

UNTERSUCHUNG DER SYSTEMKOMPETENZ VON GRUNDSCHÜLERN IM BEREICH BIOLOGIE

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



vorgelegt von Cornelia Sommer

Kiel, Dezember 2005

Referent:

Koreferent:

Tag der mündlichen Prüfung:

Zum Druck genehmigt: Kiel,

Der Dekan

Danksagung

Mein Dank gilt allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, insbesondere den Schülerinnen und Schülern und ihren Lehrkräften, ohne deren Mitwirkung diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Bayrhuber, der mich bei der Entstehung dieser Arbeit intensiv unterstützt hat und mich immer wieder anspornte.

Meinen Kolleginnen und Kollegen, insbesondere Markus Lücken, der mich mit seiner methodischen Kompetenz beraten hat, danke ich für ihre Hilfsbereitschaft in allen kleinen und großen Dingen rund um diese Arbeit.

Auch die studentische Hilfskraft Veronika Aslamova hat zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen.

Mein Dank gilt nicht zuletzt meinem Mann Torsten Sommer und meinen Kindern Katharina, Annika und Maybrit, die es mir ermöglicht haben, so intensiv an dieser Dissertation zu arbeiten.

INHALTSVERZEICHNIS

	ZUSAMMENFASSUNG	1
	SUMMARY	2
1	EINLEITUNG	5
2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	7
2.1	Systemtheorie.....	9
2.1.1	Systeme	10
2.1.1.1	Bestandteile eines Systems.....	10
2.1.1.2	Eigenschaften eines Systems.....	12
2.2	Systemisches Denken.....	17
2.2.1	Systemisches Denken in der Literatur.....	17
2.2.1.1	Qualitative Ansätze	18
2.2.1.2	Systemdynamische Ansätze	22
2.2.1.3	Komplexes Problemlösen.....	23
2.2.1.4	Ökologisches Denken.....	25
2.2.1.5	Systemisches Denken bei Ossimitz.....	29
2.2.2	Empirische Untersuchungen zum systemischen Denken.....	30
2.2.2.1	Studien im außerschulischen Umfeld.....	31
2.2.2.2	Studien im schulischen Umfeld.....	31
2.2.3	Interne und externe Modellbildung	44
2.2.3.1	Wissensrepräsentation	44
2.2.3.2	Modellbildung	49
2.2.3.3	Darstellung von Systemen.....	50
2.3	Kompetenzen	58
2.3.1	Komponenten einer Kompetenz.....	59
2.3.2	Stufen einer Kompetenz	60
2.4	Systemkompetenz	62
2.4.1	Zusammenhang zwischen Kompetenz und Systemdenken.....	62
2.4.2	Stufenmodelle der Systemkompetenz	63
2.4.2.1	Systemkompetenz nach Rost.....	63
2.4.2.2	Stufen ökologischen Denkens nach Lecher	65

2.4.2.3	Empirische Befunde nach Orion	67
2.5	Ableitung des theoretischen Bezugsrahmens der vorliegenden Arbeit.....	70
2.5.1	Wissensrepräsentation und Darstellungsmethode	70
2.5.2	Definition systemischen Denkens	70
2.5.3	Komponenten der Systemkompetenz / Bestandteile systemischen Denkens.....	72
2.6	Bedingungen für den Erwerb systemischen Denkens als eines schulischen Lernprozesses	79
2.6.1	Interesse.....	80
2.6.2	Vorwissen.....	84
2.6.2.1	Biologisches Vorwissen	84
2.6.2.2	Systemisches Vorwissen	85
2.6.2.2.1	Hinweise auf bereichsspezifische Systemkompetenz	85
2.6.2.2.2	Hinweise auf bereichsübergreifende Systemkompetenz.....	88
2.6.3	Intelligenz / Abstraktes Denken	92
2.6.4	Externe Bedingungen	96
2.7	Biologische und fachdidaktische Theorie.....	97
2.7.1	Das „System Weißstorch“	97
2.7.2	Fachdidaktische Begründung der Unterrichtskonzeption	106
3	FRAGESTELLUNG UND HYPOTHESEN	112
4	METHODE.....	117
4.1	Ablauf der Studie	117
4.2	Unterrichtsmaterial.....	119
4.2.1	Unterrichtseinheit „Mit Flügeln von Deutschland nach Afrika“	119
4.2.1.1	Materialien für die Schüler.....	119
4.2.1.2	Materialien für die Lehrkräfte	119
4.2.1.3	Die Bausteine der Unterrichtseinheit	119
4.2.2	Computerspiel „Ciconias abenteuerliche Reise“.....	121
4.3	Erhebungsinstrumente.....	129
4.3.1	Operationalisierung der einzelnen Kompetenzkomponenten.....	129
4.3.1.1	Kompetenzkomponenten zur Systemorganisation	129
4.3.1.2	Kompetenzkomponenten zu Systemeigenschaften	130
4.3.2	Begründung der Auswahl des Vergleichssystems	133
4.3.3	Beschreibung der Testteile	134
4.3.3.1	Vorerprobung der Testinstrumente	134

4.3.3.2	Hauptuntersuchung.....	135
4.3.3.2.1	Test zum abstrakten Denkvermögen	135
4.3.3.2.2	Vortest	136
4.3.3.2.3	Zwischentest.....	139
4.3.3.2.4	Testanteile im Computerspiel.....	140
4.3.3.2.5	Nachtest.....	141
4.3.3.2.6	Posttest	144
4.3.3.2.7	Interview.....	144
4.3.3.2.8	Fragebogen für die Lehrkräfte.....	145
4.4	Auswahl der Stichprobe.....	147
4.5	Auswertungsmethoden.....	147
4.5.1	Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation	147
4.5.1.1	Auswertung der Begriffslandkarten	147
4.5.1.2	Bewertung der geknüpften Beziehungen	151
4.5.1.3	Entwicklung der Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation im Verlauf der Untersuchung	152
4.5.2	Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften	153
4.5.2.1	Methoden zur Bewertung der schriftlichen Antworten.....	153
4.5.2.2	Methoden zur Bewertung der Interviews	155
4.5.3	Biologisches Wissen	158
4.5.3.1	Biologisches Wissen in den Begriffslandkarten.....	158
4.5.3.2	Biologisches Wissen in Antworten auf Fragen im Computerspiel	159
4.5.4	Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz	160
4.5.4.1	Interne Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz.....	161
4.5.4.2	Externe Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz.....	169
4.5.5	Bereichsspezifische versus bereichsübergreifende Systemkompetenz	171
5	ERGEBNISSE	173
5.1	Voranalysen	173
5.2	Beschreibung der Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation.....	178
5.2.1	Fähigkeiten im Bereich Identifikation relevanter Elemente und Beziehungen....	178
5.2.1.1	Quantitative Analysen zu Elementen und Beziehungen	179
5.2.1.2	Fähigkeiten im Knüpfen von Beziehungen.....	184
5.2.2	Fähigkeiten im Bereich „Organisation der Elemente und Beziehungen in einem Bezugsrahmen“	188
5.2.3	Fähigkeiten im Bereich Systemgrenzen erkennen und sinnvoll ziehen.....	193
5.3	Beschreibung der Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften.....	193
5.3.1	Fähigkeiten im Bereich Systemintegrität	193
5.3.2	Fähigkeiten im Bereich Dynamik.....	197

5.3.2.1	Erkennen dynamischer Beziehungen	197
5.3.2.2	Vorhersage der Folge von Veränderungen.....	199
5.3.3	Fähigkeiten im Bereich Wirkungen	203
5.3.3.1	Wirkungen in einem System beurteilen können	203
5.3.3.2	Rückwirkungen erkennen und beschreiben können.....	207
5.4	Erwerb biologischen Wissens.....	210
5.4.1	Biologisches Wissen in den Begriffslandkarten.....	210
5.4.2	Biologisches Wissen im Computerspiel.....	213
5.5	Einflüsse auf die Entwicklung von Systemkompetenz.....	215
5.5.1	Interne Einflussfaktoren	215
5.5.1.1	Einflüsse auf die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation.....	216
5.5.1.2	Einflüsse auf die Fähigkeiten im Bereich Systemeigenschaften.....	223
5.5.2	Einflüsse auf das biologische Wissen	224
5.5.2.1	Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf die Hypothesen zur Forschungsfrage 2	225
5.5.3	Einfluss externer Faktoren	226
5.6	Systemkompetenz als bereichsspezifische versus bereichsunabhängige Fähigkeit.....	235
5.6.1	Einfluss von bereichsfremdem systemischem Vorwissen auf die Entwicklung der Systemkompetenz	235
5.6.2	Vergleich der Leistungen im bereichsfremden System mit den Leistungen im System Storch.....	241
6	DISKUSSION	243
6.1	Zeigen Grundschüler Systemkompetenz?	243
6.2	Einflüsse auf den Erwerb von Systemkompetenz	256
6.2.1	Interne Einflussfaktoren auf den Erwerb von Systemkompetenz und biologischem Wissen.....	256
6.2.2	Externe Einflussfaktoren auf den Erwerb von Systemkompetenz und biologischem Wissen.....	260
6.3	Systemkompetenz als bereichsspezifische versus bereichsübergreifende Fähigkeit.....	262
7	LITERATUR	266
8	TABELLENVERZEICHNIS	272

9	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	275
10	ANHANG	279

Zusammenfassung

Die Biologie ist die Wissenschaft von den Biosystemen. Daher kennzeichnet die systemische Betrachtungsweise auch den Biologieunterricht der Sekundarstufe. Die Frage, ob bzw. in welchem Ausmaß diese Betrachtungsweise und der Umgang mit Systemen auch schon in der Grundschule vermittelt werden kann, ist Gegenstand der vorliegenden empirischen Untersuchung.

Bisherige Studien zum Systemverständnis wurden mit älteren Schülern der Mittel- und Oberstufe sowie mit Erwachsenen außerhalb der Schule durchgeführt. Zur Untersuchung der Systemkompetenz von Grundschulern mussten daher geeignete Testinstrumente wie z. B. Fragebögen neu entwickelt werden. Dafür lieferten die pädagogische Psychologie und die Systemtheorie den theoretischen Rahmen, den fachwissenschaftlichen Bezug der Untersuchungen bildete die Biologie des Weißstorchs. Informationen über kognitive und affektive Bedingungen des Erwerbs von Systemkompetenz (Intelligenz, Interesse) wurden mit gängigen Tests erhoben. Weiterhin wurde die Übertragbarkeit der Systemkompetenz von einem inhaltlichen Bereich auf einen anderen untersucht.

In einer Unterrichtseinheit und einem dazugehörigen Computerlernspiel befassten sich Schülerinnen und Schüler der dritten und vierten Jahrgangsstufe mit dem Weißstorch in seinen vielfältigen Wechselbeziehungen mit der biotischen und abiotischen Umwelt, und zwar sowohl im Sommer- als auch im Winterquartier. Mit Hilfe eines Prätest-Posttest-Designs wurde die Entwicklung der Systemkompetenz der Schülerinnen und Schüler am Beispiel des Weißstorchs analysiert.

Die Auswertung der Daten ergab, dass die Systemkompetenz nicht eine einzige Fähigkeit darstellt, sondern aus mehreren verschiedenen Teilkompetenzen besteht. Diese ließen sich analytisch und empirisch zu zwei größeren Kompetenzbereichen zusammenfassen, nämlich Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation und Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften. Wie die statistischen Auswertungen am Ende der Intervention zeigten, waren die Fähigkeiten im ersten Bereich, die sich auch mit dem Begriff Modellbildung umschreiben lassen, bei den Kindern generell gut ausgeprägt. Bei den Fähigkeiten im zweiten Bereich, dem Erkennen von und dem Umgang mit Systemeigenschaften, waren die Leistungen dagegen heterogen. Nur bei Aufgaben, die ein allgemeineres biologisches Wissen über Vögel voraussetzen und auf ein wenig komplexes System bezogen waren, zeigten die Schüler gute Leistungen.

Durch den Einsatz von Aufgaben mit unterschiedlichem Anforderungsniveau ließen sich für jede Teilkompetenz drei auf einander aufbauende Niveaus feststellen, die zu einem Stufenmodell der Systemkompetenz von Grundschulern zusammengefasst wurden.

Aus dem Vergleich der Systemkompetenz im System Storch und in einem System aus dem Alltag der Schüler ergaben sich Hinweise auf eine bereichsübergreifende Fähigkeit im Bereich Modellbildung.

Die individuellen Voraussetzungen der Lernenden wirkten sich in unterschiedlichem Ausmaß auf die Systemkompetenz aus. Während sich die Annahme eines Einflusses von Vorwissen

und Interesse bestätigte, konnte kein Einfluss der Intelligenz auf die Entwicklung der Systemkompetenz nachgewiesen werden.

Im Hinblick auf den Unterricht zeigen die Ergebnisse der Studie, dass bereits in der Grundschule Systemkompetenz vermittelt werden kann. Die Schüler erwarben dabei zusätzlich ein relativ umfangreiches und komplex vernetztes biologisches Fachwissen.

Summary

Biology is the science of biosystems. For this reason, secondary level biological education is also characterized by the systemic view of scientific contexts. In this study the question is pursued whether and to what degree the systemic view and the handling of systems can already be conveyed in elementary school.

Previous studies about system thinking were conducted with older intermediate and upper level students as well as adults outside school. In order to be able to investigate elementary school students' competences in system thinking, the development of appropriate test instruments, e.g. questionnaires, was necessary. Educational psychology and system theory provided the theoretical framework, and the white stork served as biological reference in this study. For the investigation in the cognitive and affective conditions of acquiring competences in system thinking, such as intelligence and interest, well-established empirical tests were applied. Domain-specificity of the competence of system thinking, i.e. the question of its transferability in different biological context, was also studied.

In a lesson unit and a related educational computer game, the third and fourth grades examined the white storks' multitude of reciprocal relationships with the biotic and abiotic environment in their summer and winter quarters. Using a pre-post test design, the development of the students' competency in system thinking concerning white storks was analysed.

The analysis of the data revealed that the competence of system thinking does not represent a single skill, rather it is made up of several different subcomponents, which can be analytically and empirically compiled in two larger areas of competency, viz. in the area of system organization and in the area of system characteristics. As the statistical evaluations showed at the end of the intervention, the skills in the first area, to which the term modelling can also be applied, were generally well shaped in the children. Their performances in the second area, i.e. recognizing and handling system characteristics, were more heterogeneous. They were only well shaped in those tasks which afforded general biological knowledge about birds and referred to a less complex system.

Through the analysis of task with differing levels of task demand, three hierarchical levels could be determined for each sub-competence which were then summarized as a ladder model of elementary school students' competency of system thinking.

The comparison of the students' competences in System Stork and in a system from the everyday lives of the students indicated that modelling represents a domain-general competence.

The students' individual pre-requisites affected their competences to varying degrees. While the assumption of the influence of preliminary knowledge and interest was confirmed, no influence could be proven for intelligence on the development of system thinking.

As implication for school science, the results of this study show that the competence of system thinking can already be conveyed in elementary school, additionally imparting relatively comprehensive and complexly networked knowledge of biology to the students.

1 Einleitung

Die Fähigkeit, systemische Zusammenhänge zu verstehen, ist in weiten Bereichen von Bedeutung: in der Technik, der Gesellschaft, der Politik, im Management und vielen anderen. Aber auch in den Naturwissenschaften hat sie eine hohe Bedeutung. Sie kann uns helfen, Funktionsweisen und Abhängigkeiten zu durchschauen, Entwicklungen und Reaktionen unserer Umwelt zu verstehen und die Folgen unseres Tuns besser abzuschätzen.

So hat die systemische Betrachtungsweise auch Einzug in die Bildungsziele der Schule gefunden. In den Bildungsstandards, die Maßstäbe für die schulische Bildung festlegen, wird die Biologie als „Wissenschaft von den Eigenschaften und der Geschichte lebender Systeme“ (Mayer, J., Harms, Hammann, Bayrhuber, & Kattmann, 2004) bezeichnet. Darin kommt der Gedanke zum Ausdruck, dass sich Biologieunterricht nicht auf die Vermittlung von isoliertem Faktenwissen beschränken darf, sondern den Schülerinnen und Schülern Einsichten in die verschiedenen Systemebenen der belebten Umwelt (Moleküle, Zellen, Organismen, Populationen, Ökosysteme und schließlich die Biosphäre) und deren grundlegenden Prinzipien eröffnen soll. Dazu muss der Biologieunterricht ein multiperspektivisches und systemisches Denken fördern.

Damit in den weiterführenden Schulen diese Bildungsziele erreicht werden, sollte das systemische Denken bereits in der Grundschule angebahnt werden.

Aus der Forschung zum systemischen Denken ist bekannt, dass selbst Erwachsene oft noch erhebliche Schwierigkeiten im Umgang mit komplexen Systemen haben. Es stellt sich daher die Frage, ob und auf welchem Niveau Grundschüler überhaupt systemisch denken können.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es darum, an einem konkreten Beispiel zu prüfen, welche Fähigkeiten Grundschüler im Umgang mit Systemen haben.

Dazu bedarf es verschiedener Schritte: Es muss erstens geklärt werden, was ein System ist. Dafür werden aus der Systemtheorie die wesentlichen Kennzeichen und Eigenschaften von Systemen abgeleitet. Zweitens müssen die zu untersuchenden Fähigkeiten definiert werden. Aus der Analyse der bisherigen Forschung lassen sich Hinweise auf Fähigkeiten älterer Schüler ziehen, die Fähigkeiten jüngerer Kinder auf diesem Gebiet sind dagegen noch kaum untersucht. Es ist daher nötig, einen Bezugsrahmen zu schaffen, der als Grundlage zur Beschreibung der systemischen Fähigkeiten dienen kann. Dieser Bezugsrahmen beschreibt die verschiedenen Fähigkeiten, die die Systemkompetenz widerspiegeln sollen.

Mit diesen Schritten wird eine Basis zur Untersuchung des Niveaus der systemischen Fähigkeiten von Grundschulern geschaffen. Darüber hinaus ist es jedoch noch von Bedeutung, welche Voraussetzungen die Leistungen der Schüler beeinflussen. Aus der

Lernforschung sind verschiedene Einflussfaktoren bekannt, deren Wirkung in der vorliegenden Studie geprüft werden soll.

Auf der Basis der Untersuchungsergebnisse wird dann die Systemkompetenz von Grundschulern innerhalb eines Gebietes beschrieben und Rückschlüsse auf die Entwicklung dieser Kompetenz gezogen. Geprüft werden diese Fähigkeiten am Beispiel des „Systems Weißstorch“. Mit dem „System Weißstorch“ wird ein stark vereinfachtes Ökosystem beschrieben, das die wesentlichen Wechselwirkungen des Weißstorchs mit seinen belebten und unbelebten Umwelten in den Blick nimmt. Die biologischen Grundlagen dieses Systems sollen ebenfalls erläutert werden.

2 Theoretische Grundlagen

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Systemkompetenz von Grundschulern zu untersuchen. Daraus ergeben sich zwei Schwierigkeiten: Zum einen haben sich bisherige Forschungsansätze mit dem Systemverständnis von älteren Schülern¹ befasst, über das systemische Denkvermögen von Grundschulern ist wenig bekannt. Demzufolge existieren keine Theorien über Ausmaß, Bedingungen und Untersuchungsmethoden zu diesem Thema. Zum anderen aber liegt dieses Forschungsthema, wenn man es im größeren Zusammenhang betrachtet, an der Schnittstelle mehrerer „klassischer“ Forschungsgebiete (Abbildung 1).

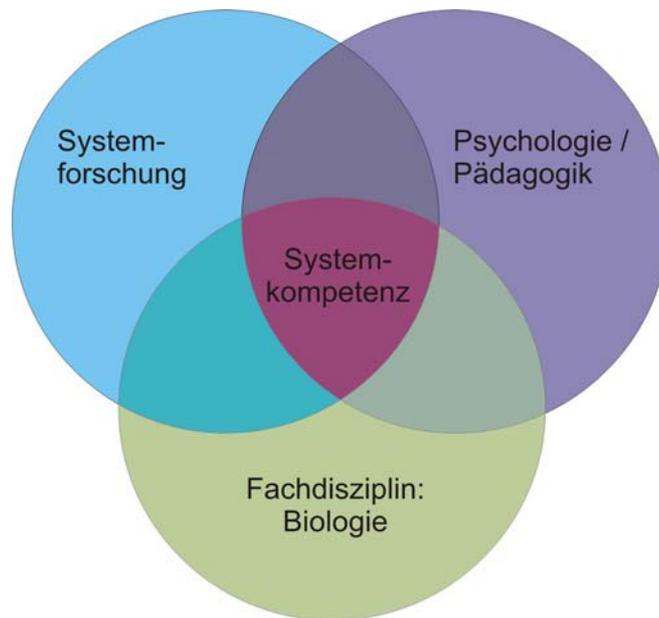


Abbildung 1: Überschneidung der Forschungsbereiche zum Untersuchungsgebiet

Zu diesen Forschungsbereichen zählt erstens die Systemforschung, die sich mit der Frage beschäftigt, welche besonderen Charakteristika ein System auszeichnen und wie es funktioniert. Zweiter beteiligter Bereich ist das Forschungsfeld der pädagogischen Psychologie, das sich u. a. mit der Erforschung von Denk- und Lernprozessen beschäftigt, die in unserem Zusammenhang wichtig sind. Dritter Forschungsbereich ist die jeweilige Fachdisziplin, die die konkrete inhaltliche Basis des jeweiligen Untersuchungsgebietes darstellt, im vorliegenden Fall die Biologie. Die Schnittmenge dieser Forschungsbereiche stellt den Inhalt der vorliegenden Untersuchung dar: die Systemkompetenz von Grundschulern am Beispiel des „Systems Weißstorch“.

¹ Natürlich sind hier und im Folgenden Schülerinnen und Schüler gemeint. Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit soll aber auf die Darstellung beider Formen verzichtet werden. Der Ausdruck „Schüler“ wird sich in der Folge also immer auf Schülerinnen und Schüler beziehen.

In den folgenden Kapiteln werden die theoretischen Grundlagen der einzelnen Forschungsbereiche in Bezug auf das Untersuchungsgebiet dargelegt. Kapitel 2.1 beschäftigt sich mit den Grundlagen der Systemtheorie und beschreibt die Bestandteile und wichtigsten Eigenschaften von Systemen. Die theoretischen Ansätze für Forschungsarbeiten zum systemischen Denken in verschiedenen Fachdisziplinen und ihre Umsetzung in empirischen Studien sollen in Kapitel 2.2 beschrieben werden. Kapitel 2.3 und 2.4 beschreiben, welche Impulse die Diskussion um Kompetenzen für die Erforschung des systemischen Denkens haben kann. Die Schlussfolgerungen aus den bisherigen Forschungsarbeiten und die sich daraus ergebenden Folgerungen für die vorliegende Arbeit werden in Kapitel 2.5 zusammengefasst und das für diese Arbeit gewählte Konstrukt von Systemkompetenz vorgestellt. Darauf aufbauend werden die Hinweise aus der Literatur zur Entwicklung dieser Systemkompetenz erörtert, um Hinweise auf altersabhängige Fähigkeiten zu erhalten.

Wie jeder andere schulische Lernprozess wird auch das Erlernen von Systemkompetenz von verschiedenen Vorbedingungen des Schülers und der Lernsituation beeinflusst. Kapitel 2.6 beschreibt mögliche Einflussfaktoren auf diesen Lernprozess.

In Kapitel 2.7 wird schließlich das System beschrieben, das die inhaltliche Grundlage dieser Arbeit bildet, das „System Weißstorch“.

2.1 Systemtheorie

In diesem Kapitel sollen die systemtheoretischen Grundlagen, die sich aus der Systemforschung ergeben vorgestellt werden.

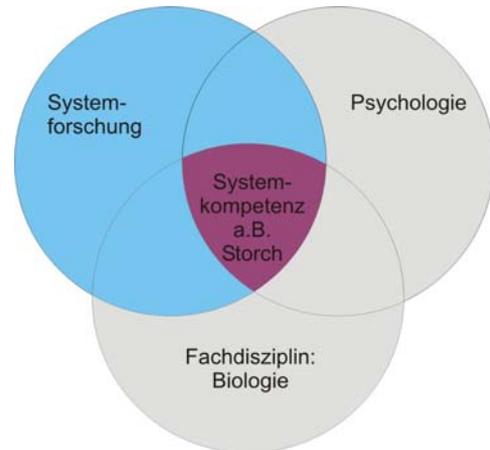


Abbildung 2: Einordnung des Kapitels Systemtheorie in den Gesamtaufbau der Arbeit

Jeder Mensch bewegt sich in einer Vielzahl von Systemen. Sie ergeben sich aus den vielfältigen Objekten, Orten und Sachverhalten, mit denen wir tagtäglich in Berührung kommen und die in unterschiedlichster Weise mit einander verknüpft sein können. Die Mehrheit dieser Systeme ist von einer großen Komplexität gekennzeichnet, die umso größer wird, je weiter der Rahmen gesteckt wird. Weltwirtschaft, Politik oder Umwelt sind hochkomplexe Systeme.

Um diese Komplexität wissenschaftlich zu berücksichtigen, haben sich in der Wissenschaftsgeschichte verschiedene Ansätze herausgebildet, die sich in Theorie und Methodik unterscheiden. Nach Windelband (1894 aus Lecher, 1997) lassen sich ein nomothetischer und ein idiographischer Ansatz von einander abgrenzen. Hauptziel der nomothetischen Position ist es, allgemein gültige Gesetzmäßigkeiten aufzuzeigen und formalisiert darstellbare Theorien zu formulieren. Die methodische Vorgehensweise lässt sich als reduktionistisch kennzeichnen: die Komplexität der zu analysierenden Gegenstände bzw. Realität wird auf möglichst wenig Elemente reduziert. Ziel ist es, die Funktionsweise der einzelnen Teile zu verstehen, danach diese Einsichten zusammenzufügen und auf diese Weise das Ganze zu erfassen. Ein theoretischer und methodischer Reduktionismus birgt jedoch die Gefahr, dass die einzelnen Teile aus ihrem Zusammenhang gelöst werden und dieser selbst dann aus dem Blick gerät (Lecher, 1997).

Vom nomothetischen Ansatz grenzt Windelband den idiographischen ab. Er findet sich beispielsweise in phänomenologischen und hermeneutischen Traditionen wieder. Als eine wesentliche Methode gilt die Wiedergabe bzw. Beschreibung von Strukturen und die Rekonstruktion von Geschehnissen in ihrem Kontext, in ihrer historischen Einordnung und in ihrer Genese. Die zu untersuchenden Phänomene werden als einmalige, sich nie in der selben

Weise wiederholende begriffen, die nur dann richtig interpretiert werden können, wenn das zeitliche und räumliche Umfeld dabei mit berücksichtigt wird (Lecher, 1997).

Für den Umgang mit komplexen Situationen stoßen beide Positionen an ihre Grenzen. Bei einer reduktionistischen Betrachtungsweise besteht die Gefahr, den Blick nur noch auf Teile zu richten, die aus ihrem Zusammenhang herausgelöst sind, und das Zusammenspiel der Teile zu vernachlässigen. Das führt beispielsweise dazu, dass Bäume auf ihre Funktion als Brenn- oder Baumaterial reduziert werden und dementsprechend ökonomisch bewertet werden. Alle darüber hinausgehenden Eigenschaften - wie ihre Bedeutung als Lebensraum für viele Tiere oder in Form des Waldes als Regulator des Klimas - bleiben bei einer solch reduktionistischen Blickweise unbeachtet. Eine phänomenologische Betrachtung desselben Baumes in seiner Einmaligkeit führt aber in Bezug auf einen verallgemeinerbaren Erkenntnisgewinn ebenso wenig weiter. Er stößt an seine Grenzen, wenn es darum geht, übertragbare Strategien oder Erkenntnisse zu gewinnen, die auf neue Situationen anwendbar sind. Für den Umgang mit komplexen Situationen müssen also Methoden gefunden werden, die die beiden Positionen vereinen und zu einem komplexeren Blick verhelfen.

Mit dem Verständnis der Teile eines komplexen Bereiches, ihrer Verbindungen untereinander und den daraus resultierenden Funktionen, sowie der Übertragbarkeit der erhaltenen Informationen auf neue Situationen beschäftigt sich die Systemforschung. Sie stellt einen multidisziplinären Ansatz aus den unterschiedlichsten Bereichen wie Physik, Sozialwissenschaften, Technik, Management und Ökologie dar. Der Grundgedanke der Systemtheorie ist die Annahme genereller Prinzipien, die es ermöglichen, verschiedenste Phänomene als Systeme zu begreifen, die gemeinsame Charakteristika aufweisen. Diese generellen Prinzipien stellen die Basis für den Umgang mit komplexen Systemen dar, welcher auf dem „Systemdenken“ beruht.

Mit einer Übersicht über Grundkonzepte aus der Systemforschung wird sich das folgende Kapitel (Kap. 2.1.1) befassen.

2.1.1 Systeme

2.1.1.1 Bestandteile eines Systems

Der Begriff „System“ wird in vielen Bereichen von wissenschaftlichen Fachgebieten bis hin zur Alltagssprache gebraucht. Demzufolge existiert eine Reihe von Beschreibungen, die aus der jeweiligen Fachperspektive diesen Begriff definieren.

Ludwig von Bertalanffy, der als ein Begründer der Systemforschung gilt, verfasste eine allgemeine Systemtheorie, die versucht, auf der Grundlage des methodischen Holismus gemeinsame Gesetzmäßigkeiten in physikalischen, biologischen und sozialen Systemen zu finden und zu formalisieren.

Von Bertalanffy definiert Systeme als „[...] *sets of elements standing in interaction* [...]“ (Bertalanffy, 1968).

aus; manche Autoren unterscheiden hiervon noch Systeme, die nur Energie mit ihrer Umwelt austauschen. Geschlossene Systeme, die weder Stoffe noch Energie mit ihrer Umwelt austauschen, können nur theoretisch postuliert werden.

Wo genau die Grenzen eines Systems verlaufen, ist oft abhängig von der Betrachtungsweise. Gerade biologische Systeme haben oft mehrere verschiedene Ebenen, auf denen sie in Austausch mit ihrer jeweiligen Systemumwelt stehen. Beispielsweise ist auf Mikroebene eine Zelle ein biologisches System, das mit seiner Umwelt in stofflichem und energetischem Austausch steht. Diese Zelle ist oft Teil eines Organs, das wiederum aufgrund seiner Funktion und Gestalt als System bezeichnet werden kann. Dieses Organ steht in Austausch mit anderen Organen und bildet mit ihnen das nächst höhere System, einen Organismus. Dieser Organismus wiederum ist ebenfalls auf Energie- und Stoffaustausch mit seiner Umwelt angewiesen, und bildet zusammen mit seiner Umwelt ein Ökosystem. Die Reihe lässt sich weiter fortführen, denn letztlich sind alle natürlichen Systeme offen und in irgendeiner Form mit einander verbunden.

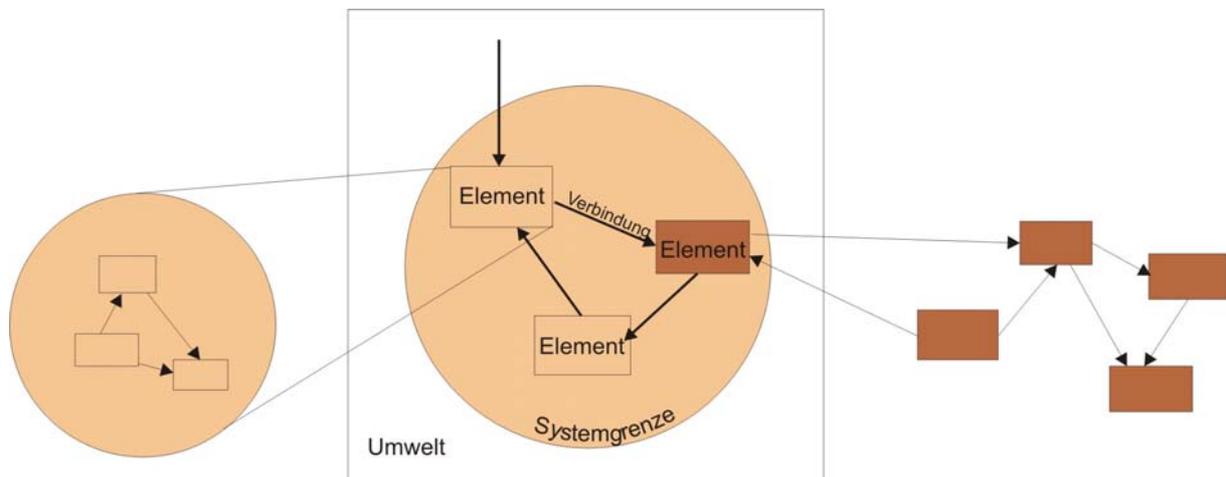


Abbildung 4:

(a) Elemente können Subsystem bilden

(b) Elemente können Elemente eines anderen Systems sein

2.1.1.2 Eigenschaften eines Systems

Betrachtet man die Eigenschaften verschiedener Systeme, so kann man verschiedene Systemtypen differenzieren. Man unterscheidet u. a.

- offene von geschlossenen Systemen,
- komplexe von einfachen Systemen,
- dynamische von statischen Systemen.

Für die vorliegende Arbeit bilden zwei Systeme die Basis der Untersuchungen: das „System Weißstorch“ und das „System Schule“. Das System Schule wird in dieser Arbeit als ein

weiteres System zur Prüfung des Systemverständnisses von Grundschulern genutzt. Deshalb soll schon hier darauf eingegangen werden. Die folgenden Differenzierungen der Eigenschaften sollen in Bezug auf diese beiden Systeme vorgenommen werden.

- Offene und geschlossene Systeme

Die Abgrenzung von offenen und geschlossenen Systemen über den Austausch von Energie und Stoffen oder Informationen wurde im vorangehenden Abschnitt bei der Darstellung von Systemgrenzen besprochen.

Sowohl das „System Weißstorch“ als auch das „System Schule“ stellen offene Systeme dar. Der Weißstorch steht in seinen Lebensräumen in zahlreichen Beziehungen zu seiner Umwelt, er wird von verschiedenen biotischen und abiotischen Faktoren beeinflusst. Darüber hinaus verbindet der Weißstorch durch seine besondere Lebensweise zwei weit von einander entfernte Ökosysteme. Ein Austausch findet also auch über die Grenzen von Ökosystemen statt.

Diese ökologische Nische des Weißstorches wird zusammen mit den vielfältigen Verbindungen und Abhängigkeiten der Faktoren untereinander im Folgenden vereinfachend als „System Storch“ bezeichnet. Das „System Storch“ ist aufgrund seiner vielfältigen Verbindungen zur Systemumwelt ein offenes System.

Das „System Schule“ ist ein überwiegend soziales System, das aber durch seine Struktur und räumlich Eingrenzung auch eine Reihe Beziehungen zu „abiotischen Faktoren“, wie z. B. die Gestalt der Klassenräume und des Schulhofs, der räumlichen Einbettung der gesamten Schule usw. enthält. Auch das „System Schule“ ist aufgrund seines Austausches mit der Umwelt als offenes System zu bezeichnen.

- Einfache und komplexe Systeme

Die Einfachheit beziehungsweise Komplexität eines Systems ist bestimmt durch die Anzahl und Verschiedenartigkeit der Elemente und die Menge und Dichte der Beziehungen zwischen den Elementen. Die Komplexität eines Systems steigt mit dem Grad der Vernetzung (Bossel, 1994). Allgemeine Definitionen wie die zitierte von Bossel geben zwar eine Vorstellung von dem Begriff „Komplexität“, sie sind aber bei der konkreten Einschätzung eines Systems schwer zu quantifizieren.

Für Gomez & Probst stellt die Dynamik das Hauptcharakteristikum für Komplexität dar. Komplexität zu quantifizieren ist insofern schwierig und letztlich wenig sinnvoll, als sie nicht nur von der jeweiligen Struktur des Systems abhängig ist, sondern auch von den Erfahrungen des Systembetrachters (Gomez & Probst, 1995).

Malik sieht die Ursache für Komplexität vor allem in der Interaktion von Elementen. Die unterschiedlichen Zustände, die jedes System annehmen kann, stellen das Kriterium für Komplexität dar. „Unter Komplexität versteht man die Tatsache, dass reale Systeme ungeheuer viele Zustände aufweisen können.“ (Malik, 1992). Nach Malik lässt sich Komplexität nicht auf eine bestimmte Anzahl von minimal vorhandenen Systemgrößen oder Relationen reduzieren. Ein System scheint dann für einen Menschen komplex zu sein, wenn seine möglichen Zustände und deren Aufeinanderfolge die Verarbeitungskapazität des menschlichen Gehirns überschreitet.

Ein System kann dann als komplex bezeichnet werden, wenn es bestimmte Merkmale aufweist, die dem menschlichen Denken Probleme bereiten. Diese kommen insbesondere dann zum Vorschein, wenn sich das System über die Zeit verändert, d. h. wenn es sich um ein komplexes, dynamisches Problem handelt (Maierhofer, 2001).

- Dynamische und statische Systeme

Dynamische und statische Systeme unterscheiden sich in Bezug auf ihr zeitliches Verhalten. Dynamische Systeme unterliegen im Gegensatz zu statischen Systemen einer dauerhaften Wandlung, wodurch jedoch ein bestimmter Systemzustand aufrechterhalten werden kann. Es existiert dann ein dynamischer Gleichgewichtszustand, der durch den Austausch von Stoffen und Energie mit der Umwelt aufrechterhalten wird. (Bossel, 1994)

Veränderungen in dynamischen Systemen können über Einflüsse von außen oder innen ausgelöst werden. Damit verbunden sind besondere Fragestellungen. Es geht nicht nur darum, das System mit seinen Eigenschaften zu erfassen und erklären zu können, warum sein Zustand gerade so und nicht anders ist. Von entscheidender Bedeutung ist darüber hinaus, wie sich das System entwickelt und welche Möglichkeiten zur Steuerung und Regulierung des Systems vorhanden sind (Maierhofer, 2001).

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Kriterien, an denen die zitierten Autoren die Komplexität eines Systems festmachen, können sowohl das „System Storch“ als auch das „System Schule“ als komplex bezeichnet werden. Beide Systeme weisen eine große Anzahl an Elementen auf, die über zahlreiche Verbindungen zu einem Netz verwoben sind. Beide Systeme verändern sich über die Zeit, sind also dynamisch.

Neben den genannten Eigenschaften, die es ermöglichen, Systeme bestimmten Kategorien zuzuordnen, gibt es einige Charakteristika, die auf alle Systeme zutreffen. Dazu zählen die Folgenden:

- Ein System zeichnet sich durch Eigenschaften aus, die nicht mit den Eigenschaften der Systemelemente, sondern allein mit einer spezifischen Prozessdynamik zu erklären sind: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile!

In dieser knappen Aussage bildet sich im Prinzip die systemtheoretische Betrachtungsweise ab, die sich damit grundlegende von der analytisch-summativen Betrachtungsweise unterscheidet, wie sie sowohl mechanistischen als auch vitalistischen Auffassungen zugrunde liegt. In mechanistischen Auffassungen wird angenommen, dass alle Lebensvorgänge prinzipiell mit Hilfe chemisch –physikalischer Gesetzmäßigkeiten von Teilabläufen erklärt werden können. Dies mag prinzipiell für die Systembetrachtung auf der Ebene von Molekülen richtig sein, ignoriert aber die verschiedenen Systemebenen, die in der Biologie auftreten können. So lässt sich eine Zelle meist nicht vollständig über physikalisch-chemische Gesetzmäßigkeiten erklären, die Funktionsweise eines Organs lässt sich nicht vollständig aus seiner Zusammensetzung aus Zellen erklären usw.

Ludwig von Bertalanffy setzte der analytisch-summativen Betrachtungsweise die „organismische“ Anschauung gegenüber. „Die organismische Methode besteht darin, für organische Systeme als ganze exakt formulierte Gesetzmäßigkeiten aufzusuchen“ (v. Bertalanffy, 1990 nach Eschenhagen, Kattmann, & Rodi, 1996). Dies ist eine systemtheoretisch-ganzheitliche Betrachtungsweise. Sie unterscheidet sich von der analytisch-summativen insofern, als man annimmt, dass die im System herrschenden Wechselbeziehungen (Systemrelationen) nicht den Einzelrelationen entsprechen, die man bei der Analyse des Systems findet.

Sowohl das „System Storch“ als auch das „System Schule“ zeichnen sich durch Eigenschaften aus, die den Teilen des Systems nicht gegeben sind, bzw. dem System wieder verloren gehen, wenn es in seine Einzelteile zerlegt wird. In Bezug auf das System Schule bedeutet dies z. B., dass viele Kinder und einige Erwachsene noch kein Schulsystem darstellen.

- In allen Systemen bestimmen Wirkungen das Verhalten des Systems. Man unterscheidet verschiedene Arten von Wirkungen anhand ihrer Reichweite und Komplexität: Die einfachste Art der Beziehung in einem System ist die *Ursache-Wirkungsbeziehung*. In ihr wird der Output direkt in Beziehung zum Input gesetzt.

Wenn die Wirkung nicht nur eine Reaktion bedingt, sondern sich auch noch auf weitere Elemente auswirkt, spricht man von *Nebenwirkungen*. Wirkungen, die auf das Ausgangselement zurückwirken (z. B. im Regelkreis), bezeichnet man als *Rückwirkungen*. Auf einer höheren Ebene finden sich Prozesse der *Selbstorganisation* in Reaktion auf Umwelтанforderungen. Sie führen zu einem Strukturwandel im System, also zu einer Veränderung der ursprünglichen Wirkungsstruktur. Selbstorganisation charakterisiert die Eigenschaft von lebenden Systemen, sich selbst zu reproduzieren und ihre innere Ordnung ohne äußere Steuerung eigenständig entwickeln und aufrechterhalten zu können. Damit geht auch die Fähigkeit lebender Systeme zu einem komplexen adaptiven Verhalten einher. Diese Art von Prozessen findet sich auch bei gesellschaftlichen Systemen oder Ökosystemen.

Anhand ihrer Reichweite kann man zwischen *Nah- und Fernwirkungen* unterscheiden. Die verschiedenen Reichweiten können sich zeitlich oder räumlich auswirken.

Reale, komplexe Systeme, mit denen wir es im Falle des „Systems Weißstorch“ und des „Systems Schule“ zu tun haben, beinhalten immer abhängige Kausalketten, die Teile von Netzwerken sind. Dies bedingt, dass Veränderungen in aller Regel nicht nur eine Wirkung haben. Werden z. B. feuchte Wiesen für die landwirtschaftliche Nutzung entwässert, so verändert sich mit dem Wassergehalt des Bodens nicht nur die Zusammensetzung der Pflanzen, die auf einem solchen veränderten Boden gedeihen, sondern auch die Fauna, die sich von diesen Pflanzen ernährt und ggf. den Anfang einer Nahrungskette darstellt. Damit ist man bei Fernwirkungen, die sich auf Organismen auswirken, die zunächst nicht unmittelbar von der Veränderung betroffen sind. Solche Fernwirkungen können z. B. den Weißstorch betreffen, der auf die Fauna von Feuchtwiesen als Nahrung angewiesen ist.

Hinzu kommt, dass die Auswirkungen von Veränderungen nicht zeitnah in Erscheinung treten müssen. Es können sog. Totzeiten entstehen, während derer scheinbar nichts geschieht. Das Trockenlegen von Feuchtgebieten und damit der Entzug einer Nahrungsquelle kann vielleicht zunächst einmal über andere Nahrungsquellen kompensiert werden, führt aber über die Jahre zu einem immer schlechteren Bruterfolg und damit zum langsamen Rückgang z. B. des Weißstorchs an diesem Standort.

Einen besonders sensiblen Bereich stellt die Problematik der schwachen Kausalbeziehungen dar. Die kleinste, scheinbar unbedeutende Veränderung kann große Wirkungen zeigen, wenn dadurch kritische Schwellenwerte über- oder unterschritten werden. Insektenfressende Vögel wie der Weißstorch suchen vor allem in Afrika bevorzugt Gebiete auf, in denen z. B. große Heuschreckenschwärme reichlich Nahrung bieten. In großem Umfang werden solche Heuschreckenschwärme aber mit Insektiziden bekämpft. Nehmen die Störche große Mengen vergifteter Heuschrecken zu sich, dann können die Giftmengen, die der Storchorganismus abbauen oder im Fettgewebe einlagern kann, eine kritische Schwelle überschreiten und der Storch an Vergiftung durch Insektizide eingehen.

Zusammenfassung im Hinblick auf das Untersuchungsthema

Bei der Betrachtung des Systems Storch und auch des Systems Schule hat man es mit komplexen, dynamischen Systemen zu tun. Sie zeichnen sich durch folgende wesentliche Merkmale aus:

- Die Systeme bestehen aus einer bestimmten Konstellation von Systemelementen und Wirkungsverknüpfungen (Relationen), die ihre Funktion bestimmen.
- Die Systeme erfüllen eine bestimmte Funktion, d. h. es lässt sich ein Systemzweck definieren, den wir als Betrachter in den Systemen erkennen.
- Die Systeme verlieren ihre Systemidentität, wenn ihre Systemintegrität zerstört wird. Systeme sind nicht teilbar, d. h. es existieren Elemente und Relationen in diesen Systemen, deren Herauslösung oder Zerstörung die Erfüllung der ursprünglichen Systemfunktion nicht mehr erlauben würde. Die Systemidentität hätte sich verändert oder wäre gänzlich zerstört.
- Die Systeme sind dynamisch, d. h. sie verändern sich.
- Die Systeme stehen im Austausch mit ihrer Umwelt.
- In den Systemen finden sich komplexe Wirkungen.

2.2 Systemisches Denken

Nach der Klärung des Systembegriffes stellt sich die Frage, welche Fähigkeiten ein Mensch besitzen sollte, um ein System zu verstehen bzw. dessen spezifische Charakteristika in Planungs- und Entscheidungsprozessen zu berücksichtigen. Es geht also um das Denken in Systemen. In den folgenden Kapiteln soll zunächst ein Überblick über die verschiedenen Ansätze zum Systemischen Denken in der Literatur gegeben werden (Kap. 2.2.1), dann sollen die wichtigsten empirischen Studien zum systemischen Denken vorgestellt werden (Kap. 2.2.2). Kap. 2.2.3 behandelt die interne und externe Modellbildung, d. h. die Repräsentation von Systemen im Gedächtnis, den Modellbildungsprozess und seine Vergegenständlichung.

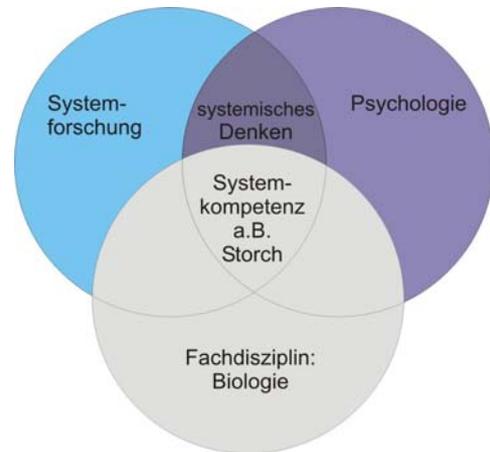


Abbildung 5: Einordnung des Kapitels Systemisches Denken in den Gesamtaufbau der Arbeit

2.2.1 Systemisches Denken in der Literatur

In der Literatur findet man eine Vielzahl von Begriffen, die mit dem „systemischen Denken“ in Verbindung stehen, wie „systemorientiertes Denken“, „systems thinking“, „vernetztes Denken“ oder „komplexes Problemlösen“. Sie alle stammen aus dem großen Feld der Forschung zum Umgang mit Systemen, beruhen aber auf unterschiedlichen fachwissenschaftlichen Zugängen:

- **Qualitative Ansätze** (Vesters biokybernetischer Ansatz, 1988; Systemorientierte Managementansätze von Gomez & Probst, 1987)
- **Systemdynamische Ansätze** (quantitative Modellierung von systemischen Zusammenhängen mit spezieller Software nach Forrester, 1969)
- **Komplexes Problemlösen** (Untersuchungen von Verhalten in komplexen computersimulierten Szenarien nach Dörner, 1989; Putz-Osterloh, 1987)
- **Ökologisches Denken** (Lecher, 1997)
- **Systemisches Denken** (Ossimitz, 2000).

Im Folgenden sollen diese unterschiedlichen Ansätze kurz vorgestellt werden, wobei sie für die vorliegende Arbeit unterschiedliche Relevanz besitzen. Dementsprechend werden die

letzten beiden Ansätze genauer betrachtet, da ihr Verständnis von „systemischem Denken“ für diese Arbeit von besonderer Bedeutung ist.

2.2.1.1 Qualitative Ansätze

Unter dem gemeinsamen Signet „qualitative Ansätze“ fasst Ossimitz (2000) u. a. den biokybernetischen Ansatz von Frederic Vester und systemorientierte Managementansätze wie etwa von Gomez & Probst (1987) zusammen. Obwohl sie aus unterschiedlichen Fachrichtungen stammen, haben sie jedoch beide das Anliegen, das vernetzte Denken in der Praxis umzusetzen. Demzufolge liefern sie auch kaum theoretische Erörterungen zu Begriffen wie „vernetztes Denken“, sondern auf ihre Gebiete zugeschnittene Handlungsanweisungen für den Umgang mit komplexen Situationen.

Der Name *Frederic Vester* ist im deutschsprachigen Raum eng verknüpft mit dem durch ihn einer breiten Bevölkerungsschicht zugänglich gemachten Begriff des „vernetzten Denkens“. Obwohl Vester diesen Begriff an keiner Stelle formal definiert², hat er versucht, durch viele Beispiele, wie etwa in der Wanderausstellung „Unsere Welt – ein vernetztes System“, etwas zum Verständnis dieses Begriffes beizutragen. Vesters primärer Bezugspunkt ist dabei „die biologische Welt, das System unserer Biosphäre“ (Vester, 1988, S. 74). Auf ihn bezieht er sich nicht nur in der erwähnten Ausstellung, sondern auch in seinen Studien über Umweltfragen wie *Das Überlebensprogramm* seiner Fernsehserie mit dem Titel *Denken – Lernen – Vergessen* oder dem Umweltspiel *Ökolopoly*. Ausgehend von vielen Beispielen in den erwähnten Bereichen formulierte er seine systemischen Prinzipien der Natur, die „das Überleben garantieren sollen“ (Vester, 1988) (Abbildung 6).

² Ossimitz (2000) schreibt dazu: „Bei einer genaueren Durchsicht seiner Werke gewinnt man allerdings den Eindruck, dass Vester Begriffe wie „vernetztes Denken“ oder „systemisches Denken“ nur als Aufhänger verwendet. Im Text selbst kommen sie kaum vor. Insbesondere sucht man in den umfangreichen Publikationen Vesters vergeblich nach einer konzisen Definition oder wenigstens einer klärenden Diskussion dieses Begriffes.“

Acht Prinzipien der Natur, die das Überleben garantieren

1. Das Prinzip der negativen Rückkopplung

Das bedeutet Selbststeuerung durch Aufbau von Regelkreisen statt ungehemmte Selbstverstärkung oder – nach dem Umkippen – Selbstvernichtung. Negative Rückkopplung muss daher über positive Rückkopplung dominieren.

2. Das Prinzip der Unabhängigkeit von Wachstum

Die Funktion eines Systems muss auch in einer Gleichgewichtsphase gewährleistet sein, das heißt von quantitativem Wachstum unabhängig sein. Denn ein permanentes Wachstum ist für alle Systeme eine Illusion.

3. Das Prinzip der Unabhängigkeit vom Produkt

Überlebensfähige Systeme müssen funktions- und nicht produktorientiert sein. Produkte kommen und gehen, Funktionen bleiben.

4. Das Jiu-Jitsu-Prinzip

Hier geht es um die Nutzung vorhandener, auch störender Kräfte nach dem Prinzip der asiatischen Selbstverteidigung, statt ihrer Bekämpfung nach der Boxermethode mit teurer eigener Kraft.

5. Das Prinzip der Mehrfachnutzung

Es gilt für Produkte, Funktionen und Organisationsstrukturen. Es führt durch Verbundlösungen zu Multistabilität und bedeutet eine Absage an sogenannte Hundertprozentlösungen.

6. Das Prinzip des Recycling

Es bedeutet die Nutzung von Kreisprozessen zur Abfall- und Wärmeverwertung. Das vermeidet sowohl Knappheit als auch Überschüsse.

7. Das Prinzip der Symbiose

Das heißt gegenseitige Nutzung von Verschiedenartigkeit durch Kopplung und Austausch. Das aber verlangt kleinräumigen Verbund. Monostrukturen können daher nicht von den Vorteilen der Symbiose profitieren.

8. Das Prinzip des biologischen Designs

Auch diese Regel lässt sich auf Produkte, Verfahren und Organisationsformen gleichermaßen anwenden. Es bedeutet Feedbackplanung mit der Umwelt, Vereinbarkeit und Resonanz mit biologischen Strukturen, insbesondere auch der des Menschen.

Abbildung 6: Vesters Acht Prinzipien der Natur, die das Überleben garantieren sollen (Vester, 1988)

Vester fordert die Orientierung an diesen Prinzipien der Natur, da er der Meinung ist, wir würden zu sehr in linearen Ursache- Wirkungsketten denken. Die komplexen Wechselwirkungen würden nicht berücksichtigt, wodurch sich die besten Absichten ins Gegenteil verkehren könnten. Dieser Aspekt wird auch in Vesters Kritik an bestehenden Bildungs- bzw. Unterrichtsformen deutlich, die – laut Vester (1997) - das lineare Ursache-Wirkungdenken entwickeln und somit wesentlich dazu beitragen, dass der Umgang mit komplexen Systemen (mit der Realität) nicht gelingt. In seinem Buch „Neuland des Denkens“ (1997) fordert er deshalb ein neues, „vernetztes“ Lernen, das sich stärker an den Grundlagen der neuen Lernbiologie orientiert und formuliert seine Forderungen an besseren Unterricht:

- Fähigkeiten statt Stofffülle: Vester kritisiert die Anhäufung von statischem Wissen in den Lehrplänen von Schulen und Universitäten, das zu einem mangelnden Verständnis der Realität führe. Nach Vester „... müssen wir auch im Lernprozess den Übergang von der Vermittlung eines statischen Wissensgebäudes zu einem dynamischen Wissen finden, d. h. den Übergang auf die Entwicklung von Denkfähigkeiten, die sich weniger auf den einzelnen Wissensstoff als auf den Umgang mit diesem Stoff konzentrieren“. Parallelen zu diesen Forderungen Vesters sind in der Neuausrichtung der Lehrpläne an den

sogenannten „Kompetenzen“ zu sehen, die (über die Forderungen Vesters hinaus) u. a. den Anwendungsbezug des vermittelten Unterrichtsstoffes in den Vordergrund stellen.

- Einheit von Körper und Geist: Hierunter versteht Vester die Forderung nach einer Umstellung des Lernens, das „auf die verbal-abstrakte Verarbeitung der Umwelt beschränkt ist“ hin zu einer Einbeziehung der „mehr unbewussten Gehirnpartien der Mustererkennung, der bildhaften und analog arbeitenden Bereiche, der emotionalen und intuitiven Vorgänge...“. Auch Teile dieser Forderungen lassen sich unter einem etwas anderen Blickwinkel in den „Kompetenzen“ wieder finden: Kompetenzen berücksichtigen auch emotionale und soziale Faktoren, und beschreiben u. a. „Fertigkeiten“, d. h. eine tätige Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Lerngegenstand.
- Vernetztes Lernen braucht Realität: „Statt nur mit Begriffen, mit Symbolen von Dingen, sollten wir beim Lernvorgang auch mit den Dingen selbst arbeiten, mit ihren Wechselwirkungen, mit ihrer Beziehung zur Umwelt“ (Vester, 1997 S. 475).

Insgesamt sind die von ihm erwähnten Forderungen auf einer so allgemeinen Ebene gehalten, dass es schwer fällt, daraus konkrete Hinweise auf einen Unterricht abzuleiten, der speziell das vernetzte Denken fördern soll.³

Gomez und *Probst* beschäftigten sich in ihren zahlreichen Veröffentlichungen mit dem vernetzten Denken im Management. Sie entwickelten eine Methodik zur Modellierung und Auswertung systemischer Zusammenhänge, die ohne Computersimulation auskommt. Ihr Anliegen ist es, die typischen Denkfehler beim Umgang mit komplexen Problemen (im Managementbereich) aufzuzeigen und alternative Lösungsstrategien zu veranschaulichen. Dazu entwickelten sie eine Reihe von Schritten, die bei der Beschreibung und Lösung eines komplexen Problems helfen sollen. Sie sind in der Tabelle in Abbildung 7 dargestellt.

³ Vester macht sich auch angreifbar, wenn er bei seiner Forderung nach „Realität“ den Einsatz von „verschiedensten Informationsmedien als Ergänzung des fast ausschließlich verwendeten abstrakt-verbalen Eingangskanals“ als das Mittel zur Abhilfe vorschlägt. Die Forderung „mit den Dingen selbst zu arbeiten“ müsste eigentlich in einer Auseinandersetzung mit dem Original umgesetzt werden, und dürfte sich erst in zweiter Linie auf den Einsatz vermittelnder Medien stützen. Der Einsatz solcher Medien ist mit Sicherheit immer dann sinnvoll, wenn eine Auseinandersetzung mit dem Original aus Gründen der Komplexität, der Größe oder Seltenheit nicht möglich ist.

Bausteine einer Methodik des ganzheitlichen Problemlösens

1. Abgrenzung des Problems	Die Situation aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten, verschiedene Standpunkte zu einer ganzheitlichen Abgrenzung integrieren
2. Ermittlung der Vernetzung	Die Beziehungen/Interaktionen/Kreisläufe zwischen den Elementen einer Problemsituation erfassen und ihren Wechselwirkungen verstehen
3. Erfassung der Dynamik	Die zeitlichen Aspekte der einzelnen Beziehungen und einer Situation als Ganzem ermitteln. Gleichzeitig ist die Bedeutung der Beziehungen im Netzwerk zu erfassen.
4. Interpretation der Verhaltensmöglichkeiten	Künftige Entwicklungspfade erarbeiten und in ihren Möglichkeiten simulieren.
5. Bestimmung der Lenkungsmöglichkeiten	Die lenkbaren, nicht-lenkbaren und zu überwachenden Aspekte einer Situation in einem Lenkungsmodell abbilden.
6. Gestaltung der Lenkungseingriffe	Entsprechend systemischen Regeln die Lenkungseingriffe so bestimmen, dass situationsgerecht und mit optimalem Wirkungsgrad eingegriffen werden kann.
7. Weiterentwicklung der Problemlösung	Veränderungen in einer Situation in Form lernfähiger Lösungen vorwegnehmen.

Abbildung 7: Schritte und Umsetzung zum ganzheitlichen Problemlösen nach Gomez & Probst, 1987

Diese Problemlösungsschritte werden anhand von Wirkungsdiagrammen veranschaulicht. Ein solches Wirkungsdiagramm enthält die wesentlichen Systemelemente als Knoten und Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen diesen Elementen als Pfeile. Aus der Gesamtvernetzung eines Wirkungsdiagramms lassen sich Rückkopplungskreisläufe erkennen. Diese Rückkopplungen sind für vernetzte Strukturen charakteristisch und für eine Beurteilung des Systemverhaltens von entscheidender Bedeutung (Ossimitz, 2000).

Ossimitz (2000) hat die in Abbildung 7 dargestellten Schritte 1-6 zum Lösen komplexer Probleme von Gomez (1987) in direkten Bezug zu den Schritten zur Erstellung eines Wirkungsdiagramms gesetzt:

Danach entspricht dem Schritt *Abgrenzung des Problems* in der Methodik von Gomez & Probst (1987) das Ermitteln der Knoten (Systemelemente) im Wirkungsdiagramm. Gleichzeitig werden damit die Grenzen des betrachteten Systems festgelegt.

Im zweiten Schritt *Ermittlung der Vernetzung* werden Wirkungspfeile in das Wirkungsdiagramm eingetragen und positive und negative Rückkopplungskreise ermittelt.

Im Schritt 3 *Erfassen der Dynamik* untersuchen Gomez & Probst, welche Wirkungsbeziehungen kurzfristiger, mittelfristiger bzw. langfristiger Natur sind. Daraus kann man bereits gewisse Aussagen über die Dynamik des Systems ableiten. Im darauf folgenden Analyseschritt werden die Wirkungsbeziehungen zwischen den einzelnen Elementen grob nach ihrer Stärke in einer vierstufigen Skala zwischen „kein direkter Zusammenhang“ bis „starker Zusammenhang“ klassifiziert. Aus diesen Angaben kann man mit Hilfe von Quotienten und Produkten berechnen, in wie weit jedes einzelne Element seine Umgebung beeinflusst, bzw. von ihr beeinflusst wird. Die Unterscheidung in vier Typen von

Modellelementen, die sich aus diesen Berechnungen ergeben, helfen bei der Frage, an welchen Stellen man überhaupt sinnvoll in das System eingreifen kann.

Im Schritt 4 *Interpretation der Verhaltensmöglichkeiten* geht es um das Durchspielen verschiedener möglicher Entwicklungsszenarien in dem zuvor entwickelten Wirkungsnetzwerk.

Im Schritt 5 *Bestimmung der Lenkungsmöglichkeiten* soll innerhalb dieser Szenarien das eigene Verhalten geplant werden. Dabei kann man im Wirkungsmodell aufgrund der Berechnung vom Modellelementtypen (s. oben) zunächst grob zwischen lenkbaren und nicht-lenkbaren Systemelementen unterscheiden.

Im Schritt 6 *Gestaltung von Lenkungseingriffen* geht es um das Planen konkreter Lenkungseingriffe, sowie um das Timing und die Stärke dieser Eingriffe, zu denen Gomez & Probst wiederum Regeln angeben.

Wie aus der Beschreibung dieser Ansätze zum Lösen komplexer Probleme unmittelbar hervorgeht, steht bei Gomez & Probst systemgerechtes Handeln im Mittelpunkt. Ihre Ausführungen beziehen sich zwar auf den Managementbereich, sind aber auch darüber hinaus gültig. Das systemgerechte Handeln setzt bei ihnen systemgerechtes Denken voraus. Dies führt dazu, dass der Begriff des vernetzten Denken von ihnen nicht weiter konkretisiert wird, jedoch zeigt sich in der Umsetzung ihrer Schritte zum Lösen komplexer Probleme, wie das vernetzte Denken in jedem ihrer Lösungsschritte enthalten ist. Die Analyseschritte sind nah an den Umgang mit Systemdarstellungen geknüpft.

2.2.1.2 Systemdynamische Ansätze

Im Gegensatz zu den oben dargestellten qualitativen Ansätzen steht im Zentrum des von *Jay Forrester* begründeten Ansatzes „System Dynamics“ die quantitative Modellierung komplexer Systeme am Computer. Der Beginn von Forresters Veröffentlichungen zu dynamischen Modellen war das Industrial-Dynamics-Modell, das Forrester für betriebswirtschaftliche Studien entwickelte. Bereits bei diesem ersten Modell handelte es sich um ein quantitatives Simulationsmodell, das mit Hilfe von Flussdiagrammen eine Berechnung zukünftiger Entwicklung am Computer ermöglichte. Verschiedene Projekte unter anderem zur Stadtplanung führten zu einer Verallgemeinerung des Ansatzes auf „complex systems“. Forrester fasst die Charakteristika eines komplexen Systems, die einen Einblick in sein Verständnis von systemischem Denken und Handeln geben, unter den folgenden sieben Punkten zusammen:

„Complex systems have many important behavior characteristics that we must understand if we expect to design systems with better behavior. Complex systems:

1. are counterintuitive;
2. are remarkably insensitive to changes in many system parameters;
3. stubbornly resist policy changes;
4. contain influential pressure points, often in unexpected places, from which forces will radiate to change system balance;

5. counteract and compensate for externally applied corrective efforts by reducing the corresponding internally generated action (the corrective program is largely absorbed in replacing lost internal action);
6. often react to a policy change in the long run opposite to how they react in the short run;
7. tend toward low performance.” (Forrester, 1969)

Diese Charakteristika flossen auch in die Entwicklung eines Weltmodells ein, mit dessen Hilfe Forrester und weitere Wissenschaftler im Auftrag des “Club of Rome” die Entwicklung der Welt simulierten. Das daraus entstandene viel beachtete Buch „Limits of Growth“ (Meadows, Meadows & Zahn, 1973) zeigte, wie eine weitere exponentielle (auf dem Stand von 1970) Entwicklung der Weltbevölkerung, der Nutzung von Rohstoffen, der Landnutzung und Umweltverschmutzung unweigerlich zu einem Zusammenbruch des Weltsystems führen würde.

Die Studie zur Weltentwicklung und alle vorangegangenen Studien wurden auf Basis der anspruchsvollen Simulationssprache DYNAMO entwickelt. Mit Hilfe der vereinfachten Software STELLA, die 1987 von Barry Richmond entwickelt wurde, war es möglich, den System-Dynamics-Ansatz unter dem Namen „System thinking“ in der Schule einzuführen. In den USA wurde ein Konzept zur Einführung des System thinking-Ansatzes für ein breites Altersspektrum vom Kindergarten bis zur 12. Schulstufe entwickelt und eingeführt. Es beruht im Wesentlichen auf der systemdynamischen Modellbildungsmethode, die mit Hilfe der Systemdynamiksoftware STELLA umgesetzt wird. Dies zeigt sich auch in Richmonds Auffassungen von systemischem Denken, die im Grunde die Fähigkeiten beschreiben, die man zur systemdynamischen Modellierung benötigt. In einer Veröffentlichung diskutiert Richmond (1993) sieben verschiedene „systemic thinking skills“. Sie sind nach Ossimitz (2000) sehr eng mit der systemdynamischen Modelliermethode verbunden und ohne systemdynamisches Modellieren nur teilweise sinnvoll begründbar: „Pointiert könnte man sagen, dass Richmond hier sieben Denkkompetenzen vorgestellt hat, die allesamt für das Entwickeln systemdynamischer Simulationsmodelle wichtig sind – was ja aufgrund der Affinität von Systems Thinking mit System Dynamics bei Richmond nicht verwundert.“ (Ossimitz, 2000).

Richmonds Ansatz ist daher für eine Gesamtbetrachtung des Systemdenkens, die z. B. auch die qualitativen Ansätze von Gomez und Probst oder Vester einschließen sollte, zu eingeschränkt.

2.2.1.3 Komplexes Problemlösen

Der Kognitionspsychologe Dietrich Dörner untersucht seit den 70iger Jahren des 20. Jahrhunderts das systemgerechte Handeln unter dem Schlagwort „komplexes Problemlösen“. Um zu zeigen, welche Schwierigkeiten Menschen im Umgang mit komplexen Problemen haben, wurden Computersimulationen entwickelt, die den Umgang mit komplexen dynamischen Systemen realitätsgetreu bzw. ökologisch valide abbilden sollten. In den Systemen „Tanaland“, „Lohausen“ oder „Mori“ sollten Versuchspersonen Systeme steuern, die sich durch hochgradig vernetzte, nicht offenkundige Variablenbeziehungen mit positiven

und negativen Rückkopplungsschleifen auszeichnen. Darüber hinaus können die Variablen noch eigendynamisch ihre Zustände ändern. Die Versuchspersonen sollten in solchen Szenarien als Entwicklungshelfer bzw. als Bürgermeister mit allen Vollmachten „für das Wohlergehen der ... Bewohner und ... der gesamten Region“ (Dörner, 1989 S. 22) sorgen.

Die Ergebnisse der Bemühungen der Versuchspersonen waren ernüchternd. Bei der Steuerung von „Tanaland“ zerstörten fast alle Probanden das ursprünglich stabile Gefüge der Variablen des simulierten Landes und schufen dadurch häufig katastrophale Zustände. Dörner (1989) fasst die Ergebnisse wie folgt zusammen:

„Die Parallelen zu realen Ergebnissen waren offenkundig:

- Handeln ohne vorherige Situationsanalyse,
- Nichtberücksichtigung von Fern- und Nebenwirkungen,
- Nichtberücksichtigen der Ablaufgestalt von Prozessen,
- Methodismus: man glaubt, über die richtigen Maßnahmen zu verfügen, weil sich keine negativen Effekte zeigen,
- Flucht in die Projektemacherei,
- Entwicklung von zynischen Reaktionen.“ (Dörner, 1989 S.32)

Die Versuchspersonen beachteten also ganz offensichtlich bei ihrer Entscheidungsfindung die fundamentalen Funktionsprinzipien von Systemen nicht und lösten damit die Katastrophen aus. Daraus lässt sich indirekt folgern, dass das Beachten dieser fundamentalen Funktionsprinzipien von Systemen Bestandteile der Fähigkeit zum „komplexen Problemlösen“ sein müssen.

Die erwähnten Studien und das Projekt „Lohausen“, in dem die Teilnehmer als Bürgermeister mit allen Handlungsvollmachten die Geschicke einer Kleinstadt leiten sollten, waren Ausgangspunkt einer Reihe von Folgeuntersuchungen, in der sich ein ganzer Forschungszweig zum „komplexen Problemlösen“ begründete. In ihm wurden verschiedene Folgeuntersuchungen mit ähnlichem Design durchgeführt, die z. B. die Begleitfaktoren des systemischen Handelns (wie z. B. Intelligenz, Experten/Novizen-Status, Stress usw.) genauer untersuchten (z. B. Putz-Osterloh, 1987).

Dörner (1989) kommt aufgrund seiner ausführlichen Untersuchungen zu einer Beschreibung von systemischem Denken, die eher ernüchternd wirkt:

„Es kommt, glaube ich, nicht darauf an, dass man irgendwelche exotische „Denkfähigkeiten“ schult. ... Es kommt nicht darauf an, geheimnisvolle Kreativitätspotenziale freizusetzen und die angeblich zu 90 Prozent brachliegenden Gehirnreserven zu mobilisieren. Es kommt eigentlich nur auf eines an, nämlich auf die Förderung des „gesunden Menschenverstandes“. ... Ich hoffe, hinlänglich klargemacht zu haben, dass man das, was oftmals pauschal „vernetztes Denken“ oder „systemisches Denken“ genannt wird, nicht als eine Einheit, als eine bestimmte, isolierte Fähigkeit betrachten kann. Es ist ein Bündel von Fähigkeiten, und im Wesentlichen ist es die Fähigkeit, sein ganz normales Denken, seinen „gesunden Menschenverstand“ auf die Umstände der jeweiligen Situation einzustellen.“ (Dörner, 1989, S. 306ff)

Diese Definition beinhaltet keine konkrete Beschreibung dessen, was man sich unter „systemischem Denken“ vorstellen soll oder wie man es in Untersuchungen operationalisieren

könnte. Es liefert aber andererseits einen Hinweis darauf, dass es sich beim „systemischen Denken“ nicht um eine einzelne Fähigkeit handelt, sondern dass sie sich aus einem Bündel von Fähigkeiten zusammensetzt, die zusammengenommen das „systemischen Denken“ ausmachen.

Trotz dieser für die Definition von „systemischem Denken“ wenig hilfreichen Einschätzung, hält Dörner es für wichtig, den Umgang mit komplexen Systemen zu üben. „Die Umstände sind immer verschieden. ... Den Umgang aber mit verschiedenen Situationen, die verschiedene Anforderungen an uns stellen, kann man lernen“ (Dörner, 1989). In weiteren Arbeiten zum Beispiel von Putz-Osterloh (1987) und Schaub & Strohschneider (1992) wurde belegt, dass komplexes Problemlösen gelernt werden kann. In den Untersuchungen wurden Manager (also Personen, die an den Umgang mit komplexen Systemen gewöhnt sind) mit Studenten (ohne Erfahrung im Umgang mit komplexen Problemen) verglichen und deren Verhalten sowie ihre Ergebnisse beim Steuern eines fachfremden komplexen Systems analysiert. Es zeigte sich, dass die Studenten zu insgesamt schlechteren Ergebnissen in ihren Steuerungsleistungen kamen, obwohl beide Gruppen ein fachfremdes System bearbeiteten. Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ließen sich u. a. in Bezug auf ihr Sammeln von Informationen zur Entscheidungsfindung und die zeitliche Abfolge der Entscheidungen finden. Die Manager hatten offenbar aufgrund ihrer Berufserfahrung den Umgang mit komplexen Problemen gelernt und konnten diese Fähigkeiten erfolgreicher als die Studenten auf neue Situationen übertragen.

Um diese Erfahrung im Umgang mit Systemen zu erwerben, ist es nach Dörner sinnvoll, computergestützte Simulationen durchzuführen. Diese computergestützten Simulationen bieten die Möglichkeit, die Realität und damit die meist große Komplexität eines Systems möglichst gut abzubilden.

2.2.1.4 Ökologisches Denken

Der von dem Kognitionspsychologen Thomas Lecher (1997) mitbegründete Ansatz des „ökologischen Denkens“ ist im Rahmen der Forschung zu „ökologischem Verantwortungsbewusstsein“ entstanden. Lecher kritisiert an der bisherigen Umweltbewusstsein-Forschung, dass sie im Wesentlichen über Inhaltswissen und verbal bekundetes Verhalten gemessen werde. Sie lasse damit meist die Komplexität und vielschichtige Vernetzung von Wirtschaft und Natur außer Acht. Da viele gesellschaftliche Konflikte aber gerade in der strukturellen Inkompatibilität wirtschaftlicher und ökologischer Prozesse ihren Ursprung hätten, ließe sich das Umweltbewusstsein einer Person nur schwer über die Addition von Sachwissen beschreiben. Die bisherige Operationalisierung von Umweltbewusstsein sei möglicherweise eine Ursache für den in vielen Studien erhobenen mangelnden Zusammenhang zwischen hohem ökologischem Wissen und dem entsprechenden Handeln. Lecher fordert daher, das Umweltbewusstsein über das Ausmaß des vernetzten oder systemischen Denkens einer Person zu messen.

Um das systemische Denken messen zu können, erarbeitete Lecher das Konzept des ökologischen Denkens. Dieses Konzept soll eine Entwicklungsstruktur von niedrigeren zu höheren Stufen ökologischen Denkens abbilden.

Zur Entwicklung dieses Konzeptes leitet Lecher (1997) aus der Bezugswissenschaft Ökologie die der Ökologie zugrunde liegenden Strukturprinzipien ab:

- *Prinzip der Historizität*
Jeder momentane Zustand eines Systems wird als ein Ausschnitt aus einem nicht umkehrbaren Entwicklungsprozess gesehen.
- *Systemprinzip*
Darunter fasst Lecher drei nachgeordnete Prinzipien zusammen, die eng auf einander bezogen sind:
 - *das Kreislaufprinzip,*
 - *das Rückkopplungsprinzip,*
 - *das Prinzip der Wechselwirkungen.*
- *Prinzip der Offenheit*
Darunter versteht Lecher den Stoff- und Energieaustausch eines Systems über seine Grenzen hinaus. Eng mit der Offenheit ökologischer Systeme verbunden ist die *hierarchische Verschachtelung* der Systeme. Sie ergibt sich aus der Betrachtungsperspektive.
- *Distanzprinzip*
Es beschreibt nach Lecher die (mögliche) zeitlich-räumliche Distanz zwischen Ursachen und Folgen.
- *Prinzip der funktionellen Integration*
Damit ist das Auftreten zusätzlicher Eigenschaften mit steigend komplexen Strukturen gemeint.
- *Prinzip der dynamischen Stabilität*
Unter dieses übergeordnete Strukturprinzip lassen sich nach Lecher sämtliche anderen ökologischen Prinzipien subsumieren. Es beschreibt, dass ökologische Systeme - innerhalb gewisser wiederkehrender Schwankungen, die das System durchläuft – stabil sind.

Die genannten ökologischen Strukturprinzipien sind die Ausgangsbasis zur Beschreibung von kognitiven Fähigkeiten, die ein Mensch entwickelt haben muss, um „ökologisch“ denken zu können. Lecher leitet daher aus den ökologischen Strukturprinzipien „Dimensionen des ökologischen Denkens“ ab. Diese stellen das höchste Niveau ökologischen Denkens dar und bilden damit einen normativen Bezugspunkt, von dem sich niedrigere Stufen ableiten lassen. Lechers Ziel ist es, ein Entwicklungsmodell der kognitiven Strukturen zum ökologischen Denken zu beschreiben. Die unterschiedlichen Denkstrukturen sollen zur Bestimmung interindividueller Unterschiede und als Stufen einer intraindividuellen Entwicklung interpretiert werden.

Bei Lecher (1997) können die folgenden zehn kognitiven Dimensionen des ökologischen Denkens unterschieden werden. Die Dimensionen beschreiben jeweils die komplexeste Verständnisstufe, von der später niedrigere Stufen abgeleitet werden (s. 2.4.2.2):

- **Kausalität:** Das Prinzip der Wechselwirkungen (s. oben) beinhaltet komplexe Vorstellungen von Kausalität im Sinne reziproker Interaktionen. Damit ist gemeint, dass beide Partner der Interaktion sowohl beeinflussen können, als auch beeinflusst werden können. Reziproke Interaktionen lassen sich von mono- oder multikausalen Beziehungen mit nur einer Wirkungsrichtung abgrenzen.
- **Linearität vs. Zirkularität:** Diese Dimension wird aus dem Prinzip der Wechselwirkungen abgeleitet, wenn reziproke Interaktionen zeitlich aufeinander folgen und so zu einem Wechselspiel von Beeinflussen und Beeinflusst-Werden führen. Im Kontrast zu Vorstellungen, die auf Kreisläufe gerichtet sind, stehen solche zu linearen Prozessen.
- **Rückkopplung:** Rückkopplungen sollen innerhalb des Systems, aber auch zwischen Systemen gesehen werden.
- **Atomismus vs. Holismus/Systemverständnis:** Diese kognitive Dimension entstammt dem Systemprinzip. Sie beinhaltet Vorstellungen, die sich auf hierarchisch ineinander verschachtelte Systeme beziehen, die offen gegenüber anderen Systemen und der Systemumwelt sind. Im Gegensatz dazu stehen Vorstellungen, die sich „atomistisch“ auf isolierte Fakten, Ereignisse, Teilbereiche oder auf Einzelrelationen zwischen einzelnen Aspekten einengen, ohne deren Zugehörigkeit zu einem umfassenden Ganzen zu berücksichtigen.
- **Dichotomien vs. Zusammenhänge:** Diese Dimension wird ebenfalls aus dem Systemprinzip abgeleitet. Der Systemgedanke impliziert –ebenso wie die zuvor genannten Prinzipien der Wechselwirkung, des Kreislaufs und der Rückkopplung – Vorstellungen über Zusammenhänge. Demgegenüber stehen Vorstellungen, die keine Zusammenhänge sehen und explizit auf Dichotomien gerichtet sind (A hat nichts mit B zu tun).

Das ökologische Prinzip der zeitlich-räumlichen Distanz von Ursachen und Folgen (Distanzprinzip) führt zu drei nur analytisch zu trennenden kognitiven Dimensionen:

- **Folgen:** Diese kognitive Dimension umfasst gleichermaßen Wechselwirkungen von –intendierten und nichtintendierten – Folgen sowie komplexe Kumulationseffekte von Handlungsfolgen. Das heißt, die Folgen einer Veränderung können sich nicht nur in eine Richtung und auf ein Element auswirken, sondern sich auf mehrere Elemente beziehen und komplexe Folgewirkungen mit sich bringen.
- **Räumliche Reichweite:** Diese Dimension des Denkens beinhaltet auf der höchsten Stufe Kognitionen, die sich nicht nur auf eine sehr nahe Umwelt oder auf Regionen, sondern auf den gesamten Kosmos beziehen.
- **Zeitliche Reichweite:** Diese Dimension ist auf die gesamte Menschheits- und Artengeschichte bezogen und ihre mögliche Zukunft beziehen und richtet sich nicht nur punktuell auf die Gegenwart.

Aus dem Prinzip der Historizität ergeben sich neben der Dimension „zeitliche Reichweite“ die eng mit einander verbundenen Dimensionen „Entwicklungsverläufe“ und „Reversibilität vs. Irreversibilität“.

- **Entwicklungsverläufe:** Die Vorstellungen lassen sich danach unterscheiden, ob einzelne Phänomene lediglich punktuell, quasi als Momentaufnahme ohne Einbettung in ein sich unaufhaltsam fortentwickelndes Gesamtgeschehen begriffen werden oder ob neben den aktuellen Zuständen auch vorausgegangene und nachfolgende berücksichtigt werden.
- **Reversibilität vs. Irreversibilität:** Die Vorstellung einer prinzipiellen Irreversibilität von Ereignissen bedeutet gleichzeitig eine Vorstellung darüber, dass alle Geschehnisse als unumkehrbar gedacht werden. Sie finden dabei in einem Raum statt, der sich auf der Zeitachse kontinuierlich nach vorne entwickelt.
- **Aggregation/Abstraktion:** Auf höheren Niveaus eines Systems werden qualitativ neuartige Funktionen und Strukturen berücksichtigt, deren Eigenschaften in den darunter liegenden Niveaus nicht vorkommen.

Bei der Ableitung der Dimensionen des ökologischen Denkens ging es Lecher um die Entwicklung eines strukturalistischen Modells, das „nicht so sehr die inhaltliche Breite des Wissens ... in den Mittelpunkt stellt, sondern ... ebenfalls die strukturellen Merkmale, bzw. die Denkstrukturen, mit deren Hilfe Informationen wahrgenommen, verarbeitet, geordnet, miteinander verknüpft und bewertet werden“ (Lecher, 1997 S. 94). Dieses Strukturmodell ökologischen Denkens hat seinen Bezug in der Ökologie, es ist aber nicht an ein spezielles Thema gebunden. Ein allgemeines Konzept soll den Vorteil haben, „dass sich das Ausmaß kognitiver Komplexität nicht nur für einen, sondern ... in jedem Gegenstandsbereich messen lässt (Lecher, 1997, S. 95). Lecher zitiert in diesem Zusammenhang verschiedene Autoren als Beleg für eine bereichsübergreifende Geltung dieses Konzeptes. Es sei „im Rahmen von Ansätzen zur kognitiven Komplexität ebenso wie in anderen Theorietraditionen sinnvoll anzunehmen, dass Denkstrukturen auf unterschiedliche, auch neue Inhaltsbereiche transferiert werden“ (Lecher, 1997, S. 95). Daraus folgert Lecher, dass das ökologische Denken „eine situations- und problemübergreifende Kompetenz“ im Sinne einer „Schlüsselqualifikation“ sei.

Lecher liefert also eine theoretische Beschreibung dessen, was unter „ökologischem Denken“ zu verstehen sei. Die aus der Ökologie abgeleiteten Strukturprinzipien stellen die theoretische Ausgangsbasis zur Ableitung von verschiedenen Dimensionen des ökologischen Denkens dar. Diese Dimensionen bilden ein Strukturmodell, das inhaltlich nicht an ein bestimmtes Thema gebunden ist. Es könnte daher –insbesondere im Hinblick auf die Stufen des ökologischen Denkens, die in Kapitel 2.4.2.2 vorgestellt werden – Hinweise auf Entwicklungsstufen auch des systemischen Denkens liefern. Diese sind für die Beschreibung der Anfänge des systemischen Denkens von Interesse.

2.2.1.5 Systemisches Denken bei Ossimitz

Ossimitz' Zugang zum systemischen Denken erfolgte über die Mathematikdidaktik. Seine Arbeiten zur „Entwicklung systemischen Denkens“ haben große Beachtung gefunden, da er ein theoretisch entwickeltes Konzept zum systemischen Denken mit empirischen Studien untersucht. Im Folgenden soll Ossimitz' theoretisches Konzept von systemischem Denken vorgestellt werden, über die Ergebnisse seiner empirischen Studien wird in Kapitel 2.2.2.2 berichtet.

Ossimitz (2000) versucht in seiner Definition von systemischem Denken die verschiedenen System-Ansätze in der Literatur zu berücksichtigen. Sie sollen ein „breites Verständnis von systemischem Denken“ beschreiben, das nicht nur auf einzelne Anwendungszusammenhänge (wie z. B. system-dynamisches Modellieren, Steuerung von computersimulierten Systemszenarien oder die Betrachtung von Wirkungsnetzen im Managementbereich) zugeschnitten ist.

Ossimitz Definition systemischen Denkens umfasst vier zentrale Dimensionen:

1. *Vernetztes Denken*: Denken in Rückkopplungskreisen
2. *Dynamisches Denken*: Denken in Zeitabläufen,
3. *Denken in Modellen*,
4. *Systemgerechtes Handeln*.

Diesen Dimensionen systemischen Denkens ordnet Ossimitz bestimmte Fähigkeiten zu:

Vernetztes Denken: Die zentrale Fähigkeit in dieser Dimension ist das

- Erkennen von Rückkopplungskreisen und das Denken in solchen Rückkopplungen; dazu zählt,
- nicht nur direkte, sondern auch indirekte Wirkungen zu erkennen und zu beurteilen;
- dabei insbesondere Rückwirkungen auf die Ursache (feedback loops) zu erkennen;
- ganze Netze von Wirkungsbeziehungen aufbauen und verstehen zu können.

Dynamisches Denken: Dazu zählen folgende Fähigkeiten:

- Erkennen und Berücksichtigen der Eigendynamik von Systemen,
- die Fähigkeit, zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten zu identifizieren,
- Erkennen der Bedeutung langfristiger Wirkungen,
- Erkennen und Beurteilen von charakteristischen systemischen Zeitgestalten (Verzögerungen, periodische Schwingungen, verschiedene Arten von Wachstumstypen – linear, exponentiell, logistisch usw.),
- ein Verständnis für das gleichzeitige Ablaufen mehrerer Vorgänge in einem komplexen System,
- die Fähigkeit, Zeitgestalten adäquat darzustellen bzw. in Raumgestalten umzuwandeln, solche Zeitgestalten sind etwas periodische Schwankungen oder zeitliche Verzögerungen.

Das bedeutsamste Werkzeug zur Untersuchung dynamischen Systemverhaltens sind laut Ossimitz (2000) systemdynamische Simulationsmodelle. In einem Simulationsmodell ließen sich die Auswirkungen von Systemeingriffen untersuchen und verschiedene Zukunftsszenarien quantitativ entwickeln. Nur an einem Modell könne man eine Entwicklung vorausschauend untersuchen. (Ossimitz, 2000).

Denken in Modellen: Ein dynamisches Denken in vernetzten Strukturen muss laut Ossimitz immer ein Denken in Modellen sein. Entscheidend ist dabei, dass es sich um bewusst wahrgenommene Modelle handelt, dass es bei diesen Darstellungsformen also um Vereinfachungen der Realität geht, die auf bestimmten Annahmen beruhen. Dadurch kann dieselbe Situation durch verschiedene Systemmodelle repräsentiert werden. In diesem Sinne gibt es dann verschiedene systemische Sichtweisen. Diese verschiedenen Modelle sind nicht „richtig“ oder „falsch“, sondern verschieden starke Vereinfachungen der Realität. Die Ergebnisse der Interpretation des Modells haben aber auch nur Gültigkeit im Rahmen dieses Modells.

Zum Denken in Modellen gehört auch die Fähigkeit zur Modellbildung. Ossimitz legt in diesem Zusammenhang besonderen Wert auf die Wahl des Darstellungsmittels: „Der Schlüssel zum Denken in Modellen liegt im Bewusstsein um die verwendeten Darstellungsmittel.“ So unterscheidet sich etwa das rein qualitative Arbeiten mit einem Wirkungsdiagramm fundamental vom systemdynamischen Modellieren, das eine Quantifizierung aller Modellgrößen voraussetzt.

Systemgerechtes Handeln: Diese Dimension des systemischen Denkens bezieht sich nach Ossimitz auf die pragmatische Ebene des Lenkens, Steuerns und Weiterentwickelns von Systemen, also des konkreten Verhaltens in Systemen. Für Ossimitz ist systemisches Denken ohne die Fähigkeit zu systemgerechtem Handeln wenig sinnvoll. Er sieht in dieser Fähigkeit eine „bewusst reflektierte Kompetenz mit einem breiten Spektrum an Einsatzmöglichkeiten, also mit einer gewissen Transferierbarkeit“. Ossimitz sieht sich damit in der Tradition Dörners, der in seinen Experimenten Indizien für eine allgemeine systemische Handlungskompetenz findet.

Ossimitz möchte diese Kompetenz entwickeln, indem das Steuern von Systemen bewusst-reflektiert geübt wird:

„Eine konkrete Möglichkeit besteht darin, das Steuern von Systemen im Zuge der Entwicklung und Exploration von Systemmodellen praktisch einzuüben. Bei qualitativen, durch Wirkungsdiagramme gegebenen Systemmodellen könnte dies darin bestehen, dass man die einzelnen Systemelemente hinsichtlich ihrer Eignung für Lenkungseingriffe untersucht. Bei systemdynamischen Modellen kann man für ein gegebenes Modell einzelne Parameter variieren und die entsprechenden Auswirkungen studieren.“

2.2.2 Empirische Untersuchungen zum systemischen Denken

Bei den empirischen Untersuchungen zum systemischen Denken kann man zwischen zwei unterschiedlichen Zielgruppen unterscheiden. Dörner und die auf seinen Theorien

aufbauenden Untersuchungen anderer Forscherinnen und Forscher beschäftigten sich ausschließlich mit dem Systemverständnis von Erwachsenen, die sich hinsichtlich ihrer Erfahrung im Umgang mit Systemen unterschieden. Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten werden im Kapitel 2.2.2.1 „Studien im außerschulischen Umfeld“ zusammengefasst. Daneben wirkte sich die Debatte um Systemdynamik und systemisches Denken auch auf die Schule aus, da man in der Vermittlung entsprechender Fähigkeiten ein Potential erkannte, systemisches Denken so früh wie möglich zu fördern. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Bemühungen wird in Kapitel 2.2.2.2 „Studien im schulischen Umfeld“ gegeben.

