund 2,2 Mio. t Frischmasse Silomais und 84.850 t Getreidestroh. Diese Methode eignet sich weiterhin zur Ermittlung der regionalen Futterbedarfe für Ackerfutter, welcher ebenso nicht in offiziellen Statistiken angegeben wird.

Für die Anwendung des Modells auf europäischer Ebene wurden Haltungsformen nach LEIP (2010) und Futterbedarfsmengen nach DÄMMGEN et al. (2010) angewendet. Die Statistikdaten beziehen sich auf Tabelle „Viehbestand 2010: Anzahl der Tiere nach NUTS-2-Regionen [ef_olsaareg]“ (EUROSTAT 2013) (Abb. 77).

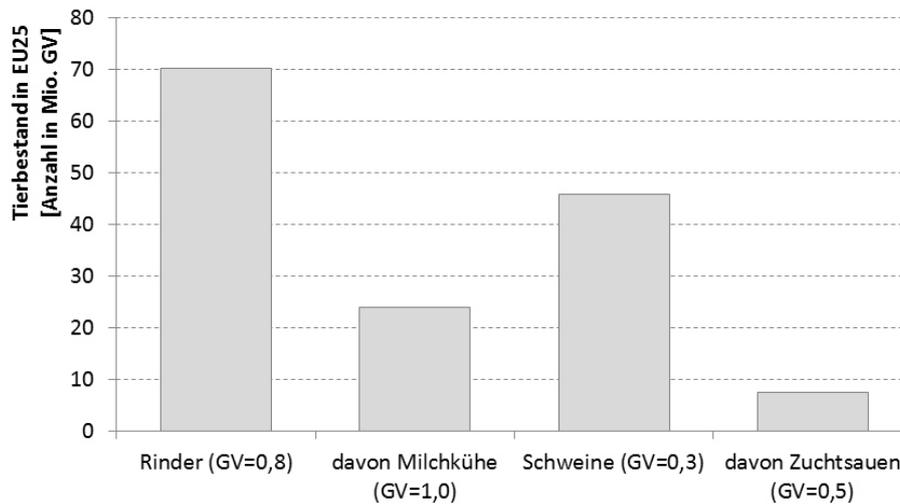


Abb. 77: Tierbestand in Europa: Gehaltene Tiere (Rinder, Milchkühe, Schweine und Zuchtsauen) in Großvieheinheiten (GV) (nach EUROSTAT 2013, Aktualität der Daten = 2010).

Zur Berechnung der Milchleistung der Milchkühe lag ebenfalls für NUTS2 und 2010 Tabelle „Erzeugung von Kuhmilch in den landwirtschaftlichen Betrieben, nach NUTS-2-Regionen“ vor (EUROSTAT 2013a). Der Quotient aus Erzeugung von Kuhmilch und der Anzahl der Milchkühe ergibt die mittlere Milchleistung auf NUTS2-Ebene (Anhang A-1).

Anhand DÄMMGEN et al. (2010) wurden die Silomais- und Strohbedarfe zur Versorgung der Milchkühe ermittelt. Ein Vergleich der Verbrauchsberechnungen von NEUBERT (2009) und DÄMMGEN et al. (2010) ergab eine hohe Korrelation, wobei NEUBERT (2009) jeweils geringere Bedarfe für Mais und Getreidestroh ausweist. Für Brandenburg ergeben sich folgende Futterbedarfe an Silomais- und Stroh für die Milchkühe 2010 (Tabelle 63).

Tabelle 63: Futterbedarf für Milchkühe in Brandenburg nach EUROSTAT (2013 / 2013a).

Produktion [t] von Kuhmilch	Anzahl der Milchkühe	Mittlere Milchleistung [kg]	Futterbedarf [t TM a ⁻¹] nach DÄMMGEN et al. (2010)		Futterbedarf [t TM a ⁻¹] nach NEUBERT (2009)	
			Stroh	Silomais	Stroh	Silomais
1.364.100	160.300	8.510	14.874	402.975	11.542	384.720

Bezogen auf alle NUTS2-Regionen aus EUROSTAT (2013, 2013a) weichen die Futterrationen von Mais nur gering voneinander ab (99,4 %), die Strohverbräuche in NEUBERT (2009) entsprechen 80,7 % denen von DÄMMGEN et al. (2010) (Abb. 78).

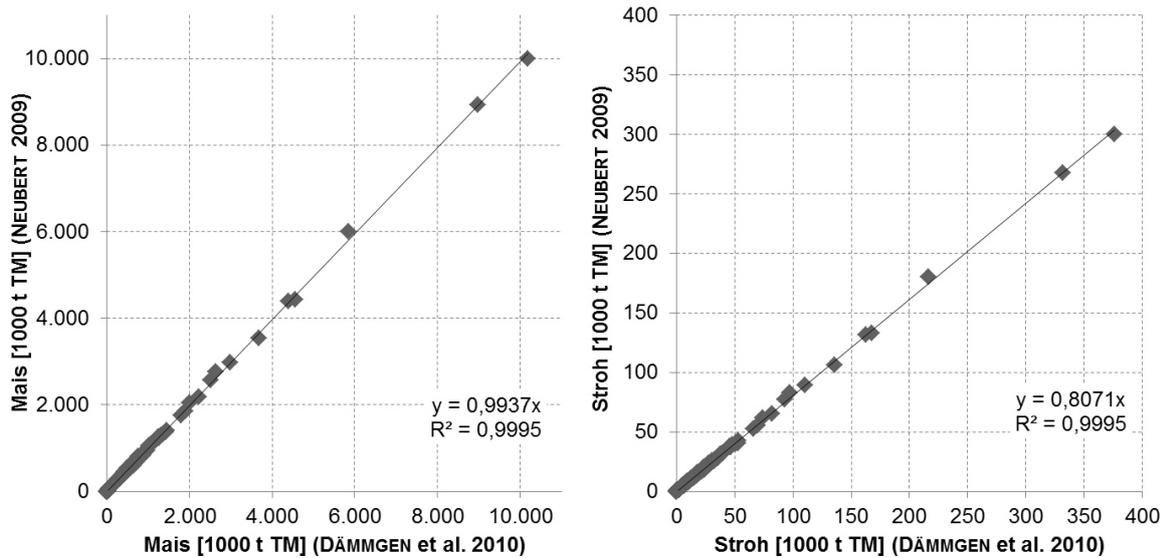


Abb. 78: Berechnung von Futterbedarfsmengen von Milchkühen nach DÄMMGEN et al. (2010) und NEUBERT (2009) pro NUTS2-Region (EUROSTAT 2013, 2013a): links: Silomais-; rechts: Stroh-Futterbedarf.

Da die Futterrationenberechnungen sehr ähnliche Ergebnisse liefern und nach eigenen Recherchen keine anderen Methoden zur Ableitung der regionalen Futterbedarfe für Stroh und Silomais zur Verfügung stehen, werden die Futterrationen der anderen Tierarten und Altersgruppen von NEUBERT (2009) nach Tabelle 9 übernommen, da keine europäischen Abschätzungen bisher vorliegen.

Die regionale Verteilung der ermittelten Futterverbräuche von Silomais und Getreidestroh sind in Abb. 79 dargestellt.

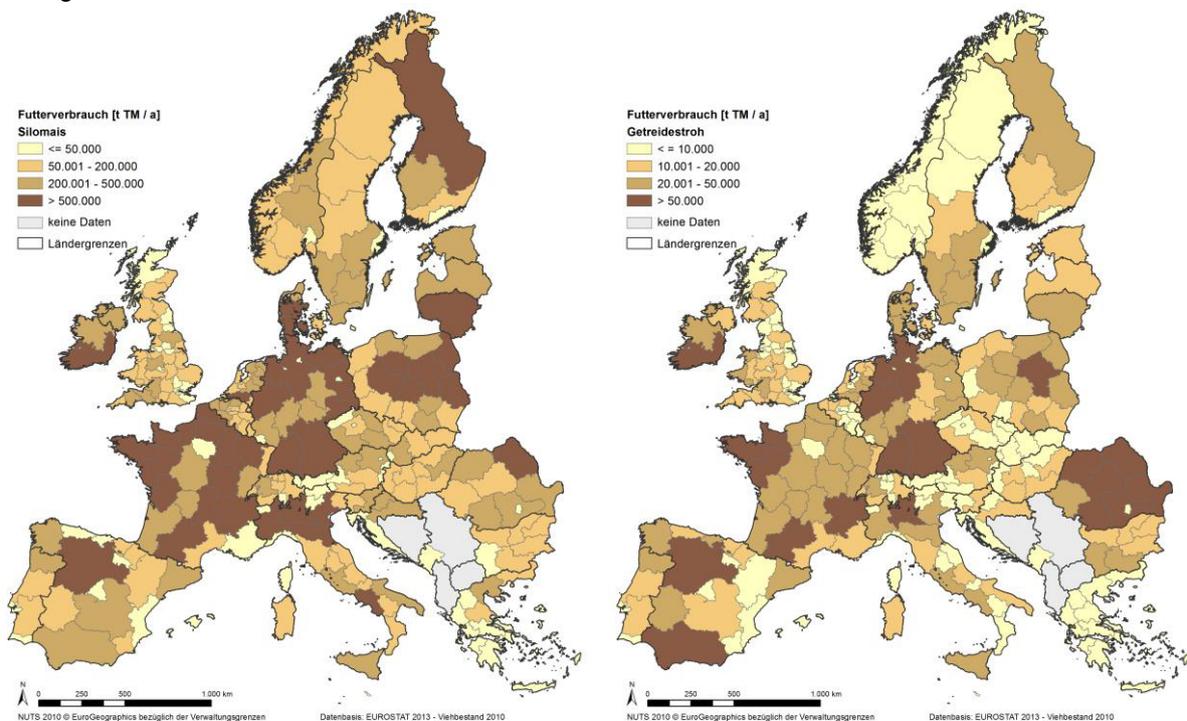


Abb. 79: Futterverbräuche der Tierbestände 2010 in Europa: Silomais (links) und Getreidestroh (rechts) in Trockenmassen je NUTS2-Region, eigene Berechnung nach DÄMMGEN et al. (2010), eigene Berechnung.

3.5.1.5 Einstreu und Gülle

Über Haltungssysteme und Tierbestandsdaten (Kap. 2.2.3) wurden die Bedarfsmengen für die Einstreu mit Getreidestroh und die anfallende Güllemengen ermittelt (Abb. 80).

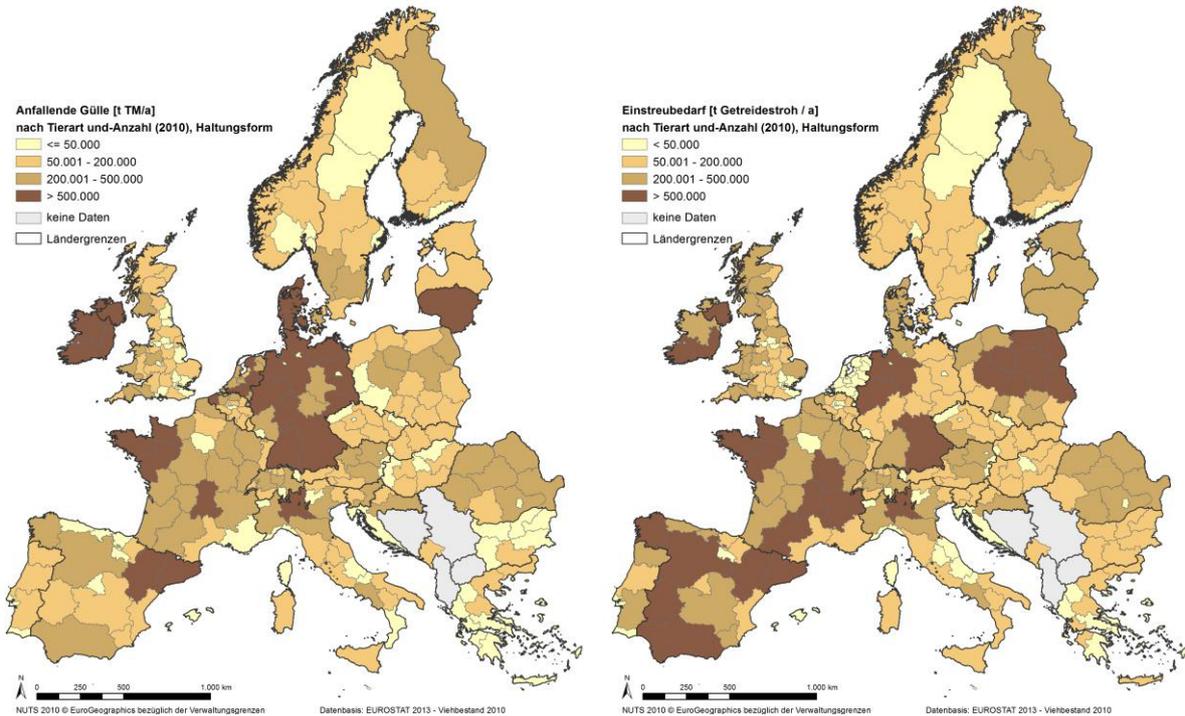


Abb. 80: Berechnung der anfallenden Gülle (links) und notwendigen Einstreumengen (rechts) basierend auf Viehbestand 2010 (EUROSTAT 2013) und Haltungssystemen (LEIP et al. 2010) in NUTS2-Regionen, eigene Berechnung.

3.5.1.6 Handelsbilanz in Europa

Die Ermittlung von Handelsbilanzen erforderte eine Recherche von Import- und Exportdaten in Europa. Es wurden die Statistikplattformen FAOSTAT (2013), ZMP (z.B. ZMP 2006) und EUROSTAT analysiert und letztendlich die Daten letztgenannter Quelle genutzt (EUROSTAT 2009a). EUROSTAT bietet detaillierte Informationen mit Definition der Handelspartner. Enthalten sind hier Import- und Exportdaten zwischen „Reporter“ und „Partner“, wobei das folgende Datenschema des Handelsflusses bedeutet:

Import = Import in Reporter- aus Partner-Länder | Export = Export aus Reporter- in Partner-Länder

Die Daten wurden in eine Handelsdatenbank überführt. Die Region außerhalb der EU27-Länder wurde als „Rest der Welt (Rest of the World = ROW)“ deklariert. Es wurden die Daten von 2000 bis 2008 analysiert. Insgesamt sind 33.579 Datensätze mit folgenden Attributen enthalten:

- Reporter (Lieferant der Zahlen zum Warenverkehr) und Partner (Handelspartner),
- Flow: Import oder Export,
- Fruchtart: Weizen, Gerste, Roggen, Raps, Mais und Zuckerrübe,
- Jahr: Bezugsjahr,
- Wert: Handelsmenge in Tonnen.

Nach ersten Analysen der Daten traten zwischen den Import- und Exportzahlen Abweichungen auf, die sich durch länderspezifische Regelungen in der Erfassung des Warenverkehrs (Datenschutz, zeitliche Verschiebungen, Unterschiede in der Einreihung der Waren, Dreieckshandel, Unterschiede in der Bewertung des Handels) ergeben (EDS 2009). Um einen einheitlichen Datensatz zu erstellen, mussten die Daten synchronisiert werden: Es wird davon ausgegangen, dass der maximale Wert der Handelsmenge entspricht:

- Import < Export: Auf dem Handelsweg kann es zwar zu Verlusten kommen, die Handelsmenge kann aber nicht ansteigen.
- Import > Export: Umgekehrt ist davon auszugehen, dass die Menge, welche importiert auch exportiert wurde.

Für die Fruchtarten wurden jährliche Handelsbilanzen (= Import minus Export) und eine mittlere Handelsbilanz (=Mittelwert Bilanzen 2000 bis 2008) ermittelt (Tabelle 64 bzw. Abbildung in Anhang A-8: EU-Handelsbilanz Weizen und Raps). Negative Werte bedeuten demzufolge einen höheren Export als Import.

Tabelle 64: Mittlere Handelsbilanz im Zeitraum 2000-2008 für ausgewählte Feldfrüchte in der EU27 (negative Bilanz: Export > Import; positive Bilanz: Import > Export), eigene Berechnung.

	Import	Export	Bilanz
Fruchtart	Mittelwert 2000-2008 [1.000t FM]		
Weizen	-11.633	-6.816	-4.817
Gerste	-4.588	-528	-4.060
Roggen	-579	-109	-470
Körnermais	-780	-4.881	4.100
Summe Getreidekorn	-17.580	-12.334	-5.247
Zuckerrübe	-28.389	-19.037	-9.352
Raps	-387	-491	104

Das größte Handelsvolumen nimmt derzeit Weizen ein, Roggen spielt eine untergeordnete Rolle. Getreidekorn wird vor allem von Deutschland und Frankreich exportiert, Spanien und Italien sind Importeure. Deutschland importiert große Mengen an Rapssaat, Frankreich ist Exporteur.

Die Handelsbilanzen werden zu dem Referenz-Erntemengen-Mittelwert hinzugerechnet und als Szenario „Handel“ dargestellt.

3.5.2 Szenario 1: Referenz-Potenziale für Biokraftstoffe in Europa

Die Bioenergie-Potenzialabschätzung erfolgt auf der Basis von Agrarstatistiken anhand der aktuellen Anbauverhältnisse. Dieses Szenario bietet die Möglichkeit einer großräumigen Analyse der Potenziale (in Deutschland bis zur Landkreisebene) und der Validierung des Standortpotenzials. Es werden die Ertragsdaten in Zeitreihen von 2000 bis 2007 untersucht und Mittelwert, Minimum, Maximum der Anbauflächen ausgegeben. Über ein Ertragssteigerungsszenario werden auch Potenziale für 2020 ermittelt. Die maximale räumliche Auflösung bezieht sich auf die Verwaltungseinheiten, in denen die Agrarstatistiken angegeben werden, was in den meisten Fällen der NUTS2-Ebene entspricht (Abb. 81).

Datenbasis sind Agrarstatistiken der Jahre 2000 – 2007. Die Potenziale werden für die Biokraftstoffe Bioethanol aus Getreidekorn bzw. Zuckerrübe und Biodiesel aus Raps und Sonnenblume ermittelt.

Für jeden der 27 EU-Mitgliedsstaaten wurden in Form eines „Ländersteckbriefs“ die Potenziale für Biokraftstoffe ausgewiesen (BROZIO et al. 2010). In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse für die EU27-Staaten auf der räumlichen Ebene der Anbauregionen aufgeführt. Abbildung 82 gibt eine Übersicht zu den Arbeitsschritten.

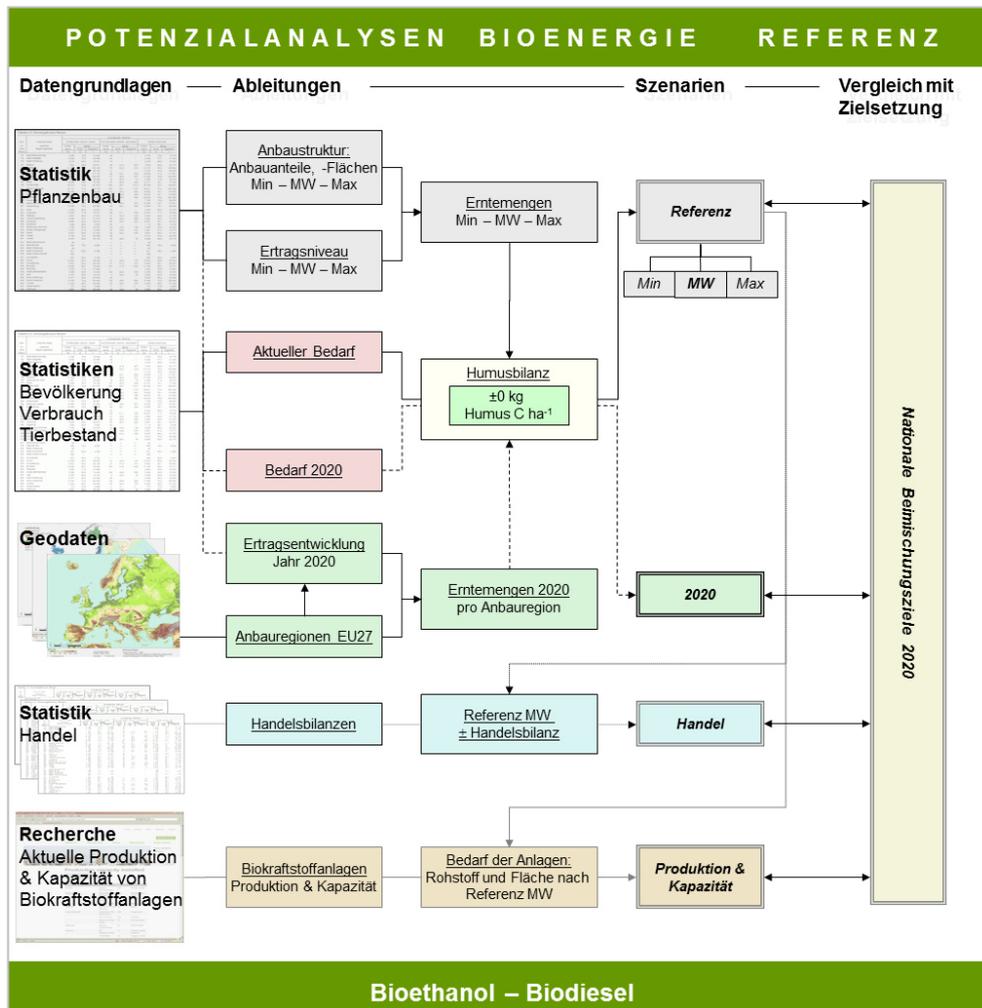


Abb. 81: Übersicht zu Szenario 1 (Referenz aus Statistikdaten): Biokraftstoffpotenziale in Europa (nach BROZIO et al. 2010).

3.5.2.1 Landwirtschaftliche Nutzung in Europa

In den EU27-Ländern wurden fast 63 % der Anbauflächen mit Getreide bestellt, 20 % mit Feldfutter und über 10 % mit Ölsaaten. Hack- und Hülsenfrüchte spielen eine geringe Rolle.

Anhand der Anbauflächen von Weizen, Gerste, Triticale, Roggen, Körnermais, Zuckerrübe, Raps und Sonnenblume werden die potenziellen Anbauflächen berechnet. Dazu wird die Summe der Anbauflächen dieser ausgewählten Feldfrüchte bestimmt. Das Minimum dieser Summen entspricht dem Minimum-Szenario, der Mittelwert der mittleren Anbauflächen und das Maximum dem Maximum-Szenario. Ausgehend von dieser Summe werden nun die Anteile der ausgewählten Fruchtarten ermittelt. So bleiben in den einzelnen Szenarien sowohl die Anbauverhältnisse der zu betrachtenden Feldfrüchte als auch der Anteil der nicht berücksichtigten Fruchtarten konstant (Abb. 82).

Tabelle 65: Anbauanteile und -flächen sowie Ertrag der Fruchtarten in der EU27 im Referenz-Szenario 1 nach Agrarstatistikdaten 2000 - 2007 (nach BROZIO et al. 2010).

Anbaufrucht	Anteil [%]	Anbauflächen in Szenarien [1.000 ha]			Ertrag [t FM ha ⁻¹]		
		Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum
Weizen	40,0	23.821	25.834	27.719	4,16	4,98	5,71
Gerste	21,7	13.178	14.061	14.988	3,36	4,15	4,81
Triticale	3,5	2.109	2.251	2.392	2,97	3,63	4,19
Roggen	4,4	2.654	2.833	3.034	2,40	3,10	3,79
Körnermais	14,0	8.397	9.157	9.850	4,71	6,27	7,49
Zuckerrübe	3,5	2.137	2.256	2.372	47,7	56,91	64,23
Raps	7,3	4.431	4.661	4.886	2,30	2,94	3,56
Sonnenblume	5,6	3.261	3.641	3.995	1,18	1,55	1,88
Summe	100,0	59.988	64.693	69.237			
Rest Ackerland		47.045	42.339	37.796			

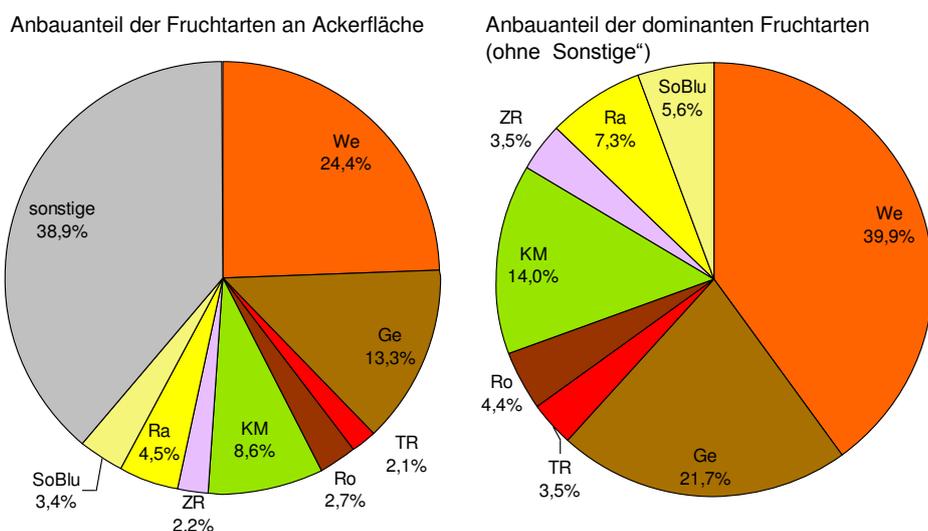


Abb. 82: Bestimmung der Anbauanteile ausgewählter Fruchtarten am Ackerland der EU27 (nach BROZIO et al. 2010).

Insgesamt nehmen die ausgewählten Feldfrüchte in den EU27-Ländern mit ca. 62 % den Hauptteil des Ackerlandes ein. Weizen und Gerste sind die am häufigsten angebauten Feldfrüchte. Der Weizenanbau beträgt bis auf Zypern, Portugal, Irland und Finnland über 10 %, in Bulgarien, Großbritannien, Tschechien und Griechenland sogar über 30 %. Der Gerstenanteil liegt in den Ländern Zypern, Spanien, Dänemark, Finnland, Estland und Litauen bei über 20 %. Der Anteil des Roggenanbaus liegt in den meisten Ländern unter 1 %, nur in Polen beträgt er 10 %. Ein höherer Rapsanteil (über 10 %) ist in Deutschland, Tschechien, Estland, Slowakei und Großbritannien zu verzeichnen. Der Zuckerrübenanteil liegt in allen Ländern unter 10 %, in rund der Hälfte der Länder unter 1 %. Der Körnermaisbau ist besonders in Rumänien, Ungarn und Slowenien mit über 20 % verbreitet (Anhang A-9).

Aus Anbaufläche und Ertrag (Tabelle 65) ergeben sich potenzielle Erntemengen in den Referenz-Szenarien Minimum, Mittelwert und Maximum (Abb. 83).

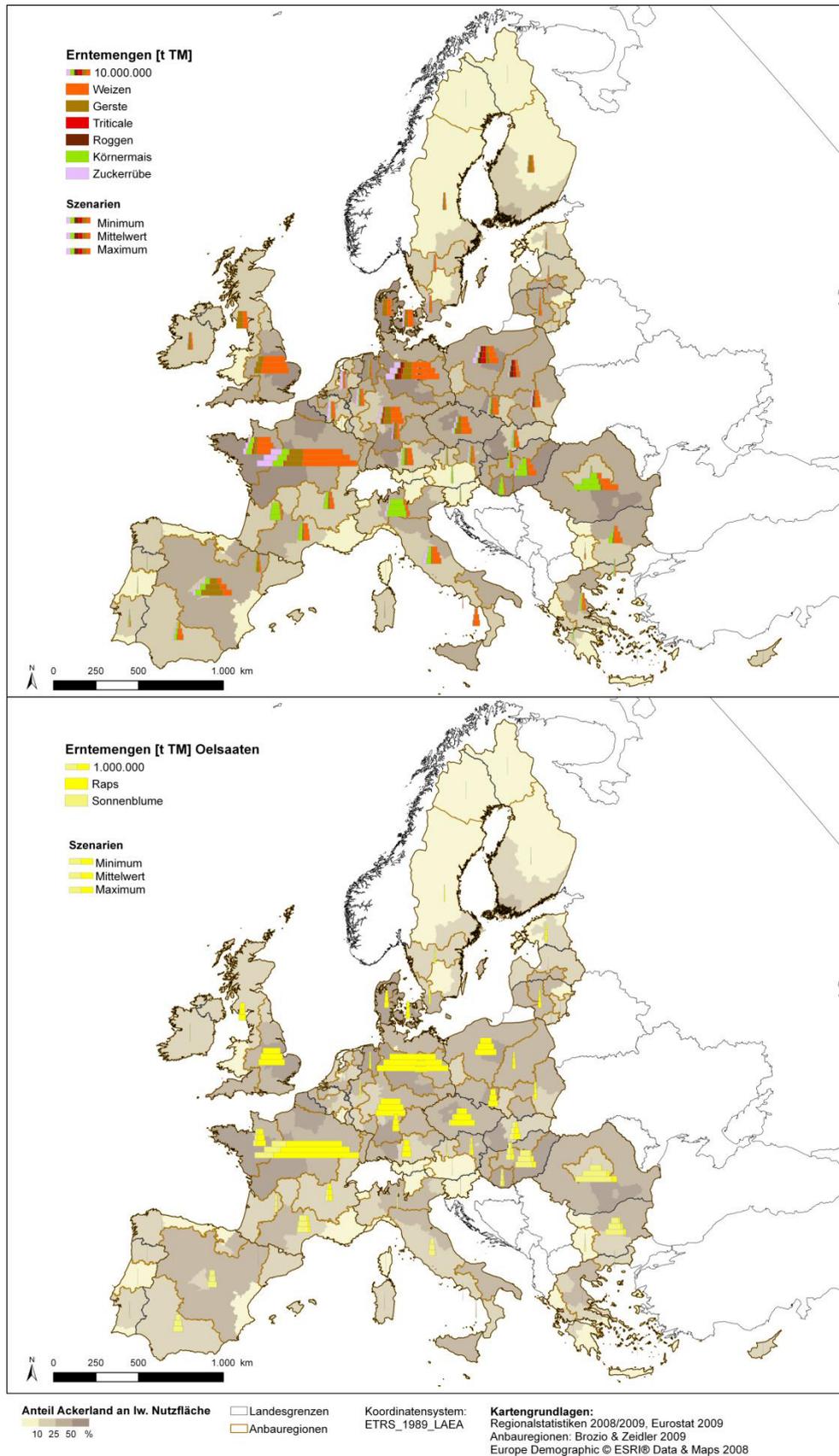


Abb. 83: Erntemengen ausgewählter Fruchtarten in den Anbauregionen der EU27-Staaten (nach BROZIO et al. 2010): oben: Getreidekorn, Zuckerrüben, unten: Ölsaaten (Raps und Sonnenblume).

Die landwirtschaftlichen Erzeugnisse werden in erster Linie zur Versorgung der Bevölkerung als Nahrungsmittel benötigt. Der verfügbare Anteil richtet sich daher vor allem nach der Einwohnerzahl. Ist die Bevölkerungsrate hoch, werden auch größere Mengen an Getreidekorn benötigt. Weiterhin ist auch die Versorgung der Viehbestände vorwiegend mit Mais und Getreide von Bedeutung. Daher werden auch die Futterbedarfe nach Kap. 2.2.3.2 berechnet. In der EU27 werden jährlich ca. 61 Mio. Tonnen Getreide als Nahrungsmittel und 160 Mio. Tonnen als Futtermittel benötigt. Für ein Szenario 2020 werden anhand von Bevölkerungsprognosen die derzeitigen mittleren Verbräuche auf die prognostizierten Einwohnerzahlen von 2020 hochgerechnet. Prognosen für die Nutztierhaltung gibt es nicht, die Verbrauchszahlen werden dafür übernommen.

Aus Ernte- und Verbrauchsmengen (Szenario a) ergeben sich in der Differenz verfügbare Restmengen, die potenziell für eine Bioenergieproduktion zur Verfügung steht (Tabelle 66).

Tabelle 66: Verbrauch und potenziell verfügbare Mengen der Fruchtarten der EU27 (nach BROZIO et al. 2010).

Anbaufrucht	Verbrauch (Szenario a) [1000 t Frischmasse]	Restmengen [1000 t Frischmasse]		
		Minimum	Mittelwert	Maximum
Weizen	114.670	0	13.278	42.733
Gerste	48.365	0	9.649	23.324
Triticale	9.566	0	0	1.339
Roggen	7.339	0	1.314	3.805
Körnermais	54.379	0	2.997	19.343
Zuckerrübe	108.257	0	22.859	44.322
Raps	5.629	4.537	8.101	11.811
Sonnenblume	5.985	0	0	1.520

Im Minimum-Szenario verbleiben durch das geringe Ertragsniveau für eine Bioenergienutzung keine verfügbaren Potenziale. Ausnahme bildet Raps, der heutzutage schon zu einem großen Teil für die Biodieselproduktion angebaut wird und daher selbst in Trockenjahren mit über 4,5 Mio. Tonnen in der EU27 verfügbar ist.

Im Mittelwert-Szenario werden knapp 58 Mio. Tonnen Biomasse (FM) als verfügbares Potenzial ausgewiesen. Davon entfallen 27,2 Mio. Tonnen auf Getreidekorn und 7,3 Mio. Tonnen auf ölhaltige Biomasse. Einen großen Anteil am Bioethanolpotenzial hat die Zuckerrübe.

3.5.2.2 Ertragssteigerung ausgewählter Fruchtarten in Europa

Ertragszuwächse werden nahezu ausschließlich bei Ackerkulturen im konventionellen Anbau und in wenigen Fällen bei Grünland beobachtet. Dies ist auf die Fortschritte in der Anbautechnik, Sortenentwicklung, im Pflanzenschutz- und Düngemittleinsatz und auf den Flächennutzungswandel (Ausdehnung des Ackerlandes zulasten des Grünlandes) zurückzuführen. Weltweit wird ein durchschnittlicher Ertragszuwachs von 1,5 % erwartet. Dieser steht einem wachsenden Bedarf von etwa 2 % gegenüber. Damit würde ab 2015, spätestens 2020, der Bedarf das Angebot überstiegen und durch Inanspruchnahme von brach liegenden Flächen und einer Erhöhung der Flächenproduktivität ausgeglichen werden (ZEDDIES 2006, PIORR 2010).

Das Zukunftsszenario „2020“ enthält eine regional differenzierte Ertragsprognose für das Jahr 2020 basierend auf den Anbauregionen und statistischen Ertragsdaten von 1987 bis 2007. Es wurden für die Hauptanbau-Fruchtarten Weizen, Gerste, Roggen, Raps, Körnermais sowie Zuckerrübe untersucht. Insgesamt standen 18.288 Datensätze zur Verfügung, wobei Datensätze mit weniger als 10 Einträgen pro Anbauregion und Fruchtart und außerhalb der Konfidenzintervalle (95 %) ausgeschlossen wurden. Für die übrigen 15.245 Datensätze wurden pro Fruchtart und Anbauregion Ertragsprognosen anhand linearer Regressionen für das Jahr 2020 erstellt (Anhang A-10). Die prozentualen Steigerungen werden zu Referenz-Mittelwert hinzugerechnet und ein Szenario „2020“ ausgegeben (Abb. 84).

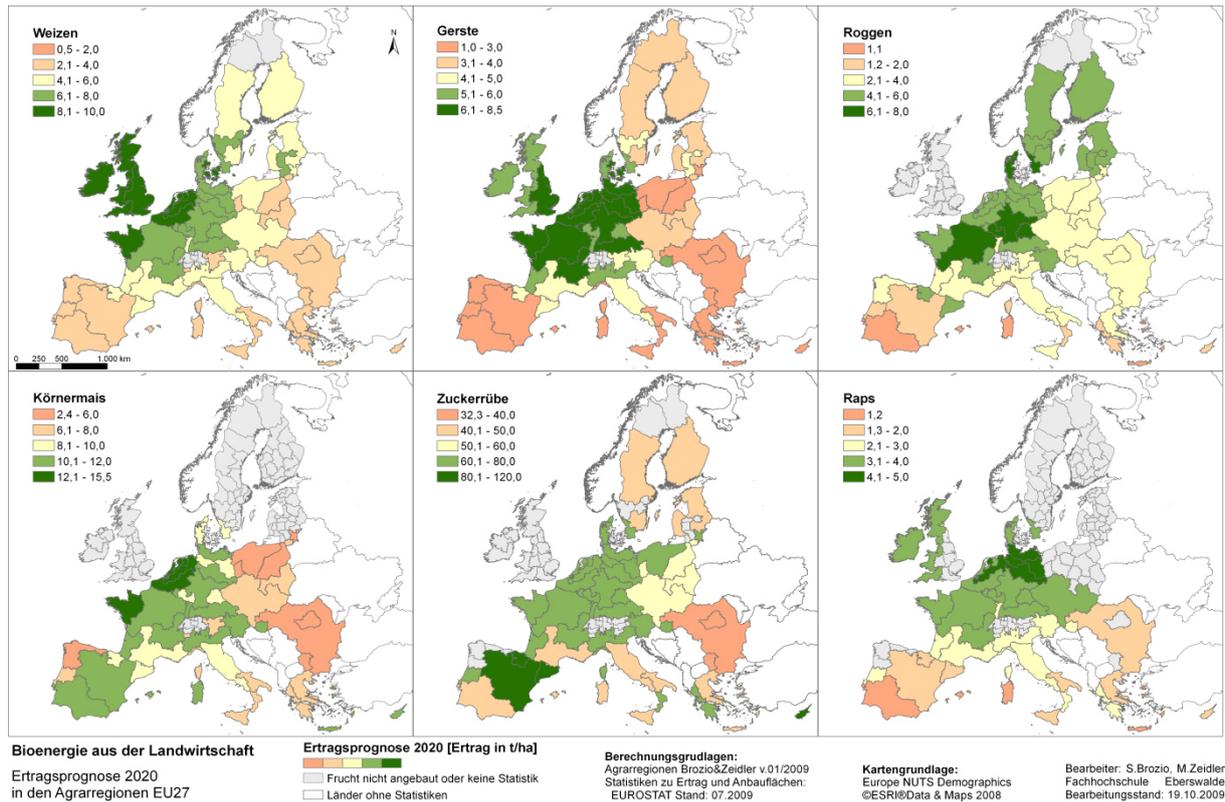


Abb. 84: Fruchtartsspezifische Erträge im Jahr 2020 in den Anbauregionen der EU27-Länder (nach BROZIO et al. 2010).

Die größten Ertragssteigerungen sind bei Körnermais und Zuckerrüben zu erwarten. Flächengewichtet über die Anbauanteile würden die Erträge in Europa durchschnittlich weniger als 1 % im Jahr steigen. Der geringste Ertragszuwachs ist bei Roggen zu erwarten (Tabelle 67).

Tabelle 67: Mittlere Ertragssteigerung der Feldfrüchte bis 2020 (nach BROZIO et al. 2010).

Anbauf Frucht	Ertrag 2000-2007 [t a ⁻¹]	Mittlerer Ertrag 2020 [t a ⁻¹]	Steigerung [t a ⁻¹]	Steigerung [%]	Steigerung pro Jahr [%]
Weizen	5,0	5,4	0,4	8,4	0,53
Gerste	4,2	4,4	0,3	6,0	0,38
Roggen	3,1	3,2	0,1	3,2	0,20
Körnermais	6,3	7,1	0,8	13,2	0,83
Zuckerrübe	56,9	65,2	8,3	14,6	0,91
Raps	2,9	3,3	0,4	12,2	0,77

3.5.2.3 Biokraftstoff-Potenziale in Europa

Die verfügbaren Erntemengen werden in potenzielle Biokraftstoffmengen nach Kap. 2.2.4 umgerechnet. Neben der verfügbaren Erntemenge in Trockenmasse werden die potenziellen Biokraftstoffmengen angegeben (Abb. 85, Tabelle 68 und Tabelle 69).

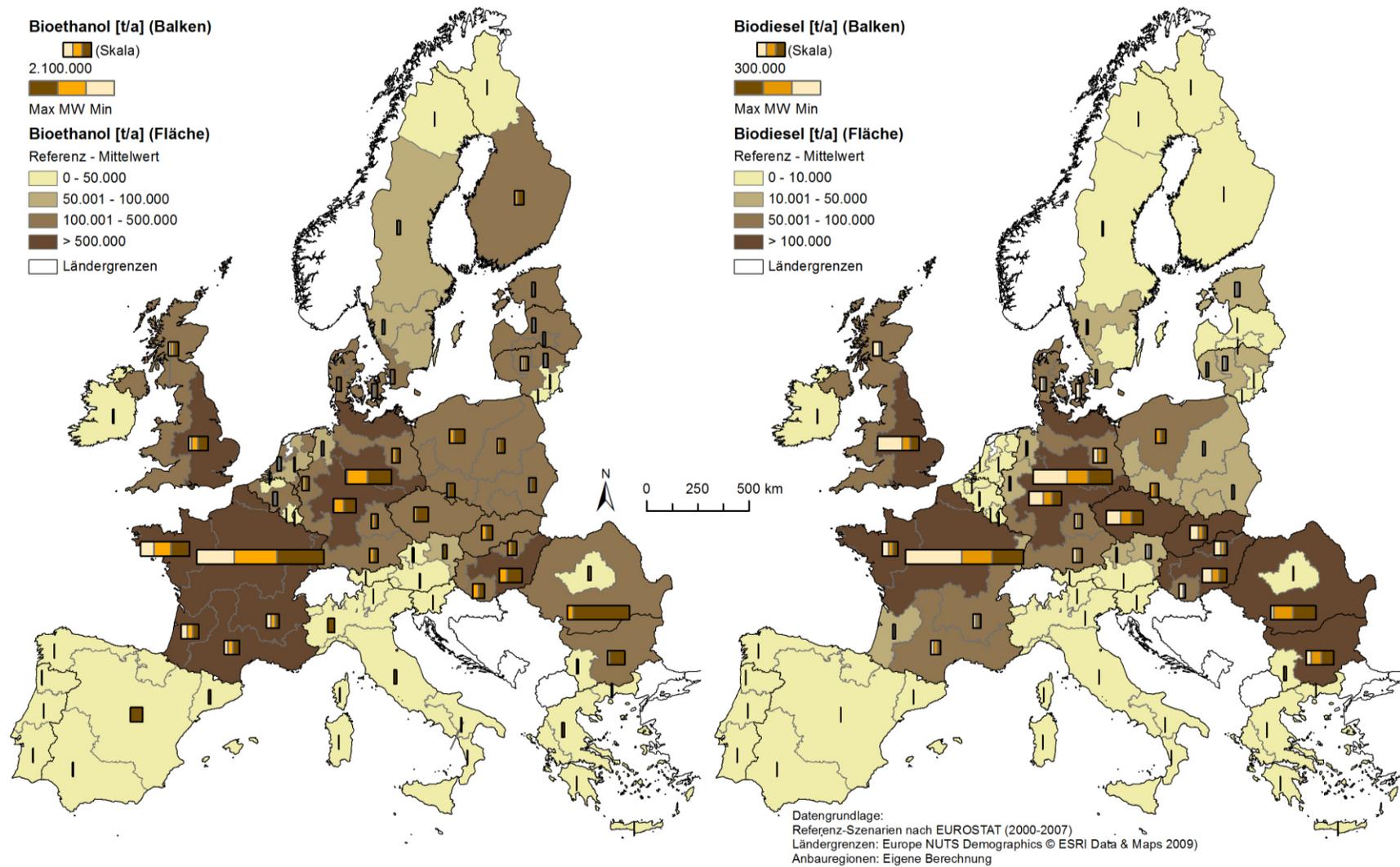


Abb. 85: Referenz-Szenario: Biokraftstoff-Potenziale von Bioethanol (aus Getreidekorn und Zuckerrübe) und Biodiesel (aus Raps und Sonnenblume) in den Anbauregionen der EU27-Länder – Referenz Mittelwert (Flächen), Referenz Minimum, Mittelwert, Maximum (Balken) (nach BROZIO et al. 2010).

Daraus ergibt sich eine Energiemenge in Petajoule², welche dem Äquivalent des verbrauchten fossilen Kraftstoffs gegenübergestellt ist. Die potenzielle Menge wird in 1.000 t und in einem Beimischungsanteil in Prozent angegeben. In den EU27-Ländern wäre demnach eine mittlere Beimischungsquote von 7,1 % (Bioethanol = 5,9 % + Biodiesel = 1,2 %) unter Berücksichtigung derzeitiger landwirtschaftlicher Strukturen realistisch (Tabelle 68).

Durch Ertragssteigerungen ist basierend auf Getreidekorn und Zuckerrübe eine Bioethanol/Benzin-Beimischungsquote von 17 % im Jahr 2020 bei mittleren Anbauflächenverhältnissen möglich. Die Beimischungsziele 2020 von Biodiesel sind hingegen auf der Basis heimischer landwirtschaftlicher Produktion unter den gegenwärtigen Anbauverhältnissen schwer zu erreichen.

Unter Einbeziehung der internationalen Handelsbeziehungen lassen sich im Vergleich zum Mittleren Referenzszenario geringere Bioethanol-Potenziale erkennen, da aus dem europäischen Raum der Export an Getreide überwiegt. Das Potenzial sinkt von 4,8 % auf 3,8 %. Auch die Zuckerrübe weist ein geringeres Potenzial von 0,6 % auf.

Der Import von Rapsamen in den europäischen Raum übersteigt leicht die Exportmenge, sodass die Biodieselpotenziale leicht zunehmen, was sich in der Änderung einer potenziellen Beimischungsquote allerdings nicht widerspiegelt.

Tabelle 68: Referenz-Szenario: Bioethanol-Potenziale in der EU27 (nach BROZIO et al. 2010).

Input	Szenario	Verfügbare Trockenmasse [1.000t TM]	Bioethanol		Benzin	
			Menge [1.000t]	Energie [PJ]	Äquivalent [1.000t]	Anteil [%]
Getreide Korn	Minimum	0	0	0,0	0	0,0
	Mittelwert	23.425	7.760	207,4	4.788	4,8
	Maximum	77.869	25.735	687,7	15.881	15,7
	2020	59.187	19.541	522,2	12.058	14,4
	Handel	18.914	6.180	165,2	3.813	3,8
Zuckerrübe	Minimum	0	0	0,0	0	0,0
	Mittelwert	4.707	1.740	46,5	1.073	1,1
	Maximum	10.194	3.767	100,7	2.325	2,3
	2020	9.475	3.502	93,6	2.161	2,6
	Handel	2.556	945	25,2	583	0,6

Tabelle 69: Referenz-Szenario: Biodiesel-Potenziale in der EU27 (nach BROZIO et al. 2010)..

Input	Szenario	Verfügbare Trockenmasse [1.000t]	Biodiesel		Diesel	
			Menge [1.000t]	Energie [PJ]	Äquivalent [1.000t]	Anteil [%]
Raps	Minimum	4.129	1.429	52,2	1.212	0,6
	Mittelwert	7.372	2.552	93,2	2.164	1,2
	Maximum	10.748	3.721	135,8	3.155	1,7
	2020	9.295	3.218	117,5	2.728	1,4
	Handel	7.467	2.585	94,4	2.192	1,2
Sonnenblume	Minimum	0	0	0,0	0	0,0
	Mittelwert	0	0	0,0	0	0,0
	Maximum	1.383	561	20,5	476	0,3
	2020	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Handel	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

n.b. = aufgrund geringer Datenbasis und Datenlücken nicht berechnet

² (1 PJ = 1.000.000.000 MJ)

3.5.3 Szenario 1: Referenz-Szenario für Biogaspotenziale in Europa

Basierend auf den Viehbestandsdaten 2010 (EUROSTAT 2013) wurden die Biogaspotenziale ermittelt. Dabei wurden die Tierarten und deren Altersgruppen, deren potenzielle Gülle- und Festmistmengen nach BURTON & TURNER (2010: Table 2.13; S. 39) und die Haltungsformen nach LEIP et al. (2010) berücksichtigt. Die Gülle- (Rind, Schwein) und Festmistmengen (Rind, Geflügel) wurden nach Kap. 2.2.4 in Biogaspotenziale umgerechnet (Tabelle 70, Abb. 86).

Tabelle 70: Referenz-Szenario: Biogas-Potenziale der Länder in EU27 basierend auf den Tierbestandsdaten 2010 (nach EUROSTAT 2013) differenziert nach Gülle (Rind + Schwein) und Festmist (Rind + Geflügel):
 Potenziell installierbare Leistung bzw. Anzahl an Biogasanlagen sowie deren energetischer Anteil am Stromverbrauch 2011, eigene Berechnung.

Land	Theoretisch installierbare elektrische Leistung [kW _{el} a ⁻¹] (Laufzeit: 8000 h a ⁻¹)		Potenzielle Anzahl von Biogasanlagen (Standard 500 kW _{el})	Anteil am Stromverbrauch 2011 (Energetischer Endverbrauch nach EUROSTAT 2013c)	
	aus Gülle	aus Festmist		... Gesamt [%]	... in Haushalten [%]
AT	83.657	153.727	475	3,1	10,7
BE	162.295	189.931	704	3,5	14,6
BG	18.159	76.231	189	2,7	6,9
CY	5.609	6.777	25	2,1	5,8
CZ	45.019	141.819	374	2,6	10,5
DE	1.090.378	495.973	3.173	2,4	9,3
DK	241.939	82.939	650	8,3	25,7
EE	9.704	21.503	62	3,8	12,9
EL	36.638	80.441	234	1,8	5,3
ES	252.998	741.103	1.988	3,3	10,7
FI	37.249	70.604	216	1,1	4,0
FR	615.611	1.551.764	4.335	4,1	11,7
HU	42.611	105.857	297	3,4	10,5
IE	405.058	145.064	1.100	17,7	53,1
IT	304.918	575.911	1.762	2,3	10,0
LT	44.253	51.820	192	9,0	29,4
LU	8.893	9.240	36	2,2	17,2
LV	4.057	47.916	104	6,7	23,5
MT	984	3.037	8	1,8	5,4
NL	483.515	147.258	1.262	4,7	21,3
PL	176.261	708.143	1.769	5,8	25,0
PT	39.036	163.395	405	3,3	11,8
RO	128.134	285.677	828	7,8	28,6
SE	64.461	103.092	335	1,1	3,7
SI	23.850	25.699	99	3,1	12,3
SK	26.021	39.922	132	2,1	11,7
UK	287.182	814.904	2.204	2,8	7,9
Summe	4.638.489	6.839.745	22.956	3,3	11,4

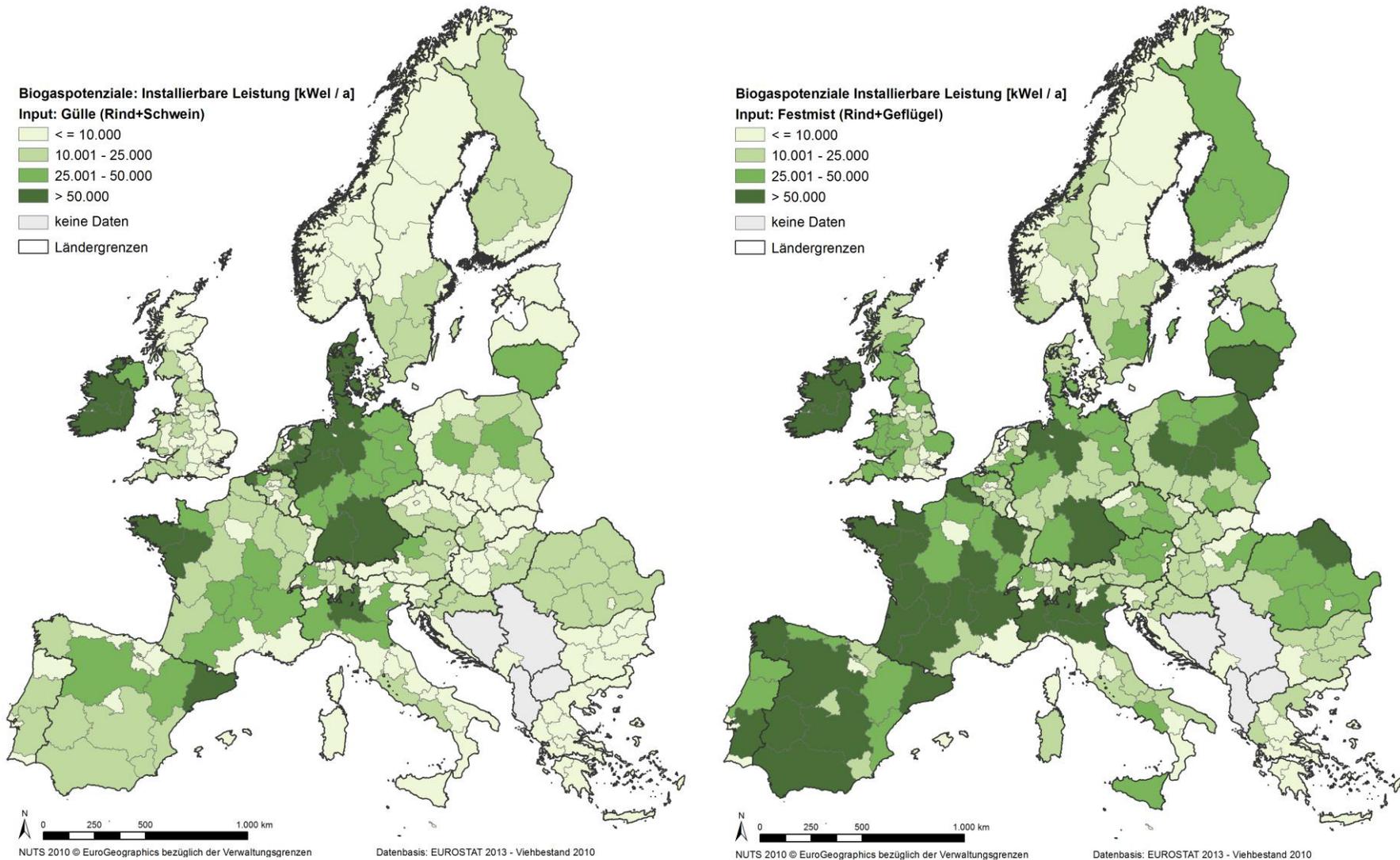


Abb. 86: Referenz-Szenario: Biogaspotenziale aus der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung nach EUROSTAT (2013) in den europäischen Ländern (NUTS2-Ebene): Potenziell installierbare Leistung [kW_{el} a⁻¹] basierend auf Gülle (links) und basierend auf Festmist (rechts) bei einer Laufzeit der Biogasanlagen von durchschnittlich 8000 Volllaststunden im Jahr, eigene Berechnung.

Insgesamt könnten in den EU27-Ländern bei einer durchschnittlichen Größe von 500 kW_{el} und einer Laufzeit der Biogasanlagen von 8000 Volllaststunden im Jahr in 22.956 Biogasanlagen basierend auf Gülle und Festmist jährlich 91,8 TWh (=330,6 PJ) erneuerbarer Strom produziert werden. Dabei hängen die Anteile der Inputstoffe vor allem von den in der Region üblichen Haltungsformen ab. Das Potenzial von Gülle liegt bei 4.639 MW_{el} (= 40,4 %) und von Festmist bei 6.840 MW_{el} (= 59,6 %).

Biogasanlagen sollten zur Erhöhung des Wirkungsgrades so ausgestattet sein, dass auch die Wärme genutzt wird. Geht man von einem Verhältnis von 1,0 kWh_{el} zu 1,6 kWh_{th} (ASUE 2010, S.11: Wirkungsgrad=35 % elektrisch ± 52 % thermisch) aus, würde sich das Biogaspotenzial durch Kraft-Wärmekopplung auf ca. 859,5 PJ erhöhen.

3.5.4 Szenario 2: Standort-Szenarien

Da die Potenzialanalyse auf der Grundlage von Geodaten durchgeführt wird, besteht die Möglichkeit regionalspezifische Analysen durchführen zu können. Außerdem können weitere naturräumliche Aspekte einfließen und so klimatische oder agrarökonomische Veränderungen modelliert werden. Das Szenario 1 (Referenz-Szenario) bildet mit den Basisdaten aus den Agrarstatistiken somit den Status-Quo ab, wird für die Validierung der Modellergebnisse eingesetzt und dient dem Vergleich mit den regional differenzierten Szenarien des Standort-Szenarios. Das Standort-Szenario hingegen kann unterschiedliche Szenarien von Niederschlägen, Humusbilanzen und Fruchtfolgevariationen enthalten (Abb. 87).

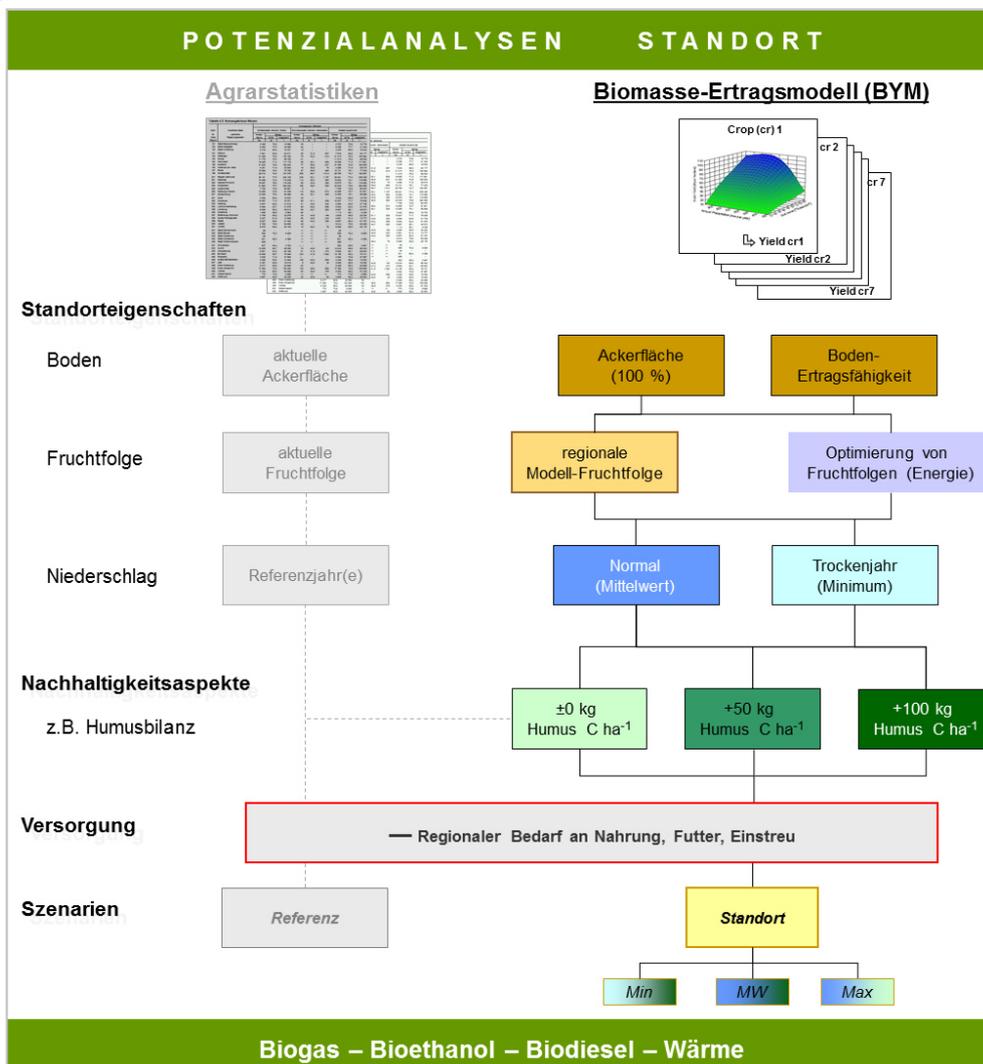
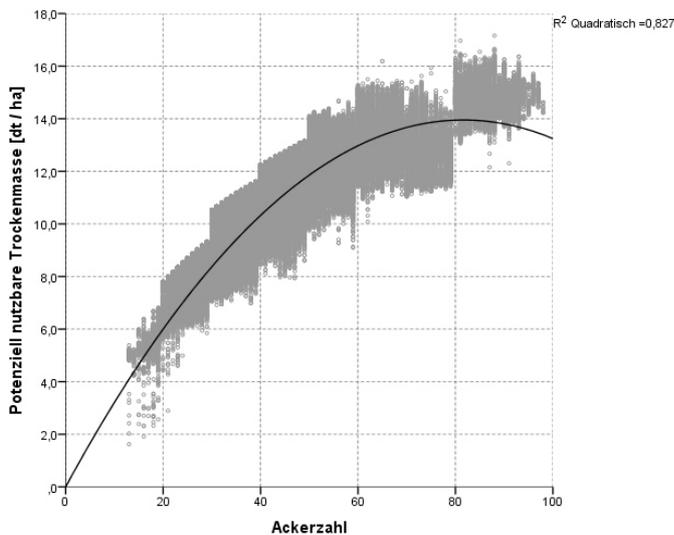


Abb. 87: Übersicht möglicher Standort-Szenarien, eigene Darstellung.

3.5.4.1 Jährlich nutzbare Trockenmasse

Die jährliche nutzbare Trockenmasse wird als Mittelwert über die gesamte Fruchtfolge bezogen auf den Hektar ausgegeben bzw. für eine Region als potenzielle Erntemenge in Tonnen ausgewiesen. Sie enthält die Erträge der Feldfrüchte und deren Koppelprodukte in 100 % Trockensubstanz. Inputvariablen wie die Indizes des Korn/Stroh-Verhältnisses können variiert werden, um Veränderungen der Anbauintensitäten wie bei der Applikation von Wachstumsregulatoren abzubilden. Veränderte Fruchtfolgen mit dem Ziel höherer Energieerträge bzw. die Integration von Naturschutzaspekten durch den Anbau extensiver Fruchtarten können analysiert werden. Das Modell reagiert auf entsprechende Veränderungen der Anbausysteme und der Ertragsfähigkeit der Standorte. Im Folgenden werden die Einflussfaktoren Niederschlag und Ackerzahl auf den Trockenmasse-Ertrag analysiert.

Insgesamt ergibt sich ein multiples R^2 zwischen Trockenmasse-Ertrag und den Standortparametern Niederschlag und Ackerzahl von 0,934 mit einem Vorhersagefehler von 0,066.



Die Abhängigkeit zur Ackerzahl verläuft als quadratische Funktion mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,827 (Abb. 88).

Abb. 88: Mittlerer konventioneller Trockenmasse-Ertrag pro Jahr in Ostdeutschland (Modellinput GEMDAT) im Vergleich zu Modellinputparameter Ackerzahl, eigene Berechnung.

Der Trockenmasse-Ertrag zeigt auch vom Niederschlag eine quadratische Abhängigkeit. Die Korrelationen sind hoch signifikant (Abb. 89, Tabelle 71).

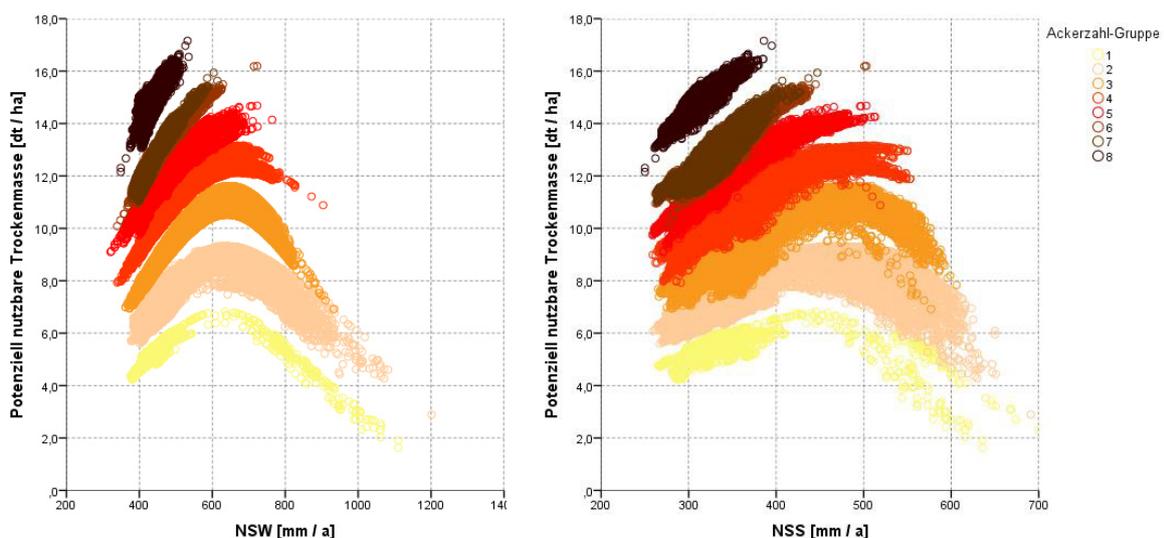


Abb. 89: Mittlerer konventioneller Trockenmasse-Ertrag pro Jahr in Ostdeutschland (Modellinput GEMDAT) im Vergleich zu Modellinputparameter Niederschlag (nach Fruchtartgruppen NSW (Winterfrüchte) und NSS (Sommerfrüchte) differenziert nach Ackerzahl-Gruppen, eigene Berechnung.

Tabelle 71: Bestimmtheitsmasse R^2 zur quadratischen Funktion von Niederschlag zum konventionellen Trockenmasse-Ertrag (TM dt ha⁻¹) je nach Ackerzahl-Gruppe, eigene Berechnung.

R ² zu TM dt ha ⁻¹	Ackerzahl-Gruppe							
	<20	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	>79
NSW	0,860	0,726	0,925	0,950	0,924	0,952	0,944	0,739
NSS	0,594	0,663	0,740	0,821	0,929	0,864	0,814	0,801

Jährlich nutzbare Trockenmasse: Theoretische Biomassepotenziale in Europa

Bei Annahme eines unteren Heizwertes der landwirtschaftlichen Biomasse von 14 MJ pro kg (HARTMANN & KALTSCHMITT 2002) kann aus der jährlich nutzbaren Trockenmasse eine theoretisch nutzbare Energiemenge ermittelt werden. (Tabelle 72).

Tabelle 72: Standort-Szenarien: Theoretisch nutzbare Trockenmasse in den Modellregionen im konventionellen Anbau basierend auf unterschiedlichen Bodendaten (mittlerer Niederschlag / 100% der Ackerfläche) eigene Berechnung nach HARTMANN & KALTSCHMITT (2002).

Region		BAR + UM	BB	Ost-DE	DE	EU
		Theoretisch nutzbare Trockenmasse in 100% Trockensubstanz pro Hektar und Jahr				
Modellinput	InVeKoS 12 DIBOS	9,39				
	/ Modell-FF BÜK300	7,02	7,10			
	CLC 00-06 GEMDAT	8,81	8,26	10,36		
/ FF AR	BÜK1000	9,52	8,91	10,57	11,46	
	Bodenzahl EU	8,00	7,73	8,57	9,61	9,33
Theoretisch nutzbare Trockenmasse in 1.000 Tonnen pro Jahr						
	InVeKoS 12 DIBOS	1.740				
	/ Modell-FF BÜK300	1.287	6.712			
	CLC 00-06 GEMDAT	2.015	10.728	58.961		
/ FF AR	BÜK1000	1.948	9.453	53.036	143.501	
	Bodenzahl EU	1.814	9.973	48.219	159.462	1.343.762
Theoretisches Bioenergiepotenzial in Petajoule (PJ) pro Jahr						
	InVeKoS 12 DIBOS	24,4				
	/ Modell-FF BÜK300	18,0	94,0			
	CLC 00-06 GEMDAT	28,2	150,2	825,5		
/ FF AR	BÜK1000	27,3	132,3	742,5	2.009,0	
	Bodenzahl EU	25,4	139,6	675,1	2.232,5	18.813

Da im Modell nicht alle in Europa angebaute Feldfrüchte integriert werden, ist es notwendig, die erfasste modellierte Anbaufläche zu berücksichtigen. Die CORINE-Ackerflächen von 144 Mio. ha reduzieren sich im Modell auf 95,8 Mio. ha. Vor allem in südlichen Ländern sind die Anteile von nicht berücksichtigten Feldfrüchten (u.a. durch höhere Anteile von Gemüseanbau, Oliven, Baumwolle, Stilllegungen) sehr hoch (Abb. 90). Diese Anteile bleiben unverändert.

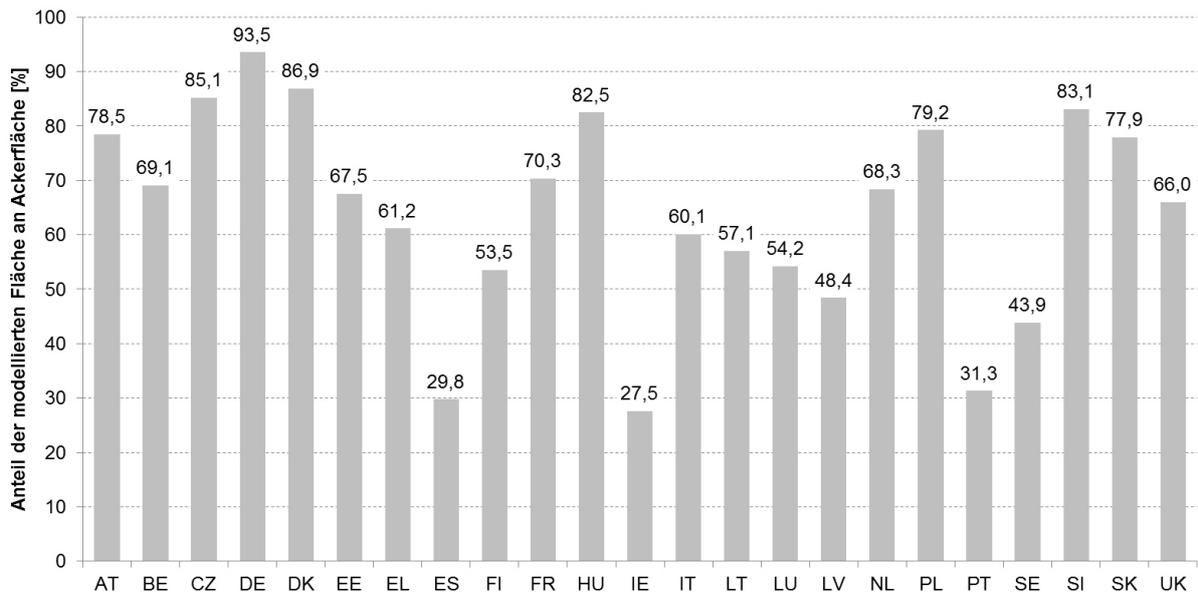


Abb. 90: Anteil der modellierten Ackerfläche an der CORINE-Ackerfläche in den untersuchten Ländern, eigene Berechnung.

Die flächenkorrigierten theoretischen Biomassepotenziale für Europa sind in Abb. 91 und Tabelle 73 aufgeführt. Darin wurden das Szenario „mittlerer Niederschlag“ und eine Differenzierung nach den Bewirtschaftungsintensitäten konventionell und ökologisch errechnet.

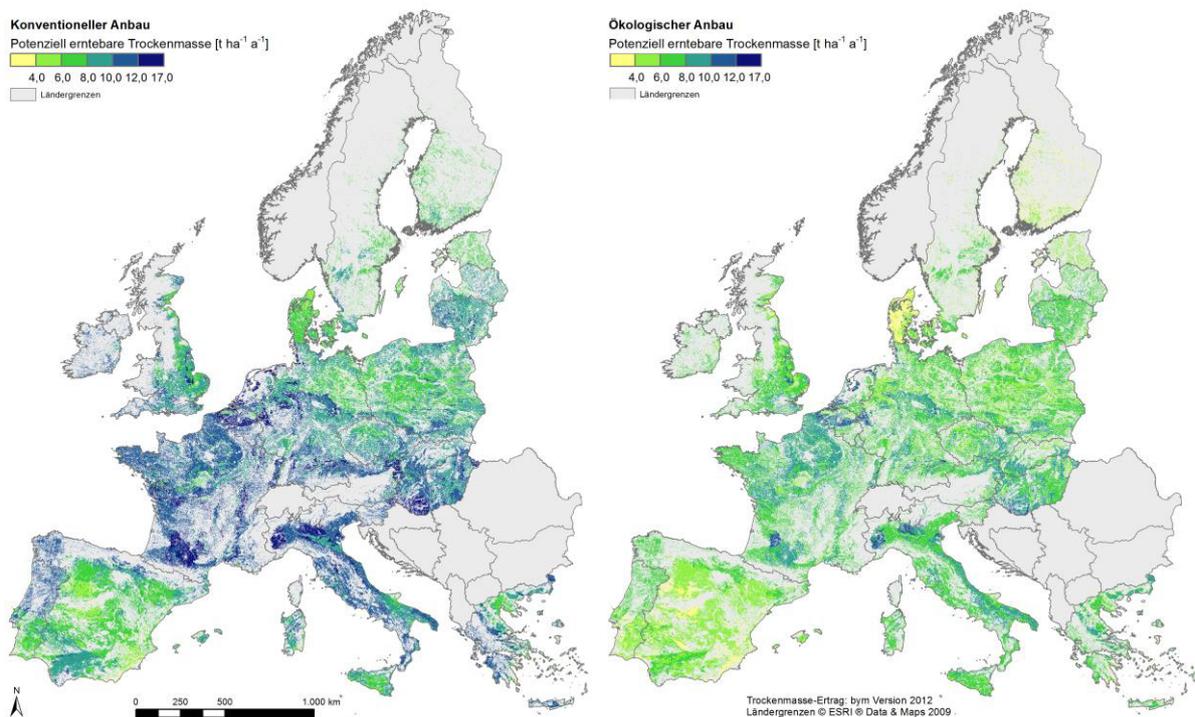


Abb. 91: Nutzbare Trockenmasse der europäischen Länder bei unterschiedlichen Anbauintensitäten: Karte links - 100 % konventionelle Bewirtschaftung, Karte rechts - 100 % ökologische Bewirtschaftung, eigene Berechnung.