2.2.2.1 Studien im außerschulischen Umfeld

Der systemdynamische Ansatz von Forrester (1969) ist eng an das systemdynamische Modellieren gebunden. Insbesondere Richmond (1993) setzt die Fähigkeit zum systemdynamischen Modellieren gleich mit der Fähigkeit zum systemdynamischen Denken. Da dieser Ansatz insofern stark eingeschränkt ist, soll er in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt werden.

Auch Dörners Ansatz zum komplexen Problemlösen wirft einige Probleme auf, wenn es darum geht, die Validität seiner Theorien zu überprüfen. Zum einen liefert Dörners Ansatz keine Definition systemischen Denkens, die sich in einer empirischen Untersuchung operationalisieren ließe. Der „gesunde Menschenverstand“ ist keine psychologisch definierte „Größe“. Er muss nach Dörner eingesetzt werden, kann aber nicht trainiert werden. Demgegenüber kann der Umgang mit verschiedenen Systemen geübt werden. Dies geschieht bei Dörner ausschließlich durch computergestützte Simulation verschiedenster Szenarien. Dörners Schwerpunkt liegt dabei in der Analyse von Fehlern im menschlichen Denken beim Umgang mit komplexen Problemen. Da diese Herangehensweise für die vorliegende Arbeit nicht in Frage kommt, sollen Dörners Ergebnisse hier nicht ausführlich dargestellt werden. Für eine Übersicht sei auf Funke (1992) verwiesen.

Einige weitere Forscher haben sich mit verschiedenen Teilfragen des systemischen Denkens befasst. So interessierte Putz-Osterloh (1987) die Frage, inwiefern Expertise den Umgang mit intransparenten Problemen verbessert. Die Ergebnisse ihrer Untersuchungen sind für die Frage nach einer bereichsspezifischen oder einer bereichsübergreifenden Fähigkeit zum systemischen Denken sehr interessant und sollen im Kapitel 2.6.2.2.2 ausführlich dargestellt werden.

2.2.2.2 Studien im schulischen Umfeld

- Modellbildung und Simulation: Klieme und Maichle

Die Untersuchungen von Klieme und Maichle (1991) und (1994) zum systemischen Denken waren die Grundlage für einige weitere Studien im schulischen Bereich, sie sollen deshalb zu

Beginn vorgestellt werden. Das Ziel der Studien von Klieme und Maichle (1991) und (1994) war es, das systemische Denken zu fördern. In ihrer Studie „Modellbildung und Simulation im Unterricht der Sekundarstufe I“ untersuchten sie an über 200 Schülern verschiedene Teilaspekte des systemischen Denkens und Modellbildungsprozesse. Unter einem Modell verstehen Klieme und Maichle „eine Abbildung eines Teils der Wirklichkeit“. Das Modell wird im Unterricht eingesetzt, wenn der zu vermittelnde Sachverhalt nicht zugänglich, nicht erfahrbar, zu unanschaulich oder zu komplex ist. Systemisches Denken wird bei ihnen definiert als „die Fähigkeit zur Erfassung von komplexen Zusammenhängen“. Systemischem Denken wird Denken in linearen Ursache- Wirkungsketten gegenübergestellt. Diese Art zu denken charakterisiert die menschliche Geistestätigkeit zwar generell, wird jedoch komplexeren Problemen mit Neben- oder Fernwirkungen sowie Rückkopplungen nicht gerecht.

Ausgehend von diesen allgemeinen Überlegungen formulierten Klieme und Maichle die angestrebten Lernziele für ihre Unterrichtseinheit, die als Teilaspekte systemischen Denkens verstanden und entsprechend untersucht werden können:

Angestrebte Lernziele als Teilaspekte des systemischen Denkens:

- einen Sachverhalt aus verschiedenen Blickwinkel betrachten können,
- erkennen, dass ein Ereignis normalerweise mehr als eine Auswirkung hat,
- dass ein Sachverhalt mehr als eine Ursache haben kann und
- Systemverhalten vorhersagen bzw. erkennen, wann die Informationen zu einer solchen Vorhersage nicht ausreichen.

Die Untersuchungsziele wurden – unterteilt nach den Bereichen „systemisches Denken“, „vermitteltes Fachwissen“ und „Modellbildung“ - operationalisiert. Diese Ziele sollen hier zusammen mit den wichtigsten Ergebnissen vorgestellt werden. Die Daten wurden mit einem Vortest/Nachtest-Design gewonnen. In der dazwischen liegenden Unterrichtsphase beschäftigten sich verschiedene Schülergruppen mit unterschiedlichen Systemen. Alle Schüler sollten ihre gemachten Erfahrungen im Test auf neue Systeme übertragen.

Ziele und Aufgabenstellungen zum systemischen Denken:

Ein Ziel der Unterrichtseinheit war es, systemisch denken zu lernen. Das Erreichen dieses Ziels wurde mit den folgenden Aufgaben geprüft.

In der Aufgabe „Argumente und Gegenargumente“ sollten die Schüler verschiedene Standpunkte zu komplexen Problemen darstellen. Dazu sollten sie die Argumente verschiedener Interessensgruppen zu einem bestimmten Thema (z. B. den Ursachen für die rückläufigen Schülerzahlen einer Schule) darstellen. Es zeigte sich, dass bereits im Vortest 4/5 aller Schüler Probleme aus unterschiedlichen Perspektiven darstellen können, so dass sich gegenüber dem Nachtest kein Unterschied mehr ergab.

Bei der Aufgabe „Vorhersagen zum Systemverhalten“ sollten die Schüler entscheiden, welche Folgen bestimmte Eingriffe in die Lebensweise zweier verschiedener fiktiver Stämme in Afrika haben würden. Dabei wurden Eingriffe, deren Folgen anhand der gegebenen Informationen vorhersagbar sind (determinierte Systemfragen) von Eingriffen unterschieden,

deren Folgen nicht vorhersagbar sind (nicht-determinierte Systemfragen). Es ergaben sich kaum Unterschiede zwischen Vor- und Nachtest, wobei die Mehrheit der Schüler determinierte Systemfragen schon im Vortest richtig beantworten konnte. Nur wenige Schüler erkannten dagegen, wann die gegebenen Informationen nicht ausreichend waren, um eine nicht-determinierte Frage zu beantworten.

Über alle Indikatoren des Systemdenkens hinweg zeigte sich, dass die Schüler, die Unterricht zum Thema „Ökosystem Wald“ erhalten hatten, besser abschnitten als die Schüler, die sich mit dem Thema „Wirtschaft“ beschäftigten hatten.

Eine weitere Aufgabe bestand in der Interpretation eines durch die Modellbildungssoftware MODUS vorgegebenen Modells der Bevölkerungsentwicklung. Gut die Hälfte der Schüler konnte bestimmte formale Merkmale des Systems (wie z. B. das Vorhandensein einer Rückkopplung) erkennen, als schwieriger erwies sich die inhaltliche Interpretation des gegebenen Modells.

Schließlich sollte ein weiteres System von den Schülern gesteuert werden. Diese Aufgabe sollte die Beziehung der von Klieme und Maichle postulierten „Teilaspekte systemischen Denkens“ zu dem von Dörner untersuchten „komplexen Problemlösen“ beleuchten. Es zeigte sich, dass die Aufgaben „Argumente und Gegenargumente“ sowie die Interpretation des MODUS-Modells ähnliche Fähigkeiten wie das komplexe Problemlösen sensu Dörner abbilden. Andererseits ist das Erkennen von Relationen nicht automatisch an eine gute Steuerungsleistung gekoppelt. Diese beiden Leistungen sind unabhängig von einander.

Klieme und Maichle interpretieren die Ergebnisse wie folgt:

„Insgesamt deuten die Ergebnisse daraufhin, dass systemisches Denken kein isolierbarer und mit einem einzigen Wert zu kennzeichnender Kompetenzbereich ist, sondern viel eher ein Fähigkeitsbündel, ein Zusammenspiel von unterschiedlichen geistigen Fähigkeiten, in das sich sogar Persönlichkeitseigenschaften mischen können.“ (Klieme & Maichle, 1994 S. 62)

Ziele und Aufgaben zur Modellbildung

Die entwickelten Unterrichtsmaterialien sollten die Schüler dazu befähigen, selbständige Modelle über reale Zusammenhänge zu bilden, diese Modelle durch Simulation auf Übereinstimmung mit den realen Gegebenheiten zu überprüfen und so die Bedeutung der Modellbildung zu erkennen. Zur Operationalisierung wurde den Schülern ein komplexer Sachverhalt in Textform vorgegeben, den sie grafisch darstellen sollten. Zur Auswertung wurden die Kategorien Szenenbild, bildliche Darstellung von Zuständen / Stadien, lineare Ursache- Wirkungsketten, Baumdiagramme und Netzdiagramme unterschieden. Es zeigte sich, dass die Komplexität der Darstellungen alters- und schulartabhängig war. Darüber hinaus zeichneten bereits die überwiegende Anzahl Schüler im Vortest Wirkungsdiagramme (unter dieser Sammelbezeichnung subsumieren Klieme und Maichle die letzten drei genannten Darstellungsformen).

Ziele und Aufgaben zum vermittelten Fachwissen

Die Unterrichtseinheit sollte das Wissen und das Verständnis für Zusammenhänge im jeweiligen Fachgebiet fördern.

In den dazugehörigen Aufgaben sollten die Schüler die zentralen Begriffe mittels Multiple Choice definieren und in einem sog. Paarbeziehungstest die Relationen zwischen zwei zentralen Begriffen bilden. Darüber hinaus mussten die Schüler in „Wenn – dann – Fragen“ die Veränderung relevanter Größen bei Veränderung bestimmter anderer Größen vorhersagen (Bsp.: Wenn die Blätter der Bäume zunehmend Giftstoffe anreichern, dann ...).

Die Fachkenntnisse der Schüler konnten durch den Unterricht auf befriedigende Weise verbessert werden. Dabei zeigte sich auch, dass der Umgang mit MODUS-Modellen positiv an die Fachkenntnisse im Nachtest gekoppelt war.

Probleme zeigten sich in dieser Studie bei der Nutzung der Modelliersoftware MODUS, die sich in der Schülernutzung als schwierig erwies. Auch ließ das Fehlen ergänzender Interviews an manchen Stellen nur Vermutungen über die Bedeutung der Antworten zu. So ergibt sich bei Klieme und Maichle, bezogen auf die Leistungen ihrer Schüler zum Systemdenken ein ambivalentes Bild. Bei manchen Aufgaben gab es im Verhältnis zum Vortest eine signifikante Leistungsverbesserung (wie z. B. beim freien Darstellen von Wirkungszusammenhängen oder bei der Vorhersage von Systemverhalten), bei anderen Aufgaben zeigte sich dagegen keine Leistungssteigerung (z. B. zeigte der Unterricht mit MODUS keinen Effekt auf das Antwortverhalten bei den nicht-determinierten Fragen).

Klieme und Maichle diskutieren die Frage nach den Effekten der Beschäftigung mit MODUS kritisch und kommen zu dem Schluss, dass der „Bereich des Systemdenkens statt dessen wesentlich durch intellektuelle Grundfähigkeiten determiniert ist“ (Klieme & Maichle, 1991). Die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Systemkompetenz und Intelligenz wird auch Bestandteil dieser Arbeit sein (vgl. Kapitel 2.6.3). Aus den zum Teil unterschiedlichen Ergebnissen der Schüler, die verschiedene Systeme in der Übungsphase steuerten, ziehen Klieme und Maichle weiterhin den Schluss, dass die Fähigkeit der Schüler zum Systemdenken kontextabhängig sei. Auf die Frage nach einer bereichsspezifischen versus bereichsübergreifenden Fähigkeit zum systemischen Denken soll, wie bereits dargestellt, in dieser Arbeit ebenfalls näher eingegangen werden.

Als Resümee dieser Studie lässt sich sagen, dass Klieme und Maichle mit der Entwicklung ihrer Erhebungsmethoden Pionierarbeit auf dem Gebiet der Erforschung systemischen Denkens bei Schülern geleistet haben. Sie operationalisierten nicht nur die Bestandteile des systemischen Denkens in schülergeeigneter Form, sondern beschäftigten sich auch mit den Begleitumständen dieses Lernens in Form von Interesse, Motivation, Vorerfahrungen und Schulsituation. Damit bildeten sie die Basis für einige weitere Untersuchungen, die im Folgenden vorgestellt werden.

- Entwicklung systemischen Denkens: Ossimitz

Ziel der Studien des Mathematikdidaktikers Ossimitz war es, die Entwicklung systemischen Denkens zu messen. Seine Definition systemischen Denkens besteht aus den in Kapitel 2.2.1.5 ausführlicher dargestellten vier Dimensionen:

- vernetztes Denken: Denken in Rückkopplungskreisen
- dynamisches Denken: Denken in Zeitabläufen
- Denken in Modellen

- Systemgerechtes Handeln.

Ossimitz selbst sagt dazu, dass seine „entwickelten Dimensionen systemischen Denkens nicht sehr hilfreich sind, um zu einer Operationalisierung systemischen Denkens zu kommen“ (Ossimitz (2000), S. 129). Stattdessen schlägt er zur Operationalisierung mehr pragmatisch orientierte Teilaspekte systemischen Denkens vor. Diese Aspekte lassen sich nicht einzelnen Dimensionen des systemischen Denkens zuordnen, sondern kommen jeweils in verschiedenen Dimensionen vor. Sie sind jedoch – wie er selbst sagt – „weder vollständig noch irgendwie systematisch entwickelt“:

Teilaspekte systemischen Denkens:

- Identifikation von Systemelementen,
- Vernetzungen identifizieren,
- Erkennen von Systemarchetypen,
- Qualitatives Modellieren,
- Quantitatives Modellieren,
- Zeitliche Dynamiken erkennen,
- Steuerung von Simulationsmodellen.

Die Studie „Simulationssoftware im Unterricht“ war eine relative kleine Studie mit 7 Schülern zwischen 15 und 17 Jahren, die vor, während und nach einer Unterrichtseinheit getestet wurden. Der Unterricht musste Module zum „Arbeiten mit MODUS“ und zur „Behandlung von Wirkungsdiagrammen“ enthalten, die übrige Gestaltung war den unterrichtenden Lehrern freigestellt. Es zeigte sich, dass auch diese Schüler Schwierigkeiten mit der Modellbildungssoftware hatten, weshalb Ossimitz in seiner Folgestudie auf eine andere Software (Powersim) umstieg. Diese Studie untersuchte die Fähigkeiten zur qualitativen Modellbildung und zu Prognosen von Systemverhalten. Dabei stellte sich heraus, dass die Schüler sehr schnell in der Lage waren, die vorgegebene Situation in Form eines Wirkungsdiagramms darzustellen. Nach nur einer Stunde Unterricht konnten die Schüler der 9. Schulstufe Wirkungsdiagramme zeichnen.

Die auf diesem Projekt aufbauende Untersuchung „Entwicklung systemischen Denkens“ war eine groß angelegte Studie mit 122 Schülern der Sekundarstufe II. Im Vortest – Treatment – Nachtest – Design wurde gemessen, welcher Lernzuwachs durch eine ca. 20-stündige Unterrichtseinheit zur Systemdynamik erreicht werden kann. Die Gestaltung des konkreten Unterrichts blieb dabei wiederum den einzelnen Lehrern überlassen. Die Fähigkeiten zum Darstellen, Interpretieren und Beurteilen wurden anhand einer verbal beschriebenen, komplexen Situation (der Viehzucht-betreibende afrikanische Stamm der Hilu und der sich von Fischzucht ernährende Stamm der indonesischen Mori) geprüft. Zu diesen Texten mussten die Schüler eine grafische Darstellung anfertigen und Fragen zu Auswirkungen von Eingriffen in das System beurteilen. Die möglichen Antworten waren im Multiple-Choice-Stil vorgegeben und mussten begründet werden. Schließlich wurde die „Argumente-

Gegenargumente-Aufgabe“ von Klieme und Maichle (1994) übernommen, in der die Schüler ein Thema aus der Sicht verschiedener Interessensgruppen darstellen sollen.

Zur Auswertung der von den Schülern erstellten Skizzen zur Hilu/Mori-Aufgabe wurden zunächst die vorkommenden Darstellungselemente (Bezeichnungen, Pfeile, Verzweigungen, Pfeilketten, Wirkungskreisläufe, symbolische Icons, Szenenbilder, Funktionsgrafiken und sonstige Bildelemente) ermittelt. Danach erfolgte eine Klassifikation des sich daraus ergebenden Darstellungstyps (Szenenbilder, Stadienbilder, lineare Ursache-Wirkungsketten, Baumdiagramme und Netzdiagramme). Zur eingehenden Analyse der Skizzen errechnete Ossimitz einen Vernetzungs- und einen Komplexitätsindex.

Der Vernetzungsindex misst die durchschnittliche Zahl von hin- und wegführenden Pfeilen je Bildelement. Der Komplexitätsindex misst den Gesamtumfang der Darstellung.

Vernetzungsindex:

$$V_x := 2p / (b+i)$$

v_x = Vernetzungsindex

p = Anzahl der Pfeile

b = Anzahl der Bezeichnungen

i = Anzahl der Icons

Komplexitätsindex:

$$K_x := b + p + v_z + k_e + k_r + i + f_u$$

k_x = Komplexitätsindex

b = Anzahl der Bezeichnungen

p = Anzahl der Pfeile

v_z = Anzahl Verzweigungen

k_e = Anzahl Ketten

k_r = Anzahl Kreisläufe

i = Anzahl der Icons

f_u = Anzahl Funktionsgrafiken

Diese Art der Definition und Auszählung unterschiedlicher Darstellungselemente hat sich nach Ossimitz sehr bewährt. Er konnte so fast alle Darstellungen eindeutig einer Kategorie zuordnen. Auch hier zeigte sich, dass bereits die Hälfte aller Schüler im Vortest ein Wirkungsdiagramm zeichnete. Der Unterricht führte zu einer Steigerung dieses Anteils auf 84%. Der bei Klieme und Maichle festgestellte Zusammenhang von Diagrammtyp und Geschlecht, Alter und Computer-Vorerfahrung konnte nicht signifikant erhärtet werden. Dagegen fand Ossimitz einen Zusammenhang zwischen dem Darstellungstyp und der Variable „Lehrer“. Auch eine Abhängigkeit von der Mathematiknote war feststellbar: Komplexitäts- und Vernetzungsindex waren bei Schülern mit Mathe-Note „sehr gut“ signifikant höher als bei anderen Schülern.

Die Auswertung der Fragen zu Auswirkungen von Eingriffen in das System lieferten dagegen wenig interessante Ergebnisse. Ossimitz berechnete aus den Argumenten der Schüler ebenfalls einen Komplexitäts- und einen Vernetzungsindex. Er konnte daraus jedoch keine der erwarteten Zusammenhänge zu Klasse, Geschlecht, Alter, Mathematiknote,

Darstellungstyp bei der Zeichenaufgabe oder zum Vernetzungs- bzw. Komplexitätsindex signifikant nachweisen.

In einer nachfolgenden Studie prüften Schecker, Klieme, Niedderer, Gerdes, & Ebach (1997 aus Steinberg, 2001), in wie weit Ossimitz' vier Komponenten des Systemdenkens als zusammenhängend betrachtet werden können. Da sie keine konsistenten Zusammenhänge finden konnten, lässt sich von einer einheitlichen Kompetenzdimension des systemischen Denkens nicht ausgehen.

Für die vorliegende Arbeit führt dies zu folgenden Schlussfolgerungen:

Die grafische Darstellung eines komplexen Sachverhaltes ist eine wichtige Methode, um Aussagen über das Verständnis einer komplexen Situation zu machen. Ossimitz hat hier Neuland betreten und eine gerade für die Schule sehr geeignete Methode gefunden. Auf diesen wesentlichen Aspekt soll in Abschnitt 2.2.3.2 noch näher eingegangen werden.

Der fehlende Zusammenhang zwischen der Aufgabe zur Einschätzung von Eingriffen in das System und anderen Parametern des Tests ist erstaunlich. Ossimitz folgert daraus, dass entweder die Aufgaben (Zeichnen des Hilu-Szenarios und Abschätzen der Folgen von Eingriffen in das System) substantiell verschieden sind, so dass sie unterschiedliche Aspekte systemischen Denkens messen. Oder die berechneten Indizes Komplexitätsgrad und Vernetzungsgrad seien in beiden Aufgabentypen essentiell verschiedene Maße.

Es stellt sich die Frage, ob nicht durch andere Formen der Auswertung weiterführende Ergebnisse zu erlangen wären.

Eine Herausforderung für folgende Arbeiten scheint der in Ossimitz Arbeit fehlende Bezug der operationalisierten „Teilaspekte systemischen Denkens“ zu den von ihm aus der Literatur hergeleiteten „Dimensionen systemischen Denkens“ zu sein, über die er das systemische Denken definiert. Da sich die Untersuchungskriterien nicht aus seiner Theorie ableiten, stellt sich die Frage nach der Rechtfertigung der Untersuchungskriterien in Form einer kognitionspsychologischen Umsetzung.

- Förderung systemischen Denkens: Maierhofer

Eine Folgestudie, die auf der Arbeit von Ossimitz fußt, wurde von Maierhofer (2001) durchgeführt. Ihre Untersuchung „Förderung des systemischen Denkens durch computerunterstützten Biologieunterricht“ stützt sich auf die Definition systemischen Denkens von Ossimitz. Ziel ihrer Arbeit war es, sich dem Themenfeld „systemisches Denken“ von biologischer Seite aus zu nähern und zu prüfen, in wie weit computerunterstützter Unterricht das systemische Denken von Schülern der 12. Jahrgangsstufe fördern kann. Das Untersuchungsdesign von Maierhofers Arbeit bestand aus einem Pretest-Posttest-Design, mit einem dazwischen liegenden Unterricht zum Thema „Ökosystem See“.

Maierhofer operationalisiert die „Dimensionen systemischen Denkens“ nach Ossimitz in vier Punkten (vgl. Kap. 2.2.1.5):

- Messung der Fähigkeit, in Modellen zu denken: Hier wird untersucht, in wie weit die Schüler wesentliche Systemelemente identifizieren, diese durch Relationen verknüpfen und die Grenzen des Modells erfassen.
- Messung des vernetzten Denkens: Dieser Aspekt beinhaltet die Frage nach der Fähigkeit der Schüler, Neben- und Fernwirkungen zu erkennen und limitierende Faktoren und Schwellenwerte zu beachten.
- Messung des dynamischen Denkens: Unter diesem Punkt wird untersucht, ob Schüler vernetzte Strukturen im Hinblick auf das Systemverhalten richtig beurteilen.
- Messung der Fähigkeit zur praktischen Steuerung von Systemen: Diese Fähigkeit wird operationalisiert durch die Wahl sinnvoller Lenkungseingriffe der Schüler in ein schriftlich geschildertes Szenarium.

Die Fähigkeit der Schüler zu systemischem Denken wurde am Beispiel der „Hilo- und Mori-Szenarien“ überprüft. Durch eine Kombination von quantitativen und qualitativen Erhebungsmethoden kommt Maierhofer zu folgenden Ergebnissen: Die Fähigkeit, Wirkungsdiagramme zu erstellen, also Systemgrößen zu identifizieren und durch Relationen zu vernetzen, konnte ausgehend von einem relativ hohen Niveau signifikant verbessert werden. Die Einschätzung der Fähigkeit zum „vernetzten Denken“ wurde aus einer Kombination verschiedener Aufgaben im Multiple-Choice-Format gewonnen. Zusätzlich sollten die Schüler die Wahl ihrer Antwort schriftlich begründen. Es zeigte sich, dass die Schüler die aufgrund der vielfältigen Wechselwirkungen in einem komplexen, dynamischen System entstehenden „vernetzten Strukturen“ im Nachtest meist besser erkennen als im Vortest.

Hinsichtlich der Einschätzung der Fähigkeit, vernetzte Strukturen im Hinblick auf das Systemverhalten richtig zu beurteilen, zeigte die Untersuchung, dass dies aufgrund des Antwortverhaltens der Multiple-Choice-Fragen nicht gelingt. Falsche Antworten werden laut Maierhofer zum Teil im Sinne der Fragestellung richtig begründet, „zufällig“ richtig angekreuzte Antworten dagegen nicht.

Die Fähigkeit zur Systemsteuerung wurde von Maierhofer ebenfalls mit Hilfe der schriftlichen Darstellung eines Szenariums und der Wahlmöglichkeit zwischen verschiedenen Lenkungseingriffen überprüft. Sie interpretiert die Fähigkeit, sinnvolle Lenkungseingriffe auszuwählen im Sinne einer erfolgreichen Systemsteuerung. Für diese Fähigkeit ließ sich eine deutliche Steigerung gegenüber dem Vortest feststellen.

Zusammenfassend lässt sich zu dieser Untersuchung festhalten, dass sich die theoretische Struktur dieser Arbeit sehr eng an die Arbeit von Ossimitz anlehnt. Maierhofer bezieht sich auf die „Dimensionen systemischen Denkens“ von Ossimitz, operationalisiert diese aber zum Teil etwas anders als Ossimitz. Diese Operationalisierungen werden jedoch wie auch bei Ossimitz nicht unmittelbar aus der Theorie abgeleitet, sondern stellen eher eine praktische Umsetzung dar.

Insgesamt kann Maierhofer mit den Ergebnissen ihrer Untersuchung die Verbesserung systemischen Denkens durch den von ihr konzipierten Unterricht zum „Ökosystem See“ und einer dazu passenden Computersimulation nachweisen. Gleichzeitig ergibt sich aus dem von

ihr gewählten Untersuchungsdesign die Erkenntnis, dass die Schüler ihre Fähigkeiten vom Ökosystem „See“ auf ein anderes Ökosystem (den fischzucht-treibenden Stamm der Mori und deren komplexe Abhängigkeiten von der Umwelt) übertragen können. Es handelt sich bei der Übertragung dieser Fähigkeiten um eine bereichsinterne Übertragung. Inwiefern diese Fähigkeiten allerdings durch den Einsatz computergestützter Simulationen verbessert werden, lässt sich mit dem eingesetzten Untersuchungsdesign nicht beantworten. Dazu würde es einer Kontrollgruppe bedürfen, die zwar den entsprechenden Unterricht erhält, aber nicht mit der Computersimulation arbeitet.

- Grafische Repräsentationen für komplexe, dynamische Probleme: Steinberg

Die Arbeit von Steinberg (2001) bezieht sich auf die „Bedeutung graphischer Repräsentationen für den Umgang mit einem komplexen dynamischen Problem“. Steinberg bezieht sich mit der Untersuchung der Bedeutung der grafischen Repräsentationen von Systemen ebenfalls auf die Ergebnisse der Studie von Ossimitz (2000), die den Wert solcher Veranschaulichungen darlegen. (Auf diesen Punkt wird in Kapitel 2.2.3.3 näher eingegangen.)

Den theoretischen Hintergrund ihrer Arbeit bilden allerdings nicht die erwähnten „Dimensionen systemischen Denkens“ von Ossimitz, sondern eine Reihe aus der Literatur abgeleiteter Systemeigenschaften, die - nach ihrer Definition systemischen Denkens – im Denken einer Person für den Umgang mit Systemen Abbildung finden sollten. Diese Systemeigenschaften stellen sich (verkürzt) wie folgt dar:

- Struktur eines Systems: Ein System besteht aus Systemelementen. Die Elemente sind durch Wirkungsbeziehungen in einer für das gegebene System charakteristischen Systemstruktur miteinander verknüpft. ...
- Vernetztheit der Variablen: Variablen stehen in komplexen Ursache-Wirkungsgefügen mit wechselseitiger Beeinflussung, d. h. die Veränderungen einer einzigen Variablen verändert zugleich den Zustand anderer Variablen, deren Zustandsänderung wiederum Einfluss auf die Ursachenvariable hat.
- Räumliche Einbettung von Systemen: Die Grenzen von Systemen sind offen. Systeme stehen so mit anderen Systemen im Austausch.
- Systemische Bedeutung von Zeit: Systeme bzw. Systemzustände entwickeln sich eigendynamisch weiter. Um Entwicklungsverläufe abschätzen zu können, muss bei der Betrachtung von Systemen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft berücksichtigt werden.

Steinbergs Arbeit hat zum Ziel, die Wirksamkeit eines von ihr entwickelten Kurztrainings zum systemischen Denken und komplexen Problemlösen nachzuweisen. Das Training beinhaltet eine Vermittlung wichtiger Prinzipien der Systemtheorie sowie der Systemanalyse. Verbunden damit war eine Darstellung mit bzw. ohne Wirkungsdiagramme. Teilnehmer von Steinbergs Untersuchung waren Schüler der neunten Jahrgangsstufe, die aufgrund des Untersuchungsdesigns in drei Gruppen aufgeteilt wurden: Eine „Wirkungsdiagrammgruppe“ erlernte sowohl Systemprinzipien als auch die Systemanalyse mit Wirkungsdiagrammen, eine

„Freie-Darstellungsgruppe“ erlernte ebenfalls Systemprinzipien, allerdings ohne Wirkungsdiagramme. Der Vergleichsgruppe wurde eine unspezifische Lerngelegenheit in Bezug auf systemgerechtes Handeln durch die Beschäftigung mit einem komplexen Computersystem geboten. Alle drei Gruppen bearbeiteten nach dem Training die Computersimulation „Hunger in Nordafrika“. Es handelt sich um ein komplexes, dynamisches Problem, das in dieser Studie der Operationalisierung von „Handeln in komplexen Systemen“ diente. Ein Trainingserfolg konnte in dieser Studie von Steinberg nicht nachgewiesen werden, keine der drei Versuchsgruppen unterschied sich signifikant von den anderen. Die erhobenen Daten lieferten allerdings Hinweise, dass der nicht kontrollierte Einfluss von Vorerfahrung mit Wirkungsdiagrammen bzw. Vorwissen über Systemprinzipien mögliche Effekte überlagert haben könnte.

Für die vorliegende Arbeit ergeben sich aus dieser Untersuchung die folgenden Schlussfolgerungen: Obwohl Steinberg keine Unterschiede zwischen ihren verschiedenen Trainingsgruppen nachweisen konnte, sprechen aus ihrer Arbeit wichtige Aspekte für die Bedeutung der Rolle von Systemdarstellungen in Bezug auf das systemische Denken. Der Aspekt der Darstellung von Systemen wird auch in meiner Arbeit von zentraler Bedeutung sein. Um ähnliche Überlagerungseffekte wie bei Steinberg zu verhindern, sollte das Vorwissen über Systemprinzipien erhoben werden.

Noch bedeutsamer scheint mir die Auseinandersetzung mit der Operationalisierung systemischen Denkens zu sein. In vielen Studien zum systemischen Denken ergibt sich die Schwierigkeit, abstrakte Dimensionen oder Kategorien systemischen Denkens theoriegeleitet und systematisch zu operationalisieren. Diese Schwierigkeit findet sich schon bei Dörner (1989), Klieme & Maichle (1991/1994) und auch bei Ossimitz (2000) sowie in darauf aufbauenden Studien. Steinbergs Weg, systemisches Denken als die Abbildung wesentlicher Systemprinzipien im Denken einer Person zu definieren, umgeht den Bruch zwischen theoriegestützter Definition eines Systems und der Umsetzung dieses Konstrukts in das Denken einer Person. Dieser Weg scheint der für eine Untersuchung zum systemischen Denken geeignete zu sein.

- Systemisches Denken im Kontext Erde: Assaraf /Orion

Orion untersucht mit seiner Arbeitsgruppe das systemische Denken von israelischen Schülern. Im Rahmen dieser Untersuchungen entstand eine Studie, die sich mit der Fähigkeit zum Systemdenken im Kontext der Erde beschäftigt. Orion & Assaraf (eingereicht) beschäftigten sich in dieser Untersuchung mit Achtklässlern, um herauszufinden,

- ob die Schüler mit komplexen Systemen umgehen können,
- was die Fähigkeit zur Systemwahrnehmung beeinflusst hat und
- welche Beziehungen zwischen den kognitiven Komponenten des systemischen Denkens bestehen.

Assaraf und Orion leiten aus der Systemtheorie und aus verschiedenen Studien zum systemischen Denken acht Charakteristika für systemisches Denken ab, die die Grundlage

ihrer Arbeit bilden. Diese Charakteristika systemischen Denkens sind als Fähigkeiten formuliert:

1. Fähigkeit, die Komponenten und Prozesse innerhalb eines Systems zu identifizieren,
2. Fähigkeit, Beziehungen zwischen den Systemkomponenten zu identifizieren,
3. Fähigkeit, die Systemkomponenten und Prozesse in einem Gerüst von Beziehungen zu organisieren,
4. Fähigkeit zu generalisieren,
5. Fähigkeit, dynamische Beziehungen im System zu identifizieren,
6. Fähigkeit, die versteckten Dimensionen eines Systems zu verstehen, also unter der Oberfläche verborgene Muster und Beziehungen zu beachten,
7. Fähigkeit, die zyklische Natur von Systemen zu verstehen,
8. Fähigkeit zum zeitlichen Denken: Zu verstehen, dass manche der gegenwärtigen Ereignisse im System ihren Ursprung in der Vergangenheit haben, während zukünftige Ereignisse ein Ergebnis gegenwärtiger Interaktionen sein können.

Orion und Mitarbeiter entwickelten in einem multidisziplinären Team ein umwelt-basiertes Lernprogramm für Achtklässler, das aus 45 Stunden Labor- und Freilandunterricht bestand. Thema des Unterrichts war der Weg des Wassers im Wasserkreislauf und dessen Einbindung in das System Erde. Aufbauend auf diesem Unterrichtsprogramm wurde die eigentliche Untersuchung zum systemischen Denken durchgeführt. Sie bestand aus 10 quantitativen und qualitativen Untersuchungsmethoden, die die Bandbreite der Forschungsfragen abdecken und Aufklärung über den Beitrag der einzelnen untersuchten Aspekte zum Gesamtkonzept des systemischen Denkens geben sollten:

Ein Multiple-choice-Test sollte prüfen, ob die Schüler Beziehungen zwischen Komponenten identifizieren und Kreislaufprozesse verstehen können und ob sie eine Vorstellung von der Bedeutung der Mengen im System haben.

Anhand der Schülerzeichnungen und Concept maps (zu Deutsch: Begriffslandkarten) vom Wasserkreislauf wurde überprüft, welche Systemkomponenten und –prozesse, dynamischen Beziehungen und Kreisläufe die Schüler identifizieren konnten und ob sie in der Lage waren, diese in ein Gerüst von Beziehungen zu integrieren.

Mit einem Wort-Assoziationstest wurde ebenfalls die Fähigkeit zum Identifizieren der Systemkomponenten und –prozesse überprüft.

In begleitenden Interviews wurden ausgewählte Schüler aus verschiedenen Leistungsgruppen vor, während und am Ende des Lernprozesses genauer nach ihren Fähigkeiten zum Systemdenken befragt, u. a. zum schlussfolgernden Denken unter Berücksichtigung von vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Ereignissen, sowie zur Fähigkeit, versteckte Dimensionen zu berücksichtigen.

In einem weiteren Testteil sollten die Schüler Konstrukte bilden, mit deren Hilfe sich drei vorgegebene Begriffe unter einem Schlagwort vergleichen lassen, z. B. „hoher Salzgehalt“. Mit Hilfe dieses Konstruktes sollten dann eine Anzahl weitere Begriffe auf einer Skala eingeordnet werden, die in diesem Beispiel von „niedrigem Salzgehalt“ zu „hohem Salzgehalt“ reichte. Mit dieser Methode sollte u. a. die Fähigkeit zum Generalisieren getestet werden.

Schließlich wurde der gesamte Lernprozess von Beobachtungen zu den Schülern, dem Lernmaterial und den Lehrern begleitet, um Erkenntnisse über die Schülerbeteiligungen an einzelnen Aktivitäten und die Lehrstrategien der Lehrer zu erhalten.

Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Fähigkeiten fast aller Schüler zum systemischen Denken – ausgehend von einem sehr niedrigen Niveau – gesteigert werden konnten. Während im Vortest noch viele Schüler Schwierigkeiten mit den einfacheren Fähigkeiten zum Systemdenken wie Identifizieren von Komponenten, Erkennen von dynamischen und Kreislauf-Prozessen, sowie dem Einbau von Komponenten in ein Gerüst hatten, erreichten im Nachtest ein Drittel der Schüler ein hohes Niveau des systemischen Denkens. Bei den meisten Schülern zeigte sich im Nachtest ein Wechsel vom Bruchstück-Wissen zu einer ganzheitlicheren Sicht, eine Zunahme beim Identifizieren von Beziehungen zwischen Komponenten, in den Concept maps eine Steigerung der Vernetzung und ein zunehmendes Erkennen des dynamischen Charakters des Systems.

Orion & Assaraf (eingereicht) identifizierten zwei Faktoren, die die Unterschiede im Lernzuwachs der Schüler erklären: zum einen die individuelle kognitive Fähigkeit der Schüler und zum anderen das Ausmaß der Beteiligung an wissensintegrierenden Aktivitäten bei Klassenraum- und Freiland-Lerneinheiten. Es stellte sich heraus, dass das Ausmaß der Beteiligung an diesen Aktivitäten mit dem Erreichen eines höheren Niveaus des systemischen Denkens verbunden war. Trotzdem erreichten nicht alle Schüler, die sich engagiert am Unterricht beteiligten, das höchste Niveau im systemischen Denken.

Die unterschiedlichen kognitiven Fähigkeiten der Schüler stellen nach Orion & Assaraf eine wesentliche Erklärung für die Unterschiede im Lernzuwachs dar. Nach Frank (2000, zitiert nach Orion & Assaraf, eingereicht) beinhaltet das systemische Denken höhere Denkfähigkeiten. Diese Denkfähigkeiten umfassen u. a. das Beurteilen von Nuancen und die Analyse von komplexen Situationen unter multiplen Kriterien. Sie stellen nach Orion & Assaraf für manche Schüler eine Barriere dar, die es ihnen nicht ermöglicht, auf die nächste Stufe des Systemverständnisses zu kommen, obwohl sie sich ausreichend am Unterricht beteiligen.

Zur Frage, welche Beziehungen zwischen den kognitiven Komponenten von Systemdenken existierten, klassifizieren Orion & Assaraf durch Auswertung der verschiedenen Komponenten systemischen Denkens vier Gruppen von Fähigkeiten. Die Entwicklung des systemischen Denkens im Kontext der Erde erfolgt danach über mehrere Stufen, die hierarchisch angeordnet sind. Die kognitiven Fähigkeiten, die in einer Stufe erworben wurden, stellen die Basis für die Entwicklung der nächst höheren Fähigkeiten dar. Auf diese Stufen soll in Kapitel 2.4.2.3 näher eingegangen werden.

Im Hinblick auf die vorliegende Arbeit lassen sich folgende wichtige Punkte festhalten: Die Arbeit von Orion & Assaraf geht zwar nicht näher auf den Ursprung der Dimensionen ein, mit denen das systemische Denken beschrieben wird, sie definiert aber das systemische Denken über eine Reihe von Fähigkeiten, die aus der Systemanalyse hervorgehen.

Diese Fähigkeiten werden von Orion & Assaraf in einer Reihe von Aufgaben getestet, die sich in ihrem Anforderungsprofil teilweise überschneiden und somit Aufschluss über die Validität

der einzelnen Tests geben können. Besonders interessant ist die Kreuzung der verschiedenen Testteile, die es Orion & Assaraf ermöglicht, Gruppen von Denkfähigkeiten zu klassifizieren. Mit dieser Arbeit wird zum ersten Mal in der Forschung zum Systemdenken der Versuch gemacht, eine Abfolge der Entwicklung der Fähigkeiten zum Systemdenken zu beschreiben. Die Zuordnung der einzelnen Fähigkeiten zu verschiedenen Stufen, die nach Orion & Assaraf nach einander durchlaufen werden, stellt eine gute Basis für die Diskussion um die Entwicklung des Systemdenkens bei Schülern dar. Aus der hierarchischen Anordnung der Fähigkeiten zum Systemdenken ergibt sich die Frage nach den Anfängen dieses Systemdenkens bei jüngeren Schülern. Orion & Assaraf fordern aufgrund ihrer Studie einen Beginn der Förderung des Systemdenkens in der Grundschule auf der Basis der untersten Stufe, also dem Identifizieren von Elementen und Prozessen. Inwieweit Grundschüler dazu und zu „höheren“ Fähigkeiten im systemischen Denken in der Lage sind, ist zentraler Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit.

Resümee

Die vorgestellten Studien beschäftigen sich mit Erwachsenen oder Schülern, die die Grundschule schon abgeschlossen haben. In allen Studien lassen sich mehr oder minder große systemische Kenntnisse feststellen. In den meisten Studien werden diese Fähigkeiten ohne eine innere Ordnung nebeneinander gestellt und lassen daher keine Rückschlüsse auf unterschiedliche Niveaus systemischen Denkens zu. Orion & Assaraf haben in dieser Hinsicht Pionierarbeit geleistet und innerhalb der „Gesamtfähigkeit Systemdenken“ erstmals unterschiedliche Stufen systemischen Denkens beschrieben, die sich durch verschiedene Teilfähigkeiten systemischen Denkens beschreiben lassen. Allerdings sind auch diese Stufen auf der Basis der Leistungen von Achtklässlern formuliert. Fragt man aber nach der Entwicklung systemischen Denkens, dann stellt sich die Frage nach entsprechenden Kompetenzen bei jüngeren Schülern. Ziel dieser Arbeit ist es daher, herauszufinden, ob und wenn ja, welches systemische Verständnis bei Grundschulkindern vorhanden ist.

Der Untersuchungsansatz der vorliegenden Arbeit wird mit der Frage danach, *ob* Grundschüler überhaupt Systemverständnis zeigen, fundamentaler sein als der der bisherigen Studien. Es kann daher auch kein Trainingsansatz zugrunde gelegt werden. Dieser baut grundsätzlich auf einer vorhandenen Fähigkeit, die weiter gefördert wird, auf.

In der vorliegenden Studie dient der Unterricht zwischen den verschiedenen Testteilen daher auch nicht einem speziellen Training im Umgang mit Systemen, d. h. die Kinder erhalten keinerlei theoretisches Systemtraining, in dem ihnen z. B. die theoretischen Merkmale eines Systems vermittelt werden. Der Unterricht dient der Vermittlung des benötigten Wissens, um überhaupt systemisch denken zu können. In diesem Zusammenhang muss betont werden, dass systemisches Denken nicht inhaltsfrei vorhanden sein kann und dementsprechend nicht inhaltsfrei getestet werden kann. Es bedarf also eines Wissens um die Fakten und Zusammenhänge eines bestimmten Gebietes, die nicht aus sich selbst heraus erschlossen werden können. Die für diese Untersuchung konzipierte Unterrichtseinheit soll dieses Basiswissen über Elemente und ihre Beziehungen möglichst gut vermitteln, damit darauf

aufbauend getestet werden kann, in wie fern die Kinder dieses Wissen mit einander verbunden haben und zu welchen darauf aufbauenden Leistungen sie in der Lage sind.

2.2.3 Interne und externe Modellbildung

Die vorhergehend vorgestellten Studien zum systemischen Denken gehen implizit davon aus, dass sich das systemische Denken über geeignete Darstellungsformen abbilden und damit messbar machen lässt. Diese Auffassung setzt eine Theorie darüber voraus, wie Denken, bzw. Wissen in unserem Gedächtnis verarbeitet und gespeichert wird und wie dieses Wissen sichtbar gemacht werden kann. In diesem Abschnitt sollen daher die kognitionspsychologischen Theorien zur „internen Modellbildung“, also der Wissensrepräsentation verbaler Information kurz vorgestellt werden.

Im zweiten Abschnitt wird beschrieben, wie Prozesse der Modellbildung ablaufen, das heißt, wie aus einem externen realen Gegenstand ein internes Modell gebildet wird und anschließend wieder vergegenständlicht wird. Anschließend werden im dritten Abschnitt die verschiedenen Möglichkeiten der „externen“ Darstellung von Systemen beschrieben.

2.2.3.1 Wissensrepräsentation

Seit Ende der sechziger Jahre haben Kognitionspsychologen Wissen um Bedeutungen auf der Basis kleinster Einheiten definiert. Diese grundlegenden Bedeutungseinheiten des Wissens werden als Propositionen bezeichnet. Man versteht darunter die kleinst mögliche Behauptung, die als wahr oder falsch bezeichnet werden kann (Zimbardo, 1992). Propositionen bestehen aus einem Prädikat und den mit ihm semantisch verbundenen Argumenten. So lässt sich der Satz „Das Gedächtnis speichert Wissen“ mit der Proposition *Speichern (Gedächtnis, Wissen)* darstellen. Für die Annahme solcher kleinster Wissensseinheiten als Repräsentationen im Gedächtnis sprechen Befunde der Art, dass im Nachhinein häufig nicht mehr entschieden werden kann, ob der Satz „Das Wissen wird im Gedächtnis gespeichert“ oder „Das Gedächtnis speichert Wissen“ o.ä. lautete. Zum anderen liegt die Stärke des Modells propositionaler Repräsentationen in der Erklärung vieler Untersuchungsergebnisse zur Verknüpfung und zum Abruf von Wissen (vgl. z. B. McKoon & Radcliff, 1980).

Im Gedächtnis dürften keine Listen von Propositionen gespeichert sein. Man geht davon aus, dass die einzelnen Propositionen über Assoziationen verbunden sind. Die Theorien darüber, wie diese kleinsten Wissensseinheiten im Gedächtnis organisiert sind, gehen jedoch auseinander:

Sowohl einige ältere als auch neuere Theorien gehen von einer **hierarchischen Wissensstrukturierung** aus. Eine der bekanntesten Vertreter dieser Position ist Ausubel (1968) dessen hierarchische Modelle der Wissensstruktur anhand von Ober- und Unterbegriffen und Ordnungsprinzipien erstellt werden. Die hierarchische Gestaltung ist das Resultat von Lernprozessen, die im Wesentlichen als sogenannte „derivate“ bzw. „korrelative Subsumtion“ stattfinden sollen, das heißt als Unterordnung neuer Information unter einen

Leitbegriff in Form von Beispielen oder aber als detaillierte Ausgestaltung dieses Begriffes z. B. mit Merkmalen, die dann auch über mehrere Äste der Struktur erreicht werden können (Peuckert, 1999), (vgl. Abbildung 8). Untersuchungen zeigen, dass sich das Lernen anhand von Ordnungsprinzipien und Oberbegriffen als wesentlich effektiver als das Lernen zufällig angeordneter Begriffe erwies (Bower (1969), Dumke (1984) zitiert nach Treinies & Einsiedler, 1993).

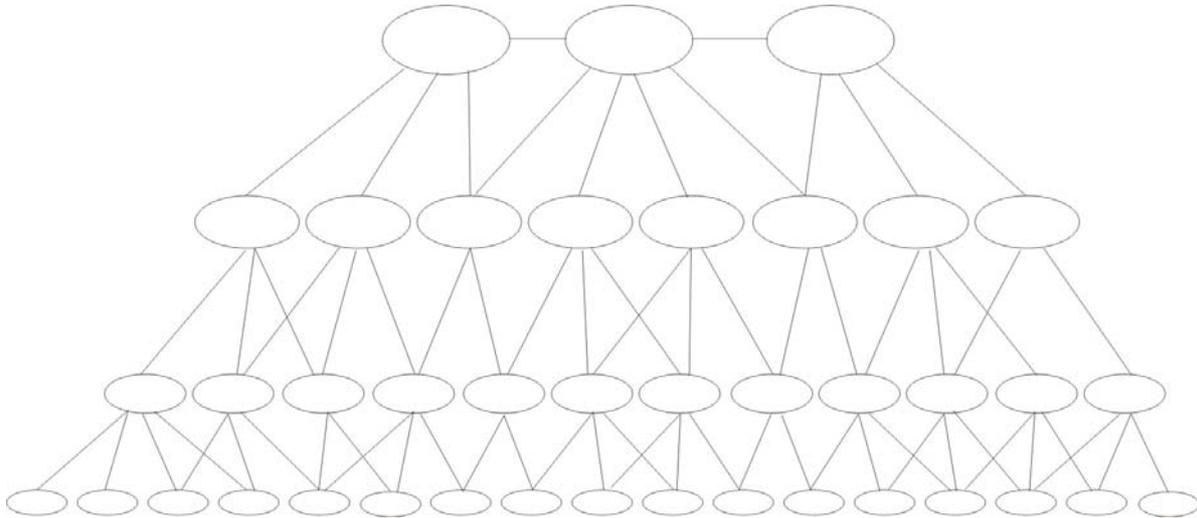


Abbildung 8: Ausubels hierarchische Wissensstruktur

Eine andere Theorieentwicklung ging in die Richtung **netzwerkartiger Wissensstrukturierung**. Es sind Wissensrepräsentationen, die Aussagen über den Aufbau des individuellen Handlungswissens und komplexer zwischenbegrifflicher Relationen machen. Am bekanntesten wurde die Theorie der propositionalen Netzwerke von Rumelhart & Norman, (1978). Auch sie basieren auf Propositionen, deren Argumente und Prädikate explizit charakterisiert werden. Demnach lautet z. B. für den Satz „Das Gedächtnis speichert Wissen“ die entsprechende Proposition wieder *Speichern (Gedächtnis, Wissen)*, wobei in der grafischen Darstellung (wie in Abbildung 9) nicht nur die Argumente, sondern auch die Prädikate als Knoten dargestellt werden. Als Prädikate können nicht nur Verben, sondern auch Adjektive und Substantive dienen. Dadurch entstehen höchst komplexe Wissensrepräsentationen.

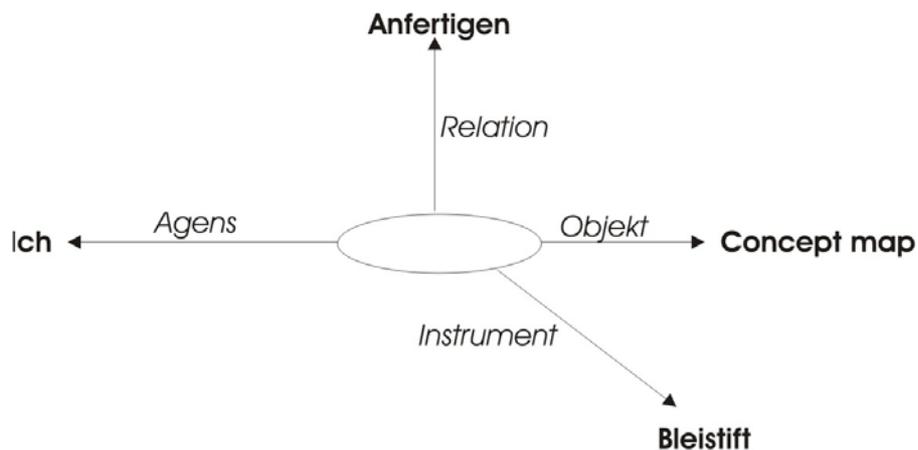


Abbildung 9: Einfaches propositionales Netzwerk nach Rumelhart & Norman

In einem propositionalen Netzwerk nach Rumelhart und Norman (1978) kann ein Prädikat mehrere Argumente besitzen, z. B. Agens, Subjekt, Objekt, Empfänger, Instrument, Typ, Name, usw. Durch die Unterscheidung zwischen primären und sekundären Prädikaten und Knoten werden die Darstellungsmöglichkeiten wesentlich komplexer. Dabei werden primäre Knoten als Abstraktum für einen Begriff und sekundäre als Angaben für den Gebrauch in spezifischen Kontexten eingesetzt. Als Prädikate können nicht nur Verben, sondern auch Adjektive und Substantive dienen.

Ein weiterer Theorieansatz ist das **Konzept der mentalen Modelle**. Mentale Modelle sind Repräsentationsformate, denen sowohl eine eigenständige Funktion bei der Verarbeitung bildhafter Vorstellungen als auch eine Vermittlungsfunktion beim Erwerb propositionaler Bedeutungseinheiten zugeschrieben wird. Das wesentliche Merkmal der mentalen Modelle ist die Analog-Repräsentation: Forscher dieser Theorierichtung gehen davon aus, dass es einen Repräsentationsmodus gibt, mit dem bildliche und räumliche Sachverhalte im Arbeitsgedächtnis analog abgebildet werden können. Diese Annahmen werden durch Befunde zur Doppelcodierung – der Speicherung von verbalen als auch visuellen Codes – nach Paivio, (1983) gestützt. Allerdings konnten in einer Untersuchung an deutschen Grundschulern Treinies & Einsiedler, (1993) keine Unterschiede beim Lernerfolg zwischen einer netzwerkartigen Strukturierung mit imaginalen Hilfen wie Bildern und hierarchischen Strukturierungen bzw. verbalen Darstellungen festgestellt werden.

Auf der Grundlage dieser Theorien zur Wissensstruktur des Gedächtnisses sind eine Reihe von Methoden zur Wissensdiagnose entstanden. Basierend auf Ausubels Theorie hierarchischer Wissensstrukturen prägten Novak und Kollegen (1984) den Begriff des „Concept mapping“. Concept maps sollen einen Einblick in die kognitive Struktur des Lernenden geben und sichtbar machen, was der Lernende bereits weiß. Entsprechend der Theorie von Ausubel waren diese ersten Concept maps **hierarchische Gebilde** aus Propositionen, wobei die Konzepte als Knoten und die Relationen als Verbindungen zwischen

den Relationen dargestellt wurden (vgl. Abbildung 10). Die Hierarchie folgt dabei verschiedenen Regeln: Die Konzepte werden ausgehend vom übergeordneten Konzept angeordnet. Die Relationen werden mit dem verbindenden Wort bezeichnet. Kreuzverbindungen zu anderen Konzepten finden nur auf gleicher Hierarchieebene statt.

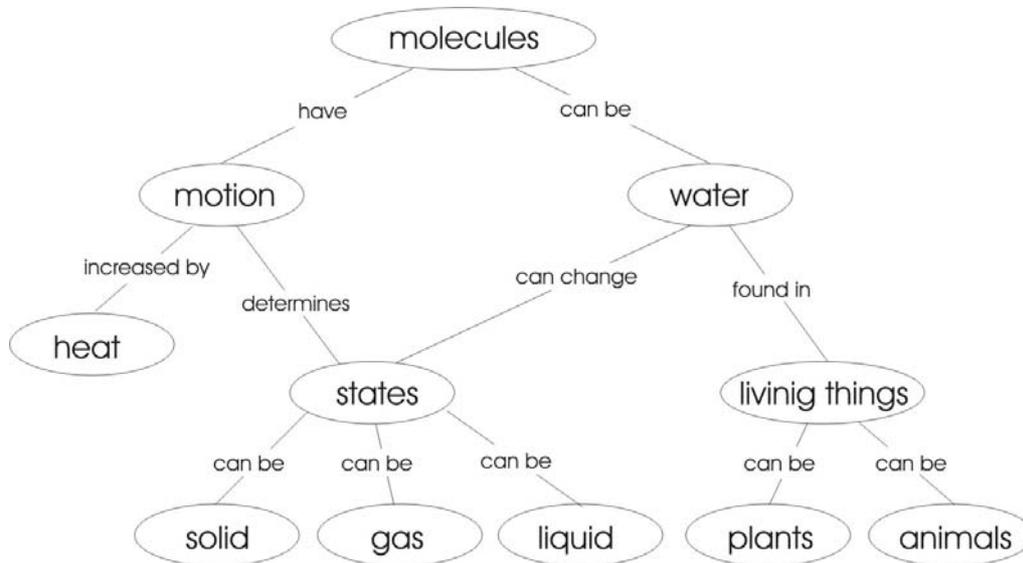


Abbildung 10: hierarchische Concept map nach Novak & Gowin

Auf der Basis der **Netzwerkstrukturen des Wissens** entstand eine andere Form von Concept maps, in der propositionales Wissen in Form von semantischen Netzwerken dargestellt wird. Dabei werden die Konzepte als Knoten dargestellt, die über beschriftete Pfeile zu Propositionen verbunden werden. Ein Konzept ist danach definiert über seine Beziehungen zu anderen Konzepten (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996). Die Suche nach Wissen im Gedächtnis stellt man sich so vor, dass der entsprechende Konzept-Knoten aktiviert und die Suche nach Verbindungen um diesen Knoten herum gestartet wird. Die Suche wird dabei durch den Kontext, wie z. B. die Domäne, eingeschränkt. Beim Lernen werden die bestehenden Netzwerke (also das Vorwissen) um Verbindungen zu neuen Konzepten zunehmend erweitert. Mindestens zwei wichtige Prozesse laufen bei einem solchen Wissenserwerbsprozess ab:

- Zunächst erfolgt der komplexe Prozess der *Aktivierung von* Vorwissen, ausgehend von begrifflichen Knoten in einem semantischen Netzwerk, die aufgrund einer Erregungsausbreitung zahlreiche weitere vorhandene Wissensstrukturen unmittelbar zugänglich machen (Steiner, 2001).
- Ein zweiter Prozess im Wissenserwerb ist die *Elaboration* dieser neuen Information beim Lesen oder Zuhören. Dabei wird die neue Information über neue Verbindungen gleichsam Schritt für Schritt mit dem Vorwissen verknüpft. Man lernt also, in dem neue, zuvor nicht greifbare Relationen im semantischen Netzwerk hergestellt werden. Sie charakterisieren den Wissenserwerbsprozess.

Netzwerkartige Concept-maps enthalten, im Gegensatz zu den hierarchischen Wissensstrukturen, keine Hierarchie in den semantischen Beziehungen. Wie in Abbildung 11 gezeigt, können die Relationen in einem netzwerkartigen Concept map frei bezeichnet und das Netzwerk in Teile zerlegt werden, die über Links verbunden sind. (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996)

Über die formalen Unterbegriffs-/Oberbegriffsrelationen hinaus können weitere Relationen gebildet werden. Dazu gehören nach Steiner (2001):

- Ursache-Wirkungs-Relationen, die Aussagen über das Verarbeiten von Zusammenhängen zulassen,
- logisch-implikative Relationen, die u. a. deutlich machen, dass das, was für A gilt auch für B gilt (Relation ... „ist ein“ ...),
- zeitliche Relationen, die zu Einsichten über sequentielle Abläufe führen (Relation ... „und dann“ ...),
- finale Relationen, die beschreiben, weshalb es bestimmte Schritte auf dem Weg zu einem Ziel gibt (Relation ... „damit“ ...),
- modale Relationen, die Verfahren und Details von Prozeduren beschreiben (Relationen ... „mittels“ ...; ... „unter Bezug von“ ...).

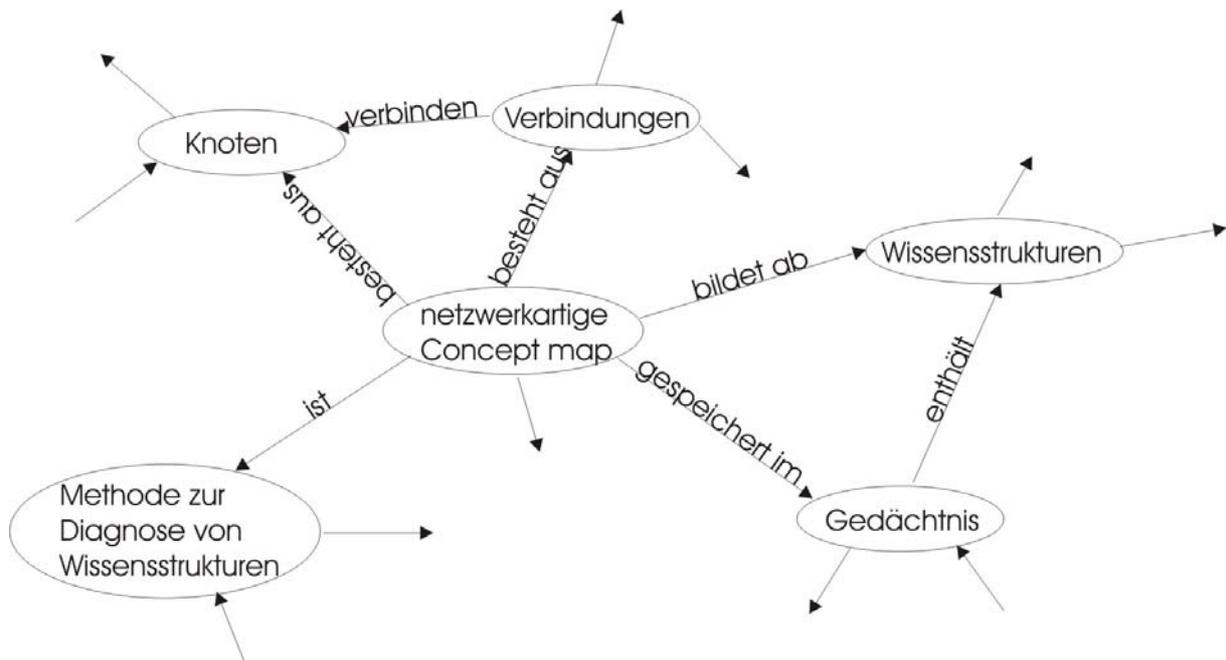


Abbildung 11: netzwerkartige Concept map

Auf dieser Basis entstand eine Vielzahl von Techniken zur Erstellung von Concept maps (Übersicht s. Ruiz-Primo & Shavelson, 1996). Ziel des Einsatzes dieser Techniken ist es jedoch immer, die kognitive Struktur des Wissens von Lernenden sichtbar zu machen. Je nach Untersuchungsgegenstand der Forschung kommen verschiedene Techniken in Betracht.

Vor dem theoretischen Hintergrund der vorliegenden Studie und dem Forschungsgegenstand „systemisches Denken“ liegt der Bezug zu einer netzwerkartigen Wissensrepräsentation auf der Hand.

Die Technik des Concept mappings, die für die vorliegende Studie die sinnvollste Variante schien, wird im nächsten Abschnitt vorgestellt. Sie wird in die Übersicht über die Möglichkeiten, das systemische Denken von Schülern sichtbar zu machen, eingeordnet.

2.2.3.2 Modellbildung

Die Notwendigkeit für den Menschen, in Modellen zu denken, beschreibt Steinbuch (Steinbuch, 1977 nach Maierhofer, 2001): „Das Bewusstsein des Menschen ist zum Verständnis unserer Welt quantitativ unzureichend, zwischen der Komplexität unserer Welt und dem Fassungsvermögen unseres Bewusstseins besteht ein krasses Missverhältnis. ... Die Benutzung vereinfachter Denkmodelle, die in simplifizierter Weise ein partielles Verständnis ermöglichen, ist ein notwendiger methodischer Trick des menschlichen Denksystems, um mit Sachverhalten fertig zu werden, die seine Kapazität eigentlich überschreiten.“

Eschenhagen beschreibt die Bedeutung von Modellen als „zweckmäßig konstruierte Hilfsmittel bei der Erkenntnisgewinnung und Erkenntnisvermittlung“ (Eschenhagen, Kattmann, & Rodi, 1996):

- Modelle erleichtern als einfache Abbildungen das Erfassen von Sachverhalten und das Lösen von Problemen (denkökonomische Funktion).
- Modelle haben als Konstrukte, mit denen als wesentliche angesehene Teile der gegenständlichen Realität erfasst werden, Hypothesen- und Entwurfscharakter und dienen zur Problemfindung und Problemeingrenzung (heuristische Funktion).
- Als Abbilder sowohl ideeller wie auch gegenständlicher Realität dienen Modelle der Veranschaulichung von Strukturen und Prozessen (Anschauungsfunktion).

Im Zusammenhang mit dem Systemdenken lassen sich die verschiedenen Funktionen von Modellen nach Eschenhagen wiederfinden: In ihrer denkökonomischen Funktion helfen sie, die komplexen realen Strukturen zu vereinfachen um sie anschaulicher und durchschaubarer zu machen. Ihre heuristische Funktion zeigt sich im Zusammenhang mit dem systemischen Denken, wenn es z. B. um Hypothesen zur weiteren Entwicklung eines Systems geht. Die Anschauungsfunktion von Modellen wird in dieser Arbeit in zweierlei Hinsicht bedeutsam. Zum einen dient sie den Schülern als Veranschaulichung ihres Wissens, zum anderen wird sie als Diagnoseinstrument zur Erforschung der Wissensstrukturen genutzt.

Wie erfolgt Modellbildung?

Der Prozess der Modellbildung nach Eschenhagen, Kattmann, & Rodi (1996) besteht aus einer Überführung des Originals, das unendlich viele Eigenschaften aufweisen kann, in ein Modell der Realität, das als Basis für Informationsaustausch über das Original dient. Dazu sind verschiedene Prozessschritte notwendig, die hier kurz charakterisiert werden sollen.

Ausgangspunkt jeder Modellbildung ist das Original, in unserem Fall das System. An dieses System werden Fragen gestellt, das heißt, es kommt zu einer Problemformulierung. Eine

eingehende Analyse des Systems durch Beobachtung, Experimente und theoretische Überlegungen schafft eine Datenbasis. Dabei wird das komplexe Original auf Merkmale reduziert, die für die Problemlösung als wesentlich beurteilt werden. Diese theoriebezogene Reduktion auf das Wesentliche ist ein entscheidender Schritt der Modellbildung. Die Qualität des Modells hängt u. a. davon ab, inwieweit die modellbildende Person in der Lage ist, die für die Lösung der Fragestellung entscheidenden Merkmale des Systems zu erkennen und zur Modellbildung heranzuziehen. Dieses Extrakt wird mit vorhandenen Erfahrungen und Wissen verglichen, in diese eingefügt oder zu neuen Modellen erweitert. Als Produkt dieser internen Modellierung entsteht nach Eschenhagen, Kattmann, & Rodi (1996) (vgl. Abbildung 12) das Denkmodell, das die wesentlichen Systemelemente enthält.

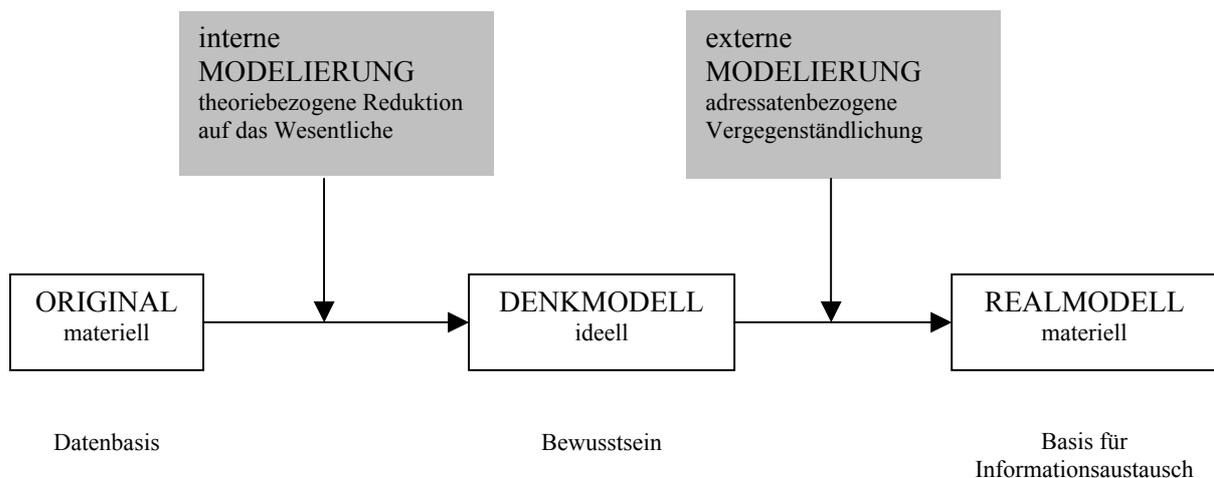


Abbildung 12: Prozess der Modellbildung (Maierhofer, 2001 verändert nach Eschenhagen, Kattmann, & Rodi, 1996)

Will man sich über das Modell und das dahinter stehende System verständigen, ist es notwendig, das Denkmodell wieder zu „materialisieren“. Es ist dies die Phase der externen Modellierung, der adressatenbezogenen Vergegenständlichung des mentalen Modells. Das aus diesem Prozess hervorgehende Realmodell muss so konzipiert sein, dass ein Informationsaustausch möglich ist, d. h. es muss für eine bestimmte Zielgruppe verständlich sein und die Bildung eines entsprechenden Denkmodells initiieren.

Dieser Prozess der Modellbildung ist die Voraussetzung für die Darstellung eines Systems in Form eines Systemmodells. Welche Möglichkeiten der Darstellung von Systemen existieren, soll im nächsten Abschnitt vorgestellt werden.

2.2.3.3 Darstellung von Systemen

Bei Untersuchungen zum systemischen Denken steht man vor dem Problem, einen internen Vorgang des Denkens sichtbar zu machen. In bisherigen Studien wurde dieses Problem

gelöst, indem das systemische Denken über den Umgang mit Systemen geprüft wurde. Den Umgang mit Systemen operationalisierte man anhand von Computersimulationen mit mehr oder minder komplexen Systemen. Die Güte der jeweiligen Problemlösung durch den Probanden wurde als seine Fähigkeit zum systemischen Denken interpretiert. Die Steuerung von Computersimulationen ist allerdings eine sehr anspruchsvolle Aufgabe, die Grundschüler kognitiv und technisch überfordern und dadurch Störfaktoren mit sich bringen kann. So können sich die technischen Fähigkeiten im Umgang mit Computern auf die Verarbeitungsleistung des eigentlichen Problems (den Umgang mit dem System) erheblich auswirken. Bei Grundschulern, die in aller Regel eine sehr heterogene Computererfahrung haben, kann es daher zu bedeutenden Verfälschungen kommen.

Mit der Frage nach alternativen Darstellungsmöglichkeiten für das Denken in Systemen hat sich Ossimitz (2000) beschäftigt. Grundsätzlich gibt es für Ossimitz zwei Möglichkeiten, Denkvorgänge anderen mitzuteilen: über entsprechendes Verhalten oder über geeignete Darstellungsformen. Den Zusammenhang zwischen Denk- und Darstellungsformen betrachtet Ossimitz spezifischer für systemisches Denken bzw. für systemische Darstellungen und kommt u. a. zu folgenden Schlüssen:

- „Systemisches Denken lässt sich nur durch adäquate systemische Darstellungsformen (bzw. Verhaltensweisen) sichtbar und damit kommunizierbar machen. Verschiedene Systemansätze haben jeweils charakteristische Modi zur Repräsentation und Darstellung ihrer Systemmodelle.“

Damit ist gemeint, dass Forschung über Systemdenken erst durch die Möglichkeiten zur Darstellung des Systemdenkens möglich wurde. Die spezifischen Darstellungsformen von dynamischen Systemen, die in der Forschung zum Systemdenken genutzt werden, haben eine große Bandbreite: es kann sich um verbale Beschreibungen, Darstellungen von Flussdiagrammen bis hin zu numerischen Simulationen dynamischer Systeme am Computer handeln.

- „Systemisches Denken zu lernen ist auf das Engste mit dem Lernen entsprechender systemischer Darstellungsformen verbunden.“

Diese These baut unmittelbar auf der vorangegangenen These auf, die sich auf das Sichtbarmachen des Systemdenkens bezieht. Möchte man systemisches Denken lernen oder lehren, dann ist man auf eine Form der äußeren Repräsentation angewiesen. Ein wesentlicher Aspekt beim Erlernen systemischen Denkens ist daher das Kennenlernen systemischer Darstellungsmittel und das Erlernen des Umgangs mit diesen Mitteln. Ossimitz unterscheidet dabei vier Stufen qualitativen und quantitativen systemdynamischen Darstellens als „Darstellungsformen in der Systemdynamik“ (Abbildung 13; Ossimitz, 1991).

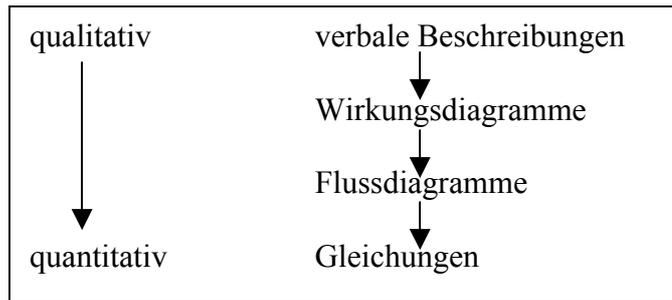


Abbildung 13: Darstellungsformen in der Systemdynamik nach Ossimitz (1991)

Sie reichen von rein qualitativen Darstellungen wie der verbalen Beschreibung bis hin zu rein quantitativen Gleichungen. Jede dieser Darstellungsformen repräsentiert einen spezifischen Aspekt der Systemanalyse. Welche Darstellungsform die geeignetste ist, hängt von dem Ziel ab, das mit der Systemanalyse verbunden ist. Alle Darstellungsformen dienen jedoch der Veranschaulichung systemischen Denkens. Ossimitz geht sogar so weit zu behaupten, dass sich das „Lernen systemischen Denkens vor allem im Erlernen systemischer Darstellungsformen vollzieht“ (Ossimitz, o.J.). Ein solcher Zusammenhang konnte allerdings in der Studie von Steinberg (2001) zur Bedeutung graphischer Repräsentationen für den Umgang mit einem komplexen dynamischen Problem nicht nachgewiesen werden. In dieser Trainingsstudie erhielten die Schüler eine Einführung in die Systemanalyse und in die Darstellung von Systemen. Zwischen den Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe ließen sich in Bezug auf das Steuerungsverhalten eines komplexen, dynamischen Systems als Computersimulation keine Unterschiede feststellen.

- „Wenn man die Fähigkeit systemisches Denken messen möchte, dann muss dieses Denken in geeigneter Weise materialisiert bzw. repräsentiert werden, um in einem Experiment beobachtet werden zu können.“

Grundsätzlich ergeben sich zwei Ansätze zur empirischen Exploration systemischen Denkens. Zum einen der oben erwähnte Ansatz von Dörner (1989) zur Untersuchung systemischen Verhaltens über die Steuerung eines komplexen, dynamischen Problems am Computer. Dieser Ansatz beschränkt sich auf den Handlungsaspekt und müsste daher eher als „Systemisches Handeln“ umschrieben werden. Die Untersuchungen Dörners ergeben allerdings keine Hinweise darauf, wie diese Fähigkeit zu erlernen ist. Dörners Schlussfolgerung, dass es systemisches Denken als eine spezifische, isolierbare Fähigkeit gar nicht gäbe, sondern es „im Wesentlichen die Fähigkeit, sein ganz normales Denken, seinen „gesunden Menschenverstand“ auf die Umstände der jeweiligen Situation einzustellen“ sei, macht wenig Hoffnung auf eine konkrete Lehr- oder Lernform für systemisches Denken. Darüber hinaus birgt das Prüfen von systemischem Denken über Computersimulationen insbesondere für Grundschüler die oben beschriebenen Probleme.

Zum anderen kann eine Analyse von Systemdarstellungen in empirischen Untersuchungen das systemische Denken von Schülern näher beleuchten. In den Studien von Klieme & Maichle (1994) und Ossimitz (2000) spielte der Aspekt von Darstellungen von Systemen eine

zentrale Rolle. Insbesondere das nur kurze Training von Systemdarstellungen führte zu einer Steigerung der Fähigkeit zu adäquaten Systemdarstellungen im Test. Wie jedoch in früheren Studien gezeigt werden konnte, ist die Art der Informationsdarbietung (z. B. graphische Informationsdarbietung versus verbale Beschreibung) nicht ausschlaggebend für eine höhere Problemlöseleistung. Rost & Strauß (1993) wiesen nach, dass die Abstimmung von Problemmerkmal (also Art der Informationsdarbietung) mit dem Personenmerkmal (in diesem Fall die Art der trainierten mentalen Repräsentation des Problems) von entscheidender Bedeutung ist.

Auch in der vorliegenden Arbeit soll systemisches Denken empirisch untersucht werden. Es bedarf deshalb geeigneter Darstellungsformen. Wie Ossimitz ausführt, sind systemische Darstellungsformen gut geeignet, systemisches Denken sichtbar zu machen. Von älteren Schülern ist es in Trainingsstudien schnell erlernbar und einsetzbar.

Da es sich bei den Probanden der vorliegenden Studie um Grundschüler handelt, sind methodische Einschränkungen gegenüber Studien mit älteren Schülern oder Erwachsenen zu machen. Zum einen sind die Computersimulationen komplexer, dynamischer Systeme, auf die in vielen Studien zum Systemdenken zurückgegriffen wird, nicht für Grundschüler geeignet, denn sie überschreiten die inhaltlichen Fähigkeiten von Grundschulern. Außerdem setzen sie die Fähigkeit im Umgang mit Computersimulationen voraus, die bei Grundschulern auf dem erforderlichen Niveau nicht gegeben ist.

Daher bietet sich die in mehreren Studien erprobte Darstellung von Systemen mit Papier und Bleistift an. In der Systematik der systemischen Darstellungsformen nach Ossimitz bieten sich Wirkungsdiagramme als eine geeignete Form für die Darstellung von systemischen Vernetzungen an, die sogleich die theoretischen Bezüge zur Wissensrepräsentation (s. oben) mit berücksichtigt. Für Grundschüler soll die Darstellung ihres systemischen Wissens deshalb in Form von Begriffslandkarten erfolgen. Über den Einsatz von Begriffslandkarten im Grundschulbereich liegen bereits einige methodische Erfahrungen vor, auf die in dieser Studie zurückgegriffen werden kann.

Im nächsten Abschnitt soll ein Überblick über die Systematik der verschiedenen systemischen Darstellungsformen gegeben werden. Auf die Besonderheiten von Begriffslandkarten wird anschließend eingegangen.

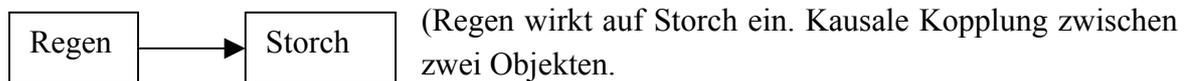
Systemische Darstellungsformen

Verbale Beschreibungen von Systemen sind die offenste und gleichzeitig am wenigsten formalisierte Darstellungsmöglichkeit, die allerdings auch nur wenige Möglichkeiten zum Operieren bietet. Die Modellbildung vollzieht sich in der Beschreibung eines Systems in der Umgangssprache. Ein Vorteil dieser Darstellungsform ist, dass sich in der verbalen Konstruktion eines Systemmodells der *Prozess* der Erfassung komplexer Inhalte widerspiegelt. Die Auswahl von Elementen und Beziehungen sowie Aussagen über Struktur

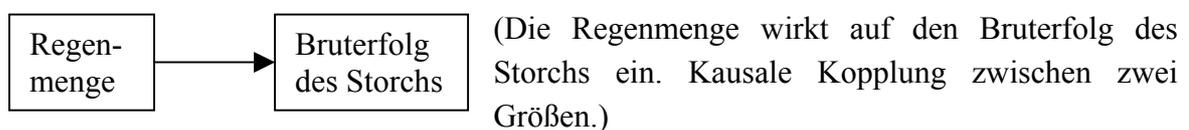
und Dynamik des Systems werden deutlich, können einer Gültigkeitsprüfung unterzogen und umformuliert werden. Verbale Beschreibungen stellen häufig den ersten Schritt der Systemanalyse dar. Ein Nachteil dieser Darstellungsform ist ihre Struktur. Verbale Beschreibungen, auch in Form von Texten, folgen immer einer linearen Struktur, die die Geschehnisse in linearer Form darstellt. Dies widerspricht in aller Regel der vernetzten Struktur von Systemen, in denen Ereignisse gleichzeitig stattfinden können.

Wirkungsdiagramme erlauben es, systemische Vernetzungen auf einen Blick darzustellen. In ihnen werden Elemente oder Größen über Pfeile, die eine Kausalbeziehung bezeichnen, verbunden. Bei der Darstellung von Pfeildiagrammen kann man nach Bayrhuber und Schaefer zwischen drei unterschiedlichen Stufen unterscheiden (Bayrhuber & Schaefer, 1980; Bayrhuber & Kull, 2005, S. 93 ff.).

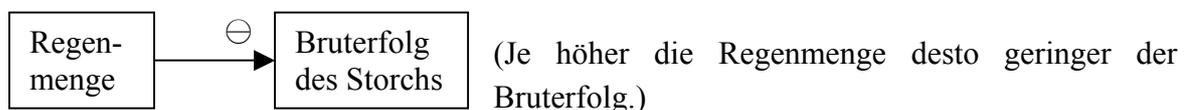
- Pfeildiagramme der ersten Stufe geben an, zwischen welchen Größen (oder auch Elementen, Gliedern, Objekten) überhaupt Kausalbeziehungen bestehen. Sie können also im einfachsten Fall auf einer rein qualitativen Ebene die kausalen Beziehungen zwischen zwei Elementen darstellen.



Unter genauerer Angabe der korrelierten Größen können sie die kausalen Beziehungen zwischen zwei Größen darstellen.



- In einem Pfeildiagramm zweiter Stufe werden halbquantitative Aussagen gemacht. Sie geben an, ob die Korrelation zwischen zwei Größen positiv oder negativ ist.



Zur Darstellung der positiven und negativen Korrelationen werden folgende Zeichen verwendet:

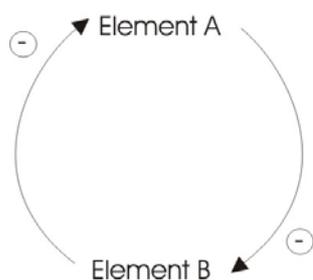
⊖ → je mehr ... umso weniger ..., aber auch
je weniger ... umso mehr....

⊕ → je mehr ... umso mehr, aber auch
je weniger ... umso weniger...

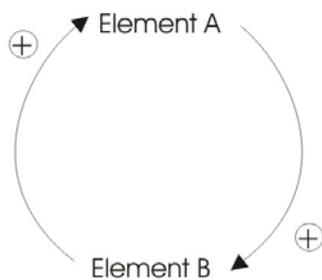
Sind zwei Größen über Wirkungspfeile zu einem Kreis verbunden, spricht man von Rückwirkungen.

Bei Rückwirkungen führt eine Veränderung einer Größe zu einer Veränderung der zweiten Größe, die wieder auf das Ausgangselement zurückwirkt. Es gibt drei Möglichkeiten der Korrelationen zwischen den Zustandsgrößen (Bayrhuber & Schaefer, 1980).

Negative Wirkung und negative Rückwirkung in Form eines **Konkurrenzkreises**



Positive Wirkung und positive Rückwirkung in Form eines **Aufschaukelungskreises**



Positive Wirkung und negative Rückwirkung in Form eines **Regelkreises**

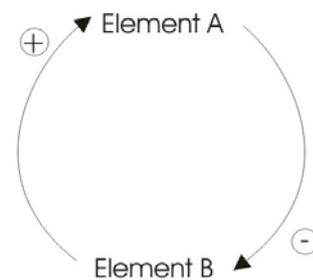


Abbildung 14: Pfeildiagramme zur Darstellung von Kreisprozessen

- In Pfeildiagrammen dritter Stufe wird der exakte Funktionszusammenhang zwischen zwei Größen in Form einer Gleichung angegeben. Das Pfeildiagramm dritter Stufe enthält mehr Informationen als eine reine Gleichung, da es noch angibt, welche Größe auf welche andere einwirkt. (Bayrhuber & Schaefer, 1980).

Flussdiagramme sind Darstellungen, die ein stoffliches, energetisches oder informatorisches Beziehungsgefüge eines Systems wiedergeben. Die stofflichen, energetischen oder informatorischen Beziehungen werden als Pfeile dargestellt. Auch bei dieser Darstellungsform kann man theoretisch eine qualitative Form, bei der die Pfeile die Bedeutung von „fließt in Richtung ...“ haben, von einer quantitativen Form unterscheiden. Allerdings ist die quantitative Form die wesentlich häufiger eingesetzte. Dabei werden den Elementen Zustandsgrößen zugeordnet und Flüsse und Flussraten unterschieden. Auch innerhalb eines Flussdiagramms können Kreisläufe auftreten.

Concept maps, zu Deutsch **Begriffslandkarten**, sind semantische Netzwerke, die aus Begriffen eines Themenbereiches bestehen und Verbindungen zwischen diesen Begriffen aufzeigen. Ihr theoretischer Hintergrund in Bezug auf die dahinter stehende Theorie der Wissensrepräsentation wurde unter 2.2.3.1 dargelegt.

Für das Concept mapping gibt es keine einheitliche Definition, da weder das genaue Vorgehen noch die spezielle Form des Endproduktes festgelegt ist. Das Spektrum reicht von vorgefertigten Wortrastern über die Arbeit mit beschrifteten Karten bis zum kreuzweise vernetzten Map ohne jegliche Vorgabe von Wörtern oder Verbindungen. Grundsätzlich bestehen Begriffslandkarten aus Begriffen (graphentheoretisch auch Knoten genannt) und Verbindungen zwischen diesen Begriffen in Pfeilform (graphentheoretisch: Kanten). Die Pfeile können unbeschriftet oder beschriftet sein.

Die für diese Arbeit bevorzugte Methode (z. B. Abbildung 15) war das freie Anfertigen einer Begriffslandkarte mit Begriffen, die über Pfeile verbunden werden. Die Pfeile können in einer Begriffslandkarte verschiedene Bedeutungen haben. Dazu zählen die in Kapitel 2.2.3.1 beschriebenen Formen:

- Ursache-Wirkungsrelationen,
- Unterbegriffs-/Oberbegriffsrelationen,
- logisch-implikative Relationen,
- zeitliche Relationen,
- finale Relationen und
- modale Relationen.

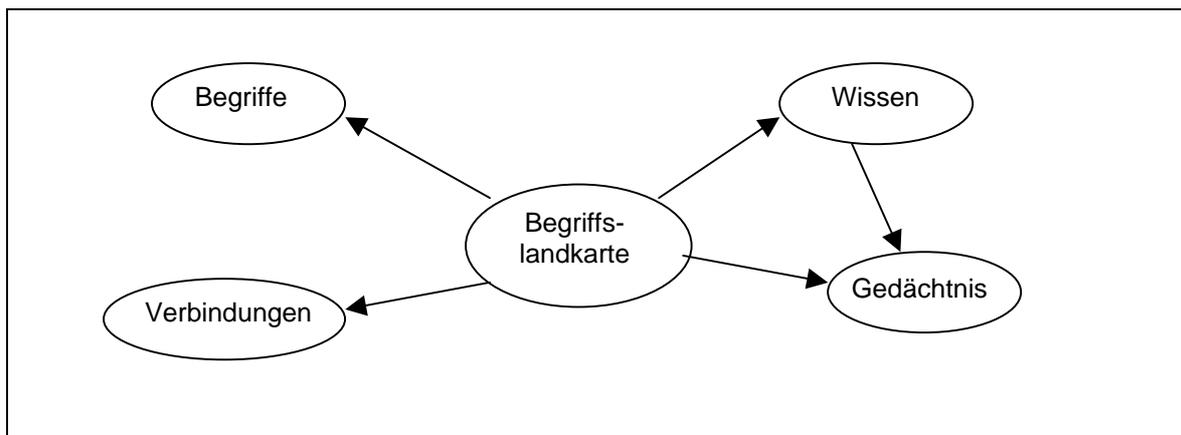


Abbildung 15: Begriffslandkarte

Begriffslandkarten werden in aller Regel zur Wissensdiagnose eingesetzt. Die Stärke des Verfahrens wird darin gesehen, dass die Form der Wissensdarstellung in Begriffslandkarten bewusst sehr ähnlich den Strukturen gestaltet ist, die von Kognitionspsychologen als Modell einer Wissensrepräsentation im Gedächtnis postuliert und ausgearbeitet worden sind (Peuckert, 1999). Damit ergäbe sich ein besonders direkter Zugang zu den Kognitionen der Schüler, in unserem Fall ein direktes Abbild ihres Denkens in einem System.

Die Untersuchung des systemischen Denkens setzt also mehrere Schritte voraus. Zunächst muss in einem Prozess der internen Modellierung (vgl. 2.2.3.2) das reale System unter bestimmten Kriterien auf wesentliche Elemente und Beziehungen reduziert werden. Dieser

Prozess der internen Modellierung ist eine Fähigkeit des systemischen Denkens. Aus diesem Prozess geht ein „Denkmodell“ des Systems hervor, das zum Zwecke der Untersuchung sichtbar gemacht werden soll. Dazu muss es externalisiert werden, was hier durch das „concept mapping“ geschieht. Als Realmodell erhält man eine Begriffslandkarte (s. oben), die zur Untersuchung des systemischen Denkens geeignet ist, da sie eine Repräsentation des mentalen Modells ist (vgl. 2.2.3.1).

2.3 Kompetenzen

In den folgenden Abschnitten soll erläutert werden, was in der Psychologie und Pädagogik unter Kompetenzen verstanden wird.

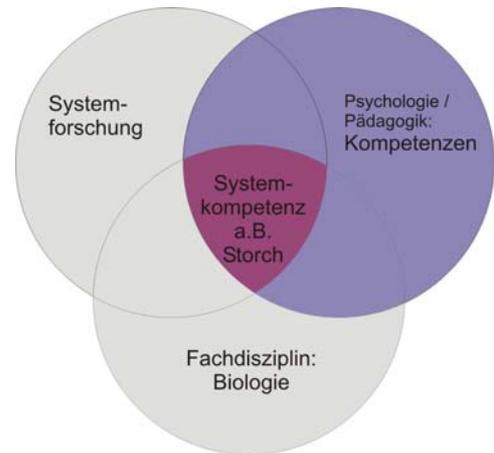


Abbildung 16: Einordnung des Kapitels Kompetenzen in den Gesamtaufbau der Arbeit

Die wissenschaftliche Diskussion des Kompetenzbegriffs erfolgte in den letzten Jahren im Zuge der Entwicklung von Bildungsstandards. Ziel der Formulierung von Bildungsstandards ist es, verbindliche Anforderungen an das Lehren und Lernen in der Schule zu formulieren. Die Bildungsstandards legen fest, welche Kompetenzen die Kinder oder Jugendlichen bis zu einer bestimmten Jahrgangsstufe mindestens erworben haben sollen (Klieme et al., 2003). Der Begriff der „Kompetenz“ geht in seiner in den letzten Jahren häufig zitierten Form auf den Erziehungswissenschaftler und Psychologen Weinert zurück. Nach Weinert (2001) versteht man unter einer Kompetenz „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“.

In einem Übersichtsartikel über die verschiedenen Kompetenzdefinitionen beschreibt Weinert (1999) Schlussfolgerungen für den Gebrauch des Konzeptes der Kompetenz, auf denen seine spätere Definition von Kompetenz aufbaut. Dazu gehört u. a., dass der Begriff der Kompetenz dann angewendet werden sollte, wenn „the necessary prerequisites for successfully meeting an demand are comprised of cognitive *and* (in many cases) motivational, ethical, volitional, and/or social components“ (Weinert, 1999).

Weinerts Definition der Kompetenz geht auch auf die Expertiseforschung zurück. In dieser Forschungsrichtung wird die besondere Kompetenz von Experten gegenüber Laien auf einem Gebiet untersucht. Die Experten zeichnen sich u. a. durch ein umfangreiches Wissen auf ihrem Gebiet aus, das sie flexibel und schnell abrufen und zur Lösung von neuen Problemen gezielt anwenden können. Dazu bedarf es spezieller Kompetenzen auf einem spezifischen Gebiet. Weinert bezieht sich in seiner Definition von Kompetenz ebenfalls auf die bereichsspezifische Definition von Expertise, die sich „hervorragend auf den schulischen

Bereich übertragen lässt“ (Klieme et al., 2003, S. 59). „Kompetenz ist nach diesem Verständnis eine Disposition, die Personen befähigt, bestimmte Arten von Problemen erfolgreich zu lösen, also konkrete Anforderungssituationen eines bestimmten Typs zu bewältigen“ (Klieme et al., 2003).

Aus dem Konzept der Kompetenz ergeben sich zwei Modelle, die unterschiedlichen Zwecken dienen: Das *Komponentenmodell* (Strukturmodell) beschreibt das Gefüge der Anforderungen, deren Bewältigung von Schülerinnen und Schülern erwartet wird. Sie werden als Komponenten einer Kompetenz bezeichnet. Das *Stufenmodell* liefert wissenschaftlich begründete Vorstellungen darüber, welche Abstufungen eine Kompetenz annehmen kann, bzw. welche Grade oder Niveaustufen sich bei den einzelnen Schülerinnen und Schülern feststellen lassen. Die Bedeutung der beiden Modelle soll im Folgenden näher beschrieben werden.

2.3.1 Komponenten einer Kompetenz

Wie aus der Definition der Kompetenz hervorgeht, stellt eine Kompetenz keine eindimensionale Fähigkeit dar, sondern setzt sich aus unterschiedlichen Anforderungen zusammen: einem kognitiven Bereich, einem operativen Bereich und einem motivationalen Bereich (vgl. Abbildung 17). Zu diesen Bereichen lassen sich die verschiedenen Komponenten oder Facetten aus Weinerts Definition einer Kompetenz zuordnen: die Fähigkeit, das Wissen, das Verstehen, das Können, das Handeln, die Erfahrung und die Motivation. In ihnen äußert sich die individuelle Ausprägung einer Kompetenz.

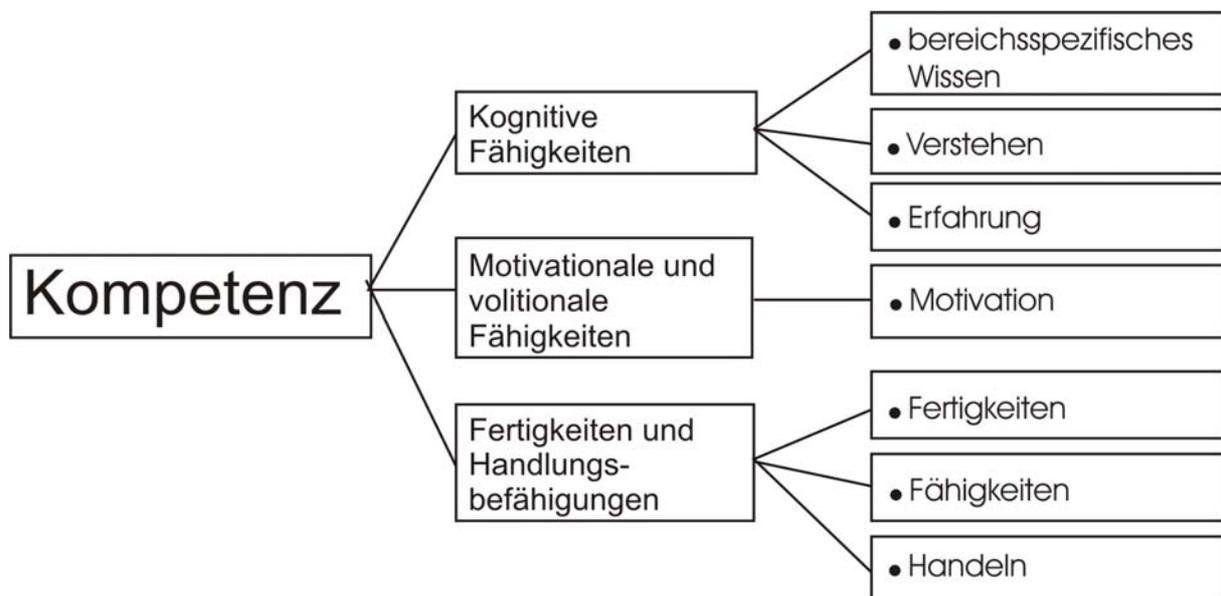


Abbildung 17: Facetten einer Kompetenz nach Weinert und ihr Bezug zu bestimmten Fähigkeiten und Fertigkeiten

In einem *Komponentenmodell* sollten alle diese Facetten berücksichtigt werden. Nach Klieme et al. (2003) kann demnach von Kompetenz gesprochen werden,

- wenn gegebene Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler genutzt werden,
- wenn auf vorhandenes Wissen zurückgegriffen werden kann bzw. die Fertigkeit gegeben ist, sich Wissen zu beschaffen,
- wenn zentrale Zusammenhänge der Domäne verstanden werden,
- wenn angemessene Handlungsentscheidungen getroffen werden,
- wenn bei der Durchführung der Handlungen auf verfügbare Fertigkeiten zurückgegriffen wird,
- wenn dies mit der Nutzung von Gelegenheiten zum Sammeln von Erfahrungen verbunden ist und
- wenn aufgrund entsprechender handlungsbegleitender Kognitionen genügend Motivation zu angemessenem Handeln gegeben ist.

Mit Hilfe dieser Komponenten wurde von Klieme et al. (2003) der Versuch gemacht, das Gesamtbild von Anforderungen, die Schülerinnen und Schüler als Ausdruck ihrer Kompetenz erfüllen sollen, einfacher darzustellen. Sie sind jedoch in dieser allgemeinen Form noch schwer zu fassen. Zum einen liegt dies daran, dass solche Komponentenmodelle aufgrund ihrer Bereichsspezifität in den einzelnen Domänen bzw. Fächern konkret ausformuliert und operationalisiert werden müssen. Zum anderen bleiben die Autoren jedoch eine genauere psychologische Begriffsdefinition der einzelnen Facetten schuldig.

2.3.2 Stufen einer Kompetenz

Kompetenzstufenmodelle beschreiben, welche unterschiedlichen Niveaustufen erreicht werden können und erfüllen somit einen doppelten Zweck: Zum einen ermöglichen sie eine inhaltsvalide Konstruktion entsprechender Erhebungsinstrumente. Zum anderen erlauben sie auch eine qualitative Interpretation des individuell erreichten Leistungsniveaus und seine Einordnung in die quantitative Leistungsskala (Klieme et al., 2003).

Wie Klieme et al. (2003) in der Expertise zu Bildungsstandards feststellen, kann die Systematik der Beschreibung von Kompetenzstufen je nach Domäne sehr unterschiedlich aussehen. Im Allgemeinen werden die Stufen Mischungen der oben genannten Facetten (Wissen, Können, Verstehen, Handeln, Motivation, usw.) darstellen. Jede Kompetenzstufe ist dabei durch kognitive Prozesse und Handlungen von bestimmter Qualität spezifiziert, die Schülerinnen und Schüler auf dieser Stufe bewältigen können, nicht aber auf niedrigeren Stufen (Klieme et al., 2003; S. 62). Diese Kompetenzstufen können, müssen aber nicht notwendigerweise auch Entwicklungsstufen darstellen (Klieme et al., 2003). Rost, Lauströer & Raack (2003) schreiben dazu, dass es „tatsächlich eher die Ausnahme sein dürfte, dass die Kompetenzstufen selbst Entwicklungsstufen darstellen und sich die verschiedenen Stadien des Erwerbs einer Kompetenz auf der Kompetenzskala abbilden“. Allerdings muss man sich fragen, ob der Entwicklung von Kompetenzstufenmodellen nicht immer ein – wenn auch nur angenommenes – Kompetenzentwicklungsmodell zugrunde liegen muss. Die Annahme, dass sich in den Niveaustufen einer Kompetenz die Fähigkeiten und Fertigkeiten abbilden, die

Schüler einer bestimmten Klassen- oder Altersstufe ausgebildet haben müssen, ist ja nur dann sinnvoll, wenn die entsprechende Fähigkeit auf dieser Stufe auch *entwickelt* ist. Aus rein logischen Gründen muss die Entwicklung einer Fähigkeit vor dem Nachweis ihrer Beherrschung erfolgen. Insofern müssen den Niveaustufen immer Annahmen über Entwicklungsstufen zugrunde liegen, zu Abweichungen kann es nur kommen, wenn früher entwickelte Fähigkeiten erst später nachgewiesen werden müssen.

Wenn wissenschaftlich belegte Entwicklungsmodelle nicht vorliegen, müssen Annahmen über eine allgemeine Kompetenzentwicklung als Hilfsmittel für die Konstruktion von fach- oder domänenspezifischen Kompetenzstufenmodellen existieren. In der Expertise zu Bildungsstandards geben Klieme et al. (2003) dazu einige Hinweise:

Aus Theorien zum Wissenserwerb, die davon ausgehen, dass „Wissen zunächst als deklaratives Wissen erworben werden muss und dann zunehmend prozeduralisiert, d. h. in automatisch zugängliche Verknüpfungen und Abläufe überführt wird“, leiten Klieme et al. (2003) ein Prinzip ab, das zur Abstufung von Kompetenzniveaus verwendet werden kann: „Höhere Kompetenzniveaus in einer Domäne wären durch immer stärkere Prozeduralisierung von Wissen charakterisierbar. In klassischen Begriffen bedeutet dies: Wissen geht auf höheren Niveaustufen in Können über“.

Ein anderes Prinzip zur Unterscheidung von Kompetenzniveau- oder Entwicklungsstufen wäre laut Klieme et al. (2003) „die zunehmende Vernetzung von Wissens-elementen, die Bildung von Meta-Wissen und abstrakterem Wissen“. Demnach wäre anzunehmen, dass Schüler auf einer niedrigeren Kompetenzstufe eher bruchstückhaftes Wissen zu einer spezifischen Domäne besitzen, das sie auf mittleren Kompetenzstufen besser vernetzen und in andere Zusammenhänge stellen können. In höheren Kompetenzstufen wären sie dann in der Lage, z. B. über den Prozess ihres Wissenserwerbs bei einem bestimmten Problem zu reflektieren und die Gründe ihres Vorgehens argumentativ darzustellen.

2.4 Systemkompetenz

In diesem Kapitel werden die Zusammenhänge zwischen Systemdenken und Kompetenzen erläutert.

Ansätze, die Hinweise auf ein Kompetenzstufenmodell für Systemkompetenz liefern, sollen vorgestellt werden.

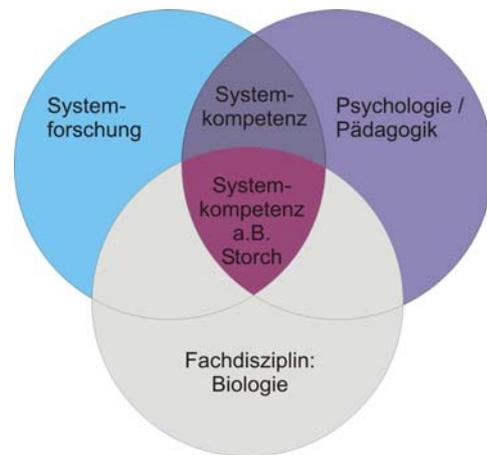


Abbildung 18: Einordnung des Kapitels Systemkompetenz in den Gesamtaufbau der Arbeit

2.4.1 Zusammenhang zwischen Kompetenz und Systemdenken

Eine Kompetenz nach Weinerts Definition von 2001 beschränkt sich nicht nur auf kognitive Dispositionen, sondern wird als „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (Weinert, 2001) definiert.

Kompetenz wird also im Sinne der Bildungsdiskussion um die „Outcome-Orientierung“ von Schule als ein Zusammenspiel von Fähigkeiten und Fertigkeiten beschrieben, d. h. als eine externe Handlungsbefähigung. Grundlage der Kompetenz ist das Wissen, das Schüler aufgrund von Erfahrungen erworben haben. Dieses Wissen beinhaltet – wie oben ausgeführt – nicht nur deklaratives Faktenwissen, sondern auch Konzeptwissen, prozedurales Wissen, sowie metakognitives Wissen. In diesen Wissensformen oder –kategorien (s. oben) steckt in vielfältiger Weise das „Können“, also die Befähigung zum Umgang mit diesem Wissen. Der Umgang mit Wissen ist aber nicht ein rein kognitives Phänomen, sondern zeigt sich in einer Handlungsbefähigung. Somit ist die Kompetenz in diesem Sinne eine äußerlich abbildbare Fähigkeit, die mit entsprechenden Tests gemessen werden kann.

In den in Kapitel 2.2 vorgestellten Theorien und Studien wird dagegen ausschließlich von „systemischem Denken“ oder vom „Systemverständnis“ gesprochen. „Verständnis“, „Wissen“ und „Denken“ wird in diesem Forschungsfeld synonym gebraucht. Der Bedeutungsgehalt des Begriffs „Systemisches Denken“ schließt allerdings die kognitiven Fähigkeiten, die die Voraussetzung zum Umgang mit einem komplexen dynamischen System

darstellen, mit ein. Zu diesen Voraussetzungen zählen ebenso Faktenwissen wie Konzeptwissen, prozedurales Wissen und metakognitives Wissen. Faktenwissen ist z. B. über die beteiligten Elemente eines Systems und ihre möglichen Verbindungen zu anderen Elementen von Nöten. Konzeptwissen wird gebraucht, wenn diese einzelnen Elemente in einen größeren Rahmen (das System) eingegliedert werden sollen, anhand dessen sich die Struktur des Systems zeigt. Prozedurales Wissen wird beispielsweise benötigt, wenn Modelle von Systemen erstellt werden sollen. Die Analyse von Systemen setzt ein metakognitives Wissen darüber voraus, dass der Blick des Beobachters auf ein System in aller Regel von einer bestimmten Fragestellung bestimmt ist, und sich daher auch in den Ergebnissen äußert. In vielen Studien gehören neben diesen Wissensaspekten auch noch konkrete Handlungskompetenzen zur Untersuchung des systemischen „Denkens“. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn das systemische Denken über Problemlöseaufgaben oder die Steuerung eines komplexen, dynamischen Systems operationalisiert wird. Das Vorhandensein dieser Dimensionen des Wissens im Untersuchungsgegenstand des systemischen Denkens zeigt, dass der Terminus „Denken“ vom kognitionspsychologischen Standpunkt gesehen problematisch ist. Der Begriff „Denken“ legt eine Einschränkung nahe, die in den Studien tatsächlich nicht vorgenommen wurde. Wenn von systemischem Denken in einem um den Handlungsaspekt erweiterten Sinn die Rede ist, dann wäre es demnach sinnvoller, von einer „Systemkompetenz“ zu sprechen. Dies ist insbesondere daher gerechtfertigt, als die motivationalen und volitionalen Aspekte von Weinerts Kompetenzdefinition (2001) auch die Bedingung für das Lösen von Problemaufgaben in Systemen bzw. für den Umgang mit Computersimulationen darstellen.

Die Untersuchungen von systemischem „Denken“, wie sie bisher durchgeführt wurden (vgl. u. a. Ossimitz (2000), Klieme & Maichle (1994), Maierhofer (2001), Orion & Assaraf (eingereicht)) können also vor diesem Hintergrund auch als Untersuchungen von „Systemkompetenz“ bezeichnet werden.

Im Folgenden wird daher von „Systemkompetenz“ die Rede sein, wenn damit die Fähigkeiten und Fertigkeiten im Umgang mit einem System gemeint sind (s. Abbildung 17). Von „systemischem Denken“ wird in dieser Arbeit gesprochen, wenn ausschließlich die kognitiven Aspekte (nicht motivationale und volitionale Aspekte) des systemischen Denkens bezeichnet werden.

2.4.2 Stufenmodelle der Systemkompetenz

In diesem Kapitel sollen die wenigen Ansätze vorgestellt werden, die sich mit der theoriegeleiteten Beschreibung von Stufenmodellen für Systemkompetenz beschäftigt haben.

2.4.2.1 Systemkompetenz nach Rost

Vor dem Hintergrund der „Bildung für Nachhaltigkeit“ beschäftigten sich Rost et al. (2003) unter anderem mit einer Beschreibung von Systemkompetenz. Da Kompetenzen als umfangreiche Gefüge verschiedener Aspekte betrachtet werden, reicht es nach Rost et al.

nicht aus, das Lernziel eines Unterrichts im Hinblick auf Systeme mit Wissen über Systeme gleichzusetzen oder als bloße Fähigkeit zu definieren, Systeme zu steuern. Darüber hinaus ist ein Verständnis von Systemkompetenz als stabile und flexible Eigenschaft sinnvoll, die die Lernenden auch zukünftig dazu befähigt, mit komplexen Situationen umzugehen.

Definiert wird die Systemkompetenz bei Rost et al. (2003) als die Fähigkeit und Bereitschaft,

- einzelne Phänomene als einem größeren System zugehörig zu erkennen,
- Systemgrenzen und Teilsysteme sowohl zu erkennen als auch sinnvoll zu bilden
- die Funktionsweise von Systemen zu verstehen und
- aufgrund der Kenntnis der Veränderungen einzelner Systemkomponenten Vorhersagen über die weitere Entwicklung des Systems zu machen

sowie deren Umsetzung und Anwendung in verschiedenen Situationen und Kontexten.

Angelehnt an Weinerts Kompetenzbegriff (Weinert, 2001) werden dabei von Rost et al. (2003) postuliert, dass die Systemkompetenz zunächst domänenspezifisch entwickelt und im Folgenden dadurch erweitert wird, dass Erfahrungen aus Situationen unterschiedlichen Inhalts integriert werden. Auf diese Weise soll sie nach und nach auch in neuen Kontexten angewandt werden können.

Rost et al. (2003) gliedern die Systemkompetenz in Anlehnung an den Kompetenzbegriff von Weinert (2001) in ihre Facetten und benennt die folgenden spezifischen Komponenten:

1. Schülerinnen und Schüler sollten die *Fähigkeit* zum vernetzten und prozessuralen Denken entwickeln.
2. Zur Bewältigung von Problemsituationen sollten sie auf erworbenes *Wissen* über beteiligte Faktoren sowie deren Zusammenhang und Interaktion zurückgreifen können.
3. Zusammenhänge und Wechselwirkungen in Systemen sollten *verstanden* werden.
4. Die Lernenden sollen mit Systemen umgehen, diese steuern und sich selbst als Elemente von Systemen verhalten *können*.
5. Sie sollten ihr *Handeln* so gestalten, dass eine Berücksichtigung systemischer Aspekte erkennbar ist.
6. Dabei sollten sie auf bisher gesammelte *Erfahrungen* auch mit anderen Systemen zurückgreifen.
7. Schließlich sollten sie auch eine genügende *Motivation* zeigen, mit Systemen umzugehen und als Teile von Systemen zu agieren.

Mit dieser Beschreibung von Facetten der Systemkompetenz liefern Rost et al. eine für die vorliegende Arbeit wertvolle Basis. Rosts et al. Definition der Systemkompetenz deckt sich inhaltlich mit den für diese Arbeit abgeleiteten Fähigkeiten im Umgang mit Systemen (vgl. Kap. 2.5.3). Rost et al. leiten ihre Definition jedoch nicht explizit aus der Systemtheorie ab. Für die vorliegende Arbeit schien dieser Schritt jedoch unverzichtbar.

Operationalisiert wurden die von Rost et al. benannten Fähigkeiten und Fertigkeiten in einer Studie zur Systemkompetenz von Schülern im Rahmen des bundesweit durchgeführten Projektes „Forschungsdialog: System Erde“ für Schüler der Sekundarstufe II (Hildebrandt &

Bayrhuber, 2002). Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen allerdings erst wenige Daten der Auswertung vor.

2.4.2.2 Stufen ökologischen Denkens nach Lecher

Die theoretische Ableitung der Stufen, die Lecher (1997) vor dem Hintergrund der Fachdisziplin Ökologie aus kognitionspsychologischen Überlegungen gebildet hat, sollen hier etwas detaillierter beschrieben werden. Ihnen kommt in dieser Arbeit insofern Bedeutung zu, als sie Anregungen für ein theoretisch fundiertes Stufenmodell der Systemkompetenz bilden können.

Lecher stellte sich u. a. das Ziel, ein Modell des ökologischen Denkens zu entwerfen, das sowohl Komponenten als auch Stufen enthält. Die Komponenten des ökologischen Denkens wurden in Kapitel 2.2.1.4 vorgestellt. Sie werden von Lecher als „Dimensionen“ bezeichnet: Kausalität, Linearität vs. Zirkularität, Atomismus vs. Holismus / Systemverständnis, Dichotomien vs. Zusammenhänge, Rückkopplungen, Entwicklungsverläufe, Folgen und deren räumlich und zeitliche Reichweite, Aggregation/Abstraktion.

Lecher entwickelte auf kognitionspsychologischen Grundlagen für die verschiedenen Dimensionen ein Strukturmodell mit drei Niveaus ökologischen Denkens, die qualitative Unterschiede abbilden. Diese können über alle beschriebenen Dimensionen hinweg zu drei aufeinander folgenden Entwicklungsniveaus ökologischen Denkens zusammengefasst werden. Innerhalb der jeweiligen Niveaus bildet Lecher jeweils zwei Stufen (Abbildung 19):

Konkretistisches Niveau	Mechanistisches Niveau	Systemisches Niveau
1. konkretist.-perzeptive Stufe	3. einfach mechanist. Stufe	5. einfach systemische Stufe
2. konkretist.-erklärende Stufe	4. komplex mechanist. Stufe	6. komplex systemische Stufe

Abbildung 19: Niveaus des ökologischen Denkens nach Lecher (1997)

Dem **konkretistischen Niveau** lassen sich nach Lecher ökologische Vorstellungen zuordnen, die als konkretistisch-perzeptiv (Stufe 1) bezeichnet werden können. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich nur auf punktuelle Dinge richten, bzw. auf Geschehnisse, nach deren Ursache gar nicht erst gefragt wird. Vereinzelt kausale Vorstellungen, wie sie auf der konkretistisch-erklärenden Stufe (2) erstmals auftauchen, werden noch nicht verallgemeinert, sondern bleiben an ein konkretes und einzelnes Geschehen geknüpft. Ein solches Denken lässt sich auch negativ als (isoliert) atomistisch sowie als strikt dichotom kennzeichnen. Dazu passen dann auch keine Vorstellungen über Rückkopplungen oder über Entwicklungsverläufe. Eine Vorstellung von vollständig (Stufe 1) bzw. weitgehend (Stufe 2) abwesender Kausalität korrespondiert nach Lecher vermutlich mit einem mangelnden Nachdenken über intendierte und nicht-intendierte Folgen menschlichen Verhaltens bzw. von sonstigen Ereignissen. (Beispiel: In einer Begriffslandkarte, die der Stufe 1 zuzuordnen wäre, wären die Elemente

nicht verbunden, auf der Stufe 2 wäre eine unklare Verbindung zwischen den Elementen vorhanden.)

Die zeitliche Reichweite des Denkens ist auf diesen Stufen ebenso eingeschränkt wie die räumliche: Das ökologische Denken richtet sich auf gegenwärtige Dinge und Ereignisse in der unmittelbaren Umwelt der Person. Zwischen konkret wahrnehmbaren Dingen bzw. Ereignissen auf der einen Seite und Phänomenen, die nur auf höheren Aggregations- bzw. Abstraktionsniveaus sichtbar werden, auf der anderen werden keine oder kaum Verbindungen hergestellt (Beispiel: Die Verbindung zwischen dem persönlichen Hausmüll, giftigen Stoffen im Grund- und schließlich im Trinkwasser und daraus resultierenden möglichen Erkrankungen werden nicht gesehen).

Lecher merkt zu dem derart beschriebenen Niveau an, dass man Vorstellungen dieser Art bei Erwachsenen wahrscheinlich kaum antreffen wird. Trotzdem scheint es ihm theoretisch plausibel und notwendig, ein solches Niveau hypothetisch zu postulieren. Lecher vermutet, das man es bei kleinen Kindern identifizieren könnte.

Auf dem **mechanistischen Niveau** wären laut Lecher vor allem Vorstellungen einer Verknüpfung von Ursachen und Folgen nach dem Motto „immer wenn X, dann Y“ oder „je mehr X, desto mehr Y“ vorherrschend. Dieses Niveau lässt sich – zumindest theoretisch – in eine einfach mechanistische (Stufe 3) und eine komplex mechanistische Stufe (4) unterteilen. Auf der einfach mechanistischen Stufe würden Wirkungen in einer Begriffslandkarte immer nur von einem Element zu genau einem weiteren Element reichen. Zur komplex mechanistischen Stufe passen Vorstellungen, bei denen nicht nur eine, sondern mehrere Folgen in den Blick genommen werden. Für Wirkungsverknüpfungen in einer Begriffslandkarte könnte dies bedeuten, dass A auf B, A auf C und A auf D wirkt, oder dass lineare Ereignisketten betrachtet werden (A wirkt auf B, B wirkt auf C). Ein Verständnis der Folgen von Folgen im Sinne komplexer Konfigurationen von Intentionalität sowie Nicht-Intentionalität (A wirkt auf B und B auf C, deshalb wirkt A auch auf C) und vor allem im Sinne kumulativer Prozesse sowie sich beschleunigender Entwicklungsverläufe passt dazu jedoch nicht. Auch umfassende Vorstellungen von Entwicklungsprozessen findet man noch nicht, sondern eher die Vorstellung von immer wiederkehrenden Rhythmen oder solche über mechanistische Veränderungsprozesse. Die zeitliche Reichweite des Denkens kann als biographisch ausgerichtet angenommen werden; die räumliche Reichweite bleibt u. U. überwiegend auf einzelne Regionen beschränkt, Kognitionen lösen sich von der Ebene konkreter Phänomene.

Das **systemische Niveau** nimmt Lecher als die höchste Stufe des ökologischen Denkens an, auf der sich seine ökologischen Prinzipien widerspiegeln. Auf diesem Niveau lässt sich eine einfach systemische Stufe (5) von einer komplex systemischen Stufe (6) unterscheiden. Vorstellungen der fünften Stufe beziehen sich lediglich auf ein einziges System bzw. einen Bereich und die in ihm vorhandenen Zusammenhänge. In Stufe 6 richten sich die Vorstellungen darüber hinaus auf mehrere Systeme (und die Systemumwelt) sowie auf die in und zwischen ihnen bestehenden Zusammenhänge.

Im Gegensatz zum mechanistischen Denken zielt das Denken auf diesem Niveau auf einzelne Wechselwirkungen (Stufe 5) bzw. auf deren immer komplexere Vernetzung (Stufe 6). In Begriffslandkarten würde sich Stufe 5 in Form von Rückwirkungen (A wirkt auf B und B wirkt auf A zurück) zeigen, Stufe 6 wäre durch komplexe Netze aus Wirkungen gekennzeichnet. Auch werden erst auf diesem Niveau lineare Denkfiguren durch Vorstellungen über Zirkularität abgelöst. Solches Denken in Kreisprozessen und Kreisläufen (s. 2.2.3.3) bringt die Vorstellungen von Zusammenhängen und Rückkopplungen, die auf Stufe 5 nur innerhalb eines einzigen Systems, auf Stufe 6 darüber hinaus auch zwischen mehreren Systemen und der Systemumwelt gesehen werden. Verbunden mit dem Gedanken an Kreisprozesse und Kreisläufe ist auch die Vorstellung von Dynamik, die sich auf die komplexe Konfiguration und Kumulation von intendierten und nicht-intendierten Folgen richtet.

Die zeitliche Reichweite der Vorstellungen auf diesem Niveau lässt sich als historisch bezeichnen, d. h. sie reichen weit in die Vergangenheit und Zukunft (Stufe 5). Auf Stufe 6 werden Vorstellungen angenommen, die die gesamte Menschheitsgeschichte und Phylogenese umfassen. Dem entspricht eine räumliche Perspektive, die vermutlich über nationale Horizonte oder Erdteile (Stufe 5) hinausreicht und Umwelt in einem globalen Sinn umfasst.

Das Denken folgt auf diesem höchsten Niveau gewissermaßen dem Prinzip: Alles hängt mit allem zusammen.

Lechers Stufen stellen somit einerseits qualitative Unterschiede zwischen den einzelnen kognitiven Niveaus dar, und werden andererseits zunehmend realitätsnäher. Sie bilden kein Kontinuum einer sich langsam entwickelnden Fähigkeit ab, sondern gehen von qualitativen „Sprüngen“ aus. Dies entspricht der Intention, die hinter der Entwicklung von Kompetenzstufenmodellen steht: Die Kompetenzstufen sollen durch kognitive Prozesse und Handlungen von bestimmter Qualität spezifiziert werden, die Schülerinnen und Schüler auf einer höheren Stufe bewältigen können, auf einer niedrigeren Stufe aber noch nicht (s. hierzu Klieme et al., 2003).

Wie bereits erwähnt, ist das Niveaumodell ökologischen Denkens von Lecher (1997) theoretisch abgeleitet. Ein empirischer Nachweis der tatsächlichen Existenz solcher Niveaustufen steht noch aus. Es stellt aber in seiner theoretischen Fundierung eine Hilfe zur Identifikation möglicher Stufen aus empirischen Daten dar.

2.4.2.3 Empirische Befunde nach Orion

Orion & Assaraf beschränken mit ihrer Arbeit zum Systemischen Denken im Kontext der Erde (Orion & Assaraf, eingereicht) einen anderen Weg als Lecher (1997). Während Lecher aus der Theorie ein Modell ableitet, entsteht Orions & Assarafs Modell auf der Basis empirischer Daten. Sie bilden auf dieser Grundlage ebenfalls ein hierarchisches System von Fähigkeitsstufen.

Zur Frage, welche Beziehungen zwischen den kognitiven Komponenten von Systemdenken (vgl. Orion & Assaraf (eingereicht) in Kapitel 2.2.2.2) existieren, klassifizieren Orion &

Assaraf vier Gruppen von Fähigkeiten, die bei der Entwicklung des systemischen Denkens im Kontext der Erde nacheinander erreicht werden. Die kognitiven Fähigkeiten, die in einer Stufe erworben wurden, stellen also die Basis für die Entwicklung der nächst höheren Fähigkeiten dar. Orion & Assaraf unterscheiden die folgenden hierarchisch angeordneten Fähigkeiten:

1. Systemanalyse-Fähigkeit: Diese Fähigkeit ist zusammengesetzt aus den Komponenten „Systemelemente identifizieren“ und „Systemprozesse identifizieren“.
Diese Stufe wird von 70% aller von Orion & Assaraf untersuchten Schüler erreicht.
2. Die zweite Stufe beinhaltet die Fähigkeiten „Beziehungen zwischen separaten Komponenten identifizieren“ und „dynamische Beziehungen identifizieren“.
Ungefähr die Hälfte der Schüler haben diese Fähigkeiten entwickelt.
3. Der dritte Schritt beinhaltet drei Fähigkeiten: „Kreislaufprozesse verstehen“, „Komponenten in einem Gerüst von Beziehungen organisieren“ und „generalisieren“.
30-40% der untersuchten Schüler sind dazu in der Lage.
4. Die vierte Stufe umfasst die Fähigkeiten „versteckte Dimensionen wahrnehmen“ und in Zeitabläufen denken, also „Vorhersagen machen“ und „aus Geschehenem Schlussfolgerungen ziehen“. Diese Fähigkeiten zeigten sich nur noch bei 10-30% der interviewten Schüler.

Die hierarchische Struktur der Aufeinanderfolge dieser Fähigkeitsgruppen ist nach Orion & Assaraf Ergebnis der Datenanalyse. Danach lassen sich in der zweiten Gruppen nur Schüler finden, die auch die erste Stufe beherrschen und ebenso in der dritten Gruppe nur Schüler, die auch Probleme der Stufen eins und zwei lösen können.

In einem späteren Vortrag fasst Orion (Orion & Assaraf, eingereicht) diese Stufen nochmals zu drei Levels zusammen:

Level A: Analyse

Auf diesem Level können die Schüler Komponenten und Prozesse identifizieren.

Level B: Komponentensynthese

Auf diesem Level sind die Schüler in der Lage, Beziehungen zu identifizieren, dynamische Prozesse zu erkennen, ein Netzwerk von Beziehungen zu erstellen und Wirkungsketten zu Kreisprozessen zu schließen.

Level C: Problemlösen

Diese Stufe beinhaltet die Fähigkeiten zum Generalisieren, zum Entdecken nichtoffensichtlicher Zusammenhänge und zum zeitlichen Denken.

Der wesentliche Unterschied in der Systematik zwischen Lecher und Orion & Assaraf ist dadurch bedingt, dass Orion & Assaraf innerhalb der einzelnen Fähigkeiten keine kognitiven Stufen unterscheiden, sondern die gesamte Fähigkeit einem Niveau / Level des systemischen Denkens zuordnen. Sicherlich lassen sich aber innerhalb der einzelnen Fähigkeiten unterschiedliche Anforderungsprofile finden. So kann z. B. das Identifizieren von Komponenten und Prozessen, wie es Orion & Assaraf als Level A beschreiben, auf verschiedenen Niveaus stattfinden. Deshalb stellt sich die Frage, welche Komponenten die

Schüler in ihre Betrachtung mit einfließen lassen. Nur die unmittelbar an einem konkreten Ereignis beteiligten Komponenten, oder auch die in einem kausalen Zusammenhang stehenden, aber nicht unmittelbar betroffenen Komponenten oder etwa alle räumlich, zeitlich und funktional in einem System miteinander vernetzten Komponenten? Orion & Assarafs Hierarchie der Niveaustufen geht von der Voraussetzung aus, dass jeweils eine genau definierte Fähigkeit auf einem bestimmten kognitiven Niveau hinter dem jeweiligen Level steht. Lechers (1997) Systematik bildet die Unterschiede wesentlich differenzierter ab. Allerdings sind dem empirischen Nachweis von Lechers Modell praktische Grenzen durch ein entsprechend aufwendig zu konstruierendes Design gesetzt.

2.5 Ableitung des theoretischen Bezugsrahmens der vorliegenden Arbeit

Im Kapitel 2.2 wurden der Stand der Forschung zum systemischen Denken und die theoretischen Bezugsrahmen der jeweiligen Forschungsrichtungen vorgestellt. In Kapitel 2.4 wurden die Gemeinsamkeiten der Konstrukte „systemisches Denken“ und „Systemkompetenz“ herausgearbeitet.

An dieser Stelle soll eine Ableitung des theoretischen Bezugsrahmens der vorliegenden Arbeit aus der dargestellten Theorie erfolgen. Aus den vorhandenen, zum Teil recht unterschiedlichen Ansätzen soll ein Konstrukt entwickelt werden, das die wichtigen Gemeinsamkeiten der Forschungsschwerpunkte, die sich in empirischen Untersuchungen als bedeutend erwiesen haben, berücksichtigt.

2.5.1 Wissensrepräsentation und Darstellungsmethode

Den in Kapitel 2.2.3.3 vorgestellten Methoden zur Veranschaulichung der Wissensstrukturen liegt die semantische Gedächtnistheorie zugrunde. Sie geht davon aus, dass Wissen netzwerkartig gespeichert wird, wobei begriffliche Knoten und verbindende Relationen die Bausteine darstellen (Steiner, 2001). Beim Lernen werden neue Verbindungen zwischen bereits vorhandenen Begriffen und Verbindungen zu neuen Begriffen und Verbindungen geknüpft (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996). Ruiz-Primo & Shavelson sprechen davon, dass die gelernten Wissensstrukturen „verräumlicht“ werden. Aufbauend auf dieser Theorie wurden verschiedene Methoden entwickelt, die Wissensstrukturen sichtbar zu machen.

Eng verbunden mit der Frage nach der Art der Wissensrepräsentation ist in dieser Arbeit die Frage nach der Art der Darstellung des Wissens. Bei der Untersuchung von systemischem Wissen wird davon ausgegangen, dass dieses im fortgeschrittenen Stadium ein hochkomplexes Wissen ist, das bei den Schülern unterschiedlich ausgeprägt ist. Es soll daher eine Untersuchungsmethode gewählt werden, die die Darstellung von Wissensstrukturen in möglichst offener Form ermöglicht. Methoden, die die Wissensstrukturen von vorneherein als Hierarchien darstellen, sind deshalb weniger geeignet als Methoden, die die Abbildung von Elementen und Beziehungen über alle Hierarchieebenen hin ermöglichen. Daher wird für die Erfassung der Wissensstrukturen zum systemischen Denken eine Methode gewählt, die netzwerkartige Darstellungen zulässt, das „network-Concept mapping“. Mit dieser Methode werden netzwerkartige Begriffslandkarten entwickelt.

2.5.2 Definition systemischen Denkens

Die vorgestellten Ansätze zum systemischen Denken entstammen verschiedenen Fachdisziplinen. Dementsprechend unterschiedlich fallen die Definitionen zum

Untersuchungsgegenstand „systemisches Denken“ aus. Dies hat zur Folge, dass keine allgemein gültige Definition von systemischem Denken existiert, auf die sich diese Arbeit stützen könnte. Es ist deshalb Teil dieser Arbeit, vor dem vorhandenen theoretischen Hintergrund eine eigene Definition systemischen Denkens zu entwickeln. Dazu sollen die Gemeinsamkeiten in den verschiedenen Ansätzen noch einmal kurz zusammengefasst werden.

Ein bedeutsamer gemeinsamer Nenner vieler Ansätze ist das Verhältnis von systemischem Denken zur Systemtheorie. So finden sich in mehreren Definitionen von systemischem Denken (mehr oder minder explizit) die Fähigkeiten zum Erkennen, Beschreiben, Verstehen, Darstellen und Umgehen mit Systemeigenschaften. Es scheint also eine Grundannahme zu sein, dass der Fähigkeit, systemisch zu denken, das Verständnis wichtiger Systemeigenschaften zugrunde liegt. Diese Systemeigenschaften müssen sich im Denken einer Person widerspiegeln. Gleichzeitig besteht dadurch in einem weiteren Punkt eine große Übereinstimmung: Das systemische Denken ist keine isolierte Fähigkeit, sondern setzt sich aus einem Bündel von unterschiedlichen Fähigkeiten zusammen. So gibt Vester (1997) zwar keine Definition von systemischem Denken, verweist aber auf die Orientierung an den systemischen Prinzipien der Natur. In den Schritten zur Lösung komplexer Probleme, die von Gomez & Probst (1987) formuliert werden, ist vernetztes Denken enthalten. Forresters systemdynamischer Ansatz (1969) enthält eine Auflistung von Systemeigenschaften, die sich in den Denkkompetenzen niederschlagen, welche man zur systemdynamischen Modellierung benötigt. Lecher (1997) leitet seine Definition „ökologischen Denkens“ aus der Bezugsdisziplin Ökologie ab und benennt daher die wesentlichen Merkmale eines Ökosystems als Definitionsgrundlage für das „ökologische Denken“. Ossimitz' (2000) Definition systemischen Denkens enthält in den Dimensionen „vernetztes Denken“ und „dynamisches Denken“ ebenfalls wesentliche Merkmale eines Systems.

Diese fundamentalen Gemeinsamkeiten sollen sich auch in der vorliegenden Arbeit niederschlagen. Als Definitionsansatz für systemisches Denken gilt deshalb in dieser Arbeit:

- *Systemisches Denken bedeutet, dass sich die grundlegenden Eigenschaften von Systemen im Denken einer Person widerspiegeln.*

Während in der Kognitionspsychologie zwischen *Verständnis*, *Denken* und *Wissen* unterschieden wird, werden in den Untersuchungen zum systemischen Denken diese Ausdrücke synonym verwendet. Die Untersuchungen zum Systemverständnis beziehen sich in aller Regel explizit auf einen kognitiven Bereich und einen Bereich, in dem dieses Wissen in Form von Fähigkeiten und Fertigkeiten gezeigt werden soll (Problemlöseaufgaben oder Systemsteuerung), sie gehen damit über die kognitionspsychologische Definition von Denken hinaus. Wie in Kapitel 2.4.1 gezeigt wurde, entspricht die Auffassung von systemischem Denken in der Literatur in den meisten Fällen einer *Kompetenz* nach Weinert (2001). In dieser

Definition schließt Weinert neben dem kognitiven Bereich auch Fähigkeiten und Fertigkeiten, also das „Können“ in einem Handlungsbereich mit ein.

Auch in dieser Arbeit soll nicht nur das *Denken* untersucht werden, sondern darüber hinausgehend die *Fähigkeiten* und *Fertigkeiten*, die zum Umgang mit einem komplexen, dynamischen System gehören, sowie die Motivation und Volition, diese Fähigkeiten auch zu zeigen. Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit ist daher auch die *Systemkompetenz* von Grundschulern.

Die vorgestellten Untersuchungen zum systemischen Denken lassen weiterhin den Schluss zu, dass es sich beim systemischen Denken nicht um eine einheitliche Fähigkeit, sondern um eine mehrdimensionale Fähigkeit handelt. Die oben genannten Autoren beschreiben jeweils ein Bündel von Merkmalen, die eine systemisch denkende Person auszeichnen sollen.

- *Systemisches Denken setzt sich aus mehreren Fähigkeiten zusammen, die auch als unterschiedliche Kompetenzkomponenten beschrieben werden können.*

2.5.3 Komponenten der Systemkompetenz / Bestandteile systemischen Denkens

Wie in Kapitel 2.5.2 beschrieben, wird systemisches Denken in dieser Arbeit als Abbildung wesentlicher Systemprinzipien im Denken einer Person definiert. In Kapitel 2.1.1 wurde ein Überblick über die wesentlichen Charakteristika eines Systems gegeben. Wie ausgeführt können die in dieser Arbeit betrachteten Systeme (System Storch und System Schule) als offene, komplexe und dynamische Systeme beschrieben werden. Daraus ergab sich eine Liste der wesentlichen Systemcharakteristika, die die Basis der vorliegenden Arbeit bilden (vgl. Abbildung 20). Sie betreffen die Bereiche Systemorganisation und Systemeigenschaften.

		Systemmerkmale
System-organisation	Elemente	Ein System besteht aus mehreren von einander verschiedenen Systemelementen. Die Elemente weisen bestimmte Beziehungen zu einander auf und sind mit einander vernetzt. Es besteht eine Systemgrenze, die z. T. jedoch vom Betrachter abhängig ist.
	Beziehungen	
	Verknüpfungen	
	Identität	
System-eigenschaften	Integrität	Ein System wird durch verschiedene Eigenschaften charakterisiert. Zu den besonders wichtigen Eigenschaften zählt, dass Systeme eine hervortretende Eigenschaft oder Funktion besitzen, welche nicht in ihren Teilen enthalten ist. Ein zerlegtes System verliert diese Eigenschaft bzw. Funktion.
	Dynamik	Ein System entwickelt sich.
	Wirkungen	In einem System treten vielfältige Wirkungsbeziehungen auf.

Abbildung 20: Übersicht über die wesentlichen Merkmale von komplexen, dynamischen Systemen

Sollen diese Systemcharakteristika ihr Abbild im Denken einer Person finden, dann müssen sie als Fähigkeiten und Fertigkeiten – also in Form von „Komponenten“ der Systemkompetenz - formuliert werden.

In anderen Studien wurde das systemische Denken in jeweils unterschiedlicher Form aus der Theorie abgeleitet und operationalisiert. Die in der Literatur vorliegenden Fähigkeitsbeschreibungen systemischen Denkens sind allerdings für ältere Schüler ab Klasse 7 formuliert (Klieme & Maichle, 1994; Ossimitz, 2000; Orion & Assaraf, eingereicht; Maierhofer, 2001; Steinberg, 2001) oder für Untersuchungen an Erwachsenen konzipiert (Lecher, 1997; Putz-Osterloh, 1987 u. a.). Für die vorliegende Arbeit war es zum einen wichtig, die Komponenten der Systemkompetenz als Anforderungen an Grundschüler zu formulieren. Sie stellen damit einen Bezugspunkt dar, an dem sich die Systemkompetenz von Grundschulern messen lässt. Zum anderen werden in dieser Untersuchung die Komponenten der Systemkompetenz aus der Systemtheorie abgeleitet. Dabei werden auch die aus der Ökosystemtheorie stammenden „Ökologischen Strukturprinzipien“ von Lecher (1997) berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.2.1.4). Das entstehende Produkt soll den allgemeinen Bezugsrahmen für die Untersuchung der Systemkompetenz von Grundschulern bilden.

Im Folgenden wird erläutert, wie die Komponenten der Systemkompetenz aus der Systemtheorie abgeleitet bzw. zum Anwendungsaspekt in Beziehung gesetzt werden.

1. Aus der **Organisation eines Systems** in Form von Systemelementen und Beziehungen zwischen diesen Elementen leitet sich die Fähigkeit zur **Modellbildung** ab.

Der Prozess der Modellbildung besteht nach Eschenhagen, Kattmann, & Rodi (1996) aus einer Überführung des Originals, das unendlich viele Eigenschaften aufweisen kann, in ein Modell der Realität, das als Basis für Informationsaustausch über das Original dient. Die dafür notwendigen Prozessschritte sind in Kapitel 2.2.3.2 charakterisiert worden.

Sie bestehen aus einem Prozess der internen Modellierung, der das reale Objekt auf seine wesentlichen Grundzüge reduziert und in ein ideelles Denkmodell überführt. In einem zweiten Prozess wird das interne Modell wieder in ein materielles Modell überführt, damit es als Basis für Informationsaustausch dienen kann. Es wird also in einer bestimmten Form vergegenständlicht.

Die Fähigkeit zur Modellbildung bedeutet also in unserem Fall das Folgende:

- Durch eine eingehende Analyse des Systems müssen **relevante Größen und deren Beziehungen identifiziert** werden. Man benötigt dazu sachbezogenes Wissen über das konkrete System.
- Der Modellzweck bestimmt, welche Systemelemente und Relationen wesentlich sind. Dabei müssen die **System- bzw. Modellgrenzen** und die **Systemumwelt** je nach Fragestellung an das System festgelegt werden.
- Das Denkmodell muss externalisiert werden, d. h. es muss ein **materielles Modell** geschaffen werden, das die wesentlichen Größen und ihre Beziehungen darstellt. Die Schüler müssen die Elemente und ihre Beziehungen in Form eines vereinfachten Wirkungsdiagramms (einer netzwerkartigen Begriffslandkarte) darstellen können.

2. Aus dem Systemcharakteristikum **zeitliches Entwicklungsverhalten** leitet sich die Fähigkeit zum **Umgang mit Dynamik** ab.

Viele Schwierigkeiten im Umgang mit Systemen leiten sich aus einer mangelnden Berücksichtigung des dynamischen Aspektes von Systemen ab. Voraussetzung für eine Berücksichtigung von dynamischen Prozessen in Systemen ist ein Verständnis für die zeitliche Entwicklung von Systemen. „Jeder Zustand eines Systems wird zugleich als Momentaufnahme innerhalb eines sich auf der Zeitachse stetig nach vorne entwickelnden und nicht umkehrbaren historisch-genetischen Prozesses begriffen“ (Lecher, 1997). Die einzelnen Bestandteile eines (dynamischen) Systems und die damit untrennbar verbundene Struktur des Systems lassen sich nicht als ein schon immer dagewesener bzw. auch in Zukunft in derselben Form vorhandener Zustand begreifen. Es müssen vielmehr die oft sehr langen Zeiträume berücksichtigt werden, in denen sich die Systeme bis zu ihrem gegenwärtigen Zustand entwickelt haben. Das bedeutet zugleich, dass sie auch in der Zukunft als sich weiterentwickelnde und verändernde Systeme begriffen werden müssen. Aus diesem Systemcharakteristikum leitet sich für den **Umgang mit Dynamik** ab, dass

- dynamische Beziehungen in einem System identifiziert und in ihrer zeitlichen Entwicklung als veränderbar erkannt werden.

Eng verbunden mit dem Gedanken der Historizität ist das Charakteristikum der zeitlichen und räumlichen Distanz von Ursachen und Folgen in Systemen: „In offenen und miteinander in reziproken Interaktionen stehenden Systemen sind sämtliche Räume und die in ihnen stattfindenden Prozesse – wenn auch oft zeitlich versetzt – mit einander verknüpft. Insofern können Folgen (und Folgen von Folgen) von Geschehnissen nicht nur unmittelbar am selben Ort und zu unmittelbar anschließenden Zeitpunkten, sondern auch zu späteren Zeiten und in anderen, weit entfernten Gegenden auftreten“ (Lecher, 1997). Dieses von Lecher als „Distanzprinzip“ beschriebene Charakteristikum von Systemen bedeutet für den Umgang mit dynamischen Systemen, dass die mögliche zeitliche und räumliche Distanz zwischen Ursachen und Folgen berücksichtigt werden muss. Für den **Umgang mit Dynamik** bedeutet dies, dass

- Wechselwirkungen von (intendierten und nicht-intendierten) Folgen erkannt werden und daher im Vorfeld die räumliche und zeitliche Reichweite von Wirkungen vorhergesagt und berücksichtigt werden können.

3. In der Systemtheorie werden verschiedene **Wirkungsbeziehungen** zwischen Elementen unterschieden. Daraus leitet sich für die Systemkompetenz die Fähigkeit zum **Beurteilen von Wirkungen** in einem System ab.

In komplexen Systemen sind die Elemente oft über Beziehungen verknüpft, die eine Wirkung auf ein anderes Element ausdrücken. Analysiert man die Austauschprozesse in Systemen jedoch näher, so werden einseitige und eindeutige Zuschreibungen von Ursache und Wirkung unmöglich. Die Grenzen zwischen Ursache und Wirkung verschwimmen. Es lassen sich keine einfachen kausalen „Wenn - dann - Beziehungen, sondern nur systemische, zirkuläre und reziproke Zusammenhänge feststellen. Rein analytisch lassen sich verschiedene Formen der **Wechselwirkungen** unterscheiden: Ein Element wirkt auf ein anderes Element ein. Die Folge dieser Wirkung kann direkt oder indirekt (über weitere Systemelemente) auf die Ursache zurückwirken. In diesem Fall spricht man von einer Rückkopplung bzw. einem Kreisprozess. Lecher unterscheidet zwar rein analytisch das Prinzip der Wechselwirkung vom Rückkopplungsprinzip, beiden Prinzipien unterliegt aber die Vorstellung von Wirkungen, die mehr oder minder direkt auf sich selbst zurückwirken. Sie lassen sich nach Lecher von mono- oder multikausalen Beziehungen linearer (deterministischer) Art unterscheiden. Ihnen liegt der Gedanke einer einseitigen Wirkungsrichtung zugrunde, bei der eindeutig zwischen Ursache und Wirkung getrennt werden kann.

Für das **Erkennen von Systemeigenschaften** bedeutet dies, dass

- Wechselwirkungen in einem System in Form von verschiedenen komplexen Wirkungen der Elemente erkannt und beschrieben werden sollen.

4. Die **Integrität** von Systemen kann durch das Entfernen oder Hinzufügen von Systemelementen zerstört werden. Das bedeutet, dass sich Systeme durch Eigenschaften auszeichnen, die sich in den Bestandteilen des Systems nicht finden.

Damit unterscheidet sich die systemtheoretische Betrachtungsweise grundsätzlich von der analytisch-summativen Betrachtungsweise (vgl. Kap. 2.1.1.2). Da sich die Beziehungen in einem System wechselseitig beeinflussen, entsprechen die im System herrschenden Wechselbeziehungen nicht den einzelnen Beziehungen, die man bei der Analyse des Systems findet. In der analytisch-summativen Betrachtungsweise werden die Wechselbeziehungen des Systems als summativ aus den Einzelrelationen zusammengesetzt gedacht. Dagegen betont die Systembetrachtung, dass bei der Zerlegung des Systems in einzelne Relationen Informationen verloren gehen, die das System in seinem zusammengesetzten Stadium aufwies. Zusammenfassen lässt sich dies in dem Satz: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.

Bei Lecher findet sich diese Eigenschaft eines Systems in seinem „Prinzip des Systems“ wieder. Es wird beschrieben durch „das Studium von Strukturen und Funktionen der Natur (Odum, 1983 zitiert nach Lecher, 1997) und definiert ein (Öko)-System als ein „funktionales Raum-Zeit-Gefüge, das sich „durch ein Netz von Rückkopplungskreisen“ in einem dynamisch-stabilen Gleichgewicht hält und dadurch zur Selbsterhaltung und Selbstregulation fähig ist (Tischler, 1984, zitiert nach Lecher, 1997). Dieses ökologische Prinzip beinhaltet nach Lecher zwei nur analytisch zu trennende kognitive Dimensionen: „Systemverständnis/Holismus“ und das „Verständnis von Zusammenhängen“. Unter „Systemverständnis/Holismus“ versteht Lecher die Vorstellung von hierarchisch in einander verschachtelten Systemen, die offen gegenüber anderen Systemen und der Systemumwelt sind. In diese Vorstellung fließt der Kerngedanke des Holismus ein, dass ein Ganzes noch andere Eigenschaften als die der Einzelteile enthält. Der umfassendere Begriff des Systems unterscheidet sich aber nach Lecher von dem des Holismus darin, dass Beziehungen zwischen Systemen und deren hierarchische Verschachtelung ineinander mitgedacht werden. Auch Lecher bezieht sich darin auf von Bertalanffy (1968), der die Holismusposition darin erweitert, dass es „in der Tat nur eine Frage der Betrachtungsweise ist, was als Ganzheit, bzw. System und was als Teil(-system) bzw. als Element einzustufen ist“ (Lecher, 1997).

Für das **Erkennen von Systemeigenschaften** bedeutet dies,

- zwischen Eigenschaften der Elemente und Eigenschaften des Systems unterscheiden zu können. Dazu gehört die Erkenntnis, dass sich ein System durch Eigenschaften auszeichnet, die nicht mit den Eigenschaften der einzelnen Systemelemente zu erklären sind, sondern darüber hinausgehende Eigenschaften oder Funktionen aufweist. Daraus ergibt sich auch, dass ein zerlegtes System diese hervortretenden Eigenschaften oder Funktionen wieder verliert.

5. Umgang mit Systemen

Diese Kompetenzkomponente leitet sich nicht aus der Systemtheorie ab, da die Systemtheorie – wie ihr Name schon ausdrückt – Systeme theoretisch betrachtet. Sie spielt aber für die Betrachtung der Systemkompetenz eine Rolle, da laut Weinert (2001) dem

Umsetzungs- und Anwendungsaspekt in der Definition von Kompetenzen eine Bedeutung zukommt.

Obwohl sich mehrere Studien mit „systemischem Denken“ oder „vernetztem Denken“ befassen, sich also mit dem kognitiven Prozess des Denkens beschäftigen, wird in fast allen Ansätzen der Anwendungsbezug herausgestellt. (Eine Ausnahme bildet Lecher, der seine Dimensionen „ökologischen Denkens“ rein auf der kognitiven Ebene ableitet.) Das systemgerechte Handeln ist entweder Bestandteil oder Ziel des systemischen Denkens: Bei Gomez & Probst (1987) ist systemisches Denken die Voraussetzung für das systemgerechte Handeln im Managementbereich. Umgesetzt wird das Handeln bei diesen Autoren durch die Erstellung von Wirkungsdiagrammen, die die jeweiligen wirtschaftlichen Systeme simulieren. Der System-dynamics-Ansatz von Forrester (1969) ist eng an die quantitative Modellierung am Computer gebunden. Bei ihm ist das Verständnis komplexer Systeme die Voraussetzung für die Entwicklung geeigneter Modelle am Computer. Dörner (1989) setzt systemisches Denken mit der Anwendung des „gesunden Menschenverstandes“ gleich, den man nicht erlernen könne. Dennoch lässt sich der Umgang mit komplexen Problemen laut Dörner üben. Dörner verwendet dazu verschiedene, von ihm entwickelte computergestützte Simulationen, die in zahlreichen empirischen Folgeuntersuchungen zur Anwendung kamen. Bei Ossimitz (2000) schließlich ist das systemgerechte Handeln Bestandteil seiner Definition von systemischem Denken. Die Dimension „systemgerechtes Handeln“ bezieht sich auf das Lenken, Steuern und Weiterentwickeln von Systemen, das anhand von Computersimulationen exploriert und geübt werden soll. Für Ossimitz ist das systemische Denken explizit eng an das Darstellen von Systemen gekoppelt.

Daraus lassen sich für die vorliegende Arbeit zwei Schlüsse ziehen:

1. Der Handlungsaspekt kommt in fast allen Definitionen von systemischem Denken vor. Denn eine Untersuchung des systemischen Denkens kann (wie in Kap. 2.2.3.3 (Ossimitz – systemische Darstellungsmittel) ausgeführt) nur über das Sichtbar-Machen dieser Denkstrukturen in Handlungen erfolgen. In der vorliegenden Untersuchung besteht die Handlung in der Darstellung eines Systems in Form einer netzwerkartigen Begriffslandkarte.

Für den **Umgang mit Systemen** bedeutet dies

➤ ein System in Form einer netzwerkartigen Begriffslandkarte darzustellen.

2. Fasst man den Anwendungsaspekt weiter als das bloße Sichtbarmachen von Denkstrukturen, stößt man beim Umgang mit Systemen auf das folgende Problem: Der Umgang mit Systemen kann in der Regel nicht an realen Systemen getestet werden. Daher ist die Untersuchung des Anwendungsaspektes an Modelle gebunden. In einigen Studien wird der Anwendungsaspekt in Form der Steuerung eines computersimulierten Systems, in anderen Studien über das Lösen von Problemaufgaben operationalisiert. Dem Alter von Grundschulern angemessen, wird der Anwendungsaspekt in dieser Arbeit nicht in Form der Steuerung eines computersimulierten Systems erhoben, sondern in Form von Problemlöseaufgaben, die Bestandteil einzelner Fragen zum systemischen Denken sind.

Für den **Umgang mit Systemen** bedeutet dies,

- in Problemlöseaufgaben die Fähigkeiten zum Umgang mit Systemeigenschaften zu zeigen und dabei auf vorhandenes Wissen zurückzugreifen.

Zusammengefasst ergibt sich aus den dargestellten Ausführungen die folgende Liste (Abbildung 21) von Fähigkeiten und Fertigkeiten, die in dieser Untersuchung sowohl die Definition von Systemkompetenz als auch gleichzeitig den allgemeinen Bezugspunkt zur Untersuchung der Systemkompetenz von Grundschulern bilden:

	System-merkmale	Komponenten der SYSTEMKOMPETENZ	
System-organisation	Elemente	Modellbildung	wesentliche Systemelemente identifizieren und durch Beziehungen verknüpfen
	Beziehungen		
	Verknüpfungen		Systemgrenzen sowohl erkennen als auch sinnvoll ziehen können
	Identität		Systemelemente und ihre Beziehungen in einem Bezugsrahmen organisieren
System-eigenschaften	Integrität		zwischen Eigenschaften des Systems und Eigenschaften der Elemente unterscheiden
	Dynamik		dynamische Beziehungen erkennen
	Wirkungen		Folgen v. Veränderungen vorhersagen
			verschieden komplexe Wirkungen in einem System beurteilen können
			Rückkopplungen erkennen und beschreiben können

Abbildung 21: Ableitung der Systemkompetenzkomponenten aus der Systemtheorie und den Studien zum systemischen Denken: Bezugspunkt zur Untersuchung der Systemkompetenz von Grundschulern

2.6 Bedingungen für den Erwerb systemischen Denkens als eines schulischen Lernprozesses

Der Erwerb von Systemkompetenz wird wie alle anderen Lernprozesse von verschiedenen Faktoren bestimmt. Zu diesen Faktoren gehören emotionale, motivationale, kognitive und soziale Voraussetzungen des Lernenden und externe Bedingungen. Sie beeinflussen den Lernprozess in vielfältiger Weise und schlagen sich schließlich im Lernprodukt nieder (vgl. Abbildung 22).

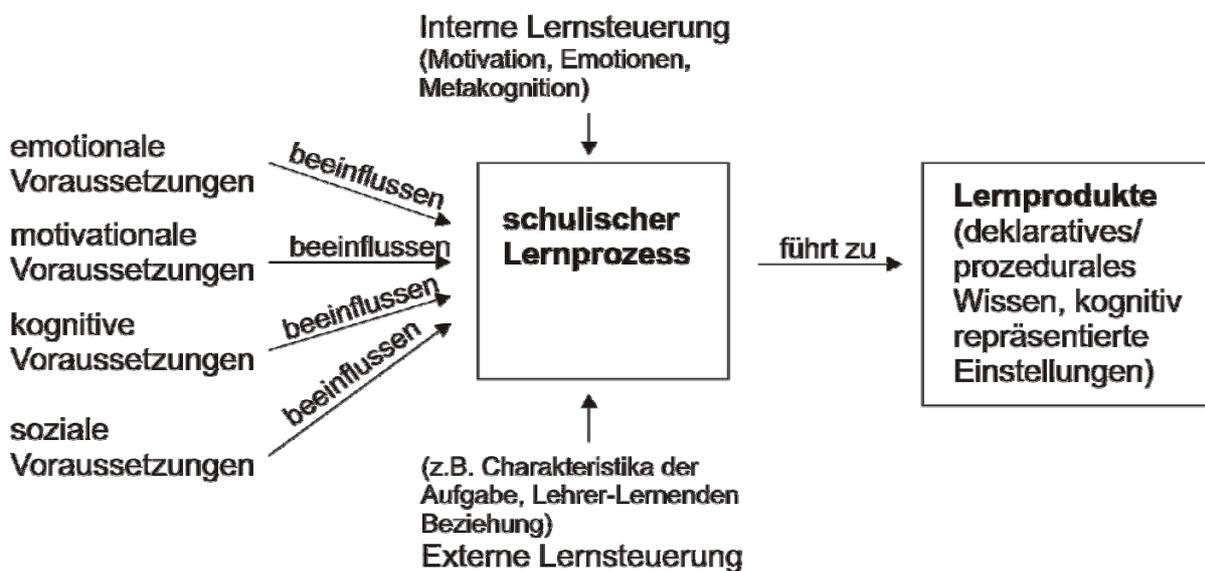


Abbildung 22: Schematischer Lernprozess verändert nach Wild, Hofer, & Pekrun (2001)

In der vorliegenden Untersuchung können nicht alle Bedingungen eines Lernprozesses berücksichtigt werden. Diese Studie beschränkt sich im Wesentlichen auf die Betrachtung des Einflusses der motivationalen und kognitiven Voraussetzungen des Lernprozesses.

In Bezug auf Lernhandlungen definieren Wild, Hofer, & Pekrun (2001) Motivation als „Absicht oder Bereitschaft einer Person sich in einer konkreten Lernsituation intensiv und ausdauernd mit einem Gegenstand auseinander zu setzen. Wild Hofer, & Pekrun (2001) unterscheiden verschiedene Arten der Lernmotivation, denen in der pädagogisch-psychologischen Motivationsforschung unterschiedliche Ziele zugeordnet werden. Die Inhalte und Ziele der verschiedenen Arten von Lernmotivation überschneiden sich zum Teil erheblich. Als eine für die Auseinandersetzung mit einem spezifischen Lerngegenstand besonders wichtige Motivationsform gilt das Interesse. Auf die Beeinflussung des schulischen Lernprozesses durch Interesse wird in Kapitel 2.6.1 eingegangen.

Zu den kognitiven Voraussetzungen eines Lernprozesses zählen allgemeine kognitive Leistungsfähigkeiten einer Person, wie die Intelligenz und sachbezogene Fähigkeiten wie das Vorwissen zu einem bestimmten Thema. Das Vorwissen wird in dieser Arbeit unterschieden

in das biologische Vorwissen zum Thema und das systemische Vorwissen. Die Bedeutung des Vorwissens im Rahmen dieser Arbeit wird in Kapitel 2.6.2 beschrieben. Die Betrachtung der allgemeinen kognitiven Leistungsfähigkeit bezieht sich auf einen Ausschnitt der Intelligenz, der für diese Arbeit wichtigen Fähigkeit zum abstrakten Denken. Auf sie wird in Kapitel 2.6.3 eingegangen.

Abbildung 23 stellt eine Übersicht über die Auswahl und Präzisierung der Lernvoraussetzungen dar, die in dieser Arbeit berücksichtigt werden und auf die in den folgenden Kapiteln näher eingegangen werden soll. Zusätzlich werden ausgewählte soziale Aspekte wie Geschlecht und Alter sowie ein Faktor der externen Lernsteuerung (Einfluss der Lehrkraft) erhoben. Auf die Faktoren der externen Lernsteuerung wird in einem Beitrag zur Evaluation des Projektes näher eingegangen, sie sollen daher hier nicht weiter theoretisch erörtert werden.

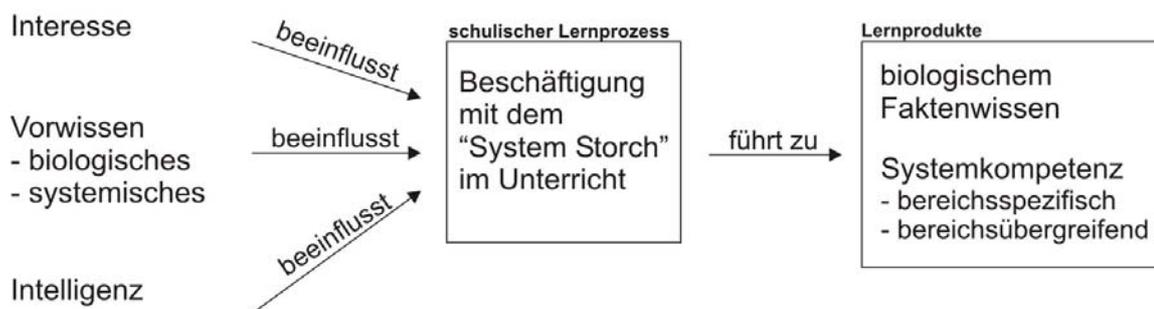


Abbildung 23: Untersucher Lernprozess

2.6.1 Interesse

Motivationale Bedingungen werden in zahlreichen Lernstudien als Faktoren zur Klärung einer bestimmten Leistung herangezogen. Unbestritten ist in der Forschung der Einfluss dieser motivationalen Faktoren auf die kognitive Leistung. So sind auch in der Definition der Kompetenz von Weinert motivationale Bedingungen genannt (Weinert, 2001).

In der Pädagogischen Psychologie spielt das Interessenkonzept zur Vorhersage des Schul- und Studienerfolges schon seit geraumer Zeit eine wichtige Rolle. Seit Mitte der achtziger Jahre lässt sich ein Aufschwung der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung verzeichnen. Dieser wird damit begründet, dass die in der Psychologie vorherrschenden Motivationstheorien aus pädagogischer Sicht erhebliche Mängel aufweisen (Krapp, 1992). Dazu zählt u. a., dass die Inhalts- und Gegenstandsspezifität motivierten Lernverhaltens nicht

hinreichend thematisiert wird. Da in dieser Arbeit das Interesse am Thema und am Fach als Bedingungsfaktor für die Leistung im systemischen Denken erfasst werden soll, beschränken sich die folgenden Ausführungen auf das Interessenkonstrukt als eine besondere Form der Motivation. Es bietet die Möglichkeit, kognitive und inhaltlich-motivationale Variablen mit einander zu verknüpfen.

Das Interessenkonstrukt in der neueren Interessenforschung

Das Interessenkonstrukt von Krapp entspringt einem Forschungsansatz, der die Auswirkungen von Interesse auf Lernen und Leistung erhebt (Krapp, 2001).

Krapp verbindet in seinem Interessenkonstrukt zwei verschiedene Forschungslinien, die den Interessenbegriff in unterschiedlicher Konzeptualisierung verwenden. Die Vertreter des einen Ansatzes betrachten Interesse als persönlichkeitspezifisches Merkmal des Lerners, z. B. als relativ stabile Präferenz für einen bestimmten Lerngegenstand. Vertreter der zweiten Richtung sehen im Interesse dagegen einen einmaligen, situationspezifischen, motivationalen Zustand, der aus besonderen Anreizbedingungen einer Lernsituation resultiert. Krapp (2001) betrachtet diese Konzepte als nicht klar von einander trennbar. Er stellt sie als Komponenten eines übergeordneten Interessenkonstruktes dar, dessen relationale Struktur in Abbildung 24 dargestellt ist. Diese relationale Struktur verbindet dispositionale Merkmale eines Individuums (individuelle oder persönliche Interessen) mit Interesse auslösenden Bedingungen der Lernumgebung bzw. des Lerngegenstandes (Interessanztheit) und aktuellen psychischen Zuständen während einer interessenorientierten Handlung (aktualisiertes oder situationales Interesse) (Krapp, 2001).

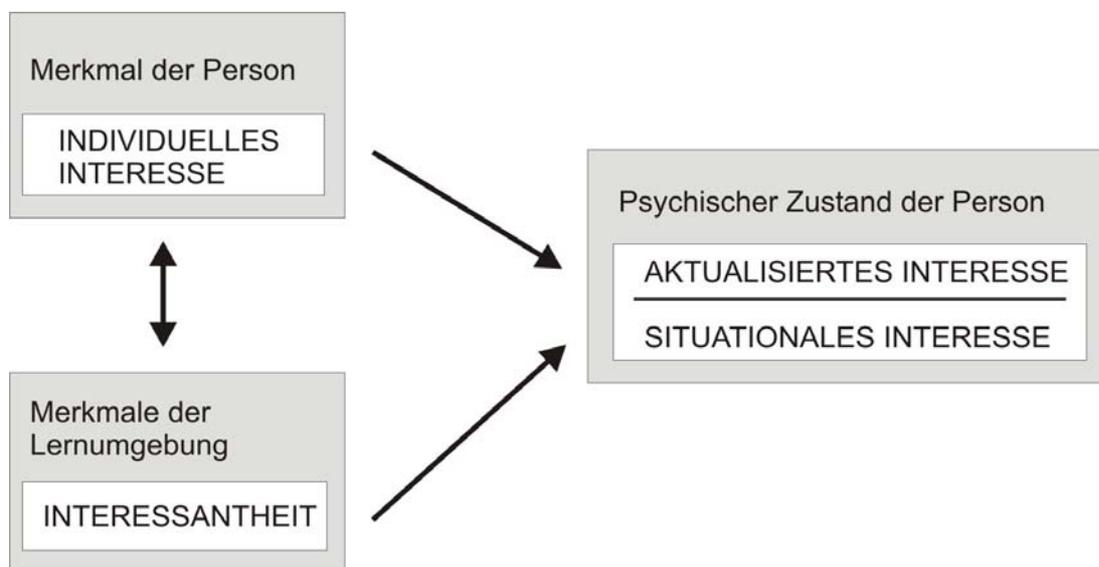


Abbildung 24: Relationale Struktur der Bedeutungsvarianten des Interessenkonstrukts (nach Krapp, 1992)

a) Individuelles oder persönliches Interesse

Das individuelle Interesse wird nach Krapp in der Regel als motivationale Disposition interpretiert, z. B. als wesenszugartige Vorliebe für ein bestimmtes Wissens- oder

Handlungsgebiet. In empirischen Untersuchungen werden als Prädiktoren oft fachbezogene Interessen verwendet, weil man annimmt, dass sie langfristig Bestand haben und das Lernen nachhaltig beeinflussen.

In der vorliegenden Studie wird das individuelle Interesse als das Interesse am Sachunterricht erhoben.

b) Interessantheit

Die Interessantheit von Lehrmaterialien kann eine günstige Lernmotivation erzeugen, die zu einer aktuellen Steigerung der Aufmerksamkeit und somit zu einer Verbesserung der kognitiven Verarbeitungsprozesse führen kann. Nach Krapp (1992) geht man davon aus, dass gewisse, im Lerngegenstand lokalisierte Reizbedingungen eine „interessierte“ Zuwendung auslösen. Die Bedeutung der situativen Anreizqualität hängt nach Krapp (1992) u. a. vom Entwicklungsniveau des Interesses ab. Bei schwach ausgeprägtem Interesse oder in der Anfangsphase der Interessenentstehung spielen die Anregungsqualitäten der Lernumgebung eine wichtige Rolle. Sie veranlassen den Lernenden, sich dem Interessensgegenstand zuzuwenden, neue Aspekte zu entdecken und sich über längere Zeit mit ihm zu beschäftigen. Bei hoch entwickeltem Interesse sind die situativen Auslösebedingungen von untergeordneter Bedeutung.

In der vorliegenden Studie wird die Interessantheit des angebotenen Lernmaterials zum Thema Weißstorch erfasst.

Das aus der Interessantheit des Lerngegenstandes hervorgehende situationale Interesse der Person ist nach Krapp (1992) nicht vom Vorhandensein einer dispositionalen Präferenz für einen bestimmten Gegenstand abhängig. Es ist daher für meine Arbeit sinnvoll, bei den unabhängigen Variablen zwischen individuellem Interesse (am Sachunterricht) und Interessantheit (des Lerngegenstandes Weißstorch) zu unterscheiden.

c) Zusammenhang zwischen Interesse, Lernen und Leistung

Krapp strukturiert theoretisch den Zusammenhang von Interesse, Lernen und Leistung in einem Komponentenmodell (Krapp, 1992). Interesse wird dabei als unabhängige Variable definiert, die abhängigen Variablen sind die Ergebnisse des Lernens, die hier als Effekte bezeichnet werden. Dieses Modell (Abbildung 25) unterscheidet zwei Arten von *Effekten*, die ihrerseits in einer funktionalen bzw. kausalen Abhängigkeitsbeziehung stehen. Die erste Kategorie beschreibt Interesseneffekte im Bereich subjekt-interner kognitiver Strukturen (Art der Wissensrepräsentation). Die zweite Kategorie bezieht sich auf Beurteilungen der erbrachten Leistung in einem bestimmten Lerngebiet. Zur Erklärung der Interesseneffekte unterscheidet Krapp zwei *Erklärungsebenen*: (1) allgemeine (lernrelevante) Orientierungen und Strategien und (2) psychische Prozesse und auf das Lernen bezogene Verhaltensweisen. Auf der ersten Erklärungsebene werden die Interesseneffekte auf allgemeine Steuerungsmechanismen der Lernhandlung zurückgeführt. Man geht davon aus, dass ein Lerner über eine große Zahl lernwirksamer Verhaltensweisen (z. B. Lerntechniken) verfügt, die in übergeordnete Verhaltensschemata und Strategien integriert sind. Je nach Art der wahrgenommenen Anforderung und in Abhängigkeit von der motivationalen Ausgangslage bedient sich der Lerner anderer

Muster der Lernsteuerung. Die zweite Ebene der Erklärung bilden psychische Prozesse und auf das Lernen bezogene Verhaltensweisen. Krapp hat in seinem Variablenmodell einige Prozessvariablen exemplarisch aufgeführt.

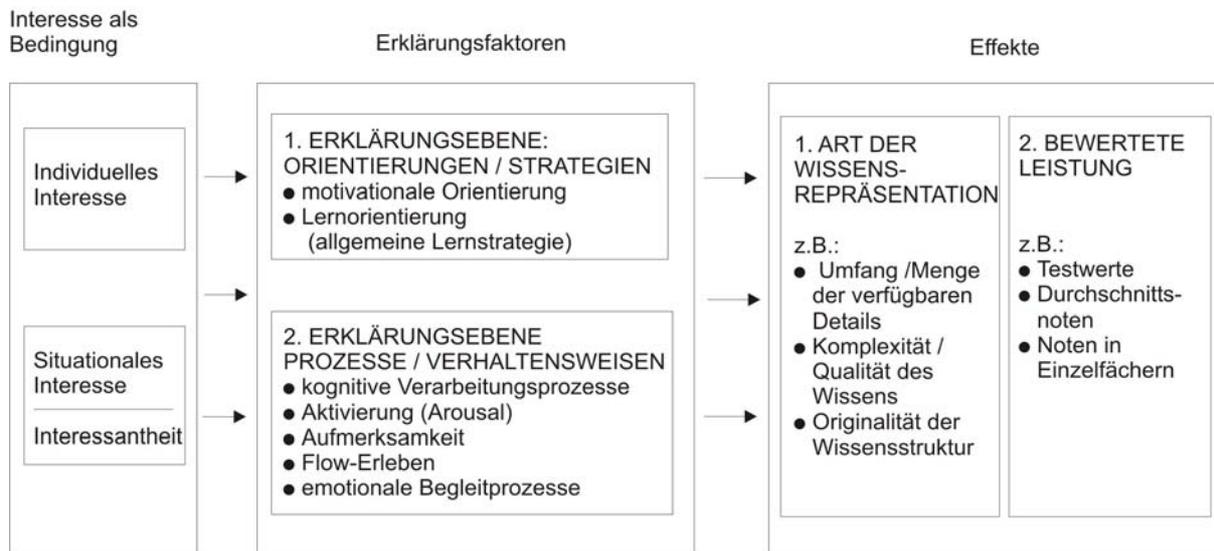


Abbildung 25: Variablenmodell zur Beschreibung und Erklärung des Zusammenhangs von Interesse, Lernen und Leistung nach Krapp (1992)

Zur Wirkung von Interessen in ihrer lern- und leistungsfördernden Funktion liegt eine große Zahl von Studien vor. Wild, Hofer, & Pekrun (2001) folgern aus den Befunden einer Metastudie von Schiefele, Krapp, & Schreyer (1993), die zu einer mittleren Korrelation zwischen Interesse und Leistung kommt, dass dem Interesse im Vergleich zu anderen Motivationsfaktoren eine hohe Vorhersagekraft für den Lern- und Leistungserfolg zukommt. Nach Krapp (1992) wird von einer positiven Rückkopplung ausgegangen: „Ein hohes Interesse fördert eine ausdauernde Beschäftigung mit einem Thema und dadurch den Lernerfolg, der dann wieder auf die Interessenentwicklung im Sinne einer Interessensteigerung zurückwirkt“.

Für die vorliegende Untersuchung ist der Einfluss des individuellen und des situationalen Interesses auf das Lernprodukt „Systemkompetenz“ von Bedeutung. Erfasst werden soll zum einen der Einfluss von individuellem Interesse am Fach Sachunterricht auf die Systemkompetenz. Zum anderen soll der Einfluss des situationalen Interesses am Unterrichtsthema Weißstorch auf die Systemkompetenz untersucht werden. Die Systemkompetenz umfasst dabei in beiden Fällen verschiedene Aspekte wie den Umfang der zum Thema Weißstorch verfügbaren Details, die Komplexität des Wissens zum Thema Weißstorch sowie die Fähigkeiten im Umgang mit Eigenschaften des Systems Weißstorch.

Die vorliegende Studie erhebt das Interesse nur als eine von mehreren Bedingungen für das systemische Denken und kann deshalb keinen umfangreichen Interessefragebogen enthalten. Die Interpretation der Ergebnisse muss daher unter Berücksichtigung dieser Einschränkung erfolgen.

2.6.2 Vorwissen

Unbestritten ist seit langem die Einsicht, dass das Vorwissen eines Schülers seine Lernleistungen im Unterricht beeinflusst. Ausubel (1968) fasst dies so zusammen: "The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly."

Wie in Abbildung 23 dargestellt, sollen in dieser Studie u. a. die kognitiven Voraussetzungen für einen schulischen Lernprozess untersucht werden. In diesem Abschnitt soll die Bedeutung des Vorwissens erörtert werden. In Bezug auf das hier untersuchte Thema ist dabei zum einen das biologische Vorwissen von Interesse, das in Abschnitt 2.6.2.1 näher beleuchtet wird. Zum anderen spielt das systemische Vorwissen eine Rolle. Auf den Einfluss des systemischen Vorwissens wird in Abschnitt 2.6.2.2 eingegangen.

Im Zusammenhang mit dem systemischen Vorwissen steht die Frage, ob es sich bei der Systemkompetenz um eine bereichsspezifische oder eine bereichsübergreifende Kompetenz handelt.

2.6.2.1 Biologisches Vorwissen

Das fachspezifische Vorwissen hat sich in unzähligen empirischen Lernstudien als der wichtigste Faktor erwiesen, der Lernen und Problemlösen bestimmt, und zwar sowohl im Bereich der Naturwissenschaften als auch in allen anderen Lernbereichen (Duit, 1997).

So zeigen Untersuchungen zu „Schülervorstellungen“, dass „die vorunterrichtlichen Vorstellungen, mit denen die Lernenden in den naturwissenschaftlichen Unterricht hineinkommen, das Erlernen der naturwissenschaftlichen Begriffe und Prinzipien tiefgreifend bestimmt“ (Duit, 1997).

Die Bedeutung des Vorwissens für den Erwerb neuen Wissens erklärt sich durch die Notwendigkeit, im Laufe eines Lernprozesses auf vorhandenes Wissen zurückzugreifen und dieses Wissen mit neuen Elementen zu ergänzen.

In Bezug auf die Vorstellung, dass Wissen in semantischen Netzwerken im Arbeitsgedächtnis gespeichert ist, beschreibt Steiner (2001) zwei Prozesse, die für einen Wissenserwerbsprozess wichtig sind:

1. In einem komplexen Prozess wird das Vorwissen aktiviert. Dies geschieht durch eine Erregungsausbreitung, die - ausgehend von begrifflichen Knoten in einem semantischen Netzwerk - zahlreiche weitere vorhandene Wissensstrukturen unmittelbar zugänglich macht. Dabei werden entweder Knoten, die verdichtete Informationen enthalten, erregt und „ausgefaltet“, oder aber es werden durch weitere Relationen andere begriffliche Bereiche des Netzwerks erregt oder aktiviert, wodurch zum Beispiel die Verbindung zum bereits vorhandenen Wissen hergestellt wird.
2. Ein zweiter Prozess ist die Elaboration, das heißt die aktuelle Auseinandersetzung mit der neuen Information beim Zuhören oder Lesen. Durch diesen Prozess wird die neue Information

Schritt für Schritt mit dem Vorwissen verknüpft. Steiner (2001) stellt sich diesen Vorgang so vor, dass der aktivierte Geist des Lesers oder Zuhörers versucht, eine Verbindung der neuen Information mit bereits vorhandener Information herzustellen. Dabei findet ein Übergang von den Zusammenhängen, die der Leser noch versteht, die er also aufgrund seines Vorwissens parat hat zu den Zusammenhängen, die er sich aus der neuen Information erschließen muss, statt. Wenn er diese neuen Informationen mit seinem Vorwissen verknüpft, sind neue, zuvor nicht vorhandene Relationen im semantischen Netzwerk hergestellt worden, die den Wissenserwerbsprozess charakterisieren.

Die Beschreibung dieser beiden Prozesse zeigt, dass das Vorwissen an zwei Stellen von Bedeutung ist: zum einen als Basis des schon vorhandenen Wissens, auf das im Bedarfsfall zurückgegriffen werden kann, zum anderen als Anknüpfungspunkt für neues Wissen. In beiden Fällen erleichtert ein größeres Vorwissen den Lernprozess. Im ersten Fall dadurch, dass auf bereits Gelerntes zurückgegriffen werden kann, das Wissen also unmittelbar zugänglich ist. Im zweiten Fall durch ein elaborierteres Wissensnetz, das mehr Anknüpfungspunkte für neue Informationen bereitstellt.

Im Rahmen der vorliegenden Studie sollte sich das biologische Vorwissen ebenfalls in den genannten Bereichen auswirken. Kinder mit einem höheren biologischen Vorwissen haben schon mehr Wissens Elemente erworben und diese mit mehr Beziehungen verknüpft als Kinder mit weniger Vorwissen. Das bedeutet, Kinder mit höherem biologischem Vorwissen können auf mehr biologische Zusammenhänge zurückgreifen, aber auch neue Informationen an mehr Stellen mit ihrem vorhandenen Wissen verknüpfen.

2.6.2.2 Systemisches Vorwissen

Die Untersuchung des systemischen Vorwissens soll einen Beitrag zur Klärung der Frage leisten, ob die Systemkompetenz eine bereichsspezifische oder bereichsübergreifende Fähigkeit ist.

Im ersten Abschnitt (Kap. 2.6.2.2.1) sollen die Forschungsergebnisse dargestellt werden, die für die Entwicklung einer bereichsspezifischen Systemkompetenz sprechen. Im zweiten Abschnitt (Kap. 2.6.2.2.2) werden Arbeiten vorgestellt, die von einer Entwicklung der Systemkompetenz als einer bereichsübergreifenden Fähigkeit ausgehen.

2.6.2.2.1 Hinweise auf bereichsspezifische Systemkompetenz

Bei dem Versuch, die kognitive Entwicklung von Kindern zu beschreiben, haben sich die Ergebnisse der Expertiseforschung als hilfreich erwiesen. Entwicklungspsychologen übertragen den Wissenserwerb, wie er beim Erwerb von Expertise auf einem bestimmten Gebiet zustande kommt, auf den Aufbau der Wissensstrukturen von Kindern.

Carey (1985) untersuchte den Aufbau von biologischen Wissensstrukturen bei kleinen Kindern. Sie fand in ihren Arbeiten Hinweise auf eine intuitive psychologische und eine intuitive physikalische Theorie, mit deren Hilfe kleine Kinder Lebewesen charakterisieren. Aus diesen ersten Theorien entwickeln sich durch zunehmendes Wissen weitere Theorien, so

eine erste biologische Theorie, mit deren Hilfe kleine Kinder lernen, zwischen Lebewesen und Nicht-Lebewesen aufgrund biologischer Kriterien wie Wachstum, Nahrungsbedarf, Reproduktion usw. und nicht mehr nach Ähnlichkeit zum Menschen zu unterscheiden. Dieser Wechsel zwischen zwei verschiedenen Theorien zur Erklärung eines Sachverhaltes gelingt aber wie der Novizen-Experten-Wandel nicht allein aufgrund einer bloßen Wissensakkumulation. Es muss laut Carey (1985) zu einer Umstrukturierung des Wissens kommen, in dem Sinne, dass bisher erworbenes Wissen in andere Zusammenhänge und Erklärungsmuster gestellt wird und darauf aufbauend zu neuen Schlussfolgerungen führt.

Durch diese Restrukturierung des Wissens unterscheidet sich diese Form des Wissenserwerbs von anderem Wissenserwerb, der sich auf eine reine Akkumulation von Wissen beschränkt, wie z. B. dem Lernen der Multiplikationstafel oder dem Lernen der Hauptstädte verschiedener Länder.

Betrachtet man den Wissenserwerb als einen Erwerb von Expertise, dann sind auch die Merkmale von Experten im Vergleich zu Novizen von Bedeutung. Diese Merkmale sollen kurz zusammengefasst werden:

- Eines der wichtigsten Ergebnisse in der Expertiseforschung war die Feststellung, dass die überragenden Leistungen der Experten auf bestimmte inhaltliche Gebiete beschränkt sind. In Untersuchungen stellte sich heraus, dass ein Schachexperte seine besonderen Gedächtnisleistungen beim Merken von bestimmten Schachkonstellationen z. B. nicht auf das Erinnern von Telefonnummern übertragen kann. Weitere Untersuchungen auf anderen Inhaltsgebieten bestätigten die Bereichsspezifität der Expertise (Chi, M. T. H., 1978; Schneider, Gruber, Gold, & Opivis, 1993).

Dies bedeutet, dass auch der Theorie-Wechsel und damit der Novizen-Experten-Wandel domänenspezifisch sind. In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass die Problemlösefähigkeiten der Experten stark vom domänenspezifischen Vorwissen abhängig sind und nicht ohne weiteres von einer Domäne auf eine andere übertragbar sind (Kroß & Lind, 2001; Mackensen-Friedrichs, 2004).

- Im Zusammenhang mit der domänenspezifischen Expertise ist auch von Bedeutung, dass Expertise auf einem bestimmten Gebiet nicht altersgebunden ist.