Unter Berücksichtigung der modellierten Flächen liegen die jährlichen Trockenmasse-Erträge in Europa im Mittel bei 9,32 Tonnen pro Hektar. 12.501 PJ können auf 95,8 Mio. ha Ackerfläche jährlich

bei konventioneller Bewirtschaftung und mittleren Jahresniederschlägen erzeugt werden. Dies entspricht einer jährlichen Bindung von 1.786 Mio. Tonnen Kohlendioxid, demgegenüber beliefen sich die Emissionen 2010 in der EU27 auf 4.721 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente (EUROSTAT 2012). Im Durchschnitt liegt die CO₂-Bindung bei 12,4 t CO₂ pro Hektar und Jahr (Abb. 91), was im Bereich der Einschätzungen von SCHWEIGER (2004) liegt.

Bei Annahme eines flächendeckenden ökologischen Anbaus und bei gleichen Anbauverhältnissen (klimatische Voraussetzungen, Bodenparameter und Fruchtfolge) aber unter geringerer Anbauintensität verringern sich die theoretischen potenziellen Trockenmasse-Erträge um 27,5 % auf 6,8 Tonnen pro Hektar. Bei flächendeckendem ökologischem Anbau würden demzufolge in den betrachteten Ländern Europas 9.061 PJ erzielt, was einer Bindung von 1.294 Mio. Tonnen Kohlendioxid entspräche.

Tabelle 73: Theoretisch nutzbare Trockenmasse in den untersuchten Ländern Europas im Standort-Szenario „Mittlere Niederschlagsmenge“ auf der Anbaufläche der modellierten Feldfrüchte, eigene Berechnung.

Land	Modell-Ackerfläche		Theoretisch nutzbare Potenziale (1.000 t TM a ⁻¹)		Theoretisches Bioenergiepotenzial (PJ a ⁻¹)	
	[1.000 ha]	Anteil [%]	konventionell	ökologisch	konventionell	ökologisch
AT Österreich	1.539	78,5	16.634	11.640	233	163
BE Belgien	968	69,1	11.929	8.340	167	117
CZ Tschechische Republik	3.229	85,1	29.826	23.009	418	322
DE Deutschland	15.521	93,5	149.138	111.648	2.088	1.563
DK Dänemark	2.471	86,9	16.238	11.136	227	156
EE Estland	755	67,5	4.943	3.638	69	51
EL Griechenland	14.114	61,2	107.635	20.174	1.507	282
ES Spanien	807	29,8	5.541	37.269	78	522
FI Finnland	12.677	53,5	139.644	6.339	1.955	89
FR Frankreich	3.248	70,3	30.190	129.011	423	1.806
HU Ungarn	4.548	82,5	48.177	36.246	674	507
IE Irland	273	27,5	2.857	1.873	40	26
IT Italien	8.872	60,1	92.703	67.177	1.298	940
LT Litauen	2.007	57,1	18.995	14.501	266	203
LU Luxemburg	56	54,2	601	431	8	6
LV Lettland	932	48,4	8.398	6.297	118	88
NL Niederlande	868	68,3	9.996	7.008	140	98
PL Polen	13.282	79,2	110.929	87.246	1.553	1.221
PT Portugal	1.276	31,3	11.278	7.513	158	105
SE Schweden	1.510	43,9	11.775	8.629	165	121
SI Slowenien	455	83,1	5.059	3.374	71	47
SK Slowakische Republik	1.632	77,9	16.597	12.030	232	168
UK Großbritannien	4.755	66,0	43.869	32.695	614	458
Summe*	95.794	62,6	892.952	647.222	12.501	9.061

*: entspricht EU27 ohne BG, CY, MT, RO (keine Bodendaten).

Bei Annahme einer Nutzung von nur 10 % des jährlichen Aufwuchses an pflanzlicher Biomasse für energetische Zwecke würde das Potenzial bei 1.250 PJ liegen, bei einer ökologischen Bewirtschaftung fällt das Potenzial mit 906 PJ geringer aus. Dieses theoretische Biomasse-Potenzial wird jedoch vorwiegend in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie benötigt. Regional werden allerdings Überschüsse produziert, die als Bioenergierohstoffe verwendet werden können. Im Folgenden werden die Potenziale von Biokraftstoff-, Biogas und von landwirtschaftlichen Reststoffen näher erläutert.

3.5.4.2 Standort-Szenario: Biokraftstoff-Potenziale

Das Biokraftstoffpotenzial setzt sich zusammen aus

- den Bioethanol-Potenzialen aus Winterroggen, Winterweizen, Wintergerste, Triticale, Zuckerrübe und Körnermais bzw.
- den Biodieselpotenzialen aus Winterraps und Sonnenblume.

Über das Verbrauchsszenario wird der für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion sowie zur Saatgutproduktion benötigte Anteil vom theoretischen Potenzial abgezogen (Verbrauchsszenario c). Die Restmengen werden über die jeweiligen Energieinhalte in Biokraftstoff umgerechnet und ein technisches Biokraftstoffpotenzial ermittelt.

Biokraftstoff-Potenziale in Deutschland

Die Berechnung der Biokraftstoffpotenziale in Deutschland erfolgt auf der Basis der konventionellen Biomassepotenziale (Bodendaten: BÜK1000; Fruchtfolge-Modul 2011, Ertragsfunktionen Version II 2012-Deutschland) mit folgenden Szenarien:

- Anbauintensität: 100 % konventioneller Anbau,
- mittlerer (Normaljahr) Niederschlag aus 2005 bis 2010 (fruchtartgruppenspezifische Zeiträume),
- minimaler (Trockenjahr) Niederschlag aus 2005 bis 2010 (fruchtartgruppenspezifische Zeiträume),
- Verbrauchsanalyse nach Produktionsschwerpunkten (Verbrauchsszenario c).

Es stehen bei mittleren Niederschlägen potenziell ca. 15 Mio. Tonnen Getreidekorn, rund 32 % der Erntemengen, für die Bioenergieerzeugung bzw. Bioethanolproduktion zur Verfügung, während in Trockenjahren die potenzielle Erntemenge auf 4,8 Mio. t Getreide sinkt (Abb. 92), wobei bei heutigen Anbauverhältnissen (Fruchtfolgen) vor allem in der Bioethanolproduktion aus Weizen ein Potenzial gesehen werden kann. Hinzu kommen 5 % der potenziellen Zuckerrübenrente bei mittleren Niederschlägen. In Jahren mit Dürreperioden übersteigt in Deutschland die potenzielle Erntemenge der Zuckerrübe die Verbräuche.

Aus den potenziellen Restmengen von Getreidekorn und Zuckerrüben können in Jahren mit durchschnittlichen Niederschlägen 5,1 Mio. t Bioethanol produziert werden, was einem Anteil des mittleren Ottokraftstoffverbrauchs im Straßenverkehr von 13,84 % in Deutschland entspricht (mittlerer Verbrauch 2001-2010: 22,8 Mio. t Ottokraftstoff nach EUROSTAT (2012a)). Das Biokraftstoffpotenzial sinkt infolge der Ertragsdepression im „Trocken-Szenario“ auf 1,7 Mio. t Bioethanol, was einer Substitutionsrate von 4,51 % Ottokraftstoff entspricht.

Potenziell können 5,76 Mio. t Rapssaat (ca. 78 % der jährlichen Produktion) in der Rapsöl- und Biodieselproduktion umgesetzt und damit 1,8 Mio. t Biodiesel erzeugt. Das technische Kraftstoffpotenzial in Deutschland kann im Vergleich zum mittleren Kraftstoffverbrauch 2001-2010 im Straßenverkehr (nach EUROSTAT (2012a): 25,5 Mio. t Diesel) eine mögliche Substitution von 6,05 % Diesel erreichen. In Trockenjahren kann es zu Ertragsdepressionen kommen, das Potenzial sinkt auf eine Substitutionsrate von 4,46 % Diesel (Abb. 93). Raps wird derzeit schon zu einem großen Teil industriell zur Biodiesel- und Rapsölherstellung verwendet.

Die Modellergebnisse von Deutschland sind in Abb. 92 und Abb. 93 dargestellt, die daraus resultierenden Biokraftstoff-Szenarien in Tabelle 74 (Bioethanol-Potenziale) und Tabelle 75 (Biodieselpotenziale) pro Bundesland aufgeführt.

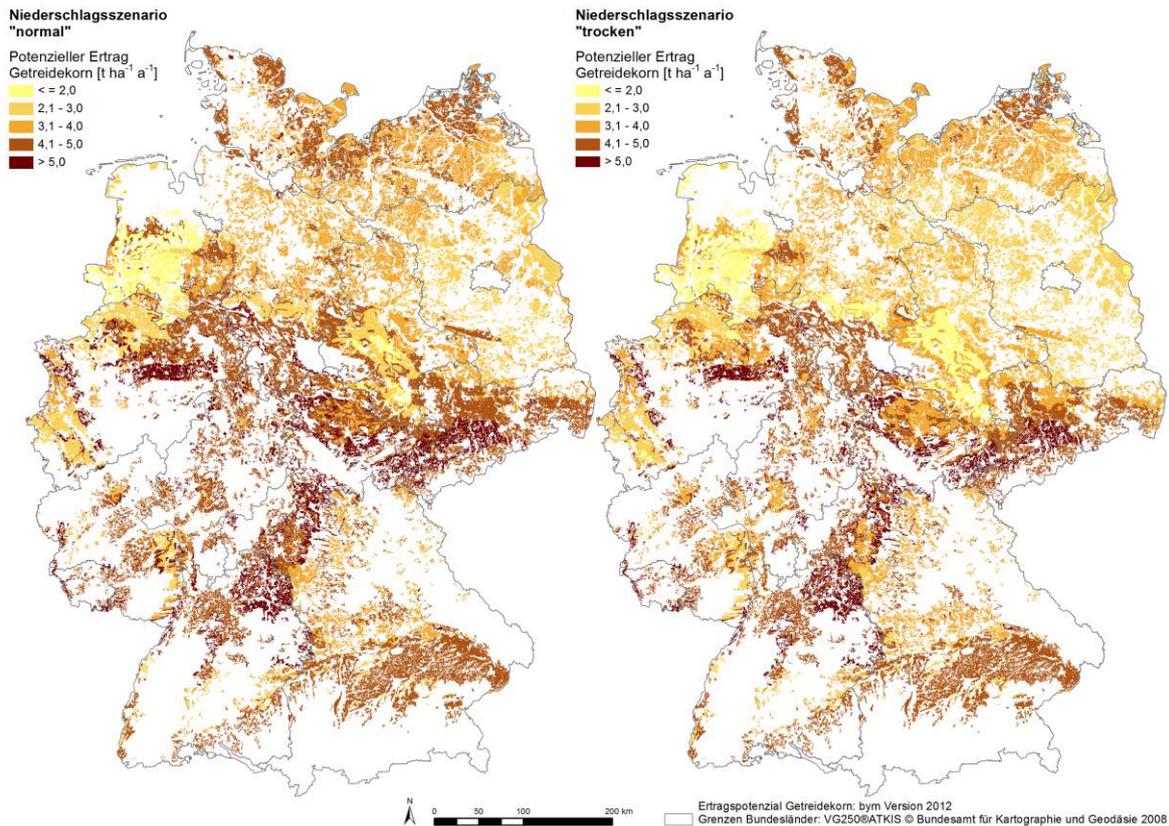


Abb. 92: Potenziell mittlerer Ertrag von Getreidekorn in Deutschland (100 % konventioneller Anbau) in unterschiedlichen Niederschlagsszenarien: links - „normal“ (mittlerer Niederschlag), rechts - „trocken“ (minimaler Niederschlag), eigene Berechnung.

Tabelle 74: Bioethanol-Potenzial der Bundesländer Deutschlands im konventionellen Anbau Niederschlagsszenarien / Verfügbarkeit nach Verbrauchsszenario c, eigene Berechnung.

Szenario	Bioethanol [1000 t a ⁻¹]		Benzin-Äquivalente [1000 t a ⁻¹]		Energie [PJ]	
	normal	trocken	normal	trocken	normal	trocken
Baden-Württemberg	310,1	122,2	191,4	75,4	8,3	3,3
Bayern	645,6	247,4	398,4	152,7	17,2	6,6
Berlin	0,8	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0
Brandenburg	308,1	58,2	190,1	35,9	8,2	1,6
Bremen	0,4	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0
Hamburg	2,8	0,8	1,7	0,5	0,1	0,0
Hessen	198,7	74,7	122,6	46,1	5,3	2,0
Mecklenburg-Vorpommern	421,9	127,2	260,3	78,5	11,2	3,4
Niedersachsen	593,6	138,1	366,3	85,2	15,8	3,7
Nordrhein-Westfalen	456,1	152,7	281,4	94,2	12,2	4,1
Rheinland-Pfalz	152,9	54,0	94,4	33,3	4,1	1,4
Saarland	18,4	6,8	11,4	4,2	0,5	0,2
Sachsen	397,8	153,8	245,5	94,9	10,6	4,1
Sachsen-Anhalt	353,7	109,7	218,3	67,7	9,4	2,9
Schleswig-Holstein	232,3	72,9	143,4	45,0	6,2	1,9
Thüringen	305,6	113,6	188,6	70,1	8,1	3,0
Deutschland	4.398,8	1.432,2	2714,4	883,8	117,3	38,2

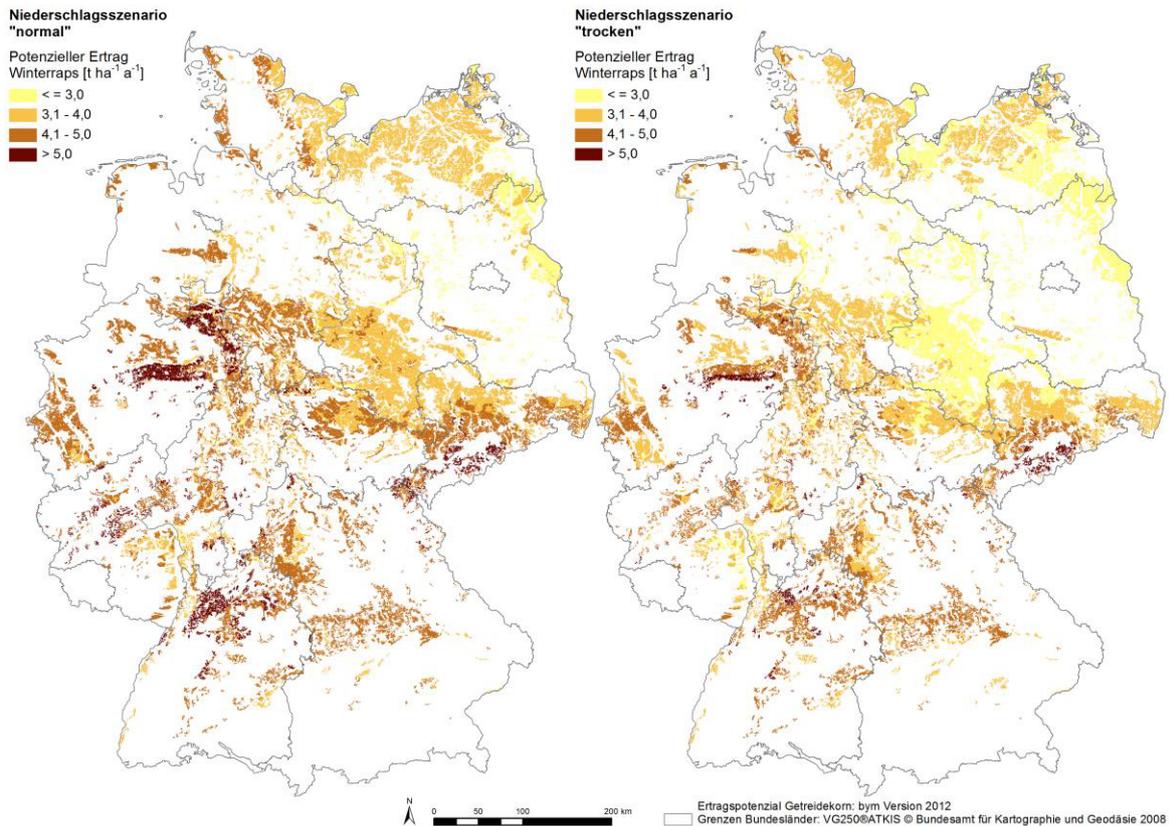


Abb. 93: Potenzieller Ertrag von Winterraps in Deutschland (100 % konventioneller Anbau) in unterschiedlichen Niederschlagsszenarien: links - „normal“ (mittlerer Niederschlag), rechts - „trocken“ (minimaler Niederschlag), eigene Berechnung.

Tabelle 75: Biodiesel-Potenzial der Bundesländer Deutschlands im konventionellen Anbau Niederschlagsszenarien / Verfügbarkeit nach Verbrauchsszenario c, eigene Berechnung.

Szenario	Biodiesel [1000 t a ⁻¹]		Diesel-Äquivalente [1000 t a ⁻¹]		Energie [PJ]	
	normal	trocken	normal	trocken	normal	trocken
Baden-Württemberg	128,1	102,3	108,6	86,7	4,67	3,73
Bayern	147,5	117,3	125,1	99,5	5,39	4,28
Berlin	0,1	0,0	0,1	0,0	0,00	0,00
Brandenburg	90,6	59,3	76,8	50,3	3,31	2,16
Bremen	0,2	0,1	0,2	0,1	0,01	0,01
Hamburg	1,2	0,9	1,0	0,8	0,04	0,03
Hessen	114,1	87,6	96,8	74,3	4,16	3,20
Mecklenburg-Vorpommern	196,3	146,3	166,5	124,0	7,17	5,34
Niedersachsen	226,6	164,3	192,1	139,3	8,27	6,00
Nordrhein-Westfalen	182,6	138,0	154,9	117,0	6,67	5,04
Rheinland-Pfalz	73,6	54,7	62,4	46,4	2,69	2,00
Saarland	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
Sachsen	208,6	158,1	176,9	134,1	7,61	5,77
Sachsen-Anhalt	218,3	139,1	185,1	118,0	7,97	5,08
Schleswig-Holstein	114,9	87,9	97,4	74,5	4,19	3,21
Thüringen	111,8	81,3	94,8	69,0	4,08	2,97
Deutschland	1.814,5	1.337,3	1.538,6	1.134,0	66,23	48,82

Biokraftstoff-Potenziale in Europa

Die Berechnung des Biokraftstoffpotenzials in Europa erfolgt auf der Basis der konventionellen Biomassepotenziale (Bodendaten: EU; Fruchtfolge-Modul 2011, Ertragsfunktionen Version II 2012-Europa) mit folgenden Szenarien:

- Anbauintensität: 100 % konventioneller Anbau,
- mittlerer (Normaljahr) Niederschlag aus 2005 bis 2010 (fruchtartgruppenspezifische Zeiträume),
- Bedarfsanalyse nach Produktionsschwerpunkten (Verbrauchsszenario c),
- unter Berücksichtigung der modellierten Flächenanteilen (Tabelle 73).

Zu beachten ist in der Modellierung der europäischen Biomassepotenziale, dass nur ein Teil der Ackerfläche modelliert wird und weitere Fruchtarten für eine Bioenergieproduktion genutzt werden können. Zusätzlich zu den in Deutschland vorwiegend genutzten Getreidearten Weizen, Roggen kommt als potenzielle Frucht für die Bioethanolproduktion in Europa auch der Körnermais infrage. Für die Biodieselproduktion kann auch Sonnenblume genutzt werden. Oliven und Baumwollsaat bzw. deren Reststoffe aus der Verarbeitung gehen nicht in die Betrachtung ein, da sie bisher noch nicht im Modell integriert wurden.

Tabelle 76: Biokraftstoffpotenziale in den untersuchten Ländern Europas (100% konventioneller Anbau) auf den modellierten Anbauflächen bei durchschnittlichen Niederschlägen (Szenario „normal“), Verbrauchsszenario c, eigene Berechnung.

	Biokraftstoff [1000 t a ⁻¹]		Äquivalente [1000 t a ⁻¹]		Potenzielle Substitution [%]	
	Bioethanol	Biodiesel	Ottokraftstoff	Diesel	Ottokraftstoff	Diesel
AT	1.033	155	638	131	32,81	2,60
BE	47	52	29	44	1,72	0,71
CZ	2.215	525	1.367	445	68,63	14,91
DE	6.683	1.931	4.124	1.638	18,08	6,44
DK	36	116	22	99	1,25	4,70
EE	445	78	275	66	91,05	19,27
EL	2.647	165	1.633	140	43,11	6,46
ES	1.475	479	910	406	12,99	1,82
FI	482	0	297	0	18,03	0,00
FR	14.928	2.657	9.212	2.253	91,32	7,59
HU	3.553	977	2.193	828	151,45	38,35
IE	60	54	37	46	2,26	2,09
IT	7.188	654	4.435	554	33,83	2,55
LT	1.867	218	1.152	185	324,35	26,20
LU	18	12	11	11	2,39	0,68
LV	874	100	539	85	156,71	15,71
NL	1	0	1	0	0,02	0,00
PL	7.096	866	4.379	734	107,11	12,22
PT	503	155	311	132	17,87	3,23
SE	580	40	358	34	9,69	1,13
SI	410	90	253	77	38,01	9,73
SK	1.420	279	876	236	141,36	23,43
UK	882	620	544	526	2,97	2,74
Summe	54.445	10.224	33.598	8.670	32,42	5,18

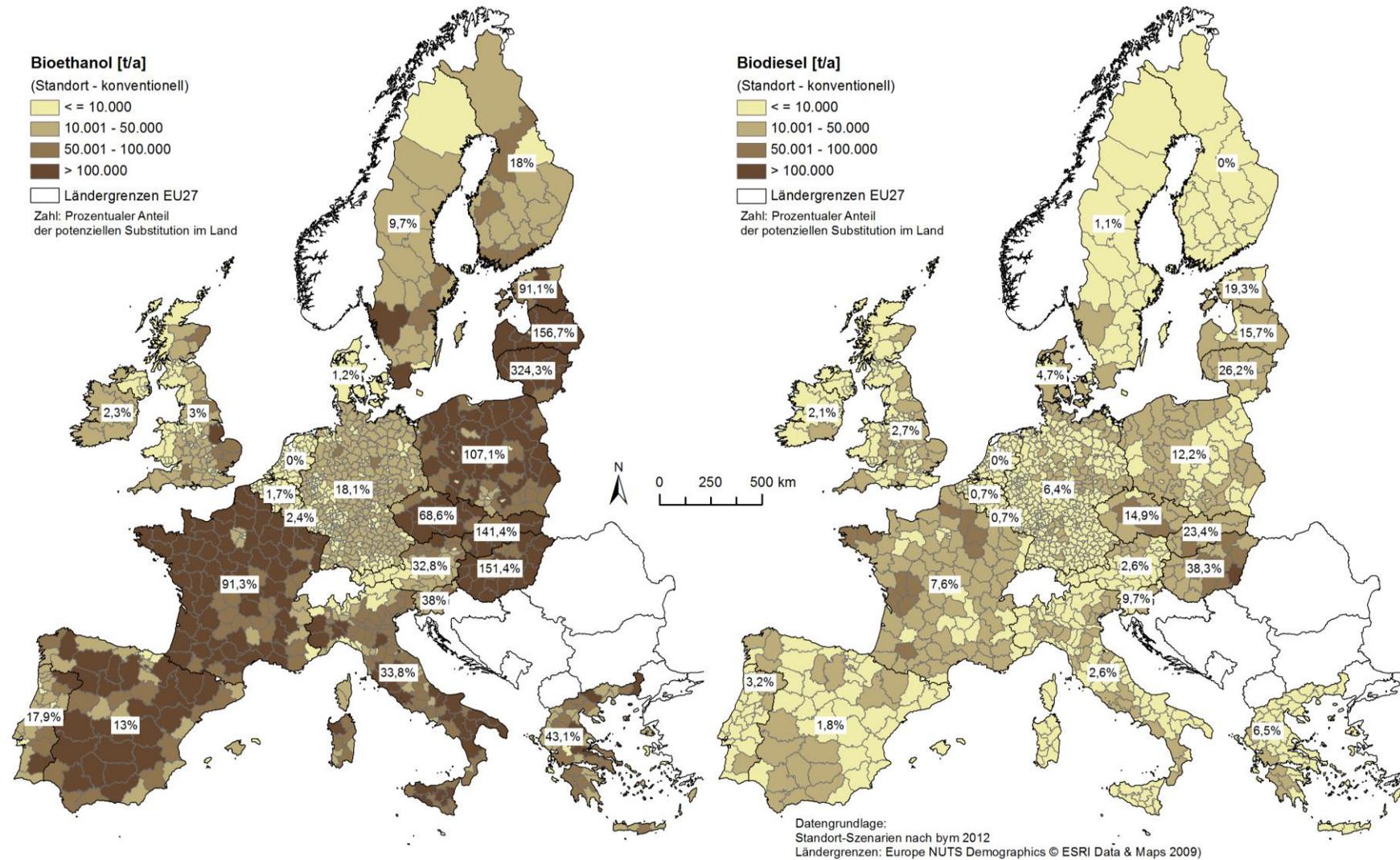


Abb. 94: Standort-Potenzial (100 % konventioneller Anbau, Niederschlagsszenario "normal", Verbrauchsszenario 3): Potenziell erzeugbare Mengen an Bioethanol (links – aus Getreidekorn und Zuckerrübe) und Biodiesel (rechts – aus Raps und Sonnenblume) in NUTS3-Regionen in Europa sowie potenzielle Substitution des fossilen Kraftstoffs (NUTS0), eigene Berechnung.

Unter Berücksichtigung der Handelsbilanzen aus dem Referenz-Szenario (Kap. 3.5.1.6) würden sich die Potenziale in Europa nur unwesentlich verändern: Das Biodieselpotenzial steigt um 1 % (285 PJ), das Potenzial von Bioethanol sinkt um 3 % (1.413 PJ). Allerdings gibt es innerhalb der europäischen Länder Verschiebungen – so wird durch den höheren Export von Raps aus den baltischen Staaten zum Beispiel nach Deutschland und Dänemark in den exportierenden Ländern das Potenzial geringer, in den importierenden Ländern höher (Tabelle 77).

Erst durch Berücksichtigung der Importraten von Getreide kann für die Niederlande, Belgien, Spanien und Portugal ein höheres Bioethanol-Potenzial ausgewiesen werden. Durch hohe Exporte wiederum von Getreidekorn aus Deutschland, Dänemark, Frankreich und Ungarn verringert sich das Bioethanol-Potenzial.

Tabelle 77: Veränderung der Biokraftstoff-Potenziale unter Berücksichtigung der Handelsbilanzen (Tabelle 64) in Europa: Potenzieller Biokraftstoffanteil am Kraftstoffverbrauch [%] ohne und mit Einbeziehung der Handelsbilanz.

Potenzieller Biokraftstoffanteil am Verbrauch [%]	Ohne Handelsbilanz		Mit Handelsbilanz	
	Diesel	Ottokraftstoff	Diesel	Ottokraftstoff
AT	2,6	32,8	3,7	28,9
BE	0,7	1,7	3,6	46,9
CZ	14,9	68,6	12,7	60,3
DE	6,4	18,1	7,7	13,3
DK	4,7	1,2	6,7	-5,5
EE	19,3	91,1	18,9	91,5
EL	6,5	43,1	6,5	50,3
ES	1,8	13,0	1,9	36,8
FI	0,0	18,0	1,6	18,2
FR	7,6	91,3	6,1	43,6
HU	38,3	151,4	35,3	102,9
IE	2,1	2,3	2,1	8,9
IT	2,6	33,8	2,6	46,1
LT	26,2	324,3	21,5	295,6
LU	0,7	2,4	0,5	2,5
LV	15,7	156,7	12,8	144,7
NL	0,0	0,0	1,7	34,3
PL	12,2	107,1	11,5	109,5
PT	3,2	17,9	3,4	49,0
SE	1,1	9,7	2,0	6,4
SI	9,7	38,0	9,6	48,2
SK	23,4	141,4	18,4	134,0
UK	2,7	3,0	2,7	2,2
Modellregion	5,2	32,4	5,2	31,6

Biodiesel: Maximum-Szenario im Vergleich zu Biodiesel-Kapazität und -Produktion

Die Beimischungsziele von Biodiesel sind, wie aus den vorangestellten Szenarien ersichtlich, bei derzeitiger Anbauintensität von Raps schwer erreichbar. Daher wurde für Winterraps untersucht, welches nachhaltig verfügbare maximale Potenzial erreicht werden kann. Dazu wurden die Eigenschaften der Fruchtart, deren Standortansprüche sowie die maximale Anbauintensität zusammengestellt und ein „Maximal-Szenario“ berechnet. Dies berücksichtigt (Standortansprüche Winterraps nach BRECKE 2006):

- Anbau bei Boden-pH-Werten = 4,2 - 8,2,
- Jahresniederschläge = 300-2800 mm,
- mittlere Jahrestemperatur = 5-27°C,
- keinen Anbau in Gebieten mit Bodenzahlen unter 30 Bodenpunkten.

Aus den vorliegenden europäischen Rasterdaten von WORLDCLIM (Mittelwerte 1950-2000), den pH-Rasterdaten (REUTER 2008) und der europäischen Bodenzahl wurden die genannten

Standortansprüche klassifiziert und eine Karte der Anbaueignung von Winterraps erzeugt. Diese Daten wurden mit den Niederschlagsdaten verschnitten, woraus ein Datensatz mit Bodenzahl und Niederschlagssummen der Winterfrüchte (NSW) entstand. Unter Berücksichtigung der Ertragsfunktionen Version II 2012-Europa (Tabelle 51) wurden die ökologischen und konventionellen Erträge berechnet. Die Anbauintensität von Winterraps wurde auf 25 % (nach Tabelle 5: alle vier Jahre) festgelegt, um einen moderaten nachhaltigen Anbau zu modellieren. In dieser Art der Potenzialanalyse sind allerdings keine Nahrungs- und Futtermittelkonkurrenzen ausgeschlossen.

Das Ergebnis weist ein höheres Potenzial aus: In Deutschland könnte ein maximales Biodiesel-Potenzial von 4,176 Mio. Tonnen (entspricht 3,54 Mio. t Diesel-Äquivalente, 152,42 PJ) erreicht werden, womit ca. 13,9 % des Dieserverbrauchs 2010 subsumiert werden könnten. Durch die höhere Anbauintensität würde sich die jährliche Anbaufläche von Raps erhöhen und andere Feldfrüchte verdrängt. Die im Jahr 2011 installierte Kapazität von Biodieselanlagen in Deutschland entsprach 4,8 Mio. Tonnen Biodiesel (FNR 2013). Der Biodiesel-Absatz betrug 2011 2,43 Mio. Tonnen Biodiesel, was einer Beimischungsquote von 8,08 % am Dieserverbrauch entsprach. Dies kann nicht im vollen Umfang durch das derzeitige Potenzial an Rapssaat abgedeckt werden (Szenario „normal“ entspricht 1,8 Mio. t). Durch Erhöhung der Anbauintensität kann dieser Absatz aus heimischer Produktion gedeckt, die installierte Kapazität jedoch nicht erreicht werden (Abb. 95).

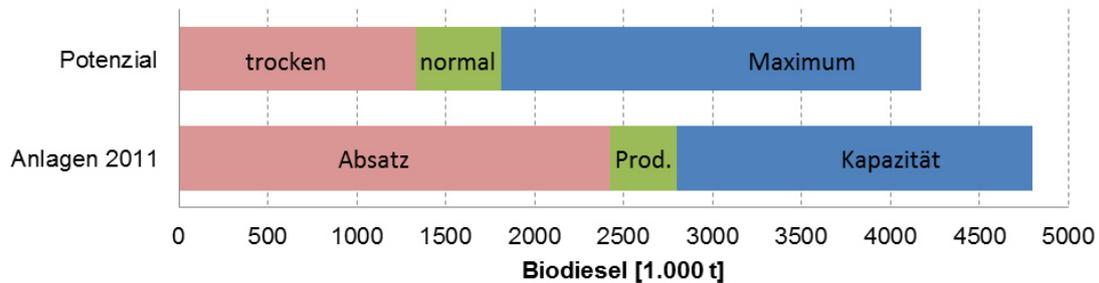


Abb. 95: Gegenüberstellung der Potenziale (trocken / normal / Maximum (maximaler Anbau von Winterraps → Flächenkonkurrenz zu anderen Fruchtarten) und Biodieselanlagen (Absatz / Produktion (Prod.) / Kapazität 2011) in Deutschland (nach FNR 2013), eigene Berechnung.

Mit dieser Analyse lässt sich auch zeigen, inwieweit sich potenzielle Einzugsbereiche von Bioenergieanlagen verändern. Ein dazu erstelltes Modul gibt den Radius aus, der zur Abdeckung der Kapazität mit dem jeweiligen Bioenergieerohstoff notwendig ist.

Anhand einer eigenen Digitalisierung der Biodieselanlagen in Deutschland wurden die theoretischen Einzugsbereiche der Standort-Szenarien „normal“ und „Maximum“ gegenübergestellt. Abb. 96 zeigt, dass die Einzugsbereiche der Anlagen sich sehr oft überschneiden, womit einerseits eine Konkurrenz zwischen den Anlagen nicht auszuschließen ist, andererseits auch fast die gesamte Republik abgedeckt wird und somit selbst bei 100 %-iger Verfügbarkeit der geernteten Rapssaat nur für die Biodieselerzeugung die installierte Kapazität der Anlagen nicht aus heimischer Produktion abgedeckt werden kann. Man ist demzufolge auf Importe angewiesen.

Deutlich wird, dass Biodieselanlagen vorwiegend im Norden bzw. in Hafennähen angesiedelt wurden und sicherlich ein Großteil des Rohstoffs aus Importen stammt. Die Berechnung der theoretischen Einzugsbereiche ist daher zwar nutzbar um Regionen mit freiem Potenzial zu finden, allerdings werden vor allem Getreide und Raps auf dem Weltmarkt und nicht nur regional gehandelt. Dieses Tool der Abbildung von theoretischen Einzugsbereichen soll als zusätzliches Werkzeug zur Einschätzung möglicher Konkurrenzsituation zwischen Bioenergieanlagen verstanden werden.

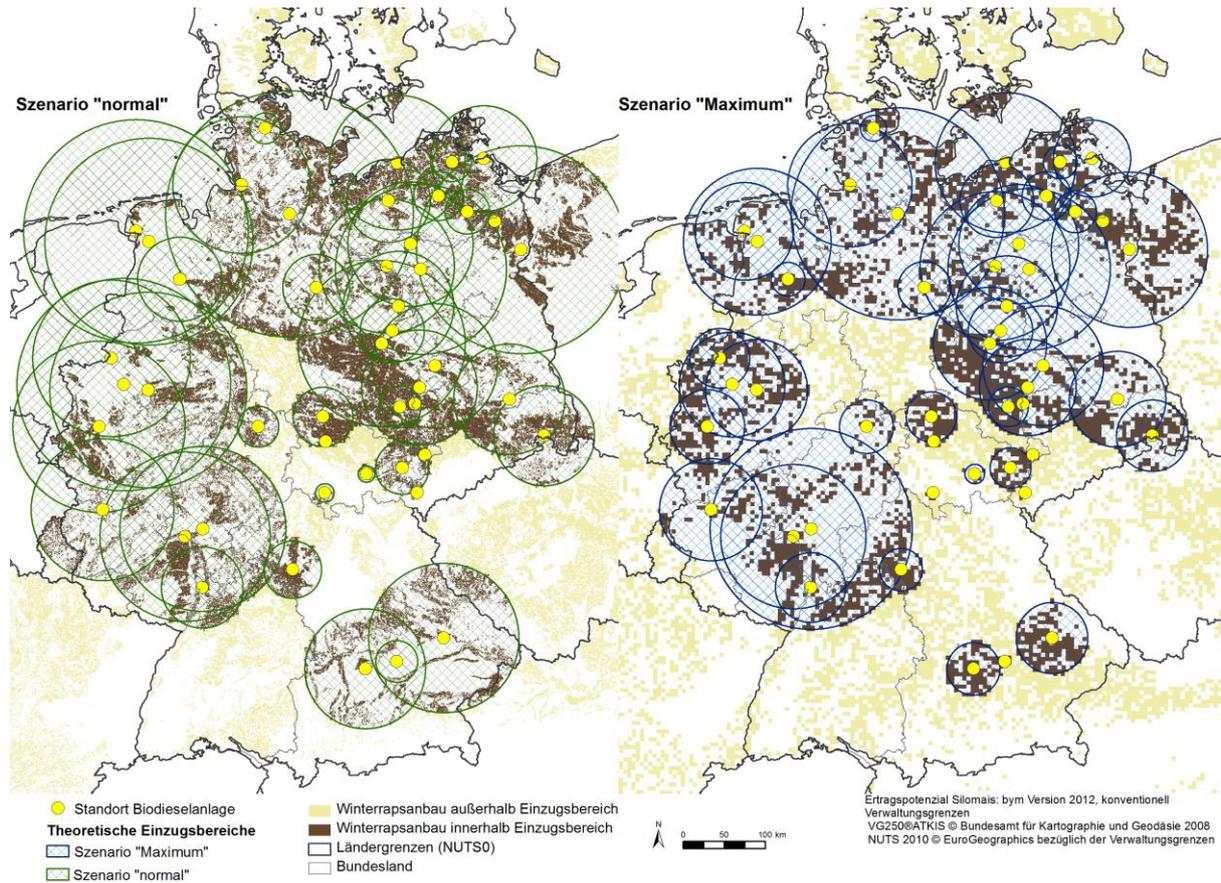


Abb. 96: Theoretische Einzugsbereiche der Biodieselanlagen in Deutschland bei 100%-iger Verfügbarkeit ausschließlich für die Biodieselerzeugung: links - „normal“ (mittlerer Niederschlag), rechts - „Maximum“ (maximaler Anbau von Winterraps), eigene Berechnung.

3.5.4.3 Standort-Szenario: Biogas-Potenzial

In Deutschland werden aus dem Ackerbau Silagen von Silomais und Getreideganzpflanzen als Hauptinputstoff sowie teilweise Getreidekorn zur anaeroben Fermentation in Biogasanlagen verwendet (FNR 2012a). Im Folgenden wurde das BYM für die Berechnung des standortspezifischen Biogaspotenzials für Brandenburg und Deutschland eingesetzt. Um die Konkurrenz zu den Kraftstoffpotenzialen relativ klein zu halten, wird bei den Getreidearten nur Roggen als potenzielle Getreideganzpflanze für die Erzeugung von Biogas modelliert.

Aus den Modellergebnissen werden die potenziell verfügbaren Erträge von Silomais und Roggen-Ganzpflanzensilage, sowie für Lebens- und Futtermittel benötigte bzw. verfügbare Roggenkornmengen ermittelt. Die Berechnung des regionalen Futterbedarfs erfolgt nach den in Kap. 2.2.3.2 beschriebenen Algorithmen, die Umrechnung in Biogas-Energieinhalte wurde in Kap. 2.2.4. vorgestellt. Die verfügbare Erntemenge der Roggenganzpflanzen wird nicht nur durch die für Lebens- und Futtermittelzwecke bestimmte Menge begrenzt sondern auch durch die Strohmenge limitiert, die für die Reproduktion der organischen Bodensubstanz notwendig ist. Daher ist hier zusätzlich eine Humusbilanzierung notwendig (Kap. 2.2.3.3). Dabei gehen die gesamte Fruchtfolge mit ihren zum Teil nicht genutzten Koppelprodukten (z.B. Rapsstroh) und die zur Verfügung stehenden Güllemengen (Ableitung nach Kap. 2.2.3.3) in die Berechnung ein.

Biogas-Potenziale des Bundeslandes Brandenburg

Die Berechnung der Biogaspotenziale in Brandenburg erfolgt anhand der konventionellen Biomasseerträge (Bodendaten: GEMDAT 1995; Fruchtfolge-Modul 2011, Ertragsfunktionen Version II 2012-DE, Tabelle 53) unter Berücksichtigung folgender Szenarien:

- mittlerer Niederschlag (Normaljahr) aus 2005 bis 2010 (fruchtartgruppenspezifische Zeiträume),
- minimaler Niederschlag (Trockenjahr) aus 2005 bis 2010 (fruchtartgruppenspezifische Zeiträume),
- Humussalden: ± 0 / + 100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹.

Für die Modellierung der Biogaspotenziale in Brandenburg werden die Ackerzahlen der GEMDAT, das Verbrauchsszenario d (Roggenkorn) und sowie die Tierbestandsdaten von InVekoS 2008/09 (LVLf BRANDENBURG 2010) genutzt. Diese liegen in der räumlichen Auflösung von Gemeinden vor, was damit die Modellebene der Potenzialanalyse bestimmt.

Insgesamt ergibt sich bei einem ausgeglichenen Humussaldo (HB = ± 0 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹) für Brandenburg ein Potenzial aus den untersuchten Energiepflanzen (Winterroggen-Korn, Winterroggen-Ganzpflanzen und Silomais) und Gülle (Rinder, Schweine) von 1,665 Mio. MWh elektrischer Leistung pro Jahr (Darstellung pro Gemeinde – Abbildung A-10). Bei einer durchschnittlichen Größe von 500 kW_{el} und einer Laufzeit der Anlagen von 8000 Volllaststunden im Jahr entspräche dies ca. 416 Biogasanlagen.

Die Bilanzierung von Biogaspotenzialen aus der Gülle wurde anhand der regional differenziert vorliegenden Daten (Gemeindeebene) nach Haltungformen und Altersstrukturen differenziert betrachtet. Die in den landwirtschaftlichen Betrieben Brandenburgs gehaltenen Rinder und Schweine erzeugen 339.667 t organische Trockenmasse Gülle im Jahr (Rindergülle = 303.551 t oTM a⁻¹; Schweinegülle = 36.116 t oTM a⁻¹). Das Potenzial aus Gülle (Darstellung pro Gemeinde: Anhang A-11) liegt in allen Szenarien bei 243.531 MW_{el}, was einem Potenzial von 61 Biogasanlagen mit auf 500 kW_{el} und 8.000 Volllaststunden im Jahr und einer Ausbeute von 70 Mio. m³ Methan entspricht.

Das pflanzenbauliche Potenzial der Gemeinden ist aufgrund der Standorteignung für Winterroggen und Silomais und unter Berücksichtigung der regionalen Versorgung der Viehbestände mit Einstreu und Futter unterschiedlich. Die notwendige Einstreumenge mit Getreidestroh liegt jährlich bei 709.963 t Frischmasse (Darstellung pro Gemeinde: Anhang A-12), der Futterbedarf nach der Modellierung nach Kap. 2.2.3.2 bei 146.455 t FM Stroh und 2,51 Mio. t FM Silomais. Das pflanzenbauliche Biogaspotenzial summiert sich auf 1,422 Mio. MWh_{el} (Abb. 97).

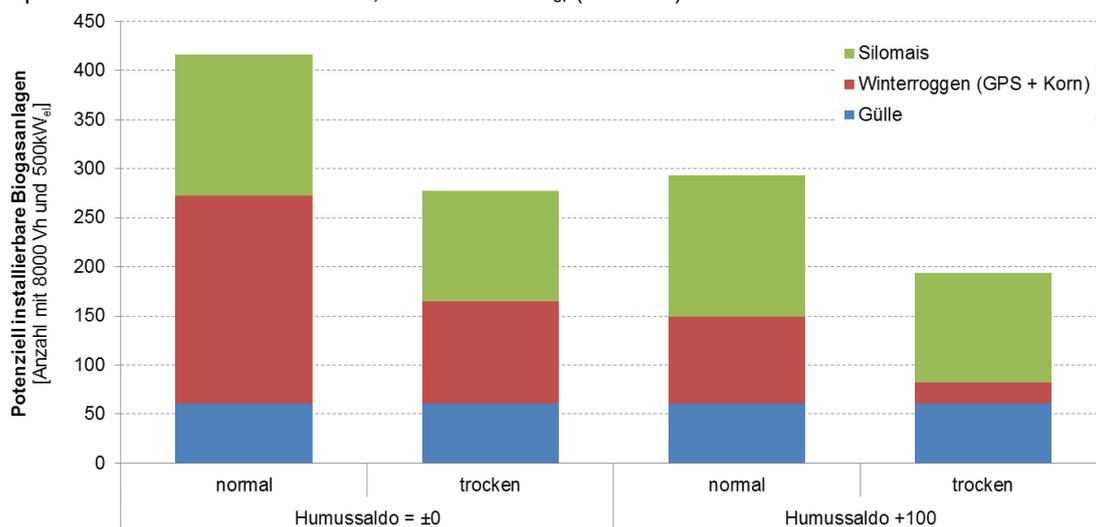


Abb. 97: Standort-Szenario: Biogas-Potenzial des Landes Brandenburg in den unterschiedlichen Szenarien (Niederschläge „normal“ und „trocken“/ Humussaldo ± 0 / +100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹: Potenziell installierbare Anzahl von Biogasanlagen bei 8000 Volllaststunden und 500 kW_{el}, eigene Berechnung.

Im Vergleich der Biogas-Potenziale in den Niederschlagsszenarien wird ein deutlicher Ertragsabfall in Trockenjahren ersichtlich, was bei der Konzeption von Biogasanlagen beachtet werden muss, da auch in Trockenjahren die Versorgung der Anlagen gesichert sein muss. Das Potenzial sinkt in Trockenjahren enorm und geht von 416 Biogasanlagen auf 293 Anlagen (standardisiert auf 500 kW_{el} und 8.000 Volllaststunden im Jahr) zurück. Das pflanzenbauliche Potenzial sinkt auf 865.084 MWh_{el}.

Potenzielle Biogaserträge aus Silomais erreichen in Normaljahren ein Potenzial bei konventioneller Bewirtschaftung 574.211 MWh_{el} (= 71.776 kW_{el}). In Trockenjahren sinkt das Potenzial auf 447.293 MWh_{el} (= 55.912 kW_{el}). Da Silomais eine negative Humusbilanz aufweist, muss ein Ausgleich der organischen Bodensubstanz durch Getreidestroh erfolgen. Dies schlägt sich in der Menge an verfügbarer Winterroggen-Ganzpflanzensilage nieder. Die potenziell verfügbaren Mengen an Winterroggen-Ganzpflanzensilage nehmen so in den Szenarien infolge der höheren Verbräuche von Stroh zum Ausgleich der Humusbilanz von 847.614 MWh_{el} (Niederschlag „normal“, Humusbilanz 0 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹) auf 417.791 MWh_{el} (Niederschlag „trocken“, Humusbilanz +100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹) ab.

Abb. 98 visualisiert die vier unterschiedlichen Szenarien der Biogaspotenziale (Niederschläge „normal“ und „trocken“ / Humussaldo ±0 / +100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹) pro Gemeinde in Brandenburg in potenziell installierbare elektrische Leistung mit 8000 Volllaststunden im Jahr. Weitere Tabellen zum Biogaspotenzial in Brandenburg (Anhang T-12, T-13) bzw. eine Abbildung zu dessen Zusammensetzung (Anhang A-13) befinden sich im Anhang.

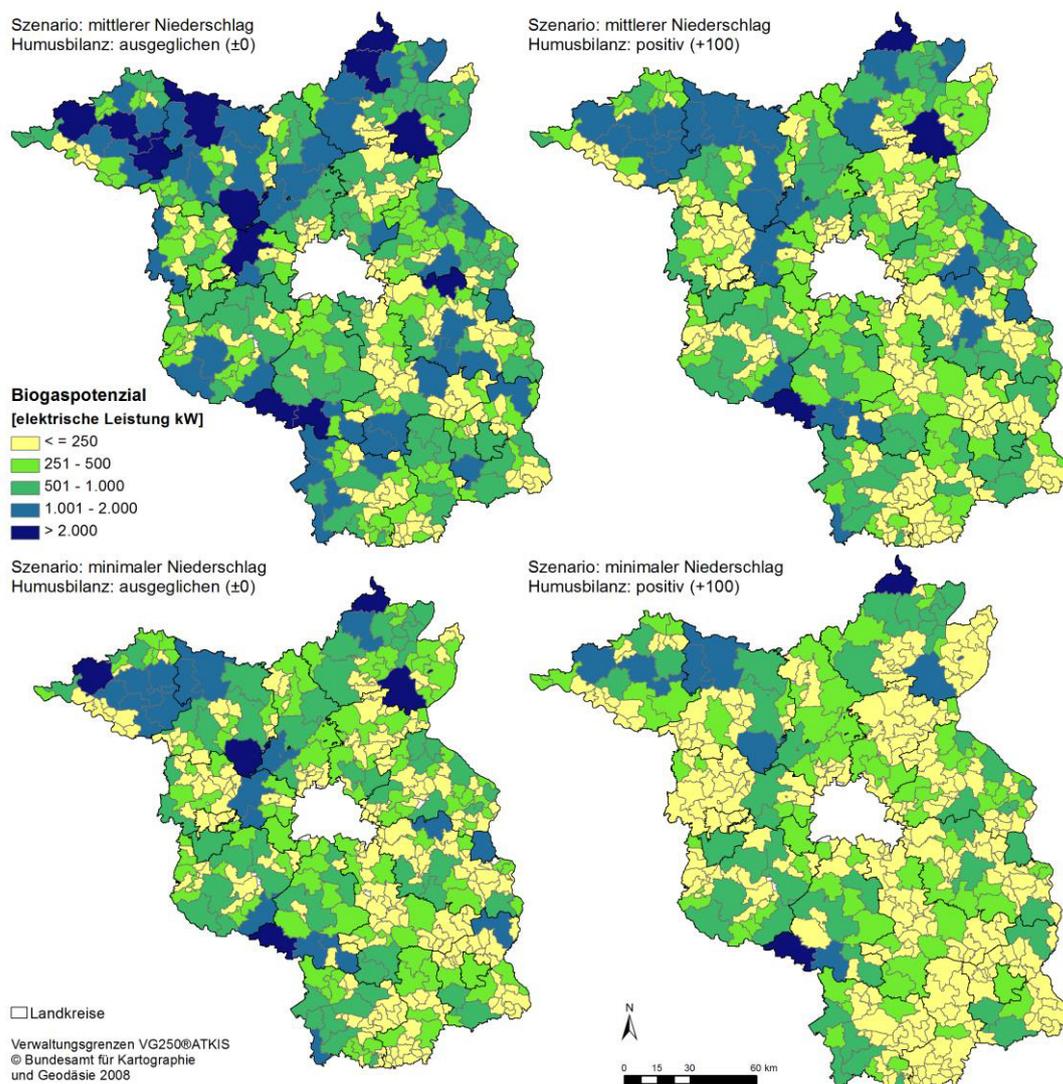


Abb. 98: Standort-Szenario: Biogas-Potenzial in den Gemeinden des Landes Brandenburg in den unterschiedlichen Szenarien (Niederschläge „normal“ und „trocken“ / Humusbilanz ausgeglichen (±0 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹) / Humusbilanz positiv (+100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹): Potenziell installierbare Leistung [kW_{el}] bei 8000 Volllaststunden bestehend aus Gülle, Roggen und Silomais, eigene Berechnung.

In Brandenburg ist schon heute eine hohe Biogasleistung installiert (Summe = 150.904 kW_{el}, pro Gemeinde im Mittel = 358 kW_{el}). So lassen sich aus den Potenzialen noch Gemeinden mit freien Kapazitäten ableiten (Abb. 99). Von den 421 untersuchten Gemeinden haben 344 Gemeinden noch ein freies Potenzial von 132.267 kW_{el} (Durchschnitt = 384 kW_{el}). In Trockenjahren liegt das Potenzial bei 83.026 kW_{el} (Durchschnitt = 249 kW_{el}). Allerdings gibt es auch sehr viele Gemeinden mit hohem Defizit, die entweder andere Biogassubstrate einsetzen oder aus den angrenzenden Regionen versorgt werden müssen. Bilanziert man dies für das gesamte Bundesland Brandenburg mit einem Ausgleich der Defizite kann bei mittleren Niederschlägen und einer ausgeglichenen Humusbilanz nur noch ein Potenzial von 57.502 kW_{el} (im Mittel = 136 kW_{el}) genutzt werden. Geht man von einem Jahr mit Ertragsdepression aus, ist das Potenzial erschöpft (Summe = -12.136 kW_{el}/ Durchschnitt = -29 kW_{el}).

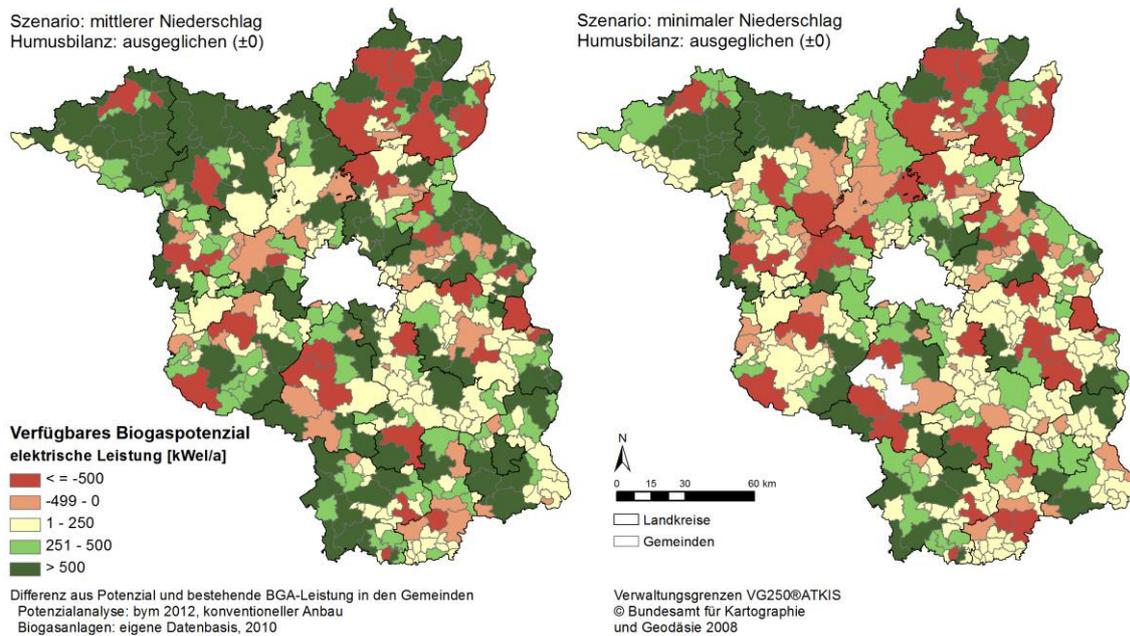


Abb. 99: Standort-Szenario: Ausbau-Potenzial Biogas in den Gemeinden Brandenburg bei ausgeglichener Humusbilanz (±0 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹) in Niederschlagsszenarien „normal“ und „trocken“: Potenziell installierbare Leistung [kW_{el}] unter Berücksichtigung bereits installierter Anlagen, eigene Berechnung.

Biogas-Potenziale der Bundesrepublik Deutschland

In Deutschland erfolgt die Modellierung auf der Basis der konventionellen Biomassepotenziale aus Silomais anhand der Bodendaten-BÜK1000, den Daten des Fruchtfolge-Moduls 2011 und den angepassten Ertragsfunktionen Version II 2012-Deutschland (Tabelle 53).

Die Berechnung der Biogaspotenziale erfolgt anhand folgender Szenarien:

- mittlerer (Normaljahr) Niederschlag aus 2005 bis 2010 (fruchtartgruppenspezifische Zeiträume),
- minimaler (Trockenjahr) Niederschlag aus 2005 bis 2010 (fruchtartgruppenspezifische Zeiträume).

Die Modellerträge von Silomais zeigen Ertragseinbußen im Niederschlagsszenario „trocken“ im Vergleich zu den mittleren Niederschlägen. Vor allem im Norden Deutschlands sind die Erträge bei verringerten Niederschlagsmengen deutlich geringer als im Normal-Szenario. Werden in Jahren mit mittleren Niederschlägen ca. 22,2 Mio. t TM Silomais ermittelt, fallen in Trockenjahren die Erträge auf 16,2 Mio. t TM Silomais. Dies entspricht einer Ertragsdepression um ca. 27 %.

Auffällig ist, dass die Erträge von Silomais im „Trocken“-Szenario vor allem in Süddeutschland kaum abfallen. Nach Prüfung der Daten liegt das an den Eingangsdaten – in diesen Regionen unterscheiden sich die Niederschlagsdaten kaum voneinander, das Minimum erreicht in einigen Gemeinden sogar 100 % vom Median (vgl. Kap. 3.1.2, Abb. 25).

Unter Berücksichtigung der Verbrauchswerte nach EUROSTAT 2013 (Viehbestandsdaten 2010, NUTS1 – regionalisiert anhand Produktionsschwerpunkte) ergeben sich folgende Biogas-Potenziale basierend auf Silomais (Abb. 100, Tabelle 78). Das pflanzenbauliche Potenzial erreicht bei derzeitiger Anbaustruktur bei mittleren Niederschlägen 9,32 Mio. MWh_{el} bzw. ein Gesamtpotenzial (Strom und Wärme) von 106 PJ im Jahr. In Trockenjahren muss durch Ertragseinbußen damit gerechnet werden, dass das Potenzial auf 2,77 Mio. MWh_{el} bzw. 28 PJ sinkt.

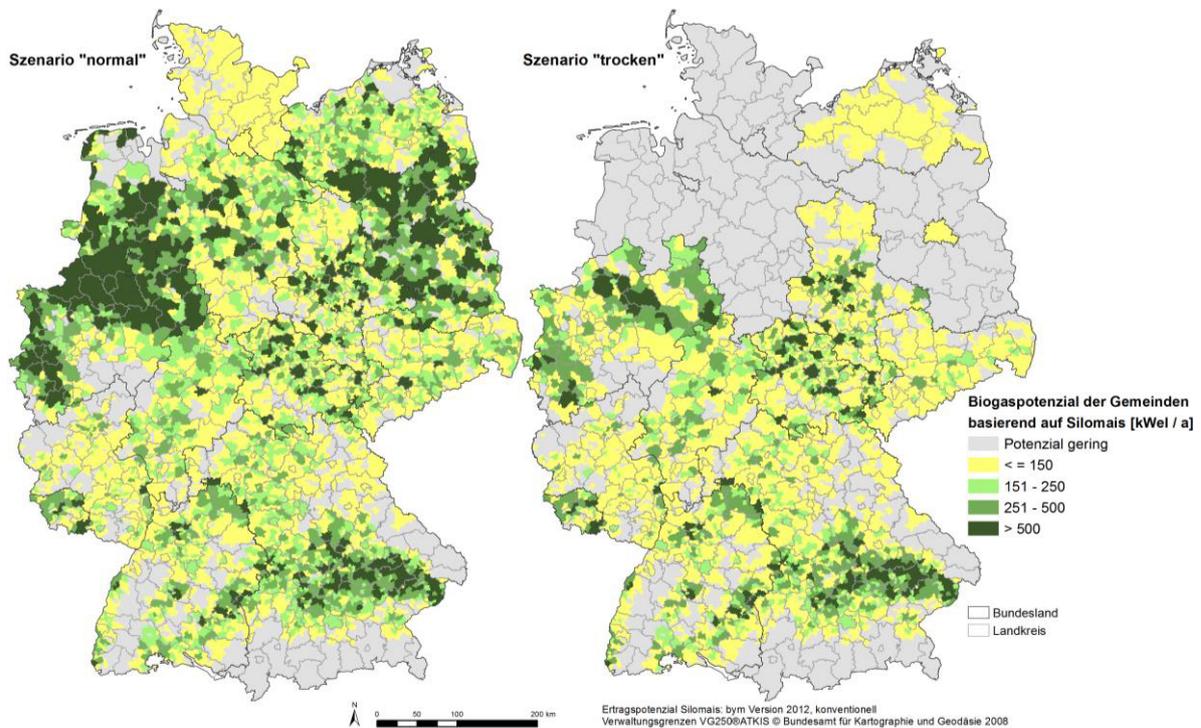


Abb. 100: Standort-Szenario: Biogas-Potenzial aus Silomais in den Gemeinden Deutschlands: Potenziell installierbare Leistung [kW_{el}] (8000 Volllaststunden) in Niederschlagsszenarien „normal“ (links) und „trocken“ (rechts), eigene Berechnung.

Tabelle 78: Biogas-Potenzial der Bundesländer Deutschlands im konventionellen Anbau basierend auf Silomais in den Niederschlagsszenarien „normal“ und „trocken“, eigene Berechnung.

Szenario	Verfügbare Biomasse [1000 t TM a ⁻¹]		Potenzielle Anzahl von Biogasanlagen (Standard: 500kWel, 8000 ha ⁻¹)		Energie (Strom+Wärme) [PJ]	
	normal	trocken	normal	trocken	normal	trocken
Baden-Württemberg	634	610	150	144	6,8	5,9
Bayern	1.615	1.407	381	332	17,4	13,6
Berlin	7	1	2	0	0,1	0,0
Brandenburg	1.074	-23	254	-6	11,5	-0,2
Bremen	-2	-3	-1	-1	-0,0	-0,0
Hamburg	1	0	0	0	0,0	0,0
Hessen	326	336	77	79	3,5	3,3
Mecklenburg-Vorpommern	723	50	171	12	7,8	0,5
Niedersachsen	1.185	-1.593	280	-376	12,7	-15,4
Nordrhein-Westfalen	1.876	637	443	151	20,2	6,2
Rheinland-Pfalz	508	521	120	123	5,5	5,0
Saarland	90	96	21	23	1,0	0,9
Sachsen	356	210	84	50	3,8	2,0
Sachsen-Anhalt	702	407	166	96	7,5	3,9
Schleswig-Holstein	24	-512	6	-121	0,3	-5,0
Thüringen	741	787	175	186	8,0	7,6
Deutschland	9.860	2.930	2.329	692	106,0	28,3

3.5.4.4 Standort-Szenario: Landwirtschaftliche pflanzliche Reststoffe

Neben den ermittelten verfügbaren Mengen an Wirtschaftsdünger, der vorwiegend als Biogas-Inputstoff genutzt werden kann und dessen Potenzial anhand statistischer Daten abgeleitet wurde (Kap. 3.5.3), bietet das Biomasse-Ertragsmodell die Möglichkeit pflanzliche Reststoffe aus dem Ackerland und deren Potenzial zu ermitteln. Diese Reststoffe wurden für Brandenburg, Deutschland und Europa berechnet.

Potenziale landwirtschaftlicher Reststoffe in Brandenburg

Die Modellierung der landwirtschaftlichen Reststoffe erfolgt auf der Basis der Biomassepotenziale (Bodendaten: GEMDAT 1995; Fruchtfolge-Modul 2011, Ertragsfunktionen Version II 2012-DE; Tabelle 53). Die Berechnung der ökologisch verfügbaren Bioenergiepotenziale erfolgt anhand folgender Szenarien:

- 100 % konventionelle Bewirtschaftung der Modell-Ackerfläche,
- mittlerer (Normaljahr) Niederschlag aus 2005 bis 2010 (fruchtartgruppenspezifische Zeiträume),
- minimaler (Trockenjahr) Niederschlag aus 2005 bis 2010 (fruchtartgruppenspezifische Zeiträume),
- Humussalden: $\pm 0 / + 100 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Neben den bilanzierten Reststoffen von Raps, Körnermais, Zuckerrüben etc., die auf dem Acker verbleiben, ist die Aufwuchsmenge von Getreidestroh interessant, um dessen potenzielle Nutzungsmengen für energetische Zwecke abzuleiten. Ebenso wird angenommen, dass die in Brandenburg erzeugten Güllemengen (nach InVeKoS 2008/09) auf die Ackerflächen rückgeführt werden.

Aus den vorgenommenen Szenarienrechnungen wurden folgende Ergebnisse abgeleitet: Die theoretische Erntemenge liegt in Brandenburg zwischen 3,9 (trocken) und 4,9 (normal) Mio. Tonnen Frischmasse Getreidestroh. Davon werden 21,9 % (trocken) bzw. 17,5 % (normal) für Einstreu und Futter benötigt. Abzüglich der Humusreproduktionsmengen der Nebenprodukte und unter Rückführung der Güllemengen stehen bei Annahme einer ausgeglichenen Humusbilanz 22.651 t

(trocken) bzw. 1.179.722 t (normal) Getreidestroh für alternative Nutzungszwecke zur Verfügung. Bei Annahme einer positiven Humusbilanz von +100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹ reduziert sich diese Menge auf 34.048 t bei mittleren Niederschlägen, in Trockenjahren ergibt sich eine negative Bilanz von -567.977 t Stroh, die zum Ausgleich der Humusbilanz fehlen.

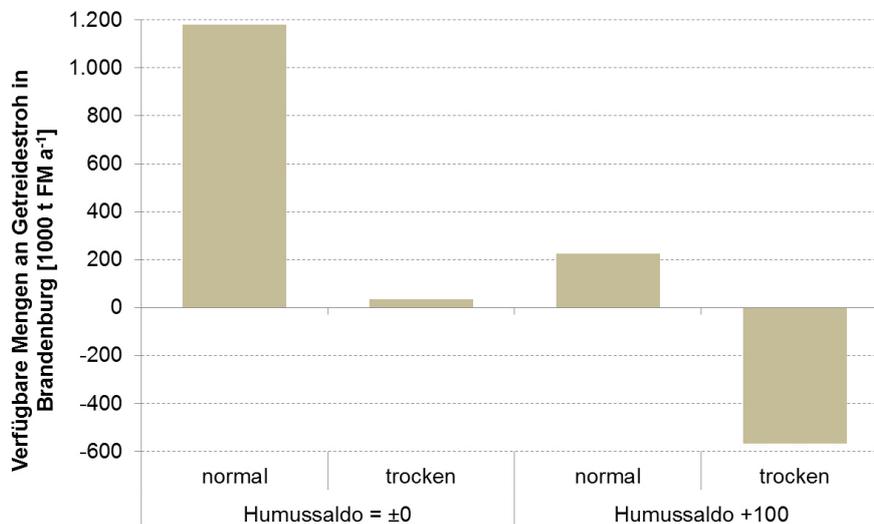


Abb. 101: Verfügbares Getreidestroh in Brandenburg in unterschiedlichen Standort-Szenarien (Humussalden: ±0, +100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹ / Niederschlagsszenarien: „normal“, „trocken“), eigene Berechnung.

In den dargestellten Szenarien von Brandenburg liegen die verfügbaren Getreidestrohmenen bei 24,1 - 5,8 % (Szenario „normal“) bzw. 0,7 % und -14,5 % im (Szenario „trocken“). Die klimatischen Verhältnisse in einem Anbaujahr haben demzufolge erhebliche Auswirkungen auf die zur alternativen Nutzung zur Verfügung stehenden Getreidestrohmenen (Abb. 101).

Potenziale landwirtschaftlicher Reststoffe in der Bundesrepublik Deutschland

Die Modellierung der landwirtschaftlichen Reststoffe erfolgt auf der Basis der Biomassepotenziale (Bodendaten: Bodenzahl Deutschland; Fruchtfolge-Modul 2011, Ertragsfunktionen Version II 2012-DE; Tabelle 53). Die Berechnung der technischen Bioenergiepotenziale erfolgt anhand folgender Szenarien:

- 100 % konventionelle Bewirtschaftung der Modell-Ackerfläche,
- mittlerer (Normaljahr) Niederschlag aus 2005 bis 2010 (fruchtartgruppenspezifische Zeiträume),
- Humussalden: ±0 / + 100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹.

In Deutschland liegt der Strohertrag in Jahren mit mittleren Niederschlägen bei ca. 23 Mio. t FM Getreidestroh. Durch die Versorgung der Viehbestände reduziert sich die nutzbare Menge um fast 4 Mio. t FM (Futter- und Einstreubedarfe nach Kap.2.2.3.2, Kap.3.5.1.4 & Kap.3.5.1.5) und basierend auf den Viehbestandsdaten 2010 (DESTATIS 2013). Durch das Humusbilanzmodell ist eine Ableitung der verfügbaren Strohpotenziale möglich. Abb. 102 visualisiert die potenziell nutzbaren Anteile der Strohernte bei unterschiedlichen Humusbilanz-Szenarien.

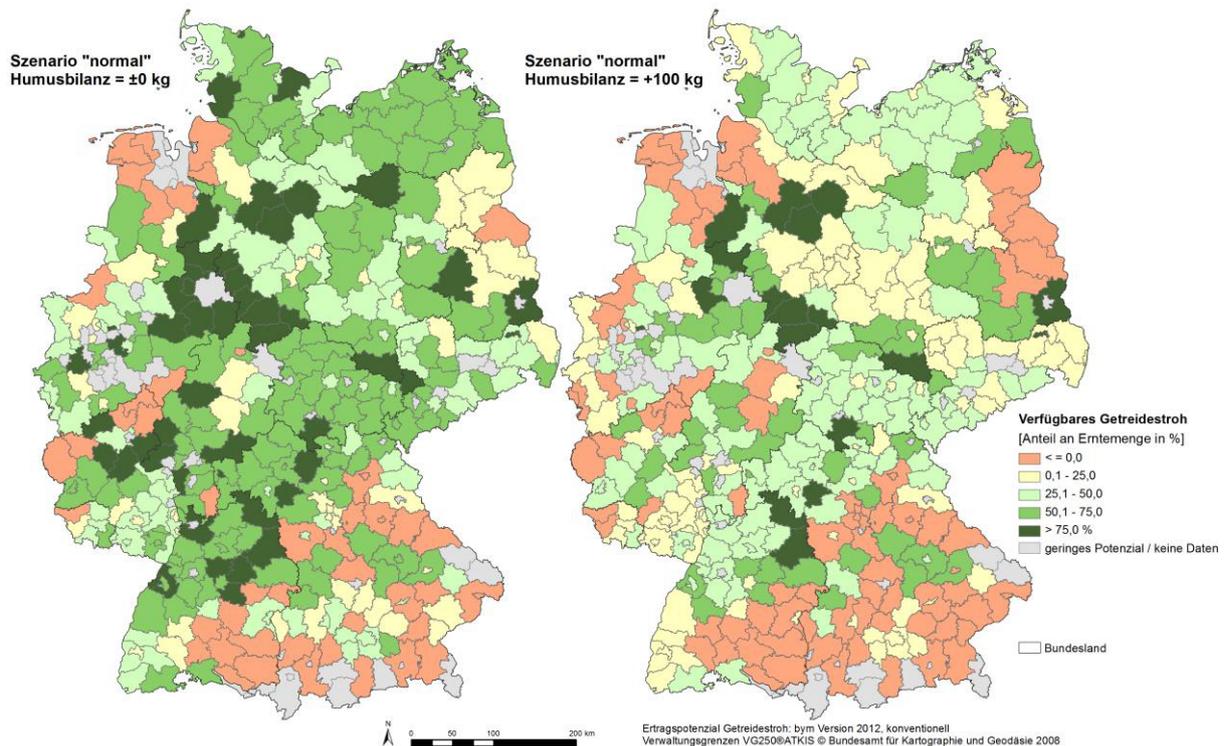


Abb. 102: Standort-Szenario: Verfügbare Anteile an Getreidestroh in den Landkreisen Deutschlands bei konventionellem Anbau, mittleren Niederschlägen und unterschiedlichen Humussalden: links – ausgeglichene Humusbilanz ($\pm 0 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), rechts – positive Humusbilanz ($+100 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), eigene Berechnung.