Werden Kinder, die sich in einem Gebiet besonders gut auskennen, mit Erwachsenen verglichen, die sich in diesem Gebiet nicht so gut auskennen, so sind die Kinder-Experten den erwachsenen Novizen in diesem Gebiet überlegen (Brown & DeLoache, 1978).

Expertise ist demnach als eine relative Fähigkeit im Verhältnis zu einer anderen Leistung zu interpretieren: Expertise kann also sowohl im intraindividuellen Vergleich (bei verschiedenen hohen Leistungen einer Person in verschiedenen Inhaltsgebieten) als auch im interindividuellen Vergleich (zwischen verschiedenen Personen im selben inhaltlichen Bereich) festgestellt werden.

- Experten unterscheiden sich von Novizen in der Organisation der wahrgenommenen Information. Das bereichsspezifische Wissen der Experten besteht nicht nur aus aneinander gereihtem Faktenwissen, sondern ist um Kernkonzepte herum geordnet, die das Denken in ihrer Domäne leiten. (Bransford, Brown, & Cocking, 1999). Chi et al.

(1981) untersuchten die Unterschiede in der Problemlösefähigkeit von Physikexperten und Physiknovizen. Dabei stellte sich heraus, dass Experten Probleme nach Lösungsstrategien ordneten, während Novizen die Probleme nach Eigenschaften und übergeordneten Merkmalen gruppieren.

Diese Art der Informationsverarbeitung hat Auswirkungen auf die Gedächtnisleistung, denn sie befähigt die Experten, die zentralen Informationen zu erinnern, die sie wiederum zu anderen Informationen entlang ihrer internen Struktur aus Konzepten führt. Auf diese Weise sind die Experten den Novizen in ihren Gedächtnisleistungen weit überlegen. Daneben ist diese Art der Organisation von Wissen aber auch für die Problemlösefähigkeit der Experten von entscheidender Bedeutung.

- Der Erwerb von Expertise vollzieht sich über einen längeren Zeitraum und setzt die intensive Beschäftigung mit dem jeweiligen Inhaltsbereich voraus. Über diese intensive Beschäftigung erwerben die Lernenden nicht nur ein erhebliches Maß an Faktenwissen, sondern auch spezielle Lösungsroutinen im Umgang mit Problemen. Diese Mischung befähigt sie auf der Basis der oben dargestellten Wissensstrukturierung zu den besonderen Leistungen eines Experten.

Soll anhand des Expertise-Ansatzes geklärt werden, ob eine Fähigkeit bereichsspezifisch gebunden ist oder bereichsübergreifend eingesetzt werden kann, dann müssen die Untersuchungsbedingungen denen eines Experten-Novizen-Vergleichs ähneln. Dies bedeutet, die untersuchte Fähigkeit sollte sich intra- oder interindividuell durch unterschiedliche Grundvoraussetzungen auszeichnen. Dazu zählen die Dauer und Intensität der Beschäftigung mit dem jeweiligen Gebiet.

Übertragen auf die Frage nach der Bereichsspezifität von Systemkompetenz bedeutet dies, dass Vergleiche zwischen der Systemkompetenz auf einem lange vertrauten Gebiet mit denen auf einem wenig vertrauten Gebiet gemacht werden können.

Daraus leitet sich der folgende Forschungszusammenhang ab:

Kinder sind mit bestimmten Bereichen ihrer Umwelt vertrauter als mit anderen, weil sie sie aus ihrem täglichen Umgang kennen und sich mit ihnen auseinandersetzen. Beispiele dafür gibt es viele: die Familie, bestimmte Spiele, die die Kinder gerne und häufig spielen, die Schule, usw.. Aus dieser häufigen Beschäftigung leitet sich ein größeres Wissen zu diesem Feld ab als zu anderen Gebieten, mit denen diese Kinder nicht so vertraut sind. Wenn dieses Wissen nicht nur aus einer Sammlung unverbundener Fakten besteht, sondern auf höherem Niveau strukturiert ist (s. oben), sollten diese Kinder eine entsprechend hochwertige Leistung wie die Systemkompetenz auf diesem Gebiet eher zeigen können als auf einem Gebiet zu dem es wenig Vorwissen hat, das dementsprechend wenig strukturiert und organisiert sein wird.

In diesem Teil der Studie soll deshalb untersucht werden, ob Kinder in einem vertrauten System (System Schule) eine hochwertige Leistung wie Systemkompetenz, die hier mit einer „Expertenleistung“ gleichgesetzt wird, eher zeigen können als in einem (zunächst) wenig vertrauten System (System Storch). Darüber hinaus sollte sich bei den Leistungen innerhalb des Systems Storch im Verlaufe der Unterrichtseinheit eine Steigerung zeigen, da es Anspruch der Unterrichtseinheit ist, das Wissen so zu vermitteln, dass es vom Lernenden

strukturiert und organisiert werden kann. In Bezug auf die Expertise-Forschung ausgedrückt sollte im Verlauf der Unterrichtseinheit eine Art Novizen-Experten-Wechsel stattfinden.

2.6.2.2.2 Hinweise auf bereichsübergreifende Systemkompetenz

Im Gegensatz zu den Theorien der Expertiseforschung, nach denen die herausragenden Leistungen von Experten bereichsspezifisch sind, stehen die Hinweise aus der Literatur, die davon ausgehen, dass durch zunehmende Erfahrung im Umgang mit inhaltlich verschiedenen Systemen eine bereichsübergreifende Systemkompetenz entstehen kann.

Aus der Literatur gibt es zwei Hinweise, die eine solche Theorie stützen können. Beide Untersuchungen beschäftigen sich speziell mit der Fähigkeit zum Problemlösen, testen diese Fähigkeit aber über den Umgang mit Systemen. Damit liefern sie indirekt Hinweise auf die Übertragbarkeit auch der Systemkompetenz von einem Bereich auf den anderen. Putz-Osterloh (1987) untersuchte bereichsspezifische versus bereichsübergreifende Fähigkeiten von Experten und Novizen für das Fachgebiet der Experten und ein neues inhaltliches Gebiet. Klieme, Stanat, & Artelt (2001) definieren das Problemlösen, das bei ihnen am Beispiel von Systemkompetenz im Rahmen der PISA-Studie getestet wird, als eine bereichsübergreifende Fähigkeit. Beide Hinweise auf eine bereichsübergreifende Kompetenz im Umgang mit Systemen sollen im Folgenden vorgestellt werden.

- In der Studie von Putz-Osterloh (1987) wird untersucht, ob sich die besonderen Fähigkeiten von Experten in ihrem Fachgebiet auch auf andere Fachgebiete übertragen lassen. Dazu werden Wirtschafts-Experten mit nach Zufall ausgewählten Studenten bei der Steuerung eines ökonomischen und eines ökologischen Systems verglichen. Die Experten sind also einmal mit Problemen aus ihrem Spezialgebiet und einmal mit Aufgaben aus einem für sie neuen Wissensbereich befasst. In ihren Leistungen werden sie mit Novizen auf beiden Gebieten verglichen.

Putz-Osterloh wählt die zu bearbeitenden Probleme so, dass zunächst nur bereichsübergreifende (heuristische) Strategien zur Lösung eingesetzt werden können. Da der Problemlöser das zu bearbeitende System nicht durchschauen kann, muss er Hypothesen über die Systemvariablen und deren Verknüpfungen bilden. Diese Hypothesen kann er anhand der Reaktionen des Systems auf seine Änderungen prüfen. Im Verlauf des Problemlöseprozesses baut der Problemlöser sein Systemwissen aus.

Mit dieser Vorgehensweise möchte Putz-Osterloh herausfinden, ob die Experten ihre Fähigkeiten auch auf ein anderes inhaltliches Gebiet übertragen können.

Aus diesem Untersuchungsansatz ergeben sich intra- und interindividuelle Vergleiche der Leistungen in den beiden Systemen.

- Im interindividuellen Vergleich zeigt sich, dass die Experten den Novizen in der Steuerung des Wirtschaftssystems auch dann überlegen sind, wenn sie nur bereichsübergreifende Strategien zur Problemlösung einsetzen können.
Dagegen sind die Experten bei der Steuerung des ökologischen Systems nicht über alle untersuchten abhängigen Variablen hinweg besser als die Novizen. Experten kommen nicht zu besseren Steuerungsergebnissen im ökologischen System, erwerben aber u. a. mehr Wissen über das System als die Novizen. Dieser Unterschied lässt sich nicht über bereichsspezifisches Wissen erklären, sondern muss auf bereichsübergreifendes Systemwissen zurückzuführen sein.
- Im intraindividuellen Vergleich der Leistungen zwischen den beiden Systemen zeigt sich, dass alle Problemlöser bei dem zweiten Problem eine durchschnittlich höhere Leistung zeigen als bei der Bearbeitung des ersten Problems. Darin sieht Putz-Osterloh einen bereichsübergreifenden Übungseffekt von einem Problem auf ein anderes.
- Ein Vergleich des erworbenen Wissens und dessen Einfluss auf die Problemlöseleistung zeigt, dass die Experten genauso viele Daten über die Systeme sammeln wie die Novizen. Die Experten leiten aus diesem gesammelten Daten aber mehr richtige Hypothesen über das weitere Verhalten des Systems ab als die Novizen. Die zielgerichtete Verwendung des gesammelten Wissens ist also offensichtlich auch eine bereichsübergreifende Fähigkeit.
- Im ökologischen System findet sich dagegen kein Unterschied zwischen den Vorhersagen der Experten und der Novizen.
Die Vorhersage des weiteren Verhaltens eines Systems ist also offensichtlich vom Vorwissen des Problemlösers abhängig.

Die Ergebnisse von Putz-Osterloh zeigen, dass es innerhalb der Problemlösekompetenz, die hier gleichzusetzen ist mit Systemkompetenz, Fähigkeiten gibt, die von einem Bereich auf den anderen übertragen werden können. Dazu zählt insbesondere die *Verarbeitung* des jeweils aufgenommenen Wissens.

Dagegen lassen sich die allgemeinen Strategien zum Problemlösen, die die Experten für ihren Bereich entwickelt haben, nicht auf einen anderen Bereich übertragen. Die Untersuchungen stützen auch die Annahme, dass sich das Expertenwissen vom Wissen der Novizen nicht nur durch die Menge, sondern vor allem durch die Struktur unterscheidet.

- Klieme et al. (2001) sehen in fächerübergreifenden Kompetenzen sehr unterschiedliche theoretische und normative Vorstellungen verknüpft, die man in folgender Auflistung bündeln kann: Fächerübergreifende Kompetenzen nach Klieme et al.

- werden in verschiedenen Fächern bzw. Lerngebieten gefordert und /oder gefördert,
- helfen bei der Bewältigung komplexer, ganzheitlicher Aufgaben in realistischen Kontexten,
- können auf neuartige, nicht explizit im Lehrplan enthaltene Anforderungssituationen transferiert werden und
- lassen sich als allgemeine Fähigkeitsdimensionen identifizieren.

Darüber hinaus betonen Klieme et al., dass fächerübergreifende Kompetenzen als komplexe Handlungskompetenzen sich nicht nur auf kognitive Funktionen beziehen können. Neben den

kognitiven Leistungen müssen deshalb auch Motivation und so genannte volitionale Faktoren (vgl. Kap. 2.3.1) berücksichtigt werden.

Klieme et al. definieren das Problemlösen als eine fächerübergreifende Kompetenz: Problemlösen ist zielorientiertes Denken und Handeln in Situationen, für deren Bewältigung keine Routinen verfügbar sind. Diese Definition des Problemlösens umschließt einen sehr weiten Bereich von Problemen und Prozessen. Klieme et al. systematisieren deshalb die Auswahl und unterscheidet zwischen einem „analytischen Problemlösen“ und einem „dynamischen Problemlösen“.

a) Beim „analytischen Problemlösen“ werden die Probanden mit der Darstellung einer Problemsituation konfrontiert. Es wird untersucht, wie die Bearbeiter die Problemsituation verstehen und welche Schlussfolgerungen und Handlungsplanungen sie vornehmen. Dabei wird mit „statischen“ Problemstellungen gearbeitet, die schriftlich zu bearbeiten sind. Das Problem schriftlicher Verfahren liegt in der Begrenzung der Messung des „Produktes“ der Problembearbeitung, also dem Problemlöseerfolg, gemessen an der Anzahl korrekt bearbeiteter Aufgabenstellungen. Sie weisen zudem nach Klieme et al. eine hohe Überschneidung mit traditionellen Tests zum „schlussfolgernden Denken“ auf und werden deshalb als analytisches Problemlösen bezeichnet.

b) Beim „dynamischen Problemlösen“ dagegen geht es um die Qualität der Interaktion mit einer sich verändernden, auf Eingriffe reagierenden Umwelt, also z. B. um die Simulation eines dynamischen Systems am Computer. Beim dynamischen Problemlösen können neben den Lösungen des Problems auch Prozessmerkmale und Strategien erfasst werden. (Einer Aufgabenstellung dieses Typs entspricht auch die Studie von Putz-Osterloh (1987).) Die Problemlöser müssen dabei

- in einer explorativen Phase Informationen über Struktur und Wirkungszusammenhänge des Systems erschließen,
- in einem Test Kenntnisse über die Systemstruktur unter Beweis stellen und
- in einer Steuerungsphase einen vorgegebenen Zielzustand zu erreichen versuchen.

Vor diesem Hintergrund nennen Klieme et al. (2001) drei Indikatoren für die Problemlösekompetenz:

- Prozesskontrolle (strategisches Verhalten / Systematik beim Explorieren des Systems),
- Wissenserwerb (Kenntnisse über das System, die beim Explorieren erworben wurden) und
- Handlungserfolg (Steuerungsleistung / Zielerreichung).

Die Erprobung im PISA-Programm ergab, dass die drei Indikatoren die gemeinsame Fähigkeit zum „dynamischen Problemlösen“ widerspiegeln. In wie weit sich diese Fähigkeiten jedoch auf andere Problembereiche transferieren lassen, bleibt bei Klieme et al. offen. Eine Untersuchung zum Transfer von Problemlösekompetenz über verschiedene dynamische Systeme hinweg steht noch aus.

Auch Klieme et al. betonen jedoch die Bedeutung von Wissen in der jeweiligen Domäne für anspruchsvolle Problemlöseleistungen: Problemlösen setze Wissen über Konzepte und Sachverhalte (deklaratives Wissen) und Wissen über Regeln und Strategien (prozedurales Wissen) im jeweiligen Gegenstandsbereich voraus. Klieme et al. sehen deswegen zwei Alternativen für die Erfassung von Problemlösekompetenz: Erstens die Verwendung von

Aufgaben, die *möglichst* wenig spezifisches Wissen voraussetzen, sondern relevante Kontextinformation in leicht verständlicher Form vorgeben und darauf aufbauend mit formalen Strategien des schlussfolgernden Denkens lösbar sind. Untersuchungen in der PISA-Studie mit einem solchen Aufgabentyp bestätigen die Einschätzung, dass hiermit vorwiegend schlussfolgerndes Denken gemessen wird. Zweitens die Erfassung eines *Profils* von Kompetenzen an Stelle der Messung einer generalisierten, bereichsübergreifenden Problemlösefähigkeit. In den PISA-Untersuchungen zeigte sich, dass die aus den computergestützten Szenarios gewonnenen Prozess- und Strategiemaße eigenständige Kompetenzen abbilden. Für Klieme et al. ergibt sich die Problemlösekompetenz deshalb als ein Profil, zu dem das analytische Problemlösen ebenso gehört wie das dynamische Problemlösen in verschiedenen Kontexten.

Zusammenfassend lassen sich aus den Untersuchungen von Putz-Osterloh (1987) und Klieme et al. (2001) folgende Schlüsse ziehen: Beide Autoren setzen in ihren Untersuchungen die *Problemlösefähigkeit* mit dem Steuern eines System gleich. Sie untersuchen also die *Systemkompetenz* von Experten und Novizen. Innerhalb dieser Problemlöse-Fähigkeit unterscheiden sie zwischen verschiedenen Formen des Verhaltens, untersuchen also Teilkomponenten der Systemkompetenz.

Zwischen den von Putz-Osterloh untersuchten Teilkompetenzen lassen sich Unterschiede in der Abhängigkeit von bereichsspezifischem Wissen feststellen: Die Steuerungsleistung eines wenig bekannten Systems ist abhängig vom bereichsspezifischen Wissen. Dagegen ist die Verarbeitung der gesammelten Informationen zu einem neuen System und die Bildung von Hypothesen über das weitere Verhalten nicht vom bereichsspezifischen Wissen abhängig. Diese Teilkompetenzen scheinen bereichsübergreifend zu sein.

Klieme et al. (2001) unterscheiden theoretisch das „dynamische Problemlösen“ vom „analytischen Problemlösen“. Beim „dynamischen Problemlösen“ geht es um die Qualität der Interaktion mit einer sich verändernden, auf Eingriffe reagierenden Umwelt, also um die Simulation eines dynamischen Systems am Computer. Beim analytischen Problemlösen müssen die Bearbeiter eine Problemsituation verstehen und überlegen, welche Schlussfolgerungen und Handlungsplanungen sie vornehmen. Aufgrund empirischer Erhebungen können Klieme et al. belegen, dass sich die von ihm unterschiedenen Fähigkeiten im Bereich dynamisches Problemlösen als eine gemeinsame Fähigkeit darstellen, wohingegen das analytische Problemlösen mehr mit der Fähigkeit zum schlussfolgernden Denken korrespondiert. Eine Untersuchung zur Übertragbarkeit dieser Fähigkeiten über verschiedene Systeme hinweg steht aber noch aus.

Die Frage nach der Bereichsspezifität oder –unabhängigkeit kann daher anhand von Kliemes et al. Studien nicht beantwortet werden.

2.6.3 Intelligenz / Abstraktes Denken

Die Erforschung der kognitiven Bedingungen der Leistungen von Schülern steht traditionell im Zentrum pädagogisch-psychologischer Forschung. Zu diesen kognitiven Bedingungen gehört vor allem die Intelligenz, der ein starker Einfluss auf das Lernen zugesprochen wird. Intelligenz wird als ein relativ stabiles Persönlichkeitsmerkmal gesehen, das von vielen Autoren in Anlehnung an Wechsler (1975) als „die zusammengesetzte Fähigkeit des Individuums zweckvoll zu handeln, vernünftig zu denken und sich mit seiner Umgebung wirkungsvoll auseinander zu setzen“ definiert wird (Wild et al., 2001).

Der Intelligenzbegriff stellt ein anerkanntes wissenschaftliches Konstrukt in der Pädagogischen Psychologie dar, das sich - wie aus der oben gegebenen Definition ersichtlich - aus mehreren Teilkomponenten zusammensetzt. Verschiedene Intelligenzstrukturmodelle beschäftigen sich mit der Frage, um welche Teilkomponenten es sich dabei handelt und in welchem Verhältnis diese „Dimensionen“ oder „Faktoren“ zueinander stehen. Im deutschsprachigen Raum hat sich das hierarchische „Strukturmodell der Intelligenz“ von Jäger (1984) durchgesetzt. Das Modell unterscheidet zwischen einer Inhalts- und einer Operationsmodalität (vgl. Abbildung 26). Mit „Inhalten“ werden die Art des Aufgabenmaterials und die Domäne der kognitiven Repräsentation bezeichnet. Neben verbalen Komponenten (sprachgebundenes Denken) werden numerische (zahleungebundenes Denken) und figural-bildhafte Komponenten (anschauungsgebundenes Denken) unterschieden. Mit den vier Operationen (Bearbeitungsgeschwindigkeit, Merkfähigkeit, Einfallsreichtum und Verarbeitungskapazität) sind die kognitiven Prozesse (operativen Fähigkeiten) angesprochen, die für die Bearbeitung einer bestimmten Aufgabe erforderlich sind. Es wird angenommen, dass jede Denkleistung durch mehrere kognitive Teilfähigkeiten zustande kommt (Wild et al., 2001).

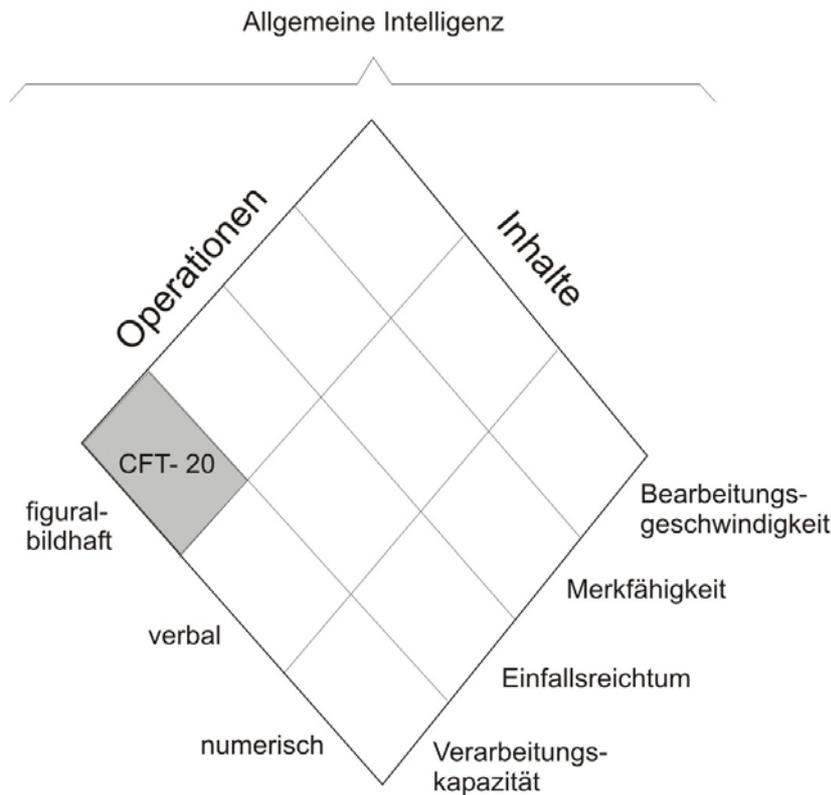


Abbildung 26: Das Berliner Intelligenzstrukturmodell mit Einordnung des CFT-20 nach Jäger (1982)

Ein weiteres dem aktuellen Forschungsstand entsprechendes hierarchisches Intelligenzmodell stammt von Cattell (1968). Dieses zeichnet sich durch eine Unterscheidung von zwei Intelligenzkomponenten aus, zum einen „die fluide Intelligenz, die durch Erbfaktoren bestimmt wird und vom individuellen Lernschicksal weitgehend unabhängig ist, zum anderen die kristallisierte Intelligenz, die über Lernprozesse erworben und verändert wird und somit durch Umweltfaktoren beeinflusst werden kann“ (Wild et al., 2001). Nach Cattell ist die aktuelle schulische Leistung dem kristallisierten Intelligenzbegriff zugeordnet. Diese „Crystallized General Ability“ (zu deutsch kristallisierte Intelligenz) stützt sich weitgehend auf verbale Fähigkeiten. Diese verbalen Fähigkeiten sind aber über die Schulleistungen erworben worden, die sie eigentlich vorhersagen sollen. Cattell beschrieb diesen Widerspruch und entwickelte einen Intelligenztest, der sich nicht auf verbale Fähigkeiten stützt, sondern einen „allgemeinen Intelligenzfaktor im nicht-verbalen Bereich“ messen soll. Nach Cattell (1968, zitiert aus Weiß, 1987) handelt es sich dabei um den „General-Fluid-Ability-Faktor“ (zu deutsch fluide Intelligenz), der interpretiert werden kann als „Fähigkeit, komplexe Beziehungen in neuartigen Situationen wahrnehmen und erfassen zu können“. Genau diese Fähigkeit ist es, die für das Systemdenken von Bedeutung ist.

Auf der Basis seiner Definition von fluider Intelligenz entwickelte Cattell den Culture Fair Intelligence Test, der von Weiß als CFT 20 ins Deutsche übertragen und überarbeitet wurde. Der CFT 20 kommt ohne verbale Darstellungen aus. Er gliedert sich in mehrere Untertests, u. a. einen Teil, der das abstrakte Denken misst. Dieser Teil des CFT 20 wird in dieser Arbeit

eingesetzt, um Hinweise auf den allgemeinen Einfluss der Intelligenz auf die Systemkompetenz zu erhalten.

Nach dem Jäger'schen Strukturmodell der Intelligenz (Jäger, 1984) wären die CFT-Subtests primär dem Faktor Verarbeitungskapazität auf der operativen Ebene zuzuordnen, während auf der inhaltlichen Ebene die figurale Darbietungsform von Problemlöseaufgaben betroffen ist (vgl. Abbildung 26). Verarbeitungskapazität ist nach Jäger bei den operativen Einheiten definiert als: „Verarbeitung komplexer Informationen bei Aufgaben, die nicht auf Antriebe zu lösen sind, sondern Heranziehen, Verfügbarhalten, vielfältiges Beziehungsstiften, formallogisch exaktes Denken und sachgerechtes Beurteilen von Informationen erfordern“ (Jäger, 1982). Bei den inhaltsgebundenen Einheiten wird figural bildhaft-anschauungsgebundenes Denken so definiert: „Diese Einheit ist zunächst durch die benannte Gemeinsamkeit des Aufgabenmaterials charakterisiert. Hinsichtlich ihrer Zuordnung zur Modalität Inhalte sind wir allerdings nach wie vor im Zweifel, ob bei „figural“ nicht auch noch operative Besonderheiten gegeben und ggf. weitere hochgradig generelle operative Einheiten enthalten sind, die sich lediglich im bisher einbezogenen Variablenkontext noch nicht herausarbeiten ließen“ (Jäger, 1982).

Intelligenz und Systemkompetenz

Betrachtet man Untersuchungen, in denen der Bedeutung der Intelligenz für die Fähigkeit, komplexe Systeme zu steuern und alltagsnahe Probleme lösen zu können, nachgegangen wurde, so sind die Ergebnisse widersprüchlich.

Klassisches Beispiel ist das Lohausen-Experiment von Dörner und Kollegen, in welchem Versuchspersonen aufgefordert wurden, sich im Rahmen von Computersimulationen in die Rolle des Bürgermeisters von Lohausen hineinzusetzen. Die Analyse der Problemlösestrategien der Probanden ergab, dass Personen mit hoher Testintelligenz bei der Lösung alltagsnaher Probleme keineswegs besser abschnitten als solche mit niedriger Testintelligenz (Wild et al., 2001).

Die Annahme, dass die Intelligenz generell keine Bedeutung für die Lösung von Problemen hätte, ließ sich mit neueren Studien widerlegen. Man geht davon aus, dass für die Bewältigung praxisnaher Probleme und für die Steuerung komplexer Systeme beides wichtig ist: die Kenntnis und Beherrschung spezifischer Heuristiken zur Lösung von Problemen sowie eine allgemeine intellektuelle Leistungsfähigkeit, die eine Voraussetzung dafür darstellt, dass Algorithmen erkannt und effektiv eingesetzt werden (Wild et al., 2001). Expertise in einem speziellen Gebiet setzt also ein gewisses Maß an allgemeiner (nicht nur verbaler) Intelligenz als auch ein breites domänenspezifisches Vorwissen (einschließlich des prozeduralen Wissens, wie man konkret vorgeht und welche Heuristiken eingesetzt werden müssen) voraus (Wild et al., 2001).

In der Studie zur „Entwicklung des Systemdenkens im Kontext der Erde“ identifizieren Orion & Assaraf den Faktor „individuelle kognitive Fähigkeit“ als wesentlich für die Fähigkeit, mit dem Systemkonzept umzugehen (Orion & Assaraf, eingereicht). Sie verweisen auf Untersuchungen von Frank (2000), nach denen das Systemdenken hoch differenzierte

Denkfähigkeiten benötigt. Diese Fähigkeiten beinhalten ein Cluster von vielgestaltigen mentalen Aktivitäten wie die Beurteilung von Nuancen und die Analyse von komplexen Situationen unter verschiedensten Kriterien. Orion & Assaraf vertreten die These, dass die Fähigkeiten zum komplexen Denken für viele Schüler eine kognitive Barriere darstellen, die auch durch andere Faktoren wie ein erhöhtes Interesse und daraus folgende aktive Unterrichtsbeteiligung nicht wettgemacht werden können. Kognitive Barrieren können sich für die Schüler durch die mangelnde Fähigkeit zum Erkennen von dynamischen Beziehungen in einem komplexen System, durch das Unvermögen, Elemente und ihre Verbindungen in einem Netzwerk von Beziehungen zu organisieren oder durch mangelnde Fähigkeit zum Generalisieren ergeben.

In den genannten Studien ergibt sich für die Schüler die Schwierigkeit, außer der Bewältigung dieser kognitiven Denkprozesse die abstrakten Strukturen, die sich aus ihrer Analyse eines Systems ergeben haben, zusätzlich darstellen zu müssen. Andernfalls lassen sich in entsprechenden Untersuchungen keine Daten über die Denkprozesse gewinnen: „Wenn man die Fähigkeit systemisches Denken empirisch messen möchte, dann muss dieses Denken in geeigneter Weise materialisiert bzw. repräsentiert werden, um in einem Experiment beobachtet werden zu können“ (Ossimitz, o.J.). Dies kann nur mit Hilfe systemischer Darstellungsformen geschehen. Ossimitz unterscheidet zwischen folgenden mathematischen Darstellungsformen: verbale Beschreibung, Wirkungs- und Stoffflussdiagramme, sowie Gleichungen. Für Grundschüler stellen Concept maps die geeignetere Methode dar. Sie erlauben die verschiedensten Relationen zwischen den Elementen (s. 2.2.3.1). Aber auch Concept maps erfordern die Reduktion von Geschehnissen auf semantische Verknüpfungen von Elementen über Beziehungen. Diese Darstellungsform erfordert von Grundschulern hohes Abstraktionsvermögen.

Für Schüler, die sich mit einem komplexen System auseinandersetzen müssen, dürfte die Intelligenz in zweierlei Beziehung eine Rolle spielen: zum einen erfordern die kognitiven Denkprozesse wie das Erkennen von dynamischen Beziehungen in einem System, das Organisieren von Elementen in einem Netzwerk von Beziehungen und die Fähigkeit zum Generalisieren eine Rolle als Formen hoch differenzierter Denkfähigkeiten. Zum anderen erwächst aus der Anforderung, diese kognitiven Strukturen für einen außenstehenden Beobachter sichtbar machen zu müssen, ein hohes Maß an Abstraktionsfähigkeit. Sollen die Einflüsse kognitiver Unterschiede zwischen den Schülern auf die Systemkompetenz berücksichtigt werden, so ist ein Untersuchungsinstrument einzusetzen, das diese Form von Intelligenz am besten abdeckt. Wie oben dargestellt, messen viele Intelligenztests verbale und numerische Fähigkeiten, die dem kristallisierten Fähigkeitsbegriff nach Cattell (1968) zuzuschreiben sind. Für die vorliegende Studie ist die Untersuchung „der Fähigkeit, komplexe Beziehungen in neuartigen Situationen wahrnehmen und erfassen zu können“, womit nach Cattell die fluide Intelligenz beschrieben wird, von Bedeutung. Es wird deshalb ein Intelligenztest gewählt, der fluide Intelligenz erfasst, der CFT 20. Aus diesem wird der Teil ausgewählt, der speziell das abstrakte Denken misst.

2.6.4 Externe Bedingungen

Externe Einflussfaktoren, die sich nach Wild (2001) ebenfalls auf den Lernprozess auswirken können, stellen einen eigenen Forschungsbereich dar. Auf ihn soll im Rahmen dieser Arbeit nicht theoretisch eingegangen werden. Dennoch wurden im Rahmen der Gesamtkonzeption des Projektes einige Bedingungen festgelegt, die sich als externe Einflussfaktoren auf die Lernprodukte Systemkompetenz und biologisches Wissen auswirken können. Dazu zählen z. B. die Leitideen des Gesamtprojektes wie die Förderung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen oder der systemische Ansatz. Sie werden in Kapitel 2.7.2 dargestellt.

2.7 Biologische und fachdidaktische Theorie

2.7.1 Das „System Weißstorch“

In diesem Kapitel soll das „System Weißstorch“ beschrieben werden. Damit ist eine Beschreibung der wichtigsten Merkmale und Beziehungen des Weißstorchs zu den biotischen und abiotischen Elementen seiner Umwelt gemeint.

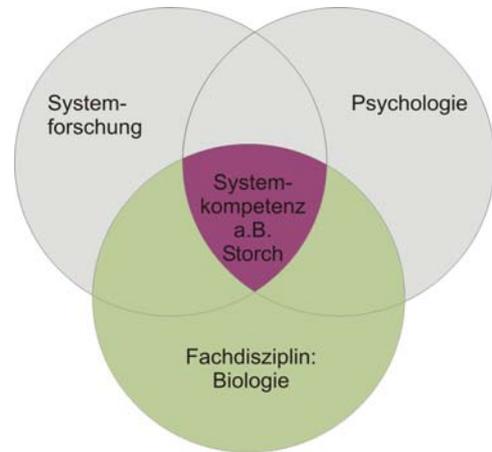


Abbildung 27: Einordnung des Kapitels "Biologische und fachdidaktische Theorie" in den Gesamtaufbau der Arbeit

Der Weißstorch: Systematik und Aussehen

Stammesgeschichtlich gesehen sind die Störche eine sehr alte Vogelfamilie, Fossilfunde weisen darauf hin, dass mehrere Arten bereits im Oligozän, vor etwas 50 Millionen Jahren, existierten (Schulz, 1993). Die Familie der Ciconiidae, zu der die Störche zusammengefasst werden, gehört mit 5 weiteren Vogelfamilien zur Ordnung der Schreitvögel, der Ciconiiformes. Insgesamt 19 Storchenarten leben heute auf der Erde, nur zwei davon in Europa.

Aufgrund seiner langjährigen Forschungen teilte M.P. Kahl die Störche nach Verhalten und Körpermerkmalen in 3 Gruppen ein. Die Gruppe der eigentlichen Störche (Ciconiini) umfasst neben unserem Weißstorch (*Ciconia ciconia*) dessen nächste Verwandte, z. B. den Schwarzstorch (*C. nigra*), den Schwarzschnabelstorch (*C. boyciana*) und den Regenstorch (*C. abdimii*) (Schulz, 1993).

Alle Störche sind große, langbeinige Vögel, die meisten haben lange, spitze Schnäbel und lange Hälse, die sie beim Fliegen ebenso ausgestreckt halten wie die Beine. Die Gefiederfärbung der meisten Storchenarten ist überwiegend schwarz und weiß. Der Stimmapparat vieler Störche, darunter auch der des Weißstorchs ist ohne Muskulatur, weshalb sie sich nur über Zischlaute oder Klappern mit dem Schnabel verständigen.

Mit einer Länge von etwa 80 cm bis zum Scheitel und einem durchschnittlichen Gewicht von 3,5 kg ist der Weißstorch einer der größten Vögel unserer Heimat. Mit seiner Flügelspannweite von bis zu 2 m kann der Storch als Segelflieger gewaltige Strecken zurücklegen.

Kein anderer Großvogel hat sich dem Menschen so angeschlossen wie der Weißstorch. Daher übt er schon lange eine besondere Faszination auf den Menschen aus, die sich in zahlreichen Bildern, Geschichten und Liedern niederschlägt.

Lebensräume und Nahrung

Wie alle Zugvögel hat auch der Weißstorch mehrere Lebensräume: das Brutgebiet, das Überwinterungsgebiet und die zahlreichen Rastplätze, die der Storch während seiner langen Reise vom Sommer- ins Winterquartier aufsucht. Dieser häufige Ortswechsel bedingt den Aufenthalt des Storches in den unterschiedlichsten Lebensräumen, die von Flußauen über landwirtschaftliche Flächen bis hin zu Wüstengebieten eine breite Vielfalt abdecken.

Die Brutgebiete des Weißstorchs umfassen Europa, Westasien und Nordafrika. In seinem Sommerquartier hält sich der Weißstorch mit ungefähr 4 Monate eine relativ lange Zeit in einem Gebiet auf. Daher kommt den Lebensräumen, in denen sich der Storch im Sommer aufhält, besondere Bedeutung zu.

Im Sommerquartier bevorzugt der Weißstorch offene Landschaften, die in weiten Teilen erst durch Rodung von Wäldern durch den Menschen entstehen konnten. Zu den wichtigsten Lebensräumen zählen periodisch überschwemmte Wiesen, Uferzonen von Flüssen und Seen, Weiden und Niedermoore. Die Übergangszonen zwischen Wasser und Land bieten vielen Beutetieren des Storches ideale Lebensbedingungen. Die Beutetiere kommen dort in großen Mengen vor und sind für den Storch gut erreichbar. Die größten Storchkolonien finden sich deshalb auch heute noch bevorzugt in feuchten Niederungsgebieten an Flussläufen, wie z. B. der Elbmarsch. Naturraumbezogene Auswertungen der populationsbiologischen Daten des Weißstorchs ergaben eine starke Abhängigkeit der Siedlungsdichte vom Bodentyp und hydrologischen Moortyp. Nach Thomsen et al. (2001) weisen Naturräume, die von Lehmauen und Niedermooren geprägt sind, die höchste Siedlungsdichte auf; dort hat der Weißstorch auch den größten Reproduktionserfolg. Der berechnete Grünlandanteil in den Naturräumen hat dagegen keinen Einfluss auf die Siedlungsdichte, viel ausschlaggebender ist die Nutzungsintensität des Grünlandes. Eine starke Düngung des Grünlandes, wie sie vor allem in Westdeutschland als Grundlage zur intensiven Milchwirtschaft betrieben wird, führt zu einer Reduzierung der Flora auf wenige nutzungsverträgliche Pflanzenarten. Dies hat eine Verarmung der Wirbellosenfauna und auch der Amphibien zur Folge. Daneben führen hohe Düngung und optimales Wassermanagement zu einer rasch aufwachsenden, hohen und dichten Vegetation. In solch intensiv genutzten Silagewiesen ist dem Weißstorch eine Nahrungssuche nicht möglich (Thomsen et al., 2001). Naturräume mit höheren Ackeranteilen weisen dagegen vergleichsweise hohe Siedlungsdichten auf. Thomsen et al. vermuten, dass der Weißstorch in diesen Gebieten sehr stark von kleinen Fließgewässern mit extensiv genutztem Grünland abhängig ist. Ein Grünland mit vielfältigem Nutzungsmosaik wird vom Storch weiterhin einer einseitig genutzten Landschaft vorgezogen. Standweiden mit nicht zu hohen Viehdichten gewährleisten ein gleichmäßiges Angebot geeigneter Nahrungshabitate (Thomsen, 1995).

Der Weißstorch als „optisch orientierter Schreitjäger“ (Sackl, 1987) ist also auf Habitate mit kurzer Vegetation angewiesen. Dort findet er in relativ kurzer Zeit ein Optimum an Nahrung. Dies ist insbesondere während der Jungenaufzucht von Bedeutung. Altvögel benötigen

zwischen 500 und 700 g Nahrung täglich, bei Jungvögeln kann diese Menge in der Phase des höchsten Nahrungsbedarfs sogar bei ca. 1500 g täglich liegen (Creutz, 1988). Die Zeit, die ein Brutpaar aufwenden muss, um den Nahrungsbedarf ihrer Jungen zu decken, ist ein gutes Maß für die Nahrungssituation dieses Brutpaares und den ökologischen Zustand der Nestumgebung (Schulz, 1993). Die Unterschiede können beträchtlich sein: Bei in Schleswig-Holstein untersuchten Storchepaaren war jeder Partner bis zu drei Viertel der Tageszeit zur Futterbeschaffung vom Horst abwesend. Die Paare kamen auf einen durchschnittlichen Bruterfolg von weniger als zwei ausfliegenden Jungvögeln. Dagegen suchte in den Saveauen Kroatiens jeder Altstorch nur jeweils ein Viertel der Tageszeit nach Nahrung, trotzdem kamen diese Vögel auf einen durchschnittlichen Bruterfolg von fast 3 Jungvögeln (Schulz, 1993). Hohe Nahrungstierdichte und leichte Erbeutbarkeit sind demnach die ausschlaggebenden Faktoren für den Fortpflanzungserfolg des Weißstorchs.

Dabei ist der Weißstorch in der Wahl seiner tierischen Nahrung nicht besonders wählerisch. Als ausgesprochener Nahrungsoportunist hat er ein großes Beutespektrum, das allerdings regional und in Abhängigkeit von Jahreszeit, Witterung, Feldbewirtschaftung von Jahr zu Jahr große Unterschiede aufweisen kann. Das Spektrum reicht von Beutetieren in der Größe einer jungen Bisamratte bis zum 10 mm großen Insekt. Wühlmäuse (*Microtus sp.*) und Regenwürmer (*Lumbricidae*) haben bei der Ernährung gewichtsanteilig die größte Bedeutung Thomsen (1995). In feuchten Perioden und im Frühjahr bilden Regenwürmer den Hauptbestandteil der Nahrung, während in Trockenzeiten Mäuse und andere Kleinsäuger, vor allem aber Insekten und unter diesen wieder Heuschrecken und Käfer erbeutet werden (Creutz, 1988). Amphibien sind für die Ernährung des Weißstorches insbesondere dann von großer Bedeutung, wenn andere ertragreiche Nahrungsquellen wie z. B. Wühlmäuse aufgrund zyklischer Bestandswechsel fehlen oder die Jungstörche noch zu klein sind, um größere Beutetiere schlucken zu können. Das Angebot an Amphibien sichert dabei optimale Nahrungsverhältnisse zu jeder Phase der Jungenaufzucht.

Von der Verfügbarkeit an Beutetieren ist auch der Aktionsradius der Störche rund um ihr Nest abhängig. Während der Brutphase und der ersten Wochen der Jungenaufzucht sind die Storcheltern vorwiegend in einem Revier in bis zu 1,5 km Umkreis vom Nest auf der Jagd nach Nahrung. Wenn das Nahrungsangebot in Horstnähe nicht mehr ausreicht, nutzen die Vögel später auch ein größeres Revier, das bis zu 8 km vom Nest entfernt sein kann. Durch die Jungenaufzucht sind die Störche also an einen relativ begrenzten Standort gebunden und sind bei Nahrungsmangel kaum in der Lage, auf andere Lebensräume auszuweichen. Die Bindung an den Nistplatz erklärt die Abhängigkeit des Weißstorches von den Bedingungen in der näheren Umgebung des Nestes.

Der Weißstorch in seinem Winterquartier

Vielfältigere Möglichkeiten der Nahrungsbeschaffung hat der Weißstorch dagegen in seinem Überwinterungsgebiet. Dort ist er nicht an einen Nistplatz gebunden, sondern kann weit voneinander entfernte Gebiete mit möglichst guten Nahrungsbedingungen aufsuchen. So ist auch sein soziales Verhalten im Winterquartier ein gänzlich anderes als im Sommerquartier. In Afrika sind während der Wintermonate größere Storchentrupps von mehreren hundert Vögeln keine Seltenheit. Die Vögel halten sich jeweils in Regionen auf, in denen gerade gute

Nahrungsbedingungen herrschen. Dies kann unter Umständen zu extremen Storchenansammlungen führen, wie das in der Literatur vielzitierte Beispiel vom Januar 1987 zeigt, als sich in einem Gebiet von nur 25 qkm Ausdehnung in Tansania 100 000 Weißstörche versammelten (Schulz, 1988). Die Weißstörche hatten sich dort aufgrund eines Massenauftritts des Afrikanischen Heerwurms versammelt. Auf solche lokalen Nahrungsangebote ist es auch zurückzuführen, dass in manchen Jahren sehr viele Störche bereits im östlichen Afrika überwintern, während in anderen Jahren ein Großteil der Störche ins südliche Afrika weiterzieht.

Die Hauptüberwinterungsgebiete des Weißstorchs liegen im mittleren Afrika südlich der Sahelzone und in Ostafrika bis hinunter zur Südspitze Afrikas. Dabei halten sich durchziehende und überwinternde Störche in einer Vielzahl unterschiedlicher Habitats auf. Weißstörche wurden einerseits in völlig vegetationsfreien Wüstenregionen, sogar auf Sanddünen, beobachtet, andererseits in feuchten Sumpfreionen im tropischen Afrika (Schulz, 1988). Soll ein Gebiet den Weißstörchen jedoch über längere Zeit als Rasthabitat oder Überwinterungsgebiet dienen, müssen einige Grundvoraussetzungen erfüllt sein:

Von größter Bedeutung ist das Vorhandensein geeigneter Nahrungsressourcen. Dies sind in trockenen Regionen meist Heuschrecken verschiedener Arten (nach Creutz (1988) vorwiegend Arten der Gattungen *Acrydium*, *Stenobothrus*, *Chorthippus*, *Stauroderus* und *Locusta*), die regional in hoher Dichte vorkommen. Heuschreckenarten mit einer Generation im Jahr sind mit ihrer Entwicklung der Regenzeit angepasst. Die Heuschreckenweibchen legen zu Beginn der Regenzeit ihre Eier ab, die sich dann in der Phase größten Pflanzenwachstums als flugunfähige Hüpfer ernähren. Zum Ende der Regenzeit bilden die Imagines große Schwärme, die ihre Wanderzüge beginnen. Ansammlungen von mehr als tausend Weißstörchen können diesen Schwärmen zum Teil über Wochen hinweg folgen und sich ausschließlich von diesen Tieren ernähren. In Afrika ist der Weißstorch deshalb auch als „Heuschreckenvogel“ bekannt. Creutz (1988) hält den Beitrag der Störche zur Verminderung von Heuschreckenplagen aber für relativ gering.

Andere Nahrungsgrundlagen, die regional in hoher Dichte vorkommen, sind die Raupen des Afrikanischen Heerwurms (*Spodoptera exempta*) oder die Raupen des Luzerneschnetterlings (*Colias electo*). Der Luzerneschnetterling tritt vor allem in landwirtschaftlich genutzten Gebieten Südafrikas massenhaft auf. Wegen dieses Schädling findet der Weißstorch in Südafrika ein reiches Nahrungsangebot. Dort halten sich daher die meisten Störche in den Luzernefeldern auf.

In vielen Ländern Afrikas sind dagegen die natürlichen Habitats des Weißstorchs, vor allem Kurzgrassavannen, von größter Bedeutung (Schulz, 1988). Auch hier hat die Vegetationsstruktur einen großen Einfluss auf die Habitatwahl des Storches. Störche halten sich auch in Afrika meist in weiten, offenen Landschaften auf, nur selten dagegen in sehr dichter Baumsavanne oder gar Wäldern. Auch die Höhe der Grasvegetation spielt eine Rolle, denn nur eine kurze Vegetation ermöglicht dem Weißstorch die gezielte Nahrungssuche.

Neben der Nahrung ist die Verfügbarkeit von Oberflächenwasser ein wichtiger Faktor in der Habitatwahl des ziehenden bzw. überwinternden Weißstorches. Nach Schulz (1988) wurden im Sudan Weißstorchkonzentrationen nur dort gefunden, wo auch Tümpel in relativ großer

Zahl vorhanden waren. Offene Wasserflächen werden von den Störchen täglich während der heißesten Stunden aufgesucht. Die Vögel trinken dort, auch stellen sie sich ins Wasser, wo sie abkühlen.

Nach Schulz wählen Weißstörche auch in Afrika feuchte Lebensräume als bevorzugtes Habitat. Sie verlassen dieses nur dann, wenn in benachbarten ariden Regionen ungewöhnlich gute Nahrungsbedingungen herrschen.

Zug

Die Beschäftigung der Menschen mit dem Auftauchen der Zugvögel im Frühjahr und ihrem Verschwinden im Herbst lässt sich in der Geschichte weit zurückverfolgen: Schon Aristoteles befasst sich in seiner Geschichte des Tierreichs gründlich mit den Zugvögeln und teilt sie in drei Gruppen ein:

1. Vögel, die in andere Breiten wandern;
2. Vögel, die senkrecht wandern, d. h. solche, die im Winter und bei kaltem Wetter von den Bergen in die Ebene kommen und im Frühjahr zurückkehren und, überwintern, ohne auf Wanderschaft zu gehen. Zu Letzteren zählte er u. a. Storch, Turteltaube, Schwalbe, Lerche und Drossel.
3. Vögel, die bei kaltem Winterwetter überwintern, ohne auf Wanderschaft zu gehen. Zu Letzteren zählte er u. a. Storch, Turteltaube, Schwalbe, Lerche und Drossel.

Zur Erklärung der Überwinterungen wurden verschiedene Theorien entwickelt.

Im 13. Jahrhundert vermutete Albert Magnus, die Störche würden den Winter im Wasser verschlafen.

Systematische Beobachtungen des Vogelzugs begannen erst in den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts, den Durchbruch in der Vogelzugforschung brachte die systematische Beringung im 20. Jahrhundert. Seitdem machte man mithilfe moderner Technik wie Radar und Satellitentelemetrie große Erkenntnisfortschritte, die detaillierte Aussagen über die Gebiete, zwischen denen ein Vogel wandert, seine Zugwege und deren zeitlichen Verlauf sowie zahlreiche Informationen zur Vogelökologie ermöglichen.

Entstehung und Ursachen des Vogelzuges

Man nimmt heute an, dass der Vogelzug keine einmalige Erfindung der Evolution war, sondern dass er wahrscheinlich viele Male bei unterschiedlichen Arten und aus unterschiedlichen Gründen entstanden ist (Curry-Lindahl, 1982). Bereits vor etwa 15 –20 Millionen Jahren haben diejenigen Vögel zu ziehen begonnen, die wir heute als Zugvögel kennen. Durch ihre Beweglichkeit konnten sie nicht nur Regionen und Kontinente schneller als alle anderen Wirbeltiere besiedeln, sondern auch zwischen Gebieten mit stark verschiedenem Klima im Verlauf der Jahreszeiten hin und her wandern. Großräumige Klimaveränderungen wie in den Eiszeiten brachten gravierende Verschlechterungen der Lebensbedingungen in einer Region mit sich, denen die Zugvögel durch das Aufsuchen optimaler Gebiete ausweichen konnten. Dieses Verhalten trug im Laufe der Erdgeschichte sicherlich zum Erfolg der Vögel bei (auf ungefähr 8 800 Vogelarten kommen heute 4 200 Säugetiere (Curry-Lindahl, 1982).

Durch die Selektion wurden diejenigen Vogelarten begünstigt, die sich der räumlichen Verschiebung geeigneter Brut- und Überwinterungsquartiere in Folge der Eiszeiten mit Hilfe des Vogelzuges am besten anpassen konnten. Dabei sind verschiedene Entstehungsmuster möglich: Es gab vermutlich sowohl südliche Vögel, die von ihrem Ursprungsland nach Norden wanderten und dort geeignetere Lebensbedingungen vorfanden als auch nordische Arten, die in den Süden zogen, um die Bedingungen ihres Winterquartiers zu verbessern. Daneben gibt es Arten wie die Küstenseeschwalbe, die vermutlich weder in ihrem jetzigen Überwinterungs- noch in ihrem Brutgebiet ihren Ursprung haben, sondern in neuen Gebieten heimisch wurden, die der jeweiligen Art die besten Umweltvorteile brachten.

Klima und Nahrungsangebot gelten als die Hauptursachen für die jährlichen Wanderungen der Vögel. Arten, die in hohen Breiten der Nord- und Südhalbkugel brüten, wandern vor der drohenden Nahrungsverknappung in gemäßigttere Breiten. Gerade die Insektenfresser sind darauf angewiesen, den kalten Winter der hohen Breiten ohne Insekten zu meiden und Gebiete zu suchen, in denen sie Nahrung finden. Dass dieses Verhalten tiefere Wurzeln hat als das aktuelle Wetter, zeigt der Start der Langstreckenzieher zu ihren Flügen lange bevor Kälte oder Nahrungsmangel im Brutgebiet sie dazu zwingen. Dagegen wird der Zugbeginn bei Kurzstreckenziehern stärker vom Wetter beeinflusst.

Auch der Weißstorch ist aufgrund seines Nahrungsspektrums von einer Verknappung des Angebotes im Winter betroffen. Sein Verhalten entspricht dem des typischen Langstreckenziehers, der lange vor Beginn der Nahrungsverknappung seinen Zug in die Winterquartiere antritt. Im August unternehmen die Jungstörche immer weitere Ausflüge in die Umgebung und machen sich schließlich vor ihren Eltern auf ihre erste weite Reise nach Afrika. Nach dem bisherigen Stand der Forschung ist die Zugrichtung, die die Störche auf den richtigen Weg leitet, angeboren. Da sie beim Heimzug aber auch den exakten Ort im Sommerquartier wieder finden, müssen den Störchen noch andere Orientierungshilfen zur Verfügung stehen. Neuere Forschungsergebnisse aus Telemetriestudien zeigen, dass die Störche beim Heimflug zwar oft im selben Korridor fliegen, aber nicht exakt denselben Weg wie beim Hinflug nehmen. Daher scheint die Orientierung an Landmarken nicht allein von Bedeutung zu sein. Die Befunde der Satellitentelemetrie deuten darauf hin, dass Störche echte Navigation nutzen, in dem sie die Koordinaten ihres Aufenthaltsortes mit denen des Heimatortes in Beziehung setzen (Berthold & Querner, 2002). Ob diese Navigation über die Stellung von Himmelskörpern oder mit Hilfe des Erdmagnetfeldes erfolgt, ist noch nicht nachgewiesen. Die Altstörche folgen den Jungstörchen in der Regel einige Tage später auf denselben Zugrouten (Schmalfrontzieher).

Je nach Geburtsort fliegen die Weißstörche über zwei verschiedene Zugrouten in ihre Winterquartiere. Ihre Routen sind von der Vermeidung des Zuges über das Meer bestimmt, das sie wegen der fehlenden Thermik möglichst meiden (zum Segelflug des Storches s. unten).

Die Mehrheit der deutschen Weißstörche sind so genannte Ostzieher, d. h. sie ziehen aus ihren Brutgebieten nach Südosten, sammeln sich in Ungarn und Rumänien zu großen Trupps und fliegen dann gemeinsam über den Bosphorus in den Nahen Osten und von dort in den Sudan. Diese Strecke von ungefähr 4500 km legen sie in ca. 20 Tagen zurück. Dabei kommen sie in Europa auf durchschnittliche Tagesflugleistungen von 220 km pro Tag, auf der Strecke durch

den Mittleren Osten sind es durchschnittlich 275 km pro Tag und in Nordafrika durchschnittlich 290 km pro Tag. An manchen Tagen wurden bei Störchen, die Sender trugen, Flugleistungen von mehr als 500 km festgestellt (Kaatz, 2005 pers. Mitteilung). Die Störche legen diese Strecke also in relativ kurzer Zeit zurück. Nur bei schlechtem Wetter werden kurze Rastpausen eingelegt, wobei aktuelle Untersuchungen zeigen, dass die Störche auf ihrem Zug relativ wenig fressen und auch zum Übernachten in der Wüste ohne Nahrung und Wasser fähig sind (Berthold & Querner, 2002). Im Norden des Sudans angekommen, legen die Störche eine mehrwöchige Zwischenrast ein. Ein Teil der Störche bleibt den ganzen Winter über in dieser Region, andere ziehen nach einer Ruhepause auf getrennten Wegen in kleinen Verbänden oder allein weiter in ihre Überwinterungsgebiete nach Tansania und Südafrika. Dabei ziehen die Störche entlang der großen Flüsse, die ihnen meist noch gute Rast- und Nahrungsmöglichkeiten bieten. Je nach Überwinterungsgebiet legen die Störche bis zu 10 000 km zurück, um vom Brutgebiet ins Überwinterungsgebiet zu kommen.

Die Störche Südwestdeutschlands nehmen gemeinsam mit ihren Artgenossen aus Frankreich, Spanien und der Schweiz die westliche Zugroute über Gibraltar und die Sahara, um in der westafrikanischen Sahelzone zwischen Senegal und dem Tschad den Winter zu verbringen. Einige Störche bleiben allerdings in Südspanien, wo sie auf offenen Mülldeponien ausreichend Nahrung finden.

Mitte bis Ende Januar beginnt für die Brutpaare die Phase des Rückflugs ins Brutgebiet, diese Strecke legen die Störche in aller Regel in deutlich kürzerer Zeit (ca. 6 Wochen) als den Hinweg zurück (Schulz, 1993). Noch nicht geschlechtsreife Jungstörche ziehen in den ersten Jahren meist nicht in ihr Sommerquartier, sondern bleiben in Afrika. Im Alter von ca. 3 Jahren kehren sie erstmals ins Brutgebiet zurück, brüten aber meist erst im Alter von 4 bis 5 Jahren (Schulz, 1993).

Der Storch, ein Segelflieger

Störche legen als Langstreckenzieher lange Wege zurück, je nach Überwinterungsgebiet kann die Entfernung - wie bereits erwähnt - bis zu 10 000 km betragen. Bei der Größe und dem Gewicht des Storches wäre der aktive Ruderflug zu energieaufwendig. Der Storch hat sich stattdessen auf den Segelflug spezialisiert, mit dem er energiesparend große Distanzen überwinden kann.

Die Vögel nutzen Aufwinde, die sich über erwärmten großen und offenen Landmassen bilden. Sie lassen sich dabei von der Thermik durch Kreisen an einer solchen Stelle in Höhen von bis zu 4 000 m tragen und segeln anschließend in Zugrichtung bis zum Fuß der nächsten Thermik, in der sie wieder aufsteigen. Die Überquerung von Wüsten ist deshalb für den

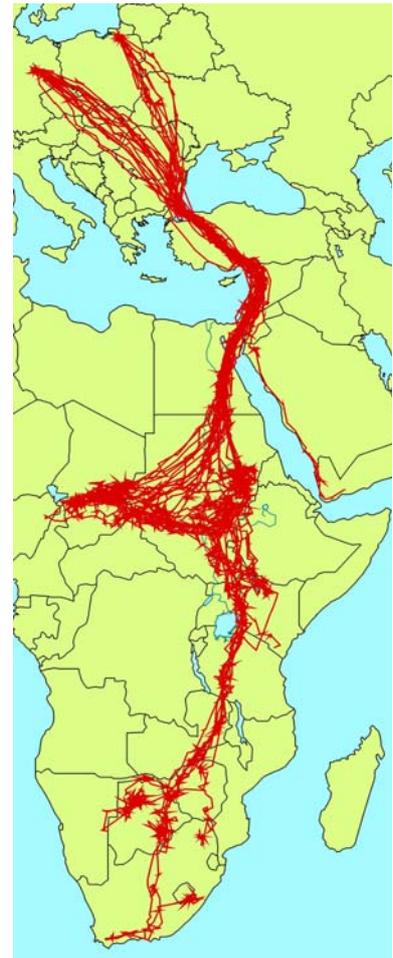


Abbildung 29: Die Ostroute des Weißstorchs.

(Vogelwarte Radolfzell, 2005)

Storch möglich, nicht aber das Überfliegen der Meere, denn auf großen Wasserflächen entsteht keine Thermik, sodass der Storch diese Gebiete mit anstrengendem Ruderflug überqueren müsste. Die Zugrouten des Storches sind daher von einer konsequenten Meidung großer Wasserflächen geprägt und stellen einen Schmalfrontzug dar. Wegen des Segelfluges ist der Storch auch ein Tagzieher, der erst beim Nachlassen der Aufwinde am Nachmittag auf einem Rastplatz einfällt.

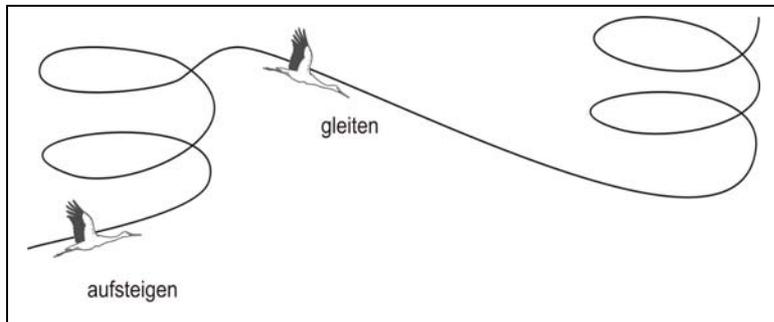


Abbildung 30:
Technik des Segelfluges

Bestandsentwicklung und Gefährdungen

Die Bestandsentwicklung des Weißstorches ist seit Anfang des letzten Jahrhunderts gut dokumentiert. Während der Bestand 1934 noch 9 034 Brutpaare in Deutschland umfasste, brach er in den folgenden Jahrzehnten drastisch ein und führte zu einem Tiefpunkt in den achtziger Jahren des 20. Jahrhunderts mit Bestandszahlen von unter 3 000 Brutpaaren. Seit Anfang der neunziger Jahre ist ein langsamer Aufwärtstrend zu verzeichnen (vgl. Abbildung 30).

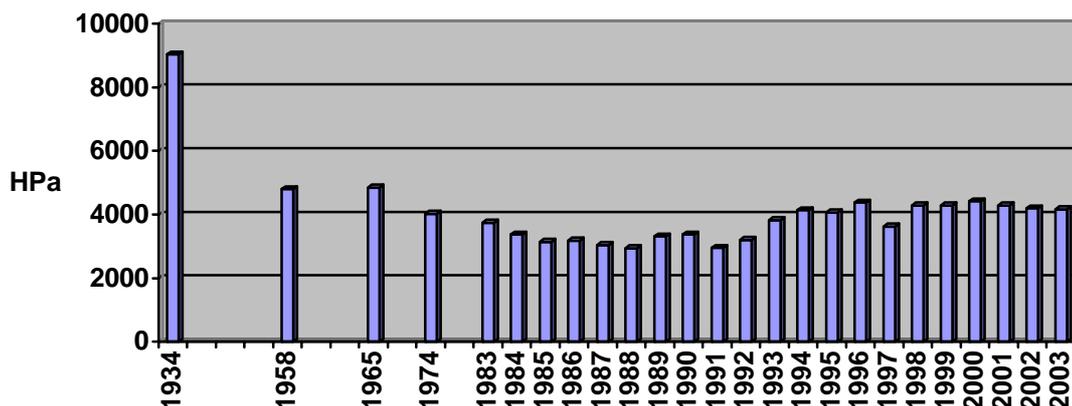


Abbildung 31: Bestandsentwicklung des Weißstorches in Deutschland von 1934 bis 2003
HPa: Anzahl Horstpaare. Daten aus Kaatz, 2004

Die allgemeine Bestandsentwicklung für Deutschland verdeckt jedoch die regional sehr verschiedenen Entwicklungstendenzen. Während in den westlichen Bundesländern die Anzahl der Brutpaare immer noch rückläufig ist, ist der Gesamtanstieg vor allem den Beständen in

östlichen Bundesländern zu verdanken. Fachleute sehen darin den Populationsdruck stark besiedelter Weißstorchgebiete in den östlichen Kerngebieten (u. a. Polen, Estland) (Thomsen, Dziwiaty, & Schulz, 2001). In weiten Teilen Deutschlands sind die Lebensbedingungen für den Weißstorch immer noch unbefriedigend, so dass sein Reproduktionserfolg nicht ausreicht, um die natürlichen Verluste auszugleichen (Thomsen, Dziwiaty, & Schulz, 2001).

Gründe für den Bestandsrückgang

Als Hauptgrund für den Rückgang des Weißstorches wird der Verlust von unbeeinflussten Lebensräumen in Flussauen und Niederungen angeführt (Thomsen, Dziwiaty, & Schulz, 2001; Schimkat & Bäßler, 2001). Wie eingangs dargestellt, ist der Weißstorch auf offene Flächen mit flachem Bewuchs angewiesen, die ein ausreichend breites Beutetierspektrum bieten. Vor allem die intensive Bodennutzung auf Flächen, die Anfang des letzten Jahrhunderts noch nicht bewirtschaftet werden konnten, spielt bei der Einschränkung des Lebensraumes für den Weißstorch eine große Rolle. Maßnahmen, denen eine besondere Bedeutung zugeschrieben wird, sind z. B. das Trockenlegen vieler Feuchtgebiete durch wasserbauliche Maßnahmen und ihre Umwandlung in Feldflächen, die Begradigung und der Ausbau von Flüsse und Bäche, womit die periodische Überschwemmung von Auen und Flussniederungen verhindert wird. Grünland wird intensiv mit wenigen Grassorten und hohem Düngereintrag bewirtschaftet, so dass sich auch in diesen eigentlich gut geeigneten Habitaten die Nahrungsgrundlage des Storches vermindert. Die erwähnten Maßnahmen führen zu einer schleichenden Bestandsabnahme, die sich in immer geringerem Bruterfolg ausdrückt. Es ist allerdings in diesem Zusammenhang zu bedenken, dass der Weißstorch in Nordwestdeutschland und Dänemark am nordwestlichen Rand seines Verbreitungsgebietes ungünstigeren Witterungsbedingungen unterliegt und somit der Reproduktionserfolg schon aus diesem Grund negativ beeinflusst wird. Zumindest für Schleswig-Holstein kann nach Thomsen, Dziwiaty, & Schulz (2001) festgestellt werden, dass der Gesamtbruterfolg in den dreißiger und vierziger Jahren, als der Weißstorch in Schleswig-Holstein noch in wesentlich höherer Dichte brütete, mit durchschnittlich 1,85 Juvenilen pro Brutpaar auch nicht den zum Bestandserhalt notwendigen Wert von 2,08 Jungtieren erreichte.

Die Witterungsbedingungen wirken sich auch in Kernverbreitungsgebieten auf den Bruterfolg aus. In Untersuchungen zum Einfluss von Standortparametern wiesen Thomsen, Dziwiaty, & Schulz (2001) nach, dass sowohl die Niederschlagsmenge, als auch die Anzahl Tage mit kontinuierlichem Niederschlag einen signifikant negativen Einfluss auf den Bruterfolg des Weißstorchs haben. Umgekehrt hat die Sonnenscheindauer einen signifikant positiven Einfluss. Der niedrige Bruterfolg in den regenreichen Gebieten dürfte dabei in erster Linie durch direkten Jungvogelverlust bedingt sein. Die Jungvögel im Alter von 2-3 Wochen besitzen noch kein dichtes Federkleid, sind aber schon zu groß um von den Altvögeln gehudert zu werden. Bei Durchnässung verlieren sie Energie durch Verdunstung von Wasser und unterkühlen daher schnell.

Gefährdung flügger Störche im Brutgebiet und auf dem Zug

Unter den erwachsenen Störchen sind die Kollision mit Freileitungen und der Stromschlag beim Anflug auf einen ungesicherten Strommast die häufigste Todesursache. Auf Unfälle an

Freileitungen werden 70% aller bekannten Todesfälle in Europa zurückgeführt (Fiedler & Wissner, 1980, Sossinka & Ballasus, 1997). In vielen Ländern gibt es Bemühungen um die Entschärfung dieser beliebten Landeplätze, die aber wegen der Kosten nur langsam vorankommen. Neben dem Tod durch Stromschlag, der vor allem Störche im Brutgebiet betrifft, sind die Störche auf dem Zug weiteren Gefährdungen ausgesetzt, die zum Teil zu erheblichen Verlusten führen.

So ergaben Satellitentelemetrieforschungen 1990, dass auf dem Herbstzug 14 % der adulten Störche und 72 % der Jungstörche starben. Die Gründe sind vielfältig und regional verschieden: In Westafrika hat der Abschuss einen bedeutenden Einfluss auf die recht kleine Population der Westzieher; die erheblichen Verluste durch Bejagung in Libanon, Syrien und im Sudan wirken sich jedoch auf die viel größere Population nur relativ wenig aus.

Einen erheblichen Einfluss haben dagegen anhaltende Dürreperioden, die aus Landstrichen, die ehemals bedeutende Winterquartiere waren, Wüsten gemacht haben (Schulz, 1988). Auch Kälteeinbrüche gefährden die ziehenden Störche, und Unwetter auf dem Zug können zu erheblichen Schäden (z. B. Verletzungen durch Hagelschlag) oder zu Verdriftungen führen.

Auch der Bevölkerungsanstieg führt zu veränderter Landnutzung und zum Teil Übernutzung, der sich in einem Verlust geeigneter Lebensräume für den Weißstorch auswirkt. Betroffen sind aber nicht nur die Lebensräume, sondern auch die Nahrung des Storches. Die zunehmende Bekämpfung der Heuschreckenplagen und anderer Schädlinge in Kulturlflächen, die dem Storch reichliche Beute bescherten, hat möglicherweise bedeutenden Einfluss auf den Rückgang des Storches.

Gleichzeitig erschließen sich viele Störche neue Nahrungsquellen wie z. B. offene Müllkippen in Spanien oder Israel. Das Nahrungsangebot ist dort so gut, dass ein Teil der Vögel den Zug in diesen Gebieten abbricht und überwintert, was allerdings mit einem hohen Vergiftungs- und Verletzungspotential einhergeht.

2.7.2 Fachdidaktische Begründung der Unterrichtskonzeption

Die vorliegende Arbeit steht im Zusammenhang mit der Einführung des fächerübergreifenden bzw. fächerverbindenden Themas „System Erde“ in den Unterricht der Naturwissenschaften in der Schule. Dazu wurden in einem gesonderten Projekt des IPN, Kiel, Unterrichtsmaterialien entwickelt und erprobt, anhand derer Schülerinnen und Schüler den Systemcharakter des Planeten Erde erarbeiten können und befähigt werden, Maßnahmen der Nutzung und des Schutzes zu beurteilen (Bayrhuber et al., 2002).

Die vorliegende Arbeit stellt einen grundlegenden Beitrag zur Bearbeitung des Themas in der Grundschule dar, indem die Systemkompetenz von

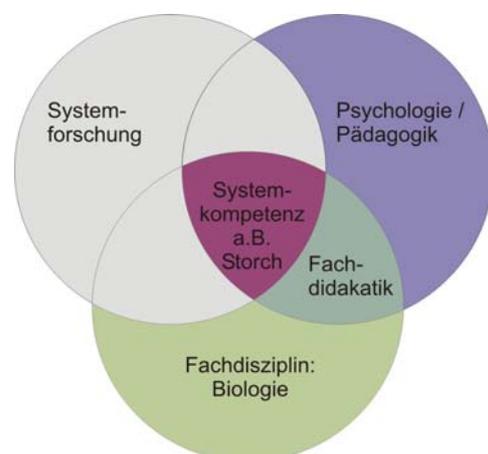


Abbildung 32: Einordnung des Themas in den Gesamtaufbau der Arbeit

Grundschulern unterrichtet wird. Dazu wurden als Grundlage der Forschungsarbeit von der Verfasserin Unterrichtsmaterialien entwickelt, die sich an den Leitideen des Projektes orientieren. In der folgenden didaktischen Analyse soll die Auswahl des hier als Forschungsgrundlage verwendeten Themas „System Storch“ begründet werden.

Dazu werden auf der Grundlage der Zielsetzung des Projektes in der Grundschule die fachwissenschaftlichen Rahmenbedingungen der Erforschung des Systems Erde analysiert und die Kriterien der Themenwahl und Vermittlungsformen begründet.

Zielsetzung des Projektes „System Erde“ in der Grundschule

Im Projekt „System Erde“ sollen die Schülerinnen und Schülern ein Grundverständnis von Bau und Funktion des sich ständig wandelnden Planeten Erde entwickeln, das sie befähigt, am allgemeinen Diskurs über die weitere Entwicklung des Planeten sowie seine Nutzung und seinen Schutz aktiv teilzuhaben. Dies erfordert ein interdisziplinäres Denken.

In der Primarstufe sollen diese Fähigkeiten angebahnt werden. Im Sachunterricht der Grundschule sollen dazu naturwissenschaftliche Inhalte im Kontext der Geowissenschaften erarbeitet werden. Von der Lebenswelt der Schüler ausgehend, soll ein Verständnis naturwissenschaftlicher Basiskonzepte aufgebaut werden. Dadurch sollen die Kinder befähigt werden, einfache biologische, chemische, geologische und physikalische Zusammenhänge zu erschließen, um Naturphänomene in ihrer Umwelt zu deuten.

Fachwissenschaftliche Rahmenbedingungen

Gegenstand des Projektes ist das „System Erde“ mit den in seinem Inneren und an der Oberfläche ablaufenden Prozessen. Dazu gehören auch die Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen Lithosphäre, Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre. Die Untersuchung des Systems Erde erfolgt in der Forschung mit biologischen, chemischen, geologischen und physikalischen Methoden. Diese Ansätze umfassen einen weiten Bereich räumlicher und zeitlicher Skalen: von der globalen Beobachtung des Planeten aus dem Weltraum bis zur Analyse von Kristallgittern auf atomarer Ebene und von geologischen Zeiträumen der Bildung von Gebirgen bis zu Erdbeben in Mikrosekunden. Dementsprechend wird in der Forschung ein breites Spektrum an Methoden und Techniken eingesetzt.

Die dargestellten Inhalte und Methoden erfordern für ihre Vermittlung in der Primarstufe eine didaktische Rekonstruktion. Kattmann et al. (1997) verstehen darunter nicht nur die Reduktion komplexer Inhalte und Verfahren in Bezug auf die Lernvoraussetzungen und Lernfähigkeiten der Lernenden, sondern auch die Berücksichtigung der fachlichen und fachübergreifenden Bezüge, aus denen der Lerngegenstand in der Wissenschaft oft herausgelöst wird. Gemeint ist damit die Einbettung der Sachverhalte in umweltliche, gesellschaftliche und individuelle Zusammenhänge, um ihre Bedeutung für das Leben des Einzelnen in der Gesellschaft und der gesamte Biosphäre zu verdeutlichen (Eschenhagen et al., 1996).

Das Ergebnis der didaktischen Rekonstruktion sind hier Leitideen für die Entwicklung von Unterrichtsmaterialien für die Primarstufe.

Leitideen der Unterrichtsmaterialien für die Primarstufe

Für die Entwicklung von Unterrichtsmaterialien für die Primarstufe wurden die folgenden Leitideen erarbeitet (Rieck & Bayrhuber, 2004):

1. Systemischer Ansatz

Darunter wird die grundschulgemäße Vermittlung eines basalen Verständnisses der Erde als System unter Berücksichtigung der Teilsysteme Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre.

2. Stärkung des naturwissenschaftlichen Unterrichts in der Grundschule

Darunter wird die grundschulgerechte Einführung in die folgenden naturwissenschaftlichen Basiskonzepte und naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen verstanden.

Zu den Basiskonzepten, die eine Auswahl wesentlicher fachlicher Konzepte der Biologie, Chemie, Geowissenschaften und Physik darstellen, zählen: die Vermittlung der Kennzeichen des Lebendigen, ein Verständnis von Stoffeigenschaften und Stoffumwandlungen, Vorstellungen zur Dynamik der Erde und eine Heranführung an die Regelmäßigkeit physikalischer Phänomene.

Zu den naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen, die im Projekt besonders gefördert werden sollen, gehören: das beschreibende Beobachten, das kriteriengeleitete Vergleichen, das hypothesengeleitete Experimentieren und die Sicherung und Darstellung von Ergebnissen.

3. Bildung für eine nachhaltige Entwicklung

Im Sinne der Agenda 21 wird hier die grundschulgemäße Berücksichtigung von Aspekten des Schutzes und der Nutzung der Erde in den Unterrichtsmaterialien umgesetzt. Grundgedanke ist, dass nachhaltige Nutzung der Erde, Schutz unserer Lebensgrundlagen und Verständnis für die Zusammenhänge von einander abhängige Parameter darstellen, die für die weitere Entwicklung des Systems Erde von entscheidender Bedeutung sind.

Diese Leitideen flossen in die Entwicklung von 11 verschiedenen Unterrichtsmodulen ein, die unterschiedliche inhaltliche und methodische Schwerpunkte setzen. Die Unterrichtsmaterialien zum Thema Weißstorch, auf die sich diese Arbeit stützt, stellen eines dieser Module dar.

Inhalte und Methoden des Unterrichts zum „System Storch“

Im Sachunterricht der Grundschule werden Tierarten häufig im Zusammenhang mit einzelnen biologischen Aspekten wie z. B. Winterschlaf vorgestellt oder Artenkunde in beschreibender Form durchgeführt. Der Unterricht zum Thema „System Storch“ hatte zum Ziel, die Grundlagen für ein systemisches Verständnis der Lebensbedingungen des Storches zu vermitteln und den Schülern daran exemplarisch einen Eindruck von den vielfältigen Verbindungen eines Lebewesens mit seiner Umwelt zu verschaffen.

Der Weißstorch bietet sich in diesem Zusammenhang insbesondere deshalb an, weil es sich bei ihm um eine Tierart handelt, die zum einen zahlreiche Beziehungen auf verschiedenen

Ebenen zu ihrer Umwelt hat, die sich auf Zugvögel, alle Vögel oder Tiere verallgemeinern lassen. Darüber hinaus unterhält der Weißstorch sehr viele und spezielle Beziehungen, die auf seine besondere Lebensweise zurückzuführen sind. Dazu gehören insbesondere die Abhängigkeiten von den Bedingungen in zwei weit von einander entfernten Ökosystemen, die der Storch mit seinem Zug verbindet, aber auch die besonderen Anpassungen in der Lebensweise, z. B. sein naher Anschluss an den Menschen.

Ein weiteres Kriterium zur Auswahl des Storches ist sein Bezug zur Erfahrungswelt der Kinder. Die herausragende Bedeutung, die der Weißstorch unter den Vögeln für den Menschen spielt, spiegelt sich in der Vielzahl an Bildern und Geschichten, die von ihm gibt. So zählt der Storch zu den bekanntesten Tierarten, und Grundschüler haben in aller Regel schon Darstellungen und Geschichten über ihn gesehen und gehört. Gleichzeitig ist er wohl den wenigsten Kindern aus direkter Anschauung bekannt, und das Wissen um die Biologie des Storches geht über Bruchstücke nicht hinaus.

Es bieten sich daher sowohl Anknüpfungspunkte als auch zahlreiche Gelegenheiten zur Erweiterung des Wissens der Kinder an.

Die Materialien zum Thema „Weißstorch“ sollen einen möglichst umfassenden Eindruck von den Beziehungen des Weißstorchs zu seinen Umwelten liefern. Dabei sollen sowohl biotische als auch abiotische Faktoren berücksichtigt werden, da über letztere der Bezug zu den physikalischen und geowissenschaftlichen Zusammenhängen (s. Basiskonzepte) hergestellt wird. Auch werden die Einflüsse des Menschen auf den Storch und umgekehrt thematisiert und über Bestandsentwicklungen Schutzmaßnahmen angesprochen.

Der systemische Ansatz beruht in diesem Kapitel auf einer Darstellung und Vermittlung der genannten Zusammenhänge im konkreten Bezug auf den Weißstorch. Die systemischen Aspekte werden dabei indirekt vermittelt. Auf ein explizites Systemtraining im Sinne einer Einführung in die Systemtheorie und dem entsprechenden Methodentraining wird –nicht zuletzt in Anbetracht des Alters der Zielgruppe – verzichtet. Mit Hilfe des erarbeiteten Wissens um die Zusammenhänge sollen die Kinder aber in die Lage versetzt werden, die systemischen Strukturen selbst zu erkennen bzw. herzustellen.

Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen finden in allen Formen Berücksichtigung. Der Unterricht wird so aufgebaut, dass insbesondere kriterienbezogenes Vergleichen, z. B. verschiedener Vögel unter Gesichtspunkten der Nahrungswahl und des Zugverhaltens und hypothesengeleitetes Experimentieren, z. B. zur Isolierungswirkung von verschiedenen Federn, eingebunden werden. Beschreibende Beobachtungen des realen Objektes in seiner natürlichen Umwelt sind aufgrund der Seltenheit des Weißstorches nur in wenigen Fällen möglich, durch geeignete Darstellungen wird dies aber vermittelnd möglich.

Eingesetzte Methoden

Im Unterricht zum Thema „Weißstorch“ werden neue Medien und das Concept mapping, d. h. das Zeichnen von Begriffslandkarten eingesetzt. Die zuletzt genannte Methode gilt nicht nur als ein geeignetes Mittel zum Testen von Wissensstrukturen, sondern dient auch dazu, komplexe Sachverhalte zu strukturieren und zu erlernen.

Neue Medien werden unter anderem in Form von Internetrecherchen gemacht. Dadurch werden Daten, die in ihrer Menge und Aktualität nicht mit herkömmlichen Materialien zu bieten sind, zugänglich gemacht. So können z. B. zu den Zugzeiten tagesaktuelle Standortangaben zu besenderten Störchen über das Internet abgerufen und der Zug einzelner Individuen genau verfolgt werden. Auf diese Weise werden Angaben zum Vogelzug in Form von Texten und Tabellen durch eigene Recherchen der Schülerinnen und Schüler ergänzt.

Darüber hinaus wurde als Ergänzung zum genannten Unterrichtsmaterial von der Verfasserin ein Computerlernspiel entworfen. Es bietet die Möglichkeit, die im Unterricht erarbeiteten Zusammenhänge in spielerischer Form aufzuarbeiten, das Verständnis zu vertiefen und das Wissen zu sichern.

Das Computerlernspiel bietet im ersten Teil einen Überblick über die verschiedenen Phasen im Leben eines Storches und ermöglicht ein erkundendes Entdecken der wichtigsten Faktoren. Dabei wird versucht, die Abhängigkeiten dieser Faktoren von anderen Elementen zu verdeutlichen, so dass sich auch im Spiel viele Zusammenhänge erarbeiten lassen. Zwischen den einzelnen Lebensphasen des Storches, die sich im Spiel als komplexe Aufgaben wiederfinden, sind Aufarbeitungs- und Sicherungsphasen eingebaut, in denen die Kinder die erarbeiteten Zusammenhänge zusammenfassend darstellen sollen.

Im zweiten Teil des Spiels soll aus den im Spiel gesammelten Informationen eine Begriffslandkarte erstellt werden. Dazu wurde ein Zeichentool entworfen, das den geleiteten Entwurf einer Begriffslandkarte ermöglichen soll.

Das Computerspiel liefert eine weitere Zugangsmöglichkeit zum Thema. Wie aus der Unterrichtsforschung bekannt ist, fördern verschiedene Zugänge zu einem Thema sowohl die Verständnistiefe als auch die Transfermöglichkeiten auf andere Gebiete (Bransford et al., 1999).

Lernfördernde Erkenntnisse aus der Multi-Media-Forschung wurden genutzt, um eine möglichst optimale Kombination von geschriebenen und gesprochenen Textelementen sowie Animationen zu erreichen. Unter Berücksichtigung von Mayers „cognitive theory of multimedia learning“ (Mayer, R. E., 2001) wechseln sich daher im Computerspiel geschriebene und gesprochene Textelemente mit Animationen und gesprochenem Text ab und es werden Notizen in Form von kleinen Faktenwiederholungen gemacht.

Zugleich bietet ein Computerspiel die Möglichkeit, trotz des fehlenden Kontakts der Schüler zum realen Objekt einen emotionalen Bezug zum Weißstorch hervorzurufen.

Auch fördert der spielerische Zugang die Motivation und das Interesse der Schüler.

In der Frage nach dem schulpädagogischen Einsatz von möglichst realen Objekten im Gegensatz zu abstrakten Darstellungsformen gilt die „Realismusthese“ mittlerweile als überholt. Auf der Basis theoretischer Überlegungen zur kognitiven Repräsentation der zu lernenden Sachstruktur, nach der unser Wissen relativ abstrakt in hierarchischen Strukturen und Bedeutungsnetzwerken abgebildet ist (s. Kapitel 2.2.3.1), kommen neuere Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass Grundschüler mit abstrakteren Darstellungsformen

sowohl beim Begriffslernen als auch bei höheren Denkopoperationen tendenziell bessere Leistungen erbringen (Einsiedler, 2002). Auch in den Untersuchungen von Martschinke (1996) zeigt sich, dass elaborierte externe Modelle, die Bilder und logische Strukturen enthalten, die Bildung mentaler Modelle unterstützen. Wygotski (nach Einsiedler, 2002) sieht es als Aufgabe der Schule an, wissenschaftliche Begriffe anstatt von Alltagsbegriffen zu vermitteln und das *symbolische Verständnis zu fördern*. Dies sind die Gründe dafür, die Methode des Concept mapping im Unterricht einzusetzen.

3 Fragestellung und Hypothesen

In den Kapiteln 2.2 und 2.4 wurde der Stand der Forschung zum Systemdenken bzw. zur Systemkompetenz dargestellt. Die bisherige Forschung zeigt, dass es sich beim systemischen Denken um einen Fähigkeitskatalog handelt, der auch in Form einer Kompetenz beschrieben werden kann. Bisherige Untersuchungen zur Systemkompetenz beschäftigen sich allerdings mit älteren Schülern oder Erwachsenen, zur Systemkompetenz von Grundschulern ist wenig bekannt. Mit der vorliegenden Studie wird daher ein wenig erforsches Gebiet betreten. Es ergibt sich daher für die Untersuchung von Systemkompetenz bei Grundschulern die folgende explorative Forschungsfrage.

1. Forschungsfrage:
Zeigen Grundschüler Systemkompetenz?

Zur Beantwortung dieser Frage wurde ein theoretischer Bezugsrahmen entwickelt (vgl. Kapitel 2.5). Darin sind zu unterscheidende Teilkompetenzen der Systemkompetenz beschrieben. Diese dienen als Basis zur Konkretisierung der Forschungsfrage 1 in Teilfragen („Untersuchungsfragen“, s. Abbildung 32).

Da diese Fragen explorativen Charakter haben, werden zu Forschungsfrage 1 keine vermuteten Antworten (Hypothesen) formuliert.

Systeme	Systemmerkmale	Komponenten der SYSTEMKOMPETENZ		UNTERSUCHUNGSFRAGEN
Organisation	Elemente	Modellbildung	wesentliche Systemelemente identifizieren und durch Beziehungen verknüpfen	Können Grundschüler die wesentlichen Systemelemente des Systems Storch identifizieren und durch Beziehungen verknüpfen?
	Beziehungen			
	Verknüpfungen		Systemgrenzen sowohl erkennen als auch sinnvoll ziehen können	Können Grundschüler die Systemelemente und ihre Beziehungen im System Storch in einem Bezugsrahmen organisieren und dabei sinnvolle Grenzen ziehen?
	Identität		Systemelemente und ihre Beziehungen in einem Bezugsrahmen organisieren	
Eigenschaften	Integrität		zwischen Eigenschaften des Systems und Eigenschaften der Elemente unterscheiden	Können Grundschüler im System Storch zwischen Eigenschaften des Systems und Eigenschaften der Elemente unterscheiden?
	Dynamik		dynamische Beziehungen erkennen	Können Grundschüler im System Storch dynamische Beziehungen erkennen?
			Folgen von Veränderungen vorhersagen	Können Grundschüler im System Storch die Folgen von Veränderungen vorhersagen?
	Wirkungen		verschieden komplexe Wirkungen in einem System beurteilen können	Können Grundschüler im System Storch verschieden komplexe Wirkungen beurteilen?
			Rückwirkungen erkennen und beschreiben können	Können Grundschüler im System Storch Rückwirkungen erkennen und beschreiben?

Abbildung 33: Ableitung der Forschungsfragen aus dem theoretischen Bezugsrahmen

Betrachtet man Systemkompetenz als eine im Unterricht zu vermittelnde oder erlernbare Fähigkeit, so kann man den Erwerb von Systemkompetenz als einen Lernprozess bezeichnen. Aus der Forschung sind verschiedene Voraussetzungen auf Seiten des Schülers und der Lernsituation bekannt, die sich auf den Lernprozess und sein Ergebnis auswirken können. Dazu gehören kognitive und motivationale, aber auch emotionale und soziale Voraussetzungen. In Kapitel 2.6 wurde der Einfluss der genannten Faktoren auf einen Lernprozess theoretisch erörtert.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich die folgende Forschungsfrage.

2. Forschungsfrage:

Von welchen Voraussetzungen auf Seiten des Schülers und der Lernsituation wird der Erwerb von Systemkompetenz beeinflusst?

Zu den **motivationalen Faktoren**, die sich auf einen Lernprozess und das Lernergebnis auswirken können, zählen das situationale Interesse und das individuelle Interesse der Person (s. Kapitel 2.6.1).

Krapp (1992) stellt in seinem Variablenmodell theoretische Zusammenhänge zwischen Interesse, Lernen und Leistung dar. Dabei wirken sich das individuelle und situationale Interesse positiv zum einen über allgemeine lernrelevante Orientierungen (wie Lerntechniken) und zum anderen über psychische Prozesse und auf das Lernen bezogene Verhaltensweisen (wie kognitive Verarbeitungsprozesse und Aufmerksamkeit) auf die Lernleistungen aus (vgl. Krapp, 1992).

Diese Effekte sollten sich auch in der vorliegenden Studie wiederfinden lassen.

⇒ **Hypothese 1:** Kinder mit einem höheren situationalen Interesse zeigen als Lernergebnis eine höhere Systemkompetenz als Kinder mit einem niedrigeren situationalen Interesse.

⇒ **Hypothese 2:** Kinder mit einem höheren individuellen Interesse zeigen als Lernergebnis eine höhere Systemkompetenz als Kinder mit einem niedrigeren individuellen Interesse.