Der verfügbare Anteil liegt unter der Voraussetzung einer ausgeglichenen Humusbilanz bei 51 %. Soll die Bodenfruchtbarkeit durch eine positive Humusbilanz erhöht werden, um eine nachhaltigere Bodennutzung zu erzielen, stehen immer noch 29 % der potenziellen Getreidestrohernte für die energetische Verwertung zur Verfügung, wobei große regionale Unterschiede deutlich werden (Abb. 102).

Potenziale landwirtschaftlicher Reststoffe in Europa

Auf EU-Ebene wurde das BYM für die Modellierung von verfügbaren Getreidestrohmenngen auf der Basis der Biomassepotenziale (Bodendaten: EU-Bodenzahl; Fruchtfolge-Modul 2011, Ertragsfunktionen Version II 2012-EU; Tabelle 54) eingesetzt. Die Berechnung der technischen Bioenergiepotenziale erfolgt anhand folgender Szenarien:

- 100 % konventionelle Bewirtschaftung der Modell-Ackerfläche,
- 100 % ökologische Bewirtschaftung der Modell-Ackerfläche,
- mittlerer (Normaljahr) Niederschlag aus 2005 bis 2010 (fruchtartgruppenspezifische Zeiträume),
- Futter- und Einstreubedarfe nach Kap.2.2.3.2, Kap.3.5.1.4 & Kap.3.5.1.5 und basierend auf den Viehbestandsdaten 2010 (EUROSTAT 2013).

In Abb. 103 sind die Mittelwerte der Modellerträge von Getreidestroh für die Bewirtschaftungsintensitäten „konventionell“ und „ökologisch“ visualisiert. Dabei wird deutlich, dass der Ertrag von Getreidestroh im ökologischen Anbau deutlich geringer ausfällt, obwohl die Korn-Strohverhältnisse im ökologischen Anbau höher sind und damit ein höherer Strohertrag erzielt werden kann. Allerdings sind die zugrunde liegenden Kornerträge im konventionellen Anbau höher, sodass das Ertragsniveau im ökologischen Anbau den des konventionellen Anbaus weder bei den Korn- noch bei den Stroherträgen erreicht.

Die Futter- und Einstreumengen werden über die Methode der Produktionsschwerpunkte regionalisiert und auf NUTS3-Ebene verfügbare Getreidestroh-Potenziale ermittelt. Entscheidend bei der Potenzialermittlung ist, welcher Anteil an Stroh als technisch erntebare angesehen wird. Die Korn-Strohverhältnisse geben den gesamten jährlichen Aufwuchs an, doch ist die Bergung des Strohs nur teilweise zu realisieren. Im Humusbilanzmodul wird der verfügbare Anteil an Stroh ermittelt, der zur Humusreproduktion nötig ist. Doch ist aufgrund der Rechenressourcen die Nutzung des Humus-Moduls für die europäischen Daten bisher nicht möglich. Aufgrund der Analyse in Brandenburg (42-18 % des Getreidestrohs sind bei mittleren Niederschlägen nutzbar) bzw. Deutschland (nutzbarer Anteil = 51-29 %) und WEISER et al. (2011) (27-43 %) wird angenommen, dass ca. 30 % der Stroh-Erntemenge nutzbar sind.

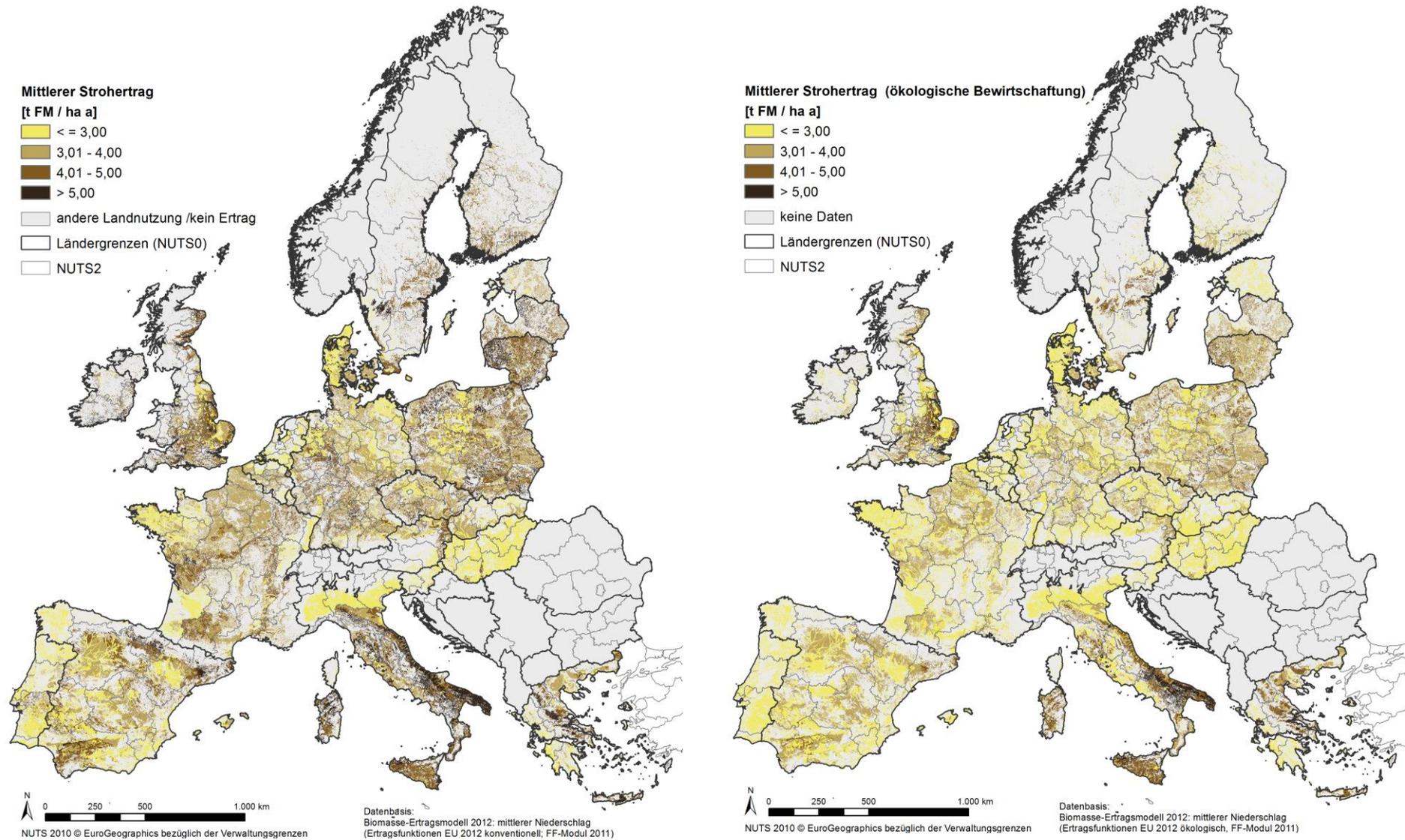


Abb. 103: Standort-Szenario: Mittlerer Ertrag von Getreidestroh auf den Ackerflächen Europas bei mittleren Niederschlägen und konventioneller (links) sowie ökologischer (rechts) Bewirtschaftungsweise, eigene Berechnung.

Tabelle 79: Bioenergiepotenzial von Getreidestroh (mit / ohne Stroh von Körnermais) im konventionellen und ökologischen Anbau auf den modellierten Anbauflächen in Europa im Szenario „mittlere Niederschläge“ bei 30 % technischer Verfügbarkeit von Getreidestroh sowie Futter-, Einstreubedarf, eigene Berechnung.

Potenziale von Getreidestroh im konventionellen Anbau						
Land	Getreidestroh mit Körnermais			Getreidestroh ohne Körnermais		
	verfügbar [1.000 t TM a ⁻¹]	Bioethanol [TJ a ⁻¹]	Heizwert [TJ a ⁻¹]	verfügbar [1.000 t TM a ⁻¹]	Bioethanol [TJ a ⁻¹]	Heizwert [TJ a ⁻¹]
AT	1.415	8.664	23.860	-16	-98	-270
BE	494	3.025	8.332	-803	-4.917	-13.542
CZ	4.174	25.554	70.378	2.914	17.842	49.139
DE	15.546	95.174	262.113	12.212	74.765	205.907
DK	1.989	12.175	33.532	1.310	8.018	22.083
EE	932	5.705	15.712	772	4.725	13.014
EL	5.737	35.122	96.727	4.227	25.879	71.270
ES	13.099	80.196	220.863	-2.295	-14.049	-38.693
FI	2.708	16.576	45.651	1.992	12.194	33.582
FR	22.970	140.625	387.287	8.286	50.727	139.703
HU	6.383	39.077	107.619	2.360	14.449	39.793
IE	-358	-2.194	-6.041	-2.860	-17.507	-48.215
IT	18.054	110.527	304.395	10.854	66.448	183.000
LT	4.566	27.954	76.985	4.123	25.244	69.524
LU	21	131	362	-73	-446	-1.229
LV	1.959	11.995	33.033	1.498	9.173	25.262
NL	393	2.409	6.635	49	301	828
PL	14.823	90.748	249.922	8.949	54.785	150.880
PT	2.224	13.613	37.491	-8	-50	-137
SE	3.262	19.968	54.991	2.157	13.208	36.376
SI	476	2.914	8.026	112	683	1.882
SK	2.447	14.978	41.250	1.568	9.597	26.432
UK	4.428	27.110	74.661	-611	-3.744	-10.310
Summe	127.742	782.046	2.153.783	56.717	347.228	956.279
Potenziale von Getreidestroh im ökologischem Anbau						
Land	verfügbar	Bioethanol	Heizwert	verfügbar	Bioethanol	Heizwert
	[1.000 t TM a ⁻¹]	[TJ a ⁻¹]	[TJ a ⁻¹]	[1.000 t TM a ⁻¹]	[TJ a ⁻¹]	[TJ a ⁻¹]
AT	909	5.568	15.333	-391	-2.392	-6.589
BE	160	979	2.697	-1.610	-9.858	-27.150
CZ	3.940	24.122	66.434	2.679	16.402	45.173
DE	14.771	90.428	249.042	10.885	66.642	183.534
DK	1.718	10.517	28.965	768	4.702	12.951
EE	872	5.337	14.698	652	3.989	10.986
EL	5.498	33.656	92.691	4.052	24.806	68.317
ES	10.110	61.896	170.462	-9.987	-61.144	-168.394
FI	2.323	14.223	39.171	1.223	7.488	20.622
FR	19.566	119.785	329.893	2.316	14.178	39.046
HU	5.652	34.605	95.303	2.250	13.774	37.934
IE	-1.163	-7.118	-19.602	-4.957	-30.344	-83.569
IT	16.760	102.604	282.574	8.680	53.142	146.356
LT	4.450	27.245	75.034	3.892	23.827	65.621
LU	-8	-51	-141	-140	-857	-2.360
LV	1.839	11.256	30.999	1.257	7.695	21.193
NL	294	1.803	4.965	-203	-1.243	-3.424
PL	13.726	84.029	231.418	6.921	42.371	116.691
PT	1.755	10.743	29.587	-1.697	-10.388	-28.608
SE	2.949	18.055	49.725	1.533	9.385	25.847
SI	392	2.397	6.602	-9	-53	-147
SK	2.240	13.713	37.767	1.478	9.047	24.916
UK	2.955	18.088	49.816	-3.994	-24.452	-67.341
Summe	111.707	683.881	1.883.434	25.599	156.717	431.604

In einigen Regionen übersteigt der Bedarf an Getreidestroh das Potenzial (Abb. 104). Diese Regionen werden mit den Regionen, in denen ein Überschuss an Stroh herrscht, verrechnet, sodass die Bilanz durch Importe ausgeglichen wird. Die Potenziale sind in Tabelle 79 länderspezifisch zusammengefasst und in Bioenergiemengen (Bioethanol und Heizwerte) umgerechnet.

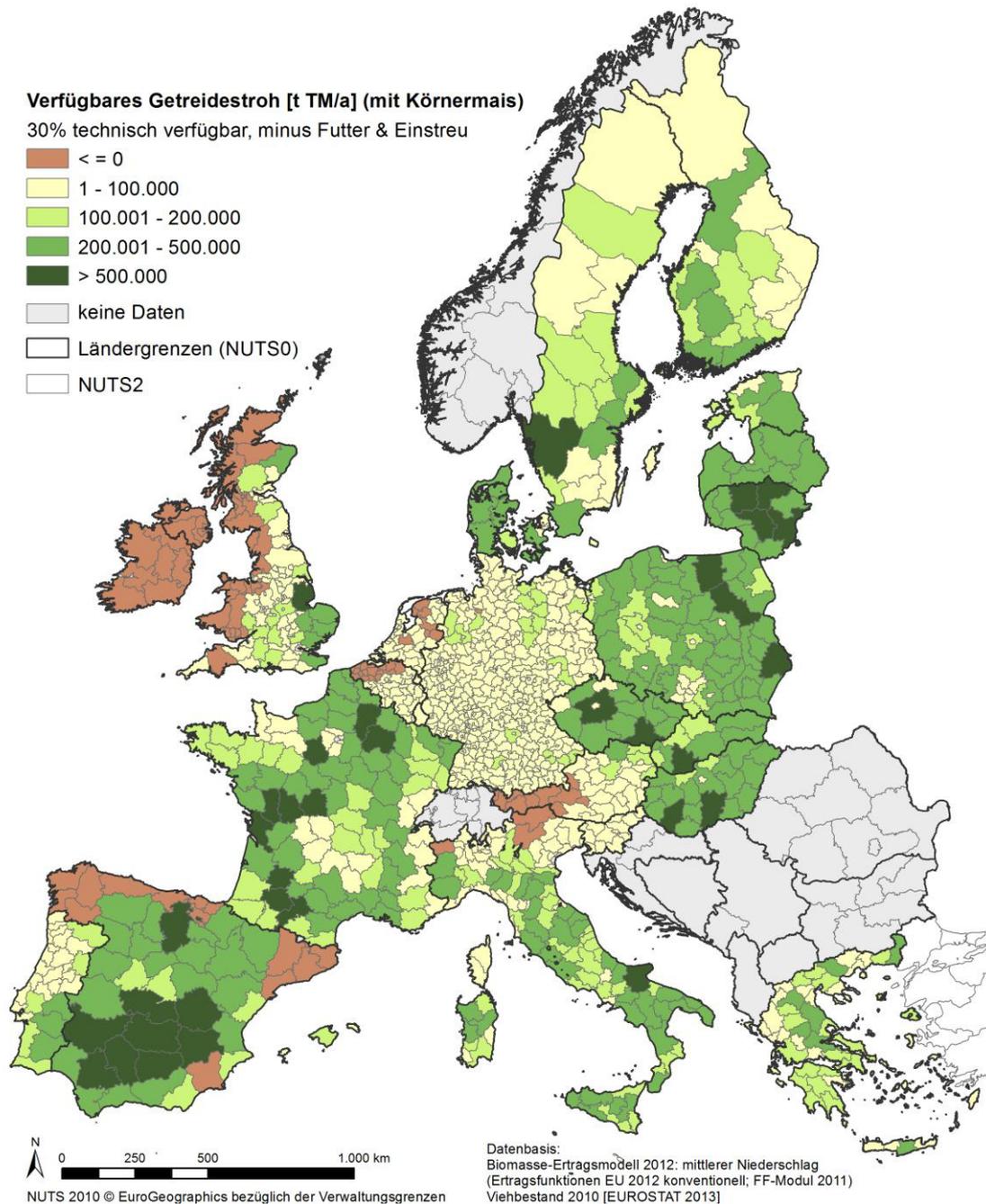


Abb. 104: Standort-Szenario: Verfügbare Mengen an Getreidestroh in den untersuchten Ländern Europas (NUTS3-Level dargestellt) auf den modellierten Anbauflächen bei konventionellem Anbau, mittleren Niederschlägen, einer Verfügbarkeit von 30 % Stroh und Futter-, Einstreubedarf nach EUROSTAT 2013, eigene Berechnung.

Das Potenzial von Getreidestroh liegt bei ca. 956 PJ. Allerdings ist in einigen Regionen die verfügbare Menge an Getreidestroh zu gering (Irland, Alpen-Region), um den Bedarf zu decken. Bei der geringeren Bewirtschaftungsintensität des ökologischen Landbaus halbiert sich das Potenzial auf ca. 432 PJ.

4. Diskussion

Auf der Basis des Biomasse-Ertragsmodells (PIORR 1998a und 1998b, BROZIO et al. 2006a, BROZIO et al. 2006b) ist eine Modellierung der Bioenergie-Potenziale auf unterschiedlichen räumlichen und thematischen Ebenen möglich. Die Qualität der Modellierung hängt von der zur Verfügung stehenden Datenbasis ab. Bei flächendeckender und digitaler Datenbasis der Modellinputparameter Ackerfläche, Ertragsfähigkeit der Standorte und monatliche Niederschlagssummen können für eine Region Bioenergieerträge ermittelt und ausgewertet sowie Szenarien erstellt werden.

Die Ergebnisse der Modellierungen werden im folgenden Kapitel zusammengefasst und anschließend die erarbeiteten Datengrundlagen, die Modellvalidierungen sowie die Ergebnisse der Potenziale diskutiert.

4.1 Überblick der Bioenergie-Szenarien und –potenziale

Die Bioenergiepotenziale wurden

- auf der Basis von Statistiken (**Referenz**-Szenarien) abgeleitet und
- anhand von Geodaten über das Biomasse-Ertragsmodell (**Standort**-Szenarien) modelliert.

Es wurden die Modellebenen Bundesland Brandenburg, Bundesrepublik Deutschland und Europa ausgewertet. Aufgrund der unterschiedlichen Datengrundlagen wurden jeweils abweichende Potenziale ermittelt. In den folgenden Tabellen und Abbildungen erfolgt eine Übersicht der Potenziale, deren Datenbasis und Raumbezug (Tabelle 80).

Nach der Definition der Potenzialebenen (Kap. 1.2) können bei vollständiger Datenbasis **ökologisch verfügbare Potenziale** ermittelt werden. Vor allem muss bei der Bewertung der Schwankungsbereich der Potenziale berücksichtigt werden, da es um die Versorgungssicherheit von Bioenergieanlagen geht. Eine ökonomische Modellierung bzw. logistische Untersuchung ist in einzelnen, kleinen Regionen bzw. für neue, potenzielle Bioenergiestandorte sinnvoll. Hierfür können dann nachhaltig verfügbare Potenziale ermittelt werden. Die vorgestellten Potenziale bilden somit die Grundlage für eine detaillierte Standortanalyse.

Tabelle 80: Übersicht der Potenzialstudien, deren Datengrundlagen, Potenzialebenen und Forschungsbedarfe, eigene Zusammenstellung.

Szenario	Referenz	Standort		
		EU	DE	BB
Skala	EU	EU	DE	BB
Modellfläche	EU27	EU27 ohne Bulgarien, Malta, Rumänien, Zypern	Bundesrepublik Deutschland	Bundesland Brandenburg
Räumliche Bezugseinheit	NUTS0	NUTS3	Gemeinden	
Ertragsermittlung	Anbauregion Statistiken	Modell-Ackerfläche Anwendung des Biomasse-Ertragsmodells		
Zeitbezug	2000-2007 (Statistiken)	1950-2000 (Niederschlag MW)	2005-2010 (Niederschlag)	2005-2010 (Niederschlag)
Ackerfläche	EUROSTAT	Aktuelle Ertragsfunktionen		
Niederschlag	-	CORINE WORLDCLIM	CORINE DWD	InVeKoS DWD
Bodendaten	-	Eigene Entwicklung auf Basis Bodendaten EU (ohne Bulgarien, Malta, Rumänien, Zypern)	Eigene Entwicklung auf Basis BÜK1000	GEMDAT
Potenzial-Ebene				
Theoretisch	X	X	X	X
Technisch	X	X	X	X
Ökologisch verfügbar		X	X	X
Potenzial Themen				
Biokraftstoffe	X	X	X	X
Biogas	Gülle	n.b.	Silomais, Gülle	Silomais, Winterroggen, Gülle
landwirtschaftliche Reststoffe	X	X	mit Humusbilanz	mit Humusbilanz
Defizite bzw. notwendige weitere Analysen	<ul style="list-style-type: none"> Keine regionale Differenzierung Kein Bezug zum Standort 	<ul style="list-style-type: none"> Entwicklung Bodenzahl in fehlenden Ländern EU (v.a. Südosteuropa) Verifizierung der Futterrationen auf EU Differenzierung Anbauintensitäten Anpassung der Ertragsfunktionen an Anbauregionen Modellierung von Trockenjahren, Klimaszenarien 	<ul style="list-style-type: none"> Modellierung von Klimaszenarien Integration betriebswirtschaftliche Kennzahlen zur ökonomischen Modellierung Untersetzung der Biomassepotenziale mit Anbauverfahren und Ableitung der landwirtschaftlichen kompletten Ökobilanz Integration von Transportketten zur Ermittlung von Bereitstellungskosten 	

Biokraftstoffe: Bioethanol und Biodiesel

Rohstoffe: Getreidekorn, Zuckerrübe, Raps und Sonnenblume

Tabelle 81: Übersicht der **Biokraftstoffpotenziale** aus Getreidekorn in Brandenburg, Deutschland und Europa basierend auf unterschiedlichen Biomassepotenzialanalysen (n.b. = nicht berechnet), eigene Berechnung.

Szenario	Referenz (Min / MW / Max)		Standort (normal / trocken)		Maximum
	Statistik		BYM 2012		BYM 2012
Basis Ertrag			Produktionsschwerpunkte (Szenario 3)		100 % Bioenergie
Verbrauch	Pro Kopf (Szenario 1)		Standort bis NUTS3 / Modellfläche		Maximale Anbaufläche
Raumbezug	Land bis Anbauregion				
	Biokraftstoffpotenzial [PJ a⁻¹]				
	Bioethanol	Biodiesel	Bioethanol	Biodiesel	Biodiesel
BB			8,2 / 1,6	3,3 / 2,2	4,4
DE	6,3 / 64,0 / 122,2	20,8 / 33,3 / 44,6	117,3 / 38,2	66,2 / 48,8	152,4
EU	0,0 / 243,9 / 788,4	52,2 / 93,2 / 156,3	1.451 / n.b.	282 / n.b.	n.b.

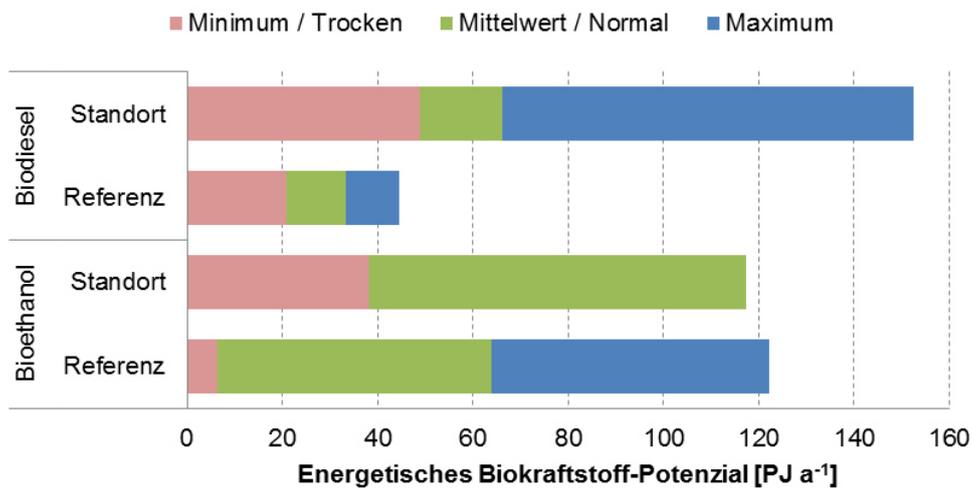


Abb. 105: Biokraftstoffpotenziale in Deutschland, eigene Berechnung.

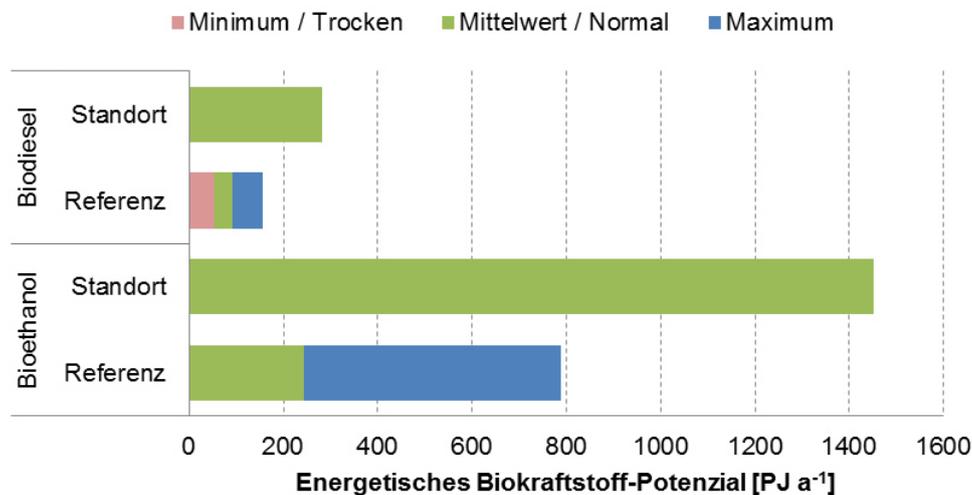


Abb. 106: Biokraftstoffpotenziale in Europa, eigene Berechnung.

Biogas und landwirtschaftliche Rohstoffe

Rohstoffe: Gülle, Silomais, Winterroggen-Ganzpflanze (nur Brandenburg), Getreidestroh

Tabelle 82: Übersicht der **Biogaspotenziale aus Gülle** in Brandenburg, Deutschland und Europa basierend auf unterschiedlichen Viehbestandsdaten, eigene Berechnung.

Datengrundlage Viehbestand	EUROSTAT 2013	DESTATIS 2012	InVeKoS
Bezugsjahr	2010	2010	2007/08
Differenzierung: Rinder	7 Klassen	2 Klassen	9 Klassen
Schweine	3 Klassen	2 Klassen	6 Klassen
Raumbezug	NUTS2-Ebene (in DE \pm Bundesland)	Landkreise	Gemeinde
	Biogaspotenzial gesamt [PJ a⁻¹]		
Modelliert mit	Excel	Humusbilanzmodul	
BB	3,5	4,1	2,5
DE	90,5	51,0	-
EU	384,8	-	-

Tabelle 83: Übersicht der **Biogaspotenziale aus pflanzlichen Rohstoffen** in Brandenburg und Deutschland basierend auf unterschiedlichen Modellierungsdaten, eigene Berechnung.

Modellierungsgrundlagen	DE: BÜK1000		InVeKoS	
Biogas-Rohstoff	Silomais		Silomais, WRo	
Viehbestand (Futter/Einstreu)	EUROSTAT 2013 (Daten 2010)		InVeKoS 2007/08	
Raumbezug	Gemeinde		Gemeinde	
Szenarien: Niederschlag	normal	trocken	Normal	trocken
Humusbilanz	-		HB \pm 0 / +100	HB \pm 0 / +100
	Biogaspotenzial gesamt [PJ a⁻¹]			
BB	11,5	0	14,6 / 9,5	8,9 / 5,5
DE	106,0	28,3	-	-
EU	-	-	-	-

Tabelle 84: Übersicht der Bioenergiepotenziale aus **Getreidestroh** (ohne Körnermais) in Brandenburg, Deutschland und Europa basierend auf unterschiedlichen Biomassepotenzialanalysen, eigene Berechnung.

Szenario	Referenz	Standort			
		Biomasse-Ertragsmodell 2012 Produktionsschwerpunkte: Futter, Einstreu			
Basis	Statistik	EUROSTAT 2013	DESTATIS 2012	InVeKoS 07/08	
Verbrauch	Pro Kopf: Futter, Einstreu 2000 - 2007	normal, Modell-Fläche 50% Bergung	normal HB \pm 0 / +100	normal / trocken HB \pm 0	
Szenario	Min / MW / Max HB \pm 0	EU NUTS3	Landkreis	Gemeinde	
Raumbezug	Land bis Anbauregion				
	Bioenergiepotenzial Getreidestroh [PJ a⁻¹]				
Produktlinie	Biokraftstoffpotenzial: Bioethanol	Thermisches Potenzial: Heizwert			
BB				14,7 / 9,3	17,1 / 3,3
DE	17,5 / 39,4 / 55,6	74,8	205,9	199 / 116	-
EU	74,3 / 159,1 / 222,1	347,2	956,3	-	-

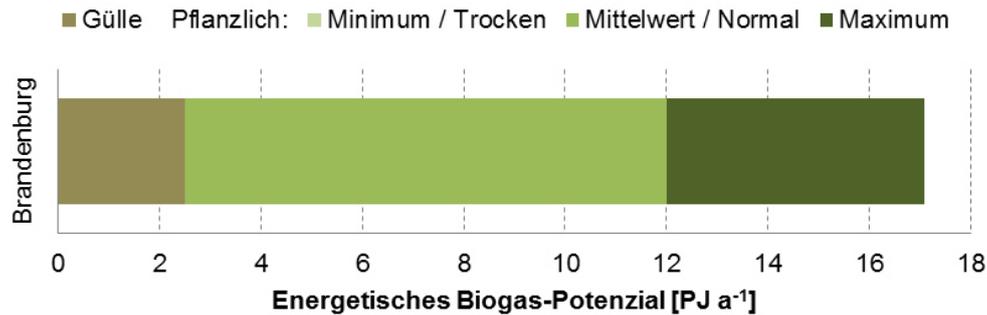


Abb. 107: Biogaspotenziale des Bundeslandes Brandenburg, eigene Berechnung.

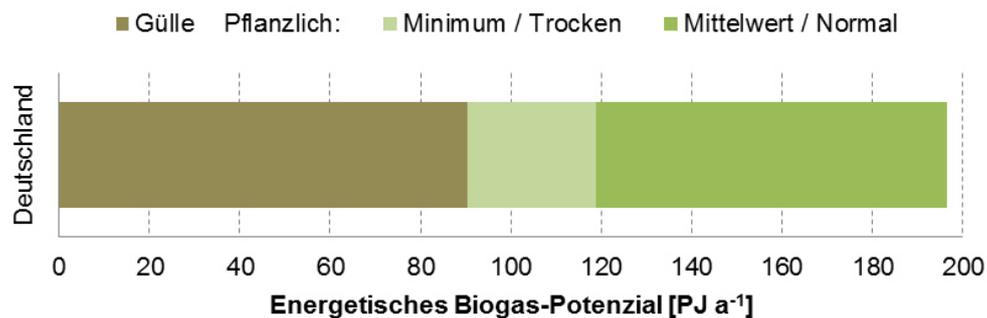


Abb. 108: Biogaspotenziale der Bundesrepublik Deutschland, eigene Berechnung.

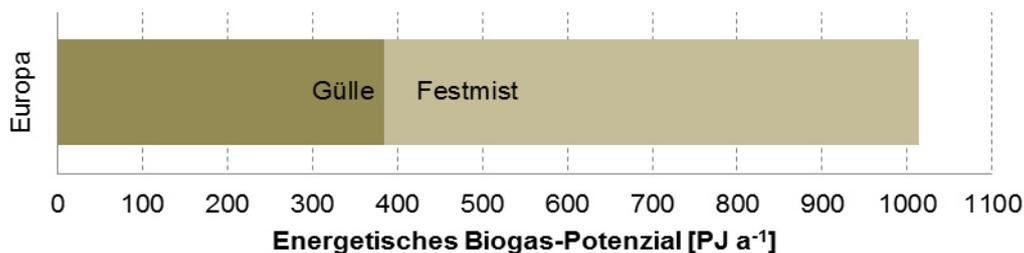


Abb. 109: Biogaspotenziale in Europa, eigene Berechnung.

4.2 Modell-Inputdaten

Die Inputdaten wurden für verschiedene räumliche Ebenen entwickelt und liegen in unterschiedlicher räumlicher Auflösung für Brandenburg, Ostdeutschland, Deutschland und die meisten der europäischen Länder vor. Deren Qualität ist entscheidend für die Qualität der Modellierung.

4.2.1 Landnutzungsdaten

Das Biomasse-Ertragsmodell wird auf die gesamte Ackerfläche angewendet. Je nach Modellierungsebene können regionsspezifische bis europäische Landnutzungsdaten verwendet werden. Feldblockgenau können lokale Landnutzungs-Daten aus InVeKoS im Maßstab 1:10.000 genutzt werden, sie sind allerdings nicht überall in Deutschland kostenfrei verfügbar. Daher muss für eine großräumige Analyse auf CORINE-Daten im Maßstab 1:300.000 zurückgegriffen werden. Dabei kann es in Regionen zu Abweichungen einerseits durch die Fehlinterpretation der Satellitendaten, durch Generalisierung der Daten (kleinste Fläche = 25 ha) kommen, andererseits ist die Aktualität auf einen zehnjährigen Turnus der Datenbereitstellung beschränkt (EEA-ETC/TE 2002). Vor allem dieser zeitliche Faktor kann ein Grund für die Abweichungen von CORINE und den Agrarstatistiken von ca. 2-3 % sein, denn während eines Jahres verringert sich die Ackerfläche in EU27 um 0,9 % (eigene Berechnung aus EUROSTAT-Landnutzungsdaten 2000-2007).

Im Nachgang der Modellierung wird die Anbaufläche durch länderspezifische Indizes korrigiert: Es wird nur die Anbaufläche der Feldfrüchte betrachtet, für die Ertragsfunktionen vorliegen. Die Anbauflächen von Gemüse und Dauerkulturen werden als konstante Fläche angesehen, womit auch eine Konkurrenz zu nicht im Modell integrierten Fruchtarten ausgeschlossen werden soll. So wird in den betrachteten europäischen Ländern im modellierten Standort-Szenario mit 66,5 Mio. ha 62,6 % der Ackerfläche abgebildet. Dabei gibt es länderspezifisch große Unterschiede, wie in Irland (Anteil von Futterpflanzen am Ackerland =19 % (nach: BENOIST et al. 2007)) Spanien und Portugal (hoher Dauerkulturanteil mit jeweils 6,8%; im Vergleich zur EU 2,4 %; nach: CORINE 2000 (EEA 2008)), in denen der Anteil der modellierten Fruchtarten bei ca. 30 % liegt. 70 % der Ackerfläche gehen hier nicht in die weitere Ableitung von Bioenergie-Potenzialen ein. In Deutschland, Dänemark, der Tschechischen Republik, Slowenien und Ungarn werden durch die untersuchten Fruchtarten mindestens 80 % der Ackerfläche betrachtet (Kap. 3.5.4.1, Tabelle 73).

4.2.2 Niederschlagsdaten

Der Niederschlag ist der Modell-Parameter, der limitierend auf den Ertrag wirkt. Es können Monatssummen gebildet werden, die dann für unterschiedliche Fruchtartgruppen das ertragsbildende Wasserangebot widerspiegeln. Damit können auch Szenarien abgeleitet werden, die Ertragsdepressionen in Trockenjahren abbilden, bzw. wäre es auch möglich, Klimaszenarien einzubinden. Es wurden auf regionaler Ebene mittlere Niederschlagsszenarien („normal“) sowie Trockenheitsszenarien („trocken“) dargestellt. Auf europäischer Ebene wurde ein mittleres Niederschlagsszenario („normal“) angenommen.

Für Deutschland sind die Daten des Deutschen Wetterdienstes nutzbar, es liegen Monatssummen bzw. Jahressummen vor. Weltweit sind Rasterdaten aus WORLDCLIM frei verfügbar. Die Dichte des Wetterstationsnetzes ist in den Ländern sehr unterschiedlich. Während in Deutschland, Italien oder Großbritannien das Stationsnetz sehr dicht ist, gibt es in Spanien, Polen oder den baltischen Staaten weniger Messstationen (WORLDCLIM 2008), sodass eine Interpolation in die Fläche in diesen Gebieten statistisch ungenauer sein kann. Die WORLDCLIM-Plattform bietet allerdings auch den Vorteil, dass Prognosen zur Entwicklung der Niederschläge für 2050 /2100 (WORLDCLIM 2010) vorliegen, die in das Biomasse-Ertragsmodell integriert werden können.

Die als Grundlage verwendeten Zeiträume beider Rasterdaten-Plattformen sind nicht gleich, WORLDCLIM gibt ein 50-jähriges Mittel heraus, vom DWD sind jährliche Daten erhältlich. Doch zeigt sich, dass die WORLDCLIM-Daten ein geringeres Niederschlagsniveau in Deutschland aufweisen, diese jedoch vor allem in nicht-ackerbaulich genutzten Bereichen. Die regionale Differenzierung von WORLDCLIM ist geringer als in DWD.

4.2.3 Bodendaten

Da es keinen einheitlichen Datensatz zur Bodenproduktivität in Europa gibt, wurde die Entwicklung eines europäischen Ackerschätzungssystems in Anlehnung an den deutschen Ackerschätzungsrahmen mit unterschiedlichen Bodendaten getestet. Um Bodenzahlen zu generieren, müssen aus vorliegenden Bodendaten der Substrattyp, Entstehungstyp und eine Zustandsstufe ermittelt werden.

Nach dem System des Ackerschätzungsrahmens wird die Ackerzahl zum größten Teil durch die Bodenart bestimmt, wie die Analyse in Kap. 2.3.3.1 gezeigt hat. Daher ist die richtige Einschätzung der Bodenschätzungs-Bodenart von enormer Bedeutung. Dies birgt insofern eine Fehlerquelle, da heutzutage andere Bodenarten-Ansprachen vorgenommen werden, welche sich auch zwischen den europäischen Ländern voneinander unterscheiden. Die Einordnung der Bodenarten nach heutiger Klassifikation richtet sich nach den Körnungsanteilen Sand, Schluff und Ton. Empfehlungen für die Zuordnung gibt das BMF (2005), erklärt dies aber nicht für allgemein gültig. In weiteren Untersuchungen wird diese Zuordnung unter Berücksichtigung der Entstehungstypen weiter untersetzt (FLEISCHMANN et al. 1979), um eine bessere Differenzierung zu erlangen. Dies wurde auf der

Grundlage der eigenen Klassifikationen der BÜK300-Bodenarten überprüft. Allerdings ergab sich keine eindeutige Zuordnung (Anhang T-9). Eine allgemein gültige Übersetzung der Bodenschätzungs-Bodenarten in die heutigen Klassifikationen gibt es dementsprechend nicht, auch nicht für die internationale Klassifikation. So wurden eigene Ableitungen der Bodenarten anhand der Überlagerung von Körnungsdreiecken vorgenommen, wobei das Körnungsdreieck für die Bodenschätzung auch eine eigene Entwicklung darstellt, da selbst Bodenschätzern keine Literatur vorliegt, die die Ton-, Schluff- und Sandanteile der Bodenschätzungs-Bodenarten darstellt. Einzig ULONSKA (2006) gibt Grenzwerte an, aus denen das hier dargestellte Körnungsdreieck (Kap. 3.2.1) abgeleitet wurde.

Eine weitere Fehlerquelle der Zuordnung zu den Bodenschätzungs-Bodenarten liegt auch im System der digitalen Bodendaten, in dem pro Fläche ein Spektrum an Bodenarten angegeben ist oder über die Flächenanteile eine Bodenart pro Polygon gemittelt wird. Die Ergebnisse zeigen, dass die Einstufungen in Bodenschätzungs-Bodenarten korrekt vorgenommen wurden bzw. sich höchstens um eine Stufe unterscheiden.

Das System der Zustandsstufen als theoretische Basis mit sieben Stufen gilt als „heute völlig überholt“ (KÜHN 2004). Es bleibt allerdings unklar, ob sich diese Aussage auf das System allgemein oder die Zuordnung der Stufe im Feld bezieht. Da sich eine Abhängigkeit der Bodenzahl von der Zustandsstufe gezeigt hat (Abb. 19), wird das System beibehalten und auf die Geodaten angewendet. Es wurden in Brandenburg anhand weiterer BÜK300-Themenkarten auch weitere Datensätze getestet, welche eine genauere Einschätzung der Zustandsstufe ermöglicht. Es konnten allerdings sowohl statistisch (Vergleiche von Mittelwert, Median oder Majority aus den Eigenschaften pH, nFK und Humus) als auch thematisch (zusätzliche Themenkarten: Speichervermögen, Vernässung) keine besseren Klassifikationen erreicht werden.

Die Eingangsdaten der pH-Werte (REUTER et al. 2009) lagen für Bulgarien und Rumänien nicht vor, sodass hier keine Bodenzahlen ermittelt werden konnten.

Die betrachtete Profiltiefe wurde auf maximal 1 m Tiefe definiert, da dies in der Schätzungslehre der Bodenschätzung definiert wurde (ROTHKEGEL 1952). RATZKE & MOHR (2005) sehen eine Tiefe von mehr als 2 m für die Beurteilung von Wasser-, Nährstoff- und Substratverhältnisse als erforderlich an. Auch in EHLERS (1996) wird deutlich, dass landwirtschaftliche Feldfrüchte einen tieferen Wurzelraum ausfüllen: so reichen die Wurzeln von Weizen und Raps bis zu einer Tiefe von 1,5 m. Wurzeln der Zuckerrüben erreichen sogar eine Tiefe von 1,8 m. Allerdings werden diese Wurzeltiefen erst zu Beginn (Getreide) der Blüte mit Eintritt in die reproduktive Phase erreicht (EHLERS 1996). Während des Auflaufens der Saat und der Etablierungsphase sind die Eigenschaften des Oberbodens bis zu einer Mächtigkeit von 1 m daher ausschlaggebend und damit auch entscheidend für die Ertragsfähigkeit des Standortes.

Die modellierten Bodenzahlen korrelieren gut mit den Vergleichsdaten der GEMDAT (R^2 BÜK300 = 0,9057, R^2 BÜK1000 = 0,9632, R^2 EU = 0,8041). Bisher wurden nur wenige Ansätze zur einheitlichen Klassifikation der Ackerböden in Europa umgesetzt, die Arbeiten gelten in der EU vorrangig einer einheitlichen Bodenklassifikation. Das Müncheberger Soil Quality Rating SQR (MÜLLER et al. 2007) ist einer der ersten Ansätze zur einheitlichen Bewertung von Ackerböden. Dieses System dient in erster Linie der Bodenansprache vor Ort, wurde aber durch RICHTER et al. (2009) anhand der BÜK1000 auf Deutschland angewendet und ein Entwurf einer Karte des ackerbaulichen Ertragspotentials der Böden Deutschlands nach dem Soil Quality Rating [0-100 Punkte] abgeleitet. Hiermit ist ein visueller Vergleich der Ergebnisse des SQR und der eigenen Entwicklung einer modellierten Bodenzahl in Deutschland möglich. Das „Finale SQR“ hat, wie die modellierte Bodenzahl, eine Skala von 0-100 Punkten. Sie erreicht im visuellen Vergleich der Karte zur modellierten Bodenzahl höhere Punktwerte (Abb. 110). Allerdings enthält die Ableitung des finalen SQR aus den Basisindikatoren nach RICHTER et al. (2009) weitere Parameter, da sich die Einschätzung des gesamten norddeutschen Raums erhöht. Unter anderem geht die klimatische Wasserbilanz ein, welche in der eigenen Modellierung einer Bodenzahl keine Berücksichtigung findet, da der Niederschlag als eigenständiger Parameter ins

Biomasse-Ertragsmodell integriert ist. Insgesamt zeigt sich in der Karte der modellierten Bodenzahl, dass günstige Ertrageigenschaften der lößhaltigen Standorte auch durch höhere Bodenwerte wiedergegeben werden (Abb. 110).

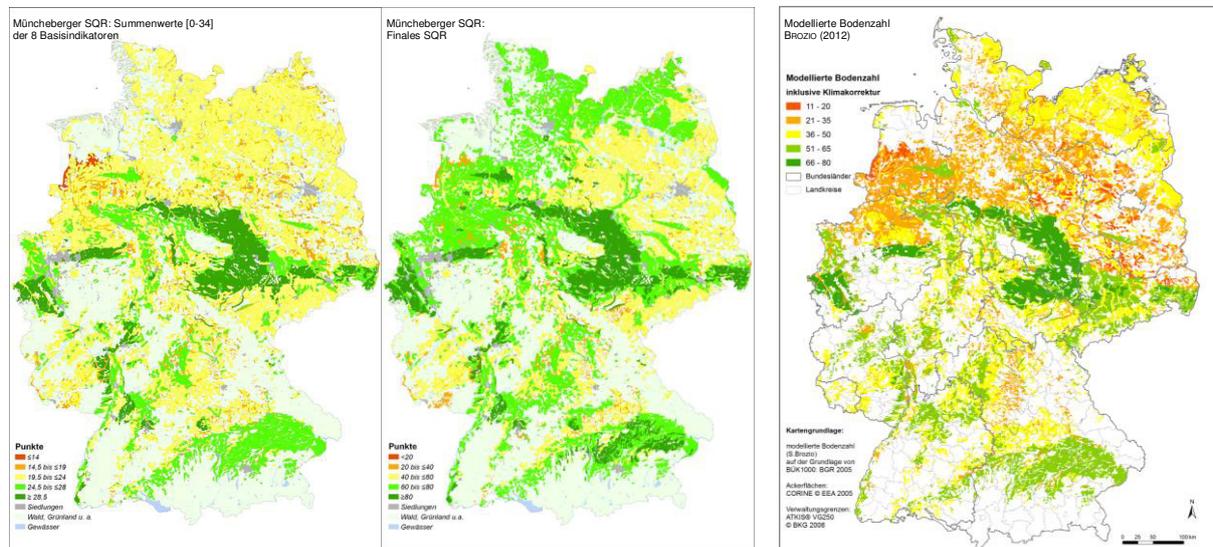


Abb. 110: Einschätzung der Ertragsfähigkeit auf der Basis der BÜK1000 in Deutschland: Müncheberger SQR (Soil Quality Raiting nach RICHTER et al. (2009)) und eigene Entwicklung einer modellierten Bodenzahl, eigene Darstellung.

Die modellierte Bodenzahl ist jedoch nicht mit der Ackerzahl gleich zusetzen und wurde einzig als Modellinput des Biomasse-Ertragsmodells zur Einschätzung der Ertragsfähigkeit der Böden abgeleitet. So können die Arbeiten von MÜLLER et al. (2007) und RICHTER et al. (2009) zum Soil Quality Raiting die eigene Entwicklung ergänzen.

RUST (2006) schlägt eine GIS-basierte Aktualisierung der Bodenschätzung unter Berücksichtigung klimatischer Bedingungen vor. Dabei ist vor allem nach eigener Analyse der Niederschlagsfaktor von Bedeutung. Bodenartenabhängig sollen je nach Niederschlag und Temperatur die Bodenzahlen von +21 % bis zu -55 % korrigiert werden. Diese prozentualen Zu- und Abschläge korrelieren hoch signifikant mit dem Niederschlag ($r=0,7301$, eigene Berechnungen). Diese klimatischen Einflüsse sollen im angewendeten Modell jedoch durch die Integration der Niederschlagsdaten abgedeckt werden. Es wurde hingegen eine Korrektur der Bodenzahlen in Deutschland und Europa anhand der Länge der Vegetationsperiode mit einem Maximum in Europa von 28 % durchgeführt (Kap. 3.2.4.1). In Deutschland reichen die Korrekturen von 8 bis 13 %. Aus RUST (2006) wurde für Deutschland eine maximale Korrektur durch den Temperaturfaktor von 19 % errechnet, was über den eigenen Analysen liegt.

Die modellierte Bodenzahl konnte für fast den gesamten europäischen Raum entwickelt werden. Es fehlten Daten in Rumänien und Bulgarien zur Ableitung der Zustandsstufe des pH-Wertes, weshalb in diesen Ländern Szenarien zum Standort-Potenzial fehlen.

4.3 Biomasse-Ertragsmodell

Das Biomasse-Ertragsmodell basiert auf der Nutzung der zuvor diskutierten Parameter Ackerfläche, Niederschlag und Ertragsfähigkeit der Böden. Durch die Umsetzung der Algorithmen in einem Geographischen Informationssystem (GIS) und auf der Basis der erstellten Datengrundlage ist das Modell zur Berechnung großer Landschaftsräume geeignet. Eine regionale Anpassung des Modells ist notwendig und wurde für die einzelnen Module des BYM umgesetzt.

In folgender Übersicht ist der Bearbeitungsstand vor und nach dieser Arbeit zusammengestellt (Tabelle 85).

Tabelle 85: Übersicht der BYM Versionen 1998 und 2012, eigene Zusammenstellung.

	BYM Version 1998	BYM Version 2012
Modellfläche	Ostdeutschland	regional bis EU27
Räumliche Bezugseinheit	Gemeinde 1995	Bodenzahl-, Ackerzahl-Polygone
Ertragsermittlung differenziert nach:	Ertragsfunktionen Version I (1998): validiert für Ostdeutschland <ul style="list-style-type: none">• Bewirtschaftung: ökologisch, konventionell	Ertragsfunktionen Version II (2012): Parametersatz für DE und EU <ul style="list-style-type: none">• Bewirtschaftung: ökologisch, konventionell• Niederschlagssummen der Fruchtartgruppen Sommer- und Winterfrüchte• Abbildung von Ertragssteigerungen in Anbauregionen
Fruchtfolgen	für Ostdeutschland: differenziert nach Bewirtschaftungsintensität (eco, kon) und Ackerzahlgruppen	bis EU27: differenziert nach Bewirtschaftungsintensität (eco, kon), Ackerzahlgruppen und Anbauregion; Fruchtfolgeszenarien möglich
Landnutzung Niederschlag Bodendaten	CORINE DWD: 30-jähriges Mittel 1960-90 GEMDAT 1995	Feldblockkataster bis CORINE DWD, WORLCLIM: unterschiedliche Szenarien und Jahresspannen DIBOS bis EU-Bodenzahl (eigene Berechnung)
Potenzial-Ebene	theoretisches Potenzial keine Bedarfsberechnung	theoretisch bis ökologisch verfügbares Potenzial Bedarfsberechnung nach Produktionsschwerpunkten, Humusbilanzierung
Szenarien und Anwendung	Darstellung landwirtschaftlicher Erträge bei unterschiedlicher Bewirtschaftungsweise	Referenz-Szenario / Standort-Szenario mit Potenzialen: <ul style="list-style-type: none">• Minimum, Mittelwert, Maximum• 2020• Handel
Programmierung	Excel	Visual Basic for Application: Anwendung direkt in ArcGIS; Auswertung der Biomassepotenziale über Access-Datenbanken Erweiterung und Anpassung möglich

4.3.1 Fruchtfolgen

Die Fruchtfolgen können im BYM regionsspezifisch angepasst werden. So können Energiefruchtfolgen, verschiedene Bewirtschaftungsintensitäten (konventioneller Anbau, ökologische Bewirtschaftung) sowie ökonomische Szenarien integriert werden. Es wurde ein Bewertungstool in das Fruchtfolge-Modul integriert, welches anhand von Anbauflächen die Abfolge der Feldfrüchte optimiert.

Mögliche Erweiterungen des Biomasse-Ertragsmodells werden in der Kombination der Bewirtschaftungsintensität gesehen. Bisher wird über die Wahl des Anbausystems die Fruchtfolge konventionell oder ökologisch ausgewählt und die Ertragsermittlung für diese Intensitäten durchgeführt. Es ist zurzeit noch nicht möglich, beide Intensitäten gleichzeitig zu modellieren. Die

Berechnungen müssen getrennt erfolgen und bei Bedarf entsprechend der Flächenanteile des ökologischen Landbaus miteinander verschnitten werden. Ein Grund dafür besteht in der unzureichenden räumlichen Auflösung und Verfügbarkeit der Daten zur Bewirtschaftungsweise, weshalb dies noch nicht implementiert wurde.

Für große Regionen, wie die Modellierung von Biomasse in Europa, wurden Fruchtfolgen pro Anbauregion, Land und Bodenzahl-Gruppe ermittelt. Allerdings müssten diese Fruchtfolgen anhand der Anbauflächen aktualisiert werden, da sich Anbauflächen von Feldfrüchten durch Fördermaßnahmen und agrarpolitische Maßnahmen verändern. Eine Lösung bietet eine ökonomische Modellierung von Anbauszenarien, wie es im RUBIRES-Projekt erfolgte (GRUNDMANN et al. 2010). Anhand der Änderung von politischen Rahmenbedingungen können hiermit theoretische Veränderungen der Anbaustrukturen prognostiziert werden. Die Integration dieses Tools in das Biomasse-Ertragsmodell würde damit auch ökonomische Szenarien zeitnah ermöglichen.

Das Fruchtfolge-Modul ermöglicht eine Betrachtung von Szenarien, so auch von Energiefruchtfolgen. Ackerbauliche Potenziale können auch unter Beachtung von Cross Compliance-Bedingungen oder Schutzgebietsauflagen berechnet werden. In der Praxis des Energiepflanzenanbaus entspricht dies jedoch meist einer Erhöhung der Anbauflächen von Silomais in der Fruchtfolge, was jedoch einem doppelten Humusverbrauch im Vergleich zu Wintergetreide gegenübersteht. Somit wird ein höherer Anteil von Humusmehrern notwendig bzw. müssen mehr Ernterückstände (Getreidestroh) auf dem Feld verbleiben, um einer Humusverarmung entgegenzuwirken. Eine Veränderung von Anbaustrukturen muss daher regional untersucht und eine Humusbilanzierung durchgeführt werden, wie es auch von GREIFF et al. (2008) als unentbehrlich angesehen wird. Gleiches gilt für die Nutzung von Zweit- oder Zwischenfrüchten. In diesem Modell wurden keine Zweit- und Zwischenfrüchte für bioenergetische Zwecke oder zur Humusmehrung bilanziert. Zum einen stehen in vielen EU-Regionen wie auch in Brandenburg die entsprechenden Niederschläge für den Zwischenfruchtanbau nicht zur Verfügung. Auch sprechen Klimaprognosen bisher eher von einer Verringerung der Niederschläge während der Vegetationsperiode (WECHSUNG et al. 2008). Schlussendlich trägt die vorliegende Version der Fruchtfolgmodellierung ohne den Zwischenfruchteinsatz zu einer moderaten Einschätzung der Biomassepotenziale als auch einer limitierten Humusreproduktion bei.

4.3.2 Ertragsberechnungen

Die Ertragsfunktionen wurden zur besseren Einschätzung des zur Verfügung stehenden Wasserangebots getrennt für Winter- und Sommerfrüchte basierend auf den Niederschlags-Monatssummen unterschiedlicher Wachstumszeiträume ermittelt. Weiterhin wurde durch die Festlegung einer einheitlichen Struktur der Funktionen auch die Parametrisierung vereinfacht. Eine Adaptation an neue Untersuchungsräume lässt sich dadurch relativ schnell ermöglichen. So wurden für Deutschland andere Parametersätze entworfen, als für die Modellierung des europäischen Untersuchungsraumes.

Die Erträge der neuen Funktionen spiegeln weitestgehend die aktuelle Ertragssituation in Europa wider, die Korrelationen zu Agrarstatistiken sind signifikant und liegen fruchtartspezifisch zwischen 0,39 und 0,71 (Kap.3.4.3.2). Die Ertragsfunktionen des konventionellen Anbaus wurden in der vorliegenden Arbeit aktualisiert und angepasst. Da jährliche Ertragssteigerungen von ca. 1 % festgestellt wurden (Kap 3.5.2.2.), sollte ein Index zur Ertragssteigerung in das Modell differenziert nach den Anbauregionen integriert werden. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die zugrunde liegende lineare Regression der Erträge nicht unbedingt mit den züchterischen Erfolgen übereinstimmt, da das Ertragspotenzial auch züchterisch an Grenzen stoßen bzw. sich sprunghaft ändern kann (topagrar 2013, HEIDEMANN 2013, u.a.).

Die Anwendung der neuen Ertragsfunktionen Version II (2012) (Kap. 3.4.3.2) führte zu höheren Erträgen als die Berechnung mit den Ertragsfunktionen des Biomasse-Ertragsmodells Version I (2010). Die Version I bildete die Grundlage für eine Bioenergiestudie des Landes Brandenburg und

dessen Biomassestrategie 2020 (MUGV 2010). Hier wurden Biogaspotenziale von 378 („normal“) bzw. 212 („trocken“) Biogasanlagen (standardisiert auf 500 kW_{el}) bei ausgeglichener Humusbilanz errechnet. Durch die Anpassung der Ertragsfunktionen an das aktuelle Ertragsniveau bzw. deren Differenzierung in Winter- und Sommerfrüchte wurden mit Anwendung der Version II (2012-DE) auch höhere Potenziale ermittelt („normal“ = 416, „trocken“ = 277 Biogasanlagen à 500 kW_{el}).

In der weiteren Anwendung des Modells auf europäischer Ebene ist zu erwägen, ob die Ertragsfunktionen bzw. zumindest die Ertragsfunktion für die Umrechnung der Erträge von „ökologisch“ zu „konventionell“ für jede Anbauregion neu parametrisiert werden. Damit könnten unterschiedliche Anbauintensitäten und -strukturen besser berücksichtigt werden. Allerdings fehlt dazu zurzeit noch eine entsprechend ausreichende Datengrundlage.

Ertragsfunktionen für neue, nachwachsende Rohstoffe sowie weitere Fruchtarten (Baumwolle, Oliven etc.) fehlen und müssen entwickelt werden, um die Anbauverhältnisse in Europa besser abbilden zu können.

4.3.3 Erträge der Nebenprodukte

Entscheidend für die Ableitung von verfügbaren Nebenprodukten zur Bioenergieerzeugung ist die Berechnung von Nebenprodukten und die zugrunde liegenden Korn:Stroh- bzw. Wurzel:Laub-Verhältnisse. Hier werden in der Literatur unterschiedliche Werte angegeben (Anhang T-14). Die im Modell verwendeten Korn-Strohverhältnisse liegen nahe den Werten von KTBL (2005) und damit meist höher, als in anderer Literatur angegeben (Köhler 2009, DüVO 2012, PANOUTSOU et al. 2009). Die Erträge der Nebenprodukte werden demnach überschätzt. Allerdings zeigen die Praxis-Ergebnisse eine hohe Variabilität der fruchtartspezifischen Korn-Strohverhältnisse von 10-15 % (ohne Einsatz von Wachstumsreglern \triangleq extensive / ökologische Landwirtschaft) bzw. bis zu 25 % (mit Einsatz von Wachstumsreglern \triangleq intensive / konventionelle Landwirtschaft). Es wurden Abhängigkeiten der Indizes von der Bodenqualität gefunden, wobei die Aussagen noch nicht gesichert sind, da Probenzahl und -jahre nicht ausreichen (BROZIO & SCHATZ 2012). Hier ist weiterer Forschungsbedarf vorhanden.

Für die europäische Ableitung der Erträge von Nebenprodukten muss davon ausgegangen werden, dass unter anderen klimatischen Verhältnissen die Indizes von verwendeten Richtwerten (Tabelle 4) abweichen. In PANOUTSOU et al. (2009) wird der Index für Getreide räumlich für Europa differenziert. In Zentral- und Nordeuropa werden Indizes von 1:0,5 angewendet für Südeuropa werden höhere Stroherträge erwartet – der Index wird mit 1:0,9 beziffert. In gleicher Studie werden für weitere Fruchtarten folgende Indizes benannt: Mais = 1:0,7, Raps=1:1,6, Sonnenblume=1:3,3.

Diese unterscheiden sich teilweise beträchtlich von den bisher im Modell verwendeten Indizes. ESTEBAN (2008) gibt sogar für einzelne Länder (Spanien, Griechenland und Italien) unterschiedliche Indizes an. Eine Anpassung und stärkere räumliche Differenzierung der Indizes wäre wünschenswert. Bisher fehlen gesamt-europäische Untersuchungen der Verhältnisse von Haupternteprodukt und Nebenernteprodukt.

4.4 Potenzialstudien

4.4.1 Bewirtschaftungsintensität

Die ermittelten Potenziale und Szenarien beziehen sich auf die heutige Bewirtschaftungsweise in der Landwirtschaft im Bundesland Brandenburg bzw. Deutschland. Es wurde zur flächendeckenden Modellierung zunächst diese Bewirtschaftungsweise auf das gesamte Untersuchungsgebiet übertragen. Es ist aber davon auszugehen, wie sich auch schon in der Analyse der angebauten Fruchtarten und Fruchtfolgen gezeigt hat, dass diese Vorgehensweise zu Abweichungen in Polen und den baltischen Staaten führen. Die Ergebnisse der Modellierung sind daher immer im Hinblick auf die in Deutschland übliche Bewirtschaftung zu sehen.

Es wird die gesamte Ackerfläche der Untersuchungsgebiete mit einer einheitlichen Produktionsweise (ökologisch oder konventionell) belegt. In den europäischen Statistiken liegen Anteile des ökologischen Anbaus länderspezifisch bis zur NUTS2-Ebene vor (EUROSTAT 2007a), die tatsächlich regional ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen und damit deren räumliche Verteilung kann aufgrund fehlender Geodaten bisher nicht berücksichtigt werden. Es kann daher nur ein Vergleich der Bewirtschaftungsintensitäten konventionelle Landwirtschaft und Ökolandbau erfolgen. Allerdings beträgt der Anteil der ökologischen Landwirtschaft maximal 12 %, wobei diese Anteile von unter 1 % in Polen bis 12 % in Estland schwanken. In Deutschland liegt der Anteil ökologisch angebaute Flächen in den letzten Jahren konstant um ca. 7 %, so dass die Modellierung der konventionellen Bewirtschaftungsweise, deren Ergebnisse auch in die Analyse und Szenarien eingingen, die tatsächlichen Gegebenheiten größtenteils widerspiegeln.

Die Potenzialbestimmung außerhalb Deutschlands bedarf einer Validierung und Modellanpassung, um die Genauigkeit der Modellierung zu verbessern und Szenarien zur momentanen Situation und zum Strukturwandel der Landwirtschaft abzuleiten. Es sollte geprüft werden, ob in den Untersuchungsräumen in den nächsten Jahren mit einem vermehrten Anbau von nachwachsenden Rohstoffen bzw. mit einer vermehrten Entnahme von Biomasse für die Energieerzeugung zu rechnen ist. Eine Abfrage der Flächeninformationen zur landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsintensität sollte modelltechnisch integriert werden und damit die angebauten Fruchtfolgen und Ertragsfunktionen nach der Bewirtschaftungsweise ermittelt werden.

4.4.2 Verbrauchsszenarien

Die Potenziale sind anhand der heutigen Verbräuche in Futter- und Nahrungsmittelwirtschaft errechnet. Ändern sich die Viehbestände, müssen die verfügbaren Energiepotenziale neu ermittelt werden. Die statistischen Verbrauchsdaten werden auf nationaler Ebene herausgegeben. Eine räumliche Differenzierung erfolgt einerseits über:

- den Pro-Kopf-Verbrauch im Land und die Berechnung des Bedarfs in der Region über die Einwohnerzahl.
- Andererseits wurde ein Vergleich der nationalen Verbräuche zu den in einer Region produzierbaren Erntemengen hergestellt und damit sogenannte „Produktionsschwerpunkte“ gebildet.

Es zeigte sich, dass der zweite Ansatz die realistischeren Mengen abbildet, welche aus einer Region abfließen, um die Bedarfe an Nahrung, Saatgut und Futtermitteln (ohne Stroh und Silomais) abzubilden. Allerdings kann dies statistisch nicht belegt werden, da Zahlen zu Warenströmen innerhalb eines Landes fehlen. Jedoch bilden die Produktionsschwerpunkte im Gegensatz zu der „Pro-Kopf-Variante“ die inländischen Warenströme der Region ab und berücksichtigen unterschiedliche regionale Anbaustrukturen und Anbaueignungen, wie am Beispiel von einer Region an der Gesamterntemenge errechnet wird. Dieser Anteil wird dann auf den Verbrauch im Land angerechnet und damit der Verbrauch mit Import und Export aus der Region ermittelt.

Die Berechnung von Futtermitteln von Silomais und Getreidestroh ist im Humusbilanzierungsmodul implementiert. Das Modul wurde für den nordostdeutschen Untersuchungsraum entwickelt und stützt sich auf Daten zu Viehhaltungssystemen im Bundesland Brandenburg auf der Basis von NEUBERT (2009) und HAENEL (2008). Für die Anwendung des Modells auf europäischer Ebene wurden Haltungsformen nach LEIP (2010) und Futterbedarfsmengen nach DÄMMGEN (2010) recherchiert und angewendet. Im Vergleich zeigte sich, dass die errechneten Futtermengen nach NEUBERT (2009) von Bedarfsmengen nach DÄMMGEN (2010) wenig abweichen.

Je nach Betriebsorganisation treten regionale Abweichungen der Futterrationen auf. Insbesondere haben Grünlandanteil und Bewirtschaftungsform (Ökolandbau) Einfluss auf die Jahresrationsstruktur. Weiterhin ist zu beachten, dass landwirtschaftliche Betriebe ihr Futter nicht immer bzw. nur teilweise aus der Region beziehen. Gerade in den Viehbestandsstatistiken fehlen im europäischen Maßstab

regionale Daten zur Art und Intensität der Haltungssysteme, zum Weidegang und der Zusammenstellung der Futtermengen (Mais-/Grünlandbasiert), so dass die vorliegenden Berechnungen nur eine approximative Schätzung der Verbräuche zulassen. Dass die bisherigen Grundlagen-Daten zur Abbildung auf europäischer Ebene validiert werden müssen, zeigen unterschiedliche Einstreubedarfswerte: In Brandenburg liegt die Einstreumenge pro Milchkuh unter Berücksichtigung von Stalltagen und Haltungsformen bzw. einem Einstreubedarf nach HAIGER et al. 1988 rechnerisch im Mittel bei 198 kg Stroh im Jahr. Unter Berücksichtigung der gleichen Anteile der Haltungsform auf Stroh und einem Einstreubedarf von bis zu 1500 kg Stroh im Jahr pro Tier nach HUTCHINGS et al. (2010) ergibt sich hingegen für das Bundesland Brandenburg ein Einstreubedarf pro Milchkuh von 255 kg Stroh. Auch die Anwendung der Verbrauchsszenarien auf die Potenziale des ökologischen Anbaus ist nur bedingt zulässig und muss korrigiert werden. Einstreu- und Futterbedarfe stellen sich in ökologischen Haltungssystemen völlig anders dar. Ein höheres Platzangebot, weitere Auslaufflächen und Weidegänge sowie die Zusammenstellung der Futterrationen sind mit der konventionellen Haltung nicht vergleichbar. Hier müssen andere Verbrauchsdaten zugrunde gelegt werden.

Ein weiteres Problem ist die unterschiedliche Struktur verfügbarer Tierbestandsdaten: So liegen für Deutschland die Daten von DESTATIS (2013) auf Landkreisebene vor. Auf der europäischen Statistikplattform EUROSTAT (2013) hingegen werden Daten für differenziertere Tiergruppen, aber nur noch auf Bundesland-Ebene angegeben. Deutlich wird dies, wenn man die Statistiken hinsichtlich der Anzahl bzw. ausgewerteten Großvieheinheiten vergleicht (Abb. 111). Man erkennt, dass die Anzahl der Tiere zwar noch in beiden Statistiken etwa gleich ist, jedoch die Großvieheinheiten in den Klassen Rinder ohne Milchkühe bzw. Schweine ohne Zuchtsauen stark voneinander abweichen und damit auch innerhalb des Modells abweichende Futter- und Einstreumengen berechnet werden.

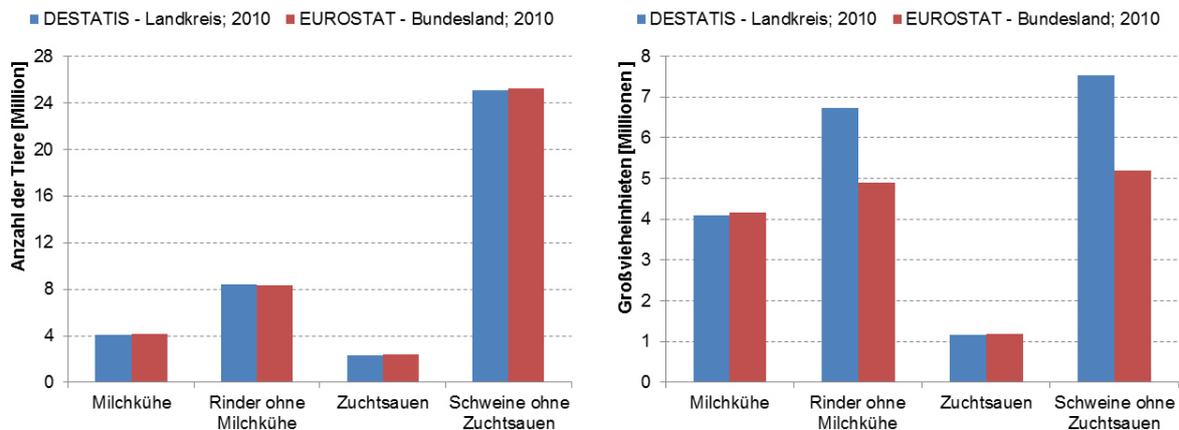


Abb. 111: Tierbestand in Deutschland: Vergleich der Anzahl (links) und abgeleiteten Großvieheinheiten (rechts) auf der Grundlage von DESTATIS (2013) und EUROSTAT (2013) im Jahr 2010, eigene Darstellung.

Allerdings sind die Unterschiede in der Summe für Deutschland unwesentlich: Der Futterbedarf fällt bei EUROSTAT für Silomais um -7,7 % geringer, bei Stroh um +0,4 % höher aus.

Je differenzierter die Tierartgruppen angegeben werden, desto genauer können Berechnungen für Futter- und Einstreubedarfe erfolgen. Da sich an die räumliche Ebene allerdings die Modellierungsebene knüpft, könnten die Bioenergiepotenziale dann nur noch für Bundesländer ausgegeben werden. Dies kann zwar durch Anwendung der „Produktionsschwerpunkte“ wieder auf Landkreisebene differenziert werden, jedoch wäre die Kenntnis der genauen Lage der Tierproduktion zumindest auf Landkreisebene von Vorteil.

4.4.3 Theoretische Biomasse

Ein Vergleich mit anderen Potenzialstudien ist schwierig, da Raum, thematische und räumliche Auflösung der Potenzialerhebung von den bisherigen Studien abweichen. So wird hier der gesamte Biomasseaufwuchs auf landwirtschaftlichen Ackerflächen ermittelt und die produzierbaren Erntemengen ermittelt. In der Literatur wurden meist aus Statistiken die Flächenpotenziale oder Erntemengen von Rückständen, Reststoffen und Energiepflanzen einzeln modelliert. KALTSCHMITT & HARTMANN (2003) gaben für Deutschland ein Biomassepotenzial von 887 PJ a^{-1} an, THRÄN (2005) veröffentlichte ein Potenzial für Energiepflanzen, Reststoffe und Rückstände für Deutschland von $620\text{-}1.360 \text{ PJ an}$. Dazu sollen ungefähr 2 Mio. Hektar der genutzten Ackerfläche betragen.

Würden vom modellierten theoretischen Energiepotenzial (2.088 PJ auf $15,5 \text{ Mio. ha}$ im konventionellen Anbau) 2 Mio. ha Ackerfläche genutzt werden (= ca. 13 %), ergibt sich in der vorliegenden Arbeit eine potenzielle Energiemenge von 269 PJ a^{-1} und damit ein deutlich geringeres Potenzial als von KALTSCHMITT & HARTMANN (2003) oder THRÄN (2005) angegeben. Dies lässt auf die moderate Berechnungsgrundlage des vorliegenden Modells schließen.

In einer Recherche von Biomassepotenzialen gibt EUBIA (2006) europäische Biomassepotenziale an. Hier wurde für den landwirtschaftlichen Sektor ein verfügbares Bioenergie-Potenzial von 41 EJ für Energiefrüchte (25 EJ) und ackerbauliche Reststoffe (16 EJ) ermittelt. Dieses Niveau scheint im Vergleich zu den Modellergebnissen (gesamtes ackerbauliches Potenzial = $12,5 \text{ EJ}$) sehr hoch. Dagegen geben ERICSSON & NILSSON (2006) für EU15 unterschiedliche Bioenergie-Szenarien aus der Landwirtschaft von $1,8$ bis $10,0 \text{ EJ a}^{-1}$ an, KALTSCHMITT & HARTMANN (2003) liegen mit einem Biomassepotenzial von $5,2 \text{ EJ a}^{-1}$ in der Mitte dieser Szenarien.

Aus dem theoretischen Biomasseaufwuchs lässt sich die mittlere Kohlenstoff-Bindung errechnen: Sie liegt mit $12,4 \text{ t CO}_2$ pro Hektar und Jahr unterhalb der Einschätzungen von SCHWEIGER (2004), der unter mitteleuropäischen Wachstumsbedingungen für Getreide eine CO_2 -Bindung von 24 t ha^{-1} , für Raps 14 t ha^{-1} angibt.

4.4.4 Bioenergie-Potenziale

Die Biomasse-Potenziale werden auf der Basis von Agrarstatistiken (Referenz-Szenario) und den Modellergebnissen des Biomasse-Ertragsmodells (Standort-Szenario) ermittelt. Dies ermöglicht einen Vergleich zwischen aktueller Produktion und den Potenzialen des Standortes. Es wird in beiden Szenarien die Menge an produzierbaren Rohstoffen in einer Region ermittelt und abzüglich der Verbrauchsszenarien ein potenzieller Bioenergieerzeugnis ermittelt. Zwar wird damit eine Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelindustrie ausgeschlossen, allerdings ist die Art der weiteren Verwendung zu Biokraftstoff oder Biogas nicht definiert. Daher besteht innerhalb der Bioenergieproduktion eine Rohstoffkonkurrenz vor allem zwischen der Verwendung von Getreidekorn bzw. Getreidestroh zur Ethanolherstellung, Biogaserzeugung oder thermischen Verwertung. So muss vor allem die Flächenkonkurrenz zwischen Bioethanol-Roggen und Biogas-Roggen bei der Ausgabe der Potenziale berücksichtigt werden.

Die dargestellten Potenziale können durch folgende Änderungen im landwirtschaftlichen Produktionsprozess gesteigert werden:

- Der Anbau energiereicher, stärke- oder öltreicher Sorten kann zu einer Ertragssteigerung führen. Die standortspezifischen Einflüsse müssen allerdings noch parametrisiert (Abhängigkeit der Stärkeerträge vom Standort) und weiter erforscht werden. Einzelne Entwicklungsrichtungen hinsichtlich der Sortenwahl von Fruchtarten werden von verschiedenen Autoren diskutiert (AUFHAMMER et al. 1993, ROSENBERGER 2005, MICHEL 2010 u.a.).
- Neben dem Anbau von Energiefrüchten, die den Hektar-Energieertrag steigern können, ist eine Umstellung von Nutzungskonzepten und Bewirtschaftungsweisen der Landwirtschaft einer Region durch den vermehrten Anbau von Energiefrüchten möglich. Dadurch ergeben sich so genannte Energie-Fruchtfolgen mit einer regionalen Ausrichtung auf eine Produktlinie (Biogas, Biodiesel,

Bioethanol), wobei eine nachhaltige Bewirtschaftung und eine regionale Versorgung der Futter- und Nahrungsmittelindustrie weiterhin gewährleistet werden muss. Es ist anzunehmen und heute schon nachweisbar, dass sich die Landwirtschaft anpasst und auf die gesteigerte Nachfrage von Rohstoffen zur Herstellung biogener Kraftstoffe bzw. Biogasproduktion reagiert. Dass die landwirtschaftliche Produktion sich an Veränderungen der politischen Rahmenbedingungen anpasst und darauf reagiert, ist unumstritten (ISERMEYER 2011).

- Weiterhin bieten Feldgehölze eine Alternative zum konventionellen, landwirtschaftlichen Anbau. Deren Potenziale wurden in Brandenburg untersucht (Kooperationsprojekt „Versuchs- und Demonstrationsflächen“, DENDROM 2007). Jedoch werden dadurch langfristig (ca. 20 Jahre) Ackerflächen belegt.
- Die Energieinhalte der Bioenergie-Inputstoffe schwanken in den Literaturangaben (FNR 2012, KTBL 2005, SIMON 2007), es wurden untere Werte angenommen, um eine gewisse Versorgungssicherheit potenzieller Bioenergie-Standorte zu gewährleisten. Eine höhere Energieausbeute (vor allem durch züchterischen Fortschritt) kann modelltechnisch integriert werden.
- Eine Ergänzung des Modells durch Untersuchungen zum Marktgeschehen und der ökonomischen Vorzüglichkeit der Produktionsrichtungen Biogas- oder Bioethanolproduktion zur Einschätzung der Konkurrenzwirkungen wäre hilfreich. Anwendung fand eine solche Kombination der Modellierung im Projekt RUBIRES (GRUNDMANN et al. 2010). Es wurden Veränderungen der Anbaustrukturen in drei unterschiedlichen Szenarien politischer Zielstellung (Modell SunReg – Szenarien: „Erdölpreisanstieg“, „Agrarpreisanstieg“ und „Bioenergieausbau“) modelliert und über die Modellierung mittels des Biomasse-Ertragsmodells die regionale Ertragsmodellierung und Bioenergie-Potenzialerhebung durchgeführt (Kap. 4.3.1.). Vorstellbar wäre auch eine Kombination mit agrarökonomischen Modellen, wie CAPRI (BRITZ 2013) oder RAUMIS (HENRICHSMEYER et al. 1995, GÖMANN et al. 2007), welche das Ziel haben, Veränderungen von ökonomischen Rahmenbedingungen und Handelsbeziehungen zu modellieren. Das Biomasse-Ertragsmodell könnte so die agrarökonomischen Modelle durch den regionalspezifischen Ansatz ergänzen und die natürlichen Standortbedingungen integriert werden, wie es auch in HAGEDORN (2008) angemerkt wird.

Letztendlich ist das Ziel, die landwirtschaftliche Biomasseerzeugung so modellieren zu können, dass die Parameter der gesamten Wertschöpfungskette einer Ökobilanz unterzogen werden können. Damit wird die Möglichkeit gegeben, Prognosen für die Lebens- und Futtermittelversorgung auf der einen Seite, den energetischen Verwendungsmöglichkeiten der Überschussproduktion auf der anderen Seite zu modellieren und die Belange des Ressourcenschutzes und der Funktionstüchtigkeit des ländlichen Raumes unter verschiedenen Optionen darzustellen.

4.4.4.1 Biokraftstoff-Potenziale

Das Biokraftstoffpotenzial setzt sich zusammen aus den verfügbaren Rohstoffen von Getreidekorn, Zuckerrüben, und die ölhaltigen Früchte Raps und Sonnenblumen. Die Produktion von Getreide und Zuckerrüben ist in Europa weit verbreitet. Die erzeugten Mengen übersteigen die in der Region verbrauchten und verarbeiteten Mengen und ergeben so ein verfügbares Potenzial für alternative Produktionszweige von ca. 30 %.

Für eine Substitution von 10-20 % fossilen Diesels sind enorme Mengen an ölhaltigen Saaten nötig. Die Potenziale liegen in der modellierten Region bei 5,2 %, in nur wenigen Regionen können höhere Beimischungsraten erreicht werden (Baltische Länder = 16-27 %). Unter Berücksichtigung der Handelsbilanzen können 5,2 % an Diesel und 31,6 % an Ottokraftstoffen ersetzt werden. In Deutschland wäre eine Beimischungsquote von 20 % machbar. Allerdings zeigen die Standortpotenziale starke Schwankungen durch klimatische Einflüsse, in Trockenjahren kann das Potenzial auf unter 10 % sinken. KREWITT et al. (2008) dagegen beziffert das Kraftstoffpotenzial in Deutschland auf eine Beimischung von 25-30 %.

In der Summe von Biodiesel- und Bioethanolpotenzialen können die europäischen Beimischungsziele von 2020 / 2030 erreicht werden.

Auch im Vergleich mit anderen Studien fallen die hier ermittelten Biokraftstoffpotenziale geringer aus. Für die EU15-Länder beschreibt EUBIO (2006) ein Bioethanolpotenzial von 3,7 EJ, für Biodiesel ein Potenzial von 1,2 EJ. Die Standortpotenziale erreichen für den gleichen Untersuchungsraum im Mittel ein Bioethanolpotenzial von 0,97 EJ, für Biodiesel liegt das Potenzial mit 0,21 EJ deutlich niedriger.

Das Potenzial kann durch vermehrten Anbau von stärke- und ölreichen Sorten und Fruchtarten gesteigert werden. Auch die Verwendung von Getreidestroh (Kap. 4.4.4.3) oder, vorwiegend in Südeuropa, von weiteren Ölfrüchten ist denkbar. Allerdings gibt es infolge ungünstiger Standort- und Klimaverhältnisse in Europa nicht überall die Möglichkeit genügend Rohstoffe zu produzieren, um die Beimischungsziele zu erreichen. Hier müssen entweder die Rohstoffe importiert oder andere Versorgungskonzepte (Strom aus Sonne, Wasser, Wind; deren Speicherung; Elektrifizierung des Verkehrssektors) entwickelt werden.

4.4.4.2 Biogas aus Gülle und Ganzpflanzensilagen

Das Biogaspotenzial setzt sich zusammen aus Potenzialen der Wirtschaftsdünger (Festmist, Gülle) sowie der pflanzenbaulichen Biomasse. Vorwiegend wird Gülle und Silomais in Biogasfermentern eingesetzt (FNR 2012a).

Die Gülle sollte aufgrund der geringen Energiedichte möglichst nicht über 5-10 km transportiert werden (HAUFF et al. 2008). Aufgrund des stabilisierenden Effekts auf den Prozess der Fermentation ist eine Verwendung von Gülle jedoch zu bevorzugen. Somit ist der Gülleeinsatz aus logistischen Gründen lokal zu prüfen und bei einem Standort von Biogasanlagen in der Nähe von landwirtschaftlichen Betrieben mit Viehzucht zu bevorzugen.

Nach Analyse der Viehbestandsdaten 2010 in Europa könnten in den EU27-Ländern basierend auf Gülle und Festmist jährlich 91,8 TWh_{el} (=330,6 PJ_{el}) erneuerbarer Strom produziert werden. Die von der EU geforderte Nutzung von Kraft-Wärmekopplung würde das Potenzial auf 1.013,7 PJ erhöhen. In Deutschland beträgt das Biogas-Potenzial aus Gülle 90,5 PJ (gesamt).

Das pflanzenbauliche Biogaspotenzial ist von den Inputstoffen, deren Ertragsniveau und den Bedarfen anderer Sparten (Nahrung, Futter, Humusbilanz) abhängig. Für den europäischen Bereich wurden die Potenziale anhand der Biomasse-Ertragsdaten (EU-Bodenzahl / Niederschlagsszenario „normal“) von Silomais und der Futterbedarfe auf der Basis von EUROSTAT-Daten (2013) ermittelt.

Die gleiche Grundlage der Futterbedarfe wurde für die Biogas-Modellierung in Deutschland (Bodendaten Bodenzahl aus BÜK1000) verwendet. Hier konnte zusätzlich zum Niederschlagsszenario „normal“ eine Modellierung eines Trockenjahres durchgeführt werden. Die Silomais-Erträge der Modellierung stimmen mit den Agrarstatistiken gut überein. Laut DESTATIS (2013) wurden 2009 in Deutschland 73.553.400 t FM Silomais geerntet, im Extremjahr 2003 (Trockenjahr) waren es nur 44.562.062 t FM. Die Ergebnisse des Modells zeigen ähnliche Biomasse-Erträge: Im Normal-Szenario wurden die Silomaiserträge auf 79.158.527 t FM geschätzt, laut Szenario „trocken“ würden 54.083.810 t FM Mais geerntet werden. Von GÖMANN et al. (2007) wurde die zu erwartende Energiemaisproduktion mit RAUMIS ermittelt: Im Vergleich zu deren Potenzial von 93-111 Mio. t (Strompotenzial von 39-46 TWh_{el} bzw. ca. 10.000 Biogasanlagen (500kW_{el}) in Deutschland), liegt das hier ermittelte Biogaspotenzial darunter.

Zurzeit liegt die in Deutschland installierte Leistung von Biogasanlagen bei 2997 MW_{el} (2011, FACHVERBAND BIOGAS 2013). Dies entspricht einem genutzten Biogaspotenzial von ca. 86 PJ, die Prognose für 2013 sieht eine Steigerung auf 97 PJ (FACHVERBAND BIOGAS 2013). In vorliegender Studie wurde das Potenzial aus Gülle auf 90 PJ aus den Viehbestandsdaten 2010 geschätzt. Weiterhin konnte ein Potenzial von ca. 130 PJ aus Silomais bestimmt werden, welches durch klimatische Einflüsse auf 55,5 PJ reduziert werden kann. Insgesamt würde damit das Potenzial bereits zu 40-60 % ausgeschöpft. Das von HOFMANN (2006) für Deutschland ausgewiesene technische

Biogaspotenzial aus der Landwirtschaft von 200 PJ kann durch die eigenen Analysen bestätigt werden. In KLINSKI et al. (2006) wird dieses Potenzial durch Transportrestriktionen auf 113,8 PJ aus Ernterückständen und Exkrementen bzw. 86,4 PJ aus nachwachsenden Rohstoffen eingeschränkt.

Für Brandenburg weist KLINSKI et al. (2006) ein landwirtschaftliches Biogaspotenzial von 12,2 PJ (Reststoffe: 4,6 PJ / Nawaros: 7,6 PJ) aus. Durch die standortspezifischen Analysen des Biomasse-Ertragsmodells ist die regionale Ausweisung des ökologisch verfügbaren Biogaspotenzials in Brandenburg möglich. Hier wurden zusätzlich Humussalden ermittelt, um neben dem Input-Rohstoff Silomais auch Potenziale aus Winterroggen (vorwiegend Verwendung von Winterroggen-Ganzpflanzensilagen) zu erfassen. Aus Gülle konnten 2,5 PJ prognostiziert werden, die Spanne für landwirtschaftliche Biogassubstrate aus Silomais und Roggen-Ganzpflanzen liegt im Mittel bei 9,5 PJ, woraus sich in der Summe 12 PJ ergeben. Dies deckt sich mit den Angaben von KLINSKI et al (2006).

In RAMESOHL et al. (2005) wird für das Land Brandenburg ein technisches Biogas-Gesamtpotenzial mit Abzug von Transportrestriktionen von 270 Mio. m³ Methan a⁻¹ aus der Landwirtschaft, d.h. für Ernterückstände, Exkremente und nachwachsende Rohstoffe, angegeben. Dies entspricht den dargestellten Modellergebnissen mit einer Spanne von 222 Mio. m³ bis 477 Mio. m³ Methan a⁻¹. Das minimale Potenzial von 222 Mio. m³ Biogasmethan a⁻¹ kann unter kritischen Voraussetzungen als Untergrenze der realisierbaren Erzeugungsmengen eingeschätzt werden. Es enthält sowohl ein extremes Niederschlagsszenario als auch eine positive Humusbilanz für Brandenburg.

Neben den hier untersuchten Inputstoffen werden auch Grassilagen (Anteil als Biogassubstrat 2011 = 9 %) oder andere Energiepflanzen wie Sudangras, Miscanthus oder Gemengeanbau (Anteil als Biogassubstrat 2011 = 1 %) eingesetzt (FNR 2012). Deren Anbauanteile sind zurzeit zu gering (Kap. 1.5), um statistisch gesicherte Ertragsfunktionen abzuleiten. Es müssen dazu weitere Untersuchungen zu Erträgen und deren regionale Ausprägung erfolgen und vorliegen, um sie ins Modell integrieren zu können.

4.4.4.3 Bioenergie aus Stroh

Das Interesse, verfügbare Strohmenge zu bilanzieren, begründet sich darauf Nebenprodukte energetisch nutzen zu können und damit die Tank-Teller-Problematik zu vermeiden. Dies äußert sich in politischen Statements zur Förderung der Nutzung von Stroh z.B. für die Erzeugung von Biokraftstoffen der dritten Generation (EEA 2011), in europäischen bzw. nationalen Studien, Workshops bzw. Tagungen (JRC 2007, FNR 2012b, KRETSCHMER et al. 2012 u.a.).

Die Ermittlung der Strohpotenziale im Biomasse-Ertragsmodell begründet sich auf der Ertragsanalyse des Hauptproduktes und den Haupt-Nebenprodukt-Verhältnissen. Es wurde mit höheren Ertragspotenzialen für Nebenprodukte gerechnet als in der Literatur angenommen (Kap.4.3.2, Anhang T-14).

Andererseits ist es möglich, durch das Humusbilanzmodul die nötige Reproduktionsmenge an Stroh zu ermitteln und somit nur den nachhaltig nutzbaren Teil des Strohs in die Potenzialanalyse eingehen zu lassen. Neben der Humusbilanzierung ist auch die Futter- und Einstreuberechnung Grundlage für die Potenzialanalyse. Auch hier fehlt es bisher an Vergleichszahlen aus dem europäischen Raum, sodass die Methoden – entwickelt für Ostdeutschland – übertragen wurde. Dies birgt Fehlerquellen, die allerdings bisher aufgrund fehlender Vergleichsdaten nicht quantifiziert werden können.

Einige Autoren beschäftigten sich mit der Abschätzungen von nutzbaren Anteilen: nach LEIBLE et al. (2003) stehen rund 37 – 52 % vom Strohaufkommen für eine außerlandwirtschaftliche Nutzung, nach BECKMANN (2006) ca. 20 %, nach KALTSCHMITT et al. (2003) 15,5 % und nach KNAPPE et al. (2007) ca. 11 % zur Verfügung. Das Interesse an der Nutzung von landwirtschaftlichen Koppel- und Restprodukten, vor allem an der Nutzung von Getreidestroh, nimmt allerdings rapide zu (MOZ 2009, THRÄN 2012, u.a.). In den dargestellten Szenarien von Brandenburg lagen die verfügbaren Getreidestrohmenge bei 24,1 % (Szenario „normal“) und 5,8 % im (Szenario „trocken“) und damit im unteren Bereich der oben genannten Autoren, berücksichtigten allerdings auch schon die nötigen

Einstreu- und Futtermengen. Für den Ausgleich der Humusbilanz sind 41,6 % (normal) bzw. 27,7 % (trocken) des Aufwuchses nötig.

Für Deutschland liegt der potenziell verfügbare Anteil von Getreidestroh bei mittleren Niederschlägen zwischen 51 % (ausgeglichene Humusbilanz) und 29 % (positive Humusbilanz). Das verfügbare Potenzial liegt bei 12,6 bzw. 7,4 Mio. Tonnen. Damit liegen die Potenziale innerhalb der Spanne, die von WEISER et al. (2011) angegeben wird: Die Autoren beziffern das verfügbare Getreidestrohpotenzial (ohne Körnermais) in Deutschland auf 8-13 Millionen Tonnen Frischmasse, was einem Anteil von 27-43 % der Gesamterntemenge entspricht. Für Deutschland werden in PANOUTSOU et al. (2012) Strohpotenziale von 22,9 (2004), 49,2 (2020), 47,5 (2030) Kilotonnen Öläquivalenten angegeben (= 21,5 / 37,2 / 31,4 PJ). Diese Studie liegt damit beträchtlich unter den Einschätzungen von WEISER et al. (2011).

Unter der Annahme, dass ca. 30 % (nach obigen Literaturangaben und aus eigenen Berechnungen festgelegter Wert) des Getreidestrohs technisch und ohne Beeinträchtigung der Humusbilanz erntbar sind, ergaben sich bei mittleren Niederschlägen für Deutschland (Modellebene EU) eine verfügbare Menge von 13,2 Mio. Tonnen Trockenmasse Getreidestroh, was einem Bioethanol-Potenzial von 74,8 PJ bzw. einem Heizwert von 205,9 PJ entspricht. Allerdings wurde hier keine Humusbilanzierung angewendet, sondern nur ein erntbares Potenzial von 30 % der Erntemenge angenommen. Das technisch-ökologische Potenzial kann dementsprechend noch geringer sein.

Einschränkend sei angemerkt, dass seitens des LVL (Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg) eine Korrektur der Humusreproduktionsraten von Stroh angestrebt wird (ZIMMER 2008). Daher wurden untere Humusreproduktionswerte nach VDLUFA (2004) angenommen, da diese vor allem aus Versuchen des ostdeutschen Trockenklimas stammen und den zurzeit vorhandenen Unsicherheiten zur Humusreproduktion durch Stroh Rechnung tragen.

4.5 Weiterer Forschungsbedarf

Es besteht weiterer Forschungsbedarf bei der Übertragung der Methode des Biomasse-Ertragsmodells von Brandenburg und Deutschland auf die europäischen Staaten:

- Für die südosteuropäischen Länder (Bulgarien, Kroatien, Rumänien) ist der Inputparameter der Bodendaten (Bodenzahl) weiter zu entwickeln.
- Weiterhin sind Ertragsfunktionen für bisher nicht integrierte Fruchtarten zu entwickeln. Auch ist eine Parametrisierung der Ertragsfunktionen an die Anbauregionen zu erwägen.
- Es sind Ertragsindizes zu Nebenprodukten auf europäischer Ebene zu überprüfen.
- Als Rahmenbedingung sind Analysen der Agrarstruktur sowie Bewirtschaftungsintensitäten und damit die Ermittlung der Verbräuche in Nahrungs- und Saatgutindustrie sowie der Futter- und Einstreubedarfe notwendig. Deren regionale Abbildung durch „Produktionsschwerpunkte“ ist zu überprüfen. Eine Kombination mit ökonomischen Modellen wäre eine Lösung des Konfliktes zwischen den Produktionszweigen Nahrung – Futter – Bioenergie.
- Die Biomasseerzeugung geht einher mit definierten Anbausystemen und -intensitäten. Liegen energetische Daten für die Produktionszweige regional für Europa vor, können auch Ökobilanzen zu den Biomassepotenzialen abgebildet werden. Bisher können Potenziale für Emissionseinsparungen (z.B. Beimischungsquoten, Strom- und Öläquivalente) ermittelt werden.
- Künftige globale Herausforderungen betreffen die Nahrungsmittelversorgung und den Ressourcenschutz. Beträchtliche Importmengen an Soja als Futtermittel oder an Ölen für die Lebensmittelbranche können in den Exportländern zur Vernichtung von Ökosystemen wie Tropenwäldern führen oder landwirtschaftliche Nutzflächen entziehen. So lag die Anbaufläche 2010 in den soja-exportierenden Ländern bei 2,6 Mio. ha Ackerland allein für die Importe an Sojabohnen sowie Ölkuchen aus Sojaöl nach Deutschland (STATISTISCHES BUNDESAMT 2013). Der Einbezug derartiger indirekter Landnutzungsänderungen (Indirect Land Use Change – ILUC) wird zurzeit vor allem hinsichtlich der Erzeugung biogener Kraftstoffe diskutiert (EUROPEAN COMMISSION

2012, BERTZKY et al. 2011) und stellt daher eine weitergehende Anforderung künftiger europäischer Landwirtschaftsentwicklungen dar.

5. Zusammenfassung

Erneuerbarer Energie aus landwirtschaftlicher Biomasse wird weltweit eine besondere Bedeutung für die Realisierung des Energiewandels beigemessen. Nur durch eine nachhaltige Bioenergieproduktion können auf Dauer stabile Anteile zur Energieversorgung beigesteuert und damit die Ziele der Bundesregierung und der EU erreicht werden. Zur Abschätzung von regionalen Bioenergiezielen wurde das Biomasse-Ertragsmodell (Biomass Yield Model BYM) entwickelt. Ausgerichtet auf eine standortangepasste Landwirtschaft unter guter fachlicher Praxis, regional ausgewogenen Fruchtfolgen und Humusbilanzen werden unter Berücksichtigung des regionalen Verbrauchs an Saatgut, Nahrungs- und Futtermitteln Biomassepotenziale für Biokraftstoffe, Biogas und landwirtschaftliche Reststoffe regional differenziert modelliert. Es können klimatische und landwirtschaftliche Szenarien sowie Rohstoff-Konkurrenzen im Einzugsbereich der Bioenergieanlagen visualisiert werden.

Die erforderlichen Modelleingangsparameter wurden für die Maßstabsebenen Brandenburg, Deutschland, Europa abgeleitet und validiert: Anbauflächen landwirtschaftlicher Kulturen, deren bodenspezifisches Ertragsniveau sowie Niederschlagssummen nach Vegetationszeiten von Winter- und Sommerfrüchten. Die Ertragsfunktionen wurden an die veränderten Niederschlagssummen angepasst, vereinheitlicht und zwei Parametersätze für die Modellebenen Deutschland und Europa entwickelt.

Die Modellierung der Biomassepotenziale erfolgt in Referenz-Szenarien basierend auf Agrarstatistiken und Standort-Szenarien anhand des Biomasse-Ertragsmodells. Die Referenz-Szenarien dienen der Abbildung der aktuellen Situation und der Validierung der Standort-Szenarien. Die Standort-Szenarien bilden das Potenzial des Standortes ab und können durch Veränderung der Datengrundlagen und Eingangsparameter die nachhaltige Verfügbarkeit der Rohstoffe visualisieren:

- Abschätzung von klimatischen Veränderungen z.B. Ertragseinbußen in Trockenjahren,
- Auswirkungen von unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten (konventioneller, ökologischer Anbau, ökonomische Szenarien z.B. regionaler Anbau von Energiefruchtfolgen),
- Einbeziehung von agrarstrukturellen Bedingungen: Modellierung von Ertragssteigerungen.

Das theoretische Potenzial der gesamten landwirtschaftlichen pflanzlichen Biomasse liegt in den modellierten europäischen Ländern bei 9.000 - 12.501 PJ. Ohne Berücksichtigung der produktionsbedingten CO₂-Aufwendungen ergibt sich bei Nutzung von 10 % der Biomasse für energetische Zwecke ein Einsparpotenzial von 129 - 179 Mio. t CO₂.

Abzüglich der regionalen Verbräuche für Nahrung, Futter und Saatgut kann das ökologisch verfügbare Bioenergiepotenzial folgendermaßen zusammengefasst werden: Die zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Anbauflächen stellen grundsätzlich keinen limitierenden Faktor für die Erreichung der europäischen Beimischungsziele von bis zu 10 % im Jahr 2020 unter der Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien (standortangepasste, nachhaltige Fruchtfolgesystemen, Erhaltung, Förderung und Nutzung abwechslungsreicher Kulturlandschaften) und Nutzungskonkurrenzen (Nahrungs- und Futtermittel) dar. Allerdings sind die Biodiesel-Potenziale geringer als die Zielvorgaben, das Bioethanol-Potenzial fällt hingegen höher aus. Die Biogaspotenziale können den Strombedarf regional zu einem beträchtlichen Teil ersetzen: So könnten in Europa allein aus der jährlichen anfallenden Gülle bzw. dem Festmist ca. 330 PJ_{el} erzeugt werden. Das thermische Potenzial sollte durch Kraft-Wärme-Kopplung genutzt werden und steigert die Effizienz enorm. In Mitteleuropa wird vor allem Silomais als Biogas-Rohstoff verwendet: Dessen Potenzial liegt in Deutschland bei 33,5 PJ_{el}, in Trockenjahren sinkt es durch Ertragsdepressionen auf 10,0 PJ_{el}. Hinzu kommen 31 PJ_{el} aus Gülle, durch deren Mix mit pflanzlicher Biomasse der Biogasprozess stabilisiert wird. Die Potenziale können durch Veränderung der Anbaustrukturen oder durch speziellen Energiepflanzenanbau gesteigert werden. Ertragsdepressionen müssen bei der Konzeption von Bioenergieanlagen berücksichtigt werden, da durch steigende Rohstoffpreise die Versorgungssicherheit gefährdet und die Produktion der Bioenergie nicht mehr rentabel wäre.

6. Summary

Agricultural biomass as resource for renewable energy is attached a great importance for the realization of the energy change worldwide. Just the production of sustainable bioenergy enables long-term stable shares of environmentally friendly energy supply that therefore contributes to the achievement of the objectives of the Federal Government and the EU. The biomass yield model BYM was developed to assess regional bioenergy targets and the achievement of which. The model delivers regionally differentiated biomass potentials for biofuel, biogas and agricultural residues. They are aligned to a locally adapted agricultural management systems taking good practice guidelines, regionally adapted crop rotations and humus balances into account. An estimation of regional consumption of seed, food and feed were considered as well. Scenarios enable the visualization of differences in the climatic conditions, agricultural management practices as well as competitive biomass consumption. Additionally, the catchment area of bioenergy plants can be represented.

As model input parameters the following were developed and validated at the scales of federal state Brandenburg, Germany and Europe: the acreage of crops, soil productivity level and growing season precipitation of winter and summer crops. The model basic yield functions have been adapted to the precipitation time series. Two sets of yield function parameters as basis of the model were developed for the spatial scales of Germany and Europe.

The modelling of the biomass potential is carried out in both, reference scenarios based on agricultural statistical data and site specific scenarios based on the biomass yield model. The reference scenarios are used to display the current situation as well as to validate the site specific scenarios. In the site specific scenarios the potential of the agricultural area are modelled. Changing the basic data and input parameters led to the visualization the long-term availability of agricultural raw materials in following scenarios:

- Biomass potentials taking different climate conditions into account, e.g. yield decrease in dry years,
- Different agricultural management practices and their effects (conventional and organic production systems, economic scenarios e.g. regional cultivation of energy crops),
- Biomass potentials considering further changes: e.g. modelling of yield increases.

In European countries the theoretical potential of total agricultural biomass was estimated to the range of 9,000 to 12,501 PJ. Taking the production-based CO₂-consumption not into account, a reduction of 129 - 179 million t CO₂ are possible to achieve, if only 10% of the theoretical potential for energy supply are used.

Balancing the theoretical potential with the regional consumption of food, feed and seed, the ecologically available bioenergy potential can be summarized as follows: The current agricultural production area is generally not a limiting factor to achieve the European biofuel blending targets of up to 10% in 2020. Sustainability criteria (site-specific sustainable crop rotations; conservation, promotion and use of agricultural diversity) and competitive use as conventional biomass (food and feed) were thereby considered. However, the biodiesel potential is lower than the European targets, whereas the bioethanol potential is higher than the target's amounts.

The amount of biogas potential may substitute the current regional energy demand to a considerable extent: In Europe an energy amount of about 330 PJ_{el} could be produced based on annual liquid and solid manure. The power-heat cogeneration use should be funded to foster enormously increasing economic efficiency of biogas plants. In Central Europe, mainly silage of maize is used as biogas raw material: For Germany, a sustainable potential of 33.5 PJ_{el} was calculated, which decreases in dry years to 10 PJ_{el}. In addition, a potential of 31 PJ_{el} based on manure is available, the mixture of which with plant biomass stabilizes the biogas process.

However, the bioenergy potentials are possible to further increase by change of agricultural management practices or specialized energy plant cultivation. Yield decreases have to be considered in conceptualization of bioenergy plants due to the fact that rising prices jeopardise the security of the supply and then the production of bioenergy would no longer be profitable.

Literaturverzeichnis

- AD-HOC-Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten, 5. Aufl., 438 S.; 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen, Hannover 2005.
- AG Boden (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter, 4. Aufl., 392 S., 33 Abb., 91 Tab., Hannover 1994.
- Agenda 21 Herzogenaurach – AK Energie (2004): Untersuchung der Potenziale an erneuerbaren Energien in der Stadt Herzogenaurach / Mittelfranken, Abschlußbericht, Stand 2003/ 2004, Stadt Herzogenaurach, Herzo Werke GmbH Herzogenaurach, <http://www.herzogenaurach.de/umwelt/agenda21/Arbeitskreise/Energie/Projekte/Potenzialstudie/Potenzialstudie.pdf> (04.04.2006).
- Aretz, A. & B. Hirschl (2007): Biomassepotenziale in Deutschland – Übersicht maßgeblicher Studienergebnisse und Gegenüberstellung der Methoden, Dendrom-Diskussionspapier Nr. 1 März 2007.
- Asmus, F. & V. Herrmann (1977): Reproduktion der organischen Substanz des Bodens. Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft, Band 15, Heft 11.
- ASUE (2010): BHKW-Grundlagen, Arbeitskreis „Brennstoffzellen / Blockheizkraftwerke“, Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE), Berlin. www.asue.de 1.2.2013.
- Aufhammer, W., H.J. Pieper, H. Stützel & V. Schäfer, 1993: Eignung von Korngut verschiedener Getreidearten zur Bioethanolproduktion in Abhängigkeit von der Sorte und den Aufwuchsbedingungen. Bodenkultur 44, 183-194.
- Autorenkollektiv (2002): Regionalatlas Erneuerbar Energien, Hrsg.: Regionale Planungsgemeinschaft Uckermark – Barnim, Körperschaft des öffentlichen Rechts, Eberswalde, August 2002.
- Baeumer, K. (1991): Bodenfruchtbarkeit als wissenschaftlicher Begriff: Kenngrößen und Prozesse im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Produktion im Agrarökosystem, In: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 1: Bodenfruchtbarkeit, Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 203, Parey Verlag, Hamburg und Berlin.
- Baruth, B., Genovese, G. & L. Montanarella: (2006): New soil information for the MARS Crop Yield Forecasting System, European Commission, Joint Research Centre (DG JRC), Institute for the Protection and Security of the Citizen (IPSC), Agrifish-Unit, Ispra & Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, ISBN 92-79-03377-X.
- Beckmann, G. (2006): Regionale Potenziale ausgewählter biogener Reststoffe Informationen zur Raumentwicklung – Heft ½.2006.
- Benoist, G. & P. Marquer (2007); Struktur der Landwirtschaft in Irland 2005, Statistik kurz gefasst, LANDWIRTSCHAFT UND FISCHEREI, 6/2007, Landwirtschaft, Europäische Gemeinschaften, 2007.
- Berdel, W. (1999): Entwicklung und Anwendung von Modellelementen zur Abbildung von Landnutzungssystemen und ihrer Umweltwirkungen in Brandenburg, Diplomarbeit, Universität Potsdam.
- Berlinpolis (2008): Zukunftsdiskussion am 19.06.2008 – Tank und Teller?: Herausforderungen für die Nahrungs- und Energiesicherheit, 19. Juni 2008, Hamburgische Landesvertretung, Berlin. <http://www.klimawandel.com/2008/05/19/zukunftsdiskussion-am-19062008-tank-und-teller/>, Zugriff: 12.01.2010
- Bertzky, M, Kapos, V & V.P.W Scharlemann (2011): Indirect Land Use Change from biofuel production: implications for biodiversity, JNCC Report, No. 456, Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 2011.
- BGR (2009): Energierohstoffe 2009: Reserven, Ressourcen, Verfügbarkeit; Erdöl, Erdgas, Kohle, Kernbrennstoffe, Geothermische Energie, Stand 10.11.2009, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover.
- BGR (2012): Entwurf einer Karte des ackerbaulichen Ertragspotentials der Böden Deutschlands nach dem Müncheberger Soil Quality Rating [0-100 Punkte], Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

- (BGR), Hannover, http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Bilder/Bod_SQR_Karte_g.html, Stand 25.01.2012.
- BMF (2005): Bodenartentabelle, Arbeitsunterlagen für den Schätzungsbeirat, Stand: Mai 2005, BMF Referat IV C 2, S. 21.
- BMU (2013): Wo die Klimaschutzinitiative wirkt, http://www.bmu-klimaschutzinitiative.de/de/projekte_nki, 28.02.2013.
- BMZ (2011): Biokraftstoffe – Chancen und Risiken für Entwicklungsländer, Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit, Referat Ländliche Entwicklung, Welternährung, BMZ-Strategiepapier 14/2011, Bonn, Berlin, November 2011.
- Britz, W. (2013): The Graphical User Interface for CAPRI version 2013, Institute for Food and Resource Economics Chair of Economic and Agricultural Policy University of Bonn, Bonn, February 2013.
- Brecke, A. (2006): Datenbank zur Bewertung der Umweltauswirkungen von Energiepflanzen, Diplomarbeit, Fachhochschule Eberswalde, 2006.
- Brozio, S.; Müller, D. & H.-P. Piorr (2006a): Biogaspotenzial des Landes Brandenburg, Agrartechnische Forschung (Agricultural Engineering Research), Volume 12, Number 6, S. 115-122.
- Brozio, S.; Piorr, H.-P. & F. Torkler (2006b): Modellierung landwirtschaftlicher Bioenergie, Tagungsband, 26. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst und Ernährungswirtschaft e.V. 6.-8. März 2006, Potsdam; S. 45-48.
- Brozio, S.; Zeidler, M.; Piorr, H.-P. & F. Torkler (2007): Potenzialstudie ausgewählter Bioenergie-Fruchtarten in Deutschland, Polen und im Baltikum, unveröff. Jahresbericht erarbeitet für PCK Schwedt, Oktober 2007.
- Brozio, S., Zeidler, M., Piorr, H.-P. & Torkler F. (2010): Ländersteckbriefe Biokraftstoffe, PCK-Kooperationsprojekt „Aufkommen und Verbrauch landwirtschaftlicher Produkte in Europa“, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH).
- Brozio, S. & T. Schatz (2012): Untersuchungen zur Ertragsvariabilität von Getreidestroh und dessen Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, Gemeinsame Tagung GPW und DBG „Bodenfruchtbarkeit – Bedeutung und Bestimmung in Pflanzenbau und Bodenkunde“ in Berlin, 24.-27.9.2012, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Band 24, S. 96-97.
- Burton, C.H. & C. Turner (2010): Manure Management-Treatment Strategies for Sustainable Agriculture ; Publisher: Quae; 2nd ed edition (3 May 2010).
- Ciolek, W.; Reuter, M.; Wiesinger, W.; Hüttmann, M. & M. Hemmann, (2006): Potenzialstudie Erneuerbare Energien: Lauf a.d.Pegnitz.; Städtische Werke Lauf a.d.Pegnitz GmbH, <http://www.stwl.lauf.de/pdf/studie.pdf> (04.04.2006)
- Damme, K., Hildebrand, R.-A. (2002): Geflügelhaltung, Ulmer, Stuttgart (Hohenheim).
- Dämmgen, U.; Haenel, H.-D.; Rösemann, C.; Brade, W., Müller-Lindenlauf, M.; Eurich-Menden, B.; Döhler, H. & N. J. Hutchings (2010) An improved data base for the description of dairy cows in the German agricultural emission model GAS-EM; Landbauforschung; vTI Agriculture and Forestry Research 2 2010 (60)87-100.
- DENDROM (2007): www.dendrom.de
- DESTATIS (2008-2013): <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/>, Stand: 27.02.2013.
- DESTATIS (2009): Bevölkerung Brandenburg und Berlin, <https://www-genesis.destatis.de/>, Stand: 10.12.2009.
- DESTATIS (2012): Spezielle Bodennutzung und Ernte – Ackerland nach Hauptfruchtgruppen und Fruchtarten, <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaft/Bodennutzung/Tabellen/AckerlandHauptfruchtgruppenFruchtarten.html>, Stand: 16.04.2012
- DESTATIS (2013): Gehaltene Tiere: Deutschland, Jahre, Tierarten, <https://www-genesis.destatis.de/>, Stand: 08.01.2013.

- DIE GRÜNEN (2008): Grüne entwicklungspolitische Konferenz: Mais in den Tank oder Brot für den Menschen?, 19. April 2008, <http://www.gruene-bw.de/themen/umwelt-klima-energie/artikel-umwelt-klima-energie/mais-in-den-tank.html>, Stand: 21.01.2010.
- DirektZahlVerpfl (2004): Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand, Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung vom 4. November 2004 (BGBl. I S. 2778).
- Diwald, W. (2010): Energieerzeugungsanlagen zum Zwecke der vollwertigen Energieversorgung – Regionale Netzwerke, 5. Master Class Course Conference „Renewable Energies“ Europa – die Alte Welt als Modell für die Zukunft der Erneuerbaren Energien!?, 29. November bis 03. Dezember 2010, Eberswalde.
- DüVO (2012): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen, Anlage 1, Tab. 1: Nährstoffgehalte von Haupt- und Zwischenfrüchten.
- Eder, E. & H. Schulz (2007): Biogas-Praxis. Grundlagen – Planung – Anlagenbau – Beispiele – Wirtschaftlichkeit – Umwelt, Ökobuch-Verlag, Staufen bei Freiburg, ökobuch Magnum, 5. Überarbeitete Aufl., 2007.
- EDS (2009): Beratung zur amtlichen EU-Statistik in Kooperation mit EUROSTAT, EDS Europäischer Datenservice, 2009
- Edwards, R.A.H.; Šúri, M.; Huld, T.A. & J.F.Dallemand (2006): GIS based assessment of cereal straw energy resource in the European Union, in: European Communities (2007): Cereals Straw Resources for bioenergy in the European Union, Expert Consultation, JRC & CENER, Pamplona, 18-19 October 2006, EUR 22626 EN.
- EEA-ETC/TE (2002): Datenbeschreibung CORINE Landcover, EEA-ETC/TE, 2002. CORINE Land Cover update, I&CLC2000 project, Technical Guidelines.
- EEA (2005): LGEP CC Impact Indicators Europe – Relative increase in ‚length of growing period‘ compared to 1990, averaged over country, EEA, Copenhagen, 2005.
- EEA (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?, EEA Report No 7/2006, S. 54.
- EEA (2007): Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agriculture, Technical report No 12/2007, European Environment Agency, Copenhagen, 2007.
- EEA (2008): Biogeographical regions Europe: Pan-European Map of Biogeographical Regions, <http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice/termsfuse.asp?refid=932E6522-D75E-4981-A0E8-5982D5792835>.
- EEA (2011): Opinion of the EEA Scientific Committee on Greenhouse Gas Accounting in Relation to Bioenergy, European Environment Agency, Scientific Committee, 15 September 2011.
- Ehlers, W. (1996): Wasser in Boden und Pflanze, Dynamik des Wasserhaushalts als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Lütke Entrup, N; Gröblichhoff F.-F.; Dasenbrook, C. & G. Stemann (2003): Abschlussbericht zum anwendungsorientierten Forschungs- und Entwicklungsprojekt Pflanzengesundheit, Qualität und Mykotoxinbelastung von Winterweizen als Brotgetreide und Futtermittel in differenzierten Systemen der Bodenbewirtschaftung, Fachhochschule Südwestfalen, Soest, http://www4.fh-swf.de/media/downloads/fbaw_1/verschiedenes/AB-Mykotoxine_FOBO.pdf, 14.10.2013.
- Ericsson, K. & L.J. Nilsson (2006): Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach, Biomass and Bioenergy 30 (2006), p. 1-15.
- Esteban, L.S., Ciria, P., Carrasco, J.E. (2008): An assessment of relevant methodological elements and criteria for surveying sustainable agricultural and forestry biomass byproducts for energy purposes. BioResources 3: 910-928.

- EU (2009): Verordnung (EG) Nr. 1200/2009 der Kommission vom 30. November 2009 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1166/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Betriebsstrukturerhebungen und die Erhebung über landwirtschaftliche Produktionsmethoden im Hinblick auf die Koeffizienten für Großvieheinheiten und die Definitionen der Merkmale, Amtsblatt der Europäischen Union, 15.12.2009.
- EUBIA (2006): Biomass resources and production potential, <http://www.eubia.org/index.php/about-biomass/deployment-potential-and-resources/biomass-resources-and-production-potential>, 13.10.2013.
- European Commission (2012): Indirect Land Use Change (ILUC), MEMO/12/787, 17/10/2012, http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-12-787_en.htm, 01.09.2013.
- Europäisches Parlament (2009): Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, Amtsblatt Nr. L 140 vom 05/06/2009 S. 0016 – 0062.
- EUROSTAT (2007a): Landwirtschaft – Pflanzliche Erzeugnisse, Fläche und Erzeugung, Ökologischer Landbau, www.EUROSTAT.de, 02.02.2007.
- EUROSTAT (2009): Bilanzen: Getreide, Kartoffel, Hülsenfrucht, Zucker, Reis, Obst- und Gemüse (Wirtschaftsjahr), <http://epp.EUROSTAT.ec.europa.eu>, 18.05.2010.
- EUROSTAT (2009a): HS2-HS4, CN8 06/2009, „Außenhandel mit Partner“, <http://epp.EUROSTAT.ec.europa.eu/portal/page/portal/agriculture/data/database> (Stand: 27.08.2009).
- EUROSTAT (2007b): Energetischer Endverbrauch des Straßenverkehrs in 1.000 Tonnen Öl-Äquivalent 2005 <http://epp.EUROSTAT.ec.europa.eu/portal/page/portal/EUROSTAT/home>, 24.05.2007.
- EUROSTAT (2012): Treibhausgasemissionen (Quelle: European Environment Agency EEA), Gesamt-Emissionen Treibhausgasemissionen (CO₂ Äquivalente), Tausend Tonnen Jahr: 2010, <http://epp.EUROSTAT.ec.europa.eu/portal/page/portal/EUROSTAT/home>, 12.12.2012.
- EUROSTAT (2012a): Mittlerer Verbrauch von Ottokraftstoffen und Diesel im Strassenverkehr 2001-2010, <http://epp.EUROSTAT.ec.europa.eu/portal/page/portal/EUROSTAT/home>, Exportierte Daten 15.05.2012.
- EUROSTAT (2013): Viehbestand 2010 – Anzahl der Betriebe und der Tiere nach landwirtschaftlicher Fläche und NUTS-2-Regionen [ef_olsaareg]; EUROSTAT-Datenbank, Exportierte Daten 17.01.2013.
- EUROSTAT (2013a): Erzeugung von Kuhmilch in den landwirtschaftlichen Betrieben, nach NUTS-2-Regionen, EUROSTAT-Datenbank, Exportierte Daten 17.01.2013
- EUROSTAT (2013b): Bodennutzung: Anzahl der Betriebe und Flächen der verschiedenen Kulturen nach landwirtschaftlicher Fläche und NUTS-2-Regionen [ef_oluaareg], Exportierte Daten 29.01.13
- EUROSTAT (2013c): Versorgung, Umwandlung, Verbrauch – Elektrizität – jährliche Daten [nrg_105a], Exportierte Daten 01.02.2013.
- Eurostat GISCO database; Council of Europe and C.E.C. (2003): LSEU (2003): Landschaften PAN-Europa, Eurostat GISCO database; Council of Europe and C.E.C.
- Eurostat GISCO database; Council of Europe and C.E.C. (2003): VGEU (1988): Natural vegetation of Europe, Eurostat GISCO database; Council of Europe and C.E.C.
- Fachverband Biogas (2013): Installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen in Deutschland in den Jahren 1999 bis 2013 (in Megawatt); Branchenzahlen 2011 und Branchenentwicklung 2012/2013; http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen 21.02.2013.
- FAO (1978-81): Report on the agro-ecological zones project. World Soil Resources Report 48, FAO, Rome.
- FAOSTAT (2013): <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>, 31.08.2013

- Feldhaus, L., Sieverding, E. (2001): Putenmast, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Ulmer, Stuttgart (Hohenheim).
- Fischer, G.; van Velthuizen, H.; Shah, M. & F. Nachtergaele (2002): Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results, RR-02-02, January 2002, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla, Rome, Italy.
- Fleischmann, R., Hacker, E. & K.-H. Oelkers (1979): Vorschlag zu einem Übersetzungsschlüssel für die automatische bodenkundliche Auswertung der Bodenschätzung, Geologisches Jahrbuch Reihe F, Heft 6, Hannover.
- FNR (2005): Basisdaten Bioenergie Deutschland, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.
- FNR (2012 / 2013): Allgemeine Informationen zu Biogas und Biokraftstoffen, <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/basisinfo-nachwachsende-rohstoffe>, Stand 14.03.2013.
- FNR (2012a): Basisdaten Bioenergie Deutschland, Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V., August 2012.
- FNR (2012b): 2. Internationale Fachtagung Strohenergie, Umweltforum Auferstehungskirche Berlin, 29.-30. März 2012.
- Freyer, B. (2003): Fruchtfolge – Fundament einer nachhaltigen Bio-Landwirtschaft, Ökologie und Landbau, 3, 3.
- Friedrich, K. & T. Vorderbrügge (2006): Nutzbare Feldkapazität des Bodens bis 100 cm, Bodenflächendaten 1:50.000 Hessen, <http://www.hlug.de/medien/boden/fisbo/bk/bfd50/index.html> (13.05.08).
- Galler, J. (2005): Fruchtfolge ohne Schäden, <http://www.bmlfuw.gv.at/article/articleview/32251/1/4996#> 18.04.2005, Bauernjournal West.
- Gömann, H.; Kreins, P. & T. Breuer (2007): Deutschland – Energie-Corn-Belt Europas?, Agrarwirtschaft, Vol. 56, Nr. 5/6, 2007, S. 263 – 271.
- Greiff, K. B., Scherm, K., Weber-Blaschke, G., Mayer, W. A. & M. Faulstich (2008): Vergleichende Bewertung von Studien zur Abschätzung von Flächenpotenzialen für die Bioenergieerzeugung; In: KTBL (2008): Ökologische und ökonomische Bewertung nachwachsender Energieträger, KTBL-Tagung vom 8.-9. September 2008 in Aschaffenburg, Tagungsband, KTBL-Schrift 468, Darmstadt, S. 56-68.
- Grundmann, P., Klauss, H. & M. Schindler (2008): Modellanwendung zur ökonomischen Bewertung von Biomassepfaden. In: Endbericht zum Projekt SUNREG I – Biomasse für SunFuel®, Volkswagen AG, Wolfsburg.
- Grundmann, P., Klauss, H., Piorr, H.-P. Brozio, S., Zeidler, M. (2010): Regionale Potenzialanalyse – Biomasse als Energierohstoff in regionalen Wirtschaftskreisläufen in der Region Havelland-Fläming im Rahmen des CENTRAL INTERREG INTERREG-IV-B-Projektes RUBIRES „Rural Biological Resources in Regions“.
- Haase, D. (2000): Die Naturräume Polens. In: A. Droth, F.-D. Grimm & A. Haase: Polen aktuell. [Hrsg]: Institut für Länderkunde e.V., Leipzig: Selbstverlag.
- Haase, D., Haase, G., Ruske, R., Jäger, K.D., Altermann, M., 2007. Loess in Europe – spatial distribution in a scale 1:2,500 000, Quaternary Science Reviews 26, 1301-1312.
- Haenel, H.-D. (Hrsg.) (2008): Berechnung der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft – Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2010 für 2008, Landbauforschung Braunschweig, Sonderheft 334, 2008
- Haiger, A., Storhas, R. & H. Bartussek (1988): Naturgemäße Viehwirtschaft – Zucht, Fütterung, Haltung von Rind und Schwein, Reihe: Ökologie im Landbau Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Hagedorn, K. (2008): Particular requirements for institutional analysis in nature-related sectors, European Review of Agricultural Economics Vol 35 (3) (2008) pp. 357–384.

- Hartmann, H. & M. Kaltschmitt (Hrsg.) (2002): Biomasse als erneuerbarer Energieträger – Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse im Kontext der übrigen Energien, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Bd. 3, Landwirtschaftsverlag, Münster, 2002.
- Hauff, J., Haag, W. & D. Zywiets (2008): Bioenergie und dezentrale Energieversorgung, DLG-Verlags-GmbH, 1. Aufl. 11.2008, Frankfurt am Main.
- Heidemann, D. (2013): Pflanzenzüchtung ist die Basis für umweltschonende Landwirtschaft – Ertragssteigerungen und Resistenzzüchtungen entlasten wertvolle Umweltressourcen, Bonn, 4. Juni 2013, <http://www.die-pflanzenzuechter.de/ueber-uns/presse/pflanzenzuechtung-ist-die-basis-fuer-umweltschonende-landwirtschaft.html>, 01.09.2013.
- Hennings, V. (2000): Methodendokumentation Bodenkunde, Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden, Geologisches Jahrbuch: Sonderhefte: Reihe G, Informationen aus den Bund-Länder-Arbeitsgruppen der staatlichen geologischen Dienste; H. SG 1, Stuttgart.
- Henrichsmeyer, W., Cypris, Ch., Löhe, W., Meudt, M., Isermeyer, F., Heinrich, I., Schefski, A., Neander, E., Fasterding, F., Neumann, M., Nieberg, H. (1995): Stand der Arbeiten im Kooperationsprojekt zur Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96, Abschlußbericht, unveröffentlicht, Bonn/Braunschweig-Völkenrode 1995.
- Hofmann, F.; Plättner, A. & S. Klinski (2006): Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz, Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow.
- Honermeier, B. & M. Gaudchau (2001): Vorfruchtwert von Winteraps, UFOP-Praxisinformation, http://www.ufop.de/files/5713/4080/9728/Vorfrucht_Winteraps.pdf, 14.10.2013.
- Hülsbergen, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme, Habilitationsschrift, Aachen.
- Hutchings, N.; Amon, B.; Dämmgen, U. & J. Webb (2010): EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009, updated June 2010, 4.B Animal husbandry and manure management; Technical report No 9/2009; EEA (European Environment Agency); <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009/>; 23.01.2013.
- IfaS (2004): Studie zur Weiterentwicklung der energetischen Verwertung von Biomasse in Rheinland-Pfalz, Abschlussbericht, <http://www.ifas.umwelt-campus.de/Biomassestudie-kurz.pdf> (04.04.2006).
- Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES) (2002): Studie zur Weiterentwicklung der energetischen Verwertung von Biomasse im Saarland Teil 1: Herleitung von Biomasse – Potenzialen in unterschiedlichen Betrachtungsebenen, Abschlussbericht, <http://www.izes.de/cm/cms/upload/pdf/biomasse1.pdf> (04.04.2006).
- InVekoS 2008/2009: Tierbestandsdaten InVekoS 2008/2009 des Landes Brandenburg, Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLF) 2010.
- IOGEN (2007): http://www.iogen.ca/cellulose_ethanol/what_is_ethanol/process.html, 02.10.2007.
- Isermeyer, F. (2011): Politikrelevanz der agrarökonomischen Forschung, Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Bd. 46, 2011, S.31-44.
- JRC (2007): Cereals Straw Resources for bioenergy in the European Union, Proceedings of the Expert Consultation, Pamplona, 18-19 October 2006, EUR 22626 EN, European Commission, Directorate-General Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Ispra (Va) Italy 2007.
- Kaltschmitt, M. & H. Hartmann (Hrsg.) (2001): Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren, 1. Auflage, Springer Verlag, Berlin.
- Kaltschmitt, M., Merten, D., Fröhlich, N. & M. Nill (2003): Energiegewinnung aus Biomasse, Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003 „Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit“, Berlin, Heidelberg.

- Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. & H. Hofbauer (Hrsg.) (2009): Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin.
- Kapala, A. (1988): Polen, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 260 S.
- Kersebaum, K. C. (2006): Excel-Makro zur Ableitung der Feinbodenarten nach KA5 aus den Angaben der Fraktionen Ton, Schluff und Sand, ZALF MÜNCHENBERG.
- Kim, S. & B.E. Dale (2004): Global potential bioethanol production from waste crops and crop residues, Biomass and Bioenergy 26 (2004), p. 361-375.
- Klinski, S., Diesel, K., Hofmann, F., Plättner, A., Lulies, S., Scholwin, F. Urban, W. & F. Burmeister (2006): Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz, Studie, 2. Auflage, Leipzig 2006, hrsg. durch Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow.
- Kirchgeßner, M. (2004): Tierernährung. 11. Neu überarbeitete Auflage, DLG Verlag, Frankfurt am Main.
- Knappe, F., Böß, A., Fehrenbach, H., Giegrich, J., Vogt, R., Dehoust, G., Schüler, D., Wiegmann, K. & U. Fritsche (2007): Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. – Umweltbundesamt, Texte, 04/07, Dessau.
- Koch, A. (1998): Erträge und ökologische Auswirkungen nach der flächendeckenden Umstellung auf ökologischen Landbau in Brandenburg, Diplomarbeit, Universität Potsdam.
- Köhler, B.; Kolbe, H. (2007): Nährstoffgehalte der Fruchtarten im ökologischen Landbau, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft; Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Körschens, M. Rogasik, J. & E. Schulz (2004): Leitfaden zur Umsetzung des § 3 DirektZahlVerpflV „Erhalt der organischen Substanz im Boden und Schutz der Bodenstruktur“ sowie zur Humusbilanzierung in Hessen,
http://www.lh-hessen.de/landwirtschaft/cross_compliance/grundwasserrichtlinie/humhess6.pdf, Zugriff: 12.01.2010.
- Kretschmer B., Allen B. & K. Hart (2012), Mobilising Cereal Straw in the EU to feed Advanced Biofuel Production. Report produced for Novozymes. IEEP: London.
- Krewitt, W.; Simon, S. & T. Pregger (2008): Renewable energy deployment potentials in large economies, with contribution from Paul Suding, REN21, DLR, Stuttgart, April 2008.
- Kriener, M. (2007): Tank oder Teller, Der Boom für Biotreibstoffe treibt weltweit die Getreidepreise und wird so zum sozialen Sprengsatz, http://publik.verdi.de/2007/ausgabe_10/gesellschaft/zukunft/seite_16/A0, Zugriff: 12.01.2010.
- KTBL (2005): Faustzahlen der Landwirtschaft, 13. Auflage, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- KTBL (2007): Faustzahlen der Landwirtschaft, 14. Auflage, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- Kuhlmann, F. & K.F. Frick (1995): Das Ertragsgesetz und das Minimumgesetz: eine produktionstheoretische Analyse, Berichte über Landwirtschaft, Heft 73, S. 591-623.
- Kühn, D. (2004): Erläuterung zu den Bodenschätzungskarten 1: 25 000 nach Ergebnissen der Bodenschätzung, bearbeitet und herausgegeben von der Staatlichen Geologischen Kommission, Berlin (DDR), zusammengestellt, kommentiert und erläutert von Dr. D. Kühn, Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe, Kleinmachnow.
- Landesinitiative Zukunftsenergie NRW (2002): Konzeptstudie – Systematische Biomassennutzung in der westfälischen Modellregion Münster – Borken – Paderborn, http://www.energieland.nrw.de/service/brosch_down/Konzeptstudie_Biomasse.pdf (04.04.2006).
- Landwirtschaftskammer NRW (2007): Cross Compliance 2007 – Informationsbroschüre für die Empfänger von Direktzahlungen zur Einhaltung der Anderweitigen Verpflichtungen (Cross Compliance), Zahlstelle Direktor der Landwirtschaftskammer NRW als Landesbeauftragter, Referat 21,

- <http://www.landwirtschaftskammer.de/fachangebot/foerderung/pdf/cc-infobroschuere.pdf>, Ausgabe 2007, Bonn.
- LASA Brandenburg (2009): Bevölkerungsprognose für das Land Brandenburg bis 2020 nach Altersgruppen <http://www.lasa-brandenburg.de/Demografie.36.0.html>, 18.05.2010.
- Leemans R. and Van Den Born G.J. (1994) Determining the potential distribution of vegetation, crops and agricultural productivity. In: Alcamo J. (Editor), IMAGE 2.0-integrated modeling of global climate change. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 133-161.
- Leible, L.; Arlt, A.; Fürniß, B.; Kälber, S.; Kappler, G.; Lange, S.; Nieke, E.; Rösch, Ch. & D. Wintzer, (2003): Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen, Bereitstellung und energetische Nutzung organischer Rest- und Abfallstoffe sowie Nebenprodukte als Einkommensalternative für die Land- und Forstwirtschaft – Möglichkeiten, Chancen und Ziele, Wissenschaftliche Berichte, Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse.
- Leip, A.; Weiss, F.; Wassenaar, T.; Perez, I.; Fellmann, T.; Loudjani, P.; Tubiello, F.; Grandgirard, D.; Monni, S. & K. Biala (2010): Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions (GGELS) – final report. European Commission, Joint Research Centre, Table 4.6, S. 88
- Leithold, G., Hülsbergen, K.-J., Michel, D. & H. Schönmeier (1997): Humusbilanz – Methoden und Anwendung als Agrar-Umwelt-Indikator. In: Initiativen zum Umweltschutz, Band 5, 43-54, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, Zeller-Verlag.
- LUNG (2005): Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern, Böden in Mecklenburg-Vorpommern – Abriss ihrer Entstehung, Verbreitung und Nutzung, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.) 2. Auflage, Güstrow 30.09.2005.
- LVL (2008): Datensammlung für die Betriebsplanung und die betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg, Ausgabe 2008, 5. Überarbeitete Auflage, Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVL), Juli 2008.
- LVL (2010): Tierbestandsdaten InVekos 2008/2009 des Landes Brandenburg, Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVL, aktuelle Bezeichnung: LUGV Brandenburg), Potsdam 2010.
- Meinke, I., Gerstner, E.-M., von Storch, H., Marx, A., Schipper, H., Kottmeier, Ch., Treffeisen, R., Lemke, P., (2010): Regionaler Klimaatlas Deutschland der Helmholtz-Gemeinschaft informiert im Internet über möglichen künftigen Klimawandel. DMG Mitteilungen 2-2010, 5-7. URL: http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/publikationen/pdf/dmg-mitteilungen/2010_2.pdf, Stand: 23.01.2012.
- Metzger M., Bunce B., Jongman R., Mateus V. & S. Múcher (2003) The Environmental Classification of Europe, a new tool for European landscape ecologists. *Landscape* 20: 50-54.
- Meynen, E. & J. Schmithüsen (Hrsg.) (1959-1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Gemeinschaftsveröff. D. Inst. F. Landeskunde u. d. Deutschen Inst. F. Länderkunde. Bad Godesberg.
- Michel, V. (2010): Silomais für Biogasanlagen (Energiermais) – Sortenwahl, Landesforschungsanstalt, Gülzow, http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Nachwachsende_Rohstoffe/Biogas/Silomais_fuer_Biogasanlagen/Biogas_Internet%5B1%5D.pdf, 24.11.2010.
- Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forst Mecklenburg-Vorpommern (2001): Perspektiven, Ausbau und Nutzung von Nachwachsenden Rohstoffen, http://www.mv-regierung.de/lm/pages/txt_agrar2000_nachw_rohstoffe.htm (04.04.2006).
- Mirschel, W., Schultz, A. & J. Pommerening (1993): Modellierung des Wachstums auf der Ertragsbildung in komplexen Agroökosystemmodellen, dargestellt am Beispiel Winterweizen und Winterroggen Agrarinformatik (Informationsverarbeitung Agrarwissenschaft), Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, Band 24, S. 183-203.

- Möbes, S. (2006): Methodenentwicklung für regionale Potenzialstudien nachwachsender Rohstoffe auf der Basis von Geografischen Informationssystemen – Länderspezifische Recherchen von Bodendaten, FH Eberswalde, unveröff. Bericht
- MOZ (2009): Bauernstroh zu Bio-Strom, Märkische Oderzeitung 04.02.2009.
- MUGV (2010): Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (Hrsg.): Biomassestrategie des Landes Brandenburg, Potsdam, August 2010.
- Müller, D. (2006): Erneuerbare Energien aus und in der Landwirtschaft, Vortrag, Energiemesse Prenzlau, 13.10.2006, Prenzlau.
- Müller, P. (1986): Grundlagen der Pflanzenproduktion. Dt. Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- Müller, L., Schindler, U., Behrendt, A., Eulenstein, F. & R. Dannowski (2007): The Muencheberger Soil Quality Rating (SQR), Field Manual for Detecting and Assessing Properties and Limitations of Soils for Cropping and Grazing, Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF) e.V., Muencheberg, Draft, Nov. 2007.
- Neubert, G. (2009): Vorschlag zum Futterbedarf aus Kenntnis der Brandenburger Verhältnisse, Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLF), interne Mitteilung.
- Nikolaou, A., Remrova, M. & I. Jeliaskov (2003): Biomass availability in Europe, Lot 5: Bioenergy's role in the EU Energy Market, http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/bioenergy/cres_final_report_annex.pdf, December 2003.
- Nitsch, J., Krewitt, W. & M. Nast (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie, Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal – März 2004.
- Obernberger, I. (2012): Verbrennungstechnische Charakterisierung von Stroh auf Basis von Analysedaten sowie Messdaten von Großanlagen, Vortrag, 2. Internationale Fachtagung Strohenergie, 29.03.12 – 30.03.12, Berlin, <http://www.fnr.de/strohenergie/>, Stand: 16.04.2012.
- Öko-Institut e.V. & Partner (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Endbericht. Darmstadt, Mai 2004.
- Paffrath, A. (2005): Weite Reihe Winterweizen, Landwirtschaftskammer NRW, Leitbetriebe ökologischer Landbau Nordrhein-Westfalen, http://www.oekolandbau.nrw.de/pdf/projekte_versuche/leitbetriebe_2005/leitbetriebe_versuchsbericht_2005/02_Weite_Reihe_GE_05.pdf, 14.10.2013.
- Panoutsou, C., Eleftheriadis, J., Nikolaou, A. (2009): Biomass supply in EU27 from 2010 to 2030. Energy policy 37: 5675-5686.
- Panoutsou, C.; Uslu, A.; Elbersen, B. & U. Fritsche (2012): The role of straw for heat & electricity in EU27 member states in 2020 and in 2030, In: Gülzower Fachgespräche, Band 38: 2. Internationale Fachtagung Strohenergie, 29. Bis 30. März 2012 in Berlin, S. 75.
- Pfeiffer, E.-M., S. Sauer & E. Engel (Hrsg.), 2003: Bodenschätzung und Bodenbewertung, Nutzung und Erhebung von Schätzungsdaten, Verlag Chmielorz, Wiesbaden, 88 S.
- Piorr, H.-P., Kersebaum, K.C. & A. Koch (1998a): Die Bedeutung von Extensivierung und ökologischem Landbau für Strukturwandel, Umweltentlastung und Ressourcenschonung in der Agrarlandschaft. Eberswalder Wissenschaftliche Schriften Bd. 3, 99 – 114.
- Piorr, H.-P. (1998b): Fruchtfolgen konventionell und ökologisch. – In [Hrsg.]: Scholzen, A. (1999): Charakterisierung von Agrarlandchaftspotentialen: Evaluierung standortspezifischer Flächennutzungs-, Ertrags- und Umwelteffekte am Beispiel ostdeutscher Agrarlandchaften, Diplomarbeit, Universität Potsdam, S. 25.
- Piorr, H.-P. (2007): Persönliche Mitteilung 02/2007.

- Piorr, H.-P. (2010): Biokraftstoffe – Lösung, Problem oder nur Teil der Landschaft? : Bilanzen, Potentiale und Szenarien bis 2050. Bonn : Friedrich-Ebert-Stiftung, Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik, 43 S.
- Preetz, H. (2003): Bewertung von Bodenfunktionen für die praktische Umsetzung des Bodenschutzes (dargestellt am Beispiel eines Untersuchungsgebiets in Sachsen-Anhalt), Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Raffelt, K. (2008): BTL-Produktion auf der Basis von Stroh, 1. Internationale Fachtagung Stroheergie, 3.-4. April 2008 in Jena.
- Ramesohl, S., Arnold, K., Kaltschmitt, M., Scholwin, F., Hofmann, F., Plättner, A., Kalies, M., Lulies, S., Schröder, G., Althaus, W., Urban, W. & F. Burmeister (2005): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse, Band 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen, Wuppertal Institut, IE Leipzig, FHG-Umsicht Oberhausen, GWI Essen, 2005, 73 Seiten.
- Rat der Europäischen Union (2007): Council conclusions on energy policy for Europe, 782nd Transport, Telecommunications and energy Council meeting, Brüssel, 15. Februar 2007.
- Rat der Europäischen Union (2007): Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates vom 19. Januar 2009 mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1290/2005, (EG) Nr. 247/2006, (EG) Nr. 378/2007 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003, Brüssel, 19. Januar 2009.
- Ratzke, U. & H.-J. Mohr (2005): Böden in Mecklenburg-Vorpommern, Abriss ihrer Entstehung, Verbreitung und Nutzung, 2. Auflage, Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Güstrow.
- Reinhold, G.; Breitschuh, G., Herold, L. & W. Zorn (2006): Standpunkt zur Ermittlung der Nährstoffgehalte und zur Nährstoffbilanzierung bei Einsatz von Biogasegülle, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.tll.de/ainfo/pdf/biog0106.pdf>, 30.06.2014.
- Reuter, H.I., Lado, L.R., Hengl, T. & L. Montanarella (2008) : Continental-scale digital Soil Mapping using European Soil Profile Data : Soil pH, Hamburger Beiträge zur Physischen Geographie und Landschaftsökologie, Vol.19.
- Richter, A.; Hennings, V. & L. Müller (2009): Anwendung des Müncheberger Soil Quality Ratings (SQR) auf bodenkundliche Grundlagenkarten, Teigungsbeitrag, Jahrestagung der DBG, Kommission V, September 2009, Bonn.
- Roedenbeck, I.A.E. (2004): Bewertungskonzepte für eine nachhaltige und umweltverträgliche Landwirtschaft – Fünf Verfahren im Vergleich; BIOGUM – Forschungsbericht, Nr. 8; BIOGUM; Universität Hamburg, Hamburg.
- Rosenberger, A. (2005): Identification of top – performing cereal cultivars for grain – to – ethanol operations, – Zuckerindustrie 130, Nr. 9, S. 697 – 701.
- Roth, R. (1995): Ertragsabschätzung für wichtige landwirtschaftliche Kulturpflanzen. In: Bork, H.-R. et al. (Hrsg.): Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen, Verlag Ernst & Sohn; Berlin; S. 59-61.
- Rothkegel, W. (1930): Handbuch der Schätzungslehre für Grundbesitzungen, Parey Verlag, Berlin.
- Rothkegel, W. (1950): Geschichtliche Entwicklung der Bodenbonitierung und wesen und Bedeutung der deutschen Bodenschätzung, Verlagsbuchhandlung Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Rothkegel, W. (1952): Landwirtschaftliche Schätzungslehre, 2. Verbesserte Auflage, Verlagsbuchhandlung Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Rust, I. (2006): Aktualisierung der Bodenschätzung unter Berücksichtigung klimatischer Bedingungen, Dissertation, Univeristät Göttingen, Februar 2006.

- Schattauer, A & R. Wilfert, (2004) Biogasgewinnung aus Gülle, organischen Abfällen und aus angebauter Biomasse – Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse, Institut für Energetik und Umwelt GmbH, Leipzig, Endbericht.
- Schatz, T. (2009): Getreideanbau zur Ethanolherzeugung – vom Feldversuch zur nachhaltigen Energieproduktion, Herbstakademie, Vortrag, 01. 12. 2009, 4. Master Class Course Conference “Renewable Energies”, Fachhochschule Eberswalde.
- Schneider, M. (2006): Erträge im ökologischen Landbau: Einfluss von Standort und Vorfrucht, Fachhochschule Eberswalde, Dipl.-Arb., 2006.
- Scholzen, A. (1999): Charakterisierung von Agrarlandschaftspotentialen: Evaluierung standortspezifischer Flächennutzungs-, Ertrags- und Umwelteffekte am Beispiel ostdeutscher Agrarlandschaften, Diplomarbeit, Universität Potsdam.
- Schulzke et al. (1998): Agrarökologische Gebietsgliederung als Entscheidungshilfe zur Ableitung von Schutz- und Nutzungszielen bei der Landnutzung, unveröff., 30 Seiten.
- Schütte, A. (2012): Förderung der Strohnutzung in Deutschland, Vortrag, 2. Internationale Fachtagung Strohenergie, 29.03.12 – 30.03.12, Berlin, http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/Strohenergie2012/01_Schuette-freigegeben.pdf, Stand: 16.04.2012.
- Schweiger, P. (2004): Ökologische Bedeutung der CO₂-Bindung und O₂-Freisetzung durch pflanzliches Wachstum, Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, http://www.ltz-bw.de/pb/site/lcl/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/ltz_ka/pdf/c/CO2-Bindung.pdf, 13.10.2013.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (2009): Bevölkerungsprognose für Berlin und die Bezirke 2007-2030, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Ref. I A – Stadtentwicklungsplanung in Zusammenarbeit mit dem Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, Berlin, Januar 2009.
- Senn, T. (2005): Bioethanol-Ausbeute, Mail vom 21.07.2005, Universität Hohenheim, Institut für Lebensmitteltechnologie, Fachgebiet Gärungstechnologie mit Forschungs- und Lehrbrennerei.
- Simon, S. M. (2007): Szenarien nachhaltiger Bioenergiepotenziale bis 2030 – Modellierung für Deutschland, Polen, Tschechien und Ungarn, Dissertation, Wissenschaftszentrum Weihenstephan und Technische Universität München.
- Smeets, E.M.W.; Faaij, A.P.C.; Lewandowski, I.M. & W.C. Turkenburg (2007): A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050, Progress in Energy and Combustion Science, Volume 33, Issue 1, February 2007, S. 56-106.
- SMUL (2007): Energie für die Zukunft: Sachsens Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen / Biomasse, Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden, November 2007.
- SOVEUR (1997): Report 97/06: Guidelines for the Compilation of a 1:2.500.000 SOTER Database, SOVEUR Project, S. 41.
- Statistisches Bundesamt (2013): Flächenbelegung von Ernährungsgütern, Wiesbaden, 19. August 2013, https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/FachbereichFlaechenbelegung5385101109004.pdf?__blob=publicationFile, 01.09.2013.
- Stypinski, P. (2011): The Effect of Grassland-based Forages on Milk Quality and Quantity, Agronomy Research 9 (Special Issue II), 479–488, 2011.
- The, C.B.S. (2002). A computer program to determine the soil texture class for any classification scheme, Agro-Search 9, S. 19-21. Texture AutoLookup (TAL) Programm: <http://www.agri.upm.edu.my/~chris/tal/> (13.05.08).
- Thrän, D. et al. (2005): Nachhaltige Biomassennutzungsstrategien im europäischen Kontext – Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern, Institut für Energetik und Umwelt; Leipzig, 2005.