Für den Bereich der **kognitiven Faktoren** wurde der Einfluss von Vorwissen im Kapitel 2.6.2 theoretisch dargestellt. Dabei wurde auf die zahlreichen empirischen Befunde verwiesen, die das *fachspezifische* Vorwissen als den wichtigsten Einflussfaktor auf das Lernen und Problemlösen ermittelten (Duit, 1997). Auf der Ebene der Informationsverarbeitung im Gedächtnis beschreibt Steiner (2001) Prozesse, die die Bedeutung des Vorwissens für den Wissenserwerb erklären (vgl. Kapitel 2.6.2.1). Dabei zeigt sich, dass das Vorwissen zum einen als Basis des schon vorhandenen Wissens, auf das zurückgegriffen werden kann, zum anderen als Anknüpfungspunkt für neues Wissen von Bedeutung ist. In den zitierten Befunden zum Einfluss des Vorwissens beeinflusst das fachspezifische Vorwissen ein fachspezifisches Lernprodukt. In der vorliegenden Studie wird aber kein „klassisches“ Lernprodukt untersucht. Das Lernprodukt Systemkompetenz besteht aus zwei

Komponenten, zum einen das fachspezifische biologische Wissen, zum anderen die auf diesem inhaltlichen Wissen aufbauende Systemkompetenz. Die beiden Bestandteile sind miteinander verbunden, da sich Systemkompetenz nicht inhaltsfrei untersuchen lässt.

Daher gliedert sich auch der mögliche Einfluss von Vorwissen in dieser Untersuchung in zwei Bereiche: zum einen in das fachspezifische biologische Vorwissen und zum anderen in das bereichsspezifische systemische Vorwissen. Beide Formen des bereichsspezifischen Vorwissens sollten nach der in Kapitel 2.6 vorgestellten allgemeinen Theorie zur Beeinflussung des Lernprozesses (Wild, Hofer, & Pekrun, 2001) einen Einfluss auf die Systemkompetenz mit ihrer speziellen biologischen Grundlage haben. Abbildung 33 beschreibt die Zusammenhänge, aus denen die Hypothesen abgeleitet werden, grafisch. Der grau dargestellte Pfeil bezeichnet einen „klassischen“ Einfluss von bereichsspezifischem Vorwissen auf das erlernte Wissen, dieser Zusammenhang wurde hinreichend nachgewiesen und soll nicht Untersuchungsgegenstand sein.

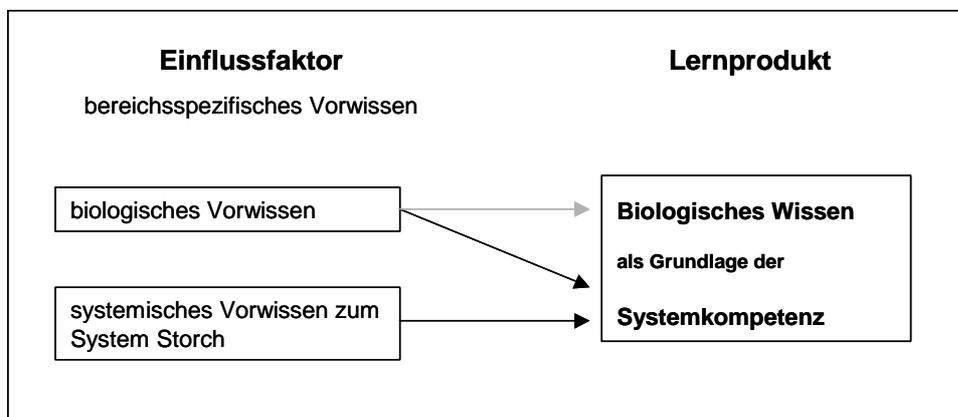


Abbildung 34: Darstellung der vermuteten Zusammenhänge zum Einfluss des bereichsspezifischen Vorwissens auf die Systemkompetenz

⇒ **Hypothese 3:** Kinder mit einem höheren biologischen Vorwissen zeigen als Lernergebnis eine höhere Systemkompetenz.

⇒ **Hypothese 4:** Kinder mit einem höheren bereichsspezifischen systemischen Vorwissen zum System Storch zeigen als Lernergebnis eine höhere Systemkompetenz.

Als weiterer kognitiver Faktor, der sich auf den Lernprozess und das Lernergebnis auswirkt, wurde der Einfluss der Intelligenz im Kapitel 2.6.3 theoretisch dargestellt.

Dieser Einfluss wird durch die mittelhohen Korrelationen zwischen Intelligenz und Schulleistungen belegt (Süß, 1996 aus Wild, Hofer, & Pekrun, 2001). Auch wenn verschiedene Studien (u. a. Chi, 1978) zeigen, dass das domänenspezifische Wissen intelligenzbedingte Unterschiede von Lernenden kompensieren kann, wird Intelligenz als eine wichtige Voraussetzung für das Erkennen und effektive Einsetzen von Algorithmen angesehen. Wild, Hofer, & Pekrun, (2001) beschreiben, dass Expertise in einem bestimmten

Gebiet daher sowohl ein gewisses Maß an Intelligenz als auch ein breites domänenspezifisches Vorwissen voraussetze.

Aus den in Kapitel 2.6.3 dargestellten Gründen wird in dieser Studie die Fähigkeit zum abstrakten Denken als der Ausschnitt der Intelligenz angesehen, der sich auf die hier getesteten Komponenten der Systemkompetenz auswirken sollte. Die Hypothese zur Untersuchung des Zusammenhangs von Systemkompetenz und Intelligenz bezieht sich daher auf das abstrakte Denkvermögen.

⇒ **Hypothese 5:** Kinder mit einer höheren Fähigkeit zum abstrakten Denken zeigen als Lernergebnis eine höhere Systemkompetenz.

Die Hypothesen 3 und 4 beziehen sich auf die Wirkung von bereichsspezifischem Vorwissen auf das Lernen. Es ist weiterhin denkbar, dass auch bereichsübergreifendes Vorwissen eine Wirkung auf das Lernen haben kann. Dies würde bedeuten, dass sich die Systemkompetenz von einem Gegenstandsbereich auf einen anderen übertragen ließe.

Die Frage nach der Bereichsspezifität oder Bereichsunabhängigkeit von Systemkompetenz lässt sich aus den bisherigen Forschungsergebnissen nicht eindeutig beantworten. Die Befunde der Expertiseforschung (vgl. Kapitel 2.6.2.2.1) zeigen, dass die besonderen Fähigkeiten eines Experten an einen bestimmten Bereich gebunden sind (Chi, 1978; Schneider et al., 1993). Betrachtet man den Erwerb von Systemkompetenz in einem bestimmten Gebiet als einen Erwerb von Expertise, so sollte sich diese Fähigkeit in der Auffassung der Expertiseforschung nicht auf andere Inhaltsbereiche übertragen lassen.

Dieser Auffassung gegenüber stehen theoretische Überlegungen von Klieme, Stanat, & Artelt (2001), die Systemkompetenz als eine bereichsübergreifende Kompetenz zum Problemlösen beschreiben (vgl. Kapitel 2.6.2.2.2). Diese Fähigkeit soll u. a. auf neuartige Anforderungssituationen übertragbar sein und sich als allgemeine Fähigkeitsdimension identifizieren lassen. Ein Transfer der Problemlösekompetenz über verschiedene dynamische Systeme hinweg ist von Klieme et al. noch nicht nachgewiesen worden.

Empirische Befunde von Putz-Osterloh (1987) zeigen beim Vergleich von Experten und Novizen, dass Experten über Fähigkeiten im Bereich Systemkompetenz verfügen, die sie auch auf andere Gebiete übertragen können. Andere Teilkompetenzen können sie jedoch nicht bereichsübergreifend einsetzen.

In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss von systemischem Vorwissen in einem bereichsfremden System auf die Systemkompetenz untersucht. Die zu untersuchenden Zusammenhänge sind in Abbildung 34 grafisch dargestellt.

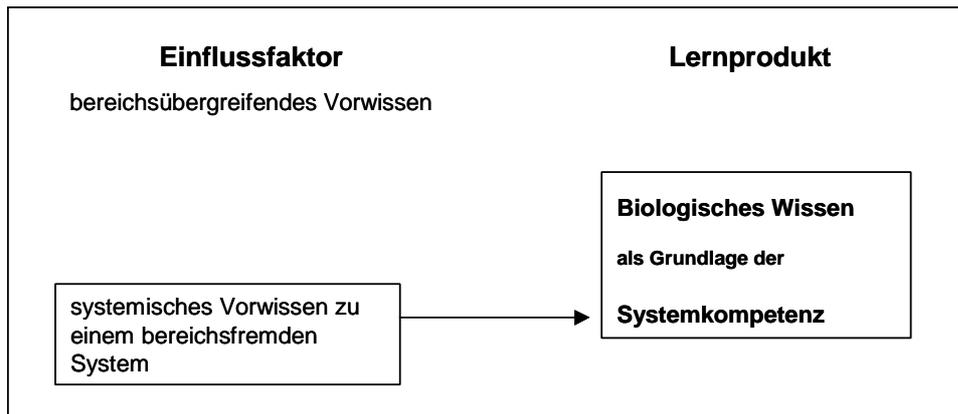


Abbildung 35: Darstellung der zu untersuchenden Zusammenhänge zum Einfluss des bereichsübergreifenden Vorwissens auf die Systemkompetenz

Eine Hypothesenbildung zu der Frage nach bereichsspezifischer oder bereichsübergreifender Systemkompetenz kann auf der Grundlage der bisherigen Forschung nicht erfolgen. Stattdessen wird eine explorative Forschungsfrage formuliert.

3. Forschungsfrage:

Lässt sich die Systemkompetenz von einem inhaltlichen Gebiet auf ein anderes Gebiet übertragen?

4 Methode

In der vorliegenden Studie soll der Erwerb von Systemkompetenz bei Grundschulkindern untersucht und Einflussfaktoren auf diesen Prozess identifiziert werden.

Zur Untersuchung der Systemkompetenz wurde ein theoretischer Bezugsrahmen abgeleitet, an dem sich die zu erhebenden Fähigkeiten der Schüler messen lassen sollen. Die Fähigkeit zum Erwerb von Systemkompetenz soll anhand von Unterrichtsmaterial geprüft werden, das zum Testen dieser Fähigkeiten entworfen wurde. Mit Hilfe dieser Materialien wird untersucht, in wie weit sich Veränderungen in den Leistungen der Schüler ergeben. Darüber hinaus wird aus der Variation der Einflussfaktoren und ihren Wirkungen auf diesen Lernprozess auf Zusammenhänge bestimmter Bedingungen mit dem Produkt des Lernprozesses geschlossen.

Die vorliegende Studie ist daher in den Bereich der Grundlagenforschung einzuordnen. Aufgrund des geschilderten Forschungsansatzes ergibt sich eine Interventionsstudie, die in einer Abwandlung des klassischen „Pretest-Treatment-Posttest“-Designs zwei Interventionen und vier Messzeitpunkte enthält. Die Bildung von Experimental- und Kontrollgruppen entfällt, da die Leistungen im intraindividuellen Vergleich zu verschiedenen Zeitpunkten und zu verschiedenen Inhalten gemessen werden. Mit diesem Vorgehen wird zum einen dem Untersuchungsziel Rechnung getragen, das sich auf das Interesse an der individuellen Entwicklung der Systemkompetenz konzentriert. Zum anderen wäre es schwierig, eine äquivalente Kontrollgruppe zu finden, die Inhalte nicht systemisch vermittelt bekommt oder bei der die Systemkompetenz ohne vorherigen Unterricht zum jeweiligen Untersuchungsthema erfasst wird.

4.1 Ablauf der Studie

Im Folgenden soll zunächst der grobe Ablauf der Studie beschrieben werden, bevor in den nächsten Kapiteln die Details dargestellt werden.

Bei der durchgeführten Studie handelt es sich um eine Interventionsstudie. Die Studie wurde so konzipiert, dass Entwicklungen der Schüler im Vergleich zwischen mehreren Testteilen zum Thema Storch erhoben werden. Damit können Unterschiede zwischen den Leistungen im zunächst wenig vertrauten System Storch und den Leistungen im später besser vertrauten System Storch festgestellt werden. Darüber hinaus soll ein Vergleich der Leistungen in inhaltlich unterschiedlichen Systemen möglich sein. Dazu werden die Leistungen im System Storch mit den Leistungen im System Schule verglichen.

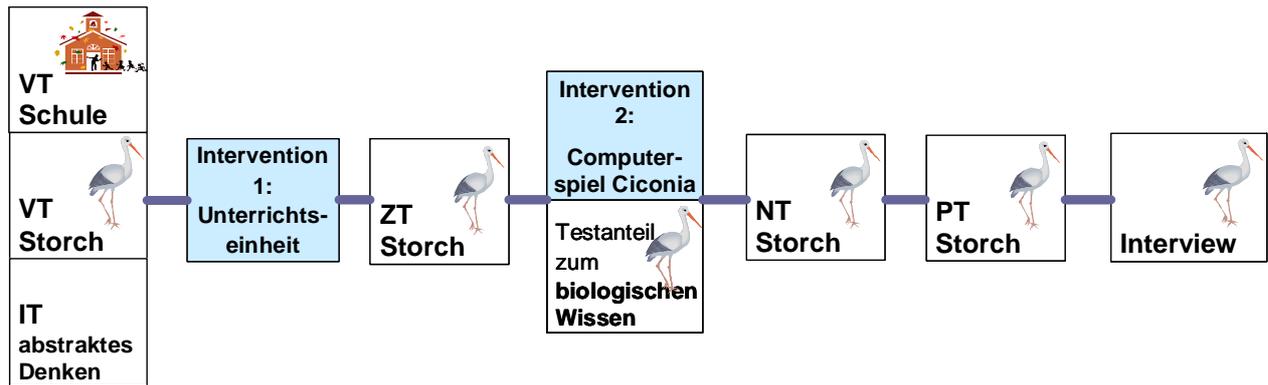


Abbildung 36: Übersicht über den Ablauf der Studie. VT: Vortest, ZT: Zwischentest, CT: Computerspieltest, NT: Nachtest, PT: Posttest

Abbildung 35 gibt einen Überblick über den Ablauf der Untersuchung.

Im Vortest (VT) wurden die individuellen und situativen Vorbedingungen erhoben. Dazu zählen Angaben zu Alter, Geschlecht und Klassenstufe, sowie das situationale und das individuelle Interesse. In einem weiteren Testteil wurde die Intelligenz in Form der Fähigkeit zum abstrakten Denken getestet. Daneben wurde das Vorwissen auf den Gebieten biologisches Vorwissen, systemisches Vorwissen zu einem bekannten System (am Thema Schule) und systemisches Vorwissen zu einem noch wenig bekannten System (am Thema Storch) erhoben. Zu beiden Themen zeichneten die Kinder eine Begriffslandkarte.

Es folgte die erste Intervention in Form der Unterrichtseinheit „Mit Flügeln von Deutschland nach Afrika – der Weißstorch“, für die die Lehrkräfte Informationen über den Ablauf der einzelnen Stunden, sowie alle Schülerarbeitsblätter zur Verfügung gestellt bekamen.

Im Zwischentest (ZT) wurde um eine Beurteilung des Motivationsgehaltes und des Wissenszuwachses durch die vorangegangene Unterrichtseinheit gebeten und die Fähigkeit zur Modellbildung über das Zeichnen einer Begriffslandkarte zum Thema Storch erhoben.

Als zweite Intervention konnten die Kinder das Computerspiel „Ciconias abenteuerliche Reise“ spielen. Innerhalb des Spieles wurde in verschiedenen Testabschnitten (CT) das biologische Wissen zum Storch ermittelt und eine Begriffslandkarte zum Storch erstellt.

Im Nachtest (NT) wurde die Erfahrung der Schüler im Umgang mit Computern und das am Computerspiel empfundene Interesse erfragt. Des weiteren mussten die Schüler verschiedene Aufgaben lösen, die der Erfassung des Verständnisses von Systemeigenschaften dienen.

Der Posttest (PT) wurde im Abstand von einigen Tagen bis Wochen nach dem Nachtest durchgeführt. Hier wurde nochmals die Fähigkeit zur Modellbildung im System Weißstorch mit Hilfe einer Begriffslandkarte getestet.

Mit einigen Schülern wurde zusätzlich ein Einzelinterview geführt, in dem sie zu ihrem Verständnis von Rückwirkungen befragt wurden.

4.2 Unterrichtsmaterial

Das eingesetzte Unterrichtsmaterial bestand aus zwei Teilen: einer Unterrichtseinheit zum Thema Weißstorch und einem ergänzenden Computerspiel. Beide Materialien wurden von der Verfasserin selbst konzipiert.

4.2.1 Unterrichtseinheit „Mit Flügeln von Deutschland nach Afrika“

Die Unterrichtseinheit war für ca. 10 Stunden konzipiert und gliedert sich in 7 Bausteine. Zur Durchführung des Unterrichts wurden Lehrer- und Schülermaterialien zur Verfügung gestellt.

4.2.1.1 Materialien für die Schüler

Den Schülern wurden alle im Verlauf der Unterrichtseinheit vorgeschlagenen Arbeitsbögen sowie 6 Seiten farbige Abbildungen zur Verfügung gestellt. Bei Bedarf wurde auch Experimentiermaterial beschafft.

4.2.1.2 Materialien für die Lehrkräfte

Den Lehrkräften wurde zur Durchführung des Unterrichts eine Sachinformation zum Thema Vogelzug und Weißstorch zur Verfügung gestellt. Diese Sachinformation enthielt Informationen zu den folgenden biologischen Themen:

- Vogelzug: Entstehung und Ursachen, Ausprägungen des Vogelzugs, Verhalten der Vögel auf dem Zug,
- Weißstorch: Storchenzug, Technik des Segelfliegens, Methoden der Erforschung des Storchenzugs, Gefährdungen des Storchs auf dem Zug,
- vergleichende Informationen zu einem weiteren Langstreckenzieher (Mauersegler) und einem Kurzstreckenzieher (Hausrotschwanz).

Darüber hinaus erhielten die Lehrkräfte didaktische Informationen zur Zielsetzung des Gesamtprojektes und zu den Lernzielen der Unterrichtseinheit, sowie detaillierte Vorschläge für den Ablauf des Unterrichts. Die Lehrkräfte wurden gebeten, diese Vorschläge möglichst unverändert zu übernehmen.

4.2.1.3 Die Bausteine der Unterrichtseinheit

Die Bausteine der Unterrichtseinheit werden im Folgenden inhaltlich zusammengefasst und die jeweiligen Unterrichtsmethoden dabei kurz dargestellt.

Baustein 1: Der Storch hier und in Afrika

Im Baustein 1 werden die Schüler mit den Lebensräumen des Storches in seinem Brutgebiet in Deutschland und seinem Überwinterungsgebiet in Afrika bekannt gemacht. Anhand von Bildern der beiden Lebensräume sollen die Schüler Unterschiede und Gemeinsamkeiten

vergleichend beschreiben und dadurch Rückschlüsse auf die Bedürfnisse des Storches an seine Lebensräume ziehen.

Die Nahrungstiere des Storches in Deutschland und Afrika werden anhand der Bilder erarbeitet. Die Schüler überlegen, wo sich das jeweilige Tier aufhält und wie der Storch es fangen kann.

Baustein 2: Aussehen des Storches und Anpassung an seinen Lebensraum

In diesem Unterrichtsabschnitt werden die körperlichen Merkmale des Storches erarbeitet. Im Vergleich mit anderen, den Kindern bekannten Vögeln, lassen sich Besonderheiten im Körperbau des Storches herausfinden. Diese Merkmale werden in Bezug gesetzt zu der Nahrungssuche des Storches, die in der vorhergehenden Stunde erarbeitet wurde.

Im Zusammenhang mit dem Aussehen des Storches beschäftigen sich die Kinder näher mit den verschiedenen Federtypen des Storches. Die Federn werden beschrieben und nach ihrem unterschiedlichen Aufbau in Schwungfedern, Deckfedern und Daunen sortiert. Die Kinder stellen Hypothesen zu den Eigenschaften und Funktionen der Federtypen auf. Die Hypothesen werden anhand von Experimenten zum Luftwiderstand, zur Isolation und zur Benetzbarkeit mit Wasser überprüft. Der Aufbau der einzelnen Federn wird mit der Lupe analysiert.

Baustein 3: Wie kommt der Storch von Deutschland nach Afrika?

Die Schüler erhalten vorgefertigte Vogelringe, die mit Angaben zum Fundort versehen sind. Die Fundorte werden in eine Karte eingetragen. Über das Verbinden der Fundorte zu einer Linie kann die Flugroute des Weißstorches auf seiner östlichen Route rekonstruiert werden. Die Entfernung zwischen Sommer- und Winterquartier wird mit Hilfe des Maßstabs ermittelt. Um den Schülern einen Eindruck von der Zugleistung des Storches zu geben, wird die ermittelte Flugstrecke mit Entfernungen, die die Schüler aus dem täglichen Umgang kennen, in Beziehung gesetzt.

Die Kinder sollen sich überlegen, wie der Storch eine so große Flugstrecke bewältigen kann. Verschieden Möglichkeiten zur Unterbrechung der Flugstrecke werden diskutiert. Im Internet sollen die Zugrouten ausgewählter Störche recherchiert werden.

Baustein 4: Fliegen

Als Fortführung der Überlegungen zum Zug sollen in diesem Baustein die verschiedenen Flugtechniken der Vögel, wie Kraftflug, Gleiten und Segeln erarbeitet werden. Zum Einstieg in diesen Baustein werden verschiedene Fortbewegungsmethoden in der Luft (z. B. von Flugzeug, Vogel und Paragleiter) gesammelt. Mit Hilfe zweier verschiedener Papierflieger werden Grundbedingungen für das Fliegen (eigener Antrieb) bzw. Gleiten (Start in der Höhe) besprochen. Das Phänomen der Thermik wird durch ein Experiment erarbeitet und in Bezug zur Flugtechnik des Storches gebracht.

Baustein 5: Müssen Vögel im Winter wegziehen?

Die Ursachen und Formen des Vogelzugs sind das Thema dieses Bausteins. Dazu wird überlegt, welche Vögel im Winter in Deutschland bleiben und von was sich diese Vögel ernähren. Die Unterschiede zwischen Standvögeln, Kurz- und Langstreckenziehern werden

eingeführt. Um die Besonderheiten des Storchenzugs zu erarbeiten, werden der Hausrotschwanz als Kurzstreckenzieher und der Mauersegler als weiterer Langstreckenzieher vorgestellt. Die Schüler erarbeiten die wichtigsten Merkmale dieser Vögel in Bezug auf Nahrung, Aussehen und Verhalten und vergleichen sie mit denen des Weißstorches. Aufbauend auf diesem Vergleich werden die Vor- und Nachteile des Vogelzugs in Bezug auf Verfügbarkeit von Nahrung, Klima, Energieverbrauch und Gefahren während des Zugs beschrieben.

Ein Vergleich der Flugbilder von Storch, Mauersegler und Hausrotschwanz führt zu Rückschlüssen auf den Zusammenhang von Körperbau und Flugtechnik.

Baustein 6: Storch und Mensch

In diesem Baustein soll der Bezug zum Mensch hergestellt werden. Die Kinder überlegen, welche Wildtiere sich in der Nähe des Menschen aufhalten und aus welchen Gründen sie die Nähe zum Menschen suchen. Exemplarisch wird das Zusammenleben von Storch und Mensch vertieft. Anhand von vorbereiteten Texten, die die Vor- und Nachteile des Zusammenlebens für Storch und Mensch beschreiben, stellen die Kinder die Informationen zusammen und beschreiben die gegenseitigen Abhängigkeiten.

Baustein 7: Zukunft des Storches

Die Kinder interpretieren eine Grafik zur Bestandsentwicklung des Weißstorches und stellen die drastischen Bestandsrückgänge im vergangenen Jahrhundert fest, die von einer leichten Erholung der Bestände seit den neunziger Jahren abgelöst werden. Anschließend betrachten die Kinder Bilder einer intensiv und einer extensiv genutzten Landschaft. Die Kinder sollen anhand ihres Wissens über den Storch erläutern, welchen der dargestellten Lebensräume der Storch vorzieht und darauf aufbauend Gründe für den Rückgang des Storches in Deutschland benennen.

Abschließend sollen Bezüge zwischen der Veränderung im Lebensraum und deren Auswirkungen auf den Storch hergestellt werden, um den Kindern den Zusammenhang von Schutz des Lebensraumes und Schutz der Art zu veranschaulichen.

4.2.2 Computerspiel „Ciconias abenteuerliche Reise“

Das Computerspiel „Ciconias abenteuerliche Reise“ hat einen Zeitbedarf von ca. 2 Schulstunden, kann aber nach Wunsch unterbrochen und zu einem späteren Zeitpunkt fortgeführt werden. Das Spiel setzt den Umgang mit Maus und Tastatur voraus.

Das Spiel beschreibt in den einzelnen Spielabschnitte die folgenden Anforderungen an einen Storch im Laufe eines Jahres: 1. das Suchen eines geeigneten Lebensraumes in Deutschland, 2. die Suche nach Nahrung, 3. die Suche nach einem Nistplatz, 4. Paarung und Aufzucht der Jungen, 5. Zug nach Afrika und 6. Suche nach geeigneten Lebensräumen und Nahrung in Afrika.

Die Kinder steuern den Storch durch die einzelnen Spielabschnitte und suchen mit ihm nach geeigneten Bedingungen. Eine Leitfigur erklärt die Funktionen des Spiels, weist darauf hin,

wann eine Aufgabe erfüllt ist und fasst die erarbeiteten fachlichen Zusammenhänge mündlich und schriftlich in Stichworten auf sogenannten Notizzetteln zusammen. Diese Notizzettel dienen am Ende des Spiels zur Erstellung der Begriffslandkarte.

Im Programm ist festgelegt, wie viele Möglichkeiten die Kinder bei einer Aufgabe ausprobieren müssen, bevor sie zur nächsten Aufgabe gelangen. Dieses Verfahren dient der Sicherstellung einer Mindestanzahl an gesammelten Informationen im Zusammenhang mit der entsprechenden Aufgabe. Am Ende jeder Aufgabe sollen die Schüler das Gelernte zusammenfassen. Die Kinder geben ihre Antworten über die Tastatur ein.

Einführung:

Der Storch Ciconia stellt sich vor und erläutert seine Lebenssituation. Er kommt zum ersten Mal nach 3 Jahren als geschlechtsreifer Vogel von Afrika zurück nach Deutschland und benötigt Unterstützung bei den vor ihm liegenden Aufgaben.

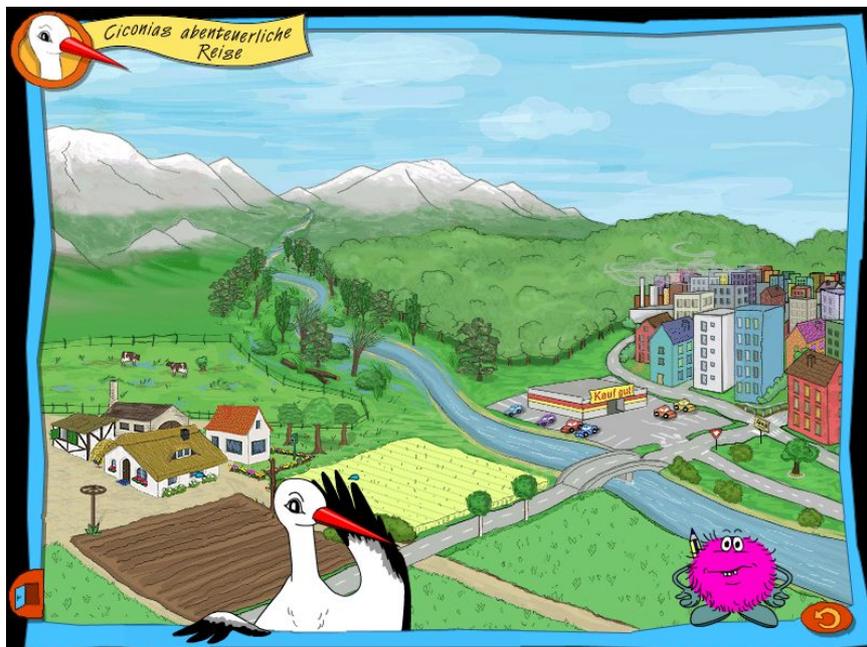


Abbildung 37: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Einleitung

Teilaufgabe 1: Lebensraumsuche

Ciconia muss einen geeigneten Lebensraum finden und bittet die Kinder um Mithilfe bei der Suche. Die Kinder können den Storch mit Hilfe der Maus über eine Landschaft mit verschiedenen Lebensräumen fliegen lassen. Die unterschiedlichen Lebensräume werden durch sogenannte „hotspots“, die beim Überfliegen sichtbar werden, angezeigt. Durch einen Mausclick können die Kinder den Storch in einem Lebensraum landen lassen. Es öffnet sich eine kurze Animation, in der der Storch eine Rückmeldung gibt, ob und warum dies ein geeigneter Lebensraum für ihn ist bzw. nicht ist. Die Leitfigur kommentiert zusammenfassend die Eignung und macht auf einem Notizzettel eine stichwortartige Notiz zu jedem angeklickten Lebensraum.

Als geeignete Lebensräume stehen zur Auswahl Auenlandschaft, extensiv genutzte Weide, Acker, Dorf, als ungeeignete Lebensräume Stadt, Wald, Hochgebirge, Fels.

Die Schüler sollen in der zusammenfassenden Aufgabe geeignete Lebensräume für den Storch benennen.

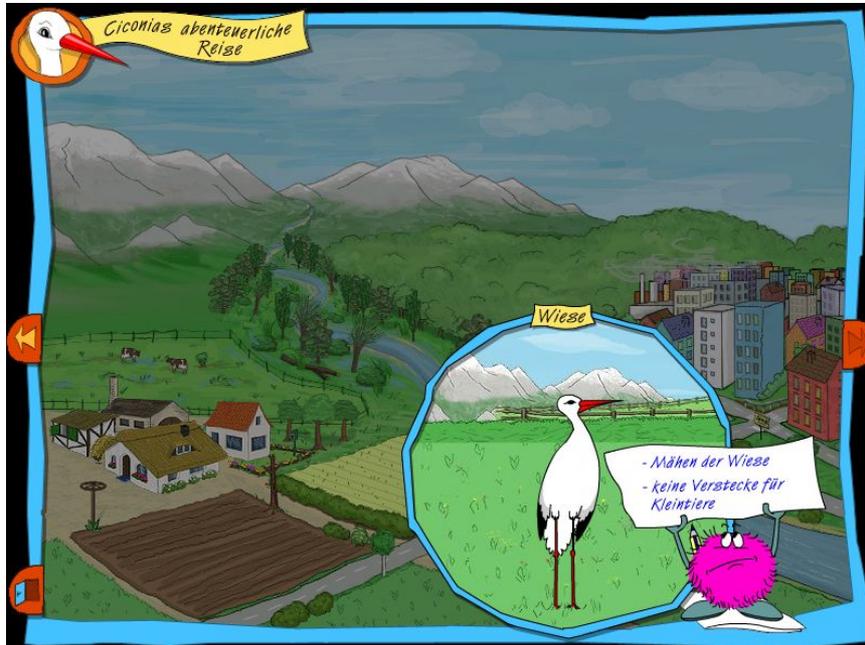


Abbildung 38: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Lebensraumsuche

Teilaufgabe 2: Nahrungssuche

Nach der Suche nach einem geeigneten Lebensraum ist der Storch hungrig. Er bittet die Kinder, ihm bei der Suche nach Nahrung behilflich zu sein. Die Kinder lassen den Storch mit Hilfe der Maus durch einen vielseitigen Lebensraum laufen, in dem verschiedene Tiere und Pflanzen vorkommen. Die Kinder können das entsprechende Tier oder die Pflanze anklicken und bekommen über eine kurze Animation jeweils die Rückmeldung, ob die anvisierte Beute geeignetes Storchenfutter darstellt. Die Leitfigur begleitet die Versuche mit den entsprechenden Kommentaren und Notizen.

An geeigneter Nahrung steht zur Auswahl Wasserkäfer, Frosch, Regenwurm, Maus, Maulwurf, Heuschrecke, Ringelnatter. Ungeeignet sind ein ausgewachsener Vogel und Samen.

Zusammenfassend sollen die Beutetiere des Storches benannt werden.



Abbildung 39: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Nahrungssuche

Teilaufgabe 3: Suche nach einem geeigneten Nistplatz

In einem geeigneten Lebensraum und gestärkt durch seine zahlreiche Beute will sich der Storch nun an den Nestbau machen. Die Kinder sollen daher mit ihm zusammen auf die Suche nach einem geeigneten Nistplatz gehen. Der Storch fliegt dazu über eine Landschaft mit verschiedenen Nistmöglichkeiten und landet nach einem Mausklick. In der folgenden Animation versucht er, einige Zweige am entsprechenden Platz zu verankern und beurteilt die Eignung als Nistplatz. Die Leitfigur kommentiert die Versuche in der vorgestellten Form.

Ein geeigneter Nistplatz findet sich auf dem Reetdach (Schilfdach), auf einer Nisthilfe, auf einem stillgelegten Schornstein, in einem abgestorbenen Baum. Ungeeignet sind der Boden, ein Nistkasten für Singvögel, ein beblätterter Baum, ein Gebüsch, ein Schieferdach.

Als Zusammenfassung sollen die Kinder die Nistmöglichkeiten aufzählen.



Abbildung 40: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Nistplatzsuche

Überleitung zum Film

Alle Voraussetzungen für die Ankunft einer möglichen Partnerin sind geschaffen. Der Storch bedankt sich für die bisherige Hilfe und fordert die Kinder auf, sich einen Film anzusehen, der das Brutgeschäft anderer Störche zeigt.



Abbildung 41: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Film zum Brutgeschehen

Film zum Brutgeschehen

Eine Filmsequenz aus Videoaufnahmen einer Livecam zeigt Paarung, Brut und Aufzucht der jungen Störche. Die jeweiligen Szenen werden von einem Sprecher kommentiert.

Im Anschluss an den Film sollen die Kinder beschreiben, was für eine erfolgreiche Jungenaufzucht wichtig ist.

Teilaufgabe 4: Zug nach Afrika

Ein Jungstorch aus Ciconias Brut startet mit seinen Geschwistern zum ersten Flug nach Afrika. Die Kinder begleiten die Jungvögel auf einer vorbereiteten Flugroute und wählen geeignete Rastplätze aus. Sie bringen die Gruppe durch Klicken zum Landen. Dabei lernen sie geeignete Rastplätze kennen und befassen sich mit Gefahren für den Storch wie der Kollision mit Stromleitungen, dem Zusammenstoß mit Autos, dem Verletzungsrisiko auf einer Müllkippe oder dem Abschuss durch Menschen. Darauf wird jeweils beim Landen in Form kurzer Animationen eingegangen. Der Storch kommentiert jeden Halt mit Angaben zur Entfernung vom Nest und zur Dauer seiner Reise. Nach der Ankunft im Zwischenrastgebiet ruht sich der Storch aus, während die Kinder Angaben zur Länge und Dauer des Zuges, der Flugtechnik und Gefahren während des Zuges machen.

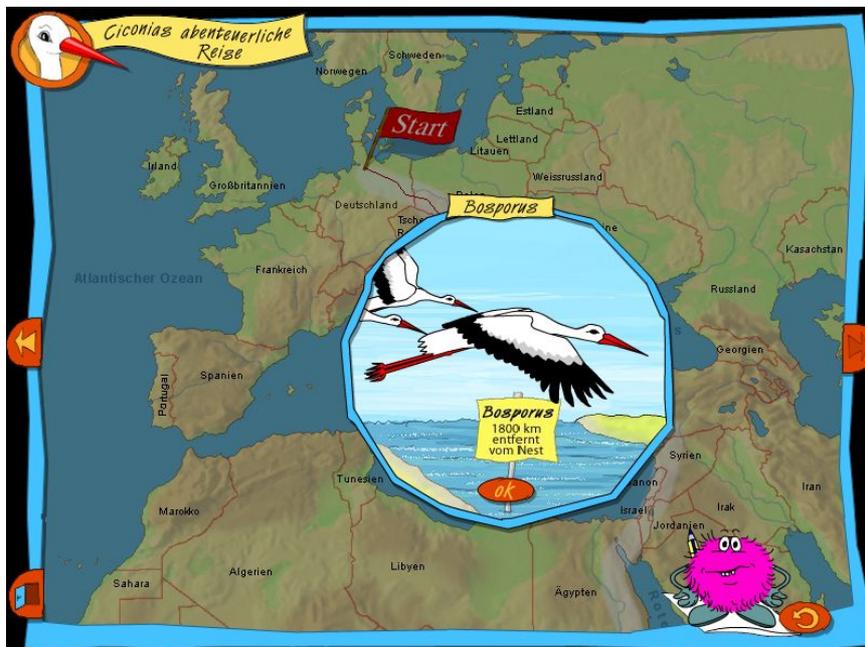


Abbildung 42: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Zug nach Afrika

Teilaufgabe 5: Lebensraum- und Nahrungssuche in Afrika

In Afrika sucht der Jungstorch nach einem geeigneten Winterquartier und ernährt sich unter verschiedenen Bedingungen in der Savanne, auf einem Luzernefeld, in einem Hirsefeld, in der Wüste oder bei einem Buschbrand.

Zusammenfassend sollen die Kinder wiedergeben, welche Lebensräume in Afrika für den Storch geeignet sind und was der Storch in Afrika fressen kann.

Der Storch verabschiedet sich, und die Leitfigur fordert die Kinder zum Erstellen einer Begriffslandkarte auf.

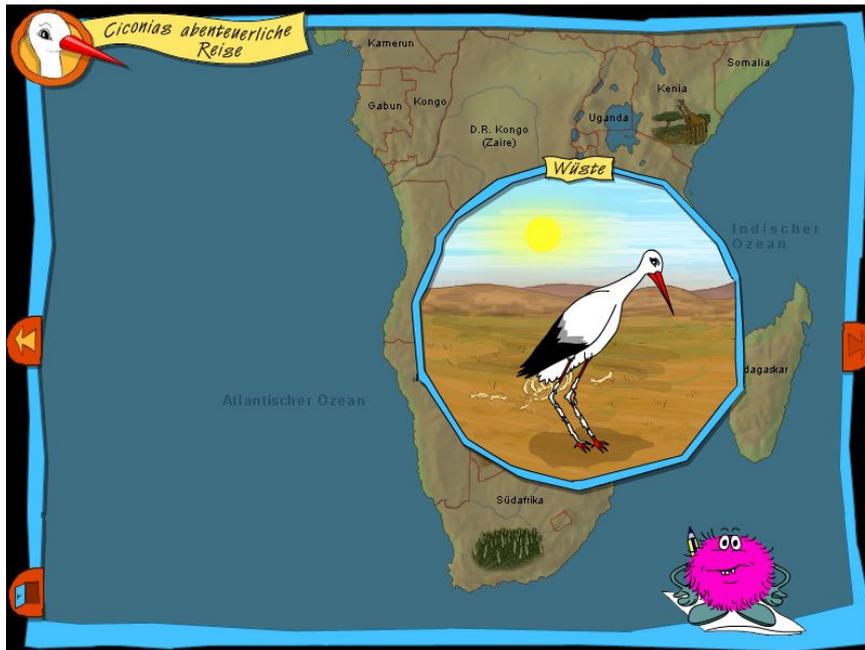


Abbildung 43: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Lebensraum- und Nahrungssuche in Afrika

Begriffslandkarte:

Die Leitfigur erläutert den Zeichenscreen und seine Funktionen. Die Kinder sollen die Begriffe, die die Leitfigur während des Spiels auf ihren Notizzetteln gesammelt hat, den entsprechenden Lebensräumen in Deutschland, auf dem Zugweg und in Afrika zuordnen. Dann sollen die Begriffe, die in einem inhaltlichen Zusammenhang stehen, auf dem Zeichenscreen einander zugeordnet werden. Schließlich werden zwischen den Begriffen Pfeile gezogen. Es stehen dafür zwei Pfeile mit unterschiedlichen Bedeutungen zur Auswahl: ein Pfeil mit der Bedeutung „ist schlecht für“ und ein Pfeil mit der Bedeutung „ist gut für“.

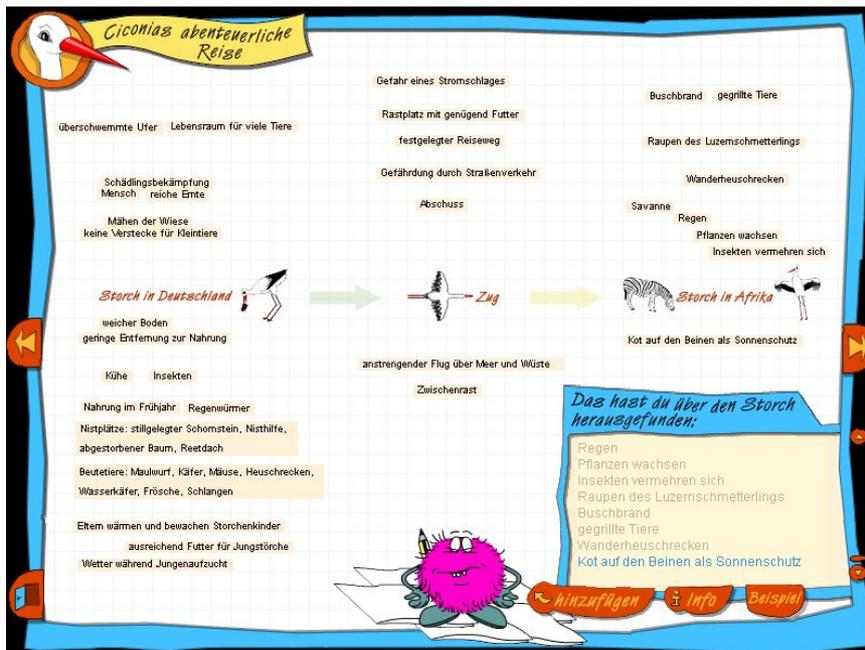


Abbildung 44: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Begriffslkarte

Abschluss:

Nach der Erstellung der Begriffslkarte stellt die Leitfigur den Kindern ein Diplom aus, das ebenso wie die Aufgabenbereiche ausgedruckt werden kann.



Abbildung 45: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Abschluss

4.3 Erhebungsinstrumente

4.3.1 Operationalisierung der einzelnen Kompetenzkomponenten

In diesem Abschnitt soll ein Überblick über die Operationalisierung der Kompetenzkomponenten gegeben werden. Die detaillierte Auflistung der Testfragen zu den Kompetenzkomponenten erfolgt in Kapitel 4.3.3.2.

4.3.1.1 Kompetenzkomponenten zur Systemorganisation

Die Fähigkeit zur Systemorganisation wird anhand von drei Teilkompetenzen gemessen, nämlich

- „wesentliche Systemelemente identifizieren und durch Beziehungen verknüpfen“,
- „Systemgrenzen sowohl erkennen als auch sinnvoll ziehen können“ und
- „Systemelemente und ihre Beziehungen in einem Bezugsrahmen organisieren“.

Die Teilkompetenzen werden über zwei Methoden erhoben: Zum einen sollen die Kinder eine Begriffslandkarte zeichnen, zum anderen sollen sie die Beziehungen zwischen vorgegebenen Elementen darstellen.

a) Begriffslandkarten zeichnen

In Kapitel 2.2.3.3 wurde dargelegt, inwiefern sich netzwerkartige Concept maps zur Wissensdiagnose systemischer Zusammenhänge eignen. Ziel ihres Einsatzes ist es, die kognitive Struktur des Wissens der Lernenden sichtbar zu machen. Concept maps enthalten keine Hierarchie der semantischen Beziehungen, sondern die Beziehungen sind frei gestaltet. Mit Hilfe der Begriffslandkarten kann die Fähigkeit der Kinder, die wesentlichen Systemelemente und Beziehungen zwischen diesen Elementen zu identifizieren und sie in einem Bezugsrahmen darzustellen, getestet werden. Dazu werden die Concept maps hinsichtlich der Anzahl der dargestellten Elemente und Beziehungen ausgewertet, sie gibt Auskunft über den Umfang des Wissens der Kinder. Die Gesamtstruktur der Begriffslandkarte zeigt, wie dieses Wissen vernetzt ist. Durch eine Analyse der Propositionen kann festgestellt werden, welche Inhalte die Kinder in ihren Concept maps darstellen und ob sie für das System relevant sind. Gleichzeitig ermöglicht die Begriffslandkarte Aussagen darüber, ob die Grenzen des dargestellten Systems sinnvoll gezogen wurden.

Für die Grundschüler wurde eine vereinfachte Form der Concept map genutzt, in der die Elemente als Knoten und die Relationen als Pfeile zwischen den Knoten dargestellt werden. Die Beschriftung der Pfeile war nicht zwingend erforderlich. Diese offene Form wurde gewählt, um die Schüler nicht zu überfordern. Die Methode des Concept mapping ist Grundschüler in aller Regel noch nicht bekannt.

Zur methodischen Einführung in das Zeichnen einer Begriffslandkarte siehe Kapitel 4.3.3.2.2.

b) Beziehungen darstellen

Da die Beziehungen, die in den Begriffslandkarten geknüpft werden, aus den oben geschilderten Gründen nicht unbedingt beschriftet werden mussten, sollte mit diesem Aufgabenteil ergänzend die Fähigkeit zum Verknüpfen von Elementen über beschriftete Beziehungen getestet werden. Die Kinder wurden schrittweise an diese Aufgabe herangeführt, in dem zunächst in zwei Beispielen erläutert wurde, wie solche Verknüpfungen beschriftet werden.

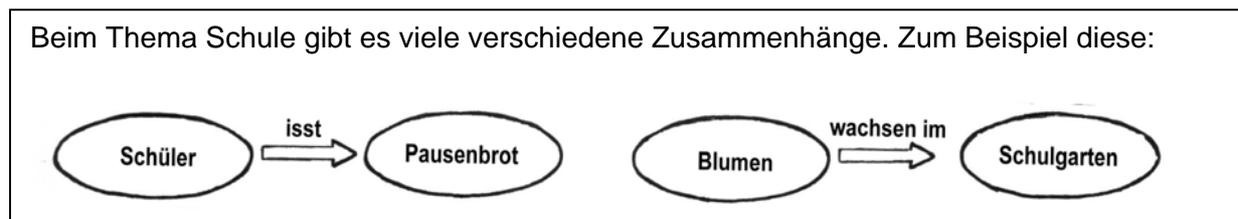


Abbildung 46: Beispiel für das Darstellen von Zweierbeziehungen im Vortest

In der ersten Aufgabe sollten die Schüler vorgegebene Zweierbeziehungen ergänzen, bei denen entweder ein Element oder die Beziehung nicht beschriftet war.

In der zweiten Aufgabe sollten die Schüler eigenständig eine Dreierkette bestehend aus drei Elementen und zwei Beziehungen und eine Viererkette bestehend aus vier Elementen und drei Beziehungen knüpfen. Für diese Aufgaben waren nur noch Strukturhilfen in Form von Ellipsen und Pfeilen vorgegeben.

4.3.1.2 Kompetenzkomponenten zu Systemeigenschaften

Die einzelnen Kompetenzkomponenten wurden jeweils anhand mehrerer Aufgaben operationalisiert, um die Auswertung auf eine breitere Basis zu stellen. Die einzelnen Aufgaben zu einer Systemkomponente decken dabei entweder unterschiedliche Teilaspekte ab oder unterscheiden sich in ihrem Anforderungsniveau. Die Fähigkeit zur Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften wird anhand von vier Teilkompetenzen gemessen, nämlich

- „zwischen Eigenschaften des Systems und Eigenschaften der Elemente unterscheiden“,
- „Erkennen dynamischer Beziehungen“,
- „Vorhersagen der Folgen von Veränderungen“ und
- „Wirkungen in einem System beurteilen können“.

Die Kompetenzkomponente „zwischen Eigenschaften des Systems und Eigenschaften der Elemente unterscheiden“ wird über drei Teilaufgaben operationalisiert. Sie betreffen den Erhalt bzw. die Zerstörung der Systemintegrität durch

- das Hinzufügen neuer wesentlicher Teile in ein bestehendes System; operationalisiert wird dieser Eingriff am Beispiel des Systems Schule über das Hinzukommen einer neuen Klasse in eine bestehende Schule;

- das Entfernen wesentlicher Teile aus einem bestehenden System; dieser Aspekt wird am Beispiel des Systems Storch operationalisiert, in dem die Nisthilfen entfernt werden;
- der Isolierung der einzelnen Elemente; ebenfalls am Beispiel des Systems Storch sollen die Kinder beurteilen, wie sich dieses System in einem sogenannten „Forscherversuch“ verhält, wenn die anscheinend wesentlichen Bestandteile des Systems Storchs wie Nahrung, Nistplatz zwar vorhanden sind, aber nicht in Beziehung zu einander stehen, so dass die natürlichen Beziehungen in diesem Ökosystem nicht möglich sind (vgl. Nachttest Fr. 22, 4.3.3.2.5).

Die Kompetenzkomponenten „**Erkennen dynamischer Beziehungen**“ und „**Vorhersagen der Folgen von Veränderungen**“ betreffen das Systemmerkmal Dynamik.

Das Erkennen dynamischer Beziehungen wird über zwei Aufgaben operationalisiert, die sich inhaltlich unterscheiden und ein unterschiedliches Ausmaß an Vorwissen voraussetzen. In der ersten Aufgabe (Nachttest Fr. 26, 4.3.3.2.5) geht es um dynamische Beziehungen zwischen dem Storch und seiner Nahrung, in diesem Fall betreffen sie die unterschiedlichen Nahrungsansprüche des Storches als Jungvogel und erwachsener Storch. Diese Aufgabe ist mit einem relativ allgemeinen Vorwissen zu den Nahrungsansprüchen von Jungvögeln im Vergleich zu Adulten in Zusammenhang zu bringen. In der zweiten Aufgabe (Nachttest Fr. 27) bezieht sich die Dynamik auf das unterschiedliche Verhalten des Storches in seinem Sommer- und Winterquartier. Die Kinder sollen begründen, wieso sich der Storch im Sommer in einem relativ eng begrenzten Bereich aufhält, während er im Winter von einem Gebiet zum anderen zieht. Die Beantwortung dieser Frage setzt spezielleres biologisches Wissen über das Verhalten des Storches voraus.

Die Folgen von Veränderungen in einem System vorherzusagen, wird ebenfalls über zwei Aufgaben operationalisiert. Die erste Frage wird in Form eines hypothetischen Problems formuliert. Sie bezieht sich auf die Folgen, die im System auftreten würden, wenn die Störche ihre Eierzahl verdreifachen würden (Nachttest Fr. 18, 4.3.3.2.5). Diese Frage lässt sich wieder mit einem relativ allgemeinen Wissen zu Vögeln beantworten, während die zweite Frage zu dieser Komponente spezielleres Wissen verlangt. Sie beschäftigt sich mit den Folgen des Wegfalls einer wichtigen Nahrungsquelle im Frühjahr (Nachttest Fr. 20). Die Kinder sollen beurteilen, welche Auswirkungen es hat, wenn im Frühjahr nur wenige Regenwürmer zur Verfügung stehen.

Die Kompetenzkomponente „**Wirkungen in einem System beurteilen können**“ wird über vier schriftliche Aufgaben operationalisiert, denen verschieden komplexe Wirkungen zugrunde liegen. Darüber hinaus wird in Einzelinterviews die Fähigkeit zum Erkennen von Rückwirkungen geprüft.

Die erste schriftliche Aufgabe prüft das Erkennen einer direkten Wirkung. Die Kinder sollen den Einfluss der oberirdischen Freileitungen auf den Storch beurteilen (Nachttest Fr. 23, 4.3.3.2.5). Die zweite Frage bezieht sich auf eine indirekte Wirkung. Beschrieben werden Veränderungen wie das Trockenlegen von sumpfigen Wiesen, die der Mensch an der Landschaft mit bestimmten Zielen vornimmt. Die Schüler sollen beurteilen, ob und warum

diese Veränderungen an der Landschaft Auswirkungen auf den Storch haben (Nachttest Fr. 24).

Eine weitere indirekte Wirkung wird über die Veränderung des Nahrungsangebotes durch die Niederschlagsmenge getestet. Die Kinder sollen begründen, ob und warum die Regenmenge das Nahrungsangebot des Storches beeinflusst (Nachttest Fr. 25).

Anhand der vierten Frage wird der Einfluss des Niederschlags in Afrika einige Monate vor dem Eintreffen des Storches auf diesen geprüft. Die Kinder sollen beurteilen, ob und inwiefern der Storch betroffen ist, wenn die normale Regenmenge zur Regenzeit in Afrika in einem Jahr deutlich unter dem Durchschnitt bleibt, auch wenn der Storch erst am Beginn der Trockenzeit nach Afrika kommt (vgl. Nachttest Fr. 21). In dieser Aufgabe stehen Wirkung und Ursache sowohl in zeitlicher als auch in räumlicher Distanz zu einander.

Eine besondere Form der Wirkungen stellen die Rückwirkungen dar. Sie erfordern eine halbquantitative Betrachtungsweise des Zusammenhangs zwischen den Elementen im Sinne von „je mehr ... desto mehr ...“ oder „je mehr ... desto weniger ...“ bzw. „je weniger ... desto mehr ...“ oder „je weniger ... desto weniger ...“-Beziehungen. Mit dieser Betrachtungsweise wird die bisherige qualitative Betrachtungsweise des Systems verlassen.

Operationalisiert wird die Fähigkeit zum „Erkennen und Beschreiben von Rückwirkungen“ über zwei verschieden komplexe Teilsysteme, die den Kindern in Einzelinterviews vorgestellt werden. Im ersten Fall wird ein Räuber-Beute-Verhältnis zwischen der Zahl der Störche und der Fische in einem Fischteich betrachtet, im zweiten Fall das komplexere Zusammenspiel einer erweiterten Beziehung zwischen der Anzahl der Störche, der Anzahl der Heuschrecken, dem Umfang der Ernte des Menschen und dem Umfang der Heuschreckenbekämpfung durch den Menschen. Die beiden Systeme werden den Kindern qualitativ beschrieben. In beiden Fällen wird geprüft, welche Beziehungen die Kinder zwischen den vorgegebenen Elementen herstellen und ob sie halbquantitative Aussagen im Sinne der oben beschriebenen Beziehungen machen können.

Die Umsetzung des Interviews wird mit einem halbstandardisierten Interviewleitfaden durchgeführt, der in Kapitel 4.3.3.2.7 näher beschrieben wird.

In der folgenden Abbildung 46 sind die Komponenten der Systemkompetenz und ihre Operationalisierung zusammengefasst:

	System-Merkmale	SYSTEMKOMPETENZ Komponenten	OPERATIONALISIERUNG	FRAGE
Systemorganisation	Elemente	wesentliche Systemelemente identifizieren und durch Beziehungen verknüpfen	Begriffslandkarte zeichnen - Umfang, - Vernetzung - Struktur	VT Schule VT Storch ZT Storch PT Storch
	Beziehungen			
	Verknüpfungen	Systemgrenzen sowohl erkennen als auch sinnvoll ziehen können	Beziehungen darstellen - Zweierbeziehungen ergänzen - Dreierketten bilden - Viererketten bilden	VT Schule VT Storch ZT Storch NT Storch
	Identität	Systemelemente und ihre Beziehungen in einem Bezugsrahmen organisieren		
Systemeigenschaften	Integrität	zwischen Eigenschaften des Systems und Eigenschaften der Elemente unterscheiden	Teile hinzufügen: neue Klasse dazu	VT Fr. 11
			isolierte Teile: Forscherversuch	NT Fr. 22
			Teile entfernen: Nisthilfen entfernen	NT Fr. 19
	Dynamik	dynamische Beziehungen erkennen	wechselnde Bed. in versch. Lebensphasen	NT Fr. 26
			wechselnde Bed. Im Laufe der Jahreszeiten	NT Fr. 27
			Folgen v. Veränderungen vorhersagen	Störche legen 10 Eier wenig Regenwürmer im Frühjahr
	Wirkungen	Wirkungen in einem System beurteilen können	Einfluss Stromleitungen	NT Fr. 23
			Einfluss Wiesen trocken legen	NT Fr. 24
		Komplexe Wirkung	Einfluss Regen auf Futter	NT Fr. 25
			wenig Regen in Afrika	NT Fr. 21
Rückwirkungen erkennen und beschreiben können	einfaches System: Storch – Fische	Interview		
	komplexes System: Storch – Heuschrecken – Ernte - Schädlingsbekämpfung			

Abbildung 47: Operationalisierung der in Kap. 2.5.3 abgeleiteten Komponenten der Systemkompetenz

4.3.2 Begründung der Auswahl des Vergleichssystems

Die Erhebung von systemischem Vorwissen zu einem bekannten System soll Aufschlüsse darüber geben, inwiefern die Kompetenzen bereichsübergreifend oder bereichsspezifisch sind (vgl. Kapitel 2.6.2.2). Dazu muss ein System gewählt werden, das als Vergleichsbasis zur Untersuchung des Systems Storch dienen kann. Ein Vergleichssystem sollte die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Es sollte ein System sein, mit dem die Schüler gut vertraut sind, sodass man davon ausgehen kann, dass die Schüler ein ausreichendes Vorwissen zu den beteiligten Elementen und Beziehungen im System haben.
- Die Beschäftigung mit dem System sollte möglichst geschlechtsneutral sein.

Als Vergleichssystem wurde das System Schule gewählt. Alle Grundschulkinder der dritten und vierten Klasse sind mit diesem System hinreichend vertraut, so dass man von einem ausreichenden Wissen auf diesem Gebiet als Grundlage für ein systemisches Verständnis ausgehen kann. Zudem kann es als geschlechtsneutral gelten.

System Storch und System Schule sind komplexe, dynamische Systeme. Die Systeme haben daher folgende strukturelle Gemeinsamkeiten, die einen Vergleich der Systemkompetenz in beiden Systemen erlauben:

- Beide Systeme bestehen aus einer großen Anzahl von Elementen.
- Beide Systeme enthalten verschiedene Betrachtungsebenen (für das System Schule z. B. Klasse, Schule, Schulumfeld).
- Die Elemente lassen sich über verschiedene Relationen mit einander verbinden (Wirkungsbeziehungen, Teil-Ganzes-Beziehungen, zeitliche Beziehungen, usw.)
- Die Integrität der Systeme wird zerstört, wenn bestimmte Elemente aus dem System entfernt werden (für System Schule z. B. Entfernen der Lehrer).
- Die Systeme weisen eine Dynamik auf, d. h. sie entwickeln sich (im System Schule werden die Schüler älter, wechseln die Klassenstufen und Klassenräume, verlassen die Schule)
- In beiden Systemen treten vielfältige Wirkungsbeziehungen auf (im System Schule wirken Lehrer auf Schüler, Schüler wirken aufeinander usw.).

4.3.3 Beschreibung der Testteile

4.3.3.1 Vorerprobung der Testinstrumente

- **Fragebögen**

Die Fragebögen wurden mit zwei vierten Grundschulklassen erprobt. Aufgrund der hierdurch gewonnenen Erkenntnisse wurden Teile der Fragebögen verändert, so dass sie im Laufe einer Schulstunde beantwortet werden konnten.

Der Test zum abstrakten Denkvermögen entstammt dem Grundintelligenztest Skala 2 CFT 20 von Weiß (1987). Aus diesem Test wurde der Subtest Classifications ausgewählt.

- **Computerspiel**

Eine erste Fassung des Computerspiels wurde in einer vierten Klasse erprobt. Dabei stellte sich heraus, dass die Begriffslandkarte, die am Schluss des Spieles unter Zuhilfenahme von „Notizzetteln“ erstellt werden soll, von Grundschulern nur mit erheblichen Schwierigkeiten handhabbar war. Probleme bereitete die Arbeit mit den Zeichenelementen, die aus technischen Gründen nicht den gängigen Abläufen in anderen Programmen angepasst werden konnte (z. B. das Zeichnen von Pfeilen mittels Buttons).

Dieser Teil des Computerprogramms wurde daraufhin so weit wie technisch möglich überarbeitet. Wie sich herausstellte, kamen die Schüler trotz der Verbesserungen noch nicht zufriedenstellend mit dem Programmteil zurecht. In der Hauptstudie wurde trotzdem das

ganze Spiel wie vorgesehen eingesetzt, der letzte Teil aber nicht in die Auswertungen mit einbezogen.

- **Interview**

Der Interviewleitfaden wurde mit Schülern erprobt und aufgrund der gemachten Erfahrungen überarbeitet.

4.3.3.2 Hauptuntersuchung

Vortest, Zwischentest und Nachtest wurden schriftlich und in Einzelarbeit durchgeführt. Die Schüler hatten jeweils eine Schulstunde zum Ausfüllen der Testbögen zur Verfügung. Die vollständigen Testbögen sind im Anhang abgedruckt.

Das Computerspiel wurde in Abhängigkeit von der Ausstattung der Schule in Einzel- oder Partnerarbeit durchgeführt, so dass die im Spiel enthaltenen Testteile ebenfalls in Einzel- oder Partnerarbeit bearbeitet wurden. Da die einzeln arbeitenden Schüler sich unter einander austauschen durften, sind die Unterschiede zwischen einzeln und zusammen arbeitenden Schülern nicht groß.

Die Interviews wurden von der Verfasserin mit jedem Schüler einzeln durchgeführt.

Personendaten

Mit jedem Testteil wurden personenbezogene Daten erhoben, um die verschiedenen Testteile einander zuordnen zu können. Diese personenbezogenen Daten waren anonymisiert, indem jedem Schüler ein spezielles Kürzel zugeordnet wurde, das der Schüler zur Markierung seiner Testbögen verwendete. Die Codierungsliste verblieb bei der Lehrkraft.

Weitere erhobene personenbezogene Daten waren das Alter des Schülers, sein Geschlecht, die Klassenstufe und die Angabe der Schule, die er besucht.

4.3.3.2.1 Test zum abstrakten Denkvermögen

Der Test zum abstrakten Denkvermögen wurde direkt vor dem Vortest durchgeführt.

Der eingesetzte Testteil entstammt, wie oben dargestellt, dem Grundintelligenztest Skala 2 des Culture-Fair-Intelligence Tests (CFT) 20 von Weiß (1987). Er soll, wie in Kapitel 2.6.3 dargestellt, die „Fähigkeit, komplexe Beziehungen in neuartigen Situationen wahrnehmen und erfassen zu können“ messen. Aus diesem Test wurde der Subtest „Classifications“ ausgewählt, der Aufschluss über das abstrakte Denkvermögen gibt. Das Herauslösen einzelner Untertests ist in der Anlage des CFT nicht vorgesehen, aber möglich. Der Test „Classifications“ ist der Subtest des gesamten Intelligenztests, der am stärksten die fluide Intelligenz repräsentiert (Faktorladung ,63 (Cattell, 1968); für die deutsche interne Validierung Faktorladung ,52 (Weiß, 1987)). Die Korrelation des Subtests „Classifications“ mit dem Gesamttest ist $r = ,39$ (Weiß, 1987). Der Einsatz des Subtests „Classifications“

wurde in einer anderen größeren Untersuchung erprobt (CROSSTEL, Geiser, Baumert, & Evans, 1997). Die Beschränkung auf einen Teilstest des CFT war aus zeitlichen Gründen unumgänglich, da für die Durchführung des gesamten Intelligenztests 60 Minuten benötigt werden.

Der Subtest „Klassifikationen“ besteht aus 14 sprachfreien, in zeichnerischer Form dargestellten Einzelaufgaben (vgl. Abbildung 47). Die richtige Antwort muss jeweils aus 5 Antwortalternativen gewählt werden. Es ist immer die Figur zu markieren, die sich von den anderen in irgendeiner Weise unterscheidet. Die Bearbeitungszeit für den Subtest beträgt genau 4 Minuten.

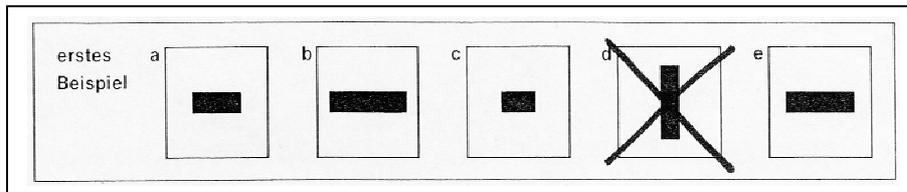


Abbildung 48: Beispiel-Item aus dem eingesetzten Test zum abstrakten Denkvermögen

Da es sich bei dem CF-Test um ein standardisiertes Verfahren handelt, geben die Testautoren zur Durchführung des Tests genaue Anweisungen, die sich auf die Testdauer und die praktische Testdurchführung beziehen. Diese Informationen wurden zur genauen Beachtung an die Lehrkräfte weitergegeben.

4.3.3.2.2 Vortest

Mit dem Vortest wurden die oben genannten personenbezogenen Daten, das individuelle und situationale Interesse, sowie biologisches und systemisches Vorwissen erhoben.

Die Kinder übten zunächst in Vorbereitung auf die folgenden Items die Beantwortung von Fragen mit vierstufigem Antwortformat. Dazu wurde ein Beispiel-Item vorgestellt („Ich spiele gerne Fußball“). Die Kinder wurden aufgefordert, diese Aussage auf der vierstufigen Skala (stimmt gar nicht, stimmt wenig, stimmt ziemlich, stimmt genau) einzuschätzen.

Die Kinder wurden außerdem darauf hingewiesen, dass sie die offenen Fragen in Form von Stichwörtern oder Wortgruppen beantworten dürfen und dazu keine ganzen Sätze formulieren müssen.

- **Individuelles Interesse**

Das individuelle Interesse wird, wie in Kapitel 2.6.1 erläutert, als motivationale Disposition interpretiert, die langfristig Bestand hat. Sie wird als das fachbezogene Interesse am Sachunterricht erhoben. Dazu wurden zwei Items ausgewählt. Beide Items hatten ein vierstufiges Antwortformat (stimmt gar nicht, stimmt wenig, stimmt ziemlich, stimmt genau) zum Ankreuzen.

⁴ Sachunterricht ist mein Lieblingsfach

Oft habe ich keine Lust auf den Sachunterricht.

⁴ Die Nummern in den Kästchen dienen der Zuordnung zu den Items oder Aufgaben im Test.

- **Situationales Interesse**

Das situationale Interesse bezieht sich nach Krapp (2001) auf die Interessantheit der Lernmaterialien. Zur Einschätzung des situationalen Interesses wird im Vortest ein Item mit vierstufigem Antwortformat zum Ankreuzen vorgegeben und eine offene Frage zum Interesse der Kinder am Thema Storch gestellt.

Ich freue mich auf den Unterricht zum Thema Storch.

Das würde ich gerne zum Thema Storch wissen:

- **Einschätzung des eigenen Wissens**

Ein Item bezog sich auf die Selbsteinschätzung des Vorwissens zum Thema Storch und sollte ebenfalls mit dem vierstufigen Antwortformat beurteilt werden.

Ich weiß schon viel zum Thema Storch.

- **Systemisches Vorwissen zum Thema Schule**

Die Erhebung von systemischem Vorwissen zu einem bekannten System soll Aufschlüsse darüber geben, inwiefern die Kompetenzen bereichsübergreifend oder bereichsspezifisch sind (vgl. Kapitel 2.6.2.2). Aus den oben dargestellten Gründen wurde das System Schule als Vergleichssystem gewählt.

1. Modellbildung

Die Kinder wurden in das Zeichnen von Begriffslandkarten eingeführt.

Da das Anfertigen von Begriffslandkarten nicht zum Standardrepertoire der Grundschule gehört, konnte nicht davon ausgegangen werden, dass die untersuchten Grundschüler diese Methode kennen. Am Beispiel des Themas Fußball wurde daher erläutert, wie eine Begriffslandkarte anzufertigen ist. Dazu wurden die einzelnen Schritte vorgegeben und eine Begriffslandkarte zum Thema Fußball zur besseren Anschauung abgebildet.

1a) Begriffslandkarte System Schule

Die Kinder wurden aufgefordert, eine Begriffslandkarte zum System Schule zu zeichnen .

1b) Darstellen von Beziehungen im System Schule

Über die Darstellung einer Begriffslandkarte hinaus sollte die Fähigkeit der Kinder zum Darstellen von Beziehungen zwischen Elementen getestet werden. Dazu wurden zunächst zwei Beispiele vorgegeben, in denen je zwei Elemente über eine Beziehung verknüpft sind (Abbildung 45).

Dann mussten die Schüler die Lücken in vier vorgegebenen Zweierbeziehungen zum System Schule ergänzen. In diesen Fällen waren je zwei Bereiche (Ellipsen oder Pfeile) schon beschriftet und die Kinder mussten an einem Pfeil oder in einer Ellipse die Beschriftung ergänzen .

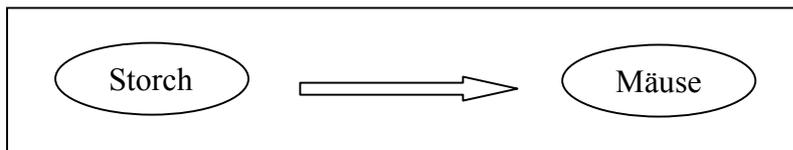


Abbildung 49: Beispiel einer zu ergänzenden Zweierbeziehung

In weiteren Aufgaben sollte eine Dreierkette bestehend aus drei Elementen mit zwei Beziehungen beschriftet werden (s. Abbildung 49). Hier wurden keine Beschriftungen vorgegeben [8].

Dasselbe Verfahren wurde mit einer Viererkette mit vier Elementen und drei Beziehungen wiederholt. [9].

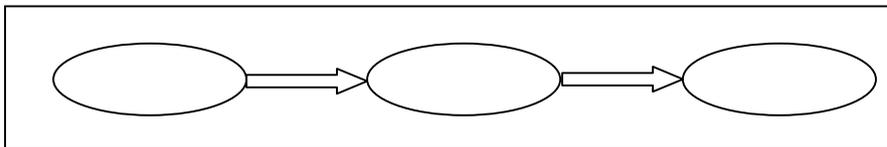


Abbildung 50: Beispiel für die Vorlage einer Dreierkette

2. Eigenschaften des Systems Schule

Die Überprüfung des Erkennens von Systemeigenschaften beschränkte sich auf zwei Fragen (vgl. Abbildung 46):

Die erste Frage bezog sich auf das Erkennen von dynamischen Beziehungen:

[10] Stell dir deine Schule in 100 Jahren vor. Hat sich etwas verändert? Schau dir die Begriffe an, die du in Frage 6 gesammelt hast und schreibe so viele Veränderungen auf, wie dir einfallen.

Mit der zweiten Frage werden die Fähigkeiten im Bereich Systemintegrität untersucht. In diesem Fall müssen die Folgen des Hinzufügens von Teilen zu einem System beschrieben werden:

[11] Stell dir vor, die Schule in einem nahe gelegenen Dorf muss umgebaut werden und alle Schüler dieser Schule kommen nun in eure Schule. Welche Folgen hätte das? Schreibe möglichst viele Folgen auf.

- **Biologisches Vorwissen**

Dieser Testabschnitt enthielt 5 Fragen, die mit Antworten im Multiple-Choice-Format zu beurteilen waren.

[12] Die erste Frage bezog sich auf allgemeine Eigenschaften von Vögeln. Es wurden 8 Antwortmöglichkeiten vorgegeben, 5 davon waren richtig: Vögel haben Federn, haben zwei

Beine, legen Eier, haben einen Schnabel und können fliegen. Die folgenden drei Antworten waren falsch: Vögel haben Lippen, haben Haare, sind Säugetiere.

Zu den nächsten Fragen wurden jeweils 3 Antwortmöglichkeiten vorgegeben, von denen nur eine richtig war:

13) Bleiben alle Vögel im Winter hier bei uns?

14) Was frisst ein Storch?

15) Wo ist der Storch im Winter?

16) Wo baut der Storch sein Nest?

- **Systemisches Vorwissen zum Thema Storch**

Das systemische Vorwissen zum Thema Storch wurde mit Hilfe einer Begriffslandkarte und durch das Darstellen von Beziehungen zwischen Elementen des Systems Storch erhoben.

1a) Begriffslandkarte zum System Storch

17) Die Kinder wurden aufgefordert, eine Begriffslandkarte zum Thema Storch zu zeichnen.

1b) Darstellen von Beziehungen im System Storch

Die Kinder mussten vier vorgegebene Zweierbeziehungen ergänzen 18). Eine Dreierkette, bestehend aus drei Elementen, die über zwei Beziehungen verbunden sind und eine Viererkette mit vier Elementen und drei Beziehungen waren selbst zu bilden 19).

4.3.3.2.3 Zwischentest

Im Zwischentest wurden die oben erwähnten personenbezogenen Daten erhoben und eine kurze Einführung in die folgenden Antwortformate gegeben.

Um einen Vergleich zwischen den Testteilen zu ermöglichen, wurden die Items und Fragen soweit wie möglich parallelisiert, gingen zum Teil aber über den Vortest hinaus.

- **Individuelles Interesse**

Analog zum Vortest wurde das individuelle Interesse über zwei Items mit vierstufigem Antwortformat erhoben:

1) Sachunterricht ist mein Lieblingsfach.

2) Oft habe ich keine Lust auf den Sachunterricht.

- **Situationales Interesse**

Die 5 Items zum situationalen Interesse sollten im Rückblick auf den vorangegangenen Unterricht beurteilt werden:

3) Ich habe mich auf den Unterricht zum Thema Storch gefreut.

4) Der Unterricht zum Thema Storch war spannend.

6) Der Unterricht zum Thema Storch war langweilig.

- 7 Ich habe jetzt genug zum Thema Storch gelernt.
8 Ich würde gerne noch mehr über das Thema Storch lernen.

- Selbsteinschätzung des Wissenszuwachs

Drei Items erfassten den selbsteingeschätzten Wissenszuwachs.

- 5 Im Unterricht zum Thema Storch habe ich viel gelernt.
10 Ich weiß nicht so genau, was ich über das Thema Storch gelernt habe.
11 Ich habe alles, was wir zum Thema Storch besprochen haben, schon vorher gewusst.
Ein Item betraf das epistemische Interesse.
9 Ich habe mich noch zusätzlich mit dem Thema Storch beschäftigt (in Sachbüchern oder im Internet nachgeschaut, draußen gewesen, experimentiert).

- **Beurteilung des Unterrichts**

Die Beurteilung des Unterrichts erfolgte in Abhebung von anderen Medien:

- 12 Fernsehsendungen zum Thema Storch sind besser als der Sachunterricht dazu war; sein Neuigkeitswert wurde im Vergleich zum sonstigen Unterricht erhoben:
13 Die Stunden zum Sachunterricht waren anders als der Sachunterricht sonst immer ist.
Schließlich konnten die Kinder in drei offenen Fragen angeben, was sie gerne noch zum Thema Storch wissen wollen 14, was im Unterricht zum Thema Storch anders hätte sein sollen 15, und was sie beim Thema Storch nicht verstanden haben 16.

- **Systemisches Wissen zum Thema Storch**

Im Zwischentest wurden die Systemkompetenzen im Bereich Systemorganisation analog zum Vortest erhoben:

1a) Begriffslandkarte zum System Storch

- 17 Die Kinder wurden aufgefordert, eine Begriffslandkarte zum Thema Storch zu zeichnen.

1b) Darstellen von Beziehungen im System Storch

Wie im Vortest mussten die Kinder vier vorgegebenen Zweierbeziehungen ergänzen 18. Eine Dreierkette, bestehend aus drei Elemente, die über zwei Beziehungen zu verbinden war und eine Viererkette mit vier Elementen und drei Beziehungen waren selbst zu bilden 19.

Die Fragen 17, 20, 21 und 22 wurden im Rahmen der Gesamtevaluation des Projektes in den Fragebogen aufgenommen. Sie werden für die vorliegende Arbeit nicht ausgewertet.

4.3.3.2.4 Testanteile im Computerspiel

Wie oben erwähnt wurde das Computerspiel „Ciconias abenteuerliche Reise“ je nach Ausstattung der Schule in Einzel- oder Partnerarbeit durchgeführt. Während der Bearbeitung des Computerspiels wurden die Eingaben der Kinder gespeichert. Beim Verlassen des

Programms wurden die gespeicherten Daten mit einem Kürzel versehen, das eine spätere Zuordnung der Spielergebnisse zu den anderen Testteilen ermöglichte.

Wenn den Schulen nicht genügend den Spielanforderungen entsprechende Computer zur Verfügung standen, führte die Verfasserin diesen Unterrichtsabschnitt mit institutseigenen Laptops in den jeweiligen Klassen in Einzel- oder Partnerarbeit selbst durch.

- **Biologisches Wissen zum Thema Storch**

Im Computerspiel „Ciconias abenteuerliche Reise“ sind zwischen den einzelnen Spielabschnitten Seiten mit Fragen zur Biologie des Storches eingebaut, die von den Kindern zu beantworten waren. Sie dienen der Erhebung des biologischen Wissens, das die Kinder im Laufe der Unterrichtseinheit und des Computerspiels erworben haben.

Die Fragen sind als offene Fragen formuliert, so dass die Kinder ihre Antworten über die Tastatur eingeben können.

Nach dem ersten Spielabschnitt sollten die Kinder die Frage beantworten, welche Lebensräume für den Storch geeignet sind. Auf den zweiten Spielabschnitt folgte die Frage nach geeigneter Nahrung für den Storch, auf den dritten die Frage nach möglichen Nistplätzen. Nach dem in das Spiel integrierten Film sollen die Kinder aufzählen, was für das Heranwachsen der Storchenjungen wichtig ist.

Dem vierten Spielabschnitt folgen vier Fragen zum Zug des Storches nach der Anzahl der Tage, die der Storch für seinen Zug braucht, nach der Länge der Strecke, die er bis in sein Zwischenrastgebiet zurückgelegt hat, nach der Flugtechnik, die ihm diesen langen Flug ermöglicht und nach Gefahren auf dem Zug.

Im Anschluss an den letzten Spielabschnitt wurden zwei Fragen zum Aufenthalt des Storches in Afrika gestellt. Sie betrafen die Lebensräume, in denen sich der Storch in Afrika aufhält und die Nahrung, die er in Afrika findet.

- **Systemisches Wissen zum Thema Storch**

Am Ende des Spiels mussten die Schüler aus den während des Spiels gesammelten „Notizzetteln“ eine Begriffslandkarte am Computer erstellen. Sie diente der Erhebung der Modellbildungsfähigkeit. Wie sich in der Vorerprobung der Testinstrumente herausstellte (s. o.), war die Benutzeroberfläche des Zeichentools trotz Überarbeitung für Grundschüler sehr schwierig zu bedienen. Aus den oben genannten Gründen wurde auf eine Auswertung dieses Testteils verzichtet. Stattdessen wurde ein zusätzlicher Posttest mit „Papier und Bleistift“ durchgeführt (s. 4.3.3.2.6).

4.3.3.2.5 Nachtest

Der schriftlich Nachtest enthielt Fragen zur Computernutzung, zum Interesse am Computerspiel, sowie Fragen zur Modellbildung und den Systemeigenschaften des Systems Storch.

- **Computererfahrung**

Die ersten fünf Fragen umfassten Aspekte der Computernutzung. Es wurde nach der Erfahrung im Umgang mit anderen Computerlernspielen gefragt und über zwei Fragen die Nutzungshäufigkeit des Computers in Tagen pro Woche und Minuten pro Tag ermittelt.

Die vierte Frage betraf die Möglichkeit, zu Hause an einem Computer zu arbeiten. Schließlich wurde nach der überwiegend am PC ausgeübten Tätigkeit gefragt.

- **Interesse am Computerspiel „Ciconias abenteuerliche Reise“**

Mit einer vierstufigen Skala analog zu den anderen Testteilen sollte die Zustimmung zu folgenden Items eingestuft werden:

6 Das Computerspiel „Ciconias abenteuerliche Reise war langweilig“.

8 Ich fand den Unterricht zum Thema Storch besser als das Computerspiel.

9 Ich habe mich noch zusätzlich mit dem Thema Storch beschäftigt (in Sachbüchern oder im Internet nachgeschaut, andere gefragt, draußen gewesen, experimentiert...).

- **Beurteilungen des Computerspieles „Ciconias abenteuerliche Reise“**

Die Einschätzung des eigenen Lernzuwachses durch das Computerspiel wurde über zwei Items erhoben:

7 Ich habe mit dem Computerspiel viel zum Thema Storch gelernt.

11 Ich habe alles, was im Computerspiel gefragt wurde, schon vorher gewusst.

Mit zwei weiteren Items sollten die Schüler den Schwierigkeitsgrad des Computerspiels einordnen:

10 Mir ist es schwer gefallen, die Fragen im Computerspiel zu beantworten.

12 Das Ordnen der Notizzettel zum Schluss des Spieles ist mir leicht gefallen.

In zwei offenen Fragen konnten allgemeine Anmerkungen zum Spiel gemacht werden 13, und Änderungswünsche am Spiel mitgeteilt werden 14.

- **Systemisches Wissen zum Thema Storch**

Im Nachtest wurden die Systemkompetenzen in den Bereichen Systemorganisation und Systemeigenschaften erhoben:

1. Systemorganisation

Knüpfen von Beziehungen im System Storch

Wie im Vor- und Zwischentest sollten in diesem Testabschnitt die Lücken in vier vorgegebenen Zweierbeziehungen ergänzt werden 15a. Darüber hinaus konnten acht Zweierbeziehungen 15b; eine Dreierkette 16 und eine Viererkette 17 ohne Vorgaben gebildet werden.

2. Eigenschaften des Systems

Zur Untersuchung der Kompetenzkomponente „Zwischen Eigenschaften des Systems und Eigenschaften der Elemente unterscheiden können“ mussten die Kinder die Folgen des Entfernens von wesentlichen Teilen aus dem System Storch benennen:

19 Stell dir vor, die Menschen würden auf einmal alle Nistplätze von ihren Dächern und die Nisthilfen auf ihren Bauernhöfen entfernen. Welche Folgen hätte das für den Storch?

Ob Kinder erkennen, dass isolierte Teile (Elemente, die keine Beziehungen untereinander haben) nicht mehr dieselben Eigenschaften haben wie Teile, die im System verbunden sind, wurde mit Hilfe der folgenden Frage untersucht:

22 Einige Forscher machten einen Versuch: Sie suchten sich einen großen Raum, in den sie alles hineinbrachten, was für den Storch wichtig ist: ein Nest, viele Regenwürmer in einer Kiste, viele Käfer in einer anderen Kiste, Wasser in einem Eimer usw. Was glaubst du, wie es dem Storch in diesem Raum ergangen ist? Was war nach einem halben Jahr in diesem Raum los? Sah es aus wie draußen?

Die Kompetenzkomponente „Erkennen von dynamischen Beziehungen“ wurde über die Beurteilung der folgenden Aussagen untersucht:

26 Störche können von Beginn ihres Lebens an immer das Gleiche fressen. Stimmt oder stimmt nicht, weil...

27 Im Sommerquartier bleiben die Störche die ganze Zeit in einem Gebiet. Im Winterquartier ziehen sie in großen Gebieten umher. Stimmt oder stimmt nicht, weil...

Die Fähigkeit „Vorhersagen von Folgen von Veränderungen“ wurde folgendermaßen operationalisiert:

20 In einem Frühjahr gab es ungewöhnlich wenige Regenwürmer. Ist das für den Storch von Bedeutung?

Die Beurteilung und Begründung der folgenden drei Aussagen und die Beantwortung einer Frage sollten Hinweise auf die Fähigkeiten zur „Beurteilung von Wirkungen in einem System“ liefern:

23 Früher gab es noch keine Stromleitungen. Heute hängen überall Stromleitungen, die den Menschen Strom in die Häuser bringen. Auf die Störche hat das keinen Einfluss. Stimmt oder stimmt nicht, weil ...

24 Die Menschen in Deutschland wollen alles Land möglichst gut nutzen, deshalb legen sie sumpfige Wiesen trocken, damit darauf Getreide wachsen kann. Oder sie leiten Bäche in Betonrinnen um, damit das Land nicht überschwemmt wird. Für die Störche ist das kein Problem. Stimmt oder stimmt nicht, weil ...

25 Wenn es in einem Gebiet viel regnet oder wenig regnet, dann hat das einen Einfluss auf das Futter des Storches. Stimmt oder stimmt nicht, weil ...

21 Vor einigen Jahren regnete es in Afrika zur gewohnten Regenzeit im Sommer nur sehr wenig, in einigen Gebieten fiel sogar überhaupt kein Niederschlag. Der Storch kommt erst einige Monate später nach Afrika. Ist es für ihn dann wichtig, ob es im Sommer geregnet hat oder nicht?

4.3.3.2.6 Posttest

Aufgrund der im Zwischentest (4.3.3.2.4) gemachten Erfahrung, dass die Kinder erhebliche Schwierigkeiten im Umgang mit dem Zeichentool des Computerspieles hatten, wurde zusätzlich ein Posttest mit „Papier und Bleistift“ durchgeführt. Er fand einige Tage bis maximal drei Wochen nach Abschluss der Unterrichtseinheit statt. Die Schüler wurden aufgefordert, eine Begriffslandkarte zum Thema Storch zu zeichnen.

4.3.3.2.7 Interview

Mit einigen zufällig aus vier von insgesamt 27 Klassen ausgewählten Schülern wurden nach Abschluss der anderen Testteile Einzelinterviews geführt. Es handelte sich um insgesamt 16 Schüler. Die Interviews wurden von der Verfasserin mit Hilfe eines halboffenen Interviewleitfadens in den jeweiligen Schulen durchgeführt.

Die Interviews sollten einen detaillierten Einblick in das Verständnis der Kinder für Rückwirkungen geben. Sie bestanden aus drei Teilen; die beiden ersten Teile beschäftigen sich mit den Beziehungen in verschiedenen komplexen Systemen, der dritte Teil fließt in die vorliegenden Auswertungen nicht mit ein. Die einzelnen Interviews dauerten zwischen 20 und 30 Minuten und wurden mit Hilfe eines Aufnahmegerätes festgehalten.

- **1. Teil: Rückwirkungen in einem einfachen System**

Den Schülern wurde folgende Situation geschildert:

„Es ist einmal vorgekommen, dass ein Storchchenpaar sich darauf spezialisiert hat, in der Nähe eines Fischteiches zu leben. Die beiden Störche haben sich fast nur von den Fischen im Teich ernährt.“

Die Schüler wurden gebeten, auf der Basis dieser Geschichte eine Begriffslandkarte zu zeichnen. Dazu sollten sie zunächst die wichtigsten Elemente nennen und diese dann auf einem Blatt Papier aufzeichnen. Im nächsten Schritt mussten sie Pfeile zwischen den Elementen einzeichnen und diese wie in ihren sonstigen Begriffslandkarten beschriften.

Ziel war es dabei, das Wirkungsgefüge zwischen Störchen und Fischen qualitativ darzustellen.

Auf der Grundlage ihrer Zeichnung wurden die Schüler dann gefragt, was im Laufe der Zeit mit den Störchen und Fischen passieren würde. Dies sollte den Blick der Schüler auf die quantitativen Veränderungen in diesem „System“ lenken.

Wenn die Schüler diese Frage hinreichend beantwortet hatten, wurden sie gebeten, vorgegebene Satzanfänge zu vervollständigen, die eine halbquantitative Betrachtung voraussetzen: „Je mehr Fische es gibt, umso ...“ und „Je mehr Störche es gibt, umso ...“.

- **2. Teil: Rückwirkungen in einem komplexen System**

Ausgangsbasis war die folgende Schilderung:

„In Afrika gibt es Wanderheuschrecken. Wanderheuschrecken fressen Pflanzen. Wenn diese auf ein von Menschen angelegtes Feld kommen, können sie es genauso kahl fressen wie das Gras in der Savanne. Um zu verhindern, dass die Heuschrecken die ganze Ernte wegfressen, spritzen die Menschen Gift gegen die Heuschrecken. Störche fressen sehr gerne

Wanderheuschrecken. Wenn sie irgendwo in größeren Mengen auftreten, dann versammeln sich viele Störche, um sich an Heuschrecken satt zu fressen.“

Nach dieser Darstellung wurden den Kindern Kärtchen vorgelegt, auf denen jeweils ein Element des geschilderten Systems stand. Es gab fünf Kärtchen: Störche in Afrika, Störche in Deutschland, Wanderheuschrecken, Ernteschäden, Gift. Den Kindern wurden die Kärtchen gezeigt und die Begriffe vorgelesen. Dann wurden sie gebeten, mit Hilfe der Kärtchen auf einem Papier eine Begriffslandkarte zu legen und zu erklären, welche Beziehungen es zwischen den Elementen gibt. Die Schüler beschrieben die Beziehungen zunächst mündlich, dann zeichneten sie Pfeile und beschrifteten sie. Auf diese Weise wurde wieder eine qualitative Darstellung des Systems erreicht.

Zur Überleitung in eine quantitative Betrachtung wurde gefragt, was passiert, wenn es in einem Jahr sehr viele Wanderheuschrecken gibt. Wenn die Schüler nicht selbst alle Elemente in die Betrachtung mit einbezogen, wurde nach den einzelnen Elementen gezielt gefragt.

Schließlich sollten zur gezielten Erfassung von halbquantitativen Rückwirkungen die folgenden Satzanfänge ergänzt werden:

- Je mehr Wanderheuschrecken es gibt, umso...
- Je mehr Gift gespritzt wird, umso...
- Je mehr Ernteschäden durch Heuschrecken entstehen, umso...
- Je weniger Störche es in Afrika gibt, umso ...

4.3.3.2.8 Fragebogen für die Lehrkräfte

Nach Abschluss der Unterrichtseinheit wurden auch die Lehrkräfte gebeten, einen Fragebogen zu dem von ihnen durchgeführten Unterricht auszufüllen. Da der Fragebogen auch für die Gesamtevaluation des Projektes System Erde benutzt wurde, sind einige Fragen enthalten, die für die vorliegende Untersuchung nicht relevant waren. Die folgenden Fragen beziehen sich nur auf die Aspekte, die im Laufe dieser Untersuchung von Interesse sind.