- Thrän, D. (2012): Stand der europaweiten energetischen Nutzung von Halmgütern, In: Gülzower Fachgespräche, Band 38: 2. Internationale Fachtagung Strohenergie, 29. Bis 30. März 2012 in Berlin.
- Topagrar (2013): Forscher erzielen Durchbruch bei Weizenzüchtung, topagrar online, 27.05.2013, <https://www.topagrar.com/news/Acker-Wetter-Ackernews-Forscher-erzielen-Durchbruch-bei-Weizenzuechtung-1154175.html>, 01.09.2013.
- Tsuji, G.Y., Jones, J.W. & S. Bales (1994): DSSAT v3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Ulonka, H.-J. (2006): Bodenschätzungsdaten als methodische Grundlage im vorsorgenden Bodenschutz auf ausgewählten landwirtschaftlich genutzten Standorten Thüringens, Tagungsband, 4. Marktrechwitz Bodenschutztag: Bodenschutz – die europäische Dimension, 29.-31. Mai 2006, Marktrechwitz, Bayern, S. 217-223.
- USDA (U.S. Department of Agriculture) (2007). National Soil Survey Handbook, title 430-VI. Natural Resources Conservation Service [Online] Available: <http://soils.usda.gov/technical/handbook/> (14.05.08).
- USDA (2010): Soil Texture Calculator, Technical References, NRCS (Natural Resources Conservation Service) <http://soils.usda.gov/technical/aids/investigations/texture/>, Zugriff: 25.01.2010.
- Vetter, A. (2001): Qualitätsanforderungen an halmgutartige Bioenergieträger hinsichtlich der energetischen Verwertung. – In: FNR [Hrsg.]: Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. – Gülzower Fachgespräche Band 17, Tautenhain.
- VDLUFA – Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (2004): Standpunkt – Humusbilanzierung: Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland, VDLUFA, Selbstverlag, Bonn 2004.
- WBGU Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2003): Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit, Berlin. http://www.wbgu.de/wbgu_jg2003.pdf
- WBGU Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2009):
- Wechsung, F., Gerstengarbe, F.-W., Lasch, P. & A. Lüttger (Hrsg.) (2008): Die Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.
- Weinmann, Bernd (2002): Mathematische Konzeption und Implementierung eines Modells zur Simulation regionaler Landnutzungsprogramme, Universität Gießen, Agrarwirtschaft – Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Marktforschung und Agrarpolitik, Sonderheft 174, Agrimedia GmbH, Bergen/Dumme.
- Weiser, C.; Reinicke, F.; Zeller, V.; Vetter, A.; Thrän, D. & B. Wagner (2011): Bestimmung des deutschlandweiten Getreidestrohpotenzials auf Landkreisebene unter Anwendung verschiedener Humusbilanzmethoden, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, März 2011
- Wendland, F.; Albert, H.; Bach, M.; Schmidt, R. (Hrsg.) (1993): Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland – Rasterkarten zu geowissenschaftlichen Grundlagen, Stickstoffbilanzgrößen und Modellergebnissen, Springer Verlag, Heidelberg.
- Yamamoto, Hiromi, Fujino, Junichi & Kenji Yamaji (2001): Evaluation of bioenergy potential with a multi-regional global-land-use-and-energy model, Biomass and Bioenergy, Volume 21, Issue 3, S. 185-203.
- Zeddies (2006): Nachwachsende Rohstoffe für den Energiesektor. Erschienen 2006 in: I. Darnhofer, C. Walla und H.K. Wytrzens (Hrsg.). Alternative Strategien für die Landwirtschaft. Wien: Facultas, S. 123-134. http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/_/H73/H733/pub/BWL_allgemein/11_Zeddies.pdf (27.11.09).
- Zeidler, M. & H.P. Piorr (2007): Ermittlung von standortangepassten Fruchtfolgen, In: Brozio, S.; Zeidler, M.; Piorr, H.-P. & F. Torkler (2007): Potenzialstudie ausgewählter Bioenergie-Fruchtarten in Deutschland, Polen und im Baltikum, unveröff. Jahresbericht erarbeitet für PCK Schwedt, S. 12 – 14.
- Zeidler, M. & H.P. Piorr (2007a): Bilanzierung des verfügbaren Strohs, In: Brozio, S.; Zeidler, M.; Piorr, H.-P. & F. Torkler (2007): Potenzialstudie ausgewählter Bioenergie-Fruchtarten in Deutschland, Polen und im Baltikum, unveröff. Jahresbericht erarbeitet für PCK Schwedt, S. 14 – 16.

- Zimmer, J. (2008): Biomasseproduktion und nachhaltige Humuswirtschaft – ein Widerspruch?, ETI-Arbeitsgruppensitzung Biogas am 16. 12. 2008 im Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Müncheberg und Kiehnwerder, Vortrag.
- Zimmer, J.; Raab, G. & R. Schade (2009): Auswirkungen forcierter Biomassenutzung auf die Humuswirtschaft, Vortrag Fachtagung Biogas 2009, Potsdam.
- ZMP (2006): Agrarmärkte in Zahlen, Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft GmbH, Europäische Union 2006, CD-ROM, 2006.
- Zollitsch, W., Wagner, E. & S. Wlcek (2002): Ökologische Schweine/ Geflügelfütterung, Österreichischer Agrarverlag, Leopoldsdorf.

Verzeichnis verwendeter Geodaten und deren Dokumentationen

Verwaltungsgrenzen

- ArcGIS and Maps © ESRI 2006
- Verwaltungsgrenzen Deutschland: ATKIS® VG250 © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2003
- Verwaltungsgrenzen Deutschland: ATKIS® VG250 © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2006
- Verwaltungsgrenzen © Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg 2005

Bodendaten

- DIBOS – ALK (Folie 42) Landkreis Uckermark, mit Genehmigung des Kataster- und Vermessungsamtes Schwedt, 2007
- DIBOS – ALK (Folie 42) Landkreis Barnim, mit Genehmigung des Kataster- und Vermessungsamtes Eberswalde, 2007
- Bodenübersichtskarte 300 (BÜK300) © LBGR 2007, Hergestellt unter Verwendung von digitalen Daten der BÜK300 mit Flächenbodenformen des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR), Kleinmachnow 2007
- Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK1000) © Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, 2005
- Ertragsmesszahl: Analoge Karte der mittleren Ertragsmesszahl der Gemeinden von 1958: Bodengüte landwirtschaftlich genutzter Flächen auf Gemeindeebene von 1958 im Maßstab 1:1.000.000 vor (Hrsg: Institut für Landeskunde in der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung Bad Godesberg). Diese Karte wurde auf die Gemeindegrenzen von 2003 digitalisiert. Die Ertragsmesszahl entspricht einem flächengewichteten Mittelwert der Grünland- und Ackerzahl.
- Bonität Estland: Estonian Soil Map @Maa-amet (Estonian National Land Board), erworben für Project "Renewable energy from agricultural and forestry biomass", FH Eberswalde 2006.
- European Soil Database V2.0 Raster Archiv (ESDBv2 Raster Archive) 10km² - set of rasters derived from the European Soil Database distribution version 2 (published by the European Commission and the European Soil Bureau Network), 2001
- European Soil Database V2.0 Raster Archiv (ESDBv2 Raster Archive) 1km² - set of rasters derived from the European Soil Database distribution version 2 (published by the European Commission and the European Soil Bureau Network), 2001
- FAO project 1998: Agricultural Land Productivity Grades District Averages, FAO projektas TCP/LIT/6613, Valstybinis žemėtvarkos institutas, 1998.
- GEMDAT: Datenbank der Gemeinden von 1995 mit Informationen zur Bodengüte: Mittelwert der Ackerzahl und der Grünlandzahl pro Gemeinde

- IGBP-DIS (1998) SoilData(V.0) A program for creating global soil-property databases, IGBP Global, Soils Data Task, France.[http://www.sage.wisc.edu/atlas/data.php?incdataset=Soil pH](http://www.sage.wisc.edu/atlas/data.php?incdataset=Soil_pH), 22.09.2008.
- HAASE, D., HAASE, G., RUSKE, R., JÄGER, K.D., ALTERMANN, M. (2007): Loess in Europe – spatial distribution in a scale 1:2,500 000, *Quaternary Science Reviews* 26, 1301-1312.
- IUNG (1980): Waloryzacja Rolniczej Przestrzeni Produkcyjnej Polski 1:1.000.000, Valorization of the agricultural productive area of Poland, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławagil, Puławy.
- JONES, R.J.A., HIEDERER, R., RUSCO, E., LOVELAND, P.J. AND MONTANARELLA, L. (2004): The map of organic carbon in topsoils in Europe, Version 1.2, September 2003: Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.72 (S.P.I.04.72). European Soil Bureau Research Report No.17, EUR 21209 EN, 26pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- FAO GeoNetwork (2007): pH-Subsoil, Raster dataset with spatial resolution of 5*5 arc minutes, Edition 3.6, 2007-02-16 <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>.
- REUTER, H.I., LADO, L.R., HENGL, T. & L. MONTANARELLA (2008) : Continental-scale digital Soil Mapping using European Soil Profile Data : Soil pH, *Hamburger Beiträge zur Physischen Geographie und Landschaftsökologie*, Vol.19.
- SOTER, Soil Terrain Database, SOVEUR project :
- BATJES, N.H. & E.M. BRIDGES (1997): Implementation of a soil degradation and vulnerability database for central and eastern Europe. *Proceedings of an Int. Workshop. Wageningen, 1-3, October 1997. ISRIC Wageningen. The Netherlands.*
- ISRIC (1993): *Global and National Soils and Terrain Databases (SOTER): Procedures Manual*, UNEP-ISSS-ISRIC-FAO, Int. Soil Reference and Information Centre, Wageningen, The Netherlands.
- ISSS (1986): Project proposal “World Soils and Terrain Digital Database at a Scale 1:1 M (SOTER).”, F. Baumgardner (editor). *Int. Society of Soil Science, Wageningen, The Netherlands.*
- ZBĪRAL, J. (1995): Monitoring of agricultural Soils in the Czech Republic, *Environmental Monitoring and Assessment* 34, 175-178.

Landnutzung:

- CORINE Landcover 2000: CORINE Land Cover; Umweltbundesamt, DLR-DFD 2004
- CORINE Landcover 2000 – europäische Landesdaten: EEA, Copenhagen, 2005
- CORINE Landcover 2006 – europäische Landesdaten: EEA, Copenhagen, 2010
- ATKIS (Basis-DLM 2005): Digitales Basis-Landschaftsmodell, ATKIS ©Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg 2005
- InVeKos Feldblöcke (2007): Berechnung auf der Grundlage von Daten des Landes Brandenburg: <http://www.mluv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb2.c.515599.de>
- PELCOM 2008 – Landuse: <http://www.geo-informatie.nl/projects/pelcom/public/index.htm>

Relief

- Global Digital Elevation Model: ArcGIS and Maps © ESRI 2006
- DGM5 © Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg 2007
- DGM25 © Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg 2004
- WORLDCLIM 2008: Altitude (elevation above sea level from SRTM) © WORLDCLIM, <http://www.worldclim.org>

Klima

DWD: Rasterdaten Jahresniederschläge 1991-2005 © DWD (Deutscher Wetterdienst)

WORLDCLIM 2008: Jahresniederschlag und –temperatur 1950-2000 © WORLDCLIM,
<http://www.worldclim.org>

WORLDCLIM 2010: Climate Scenario – Scenario from IPCC Data Distribution Centre, by climate model (CCCMA, HADCM3, CSIRO), emission scenario (a2a, b2a), year (2020, 2050, 2080) © WORLDCLIM, <http://www.worldclim.org>

Weitere Geodaten

Naturräumliche Gliederung © Bundesamt für Naturschutz (BfN), 2002, abgeleitet auf der Grundlage von MEYNEN & SCHMITTHÜSEN für Natura 2000.

AKR 1998: Agrar-Klima-Regionen, SCHULZKE et al. (1998): Agrarökologische Gebietsgliederung als Entscheidungshilfe zur Ableitung von Schutz- und Nutzungszielen bei der Landnutzung, unveröff., 30 Seiten.

EEA 2008 – Biogeographical regions Europe: Pan-European Map of Biogeographical Regions, <http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice/termsfuse.asp?refid=932E6522-D75E-4981-A0E8-5982D5792835>.

FAO (1978-81): Report on the agro-ecological zones project. World Soil Resources Report 48, FAO, Rome.

FISCHER, G.; VAN VELTHUIZEN, H.; SHAH, M. & F. NACHTERGAELE (2002): Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results, RR-02-02, January 2002, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla, Rome, Italy.

IPCC 2003: Environmental classification, nach: METZGER M., BUNCE B., JONGMAN R., MATEUS V. & S. MÜCHER (2003) The Environmental Classification of Europe, a new tool for European landscape ecologists. Landscape 20: 50-54.

LSEU 2003 Landschaften PAN-Europa, EUROSTAT GISCO database; Council of Europe and C.E.C.

VGEU 1988: Natural vegetation of Europe, EUROSTAT GISCO database; Council of Europe and C.E.C.

Abkürzungsverzeichnis

AR	Anbauregion	USDA	United States Department of Agriculture
AS	Agrarstatistik		
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem	VegP	Lände der Vegetationsperiode [Tage pro Jahr]
AZ	Ackerzahl	VF / VFW	Vorfrucht / Vorfruchtwirkung
BAR	Barnim		
BB	Brandenburg		Fruchtarten / Fruchtartgruppen:
BS	Bodenschätzung	AB	Ackerbohne
BÜK	Bodenübersichtskarte	Afu	Ackerfutter
BYM	Biomasse-Ertragsmodell (Biomass Yield Model)	FE	Futtererbse
CC	cross compliance	Ge	Gerste
CORINE	Landnutzungsdaten Europa	Getr	Getreide
DIBOS	Digitalisiertes Bodenbeschreibungs-System	GP / GPS	Ganzpflanzen / -Silage
DHM40	Digitales Höhenmodell	GS	Grassilage
DWD	Deutscher Wetterdienst	HA	Hafer
dyn. HE	dynamische Humuseinheitenmethode	Kar	Kartoffel
eco	ökologisch	KGr	Kleegrass
el	elektrisch	KM	Körnermais
EMZ	Ertragsmeßzahl	LUP	Lupine
ESB	European Soil Bureau	LUZ	Luzerne
ESDB	European Soil Database	Ra	Raps
EU	Europäische Union	Ro	Roggen
EUROSTAT	Statistikportal der EU	SG	Sommergerste
EWR	Ernte-Wurzel-Rückstände	SM	Silomais
FA	Fruchtart	SoBlu	Sonnenblume
FAOSTAT	Statistikportal der FAO	Sra	Sommerraps
FBA	Flächenbodenarchiv (BÜK300 / BÜK1000)	SW	Sommerweizen
FBF	Flächenbodenform (BÜK300 / BÜK1000)	Sth	Stroh
FF	Fruchtfolge	TR	Triticale
FM	Frischmasse	We	Weizen
GEMDAT	Gemeindedatei des Datenspeichers Boden	WG	Wintergerste
GIS	Geographisches Informationssystem	WRa	Winterraps
HB	Humusbilanz	Wro	Winterroggen
GV/GVE	Großvieheinheit	WW	Winterweizen
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem	ZR	Zuckerrübe
JRC	Joint Research Center		Länder:
KA4 / KA5	Bodenkundliche Kartieranleitungen (AG BODEN 1994 & AD-HOC-AG BODEN 2005)	AT	Österreich
kon	konventionell	BE	Belgien
KOP	Koppelprodukt	BG	Bulgarien
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft	CY	Zypern
LBG	Landbaugesbiet	CZ	Tschechische Republik
LegNr	Legendennummer	DE	Deutschland
LW / lw.	Landwirtschaft / landwirtschaftlich	DK	Dänemark
Max	Maximum	EE	Estland
Min	Minimum	EL / GR	Griechenland
MW	Mittelwert	ES	Spanien
N	Anzahl	FI	Finnland
Nawaro	Nachwachsende Rohstoffe	FR	Frankreich
NS / Prec	Niederschlag / precipitation	HU	Ungarn
NSS	Niederschlag Sommerfrüchte	IE	Irland
NSW	Niederschlag Winterfrüchte	IT	Italien
NUTS	National Untis, Bezeichnung der EU-Verwaltungseinheiten	LT	Litauen
PJ	Petajoule	LU	Luxemburg
SOTER	Soil Terrain Database	LV	Lettland
SQR	Soil Quality Raiting	MT	Malta
th	thermisch	NL	Niederlande
T	Temperatur	PL	Polen
TM	Trockenmasse	PT	Portugal
TS	Trockensubstanz	RO	Rumänien
UM	Uckermark	SE	Schweden
		SI	Slowenien
		SK	Slowakische Republik
		UK	Großbritannien

Umrechnungsfaktoren und Bioenergie-Kennzahlen

Zehnerpotenzen

Kilo	k	10 ³	Tausend
Mega	M	10 ⁶	Millionen
Giga	G	10 ⁹	Milliarden
Tera	T	10 ¹²	Billionen
Peta	P	10 ¹⁵	Billiarden
Exa	E	10 ¹⁸	Trillionen

Energie - Umrechnungsfaktoren

		GJ	kWh
1 Gigajoule	GJ	1	277,8
1 Megawattstunde	MWh	3,6	1.000

Energieinhalte

	MJ/kg	MJ/l
Benzin	43,10	32,48
Ethanol	26,90	21,06
Diesel	42,80	35,87
Biodiesel	37,50	32,65
Pflanzenöl	34,60	34,59

Volumen / Masse

1.000 l	kg	t	1.000 m ³	kg	t
Ethanol	790	0,79	Ethanol	790.000	790
Benzin	750	0,75	Benzin	750.000	750
Diesel	840	0,84	Diesel	840.000	840
Biodiesel	880	0,88	Biodiesel	880.000	880
Heizöl	860	0,86	Heizöl	860.000	860

Bioenergie-Ausbeuten

Inputstoff	Biokraftstoff-Ausbeute [l t ⁻¹ FM]		Inputstoff	Biogasausbeute [kW _{el} t ⁻¹ FM] [m ³ t ⁻¹ FM]	
	Getreidekorn			Bioethanol	
WRo	348,7		Silagen		
WW	376,9		WRo	311	80
WG	346,8		SM	315	86
TR	382,1		Getreidekorn	1106	
KM	338,2		Gülle		
SM	125,8		Rind	45	24
ZR	107,6		Schwein	40	19
Getreidestroh	250,0		Mist		
Ölsaaten			Rind	172	94
WRa	358,0	Biodiesel	Geflügel	383	162
SoBlu	360,0				

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Biomasse und daraus erzeugbare Bioenergie in der Landwirtschaft (MÜLLER 2006, verändert).....	2
Abb. 2:	Anbauflächen von Pflanzen zur Grünernte 2008 bis 2011 in Deutschland (nach DESTATIS 2012)....	3
Abb. 3:	Räumliche, zeitliche und thematische Ebenen der Potenzialanalysen (GRUNDMANN 2008).....	4
Abb. 4:	Das Biomasse-Ertragsmodell BYM im Überblick, eigene Darstellung.	16
Abb. 5:	Ableitung einer 3D-Ertragsfunktion am Beispiel Winterweizen: Kornertrag basierend auf Ackerzahl und Jahresniederschlag (Ökolandbau), eigene Darstellung nach PIORR 1998b.	17
Abb. 6:	Veränderung der Ertragsindizes anhand Ackerzahl und fruchtartspezifischer Index, eigene Darstellung.....	17
Abb. 7:	Ablaufschema für die Erstellung einer repräsentativen Fruchtfolge für eine Region (ZEIDLER & PIORR 2007, verändert).	19
Abb. 8:	Ableitung verfügbarer Strohmenngen durch Einstreu- und Futterbedarfsermittlung bzw. Humusbilanzierung, eigene Darstellung.	24
Abb. 9:	Access-Oberfläche des Humusbilanz-Moduls (nach ZEIDLER 2007a).	25
Abb. 10:	Vergleich von Getreidestroh-Erntemengen mit Humusbedarfsmengen bei unterschiedlichen Humus-Reproduktionsraten (80 kg Humus-C t ⁻¹ Getreidestroh / 60 kg Humus-C t ⁻¹ Getreidestroh); eigene Berechnung auf der Basis der Agrarstatistik Brandenburg 2001-2007 (DESTATIS 2008).	27
Abb. 11:	Beispiele unterschiedlicher Inputstoffe als Rohstoff zur Bioenergieerzeugung und deren Verbräuche bzw. Restriktionen in der Nutzung, eigene Darstellung.....	28
Abb. 12:	Theoretischer Ethanolertrag der Getreidearten Winterroggen (WRo), Winterweizen (WW), Wintergerste (WG) und Triticale (TR) abgeleitet über Kornertrag von 1 Tonne Frischmasse und den Korn-Stroh-Verhältnissen, eigene Berechnung.....	30
Abb. 13:	Untersuchungsgebiete und Modellierungsebenen.	31
Abb. 14:	Anteil der Landnutzungen an der Landfläche der EU27-Mitgliedsstaaten (eigene Berechnung nach CLC2000) – GL = Grünland; DK = Dauerkultur; het.lw. = heterogen landwirtschaftlich genutzten Flächen.	33
Abb. 15:	Verteilung der Klimastationen mit Niederschlagsmessung in Europa, die in den Datensatz einfließen (aus: WORLDCLIM 2008).....	33
Abb. 16:	Jahresniederschlag in Deutschland: Mittelwert und Minimum von 1991 bis 2005 (nach DWD 2007).34	
Abb. 17:	Niederschlag in Deutschland von 2005-2010: Grundlagen der Szenarien „normal“ (Median) und „trocken“ (Minimum) differenziert nach fruchtartspezifischen Vegetationszeiträumen, eigene Berechnung nach DWD Raster-Jahresdaten 2005-2010.....	35
Abb. 18:	Niederschlagssummen fruchtartspezifischer Vegetationszeiträume in Europa für Winter- (links) und Sommerfrüchte (rechts) im Niederschlagsszenario „normal“ (Median), eigene Berechnung nach WORLDCLIM 2008-Rasterdaten: mittlere Monatssummen 1950-2000.	36
Abb. 19:	Reaktion der Bodenzahl auf die zugrunde liegenden Parameter: Bodenart (Bodenart ID nach Tabelle 15 (S. 36) / ID „9“ = Moor), Entstehung und Zustandsstufe (Datengrundlage DIBOS Landkreise Uckermark und Barnim), eigene Berechnung.	37
Abb. 20:	Screenshot des Flächenbodenformenarchivs (FBA) der BÜK300: Beispiel eines Parametersatzes einer Bodenform mit landwirtschaftlicher Nutzung nach LGBR 2007.	40
Abb. 21:	Ertragsklassen der Bodenübersichtskarte BÜK 300 (LBGR 2007) auf den Ackerflächen Brandenburgs (ATKIS-BasisDLM 2008), eigene Berechnung.	41

Abb. 22:	Übersicht der Ableitung von Bioenergie-Szenarien: Datengrundlagen (Datensatz nach Tabelle 19), Vergleiche und Validierung (vertikale Pfeile), Ableitungen von Inputdaten, Biomasse-Modellierungen und Bioenergie-Szenarien; Regionaler Bezug: BB=Brandenburg, DE=Deutschland, EU=Europäische Union.	46
Abb. 23:	Entwicklung der Flächen von Ackerland, Dauergrünland und Dauerkulturen in EU27, eigene Darstellung nach EUROSTAT 2009.	48
Abb. 24:	Vergleich der Datengrundlagen DWD (links) und WORLDCLIM (rechts): Darstellung der Niederschlagssumme Sommerfruchtarten (NSS) in Deutschland, eigene Berechnungen.....	50
Abb. 25:	Vergleich der Niederschlags-Szenarien „normal“ (Median) und „trocken“ (Minimum) nach DWD: Darstellung der prozentualen Anteile des Minimums am Medianwert pro Rasterzelle für Winter- (NSW - links) und Sommerfruchtarten (rechts - NSS) in Deutschland, eigene Berechnungen.	51
Abb. 26:	Mittlere Ackerzahlen der GEMDAT (X-Achse) und Mittelwerte der digitalisierten Bodenschätzung (DIBOS) in den Gemeinden (Y-Achse) von Uckermark und Barnim, eigene Berechnung.	52
Abb. 27:	Räumlicher Vergleich der Ackerzahlen aus der digitalisierten Bodenschätzung (Anteile der Ackerzahl-Gruppen in den Gemeinden als Kreisdiagramm) und der GEMDAT (flächenhafte Darstellung) bezogen auf die Gemeindegrenzen der GEMDAT in den Landkreisen Barnim (südlicher Landkreis) und Uckermark (nördlicher Landkreis), eigene Berechnung.	53
Abb. 28:	Vergleich der BÜK300-Ertragsklassen mit GEMDAT in Brandenburg: Mittelwert und Standardabweichung der GEMDAT-Ackerzahl innerhalb der BÜK300-Klassen der Ertragsfähigkeit, eigene Berechnung.	54
Abb. 29:	Vergleich der BÜK300-Ertragsklassen mit DIBOS-Bodenzahlen in den Landkreisen Uckermark und Barnim: Mittelwert und Standardabweichung der DIBOS-Bodenzahlen in den BÜK300-Ertragsklassen, oben - Balkendiagramm: Anteile der BÜK300-Ertragsklassen in den Ackerflächen von Uckermark und Barnim in Prozent, eigene Berechnung.	54
Abb. 30:	BÜK300: Räumliche Verteilung der mineralischen Bodenarten in Brandenburg nach KA4 durch Ableitung einer mittleren, flächengewichteten Bodenart pro Legendennummer für ackerbaulich genutzte Standorte, eigene Berechnung.	56
Abb. 31:	Vergleich der BÜK-Daten BÜK1000 und BÜK300: Anzahl der BÜK300 Humusklassen in den BÜK1000-Humusklassen in Brandenburg, eigene Berechnung.	57
Abb. 32:	Vergleich der BÜK-Daten BÜK1000 und BÜK300: Anzahl der BÜK300 pH-Wertklassen in den BÜK1000-pH-Wertklassen in Brandenburg, eigene Berechnung.	57
Abb. 33:	Klassifizierung der Bodenproduktivität von Ackerflächen in der Grenzregion Deutschland (nach GEMDAT) und Polen (Produktivität), eigene Darstellung.	58
Abb. 34:	Kornfraktionen in mm-Äquivalentdurchmesser der Bodendaten im Vergleich: Bodenschätzung (nach ROTHKEGEL 1950), KA4 (nach AG BODEN 1994) und USDA (nach USDA 2007) in logarithmischer Darstellung, Größere Zahlen = Kornfraktionen, Kleinere Zahlen = Unterfraktionen, eigene Darstellung.	60
Abb. 35:	Körnungsdreieck der Bodenschätzung basierend auf den Grenzwerten von ULONSKA (2006): Eigene Darstellung mit Hilfe des Programms TAL.	60
Abb. 36:	BÜK300: Lage der Legendennummern (rote Punkte mit schwarzer Zahl) anhand Sand-, Schluff- und Tongehalten im Bodenschätzungs-Körnungsdreieck (eigene Darstellung mit Hilfe des Programms TAL).	62
Abb. 37:	BÜK300: Abgeleitete Bodenschätzung(BS)-Bodenarten aus Fraktionsanteilen je Legendennummer: Mittlere Gehalte an Sand, Schluff und Ton pro BS-Bodenart sowie deren Standardabweichungen, eigene Berechnung.	63
Abb. 38:	BÜK300: Mittlere Bodenschätzungs-Bodenart bis 1m Tiefe der mineralischen Ackerflächen in Brandenburg; eigene Berechnung über TAL.	63

Abb. 39:	BÜK1000: Dominante Bodenart nach Zuordnung der Bodenschätzungs-Bodenart nach BMF (2005), eigene Darstellung.	65
Abb. 40:	Verschneidung der Körnungsdreiecke von Bodenschätzung (braune Flächen und weiß-braune Kürzel) und USDA (schwarze Grenzen und ausführliche Beschriftungen), eigene Ableitung.	66
Abb. 41:	ESDB: Ableitung der Bodenart nach Bodenart-Klassen der Bodenschätzung für Europa, eigene Ableitung.	68
Abb. 42:	BÜK300: Entstehungsart nach Legendennummer in Brandenburg, eigene Ableitung.	69
Abb. 43:	Entstehung nach BÜK300 und BÜK1000 in Brandenburg, eigene Berechnung.	69
Abb. 44:	ESDB und Lösskarte: Ableitung der Entstehungstypen für Europa, eigene Darstellung.	70
Abb. 45:	Abgeleitete Humusklassen aus BÜK300 (links) und BÜK1000 (rechts) in Brandenburg, eigene Darstellung.	71
Abb. 46:	Ableitung der nutzbaren Feldkapazität und Humusklasse aus den europäischen Bodendaten, eigene Berechnung.	72
Abb. 47:	Zustandsstufe laut DIBOS und abgeleitete Zustandsstufen in Uckermark und Barnim anhand unterschiedlicher Datenquellen (BÜK300, BÜK1000 und europäischer Bodendaten), eigene Darstellung.	73
Abb. 48:	BÜK300: Mittlere Bodenzahl nach Zuweisung des Klassenzeichens und Anwendung des Ackerschätzungsrahmens, eigene Ableitung.	74
Abb. 49:	Länge der Vegetationsperiode: Statistische Angaben und Modellierung, eigene Berechnung.	75
Abb. 50:	Länge der Vegetationsperiode und mittlere Änderung des relativen Ertrages (Winterweizen), eigene Berechnung.	76
Abb. 51:	BÜK1000: Modellierte korrigierte Bodenzahl für die Anbauflächen in Deutschland, eigene Ableitung.	77
Abb. 52:	Modellierte korrigierte Bodenzahl für die Anbauflächen in Europa, eigene Ableitung.	78
Abb. 53:	Vergleich der Bodenarten-Gruppen der BÜK300 (Abszisse) und der mittleren DIBOS-Bodenart pro Fläche (Gestapelte Säulen) in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Darstellung.	79
Abb. 54:	Anteile der Entstehungstypen nach BÜK300 an DIBOS (Uckermark und Barnim), eigene Berechnung.	80
Abb. 55:	Abweichung der abgeleiteten Zustandsstufen aus BÜK300 von DIBOS-Zustandsstufe in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Darstellung.	80
Abb. 56:	Modellierte Bodenzahl im statistischen Vergleich zu DIBOS (Median und Standardabweichung) in Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Berechnung.	81
Abb. 57:	Vergleich der mittleren Ackerzahl aus GEMDAT mit Mittelwert der modellierten BÜK300 Bodenzahlen (Punkte) und Verteilung der Ackerflächen pro GEMDAT-Ackerzahlen (Linie), eigene Berechnung. .	82
Abb. 58:	Vergleich der modellierten Bodenzahl aus BÜK300 und GEMDAT pro Gemeinde in Brandenburg, eigene Berechnung.	82
Abb. 59:	Vergleich der modellierten Bodenzahl aus BÜK300 mit den BÜK300-Ertragsklassen in Brandenburg, eigene Berechnung.	83
Abb. 60:	BÜK1000: Abweichung der generierten Bodenzahl aus der BÜK1000 von der GEMDAT-Ackerzahl, eigene Berechnung.	83
Abb. 61:	BÜK1000: Vergleich der modellierten Bodenzahl aus der BÜK1000 mit den EMZ-Ertragsklassen in Westdeutschland, eigene Berechnung.	84
Abb. 62:	BÜK1000: Abweichung der modellierten BÜK1000 Bodenzahl von EMZ (Westdeutschland) und Ackerzahl nach GEMDAT (Ostdeutschland), eigene Berechnung.	85

Abb. 63:	Bodenarten in Deutschland: Mittlere Bodenart mit Standardabweichung aus den europäischen Bodendaten (Ordinate) im Vergleich zu BÜK1000 (nach BMF 2005 – Abszisse), eigene Berechnung.	86
Abb. 64:	Vergleich der Entstehungstypen in ESDB und BÜK1000, eigene Darstellung.....	87
Abb. 65:	Vergleich der abgeleiteten Humusklassen in BÜK300 (links) und aus ESDB-C _{org} (rechts), eigene Darstellung.....	87
Abb. 66:	Differenz der Zustandsstufen im Vergleich zu DIBOS: Zustandsstufen aus BÜK300, BÜK1000, und den europäischen Daten minus DIBOS-Zustandsstufe in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Darstellung.....	88
Abb. 67:	ESDB: Mittlere Abweichung der klimakorrigierten Bodenzahl von GEMDAT-Ackerzahl, Spanne und Regressionsgerade, sowie Verteilung der Ackerflächen auf GEMDAT-Ackerzahlen (Linie) in Ostdeutschland, eigene Berechnung.....	88
Abb. 68:	ESDB: Vergleich der modellierten Bodenzahl zu EMZ-Ertragsklassen in Westdeutschland, eigene Berechnung.....	89
Abb. 69:	ESDB: Mittlere Abweichung der modellierten Bodenzahl zur GEMDAT aufgeschlüsselt auf Bodenart und Zustandsstufen und Entstehungstyp abgeleitet aus europäischen Bodendaten in Ostdeutschland, eigene Berechnung.....	89
Abb. 70:	Ergebnisse der Diskriminanzanalyse: Anbauregionen der NUTS in Europa, Nummerierungen 1-29 geordnet entsprechend dem ansteigenden Ertragsniveau von Weizen, eigene Berechnung.....	100
Abb. 71:	Anteile der Fruchtarten [%] in Barnim (BAR) und Uckermark (UM) aus Agrarstatistik 2003 (AS) und Modell-Fruchtfolge basierend auf DIBOS, eigene Berechnung.....	101
Abb. 72:	Flächenanteile einzelner Fruchtarten in Brandenburg im Vergleich zur Agrarstatistik 2007 je nach Modellebene bzw. Datengrundlage, eigene Darstellung.....	103
Abb. 73:	Flächenanteile einzelner Fruchtarten in Deutschland im Vergleich zur Agrarstatistik (EUROSTAT Mittelwert 1990-2010) je nach Modellebene bzw. Datengrundlage, eigene Darstellung.....	103
Abb. 74:	Bewertung der Fruchtfolgen in Europa: Mittlere Eignungsstufe der Vorfrüchte für die Nachfrüchte in einer Fruchtfolge, eigene Darstellung.....	104
Abb. 75:	Produktionsschwerpunkte in Deutschland: Anteile der Erntemengen der Bundesländer an der Gesamternte in Deutschland – Mittelwerte 2005-2007, eigene Berechnung.....	113
Abb. 76:	Tierbestand in Deutschland: Gehaltene Tiere in Deutschland 2006-2010, Rinder, Milchkühe, Schweine und Zuchtsauen – in Großvieheinheiten (GV) (nach DESTATIS 2013).....	115
Abb. 77:	Tierbestand in Europa: Gehaltene Tiere (Rinder, Milchkühe, Schweine und Zuchtsauen) in Großvieheinheiten (GV) (nach EUROSTAT 2013, Aktualität der Daten = 2010).....	116
Abb. 78:	Berechnung von Futterbedarfsmengen von Milchkühen nach DÄMMGEN et al. (2010) und NEUBERT (2009) pro NUTS2-Region (EUROSTAT 2013, 2013a): links: Silomais-; rechts: Stroh-Futterbedarf.....	117
Abb. 79:	Futtermittelverbräuche der Tierbestände 2010 in Europa: Silomais (links) und Getreidestroh (rechts) in Trockenmassen je NUTS2-Region, eigene Berechnung nach DÄMMGEN et al. (2010), eigene Berechnung.....	117
Abb. 80:	Berechnung der anfallenden Gülle (links) und notwendigen Einstreumengen (rechts) basierend auf Viehbestand 2010 (EUROSTAT 2013) und Haltungssystemen (LEIP et al. 2010) in NUTS2-Regionen, eigene Berechnung.....	118
Abb. 81:	Übersicht zu Szenario 1 (Referenz aus Statistikdaten): Biokraftstoffpotenziale in Europa (nach BROZIO et al. 2010).....	120
Abb. 82:	Bestimmung der Anbauanteile ausgewählter Fruchtarten am Ackerland der EU27 (nach BROZIO et al. 2010).....	121

Abb. 83:	Erntemengen ausgewählter Fruchtarten in den Anbauregionen der EU27-Staaten (nach BROZIO et al. 2010): oben: Getreidekorn, Zuckerrüben, unten: Ölsaaten (Raps und Sonnenblume).	122
Abb. 84:	Fruchtartspezifische Erträge im Jahr 2020 in den Anbauregionen der EU27-Länder (nach BROZIO et al. 2010).....	124
Abb. 85:	Referenz-Szenario: Biokraftstoff-Potenziale von Bioethanol (aus Getreidekorn und Zuckerrübe) und Biodiesel (aus Raps und Sonnenblume) in den Anbauregionen der EU27-Länder – Referenz Mittelwert (Flächen), Referenz Minimum, Mittelwert, Maximum (Balken) (nach BROZIO et al. 2010).	125
Abb. 86:	Referenz-Szenario: Biogaspotenziale aus der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung nach EUROSTAT (2013) in den europäischen Ländern (NUTS2-Ebene): Potenziell installierbare Leistung [$\text{kW}_{\text{el}} \text{a}^{-1}$] basierend auf Gülle (links) und basierend auf Festmist (rechts) bei einer Laufzeit der Biogasanlagen von durchschnittlich 8000 Volllaststunden im Jahr, eigene Berechnung.	128
Abb. 87:	Übersicht möglicher Standort-Szenarien, eigene Darstellung.....	129
Abb. 88:	Mittlerer konventioneller Trockenmasse-Ertrag pro Jahr in Ostdeutschland (Modellinput GEMDAT) im Vergleich zu Modellinputparameter Ackerzahl, eigene Berechnung.....	130
Abb. 89:	Mittlerer konventioneller Trockenmasse-Ertrag pro Jahr in Ostdeutschland (Modellinput GEMDAT) im Vergleich zu Modellinputparameter Niederschlag (nach Fruchtartgruppen NSW (Winterfrüchte) und NSS (Sommerfrüchte) differenziert nach Ackerzahl-Gruppen, eigene Berechnung.	130
Abb. 90:	Anteil der modellierten Ackerfläche an der CORINE-Ackerfläche in den untersuchten Ländern, eigene Berechnung.	132
Abb. 91:	Nutzbare Trockenmasse der europäischen Länder bei unterschiedlichen Anbauintensitäten: Karte links - 100 % konventionelle Bewirtschaftung, Karte rechts - 100 % ökologische Bewirtschaftung, eigene Berechnung.....	132
Abb. 92:	Potenziell mittlerer Ertrag von Getreidekorn in Deutschland (100 % konventioneller Anbau) in unterschiedlichen Niederschlagsszenarien: links - „normal“ (mittlerer Niederschlag), rechts - „trocken“ (minimaler Niederschlag), eigene Berechnung.	135
Abb. 93:	Potenzieller Ertrag von Winterraps in Deutschland (100 % konventioneller Anbau) in unterschiedlichen Niederschlagsszenarien: links - „normal“ (mittlerer Niederschlag), rechts - „trocken“ (minimaler Niederschlag), eigene Berechnung.....	136
Abb. 94:	Standort-Potenzial (100 % konventioneller Anbau, Niederschlagsszenario „normal“, Verbrauchsszenario 3): Potenziell erzeugbare Mengen an Bioethanol (links – aus Getreidekorn und Zuckerrübe) und Biodiesel (rechts – aus Raps und Sonnenblume) in NUTS3-Regionen in Europa sowie potenzielle Substitution des fossilen Kraftstoffs (NUTS0), eigene Berechnung.....	138
Abb. 95:	Gegenüberstellung der Potenziale (trocken / normal / Maximum (maximaler Anbau von Winterraps → Flächenkonkurrenz zu anderen Fruchtarten) und Biodieselanlagen (Absatz / Produktion (Prod.) / Kapazität 2011) in Deutschland (nach FNR 2013), eigene Berechnung.....	140
Abb. 96:	Theoretische Einzugsbereiche der Biodieselanlagen in Deutschland bei 100%-iger Verfügbarkeit ausschließlich für die Biodieselerzeugung: links - „normal“ (mittlerer Niederschlag), rechts - „Maximum“ (maximaler Anbau von Winterraps), eigene Berechnung.....	141
Abb. 97:	Standort-Szenario: Biogas-Potenzial des Landes Brandenburg in den unterschiedlichen Szenarien (Niederschläge „normal“ und „trocken“/ Humussaldo ± 0 / $+100 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$): Potenziell installierbare Anzahl von Biogasanlagen bei 8000 Volllaststunden und $500 \text{ kW}_{\text{el}}$, eigene Berechnung.	142
Abb. 98:	Standort-Szenario: Biogas-Potenzial in den Gemeinden des Landes Brandenburg in den unterschiedlichen Szenarien (Niederschläge „normal“ und „trocken“/ Humusbilanz ausgeglichen ($\pm 0 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) / Humusbilanz positiv ($+100 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$): Potenziell installierbare Leistung [kW_{el}] bei 8000 Volllaststunden bestehend aus Gülle, Roggen und Silomais, eigene Berechnung.	143

Abb. 99:	Standort-Szenario: Ausbau-Potenzial Biogas in den Gemeinden Brandenburg bei ausgeglichener Humusbilanz (± 0 kg Humus-C ha ⁻¹ a ⁻¹) in Niederschlagsszenarien „normal“ und „trocken“: Potenziell installierbare Leistung [kW _e] unter Berücksichtigung bereits installierter Anlagen, eigene Berechnung.	144
Abb. 100:	Standort-Szenario: Biogas-Potenzial aus Silomais in den Gemeinden Deutschlands: Potenziell installierbare Leistung [kW _e] (8000 Volllaststunden) in Niederschlagsszenarien „normal“ (links) und „trocken“ (rechts), eigene Berechnung.....	145
Abb. 101:	Verfügbares Getreidestroh in Brandenburg in unterschiedlichen Standort-Szenarien (Humussalden: ± 0 , +100 kg Humus-C ha ⁻¹ a ⁻¹ / Niederschlagsszenarien: „normal“, „trocken“), eigene Berechnung.	147
Abb. 102:	Standort-Szenario: Verfügbare Anteile an Getreidestroh in den Landkreisen Deutschlands bei konventionellem Anbau, mittleren Niederschlägen und unterschiedlichen Humussalden: links – ausgeglichene Humusbilanz (± 0 kg Humus-C ha ⁻¹ a ⁻¹), rechts – positive Humusbilanz (+100 kg Humus-C ha ⁻¹ a ⁻¹), eigene Berechnung.	148
Abb. 103:	Standort-Szenario: Mittlerer Ertrag von Getreidestroh auf den Ackerflächen Europas bei mittleren Niederschlägen und konventioneller (links) sowie ökologischer (rechts) Bewirtschaftungsweise, eigene Berechnung.....	150
Abb. 104:	Standort-Szenario: Verfügbare Mengen an Getreidestroh in den untersuchten Ländern Europas (NUTS3-Level dargestellt) auf den modellierten Anbauflächen bei konventionellem Anbau, mittleren Niederschlägen, einer Verfügbarkeit von 30 % Stroh und Futter-, Einstreubedarf nach EUROSTAT 2013, eigene Berechnung.....	152
Abb. 105:	Biokraftstoffpotenziale in Deutschland, eigene Berechnung.....	155
Abb. 106:	Biokraftstoffpotenziale in Europa, eigene Berechnung.....	155
Abb. 107:	Biogaspotenziale des Bundeslandes Brandenburg, eigene Berechnung.....	157
Abb. 108:	Biogaspotenziale der Bundesrepublik Deutschland, eigene Berechnung.....	157
Abb. 109:	Biogaspotenziale in Europa, eigene Berechnung.....	157
Abb. 110:	Einschätzung der Ertragsfähigkeit auf der Basis der BÜK1000 in Deutschland: Müncheberger SQR (Soil Quality Rating nach RICHTER et al. (2009)) und eigene Entwicklung einer modellierten Bodenzahl, eigene Darstellung.....	160
Abb. 111:	Tierbestand in Deutschland: Vergleich der Anzahl (links) und abgeleiteten Großvieheinheiten (rechts) auf der Grundlage von DESTATIS (2013) und EUROSTAT (2013) im Jahr 2010, eigene Darstellung.	165

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Potenzialbestimmung Bioenergie global, in Europa und Deutschland (eigene Zusammenstellung)....	7
Tabelle 2:	Flächenpotenzial des Anbaus von Energiepflanzen in Europa (nach PIORR 2010).....	10
Tabelle 3:	Modelle zur Ertragsmodellierung in landwirtschaftlichen Betrieben (eigene Zusammenstellung nach: ROEDENBECK 2004).....	12
Tabelle 4:	Verhältnis von Haupternteprodukt zu Nebenernteprodukt bzw. zu Ernte- und Wurzel-Rückständen (Korn: Stroh-Verhältnis bzw. Wurzel: Laub-Verhältnis): Korn bzw. Wurzel = 1 (nach PIORR 1998b in SCHOLZEN 1999).....	18
Tabelle 5:	Anbaupausen bei ausgewählten landwirtschaftlichen Kulturen (MÜLLER 1986, FREYER 2003).	19
Tabelle 6:	Bewertungstabelle für die Einschätzung von Fruchtfolgen (Eignung der Vorfrüchte für die Nachfrüchte) (ZEIDLER & PIORR 2007).	20
Tabelle 7:	Modell-Fruchtfolgen differenziert nach Ackerzahl-Gruppen und Bewirtschaftungssystem 1998 (PIORR 1998b nach KOCH 1998).....	20

Tabelle 8: Modell-Fruchtfolgen differenziert nach Ackerzahl-Gruppen und Bewirtschaftungssystem 2007 (ZEIDLER & PIORR 2007).....	21
Tabelle 9: Futterbedarf (netto) für einzelne Tierartgruppen (Grundrationen für ausgewählte Futtermittel) Angaben in Tonnen Trockenmasse je Großvieheinheit (GV) in Brandenburg (nach NEUBERT 2009).	22
Tabelle 10: Anteil der Haltungsformen in Brandenburg: Anteil von güllebasierte Systemen [% der aufgestellten Tiere] (HAENEL 2008).....	22
Tabelle 11: Anzahl der Stalltage und jährlicher Einstreubedarf nach HUTCHINGS et al. (2010).	23
Tabelle 12: Raufuttermittleration der Milchkühe differenziert nach Milchleistung nach DÄMMGEN et al. (2010).....	23
Tabelle 13: Humusbedarfswerte unterschiedlicher Feldfrüchte: Untere und obere Bedarfswerte nach VDLUFA (2004).	26
Tabelle 14: Trockenmasse, Korn:Stroh-Verhältnis (KTBL 2005, PIORR 2007) und Stärkegehalte für die Ethanol-Berechnung nach SENN (2005) für ausgewählte Energiefrüchte.....	29
Tabelle 15: Bodenarten in der landwirtschaftlichen Schätzungslehre (nach ROTHKEGEL 1952).....	36
Tabelle 16: Korrelation der Bodenparameter aus DIBOS in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Berechnung.	38
Tabelle 17: Darstellung der Organisation der Daten der BÜK 300 (eigene Darstellung).	41
Tabelle 18: Recherche einer Datengrundlage zur Modellierung der Biomasse in Polen, Tschechien und Baltikum: Verfügbare Bodendaten mit Ertragsparametern (BROZIO et al. 2007).....	42
Tabelle 19: Recherche einer flächendeckenden Datengrundlage zur Modellierung der Biomasse: Verfügbarkeit der Modell-Inputparameter.....	44
Tabelle 20: Ackerfläche in Brandenburg in Abhängigkeit von Datenquelle und Aktualität, eigene Darstellung. ...	47
Tabelle 21: Bodennutzung in 1.000 ha in den EU-Staaten nach EUROSTAT (2007a: Jahr 2000), CORINE 2000.	47
Tabelle 22: Niederschlag in Deutschland und Europa nach Daten des DWD oder WORLDCLIM: Jahressummen sowie Niederschlagssummen nach Fruchtartgruppen Sommer- (NSS)/Winterfruchtarten (NSW) Minimum, Mittelwert und Maximum in den Niederschlags-Szenarien „trocken“, „normal“ und „feucht“, eigene Berechnungen.....	49
Tabelle 23: Statistischer Vergleich der Ackerzahlen aus GEMDAT und aus DIBOS (digitalisierte Bodenschätzung) in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Berechnung.	52
Tabelle 24: Flächenanteile der mittleren Bodenarten der BÜK300 in Brandenburg, eigene Berechnung.	55
Tabelle 25: Vergleich der BÜK-Daten BÜK1000 und BÜK300: Anzahl der BÜK300 Bodenarten nach KA5 in den BÜK1000-Bodenarten in Brandenburg, eigene Berechnung.	57
Tabelle 26: Flächengewichtete Bodenertragsfähigkeit: Minimum, Mittelwert und Maximum der Ackerflächen, eigene Berechnung.....	58
Tabelle 27: Vergleich ESB (ESDBv2) und SOTER (SOVEUR 1997) Textureinteilung, eigene Darstellung.	59
Tabelle 28: Anzahl der Zuordnungen der KA5 Bodenarten (jeweils 3 Inputdatensätze: Mittelwert, Minimum, Maximum der Masse %-Angaben von Sand (S), Schluff (U) und Ton (T)) zu den Bodenschätzungs-Bodenarten nach TAL Δ (Körnungsdreieck) und Zuordnung der KA5 nach BMF (2005).....	61
Tabelle 29: BÜK300: Anteil der BÜK300-Legendennummern mit KA5-Bodenart zu Bodenschätzungsbodenart, eigene Berechnung.....	64
Tabelle 30: Vergleich der abgeleiteten Bodenschätzungs-Bodenarten aus den Bodenübersichtskarten in Brandenburg: Flächenanteile der mineralischen Bodenarten in BÜK1000 gegenüber BÜK300, eigene Berechnung.	66
Tabelle 31: Zuordnungen der Bodenarten nach USDA in dominante Bodenschätzungs-Bodenart.....	67

Tabelle 32: Eigene Zuordnung der Klassen der Bodeneigenschaften zu den Zustandsstufen nach AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN (2005) und Wendland et al. (1993).....	71
Tabelle 33: Korrelationsmatrix der naturräumlichen Parameter zum Weizenertrag, eigene Berechnung.....	75
Tabelle 34: Bodenschätzungs-Bodenart: Anzahl der Zuordnungen der DIBOS-Mediane zu BÜK300-Flächen in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Berechnung.....	79
Tabelle 35: Prozentualer Anteil der Zuweisungen der Bodenarten aus ESDB im Vergleich zu den zugewiesenen Bodenarten aus BÜK1000 (Spalten = 100 %), eigene Berechnung.....	85
Tabelle 36: Anzahl der Bodeneinheiten SMU mit den Bodenarten Bodenschätzung und Bodenartenklassen ESDB im Vergleich zu den Bodenarten nach BMF 2005 in BÜK1000, eigene Berechnung.....	86
Tabelle 37: Abweichung der Zustandsstufen von DIBOS zu modellierten Zustandsstufen unterschiedlicher in den Landkreisen Uckermark und Barnim, eigene Berechnung.....	88
Tabelle 38: Korrelation der modellierten Bodenzahlen, eigene Berechnung.....	90
Tabelle 39: Modellierungsgrundlagen in unterschiedlichen räumlichen Ebenen im Vergleich: Flächengewichtete Mittelwerte von Landnutzungsdaten, Niederschlag, Vegetationsperiode und Bodendaten. (BAR + UM = Landkreise Barnim und Uckermark; BB = Bundesland Brandenburg; DE = Deutschland; EU = Europäische Union), eigene Darstellung.....	93
Tabelle 40: Bestehende Datensätze zur Gliederung von Landschaften und Agrarregionen in Europa, eigene Darstellung.....	95
Tabelle 41: Auswahl von Landnutzungstypen aus CORINE Landcover 2000 zur Maskierung der naturräumlichen Parameter auf potenziell nutzbare Ackerflächen in Europa, eigene Darstellung.....	96
Tabelle 42: Deskriptive Statistik der Eingangsparameter, eigene Berechnung.....	97
Tabelle 43: Korrelationsmatrizen der Eingangsparameter nach der Z-Transformation, eigene Berechnung.....	98
Tabelle 44: Eigenwerte, Kumulierte Varianz und Korrelation der Diskriminanzfunktionen und Zuweisung der Eingangsparameter zu Funktionen, eigene Berechnung.....	99
Tabelle 45: Korrelationskoeffizienten der Anbauregionen zu anderen Klassifikation in Europe, eigene Berechnung.....	100
Tabelle 46: Brandenburg: Anteil gleicher Anbauflächen von Agrarstatistik und Biomasse-Ertragsmodell differenziert nach Datengrundlage, eigene Berechnung.....	101
Tabelle 47: Ost-Deutschland: Anteil gleicher Anbauflächen von Agrarstatistik und Biomasse-Ertragsmodell, eigene Berechnung.....	102
Tabelle 48: Differenziert Anwendung der Fruchtfolge-Module nach Modellebene, eigene Darstellung.....	102
Tabelle 49: Korrelationen der Modell-Erträge (Version 1998) zu Agrarstatistik (BB – Mittelwert 2005-2009), eigene Berechnung.....	105
Tabelle 50: Abweichung der konventionellen Erträge (Version 1998) im Vergleich zu Agrarstatistiken (Brandenburg – Mittelwert 2005-2009), eigene Berechnung.....	105
Tabelle 51: Neu berechnete Parameter P (a-j) und Bestimmtheitsmasse zu den Ertragsfunktionen im ökologischen Anbau der Modellversion I von PIORR et al. (1998b), eigene Berechnung.....	107
Tabelle 52: Korrelationen zwischen Jahresniederschlag (Mittelwerte EU-NUTS2) und Agrarstatistik (EU-NUTS2), eigene Berechnung.....	108
Tabelle 53: Parameter der konventionellen Ertragsfunktionen Modellversion II 2012 - Deutschland.....	108
Tabelle 54: Parameter der konventionellen Ertragsfunktionen Modellversion II 2012 - Europa.....	109
Tabelle 55: Korrelationen der Modell-Erträge (Modellversion II 2012) zu Agrarstatistik (DE NUTS2: Mittelwert 2005-2010; EU NUTS2: Mittelwerte 2000-2010).....	109
Tabelle 56: Abweichung der modellierten konventionellen Erträge (Version II 2012) im Vergleich zu Agrarstatistiken in Deutschland (DE: Mittelwert 2005-2010) in Prozent, eigene Berechnung.....	110

Tabelle 57: Bevölkerungsentwicklung in Brandenburg und Berlin (2007: DESTATIS 2009).	111
Tabelle 58: Bruttonahrungsverbrauch pro Kopf in Deutschland: Mittelwert 2005-2007 (Berechnung nach EUROSTAT 2009) und Analyse des Bedarfs in Brandenburg und Berlin.	112
Tabelle 59: Hochrechnung des Nahrungsmittelverbrauchs für Brandenburg bzw. Brandenburg + Berlin (EM = Erntemenge, Nahrung = Verbrauch für Nahrungsmittel), eigene Berechnung.	113
Tabelle 60: Szenario 4: Verbrauch von Getreide, Zuckerrübe und Raps in Szenario d (Brandenburg + Berlin) für Nahrung, Futter und Saatgut, eigene Berechnung.	114
Tabelle 61: Bedarfsszenarien im Vergleich: Verbrauch von Getreide, Zuckerrübe und Raps in Berlin und Brandenburg, eigene Berechnung.	114
Tabelle 62: Futterbedarf (Grundration) für Silomais und Getreidestroh für die Tierbestände in Brandenburg Angaben in Tonnen Frischmasse, nach InVeKoS (2008/2009) und NEUBERT (2009).	115
Tabelle 63: Futterbedarf für Milchkühe in Brandenburg nach EUROSTAT (2013 / 2013a).	116
Tabelle 64: Mittlere Handelsbilanz im Zeitraum 2000-2008 für ausgewählte Feldfrüchte in der EU27 (negative Bilanz: Export > Import; positive Bilanz: Import > Export), eigene Berechnung.	119
Tabelle 65: Anbauanteile und -flächen sowie Ertrag der Fruchtarten in der EU27 im Referenz-Szenario 1 nach Agrarstatistikdaten 2000 - 2007 (nach BROZIO et al. 2010).	121
Tabelle 66: Verbrauch und potenziell verfügbare Mengen der Fruchtarten der EU27 (nach BROZIO et al. 2010).	123
Tabelle 67: Mittlere Ertragssteigerung der Feldfrüchte bis 2020 (nach BROZIO et al. 2010).	124
Tabelle 68: Referenz-Szenario: Bioethanol-Potenziale in der EU27 (nach BROZIO et al. 2010).	126
Tabelle 69: Referenz-Szenario: Biodiesel-Potenziale in der EU27 (nach BROZIO et al. 2010).	126
Tabelle 70: Referenz-Szenario: Biogas-Potenziale der Länder in EU27 basierend auf den Tierbestandsdaten 2010 (nach EUROSTAT 2013) differenziert nach Gülle (Rind + Schwein) und Festmist (Rind + Geflügel): Potenziell installierbare Leistung bzw. Anzahl an Biogasanlagen sowie deren energetischer Anteil am Stromverbrauch 2011, eigene Berechnung.	127
Tabelle 71: Bestimmtheitsmasse R^2 zur quadratischen Funktion von Niederschlag zum konventionellen Trockenmasse-Ertrag ($TM \text{ dt ha}^{-1}$) je nach Ackerzahl-Gruppe, eigene Berechnung.	131
Tabelle 72: Standort-Szenarien: Theoretisch nutzbare Trockenmasse in den Modellregionen im konventionellen Anbau basierend auf unterschiedlichen Bodendaten (mittlerer Niederschlag / 100% der Ackerfläche) eigene Berechnung nach HARTMANN & KALTSCHMITT (2002).	131
Tabelle 73: Theoretisch nutzbare Trockenmasse in den untersuchten Ländern Europas im Standort-Szenario „Mittlere Niederschlagsmenge“ auf der Anbaufläche der modellierten Feldfrüchte, eigene Berechnung.	133
Tabelle 74: Bioethanol-Potenzial der Bundesländer Deutschlands im konventionellen Anbau Niederschlagsszenarien / Verfügbarkeit nach Verbrauchsszenario c, eigene Berechnung.	135
Tabelle 75: Biodiesel-Potenzial der Bundesländer Deutschlands im konventionellen Anbau Niederschlagsszenarien / Verfügbarkeit nach Verbrauchsszenario c, eigene Berechnung.	136
Tabelle 76: Biokraftstoffpotenziale in den untersuchten Ländern Europas (100% konventioneller Anbau) auf den modellierten Anbauflächen bei durchschnittlichen Niederschlägen (Szenario „normal“), Verbrauchsszenario c, eigene Berechnung.	137
Tabelle 77: Veränderung der Biokraftstoff-Potenziale unter Berücksichtigung der Handelsbilanzen (Tabelle 64) in Europa: Potenzieller Biokraftstoffanteil am Kraftstoffverbrauch [%] ohne und mit Einbeziehung der Handelsbilanz.	139
Tabelle 78: Biogas-Potenzial der Bundesländer Deutschlands im konventionellen Anbau basierend auf Silomais in den Niederschlagsszenarien „normal“ und „trocken“, eigene Berechnung.	146

Tabelle 79: Bioenergiepotenzial von Getreidestroh (mit / ohne Stroh von Körnermais) im konventionellen und ökologischen Anbau auf den modellierten Anbauflächen in Europa im Szenario „mittlere Niederschläge“ bei 30 % technischer Verfügbarkeit von Getreidestroh sowie Futter-, Einstreubedarf, eigene Berechnung.....	151
Tabelle 80: Übersicht der Potenzialstudien, deren Datengrundlagen, Potenzialebenen und Forschungsbedarfe, eigene Zusammenstellung.....	154
Tabelle 81: Übersicht der Biokraftstoffpotenziale aus Getreidekorn in Brandenburg, Deutschland und Europa basierend auf unterschiedlichen Biomassepotenzialanalysen (n.b. = nicht berechnet), eigene Berechnung.	155
Tabelle 82: Übersicht der Biogaspotenziale aus Gülle in Brandenburg, Deutschland und Europa basierend auf unterschiedlichen Viehbestandsdaten, eigene Berechnung.	156
Tabelle 83: Übersicht der Biogaspotenziale aus pflanzlichen Rohstoffen in Brandenburg und Deutschland basierend auf unterschiedlichen Modellierungsdaten, eigene Berechnung.	156
Tabelle 84: Übersicht der Bioenergiepotenziale aus Getreidestroh (ohne Körnermais) in Brandenburg, Deutschland und Europa basierend auf unterschiedlichen Biomassepotenzialanalysen, eigene Berechnung.	156
Tabelle 85: Übersicht der BYM Versionen 1998 und 2012, eigene Zusammenstellung.	161

Anhang

Inhaltsverzeichnis Anhang

Biomasse-Ertragsmodell Version 1998

- Ökologische Ertragsfunktionen – Visual Basic for Application
- Ertrags-Index Ökolandbau in Konventionell

Tabellen

T- 1:	Vorfruchtwirkung: Ökologischer Anbau (nach SCHOLZEN 1999).....	207
T- 2:	Vorfruchtwirkung: Konventioneller Anbau (nach SCHOLZEN 1999).....	208
T- 3:	Ackerschätzungsrahmen (nach ROTHKEGEL 1952, S. 101).....	209
T- 4:	Zuordnung der Bodenschätzung-Bodenarten zu KA4-Bodenarten.	210
T- 5:	Körnungsarten der Bodenschätzung und Korngrößenfraktionen Ton-Schluff und Sand nach ULONSKA (2006, S. 218).....	212
T- 6:	Vergleich ESB und SOTER Bodeneigenschaften.....	213
T- 7:	ESDB-Bodenarten: Zuordnung der SMU zu Bodenschätzungs-Bodenarten nach TAL Bodenschätzungs-dreieck Δ	214
T- 8:	BÜK300: Flächenanteile der zugeordneten Bodenarten nach KA5 (Summe = 100 %) zu Bodenarten nach BS-TAL differenziert nach Entstehungstyp.	229
T- 9:	Mittelwerte der Parameter Natur in Anbauregionen (AR)	230
T- 10:	Mittlere Erträge und Anbaufläche der Hauptanbaufrüchte in den Anbauregionen (AR)	231
T- 11:	Fruchtfolgen in Europa und deren Bewertung (Summe und Mittelwert): Differenzierung nach Land, Anbauregion und Bodenzahlgruppe	232
T- 12:	Standort-Szenario: Biogas-Potenzial in den Landkreise und kreisfreien Städten des Landes Brandenburg bei mittleren Niederschlägen und unterschiedlichen („ausgeglichen“ = $HB \pm 0 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und „positiv“ = $HB +100 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$): Potenziell installierbare Leistung [kW_{el}] bei 8000 Volllaststunden und potenzielle Anzahl von Biogasanlagen (BGA) bei 8000 Volllaststunden und 500 kW_{el}	239
T- 13:	Standort-Szenario: Biogas-Potenzial in den Landkreise und kreisfreien Städten des Landes Brandenburg bei minimalen Niederschlägen und unterschiedlichen Humussalden („ausgeglichen“ = $HB \pm 0 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und „positiv“ = $HB +100 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$): Potenziell installierbare Leistung [kW_{el}] bei 8000 Volllaststunden und potenzielle Anzahl von Biogasanlagen (BGA) bei 8000 Volllaststunden und 500 kW_{el}	240
T- 14:	Richtwerte für das Verhältnis von Haupternteprodukt zu Nebenernteprodukt (Korn: Stroh-Verhältnis bzw. Wurzel: Laub-Verhältnis) nach unterschiedlichen Quellen und Bewirtschaftungsintensitäten.....	241

Abbildungen

A-1:	Berechnung der mittleren Milchleistung von Milchkühen nach EUROSTAT (2013, 2013a) in den NUTS2-Regionen Europas.....	242
A-2:	Anteil von Dauergrünland an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (nach EUROSTAT 2013b-Bodennutzung 2010) in den NUTS2-Regionen Europas.....	243
A-3:	Ertragsmesszahlkarte der westdeutschen Bundesländer: links: Originalkarte von 1958 (Hrsg.: Institut für Landeskunde in der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung, Bad Godesberg 1958), rechts: digitalisierte EMZ-Gütestufen der Ackerflächen.	244
A-4:	Texturdreieck nach USDA (United States Department of Agriculture) Standards.....	244
A-5:	Kennzeichnung der Korngrößen nach Bodenkundlicher Katieranleitung und Bodenschätzung (nach: PFEIFFER et al. 2003, Anhang 1).	245
A-6:	Zustandsstufen nFK und Humus abgeleitet aus BÜK1000 und ESDB-Daten.....	246
A-7:	Vergleich der konventionellen Modellerträge (BYM – Version 1998) von Winterroggen (WRo), Winterraps (WRa), Zuckerrübe (ZR), Winterweizen (WW), Hafer (HA) und Silomais (SM) mit Agrarstatistiken 1999 und 2003 differenziert nach Ackerzahl(AZ)-Gruppen.	247
A-8:	Jährliche Handelsbilanzen (2000-2008) von Weizen und Raps in den EU27-Ländern (nach BROZIO et al. 2010).	248
A-9:	Referenz-Szenario: Anbauanteile ausgewählter Fruchtarten in den Anbauregionen der EU27-Staaten (nach BROZIO et al. 2010).	249
A-10:	Fruchtartspezifische Ertragsentwicklung von 1995 bis 2007 (teilweise 2008) in den Anbauregionen 1 bis 29 der EU27-Länder.....	250
A-11:	Prognostiziertes Aufkommen von Gülle anhand der Tierbestandsdaten 2008/2009 (LVLf Brandenburg 2010)) in den Gemeinden Brandenburgs.....	251
A-12:	Modellierter Einstreubedarf anhand der Tierbestandsdaten 2008/2009 (LVLf Brandenburg 2010) in den Gemeinden Brandenburgs.....	251
A-13:	Standort-Szenario: Biogas-Potenzial in den Gemeinden des Landes Brandenburg bei mittleren Niederschlägen („normal“) einer ausgeglichenen Humusbilanz $\pm 0 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$: Potenziell installierbare Biogasleistung $[\text{kW}_{el}]$ bei 8000 Volllaststunden und deren Zusammensetzung bestehend aus Gülle, Roggen und Silomais.....	252

Biomasse-Ertragsmodell Version 1998: Ökologische Ertragsfunktionen – Visual Basic for Application

'Berechnung des Öko-Ertrages

$$WW: \text{Yield_eco} = (1 / (0.034672985 + 6.7140602 * \text{Log}(AZ) / AZ ^ 2 - 6.5387685 / AZ ^ 2 - 4.2914334 * \text{Log}(NS) / NS + 8897.2375 / NS ^ 2)) * 0.9$$

$$WRo: \text{Yield_eco} = (49.286234 - 21.90061 * (\text{Log}(AZ)) - 0.11052857 * NS + 1.8170875 * ((\text{Log}(AZ)) ^ 2) + 0.00011610538 * (NS ^ 2) + 0.053821823 * NS * \text{Log}(AZ) - 0.26464296 * (\text{Log}(AZ)) ^ 3 - 0.000000011113062 * NS ^ 3 - 0.000055122387 * NS ^ 2 * \text{Log}(AZ) + 0.0049378489 * NS * (\text{Log}(AZ)) ^ 2) * 0.9$$

$$SW: \text{Yield_eco} = (1 / (0.033265893 + 0.29872114 / AZ ^ 0.5 - 1.3060384 * \text{Log}(AZ) / AZ + 4.579268 / AZ - 9.3881027 / AZ ^ 1.5 + 6.8067636 * \text{Log}(AZ) / AZ ^ 2 - 4.9121063 * \text{Log}(NS) / NS - 53.293166 * \text{Log}(NS) / NS ^ 2 + 10508.831 / NS ^ 2)) * 0.85$$

$$WG: \text{Yield_eco} = (1 / (0.091314494 - 0.33004186 / \text{Log}(AZ) + 1.6233966 / AZ - 28.269116 / NS + 10462.382 / NS ^ 2)) * 0.9$$

$$SG: \text{Yield_eco} = ((6.512496 - 1.3162449 * \text{Log}(AZ) - 1.54003 * \text{Log}(NS) - 0.023961446 * (\text{Log}(AZ)) ^ 2 + 0.074315834 * (\text{Log}(NS)) ^ 2 + 0.25520424 * \text{Log}(AZ) * \text{Log}(NS)) / (1 - 0.058008288 * \text{Log}(AZ) - 0.27276537 * \text{Log}(NS) + 0.0058114099 * (\text{Log}(AZ)) ^ 2 + 0.021093223 * (\text{Log}(NS)) ^ 2 + 0.001390529 * \text{Log}(AZ) * \text{Log}(NS))) * 0.85$$

$$HA: \text{Yield_eco} = ((7.3045489 - 1.4348329 * \text{Log}(AZ) - 1.7563599 * \text{Log}(NS) - 0.023390825 * (\text{Log}(AZ)) ^ 2 + 0.087773518 * (\text{Log}(NS)) ^ 2 + 0.27674467 * \text{Log}(AZ) * \text{Log}(NS)) / (1 - 0.053544152 * \text{Log}(AZ) - 0.27570314 * \text{Log}(NS) + 0.0055461847 * (\text{Log}(AZ)) ^ 2 + 0.021464756 * (\text{Log}(NS)) ^ 2 + 0.0010077122 * \text{Log}(AZ) * \text{Log}(NS))) * 0.9$$

$$TR: \text{Yield_eco} = (49.286234 - 21.90061 * \text{Log}(AZ) - 0.11052857 * NS + 1.8170875 * (\text{Log}(AZ)) ^ 2 + 0.00011610538 * NS ^ 2 + 0.053821823 * NS * \text{Log}(AZ) - 0.26464296 * (\text{Log}(AZ)) ^ 3 - 0.000000011113062 * NS ^ 3 - 0.000055122387 * NS ^ 2 * \text{Log}(AZ) + 0.0049378489 * NS * (\text{Log}(AZ)) ^ 2)$$

$$WRa: \text{Yield_eco} = 1 / (0.17821268 - 4.7798116 / (AZ) ^ 0.5 + 19.243347 * \text{Log}(AZ) / AZ - 65.818285 / AZ + 150.33609 / AZ ^ 1.5 - 107.61111 / AZ ^ 2 - 6.7450025 * \text{Log}(NS) / NS - 682.80837 / NS ^ 1.5 + 4572.2324 * \text{Log}(NS) / NS ^ 2)$$

$$LUZ: \text{Yield_eco} = 1 / (1.5044876 + 1.5009737 * \text{Log}(AZ) / AZ ^ 2 - 10275.611 * \text{Log}(NS) / NS + 95871.271 / NS - 1291911.6 / NS ^ 1.5 + 2824547.3 * \text{Log}(NS) / NS ^ 2 - 5045010.9 / NS ^ 2)$$

$$KGR: \text{Yield_eco} = 1 / (2.1676208 - 11.784302 / AZ ^ 0.5 + 39.470817 * \text{Log}(AZ) / AZ - 99.227438 / AZ + 191.74683 * \text{Log}(AZ) / AZ ^ 2 - 303.36355 / NS ^ 0.5 + 4052.8312 * \text{Log}(NS) / NS - 22592.266 / NS + 72534.79 / NS ^ 1.5)$$

$$FE: \text{Yield_eco} = 54.20064 - 24.155692 * \text{Log}(AZ) - 0.17140641 * NS + 1.3510223 * (\text{Log}(AZ)) ^ 2 + 0.00013519132 * NS ^ 2 + 0.071598537 * \text{Log}(AZ) * NS - 0.2099336 * (\text{Log}(AZ)) ^ 3 - 0.000000033853648 * NS ^ 3 - 0.000041004072 * NS ^ 2 * \text{Log}(AZ) + 0.00075396096 * NS * (\text{Log}(AZ)) ^ 2$$

$$AB: \text{Yield_eco} = (54.20064 - 24.155692 * \text{Log}(AZ) - 0.17140641 * NS + 1.3510223 * (\text{Log}(AZ)) ^ 2 + 0.00013519132 * NS ^ 2 + 0.071598537 * \text{Log}(AZ) * NS - 0.2099336 * (\text{Log}(AZ)) ^ 3 - 0.000000033853648 * NS ^ 3 - 0.000041004072 * NS ^ 2 * \text{Log}(AZ) + 0.00075396096 * NS * (\text{Log}(AZ)) ^ 2) * 1.2$$

$$LUP: \text{Yield_eco} = (54.20064 - 24.155692 * \text{Log}(AZ) - 0.17140641 * NS + 1.3510223 * (\text{Log}(AZ)) ^ 2 + 0.00013519132 * NS ^ 2 + 0.071598537 * \text{Log}(AZ) * NS - 0.2099336 * (\text{Log}(AZ)) ^ 3 - 0.000000033853648 * NS ^ 3 - 0.000041004072 * NS ^ 2 * \text{Log}(AZ) + 0.00075396096 * NS * (\text{Log}(AZ)) ^ 2) * 0.9$$

$$Kar: \text{Yield_eco} = (-596.47127 + 4215.2273 / AZ + 2.8895032 * NS + 159396.99 / AZ ^ 2 - 0.002286864 * NS ^ 2 - 36.843384 * NS / AZ - 1668795.3 / AZ ^ 3 + 0.0000003910133 * NS ^ 3 + 0.02201387 * NS ^ 2 / AZ + 22.602779 * NS / AZ ^ 2)$$

$$ZR: \text{Yield_eco} = (-596.47127 + 4215.2273 / AZ + 2.8895032 * NS + 159396.99 / AZ ^ 2 - 0.002286864 * NS ^ 2 - 36.843384 * NS / AZ - 1668795.3 / AZ ^ 3 + 0.0000003910133 * NS ^ 3 + 0.02201387 * NS ^ 2 / AZ + 22.602779 * NS / AZ ^ 2) * 1.4$$

$$SM: \text{Yield_eco} = ((18.875834 - 3.6782251 * \text{Log}(AZ) - 4.5600575 * \text{Log}(NS) - 0.057652159 * (\text{Log}(AZ)) ^ 2 + 0.23009603 * (\text{Log}(NS)) ^ 2 + 0.70813809 * \text{Log}(AZ) * \text{Log}(NS)) / (1 - 0.052079262 * \text{Log}(AZ) - 0.2766612 * \text{Log}(NS) + 0.0054614 * (\text{Log}(AZ)) ^ 2 + 0.021586972 * (\text{Log}(NS)) ^ 2 + 0.00087882588 * \text{Log}(AZ) * \text{Log}(NS))) * 0.9$$

'Berechnung des Öko-Ertrages

$$\text{WW: Yield_eco} = (1 / (0,034672985 + 6,7140602 * \text{Ln}(\text{AZ}) / \text{AZ}^2 - 6,5387685 / \text{AZ}^2 - 4,2914334 * \text{Ln}(\text{NS}) / \text{NS} + 8897,2375 / \text{NS}^2)) * 0,9$$

$$\text{WRo: Yield_eco} = (49,286234 - 21,90061 * (\text{Ln}(\text{AZ})) - 0,11052857 * \text{NS} + 1,8170875 * ((\text{Ln}(\text{AZ}))^2) + 0,00011610538 * (\text{NS}^2) + 0,053821823 * \text{NS} * \text{Ln}(\text{AZ}) - 0,26464296 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^3 - 0,000000011113062 * \text{NS}^3 - 0,000055122387 * \text{NS}^2 * \text{Ln}(\text{AZ}) + 0,0049378489 * \text{NS} * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2) * 0,9$$

$$\text{SW: Yield_eco} = (1 / (0,033265893 + 0,29872114 / \text{AZ}^{0,5} - 1,3060384 * \text{Ln}(\text{AZ}) / \text{AZ} + 4,579268 / \text{AZ} - 9,3881027 / \text{AZ}^{1,5} + 6,8067636 * \text{Ln}(\text{AZ}) / \text{AZ}^2 - 4,9121063 * \text{Ln}(\text{NS}) / \text{NS} - 53,293166 * \text{Ln}(\text{NS}) / \text{NS}^2 + 10508,831 / \text{NS}^2)) * 0,85$$

$$\text{WG: Yield_eco} = (1 / (0,091314494 - 0,33004186 / \text{Ln}(\text{AZ}) + 1,6233966 / \text{AZ} - 28,269116 / \text{NS} + 10462,382 / \text{NS}^2)) * 0,9$$

$$\text{SG: Yield_eco} = ((6,512496 - 1,3162449 * \text{Ln}(\text{AZ}) - 1,54003 * \text{Ln}(\text{NS}) - 0,023961446 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2 + 0,074315834 * (\text{Ln}(\text{NS}))^2 + 0,25520424 * \text{Ln}(\text{AZ}) * \text{Ln}(\text{NS})) / (1 - 0,058008288 * \text{Ln}(\text{AZ}) - 0,27276537 * \text{Ln}(\text{NS}) + 0,0058114099 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2 + 0,021093223 * (\text{Ln}(\text{NS}))^2 + 0,001390529 * \text{Ln}(\text{AZ}) * \text{Ln}(\text{NS}))) * 0,85$$

$$\text{HA: Yield_eco} = ((7,3045489 - 1,4348329 * \text{Ln}(\text{AZ}) - 1,7563599 * \text{Ln}(\text{NS}) - 0,023390825 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2 + 0,087773518 * (\text{Ln}(\text{NS}))^2 + 0,27674467 * \text{Ln}(\text{AZ}) * \text{Ln}(\text{NS})) / (1 - 0,053544152 * \text{Ln}(\text{AZ}) - 0,27570314 * \text{Ln}(\text{NS}) + 0,0055461847 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2 + 0,021464756 * (\text{Ln}(\text{NS}))^2 + 0,0010077122 * \text{Ln}(\text{AZ}) * \text{Ln}(\text{NS}))) * 0,9$$

$$\text{TR: Yield_eco} = (49,286234 - 21,90061 * \text{Ln}(\text{AZ}) - 0,11052857 * \text{NS} + 1,8170875 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2 + 0,00011610538 * \text{NS}^2 + 0,053821823 * \text{NS} * \text{Ln}(\text{AZ}) - 0,26464296 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^3 - 0,000000011113062 * \text{NS}^3 - 0,000055122387 * \text{NS}^2 * \text{Ln}(\text{AZ}) + 0,0049378489 * \text{NS} * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2)$$

$$\text{WRa: Yield_eco} = 1 / (0,17821268 - 4,7798116 / (\text{AZ})^{0,5} + 19,243347 * \text{Ln}(\text{AZ}) / \text{AZ} - 65,818285 / \text{AZ} + 150,33609 / \text{AZ}^{1,5} - 107,61111 / \text{AZ}^2 - 6,7450025 * \text{Ln}(\text{NS}) / \text{NS} - 682,80837 / \text{NS}^{1,5} + 4572,2324 * \text{Ln}(\text{NS}) / \text{NS}^2)$$

$$\text{LUZ: Yield_eco} = 1 / (1,5044876 + 1,5009737 * \text{Ln}(\text{AZ}) / \text{AZ}^2 - 10275,611 * \text{Ln}(\text{NS}) / \text{NS} + 95871,271 / \text{NS} - 1291911,6 / \text{NS}^{1,5} + 2824547,3 * \text{Ln}(\text{NS}) / \text{NS}^2 - 5045010,9 / \text{NS}^2)$$

$$\text{KGR: Yield_eco} = 1 / (2,1676208 - 11,784302 / \text{AZ}^{0,5} + 39,470817 * \text{Ln}(\text{AZ}) / \text{AZ} - 99,227438 / \text{AZ} + 191,74683 * \text{Ln}(\text{AZ}) / \text{AZ}^2 - 303,36355 / \text{NS}^{0,5} + 4052,8312 * \text{Ln}(\text{NS}) / \text{NS} - 22592,266 / \text{NS} + 72534,79 / \text{NS}^{1,5})$$

$$\text{FE: Yield_eco} = 54,20064 - 24,155692 * \text{Ln}(\text{AZ}) - 0,17140641 * \text{NS} + 1,3510223 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2 + 0,00013519132 * \text{NS}^2 + 0,071598537 * \text{Ln}(\text{AZ}) * \text{NS} - 0,2099336 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^3 - 0,000000033853648 * \text{NS}^3 - 0,000041004072 * \text{NS}^2 * \text{Ln}(\text{AZ}) + 0,00075396096 * \text{NS} * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2$$

$$\text{AB: Yield_eco} = (54,20064 - 24,155692 * \text{Ln}(\text{AZ}) - 0,17140641 * \text{NS} + 1,3510223 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2 + 0,00013519132 * \text{NS}^2 + 0,071598537 * \text{Ln}(\text{AZ}) * \text{NS} - 0,2099336 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^3 - 0,000000033853648 * \text{NS}^3 - 0,000041004072 * \text{NS}^2 * \text{Ln}(\text{AZ}) + 0,00075396096 * \text{NS} * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2) * 1,2$$

$$\text{LUP: Yield_eco} = (54,20064 - 24,155692 * \text{Ln}(\text{AZ}) - 0,17140641 * \text{NS} + 1,3510223 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2 + 0,00013519132 * \text{NS}^2 + 0,071598537 * \text{Ln}(\text{AZ}) * \text{NS} - 0,2099336 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^3 - 0,000000033853648 * \text{NS}^3 - 0,000041004072 * \text{NS}^2 * \text{Ln}(\text{AZ}) + 0,00075396096 * \text{NS} * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2) * 0,9$$

$$\text{Kar: Yield_eco} = (-596,47127 + 4215,2273 / \text{AZ} + 2,8895032 * \text{NS} + 159396,99 / \text{AZ}^2 - 0,002286864 * \text{NS}^2 - 36,843384 * \text{NS} / \text{AZ} - 1668795,3 / \text{AZ}^3 + 0,0000003910133 * \text{NS}^3 + 0,02201387 * \text{NS}^2 / \text{AZ} + 22,602779 * \text{NS} / \text{AZ}^2)$$

$$\text{ZR: Yield_eco} = (-596,47127 + 4215,2273 / \text{AZ} + 2,8895032 * \text{NS} + 159396,99 / \text{AZ}^2 - 0,002286864 * \text{NS}^2 - 36,843384 * \text{NS} / \text{AZ} - 1668795,3 / \text{AZ}^3 + 0,0000003910133 * \text{NS}^3 + 0,02201387 * \text{NS}^2 / \text{AZ} + 22,602779 * \text{NS} / \text{AZ}^2) * 1,4$$

$$\text{SM: Yield_eco} = ((18,875834 - 3,6782251 * \text{Ln}(\text{AZ}) - 4,5600575 * \text{Ln}(\text{NS}) - 0,057652159 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2 + 0,23009603 * (\text{Ln}(\text{NS}))^2 + 0,70813809 * \text{Ln}(\text{AZ}) * \text{Ln}(\text{NS})) / (1 - 0,052079262 * \text{Ln}(\text{AZ}) - 0,2766612 * \text{Ln}(\text{NS}) + 0,0054614 * (\text{Ln}(\text{AZ}))^2 + 0,021586972 * (\text{Ln}(\text{NS}))^2 + 0,00087882588 * \text{Ln}(\text{AZ}) * \text{Ln}(\text{NS}))) * 0,9$$

Biomasse-Ertragsmodell Version 1998: Ertrags-Index Ökolandbau in Konventionell

Ertragsindex Ökolandbau in Konventionell

Case "LUZ", "KGr": Ert_IX = 1.05

Case "LUP", "FE", "AB": Ert_IX = 1.26

Case "ZR": Ert_IX = 1.3

Case "HA": Ert_IX = 1.33

Case "SM", „KM“: Ert_IX = 1.5

Case "WRo": Ert_IX = 1.63

Case "TR": Ert_IX = 1.65

Case "SG", "WG": Ert_IX = 1.68

Case "WW": Ert_IX = 1.69

Case "WRa", "Lei", "SoBlu": Ert_IX = 1.73

Case "Kar": Ert_IX = 1.74

Tabellen

T- 1: Vorfruchtwirkung: Ökologischer Anbau (nach SCHOLZEN 1999).

Vor- frucht	Hauptfrucht																		
	WW	WRo	WG	TR	SW	SG	WRa	SRa	SM	Kar	ZR/FR	FE	AB	LUP	KGr	LUZ	KM	HA	SoBlu
WW	1	0,86	0,86	0,86	1	1	0,9	1	1	1	0,96	1	1	1	0,9	0,9	1	1	1
WRo	1	0,84	0,8	0,82	0,95	0,92	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,98	1
WG	1	0,86	1	0,86	0,96	1	1	1	1,05	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	0,98	0,98	1,05	0,98	1
TR	1	0,84	0,8	1	0,95	0,92	0,9	1	1	1	1	1	1	1	0,94	0,94	1	1	1
SW	1	0,85	0,9	0,85	1	1	0,9	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	1	1	1
SG	1	0,85	1	0,85	0,95	1	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HA	0,93	0,82	0,9	0,82	0,95	1	0,95	1	1	1	1	1	1	1	0,96	0,96	1	1	1
WRa	1,06	1,08	1,08	1,08	1,05	1,05	1	1,05	1,03	1	1,05	1,05	1,05	1,05	0,98	0,98	1,05	1,05	1
SM	0,9	1,15	1	1,1	1,05	1,05	1	1	0,95	0,95	0,9	0,98	0,98	0,98	0,94	0,94	0,95	1,05	1
KM	0,9	1,15	1	1,1	1,05	1,05	1	1	0,95	0,95	0,9	0,98	0,98	0,98	0,94	0,94	0,95	1,05	1
Kar	0,95	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1	1,05	1	1,05	1,02	1,02	1,02	0,96	0,96	1,05	1,05	1
ZR	0,94	0,8	1	0,9	1	1	1	0,98	1,05	0,95	1	0,97	0,97	0,97	0,94	0,94	1,05	1,05	1
FR	0,94	0,8	1	0,9	1	1	1	0,98	1,05	0,95	1	0,97	0,97	0,97	0,94	0,94	1,05	1,05	1
FE	0,92	1,01	1,01	1	1,05	1,05	1	1,03	1,02	1,02	1,05	1	1	1	1	1	1,02	1,05	1
AB	0,92	1,01	1,01	1	1,05	1,05	1	1,03	1,02	1,02	1,05	1	1	1	1	1	1,02	1,05	1
LUP	0,92	1,01	1,01	1	1,05	1,05	1	1,03	1,02	1,02	1,05	1	1	1	1	1	1,02	1,05	1
KGr	1,05	1,11	1,08	1,08	1,1	1,1	1,08	1,1	1,1	1,1	1,1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1
LUZ	1,05	1,11	1,08	1,08	1,1	1,1	1,08	1,1	1,1	1,1	1,1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1
SRa	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02			1	1	0,98	1,02	1,02	1,02	0,98	0,98	1	1,05	1
SoBlu	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

T- 2: Vorfruchtwirkung: Konventioneller Anbau (nach SCHOLZEN 1999).

Vor- frucht	Hauptfrucht																		
	WW	WRo	WG	TR	SW	SG	WRa	SRa	SM	Kar	ZR/FR	FE	AB	LUP	KGr	LUZ	KM	HA	SoBlu
WW	0,91	0,94	1	0,92	0,94	1	0,9	1	1	1	0,99	1	1	1	0,9	0,9	1	1	1
WRo	0,95	0,92	0,9	0,9	0,98	0,92	0,9	1	1	1	0,99	1	1	1	1,05	1,05	1	0,98	1
WG	0,91	0,92	1	0,92	0,96	1	1,05	1	1,02	1,02	0,99	1,02	1,02	1,02	0,95	0,95	1,02	0,97	1
TR	0,94	0,98	0,9	0,9	0,96	0,98	0,9	1	1	1	0,99	1	1	1	0,9	0,9	1	1	1
SW	0,94	0,99	0,98	0,94	1	1	0,9	1	1	1	0,99	1	1	1	0,9	0,9	1	1	1
SG	0,96	0,99	1	0,94	0,97	1	1	1	1	1	0,99	1,02	1,02	1,02	1	1	1	1	1
HA	0,98	0,99	1	0,98	1	1	0,95	1	1	1	0,99	1	1	1	0,9	0,9	1	1	1
WRa	1,05	1,08	1,05	1,06	1,05	1,05	1		1,02	1,03	1	1,05	1,05	1,05	0,98	0,98	1,02	1,08	1
SM	1,02	0,95	1	0,97	1	1,02	1	0,98	0,95	0,95	0,95	0,98	0,98	0,98	0,94	0,94	0,95	0,98	1
KM	1,02	0,95	1	0,97	1	1,02	1	0,98	0,95	0,95	0,95	0,98	0,98	0,98	0,94	0,94	0,95	0,98	1
Kar	1,07	1,03	0,95	1	1,05	1,05	1	1	1	1	0,95	1	1	1	0,95	0,95	1	1,04	1
ZR	1,07	0,85	1	1,02	1	1,1	1	0,98	0,96	0,95	1	0,97	0,97	0,97	0,94	0,94	0,96	1	1
FR	1,07	0,85	1	1,02	1	1,1	1	0,98	0,96	0,95	1	0,97	0,97	0,97	0,94	0,94	0,96	1	1
FE	1,15	1,06	1,04	1,1	1,03	1,04	1	1,05	1,02	1,02	1,02	1	1	1	1	1	1,02	1,03	1
AB	1,15	1,06	1,04	1,1	1,03	1,04	1	1,05	1,02	1,02	1,02	1	1	1	1	1	1,02	1,03	1
LUP	1,15	1,06	1,04	1,1	1,03	1,04	1	1,05	1,02	1,02	1,02	1	1	1	1	1	1,02	1,03	1
KGr	1,04	1	1,02	1,01	1,1	1,04	1,08	1,1	1,05	1,08	1,06	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1
LUZ	1,04	1	1,02	1,01	1,1	1,04	1,08	1,1	1,05	1,08	1,06	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1
SRa	1,02	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02			1	1	0,98	1,02	1,02	1,02	0,98	0,98	1	1,03	1
SoBlu	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

T- 3: Ackerschätzungsrahmen (nach ROTHKEGEL 1952, S. 101).

Bodenart	Entstehung	Zustandsstufen						
		1	2	3	4	5	6	7
S	<i>D</i>		41-34	33-27	26-21	20-16	15-12	11-7
	<i>Al</i>		44-37	36-30	29-24	23-19	18-14	18-9
SI	<i>D</i>		51-43	42-35	34-28	27-22	21-17	16-11
	<i>Al</i>		53-46	45-38	37-31	30-24	23-19	18-13
	<i>V</i>		49-43	42-36	35-29	28-23	22-18	17-12
IS	<i>D</i>	68-60	59-51	50-44	43-37	36-30	29-23	22-16
	<i>Lö</i>	71-63	62-54	53-46	45-39	38-32	31-25	24-18
	<i>Al</i>	71-63	62-54	53-46	45-39	38-32	31-25	24-18
	<i>V</i>		57-51	50-44	43-37	36-30	29-24	23-17
	<i>Vg</i>			47-41	40-34	33-27	26-20	19-12
SL	<i>D</i>	75-68	67-60	59-52	51-45	44-38	37-31	30-23
	<i>Lö</i>	81-73	72-64	63-55	54-47	46-40	39-33	32-25
	<i>Al</i>	80-72	71-63	62-55	54-47	46-40	39-33	32-25
	<i>V</i>	75-68	67-60	59-52	51-44	43-37	36-30	29-22
	<i>Vg</i>			55-48	47-40	39-32	31-24	23-16
sL	<i>D</i>	84-76	75-68	67-60	59-53	52-46	45-49	38-30
	<i>Lö</i>	92-83	82-74	73-65	64-56	55-48	47-41	40-32
	<i>Al</i>	90-81	80-72	71-64	63-56	55-48	47-41	40-32
	<i>V</i>	85-77	76-68	67-59	58-51	50-44	43-36	35-27
	<i>Vg</i>			64-55	54-45	44-36	35-27	26-18
L	<i>D</i>	90-82	81-74	73-66	65-58	57-50	49-43	42-34
	<i>Lö</i>	100-92	91-83	82-74	73-65	64-56	55-46	45-36
	<i>Al</i>	100-90	89-80	79-71	70-62	61-54	53-45	44-35
	<i>V</i>	91-83	82-74	73-65	64-56	55-47	46-39	38-30
	<i>Vg</i>			70-61	60-51	50-41	40-30	29-19
LT	<i>D</i>	87-79	78-70	69-62	61-54	53-46	45-38	37-28
	<i>Al</i>	91-83	82-74	73-65	64-57	56-49	48-40	39-29
	<i>V</i>	87-79	78-70	69-61	60-52	51-43	42-34	33-24
	<i>Vg</i>			67-58	57-48	47-38	37-28	27-17
T	<i>D</i>		71-64	63-64	55-48	47-40	39-30	29-18
	<i>Al</i>		74-66	65-58	57-50	49-41	40-31	30-18
	<i>V</i>		71-63	62-54	53-45	44-36	35-26	25-14
	<i>Vg</i>			59-51	50-42	41-33	32-24	23-14
Mo			54-46	45-37	36-29	28-22	21-16	15-10

T- 4: Zuordnung der Bodenschätzung-Bodenarten zu KA4-Bodenarten.

KA4	Zuordnung der KA4 Körnung in Bodenschätzungsbodenarten								
	ULONSKA 2006		SCHMIDT unveröff. 2007	BMF 2005 in RÖTSCHER 2008	VETTERLEIN 1988 AT=T*F ² wobei: F=(T+0,766)/0,785	PREETZ 2003 nach Entstehung			
	SÜCHTING 1949	SCHACHT- SCHABEL 1998				D	AI	V	Lö
Ss	S	S	S	S	S	S	S	S	
Su2	IS / SL	S	S	S	S	SI SL	SI		
Su3			SI	SI	S	SI IS			IS
Su4			SL	IS	S				
SI2	IS / SL	SI	S	SI	SI	SI sL	SI IS	SI SL	
SI3	sL	Ls	SI	IS	SI	SI IS SL sL	SI IS SL sL	SI IS SL	IS SL sL
SI4	sL	sL	SL	SL	SI	SL sL	sL	IS SL sL	
St2	IS / SL	S	IS	IS	SI				SL
St3	sL	sL	SL	SL	L				sL
Ls2	LT	L	IS	sL	L	L	sL L	sL L	sL
Ls3	L	L	IS	sL	L	L	sL L LT	sL L	sL
Ls4	L	L	IS	SL	L	sL L	sL		sL L
Uu			SL	sL					L
Us	LT	SL	IS	sL	S				Ls SL L
Slu	LT	sL	IS	SL		L	sL		
Uls	LT	sL	SL	sL			L		SL

KA4	Zuordnung der KA4 Körnung in Bodenschätzungsbodenarten								
	ULONSKA 2006		SCHMIDT unveröff. 2007	BMF 2005 in RÖTSCHER 2008	VETTERLEIN 1988 AT=T*F ² wobei: F=(T+0,766)/0,785	PREETZ 2003 nach Entstehung			
	SÜCHTING 1949	SCHACHT- SCHABEL 1998				D	AI	V	Lö
									L
Ut2			L	sL	SI		L		L
Ut3	T	L	L	sL	SI				L
Ut4	T	LT	sL	L	L				L
Lu	LT	LT	sL	L	L	L	L	L	L
Lt2	LT	LT	L	L	LT	L	L	L	LT
Lt3	T	T	L	LT	T				sL LT
Lts	LT	LT	sL	L	LT	L		T	SI
Ts2			LT	T	T	LT			
Ts3			T	LT	T	LT T			sL
Ts4	sL	L	SL	L	LT	T			
Tu2	T	T	LT	T	T				
Tu3	T	T	L	LT	T	L			L LT T
Tu4	T	T	L	L	LT				
Tl	T	T	LT	T	T	T	LT T	T	
Tt	T	T	T	T	T	LT T			sL

T- 5: Körnungsarten der Bodenschätzung und Korngrößenfraktionen Ton-Schluff und Sand nach ULONSKA (2006, S. 218).

Haupt-Körnungsart	Bearbeitungsschwere	Körnungsarten der Bodenschätzung		Korngrößenfraktionen (Masse- %) im Sinne von ANONYMUS j (2005) und ANONYMUS m (2006): Anlage, Nr. 2.		
		Begriff	Abschlämmbares (A) < 0, 01 mm	Ton (T)	Schluff (U)	Sand (S)
1	2	3a	3b	4a	4b	4c
Sand (Sa)	leicht	Sand (S)	< 10,0	0-5,0	0-15,0	85,0-100,0
		anlehmiger Sand (SI)	10,0-13,9	0-8,0	0-30,0	70,0-95,0
		lehmiger Sand (IS)	14,0-18,9	0-13,0	0-49,9	45,0-92,0
		stark lehmiger Sand (SL)	19,0-23,9	0-18,0	50,0-100,0	0-50,0
Lehm (Le)	mittel	sandiger Lehm (sL)	24,0-29,9	5-17,9	0-49,9	32,0-81,9
		Lehm (L)	30,0-44,9	18,0-29,9	0-82,0	0-82,0
		stark toniger Lehm (LT)	45,0-60,0	30,0-49,9	0-70,0	0-70,0
Ton (To)	schwer	Ton (T)	> 60,0	50,0-100,0	0-50,0	0-50,0

T- 6: Vergleich ESB und SOTER Bodeneigenschaften.

ESB „The European Soil Database V2.0“ 1 x 1 km Raster						SOTER_18RIC 1 : 2,5 Mio Access-DB und Shape (SotErUnit: Terrain and Soil) Beste Tiefenintervalle von 0,2 - 1 m (alle 20 cm) Übernahme Profillänge Berücksichtigung TCID (Terrain Unit)			SOTER 1 : 2,5 Mio dBase-Daten und Shape (SotErUnit: Terrain and Soil) exakte Tiefenintervalle Übernahme: Mittelwertbildung für dom. Bodentyp ohne Berücksichtigung TCID; hier max. Flächenanteil		
Atribut	Bezeichnung	Ableitung	Wertangabe	stark lockig	ganz fehlend	Atribut	Bezeichnung	Ableitung	Atribut	Bezeichnung	Ableitung
Ursprungsmaterial (Ausgangsmaterial)	PARMADO (Rule 14) PARMASE (Rule 15)	dominant parent material secondary parent material	Hartwich et al. 1999, "Manual for the Georeferenced Soil Database for Europe at 1:250 000, version 1.1 siehe PARMASE-Legende im Extra-Bild						Lith_PM	Legende siehe Report 9708 Tabelle 3 Seite 24 oder Extra-Tabelle „Legende_PM“	Secondary Data, estimates apr, Report 200303 u. 200504, Taxotransferregeln
nutzbare Feldkapazität	AWC_TOP (Rule 551) EAWC_TOP (Rule 552) AWC_SUB (Rule 553) EAWC_SUB (Rule 554)	Topsoil available water capacity Topsoil easily available water capacity Subsoil available water capacity Subsoil easily available water capacity	input attributes TEXT - Topsoil textural class PD_TOP - Topsoil packing density input attributes TD - Subsoil textural class PD_SUB - Subsoil packing density DR - Depth to the rock input attributes V (wry) H (g/h) > 100 mm/m H (g/h): 140 - 190 mm/m M (edlum): 100-140 mm/m L (ow) < 100 mm/m V (wry) L (ow) < 0 mm/m			Verfügbare Wasserkapazität (-33 bis -1500 kPa) TAWC Available water capacity (-33 to -1500 kPa, USDA standard)			Verfügbare Wasserkapazität AWC1 Available water capacity (for 5 to 1500 kPa, 1,7 - 4,2) AWC2 Available water capacity (for 10 to 1500 kPa, pF 2,0 - 4,2) AWC3 Available water capacity (for 33 to 1500 kPa, pF 2,5 - 4,2)		Secondary Data, estimates apr, Report 200303 u. 200504, Taxotransferregeln
Basenmittigung	BS_TOP (Rule 331) BS_SUB (Rule 332)	Topsoil base saturation Subsoil base saturation	input attributes SN - FAC soil name USE - regrouped land use class SN - FAC soil name MIN_SUB - subsoil mineralogy	classes L(ow) < 50% M(edium): 50-75% H(igh) > 75% L(ow) < 50% H(igh) > 50%		Basenmittigung (als % CECsoil) BSAT Base saturation Base saturation as % of CECsoils (%)		Basenmittigung (als % CECsoil) BSAT_Top BSAT_Sub	einzelne Werte, Mittelwertbildung für dominanten Bodentyp (SCID 1+2)	Secondary Data, estimates apr, Report 200303 u. 200504, Taxotransferregeln	
potenzielle Kationenaustauschkapazität	CEC_TOP (Rule 321) CEC_SUB (Rule 322)	Topsoil Cation Exchange Capacity Subsoil Cation Exchange Capacity	input attributes DIFF - soil profile differentiation MIN - profile mineralogy OC_TOP - topsoil organic carbon content TEXT - Topsoil textural class MIN_SUB - subsoil mineralogy TD - subsoil textural class	classes L(ow) < 15 cmol(+)kg ⁻¹ soil M(edium): 15-40 H(igh) > 40		Kationenaustauschkapazität für Boden (CECsoil) CECS CECsoil (cmol(+) kg ⁻¹) (calculated CEC of soil fraction mainly 1 M NH ₄ OAc at pH 7)		Kationenaustauschkapazität für Boden (CECsoil) CEC_Top CEC_Sub CECS	einzelne Werte, Mittelwertbildung für dominanten Bodentyp (SCID 1+2) Profillängen	Secondary Data, estimates apr, Report 200303 u. 200504, Taxotransferregeln	
pH-Wert						PHAQ pH in water		PH_Top PH_Sub PHAQ	einzelne Werte, Mittelwertbildung für dominanten Bodentyp (SCID 1+2) Profillängen	Secondary Data, estimates apr, Report 200303 u. 200504, Taxotransferregeln	
organischer Kohlenstoff	Raster Dataset: ORGANIC CARBON IN TOPSOILS IN EUROPE	Organic Carbon (%)	0 - 30 cm Tiefe input data ESDB V1.0, PTRDB - Rule 21 Europäische Landnutzungsdaten des Catchment Information System (CIS) Durchschnittliche jährliche akkumulierte Temperatur (AAAT) in °C basierend auf das Global Historical Climatology Network (GHCN) als räumliche Daten	Einzelwerte		TOTC ORGANIC carbon content (g / kg)		Org_Top Org_Sub TOTC	einzelne Werte, Mittelwertbildung für dominanten Bodentyp (SCID 1+2) Profillängen	Secondary Data, estimates apr, Report 200303 u. 200504, Taxotransferregeln	

Abkürzungen für Länder
BA - Bosnien Herzegovina
HR - Croatia
CZ - Czech Republic
DK - Denmark
EE - Estonia

IT - Italia
NL - Netherland
NO - Norway
PL - Poland
RO - Romania

FI - Finland
FR - France
DE - Germany
IE - Irish Republic

ES - Spain
SE - Sweden
GB - Great Britain
YU - Yugoslavia

Abkürzungen
ESDB - European Soil Database
SODBE - Soil Geographical Database of Europe
PTRDB - The Pedotransfer Rules Database

T- 7: ESDB-Bodenarten: Zuordnung der SMU zu Bodenschätzungs-Bodenarten nach TAL
Bodenschätzungsdreieck Δ.

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
1	7	S
2	7	S
3	7	S
4	7	S
5	7	S
6	7	S
70001	1	SI
70002	1	SI
70003	1	SI
70004	1	SI
70005	12	sL
70006	1	SI
70007	1	SI
70008	123	sL
70009	13	S
70010	12	sL
70011	13	S
70012	1	SI
70013	1	SI
70014	12 7	SI
70015	13	S
70016	1	SI
70017	14	sL
70018	12	sL
70019	1 725	S
70020	2	L
70021	2	L
70022	12	sL
70023	22 7	sL
70024	2	L
70025	12	sL
70026	23	SL
70027	12	sL
70028	122 7	S
70029	2	L
70030	12	sL
70031	25	LT
70032	2	L
70033	2	L
70034	12	sL
70035	2	L
70036	23	SL
70037	2	L
70038	23	SL
70039	2	L
70040	12	sL
70041	12	sL
70042	1 72	S
70043	2	L
70044	5	T
70045	5	T
70046	12	sL
70047	11 2	IS
70048	11 72	SI
70049	12	sL
70050	12	sL
70051	11 4	sL
70052	11 4	sL
70053	1	SI
70054	1	SI
70055	11 72 7	SI
70056	1	SI
70057	25	LT
70058	2	L
70059	2	L
70060	2	L
70061	2	L
70062	2	L
70063	2	L
70064	2	L
70065	2	L
70066	2	L
70067	2	L
70068	1 72	S
70069	1	SI
70070	7	S
70071	7	S
70072	1	SI
70073	1	SI
70074	12	sL
70075	2	L
70076	22 7	sL
70077	12	sL
70078	2	L
70079	12	sL
70080	22 7	sL

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
70081	1	SI
70082	1	SI
70083	2 3	SL
70084	2	L
70085	7	S
70086	2	L
70087	2	L
70088	2	L
70089	2	L
70090	2	L
70091	2	L
70092	2	L
70093	22 7	sL
70094	2	L
70095	1 4	sL
70096	1	SI
70097	1	SI
70098	1	SI
70099	1	SI
70100	1 72	IS
70101	1 72 7	SI
70102	22 7	sL
70103	2 7	sL
70104	1	SI
70105	2 5	LT
70107	128	sL
70108	2	L
70109	2	L
70110	2	L
70111	8	Mo
70111	8	Mo
70112	8	Mo
70112	8	Mo
70113	2	L
70114	2	L
70115	8	Mo
70115	8	Mo
70116	1	SI
70117	8	Mo
70117	8	Mo
70118	34	L
70119	3	SL
70120	137	IS
70121	13	S
70122	1	SI
70123	13	IS
70124	1	SI
70125	2 3	SL
70126	12 3	sL
70127	12 3	sL
70128	12 3	sL
70129	22 3	SL
70130	22 3	SL
70131	22 38	SL
70132	22 3	SL
70133	22 3	SL
70134	22 3	SL
70135	22 3	SL
70136	22 38	SL
70137	122 3	SL
70138	122 3	SL
70139	1 722 3	IS
70140	2 3	SL
70141	2 3	SL
70142	12 3	sL
70143	2 3	SL
70144	12 38	sL
70145	12 38	sL
70146	12 38	sL
70147	2 3	SL
70148	2 3	SL
70149	2 3	SL
70150	12 3	sL
70151	22 3	SL
70152	22 3	SL
70153	22 3	SL
70154	2 3	SL
70155	22 3	SL
70156	2 3	SL
70157	12 3	sL
70158	12 3	sL
70159	1 72 3	IS
70160	2 3	SL
70161	127	IS
70162	1278	sL
70163	127	IS

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
70164	12	sL
70165	1278	sL
70166	127	IS
70167	22 77	IS
70168	2	L
70169	12	sL
70170	12	sL
70171	127	IS
70172	128	sL
70173	2	L
70174	2	L
70175	12	sL
70176	2	L
70177	12	sL
70178	2	L
70179	128	sL
70180	127	IS
70181	127	IS
70182	12	sL
70183	127	IS
70184	22 77	IS
70185	2	L
70186	12	sL
70187	2	L
70188	2	L
70189	2	L
70190	2	L
70191	2	L
70192	12	sL
70193	12	sL
70194	12	sL
70195	22 7	sL
70196	2	L
70197	122 7	IS
70198	11 72 7	SI
70199	1278	sL
70200	11 727	IS
70201	127	IS
70202	127	IS
70203	1	SI
70204	12	sL
70205	11 77	SI
70206	12	sL
70207	1	SI
70208	12	sL
70209	1	SI
70210	1	SI
70211	11 7	S
70212	1	SI
70213	1 72	IS
70214	1 7	S
70215	2 7	sL
70216	2	L
70218	22 53	L
70219	22 5	LT
70220	22 5	LT
70221	24	LT
70222	2	L
70223	35	L
70224	3	SL
70225	7	S
70226	7	S
70227	12 77	IS
70228	2	L
70229	1	SI
70230	22 77	IS
70231	1 727	SI
70232	127	IS
70233	127	IS
70234	127	IS
70235	22 77	IS
70236	1	SI
70237	1	SI
70238	1	SI
70239	1	SI
70240	1	SI
70241	127	IS
70242	127	IS
70243	1 727	SI
70244	11 77	SI
70245	11 77	SI
70246	1 727	SI
70247	12 77	IS
70248	12 77	IS
70249	12 77	IS
70250	2 7	sL

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
70251	22_77	S
70252	1	SI
70253	1_4	sL
70254	1	SI
70255	2	L
70256	2	L
70257	1	SI
70258	1	SI
70259	1	SI
70260	1	SI
70261	1	SI
70262	2	L
70263	1_7	S
70264	2_7	sL
70265	2	L
70266	7	S
70267	12	sL
70268	157	sL
70269	157	sL
70270	1235	sL
70271	127	S
70272	127	S
70273	12	sL
70274	1278	sL
70275	128	sL
70276	1	SI
70277	12	sL
70278	12_3	sL
70279	157	sL
70280	15	L
70281	158	LT
70282	128	sL
70283	12	sL
70284	12	sL
70285	12	sL
70286	12	sL
70287	12	sL
70288	12	sL
70289	12	sL
70290	12	sL
70291	12_37	SL
70292	1	SI
70293	1	SI
70294	12	sL
70295	12	sL
70296	12	sL
70297	127	S
70298	12	sL
70299	12	sL
70300	128	sL
70301	12	sL
70302	12	sL
70303	1	SI
70304	12	sL
70305	1	SI
70306	1	SI
70307	1	SI
70308	1	SI
70309	1	SI
70310	122_7	S
70311	11_7	S
70312	12	sL
70313	1	SI
70314	1	SI
70315	12_3	sL
70316	1	SI
70317	15	L
70318	12	sL
70319	12	sL
70320	12	sL
70321	12_3	sL
70322	1	SI
70323	12	sL
70324	13	S
70325	12	sL
70326	1	SI
70327	1	SI
70328	1	SI
70329	1	SI
70330	1	SI
70331	1	SI
70332	12_7	SI
70333	11_7	S
70334	11_7	S
70335	1	SI
70336	2	L
70337	22_7	sL
70338	2	L
70339	125	sL
70340	1257	sL
70341	12_735	sL
70342	25	LT
70343	125	sL

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
70344	25	LT
70345	235	L
70346	35	L
70347	257	L
70348	235	L
70349	258	LT
70350	125	sL
70351	25	LT
70352	235	L
70353	125	sL
70354	157	sL
70355	25	LT
70356	25	LT
70357	5	T
70358	15	L
70359	25	LT
70360	35	L
70361	25	LT
70362	15	L
70363	25	LT
70364	35	L
70365	25	LT
70366	35	L
70367	35	L
70368	5	T
70369	15	L
70370	15	L
70371	2_75	L
70372	1_75	sL
70373	1_75	sL
70374	5	T
70375	127	S
70376	12	sL
70377	128	sL
70378	25	LT
70379	258	LT
70380	22_7	sL
70381	122_7	S
70382	2	L
70383	12	sL
70384	25	LT
70385	22_3	SL
70386	2	L
70387	2	L
70388	2	L
70389	12	sL
70390	22_7	sL
70391	2	L
70392	1_422_38	SL
70393	1_427	sL
70394	1_41_72	sL
70395	11_41_72	sL
70396	1_41_72	sL
70397	1_422_73	L
70398	1_422_52_7	L
70399	11_4	sL
70400	11_4	sL
70401	1_42	L
70402	1_422_7	L
70403	11_4	sL
70404	1_42	L
70405	1_43	sL
70406	1_423	L
70407	1_42	L
70408	1_428	L
70409	1_427	sL
70410	1_42	L
70411	1_42	L
70412	1_423	L
70413	11_42	sL
70414	11_42	sL
70415	1_41_72	sL
70416	1_42	L
70417	1_42_53	L
70418	11_4	sL
70419	11_48	sL
70420	11_47	sL
70421	1_42_7	sL
70422	1_422_7	L
70423	1_42_73	sL
70424	11_42_7	sL
70425	1_41_72_7	S
70426	1_41_77	S
70427	11_41_7	S
70428	1_4	sL
70429	1_4	sL
70430	1_4	sL
70431	1_42	L
70432	11_4	sL
70433	1_42	L
70434	1_42	L
70435	1_422_7	L
70436	1_42	L

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
70437	1_43	sL
70438	11_4	sL
70439	11_4	sL
70440	1_42_7	sL
70441	1_41_7	sL
70442	1_4	sL
70443	2_534	L
70444	3	SL
70445	2_53	sL
70446	234	L
70447	34	L
70448	2_534	L
70449	3	SL
70450	3	SL
70451	2_13	SL
70452	2_53	sL
70453	3	SL
70454	2_53	sL
70455	22_53	L
70456	2_53	sL
70457	23	SL
70458	3	SL
70459	34	L
70460	3	SL
70461	3	SL
70462	3	SL
70463	3	SL
70464	12_73	IS
70465	3	SL
70466	2_13	SL
70467	2_53	sL
70468	3	SL
70469	34	L
70470	23	SL
70471	22_53	L
70472	34	L
70473	34	L
70474	1_734	IS
70567	1_74	IS
70568	45	T
70569	2_54	LT
70570	24	LT
70571	4	LT
70572	2_4	L
70573	22_4	L
70574	2_4	L
70575	2_4	L
70576	123	sL
70577	237	IS
70578	22_38	SL
70579	12	sL
70580	12	sL
70581	1_423	L
70582	1_428	L
70583	2	L
70584	12	sL
70585	2	L
70586	12	sL
70587	12	sL
70588	2	L
70589	12	sL
70590	12	sL
70591	12	sL
70592	12	sL
70593	128	sL
70594	128	sL
70595	128	sL
70596	22_3	SL
70597	22_3	SL
70598	122_3	SL
70599	22_3	SL
70600	127	IS
70601	258	LT
70602	2	L
70603	2	L
70604	2	L
70605	12	sL
70606	2	L
70607	22_3	SL
70608	2	L
70609	2	L
70610	2	L
70611	12	sL
70612	12	sL
70613	2	L
70614	2	L
70615	2	L
70616	12	sL
70617	22_3	SL
70618	12	sL
70619	2	L
70620	2	L
70621	12	sL

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
70622	22_3	SL
70623	22_3	SL
70624	22_38	SL
70625	122_3	SL
70626	22_33	SL
70627	22_3	SL
70628	127	S
70629	123	sL
70630	12	sL
70631	12	sL
70632	2	L
70633	12	sL
70634	23	SL
70635	23	SL
70636	2	L
70637	2	L
70638	12	sL
70639	23	SL
70640	2	L
70641	2	L
70642	12	sL
70643	2	L
70644	23	SL
70645	12	sL
70646	22_7	sL
70647	2	L
70648	128	sL
70649	128	sL
70650	128	sL
70651	12	sL
70652	127	S
70653	12	sL
70654	122_7	S
70655	2	L
70656	2	L
70657	2	L
70658	2	L
70659	22_3	SL
70660	2	L
70661	2	L
70662	12	sL
70663	25	LT
70664	2	L
70665	2	L
70666	2	L
70667	22_3	SL
70668	12	sL
70669	2	L
70670	23	SL
70671	2	L
70672	2	L
70673	23	SL
70674	2	L
70675	12	sL
70676	12	sL
70677	12	sL
70678	12	sL
70679	22_7	sL
70680	2	L
70681	2	L
70682	128	sL
70683	128	sL
70684	2	L
70685	2	L
70686	2	L
70687	2	L
70688	22_38	SL
70689	22_3	SL
70690	122_3	SL
70691	2	L
70692	2	L
70693	2	L
70694	12	sL
70695	12	sL
70696	12	sL
70697	2	L
70698	2	L
70699	2	L
70700	22_3	SL
70701	2	L
70702	2	L
70703	2	L
70704	2	L
70705	12	sL
70706	12	sL
70707	12	sL
70708	2	L
70709	2	L
70710	2	L
70711	2	L
70712	22_3	SL
70713	25	LT
70714	25	LT

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
70715	258	LT
70716	2	L
70717	2	L
70718	2	L
70719	12	sL
70720	2	L
70721	2	L
70722	12	sL
70723	2	L
70724	2	L
70725	2	L
70726	12	sL
70727	22_7	sL
70728	1_72	S
70729	22_3	SL
70730	2	L
70731	2	L
70732	22_7	sL
70733	2	L
70734	127	S
70735	127	S
70736	2	L
70737	2	L
70738	2	L
70739	2	L
70740	2	L
70741	2	L
70742	25	LT
70743	2	L
70744	2	L
70745	2	L
70746	2	L
70747	22_3	SL
70748	12	sL
70749	2	L
70750	2	L
70751	2	L
70752	2	L
70753	2	L
70754	12	sL
70755	12	sL
70756	12	sL
70757	22_7	sL
70758	1_72	S
70759	2	L
70760	122_3	SL
70761	128	sL
70762	12	sL
70763	12	sL
70764	2	L
70765	22_3	SL
70766	22_38	SL
70767	22_3	SL
70768	2	L
70769	2	L
70770	2	L
70771	12	sL
70772	122_3	SL
70773	2	L
70774	2	L
70775	2	L
70776	2	L
70777	2	L
70778	2	L
70779	128	sL
70780	2	L
70781	2	L
70782	22_3	SL
70783	2	L
70784	2	L
70785	2	L
70786	22_3	SL
70787	2	L
70788	2	L
70789	2	L
70790	1_42	L
70791	2	L
70792	12	sL
70793	12	sL
70794	12	sL
70795	2	L
70796	12_33	SL
70797	22_3	SL
70798	22_3	SL
70799	22_38	SL
70800	22_3	SL
70801	22_3	SL
70802	22_3	SL
70803	122_3	SL
70804	22_38	SL
70805	2_3	SL
70806	2_3	SL
70807	2_3	SL

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
70808	2_3	SL
70809	22_3	SL
70810	22_3	SL
70811	22_3	SL
70812	22_3	SL
70813	22_3	SL
70814	22_3	SL
70815	2_33	SL
70816	22_3	SL
70817	2_3	SL
70818	12_3	sL
70819	2_3	SL
70820	122_3	SL
70821	12	sL
70822	1	SI
70823	1	SI
70824	11_427	sL
70825	12	sL
70826	12	sL
70827	12	sL
70828	12	sL
70829	12	sL
70830	128	sL
70831	12	sL
70832	127	IS
70833	12	sL
70834	127	IS
70835	127	IS
70836	1	SI
70837	1	SI
70838	12	sL
70839	1	SI
70840	1	SI
70841	122_3	SL
70842	122_3	SL
70843	12_38	sL
70844	1	SI
70845	15	L
70846	12	sL
70847	1	SI
70848	11_47	sL
70849	11_42	sL
70850	11_42	sL
70475	34	L
70476	34	L
70477	34	L
70478	1_734	IS
70479	3	SL
70480	3	SL
70481	3	SL
70482	2_53	sL
70483	3	SL
70484	1_737	SI
70485	23	SL
70486	23	SL
70487	3	SL
70488	3	SL
70489	35	L
70490	3	SL
70491	34	L
70492	34	L
70493	23	SL
70494	23	SL
70495	3	SL
70496	23	SL
70497	3	SL
70498	3	SL
70499	3	SL
70500	3	SL
70501	3	SL
70502	1_43	sL
70503	3	SL
70504	3	SL
70505	1_73	SI
70506	2_73	SL
70507	35	L
70508	2_53	sL
70509	23	SL
70510	3	SL
70511	2_545	LT
70512	34	L
70513	1_734	IS
70514	24	LT
70515	34	L
70516	2_534	L
70517	345	LT
70518	2_534	L
70519	1_747	IS
70520	2_545	LT
70521	1_724	IS
70522	24	LT
70523	34	L
70524	4	LT

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
70525	34	L
70526	4	LT
70527	24	LT
70528	24	LT
70529	34	L
70530	34	L
70531	34	L
70532	34	L
70533	45	T
70534	12 74	sL
70535	1 74	S
70536	2 74	L
70537	45	T
70538	2 54	LT
70539	34	L
70540	4	LT
70541	234	L
70542	34	L
70543	2 534	L
70544	34	L
70545	34	L
70546	34	L
70547	34	L
70548	34	L
70549	34	L
70550	34	L
70551	234	L
70552	34	L
70553	2 534	L
70554	2 534	L
70555	24	LT
70556	34	L
70557	34	L
70558	4	LT
70559	14	sL
70560	34	L
70561	34	L
70562	34	L
70563	34	L
70564	34	L
70565	14	sL
70566	34	L
70851	11 4	sL
70852	128	sL
70853	127	S
70854	123	sL
70855	12	sL
70856	12	sL
70857	12	sL
70858	122 7	S
70859	12 37	sL
70860	127	S
70861	12	sL
70862	12	sL
70863	127	S
70864	128	sL
70865	127	S
70866	12	sL
70867	12	sL
70868	11 42	sL
70869	128	sL
70870	12	sL
70871	12	sL
70872	12	sL
70873	1	SI
70874	1	SI
70875	1	SI
70876	12 77	S
70877	12 7	SI
70878	12	sL
70879	15	L
70880	12	sL
70881	1	SI
70882	1	SI
70883	12 3	sL
70884	1	SI
70885	1	SI
70886	15	L
70887	11 4	sL
70888	13	S
70889	14	sL
70890	14	sL
70891	12	sL
70892	12	sL
70893	13	S
70894	12	sL
70895	12	sL
70896	13	S
70897	1	SI
70898	1	SI
70899	1	SI
70900	1	SI
70901	1	SI

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
70902	12	sL
70903	11 72	SI
70904	11 7	S
70905	12 7	SI
70906	1	SI
70907	2	L
70908	2	L
70909	2	L
70910	2	L
70911	24	LT
70912	2	L
70913	2	L
70914	2	L
70915	2	L
70916	1 722 7	S
70917	1 722 78	S
70918	22 7	sL
70919	2	L
70920	2	L
70921	12	sL
70922	2	L
70923	2	L
70924	2	L
70925	2	L
70926	2	L
70927	2	L
70928	2	L
70929	2	L
70930	12	sL
70931	2	L
70932	2	L
70933	2	L
70934	2	L
70935	1 42	L
70936	2	L
70937	12	sL
70938	2	L
70939	1 72	S
70940	1 722 7	S
70941	22 7	sL
70942	122 7	S
70943	22 7	sL
70944	22 7	sL
70945	122 7	S
70946	22 7	sL
70947	11 722 7	S
70948	22 7	sL
70949	128	sL
70950	12	sL
70951	127	S
70952	22 7	sL
70953	22 7	sL
70954	128	sL
70955	22 7	sL
70956	2	L
70957	2	L
70958	2	L
70959	2	L
70960	2	L
70961	2	L
70962	2	L
70963	12	sL
70964	1 42	L
70965	2	L
70966	2	L
70967	12	sL
70968	1 72	S
70969	2	L
70970	22 78	sL
70971	2	L
70972	2	L
70973	22 7	sL
70974	22 7	sL
70975	2	L
70976	1 72	S
70977	12	sL
70978	2	L
70979	2	L
70980	12	sL
70981	2	L
70982	2	L
70983	2	L
70984	23	sL
70985	2	L
70986	22 7	sL
70987	2	L
70988	1 42	L
70989	2	L
70990	12	sL
70991	12	sL
70992	1 72	S
70993	22 7	sL
70994	22 7	sL

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
70995	2	L
70996	123	sL
70997	23	sL
70998	3	sL
70999	348	sL
71000	234	L
71001	34	L
71002	23	sL
71003	234	L
71004	123	sL
71005	23	sL
71006	23	sL
71007	2 53	sL
71008	238	sL
71009	23	sL
71010	3	sL
71011	2 13	sL
71012	23	sL
71013	3	sL
71014	3	sL
71015	13	IS
71016	3	sL
71017	13	IS
71018	35	L
71019	3	sL
71020	34	L
71021	34	L
71022	23	sL
71023	23	sL
71024	13	IS
71025	23	sL
71026	23	sL
71027	3	sL
71028	3	sL
71029	3	sL
71030	3	sL
71031	3	sL
71032	2 73	sL
71033	3	sL
71034	1 73	SI
71035	35	L
71036	2 13	sL
71037	23	sL
71038	2 53	sL
71039	3	sL
71040	2 13	sL
71041	2 13	sL
71042	3	sL
71043	3	sL
71044	3	sL
71045	34	L
71046	23	sL
71047	23	sL
71048	3	sL
71049	3	sL
71050	2 13	sL
71051	2 13	sL
71052	2 53	sL
71053	3	sL
71054	3	sL
71055	23	sL
71056	3	sL
71057	3	sL
71058	3	sL
71059	3	sL
71060	3	sL
71061	2 53	sL
71062	3	sL
71063	2	L
71064	22 38	sL
71065	23	sL
71066	23	sL
71067	23	sL
71068	22 53	L
71069	2	L
71070	2	L
71071	2	L
71072	2	L
71073	2	L
71074	2	L
71075	2	L
71076	2	L
71077	2	L
71078	2	L
71079	23	sL
71080	23	sL
71081	23	sL
71082	2	L
71083	23	sL
71084	25	LT
71085	22 1	sL
71086	22 5	LT
71087	2	L

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
71088	122 7	S
71089	22 78	SL
71090	122 7	S
71091	11 722 7	S
71092	1 722 78	S
71093	11 722 7	S
71094	22 7	sL
71095	1 722 7	S
71096	1 722 7	S
71097	1 722 7	S
71098	1 722 77	S
71099	22 7	sL
71100	2	L
71101	1 72	S
71102	11 72	SI
71103	22 7	sL
71104	2	L
71105	122 77	S
71106	122 78	S
71107	122 7	S
71108	22 7	sL
71109	122 7	S
71110	22 7	sL
71111	22 78	SL
71112	122 7	S
71113	122 7	S
71114	122 7	S
71115	1 722 7	S
71116	1 722 7	S
71117	1 722 7	S
71118	22 7	sL
71119	11 72	SI
71120	1 72	S
71121	22 7	sL
71122	22 7	sL
71123	1 72	S
71124	1 722 7	S
71125	1 728	S
71126	122 7	S
71127	1 722 7	S
71128	22 7	sL
71129	22 7	sL
71130	1 722 7	S
71131	12	sL
71132	128	sL
71133	2	L
71134	1 428	L
71135	11 72	SI
71136	122 7	S
71137	22 7	sL
71138	1 72	S
71139	1 728	S
71140	1 722 77	S
71141	11 722 7	S
71142	11 722 7	S
71143	1 72	S
71144	1 722 7	S
71145	22 7	sL
71146	122 7	S
71147	1 722 7	S
71148	22 7	sL
71149	1 722 7	S
71150	22 7	sL
71151	22 7	sL
71152	1 422 7	L
71153	1 422 7	L
71154	122 77	S
71155	22 7	sL
71156	22 77	S
71157	122 7	S
71158	22 78	SL
71159	122 78	S
71160	122 78	S
71161	122 7	S
71162	22 77	S
71163	1 722 77	S
71164	122 7	S
71165	22 7	sL
71166	128	sL
71167	22 78	SL
71168	22 7	sL
71169	12	sL
71170	12	sL
71171	2	L
71172	12	sL
71173	1 72	S
71174	22 7	sL
71175	2	L
71176	1 727	SI
71177	1 72	S
71178	122 7	S
71179	22 7	sL
71180	11 72	SI

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
71181	1 722 7	S
71182	22 7	sL
71183	122 77	S
71184	122 7	S
71185	22 7	sL
71186	1 722 7	S
71187	22 7	sL
71188	122 7	S
71189	1 722 7	S
71190	12	sL
71191	2	L
71192	1 72	S
71193	22 7	sL
71194	2	L
71195	1 72	S
71196	11 72	SI
71197	1 722 7	S
71198	122 7	S
71199	122 77	S
71200	1 722 77	S
71201	22 7	sL
71202	22 7	sL
71203	2	L
71204	1 72	S
71205	22 78	SL
71206	1 72	S
71207	122 7	S
71208	22 7	sL
71209	22 7	sL
71210	22 7	sL
71211	22 7	sL
71212	22 7	sL
71213	2	L
71214	127	S
71215	128	sL
71216	122 3	SL
71217	127	S
71218	12	sL
71219	128	sL
71220	1278	sL
71221	1258	sL
71222	11 42	sL
71223	2	L
71224	2	L
71225	12	sL
71226	127	S
71227	12	sL
71228	127	S
71229	127	S
71230	1278	sL
71231	127	S
71232	127	S
71233	12	sL
71234	11 72	SI
71235	1 72	S
71236	122 77	S
71237	22 7	sL
71238	22 7	sL
71239	122 7	S
71240	122 7	S
71241	2	L
71242	12	sL
71243	12	sL
71244	12	sL
71245	12	sL
71246	128	sL
71247	128	sL
71248	127	S
71249	12	sL
71250	12	sL
71251	127	S
71252	12	sL
71253	128	sL
71254	12	sL
71255	258	LT
71256	2	L
71257	2	L
71258	12	sL
71259	1 42	L
71260	1 428	L
71261	2	L
71262	2	L
71263	2	L
71264	2	L
71265	127	S
71266	12	sL
71267	12	sL
71268	2	L
71269	2	L
71270	2	L
71271	12	sL
71272	2	L
71273	2	L

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
71274	12	sL
71275	2	L
71276	12	sL
71277	12	sL
71278	12	sL
71279	22 7	sL
71280	127	IS
71281	12	sL
71282	22 78	SL
71283	128	sL
71284	128	sL
71285	1 728	IS
71286	127	IS
71287	127	IS
71288	12	sL
71289	127	IS
71290	12	sL
71291	127	IS
71292	2	L
71293	12	sL
71294	1 727	SI
71295	1 72	IS
71296	11 72	SI
71297	11 72	SI
71298	22 77	IS
71299	22 7	sL
71300	122 7	IS
71301	122 7	IS
71302	122 7	IS
71303	122 7	IS
71304	122 7	IS
71305	2	L
71306	2	L
71307	22 77	IS
71308	22 7	sL
71309	12	sL
71310	11 72	SI
71311	122 7	IS
71312	1 728	IS
71313	122 7	IS
71314	2	L
71315	2	L
71316	2	L
71317	12	sL
71318	12	sL
71319	2	L
71320	12	sL
71321	25	LT
71322	2	L
71323	1 42	L
71324	2	L
71325	2	L
71326	12	sL
71327	2	L
71328	22 7	sL
71329	23	SL
71330	2	L
71331	2	L
71332	12	sL
71333	12	sL
71334	12	sL
71335	12	sL
71336	2	L
71337	1 722 7	IS
71338	1 72	IS
71339	122 7	IS
71340	22 7	sL
71341	1 72	IS
71342	2	L
71343	2	L
71344	1 72	IS
71345	22 7	sL
71346	2	L
71347	22 53	L
71348	2 53	sL
71349	3	SL
71350	2 534	L
71351	2 13	SL
71352	2 53	sL
71353	3	SL
71354	3	SL
71355	3	SL
71356	2 53	sL
71357	34	L
71358	34	L
71359	234	L
71360	2 53	sL
71361	3	SL
71362	3	SL
71363	2 13	SL
71364	2 53	sL
71365	3	SL
71366	3	SL

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
71367	2_13	SL
71368	2_53	sL
71369	22_53	L
71370	3	SL
71371	3	SL
71372	3	SL
71373	34	L
71374	34	L
71375	3	SL
71376	3	SL
71377	23	SL
71378	3	SL
71379	3	SL
71380	3	SL
71381	23	SL
71382	35	L
71383	2_53	sL
71384	3	SL
71385	3	SL
71386	3	SL
71387	23	SL
71388	23	SL
71389	23	SL
71390	3	SL
71391	23	SL
71392	2_13	SL
71393	3	SL
71394	2_53	sL
71395	3	SL
71396	3	SL
71397	13	IS
71398	3	SL
71399	34	L
71400	3	SL
71401	22_53	L
71402	35	L
71403	34	L
71404	23	SL
71405	23	SL
71406	23	SL
71407	2_53	sL
71408	2_13	SL
71409	23	SL
71410	3	SL
71411	23	SL
71412	3	SL
71413	34	L
71414	23	SL
71415	23	SL
71416	3	SL
71417	23	SL
71418	3	SL
71419	3	SL
71420	13	IS
71421	3	SL
71422	1_73	SI
71423	2_53	sL
71424	23	SL
71425	3	SL
71426	3	SL
71427	34	L
71428	2_735	L
71429	3	SL
71430	35	L
71431	3	SL
71432	34	L
71433	34	L
71434	3	SL
71435	3	SL
71436	23	SL
71437	23	SL
71438	23	SL
71439	35	L
71440	3	SL
71441	3	SL
71442	34	L
71443	23	SL
71444	23	SL
71445	3	SL
71446	23	SL
71447	3	SL
71448	3	SL
71449	1	SI
71450	1	SI
71451	11_77	SI
71452	11_77	SI
71453	12_77	IS
71454	12_77	IS
71455	1	SI
71456	127	IS
71457	1	SI
71458	12	sL
71459	1	SI

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
71460	1	SI
71461	1	SI
71462	12	sL
71463	127	IS
71464	122_7	IS
71465	11_77	SI
71466	11_72	SI
71467	11_77	SI
71468	12_77	IS
71469	122_7	IS
71470	12_7	SI
71471	11_77	SI
71472	1	SI
71473	15	L
71474	1	SI
71475	12	sL
71476	1	SI
71477	1	SI
71478	1	SI
71479	12	sL
71480	11_77	SI
71481	11_72_7	SI
71482	11_7	S
71483	12_7	SI
71484	12_7	SI
71485	1	SI
71486	11_4	sL
71487	1_4	sL
71488	1_4	sL
71489	11_4	sL
71490	1_4	sL
71491	11_42	sL
71492	11_4	sL
71493	1_21_4	sL
71494	1_4	sL
71495	1_2	sL
71496	11_2	IS
71497	11_2	IS
71498	1_2	sL
71499	23	SL
71500	13	IS
71501	13	IS
71502	3	SL
71503	35	L
71504	23	SL
71505	3	SL
71506	237	IS
71507	34	L
71508	23	SL
71509	3	SL
71510	2_53	sL
71511	3	SL
71512	13	IS
71513	23	SL
71514	34	L
71515	3	SL
71516	34	L
71517	2_53	sL
71518	23	SL
71519	3	SL
71520	3	SL
71521	3	SL
71522	2_535	LT
71523	2_55	LT
71524	35	L
71525	5	T
71526	234	L
71527	24	LT
71528	234	L
71529	24	LT
71530	2_5345	LT
71531	234	L
71532	234	L
71533	234	L
71534	22_54	LT
71535	24	LT
71536	34	L
71537	34	L
71538	24	LT
71539	4	LT
71540	2	L
71541	128	sL
71542	128	sL
71543	22_78	SL
71544	8	Mo
71544	8	Mo
71545	2	L
71546	2	L
71547	2	L
71548	2	L
71549	22_78	SL
71550	2	L
71551	1	SI

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
71552	1	SI
71553	1	SI
71554	8	Mo
71554	8	Mo
71555	1_728	IS
71556	1	SI
71557	2	L
71558	8	Mo
71558	8	Mo
71559	8	Mo
71559	8	Mo
71560	8	Mo
71560	8	Mo
71561	8	Mo
71561	8	Mo
71562	8	Mo
71562	8	Mo
71563	8	Mo
71563	8	Mo
71564	8	Mo
71564	8	Mo
71564	8	Mo
71565	128	sL
71566	2	L
71567	1_728	IS
71568	2	L
71569	22_78	SL
71570	128	sL
71571	1	SI
71572	1	SI
71573	1	SI
71574	8	Mo
71574	8	Mo
71575	8	Mo
71575	8	Mo
71575	8	Mo
71576	2_3	SL
71577	2	L
71578	8	Mo
71578	8	Mo
71579	1	SI
71580	2	L
71581	2	L
71582	2	L
71583	2	L
71584	1_4	sL
71585	1	SI
71586	1	SI
71587	1	SI
71588	8	Mo
71588	8	Mo
71589	8	Mo
71589	8	Mo
71590	8	Mo
71590	8	Mo
71591	8	Mo
71591	8	Mo
71592	8	Mo
71592	8	Mo
71593	11_47	sL
71594	11_47	sL
71595	127	IS
71596	127	IS
71597	127	IS
71598	12	sL
71599	127	IS
71600	122_77	IS
71601	12	sL
71602	1	SI
71603	12_77	IS
71604	12_77	IS
71605	1	SI
71606	1	SI
71607	1	SI
71608	11_47	sL
71609	127	IS
71610	127	IS
71611	12	sL
71612	12	sL
71613	122_7	IS
71614	1	SI
71615	1	SI
71616	1	SI
71617	1	SI
71618	1	SI
71619	1	SI
71620	1	SI
71621	11_77	SI
71622	11_72	SI
71623	11_7	S
71624	12_77	IS
71625	12_7	SI
71626	12_7	SI
71627	12_7	SI
71628	11_77	SI

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
71629	1	SI
71630	12	sL
71631	1	SI
71632	11_4	sL
71633	1	SI
71634	12	sL
71635	1	SI
71636	1	SI
71637	1	SI
71638	1	SI
71639	11_7	S
71640	12_7	SI
71641	11_7	S
71642	1	SI
71643	11_422_7	sL
71644	11_41_72	sL
71645	11_41_72_7	S
71646	11_47	sL
71647	11_42	sL
71648	128	sL
71649	12	sL
71650	12	sL
71651	127	S
71652	127	S
71653	12	sL
71654	127	S
71655	12	sL
71656	12	sL
71657	11_7	S
71658	128	sL
71659	1	SI
71660	11_727	S
71661	11_72_7	SI
71662	12	sL
71663	12	sL
71664	1	SI
71665	1	SI
71666	1	SI
71667	1	SI
71668	12_3	sL
71669	1	SI
71670	1	SI
71671	12_7	SI
71672	11_47	sL
71673	11_42	sL
71674	11_4	sL
71675	11_41_7	S
71676	11_42_7	sL
71677	12	sL
71678	128	sL
71679	12	sL
71680	12	sL
71681	12	sL
71682	12	sL
71683	12	sL
71684	12	sL
71685	1	SI
71686	12	sL
71687	12	sL
71688	12	sL
71689	12	sL
71690	127	S
71691	12	sL
71692	12	sL
71693	12	sL
71694	12	sL
71695	122_7	S
71696	11_72	SI
71697	12	sL
71698	1	SI
71699	11_7	S
71700	128	sL
71701	1	SI
71702	1	SI
71703	1	SI
71704	1	SI
71705	1	SI
71706	12	sL
71707	1	SI
71708	1	SI
71709	11_77	SI
71710	11_72	SI
71711	11_7	S
71712	12_77	S
71713	122_7	S
71714	12_7	SI
71715	122_7	S
71716	12_7	SI
71717	11_77	SI
71718	11_7	S
71719	1	SI
71720	1	SI
71721	12_3	sL

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
71722	12	sL
71723	1	SI
71724	1	SI
71725	15	L
71726	12	sL
71727	12	sL
71728	12	sL
71729	12	sL
71730	12	sL
71731	1	SI
71732	12	sL
71733	12	sL
71734	12	sL
71735	12	sL
71736	12	sL
71737	12	sL
71738	1	SI
71739	1	SI
71740	1	SI
71741	1	SI
71742	1	SI
71743	11_7	S
71744	12_7	SI
71745	11_7	S
71746	11_7	S
71747	1	SI
71748	1	SI
71749	127	S
71750	12	sL
71751	125	sL
71752	11_42	sL
71753	12	sL
71754	1	SI
71755	127	S
71756	12	sL
71757	127	S
71758	12	sL
71759	128	sL
71760	127	S
71761	122_77	S
71762	122_7	S
71763	1	SI
71764	11_728	S
71765	12_7	SI
71766	12_77	S
71767	127	S
71768	11_42	sL
71769	12	sL
71770	12	sL
71771	1	SI
71772	1	SI
71773	1	SI
71774	12_3	sL
71775	12_38	sL
71776	12	sL
71777	1	SI
71778	1	SI
71779	12	sL
71780	12	sL
71781	1	SI
71782	12	sL
71783	12	sL
71784	12	sL
71785	12	sL
71786	12	sL
71787	12	sL
71788	12	sL
71789	12	sL
71790	122_3	sL
71791	128	sL
71792	12	sL
71793	12	sL
71794	1	SI
71795	127	S
71796	128	sL
71797	127	S
71798	12	sL
71799	12	sL
71800	12	sL
71801	128	sL
71802	127	S
71803	12	sL
71804	12	sL
71805	128	sL
71806	12	sL
71807	12	sL
71808	1	SI
71809	1	SI
71810	1	SI
71811	1	SI
71812	1	SI
71813	1	SI
71814	1	SI

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
71815	1	SI
71816	1	SI
71817	12_7	SI
71818	12	sL
71819	1	SI
71820	1	SI
71821	12	sL
71822	1	SI
71823	1	SI
71824	15	L
71825	12	sL
71826	12	sL
71827	12	sL
71828	12_3	sL
71829	1	SI
71830	12	sL
71831	12	sL
71832	122_7	IS
71833	12	sL
71834	1	SI
71835	1	SI
71836	1	SI
71837	1	SI
71838	1	SI
71839	12_7	SI
71840	11_7	S
71841	1	SI
71842	12	sL
71843	127	IS
71844	1	SI
71845	12	sL
71846	1	SI
71847	1	SI
71848	12_3	sL
71849	12	sL
71850	127	IS
71851	12	sL
71852	128	sL
71853	12	sL
71854	12	sL
71855	122_3	sL
71856	128	sL
71857	128	sL
71858	12_3	sL
71859	12_38	sL
71860	122_3	sL
71861	1	SI
71862	127	IS
71863	12	sL
71864	128	sL
71865	127	IS
71866	12	sL
71867	12	sL
71868	12	sL
71869	122_7	IS
71870	128	sL
71871	1	SI
71872	1	SI
71873	1	SI
71874	1	SI
71875	1	SI
71876	1	SI
71877	1	SI
71878	11_77	SI
71879	11_72	SI
71880	12_77	IS
71881	12_7	SI
71882	12_7	SI
71883	1	SI
71884	1	SI
71885	1	SI
71886	12	sL
71887	1	SI
71888	15	L
71889	12	sL
71890	12	sL
71891	12	sL
71892	12	sL
71893	12	sL
71894	1	SI
71895	12	sL
71896	12	sL
71897	1	SI
71898	1	SI
71899	1	SI
71900	1	SI
71901	11_7	S
71902	12_7	SI
71903	1	SI
71904	1	SI
71905	1238	sL
71906	128	sL
71907	123	sL

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
71908	123	sL
71909	1	SI
71910	1	SI
71911	1	SI
71912	12	sL
71913	12	sL
71914	13	S
71915	13	S
71916	12 5	L
71917	1	SI
71918	1 727	SI
71919	2	L
71920	127	S
71921	2	L
71922	127	S
71923	127	S
71924	127	S
71925	1 727	SI
71926	2	L
71927	12	sL
71928	1 722 7	S
71929	1 72	S
71930	122 7	S
71931	22 7	sL
71932	2	L
71933	1 722 7	S
71934	11 72	SI
71935	1 72	S
71936	1 728	S
71937	11 72	SI
71938	1 722 7	S
71939	1 722 7	S
71940	11 722 7	S
71941	1 722 77	S
71942	1 41 722 7	S
71943	11 722 7	S
71944	1 722 7	S
71945	1 722 7	S
71946	1 722 78	S
71947	11 722 7	S
71948	1 722 7	S
71949	11 72 77	SI
71950	11 722 7	S
71951	11 722 7	S
71952	11 722 7	S
71953	11 72 7	SI
71954	11 722 7	S
71955	1 722 7	S
71956	1 722 7	S
71957	11 72	SI
71958	1 722 7	S
71959	1 72	S
71960	11 72	SI
71961	1 72	S
71962	1 722 7	S
71963	1 722 7	S
71964	11 72 77	SI
71965	11 722 7	S
71966	11 722 7	S
71967	11 722 7	S
71968	11 72 7	SI
71969	1 722 7	S
71970	1 72	S
71971	1 728	S
71972	1 728	S
71973	1 722 7	S
71974	1 41 72	sL
71975	1 41 728	sL
71976	11 72 7	SI
71977	1 41 722 7	S
71978	1 722 7	S
71979	11 722 7	S
71980	1 722 7	S
71981	11 72	SI
71982	11 41 7	S
71983	1 727	SI
71984	11 72	SI
71985	1 72	S
71986	1 722 7	S
71987	1 72	S
71988	1 722 7	S
71989	1 72	S
71990	11 72	SI
71991	11 72	SI
71992	11 72	SI
71993	1 72	S
71994	1 41 72	sL
71995	1 72	S
71996	1 722 7	S
71997	11 72 77	SI
71998	11 722 7	S
71999	11 722 7	S
72000	1 72 7	SI