In einem ersten Frageblock sollte geklärt werden, warum sich die Lehrkräfte speziell für das Thema „Storch“ entschieden hatten. In diesem Zusammenhang wurden die Erläuterungen der Lehrkräfte zu den folgenden Fragen ausgewertet:

2] Worin liegt Ihr persönliches Interesse an dem Thema?

Der nächste Fragenblock bezog sich auf die Organisation des Unterrichts:

Welche Bausteine der Unterrichtseinheit wurden durchgeführt?

Wie viele Unterrichtsstunden wurden für die Unterrichtseinheit eingesetzt?

1] Haben Sie bereits vorher Unterricht zu diesem Thema durchgeführt?

9] Haben Sie die vorgeschlagenen Unterrichtsbausteine verändert? Wenn ja, wie?

Wer führte das Computerspiel „Ciconias abenteuerliche Reise“ mit der Klasse durch?

Weitere Fragen prüften, inwiefern die Lehrkräfte die Leitideen des Projektes in ihrem Unterricht umgesetzt hatten.

Zur Berücksichtigung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen wurden die folgenden Aspekte erfragt:

- 19 Was haben Ihre SchülerInnen im Rahmen des „System Erde“-Unterrichts beschreibend beobachtet?
- 20 Was haben Ihre SchülerInnen im Rahmen des „System Erde“-Unterrichts kriteriengeleitet miteinander verglichen?
- 21 Zu welchen Fragen haben Ihre SchülerInnen im Rahmen des „System Erde“-Unterrichts (hypothesengeleitet) experimentiert?
- 22 Wie wurden die Ergebnisse des Beobachtens, Vergleichens und Experimentierens im Unterricht festgehalten (mündlich, schriftlich, grafisch)?

Inwiefern der systemische Ansatz umgesetzt wurde, war Thema der folgenden Fragen:

- 12 Konnten Sie bei dem von Ihnen unterrichteten Thema systemische Aspekte berücksichtigen? Wenn ja, welche Begriffe haben Sie als Elemente eines Systems vermittelt?
- 13 Haben Sie im Unterricht Beziehungen zwischen diesen Elementen hergestellt? Wenn ja, wie haben Sie diese im Unterricht grafisch dargestellt?
- 15 Haben Sie im Unterricht Vorhersagen über verschiedene Entwicklungen des Systems (bei Wegfall oder vermehrtem Auftreten eines Elements) getroffen? Wenn ja, welche?

Der letzte Fragenblock bezog sich auf den Bezug des Themas zum Menschen:

- 23 Wie haben Sie im Unterricht den Bezug des Themas zum Menschen hergestellt?
- 24 Welche Aspekte des Schutzes und der Nutzung der Erde haben Sie im Unterricht behandelt?

4.4 Auswahl der Stichprobe

Die vorliegende Untersuchung wurde zeitgleich mit einer Evaluation von Unterrichtsmaterialien, die im Rahmen des Projektes „System Erde“ erstellt wurden, durchgeführt. Die Suche nach Teilnehmern wurde für beide Untersuchungen gemeinsam organisiert. Dazu wurden alle 626 Grundschulen Schleswig-Holsteins angeschrieben und über die grundsätzliche Zielsetzung des Projektes informiert. Zielgruppe des Projektes waren Schüler der dritten und vierten Jahrgangsstufe. Bei Interesse an einer Mitarbeit konnten die Lehrkräfte aus einem Themenkatalog ein oder mehrere Unterrichtsthemen auswählen. Insgesamt bekundeten 310 Lehrkräfte ihre Bereitschaft zur Mitarbeit. Aus diesem Pool an Rückmeldungen wurden unter organisatorischen Gesichtspunkten 27 Lehrkräfte aus 24 Grundschulen ausgesucht, die ihr Interesse zur Teilnahme an der vorliegenden Studie bekundet hatten. Dabei wurde auf eine gleichmäßige Verteilung von Schulen aus städtischem und ländlichem Umfeld geachtet, ansonsten unterlag die Auswahl keinen weiteren Einschränkungen.

Ausgangsbasis der Untersuchung war somit eine Stichprobe von 27 Schulklassen. Aufgrund fehlender oder falsch bearbeiteter Testteile mussten im Nachhinein 7 Klassen von der Auswertung ausgeschlossen werden. Die folgenden Analysen beziehen sich daher auf 20 Klassen und 363 Schüler.

Die Untersuchung fand von Oktober 2004 bis Februar 2005 statt.

4.5 Auswertungsmethoden

Die Rohdaten aus den verschiedenen Testteilen mussten zur weiteren Untersuchung kategorisiert und wenn möglich, quantifiziert werden. In den folgenden Kapiteln werden die eingesetzten Methoden der Datenaufbereitung und statistischen Datenauswertung beschrieben.

4.5.1 Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation

Die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation wurden über das Zeichnen von Begriffslandkarten und das Darstellen von Beziehungen (4.3.1.1) getestet. In den folgenden Abschnitten werden die Methoden der Datenaufbereitung und -auswertung vorgestellt.

4.5.1.1 Auswertung der Begriffslandkarten

- Elemente und Beziehungen

Die Erstellung der Begriffslandkarten dient der Überprüfung der Kompetenzkomponenten, die sich auf die Organisation eines Systems beziehen. Die Komponenten, die in diesem Zusammenhang untersucht werden sollen, wurden in Kapitel 4.3.1.1 vorgestellt.

Begriffslandkarten enthalten im wesentlichen zwei Strukturelemente: die **Elemente**, die die Knoten einer Begriffslandkarte bilden und **Beziehungen**, die die Elemente untereinander

verknüpfen. Bedingt durch das vereinfachte Verfahren zur Erstellung einer Begriffslandkarte, in dem die Schüler nicht zur Beschriftung der Pfeile gezwungen waren, ergeben sich für dieselbe Aufgabenstellung beschriftete und unbeschriftete Pfeile. In der Datenaufbereitung wurden drei Kategorien gebildet. Für die erste Kategorie wurden alle in der jeweiligen Begriffslandkarte vorhandenen Beziehungen ausgezählt, für die zweite Kategorie wurden nur die beschrifteten Pfeile ausgezählt. In die dritte Kategorie „wertbare Beziehungen“ wurden alle beschrifteten und unbeschrifteten Pfeile aufgenommen, die Elemente sinnvoll mit einander verbinden. Die Beurteilung nach sinnvollen und nicht sinnvollen Beziehungen fällt bei beschrifteten Pfeilen leichter, da sich der Bedeutungszusammenhang aus der Beschriftung ergeben sollte. Beschriftete Pfeile wurden dann als nicht sinnvoll eingestuft, wenn ihre Bezeichnung keinen Zusammenhang zwischen den Elementen erkennen ließ. Unbeschriftete Pfeile wurden dann ausgeschlossen, wenn Schüler auch zwischen Elementen Beziehungen geknüpft hatten, zwischen denen offensichtlich keine Beziehungen bestehen oder Beziehungen wahllos zwischen allen Elementen der Begriffslandkarte gezogen wurden. In die weitere Auswertung wurden nur „wertbare“ Beziehungen aus der dritten Kategorie einbezogen.

Zur Auswertung der Begriffslandkarten wurden

⇒ die Anzahl der gültigen Elemente jeder Begriffslandkarte und

⇒ die Anzahl der wertbaren Beziehungen jeder Begriffslandkarte ausgezählt.

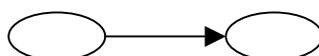
- Struktur der Begriffslandkarte

Zur Beschreibung des Gesamteindrucks der Begriffslandkarten wurde die Struktur der Begriffslandkarten ermittelt. Bei diesem Merkmal wird zwischen folgenden Strukturkategorien unterschieden:

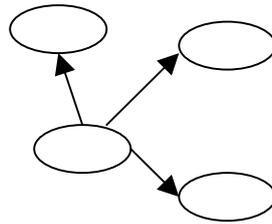
Elemente nicht verbunden: Die Beziehung der dargestellten Elemente ist nicht durch einen Pfeil dargestellt.



Zweierbeziehung: Von einem Element geht eine Verbindung zu genau einem anderen Element.



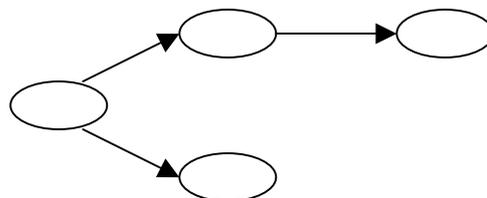
Stern: Von einem Element gehen mindestens drei Verbindungen ohne weitere Verzweigungen zu mindestens drei anderen Elementen.



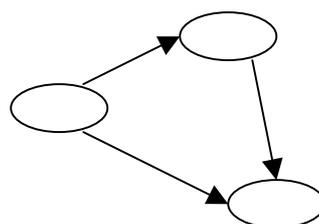
Kette: Von einem Element geht eine Verbindung zu einem zweiten Element und von diesem zu mindestens noch einem Element.



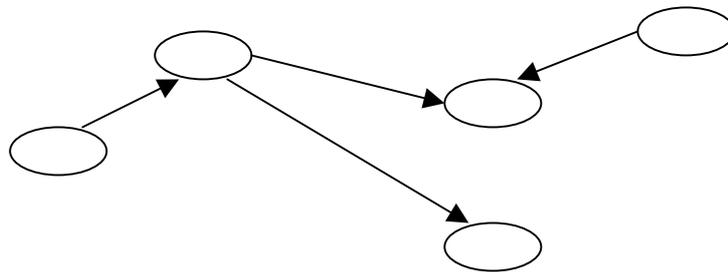
verzweigte Kette: Mindestens vier Elemente sind über einen Verzweigungspunkt bzw. einen Konvergenzpunkt verbunden. Als Verzweigungspunkt wird ein Element bezeichnet, von dem zwei Pfeile weg führen; als Konvergenzpunkt wird ein Element bezeichnet, zu dem zwei Pfeile hinführen.



Kreislauf: Mindestens drei Elemente sind über Verbindungen zu einem geschlossenen Kreis verknüpft. Die einzelnen Verbindungen müssen nicht alle in einer Richtung verlaufen.



Netz: Mindestens fünf Elemente sind über Beziehungen nicht-linear verknüpft, d. h. ein Netz muss mindestens zwei Punkte der Verzweigung oder auch der Konvergenz enthalten.



Die von den Kindern entworfenen Begriffslandkarten enthielten meist mehr Verknüpfungen als in den obigen Zeichnungen enthalten sind.

Neben der Einordnung der Begriffslandkarten in die beschriebenen Strukturkategorien wurde die Variable „Struktur“ in die Berechnung des Komplexitätsindex (s. unten) mit einbezogen. Dazu wurden für die einzelnen Strukturen Punkte vergeben. Je komplexer die dargestellte Figur, umso mehr Punkte wurden vergeben.

Tabelle 1: Punktevergabe für die Strukturkategorien

Strukturkategorie	Punktzahl
Elemente nicht verbunden	0
Zweierbeziehung	1
Stern	2
Kette	3
verzweigte Kette	4
Kreislauf	5
Netz	6

- Indizes

Zur weiteren Analyse der Begriffslandkarten wurden drei Indizes gebildet, die Maße für den Umfang, die Vernetzung und die Komplexität der Begriffslandkarten darstellen.

Der **Umfang** ist ein Maß für das Ausmaß des Wissens und wird aus der Anzahl der Elemente und wertbaren Beziehungen gebildet:

Umfang = Anzahl der Elemente + Anzahl der wertbaren Beziehungen

Der **Vernetzungsindex** gibt an, wie stark die Elemente über Beziehungen verknüpft sind. Er

$$\text{Vernetzung} = \frac{2 \times \text{Anzahl der Elemente}}{\text{Anzahl wertbarer Beziehungen}}$$

wird in Anschluss an Ossimitz (2000) folgendermaßen berechnet:

Im **Komplexitätsindex** sind Umfang, Vernetzung und Struktur der Begriffslandkarte berücksichtigt. Er berechnet sich aus der Summe der normierten Punktzahlen für die Struktur, die Vernetzung und den Umfang.

$$\text{Komplexitätsindex} = \frac{\text{Punktzahl Struktur} + \text{Punktzahl Vernetzung} + \text{Punktzahl Umfang}}{3}$$

Die Normierung der jeweiligen Punktzahl erfolgte für „Struktur“ über das Teilen des individuellen Wertes durch die höchst mögliche Punktzahl für Struktur (6). Für die Variablen Vernetzung und Umfang wurde der individuelle Wert durch den höchsten erreichten Wert dividiert, so weit er kein „Ausreißer“ war. Als „Ausreißer“ werden nach Bühl & Zöfel (2000) Extremwerte definiert, die mehr als anderthalb Kastenlängen außerhalb der Boxplot liegen.

4.5.1.2 Bewertung der geknüpften Beziehungen

Wie in Kapitel 4.3.1.1 beschrieben, wurde die Fähigkeit zum Darstellen von Beziehungen über die Begriffslandkarte hinaus durch das Verbinden von Elementen zu Zweierbeziehungen, Dreierketten und Viererketten operationalisiert. Unterschieden wird zwischen folgenden Schwierigkeitsstufen.

- Vorgegebene Zweierbeziehungen ergänzen:
Es wurde bestimmt, wie viele der vorgegebenen 4 Zweierbeziehungen sinnvoll ergänzt werden konnten.
- Elemente zu Dreierkette verbinden:
Es wurde festgestellt, ob drei Elemente über zwei Beziehungen zu einer sinnvollen Kette verbunden werden konnten. Dabei wurde nur eine räumliche Beziehung wie auf..., in... oder nach... gestattet, weil die Relation in diesen Fällen kein Prädikat enthielt.
- Elemente zu Viererkette verbinden:
Es wurde ermittelt, ob vier Elemente über drei Beziehungen zu einer sinnvollen Kette verbunden werden konnten, es war ebenfalls nur eine räumliche Beziehung gestattet.

4.5.1.3 Entwicklung der Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation im Verlauf der Untersuchung

Die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation sollen nicht nur deskriptiv dargestellt werden, sondern es soll auch die Entwicklung der Fähigkeiten über die Testteile ermittelt werden. Dazu wurde für jeden Schüler geprüft, wie sich die jeweilige Fähigkeit zwischen jeweils zwei Testteilen verändert. Es handelt sich also um gepaarte Stichproben, die an derselben Person zu unterschiedlichen Zeitpunkten ermittelt wurden.

Je nach Skalenniveau der Variablen kommen unterschiedliche Tests zum Vergleich der Mittelwerte zum Einsatz (Brosius, 2004):

Entwicklung im Bereich Systemorganisation: Begriffslandkarten

Variable	Skalenniveau	statistisches Verfahren
Anzahl Elemente	intervallskaliert	T-Test für abhängige Stichproben
Anzahl Verbindungen		
Umfang		
Vernetzungsindex		
Strukturindex	ordinalskaliert	Wilcoxon-Test

Entwicklung im Knüpfen von Beziehungen

Variable	Skalenniveau	statistisches Verfahren
Zweierbeziehungen ergänzen	intervallskaliert	T-Test für abhängige Stichproben
Dreierkette bilden	ordinalskaliert, dichotom	Chi-Quadrat-Test
Viererkette bilden		

T-Test für abhängige Stichproben

Der T-Test für abhängige Stichproben setzt voraus, dass die zu vergleichenden Mittelwerte aus Stichproben mit normalverteilten Werten stammen. Die betrachteten Variablen müssen mindestens intervallskaliert sein.

Der T-Test für abhängige Stichproben dient dazu, die Mittelwerte zweier von einander abhängiger Stichproben zu vergleichen. Dabei soll die Frage geklärt werden, ob auftretende Mittelwertunterschiede sich mit zufälligen Schwankungen erklären lassen oder ob die Unterschiede überzufällig und damit signifikant sind (Bühl & Zöfel, 2000).

Der t-Wert gibt dabei an, wie groß die Differenz zwischen den Mittelwerten der beiden Stichproben ist. Sind die Differenzen zwischen den Mittelwerten gleich Null, so unterscheiden sich die Stichproben nicht. Die Signifikanz gibt an, mit welcher Irrtumswahrscheinlichkeit sich der berechnete t-Wert von 0 unterscheidet.

Wilcoxon-Test

Der Wilcoxon-Test wird eingesetzt, wenn die Variable ordinalskaliert oder nicht-normalverteilt ist. Er ist der übliche Test zum nichtparametrischen Vergleich zweier abhängiger Stichproben. Der Wilcoxon-Test basiert auf einer Rangreihe der absoluten Wertepaar-differenzen. Er gibt die Anzahl der positiven und negativen Differenzen, sowie ihren durchschnittlichen Rangwert an. Auf dieser Basis wird ein Signifikanztest durchgeführt, der die Nullhypothese, beide Stichproben entstammten einer Grundgesamtheit mit identischer Verteilung, prüft (Brosius, 2004). Anhand des unter der Nullhypothese annähernd standardnormalverteilten Testwertes Z wird die Signifikanz der Nullhypothese ermittelt.

Kreuztabellen mit Chi-Quadrat-Test

Eine Kreuztabelle dient dazu, die gemeinsame Häufigkeitsverteilung zweier Variablen darzustellen. Dabei werden in der Kreuztabelle nicht nur die beobachteten Häufigkeiten, sondern auch die erwarteten Häufigkeiten ausgegeben. Weichen die beobachteten Häufigkeiten deutlich von den erwarteten Häufigkeiten ab, deutet dies darauf hin, dass die beiden Variablen möglicherweise nicht unabhängig von einander verteilt sind.

Auf den erwarteten Häufigkeiten basiert der Signifikanztest zur Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen den Variablen. Der Chi-Quadrat-Test untersucht, ob aus den Stichprobenbeobachtungen geschlossen werden kann, dass zwischen zwei kategorialen Variablen in der Grundgesamtheit ein Zusammenhang besteht. Ein großer χ^2 -Wert korrespondiert mit großen Abweichungen der beobachteten von den erwarteten Häufigkeiten und deutet auf einen Zusammenhang der Variablen hin. Die Signifikanz gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit sich eine Abweichung zwischen beobachteten und erwarteten Werten auch dann ergeben kann, wenn zwischen den Variablen in der Grundgesamtheit kein Zusammenhang besteht. (Brosius, 2004)

Durch Betrachtung der standardisierten Residuen in den einzelnen Feldern der Kreuztabelle kann man erkennen, in welchen Feldern die Signifikanz begründet liegt. Als Faustregel gilt, dass ein standardisiertes Residuum von 2 oder größer eine signifikante Abweichung der beobachteten von der erwarteten Häufigkeit angibt (Bühl & Zöfel, 2000).

4.5.2 Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften

4.5.2.1 Methoden zur Bewertung der schriftlichen Antworten

Die Aufgaben, die die Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften prüfen sollen, bestehen aus verschiedenen Aufgabentypen.

- Zum einen wurden Problemfälle geschildert, die mit einer Frage nach den Wirkungen oder Folgen des jeweiligen Problems verbunden waren. Die Kinder antworteten auf diese Fragen schriftlich, mussten aber keine ganzen Sätze bilden, sondern konnten Stichworte

schreiben. Diese Form der Aufgabe wird im Nachtest für die Fragen Nr. 18, 19, 20, 21 und 22 eingesetzt.

Die Antworten wurden quantitativ und qualitativ beurteilt. Für die quantitative Analyse wurde die Anzahl der genannten Folgen bzw. Wirkungen ausgewertet. Für die qualitative Analyse wurden die Antworten verschiedenen Kategorien zugeordnet, die zur Auswertung der einzelnen Fragen noch weiter spezifiziert wurden (s. Ergebnisse zu den einzelnen Fragen, Kapitel 5.3.1). Im Folgenden werden die allgemeinen Kategorien vorgestellt, die das Gerüst für die Spezifizierung in den einzelnen Aufgaben bilden:

Tabelle 2: Kategorien der qualitativen Analyse für die Aufgaben im Nachtest 18 - 22

Kategorien	Beschreibung
Frage nicht verstanden	alle Antworten, die in Bezug auf die Frage keinen Sinn ergeben
Frage falsch verstanden	Antworten, die in sich logisch, aber falsch sind
keine Wirkung bzw. Folgen erkannt	Antworten, die keine Veränderungen im System implizieren
unspezifische Wirkung oder Folgen benannt	Antworten, die eine Veränderung für das System beschreiben, wobei die Veränderung aber nicht näher spezifiziert wird, sondern auf einem sehr allgemeinen Niveau bleibt
spezifische Wirkung oder Folgen benannt	Antworten, die verschiedene konkrete Veränderungen im System beschreiben
spezielle Wirkung oder Folge benannt	Antworten, die sich auf eine spezielle Wirkung (Rückwirkung) oder eine spezielle Folge, die in der Aufgabenstellung angelegt war, beziehen (Spezielle Wirkungen werden nicht zu jeder Aufgabe definiert.)

Zur weiteren Auswertung wurden die Kategorien „Frage nicht verstanden“ und „Frage falsch verstanden“ zusammengefasst.

- Beim zweiten Teil der Aufgaben handelt es sich um Aussagen über Zusammenhänge. Die Kinder mussten angeben, ob die Zusammenhänge richtig beschrieben wurden. Die Einschätzung musste schriftlich begründet werden. Zunächst wurde ausgewertet, ob die Kinder die jeweilige Aussage richtigerweise als zutreffend oder nicht zutreffend beurteilt hatten. Im zweiten Schritt wurden die schriftlichen Begründungen zu dieser Einschätzung analysiert. Zur Auswertung wurden die folgenden zwei Kategorien gebildet, die hier in ihrer allgemeinen Form vorgestellt werden.

Tabelle 3: Kategorien der qualitativen Analyse für die Aufgaben im Nachtest 23-27:

Kategorie	Beschreibung
Einfluss nicht erkannt	Antworten, aus denen hervorgeht, dass die jeweilige Wirkung nicht erkannt wurde oder der Einfluss der Wirkung falsch begründet wurde
Einfluss erkannt	Antworten, die eine Wirkung sinnvoll begründen

Oben wurde die deskriptive Auswertung der Fragen zu den Systemeigenschaften vorgestellt. Sie dienen der Beschreibung der Systemkompetenz der Kinder im Bereich Systemeigenschaften.

Darüber hinaus wird zur Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz eine abhängige Variable „Gesamtpunktzahl Eigenschaften“ gebildet (s. Abschnitt 4.5.4).

Gesamtpunktzahl Eigenschaften

Zur Berechnung dieser Gesamtpunktzahl wurden für jede Aufgabe, die sich auf die Beschreibung von Fähigkeiten im Bereich Systemeigenschaften bezieht, Punkte vergeben. Die Kriterien zur Punktevergabe waren:

Für jede der Aufgaben 18 bis 22 wurde dann ein Punkt vergeben, wenn die Kinder *spezifische* oder *spezielle* Folgen bzw. Wirkungen beschreiben konnten. Für das Benennen *unspezifischer* Folgen oder Wirkungen gab es keinen Punkt.

Für jede der Aufgaben 23 bis 27 wurde ein Punkt vergeben, wenn die Kinder in ihrer schriftlichen Begründung zeigten, dass sie einen Einfluss erkannt und verstanden hatten.

Für jede Aufgabe wurde also maximal ein Punkt vergeben, insgesamt konnten für die 10 Aufgaben maximal 10 Punkte erreicht werden.

4.5.2.2 Methoden zur Bewertung der Interviews

An einer ausgewählten Stelle soll der Ansatz der quantitativen Forschung verlassen werden, um bei der Analyse des Lernprozesses weiter in die Tiefe gehen zu können. So sollen detailliertere Kenntnisse des Verständnisprozesses gewonnen werden. Dieser Ansatz fällt in das Gebiet der qualitativen Forschungsmethoden. Ihr Ziel ist es, „mit systematischen, intersubjektiv überprüfbaren Techniken die Komplexität, Bedeutungsfülle und Interpretationsbedürftigkeit sprachlichen Materials auszuwerten“ (Mayring, 1993).

Für die Interviewsituation wurde ein halboffener Interviewleitfaden entwickelt, der Nachfragen zu interessanten oder unklaren Gedankengängen der Interviewten zulässt.

Da eine detaillierte qualitative Inhaltsanalyse der Interviews jedoch den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen würde, soll hier auf das Verfahren der „inhaltlichen Strukturierung“ zurückgegriffen werden. Ziel inhaltlicher Strukturierungen ist es, bestimmte Themen, Inhalte oder Aspekte aus dem Material herauszufiltern und zusammenzufassen. Die

Analyse besteht im Wesentlichen aus den folgenden Schritten: aufgrund der Fragestellung der Untersuchung werden zunächst theoriegeleitet die inhaltlichen Kategorien festgelegt, die bestimmte Inhalte aus dem Untersuchungsmaterial herausfiltern sollen. Daran schließt sich die Phase der Durchsicht des Materials im Hinblick auf das erstellte Kategoriensystem an. Nach dieser Durchsicht soll das in Form von Paraphrasen extrahierte Material für jede Kategorie zusammengefasst werden. In einigen Formen der Inhaltsanalyse folgt abschließend die Darstellung und Interpretation der ermittelten Häufigkeiten.

Die Durchführung des Interviews stand unter der Fragestellung „Können Grundschüler Rückwirkungen erkennen und beschreiben?“. Diese Fragestellung wurde an zwei inhaltlich verschiedenen Systemen und mit verschiedenen Fragemethoden überprüft. Es wurden deshalb für die Einzelaspekte des Interviews eigenständige Kategorien entworfen, nach denen die Antworten der Kinder bewertet wurden. Die Auswertung der Interviews soll Informationen über die Fähigkeit zum Erkennen und Beschreiben von Rückwirkungen bei Grundschulern liefern. Die Ergebnisse können den Grundstock für gezieltere Befragungen bilden.

Wie in Kapitel 4.3.3.2.7 beschrieben, werden in diesen Interviews Fragen zu zwei Systemen gestellt. Das erste System, ein einfaches System, besteht im wesentlichen aus zwei Elementen. Das zweite System ist komplexer, es ist aus 5 Elementen aufgebaut. Der Analyseleitfaden ist in Abbildung 50 und Abbildung 51 dargestellt⁵.

Anhand dieses Leitfadens wurden die mündlichen Beschreibungen der Interviewten und ihre Zeichnungen ausgewertet.

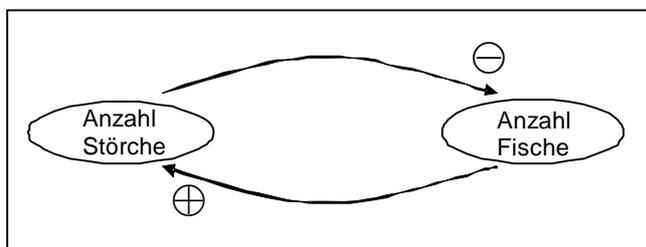


Abbildung 51: halbquantitative Darstellung des Systems 1: Störche und Fische

⁵ Die Darstellungen der Systeme beschränken sich auf die im Interview vorgegebenen Zusammenhänge und sind gegenüber der Realität dementsprechend eingeschränkt und vereinfacht.

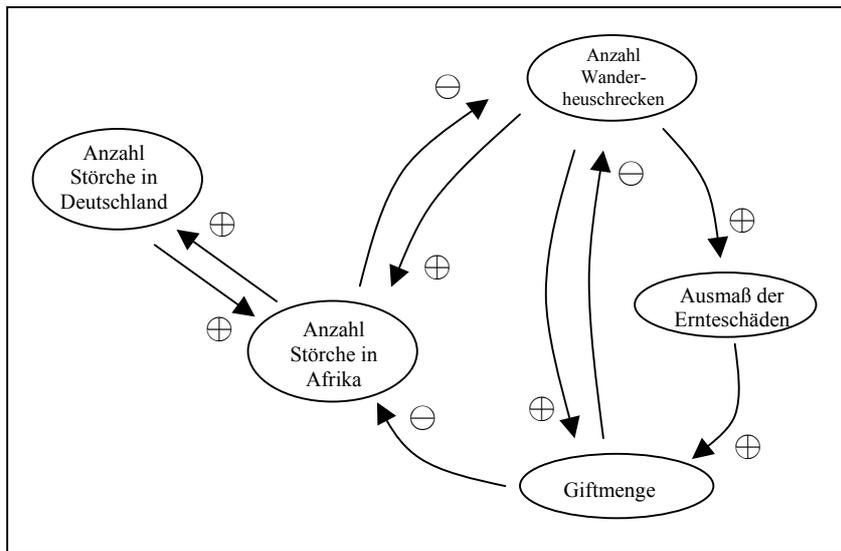


Abbildung 52: halbquantitative Darstellung des Systems 2: Störche und Heuschrecken in Afrika

Bei der Analyse der Angaben der Kinder zu den Systemen der Abbildung 50 und Abbildung 51 wurden die folgenden Untersuchungsfragen gestellt. Jede Frage impliziert bestimmte Auswertungskategorien.

- Können die Kinder die zum jeweiligen System beschriebenen Elemente und Wirkungsbeziehungen benennen und in einer Begriffslandkarte darstellen?
Für die Auswertung der Struktur der Begriffslandkarte ergeben sich daraus die beiden Kategorien
 - Kreislauf oder Rückwirkung, bzw. Kreislauf oder Netz gezeichnet
 - lineare Kette oder andere Struktur gezeichnet.

- Für das komplexere System 2 stellt sich zusätzlich die Frage, ob die Inhalte richtig dargestellt wurden:
 - dargestellte Zusammenhänge sind richtig, Rückwirkungen erkannt,
 - dargestellte Zusammenhänge sind richtig, keine Rückwirkungen erkannt,
 - Zusammenhänge unvollständig oder falsch dargestellt.

- Können die Kinder spontan (ohne Nachfrage) Rückwirkungen benennen
Aus dieser Frage leiten sich die folgenden Antwortkategorien ab:
 - Rückwirkung spontan erkannt,
 - Rückwirkung nicht erkannt, aber Zusammenhänge korrekt dargestellt,
 - Rückwirkung nicht erkannt, irrelevante oder falsche Zusammenhänge.

- Können die Kinder auf Nachfrage Rückwirkungen benennen?
Für das einfache System 1 (Abbildung 50) wurden die folgenden Kategorien abgeleitet:
 - beide Beziehungen erkannt und damit eine Rückwirkung hergestellt wurde,
 - nur eine Beziehung erkannt wurde,
 - keine Beziehung erkannt wurde.
 Für das komplexe System 2 (Abbildung 51) ergaben sich die folgenden Kategorien:
 - alle Elemente aufeinander bezogen und der Inhalt biologisch richtig dargestellt,
 - nicht alle Elemente aufeinander bezogen, die Inhalte aber biologisch richtig dargestellt,
 - alle Elemente aufeinander bezogen, die Inhalte aber biologisch falsch dargestellt,
 - die Zusammenhänge unvollständig und die Inhalte biologisch falsch dargestellt.

Die einzelnen halbquantitativen Aussagen wurden dann in ein Wirkungsdiagramm überführt, um Rückwirkungen zwischen Größen erkennen zu können.

4.5.3 Biologisches Wissen

Die Prüfung der Systemkompetenz setzt ein inhaltliches Wissen im jeweiligen System als notwendige Bedingung voraus, da sich Systemkompetenz nicht ohne inhaltlichen Bezug vermitteln oder prüfen lässt. Insofern enthalten die Analysen zur Systemkompetenz immer auch Analysen des zugrunde liegenden Fachwissens. Die Tests prüfen biologisches Wissen in zwei Bereichen. Zum einen enthalten die Begriffslandkarten biologisches Wissen. Die Auswertungsmöglichkeiten zu diesem biologischen Wissen werden in Abschnitt 4.5.3.1 dargestellt. Zum anderen wurden die Antworten auf die im Rahmen des Computerspiels gestellten Fragen zur Biologie des Storchs analysiert. Auf die Auswertung dieses Bereiches soll in Abschnitt 4.5.3.2 eingegangen werden.

4.5.3.1 Biologisches Wissen in den Begriffslandkarten

Die Veränderungen, die sich im Laufe der Unterrichtseinheit im biologischen Wissen der Kinder ergeben, werden quantitativ und qualitativ bewertet.

- Eine quantitative Aussage zur Menge des erworbenen Wissens ist über den oben (4.5.1.1) beschriebenen Parameter „**Umfang**“ möglich. Er beziffert die Anzahl der in die Begriffslandkarte eingebauten Elemente und Beziehungen.
- Eine weitere quantitative Aussage über das biologische Wissen wird über den „**Vernetzungsindex**“ gemacht. Er beschreibt, wie stark die einzelnen Elemente über Beziehungen verbunden sind. Die Berechnung des Vernetzungsindex wurde oben (4.5.1.1) vorgestellt.
- Zur qualitativen Betrachtung des biologischen Wissens werden die Begriffslandkarten einer inhaltlichen Analyse unterzogen. Dazu werden die einzelnen Propositionen (kleinst

mögliche Bedeutungseinheit des Wissens, vgl. 2.2.3.1) inhaltlichen Kategorien zugeordnet. Es werden die folgenden inhaltlichen Kategorien unterschieden:

Tabelle 4: Kategorien zur inhaltlichen Beschreibung des biologischen Wissens in den Begriffslandkarten

Kategorie	Beschreibung
Nahrung	alle Propositionen, die sich auf die Nahrung beziehen Beispiele: Storch sucht Mäuse, Storch frisst Frosch.
Aussehen	alle Propositionen, die äußere Merkmale des Storches beschreiben Beispiele: Storch hat langen Schnabel, Storch hat rote Beine.
Fortpflanzung	alle Propositionen zum Thema Fortpflanzung und Brutgeschehen Beispiele: Storch legt Eier, Storchenjunge schlüpfen aus Eiern, Storch baut Nest.
Verhalten	alle Propositionen; die ein Verhalten beschreiben Beispiele: Storch füttert Jungen, Storch segelt.
Nistplatz	alle Propositionen, die den Ort des Nistplatzes beschreiben Beispiele: Nest auf Schornstein, Nest auf Reetdach
Zug	alle Propositionen, die den Zug des Storches betreffen Beispiele: Storch fliegt nach Afrika, Storch zieht in den Süden.
Lebensraum	alle Propositionen, die den Lebensraum kennzeichnen Beispiele: Storch ist in Savanne, Storch läuft über Wiese.
Gefährdung	alle Propositionen zum Thema Gefährdung Beispiele: Storch fliegt gegen Stromleitung, Storch wird abgeschossen, Storch wird überfahren.

Jede Proposition wird nur einer Kategorie zugeordnet. Fällt eine Proposition in den Überschneidungsbereich zwischen zwei Kategorien, erfolgt die Zuordnung anhand des weiteren Zusammenhangs zu der am ehesten zutreffenden Kategorie.

4.5.3.2 Biologisches Wissen in Antworten auf Fragen im Computerspiel

In das Computerspiel „Ciconias abenteuerliche Reise“ sind zwischen den einzelnen Spielbereichen Aufgaben zur Festigung des erarbeiteten Wissens eingebaut. Die Analyse der Antworten wurde ebenfalls zur Feststellung des biologischen Wissens der Kinder herangezogen.

Es wurden Fragen zu den folgenden Bereichen gestellt:

- Lebensraum in Deutschland,
- Nahrung in Deutschland,
- Nistplatz,
- Bedingungen für das Heranwachsen der Storchenjungen,

- Zug,
- Lebensraum in Afrika,
- Nahrung in Afrika.

Die Aufgaben zum Zug des Weißstorches bestanden zum einen in der Angabe der Länge der Strecke, die der Storch von seinem Brutgebiet bis in sein Zwischenrastgebiet zieht, sowie der dafür benötigten Tage. In allen anderen Aufgaben mussten die Schüler die im vorangehenden Spielabschnitt erarbeiteten, für den Storch relevanten Bedingungen nennen. Daneben sollten die Kinder die besondere Flugtechnik des Weißstorches benennen und potentielle Gefahren auf der Reise schildern (s. auch Kapitel 4.3.3.2.4.).

Zur Bewertung der erbrachten Leistung wurde die Anzahl der richtigen Nennungen pro Spielabschnitt ausgezählt. In der folgenden Übersicht sind die maximal erreichbaren Punkte pro Aufgabe dargestellt:

Tabelle 5: Punktevergabe für die Aufgaben im Computerspiel

Aufgaben im Spielabschnitt	maximal erreichbare Punktzahl
Lebensraum in Deutschland	4
Nahrung in Deutschland	9
Nistplatz	4
Heranwachsen der Storchenkinder	6
Zug: Länge der Strecke	1
Zug: Dauer	1
Zug: Gefährdungen	4
Flugtechnik	1
Lebensraum in Afrika	3
Nahrung in Afrika	3

Die Summe der erreichten Punkte geht als abhängige Variable „biologisches Wissen“ in die Analyse der Einflüsse auf die Systemkompetenz ein (vgl. 4.5.4.1 c)).

4.5.4 Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz

In Kapitel 2.6 wurde theoretisch abgeleitet, welche Faktoren sich auf die Lernprodukte „biologisches Wissen“ und „Systemkompetenz“ auswirken könnten. Abbildung 52 stellt diese Faktoren noch einmal zusammenfassend dar. In der Abbildung sind die Faktoren hervorgehoben, auf die im Rahmen dieser Untersuchung eingegangen wird; emotionale Faktoren werden nicht untersucht.

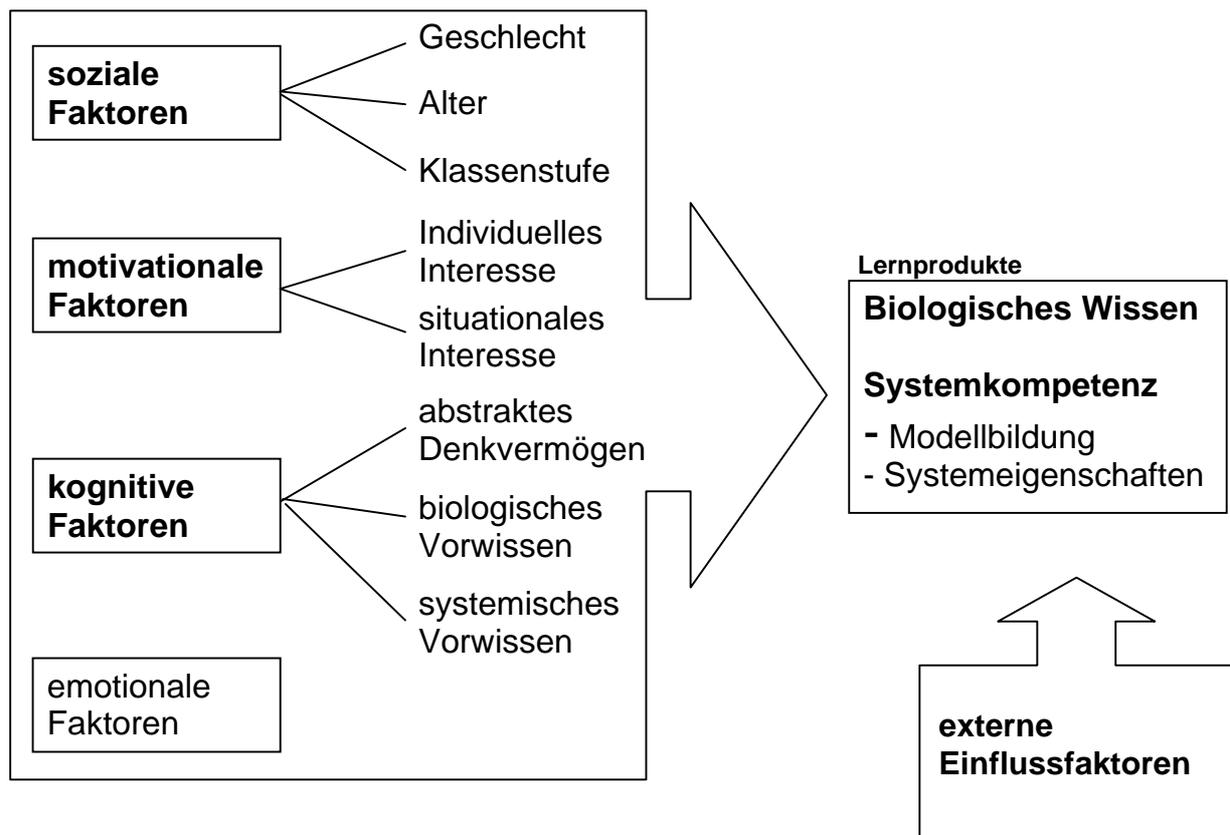


Abbildung 53: Mögliche Einflussfaktoren auf den untersuchten Lernprozess

4.5.4.1 Interne Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz

Zur Ermittlung des tatsächlichen Einflusses der theoretisch postulierten internen Einflussfaktoren wurde ein statistisches Verfahren angewendet, das im Folgenden kurz vorgestellt werden soll. Darüber hinaus wird auf die abhängigen und unabhängigen Variablen im Einzelnen eingegangen.

a) Statistische Methode

Die folgenden Auswertungen erfolgten mit Hilfe einer **Regressionsanalyse**. Sie dient dazu, die Art des Zusammenhangs zwischen zwei oder mehreren Variablen zu ermitteln, bzw. Möglichkeiten an die Hand zu geben, den Wert einer abhängigen Variablen Y aus den Werten einer oder mehrerer unabhängiger Variablen X vorherzusagen.

Die Regressionsfunktion beschreibt dabei eine lineare Beziehung zwischen der unabhängigen und der abhängigen Variable. Der Regressionskoeffizient, der die Neigung der Geraden angibt, bestimmt, welche Wirkung eine Änderung der unabhängigen Variablen X auf die

abhängige Variable Y hat. Die Abweichung der beobachteten Werte für die Variablen X und Y von der Regressionsgeraden werden durch die Residuen wiedergegeben. In der Regressionsanalyse wird versucht, eine Regressionsfunktion zu finden, in der die Residuen möglichst klein sind.

Da im vorliegenden Fall der Einfluss mehrerer unabhängiger Variablen untersucht werden soll, wird das Verfahren der multiplen linearen Regression verwendet. Sie funktioniert im Prinzip genauso wie die eben beschriebene einfache lineare Regression, nur setzt sich ihre Regressionsfunktion aus der Summe der Produkte der einzelnen Regressionsparameter und der Werte für die unabhängigen Variablen zusammen.

Multiple Regressionsfunktion: $\hat{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_jx_j$

\hat{Y} = Schätzung der abhängigen Variable Y

b_0 = konstantes Glied

$b_{1,j}$ = Regressionskoeffizienten

$x_{1,j}$ = unabhängige Variablen

Die Güte der geschätzten Regressionsfunktion, d. h. eine Schätzung, wie gut das Modell der Funktion die Realität abbildet, wird über verschiedene Gütemaße angegeben.

Globale Prüfung der Regressionsfunktion. Hierbei geht es um die Frage, ob und wie gut die abhängige Variable Y durch das Regressionsmodell erklärt wird.

Globale Gütemaße zur Prüfung der Regressionsfunktion sind das Bestimmtheitsmaß (R^2), die F-Statistik und der Standardfehler der Schätzung.

- Das Bestimmtheitsmaß (R^2) misst die Güte der Anpassung der Regressionsfunktion an die empirischen Daten auf der Basis der Residualgrößen und wird aus dem Verhältnis der erklärten Streuung zur Gesamtstreuung bestimmt. Das Bestimmtheitsmaß ist eine normierte Größe, die Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Es ist umso größer, je höher der Anteil der erklärten Streuung an der Gesamtstreuung ist.
- Die F-Statistik überprüft die Frage, ob das geschätzte Modell auch über die Stichprobe der eingebrachten Daten hinaus für die Grundgesamtheit Gültigkeit hat (zur näheren Erläuterung der statistischen Methode s. Backhaus, Erichson, Plinke, & Weiber, 2003). Der F-Test berechnet einen empirischen F-Wert, der unter Beachtung der Freiheitsgrade mit dem theoretischen F-Wert verglichen wird. Ist der empirische F-Wert größer als der theoretische, dann ist daraus zu folgern, dass der durch die Regressionsbeziehung hypothetisch postulierte Zusammenhang signifikant ist.
- Der Standardfehler der Schätzung gibt an, welcher mittlere Fehler bei der Verwendung der Regressionsfunktion zur Schätzung der abhängigen Variable Y gemacht wird.

Prüfung der Regressionskoeffizienten. Dabei geht es um die Frage, ob und wie gut einzelne Variablen des Regressionsmodells zur Erklärung der abhängigen Variable Y beitragen.

Maße zur Prüfung der Regressionskoeffizienten sind der t-Wert und der Beta-Wert.

- Während der F-Test die globale Prüfung der Regressionsfunktion erbringt, überprüft der t-Test die einzelnen Regressionskoeffizienten, indem er einen empirischen t-Wert berechnet, der mit dem theoretischen t-Wert verglichen wird. Ist der absolute Betrag des empirischen t-Wertes größer als der theoretische t-Wert, ist daraus zu folgern, dass der Einfluss der unabhängigen Variablen X_j auf die abhängige Variable Y signifikant ist.
- Um den Erklärungsgehalt der einzelnen Variablen zu vergleichen, werden standardisierte Koeffizienten, so genannte Beta-Koeffizienten betrachtet. Ihr direkter Vergleich zeigt, welchen Anteil die getesteten Variablen bei der Erklärung der Veränderung leisten.

Bei der Regressionsanalyse sind bestimmte Kriterien zu berücksichtigen.

- Bei der linearen Regressionsanalyse ist zu beachten, dass die abhängige Variable metrisch sein muss. Im vorliegenden Fall werden Regressionsanalysen mit den abhängigen Variablen „biologisches Wissen“, Systemkompetenz im Bereich Organisation eines Systems („Modellbildung“) und Systemkompetenz im Bereich Erkennen von Systemeigenschaften („Eigenschaften“) durchgeführt. Alle drei abhängigen Variablen sind intervallskaliert.

- Bei der multiplen Analyse mit mehreren unabhängigen Variablen ist eine schrittweise vorgehende Methode einer Methode vorzuziehen, die alle unabhängigen Variablen auf einmal in die Analyse einbezieht. Beim schrittweisen Vorgehen werden nacheinander die Variablen mit dem höchsten partiellen Korrelationskoeffizienten mit der abhängigen Variable in die Gleichung aufgenommen und untersucht, ob der zugehörige Regressionskoeffizient signifikant ist.

Diese Methode hat den Vorteil, dass eine Korrelation der unabhängigen Variablen untereinander bei der Schätzung der Koeffizienten berücksichtigt wird, um Scheinkorrelationen auszuschließen.

- Das lineare Regressionsmodell basiert nach Backhaus et al. (2003) auf der Prämisse, dass die unabhängigen Variablen nicht exakt linear abhängig sind, d. h. eine unabhängige Variable darf sich nicht als lineare Funktion der übrigen unabhängigen Variablen darstellen lassen. Dieser Fall der sogenannten „perfekten Multikollinearität“ kommt nur äußerst selten vor, eine Regressionsanalyse wäre dann rechnerisch nicht durchführbar. Allerdings besteht bei empirischen Daten immer ein gewisser Grad an Multikollinearität, der nach Backhaus et al. (2003) nicht störend sein muss. Da sich bei Multikollinearität die Streuungen der unabhängigen Variablen überschneiden, wirkt sich zunehmende Multikollinearität auf die Zuverlässigkeit der Ergebnisse aus. Sie hat zur Folge, dass sich die vorhandenen Informationen nicht mehr eindeutig den Variablen zuordnen und deshalb auch nicht für die Schätzung ihrer Koeffizienten nutzen lassen. Eine mögliche Folge von Kollinearität kann darin bestehen, dass sich die Regressionskoeffizienten erheblich verändern, wenn eine weitere Variable in die Funktion einbezogen oder eine bereits enthaltene Variable aus ihr entfernt wird.

Die Abhängigkeit der unabhängigen Variablen untereinander konnte im vorliegenden Modell theoretisch nicht ausgeschlossen werden. Backhaus et al. (2003) empfehlen, zur Aufdeckung von eventuell vorhandener Multikollinearität eine Regression jeder unabhängigen Variablen auf die übrigen unabhängigen Variablen durchzuführen. Ein

Wert $R^2 = 1$ besagt nach Backhaus et al. (2003), dass sich die Variable X durch Linearkombination der anderen unabhängigen Variablen erzeugen lässt und somit überflüssig ist. Für Werte von R^2 nahe 1 gilt das gleiche in abgeschwächter Form.

Betrachtet man die in dieser Studie erhobenen potentiellen Einflussfaktoren, so kommen für einen Ausschluss nur solche Variablen in Frage, die das gleiche theoretische Konstrukt abdecken. Naheliegend ist ein Zusammenhang der Variablen „Alter“ und „Klassenstufe“, die beide das Konstrukt „sozialer Einfluss“ in Form eines Reifegrades abdecken können. Des Weiteren hängen die Variablen „Vernetzung“, „Struktur“ und „Umfang“ theoretisch zusammen, da sie das Konstrukt „Modellbildungsfähigkeit“ abdecken und methodisch aus derselben Aufgabe (Zeichnung einer Begriffslandkarte) gewonnen wurden. Die anderen Variablen decken jeweils eigenständige theoretische Konstrukte ab und sollen daher nicht aus der Analyse ausgeschlossen werden. Aufgrund der genannten Erwägungen wurde die Kollinearität daher nur zwischen theoretisch verwandten Variablen überprüft.

Die Ergebnisse dieser Testreihe führten zu einer Reduktion der vorgesehenen unabhängigen Variablen:

1. Die Regression der unabhängigen Variablen „Alter“ auf „Klassenstufe“ ergab das Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,292$.

2. Die Regression der unabhängigen Variablen „Struktur“ auf „Vernetzung“ ergab $R^2 = 0,556$ und die von „Struktur“ auf „Umfang“ ergab $R^2 = 0,574$.

Da die Variablen „Struktur“, „Vernetzung“ und „Umfang“ jedoch jeweils wichtige Aspekte der Modellbildung abdecken, wurde statt getrennter Berücksichtigung jeder einzelnen Variable eine neue Variable „Komplexität“ geschaffen. Sie setzt sich aus der Summe der normierten Punktzahlen für die Variablen „Struktur“, „Vernetzung“ und „Umfang“ zusammen (vgl. Kapitel 4.5.1).

b) Unabhängige Variablen

Als unabhängige Variablen bleiben in Folge dieser Auswahl die möglichen sozialen Einflussfaktoren „Geschlecht“ und „Klassenstufe“, als mögliche motivationale Einflussfaktoren „individuelles Interesse“ und „situationales Interesse“, sowie als mögliche kognitive Einflussfaktoren „biologisches Vorwissen“, „abstrakte Denkfähigkeit“ und bereichsspezifisches Vorwissen bestehen. Das bereichsspezifische Vorwissen gliedert sich in die Bereiche „bereichsspezifisches systemisches Vorwissen: Systemorganisation“ und „bereichsspezifisches systemisches Vorwissen: Eigenschaften“.

- Die Variable „Klassenstufe“ gibt primär Auskunft darüber, ob die Kinder der dritten oder vierten Klassenstufe angehören. Es fließen darüber hinaus noch altersabhängige Aspekte ein, da die Kinder der vierten Klassenstufe im Mittel älter sind als die Kinder der dritten Klassenstufe.
- Die Variable „Geschlecht“ bedarf keiner näheren Erläuterung.
- Der motivationale Aspekt wurde über die Variablen „individuelles Interesse“ und „situationales Interesse“ abgedeckt. Das „individuelle Interesse“ gibt Auskunft über das Interesse am Fach Sachunterricht im Allgemeinen, das „situationale Interesse“ soll das

Interesse am Thema „Weißstorch“ messen. Das individuelle und das situationale Interesse wurden sowohl im Vortest als Angaben in Bezug auf den zu erwartenden Unterrichtsgang als auch im Zwischentest als Rückblick auf den erhaltenen Unterricht erhoben. Über die verschiedenen Testzeitpunkte kommen so zwei mal zwei Variablen zustande, deren Werte sich jeweils aus verschiedenen Fragen zusammensetzen (vgl. Tabelle 6).

unabhängige Variable	Testzeitpunkt	Anzahl Fragen im jeweiligen Testabschnitt
individuelles Interesse VT	Vortest	2
situationales Interesse VT	Vortest	2
individuelles Interesse ZT	Zwischentest	2
situationales Interesse ZT	Zwischentest	7

Tabelle 6: Zusammensetzung der motivationalen Variablen⁷

- Die Variable „bereichsspezifisches systemisches Vorwissen: Eigenschaften“ wird aus der Summe der Punktzahlen errechnet, die die Kinder für die Beantwortung der beiden Fragen zu Eigenschaften des Systems Schule erhalten. Sie bezieht sich auf die Darstellung dynamischer Aspekte im System Schule, hier dem Einschätzen der Folgen von Veränderungen im System Schule und der Veränderungen im Laufe der Zeit.
- Das bereichsspezifische systemische Vorwissen im Bereich Organisation eines Systems wird über die Variable „Komplexität“ erhoben. Im vorangehenden Abschnitt wurde dargestellt, wie der Komplexitätsindex berechnet wird. Die Variable deckt Informationen über das Ausmaß des Wissens (Umfang), den Grad der Verbindung des Wissens untereinander (Vernetzung) und darüber ab, in wie fern die Kinder von linearen Ursache-Wirkungszusammenhängen abrücken und komplexere Ursache-Wirkungszusammenhänge in den Blick nehmen (Struktur).

Abbildung 53 fasst die Auswahl der unabhängigen Variablen zusammen.

⁶ Anmerkung: Die Beurteilung des situationalen Interesses im ZT ist eine Zusammenfassung verschiedener Einschätzungen des Unterrichts durch die Schüler. Da die Variablen nicht untereinander in Bezug gesetzt werden, spielt die unterschiedliche Anzahl der einfließenden Fragen keine Rolle.

⁷ Anmerkung: Die Beurteilung des situationalen Interesses im ZT ist eine Zusammenfassung verschiedener Einschätzungen des Unterrichts durch die Schüler. Da die Variablen nicht untereinander in Bezug gesetzt werden, spielt die unterschiedliche Anzahl der einfließenden Fragen keine Rolle.

theoretisch abgeleitete Einflussfaktoren	erhobene Variablen		unabhängige Variablen	
soziale Faktoren	Geschlecht	→	Geschlecht	
	Alter			
	Klassenstufe	→	Klassenstufe	
motivationale Faktoren	individuelles Interesse	→	individuelles Interesse	
	situationales Interesse	→	situationales Interesse	
kognitive Faktoren	abstraktes Denkvermögen	→	abstraktes Denkvermögen	
	biologisches Vorwissen	→	biologisches Vorwissen	
	bereichsspezifisches systemisches Vorwissen im Bereich Organisation eines Systems: Komplexität	Umfang des Systems Storch Vernetzung des Systems Storch Struktur des Systems Storch	→	Komplexitätsindex Storch
kognitive Faktoren	bereichsübergreifendes systemisches Vorwissen im Bereich Organisation eines Systems: Komplexität	Umfang des Systems Schule Vernetzung des Systems Schule Vernetzung des Systems Schule	→	Komplexitätsindex Schule
	bereichsübergreifendes systemisches Vorwissen im Bereich Eigenschaften eines Systems	Punktzahl aus zwei Fragen zu Eigenschaften des Systems Schule	→	Gesamtpunktzahl Eigenschaften

Abbildung 54: Übersicht über die theoretisch abgeleiteten Einflussfaktoren und die in die statistischen Berechnungen als unabhängige Variablen aufgenommenen Faktoren

c) Abhängige Variablen

Der Einfluss der oben beschriebenen unabhängigen Variablen wird auf drei abhängige Variablen überprüft, nämlich biologisches Wissen, Systemkompetenz im Bereich Organisation eines Systems und Systemkompetenz im Bereich Erkennen von Systemeigenschaften.

- biologisches Wissen

Das biologische Wissen der Kinder zum Thema Storch wird im Laufe des Computerspiels „Ciconias abenteuerliche Reise“ erhoben. Es setzt sich aus 10 Fragen zusammen, für deren Beantwortung Punkte vergeben wurden (vgl. 4.5.3.2). Die individuell erreichbare Punktzahl wurde anhand der im Computerspiel angebotenen richtigen Lösungen für jede Aufgabe normiert. Eine Reliabilitätsanalyse über die 10 Wissensfragen führte zum Ausschluss von zwei Fragen, die die exakte Dauer des Storchenzuges bis ins Zwischenrastgebiet und die genaue Anzahl an Tagen für diese Strecke betrafen. Die abhängige Variable wird daher durch die erreichte Gesamtpunktzahl über die

verbleibenden 8 Fragen bestimmt ($\alpha = ,76$). Sie betreffen Informationen zum Lebensraum des Storches in Deutschland und Afrika, seiner Nahrung in Deutschland und Afrika, seinem Nistplatz und dem Zug.

- Systemkompetenz im Bereich Organisation eines Systems („Systemorganisation“)

Die Variable „Systemorganisation“ soll die Systemkompetenz der Kinder im Bereich Organisation eines Systems messen. Sie wird über das Zeichnen der Begriffslandkarten zum Thema Weißstorch erhoben. Unterschieden wird zwischen den verschiedenen Erhebungszeitpunkten im Vortest (VT), Zwischentest (ZT) und Posttest (PT). Zur Bestimmung der Fähigkeit „Modellbildung“ wurden verschiedene Parameter wie Umfang, Vernetzung und Struktur der Zeichnung erhoben.⁸ Die lineare Regression lässt als abhängige Variablen jedoch nur intervallskalierte Variablen zu. Der Parameter „Struktur“ konnte daher nicht berücksichtigt werden.

Als abhängige Variablen für den Bereich Organisation eines Systems bleiben daher die Variablen „Umfang“ und „Vernetzung“.
- Systemkompetenz im Bereich Erkennen von Systemeigenschaften („Eigenschaften“)

Die Variable „Eigenschaften“ soll die Kompetenz der Kinder im Erkennen der besonderen Eigenschaften eines Systems und im Umgang mit diesen Eigenschaften widerspiegeln. Die abhängige Variable „Eigenschaften“ setzt sich zusammen aus den Kompetenzkomponenten „zwischen Eigenschaften des Systems und Eigenschaften der Element unterscheiden können“, „dynamische Beziehungen erkennen“, „Folgen von Veränderungen vorhersagen“ und „Wirkungen in einem System beurteilen können“. Zu den einzelnen Kompetenzkomponenten wurden Fragen gestellt. Abbildung 54 zeigt die Verteilung der Fragen auf die einzelnen Kompetenzbereiche. Die Erfüllung der jeweiligen Kompetenzkomponente wurde durch Punktvergabe bewertet und zu einer Gesamtpunktzahl über den Bereich Systemeigenschaften addiert.

Kompetenzkomponente	Fragen	abhängige Variable
zwischen Eigenschaften des Systems und Eigenschaften der Elemente unterscheiden können	NT Frage 22 NT Frage 19	Gesamtpunktzahl „Eigenschaften“
dynamische Beziehungen in einem System erkennen	NT Frage 26 NT Frage 27	
Folgen von Veränderungen vorhersagen	NT Frage 18 NT Frage 20	
Wirkungen in einem System beurteilen	NT Frage 21 NT Frage 23 NT Frage 24 NT Frage 25	

Abbildung 55: Zusammensetzung der abhängigen Variablen Gesamtpunktzahl „Eigenschaften“

⁸ Da diese Parameter untereinander korrelieren, wurde versucht, den Einfluss auf die abhängige Variable „Komplexität“ (der Komplexitätsindex setzt sich aus der normierten Summe über die erreichten Punktzahlen in den Bereichen Umfang, Vernetzung und Struktur zusammen, s. oben) zu ermitteln. Es stellte sich jedoch heraus, dass diese übergeordnete abhängige Variable alle Abhängigkeiten zu anderen Variablen überdeckt. Die Auswertung erfolgt daher getrennt nach den einzelnen unabhängigen Variablen.

Die Prüfung der Abhängigkeiten kann aufgrund der verschiedenen abhängigen Variablen nur in getrennten Analysen erfolgen. Die folgenden Abbildungen geben eine Übersicht über die Analysen, die die Grundlage zur Prüfung der Forschungsfrage 2 darstellen.

Zunächst wird der Einfluss der unabhängigen Variablen auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation getestet (Abbildung 55).

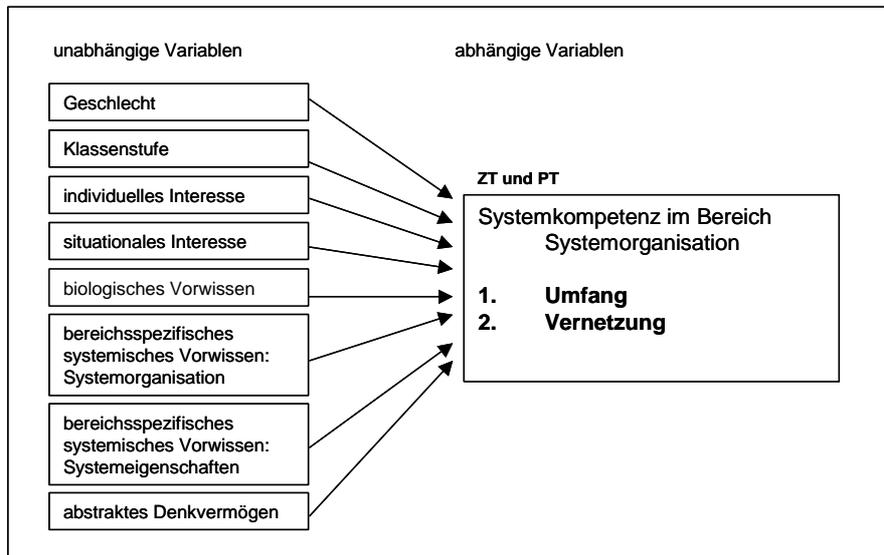


Abbildung 56: Einfluss auf Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation: Darstellung des Testdesigns

Wie oben erwähnt, werden bei einer schrittweisen Regressionsanalyse Korrelationen der unabhängigen Variablen untereinander herausgerechnet. Zur Klärung der Zusammenhänge wird daher im Folgenden in zwei Schritten vorgegangen. Im ersten Schritt werden die unabhängigen Variablen inklusive der Variablen für das systemische Vorwissen in ihrer Vorhersagekraft für die Systemkompetenz geprüft (Hypothesen 1 bis 5). Die unabhängige Variable systemisches Vorwissen übernimmt dabei die Prädiktorenfunktion für die *bereichsspezifische* Fähigkeit zur Systemkompetenz, da sie sich auf das System Storch bezieht. Die Fähigkeit zur Systemkompetenz zum System Storch im Vortest wird von den kognitiven und sozialen Faktoren beeinflusst, deren Einfluss als unabhängige Variablen auf die Systemkompetenz zum System Storch im Zwischen- und Nachtest getestet werden soll. Damit decken die beiden unabhängigen Variablen „Bereichsspezifisches systemisches Vorwissen: Komplexität und Eigenschaften“ einen Teil der Varianz der anderen unabhängigen Variablen ab. Zur Aufdeckung dieser versteckten Zusammenhänge wird im zweiten Schritt das im Vortest erhobene und als bereichsspezifische Vergleichsbasis genutzte systemische Vorwissen als unabhängige Variable ausgeschlossen. Damit wird dann nur noch der *bereichsspezifische biologische* Einflussfaktor als unabhängige Variable für das Vorwissen mit in die Berechnung aufgenommen. Getestet werden damit die Hypothesen 1, 2, 3 und 5.

In einer weiteren Analyse wird der Einfluss der unabhängigen Variablen auf die Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften getestet. Abbildung 56 zeigt die unabhängigen und abhängigen Variablen dieser Analyse.

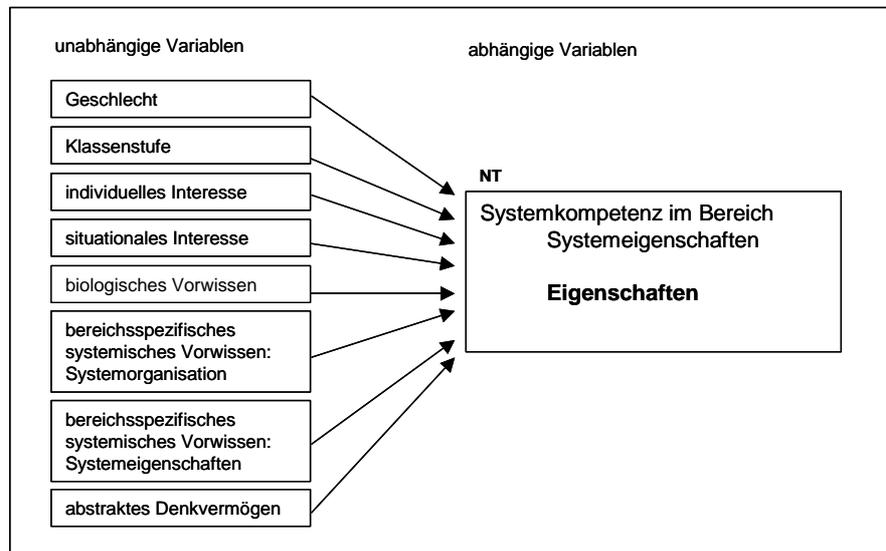


Abbildung 57: Einfluss auf Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften: Darstellung des Testdesigns

4.5.4.2 Externe Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz

Als externe Einflussfaktoren auf den Lernprozess werden hier Bedingungen untersucht, die in der Person der Lehrkraft, in der Organisation des Unterrichts und in der Struktur der Lernmaterialien begründet liegen. Wie bereits unter 2.6.4 erwähnt, werden diese Faktoren als möglicherweise erklärende Bedingungen miterhoben, auf ihnen liegt aber nicht der Schwerpunkt der Untersuchung.

Berechnet werden die Unterschiede zwischen den Gruppen, in denen die Bedingungen der jeweiligen unabhängigen Variable erfüllt oder nicht erfüllt sind. Da es sich um unabhängige Stichproben handelt, wird der **T-Test bei unabhängigen Stichproben** eingesetzt.

Dabei wird die durch die abhängige Variable beschriebene Grundgesamtheit in zwei Gruppen geteilt, die sich hinsichtlich der Ausprägung der unabhängigen Variable unterscheiden.

Der T-Test für unabhängige Stichproben setzt voraus, dass die betrachteten abhängigen Variablen in der Grundgesamtheit normalverteilt und intervallskaliert sind.

Der T-Test für unabhängige Stichproben dient dazu, die Mittelwerte zweier unabhängiger Stichproben miteinander zu vergleichen. Dabei wird der Frage nachgegangen, ob sich aus den Stichprobenbeobachtungen schließen lässt, dass die beiden Mittelwerte in der Grundgesamtheit voneinander verschieden sind (Brosius, 2004).

Der t-Wert hängt von den empirischen Mittelwerten und Varianzen sowie dem Umfang der Stichprobe ab. Sind die beiden miteinander zu vergleichenden Gruppenmittelwerte in der

Stichprobe gleich groß, hat t den Wert 0. (Brosius, 2004) Die Signifikanz gibt an, mit welcher Irrtumswahrscheinlichkeit sich der berechnete t-Wert von 0 unterscheidet.

Folgende **unabhängige Variablen** werden untersucht:

zum Einfluss der Lehrkraft:

- persönliches Interesse der Lehrkraft am Thema

zur Organisation des Unterrichts:

- Vollständigkeit der Bausteine der Unterrichtseinheit
- Veränderungen an den Bausteinen der Unterrichtseinheit
- vorherige Behandlung des Themas im Unterricht
- für den Unterricht aufgewendete Stundenanzahl
- Durchführung des Computerspiels von Klassenlehrer/Klassenlehrerin oder Verfasserin

zur Berücksichtigung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen im Unterricht:

- beschreibendes Beobachten als Methode eingesetzt
- kriteriengeleitetes Vergleichen im Unterricht berücksichtigt
- Experimente durchgeführt
- Ergebnisse mündlich oder schriftlich gesichert

zur Berücksichtigung systemischer Aspekte im Unterricht

- Benennen von Elementen im Unterricht
- Benennen von Beziehungen im Unterricht
- grafische Darstellung von Beziehungen im Unterricht
- Vorhersagen für Entwicklungen im Unterricht gemacht

zur Berücksichtigung von Aspekten der nachhaltigen Entwicklung im Unterricht:

- das Thema in Bezug zum Menschen gesetzt
- Aspekte des Schutzes und der Nutzung der Erde besprochen

Als **abhängige Variablen** dienen die bereits im vorhergehenden Abschnitt vorgestellten Variablen Systemkompetenz und biologisches Wissen.

- Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation: Komplexität
- Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften
- biologisches Wissen

4.5.5 Bereichsspezifische versus bereichsübergreifende Systemkompetenz

Die Forschungsfrage 3 bezieht sich auf die Übertragbarkeit der Systemkompetenz von einem inhaltlichen Gebiet auf ein anderes. Sie wird mit Hilfe des Vergleichssystems Schule überprüft. Wie dargestellt, dürfte das inhaltliche Wissen der Kinder zum System Schule so groß sein, dass es eine ausreichende Wissensbasis für Systemkompetenz zum System Schule darstellt.

Die Systemkompetenz, die die Kinder in den Bereichen Systemorganisation und Systemeigenschaften im System Schule zeigen, wird mit der Systemkompetenz zum System Storch verglichen. Dies erfolgt auf zwei verschiedene Arten.

- Überprüfung des Einflusses von bereichsübergreifendem Vorwissen auf die Systemkompetenz zum Storch

Dazu werden alle unabhängigen Variablen, denen theoretisch eine Wirkung auf das Lernergebnis zugesprochen wird, in die Analyse einbezogen. Das Vorgehen entspricht den Methoden zur Prüfung eines Einflusses unabhängiger Variablen auf die Systemkompetenz in Kapitel 4.5.4.1, nur wird hier der Einfluss des *bereichsübergreifenden* Vorwissens statt des *bereichsspezifischen* Vorwissens analysiert.

Die unabhängigen und abhängigen Variablen wurden in Kapitel 4.5.4.1 bereits vorgestellt, die folgende Abbildung fasst das Untersuchungsdesign zusammen.

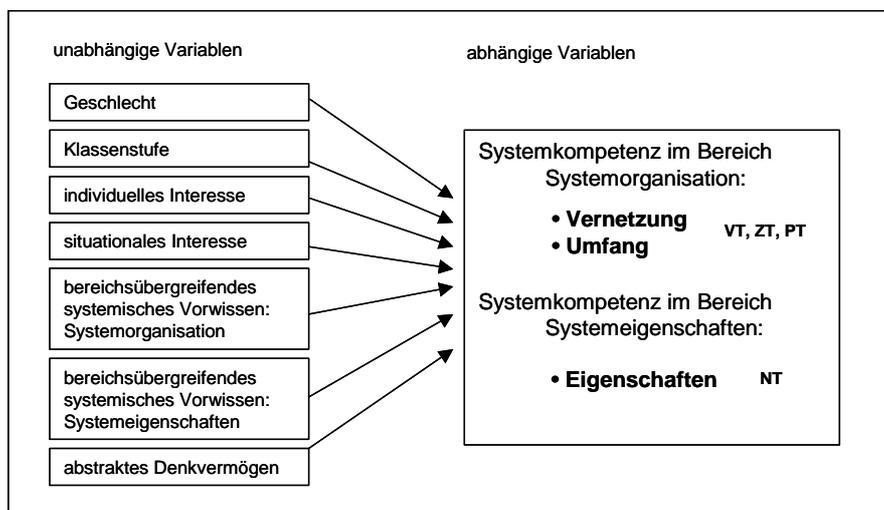


Abbildung 58: Untersuchung des bereichsübergreifenden Einflusses auf Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation: Darstellung des Testdesigns

- Vergleich der Leistungen im bereichsfremden System mit den Leistungen im System Storch

Ein direkter Vergleich der Systemkompetenz ist in diesem Fall nur für die Kompetenzen im Bereich Systemorganisation möglich, da die Fragen, die zu den Kompetenzen im

Bereich Systemeigenschaften gestellt wurden, speziell auf das System Storch zugeschnitten waren und keine direkte Entsprechung im System Schule haben.

Der Vergleich der Leistungen im Bereich Systemorganisation erfolgt über die zusammenfassende Variable „Komplexität“ (vgl. Kapitel 4.5.1.1).

Die Leistungen im System Schule und im System Storch werden im intraindividuellen Vergleich zu verschiedenen Testzeitpunkten betrachtet. Zum System Schule dürften die Kinder ausreichendes Vorwissen haben, beim System Storch kann man im Nachtest davon ausgehen, dass die Kinder ebenfalls eine solide Wissensbasis erworben haben. Die Systeme sollten sich also bezüglich ihres Inhaltes und nicht bezüglich des verfügbaren Vorwissens unterscheiden.

Die Vergleiche erfolgen über die Analyse von Mittelwertsunterschieden mit Hilfe des T-Tests für gepaarte Stichproben.

5 Ergebnisse

Den Darstellungen der Ergebnisse zur Untersuchung der Systemkompetenz von Grundschulern sind Voranalysen zur Beschreibung der Stichprobe vorangestellt (Kapitel 5.1). Sie beziehen sich auf verschiedene Aspekte, die im Rahmen der Beurteilung der Unterrichtseinheit durch die Schüler von Interesse sind.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse in Bezug auf die Forschungsfragen dargestellt. In Kapitel 5.2 wird die Systemkompetenz der untersuchten Grundschüler im Bereich Systemorganisation beschrieben, in Kapitel 5.3 die Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften. Die Befunde zu dem im Laufe der Unterrichtseinheit erworbenen biologischen Wissen werden in Kapitel 5.4 aufgeführt. Die Ergebnisse zur Untersuchung des Einflusses auf die Entwicklung von Systemkompetenz werden in Kapitel 5.5 beschrieben. In Kapitel 5.6 werden die Ergebnisse zur Untersuchung der Bereichsspezifität von Systemkompetenz dargelegt. An jeden dieser Abschnitte schließt sich eine Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf die Forschungsfrage, bzw. die Hypothesen an.

5.1 Voranalysen

Beschreibung der Stichprobe

An dieser Studie nahmen insgesamt 27 Klassen aus 24 verschiedenen Grundschulen Schleswig-Holsteins teil. Sieben Klassen mussten im Nachhinein von der Auswertung ausgeschlossen werden, da Testteile nicht, falsch oder zu spät durchgeführt wurden. Die folgenden Auswertungen beziehen sich daher auf 20 Grundschulklassen.

Aus dritten Klassen stammten 146 Schülerinnen und Schüler (38,8%), 217 Schülerinnen und Schüler (59,8%) besuchten eine vierte Klasse.

In die Auswertung wurden insgesamt 363 Schüler einbezogen, davon waren 164 Mädchen und 195 Jungen, von 4 Kindern fehlen die Angaben. Die Kinder waren zwischen 8 und 12 Jahren alt, das Durchschnittsalter der Drittklässler beträgt 8,6 Jahre, das der Viertklässler 9,5 Jahre.

Entwicklung des individuellen Interesses am Sachunterricht und des situationalen Interesses am Thema Storch

Zur Analyse der Entwicklung des individuellen Interesses am Sachunterricht und des situationalen Interesses am Thema Storch wurden die korrespondierenden Aussagen aus Vor- und Zwischentest mit einander verglichen.

In die Betrachtung des individuellen Interesses flossen zwei Fragen ein. Vor der Zusammenfassung der beiden Aussagen zum individuellen Interesse wurde jeweils eine Skala

gebildet. Der Zusammenhang der beiden Aussagen zum individuellen Interesse beträgt im Vortest $\alpha = ,572$, im Zwischentest $\alpha = ,655$.

Die Entwicklung des jeweiligen Interesses zwischen Vor- und Zwischentest wurde mit Hilfe von T-Tests für abhängige Stichproben ermittelt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: Entwicklung des individuellen und situationalen Interesses zwischen Vor- und Zwischentest

Variablen	Messzeitpunkt	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
individuelles Interesse am Sachunterricht	Vortest	3,08	0,72	T(313) = 2,83 **
	Zwischentest	2,97	0,76	
situationales Interesse am Thema	Vortest	3,35	0,84	T(321) = 3,68 ***
	Zwischentest	3,16	0,85	

** $p < ,01$; *** $p < ,001$

Die Ergebnisse in Tabelle 7 zeigen, dass das individuelle Interesse der Kinder am Fach Sachunterricht und das situationale Interesse am Thema Storch zwischen Vor- und Zwischentest signifikant abgenommen haben. Allerdings sind alle Mittelwerte auf einem sehr hohen Zustimmungsniveau (zwischen „stimmt ziemlich“ und „stimmt genau“).

Selbsteinschätzung des Lernzuwachses

Parallel zum Interesse wurde die Einschätzung des Vorwissens mit der Aussage, man habe alle behandelten Inhalte bereits vorher gewusst, in Beziehung gesetzt. Dabei wurde zum einen das Vorwissen im Vortest mit dem retrospektiv festgestellten Wissen im Zwischentest verglichen. Zum anderen wurde der Eindruck, man habe alles schon vorher gewusst, zwischen Zwischentest und dem Nachtest verglichen. Im Nachtest äußern sich die Kinder zu ihrem Wissenszuwachs mit dem Computerspiel.

Die Entwicklung des geschätzten Lernzuwachses zwischen Vor- und Zwischentest, bzw. Zwischen- und Nachtest wurde wieder mit Hilfe von T-Tests für abhängige Stichproben ermittelt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 8.

Tabelle 8: Einschätzung des Vorwissens im Vergleich von Vor- und Zwischentest, bzw. Zwischen- und Nachtest

Variablen	Messzeitpunkt	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
Einschätzung des Vorwissens	Vortest	2,16	0,82	T(321) = 6,02 ***
	Zwischentest	1,81	0,83	
Einschätzung des Vorwissens	Zwischentest	1,81	0,84	T(306) = -7,35 ***
	Nachtest (Computerspiel)	2,23	0,87	

*** $p < ,001$

Im Vortest halten die Kinder ihr Vorwissen für höher als dies im Zwischentest der Fall ist. Die Unterschiede sind höchst signifikant. Das bedeutet, dass die Kinder das Gefühl haben, dass sie im Laufe der Unterrichtseinheit sehr viel gelernt haben.

Im Nachtest, also im Rückblick auf das Computerspiel, zeigen die Kinder signifikant weniger Wissenszuwachs als im Zwischentest.

Beurteilung des Unterrichts im Vergleich zum Computerspiel

Die Aussagen, die den Motivationsgehalt von Unterricht bzw. Computerspiel, den selbsteingeschätzten Lernzuwachs und das über den Unterricht hinausgehende Interesse betreffen, wurden nach dem Unterricht (im ZT) und nach dem Computerspiel (im NT) erhoben. Die Skala reicht dabei wieder von 1(stimmt gar nicht) bis 4 (stimmt genau). Der Vergleich der Mittelwerte mit einem T-Test für abhängige Stichproben ergibt die folgenden Ergebnisse:

Tabelle 9: Vergleich der Beurteilung von Unterricht und Computerspiel

Variablen	Messzeitpunkt	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
Unterricht / Spiel war langweilig	Zwischentest	1,49	0,81	T(300) = 3,17 **
	Nachtest	1,32	0,68	
im Unterricht / Spiel viel gelernt	Zwischentest	3,53	0,62	T(301) = 4,22 ***
	Nachtest	3,32	0,76	
alles schon vorher gewusst	Zwischentest	1,81	0,84	T(306) = -7,35 ***
	Nachtest	2,23	0,87	
noch zusätzlich mit Thema Storch beschäftigt	Zwischentest	2,32	1,02	T(305) = 1,17 ns.
	Nachtest	2,25	1,02	

** p< ,01; *** p< ,001

Die Ergebnisse in Tabelle 9 zeigen, dass die Kinder weder den Unterricht noch das Computerspiel als langweilig einschätzen, die mittlere Zustimmung zu diesen Items liegt zwischen „stimmt gar nicht“ und „stimmt wenig“. Das Computerspiel fanden die Kinder (signifikant) noch weniger langweilig als den Unterricht.

Die Zustimmung zum Item, im Unterricht bzw. mit dem Computerspiel viel gelernt zu haben, liegt in beiden Fällen recht hoch, im Mittel zwischen „stimmt ziemlich“ und „stimmt genau“. Nach dem Computerspiel ist diese Einschätzung signifikant niedriger als nach der Unterrichtseinheit. Dementsprechend liegt die Einschätzung, alles schon vorher gewusst zu haben, im Durchschnitt bei „stimmt wenig“. Nach dem Computerspiel sind aber signifikant mehr Kinder der Auffassung, alles schon vorher gewusst zu haben, als nach der Unterrichtseinheit.

Die Einschätzung, sich noch über den Unterricht hinaus mit dem Thema Storch beschäftigt zu haben, liegt im Durchschnitt oberhalb von „stimmt wenig“ und verändert sich von Zwischen- zu Nachtest nicht.

Beurteilung des Schwierigkeitsgrades des Computerspiels

In Nachtest wurden zwei Fragen gestellt, die Auskunft darüber geben sollen, wie schwierig die Kinder den Umgang mit dem Computerspiel empfanden. Die Fragen betreffen den Schwierigkeitsgrad der Fragen zum biologischen Wissen über den Storch während des Spiels und das Erstellen der Begriffslandkarte mit Hilfe der gesammelten Notizzettel am Ende des Spiels. Sie wurden wieder mit einer vierstufigen Skala bewertet (s. oben). In Abbildung 58 sind die Mittelwerte der Einschätzungen dargestellt.

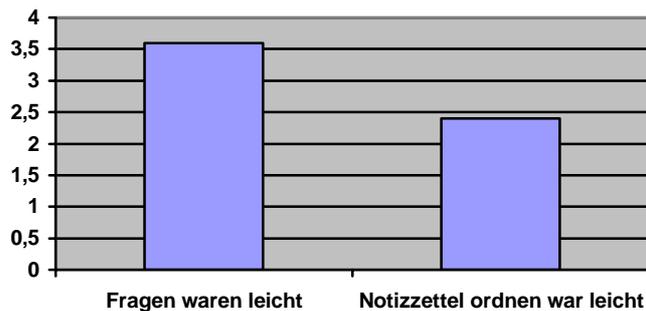


Abbildung 59: Beurteilung des Schwierigkeitsgrades des Computerspiels

Wie die Mittelwerte in Abbildung 58 zeigen, fällt es den Schülern relativ leicht, die Fragen zum biologischen Wissen über den Storch zu beantworten, als deutlich schwerer empfinden sie das Ordnen der Notizzettel zu einer Begriffslandkarte. Die Unterschiede zwischen beiden Werten sind höchst signifikant, (T-Test für gepaarte Stichproben, $T(304) = 17,81 ***$).

Vorerfahrungen mit dem Computer und ihre Auswirkungen auf die Testergebnisse

Im Nachtest wurden einige Fragen gestellt, die die Computererfahrung der Kinder betreffen. Ihre Auswertung erfolgte zunächst deskriptiv: 92% der Kinder geben an, schon vorher Lernspiele am Computer durchgeführt zu haben. Der Umgang mit Computern beschränkt sich in den meisten Fällen nicht auf die Schule, da 88% der Kinder zu Hause die Möglichkeit haben, am PC zu spielen oder zu arbeiten.

Die Kinder wurden gebeten, die Dauer ihrer Beschäftigung mit dem PC in Minuten pro Tag und Tagen pro Woche anzugeben. Abbildung 59 zeigt, an wie vielen Tagen pro Woche sich die Kinder nach eigenen Angaben mit dem Computer beschäftigen.

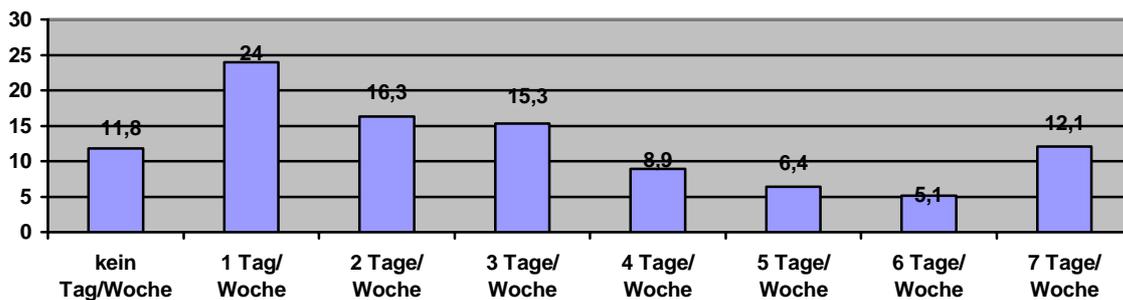


Abbildung 60: Beschäftigung mit dem Computer

Angaben in Prozent

Wie die Angaben in Abbildung 59 zeigen, ist die Beschäftigung der Kinder mit dem Computer recht unterschiedlich. 11,8% der Kinder geben an, gar nicht oder weniger als einmal pro Woche am Computer zu spielen oder zu arbeiten, die größte Gruppe stellt die Kinder dar, die einmal pro Woche am PC spielen. 12,1% der Kinder beschäftigen sich jeden Tag mit dem Computer.

Die Angaben zur täglichen Beschäftigungszeit am Computer schwanken zwischen 0 und 240 Minuten und liegen im Durchschnitt über alle Kinder bei 45 Minuten pro Tag.

Zur weiteren Auswertung wurden die Angaben zur Computernutzung in Minuten pro Woche umgerechnet. Zur Prüfung eines Zusammenhangs zwischen Computernutzung und Anforderungen des Computerspiels wurden die Korrelationen zwischen der Computernutzung und den Angaben zu Schwierigkeiten mit den Fragen bzw. der Begriffslandkarte ermittelt.

In beiden Fällen gibt es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Computernutzung und der Einschätzung des Schwierigkeitsgrades der Fragen zur Biologie des Storches ($r = -0,07$ ns.) bzw. den Schwierigkeiten beim Erstellen der Begriffslandkarte aus den Notizzetteln ($r = -0,03$ ns.).

Eine zusammenfassende Betrachtung der Voranalysen zeigt, dass sich individuelles und situationales Interesse der Kinder durch die Unterrichtseinheit nicht steigern lassen, sondern leicht zurückgehen. Das Niveau des Interesses ist aber in beiden Fällen überdurchschnittlich hoch.

Die Einschätzung des Vorwissens im Vortest und retrospektiv im Zwischen- und Nachtest zeigt, dass die Kinder den Eindruck haben, im Laufe der Unterrichtseinheit sehr viel gelernt zu haben. Für das Computerspiel ist dieser Eindruck etwas geringer, aber immer noch sehr hoch. Die Abnahme zwischen Unterrichtseinheit und Computerspiel könnte darauf zurückzuführen sein, dass es einige Überschneidungen zwischen den Inhalten des Computerspiels mit den Inhalten der Unterrichtseinheit gibt.

Insgesamt hat das Computerspiel einen sehr hohen Motivationscharakter.

Es fiel den Kindern wesentlich leichter, die Fragen zum biologischen Wissen über den Storch zu beantworten als die Begriffslandkarte zu erstellen. Dies bestätigt die in Kapitel 4.3.3.2.4

geäußerte Ansicht, dass die Kinder mit dem Erstellen der Begriffslandkarte am Computer Schwierigkeiten hatten. Wie in Kapitel 4.3.3.2.4 beschrieben, werden die am Computer erstellten Begriffslandkarten nicht in die weitere Auswertung mit einbezogen.

Die Vorerfahrung im Umgang mit dem Computer wirkt sich nicht auf die Einschätzungen zu Schwierigkeiten im Umgang mit den Aufgaben aus.

5.2 Beschreibung der Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation

Die Vielzahl der Komponenten der Systemkompetenz wird in dieser Arbeit in zwei Bereiche aufgeteilt, die theoretisch begründet sind. In der Systemtheorie wird zwischen der Organisation eines Systems aus seinen Bestandteilen und den Eigenschaften eines Systems unterschieden. Diese theoretische Aufteilung wurde zur Strukturierung der Komponenten der Systemkompetenz beibehalten. Im Kapitel 5.2 wird die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation beschrieben, im Kapitel 5.3 erfolgt die Beschreibung der Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften.

Die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Fähigkeiten zur Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation wurden über die Methode des Begriffslandkarten-Zeichnens erhoben. Für die einzelnen Kompetenzkomponenten wurden jeweils verschiedene Indizes zur Auswertung herangezogen (vgl. Kapitel 4.5.1.1).

Da eine Interpretation von Einzelwerten zu den jeweiligen Fähigkeiten wenig Aussagekraft hätte, werden die Daten zum einen im Vergleich zu den Leistungen im selben inhaltlichen Gebiet, aber zu verschiedenen Zeitpunkten (Vortest (VT), Zwischentest (ZT) und Posttest (PT)) interpretiert. Zum anderen wurde die jeweilige Fähigkeit im Vortest für ein bekanntes System (System Schule) als Vergleichsgröße ermittelt.

Unter der Annahme, dass alle Kinder ein hinreichendes Wissen zum „System Schule“ haben, geben diese Vergleichsgrößen auch Aufschluss über den Einfluss des Vorwissens zum dargestellten System (Hypothese 3). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird der Einfluss des Vorwissens hier ebenfalls dargestellt. Zusammenfassend interpretiert wird er in Kapitel 5.5.1. In jedem Fähigkeitsbereich wird zunächst ein Überblick über die absoluten Daten für die jeweiligen Testteile gegeben. Anschließend wird die Entwicklung über die verschiedenen Testteile betrachtet.