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
72001	1 41 72 7	S
72002	1 722 7	S
72003	11 7	S
72004	11 727	S
72005	11 722 7	S
72006	11 72	SI
72007	1 7	S
72008	1 72	S
72009	1 72	S
72010	11 72	SI
72011	1 722 7	S
72012	11 72	SI
72013	1 72	S
72014	1 722 7	S
72015	1 72	S
72016	1 72 7	SI
72017	1 72 77	SI
72018	1 722 7	S
72019	1 722 7	S
72020	1 72 7	SI
72021	11 77	SI
72022	11 7	S
72023	11 727	S
72024	11 727	S
72025	11 72	SI
72026	11 77	SI
72027	1 727	SI
72028	11 73	S
72029	1 727	SI
72030	1 727	SI
72031	1 72	S
72032	1 727	SI
72033	11 72	SI
72034	11 722 7	S
72035	1 72	S
72036	11 77	SI
72037	11 7	S
72038	11 77	SI
72039	11 77	SI
72040	11 7	S
72041	11 7	S
72042	11 7	S
72043	11 7	S
72044	1 7	S
72045	1 72	S
72046	1 72	S
72047	11 72	SI
72048	1 72	S
72049	1 722 7	S
72050	11 7	S
72051	1 72	S
72052	11 7	S
72053	11 7	S
72054	11 7	S
72055	11 7	S
72056	1 7	S
72057	11 7	S
72058	1 72	S
72059	1 7	S
72060	11 72 7	SI
72061	122 7	S
72062	11 722 7	S
72063	1 722 7	S
72064	22 7	sL
72065	1 722 7	S
72066	11 722 7	S
72067	122 7	S
72068	122 7	S
72069	122 7	S
72070	22 7	sL
72071	1 722 7	S
72072	122 7	S
72073	22 77	S
72074	22 7	sL
72075	22 7	sL
72076	22 78	SL
72077	22 78	SL
72078	1 722 7	S
72079	22 7	sL
72080	22 77	S
72081	22 7	sL
72082	122 7	S
72083	22 7	sL
72084	2 7	sL
72085	22 7	sL
72086	22 7	sL
72087	1 722 7	S
72088	122 7	S
72089	22 77	S
72090	1 722 77	S
72091	22 7	sL
72092	122 7	S
72093	1 722 7	S

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
72094	122 7	IS
72095	1 722 7	IS
72096	22 77	IS
72097	22 7	sL
72098	1 722 7	IS
72099	1 722 7	IS
72100	1 722 7	IS
72101	1 722 7	IS
72102	22 78	SL
72103	22 7	sL
72104	22 78	SL
72105	22 7	sL
72106	11 722 7	IS
72107	1 72 77	SI
72108	22 7	sL
72109	122 7	IS
72110	22 77	IS
72111	122 7	IS
72112	1 722 77	IS
72113	22 7	sL
72114	22 7	sL
72115	11 72 7	SI
72116	1 72 77	SI
72117	1 722 7	IS
72118	1 722 7	IS
72119	1 722 7	IS
72120	1 722 7	IS
72121	11 72 7	SI
72122	1 722 7	IS
72123	1 722 7	IS
72124	1 72 77	SI
72125	1 722 7	IS
72126	1 722 7	IS
72127	1 72 77	SI
72128	1 722 7	IS
72129	22 7	sL
72130	1 72 7	SI
72131	22 77	IS
72132	22 77	IS
72133	122 77	IS
72134	122 77	IS
72135	122 77	IS
72136	1 722 77	IS
72137	22 77	IS
72138	22 7	sL
72139	12 77	IS
72140	12 77	IS
72141	1 72 7	SI
72142	1 722 7	IS
72143	122 7	IS
72144	12 7	SI
72145	22 77	IS
72146	122 7	IS
72147	12 7	SI
72148	1 42 7	sL
72149	22 7	sL
72150	12 77	IS
72151	22 7	sL
72152	22 77	IS
72153	122 7	IS
72154	122 7	IS
72155	22 7	sL
72156	22 7	sL
72157	22 77	IS
72158	122 7	IS
72159	122 7	IS
72160	122 7	IS
72161	12 77	IS
72162	12 77	IS
72163	12 77	IS
72164	12 7	SI
72165	12 7	SI
72166	12 77	IS
72167	12 77	IS
72168	22 77	IS
72169	122 7	IS
72170	1 72 77	SI
72171	11 72 7	SI
72172	122 7	IS
72173	1 72 7	SI
72174	22 77	IS
72175	22 7	sL
72176	122 7	IS
72177	12 7	SI
72178	2 7	sL
72179	22 7	sL
72180	2 7	sL
72181	12 7	SI
72182	22 7	sL
72183	1 42 7	sL
72184	22 7	sL
72185	22 7	sL
72186	22 7	sL

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
72187	12 7	SI
72188	12 7	SI
72189	12 7	SI
72190	12 7	SI
72191	12 7	SI
72192	1 72 77	SI
72193	1 72 7	SI
72194	22 7	sL
72195	22 7	sL
72196	1 72 7	SI
72197	2 7	sL
72198	34	L
72199	2 13	sL
72200	2 13	sL
72201	2 13	sL
72202	3	sL
72203	2 13	sL
72204	3	sL
72205	3	sL
72206	3	sL
72207	34	L
72208	34	L
72209	3	sL
72210	3	sL
72211	2 13	sL
72212	3	sL
72213	3	sL
72214	2 53	sL
72215	2 53	sL
72216	3	sL
72217	23	sL
72218	23	sL
72219	3	sL
72220	3	sL
72221	2 13	sL
72222	2 53	sL
72223	3	sL
72224	3	sL
72225	3	sL
72226	3	sL
72227	128	sL
72228	1	SI
72229	12	sL
72230	1	SI
72231	1	SI
72232	1	SI
72233	1	SI
72234	1	SI
72235	1	SI
72236	1	SI
72237	1	SI
72238	1	SI
72239	11 77	SI
72240	11 72 77	SI
72241	1 735	IS
72242	11 77	SI
72243	11 77	SI
72244	1 72 77	SI
72245	1 7	S
72246	11 7	S
72247	1 75	sL
72248	1 73	SI
72249	1 72	IS
72250	1 72	IS
72251	11 7	S
72252	11 7	S
72253	1 72 7	SI
72254	1 7	S
72255	1 7	S
72256	2 7	sL
72257	1 734	IS
72258	1 72	IS
72259	1 7	S
72260	1 75	sL
72261	1 73	SI
72262	1 73	SI
72263	1 73	SI
72264	1 7	S
72265	1 7	S
72266	2 7	sL
72267	5	T
72268	5	T
72269	2 55	LT
72270	1 422 5	L
72271	2 5	LT
72272	2 55	LT
72273	22 5	LT
72274	2 5	LT
72275	2 5	LT
72276	235	L
72277	23	sL
72278	22 5	LT
72279	2	L

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
72280	2 55	LT
72281	2 5	LT
72282	12	sL
72283	1	SI
72284	12	sL
72285	12	sL
72286	1	SI
72287	23	sL
72288	22 5	LT
72289	2	L
72290	2	L
72291	2	L
72292	2	L
72293	23	sL
72294	23	sL
72295	23	sL
72296	23	sL
72297	2	L
72298	2	L
72299	22 5	LT
72300	23	sL
72301	2	L
72302	3	sL
72303	3	sL
72304	3	sL
72305	3	sL
72306	3	sL
72307	3	sL
300001	22 434 5	L
300002	22 44 5	LT
300003	1 42 445	L
300004	2 42 5	LT
300005	2 32 44 35	L
300006	24 2	LT
300007	24 55 4	LT
300008	1 422 4	L
300009	22 12 32 7	S
300010	22 42 77	L
300011	2 444 77	sL
300012	11 72 1	SI
300013	22 7	sL
300014	4 25	LT
300015	2 444 55 4	LT
300016	22 12 4	sL
300017	22 12 4	sL
300018	24 2	LT
300019	2 444 7	L
300020	11 21 722 1	IS
300021	11 222 1	IS
300022	1 21 7	S
300023	1 222 12 4	sL
300024	1 42 12 32 42 7	sL
300025	22 4	L
300572	22 12 42 7	S
300573	2 544 5	LT
300574	22 4	L
300575	22 4	L
300576	24 24 3	L
300579	1 22 1	sL
300580	22 333 2	sL
310026	22 1	sL
310027	24 3	L
310028	24 2	LT
310029	1	SI
310032	2	L
310033	1	SI
310034	1	SI
310035	1	SI
310037	2 12 3	sL
310038	3	sL
310040	12 1	IS
310043	1	SI
310045	1	SI
310048	11 2	IS
310049	2	L
310050	44 1	LT
310051	8 7	Mo
310052	1	SI
320053	22 13	sL
320054	22 34 2	sL
320055	1	SI
320056	1	SI
320057	1	SI
320058	1	SI
320059	11 22	IS
320061	22 3	sL
320062	2 32 4	L
320063	2	L
320065	3	sL
320066	13	IS
320067	33 2	sL
320068	13	IS
320069	23 2	sL

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
320070	22 73	sL
320071	2 3	sL
320072	22 3	sL
320075	34 3	L
320076	12	sL
320077	122 3	sL
320078	13	IS
320079	12 1	IS
320080	1	SI
320081	1	SI
320082	11 2	IS
320083	2 3	sL
320084	33 48	L
330084	2	L
330085	34	L
330086	248	LT
330087	3	sL
330088	122 4	L
330089	2	L
330090	12	sL
330091	23	sL
330093	4	LT
330094	2	L
330095	128	sL
330096	23	sL
330097	22 1	sL
330098	3 4	L
330099	1	SI
330100	2	L
330101	3	sL
330102	4	LT
330103	3	sL
330104	23	sL
330105	4	LT
330106	22 7	sL
330107	1	SI
330108	1	SI
330109	2 74	L
330110	2 744 5	L
330111	2 74	L
330112	2 74	L
330113	22 7	sL
330114	22 7	sL
330115	1 74	IS
330116	2 7	sL
330117	1 7	S
330118	11 7	S
330119	1	SI
330120	2	L
330121	11 7	S
330122	11 2	IS
330123	11 2	IS
330124	12	sL
330125	12	sL
330126	11 2	IS
330127	11 222 7	IS
330128	1	SI
330129	1 2	sL
330130	2	L
330131	22 7	sL
330132	2	L
330133	3	sL
330134	33 74	sL
330135	22 4	L
330136	2 73	sL
330137	33 7	sL
330138	44 7	L
330139	34	L
330140	124	sL
330141	12	sL
330142	33 7	sL
330143	33 7	sL
330144	22 7	sL
330145	22 7	sL
330146	33 7	sL
330147	22 4	L
330148	22 4	L
330149	33 7	sL
330150	22 4	L
330151	2 44	LT
330152	2 44	LT
330153	33 43 7	sL
330154	3 7	sL
330155	2	L
330156	3	sL
330157	1 7	S
330158	12	sL
330159	22 7	sL
330160	1 72	IS
330162	2	L
330163	22 7	sL
330164	22 7	sL
330165	2	L

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
330166	2	L
330167	44 5	LT
330168	4	LT
330169	22 4	L
330170	3	SL
330171	4	LT
330172	5	T
330173	45	T
330174	14	sL
330175	1	SI
330176	33 4	SL
330177	3 444 5	LT
330178	2	L
330179	124	sL
330180	3	SL
330181	1	SI
330182	33 7	SL
330183	2	L
330184	1 22 43	SL
330185	3	SL
330186	2 433 4	L
330187	11 2	S
330188	2 434	L
330189	12 42 7	sL
330190	22 4	L
330191	1 722 7	S
330192	22 7	sL
330193	22 4	L
330194	12 44	L
330195	2 444 2	L
330607	22 733 4	L
330608	2 44	LT
330609	3 44	LT
330610	33 7	SL
330611	33 4	SL
330612	3	SL
330613	1 222 4	L
330614	11 72	SI
330615	2	L
330616	2	L
330617	23	SL
330618	22 7	sL
330619	11 7	S
330620	11 7	S
330621	22 42 7	L
330622	11 22	S
330623	11 72	SI
330624	11 2	S
330625	2	L
330626	1	SI
330628	2	L
330629	2	L
330630	22 7	sL
330631	22 7	sL
330632	1 72	S
330633	22 7	sL
330634	22 42 7	L
330635	1	SI
330636	2	L
330637	2	L
330638	22 7	sL
330639	1	SI
330640	11 72 4	S
330641	11 72	SI
330642	22 7	sL
330643	34	L
330644	22 42 7	L
330645	33 7	SL
330646	3	SL
330647	2 44 5	LT
330648	2 444 5	LT
330649	23	SL
330650	2 444 5	LT
330651	2 44	LT
330652	4	LT
330653	4	LT
330654	2 74	L
330655	4	LT
330656	44 7	L
330657	2 74	L
330658	2 744 5	L
330659	3	SL
330660	22 4	L
330661	14	sL
330662	2	L
330663	2 444 7	L
330664	22 7	sL
330665	244 7	L
330666	44 7	L
330667	22 7	sL
330668	2	L
330669	22 4	L
330670	22 7	sL

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
330671	4	LT
330672	4	LT
330673	2 444 2	L
330674	22 4	L
330675	22 4	L
330676	22 4	L
330677	22 7	sL
330678	234 7	L
330679	23 44	SL
330681	122 73	SL
330682	2	L
330683	34 5	L
330684	33 44	L
330685	3	SL
330686	34 5	L
330688	11 23	SL
330689	3	SL
330690	2 4	L
330691	1 22	sL
330692	1 42	L
330693	1 422 4	L
330695	23	SL
330696	23	SL
330697	1 22 7	S
330698	11 21 7	SI
330699	1 22	sL
330700	2	L
330701	2 43	L
330702	2	L
330703	2	L
330704	33 4	SL
330705	2 42 7	L
330706	2	L
330707	3	SL
330708	22 4	L
330709	1 22	sL
330710	23	SL
330711	1 22 43 4	L
330712	22 4	L
330714	33 4	SL
330715	1 22	sL
330717	33 4	SL
330718	1 2	sL
330719	2	L
330720	22 42 7	L
330721	33 4	SL
330722	22 4	L
330723	12	sL
330724	34	L
330725	2	L
330726	33 5	L
330727	2	L
330728	22 44	LT
330729	22 44	LT
330730	22 44	LT
330731	34	L
330732	2	L
330733	2 4	L
330734	12	sL
330735	22 4	L
330736	22 4	L
330737	11 7	S
330738	1	SI
330739	11 21 7	SI
330740	1	SI
330741	1 22 4	L
330742	12	sL
330743	11 7	S
330744	11 72	SI
330745	11 72	SI
330746	11 72	SI
330747	12	sL
330748	2	L
330749	11 7	S
330750	1	SI
330751	1	SI
330752	1 4	sL
330754	2 4	L
330755	22 4	L
330757	4	LT
330758	8	Mo
330758	8	Mo
330759	8	Mo
330759	8	Mo
330760	24	LT
330761	4	LT
330762	11 72	SI
330763	1 72	S
330765	1	SI
330766	2 4	L
330767	1 72 4	S
330769	2 4	L
330770	2	L

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
330771	2 4	L
330772	2 73	SL
330773	2 42 7	SL
331322	2	L
336192	11 7	S
336302	22 7	sL
336862	34 5	L
337032	2	L
337122	22 4	L
337242	34	L
337262	33 5	L
337582	8	Mo
337582	8	Mo
337583	11 77	SI
337584	11 77	SI
337585	2 444 5	LT
337587	34 5	L
337588	23	SL
337589	2 32 42 7	sL
340196	2	L
340197	22 13	SL
340198	22 7	sL
340201	22 7	sL
340202	1 7	S
340203	1	SI
340204	1	SI
340205	22 7	sL
340206	2	L
340207	23	SL
340208	4	LT
340209	24	LT
340210	4 54 7	LT
340211	4	LT
340212	3	SL
340213	44 5	LT
340214	22 73	SL
340215	2	L
340216	2	L
340217	2	L
340218	2	L
340219	2	L
340220	22 34 3	SL
340222	11 77	SI
340225	22 7	sL
340226	22 7	sL
340227	2	L
340228	33 7	SL
340229	2	L
340230	22 74	L
340231	24 2	LT
340232	24	LT
340233	22 74	L
340234	4	LT
340235	4	LT
340236	33 7	SL
340237	33 7	SL
340238	22 7	sL
340239	2	L
340240	2 7	sL
340241	3	SL
340245	22 4	L
340246	22 4	L
340247	22 42 7	L
340249	22 4	L
340250	22 7	sL
340251	11 31 4	sL
340252	22 4	L
340254	2	L
340255	1 4	sL
340256	1 4	sL
340257	8 7	Mo
340580	2	L
340581	2	L
340582	4	LT
340583	4	LT
340584	2	L
340585	22 7	sL
340586	2	L
340587	11 7	S
340588	22 7	sL
340589	2	L
340590	2	L
340591	2	L
340592	2	L
340593	2	L
340594	22 7	sL
340595	1 722 7	IS
340596	1 7	S
342211	1 722 42 77	IS
342212	1 722 42 77	IS
342213	1 722 42 77	IS
360001	33 44	L
360002	33 7	SL

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
360003	33 74 3	SL
360004	122 34 2	L
360005	4	LT
360006	33 4	SL
360007	3 44	LT
360008	33 44	L
360009	3	SL
360010	34	L
360011	3	SL
360012	3	SL
360013	3	SL
360014	33 7	SL
360015	33 7	SL
360016	44 75	LT
360017	34	L
360018	3	SL
360019	144 5	LT
360020	44 5	LT
360021	33 7	SL
360022	23	SL
360023	3	SL
360024	34	L
360025	3	SL
360026	34 54 7	LT
360027	344 5	L
360028	44 7	L
360029	1238	sL
360030	44 55	T
360031	458	T
360032	44 75	LT
360033	44 55	T
360034	45	T
360035	34	L
360036	13	IS
360037	4	LT
360038	34	L
360039	3	SL
360040	3	SL
360041	13	IS
360042	33 7	SL
360043	4	LT
360044	344 5	L
360045	23	SL
360046	3	SL
360047	4	LT
360048	34	L
360049	34	L
360050	33 444 5	LT
360051	33 7	SL
360052	2 333 4	SL
360053	33 4	SL
360054	3 444 5	LT
360055	3 444 5	LT
360056	33 4	SL
360057	33 44	L
360058	33 4	SL
360059	33 44	L
360060	33 444 3	L
360061	4	LT
360062	4	LT
360063	233 4	L
360064	12	sL
360065	123	sL
360066	2	L
360067	12	sL
360068	12	sL
360069	4 54 75	LT
360070	44 54 75	LT
360071	5	T
360072	55 7	T
360073	23	SL
390258	23 1	IS
390259	23	SL
390260	12	sL
390261	23 2	SL
390262	14	sL
390263	34	L
390264	34	L
390265	12	sL
390266	2	L
390267	22 7	sL
390268	23	SL
390269	2	L
390270	22 7	sL
390271	2	L
390272	23 2	SL
390273	23	SL
390274	24	LT
390275	24 2	LT
390276	12	sL
390277	23	SL
390278	12	sL
390279	11 72	SI

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
390280	11 24	sL
390281	14	sL
390282	11 7	S
390283	2	L
390284	1	SI
390286	12	sL
390287	22 7	sL
390288	34	L
390289	24	LT
390290	344 7	L
390291	24	LT
390292	4	LT
390293	22 34	SL
390294	11 7	S
390295	3	Mo
390295	3	Mo
390296	2	L
390297	23	SL
390298	23	SL
390299	12	sL
400001	22 4	L
400002	1 72	IS
400003	22 74	L
400004	24	LT
400005	24	LT
400006	22 7	sL
400007	22 44	LT
400008	2 733 4	L
400009	22 4	L
400010	2 444 7	L
400011	22 44	LT
400012	244 5	LT
400013	22 52 7	L
400014	12	sL
400015	22 44	LT
400016	3	SL
400017	34	L
400018	3	SL
400019	345	LT
400020	3	SL
400021	3	SL
400022	34	L
400023	3	SL
400024	123	sL
400025	12	sL
400026	34	L
400027	3	SL
400028	3	SL
400029	3	SL
400030	34	L
400031	3	SL
400032	2 43 4	L
400033	44 77	L
400034	33 44 7	SL
400035	14	sL
400036	34	L
400037	24	LT
400038	4	LT
400039	24	LT
400040	3	SL
400041	2	L
400042	13	IS
400043	45	T
400044	23	SL
400045	34	L
400046	3 44	LT
400047	33 44	L
400048	4 55	T
400049	1 7	S
400050	34	L
400051	1	SI
400052	34	L
400053	34	L
400054	34	L
400055	34	L
400056	34	L
400057	3	SL
400058	3	SL
400059	2 4	L
400060	3 44	LT
400061	3 44	LT
400062	4	LT
400063	4	LT
400064	22 4	L
400065	55 7	T
400066	2 4	L
400067	22 4	L
400068	22 4	L
400069	2 4	L
400070	2 42 54	LT
400071	22 4	L
400072	2 544 5	LT
400073	2 4	L

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
400074	33 4	SL
400075	22 4	L
400076	22 4	L
400077	22 4	L
400078	22 4	L
400079	2 4	L
400080	2 44	LT
400081	2 73 4	sL
400082	2 444 5	LT
400083	2 445	LT
400084	22 4	L
400085	2 43 44	LT
400086	233 4	L
400087	33 44	L
400088	3	SL
400089	2 73	SL
400090	4	LT
400091	1 72	IS
400092	1 72	IS
400093	11 22	IS
400094	4	LT
400095	233 4	L
400096	1	SI
400097	22 44	LT
400098	22 4	L
400099	24	LT
400100	344 5	L
400101	344 5	L
400102	2	L
400103	1 722 77	IS
400104	34 5	L
400105	25	LT
400106	2 54 5	LT
400107	45	T
410001	1 21 3	SL
410002	22 3	SL
410003	2 33	SL
410004	33 2	SL
410005	34	L
410006	1 32 33	SL
410007	22 38	SL
410008	1 22	sL
410009	22 1	sL
410010	23	SL
410011	1 22	sL
410012	11 7	S
410013	13	IS
410014	22 1	sL
410015	12	sL
410016	1	SI
410017	1	SI
410018	12	sL
410019	11 7	S
410020	2	L
410021	2	L
410022	238	SL
410023	11 7	S
430001	1 222 33 4	L
430002	23 2	SL
430003	2 74 7	sL
430004	22 3	SL
430005	2	L
430006	22 73 4	sL
430007	2 73 44 7	sL
430008	2 7	sL
430009	1 72	IS
430010	2	L
430011	3	SL
430012	122 3	SL
430013	22 333 4	SL
430014	22 333 2	SL
430015	3	Mo
430015	3	Mo
430016	3 4	L
430017	2 32 73 4	L
430018	1 222 3	sL
430019	22 3	SL
430020	22 3	SL
430021	22 73	SL
430022	2 32 733 4	SL
430023	7	S
450001	3	Mo
450001	3	Mo
450002	2	L
450004	1	SI
450005	12	sL
450006	11 2	IS
450007	12	sL
450008	11 2	IS
450009	11 72	SI
450010	12	sL
450011	11 2	IS
450012	11 2	IS

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
450014	1	SI
450015	1	SI
450016	1	SI
450017	11_28	IS
460001	138	SL
460002	123	sL
460003	12	sL
460004	122_738	SL
460005	128	sL
460006	128	sL
460007	128	sL
460008	123	sL
460009	128	sL
460010	128	sL
460011	122_78	IS
460012	122_73	SL
460013	122_78	IS
460014	122_78_7	IS
460015	122_78_7	IS
460016	122_78_7	IS
460017	128_7	IS
460018	122_78_7	IS
460019	122_78_7	IS
460020	122_78_7	IS
460021	122_78_7	IS
460022	122_78_7	IS
460023	122_78_7	IS
460024	122_78_7	IS
460025	122_78_7	IS
460026	122_78_7	IS
460027	122_78_7	IS
460028	122_78_7	IS
460029	122_78_7	IS
460030	122_78_7	IS
460031	122_78_7	IS
460032	122_78_7	IS
460033	122_78_7	IS
460034	122_78_7	IS
460035	122_78_7	IS
460036	122_78_7	IS
460037	122_78_7	IS
460038	122_78_7	IS
460039	122_78_7	IS
460040	122_78_7	IS
460041	122_78_7	IS
460042	122_78_7	IS
460043	128_7	IS
460044	122_78_7	IS
460045	122_78_7	IS
460046	122_78_7	IS
460047	122_78_7	IS
460048	122_78_7	IS
460049	122_78_7	IS
460050	122_778_7	IS
460051	128_7	IS
460052	122_778_7	IS
460053	122_78_7	IS
460054	122_78_7	IS
460055	122_78_7	IS
460056	122_78_7	IS
460057	122_78_7	IS
460058	122_78_7	IS
460059	122_78_7	IS
460060	122_778_7	IS
460061	122_78_7	IS
460062	2	L
460063	7	S
470001	11_77	SI
470002	1_3	IS
470003	12_18	sL
470004	1	SI
470005	1_3	IS
470006	1	SI
470007	1	SI
470008	11_77	SI
470009	12_1	IS
470010	12_1	IS
470011	11_37	IS
470012	122_17	IS
470013	1_3	IS
470014	11_37	IS
470015	11_77	SI
470016	12_13	IS
470017	1_33	SL
470018	11_72_18	SI
470019	11_78	IS
470020	11_78	IS
470021	122_13	SL
470022	123	sL
470023	1_32	IS
470024	1_3	IS
470025	1	SI
470026	11_778	IS

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
470027	122_17	IS
470028	11_77	SI
470029	1	SI
470030	128	sL
470031	1	SI
470032	11_78	IS
470033	122_1	sL
470034	122_18	sL
470035	1	SI
470036	11_78	IS
470038	2	L
470039	12_13	IS
470040	1_322_13	SL
470041	11_33	SL
470042	122_13	SL
470043	1_337	SL
480001	11_34	sL
480002	2_13_44	sL
480003	3_144_1	sL
480004	11_222_4	sL
480005	13_24_1	sL
480006	11_43_14_1	sL
480007	11_31_4	sL
480008	11_72	SI
480010	1	SI
480011	12_12_44_1	sL
480012	11_21_32_4	sL
480013	1344_2	L
480014	13_13_244_2	SL
480015	12_434	L
480016	11_31_72	IS
480017	33_1	IS
480018	22_12_4	sL
480019	2_44	LT
480020	11_31_722_4	sL
480021	11_322_43_2	sL
480022	1_322_43_24	SL
480023	12_12_4	sL
480024	33_4	SL
480025	122_44_2	L
480026	23_14	sL
480027	11_22_4	sL
480028	11_22_4	sL
480029	12_4	sL
480030	12_43_2	sL
480031	2_433_13_4	L
480032	11_22_44	sL
480033	11_22_43_14_2	sL
480034	12_433_13_4	SL
480035	12_44_2	L
480036	2_433_13_4	L
480037	11_32_4	sL
480038	11_21_4	sL
480039	11_21_42_4	L
480040	12_12_4	sL
480041	12_43_2	sL
480042	12_43_2	sL
480043	11_21_4	sL
480044	11_4	sL
480045	11_22_4	sL
480046	11_22_4	sL
480047	11_21_4	sL
480048	1	SI
480049	11_78	IS
480050	3_144_24_3	L
480051	3_144_1	sL
490001	1	SI
490002	2	L
490003	2	L
490004	2	L
490005	2	L
490006	1_228	sL
490007	12	sL
490008	12	sL
490009	12	sL
490010	2	L
490011	2_1	sL
490012	12_1	IS
490013	1	SI
490014	1	SI
490015	1_22_33_23_4	SL
490016	11_22	IS
490017	12	sL
490018	2	L
490019	12	sL
490020	11_22	IS
490021	11_2	IS
490022	11_22	IS
490023	11_22	IS
490024	11_22	IS
490025	1	SI
490026	11_2	IS
490027	1	SI

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
490028	1	SI
490029	2_433_2	L
490030	3	SL
490031	33_2	SL
490032	33_2	SL
490033	33_2	SL
490034	3_2	sL
490035	23_2	SL
490036	2	L
490037	123_13_2	SL
490038	33_2	SL
490039	23_2	SL
490040	33_74_3	SL
490041	33_74_3	SL
490042	44_5	LT
490043	22_33_44_3	L
490044	22_7	sL
490045	22_7	sL
490046	3	SL
490047	11_7	IS
490048	33_74	SL
490049	33_74	SL
490050	22_7	sL
490051	22_3	SL
490052	2_13_2	sL
490053	11_72	SI
490054	2	L
490055	22_73	SL
490056	22_735_4	L
490057	22_73_7	SL
490058	2_7	sL
490060	1	SI
490062	2	L
490063	11_2	IS
490064	1	SI
490065	1_2	sL
490066	2_12_3	sL
490067	12_1	IS
490068	2	L
490069	3	SL
490070	33_2	SL
490071	1	SI
490072	22_1	sL
490073	2_32_733_23_7	SL
490074	2	L
490075	22_32_4	L
490076	1	SI
490077	1_22	sL
490078	33_74_3	SL
490079	44_7	L
490080	22_18	sL
490082	2_33_44_24_3	L
490083	2	L
490084	2_33_44_2	L
490085	2	L
490086	22_3	SL
490087	1_21_722_3	SL
490088	11_21_722_3	IS
490089	122_18	sL
490090	24	LT
490091	122_3	SL
490092	22_3	SL
490093	1	SI
490094	11_2	IS
490095	22_32_43_14	L
490096	11_21_4	sL
490097	2	L
490098	11_22	IS
490099	122_4	L
490100	3_144_1	sL
490101	13_144_1	SL
490102	244_1	sL
490103	2	L
490104	11_222_1	IS
3510370	24	LT
3510371	11_4	sL
3510372	1	SI
3510375	1_72_17	SI
3510376	2_44	LT
3510377	2_44	LT
3510378	4	LT
3510379	11_42_4	sL
3510381	11_21_77	SI
3510383	11_77	SI
3510384	11_21_77	SI
3510385	1	SI
3510386	1	SI
3510387	122_12_77	IS
3510388	122_7	IS
3510389	11_424_57	L
3510390	122_44	L
3510391	22_44	LT
3510392	1_422_42_7	L

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
3510393	1 422 42 7	L
3510394	11 21 422 4	sL
3510395	22 77	IS
3510396	22 77	IS
3510397	122 42 7	L
3510398	22 444 57	LT
3510400	11 21 422 44	sL
3510401	1 222 42 7	sL
3510402	11 21 4	sL
3510403	11 21 422 44	sL
3510404	11 48	sL
3510405	11 48	sL
3510406	11 21 42 4	L
3520408	2	L
3520409	1	SI
3520415	4	LT
3520416	2	L
3520417	4	LT
3520571	23	sL
3530419	3	sL
3530420	2 4	L
3530421	2 3	sL
3530422	2 3	sL
3530423	2 3	sL
3530424	238	sL
3530425	2	L
3530426	22 38	sL
3530427	2	L
3530428	1 728	IS
3530429	72 7	SI
3530430	1 7	S
3530431	2	L
3530432	2	L
3530433	2	L
3530434	2	L
3530435	3	sL
3530436	2	L
3530437	1	SI
3530438	1	SI
3530439	2	L
3530440	2	L
3530441	1	SI
3530442	2	L
3530443	2 43 4	L
3530444	11 228	sL
3530445	1 7	S
3530446	2	L
3530447	128	sL
3530448	8	Mo
3530448	8	Mo
3530449	1	SI
3530450	2	L
3530451	11 72	SI
3550001	22 12 77	IS
3550002	2 7	sL
3550003	1 7	S
3550004	2 7	sL
3550005	2 7	sL
3550006	22 37	IS
3550007	2 7	sL
3550008	1 22 12 42 73 77	sL
3550009	1 72 73 447	IS
3550010	2 7	sL
3550011	12 32 433 4	L
3550012	3 4	L
3550013	23 23 45	L
3550014	258	LT
3550015	22 744 35	sL
3550016	5	T
3550017	5	T
3550018	5	T
3550019	5	T
3550020	3 2	sL
3550021	3 2	sL
3550022	234	L
3550023	2	L
3550024	1 72	IS
3550025	2	L
3550027	11 24 38	L
3550028	13 23 44	L
3550029	3	sL
3550030	2 7	sL
3550032	12345	sL
3550033	123 2	IS
3550034	3 4	L
3550035	33 4	sL
3550036	223 245 4	L
3550037	4 3	L
3550038	22 43 74 557	LT
3550039	1 3	IS
3550040	1 3	IS
3550041	1 3	IS
3550042	1 3	IS

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
3550043	33 55	LT
3550044	5	T
3550045	5	T
3550046	22 77	IS
3550048	1 23 24	L
3550049	1 72 14 37	IS
3550050	4	LT
3550051	33 44	L
3550052	1 22 345 4	L
3550053	1 72 77	SI
3550063	1 22455 4	L
3580001	11 744 58	sL
3580002	11 744 58	sL
3580003	1	SI
3580004	13 44 58	L
3580005	14 58	L
3580006	1	SI
3580007	1	SI
3580008	13 48	L
3580009	14 58	L
3580010	1	SI
3580011	1	SI
3580012	1	SI
3580013	1	SI
3580014	14 58	L
3590001	2	L
3590002	2345	LT
3590003	234	L
3590004	22 733 4	L
3590005	23	sL
3590006	33 445	LT
3590007	2 333 4	sL
3590008	33 745	L
3590009	33 28	sL
3590010	2 733 7	sL
3590011	2 733 7	sL
3590012	2 733 7	sL
3590012	2 733 7	L
3590013	2 12 73 7	S
3590014	2 12 733 7	sL
3590015	2 32 7	sL
3590016	2 12 7	S
3590017	2 12 73 7	S
3590018	2 12 7	S
3590019	2 12 7	S
3590020	2 73 7	S
3590021	345	LT
3590022	2 73 7	S
3590023	2 733 7	sL
3700001	2	L
3700002	2	L
3700003	23 4	L
3700004	2	L
3700005	2	L
3700006	3 4	L
3700007	22 38	sL
3700008	2 43 4	L
3700009	2 4	L
3700010	2	L
3700011	2	L
3700012	1 32 3	IS
3700013	11 28	IS
3700014	22 48	LT
3700015	11 228	sL
3700016	22 38	sL
3700017	2	L
3700018	2	L
3700019	1	SI
3700020	1	SI
3700021	11 28	IS
3700022	11 28	IS
3700023	22 38	sL
3700024	2 4	L
3700025	1	SI
3700026	128	sL
3700027	2	L
3700028	1 22	sL
3700029	1 2	sL
3710001	1	SI
3710002	1	SI
3710003	1	SI
3710004	1	SI
3710005	1	SI
3710006	1	SI
3710007	1	SI
3710008	2	L
3710009	1 338	sL
3710010	4	LT
3710011	3 448	LT
3710012	3 44	LT
3710013	2 338	sL
3710014	2 334 38	L
3710015	2 32 43 48	L
3710016	22 38	sL

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
3710017	22 338	sL
3710018	22 338	sL
3710019	22 344 3	sL
3710020	8	Mo
3710020	8	Mo
3710021	8	Mo
3710021	8	Mo
3710022	2 3	sL
3710023	22 32 43 44	L
3720001	2 7	sL
3720002	2	L
3720003	22 73	sL
3720004	238	sL
3720005	22 33	sL
3720006	238	sL
3720007	238	sL
3720008	22 33	sL
3720009	4	LT
3720010	22 38	sL
3720011	122 338	sL
3720012	1	SI
3720013	1	SI
3720014	1	SI
3720015	1	SI
3720016	12	sL
3720017	128	sL
3720018	1	SI
3720019	3	sL
3720020	23	sL
3720021	2	L
3720022	5 4	T
3720023	1	SI
3720024	1	SI
3720025	8	Mo
3720025	8	Mo
3720026	3	sL
3720026	3	sL
3720027	8	Mo
3720027	8	Mo
3720028	8	Mo
3720028	8	Mo
3720029	8	Mo
3720029	8	Mo
3810001	12	sL
3810002	1	SI
3810003	2	L
3810004	3	sL
3810005	34	L
3810006	3	sL
3810007	24	LT
3810009	22 7	sL
3810010	11 7	S
3810011	1	SI
3810012	1	SI
3810013	1	SI
3810014	22 7	sL
3810015	22 7	sL
3810016	124	sL
3810017	11 72	sL
3810018	22 734	L
3810019	3	sL
3810020	3	sL
3810021	23	sL
3810023	3	sL
3810023	2	L
3810024	3	sL
3810025	12	sL
3810026	24	LT
3810027	2	L
3810028	2	L
3810029	1	SI
3810030	2	L
3810031	23	sL
3810032	2	L
3810033	24	LT
3810034	2	L
3810035	2	L
3810037	2	L
3810038	2	L
3810039	2	L
3860001	23	sL
3860002	22 43	L
3860003	2 32 7	sL
3860004	2 32 7	sL
3860005	22 42 73	L
3860006	22 32 73	sL
3860007	2 32 7	sL
3860008	23	sL
3860009	22 73	sL
3860010	23	sL
3860011	22 334	sL
3860012	3	sL
3860013	22 32 7	sL
3860014	2 32 7	sL
3860015	2 32 7	sL

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
3860016	2 32 7	SL
3860017	2 32 7	SL
3860018	2 32 7	SL
3860019	2 32 7	SL
3860020		L
3860021	22 32 7	SL
3860022	22 7	SL
3860023	22 32 7	SL
3860024	22 7	SL
3860025	2 7	SL
3860026	22 32 7	SL
3860027	22 7	SL
3860028	22 7	SL
3860029	2 7	SL
3860030	2 7	SL
3860031	2 7	SL
3860032	22 7	SL
3860033	22 7	SL
3860034	2 32 7	SL
3860035	2 32 7	SL
3860036	22 32 7	SL
3860037	22 32 7	SL
3860038	22 32 7	SL
3860039	22 7	SL
3860040	22 3	SL
3860041	2 32 7	SL
3860042	22 32 7	SL
3860043	234 7	L
3860044	2	L
3860045	233 74 7	SL
3860046	22 73	SL
3860047	23	SL
3860048	22 73	SL
3860049	23 74	L
3860050	22 7	SL
3860051	22 7	SL
3860052	22 74 7	SL
3860053	34 7	L
3860054	2	L
3860055	24 7	L
3860056	2	L
3860057	2	L
3860058	2	L
3860059	2	L
3860060	22 73 44 3	SL
3860061	22 73	SL
3860062	3 444 5	LT
3860063	234 7	L
3860064	233 74	SL
3860065	22 33	SL
3860066	24 7	L
3860067	22 77	IS
3860068	22 32 7	SL
3860069	22 74 38	SL
3860070	24	LT
3860071	23 44 3	L
3860072	2 7	SL
3860073	24 34 7	SL
3860074	22 3	SL
3860075	22 32 7	SL
3860076	2	L
3860077	22 7	SL
3860078	22 32 73 7	SL
3860079	22 32 74 7	SL
3860080	22 32 7	SL
3860081	2	L
3860082	2	L
3860083	2	L
3860084	2	L
3860085	4 7	L
3860086	4 7	L
3860087	2	L
3860088	23 44	SL
3860089	2	L
3860090	234 7	L
3860091	22 33	SL
3860092	22 7	SL
3860093	23	SL
3860094	24 34 7	SL
3860095	3 44 3	L
3860096	22 33 4	SL
3860097	2 7	SL
3860098	2	L
3860099	23	SL
3860100	34	L
3860101	22 77	IS
3860102	122 7	IS
3860103	22 7	SL
3860104	2	L
3860105	23	SL
3860106	2	L
4210001	12	SL
4210002	2	L

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
4210003	2	L
4210004	1	SI
4210005	22 32 7	SL
4210006	2	L
4210007	2	L
4210008	22 3	SL
4210009	1	SI
4210010	4	LT
4210011	4	LT
4210012	2 3	SL
4210013	22 34	SL
4210014	2	L
4210015	24	LT
4210016	14	SL
4210017	8	Mo
4210017	8	Mo
4210018	22 3	SL
4210019	122 3	SL
4210020	11 22 3	IS
4210021	2 3	SL
4210022	22 3	SL
4210023	8	Mo
4210023	8	Mo
4210024	22 3	SL
4210025	122 3	SL
4210026	11 22 3	IS
4210027	22 3	SL
4210028	22 3	SL
4210029	22 3	SL
4210030	22 3	SL
4210032	11 22	IS
4210033	22 3	SL
4210034	22 3	SL
4210035	22 34	SL
4210036	122 18	SL
4210037	1	SI
4210038	128	SL
4210039	1	SI
4210040	2 32 48	L
4220001	233 2	SL
4220002	2 13	SL
4220003	34	L
4220004	2 12 3	SL
4220005	11 7	S
4220006	12 4	SL
4220007	22 12 32 7	IS
4220008	22 12 32 7	IS
4220009	23	SL
4220010	2	L
4220011	2 13 2	SL
4220012	2	SL
4220013	122 14	SL
4220014	122 38	L
4220015	22 12 3	SL
4220016	22 12 33 4	SL
4220017	2 1	SL
4220018	11 32 1	IS
4220019	11 72 1	SI
4220020	22 12 3	SL
4220021	2 12 3	SL
4220022	12 33 2	SL
4220023	1 74	IS
4220024	12 1	IS
4220025	1 722 7	IS
4220026	11 78	IS
4400453	24	LT
4400454	4	LT
4400455	24	LT
4400457	12	SL
4400458	1	SI
4400459	24	LT
4400460	2	L
4400461	124	SL
4400462	2 44	LT
4400463	22 4	L
4400464	1	SI
4400465	2 148	SL
4400466	2	L
4400467	1	SI
4400468	12 1	IS
4400469	1	SI
4400470	1	SI
4400471	1	SI
4400472	23 2	SL
4400473	2	L
4400474	12	SL
4400475	122 4	L
4400476	13	IS
4400477	22 7	SL
4400478	11 2	IS
4400479	11 2	IS
4400480	24	LT
4400481	22 4	L

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
4400482	2	L
4400483	34	L
4400484	123	SL
4400485	2	L
4400486	124	SL
4400487	2	L
4400488	3	SL
4400489	2	L
4400490	1	SI
4400491	11 2	IS
4400492	4	LT
4400493	2 44	LT
4400494	4	LT
4400495	2	L
4400496	13	IS
4400497	122 44	L
4400498	33 44	L
4400499	24	LT
4400500	23	SL
4400501	12 44	L
4400502	122 4	L
4400503	12	SL
4400504	22 4	L
4400505	2 43	L
4400506	12 4	SL
4400508	33 43 7	SL
4400509	1	SI
4400510	34	SL
4400511	11 2	IS
4400512	12 44	L
4400513	2 44	LT
4400514	1 42 4	L
4400515	23 2	SL
4400516	1	SI
4400517	12	SL
4400518	22 78	SL
4400519	12	SL
4400520	1 21 42 4	L
4400521	148	L
4400522	8	Mo
4400523	8	Mo
4400524	2	L
4404521	128	SL
4405071	11 222 4	SL
4410524	12 3	SL
4410525	12	SL
4410526	12	SL
4410527	1 22	SL
4410528	12	SL
4410529	2	L
4410530	2	L
4410531	2	L
4410532	1	SI
4410533	1	SI
4410534	11 778 7	SI
4410535	2	L
4410536	12	IS
4410537	11 2	IS
4410538	12	SL
4410539	11 21 72	IS
4410540	2	L
4410541	2	IS
4410542	2	L
4410543	2	L
4410544	1	SI
4410545	11 78	IS
4410546	1	SI
4410547	1 228	SL
4410548	1	SI
4410549	1	SI
4410550	1	SI
4410551	1	SI
4420552	1 2	SL
4420553	2	L
4420554	4	LT
4420555	2 4	L
4420556	4	LT
4420557	2	L
4420558	2	L
4420559	2	L
4420560	2 7	SL
4420562	1 2	SL
4420563	1 2	SL
4420564	1	SI
4420565	1 2	SL
4420566	11 2	IS
4420567	11 7	S
4420568	1 4	SL
4420569	8	Mo
4420569	8	Mo
4420570	4	LT
4420571	1	SI
4420572	2	L

GIS-basierte Analyse landwirtschaftlicher Biomasse

ANHANG

SMU	Kombination der STUs	TEXT_BS
4420573	2_4	L
4420574	2_7	SL
4420575	1	SI
4420576	2_4	L
4420577	1_7	S

T- 8: BÜK300: Flächenanteile der zugeordneten Bodenarten nach KA5 (Summe = 100 %) zu Bodenarten nach BS-TAL differenziert nach Entstehungstyp.

Bodenart Bodenschätzung	Entstehung	Bodenart nach KA5											
		Ss	Su2	Su3	SI2	SI3	SI4	St2	Ls3	Ls4	Lts	Lt3	
S	AI	36,1											
	D	55,0	58,8										
	Loe	0,1											
	Mo	8,8											
	V / Vg	0,1											
SI	AI							100,0					
	D		40,9		100,0								
	Mo		0,4										
IS	AI					4,7							
	D			100,0		93,3	55,9						
	Loe					0,2							
	Mo					1,9							
sL	AI						44,1						
	D			0,0					100,0				
L	AI										100,0		
	D									100,0			
LT	AI											100,0	

Anmerkung:

Die KA5-Bodenart der stark lehmigen Sande SI4 werden bei Dilluvialböden zu den lehmigen Sanden IS zugeteilt, bei Entstehungstyp AI sind sie zu den sandigen Lehmen sL zugehörig. In der Gruppe der schwach schluffigen Sande Su2 hingegen kann keine Differenzierung durch den Entstehungstyp nachvollzogen werden, da sie mit „D“ nur einen Entstehungstyp aufweisen.

Die Zuordnung der KA5-Bodenarten unter Berücksichtigung der Entstehungstypen erbrachte keine eindeutige Differenzierung bzw. eine Verbesserung der Bodenschätzungs-Bodenarten.

T- 9: Mittelwerte der Parameter Natur in Anbauregionen (AR)

AR	Niederschlag [mm a ⁻¹]		Temperature [°C]		Veg.-Periode [d a ⁻¹]	Relief	
	im Jahr	Mai-September	MW	Minimum		Höhe [m]	Neigung [°]
1	666	333	0	-18	105	583	3
2	274	16	19	12	135	271	7
3	595	82	17	6	216	188	4
4	427	128	15	2	147	498	1
5	1,00	266	13	3	285	382	7
6	566	145	15	3	215	280	4
7	879	157	15	4	247	226	7
8	602	322	9	-7	210	595	5
9	576	280	11	-4	189	147	1
10	555	312	8	-7	217	126	0
11	616	360	7	-8	219	208	1
12	1,11	572	4	-8	165	1.516	19
13	620	307	5	-10	180	85	0
14	599	324	7	-7	215	102	1
15	801	281	13	1	255	243	4
16	707	269	13	2	210	437	4
17	632	362	9	-5	226	281	2
18	626	317	6	-7	195	69	0
19	1,12	594	8	-7	217	601	9
20	869	383	12	-1	272	123	1
21	753	341	8	-3	227	188	2
22	922	460	9	-4	234	470	2
23	618	306	9	-3	225	41	0
24	718	327	9	-2	242	230	2
25	653	322	9	-3	221	71	0
26	638	276	9	-1	245	54	1
27	781	343	9	-1	251	8	0
28	995	379	9	1	272	97	2
29	793	337	10	0	261	66	1

T- 10: Mittlere Erträge und Anbaufläche der Hauptanbaufrüchte in den Anbauregionen (AR)

AR	Weizen		Gerste		Roggen		Raps		Silomais		Körnermais	
	Mittelwert Ertrag [t ha ⁻¹ a ⁻¹]				Mittlerer Anteil der Anbaufläche [%] an Modellfläche							
1	0.53	0.2	2.24	7.9	1.57	0.0		0.0		0.0		0.0
2	1.00	0.5	1.00	0.1	1.00	0.0		0.0	10.6	2.5	2.40	3.0
3	1.81	13.0	1.59	11.3	1.02	0.0	1.11	0.0	35.6	0.4	6.58	3.2
4	2.13	8.4	2.15	26.5	1.25	0.5	1.55	0.0	41.3	0.1	9.28	1.6
5	2.17	3.0	1.82	0.5	1.53	2.3		0.0	52.9	19.8	4.10	10.1
6	2.35	48.4	2.36	6.2	1.83	0.5	1.19	0.0	26.2	0.4	7.78	3.8
7	2.39	8.7	2.24	3.0	1.55	0.8	1.29	0.0	15.1	0.7	6.45	10.7
8	2.62	16.9	2.45	4.7	2.05	0.6	0.84	0.2	13.4	1.0	3.65	13.5
9	2.91	27.4	2.72	5.5	1.78	0.5	1.46	3.0	13.4	1.3	4.14	20.9
10	3.06	10.4	2.63	6.8	2.16	17.3	2.28	3.0	39.9	4.5	5.10	1.7
11	3.12	19.5	2.73	13.5	2.22	7.4	2.26	4.0	39.1	1.4	5.02	1.6
12	3.13	1.8	3.44	1.1	2.87	1.0		0.0	47.5	31.7	6.03	4.4
13	3.44	9.5	2.91	16.6	2.57	1.7	1.62	3.2	20.3	0.1	10.1	0.0
14	3.69	17.8	2.81	11.7	2.35	10.4	2.23	9.3	37.2	2.6	4.45	1.3
15	3.98	26.8	3.88	5.7	2.81	0.2	1.94	0.9	30.3	2.8	7.87	5.4
16	4.17	25.2	3.73	28.0	2.79	0.1	1.44	0.2	43.5	1.0	7.45	2.9
17	4.26	27.2	3.60	14.0	3.37	2.2	2.48	9.8	32.3	4.0	6.28	7.0
18	4.52	23.7	3.32	15.2	3.55	1.5	2.04	8.8	24.9	0.8	3.63	0.2
19	4.96	7.8	4.05	9.7	3.67	0.9	2.40	1.0	44.7	11.4	9.03	19.5
20	5.51	14.8	5.05	4.1	3.58	0.1	2.55	1.1	31.5	6.0	8.84	44.4
21	6.50	19.3	5.15	23.5	4.94	2.2	3.08	5.9	40.4	8.6	6.83	0.5
22	6.56	20.6	5.62	12.9	4.64	0.8	3.30	5.6	36.7	13.2	8.45	9.5
23	6.59	11.1	5.61	9.4	5.01	22.1	3.17	9.5	38.6	11.6	7.20	0.9
24	7.26	32.4	6.32	18.8	5.74	1.4	3.38	14.3	31.7	5.8	7.98	3.3
25	7.38	29.3	6.38	13.2	5.13	6.0	3.50	16.4	41.1	11.1	7.34	0.8
26	7.65	37.6	5.78	17.8	5.48	0.6	3.31	9.6	41.7	2.1		0.0
27	7.72	8.1	5.82	3.6	4.60	1.1	3.04	0.8	44.5	38.8	10.4	6.6
28	7.75	10.3	5.58	15.5		0.0	3.72	2.0		2.4		0.0
29	8.03	25.5	6.65	7.5	4.85	0.3	3.58	2.0	39.5	14.2	10.0	4.6

T- 11: Fruchtfolgen in Europa und deren Bewertung (Summe und Mittelwert): Differenzierung nach Land, Anbauregion und Bodenzahlgruppe

NUTS0_AR (Land – Anbauregion)	Bodenzahl- Gruppe	Fruchtfolge	Bewertung	
			Summe	Mittelwert
AT_12	2	SM - SG - SM - TR - SM - Kar - WRo	9	1,3
AT_12	3	SM - SM - KGr - SM - Kar - SM - KGr	14	2,0
AT_12	4	SM - SM - KGr - SM - Kar - SM - KGr	14	2,0
AT_12	5	SM - KGr - SM - KGr - SM - KGr - SM	14	2,0
AT_12	6	SM - SM - KGr - SM - Kar - SM - KGr	14	2,0
AT_12	8	SM - KGr - SM - SM - SM - KGr - SM	21	3,0
AT_17	1	WRo - SG - WRo - SG - WRo - HA - WRo	17	2,4
AT_17	2	SM - WRo - SM - WRo - SM - SG - WRo	10	1,4
AT_17	3	WW - WRo - WW - WRo - WW - WG - WRa	18	2,6
AT_17	4	WW - SG - WW - KM - WW - SG - WRa	16	2,3
AT_17	5	WW - WG - SoBlu - SM - FE - WW - KM	7,15	1,0
AT_17	6	WW - KM - WW - SG - WW - SG - ZR	17	2,4
AT_17	7	SM - WW - SM - SG - WRa - SM - ZR	10	1,4
AT_17	8	SM - WW - SM - SG - WRa - SM - ZR	10	1,4
AT_19	1	WRo - HA - WRo - HA - WRo - TR - HA	15	2,1
AT_19	2	HA - WRo - KM - HA - SM - TR - KM	10	1,4
AT_19	3	KM - SG - KM - KGr - WG - SM - KM	18	2,6
AT_19	4	KM - SM - TR - KM - KM - KGr - KM	21	3,0
AT_19	5	KM - SG - SM - KM - WW - SM - KM	21	3,0
AT_19	6	WW - KM - WW - SG - KGr - WW - KM	10	1,4
AT_19	7	WW - WG - SM - WW - SG - KGr - WW	16	2,3
AT_22	2	HA - WRo - Kar - HA - KM - HA - SM	11	1,6
AT_22	3	KM - HA - WG - WRa - KM - SM - WW	14	2,0
AT_22	4	WW - KM - WW - WG - KGr - TR - SM	10	1,4
AT_22	5	WG - KM - SG - KGr - WG - WRa - WW	9	1,3
AT_22	6	SG - KM - SG - KM - SG - KGr - WG	16	2,3
BE_22	2	TR - SM - HA - Kar - TR - SM - HA	9	1,3
BE_22	3	SM - TR - SM - HA - WG - SM - HA	10	1,4
BE_22	4	SM - HA - WG - SM - SM - WW - SM	17	2,4
BE_22	5	SM - WW - SM - SM - WW - WG - SM	18	2,6
BE_22	6	SM - WW - WG - SM - SM - WG - SM	23	3,3
BE_22	7	SM - SM - WG - SM - SM - WW - WG	23	3,3
BE_27	2	SM - KM - Kar - SM - SM - SM - KM	28	4,0
BE_27	3	SM - SM - SM - KM - SM - WW - KM	28	4,0
BE_27	5	KM - SM - Kar - SM - KM - KM - SM	28	4,0
BE_27	6	SM - SM - WW - KM - KM - SM - SM	28	4,0
BE_27	7	SM - SM - WW - SM - SM - SM - ZR	21	3,0
BE_27	8	SM - WW - SM - SM - WW - SM - ZR	14	2,0
BE_29	2	WG - SM - WG - SM - Kar - WG - Kar	13	1,9
BE_29	3	WW - Kar - WW - SM - Kar - WW - SM	8	1,1
BE_29	4	WW - Kar - WW - SM - Kar - WW - KM	8	1,1
BE_29	5	WW - WG - ZR - KM - WW - SM - Kar	9	1,3
BE_29	6	ZR - Kar - WW - ZR - KM - WW - SM	11	1,6
BE_29	7	WW - SM - WW - WG - SM - WW - ZR	11	1,6
BE_29	8	WW - WW - WG - ZR - WW - WG - ZR	15	2,1
BG_8	1	WRo - WRo - WRo - WRo - WRo - WRo - WRo	35	5,0
BG_8	2	WG - KM - SoBlu - Kar - WG - SM - Kar	8	1,1
BG_8	3	WW - WW - WG - SoBlu - WW - WG - SoBlu	15	2,1
BG_8	5	WW - WW - KM - WW - WW - WW - SoBlu	27	3,9
BG_8	6	WW - WW - Kar - WW - SoBlu - WW - KM	15	2,1
BG_9	3	WW - WG - SoBlu - WW - WW - WG - SoBlu	15	2,1
BG_9	4	WW - WW - SoBlu - WW - KM - WW - SoBlu	16	2,3
BG_9	5	WW - SoBlu - WW - KM - SoBlu - WW - SM	9	1,3
BG_9	6	WW - SoBlu - WW - WW - SoBlu - WW - KM	16	2,3
CZ_17	1	WRo - HA - WRo - HA - WRo - HA - WRo	17	2,4
CZ_17	2	SG - SM - SG - SM - SG - HA - SG	27	3,9
CZ_17	3	SM - WW - WG - SM - SM - KM - WW	18	2,6
CZ_17	4	WW - SG - WRa - WW - KM - WW - SM	10	1,4
CZ_17	5	WW - WW - SG - WW - KM - WW - WRa	25	3,6
CZ_17	6	WW - SG - WW - WRa - WW - WG - WRa	19	2,7
CZ_17	7	WW - WRa - SM - WW - WRa - WW - SM	18	2,6
CZ_17	8	WW - WRa - SM - WW - WRa - WW - SM	18	2,6
DE_21	1	SG - WRo - SG - SG - WRo - HA - TR	19	2,7
DE_21	2	Kar - TR - HA - WG - SM - SG - WRo	10	1,4
DE_21	3	SM - WW - WG - SM - SG - WW - WG	16	2,3
DE_21	4	TR - SM - SG - KGr - WW - WG - WRa	8	1,1
DE_21	5	WW - SG - WW - WG - SM - WW - WG	23	3,3
DE_21	6	WRa - WW - SM - KGr - WRa - WW - SG	9	1,3
DE_21	7	KGr - WRa - WG - KGr - WRa - WW - SG	8	1,1
DE_21	8	KGr - WRa - WG - KGr - WRa - WW - SG	8	1,1

NUTSO_AR (Land – Anbauregion)	Bodenzahl- Gruppe	Fruchtfolge	Bewertung	
			Summe	Mittelwert
DE_22	1	HA - SG - HA - SG - HA - SG - WRo	39	5,6
DE_22	2	SG - Kar - SG - HA - SM - SG - SM	17	2,4
DE_22	3	SM - SG - WRa - SM - WW - WG - WRa	11	1,6
DE_22	4	SM - WW - WG - WRa - SM - KM - WW	15	2,1
DE_22	5	WW - KM - WW - SM - WW - WG - KGr	10	1,4
DE_22	6	WW - SM - WW - SM - WW - WG - KM	11	1,6
DE_22	7	SG - KGr - WG - WRa - SG - KGr - SG	18	2,6
DE_22	8	KGr - WG - SG - KGr - SG - KGr - SG	20	2,9
DE_23	1	WRo - HA - WRo - SG - WRo - SG - LUP	12	1,7
DE_23	2	WRo - SM - WRo - SM - WRo - TR - WG	15	2,1
DE_23	3	WW - WRa - SM - WW - WRa - WW - SM	18	2,6
DE_23	4	WW - WRa - Kar - WW - WRa - WW - Kar	18	2,6
DE_23	5	WW - WG - WRa - WW - Kar - WW - WRa	12	1,7
DE_23	6	WW - WG - WRa - WW - Kar - WW - WRa	12	1,7
DE_23	7	WW - WG - WRa - WW - WW - WG - WRa	15	2,1
DE_23	8	WW - WG - WRa - WW - WW - WG - WRa	15	2,1
DE_24	1	WRo - TR - SG - WRo - HA - TR - SG	15	2,1
DE_24	2	WRo - HA - WRo - SM - WRo - TR - SG	14	2,0
DE_24	3	WW - SG - WW - WG - WRa - WW - SM	16	2,3
DE_24	4	WW - WG - TR - WW - SG - WW - SM	22	3,1
DE_24	5	WW - WG - WRa - WW - WW - SG - WRa	15	2,1
DE_24	6	WRa - SM - WW - WG - WRa - WW - WG	11	1,6
DE_24	7	WW - SG - WW - WG - WRa - WW - SM	16	2,3
DE_24	8	WW - SG - WW - WG - WRa - WW - SM	16	2,3
DE_25	1	WRo - HA - WRo - HA - SG - WRo - SG	19	2,7
DE_25	2	WG - SM - TR - WG - WRo - SM - WRo	15	2,1
DE_25	3	WW - WRa - WW - WG - WRa - WW - WRo	17	2,4
DE_25	4	WW - WRa - WW - WG - WRa - WW - SM	13	1,9
DE_25	5	WW - WRa - WW - WG - WRa - WW - SM	13	1,9
DE_25	6	WW - WW - WRa - WW - ZR - WW - WRa	22	3,1
DE_25	7	WRa - WG - ZR - WRa - SM - ZR - WW	19	2,7
DE_25	8	WRa - WG - ZR - WRa - SM - ZR - WW	19	2,7
DE_27	1	WRo - TR - SG - WRo - TR - WRo - TR	23	3,3
DE_27	2	WG - KM - SM - Kar - WG - SM - KM	21	3,0
DE_27	3	SM - WW - SM - WW - SM - Kar - WG	9	1,3
DE_27	4	SM - WW - WG - WRa - SM - SM - KM	22	3,1
DE_27	5	WRa - KM - WW - SM - WRa - SM - KM	26	3,7
DE_27	6	WRa - SM - WW - WRa - SM - KM - WW	23	3,3
DE_27	7	SM - WW - WG - WRa - SM - SM - WRa	21	3,0
DE_27	8	WRa - SM - WW - WG - WRa - SM - SM	16	2,3
DE_29	1	TR - WRo - TR - HA - TR - SG - WRo	19	2,7
DE_29	2	SM - Kar - WG - SM - TR - WG - SM	14	2,0
DE_29	3	WW - WG - SM - WW - WW - WG - SM	17	2,4
DE_29	4	SM - WW - WG - WRa - TR - SM - WW	10	1,4
DE_29	5	WW - WW - WG - Kar - WW - WG - ZR	15	2,1
DE_29	6	WW - ZR - SM - WW - ZR - WW - WRa	14	2,0
DE_29	7	WRa - WW - ZR - WRa - SM - ZR - WW	20	2,9
DE_29	8	WRa - WW - ZR - WRa - SM - ZR - WW	20	2,9
DK_21	1	HA - TR - HA - TR - HA - SG - WRo	19	2,7
DK_21	2	SG - SG - KGr - WW - SG - WG - SM	20	2,9
DK_21	3	WW - WW - KGr - WW - WRa - WW - KGr	29	4,1
DK_21	4	WW - WW - WRa - WW - KGr - WW - WRa	27	3,9
DK_21	5	WW - WW - WRa - WW - KGr - WW - WRa	27	3,9
DK_21	6	WW - WRa - KGr - WW - WRa - WW - KGr	21	3,0
DK_21	7	WW - WW - WRa - WW - KGr - WW - WRa	27	3,9
DK_26	1	SG - HA - TR - SG - WRo - HA - SG	29	4,1
DK_26	2	SG - SG - WG - SM - SG - SG - WG	37	5,3
DK_26	3	WW - WW - WW - WW - WW - SG - WRa	32	4,6
DK_26	4	WW - WW - WW - SG - WW - WG - WRa	27	3,9
DK_26	5	WW - KGr - WW - WW - ZR - WW - KGr	26	3,7
DK_26	6	WW - SG - KGr - WW - ZR - WW - KGr	15	2,1
DK_26	7	WW - WRa - WW - SG - WRa - WW - ZR	13	1,9
EE_13	1	WRo - HA - WRo - HA - WRo - HA - SG	19	2,7
EE_13	2	SG - SG - WRo - HA - WRo - HA - SG	29	4,1
EE_13	3	SG - KGr - SG - SRa - SW - SG - SRa	15	2,1
EE_13	4	SW - SG - SRa - WW - SG - KGr - SW	16	2,3
EE_13	5	SG - SRa - HA - WW - SG - KGr - SW	12	1,7
EE_13	6	SG - SG - SRa - SG - KGr - SG - SRa	20	2,9
EE_13	7	WW - SRa - WW - SRa - WW - SG - KGr	12	1,7
ES_16	1	HA - HA - SG - WRo - HA - HA - SG	39	5,6
ES_16	2	HA - HA - SG - SG - HA - Kar - SG	39	5,6
ES_16	3	WW - SG - WW - SG - WW - WW - HA	29	4,1
ES_16	4	WW - SG - WW - WG - SG - WW - SG	34	4,9

NUTS0_AR (Land – Anbauregion)	Bodenzahl- Gruppe	Fruchtfolge	Bewertung	
			Summe	Mittelwert
ES_16	5	SG - WW - WG - KM - SG - SG - WW	27	3,9
ES_16	6	WW - SG - WW - WG - SG - WW - SG	34	4,9
ES_16	7	WW - WG - WW - SG - WW - WW - SG	34	4,9
ES_3	1	HA - SG - HA - HA - SG - SG - HA	49	7,0
ES_3	2	HA - SoBlu - SG - SoBlu - SG - HA - WG	19	2,7
ES_3	3	WW - HA - WW - WG - SoBlu - WW - SG	17	2,4
ES_3	4	WW - WW - SoBlu - WW - KM - WW - SoBlu	16	2,3
ES_3	5	WW - SG - SoBlu - WW - HA - WW - SG	18	2,6
ES_3	6	WG - WW - WG - KM - WW - WG - WW	23	3,3
ES_4	1	HA - SG - SG - WRo - HA - HA - WRo	29	4,1
ES_4	2	HA - WG - HA - SG - HA - SG - SG	39	5,6
ES_4	3	SG - WG - HA - WW - SG - SG - SG	34	4,9
ES_4	4	WW - SG - WW - WG - SG - WW - SG	34	4,9
ES_4	5	SG - SG - SoBlu - WG - KM - SG - SoBlu	17	2,4
ES_4	6	SG - WG - KM - SG - KM - SG - WW	21	3,0
ES_5	1	WRo - SG - WRo - SG - WRo - HA - WRo	17	2,4
ES_5	2	SM - KM - KM - SM - SM - SM - WRo	28	4,0
ES_5	3	SM - SM - Kar - SM - WW - KM - SM	21	3,0
ES_5	4	WW - SM - WW - WRo - SM - WW - Kar	10	1,4
ES_5	5	WW - Kar - WW - SM - Kar - WW - SM	8	1,1
ES_5	6	WW - Kar - WW - SM - Kar - WW - SM	8	1,1
ES_5	7	WW - SM - WW - SM - WW - WW - SM	16	2,3
FI_1	1	SG - HA - SG - SG - SG - SG - SG	49	7,0
FI_1	2	SG - HA - SG - SG - SG - SG - SG	49	7,0
FI_1	3	SG - HA - SG - SG - SG - SG - SG	49	7,0
FI_1	4	SG - Kar - SG - SG - SG - SG - SG	39	5,6
FI_1	5	SG - Kar - SG - SG - SG - SG - SG	39	5,6
FI_13	1	HA - SG - SG - HA - SG - WRo - HA	39	5,6
FI_13	2	SG - HA - SG - SG - HA - HA - SG	49	7,0
FI_13	3	SG - HA - SG - SG - HA - SW - SG	40	5,7
FI_13	4	SW - SG - HA - SW - SG - SW - SG	30	4,3
FI_13	5	SG - SG - HA - SW - SG - HA - SW	31	4,4
FI_13	6	SG - SW - SG - SW - SG - SW - SG	34	4,9
FR_15	1	TR - SG - WRo - TR - HA - TR - HA	15	2,1
FR_15	2	SM - HA - WG - KM - KM - SG - SM	17	2,4
FR_15	3	WW - KM - WW - WG - WRa - WW - TR	17	2,4
FR_15	4	WW - KM - WW - WG - TR - WW - SoBlu	16	2,3
FR_15	5	WW - KM - SoBlu - WW - WRa - WW - SM	12	1,7
FR_15	6	WW - WG - SoBlu - WW - KM - WW - SoBlu	10	1,4
FR_15	7	WW - WRa - WW - WG - WRa - WW - SM	13	1,9
FR_20	1	TR - SG - TR - TR - SG - TR - TR	33	4,7
FR_20	2	KM - SM - TR - KM - KM - KM - SoBlu	21	3,0
FR_20	3	KM - SoBlu - KM - KM - SM - KM - KM	28	4,0
FR_20	4	KM - WW - SM - KM - KM - KM - KM	28	4,0
FR_20	5	KM - WW - WG - KM - KM - KM - KM	25	3,6
FR_20	6	KM - WW - KM - KM - KM - KM - WW	21	3,0
FR_20	7	WW - SM - WW - SM - WW - SM - SoBlu	9	1,3
FR_20	8	SM - SoBlu - WW - SM - SoBlu - SM - WW	9	1,3
FR_22	1	TR - SG - TR - HA - TR - SG - WRo	20	2,9
FR_22	2	TR - WG - TR - SM - TR - KM - SoBlu	12	1,7
FR_22	3	WW - SM - WW - WG - WRa - WW - KM	10	1,4
FR_22	4	WW - WG - KM - WW - SM - WW - KM	11	1,6
FR_22	5	WW - WRa - SM - WW - KM - WW - KM	15	2,1
FR_22	6	WW - KM - WW - WG - WRa - WW - KM	10	1,4
FR_22	7	WW - SM - WW - WG - WRa - WW - SoBlu	10	1,4
FR_24	1	HA - TR - HA - TR - HA - WRo - TR	15	2,1
FR_24	2	SG - SM - SG - Kar - SG - HA - Kar	18	2,6
FR_24	3	WW - WW - WW - SG - WW - WG - KM	28	4,0
FR_24	4	WW - WW - SG - WRa - WW - WW - WRa	24	3,4
FR_24	5	WW - WRa - WW - WG - WRa - WW - KM	13	1,9
FR_24	6	WW - SM - WW - WG - WRa - WW - ZR	10	1,4
FR_24	7	SG - WW - SG - WW - SG - ZR - WW	23	3,3
FR_24	8	WW - WW - WG - ZR - WW - SG - WRa	15	2,1
FR_29	1	TR - SG - TR - TR - SG - TR - HA	27	3,9
FR_29	2	TR - Kar - TR - SM - TR - WG - SM	11	1,6
FR_29	3	WW - SM - WW - WG - WRa - WW - SM	10	1,4
FR_29	4	SM - WW - KM - WW - SM - WW - SM	14	2,0
FR_29	5	WW - SM - WW - WRa - KM - WW - SM	15	2,1
FR_29	6	WW - WG - SM - WW - WW - KM - WW	22	3,1
FR_29	7	WW - SM - WW - WG - WRa - WW - SM	10	1,4
FR_29	8	WW - WG - WRa - WW - WW - WG - WRa	15	2,1
FR_7	1	HA - TR - HA - TR - HA - HA - TR	19	2,7
FR_7	2	HA - KM - HA - WG - KM - HA - TR	11	1,6

NUTS0_AR (Land – Anbauregion)	Bodenzahl- Gruppe	Fruchtfolge	Bewertung	
			Summe	Mittelwert
FR_7	3	KM - HA - WG - KM - TR - WG - KM	18	2,6
FR_7	4	KM - HA - WG - KM - TR - WG - KM	18	2,6
FR_7	5	KM - KM - WW - KM - KM - AB - WG	17	2,4
FR_7	6	KM - WW - WG - KM - KM - KM - SM	25	3,6
GR_3	1	HA - HA - HA - HA - HA - HA - HA	49	7,0
GR_3	2	WG - KM - WG - WG - WG - WG - WG	43	6,1
GR_3	3	WG - WW - WG - WW - WG - WG - WW	34	4,9
GR_3	4	WG - WW - WG - WW - WG - WG - WW	34	4,9
GR_3	5	WW - WG - WW - WG - WW - WW - WG	34	4,9
GR_3	6	WG - WW - WG - WW - WG - WG - WW	34	4,9
GR_3	7	WG - WW - WG - WW - WG - WG - WW	34	4,9
GR_6	2	WRo - KM - KM - HA - WG - WRo - WG	18	2,6
GR_6	3	WW - WG - KM - WW - WW - WW - WW	33	4,7
GR_6	4	WW - WG - KM - WW - WW - WW - WW	33	4,7
GR_6	5	WW - KM - WW - WW - WW - WW - WW	38	5,4
GR_6	6	WW - WG - KM - WW - WW - WW - WW	33	4,7
GR_6	7	WW - WW - WG - WW - WW - WG - WW	39	5,6
GR_7	1	HA - HA - HA - HA - HA - HA - HA	49	7,0
GR_7	2	KM - HA - KM - HA - WG - KM - KM	17	2,4
GR_7	3	KM - WW - KM - KM - WW - KM - HA	14	2,0
GR_7	4	KM - KM - WW - KM - KM - KM - WW	21	3,0
GR_7	5	KM - WW - WG - KM - KM - KM - KM	25	3,6
GR_7	6	KM - WW - WG - KM - KM - KM - WW	18	2,6
GR_7	7	WW - WW - WG - WW - WG - WW - HA	29	4,1
GR_9	2	KM - WG - KM - WG - KM - WG - KM	29	4,1
GR_9	3	KM - WW - KM - WW - WG - KM - WW	11	1,6
GR_9	4	WW - WW - WG - KM - WW - KM - WW	22	3,1
GR_9	5	WW - WW - KM - WW - KM - WW - WW	27	3,9
GR_9	6	KM - ZR - WW - KM - WW - KM - WW	10	1,4
GR_9	7	WW - WG - ZR - WW - WW - WG - ZR	15	2,1
GR_9	8	WW - WG - ZR - WW - WW - WG - ZR	15	2,1
HU_17	1	SG - SG - WRo - SG - SG - SG - HA	39	5,6
HU_17	2	SG - Kar - SG - SG - HA - WG - SG	34	4,9
HU_17	3	WG - WRa - WG - KM - WW - KM - SoBlu	9	1,3
HU_17	4	SG - WW - WG - KM - SG - WG - KM	20	2,9
HU_17	5	WW - KM - SoBlu - WW - WRa - WW - SoBlu	12	1,7
HU_17	6	WW - WRa - SM - WW - KM - WW - KM	15	2,1
HU_17	7	SG - WG - SoBlu - SG - WG - WG - SG	38	5,4
HU_20	2	KM - SG - KM - HA - SM - Kar - WRo	9	1,3
HU_20	3	KM - SoBlu - WG - WRa - KM - KM - WRa	20	2,9
HU_20	4	KM - SoBlu - WG - WRa - KM - KM - WRa	20	2,9
HU_20	5	KM - WW - KM - KM - KM - KM - WW	21	3,0
HU_20	6	KM - WW - KM - WW - KM - KM - SoBlu	14	2,0
HU_20	7	WG - WRa - WW - WG - WRa - WW - WG	15	2,1
HU_9	1	SG - WRo - HA - SG - SG - WRo - HA	29	4,1
HU_9	2	KM - HA - WG - SM - WRo - KM - SG	10	1,4
HU_9	3	SoBlu - KM - WW - KM - SoBlu - WW - SM	9	1,3
HU_9	4	WRa - KM - SoBlu - WW - WRa - KM - WW	18	2,6
HU_9	5	KM - WW - KM - WW - WG - KM - SG	11	1,6
HU_9	6	WW - KM - SoBlu - WW - KM - WW - SoBlu	9	1,3
HU_9	7	SM - WW - SM - SoBlu - WG - WRa - WW	9	1,3
IE_28	1	SG - SG - SG - SG - SG - SG - SG	49	7,0
IE_28	2	SM - SG - SM - SG - SM - SG - Kar	11	1,6
IE_28	3	SG - WW - SG - SG - WW - WG - SG	39	5,6
IE_28	4	SG - WW - SG - WW - SG - SM - SW	23	3,3
IE_28	5	SG - SG - Kar - WW - SG - SW - SG	28	4,0
IE_28	6	SG - SG - SM - SG - SM - SW - SG	22	3,1
IE_28	7	SG - WG - SM - SG - SM - SG - WW	21	3,0
IE_28	8	SG - WG - SM - SG - SG - SM - SG	26	3,7
IT_12	1	WRo - WRo - WRo - HA - WRo - WRo - HA	23	3,3
IT_12	2	SM - KM - Kar - SM - SM - SM - SM	28	4,0
IT_12	3	SM - KM - Kar - SM - SM - SM - SM	28	4,0
IT_12	4	SM - KM - Kar - SM - SM - SM - KM	28	4,0
IT_12	5	SM - SM - Kar - SM - SM - SM - Kar	21	3,0
IT_12	6	SM - KM - Kar - SM - SM - SM - SM	28	4,0
IT_15	1	HA - HA - HA - WRo - HA - HA - WRo	29	4,1
IT_15	2	SM - Kar - KM - SM - WRo - SM - HA	14	2,0
IT_15	3	WW - WW - KM - WW - SM - WW - SoBlu	16	2,3
IT_15	4	SM - WW - WG - KM - WG - SM - KM	23	3,3
IT_15	5	WW - WW - WG - SoBlu - WW - WW - KM	21	3,0
IT_15	6	WW - WW - WG - WW - WW - WW - KM	33	4,7
IT_15	7	SM - WW - WG - SM - WW - WG - SM	15	2,1
IT_20	1	HA - WRo - HA - HA - WRo - HA - WRo	19	2,7

NUTS0_AR (Land – Anbauregion)	Bodenzahl- Gruppe	Fruchtfolge	Bewertung	
			Summe	Mittelwert
IT_20	2	SM - HA - KM - Kar - WG - KM - SM	16	2,3
IT_20	3	KM - WW - KM - SM - KM - KM - KM	28	4,0
IT_20	4	KM - WW - WG - KM - WG - KM - SM	23	3,3
IT_20	5	KM - WW - WG - KM - KM - KM - KM	25	3,6
IT_20	6	KM - KM - SM - WW - KM - KM - WW	21	3,0
IT_20	7	SM - WW - SM - WW - SM - WW - ZR	11	1,6
IT_3	2	HA - Kar - HA - WG - SM - HA - SM	11	1,6
IT_3	3	WW - WG - SM - WW - WG - WW - HA	18	2,6
IT_3	4	WW - WG - SM - WW - WW - HA - WW	23	3,3
IT_3	5	WW - WW - HA - WW - HA - WW - HA	19	2,7
IT_3	6	WW - WG - WW - WG - WW - WW - WG	34	4,9
IT_3	7	WW - WW - WG - SM - WW - WG - WW	28	4,0
IT_6	2	HA - Kar - HA - WG - SM - HA - SM	11	1,6
IT_6	3	HA - WW - HA - HA - WW - HA - WW	19	2,7
IT_6	4	HA - WW - HA - WW - WG - HA - WW	14	2,0
IT_6	5	WW - WW - WW - WW - WW - WW - WW	49	7,0
IT_6	6	WW - WW - WG - WW - WW - WG - WW	39	5,6
IT_7	2	HA - Kar - HA - WRo - Kar - HA - SM	12	1,7
IT_7	3	WW - Kar - WW - KM - HA - WW - HA	10	1,4
IT_7	4	WW - Kar - WW - KM - HA - WW - HA	10	1,4
IT_7	5	WW - Kar - WW - HA - WW - HA - WW	17	2,4
IT_7	6	WW - WW - WG - KM - WW - WG - WW	28	4,0
IT_7	7	WW - WG - WW - WW - WW - WW - WW	44	6,3
LT_11	1	TR - WRo - TR - HA - WRo - TR - WRo	23	3,3
LT_11	2	HA - WRo - HA - SG - WRo - HA - TR	19	2,7
LT_11	3	TR - HA - TR - SG - WRo - Kar - WRo	13	1,9
LT_11	4	TR - Kar - TR - HA - TR - SG - WRo	13	1,9
LT_11	5	HA - WW - HA - HA - Kar - SG - SG	29	4,1
LT_11	6	SG - SW - SG - WW - SG - Kar - WW	23	3,3
LT_11	7	WW - SG - WW - SG - WW - SG - SW	34	4,9
LT_11	8	WW - SG - WW - SG - WW - SG - SW	34	4,9
LT_13	1	HA - WRo - LUP - TR - HA - WRo - TR	13	1,9
LT_13	2	WRo - TR - SG - WRo - Kar - WRo - TR	17	2,4
LT_13	3	HA - TR - HA - TR - HA - WRo - TR	15	2,1
LT_13	4	TR - TR - SG - Kar - WW - SG - WRo	17	2,4
LT_13	5	HA - SG - HA - Kar - SG - WRa - HA	28	4,0
LT_13	6	SG - SRa - WW - SG - SW - SG - WW	24	3,4
LT_13	7	WW - SG - WRa - WW - SRa - WW - WRa	14	2,0
LT_13	8	SG - WRa - WW - SG - SRa - WW - SG	17	2,4
LT_14	1	WRo - LUP - WRo - WRo - HA - WRo - HA	15	2,1
LT_14	2	WRo - LUP - WRo - HA - WRo - TR - WRo	19	2,7
LT_14	3	WRo - LUP - WRo - TR - LUP - WRo - TR	15	2,1
LT_14	4	WRo - TR - LUP - WRo - SW - WRo - TR	16	2,3
LT_14	5	HA - WW - HA - SRa - HA - Kar - SG	19	2,7
LT_14	6	SG - Kar - SW - SG - SG - Kar - SW	19	2,7
LT_14	7	SG - SG - WW - SG - SW - SG - WW	34	4,9
LT_14	8	SW - SW - SW - SRa - WW - SG - SRa	22	3,1
LT_18	1	WRo - SG - WRo - TR - WRo - TR - SG	19	2,7
LT_18	2	TR - TR - WRo - TR - TR - SG - WRo	25	3,6
LT_18	3	TR - SW - TR - WRa - SW - TR - WRa	12	1,7
LT_18	4	SW - TR - SW - TR - WRa - SW - TR	12	1,7
LT_18	5	SG - WRa - SW - SG - WRa - WW - SG	16	2,3
LT_18	6	WW - SG - WW - SG - SRa - WW - SG	24	3,4
LT_18	7	WRa - SW - SRa - SG - WRa - SW - SG	12	1,7
LT_18	8	SW - WRa - WW - SG - WRa - SW - SW	23	3,3
LU_21	1	WRo - TR - WRo - HA - WRo - TR - HA	19	2,7
LU_21	2	HA - WRo - HA - TR - HA - WRo - TR	15	2,1
LU_21	3	WRo - TR - HA - WRo - TR - WRo - HA	19	2,7
LU_21	4	SM - TR - SM - SG - WRa - WG - SM	12	1,7
LU_21	5	SM - WRa - WG - SM - WRa - WG - SM	23	3,3
LU_21	6	SG - SG - WRa - WG - SM - SG - WG	25	3,6
LU_21	7	SG - SM - SG - WG - SM - SG - SM	15	2,1
LV_13	1	WRo - WRo - SG - WRo - WRo - WRo - SG	23	3,3
LV_13	2	SG - Kar - SG - WRo - Kar - SG - WRo	13	1,9
LV_13	3	SG - WRo - SG - WRo - SG - SG - SRa	19	2,7
LV_13	4	WRo - WW - WRo - SG - WRa - WW - SG	15	2,1
LV_13	5	WW - SG - SW - SRa - WW - SG - WRa	17	2,4
LV_13	6	WW - Kar - WW - SG - SW - SG - SRa	17	2,4
LV_13	7	SG - SRa - WW - SG - SW - SG - SW	24	3,4
LV_18	1	SG - WRo - SG - WRo - SG - SG - WRo	19	2,7
LV_18	2	SG - Kar - SG - SG - Kar - SG - WRo	19	2,7
LV_18	3	SG - WRa - SG - Kar - SRa - SG - Kar	13	1,9
LV_18	4	Kar - SRa - SW - Kar - SG - WRa - WW	10	1,4

NUTSO_AR (Land – Anbauregion)	Bodenzahl- Gruppe	Fruchtfolge	Bewertung	
			Summe	Mittelwert
LV_18	5	WW - SRa - WW - WW - SW - WW - SG	34	4,9
LV_18	6	SW - SW - WRa - WW - ZR - WW - SRa	19	2,7
LV_18	7	ZR - SG - WRa - WW - ZR - SG - WRa	14	2,0
NL_27	1	SG - SG - WRo - SG - SG - TR - SG	34	4,9
NL_27	2	SM - SG - SM - SG - SM - Kar - TR	9	1,3
NL_27	3	SM - SM - WW - SM - SM - Kar - SM	21	3,0
NL_27	4	SM - KM - Kar - SM - WW - SM - SM	21	3,0
NL_27	5	KM - SM - ZR - SM - Kar - KM - ZR	14	2,0
NL_27	6	KM - SM - ZR - SM - Kar - KM - ZR	14	2,0
NL_27	7	SM - WW - ZR - SM - WW - SM - ZR	11	1,6
NL_27	8	SM - WW - ZR - SM - WW - SM - ZR	11	1,6
NL_29	1	SG - SG - SG - SG - SG - HA - TR	39	5,6
NL_29	2	SM - Kar - KM - Kar - SM - SG - SM	14	2,0
NL_29	3	WW - Kar - WW - Kar - WW - SM - Kar	7	1,0
NL_29	4	WW - Kar - WW - SM - Kar - WW - SM	8	1,1
NL_29	5	Kar - ZR - Kar - SM - WW - Kar - WW	11	1,6
NL_29	6	ZR - Kar - SM - ZR - SG - Kar - WW	12	1,7
NL_29	7	WW - WW - SM - WW - WW - ZR - WW	27	3,9
NL_29	8	WW - SM - WW - ZR - WW - SG - ZR	11	1,6
PL_10	1	HA - WRo - HA - TR - HA - WRo - TR	15	2,1
PL_10	2	WRo - Kar - WRo - TR - WRo - TR - HA	17	2,4
PL_10	3	WRo - TR - WW - WRo - WW - WRo - TR	25	3,6
PL_10	4	WRo - Kar - WRo - TR - WRo - TR - HA	17	2,4
PL_10	5	SM - SG - HA - WW - HA - SM - SG	17	2,4
PL_10	6	SM - SG - SM - SG - Kar - WW - Kar	10	1,4
PL_10	7	SG - SM - WW - SG - WW - SG - WW	24	3,4
PL_11	1	HA - WRo - HA - TR - HA - WRo - TR	15	2,1
PL_11	2	WRo - Kar - WRo - TR - HA - TR - SG	13	1,9
PL_11	3	WRo - TR - HA - WW - WRo - TR - WRa	15	2,1
PL_11	4	WW - WRo - WW - TR - WW - WW - HA	28	4,0
PL_11	5	Kar - HA - TR - WRa - WW - Kar - WW	10	1,4
PL_11	6	SG - WW - SG - WW - SG - SW - WW	34	4,9
PL_11	7	SW - SW - WW - SG - WW - SG - SW	37	5,3
PL_14	1	HA - WRo - HA - TR - SG - WRo - TR	15	2,1
PL_14	2	WRo - Kar - WRo - TR - WRo - TR - SM	16	2,3
PL_14	3	TR - WRa - TR - WW - HA - WW - WRo	17	2,4
PL_14	4	TR - SW - TR - WW - HA - WW - WRo	17	2,4
PL_14	5	SG - WRa - WW - SG - WRa - WW - SG	15	2,1
PL_14	6	SW - Kar - WW - SG - WRa - SW - SM	9	1,3
PL_14	7	SW - SW - WW - SG - WRa - WW - SM	19	2,7
PL_14	8	WW - WW - SW - SW - WW - SG - WRa	31	4,4
PL_17	1	WRo - TR - WRo - WRo - HA - WRo - HA	21	3,0
PL_17	2	WRo - Kar - TR - HA - WRo - SM - SG	10	1,4
PL_17	3	WW - Kar - WW - WRa - WW - TR - WRa	16	2,3
PL_17	4	WW - Kar - WW - HA - SW - SG - WRa	11	1,6
PL_17	5	WW - SG - WRa - WW - KM - SW - WW	20	2,9
PL_17	6	WW - SG - WW - KM - WW - SG - WRa	16	2,3
PL_17	7	SW - SW - WRa - WW - SW - SW - WRa	32	4,6
PT_3	1	HA - SG - SG - HA - TR - HA - TR	29	4,1
PT_3	2	SG - Kar - SG - HA - SG - HA - KM	28	4,0
PT_3	3	WW - SG - KM - SG - SoBlu - WW - HA	12	1,7
PT_3	4	WW - KM - WW - HA - TR - WW - KM	15	2,1
PT_3	5	TR - KM - WW - SoBlu - TR - KM - SoBlu	9	1,3
PT_3	6	WW - KM - SoBlu - WW - KM - SG - SoBlu	8	1,1
PT_3	7	WW - SG - SoBlu - WW - SG - WW - SoBlu	17	2,4
PT_5	1	WRo - WRo - WRo - HA - WRo - WRo - HA	23	3,3
PT_5	2	KM - KM - Kar - WRo - KM - Kar - WRo	11	1,6
PT_5	3	KM - HA - KM - WW - KM - Kar - KM	14	2,0
PT_5	4	KM - WW - KM - WW - KM - Kar - KM	14	2,0
PT_5	6	WW - KM - Kar - KM - AB - WW - Kar	8	1,1
PT_5	7	WW - WW - AB - WW - WW - AB - WW	29	4,1
PT_7	2	KM - HA - KM - Kar - KM - Kar - WRo	9	1,3
PT_7	3	KM - Kar - KM - Kar - KM - WW - KM	14	2,0
PT_7	4	KM - AB - KM - KM - Kar - KM - KM	20	2,9
PT_7	5	KM - AB - KM - KM - Kar - KM - KM	20	2,9
PT_7	6	KM - AB - KM - KM - Kar - KM - KM	20	2,9
PT_7	7	KM - AB - KM - KM - KM - AB - KM	19	2,7
RO_9	1	SG - WRo - SG - SG - SG - SG - SG	39	5,6
RO_9	3	KM - WW - WRa - KM - WW - KM - SoBlu	15	2,1
RO_9	4	KM - SoBlu - KM - KM - WW - WRa - KM	22	3,1
RO_9	5	KM - WW - KM - WW - KM - KM - SoBlu	14	2,0
RO_9	6	WW - KM - WW - KM - WW - KM - SoBlu	9	1,3
RO_9	7	WW - WW - SoBlu - WW - WRa - WW - SoBlu	19	2,7

NUTSO_AR (Land – Anbauregion)	Bodenzahl- Gruppe	Fruchtfolge	Bewertung	
			Summe	Mittelwert
SE_1	1	SG - HA - SG - SG - HA - HA - SG	49	7,0
SE_1	2	SG - Kar - SG - SG - HA - SG - SG	39	5,6
SE_1	3	SG - HA - SG - SG - HA - HA - SG	49	7,0
SE_1	4	SG - HA - SG - SG - HA - HA - SG	49	7,0
SE_1	5	SG - HA - SG - SG - HA - HA - SG	49	7,0
SE_13	1	HA - TR - HA - TR - HA - SG - WRo	19	2,7
SE_13	2	SG - HA - SG - SG - HA - HA - SG	49	7,0
SE_13	3	TR - WW - TR - SRa - TR - WW - SRa	23	3,3
SE_13	4	WW - SG - WW - WW - SW - WW - SG	39	5,6
SE_18	1	TR - SG - SG - WRo - HA - TR - HA	19	2,7
SE_18	2	SG - HA - SG - SG - HA - TR - SG	39	5,6
SE_18	3	WRa - HA - SRa - TR - WRa - HA - TR	14	2,0
SE_18	4	WW - SG - WW - WW - HA - WW - HA	24	3,4
SE_21	1	WRo - WRo - WRo - HA - WRo - WRo - WRo	29	4,1
SE_21	2	WRo - WRo - WRo - HA - WRo - WRo - WRo	29	4,1
SE_21	3	WRa - WW - HA - WRa - HA - Kar - SG	15	2,1
SE_21	4	WW - SG - WW - SG - WW - SG - ZR	23	3,3
SE_21	5	ZR - SG - WRa - WW - Kar - ZR - SG	9	1,3
SI_19	2	HA - KM - HA - SM - SG - WRo - KM	10	1,4
SI_19	3	KM - WW - WRa - KM - KM - WW - SM	22	3,1
SI_19	4	SM - WW - WG - WRa - SM - KM - KM	22	3,1
SI_19	5	SM - WW - WG - SM - KM - KM - WW	18	2,6
SI_19	6	KM - WW - KM - WW - KM - Kar - WG	9	1,3
SI_19	7	WG - WRa - WG - SM - WW - SM - Kar	8	1,1
SI_19	8	WRa - SM - WW - WRa - SM - WW - WG	16	2,3
SK_17	1	WRo - SG - WRo - SG - WRo - WRo - WRo	23	3,3
SK_17	2	WRo - Kar - WRo - SM - SG - KM - SG	9	1,3
SK_17	3	WW - SM - WW - WRa - KM - WW - WRa	18	2,6
SK_17	4	SoBlu - WW - KM - SG - SoBlu - KM - SG	10	1,4
SK_17	5	KM - SG - WRa - KM - SoBlu - SM - KM	17	2,4
SK_17	6	WW - KM - WW - SG - WW - SG - WRa	16	2,3
SK_17	7	SoBlu - WW - SM - SG - SoBlu - WW - SG	10	1,4
UK_26	1	SG - HA - SG - SG - HA - HA - SG	49	7,0
UK_26	2	SG - HA - WG - Kar - SG - SM - SG	22	3,1
UK_26	3	WW - WW - SG - WRa - WW - WW - WRa	24	3,4
UK_26	4	WW - WW - AB - WW - WW - WRa - WW	31	4,4
UK_26	5	WW - WW - WW - WW - WW - WG - WRa	32	4,6
UK_26	6	ZR - WRa - WG - ZR - WW - WRa - WW	18	2,6
UK_26	7	WW - WG - AB - WW - ZR - WW - ZR	10	1,4
UK_26	8	WW - AB - WW - ZR - WW - WG - AB	11	1,6
UK_28	1	HA - SG - HA - HA - SG - HA - HA	49	7,0
UK_28	2	HA - SM - SG - Kar - HA - SM - HA	17	2,4
UK_28	3	WW - SG - WW - WG - SG - WW - SG	34	4,9
UK_28	4	WW - SG - WW - WG - SG - WW - SG	34	4,9
UK_28	5	WW - SG - SM - WW - SG - WG - WRa	17	2,4
UK_28	6	WW - SM - WW - SG - WW - WG - WRa	16	2,3
UK_28	7	WRa - SM - WW - WRa - WW - SM - SG	13	1,9
UK_28	8	WW - SM - WW - WRa - SM - WW - WRa	18	2,6

T- 12: Standort-Szenario: Biogas-Potenzial in den Landkreise und kreisfreien Städten des Landes Brandenburg bei mittleren Niederschlägen und unterschiedlichen („ausgeglichen“ = HB ± 0 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹ und „positiv“ = HB +100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹): Potenziell installierbare Leistung [kW_{el}] bei 8000 Volllaststunden und potenzielle Anzahl von Biogasanlagen (BGA) bei 8000 Volllaststunden und 500 kW_{el}.

Niederschlag „normal“	Humussaldo ausgeglichen (HB ± 0)				Humussaldo positiv (HB +100)				
	Elektrische Leistung [kW _{el}] (8000 Volllaststunden)				BGA [500 kW _{el}]	Elektrische Leistung [kW _{el}] (8000 Volllaststunden)			BGA [500 kW _{el}]
Landkreis	Gülle	WRo	SM	Gesamt		WRo	SM	Gesamt	
BB a.d.Havel	86	41	1.511	1.638	3,3	0	1.511	1.597	3,2
Cottbus	90	48	727	865	1,7	0	727	817	1,6
Frankfurt (O.)	667	2.855	0	3.522	7,0	1.859	0	2.526	5,1
Potsdam	29	346	721	1.096	2,2	80	721	831	1,7
Barnim	2.088	9.343	3.646	15.077	30,2	3.946	3.646	9.680	19,4
Dahme-Spreewald	4.964	10.262	4.485	19.710	39,4	4.135	4.485	13.584	27,2
Elbe-Elster	7.742	14.775	9.274	31.792	63,6	4.555	9.274	21.572	43,1
Havelland	4.326	12.415	5.786	22.527	45,1	5.172	5.786	15.284	30,6
Märkisch-Oderland	6.457	13.870	18.535	38.863	77,7	6.162	18.535	31.155	62,3
Oberhavel	5.275	9.957	4.395	19.626	39,3	4.327	4.395	13.997	28,0
Oberspreewald-Lausitz	1.781	6.126	4.581	12.489	25,0	2.232	4.581	8.594	17,2
Oder-Spree	5.740	11.567	7.391	24.698	49,4	5.328	7.391	18.459	36,9
Ostprignitz-Ruppin	6.723	20.521	9.277	36.521	73,0	8.587	9.277	24.587	49,2
Potsdam-Mittelmark	5.030	14.462	11.093	30.584	61,2	4.644	11.093	20.767	41,5
Prignitz	11.806	29.215	2.779	43.801	87,6	15.002	2.779	29.587	59,2
Spree-Neiße	3.919	9.350	6.474	19.743	39,5	3.566	6.474	13.960	27,9
Teltow-Fläming	6.294	10.950	11.315	28.559	57,1	4.062	11.315	21.671	43,3
Uckermark	7.843	23.198	23.949	54.990	110,0	8.907	23.949	40.699	81,4
Brandenburg gesamt	80.858	199.302	125.940	406.101	812,2	82.567	125.940	289.365	578,7

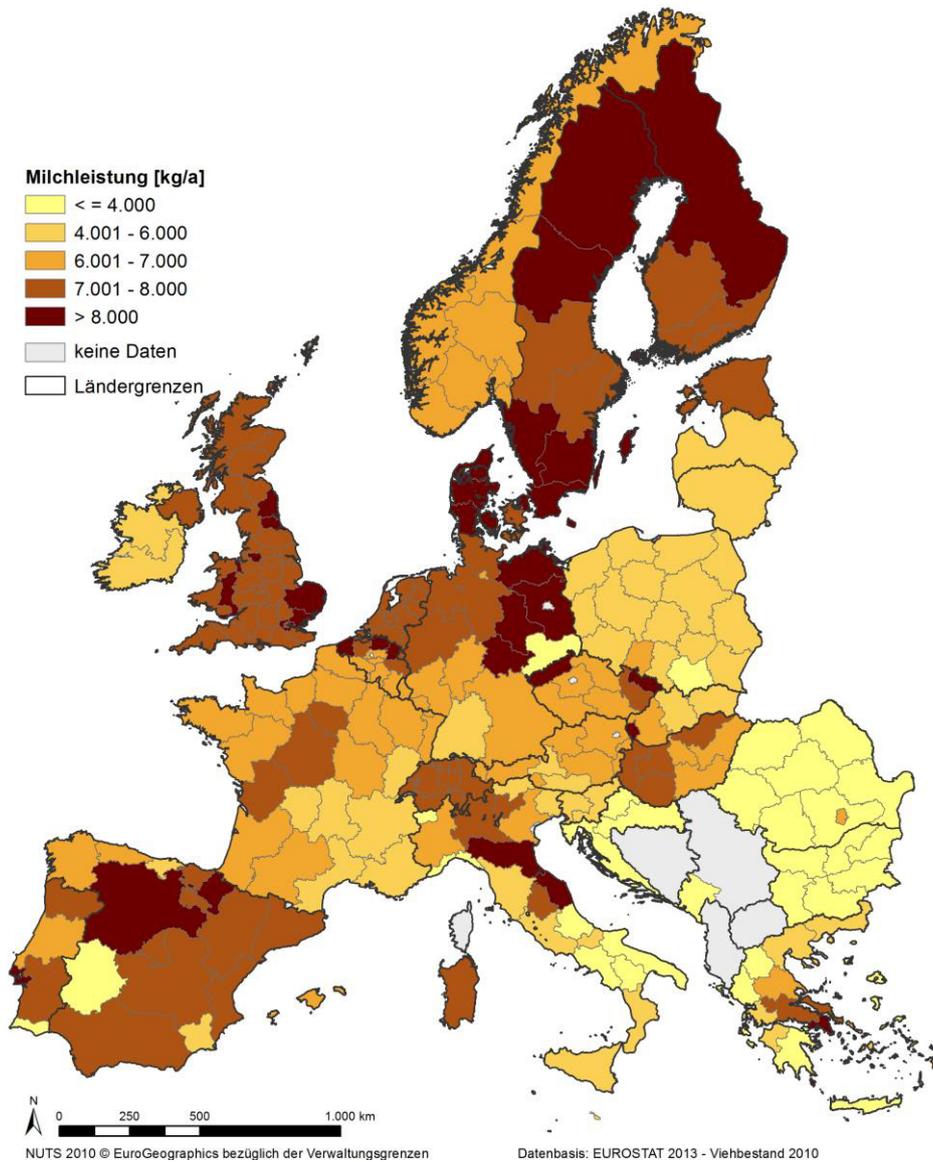
T- 13: Standort-Szenario: Biogas-Potenzial in den Landkreise und kreisfreien Städten des Landes Brandenburg bei minimalen Niederschlägen und unterschiedlichen Humussalden („ausgeglichen“ = $HB \pm 0 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und „positiv“ = $HB + 100 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$): Potenziell installierbare Leistung [kW_{el}] bei 8000 Volllaststunden und potenzielle Anzahl von Biogasanlagen (BGA) bei 8000 Volllaststunden und $500 \text{ kW}_{\text{el}}$.

Niederschlag „trocken“	Humusbilanz ausgeglichen (HB ± 0)					Humusbilanz positiv (HB +100)			
	Elektrische Leistung [kW_{el}] (8000 Volllaststunden)				BGA [500 kW_{el}]	Elektrische Leistung [kW_{el}] (8000 Volllaststunden)			BGA [500 kW_{el}]
	Landkreis	Gülle	WRo	SM		Gesamt	WRo	SM	
BB a.d.Havel	86	0	649	735	1,5	0	649	735	1,5
Cottbus	90	0	400	490	1,0	0	400	490	1,0
Frankfurt (O.)	667	706	0	1.373	2,7	245	0	912	1,8
Potsdam	29	95	326	450	0,9	0	326	355	0,7
Barnim	2.088	2.504	1.976	6.567	13,1	489	1.976	4.553	9,1
Dahme-Spreewald	4.964	2.805	2.111	9.880	19,8	645	2.111	7.720	15,4
Elbe-Elster	7.742	3.866	3.974	15.582	31,2	1.007	3.974	12.724	25,4
Havelland	4.326	3.776	2.490	10.592	21,2	386	2.490	7.201	14,4
Märkisch-Oderland	6.457	2.589	8.098	17.144	34,3	287	8.098	14.842	29,7
Oberhavel	5.275	2.521	1.882	9.678	19,4	659	1.882	7.816	15,6
Oberspreewald-Lausitz	1.781	1.612	2.006	5.400	10,8	174	2.006	3.961	7,9
Oder-Spree	5.740	2.987	3.312	12.039	24,1	499	3.312	9.551	19,1
Ostprignitz-Ruppin	6.723	5.215	3.723	15.661	31,3	1.081	3.723	11.527	23,1
Potsdam-Mittelmark	5.030	3.648	5.183	13.861	27,7	808	5.183	11.021	22,0
Prignitz	11.806	9.733	1.390	22.929	45,9	3.482	1.390	16.678	33,4
Spree-Neiße	3.919	2.145	2.283	8.348	16,7	75	2.283	6.278	12,6
Teltow-Fläming	6.294	3.331	5.020	14.645	29,3	550	5.020	11.864	23,7
Uckermark	7.843	4.691	11.086	23.620	47,2	168	11.086	19.098	38,2
Brandenburg gesamt	80.858	52.224	55.912	188.994	378,0	10.556	55.912	147.325	294,7

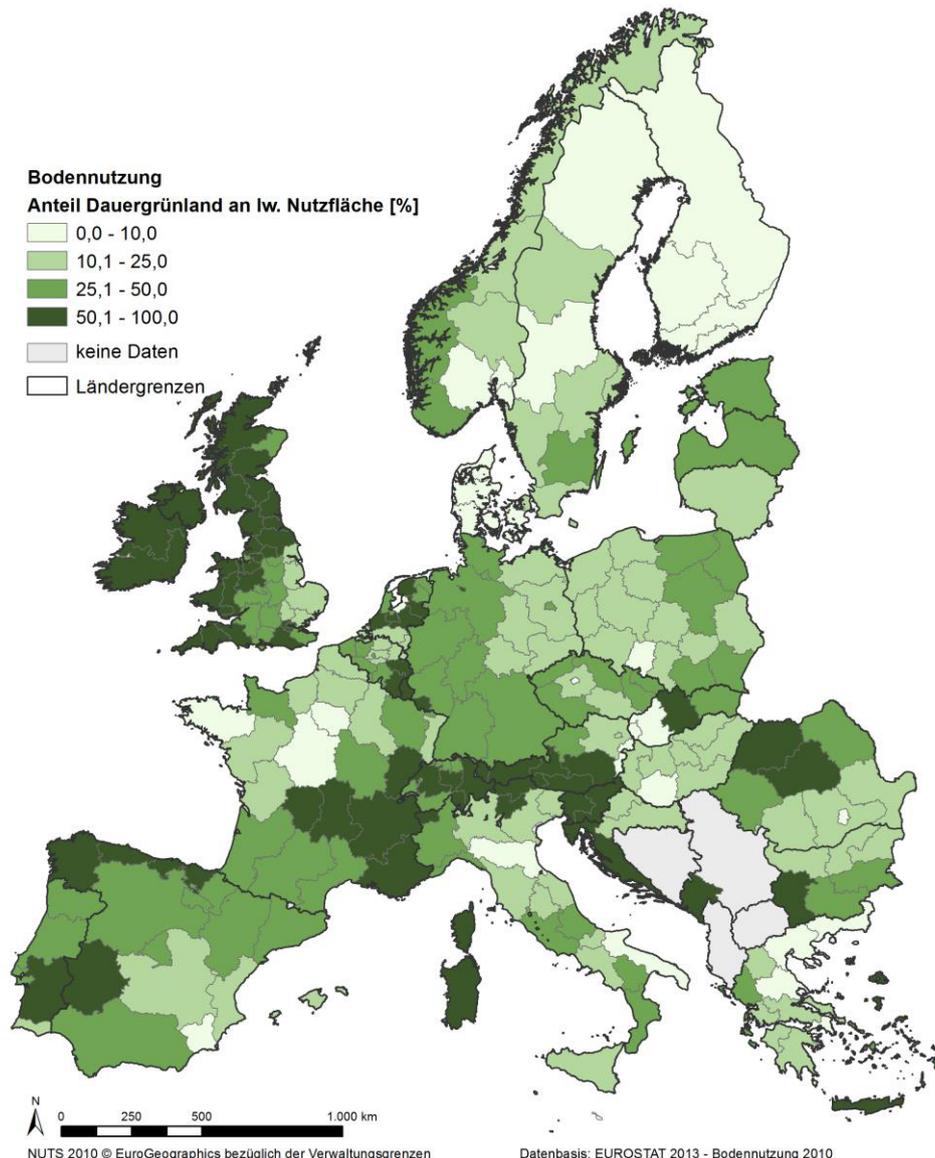
T- 14: Richtwerte für das Verhältnis von Haupternteprodukt zu Nebenernteprodukt (Korn: Stroh-Verhältnis bzw. Wurzel: Laub-Verhältnis) nach unterschiedlichen Quellen und Bewirtschaftungsintensitäten.

Quelle		BYM 2012		KÖHLER (2009)	DüVO (2012)	KTBL (2005)	PANOUSOU et al. (2009)
		kon	eco	eco	kon	kon	kon
Getreide	WRo	1,4	1,7	1,3	0,9	1,4	Einheitlich für alle Getreidearten: Zentral- und Nordeuropa : 0,5 Südeuropa: 0,9
	TR	1,3	0,9	1,2	0,9		
	WW	0,9	1,0	1,1	0,8	0,9	
	SW	1,0	1,0	1,1		1,0	
	WG	1,0	1,1	1,1	0,7	1,0	
	SG	1,1	1,2	1,0	0,8	1,1	
	HA	1,2	1,3	1,1	1,1	1,2	
	KM	1,3	1,4	0,8	1,0	1,3	
Ölfrüchte und Faserpflanzen	WRa	1,7	1,9	2,0	1,7	1,7	1,6
	SRa	2,0	2,0	2,0		2,0	
	AB	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	
	FE	1,4	1,4	1,0	1,0	1,4	
	LUP	1,5	1,5	1,0	1,0	1,9-1,4	
	SoBlu	4,1	4,1	2,0	2,0	4,1	
Knollen- und Wurzelfrüchte	ZR	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	
	Kar	0,4	0,4	0,2	0,2		

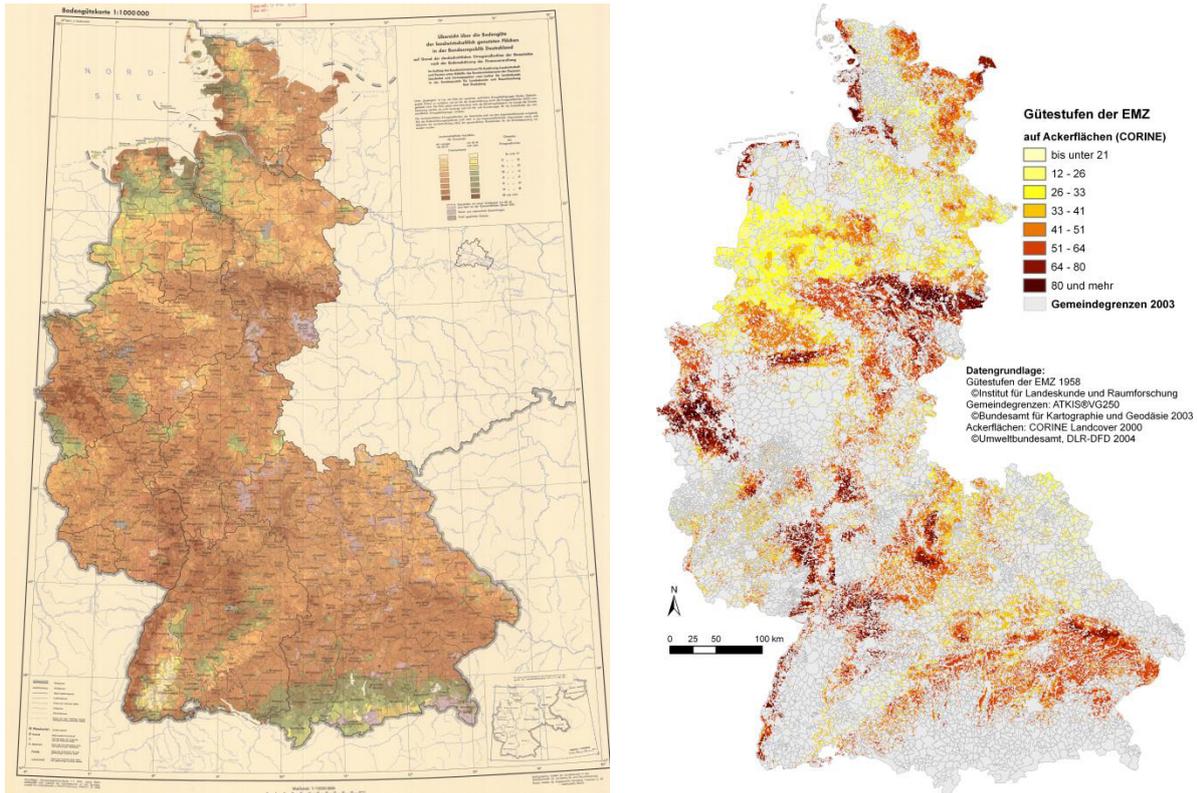
Abbildungen



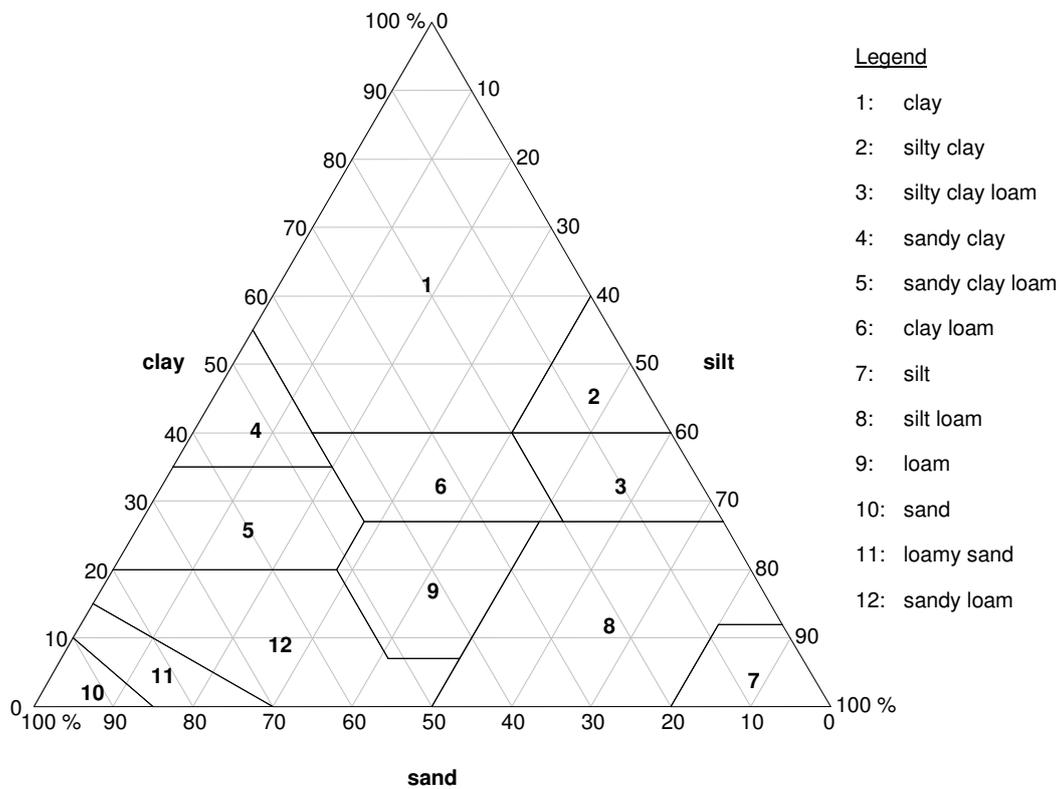
A-1: Berechnung der mittleren Milchleistung von Milchkühen nach EUROSTAT (2013, 2013a) in den NUTS2-Regionen Europas.



A-2: Anteil von Dauergrünland an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (nach EUROSTAT 2013b-Bodennutzung 2010) in den NUTS2-Regionen Europas.



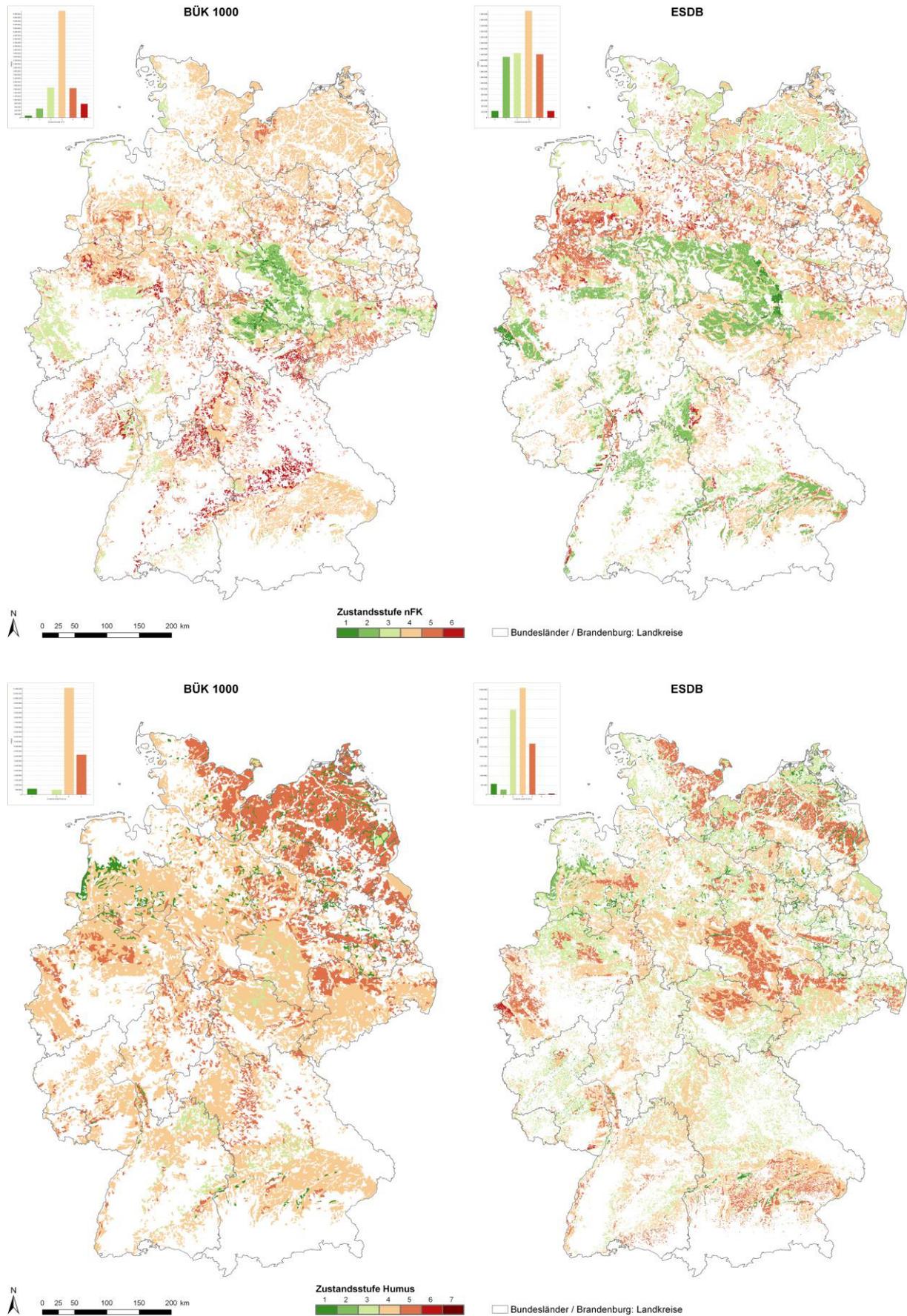
A-3: Ertragsmesszahlkarte der westdeutschen Bundesländer: links: Originalkarte von 1958 (Hrsg.: Institut für Landeskunde in der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung, Bad Godesberg 1958), rechts: digitalisierte EMZ-Gütestufen der Ackerflächen.



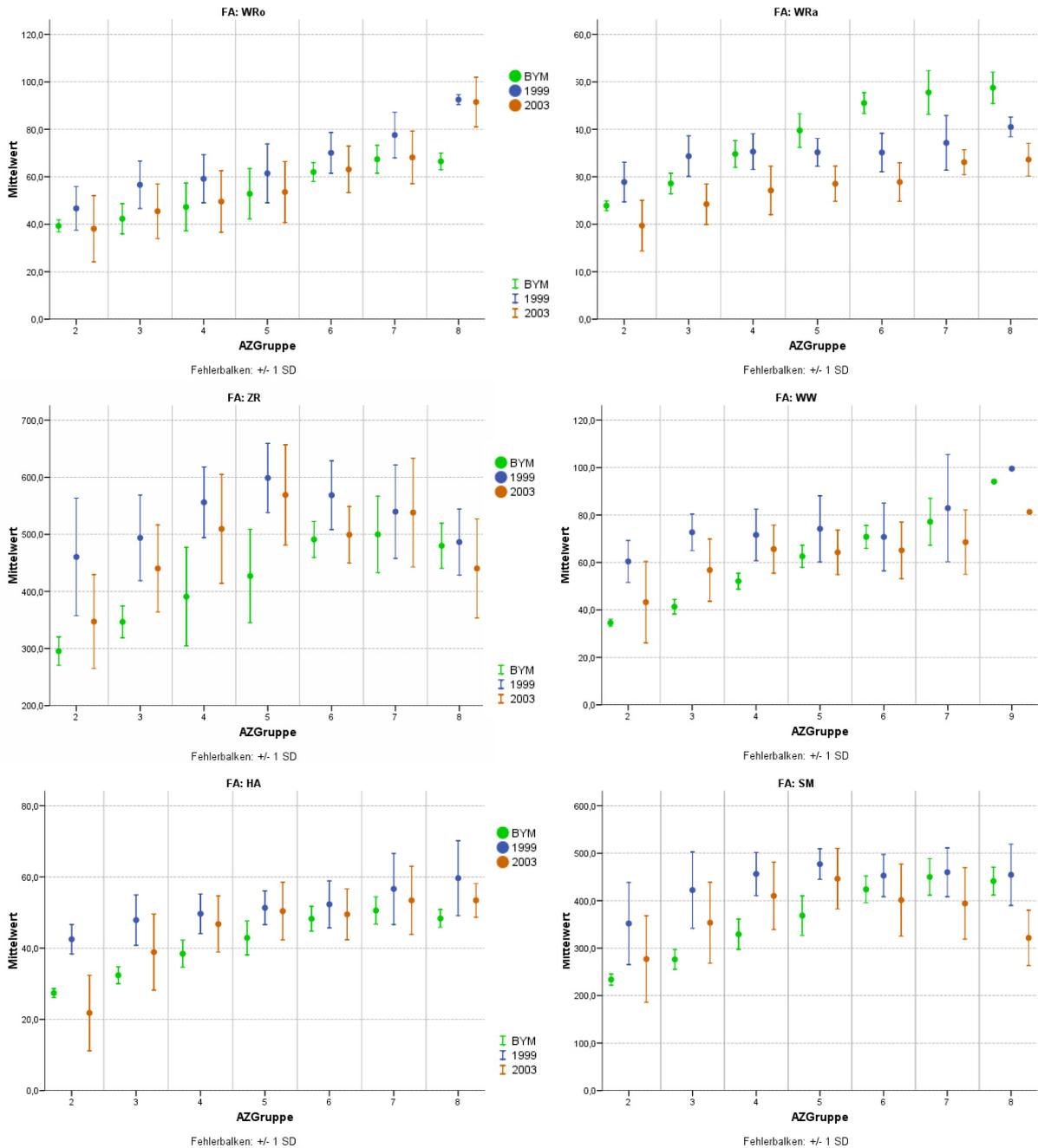
A-4: Texturdreieck nach USDA (United States Department of Agriculture) Standards.

Methode KÖHN		Bodenkundliche Kartieranleitung	Äquivalent- Durchmesser In mm	Bodenschätzung	Methode KOPECKY	
N a s s i e l e b u n g	S e d i m e n t a t i o n	Grobsand	2,0	2,0	S c l ä m a n a l y s e	
		Mittelsand	0,63	Grobsand		
		Feinsand	0,2			
		Grobschluff	0,063	0,1		Feinsand
		Mittelschluff	0,02	0,05		
		Feinschluff	0,0063	0,01		Staubsand
		Ton	0,002	abschlämbbare Teilchen (tonige Bestandteile)		

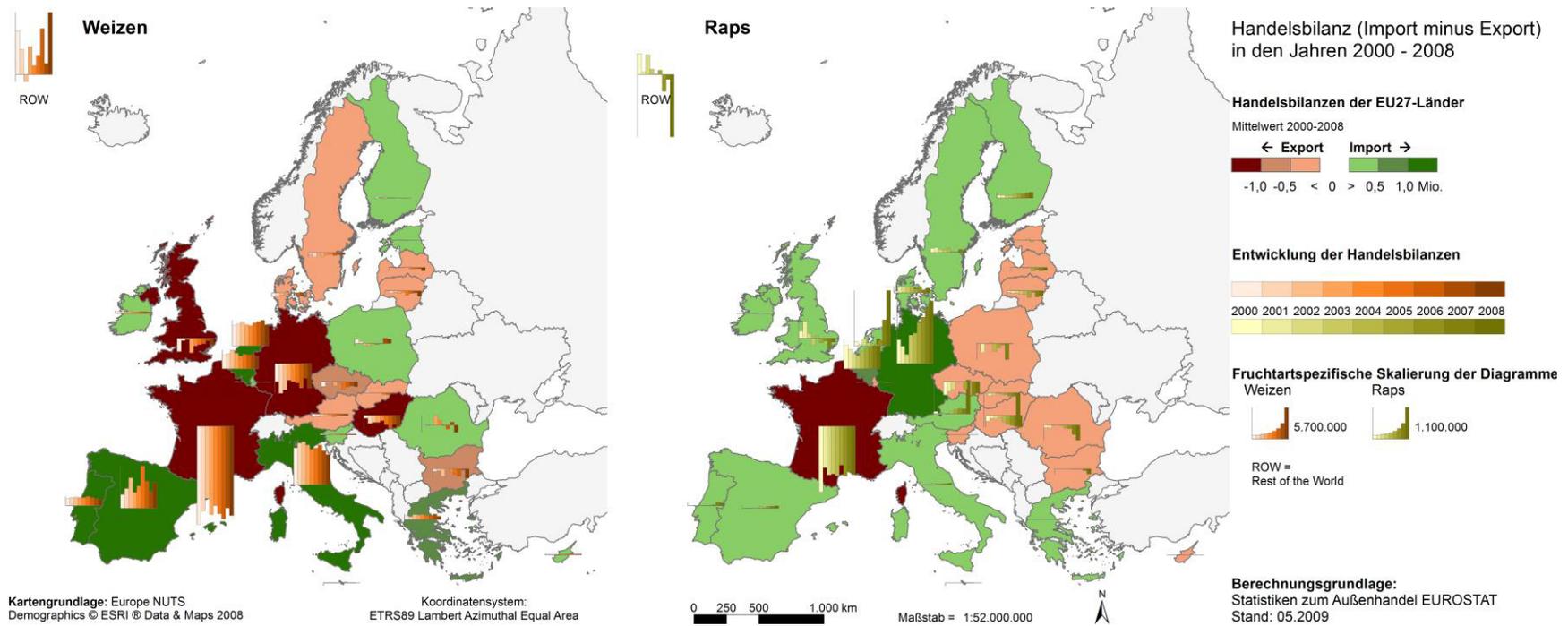
A-5: Kennzeichnung der Korngrößen nach Bodenkundlicher Kartieranleitung und Bodenschätzung (nach: PFEIFFER et al. 2003, Anhang 1).



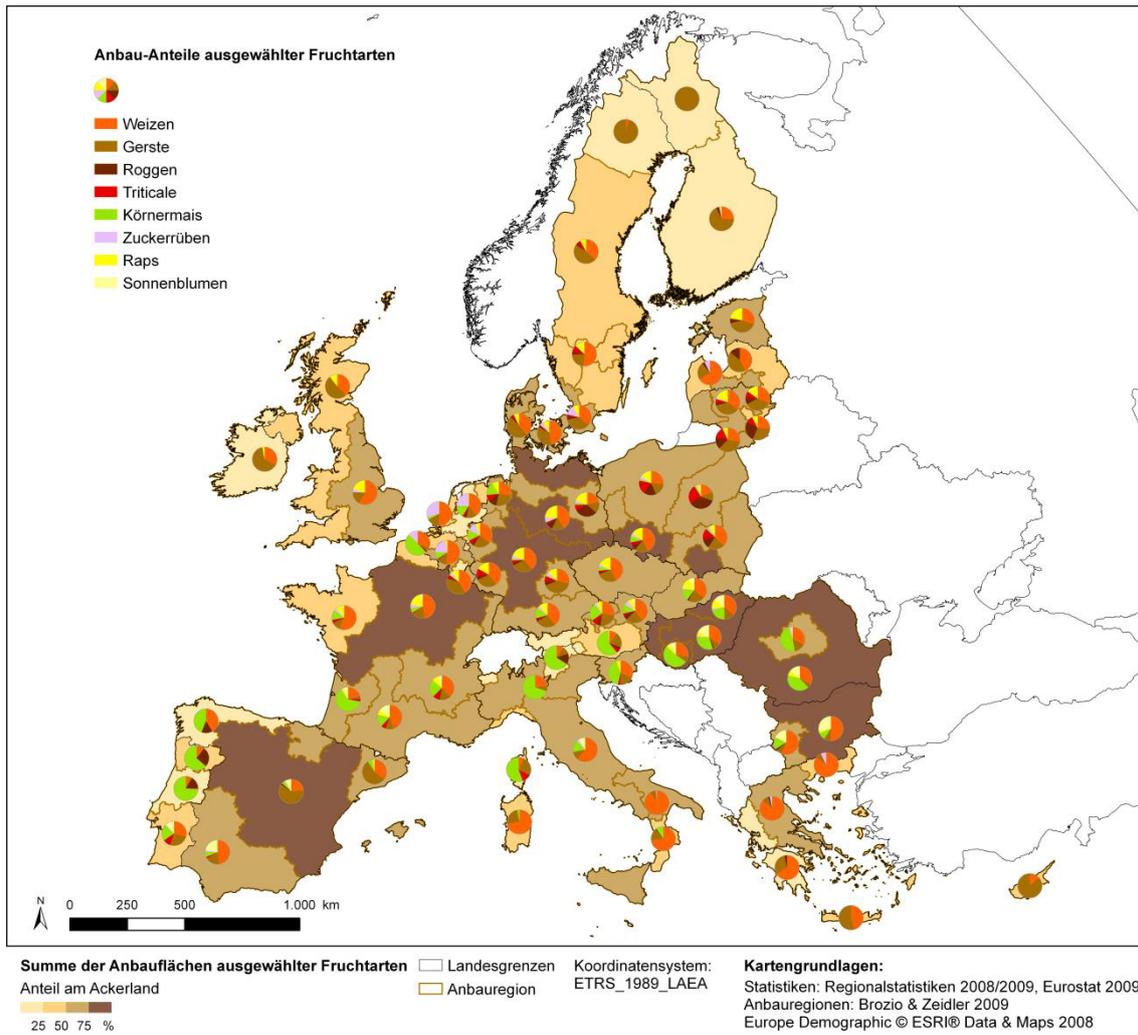
A-6: Zustandsstufen nFK und Humus abgeleitet aus BÜK1000 und ESDB-Daten.



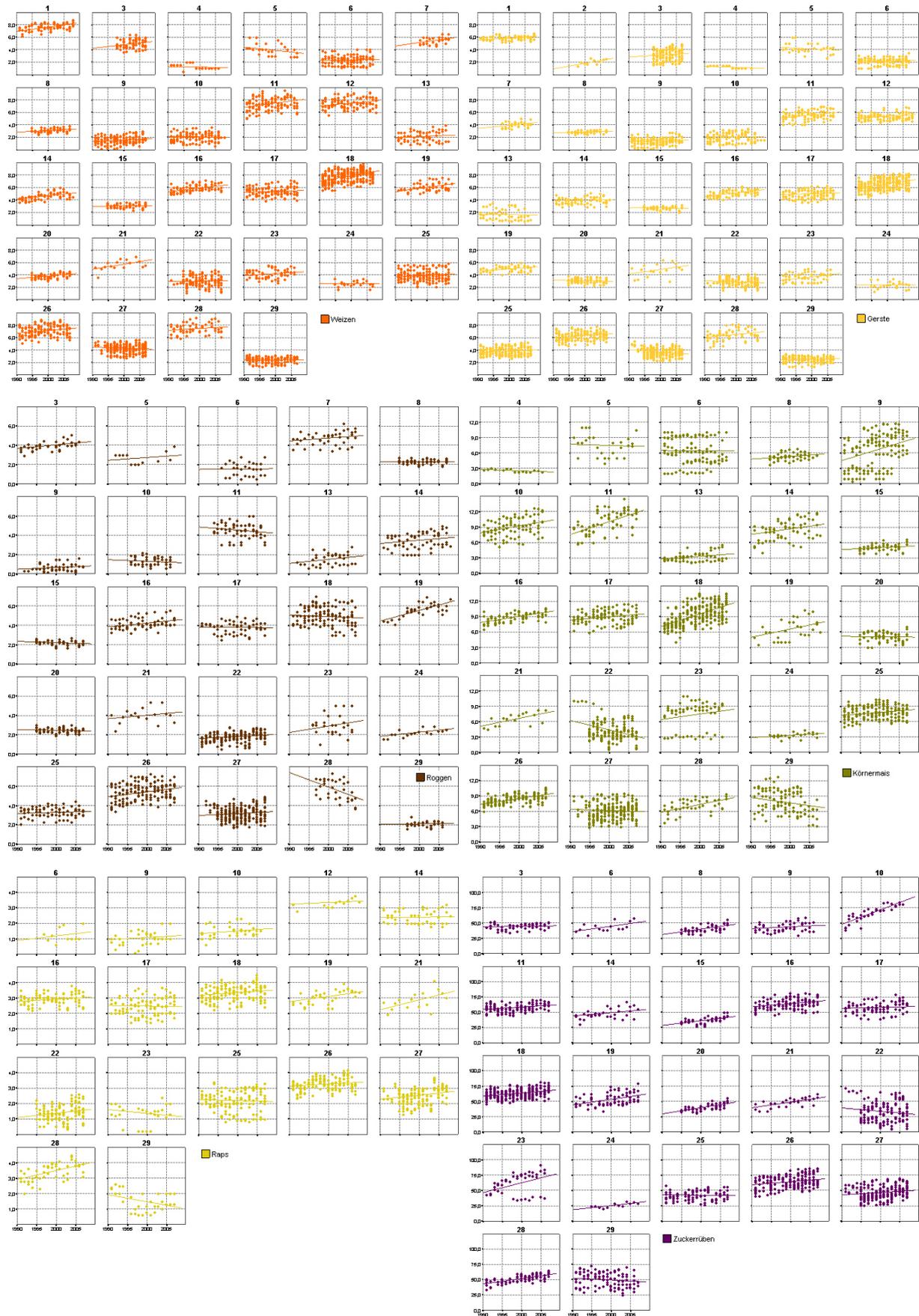
A-7: Vergleich der konventionellen Modellerträge (BYM – Version 1998) von Winterroggen (WRO), Winterrraps (WRa), Zuckerrübe (ZR), Winterweizen (WW), Hafer (HA) und Silomais (SM) mit Agrarstatistiken 1999 und 2003 differenziert nach Ackerzahl(AZ)-Gruppen.



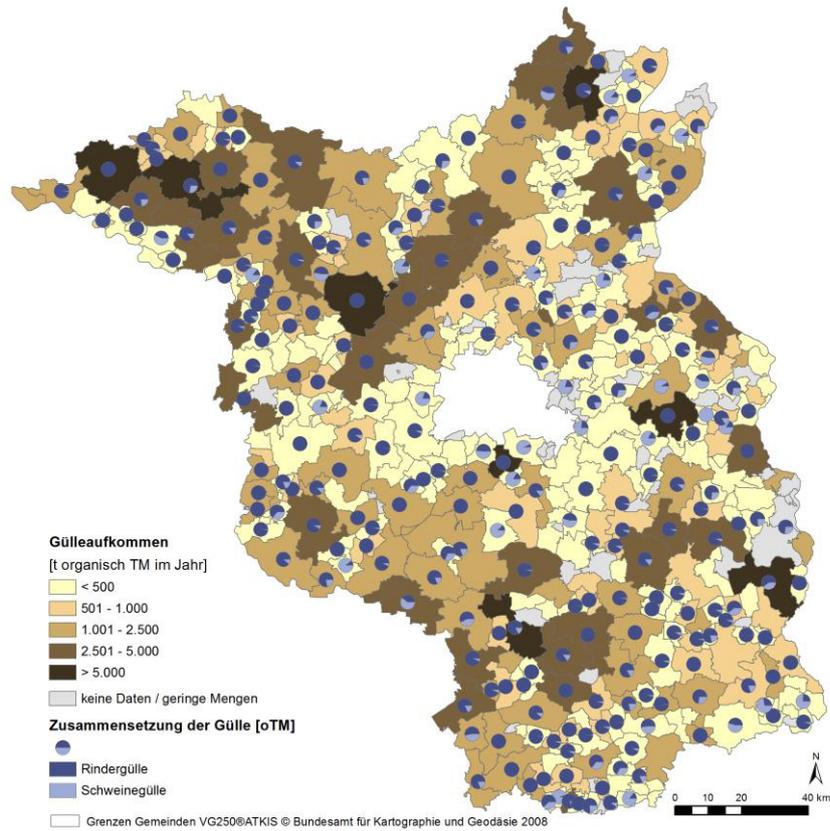
A-8: Jährliche Handelsbilanzen (2000-2008) von Weizen und Raps in den EU27-Ländern (nach BROZIO et al. 2010).



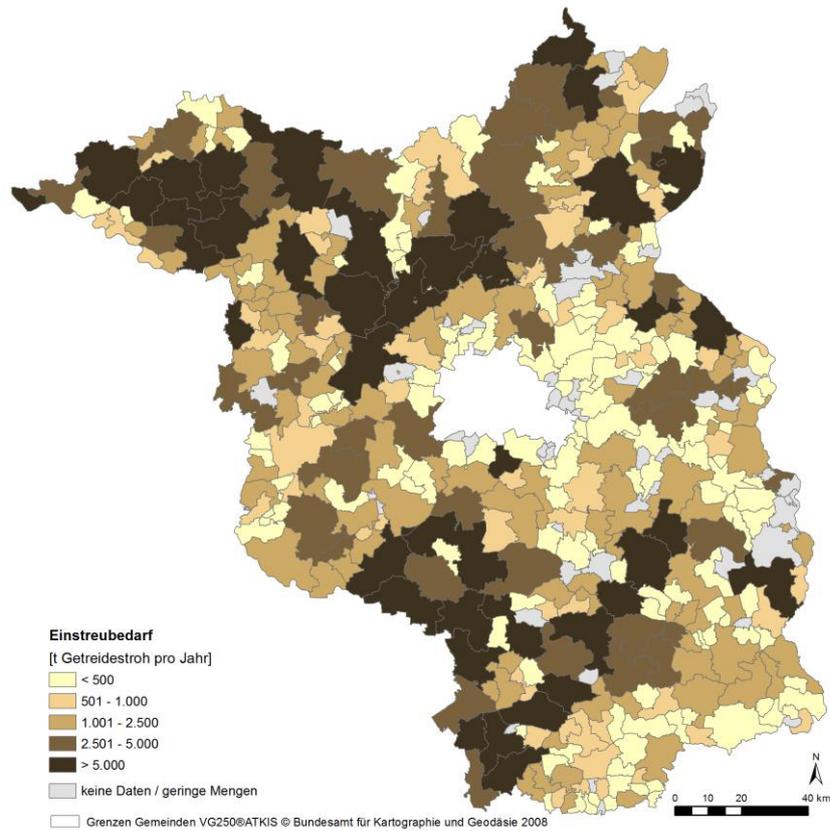
A-9: Referenz-Szenario: Anbauanteile ausgewählter Fruchtarten in den Anbauregionen der EU27-Staaten (nach BROZIO et al. 2010).



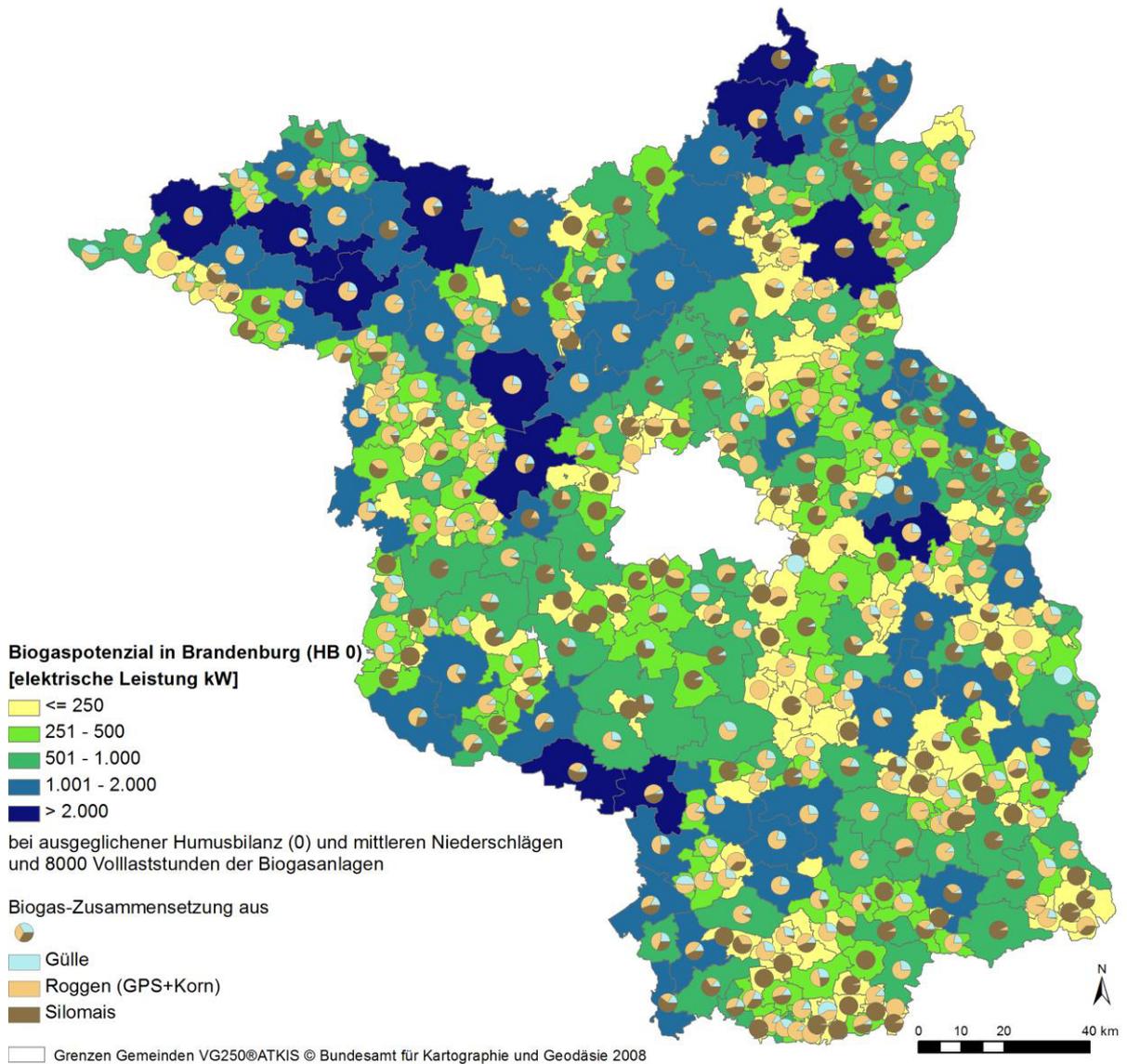
A-10: Fruchtartspezifische Ertragsentwicklung von 1995 bis 2007 (teilweise 2008) in den Anbauregionen 1 bis 29 der EU27-Länder.



A-11: Prognostiziertes Aufkommen von Gülle anhand der Tierbestandsdaten 2008/2009 (LVLF Brandenburg 2010) in den Gemeinden Brandburgs.



A-12: Modellierter Einstreubedarf anhand der Tierbestandsdaten 2008/2009 (LVLF Brandenburg 2010) in den Gemeinden Brandburgs.



A-13: Standort-Szenario: Biogas-Potenzial in den Gemeinden des Landes Brandenburg bei mittleren Niederschlägen („normal“) einer ausgeglichenen Humusbilanz $\pm 0 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$: Potenziell installierbare Biogasleistung $[\text{kW}_{el}]$ bei 8000 Volllaststunden und deren Zusammensetzung bestehend aus Gülle, Roggen und Silomais.

Wissenschaftlicher Werdegang

Sybille Brozio, geb. 13.07.1974

Staatsangehörigkeit: deutsch

Heimatort: Prenzlau

1992 - 1998: Studium der Geoökologie an der Universität Potsdam, Brandenburg; Nebenfach: Ökologie und Naturschutz, zusätzliches Zertifikat "Geoinformatik"

Diplomthema: „Vergleichende Untersuchung von Phänologie und Vegetationsstruktur in Brachen und Grünland für deren Erkennung im Satellitenbild"

1998 - 2002: Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.:

- Kooperationsprojekt Pre agro: Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems für eine teilflächenspezifische Anwendung von Stickstoffdünger
- ProSmart – Teilprojekt STEAP: Ertragsabschätzung von landwirtschaftlichen Feldfrüchten mit Hyperspektraldaten des flugzeugbasierten Scanners HYMAP
- Fruchtartenklassifikation von Satellitendaten (LANDSAT und SPOT), Entwicklung, Anwendung und Validation eines Modellansatzes zur regionalen Abschätzung der Biomasseproduktivität in ackerbaulich geprägten Landschaften
- Kooperationsprojekt in Griechenland (DLR/ International Office): Landnutzungsklassifikation und Analyse von physikalischen Bodeneigenschaften in Trikala, Greece, anhand von Radar-Satellitendaten

2002 - 2003: Technische Assistentin im Studiengang Geoinformatik der Fachhochschule Neubrandenburg, Mecklenburg-Vorpommern

2003: Wissenschaftliche Mitarbeiterin im ZALF Müncheberg: Kooperationsprojekt GenEERA: Potenzialabschätzung der Verbreitung von genetisch veränderten Rapssamen

2004 - 2009: Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Fachhochschule Eberswalde: Bioenergie-Projekt "GIS-basierte Potenzialanalysen Biomasse"

- Methodenentwicklung einer GIS-basierten Biomassepotenzial-Abschätzung in der Landwirtschaft
- Potenzialstudien von Bioenergiefrüchten Deutschland, Polen und den Baltischen Staaten
- Ertragsabschätzung und Verbrauch von landwirtschaftlichen Erzeugnissen in Europa
- Identifizierung von Bioenergiepotenzialen in den Nordischen Ländern (Kooperation mit NORDREGIO)
- Biogasstudien in Deutschland und der Tschechischen Republik
- GIS-basierte Berechnung des theoretischen Photovoltaik-Potenzials auf Dachflächen in den Landkreisen Barnim und Uckermark

2010 - 2013: Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH): Bioenergie-Projekt "Nachhaltige Strohnutzung für die Biokraftstoffherstellung"

- Erhebung von Korn-Strohverhältnissen und Getreidestroh-Erträgen in Feld und Labor
- GIS-basierte Ermittlung von nachhaltig verfügbaren Strohpotenzialen unter Einbeziehung von regionalen Humusbilanzen mittels Biomasse-Ertragsmodell

seit 2013: Mitarbeiterin Projektentwicklung bei der IFE Eriksen AG