5.2.1 Fähigkeiten im Bereich Identifikation relevanter Elemente und Beziehungen

Die Befähigung zur Identifikation relevanter Elemente und Beziehungen wurde über mehrere Analysen ermittelt:

- In quantitativen Analysen zur Anzahl der Elemente, Anzahl der Beziehungen und dem Umfang der jeweiligen Begriffslandkarten (s. Kapitel 5.2.1.1). Der Umfang ist durch

seine Definition als Summe der Anzahl Elemente plus Anzahl Beziehungen ein Maß für die Quantität des Wissens, das die Kinder in den jeweiligen Begriffslandkarten darstellen.

- Über die Fähigkeit zum Knüpfen von Beziehungen (s. Kapitel 5.2.1.2). Das Bilden von Zweierbeziehungen und Ketten gibt Aufschluss darüber, ob die Kinder die Elemente und Beziehungen semantisch richtig verknüpfen können.
- In qualitativen Analysen zu den Inhalten des dargestellten Wissens. Die Inhalte des Wissens in den verschiedenen Begriffslandkarten werden in Kapitel 5.4.1 ausgewertet und beschrieben.

5.2.1.1 Quantitative Analysen zu Elementen und Beziehungen

Elemente

In Abbildung 60 ist die durchschnittlich erreichte Anzahl an Elementen für die Begriffslandkarten der einzelnen Testteile dargestellt.

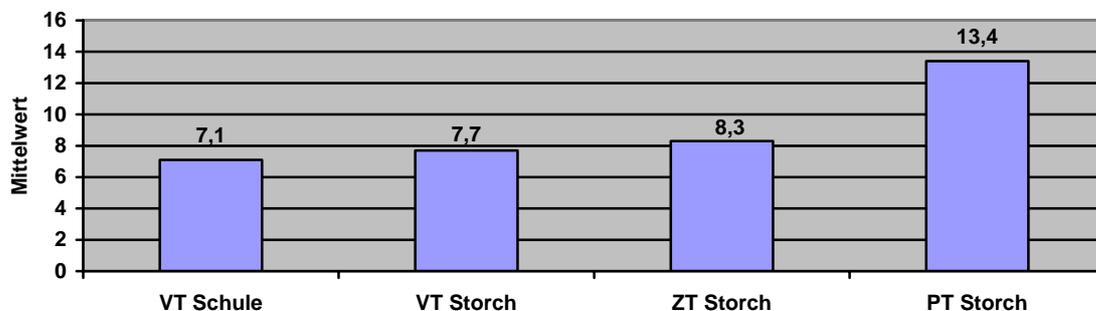


Abbildung 61: durchschnittliche Anzahl von Elementen in den verschiedenen Testteilen

Die Anzahl der dargestellten Elemente beträgt im bekannten System Schule durchschnittlich 7,1 und steigt bis zum Posttest zum System Storch auf 13,4 Elemente.

Entwicklung der Leistungen über die Testteile

Die Entwicklung über die Testteile wurde für jeden Schüler ermittelt. Dazu wurden für jeden Schüler die Differenzen der Anzahl der Elemente in der Begriffslandkarte zwischen jeweils zwei Testteilen berechnet. Der T-Test für abhängige Stichproben gibt Auskunft darüber, ob sich die Mittelwerte der Differenzen zwischen den einzelnen Testteilen signifikant unterscheiden.

Tabelle 10: Mittelwertvergleich für die Differenzen der Anzahl Elemente in den verschiedenen Testteilen

Variable	Messzeitpunkt	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
System Schule	VT	7,3	2,9	T(285) = -1,7 ns
System Storch	VT	7,7	2,8	
System Storch	VT	7,7	2,8	T(256) = -5,5 ***
System Storch	ZT	8,7	2,4	
System Storch	ZT	8,4	2,7	T(204) = -10,9 ***
System Storch	PT	13,6	6,8	
System Storch	VT	7,8	2,8	T(172) = -10,7 ***
System Storch	PT	13,4	6,8	
System Schule	VT	6,8	2,5	T(292) = -7,8 ***
System Storch	ZT	8,3	2,6	
System Schule	VT	6,8	2,6	T(201) = -13,0 ***
System Storch	PT	13,3	6,8	

*** $p < ,001$

Zwischen der Anzahl der Elemente im bekannten System Schule und im zum Zeitpunkt des Vortests wenig bekannten System Storch findet sich kein signifikanter Unterschied, d. h. die Schüler benennen im Mittel gleich viele Elemente in beiden Systemen. Die T-Werte für die Mittelwertvergleiche zwischen allen anderen Testteilen sind negativ, was eine Zunahme der Elemente von Testteil zu Testteil beschreibt. Die Unterschiede zwischen den Mittelwerten sind für diese Testteile höchst signifikant. In Abbildung 61 sind die Entwicklungstendenzen zwischen den einzelnen Testteilen zur Veranschaulichung grafisch dargestellt.

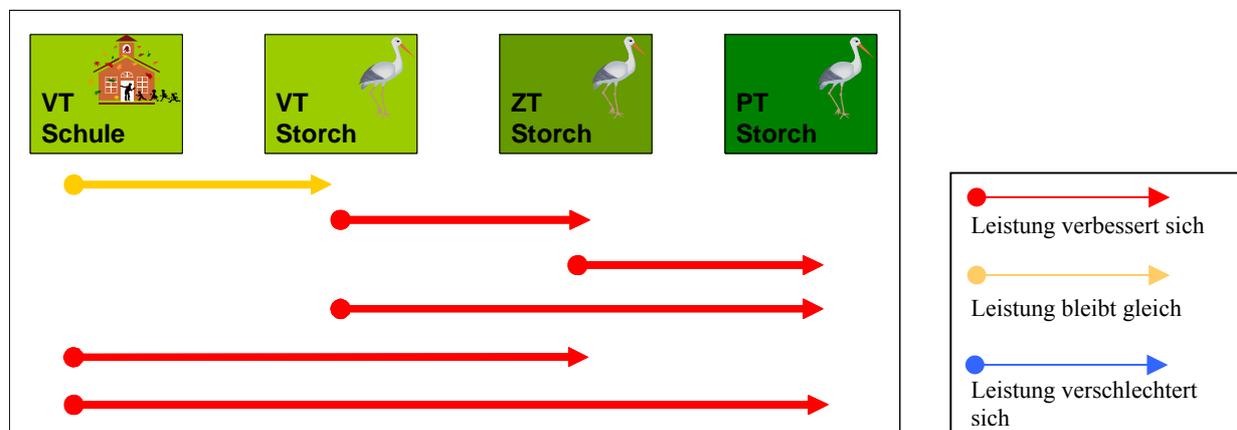


Abbildung 62: Grafische Darstellung der Differenzen zwischen den Testteilen für die Anzahl Elemente

Wie aus Abbildung 61 ersichtlich wird, ist die Leistung der Schüler zwischen dem Vortest zum System Schule und dem Vortest zum System Storch im Durchschnitt gleich. Zwischen allen anderen Testteilen verbessern sich die Schüler. Dies bedeutet, dass die Mehrheit der Schüler von Testteil zu Testteil mehr Elemente in die Begriffslandkarten einzeichnen kann.

Beziehungen

Die Anzahl der durchschnittlich in den jeweiligen Testteilen geknüpften Beziehungen ist in Abbildung 62 dargestellt.

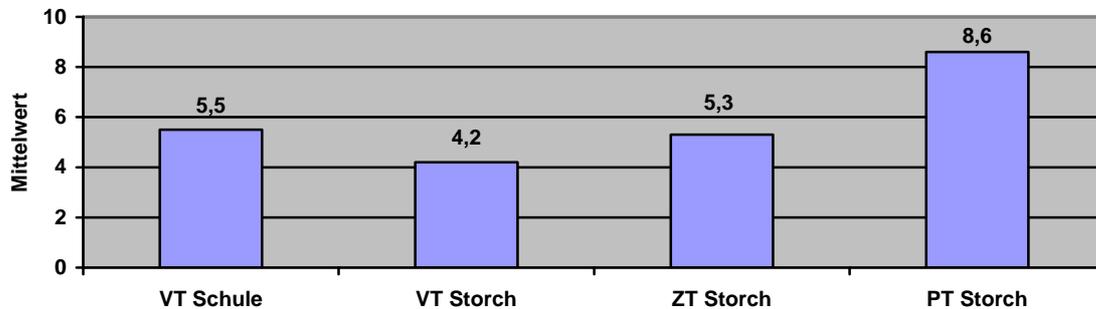


Abbildung 63: durchschnittliche Anzahl von Beziehungen in den einzelnen Testteilen

Im bekannten System Schule werden zwischen den dort benannten Elementen durchschnittlich 5,5 Beziehungen geknüpft. Für das System Storch liegt der Mittelwert darunter, in den folgenden Testteilen steigen die Mittelwerte wieder an.

Eine Überprüfung der Mittelwerte auf signifikante Unterschiede erfolgt über den T-Test für abhängige Stichproben. Seine Ergebnisse sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Mittelwertvergleich für die Differenzen der Anzahl Beziehungen in den verschiedenen Testteilen

Variable	Messzeitpunkt	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
System Schule	VT	5,8	3,7	T(285) = 7,0 ***
System Storch	VT	4,2	3,7	
System Storch	VT	4,1	3,6	T(255) = -6,7 ***
System Storch	ZT	5,9	4,1	
System Storch	ZT	5,3	4,4	T(203) = -7,7 ***
System Storch	PT	8,9	6,6	
System Storch	VT	3,8	3,4	T(172) = -12,0 ***
System Storch	PT	9,5	6,5	
System Schule	VT	5,2	3,1	T(291) = -0,8 ns
System Storch	ZT	5,4	4,1	
System Schule	VT	5,1	3,0	T(201) = -7,9 ***
System Storch	PT	8,8	6,4	

*** $p < ,001$

Die Werte für den T-Test zeigen, dass die Unterschiede zwischen den Testteilen bis auf die Differenz zwischen System Schule im Vortest und System Storch im Zwischentest signifikant sind. In Abbildung 63 sind die Daten grafisch umgesetzt.

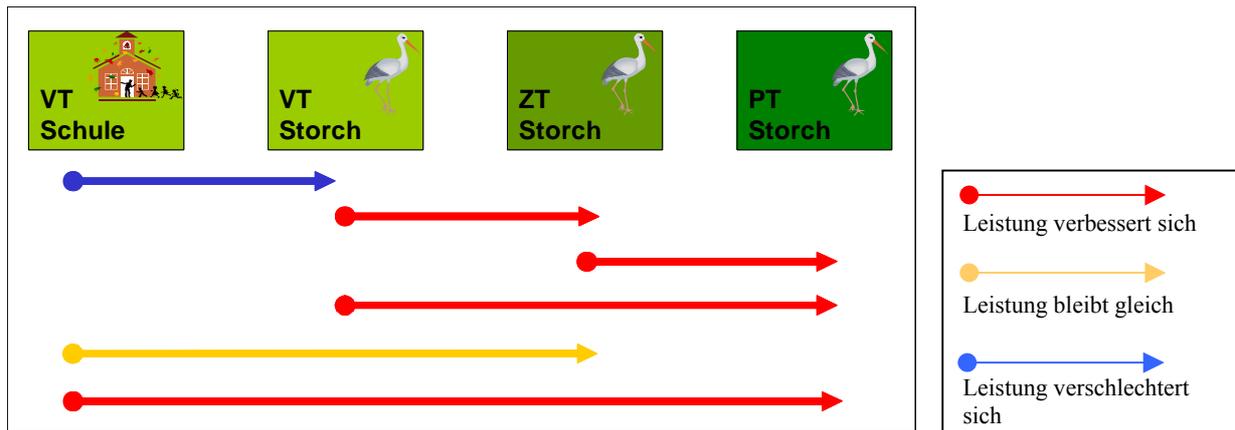


Abbildung 64: Grafische Darstellung der Differenzen zwischen den Testteilen für die Anzahl Beziehungen

Die Pfeile in Abbildung 63 bezeichnen jeweils die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten der entsprechenden Testteile. Zwischen dem bekannten System Schule und dem wenig bekannten System Storch im Vortest kommt es zu einem signifikanten Abfall der Anzahl Beziehungen. Die durchschnittliche Anzahl an Beziehungen nimmt von Vortest System Storch zu Zwischentest System Storch signifikant zu. Wie der Vergleich zwischen System Schule aus dem Vortest und System Storch im Zwischentest zeigt, ist im Zwischentest ungefähr das gleiche Niveau in der Anzahl an Beziehungen, die die Kinder knüpfen können, erreicht. Zwischen System Storch (ZT) und (PT) erfolgt wiederum eine signifikante Steigerung der geknüpften Beziehungen.

Umfang des dargestellten Wissens

Der Umfang des dargestellten Wissens ist definiert über die Summe der Elemente und Beziehungen einer Begriffslandkarte. Abbildung 64 zeigt die mittleren Werte für den Umfang des Wissens in den einzelnen Testabschnitten.

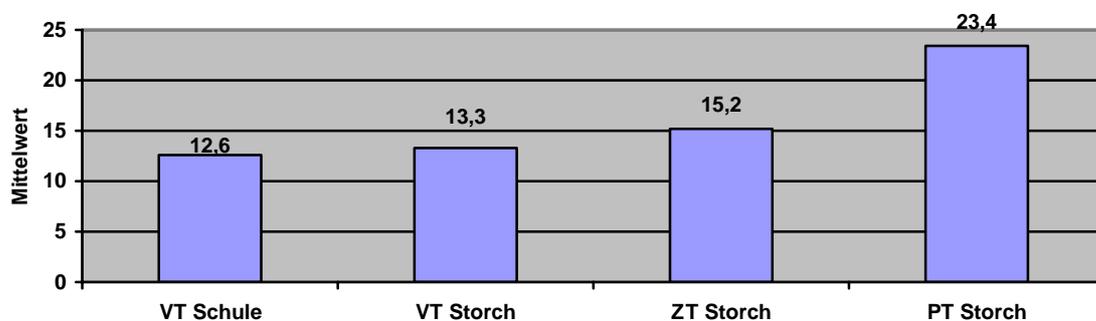


Abbildung 65: Umfang des in den Begriffslandkarten dargestellten Wissens in den verschiedenen Testteilen

Im Vortest wurde der Umfang des Wissens in den Begriffslandkarten für das bekannte System Schule und das wenig bekannte System Storch erhoben. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Mittelwerte mit 12,6 (VT System Schule) und 13,3 (VT System Storch) nur wenig unterscheiden. Im Zwischentest beträgt der Mittelwert des Umfangs 15,2, im Posttest 23,4. Zwischen Vor- und Zwischentest besteht also eine leichte Zunahme des Umfangs des Wissens, zwischen Zwischen- und Posttest eine starke Zunahme.

Zur Prüfung der Verschiebungen zwischen den Testteilen wurde für jeden Schüler getestet, wie sich der Umfang des Wissens in der Begriffslandkarte zwischen den verschiedenen Testteilen verändert. Dazu wurden für jeden Schüler die Differenzen zwischen jeweils zwei Testteilen berechnet. Der T-Test für abhängige Stichproben gibt Auskunft darüber, ob sich die Mittelwerte der Differenzen zwischen den einzelnen Testteilen signifikant unterscheiden.

In Tabelle 12 sind die Mittelwerte, Standardabweichungen und die Ergebnisse aus dem T-Test für die gepaarten Mittelwertstichproben dargestellt.

Tabelle 12: Mittelwertvergleich für die Differenzen des Umfangs des dargestellten Wissens in den verschiedenen Testteilen

Variable	Messzeitpunkt	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
System Schule	VT	14,1	5,7	T(210) = 1,5 ns
System Storch	VT	13,5	5,5	
System Storch	VT	13,5	5,3	T(175) = -5,8 ***
System Storch	ZT	15,9	5,4	
System Storch	ZT	16,0	5,6	T(136) = -9,9 ***
System Storch	PT	25,2	10,8	
System Storch	VT	13,1	5,4	T(118) = -12,6 ***
System Storch	PT	24,8	10,4	
System Schule	VT	12,1	5,0	T(171) = -13,4 ***
System Storch	PT	23,4	10,4	

*** $p < ,001$

Im Vortest gibt es zwischen den zum selben Zeitpunkt erhobenen Umfängen des Wissens für das bekannte System Schule und das zum Erhebungszeitpunkt wenig bekannte System Storch keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten. Dies bedeutet, dass sich der Umfang des Wissens in den dargestellten Landkarten im Durchschnitt zwischen den beiden Systemen nicht unterscheidet. Dieses Ergebnis bestätigt den Eindruck, der sich bereits in Abbildung 64 andeutete.

Für den Vergleich der Mittelwerte zwischen Vor- und Zwischentest sowie Zwischen- und Posttest ergibt sich aus den negativen T-Werten eine signifikante Steigerung des Umfangs des Wissens zwischen den jeweiligen Testzeitpunkten. Dies gilt entsprechend für die Gesamtdifferenz im System Storch, also zwischen VT System Storch und PT System Storch, sowie für die Gesamtdifferenz zwischen Vergleichssystem Schule (VT) und System Storch im Posttest.

Interpretation der Ergebnisse

Die Daten des Systems Schule im Vortest dienen als Vergleichsmaßstab für die Leistungen der Schüler im System Storch. Für den Bereich „Identifikation relevanter Elemente“ zeigt sich, dass die Begriffslandkarten keinen Unterschied in der Anzahl der genannten Elemente zwischen dem bekannten System Schule und dem im Vortest wenig bekannten System Storch aufweisen. Das zu Beginn der Unterrichtseinheit vorhandene Vorwissen zum Storch reicht offenbar aus, etwa gleich viele Elemente wie zum bekannten System Schule benennen zu können.

Bei der Anzahl der geknüpften Beziehungen stellt sich der Zusammenhang in anderer Form dar: Die Schüler können weniger Beziehungen zwischen den Elementen des Systems Storch im Vortest knüpfen als zwischen den Elementen des Systems Schule. Beim Knüpfen von Beziehungen macht sich offenbar der Einfluss des Vorwissens bemerkbar. Da sich der Umfang des in den Begriffslandkarten dargestellten Wissens aus der Anzahl der Elemente und der Anzahl der Beziehungen zusammensetzt, hebt sich der Unterschied zwischen bekanntem und unbekanntem System bei Betrachtung dieses Indexes auf.

Der Vergleich der Testteile für das System Storch zeigt jeweils zwischen Vor- und Zwischentest und Zwischen- und Posttest signifikante Steigerungen für die Bereiche „Elemente“ und „Beziehungen“. Daraus ergibt sich die ebenfalls signifikante Steigerung für den Umfang des dargestellten Wissens. Da zwischen Vor- und Zwischentest die Unterrichtseinheit durchgeführt wurde und die Schüler zwischen Zwischen- und Posttest das Computerspiel spielten, kann man daraus folgern, dass dieser Effekt auf das zunehmende Wissen zum System Storch zurückzuführen ist. Je mehr Wissen die Schüler zum Thema Storch im Unterricht erworben haben, umso mehr Elemente und Beziehungen konnten sie in ihren Begriffslandkarten darstellen.

5.2.1.2 Fähigkeiten im Knüpfen von Beziehungen

Das Knüpfen von Beziehungen in Form von Zweierbeziehungen, Dreierketten und Viererketten soll über die Begriffslandkarten hinaus Informationen über die Fähigkeiten der Kinder zur Technik des Verbindens von Elementen über Beziehungen geben. Die Tests enthielten Aufgaben mit verschiedenen Schwierigkeitsanforderungen: das Ergänzen von vorgegebenen Zweierbeziehungen und das selbständige Knüpfen von Dreier- und Viererketten.

- Ergänzen von vorgegebenen Zweierbeziehungen

Im Vortest waren je vier Zweierbeziehungen zum System Schule und zum System Storch vorgegeben, die ergänzt werden sollten, in allen anderen Testteilen vier Zweierbeziehungen zum System Storch.

Wie die Mittelwerte in Tabelle 13 zeigen, konnten die Kinder in allen Testteilen zwischen drei und vier Beziehungen lösen. Damit liegen die Kinder bereits am oberen Ende der Skala.

Tabelle 13: Mittelwertunterschiede im Lösen der Zweierbeziehungen zwischen den verschiedenen Testteilen

Variable	Messzeitpunkt	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
System Schule	VT	3,50	,86	T(295) = 0 ns.
System Storch	VT	3,50	,79	
System Storch	VT	3,46	,83	T(269) = 2,62 **
System Storch	ZT	3,28	,79	
System Storch	ZT	3,21	,80	T(301) = -4,89 ***
System Storch	NT	3,42	,66	
System Storch	VT	3,44	,84	T(260) = -0,52 ns.
System Storch	NT	3,47	,62	
System Schule	VT	3,48	,83	T(300) = 1,12 ns.
System Storch	NT	3,42	,66	

** p< ,01; *** p< ,001

Tabelle 13 zeigt, dass sich nur die Mittelwerte zwischen Vor- und Zwischentest, sowie zwischen Zwischen- und Nachtest unterscheiden: Im Vortest zum System Storch ist die mittlere Lösungsfähigkeit für Zweierbeziehungen signifikant höher als im Zwischentest zum System Storch. Dieses Verhältnis ist bei der Betrachtung von Zwischen- und Nachtest umgedreht: Im Nachtest ist die mittlere Lösungsfähigkeit für Zweierbeziehungen signifikant höher als im Zwischentest.

- Fähigkeiten im Bilden von Dreierketten

Dreierketten sollten im Vortest zum System Schule und zum System Storch, sowie im Zwischen- und Nachtest zum System Storch gebildet werden. Da jeweils nur eine einzige Kette zu bilden war, ergeben sich für die Variablen nur die Werte gelöst / nicht gelöst.

In Tabelle 14 sind die Ergebnisse des Chi-Quadrat-Tests zu sehen.

Tabelle 14: Kreuztabellen zur Lösung der Dreierketten in den verschiedenen Testteilen

Dreierkette	Anzahl	erwartete Anzahl	stand. Residuen	Signifikanz
in VT Schule und VT Storch nicht gelöst	54	42,2	1,8	$\chi^2(1) = 9,6^{**}$
im VT Schule gelöst, im VT Storch nicht gelöst	52	63,8	-1,5	
im VT Schule nicht gelöst, im VT Storch gelöst	44	55,8	-1,6	
in VT Schule und VT Storch gelöst	96	84,2	1,3	
in VT Storch und ZT Storch nicht gelöst	45	38,5	1,0	$\chi^2(1) = 3,4$ ns.
im VT Storch gelöst, im ZT Storch nicht gelöst	52	58,5	-0,8	
im VT Storch nicht gelöst, im ZT Storch gelöst	38	44,5	-1,0	
in VT Storch und ZT Storch gelöst	74	67,5	0,8	
in ZT Storch und NT Storch nicht gelöst	55	42,4	1,9	$\chi^2(1) = 12,0^{**}$
im ZT Storch gelöst, im NT Storch nicht gelöst	36	48,6	-1,8	
im ZT Storch nicht gelöst, im NT Storch gelöst	47	59,6	-1,6	
in ZT Storch und NT Storch gelöst	81	68,4	1,5	
in VT Storch und NT Storch nicht gelöst	38	30,0	1,5	$\chi^2(1) = 5,9^*$
im VT Storch gelöst, im NT Storch nicht gelöst	40	48,0	-1,2	
im VT Storch nicht gelöst, im NT Storch gelöst	35	43,0	-1,2	
in VT Storch und NT Storch gelöst	77	69,0	1,0	
in VT Schule und NT Storch nicht gelöst	49	39,6	1,5	$\chi^2(1) = 6,4^*$
im VT Schule gelöst, im NT Storch nicht gelöst	48	57,4	-1,2	
im VT Schule nicht gelöst, im NT Storch gelöst	45	54,4	-1,3	
in VT Schule und NT Storch gelöst	88	78,6	1,1	

* $p < ,05$; ** $p < ,01$

In fast allen Kreuztabellen ergeben sich signifikante χ^2 -Werte, aber keine standardisierten Residuen, die auf eine deutliche Abweichung der jeweiligen Zelle hinweisen. Daraus kann gefolgert werden, dass die beobachteten Häufigkeiten nicht signifikant von den erwarteten Häufigkeiten abweichen.

Es ergibt sich also bezüglich der Fähigkeit, Dreierketten zu bilden, keine Veränderungen über die Testteile.

- Fähigkeiten im Bilden von Viererketten

Im Vor-, Zwischen- und Nachtest war zusätzlich die Bildung von Viererketten vorgesehen. Im Vortest wurden wiederum Viererketten zum System Schule und zum System Storch gebildet, in den beiden anderen Tests nur Viererketten zum System Storch.

Tabelle 15 zeigt die Ergebnisse des Vergleichs der Leistungen in den verschiedenen Testteilen mittels Kreuztabellen.

Tabelle 15: Kreuztabellen zur Lösung der Viererketten in den verschiedenen Testteilen

Viererkette	Anzahl	erwartete Anzahl	stand. Residuen	Signifikanz
in VT Schule und VT Storch nicht gelöst	109	94,5	1,5	$\chi^2(1) = 21,46$ ***
im VT Schule gelöst, im VT Storch nicht gelöst	30	44,5	-2,2	
im VT Schule nicht gelöst, im VT Storch gelöst	31	45,5	-2,2	
in VT Schule und VT Storch gelöst	36	21,5	3,1	
in VT Storch und ZT Storch nicht gelöst	78	71,3	0,8	$\chi^2(1) = 5,36$ *
im VT Storch gelöst, im ZT Storch nicht gelöst	33	39,7	-1,1	
im VT Storch nicht gelöst, im ZT Storch gelöst	28	34,7	-1,1	
in VT Storch und ZT Storch gelöst	26	19,3	1,5	
in ZT Storch und NT Storch nicht gelöst	82	68,7	1,6	$\chi^2(1) = 20,07$ ***
im ZT Storch gelöst, im NT Storch nicht gelöst	21	34,3	-2,3	
im ZT Storch nicht gelöst, im NT Storch gelöst	30	43,3	-2,0	
in ZT Storch und NT Storch gelöst	35	21,7	2,9	
in VT Storch und NT Storch nicht gelöst	74	62,5	1,5	$\chi^2(1) = 17,86$ ***
im VT Storch gelöst, im NT Storch nicht gelöst	20	31,5	-2,1	
im VT Storch nicht gelöst, im NT Storch gelöst	23	34,5	-2,0	
in VT Storch und NT Storch gelöst	29	17,5	2,8	
in VT Schule und NT Storch nicht gelöst	83	72,1	1,3	$\chi^2(1) = 11,69$ **
im VT Schule gelöst, im NT Storch nicht gelöst	34	44,9	-1,6	
im VT Schule nicht gelöst, im NT Storch gelöst	31	41,9	-1,7	
in VT Schule und NT Storch gelöst	37	26,1	2,1	

* $p < ,05$; ** $p < ,01$; *** $p < ,001$

Für den Vergleich der Anzahl der Kinder, die in jeweils zwei Testteilen die Viererkette lösen oder nicht lösen konnten, ergeben sich in den Kreuztabellen signifikante Unterschiede. Sie sind, wie die standardisierten Residuen der einzelnen Zellen zeigen, in allen Vergleichen auf eine erhöhte Häufigkeit in den Zellen „in beiden Testteilen nicht gelöst“ und „in beiden Testteilen gelöst“ zurückzuführen. Dem entspricht umgekehrt eine niedrigere Häufigkeit als erwartet in den Zellen „in einem Testteil gelöst, im anderen nicht gelöst“.

Interpretation der Ergebnisse

Die Fähigkeiten im Bereich des Ergänzens von vorgegebenen Zweierbeziehungen lassen keine Entwicklungsrichtung erkennen. Die Ergebnisse im Zwischentest sind schlechter als in den anderen Testteilen, was sich in einer Abnahme der Leistungen von Vor- zu Zwischentest und einer Zunahme von Zwischen- zu Nachtest zeigt. Insgesamt liegen die Leistungen aber auf einem sehr hohen Niveau, so dass hier eventuell andere Faktoren das Testergebnis mit beeinflusst haben. Grundsätzlich können die Kinder offensichtlich gut vorgegebene Zweierbeziehungen ergänzen.

Die Fähigkeiten zum Bilden von Dreierketten ergeben keine eindeutigen Unterschiede in der Verteilung auf die einzelnen Gruppen. An der Abweichung der beobachteten von den erwarteten Häufigkeiten deutet sich aber schon an, dass die Zellen ohne Veränderungen der Fähigkeiten (gelöst/gelöst und nicht gelöst/nicht gelöst) höher besetzt sind, die Zellen mit

Veränderungen der Fähigkeiten (in einem Testteil gelöst, im anderen nicht) dagegen weniger hoch als erwartet.

Diese Tendenz wird beim Vergleich der Lösung der Viererketten zwischen den Testteilen offensichtlich, dort sind die beschriebenen Unterschiede signifikant.

Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass sich die Fähigkeiten zum Lösen von Dreier- und Viererketten offensichtlich kaum im Laufe der Unterrichtseinheit verändern. Die Fähigkeit zum Verbinden von Elementen über Beziehungen scheint relativ stabil zu sein, sie bleibt vom Unterricht unbeeinflusst.

Vergleicht man die beobachteten Häufigkeiten der Aufgabenlösungen zwischen der Fähigkeit zum Knüpfen von Dreierketten und zum Knüpfen von Viererketten, so zeigen sich jedoch Unterschiede. Beim Lösen von Dreierketten sind in allen Testteilen die größten Häufigkeiten in den Feldern gelöst/gelöst, d. h. die meisten Kinder können die Dreierketten bilden.

In den Aufgaben zum Lösen von Viererketten sind dagegen über alle Testteile hinweg die meisten Kinder in den Feldern nicht gelöst/nicht gelöst. Offensichtlich fällt den Kindern das Lösen von Viererketten erheblich schwerer als das Lösen von Dreierketten.

5.2.2 Fähigkeiten im Bereich „Organisation der Elemente und Beziehungen in einem Bezugsrahmen“

Die Fähigkeiten im Kompetenzbereich „Organisation der Elemente und Beziehungen in einem Bezugsrahmen“ wurden über die Indizes „Vernetzung“ und „Struktur“ erhoben.

Vernetzung des Wissens

Die Vernetzung gibt an, wie stark die Kinder die dargestellten Elemente in ihren Begriffslandkarten mit einander verbinden.

Die durchschnittlichen Werte für den Vernetzungsindex sind in Abbildung 65 dargestellt.

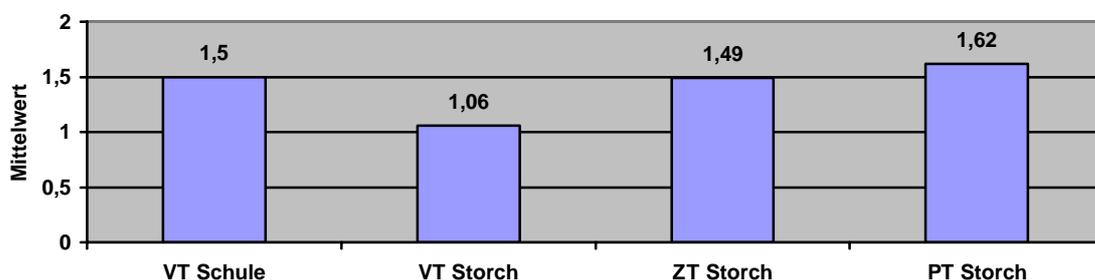


Abbildung 66: Vernetzung des Wissens in den verschiedenen Testteilen

Die Kinder erreichen im Mittel im System Schule - Vortest einen Vernetzungsindex von 1,5 Beziehungen pro Element. Für das System Storch nimmt dieser Wert im Vortest ab und steigt dann im Laufe der Testphasen wieder an.

Ob sich die Mittelwerte in den einzelnen Testphasen von einander unterscheiden, zeigt der Mittelwertvergleich bei gepaarten Stichproben.

Tabelle 16: Mittelwertvergleich für die Differenzen der Vernetzung in den verschiedenen Testteilen

Variable	Messzeitpunkt	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
System Schule	VT	1,5	0,6	T(281) = 10,5 ***
System Storch	VT	1,1	0,8	
System Storch	VT	1,1	0,7	T(219) = -7,1 ***
System Storch	ZT	1,5	0,6	
System Storch	ZT	1,6	0,6	T(136) = -1,9 ns
System Storch	PT	1,7	0,6	
System Storch	VT	1,0	0,7	T(150) = -9,0 ***
System Storch	PT	1,7	0,6	
System Schule	VT	1,5	0,6	T(235) = 0,13 ns.
System Storch	ZT	1,5	0,6	
System Schule	VT	1,5	0,6	T(171) = -2,3 *
System Storch	PT	1,6	0,6	

* $p < ,05$; *** $p < ,001$

Die Ergebnisse in Tabelle 16 zeigen, dass die Mittelwertunterschiede nur für den Vergleich von System Storch im Zwischen- und Posttest nicht signifikant sind. Zur Veranschaulichung sind die Entwicklungstendenzen in Abbildung 66 grafisch dargestellt.

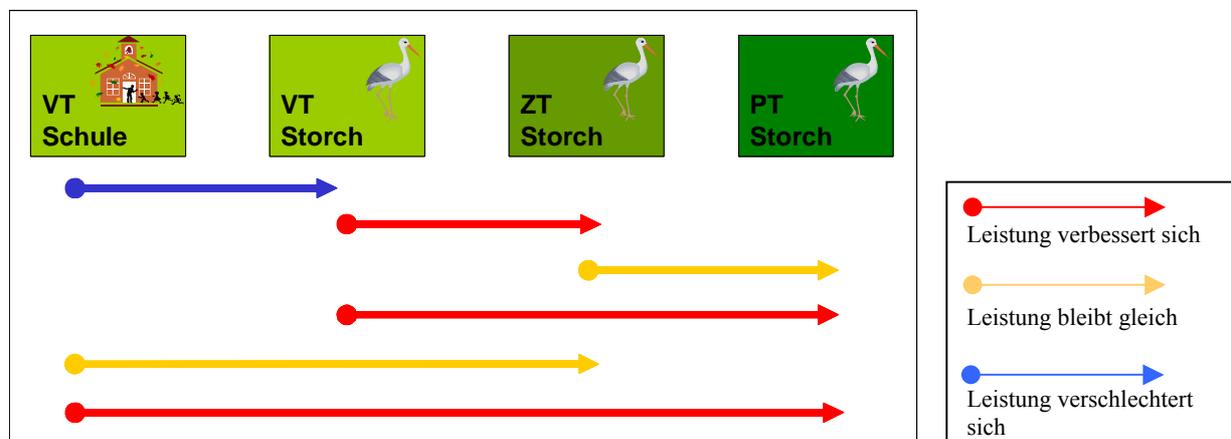


Abbildung 67: Grafische Darstellung der Differenzen zwischen den Testteilen für die Vernetzung

Der durchschnittliche Vernetzungsindex nimmt zwischen bekanntem System Schule und wenig bekanntem System Storch im Vortest höchst signifikant ab. Vom Vortest zum Zwischentest System Storch nimmt der Vernetzungsindex dann wieder höchst signifikant zu und bleibt im Posttest auf diesem Niveau. Der Vergleich von Vortest System Schule mit Posttest System Storch zeigt, dass die Schüler am Ende der Testphase zu einem etwas höheren Wert kommen als im Vergleichssystem, der Unterschied ist noch signifikant.

Struktur des Wissens

Der Strukturindex gibt einen Eindruck von der Gesamtstruktur der gezeichneten Begriffslandkarte. Mit seiner Hilfe lässt sich darstellen, wie die Gesamtheit der Elemente miteinander verbunden ist. Unterschieden wird auf einer ordinalen Skala zwischen Elementen, die nicht verbunden sind, Zweierbeziehungen, Sternen, linearen Ketten, linearen Verzweigungen, Kreisläufen und Netzen (vgl. Kap. 4.5.1.1).

Die Häufigkeiten des Auftretens der einzelnen Kategorien wird in Abbildung 67 für die jeweiligen Testteile getrennt dargestellt.

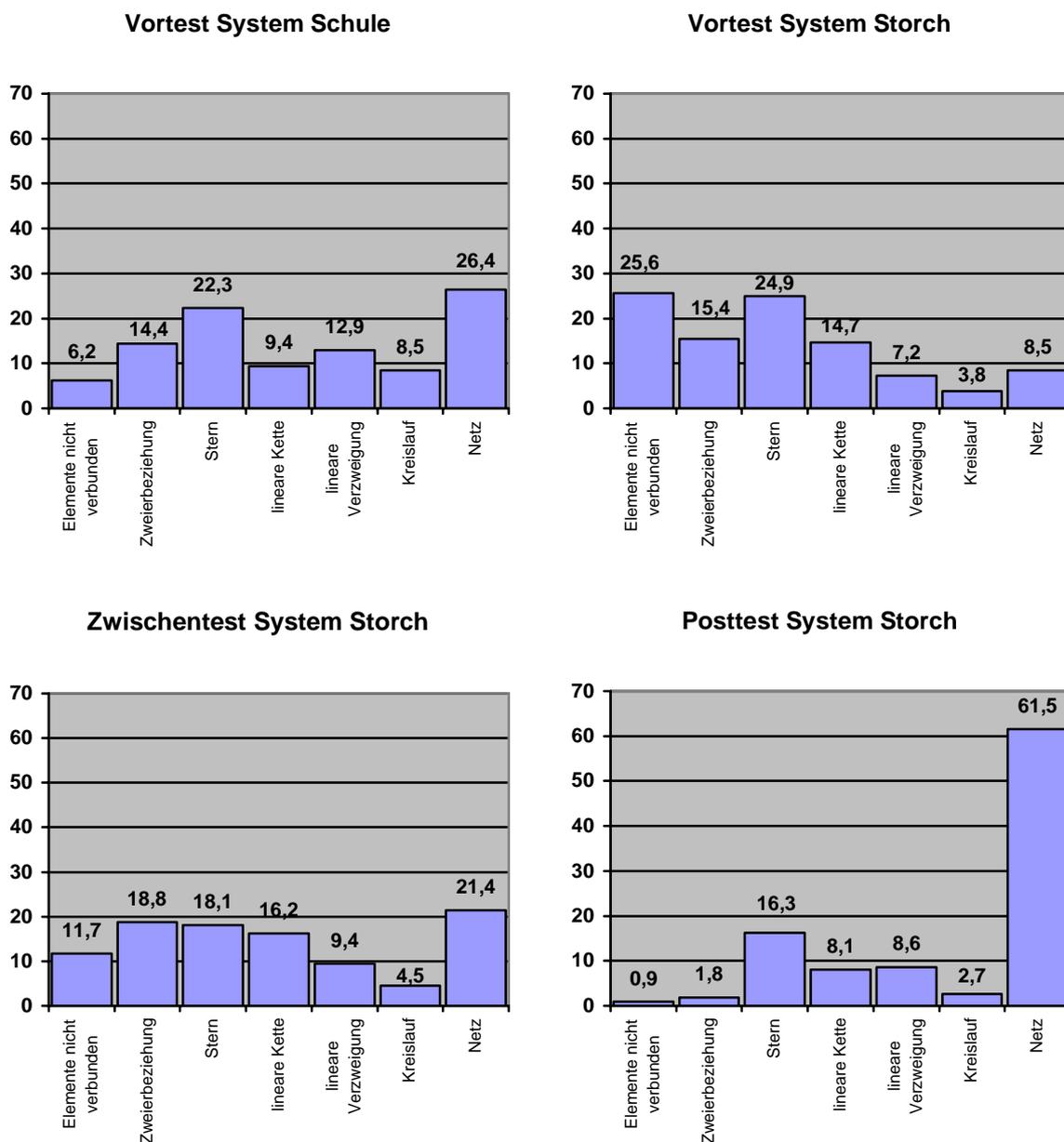


Abbildung 68: Strukturen des Wissens der Begriffslandkarten in den verschiedenen Testteilen: (alle Angaben in %); Erläuterung der Termini s. 4.5.1.1

Im Testabschnitt Vortest System Schule sind in der Kategorie „Netz“ die meisten Kinder vertreten. Sie stellt die höchste Kategorie dar. Die zweitgrößte Gruppe fällt in die Kategorie „Stern“, die wenigsten Kinder können die von ihnen benannten Elemente nicht verbinden.

Im Vortest zum System Storch ist die Verteilung dagegen anders, hier können die meisten Kinder die von ihnen benannten Elemente nicht verbinden. Die zweitgrößte Gruppe zeichnet einen Stern und mit 8,5% stellt eine relativ geringe Anzahl Kinder ein Netz dar.

Im Zwischentest sind die Unterschiede zwischen den Kategorien nicht mehr ganz so groß. Die meisten Kinder zeichnen ein Netz, dicht gefolgt von den Darstellungsformen Zweierbeziehung und Stern. Am wenigsten ist die Kategorie Kreislauf vertreten. Im Posttest zeichnen fast zwei Drittel aller Kinder ein Netz und nur ein knappes Prozent aller Kinder kann die Elemente nicht verbinden.

Da die Variable Struktur ordinalskaliert ist, wird zum nichtparametrischen Vergleich der jeweils zwei abhängigen Stichproben der Wilcoxon-Test verwendet. Er basiert auf einer Rangreihe der absoluten Wertpaardifferenzen.

Für alle Testvergleiche ergeben sich höchst signifikante Unterschiede zwischen der Anzahl positiver und negativer Ränge (vgl. Tabelle 17).

Tabelle 17: Nichtparametrischer Vergleich der Differenzen der Struktur in den verschiedenen Testteilen

Variablenpaar		N	Mittlerer Rang	Wilcoxon-Test
System Storch VT – System Schule VT	Negative Ränge	172	110,8	Z = -9,3***
	Positive Ränge	37	78,0	
	Bindungen	74		
System Storch ZT - System Storch VT	Negative Ränge	47	83,7	Z = -6,6 ***
	Positive Ränge	140	97,5	
	Bindungen	67		
System Storch PT - System Storch ZT	Negative Ränge	25	46,5	Z = -8,6 ***
	Positive Ränge	127	82,4	
	Bindungen	52		
System Storch PT - System Storch VT	Negative Ränge	4	34,2	Z = -10,4 ***
	Positive Ränge	146	76,6	
	Bindungen	22		
System Storch ZT - System Schule VT	Negative Ränge	120	115,2	Z = -2,0 *
	Positive Ränge	98	102,5	
	Bindungen	73		
System Storch PT - System Schule VT	Negative Ränge	27	55,1	Z = -7,9 ***
	Positive Ränge	123	80,0	
	Bindungen	51		

* p < ,05; *** p < ,001

Abbildung 68 dient auch hier der Veranschaulichung der Entwicklungstendenzen.

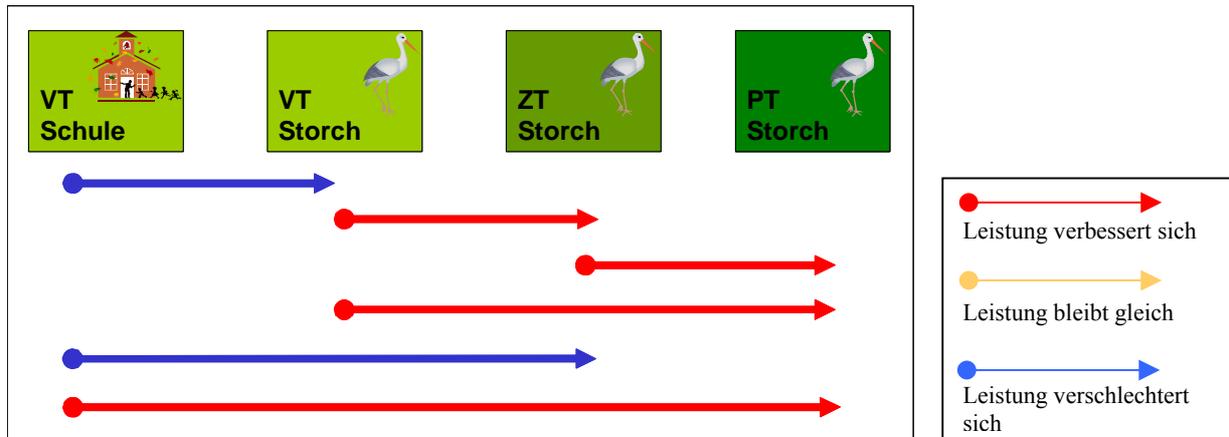


Abbildung 69: Grafische Darstellung der Differenzen zwischen den Testteilen für die Struktur

Zwischen dem Vortest System Schule und dem Vortest System Storch nimmt der Strukturindex der meisten Kinder deutlich ab. Für alle anderen Testvergleiche ist jeweils eine Steigerung des Strukturindex zu verzeichnen.

Interpretation der Ergebnisse

Im Kompetenzbereich „Organisation der Elemente und Beziehungen in einem Bezugsrahmen“ dienen die beiden Indizes „Vernetzung“ und „Struktur“ zur Analyse der Begriffslandkarten. Sie decken zwei Aspekte dieses Bereiches ab: der Vernetzungsindex beschreibt die Vernetzungen jedes einzelnen Elementes, während der Strukturindex die Komplexität des Gesamtgebildes betrachtet.

In der Entwicklung über die verschiedenen Testteile zeigen die beiden Indizes ähnliches Verhalten. Sowohl der Strukturindex als auch der Vernetzungsindex sind für das System Schule, das als Vergleichsbasis dient, relativ hoch. Zum selben Testzeitpunkt, aber für das wenig bekannte System Storch, liegen die Werte der Indizes deutlich niedriger. Dieser Effekt muss somit auf das Vorwissen zum jeweiligen System zurückzuführen sein.

Betrachtet man die einzelnen Strukturen, die die Kinder in den beiden Testteilen zeichnen, dann zeigt sich, dass die meisten Kinder für das System Schule ein Netz entwerfen und die wenigsten Kinder die Elemente nicht verbinden können. Für das System Storch im Vortest gilt das Gegenteil: Die meisten Kinder können die Elemente nicht verbinden und der Anteil Kinder, die im Vortest zum System Storch ein Netz zeichnen, ist gering. Im Laufe der weiteren Tests nähert sich das Verhalten wieder der Vergleichsbasis an und übertrifft diese im Posttest noch deutlich. Da zwischen Vor- und Zwischentest die Unterrichtseinheit durchgeführt wurde und die Kinder vor dem Posttest das Computerspiel zum Weißstorch spielten, muss dieser Effekt auf die Interventionen zurückzuführen sein.

Zusammenfassend kann man folgern, dass das Wissen in einem Systembereich einen deutlichen Einfluss auf die Fähigkeit hat, Elemente und Beziehungen in einem Bezugsrahmen zu organisieren.

In Bezug auf das Ausmaß der Systemkompetenz in diesem Teilbereich lässt sich zusammenfassen, dass die Kinder sowohl für das vertraute System Schule als auch für das „erlernte“ System Storch auf ein recht hohes Strukturniveau kommen. Die absoluten Werte für die Vernetzung der Elemente sind dagegen nur schwer einzuschätzen. Im Vergleich zu dem anfangs wenig bekannten System Storch konnte die Vernetzung der Elemente zwar signifikant gesteigert werden, ob ein Vernetzungsindex von rund 1,6 Beziehungen pro Element jedoch als hoch oder niedrig eingestuft werden muss, ist auf der Basis der vorliegenden Daten nicht zu entscheiden.

5.2.3 Fähigkeiten im Bereich Systemgrenzen erkennen und sinnvoll ziehen

Die Auswertung der Begriffslandkarten zum System Schule und zum System Storch ergaben, dass alle Kinder die Grenzen des jeweiligen Systems sinnvoll ziehen konnten. Die Auswertung der Daten zu dieser Fähigkeit ist aber insofern problematisch, als die Grenzen der Systeme sehr weit gezogen werden können. Die Möglichkeit, diese Grenze *nicht* sinnvoll zu ziehen, ist damit kaum gegeben.

5.3 Beschreibung der Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften

Vorbemerkung: Die nachfolgenden Ergebnisse wurden hauptsächlich über den Nachtest gewonnen. Da in diesem Test neben anderen Aufgaben 10 schriftliche Fragen von den Kindern zu beantworten waren, die einen entsprechenden Zeitaufwand erforderten, wurden nicht alle Kinder mit der Bearbeitung des Tests in der vorgesehenen Zeit fertig. Ausgewertet wurden für die folgenden deskriptiven Analysen nur die vorhandenen, d. h. gültigen Antworten. Die Anzahl der Antworten, die in die jeweilige Auswertung eingeflossen ist, wird angegeben.

5.3.1 Fähigkeiten im Bereich Systemintegrität

In diesem Bereich sollte die Fähigkeit der Kinder zur Unterscheidung von Eigenschaften eines Systems und Eigenschaften der Systemelemente überprüft werden. Da die drei Fragen zu diesem Bereich unterschiedliche Teilaspekte überprüfen, bzw. sich auf unterschiedliche Systeme beziehen, werden die Ergebnisse für jede Frage einzeln erläutert. Alle Antworten wurden hinsichtlich ihrer Quantität und Qualität beurteilt.

- **Teile einem bestehenden System hinzufügen**

Die Frage zu dieser Thematik (Fr. 11 VT) soll das Verständnis für Veränderungen des Gesamtsystems beim Hinzufügen von bedeutenden Teilen überprüfen. Sie wurde im Vortest zum bekannten System Schule gestellt. Die Kinder wurden gebeten, die Folgen des Hinzukommens der Schüler einer benachbarten Schule in ihre Schule zu benennen.

Die 248 Schüler, die diese Frage beantworten, zählen bis zu 9 mögliche Folgen dieses Eingriffs in das System Schule auf. Im Durchschnitt benennt jeder Schüler 2,5 sinnvolle Folgen der Veränderung.

Um die Qualität der Antworten für die Systemkompetenz im Bereich Systemintegrität beurteilen zu können, wurden die Fragen im Hinblick auf das Erkennen von Veränderungen des Systems kategorisiert. Abbildung 69 zeigt die Ergebnisse der Kategorisierung.

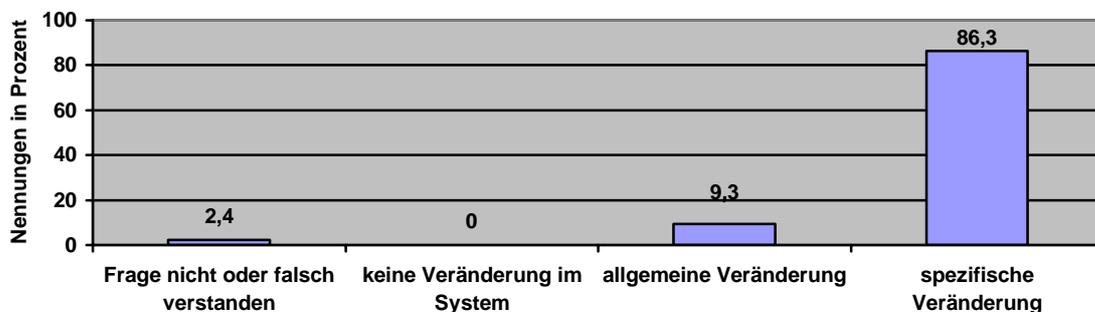


Abbildung 70: Qualität der Antworten zum Hinzufügen von Elementen in ein System N = 248

Der Anteil Kinder, die diese Frage nicht oder falsch verstanden haben, ist mit 2,4% äußerst gering. Kein Kind behauptet, dass sich aus dem Hinzukommen der anderen Schüler keine Folgen für seine Schule ergeben. Eine allgemeine Veränderung, die nicht näher spezifiziert wird, wie etwa „es wird alles anders“⁹ oder „es wird ganz voll“ benennen 9,3 % der Kinder. Mit 86,3 % beschreibt die überwiegende Mehrheit der Kinder spezifische Veränderungen im System Schule infolge des Hinzukommens von Schülern einer benachbarten Schule. Die Kinder erkennen also, dass das Hinzufügen von Teilen in dieses System weitreichende Folgen hat.

- **Teile aus dem System entfernen**

Ziel der Frage zu dieser Thematik (Fr. 19 NT) war es, herauszufinden, wie die Kinder das Entfernen von wichtigen Teilen aus einem System beurteilen. Die Frage bezieht sich auf das System Storch und wurde im Nachtest gestellt. Die Kinder sollten die Folgen des Entferns der Nistplätze und Nisthilfen von Hausdächern für den Storch schildern.

⁹ Hier und im folgenden werden zur Erläuterung der Antwortkategorien Originalantworten aus den Fragebögen zitiert.

Die Kinder (N = 282) zählen bis zu vier verschiedene Folgen für den Storch auf, darunter viele Antworten, die als direkte Folgen eingestuft werden können. Dazu gehören z. B. die Angaben, die Störche müssten sich andere Nistmöglichkeiten suchen („Er hat keinen Platz zum Eier legen“) oder ihre Jungen würden sterben. Andere Antworten betreffen weitreichendere Folgen wie das Aussterben der Störche durch vergebliche Suche nach geeigneten Nistplätzen („Der Storch würde keine Nestplätze finden und dann könnte er keine Eier legen und würde Aussterben“). Im Durchschnitt benennt jedes Kind 1,5 sinnvolle Folgen.

Die Kategorisierung der Antworten im Hinblick auf das Erkennen von Folgen für das System zeigt Abbildung 70.

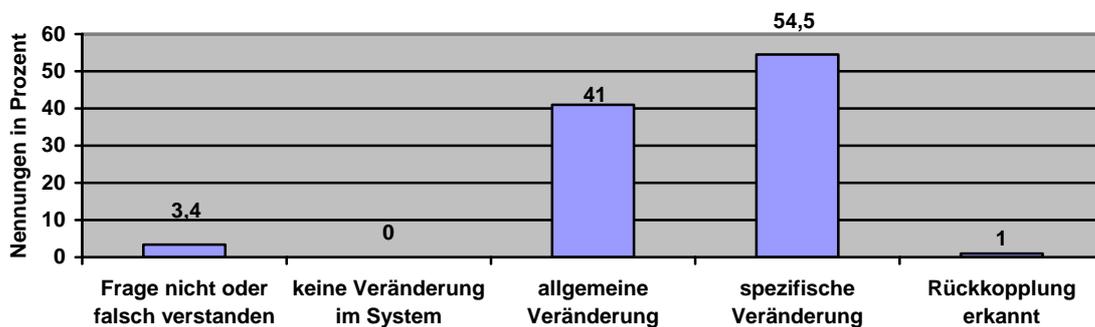


Abbildung 71: Qualität der Antworten zum Entfernen von Teilen aus dem System Storch N = 288

Kein Kind vermutet, dass das Entfernen der Nisthilfen keine Folgen für den Storch hätte. 41% der Kinder beschreiben eine allgemeine Veränderung, die nicht näher spezifiziert wird wie „es ändert sich alles“ oder „es gibt keine Störche mehr“ ohne den Zusammenhang zum Entfernen der Nisthilfen zu beschreiben. Knapp über die Hälfte der Kinder (54,5%) benennt eine spezifische Veränderung, weitere 3 Kinder beschreiben spontan eine Rückwirkung auf den Menschen („Der Storch hätte keine Brutplätze finden und würde irgendwo anders hinfliegen und wir würden ihm nichts mehr sehen.“).

- **Funktion isolierter Teile des Systems Storch**

Mit der Frage zu dieser Thematik (Fr. 22 NT) sollte geprüft werden, ob die Kinder verstehen, dass die einzelnen Teile eines Systems nicht dieselben Eigenschaften wie das System selbst haben. In der Aufgabenstellung sollten die Kinder beurteilen, wie sich isolierte Teile des Systems Storch verhalten würden. Dazu wurde den Kindern ein Experiment geschildert, in dem Störche in einem Raum gehalten wurden, der alle für das Überleben des Storches unmittelbar notwendigen Elemente wie verschiedene Beutetiere, Nistplatz etc. in isolierten Kisten enthielt. Die Kinder waren aufgefordert, zu schildern, ob sich nach einem halben Jahr etwas in diesem Raum verändert hätte.

Die Kinder beschrieben bis zu fünf verschiedene Veränderungen in diesem System, im Durchschnitt waren es pro Kind 1,1 Veränderungen.

Kategorisiert man die Antworten nach ihrer Bedeutung für das System, so ergibt sich das folgende Bild (Abbildung 71):

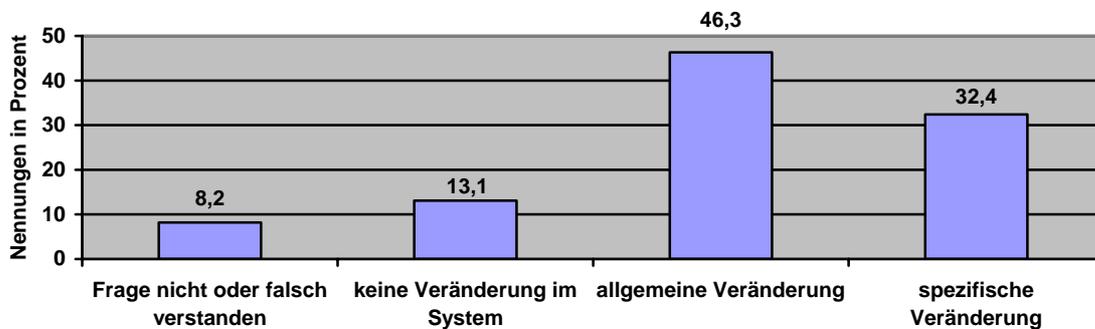


Abbildung 72: Qualität der Antworten zum Verhalten von isolierten Teilen des Systems Storch N = 244

Die Frage nicht oder falsch verstanden haben 8,2% der Kinder. 13,1% der Kinder meinen, dass keine Veränderung im System eintritt, die isolierten Teile verhalten sich wie Teile im System. Antworten, die in diese Kategorie fallen, waren z. B. „der Storch hat kleine Jungen bekommen“ oder „der Storch hat sich wohlgeföhlt“. Diese Kinder sehen offensichtlich keinen Unterschied zwischen dem Verhalten der isolierten Teile und dem Verhalten der in ein intaktes System integrierten Teile.

In die Kategorie „allgemeine Veränderung“ fallen Antworten, die eine Veränderung beschreiben, die aber nicht näher spezifiziert wird wie „dem Storch ging es nicht gut“ oder die für das System irrelevante Folgen beschreiben, z. B. „er wird gegen die Wand fliegen“ usw.. Diese Äußerung lässt keine direkte Antwort auf die Frage nach Veränderungen in der beschriebenen Versuchssituation erkennen. 46,3% aller Antworten fallen in diese Kategorie. Dass sich isolierte Teile nicht wie Teile in einem System verhalten, erkennen 32,4% der Kinder und schildern spezifische Folgen der veränderten Funktion von isolierten Teilen. Dazu gehört z. B. folgende Antwort: „Der Storch kann nicht jagen, es ist kein Wind es gibt keine Sonne, keine Wolken und kein Regen, dem Storch fehlen diese Sachen.“.

Die Mehrheit der Kinder versteht also, dass isolierte Teile eines Systems nicht die gleiche Funktion wie in einem intakten System haben, kann allerdings keine Ursachen dafür benennen. Nur von einem Drittel der Kinder kann man annehmen, dass sie die hinter dem geschilderten Problem stehenden ökologischen Zusammenhänge in ihre Überlegungen mit einbeziehen.

Zusammenfassung und Interpretation

Die Frage, ob Kinder zwischen den Eigenschaften eines Systems und den Eigenschaften seiner Elemente unterscheiden können, lässt sich anhand der geschilderten Fragen nicht allgemein beantworten. Wenn man davon ausgeht, dass zum Zeitpunkt des Nachtests auch das System Storch den Kindern hinreichend vertraut war, so dass das inhaltliche Wissen zur Beantwortung der Fragen nicht der ausschlaggebende Faktor zur Beantwortung der Fragen war, dann resultieren dennoch Unterschiede je nach erfasstem Teilaspekt der Systemintegrität. Offensichtlich fällt es den Kindern relativ leicht, die Folgen des Hinzufügens oder Entfernens von Teilen aus einem System in ihrer Wirkung auf das System zu beurteilen. Demgegenüber ist es für die Kinder weitaus schwieriger zu erkennen, dass sich isolierte Teile eines Systems nicht wie Teile in einem intakten System verhalten.

5.3.2 Fähigkeiten im Bereich Dynamik

Die diesem Bereich zugehörigen Komponenten der Systemkompetenz betreffen die Fähigkeit zum Erkennen von dynamischen Beziehungen in einem System und zur Vorhersage der Folgen von Veränderungen.

5.3.2.1 Erkennen dynamischer Beziehungen

- **Wechselnde Bedingungen in verschiedenen Lebensphasen**

Mit der Problemstellung zu diesem Bereich des Systemverständnisses (Fr. 26 NT) sollte geprüft werden, ob Kinder dynamische Veränderungen in einem System erkennen, die in wechselnden Ansprüchen des Storches aufgrund seines Alters begründet sind. Dazu sollten die Kinder beurteilen, ob die entsprechende Aussage zutrifft und ihre Entscheidung begründen.

Nur gut die Hälfte aller Kinder (55,2%) lehnt die Aussage, dass Störche von Beginn ihres Lebens an immer dieselbe Nahrung zu sich nehmen können, ab.

Die Begründung der jeweiligen Antwort wurde danach kategorisiert, ob die Kinder einen Einfluss wechselnder Bedürfnisse in verschiedenen Lebensphasen erkennen (vgl. Abbildung 72).

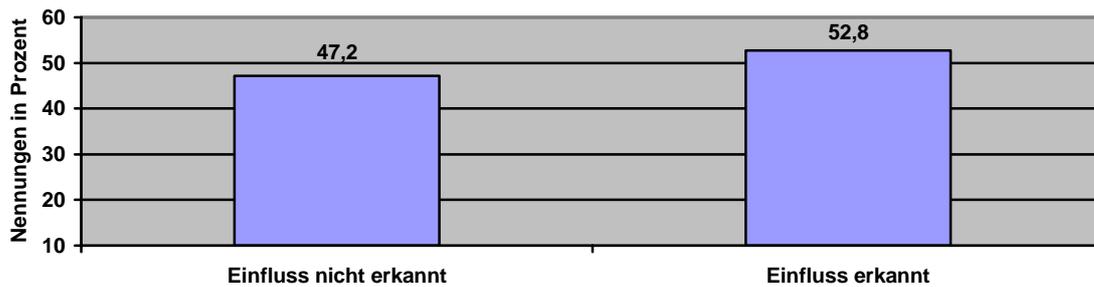


Abbildung 73: Beurteilung der Antworten auf das Erkennen eines Einflusses von wechselnden Bedürfnissen in verschiedenen Lebensphasen
N = 216

Auch in den schriftlichen Begründungen der Kinder zu ihren Antworten zeigt sich, dass nur ungefähr die Hälfte der Kinder erkennt, dass das Alter des Storches einen Einfluss auf seine Nahrungswahl hat. (Bsp.: „..., weil ein Frosch oder eine Schlange ist zu groß für das Storchkind“ oder „..., weil sie am Anfang nur Würmer fressen und andere kleine Tiere“). Einige Kinder unterscheiden auch zwischen dem Nahrungsangebot, das den Störchen in ihren verschiedenen Lebensräumen zur Verfügung steht („..., weil sie nach Afrika fliegen und dort gibt es einige Tiere nicht[,] die der Storch bei uns in Deutschland bekommt“).

Probleme bei dieser Aufgabe bereitet manchen Kindern ihr Wissen über die vielfältige Nahrung, die der Storch zu sich nehmen kann. Hinter Begründungen wie „weil sie immer Alles fressen können“ steckt vermutlich der Gedanke, dass der Storch ein breites Nahrungsspektrum hat.

In der Kategorie „Einfluss nicht erkannt“ finden sich unterschiedliche Vorstellungen. Viele Kinder neigen zu vermenschlichenden Begründungen wie „..., weil die Eltern immer das gleiche sagen“ oder stimmen der Aussage ohne weiter erklärende Begründung zu (stimmt, „weil es so ist“).

- **Wechselnde Bedingungen im Laufe der Jahreszeiten**

Mit der Frage zu dieser Thematik (Fr. 27 NT) sollte geprüft werden, ob die Kinder das unterschiedliche Verhalten des Storches in seinem Sommer- und Winterquartier in Bezug auf veränderte Lebensbedingungen begründen können. Auch hier sollten die Kinder ihre Zustimmung oder Ablehnung der Aussage begründen.

Betrachtet man nur die Beurteilung der Aussage, so zeigt sich, dass 61,2% der Kinder der Behauptung, die Störche blieben im Sommerquartier an einem Ort, wogegen sie im Winterquartier in großen Gebieten umherzögen, zustimmen. Zwar schätzen relativ viele Kinder diese Behauptung richtig ein, die Analyse der Begründungen offenbart aber Verständnisprobleme (vgl. Abbildung 73).

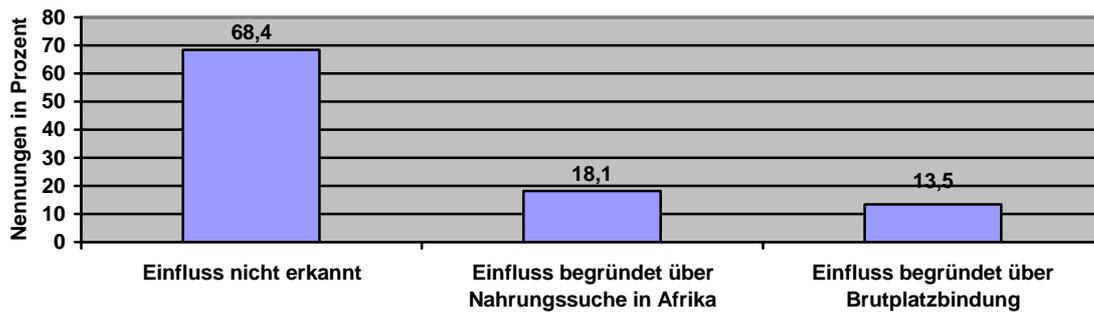


Abbildung 74: Beurteilung der Antworten zum Erkennen eines Einflusses der Jahreszeiten auf das Verhalten des Storches

N = 193

Die überwiegende Mehrheit der Kinder begründet ihre Zustimmung sachlich nicht richtig, in dem sie nur auf den Aufenthaltsort der Störche verweist (stimmt, „weil sie im Winter nach Afrika fliegen“). Die Aussage, dass die Störche im Winter nach Afrika fliegen, begründet allerdings nicht das unterschiedliche Verhalten in den beiden Gebieten. Andere Kinder lehnen die Aussage mit unzutreffenden Begründungen ab (stimmt nicht, „weil sie fliegen in Deutschland und in Afrika mal durch [die] gegnd [Gegend]“).

Eine Begründung des unterschiedlichen Verhaltens über die Nahrungssuche liefern 18,1% der Kinder. Sie berufen sich auf das Umherziehen des Storches in Afrika zur Suche nach ergiebigen Futterquellen (stimmt, „weil sie sonst nicht genug fressen finden“).

Nur 13,5% der Kinder benennen als Ursache für das unterschiedliche Verhalten die Bindung an den Brutplatz in Deutschland, der zur Standorttreue zwingt („..., weil in Afrika bauen sie kein Nest und in Deutsch[land] bauen sie eins“). Dieser Zusammenhang wurde im Computerspiel erwähnt.

5.3.2.2 Vorhersage der Folge von Veränderungen

- **Zunahme der Eierzahl**

In der Frage zu dieser Thematik (Fr. 18 NT) werden die Kinder zu einem Gedankenexperiment angeregt. Sie sollen die Folgen einer drastischen Erhöhung der Eierzahl pro Brutpaar vorhersagen. Dazu werden die Kinder aufgefordert, auch mögliche Veränderungen, die nicht direkt den Storch betreffen, aufzuzählen.

Die quantitative Auswertung der Antwortanzahl ergibt, dass die Kinder bis zu 6 verschiedene Folgen benennen können, im Durchschnitt sind es pro Schüler 1,9 Antworten.

Die inhaltliche Analyse der Antworten in Bezug auf das Erkennen von systemrelevanten Folgen wird in Abbildung 74 dargestellt.

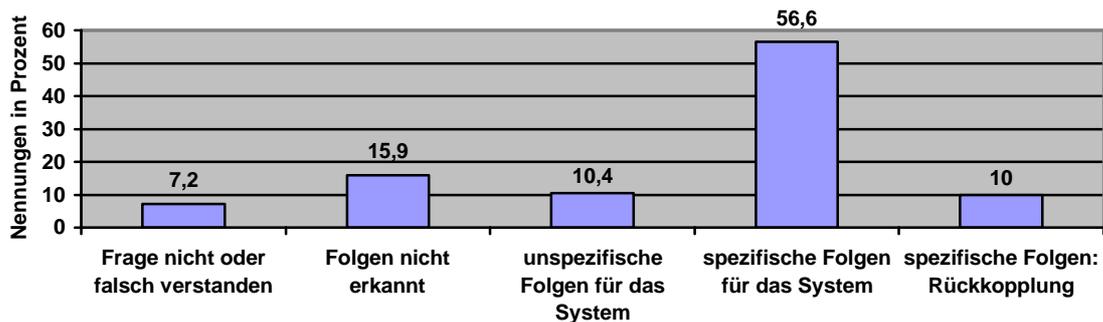


Abbildung 75: Beurteilung der Antworten auf das Erkennen der Folgen von Veränderungen
N = 251

Abgesehen von dem Teil der Kinder (7,2%), der die Aufgabenstellung nicht verstanden hat, benennen nur rund 16% der Kinder keine für das System wesentlichen Folgen. Diese Kinder beschränken sich im Wesentlichen darauf, dass es einfach mehr Störche gibt („Es würde alles voller Störche sein“), beschreiben aber keine darüber hinausgehenden Folgen. Rund 10% der Kinder erkennen das Problem für das System, beschreiben aber die Folgen nicht weiter („Die Störche würden zur Plage werden, ...“). Diese Kinder wurden in die Gruppe „unspezifische Folgen für das System benannt“ eingestuft.

Die Antworten, die spezifische Folgen einer Zunahme beschreiben, wurden weiter nach dem Erkennen einer Rückwirkung auf den Storch differenziert. Eine Rückwirkung besteht in diesen Fällen aus einer Zunahme der Störche, der darauf folgenden Abnahme der Nahrung und dem sich daran anschließenden Rückgang der Störche. 10% der Kinder benennen spontan eine Rückwirkung („Es würden sowiso nicht so viele Störche geben, weil sie kein Futter haben, und kein Nistplatz finden.“). Weitere 56,6% der Kinder benennt spezifische Folgen für das System, die aber keine Rückwirkungen sind, z. B. „Die Eltern wurden nicht genug Futter finden und das Nest [wäre] zu klein“.

- **Nahrungsmangel im Frühjahr**

Im Zusammenhang mit der Frage zu dieser Thematik (Fr. 20 NT) wurde das Problem beschrieben, dass es in einem Frühjahr ungewöhnlich wenige Regenwürmer gegeben hätte. Die Kinder sollen beurteilen, ob dies für den Storch von Bedeutung ist. Zu diesem Problem benennen die Kinder bis zu 5 Folgen eines Nahrungsmangels im Frühjahr, im Durchschnitt sind es 1,25 pro Kind.

Die inhaltliche Kategorisierung der Antworten wird im Hinblick auf die Vorhersage von Folgen für das System durchgeführt (Abbildung 75).

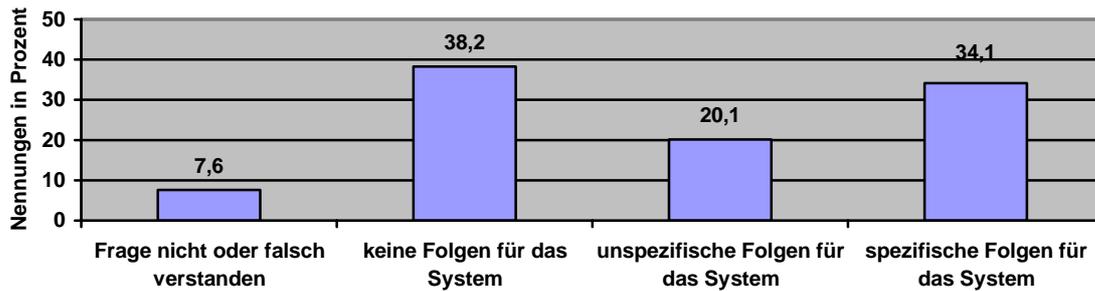


Abbildung 76: Beurteilung der Antworten auf das Vorhersagen der Folgen von Veränderungen
N = 249

Im Vergleich zu den bisherigen Aufgaben ist der Anteil an Kindern, die die Frage nicht verstehen, gleich geblieben. Eine deutliche Verschiebung tritt aber bei den Kindern auf, die in der geschilderten Veränderung keine Folgen für den Storch sehen. Diese Gruppe umfasst mit 38,2% die meisten Kinder. Gut 20% der Kinder sagen Folgen für den Storch vorher, allerdings sind diese unspezifisch („das ist schlecht für den Storch“). Nur rund ein Drittel aller Kinder kann spezifische Veränderungen aufgrund des Regenwurmmangels vorhersagen.

Die relativ einfache Aufgabenstellung lässt auf den ersten Blick nicht vermuten, dass ein so großer Anteil Kinder Schwierigkeiten haben könnte, den Zusammenhang zwischen einem Nahrungsmangel im Frühjahr und den Konsequenzen für den Storch zu sehen. Eine inhaltliche Betrachtung der Antworten zeigt jedoch, dass die Kinder bei der Einschätzung der Folgen auf Wissen zurückgreifen, das durchaus richtig ist. Die meisten Kinder dieser Kategorie nennen als Begründung dafür, dass der Wegfall der Regenwürmer im Frühjahr keine Folgen für den Storch hätte, dass „der Storch auch noch ander[e] Sachen auf dem Speiseplan hat“. Das im Unterricht vermittelte Wissen über den Storch als ausgesprochenen Nahrungsopportunisten wird an dieser Stelle eingebracht, ohne die jahreszeitliche Verschiebung im Beutespektrum des Storches zu berücksichtigen. Informationen zu diesem Zusammenhang konnten im Computerspiel erworben werden, die entsprechende Szene musste aber nicht zwangsläufig von allen Kindern durchlaufen werden.

Zusammenfassung und Interpretation

Die Frage, ob Grundschulkinder die Kompetenz besitzen, dynamische Beziehungen in einem System zu erkennen und die Folgen von Veränderungen vorherzusagen, lässt sich aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse nicht allgemein beantworten. Wie die Ergebnisse zeigen, ist das Ausmaß der Fähigkeiten abhängig vom jeweiligen Problemkontext. So zeigt sich, dass im Bereich „Erkennen von dynamischen Beziehungen“ die Hälfte der Schüler einen Einfluss der Lebensphasen auf die Nahrungswahl erkennt. Diesem Zusammenhang liegt das Wissen über die Nahrungsbedürfnisse von Jungvögeln zugrunde. Es handelt sich um ein

relativ allgemeines Wissen, das für viele Vögel zutreffend ist und den Kindern wahrscheinlich schon in anderem Zusammenhang bekannt war.

Ein Einfluss der Jahreszeiten auf das Verhalten des Storches wird dagegen nur von 13,5% der Kinder biologisch richtig begründet. Die Beziehung zwischen Standortgebundenheit und Jahreszeit, wie sie in der Problemstellung geschildert wird, ist nur durch die Kenntnis mehrerer, speziell den Storch betreffender Zusammenhänge herstellbar. So muss man wissen, dass der Storch nur dann seinen Aktionsradius auf ein relativ kleines Gebiet beschränkt, wenn er durch das Brutgeschehen an seinen Nistplatz gebunden ist. Zum zweiten muss man wissen, dass die Jungenaufzucht im Brutgebiet in Mitteleuropa stattfindet¹⁰, wo sich der Storch im Sommer aufhält. Die korrekte Einschätzung der dynamischen Beziehung setzt also in diesem Fall spezielles biologisches Wissen voraus. Dieses biologische Wissen wurde zwar im Computerspiel erwähnt, allerdings war die Struktur des Spieles bewusst so angelegt, dass die Verbindungen zwischen den Wissens-elementen von den Schülern selbst gezogen werden müssen.

Im Kompetenzbereich „Vorhersage der Folgen von Veränderungen“ unterscheiden sich die Ergebnisse ebenfalls in Abhängigkeit vom Kontext. Zwei Drittel aller Kinder können spezifische Folgen einer Erhöhung der Eierzahl pro Storchenpaar benennen, 10% der Kinder formulieren sogar spontan eine Rückwirkung auf den Storch über die Menge der zur Verfügung stehenden Nahrung. Etwas anders stellt sich die Verteilung bei der Einschätzung der Folgen für einen Wegfall der Frühjahrsnahrung dar. Ca. ein Drittel der Kinder sieht hier keine Folgen für den Storch, während ein weiteres Drittel die biologisch zutreffenden Folgen für den Storch benennt. Auch zur Beantwortung dieser Frage müssen die Kinder spezielles biologisches Wissen zum Storch miteinander verknüpfen. So müssen sie wissen, dass der Storch zwar ein Nahrungsopportunist ist, aber im Frühjahr viele seiner Beutetiere aufgrund der jahreszeitlichen Populationsschwankungen nicht in ausreichendem Maß zur Verfügung stehen. Bei seiner Ankunft im Brutgebiet ist der Storch daher in den ersten Wochen stark auf Regenwürmer angewiesen, die in den erwärmten oberen Bodenschichten in größerer Menge vorhanden sind. Bei der Abschätzung der Folgen einer erhöhten Eierzahl können die Kinder dagegen auf allgemeineres biologisches Wissen zurückgreifen. Die gegenseitigen Abhängigkeiten von Räuber-Beute-Populationen sind den Kindern wahrscheinlich aus anderen biologischen Zusammenhängen bekannt.

¹⁰ Von dieser Regel sind auch Ausnahmen bekannt: In der Literatur finden sich immer wieder Hinweise auf Storchenpaare, die nicht zwischen Sommerbrutgebiet und Winterquartier hin- und herfliegen. In Südafrika brütet eine kleine Kolonie Weißstörche am Kap (Schulz, 1988). Umgekehrt ziehen in den letzten Jahrzehnten immer mehr Störche nicht mehr nach Zentral- oder Südafrika, sondern überwintern in Spanien oder Israel. Häufig finden sie dort auf offenen Müllkippen oder an künstlichen Fischteichen genügend Nahrung. (Schulz, 1988)

5.3.3 Fähigkeiten im Bereich Wirkungen

In den Bereich „Wirkungen in Systemen“ fallen die Systemkompetenzkomponenten „Wirkungen in einem System beurteilen können“ und „Rückwirkungen erkennen und beschreiben können“.

5.3.3.1 Wirkungen in einem System beurteilen können

- **Einfluss von Stromleitungen**

Mit der Frage zu dieser Thematik (Fr. 23 NT) sollte geklärt werden, ob die Kinder der im letzten Jahrhundert aufgekomenen oberirdischen Verlegung von Strom- und Telefonleitungen einen Einfluss auf den Storch bemessen. Rund drei Viertel (76,3%) der Kinder erklärt, dass die Aussage, die Installation von Stromleitungen hätte keinen Einfluss auf den Storch, nicht stimmt.

Analysiert man die Begründungen zu dieser Einschätzung auf das Erkennen eines Einflusses auf den Storch, so entspricht die Zahl der Kinder, die einen zutreffenden Einfluss in ihrer Begründung nennen, ungefähr dem Anteil Kinder, die die Aussage als falsch beurteilt haben. Abbildung 76 zeigt die Verteilung.

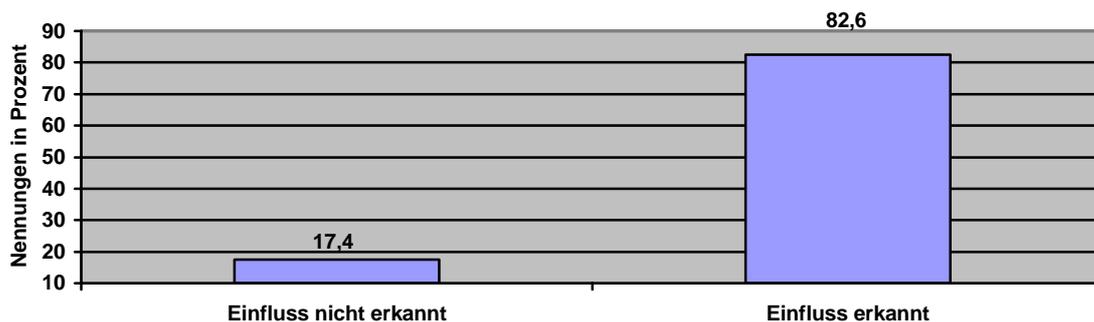


Abbildung 77: Beurteilung der Antworten auf das Erkennen eines Einflusses von Stromleitungen auf den Storch
N = 270

Die überwiegende Mehrheit der Kinder kann den Einfluss der Stromleitungen auf den Storch beschreiben, wie sich auch in der folgenden beispielhaft herausgegriffenen Aussage zeigt: „..., weil sie schnell zum Tot [führen] denn sie sehen sie oft nicht oder sie bekommen einen Stromschlag weil ihre Flügel die Leitungen berühren“. Die potentiellen Gefährdungen des Storches auch auf seinem Zug nach Afrika waren sowohl Thema der Unterrichtseinheit als auch des Computerspiels. Den Schülern war daher offensichtlich der Zusammenhang zwischen einer zunehmenden „Verdrahtung der Landschaft“ und dem Gefahrenpotential für den Storch bekannt.

- **Veränderung des Lebensraumes**

Ziel der Frage zu dieser Thematik (Fr. 24 NT) war es, herauszufinden, ob die Kinder der Veränderung der Landschaft im Interesse des Menschen einen Einfluss auf den Storch

zuschreiben.

Die Aussage, dass ein Trockenlegen von sumpfigen Wiesen zum Getreideanbau und ein Umleiten von Bächen zur Verhinderung von Überschwemmungen keinen Einfluss auf den Storch hätten, lehnten drei Viertel der Kinder ab.

Dieser Anteil deckt sich ungefähr mit der Kategorisierung der Begründungen, s. Abbildung 77. (Die Abweichungen kommen dadurch zustande, dass nicht alle Kinder ihre Antwort begründen oder Kinder nur Begründungen ohne Zustimmung oder Ablehnung der Aussage geben.)

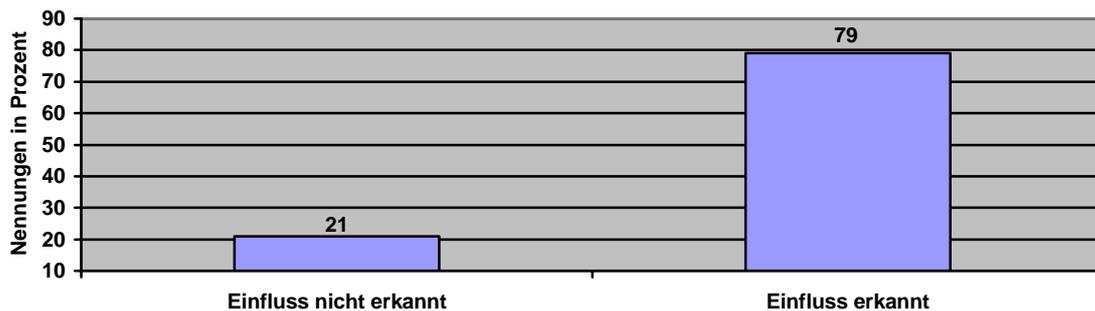


Abbildung 78: Beurteilung der Antworten auf das Erkennen eines Einflusses von Lebensraumveränderungen auf den Storch
N = 238

An den Ergebnissen der Kategorisierung wird deutlich, dass ein Großteil der Kinder der Veränderung der Lebensräume einen Einfluss auf den Storch beimisst. Beispiele für Aussagen, die in diese Kategorie fallen, sind: Stimmt nicht, „weil die Wiesen nicht überschwemmt werden und somit keine Frösche oder andere Tiere dort sind“ oder Stimmt nicht, „weil die Störche haben dann nur wenig Lebensraum“. Aussagen, die den Veränderungen keinen Einfluss auf den Storch einräumen, beziehen sich oft auf den Nutzen, den der Mensch von diesen Eingriffen hat, wie z. B. Stimmt, „weil sie das Land gut nutzen können“.

- **Veränderung des Nahrungsangebotes durch wenig Regen**

In der Frage zu dieser Thematik (Fr. 25 NT) sollten die Kinder die Aussage, dass die Menge des Regens einen Einfluss auf das Futter des Storches habe, beurteilen und ihre Meinung begründen.

Rund drei Viertel der Kinder stimmen dieser Aussage zu. Die Kategorisierung der Begründungen im Hinblick auf das Erkennen einer Wirkung auf den Storch ist in Abbildung 78 dargestellt.

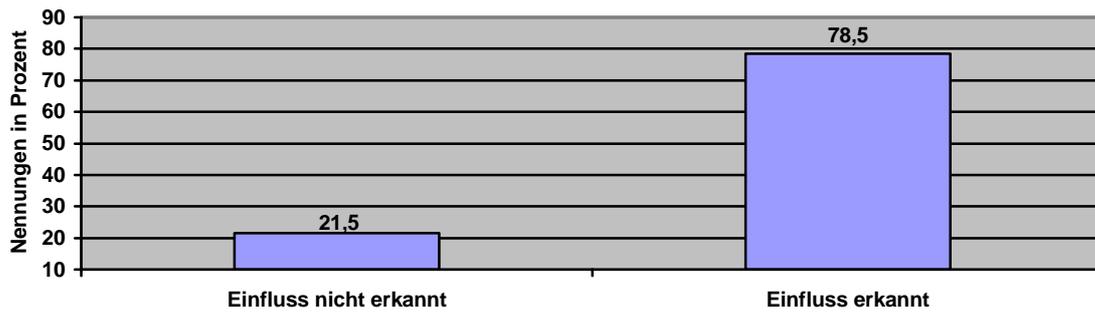


Abbildung 79: Beurteilung der Antworten auf das Erkennen eines Einflusses der Regenmenge auf das Futter des Storchs

N = 195

Der Anteil Kinder, der der Aussage zustimmt, deckt sich mit dem Anteil, der einen Einfluss der Regenmenge auf das Futter des Storches in seiner Begründung erkennen lässt. Mit 78,5% kann ein Großteil der Kinder einen Einfluss darstellen. Antworten, die die Wirkung des Regens beschreiben, sind z. B. „..., weil wenn es viel regnet gibt es feuchte Wiesen und der Storch findet dort Nahrung“ oder „..., weil die Pflanzen wachsen und deswegen kommen immer mehr Grillen“. Viele Kinder beschreiben den Zusammenhang zwischen Regen und Regenwürmern: „..., weil z. B. die Regenwürmer bei Regen rauskommen“.

Obwohl die Regenmenge den Storch nicht direkt beeinflusst, können die Kinder jedoch den Zusammenhang über die Abhängigkeit der Beutetiere des Storches vom Regen darstellen.

- **fehlender Niederschlag in Afrika**

Ziel der Frage zu dieser Thematik (Fr. 21 NT) war es, zu untersuchen ob die Kinder auch dann einen Einfluss erkennen, wenn eine räumliche und zeitliche Distanz zwischen Ursache und Wirkung vorliegt. Dazu sollten die Kinder die Frage beantworten, ob der fehlende Niederschlag in Afrika einige Monate bevor der Storch nach Afrika fliegt, einen Einfluss auf den Storch hat.

Die Kinder liefern auf diese Frage bis zu 4, im Durchschnitt aber nur etwas mehr als eine Begründung dafür, dass der fehlende Niederschlag in Afrika einen Einfluss auf den Storch hat. Das Ergebnis der Kategorisierung der Antworten auf das Erkennen eines Einflusses ist in Abbildung 79 zu sehen.

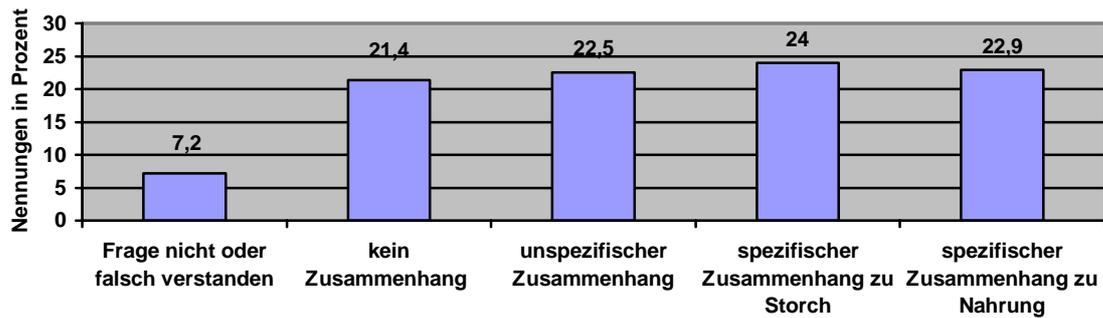


Abbildung 80: Beurteilung der Antworten auf das Erkennen eines Zusammenhangs zwischen Regen in Afrika lange vor dem Storchenzug und dem Storch
N = 262

Keinen Zusammenhang zwischen dem in Afrika fallenden Regen und dem Storch, der erst einige Monate später nach Afrika kommt, sehen 21,4% der Kinder. Die Kinder begründen ihre Antwort meist nur mit Aussagen wie „es ist ihm egal“. In die Kategorie „unspezifischer Zusammenhang“ fallen Antworten, die einen Zusammenhang bejahen, aber nicht weiter erklären („ja, es ist ihm wichtig“). 22,5% der Kinder gehören zu dieser Gruppe. Mit 46,9% kann knapp die Hälfte der Kinder einen spezifischen Zusammenhang benennen. Betrachtet man spezifischer, auf wen die Kinder die Folgen des Regenmangels beziehen, so halbiert sich diese Gruppe in zwei ungefähr gleich große Untergruppen. Die eine Gruppe geht nicht weiter auf die Distanz zwischen Ursache und Wirkung ein, allerdings kann anhand der Antwort auch nicht auf ein mangelndes Verständnis für die Distanz geschlossen werden. Solche Antworten beziehen sich vor allem auf das Wasser, das der Storch direkt benötigt („Ja, es ist wichtig weil [der] Storch etwas zu trinken braucht“) oder auf den Boden, der durch das Wasser weicher wird.

Die andere Untergruppe, bestehend aus 22,9% aller Kinder, sieht eine indirekte Wirkung auf den Storch. Die Kinder beschreiben, dass der Regen in Afrika notwendig für die Beutetiere des Storches ist („Ja, weil sonst Insekten sterben würden und der Storch findet dann keine Nahrung mehr“) oder knüpfen eine mehrfach indirekte Verbindung über die Pflanzen als Nahrungsgrundlage für die Tiere, die vom Storch später gefressen werden können („Es ist wichtig weil sich von dem Wasser die Pflanzen ernähren und [von] den Pflanzen die Insekten und wenn es nicht mehr so viele Insekten gibt hat der Storch auch weniger zu fressen“).

Zusammenfassung und Interpretation

Die vier Aufgaben, die die Fähigkeit zum Beurteilen von Wirkungen im System Storch testen, unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Komplexität. Die Frage zum Einfluss der Stromleitungen auf den Storch prüft das Verständnis einer direkten Wirkung auf den Storch. Mehr als vier Fünftel der Kinder beschreibt die Wirkung auf den Storch richtig, obwohl dafür spezielles biologisches Wissen zum Storch benötigt wird. Dass die Kollision mit Stromleitungen die

Haupttodesursache für Störche ist, wurde sowohl in der Unterrichtseinheit angesprochen als auch im Computerspiel in einer Szene thematisiert und offensichtlich gut memoriert.

Die Frage nach den Folgen der Veränderung der Landschaft durch den Menschen ist nur durch eine indirekte Wirkungsbetrachtung zu beantworten. Der menschliche Eingriff verändert die Landschaft, die auch Lebensraum des Storches ist. Veränderungen an der Landschaft wirken sich somit auch auf den Storch aus. Dieser Zusammenhang, der als Hauptursache für den starken Rückgang der Storchpopulationen in Deutschland gilt, wurde ebenfalls sowohl im Unterricht als auch im Computerspiel thematisiert. Auch die indirekte Wirkung auf den Storch können vier Fünftel aller Kinder beschreiben, obwohl sie spezielles Wissen zum Storch voraussetzt.

Eine weitere indirekte Wirkung wurde mit der Frage nach dem Einfluss der Regenmenge auf das Futter des Storches getestet. Auch diese indirekte Wirkung können knapp vier Fünftel aller Kinder korrekt darstellen.

Der komplexeste Zusammenhang wurde mit der Frage nach dem Einfluss des Niederschlages in Afrika einige Monate vor Ankunft des Storches in diesem Gebiet überprüft. In dieser Frage stehen Ursache und Wirkung sowohl in zeitlicher als auch in räumlicher Distanz zu einander. Die Erfassung der mehrfach von einander abhängigen Wirkungen von der Regenmenge in der Regenzeit über das Pflanzenwachstum als Nahrungsgrundlage für Beutetiere, die der Storch bei seiner späteren Ankunft in Afrika fressen kann, wurde von knapp einem Viertel aller Schüler geleistet. Ein weiteres Viertel der Schüler beschreibt die direkte Abhängigkeit des Storches vom vorausgehenden Regen in Form von Trinkwasser. Die Schüler mussten zur Beantwortung dieser Frage spezielles biologisches Wissen zum Storch mit einander verknüpfen, das sie über das Computerspiel erwerben konnten.

Zur Systemkompetenz lässt sich zusammenfassend sagen, dass die untersuchten Schüler der dritten und vierten Klasse kaum Schwierigkeiten mit dem Beurteilen auch indirekter Wirkungen im System Storch hatten. Selbst komplexe Wirkungen mit räumlicher und zeitlicher Distanz von Ursache und Wirkung werden noch von einem Viertel der Schüler dargestellt, obwohl die Schüler dazu spezielles Wissen zum Weißstorch benötigen. Der Unterricht, bzw. das Computerspiel konnte die Zusammenhänge offenbar in geeigneter Form vermitteln, so dass die Schüler das Wissen verknüpfen konnten.

5.3.3.2 Rückwirkungen erkennen und beschreiben können

Zur Prüfung der Fähigkeit, Rückwirkungen erkennen und beschreiben zu können, wurden nach dem Posttest halbstandardisierte Interviews mit 15 aus der Gesamtstichprobe ausgewählten Schülern durchgeführt (zur Begründung der qualitativen Forschungsmethode s. 4.5.2.2). Die Vorgehensweise beim Interviewen und die zur Auswertung erstellten Kategorien sind in den Kapiteln 4.3.3.2.7 und 4.5.2.2 dargestellt worden.

Unterschieden wurde im Interview zwischen zwei verschiedenen komplexen Systemen, dem einfachen System 1 (mit den Elementen Störche und Fische) und dem komplexeren System 2 (mit den Elementen Störche in Afrika, Heuschrecken, Ernteschäden, Gift, Störche in Deutschland).

Die Beschreibung der Ergebnisse erfolgt anhand der Untersuchungsfragen, die in Kapitel 4.5.2.2 formuliert wurden.

- Können die Kinder die zum jeweiligen System beschriebenen Elemente und Wirkungsbeziehungen benennen und in einer Begriffslandkarte darstellen?

Die Hälfte der Kinder beschreibt das System 1 in einer linearen Beziehung, im Sinne von „Störche fressen Fische, Fische leben im Teich“. Die andere Hälfte der Kinder stellt hier einen Kreislauf oder eine qualitative Rückwirkung dar, in der sich Störche und Fische auf einander beziehen: Störche fressen Fische, Fische werden von Störchen gefressen.

Zum komplexeren System 2 bilden 9 der 15 Kinder ein Netz oder einen Kreislauf aus den vorgegebenen Elementen. Die vernetzten Beziehungen beschränken sich dabei im Wesentlichen auf die folgenden Zusammenhänge: Der Storch in Afrika frisst Heuschrecken. Die Heuschrecken werden vergiftet, der Storch frisst die vergifteten Heuschrecken. Die Kinder, die keine Netze oder Kreisläufe darstellen, zeichnen in aller Regel eine lineare Kette, die die einzelnen Elemente richtig miteinander verbindet, aber durch den fehlenden Kreisschluss nur auf einseitige Wirkungen fokussiert. In solchen Ketten werden beispielsweise die folgenden Verbindungen hergestellt: Störche in Deutschland fliegen nach Afrika. Störche in Afrika fressen Wanderheuschrecken. Wanderheuschrecken machen Ernteschäden. Wegen der Ernteschäden wird Gift gestreut. Direkte Rückwirkungen werden von keinem Kind eingezeichnet.

Über die Art der dargestellten Beziehungen hinaus ist auffällig, dass von vielen Kindern nicht alle Elemente in die Darstellung mit einbezogen werden. 6 Kinder sehen keinen Zusammenhang zu den Störchen in Deutschland, zwei weitere Kinder stellen den Zusammenhang falsch her, in dem sie angeben, die Störche in Deutschland würden ebenfalls Wanderheuschrecken fressen.

- Können die Kinder spontan Rückwirkungen benennen?

Die Kinder wurden zu einer halbquantitativen Betrachtungsweise angeregt, in dem ihnen mit einer entsprechenden Frage eine solche Betrachtungsweise nahegelegt wurde.

Im einfachen System aus Störchen und Fischen benennen 9 der 15 Kinder spontan eine Rückwirkung. Beispiel¹¹: *Die Störche fressen die Fische auf. Es gibt dann keine Fische mehr. Und was passiert mit den Störchen? Die Störche verhungern, wenn sie keine Fische mehr zum Fressen haben.* Die anderen 6 Kinder stellen zwar korrekte Zusammenhänge her, benennen aber keine Rückwirkung.

Für das komplexere System beschreiben nur 3 Kinder spontan eine Rückwirkung auf die Frage, was passiert, wenn es in einem Jahr sehr viele Wanderheuschrecken gibt. Beispiel: *Dann gibt es keine Ernte mehr. Warum? Weil die Wanderheuschrecken alles auffressen. Dann kommen die Störche und die fressen die Wanderheuschrecken auf und dann würden die Störche sterben. Warum? Die Störche sterben dann. Die Störche sterben, wenn sie Gift schlucken würden.* Was passiert noch, wenn es so viele Wanderheuschrecken gibt?

¹¹ Zur Kenntlichmachung des Dialogs werden in diesem und den folgenden Beispielen die Aussagen der Kinder kursiv dargestellt, die der Interviewerin normal.

Dann haben die Menschen und die Tiere nichts mehr zum Essen. Die Menschen spritzen Gift, und davon sterben die Wanderheuschrecken.

Die Mehrheit der Kinder (9 Kinder) nennt zwar richtige Zusammenhänge, diese Zusammenhänge beziehen sich aber nicht auf einander und stellen somit keine Rückwirkung dar. Beispiel: *Dann ist das ganze Grüne weg. Und was passiert sonst noch? Dann kriegen die Tiere wie Pferde und Kühe kein Fressen mehr.*

Weitere 3 Kinder benennen irrelevante Zusammenhänge oder stellen die Zusammenhänge biologisch falsch dar: *Dann werden sehr viele Felder aufgeessen. Und dann? Dann haben die Störche keinen Lebensraum. Und was passiert sonst noch, wenn es so viele Heuschrecken gibt? Mehr weiß ich nicht.*

- Können die Kinder auf Nachfrage Rückwirkungen benennen?

Hier wurde jeweils ein Element als halbquantitative Aussage vorgegeben und die Kinder wurden gebeten, den Satz zu ergänzen. Bewertet wurde, ob die Kinder alle Elemente mit einander in Beziehung setzen und die Inhalte richtig darstellen können. Überführt man die Beziehungen in ein Wirkungsdiagramm, so lässt sich auswerten, ob die Kinder Rückwirkungen beschreiben.

Für das **einfache System**, bestehend aus Fischen und Störchen, konnten fast alle Kinder beide Wirkungen angeben. Die Kinder beziehen diese Wirkungen auch aufeinander, so dass sie eine Rückwirkung beschreiben.

Beispiel: Je mehr Fische es gibt, umso *mehr Fressen finden die Störche*. Je mehr Störche es gibt, umso *weniger Fische*. Wieso? *Weil die dann alle was fressen und dann werden es immer weniger.*

In einem Fall beziehen sich die Wirkungen nicht auf dieselben Elemente oder beschreiben keine sinnvollen Zusammenhänge.

Je mehr Fische es gibt, umso *mehr Störche gibt es*. Wieso? *Weil die haben dann viel zu essen*. Je mehr Störche es gibt, umso *mehr Fische*. Wieso? *Weil da ein Teich ist und da leben die Fische drin.*

Im **komplexen System** können 9 Kinder alle Elemente mit einander verbinden. Ein Kind verbindet nur Teile des Systems, drei weitere Kinder beziehen zwar alle Elemente aufeinander, stellen aber die Zusammenhänge biologisch nicht richtig dar.

Beispiel: Je mehr Wanderheuschrecken es gibt, umso *mehr Störche muss es geben*. Warum? *Weil sonst gehen die Heuschrecken gar nicht weg*. Je mehr Gift gespritzt wird, umso *weniger Heuschrecken gibt es*. Je mehr Ernteschäden durch Heuschrecken entstehen, umso *dann können die Störche nicht so viel fressen*. Wieso? *Weil es dann immer weniger Ernte gibt*. Und die Störche fressen die Ernte? *Ja*. Je weniger Störche es in Afrika gibt, umso *mehr kleine Tiere gibt es, also Wanderheuschrecken*. Wieso? *Weil wenn die Störche weniger sind, gibt es mehr kleine Tiere, weil die Störche die dann nicht auffressen können.*

Die beiden übrigen Kinder beschreiben unvollständige und biologisch falsche Zusammenhänge.

Rückwirkungen werden dabei von 13 Kindern beschrieben.

Ein Großteil der Rückwirkungen bezieht sich dabei auf die Wirkungen zwischen Störchen und Wanderheuschrecken.

Beispiel: Je mehr Wanderheuschrecken es gibt, umso *mehr Störche sind in Afrika*. Wieso? *Weil die dann die Heuschrecken fressen*. Je weniger Störche es in Afrika gibt, umso *mehr Heuschrecken gibt es*. Wieso? *Weil die Störche fressen ja die Heuschrecken*. Je mehr Gift gespritzt wird, umso *mehr sterben von den Heuschrecken*. Je mehr Ernteschäden durch Heuschrecken entstehen, umso *mehr Gift wird gestreut*. Wieso? *Weil die ja die Sachen kaputt machen, da werden die Menschen wütend und dann streuen sie Gift*.

Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Interviews

In dem sehr reduzierten System beschreiben zwei Drittel der Kinder spontan eine Rückwirkung, fast alle können die Zusammenhänge durch Nachfrage auf einander beziehen. Für das komplexere System reduziert sich die Anzahl der spontanen Nennungen von Rückwirkungen auf wenige Kinder, mit einer Hinführung zu einer halbquantitativen Betrachtungsweise beschreiben dann jedoch auch hier wieder zwei Drittel aller Kinder eine Rückwirkung und verbinden alle Elemente biologisch richtig mit einander. Das Erkennen von Rückwirkungen bezieht sich jedoch während des ganzen Interviews ausschließlich auf eine verbale Darstellung der Zusammenhänge, die die Interviewerin anschließend grafisch umgesetzt hat, um Rückwirkungen erkennen zu können. Die Kinder mussten die Rückwirkungen nicht selbst symbolisch darstellen.

5.4 Erwerb biologischen Wissens

Die Beschreibung des biologischen Wissens in den verschiedenen Testteilen dient zum einen der Beschreibung der „Fähigkeit zum Identifizieren relevanter Elemente und Beziehungen“ (vgl. Forschungsfrage 1). Zum anderen dient sie als Nachweis des Wissenszuwachses im Laufe der Unterrichtseinheit.

5.4.1 Biologisches Wissen in den Begriffslandkarten

Inhaltliche Veränderung des Wissens

Die Elemente, die die Kinder in ihren Begriffslandkarten nennen, wurden zum Zwecke einer inhaltlichen Analyse verschiedenen Inhaltsbereichen zugeordnet (vgl. 4.5.3.1). Diese Inhaltsbereiche beschreiben relevante Bereiche des Systems Storch. An der Verteilung der Antworten der Kinder auf die Kategorien lässt sich ablesen, ob die Kinder alle relevanten Bereiche in ihren Begriffslandkarten abdecken.

Für jeden Testteil wurde die Anzahl der Nennungen pro Kategorie und Kind erfasst. Der T-Test für abhängige Stichproben wurde eingesetzt, um zu prüfen, ob sich die Mittelwerte der Differenzen zwischen den einzelnen Testteilen signifikant unterscheiden. Die Ergebnisse dieser Analyse sind Tabelle 18 zu entnehmen:

Tabelle 18: Mittelwertvergleich für die Differenzen der Anzahl Propositionen; aufgeteilt nach inhaltlichen Kategorien

Kategorie	Messzeitpunkt	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
Nahrung	VT	1,49	1,54	T(253) = -4,2 ***
	ZT	2,07	1,99	
	ZT	2,02	2,01	T(203) = -5,9 ***
	PT	3,13	2,27	
Aussehen	VT	1,33	1,85	T(254) = 1,5 ns.
	ZT	1,13	1,63	
	ZT	1,29	1,73	T(202) = 0,1 ns.
	PT	1,27	2,20	
Fortpflanzung	VT	1,47	1,31	T(253) = 1,4 ns.
	ZT	1,32	1,47	
	ZT	1,02	1,40	T(202) = -2,4 *
	PT	1,34	1,53	
Verhalten	VT	0,58	0,87	T(253) = -1,0 ns.
	ZT	0,68	1,15	
	ZT	0,88	1,18	T(203) = 0,7 ns
	PT	0,80	1,19	
Nistplatz	VT	0,28	0,55	T(253) = -2,1 *
	ZT	0,39	0,70	
	ZT	0,34	0,67	T(203) = -5,7 ***
	PT	0,90	1,23	
Zug	VT	0,36	0,56	T(253) = -8,2 ***
	ZT	0,94	1,03	
	ZT	0,97	1,02	T(203) = -6,3 ***
	PT	1,72	1,56	
Lebensraum	VT	0,20	0,62	T(253) = -4,4 ***
	ZT	0,46	0,85	
	ZT	0,44	0,81	T(203) = -9,9 ***
	PT	1,74	1,66	
Gefährdung	VT	0,09	0,29	T(253) = -5,1 ***
	ZT	0,37	0,83	
	ZT	0,29	0,81	T(203) = -7,4 ***
	PT	1,04	1,27	

* p< ,05; *** p< ,001

Höchst signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten ergeben sich für die Kategorien Nahrung, Nistplatz, Zug, Lebensraum und Gefährdung. Für die Kategorie Fortpflanzung findet sich nur zwischen ZT und PT ein signifikanter Unterschied. In allen

signifikanten Fällen ist eine Steigerung vom Vortest über den Zwischentest bis zum Posttest zu erkennen. Keine signifikanten Unterschiede lassen sich in den Mittelwerten für die Kategorien Aussehen und Verhalten feststellen.

Die Steigerung der Nennung von Propositionen (den kleinsten Bedeutungseinheiten einer Begriffslandkarte) findet vor allem in Kategorien statt, die im Vortest wenig Berücksichtigung fanden.

Im Vortest benennen die Kinder vorwiegend Elemente aus den Kategorien Nahrung, Aussehen und Fortpflanzung. Dahinter verbirgt sich – wie eine inhaltliche Betrachtung der Begriffslandkarten zeigt - vorwiegend allgemein bekanntes biologisches Vorwissen zum Storch oder zu Vögeln. In der Kategorie Nahrung werden die „klassischen“ Frösche häufig erwähnt, in der Kategorie „Aussehen“ finden sich im wesentlichen Beschreibungen der auffälligen äußerlichen Charakteristika des Storches wie „roter Schnabel“, „spitzer Schnabel“, „rote Beine“ etc.. Auch in der Kategorie Fortpflanzung wird auf „klassisches“ Vorwissen zu Vögeln zurückgegriffen: „legt Eier“, „brütet Eier aus“, „aus den Eiern schlüpfen Junge“. Die Kategorie Verhalten enthält im Vortest ebenfalls vor allem allgemeine Beschreibungen wie „baut ein Nest“, „sucht Futter“. Die Kategorien Nistplatz, Zug, Lebensraum und Gefährdung sind im Vortest wesentlich weniger repräsentiert als die genannten Kategorien. Zur Nennung von Propositionen, die diesen Bereichen zugeordnet werden können, bedarf es bereits spezielleren Wissens.

Nach der Unterrichtseinheit zum Thema Weißstorch zeigen die Kinder auch eine deutliche Steigerung an Propositionen in den Kategorien, die spezielleres Wissen benötigen. Im Zwischentest lässt sich in den Kategorien Zug, Lebensraum und Gefährdung eine deutliche Steigerung der Nennungen ablesen. Die Steigerung in diesen Bereichen deckt sich mit den im Unterricht vermittelten Inhalten, wobei sich die Experimente zu den Aufgaben der Federn offensichtlich nicht in der Kategorie Aussehen niederschlagen.

In den Begriffslandkarten im Posttest erkennt man deutliche Steigerungen in den Bereichen Nahrung, Nistplatz, Zug, Lebensraum und Gefährdung. Die Zunahme an Propositionen in diesen Bereichen deckt sich mit den Inhalten des Computerspiels, das die Kinder einige Tage bis Wochen vor diesem Testteil als zweiten Teil der Intervention spielten. Im Computerspiel werden die einzelnen Phasen im Leben eines Storches durchgespielt, zu den Phasen zählt die Suche nach einem geeigneten Lebensraum und einem Nistplatz, die Suche nach geeignetem Futter, den Zug nach Afrika in Verbindung mit den Gefährdungen auf diesem Zug sowie die Suche nach einem geeigneten Lebensraum und Nahrung im Überwinterungsgebiet.

Betrachtet man nun im Hinblick auf die Forschungsfrage 1 die Ergebnisse daraufhin, aus wie vielen relevanten Bereichen die Kinder Elemente in ihre Begriffslandkarten einfügen, so ergibt sich für die verschiedenen Testteile die in Tabelle 19 dargestellte Häufigkeitsverteilung. Tabelle 19 stellt dar, welcher Prozentanteil Kinder wie viele Kategorien in ihren jeweiligen Begriffslandkarten abdeckt. Es wurden 8 Kategorien (Nahrung, Aussehen, Fortpflanzung, Verhalten, Nistplatz, Zug, Lebensraum, Gefährdung) vorgegeben. Aus der Verteilung der Häufigkeiten kann man erkennen, dass von Testteil zu Testteil mehr Kategorien berücksichtigt werden. Alle vorgegebenen Kategorien werden

allerdings nur von einem kleinen Teil der Kinder abgedeckt, dieser Anteil ist im Posttest jedoch auch höher als in den anderen Testteilen.

Tabelle 19: Häufigkeitsverteilung der Kinder auf die Anzahl berücksichtigter Kategorien
Angaben in Prozent der jeweiligen Gruppe

	Anzahl berücksichtigter Kategorien							
	1	2	3	4	5	6	7	8
VT System Storch	13,9	17,7	27,2	24,1	10,5	4,8	0,3	0,3
ZT System Storch	6,1	21,4	25,2	29,1	12,0	4,9	1,3	0
PT System Storch	0,5	8,1	16,3	24,0	22,2	14,9	10,4	3,6

Ein Vergleich der mittleren Anzahl Kategorien, die in den einzelnen Testteilen benannt werden, ergibt höchst signifikante Unterschiede zwischen den Testteilen, die jeweils auf eine Steigerung der Anzahl berücksichtigter Kategorien zurückzuführen sind.

Tabelle 20: Vergleich der Anzahl berücksichtigter Kategorien in den verschiedenen Testteilen

Variable	Messzeitpunkt	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
System Schule	VT	3,09	1,42	T(254) = -3,83 ***
System Storch	ZT	3,48	1,35	
System Storch	ZT	3,47	1,38	T(203) = -8,98 ***
System Storch	PT	4,72	1,58	

*** $p < ,001$

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Kinder eine Zunahme ihres inhaltlichen Wissens vor allem in den Bereichen zeigen, die ein spezielles biologisches Wissen zum Weißstorch voraussetzen. Die Zunahme in den genannten Inhaltsbereichen lässt sich auf die jeweiligen Interventionen zurückführen. Die Verteilung der Anzahl der Propositionen auf die Kategorien (s. Tabelle 18) zeigt, dass die meisten Propositionen den Kategorien Nahrung, Aussehen, Lebensraum und Fortpflanzung zuzuordnen sind. Im Posttest werden aber auch die Kategorien Verhalten, Nistplatz, Zug und Gefährdung häufiger abgedeckt. In den Begriffslandkarten werden im Nachtest im Durchschnitt knapp 5 relevante Kategorien berücksichtigt (s. Tabelle 20).

5.4.2 Biologisches Wissen im Computerspiel

In das Computerspiel „Ciconias abenteuerliche Reise“ sind zwischen den einzelnen Spielbereichen Aufgaben zur Festigung des erarbeiteten Wissens eingebaut. Ihre Analyse kann ebenfalls zur Feststellung des biologischen Wissens der Kinder herangezogen werden.

In der Tabelle 21 sind die Aufgabenabschnitte und die jeweils durch die Inhalte des Computerspiels vorgegebenen maximal erreichbaren Punkte pro Aufgabe sowie die durchschnittlich erreichten Punkte pro Aufgabe aufgelistet.

Spielabschnitt	maximal erreichbare Punktzahl	durchschnittlich erreichte Punktzahl
Lebensraum in Deutschland	4	2,8
Nahrung in Deutschland	9	4,8
Nistplatz	4	2,6
Heranwachsen der Storchenkinder	6	2,0
Zug: Länge der Strecke	1	0,8
Zug: Dauer	1	0,8
Zug: Gefährdungen	4	1,8
Flugtechnik	1	0,9
Lebensraum in Afrika	3	1,9
Nahrung in Afrika	3	2,0

Tabelle 21: Vergleich der erreichten mit den max. erreichbaren Punkten in den Abschnitten des Computerspiels

Bis auf einen Spielabschnitt erreichten die Kinder in den verschiedenen Bereichen mindestens die Hälfte der maximal erreichbaren Punktzahl, in vielen Fällen liegt der Durchschnitt darüber. Diese Ergebnisse sind vor dem Hintergrund des Spielgeschehens als zufriedenstellend einzuordnen, denn die Kinder mussten während des Spiels nicht zwangsläufig alle potentiellen Informationsquellen durchlaufen und erhielten somit in aller Regel nicht alle Informationen. Des Weiteren waren die Kinder in einer Spielsituation und daher wahrscheinlich nicht auf eine maximale Wissenswiedergabe wie in einer eindeutigen Testsituation eingestellt.

Die Aufgabe zur Nennung der für das Heranwachsen der Storchenkinder wichtigen Bedingungen fällt durch eine geringe durchschnittlich erreichte Punktzahl auf. Der dieser Aufgabe zu Grunde liegende Spielabschnitt unterschied sich in seiner Gestaltung von den anderen Spielszenen. In dieser Szene wurde den Kindern ein kleiner Film zur Paarung der Störche und Aufzucht ihrer Jungen mit den entsprechenden Erläuterungen ohne Unterbrechung gezeigt. Im Anschluss daran sollten die wichtigsten Bedingungen für das Heranwachsen der Jungvögel aufgezählt werden. In allen anderen Szenen erarbeiteten sich die Kinder die Informationen Stück für Stück im jeweiligen Kontext. Offensichtlich fiel den Kindern das Herausfiltern von Informationen aus dem Film deutlich schwerer als das selbständige Erarbeiten der Zusammenhänge in den anderen Szenen.

5.5 Einflüsse auf die Entwicklung von Systemkompetenz

Aufteilung der Systemkompetenz in zwei Bereiche

Die Vielzahl der Komponenten der Systemkompetenz wird in dieser Arbeit in zwei Bereiche aufgeteilt, die theoretisch begründet sind. In der Systemtheorie wird zwischen der Organisation eines Systems aus seinen Bestandteilen und den Eigenschaften eines Systems unterschieden. Diese theoretische Aufteilung wurde zur Strukturierung der Komponenten der Systemkompetenz beibehalten. In diesen beiden theoretisch abgeleiteten Bereichen werden die Leistungen der Schüler zusammengefasst, um den Einfluss unabhängiger Faktoren auf die Systemkompetenz bestimmen zu können. Dass die beiden Bereiche tatsächlich auch zwei Fähigkeitsbereiche der Kinder widerspiegeln, zeigt eine konfirmatorische Faktorenanalyse. Dazu wurden die in allen Testteilen erfassten Fähigkeiten einer konfirmatorischen Faktorenanalyse mit 2 Faktoren unterzogen. Tabelle 22 zeigt die Faktorladung der Fähigkeiten in den beiden Bereichen und die Varianzaufklärung dieser beiden Faktoren.

Tabelle 22: Rotierte konfirmatorische Komponentenmatrix für die Systemkompetenz; Komponente 1: Systemorganisation, Komponente 2: Systemeigenschaften

	Komponente	
	1	2
Komplexität VT Schule	.785	-.135
Komplexität PT Storch	.663	.122
Komplexität ZT Storch	.472	-.563
Komplexität VT Storch	.551	.416
Gesamtpunktzahl Eigenschaften VT System Schule	.039	.462
Gesamtpunktzahl Eigenschaften NT System Storch	.100	.657
Prozent der Varianzaufklärung	26.6	19.5

Die beiden Bereiche grenzen sich inhaltlich von einander ab. In der ersten Komponente finden sich alle Fähigkeiten, die dem Bereich Systemorganisation zuzuordnen sind, diese Fähigkeiten können auch unter dem Begriff „Modellbildung“ zusammengefasst werden. In der zweiten Komponente finden sich die Fähigkeiten, die dem Bereich Systemeigenschaften angehören. Nur die Beschreibung der Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation im VT Storch (Komplexität VT Storch) lädt auf beiden Faktoren. Hier zeigt sich, dass diese Fähigkeiten offensichtlich eine Zwischenstellung einnehmen, da hier noch die Wissensgrundlage für eine Modellbildung fehlt. Dennoch lassen sich die beiden theoretisch begründeten Bereiche der Systemkompetenz auch empirisch von einander trennen.

5.5.1 Interne Einflussfaktoren

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse in Bezug auf die zweite Forschungsfrage nach so genannten internen Einflussfaktoren, das heißt Faktoren, die in der Person des Schülers begründet sind, dargestellt werden. Wie in Kapitel 3 beschrieben, wird zwischen

motivationalen Einflüssen (Hypothesen 1 und 2) und kognitiven Einflüssen (Hypothesen 3, 4 und 5) unterschieden. Das methodische Vorgehen bei der Analyse der Einflüsse (s. 4.5.4.1) legt eine Darstellung der Ergebnisse in Bezug auf die verschiedenen abhängigen Variablen nahe. Die Bedeutung der Ergebnisse in Bezug auf die Hypothesen wird im Anschluss beschrieben.

5.5.1.1 Einflüsse auf die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation

Die Fähigkeit zur Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation wird über die abhängigen Variablen Umfang (Summe der Elemente und Beziehungen in den Begriffslandkarten) und Vernetzung ($2 \times$ Beziehungen pro Element) bestimmt.

Die folgenden Tests sind in chronologischer Reihenfolge aufgeführt, d. h. es werden die Ergebnisse in Bezug auf Zwischentest und Nachtest nacheinander dargestellt.

Wie in Kapitel 4.5.4.1 erwähnt, werden bei einer schrittweisen Regressionsanalyse die gemeinsame Varianz zwischen den unabhängigen Variablen herausgerechnet. Zur Klärung der Zusammenhänge wird daher im folgenden in zwei Schritten vorgegangen. Im ersten Schritt werden die unabhängigen Variablen inklusive der Variablen für das systemische Vorwissen in ihrer Vorhersagekraft für die Systemkompetenz geprüft. Im zweiten Schritt wird das bereichsspezifische systemische Vorwissen aus der Analyse herausgelassen, da dadurch die gemeinsamen Varianzen sichtbar werden.

Einflüsse auf den Umfang des dargestellten Wissens zum System Storch, VT

Für den Vortest können die Variablen des bereichsspezifischen systemischen Vorwissens nicht mit einbezogen werden, da sie dann (zumindest in Teilen) gleichzeitig unabhängige und abhängige Variablen wären.

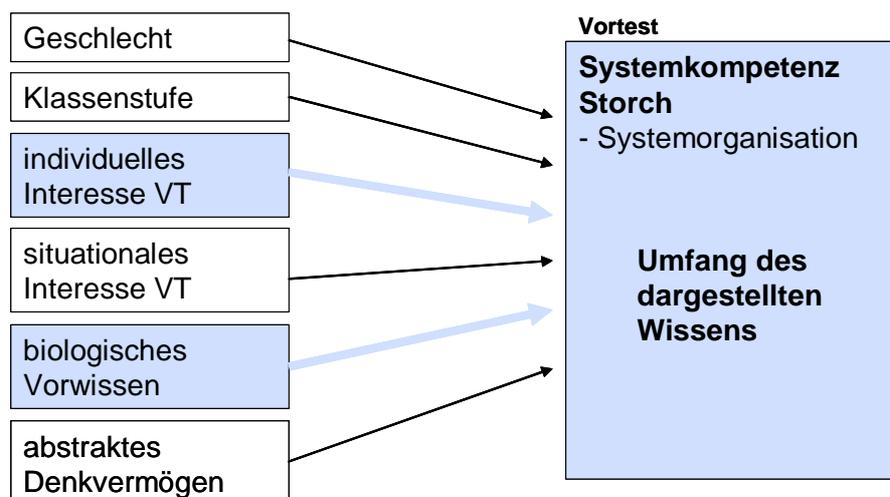


Abbildung 81: Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des dargestellten Wissens, VT; Analyse ohne bereichsspezifisches systemisches Vorwissen als unabhängige Variable

Die unabhängigen Variablen „biologisches Wissen“ und „individuelles Interesse“ im Vortest sind signifikante Prädiktoren für den Umfang des dargestellten Wissens der Kinder im Bereich Systemkompetenz Storch, Systemorganisation (s. Abbildung 80).

Tabelle 23 zeigt die dazugehörigen statistischen Kennwerte.

Tabelle 23: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des in den Begriffslandkarten dargestellten Wissens, VT; Analyse ohne bereichsspezifisches systemisches Vorwissen als unabhängige Variable

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
biologisches Wissen	1,086	,434	,196	2,50 *
individuelles Interesse	1,345	,584	,180	2,30 *
R ² = ,062; F(2,156) = 5,122; p < ,01				

Obwohl mit $R^2 = 0,062$ nur ein kleiner Anteil der Variation der abhängigen Variable erklärt wird, sind die Einflüsse der Faktoren als signifikant zu bezeichnen. Am Beta-Wert erkennt man, dass der Faktor „biologisches Vorwissen“ einen etwas größeren Einfluss auf den Umfang des im Vortest gezeichneten Modells vom System Storch hat.

Im Faktor „individuelles Interesse“ zeigt sich das grundsätzliche Interesse am Fach Sachunterricht, das sich als Motivationsfaktor für das Erstellen einer Begriffslandkarte zum Thema Storch ausgewirkt haben könnte.

Eine Prüfung auf Multikollinearität ergibt keine Hinweise auf das Vorliegen einer größeren Korrelation zwischen den erklärenden Variablen (Toleranz der Kollinearitätsstatistik für beide Variablen >,99).

Einflüsse auf die Fähigkeit zur Vernetzung im System Storch, Vortest

Im Bereich Systemorganisation wird des weiteren die Beeinflussung der abhängigen Variable „Vernetzung“ geprüft.

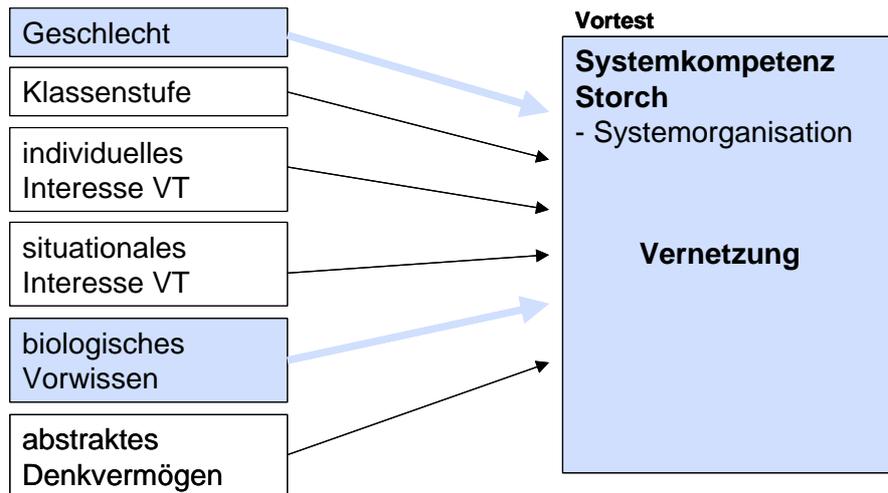


Abbildung 82: Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Vernetzung, VT; Analyse ohne bereichsspezifisches systemisches Vorwissen als unabhängige Variable

Wie aus Abbildung 81 ersichtlich, haben auf die Fähigkeit zur Vernetzung im System Storch (VT) zwei unabhängige Variablen einen signifikanten Vorhersagewert: das Geschlecht und das biologische Vorwissen.

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
Geschlecht	-,357	,096	-,242	-3,72 ***
biologisches Vorwissen	,149	,051	,192	2,94 **

$R^2 = ,10$; $F(2,213) = 11,31$; $p < ,001$

Tabelle 24: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Vernetzung, VT; Analyse ohne bereichsspezifisches systemisches Vorwissen als unabhängige Variable

Anhand der Beta-Werte in Tabelle 24 lässt sich ablesen, dass das Geschlecht den höchsten Einfluss hat. Unter Beachtung der Kodierung (Mädchen =1, Jungen = 2) erkennt man die Bedeutung der negativen Werte für Beta: die Mädchen sind in diesem Fall den Jungen in ihren Fähigkeiten zur Vernetzung ihres Wissens zum System Storch überlegen.

Das biologische Vorwissen zu Vögeln im allgemeinen und zum Storch im speziellen stellt sich hier als zweit wichtigster Einflussfaktor heraus. Es ist naheliegend, dass dieses biologische Vorwissen eine notwendige Bedingung für das Vernetzen der Elemente im System Storch ist.

Ein Toleranzwert von $> ,95$ für alle abhängigen Prädiktoren lässt keinen Hinweis auf Vorliegen von Kollinearität erkennen.

Einflüsse auf den Umfang des dargestellten Wissens im System Storch, Zwischentest

Für die Untersuchung der Einflussfaktoren auf die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation im Zwischentest wird statt des im Vortest erhobenen individuellen und situationalen Interesses das im Zwischentest erhobene individuelle und situationale Interesse als unabhängige Variable eingesetzt. In dieser Analyse macht auch die Aufnahme des bereichsspezifischen systemischen Vorwissens Sinn, es wird hier über die Variable „Komplexität“ vertreten (zur Definition der Komplexität s. 4.5.1.1).

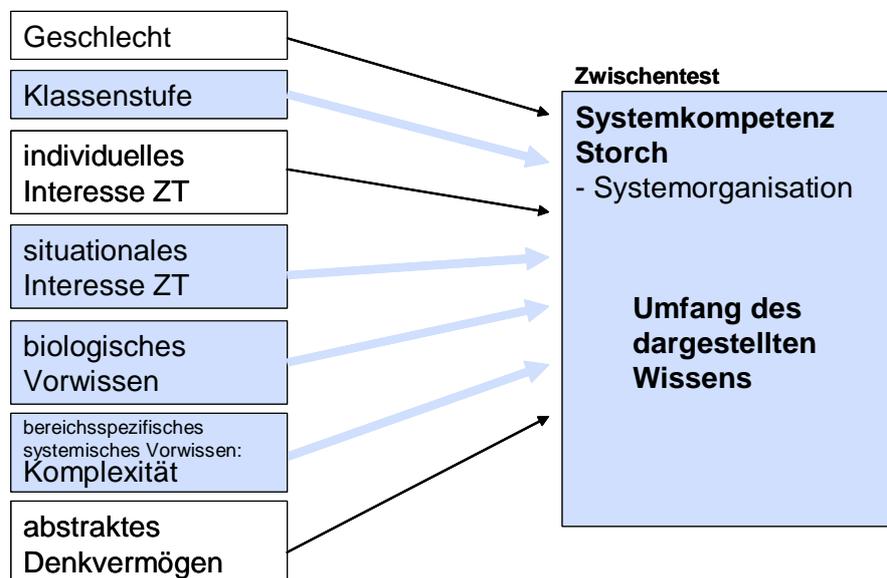


Abbildung 83: Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des in den Begriffslandkarten dargestellten Wissens, ZT; Analyse mit bereichsspezifischem systemischem Vorwissen als unabhängige Variable

Vier Faktoren haben einen signifikanten Einfluss auf die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation, gemessen am Umfang des dargestellten Wissens: die Klassenstufe, das bereichsspezifische systemische Vorwissen (Komplexität), das situationale Interesse und das biologische Vorwissen.

Tabelle 25: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des in den Begriffslandkarten dargestellten Wissens, ZT; Analyse mit bereichsspezifischem systemischem Vorwissen als unabhängige Variable

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
Klassenstufe	2,150	,803	,225	2,68 **
bereichsspezifisches systemisches Vorwissen: Komplexität	,066	,025	,222	2,68 **
situationales Interesse	2,152	0,762	,231	2,82 **
biologisches Vorwissen	,934	,439	,176	2,126 *
R ² = ,232; F(4,120) = 9,06; p < ,001				

Über den signifikanten Einfluss der „Klassenstufe“ als einflussreichstem Prädiktor kommt der positive Effekt des Alters zum Tragen. Kinder einer höheren Klassenstufe zeigen somit höhere Werte beim Umfang des dargestellten Wissens zum System Storchs im Zwischentest. Auch das bereichsspezifische systemische Vorwissen wirkt sich positiv auf den erreichten Umfang im System Storch aus. Der Einfluss dieser Variable weist auf einen bereichsspezifischen Einfluss von Vorwissen auf die Systemkompetenz hin. Das situationale Interesse, das die Kinder im Rückblick auf die vergangene Unterrichtseinheit beschreiben, wirkt sich ebenfalls positiv aus. Je anregender und interessanter die Kinder den Unterricht fanden, umso höher ihre Systemkompetenz. Das biologische Vorwissen hat im Zwischentest noch einen signifikanten Einfluss, obwohl die Unterrichtseinheit zwischen diesen beiden Testteilen lag.

Ein Herausnehmen des bereichsspezifischen Vorwissens aus den unabhängigen Variablen deckt keine weitere Varianz auf.

Einflüsse auf die Fähigkeit zur Vernetzung im System Storch, Zwischentest

Betrachtet man als abhängige Variable die Vernetzung im System Storch zeigen sich, wie in Abbildung 83 ersichtlich, zwei signifikante Prädiktoren.

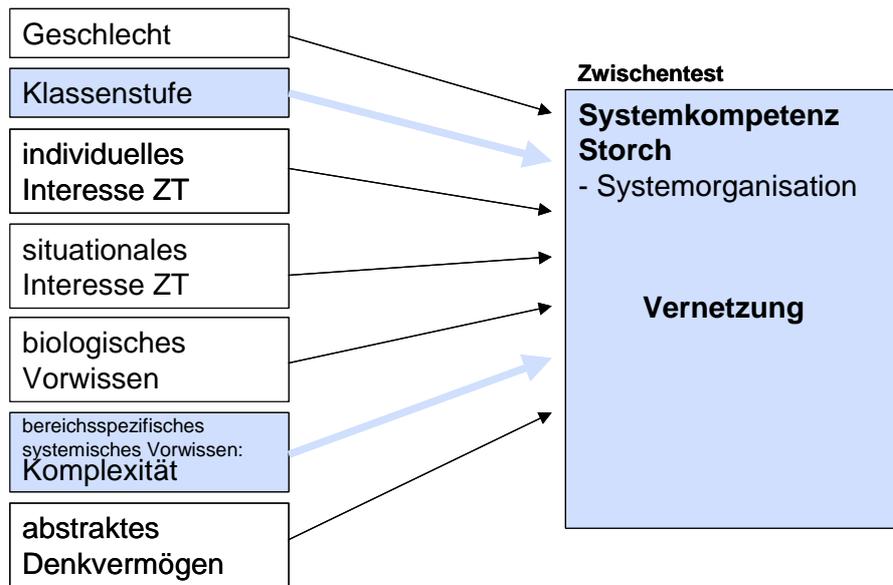


Abbildung 84: Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Vernetzung ; ZT. Analyse mit bereichsspezifischem systemischem Vorwissen als unabhängige Variable

Die Faktoren „bereichsspezifisches systemisches Vorwissen: Komplexität“ und „Klassenstufe“ sind signifikante Prädiktoren für die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Sie klären mit R^2 einen Anteil von 12% der Varianz (vgl. Tabelle 26).

Tabelle 26: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Vernetzung, ZT; Analyse mit bereichsspezifischem systemischem Vorwissen als unabhängige Variable

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
bereichsspezifisches systemisches Vorwissen: Komplexität	,009	,003	,262	3,00 **
Klassenstufe	,187	,093	,175	2,01 *
$R^2 = ,12$; $F(2,122) = 8,450$; $p < ,001$				

Die Variable biologisches Vorwissen, die für die Vernetzung im System Storch, Vortest, ein signifikanter Prädiktor war, entfällt wahrscheinlich aufgrund des vorangegangenen Unterrichts zum Weißstorch. Offensichtlich kann der Unterricht die Unterschiede im Vorwissen ausgleichen. Das biologische Vorwissen tritt auch bei einer Analyse der Prädiktoren ohne das systemische Vorwissen (sog. zweiter Schritt) nicht als signifikanter Prädiktor auf. Das Herausnehmen des bereichsspezifischen systemischen Vorwissens deckt keine neuen Zusammenhänge auf.

Einflüsse auf den Umfang des dargestellten Wissens im System Storch, Posttest

Der Posttest erfolgte mit mindestens zwei Wochen Abstand zum Computerspiel „Ciconias abenteuerliche Reise“, das den zweiten Teil der Intervention darstellte.

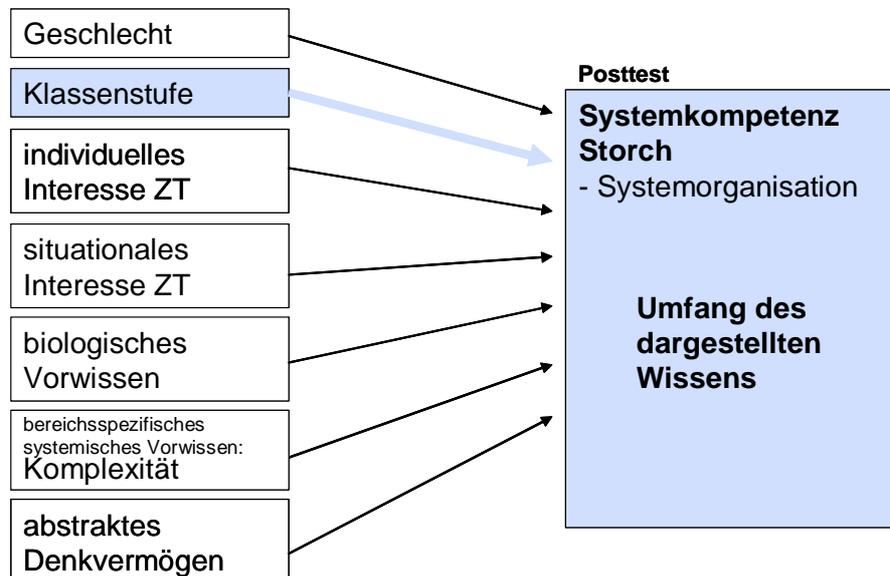


Abbildung 85: Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des in der Begriffslandkarte dargestellten Wissens im PT; Analyse mit bereichsspezifischem systemischem Vorwissen als unabhängige Variable

Abbildung 84 zeigt die signifikanten Einflussfaktoren auf den Umfang des Modells vom System Weißstorch im Anschluss an das Computerspiel.

Tabelle 27: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des in der Begriffslandkarte dargestellten Wissens im PT; Analyse mit bereichsspezifischem systemischem Vorwissen als unabhängige Variable

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
Klassenstufe	8,750	2,163	,433	4,046 ***
R ² = ,19; F(1,71) = 16,372; p < ,001				

Für den Umfang des dargestellten Wissens zum System Storch im Posttest ist nur noch die Klassenstufe ein signifikanter Prädiktor (s. Tabelle 27). Offensichtlich spielen der Altersunterschied und eventuell auch das höhere Leistungsniveau von Viertklässlern eine wichtige Rolle.

Das Herausnehmen der Variablen „bereichsspezifisches systemische Vorwissen“ aus der Regressionsanalyse im zweiten Schritt erbringt neben der Klassenstufe keine neuen signifikanten Prädiktoren mehr.

Einflüsse auf die Fähigkeit zur Vernetzung im System Storch, Posttest

Keine der getesteten Variablen stellt einen signifikanten Prädiktor für den Grad der Vernetzung des Wissens im System Storch, Posttest dar.

Die als unabhängige Variablen erhobenen Vortest-Bedingungen spielen offensichtlich im Posttest keine Rolle mehr.

5.5.1.2 Einflüsse auf die Fähigkeiten im Bereich Systemeigenschaften

Die Fähigkeiten im Bereich Systemeigenschaften wurden nur über Fragen im Posttest erhoben, so dass ein Vergleich über verschiedene Testteile an dieser Stelle entfällt. Die Zusammensetzung der Variablen „Systemeigenschaften“ wurde unter Abschnitt 5.5 erläutert.

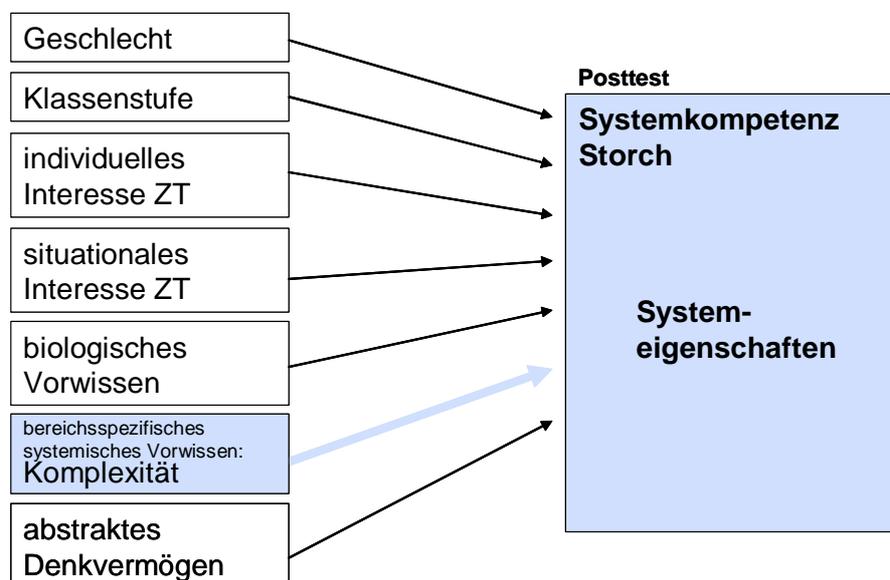


Abbildung 86: Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften.
Abhängige Variable: Eigenschaften, NT; Analyse mit bereichsspezifischem systemischem Vorwissen als unabhängige Variable

Die abhängige Variable „Systemeigenschaften“ wird vom bereichsspezifischen systemischen Vorwissen signifikant beeinflusst (vgl. Abbildung 85 und Tabelle 28).

Tabelle 28: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften. Abhängige Variable: Eigenschaften System Storch, PT; Analyse mit bereichsspezifischem systemischem Vorwissen als unabhängige Variable

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
bereichsspezifisches systemisches Vorwissen: Komplexität	,045	,012	,304	3,72 ***
R ² = ,09; F(1,136) = 13,827; p < ,001				

Lässt man in einem zweiten Schritt das bereichsspezifische systemische Vorwissen aus der Analyse heraus, so zeigt sich ein Einfluss von zwei weiteren signifikanten Prädiktoren: des biologischen Vorwissens und der Klassenstufe (s. Tabelle 29).

Tabelle 29: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften. Abhängige Variable: Eigenschaften System Storch, PT; Analyse ohne bereichsspezifisches systemisches Vorwissen als unabhängige Variable

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
biologisches Vorwissen	,665	,154	,278	4,31 ***
Klassenstufe	,794	,317	,161	2,50 *
R ² = ,12; F(2,217) = 14,244; p < ,001				

5.5.2 Einflüsse auf das biologische Wissen

Wie in Abschnitt 5.5.1 beschrieben, wird hier der Einfluss der unabhängigen Faktoren auf das im Laufe der Unterrichtseinheit und dem Computerspiel erworbene Wissen zum Weißstorch beschrieben.

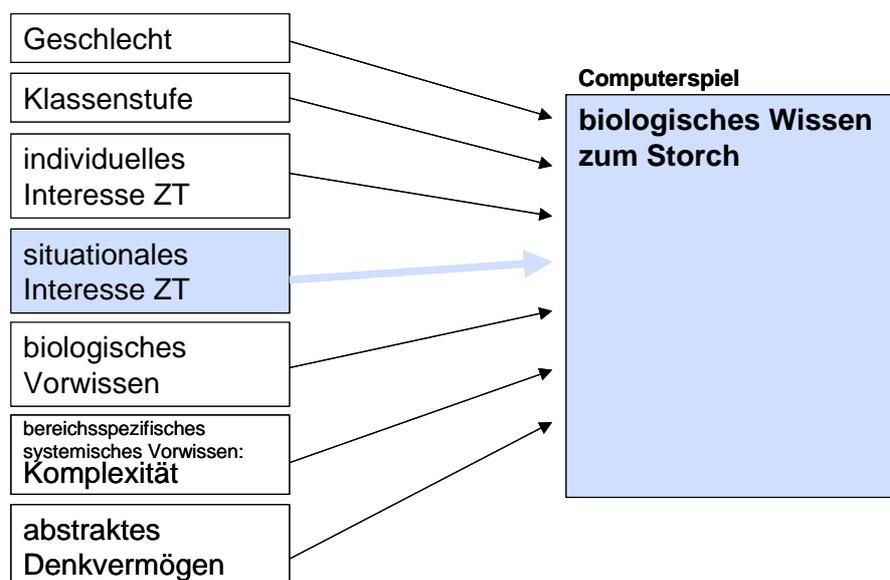


Abbildung 87: Einflussfaktoren auf die abhängige Variable biologisches Wissen im Computerspiel

Das situationale Interesse im Zwischentest stellt einen signifikanten Prädiktor für das biologische Wissen im Computerspiel dar.

Tabelle 30: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die abhängige Variable biologisches Wissen, Computerspiel; Analyse mit systemischem Vorwissen als unabhängige Variable

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
situationales Interesse ZT	,61	,27	,21	2,24*
R ² = ,04; F(1,113) = 5,02; p < ,05				

Wie aus Tabelle 30 ersichtlich, erklärt der signifikante Prädiktor situationales Interesse mit einem R² von ,04 nur einen kleinen Teil der Gesamtvarianz.

Lässt man in einem zweiten Untersuchungsschritt das systemische Vorwissen aus der Analyse heraus, so zeigt sich statt des situationalen Interesses die Klassenstufe als signifikanter Prädiktor für das biologische Wissen (s. Tabelle 31).

Tabelle 31: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die abhängige Variable biologisches Wissen, Computerspiel; Analyse ohne systemisches Vorwissen als unabhängige Variable

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
Klasse	,56	,25	,18	2,26 *
R ² = ,03; F(1,145) = 5,12; p < ,05				

5.5.2.1 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf die Hypothesen zur Forschungsfrage 2

Motivationale Faktoren

- Individuelles Interesse: Das individuelle Interesse wird in dieser Untersuchung als das andauernde Interesse am Fach Sachunterricht erhoben.
Die Analysen ergeben, dass das individuelle Interesse nur auf die abhängige Variable „Umfang des dargestellten Wissens“ im Vortest einen signifikanten Einfluss hat. In späteren Testteilen und in Bezug auf die Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften hat es keinen Vorhersagewert mehr. Der Einfluss dieser Variablen wird möglicherweise in den späteren Testteilen durch andere Faktoren überdeckt.
- Situationales Interesse: In wie weit ein Schüler am Thema „Weißstorch“ interessiert war, wirkte sich im Hinblick auf Systemkompetenz als signifikanter Prädiktor nur auf den Umfang des dargestellten Wissens zum System Storch im Zwischentest aus. In diesem Testabschnitt beurteilten die Kinder im Rückblick ihr Interesse an der vergangenen

Unterrichtseinheit.

Weder im Vortest noch im Posttest trat das situationale Interesse als signifikanter Prädiktor in Erscheinung.

Auf das biologische Wissen, das im Computerspiel getestet wird, hat das situationale Interesse einen signifikanten Einfluss.

Kognitive Faktoren

- Biologisches Vorwissen: Das biologische Vorwissen stellte im Vortest für beide abhängigen Variablen zur Systemorganisation einen signifikanten Prädiktor dar. Im Zwischentest war nur noch ein Einfluss auf den Umfang des dargestellten Wissens nachzuweisen, für die Vernetzung des Wissens spielte es zu diesem Zeitpunkt keine Rolle mehr. Im Posttest hat es weder auf den Umfang noch auf die Vernetzung einen Einfluss. Auf die Fähigkeiten im Bereich Systemeigenschaften hat das biologische Vorwissen dennoch einen signifikanten Einfluss.
- Einfluss des bereichsspezifischen systemischen Vorwissens: Das bereichsspezifische systemische Vorwissen in Form der Komplexität der Modellbildung erweist sich für beide abhängige Variablen im Zwischentest als ein signifikanter Prädiktor. Im Posttest hat es auf die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation keinen Einfluss mehr. Das bereichsspezifische systemische Vorwissen hat ebenfalls einen Einfluss auf die Fähigkeiten im Bereich Systemeigenschaften.
- Einfluss des abstrakten Denkvermögens: In keinem Testteil stellt die hier getestete Fähigkeit zum abstrakten Denken einen signifikanten Prädiktor dar.

Soziale Faktoren

- Einfluss der Klassenstufe: Die Klassenstufe hat auf den Umfang der Darstellungen im System Storch im Zwischentest und Posttest, sowie auf die Fähigkeiten im Bereich Systemeigenschaften einen signifikanten Einfluss. Auch auf das biologische Wissen wirkt sich der Einfluss der Klassenstufe signifikant aus. Kinder der dritten Klassenstufe sind den Kindern der vierten Klassenstufe offensichtlich bei diesen Aufgaben unterlegen.
- Geschlecht: Das Geschlecht hat nur für die Vernetzung des Wissens im System Storch, VT einen signifikanten Vorhersagewert. Im weiteren Verlauf der Untersuchung entfällt dieser Einfluss.

5.5.3 Einfluss externer Faktoren

Im Bereich „externe Lernsteuerung“ (s. Abbildung 12) wurde der Einfluss der Lehrkraft, verschiedener Aspekte der Organisation des Unterrichts und der Behandlung der Leitideen des Projektes durch die Lehrkraft erhoben. Diese externen Faktoren werden gemäß dem Lernmodell von Wild, Hofer, & Pekrun (2001) von den internen Voraussetzungen des

Schülers abgegrenzt. Ihr Einfluss auf die abhängigen Variablen wird demnach getrennt betrachtet.

Als abhängige Variablen dienen

- für den Systemkompetenzbereich „Systemorganisation“ die Komplexität der Begriffslandkarten zum System Storch im Zwischen- und Posttest,
- für den Systemkompetenzbereich „Eigenschaften eines Systems“ die Gesamtpunktzahl über die Aufgaben zu Eigenschaften des Systems Storch,
- für das biologische Wissen die Gesamtpunktzahl aus den Fragen im Computerspiel.

Einfluss der Lehrkraft

Für die zusammengefassten Kennwerte ergeben sich zwischen den einzelnen Klassen Unterschiede: Im Komplexitätsindex, dem Maß für die Fähigkeit zur Systemorganisation, erreichen die Schüler im Zwischentest durchschnittlich 45,8 Punkte mit einer Standardabweichung von 16,9 Punkten, im Posttest sind es im Durchschnitt 61,2 Punkte mit einer Standardabweichung von 15,8 Punkten.

Auf der Skala für die Gesamtpunktzahl über alle Fragen zu Systemeigenschaften erreichen die Schüler im Mittel 4,2 Punkte mit einer Standardabweichung von 2,4 Punkten. Im Bereich biologisches Wissen ergibt sich ein Durchschnitt von 3,2 Punkten mit einer Standardabweichung von 1,5 Punkten. Die Standardabweichungen bilden die natürlichen Schwankungen zwischen den einzelnen Klassen ab. Welcher Anteil dieser Schwankungen durch die Lehrkraft verursacht wird und welcher Teil andere Ursachen hat, kann in dieser Arbeit nicht untersucht werden. Sicherlich haben die jeweiligen Lehrkräfte einen bedeutenden Einfluss auf den Unterricht und somit auch auf die Lernergebnisse ihrer Schüler. Auf die in den Kapiteln 5.2 und 5.3 beschriebenen Vergleiche zwischen verschiedenen Testteilen haben die Schwankungen zwischen den einzelnen Klassen jedoch keinen Einfluss, da jeweils nur Differenzen der Leistungen zwischen den Testabschnitten betrachtet werden. Sie können sich aber auf die Untersuchung der Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz (Kapitel 5.5.1) auswirken. Trotzdem wurden die Klassenunterschiede nicht als unabhängiger Faktor mit in die Analyse einbezogen. Sie würden einige Effekte überdecken und den gemeinsamen Varianzanteil mit anderen Variablen herausrechnen.

Neben diesen generellen Unterschieden zwischen den Klassen wurde im Lehrerfragebogen das persönliche Interesse der Lehrkraft am Unterrichtsthema erhoben. Wie in Tabelle 32 zu erkennen, hat es einen signifikanten Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Eigenschaften eines Systems, aber nicht auf die anderen Kompetenzbereiche.

Tabelle 32: Mittelwertsunterschiede in den Variablen der Systemkompetenz hervorgerufen durch persönliches Interesse der Lehrkraft am Unterrichtsthema (T-Test für unabhängige Stichproben)

abhängige Variable	Gruppenvariable (0 nein / 1 ja)	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
Komplexität ZT	persönliches Interesse der Lehrkraft :nein	44,4	16,6	T(230) = -1,6 ns.
	persönliches Interesse der Lehrkraft :ja	48,2	16,8	
Komplexität PT	persönliches Interesse der Lehrkraft :nein	58,9	13,9	T(183) = -1,6 ns.
	persönliches Interesse der Lehrkraft :ja	62,7	16,7	
Systemeigenschaften	persönliches Interesse der Lehrkraft :nein	3,6	2,3	T(292) = -4,2 ***
	persönliches Interesse der Lehrkraft :ja	4,8	2,4	
biolog. Wissen	persönliches Interesse der Lehrkraft :nein	3,0	1,4	T(183) = -1,1 ns.
	persönliches Interesse der Lehrkraft :ja	3,3	1,5	

*** p < ,001

Organisation des Unterrichts

Im Lehrerfragebogen wurde nach den folgenden Aspekten der Rahmenbedingungen des Unterrichts gefragt: vollständige oder unvollständige Behandlung der Bausteine der Unterrichtseinheit, Veränderung von Bausteinen, Behandlung von Teilen der Inhalte der Unterrichtseinheit im vorangegangenen Unterricht, Dauer des Unterrichts, Durchführung des Computerspiels und Anleitung einer fremden Lehrkraft. Die Mittelwertunterschiede zwischen den Gruppen, in denen die unabhängige Variable berücksichtigt oder nicht berücksichtigt wurde, sind in Tabelle 33 verzeichnet.

Tabelle 33: Mittelwertsunterschiede in den Variablen der Systemkompetenz hervorgerufen durch Organisationsmerkmale des Unterrichts (T-Test für unabhängige Stichproben)

abhängige Variable	Gruppenvariable (0 nein / 1 ja)	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
Komplexität ZT	Bausteine vollständig: nein	43,7	15,8	T(203) = -1,7 ns.
	Bausteine vollständig: ja	48,0	18,0	
Komplexität PT	Bausteine vollständig: nein	58,5	13,1	T(157) = -1,7 ns.
	Bausteine vollständig: ja	62,8	17,3	
Systemeigenschaften	Bausteine vollständig: nein	4,2	2,3	T(261) = -0,9 ns.
	Bausteine vollständig: ja	4,5	2,5	
biolog. Wissen	Bausteine vollständig: nein	2,9	1,5	T(162) = -1,9 ns.
	Bausteine vollständig: ja	3,3	1,4	
Komplexität ZT	Bausteine verändert: nein	48,5	15,6	T(230) = 1,9 ns.
	Bausteine verändert: ja	44,1	18,3	
Komplexität PT	Bausteine verändert: nein	56,9	15,1	T(183) = -4,9 ***
	Bausteine verändert: ja	67,9	14,5	
Systemeigenschaften	Bausteine verändert: nein	4,3	2,5	T(292) = 0,5 ns.
	Bausteine verändert: ja	4,2	2,4	
biolog. Wissen	Bausteine verändert: nein	3,2	1,5	T(183) = 0,9 ns.
	Bausteine verändert: ja	3,0	1,4	
Komplexität ZT	Thema vorher behandelt: nein	45,3	15,7	T(230) = -1,4 ns.
	Thema vorher behandelt: ja	48,4	18,1	
Komplexität PT	Thema vorher behandelt: nein	57,4	14,7	T(183) = -4,0 ***
	Thema vorher behandelt: ja	66,4	15,8	
Systemeigenschaften	Thema vorher behandelt: nein	3,9	2,3	T(292) = -3,5 **
	Thema vorher behandelt: ja	4,9	2,6	
biolog. Wissen	Thema vorher behandelt: nein	3,1	1,4	T(183) = -0,6 ns.
	Thema vorher behandelt: ja	3,2	1,5	
Komplexität ZT	Lehrkraft beim Computerspiel: Klassenlehrer	47,2	16,5	T(230) = 0,3 ns.
	Lehrkraft beim Computerspiel: fremde Lehrkraft	46,4	17,1	

Komplexität PT	Lehrkraft beim Computerspiel: Klassenlehrer	55,1	12,7	T(183) = -3,8 ***
	Lehrkraft beim Computerspiel: fremde Lehrkraft	64,2	16,3	
Systemeigenschaften	Lehrkraft beim Computerspiel: Klassenlehrer	4,2	2,4	T(292) = -0,1 ns.
	Lehrkraft beim Computerspiel: fremde Lehrkraft	4,3	2,5	
biolog. Wissen	Lehrkraft beim Computerspiel: Klassenlehrer	2,4	1,3	T(183) = -5,6 ***
	Lehrkraft beim Computerspiel: fremde Lehrkraft r	3,6	1,4	

* p < ,05; ** p < ,01; *** p < ,001

Die vollständige Durchführung der vorgesehenen Bausteine der Unterrichtseinheit wirkte sich nicht signifikant auf die abhängigen Variablen aus. Dies könnte daran liegen, dass die Abweichungen vom vorgesehenen Programm minimal waren.

Die Frage nach der Veränderung von Bausteinen betraf Ergänzungen, die zusätzlich zur vorgesehenen Unterrichtseinheit durchgeführt wurden. Sie wirkten sich signifikant positiv auf die Komplexität der Begriffslandkarten im Posttest aus. Offensichtlich konnten die Lehrer spezifische Details ergänzen oder durch die Ergänzungen zur Festigung der Inhalte beitragen. Einen signifikanten Einfluss auf die Komplexität der Begriffslandkarte im Posttest und auf das Verständnis von Systemeigenschaften hatte die Behandlung von Teilen der Inhalte der Unterrichtseinheit im vorangegangenen Unterricht. Diese Effekte können auf einer Vertiefung, Ergänzung oder Wiederholung einiger Aspekte beruhen. Auf das biologische Wissen hatten sie offenbar keinen Einfluss.

Ungefähr die Hälfte der Schulen hatten zur Durchführung des Computerlernspiels nicht genügend PCs, so dass die Verfasserin diese Klassen mit Laptops besuchte und den Unterricht für diesen Abschnitt übernahm. Auf die Testteile vor dem Besuch kann dies keinen Einfluss gehabt haben, die entsprechenden Kompetenzen weisen auch keinen Zusammenhang auf. Auf das biologische Wissen, das im Computerspiel erfragt wurde, hatte dies offensichtlich einen relativ starken Einfluss. Er könnte auf eine erhöhte Motivation der Schüler durch eine neue Lehrkraft, den Umgang mit Laptops oder eine andere Unterrichtsführung zurückzuführen sein. Der positive Effekt war offensichtlich nachhaltig, denn er bleibt auch für die Komplexität der Begriffslandkarten im Posttest bestehen.

Die Dauer des Unterrichts hatte nur einen positiven Effekt auf die Komplexität der Begriffslandkarte im Posttest, auf alle anderen Bereiche wirkte sie sich nicht aus (s. Tabelle 34).

Tabelle 34: Korrelation der Unterrichtsdauer mit den Variablen der Systemkompetenz

	Komplexität ZT	Komplexität PT	Systemeigenschaften	biolog. Wissen
Korrelationskoeffizient	,102	,225**	,074	-,153
Signifikanz	,160	,006	,248	,059
Anzahl Kinder	191	149	247	153

Berücksichtigung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen

In diesem Bereich wurde untersucht, ob die bewusste Vermittlung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen durch die Lehrkraft einen Einfluss auf die Systemkompetenz hatte. Die Ergebnisse sind in Tabelle 35 dargestellt.

Tabelle 35: Mittelwertsunterschiede in den Variablen der Systemkompetenz durch Berücksichtigung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen (T-Test für unabhängige Stichproben)

abhängige Variable	Gruppenvariable (0 nein / 1 ja)	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
Komplexität ZT Komplexität PT Systemeigenschaften biolog. Wissen	beschreibend beobachtet: nein	-	-	-
	beschreibend beobachtet: ja	alle		
Komplexität ZT	kriteriengeleitetes Vergleichen: nein	36,1	14,7	T(201) = -3,7 ***
	kriteriengeleitetes Vergleichen: ja	48,8	17,1	
Komplexität PT	kriteriengeleitetes Vergleichen: nein	53,8	3,3	T(155) = -0,8 ns.
	kriteriengeleitetes Vergleichen: ja	62,5	15,9	
Systemeigenschaften	kriteriengeleitetes Vergleichen: nein	2,5	1,6	T(261) = -4,5 ***
	kriteriengeleitetes Vergleichen: ja	4,4	2,5	
biolog. Wissen	kriteriengeleitetes Vergleichen: nein	2,4	1,1	T(183) = -3,2 **
	kriteriengeleitetes Vergleichen: ja	3,3	1,5	
Komplexität ZT	experimentiert: nein	37,9	10,9	T(220) = -2,6 *
	experimentiert: ja	47,9	17,3	
Komplexität PT	experimentiert: nein	41,6	10,6	T(174) = -2,9 **
	experimentiert: ja	61,8	15,6	
Systemeigenschaften	experimentiert: nein	2,9	1,8	T(282) = -3,2 **
	experimentiert: ja	4,4	2,4	
biolog. Wissen	experimentiert: nein	2,6	1,3	T(183) = -1,7 ns.
	experimentiert: ja	3,2	1,5	
Komplexität ZT Komplexität PT Systemeigenschaften biolog. Wissen	Ergebnissicherung: nein	-	-	-
	Ergebnissicherung: ja	alle		

* p < ,05; ** p < ,01; *** p < ,001

Der Erläuterung der Ergebnisse sei die Bemerkung vorangestellt, dass die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen beschreibendes Beobachten, kriteriengeleitetes Vergleichen und Experimentieren im Konzept der Unterrichtseinheit vorgesehen waren. Die erreichten Effekte können also nur dadurch zustande kommen, dass Lehrer die entsprechenden Unterrichtsvorschläge nicht durchgeführt haben.

Das (bewusste) Durchführen von kriteriengeleiteten Vergleichen führt zu einem signifikanten Unterschied in der Komplexität der Begriffslandkarten im Zwischentest, im Verständnis von Systemeigenschaften und im biologischen Wissen, so dass die Gruppen, in denen kriteriengeleitet verglichen wurde, signifikant besser abschneiden. Auch das Durchführen von Experimenten wirkt sich signifikant positiv auf die Fähigkeiten im Bereich

Systemorganisation und im Bereich Verständnis von Systemeigenschaften aus. Es zeigt sich jedoch kein Einfluss auf das getestete biologische Wissen.

Die naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen des beschreibenden Beobachtens und die Ergebnissicherung wurden von allen Lehrern durchgeführt, so dass keine Varianz zur Berechnung von Mittelwertsunterschieden bleibt.

Berücksichtigung systemischer Aspekte im Unterricht

Die Lehrkräfte wurden gebeten, anzugeben, ob und wenn ja, welche systemischen Aspekte sie in ihrem Unterricht berücksichtigten.

Tabelle 36: Mittelwertsunterschiede in den Variablen der Systemkompetenz durch Berücksichtigung systemischer Aspekte (T-Test für unabhängige Stichproben)

abhängige Variable	Gruppenvariable (0 nein / 1 ja)	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
Komplexität ZT	Elemente benannt: nein	44,0	15,9	T(230) = -1,4 ns.
	Elemente benannt: ja	47,7	17,1	
Komplexität PT	Elemente benannt: nein	54,8	15,1	T(183) = -2,6 **
	Elemente benannt: ja	62,7	15,6	
Systemeigenschaften	Elemente benannt: nein	3,8	2,1	T(292) = -2,0 *
	Elemente benannt: ja	4,4	2,5	
biolog. Wissen	Elemente benannt: nein	2,5	1,2	T(183) = -3,8 ***
	Elemente benannt: ja	3,4	1,5	
Komplexität ZT	Beziehungen benannt: nein	44,0	15,9	T(230) = -1,4 ns.
	Beziehungen benannt: ja	47,7	17,1	
Komplexität PT	Beziehungen benannt: nein	54,8	15,1	T(183) = -2,6 **
	Beziehungen benannt: ja	62,7	15,6	
Systemeigenschaften	Beziehungen benannt: nein	3,8	2,1	T(292) = -2,0 *
	Beziehungen benannt: ja	4,4	2,5	
biolog. Wissen	Beziehungen benannt: nein	2,5	1,2	T(183) = -3,8 ***
	Beziehungen benannt: ja	3,4	1,5	
Komplexität ZT	Beziehungen grafisch dargestellt: nein	45,5	16,4	T(214) = -1,1 ns.
	Beziehungen grafisch dargestellt: ja	48,2	17,6	

Komplexität PT	Beziehungen grafisch dargestellt: nein	58,7	17,1	T(183) = -3,1 **
	Beziehungen grafisch dargestellt: ja	66,0	11,7	
System-eigenschaften	Beziehungen grafisch dargestellt: nein	4,0	2,2	T(274) = -2,4 *
	Beziehungen grafisch dargestellt: ja	4,7	2,8	
biolog. Wissen	Beziehungen grafisch dargestellt: nein	3,0	1,4	T(171) = -2,6 *
	Beziehungen grafisch dargestellt: ja	3,6	1,5	
Komplexität ZT	Vorhersagen von Entwicklungen gemacht: nein	45,9	16,6	T(230) = -0,5 ns.
	Vorhersagen von Entwicklungen gemacht: ja	47,2	17,0	
Komplexität PT	Vorhersagen von Entwicklungen gemacht: nein	52,5	13,8	T(183) = -4,6 ***
	Vorhersagen von Entwicklungen gemacht: ja	64,2	15,3	
System-eigenschaften	Vorhersagen von Entwicklungen gemacht: nein	4,4	2,6	T(292) = 0,8 ns.
	Vorhersagen von Entwicklungen gemacht: ja	4,2	2,4	
biolog. Wissen	Vorhersagen von Entwicklungen gemacht: nein	2,9	1,3	T(183) = -1,7 ns.
	Vorhersagen von Entwicklungen gemacht: ja	3,2	1,5	

* p < ,05; ** p < ,01; *** p < ,001

Das explizite Besprechen von Elementen und ihren Beziehungen war in der Unterrichtskonzeption nicht vorgesehen, der Unterricht sollte kein Systemverständnis-Training beinhalten. Drei Viertel aller Lehrkräfte geben jedoch an, Elemente und Beziehungen im Unterricht benannt zu haben.

In Tabelle 36 lassen sich signifikante Unterschiede in den verschiedenen Bereichen der Systemkompetenz in Abhängigkeit vom Behandeln von Elemente und Beziehungen im Unterricht erkennen. Das Benennen von Elementen und den Beziehungen zwischen Elementen beeinflusst die Fähigkeit zur Modellbildung im Posttest, das Verständnis von Systemeigenschaften und das biologische Wissen signifikant positiv. Alle Lehrkräfte, die Elemente in ihrem Unterricht benannt hatten, erwähnten auch Beziehungen zwischen diesen Elementen.

Das grafische Darstellen von Beziehungen wirkte sich ebenfalls signifikant positiv auf die Variablen Komplexität der Begriffslandkarte im Posttest, Verständnis von Systemeigenschaften und biologisches Wissen aus.

Die explizite Vorhersage von Entwicklungen (z. B. Bestandsentwicklung des Weißstorchs) wurde von ca. zwei Dritteln der Lehrkräfte angegeben. Obwohl die Vorhersage von Entwicklungen eine Fähigkeit ist, die im Bereich Systemeigenschaften geprüft wird, wirkte sich dieser Einfluss nur auf die Komplexität der Modellbildung im Posttest aus.

Berücksichtigung von Aspekten der nachhaltigen Entwicklung

Die Berücksichtigung von Aspekten der nachhaltigen Entwicklung war eine der Leitideen des Projektes. Im Unterrichtskonzept war daher das In-Bezug-Setzen des Themas zum Menschen und zum Aspekt Schutz und Nutzung der Erde vorgesehen.

Da die Lehrkräfte ausnahmslos diese Bezüge herstellten, können hier keine Unterschiede für die abhängigen Variablen festgestellt werden.

5.6 Systemkompetenz als bereichsspezifische versus bereichsunabhängige Fähigkeit

Die Frage nach der Bereichsspezifität oder Bereichsunabhängigkeit von Systemkompetenz soll über zwei verschiedene Analyseverfahren geprüft werden. In Abschnitt 5.6.1 wird der Einfluss von bereichsfremdem systemischem Vorwissen auf die Systemkompetenz zum Storch untersucht. In Abschnitt 5.6.2 werden die Leistungen im bereichsfremden System mit den Leistungen im System Storch verglichen.

5.6.1 Einfluss von bereichsfremdem systemischem Vorwissen auf die Entwicklung der Systemkompetenz

Um den Einfluss von bereichsfremdem Vorwissen auf die Systemkompetenz zum Storch zu prüfen, werden die in Kapitel 4.5.4.1 beschriebenen unabhängigen Variablen, denen ein Einfluss auf das Lernergebnis zugesprochen wird, in die Analyse einbezogen.

Getestet wird zum einen der Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation (abhängige Variablen: Umfang des dargestellten Wissens und Vernetzung) im Vortest, Zwischentest und Nachtest. Zum anderen wird der Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften im Nachtest ermittelt.

Einflüsse auf die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation: Umfang des dargestellten Wissens im Vortest

Tabelle 37 zeigt die Ergebnisse der Regressionsanalyse.

Tabelle 37: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des in den Begriffslandkarten dargestellten Wissens, VT

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
bereichsfremdes systemisches Vorwissen: Komplexität	,105	,024	,342	4,31 ***
Situationales Interesse VT	1,855	,840	,175	2,21 *
R ² = ,153; F(2,135) = 12,157; p < ,001				

Das bereichsfremde systemische Vorwissen im Bereich Systemorganisation (gemessen über die unabhängige Variable „Komplexität“) hat einen signifikanten Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation (gemessen über die abhängige Variable „Umfang des dargestellten Wissens“).

Daneben zeigt sich, dass der Faktor situationales Interesse im VT hier ein signifikanter Prädiktor für die Systemkompetenz zum System Storch ist. In der vergleichbaren Analyse mit dem bereichsspezifischen systemischen Vorwissen als unabhängige Variable hatte das individuelle Interesse eine Vorhersagekraft für die Systemkompetenz.

Obwohl mit R² = 0,153 nur ein relativ kleiner Anteil der Varianz der abhängigen Variable aufgeklärt wird, sind die Einflüsse der Faktoren als hoch signifikant zu bezeichnen. Am Beta-Wert erkennt man, dass der Faktor „systemisches Vorwissen: Komplexität“ den größten Einfluss auf den Umfang des im Vortest gezeichneten Modells vom System Storch hat. Da die Variable „Komplexität“ wie oben beschrieben die Modellbildungsfähigkeiten zusammenfasst, ist hierin ein Einfluss des bereichsfremden systemischen Vorwissens im Bereich Modellbildung zu sehen.

Der Einfluss der Variable „situationales Interesse“ ist signifikant. In diesem Faktor zeigt sich der Einfluss der Vorfreude auf das Thema Storch, die sich als Motivationsfaktor für das Erstellen einer Begriffslandkarte zum Thema Storch ausgewirkt haben könnte.

Eine Prüfung auf Multikollinearität ergibt keine Hinweise auf das Vorliegen einer starken Korrelation zwischen den erklärenden Variablen (Toleranz der Kollinearitätsstatistik für beide Variablen >,99).

Einflüsse auf die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation: Vernetzung im Vortest

Im Bereich Systemorganisation wird des weiteren die Beeinflussung der abhängigen Variable „Vernetzung“ geprüft.

Tabelle 38: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Vernetzung, VT

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
bereichsfremdes systemisches Vorwissen: Komplexität	,020	,002	,522	8,37 ***
Geschlecht	-,187	,091	-,129	-2,06*
$R^2 = ,331; F(2,182) = 29,77; p < ,001$				

Wie aus Tabelle 38 ersichtlich, haben auf die Fähigkeit zur Vernetzung im System Storch (VT) zwei unabhängige Variablen einen signifikanten Vorhersagewert: das bereichsfremde systemische Vorwissen im Bereich Systemorganisation zum System Schule und das Geschlecht. Die beiden Faktoren klären einen Anteil von 33% an der Gesamtvarianz.

Die Variable bereichsfremdes systemisches Vorwissen: Komplexität hat dabei mit einem Beta-Wert von ,522 den größeren Einfluss.

Das Geschlecht hatte auch schon in Kombination mit dem bereichsspezifischen Vorwissen einen signifikanten Einfluss. Unter der Beachtung der Kodierung (Mädchen =1, Jungen = 2) und dem negativen Beta-Wert zeigt sich wieder das bessere Abschneiden der Mädchen.

Einflüsse auf die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation: Umfang des dargestellten Wissens im Zwischentest

Für die Untersuchung der Ergebnisse des Zwischentests wird statt des im Vortest erhobenen individuellen und situationalen Interesses das im Zwischentest erhobene individuelle und situationale Interesse als unabhängige Variable eingesetzt.

Tabelle 39: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des im ZT zum System Storch dargestellten Wissens

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
Klassenstufe	1,998	,736	,220	2,71 **
bereichsfremdes systemisches Vorwissen: Komplexität	,041	,020	,161	1,99 *
$R^2 = ,095; F(2,151) = 7,99; p = ,001$				

Aus Tabelle 39 wird ersichtlich, dass die Variablen Klassenstufe und Komplexität des systemischen Wissens im bereichsfremden System Schule signifikante Prädiktoren für den

Umfang des in den Begriffslandkarten dargestellten Wissens im System Storch, Zwischentest sind.

Der Anteil der aufgeklärten Streuung an der gesamten Varianz liegt bei dieser Regressionsanalyse mit knapp 10% nicht sehr hoch. Die beiden signifikanten Einflussfaktoren „Klassenstufe“ und „systemisches Vorwissen: Komplexität“ decken damit nur einen relativ kleinen Teil der gesamten Streuung ab. Über den signifikanten Einfluss der „Klassenstufe“ als einflussreichstem Prädiktor kommt wie in der Analyse mit dem bereichsspezifischen systemischen Vorwissen der positive Effekt des Alters zum Tragen.

Die Fähigkeiten im Bereich systemisches Vorwissen für das bereichsfremde System wirken sich positiv auf den erreichten Umfang des dargestellten Wissens im System Storch aus. Der Einfluss dieser Variable hat sich aber gegenüber dem Vortest auf den zweiten Platz verschoben.

Die Variablen „individuelles Interesse“ (ZT) und „situationales Interesse“ (ZT) erwiesen sich nicht als Prädiktoren der Fähigkeiten.

Einflüsse auf die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation: Vernetzung im Zwischentest

Betrachtet man als abhängige Variable die Vernetzung im Bereich Systemorganisation des Systems Storch, zeigt sich, wie in Tabelle 40 ersichtlich, nur noch ein einziger signifikanter Prädiktor. Es handelt sich wieder um die Komplexität des bereichsfremden systemischen Vorwissens.

Tabelle 40: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Vernetzung, ZT

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
bereichsfremdes systemisches Vorwissen: Komplexität	,010	,002	,333	4,35 ***
R ² = ,11; F(1,152) = 18,90; p < ,001				

Der Faktor „systemisches Vorwissen: Komplexität“ ist ein höchst signifikanter Prädiktor und klärt mit R² einen Anteil von 11% der Gesamtvarianz.

Einflüsse auf die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation: Umfang des dargestellten Wissens im Posttest

Der Posttest erfolgte mit mindestens zwei Wochen Abstand zum Computerspiel „Ciconias abenteuerliche Reise“, das den zweiten Teil der Intervention darstellte.

Tabelle 41: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des in der Begriffslandkarte dargestellten Wissens, PT

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
Klassenstufe	6,846	2,166	,307	3,16 **
bereichsfremdes systemisches Vorwissen: Systemen Systemeigenschaften	3,898	1,476	,256	2,64 *
R ² = ,140; F(2,93) = 7,54; p < ,01				

Tabelle 41 zeigt die signifikanten Einflussfaktoren auf den Umfang des dargestellten Wissens zum System Weißstorch im Anschluss an das Computerspiel. Signifikante Prädiktoren sind die Klassenstufe und das systemische Vorwissen über die Eigenschaften des Systems Schule.

Einflüsse auf die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation: Vernetzung im Posttest

Keine der getesteten Variablen stellt einen signifikanten Prädiktor für den Grad der Vernetzung des Wissens im System Storch, Posttest dar.

Die als unabhängige Variablen erhobenen Vortest-Bedingungen spielen offensichtlich im Posttest keine Rolle mehr. Die im Posttest erhaltenen Effekte, die über die absoluten Werte für die entsprechenden Fähigkeiten nachweisbar sind, sind offensichtlich durch den Unterricht herbeigeführt worden. Auch beim Einfluss auf den Umfang des dargestellten Wissens zum System Storch im PT lassen sich nur noch die Variablen als signifikante Prädiktoren darstellen, die wie die Klassenstufe oder das systemische Vorwissen zum System Schule nicht durch den Unterricht ausgeglichen werden können.

Einflüsse auf die Fähigkeiten im Bereich Systemeigenschaften: Nachttest

Die Fähigkeiten zum Erkennen von und zum Umgang mit Systemeigenschaften wurden nur über Fragen im Posttest erhoben, so dass ein Vergleich über verschiedene Testteile an dieser Stelle entfällt.

Tabelle 42: Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die abhängige Variable Eigenschaften System Storch, PT

Unabhängige Variable	B	Standardfehler	Beta	T
Klassenstufe	1,079	,352	,221	3,06 **
bereichsfremdes systemisches Vorwissen: Systemeigenschaften	,679	,277	,177	2,45 *
R ² = ,07; F(2,181) = 6,824; p < ,01				

Die abhängige Variable „Systemeigenschaften“ des Systems Storch wird von zwei Prädiktoren signifikant beeinflusst: der Klassenstufe und dem bereichsfremden systemischen Vorwissen im Bereich Systemeigenschaften (vgl. Tabelle 42).

Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf die Forschungsfrage 3

In Tabelle 43 sind die Ergebnisse der Analysen in Bezug auf den Einfluss des bereichsfremden systemischen Vorwissens zum System Schule zusammengestellt.

Tabelle 43: Zusammenfassung des Einflusses von bereichsfremdem systemischem Vorwissen auf die Systemkompetenz zum System Storch

		Einfluss des bereichsfremden systemischen Vorwissens	
		im Bereich Systemorganisation	im Bereich Systemeigenschaften
VT	Umfang	+	-
	Vernetzung	+	-
ZT	Umfang	+	-
	Vernetzung	+	-
PT	Umfang	-	+
	Vernetzung	-	-
NT	Eigenschaften	-	+

Wie aus Tabelle 43 ersichtlich, beeinflusst das systemische Vorwissen zum System Schule deutlich die Systemkompetenz zum System Storch. Da es sich beim systemischen Vorwissen zum System Schule in Bezug auf die Systemkompetenz zum System Storch um ein bereichsfremdes systemisches Vorwissen handelt, kann man dies als einen deutlichen Hinweis darauf werten, dass Systemkompetenz auch bereichsübergreifend ist.

Betrachtet man die einzelnen Einflüsse genauer, so fällt folgendes Muster auf: Das systemische Vorwissen zum System Schule im Bereich Systemorganisation beeinflusst im Vortest und im Zwischentest die Systemkompetenz zum System Storch im Bereich Systemorganisation. Diese ist durch die abhängigen Variablen „Umfang“ und „Vernetzung“ gekennzeichnet.

Im Nachtest beeinflusst das systemische Vorwissen zum System Schule im Bereich Systemeigenschaften die Systemkompetenz zum System Storch ebenfalls im Bereich Systemeigenschaften. Den Posttest ausgenommen, beeinflussen sich also immer die gleichen Bereiche der Systemkompetenz. Diese Befunde stützen die Annahme, dass es sich bei den Fähigkeiten, die unter den beiden Bereichen zusammengefasst wurden, um verschiedene Dimensionen der Systemkompetenz handelt.

5.6.2 Vergleich der Leistungen im bereichsfremden System mit den Leistungen im System Storch

Die Frage nach der Bereichsspezifität von Systemkompetenz lässt sich auch durch den Vergleich der Leistungen in den beiden unterschiedlichen inhaltlichen Gebieten, also im Vergleich der Leistungen zwischen System Schule und System Storch, beleuchten. Wenn man annimmt, dass die Systemkompetenz eine bereichsspezifische Fähigkeit ist, dann sollte sie sich nicht von einem System auf ein bereichsfremdes System übertragen lassen, auch wenn zu beiden Systemen ein ausreichendes Wissen vorhanden ist. Die Leistungen der Kinder in den verschiedenen Systemen sollten sich daher deutlich unterscheiden.

Ein direkter Vergleich der Systemkompetenz wurde in diesem Fall auf die Kompetenzen im Bereich Systemorganisation beschränkt.

Der Vergleich der Leistungen im Bereich Systemorganisation erfolgt über die zusammenfassende Variable „Komplexität“ (vgl. Kapitel 4.5.1.1).

Dazu werden die Leistungen bezogen auf das System Schule und auf das System Storch zu verschiedenen Testzeitpunkten betrachtet. Zum System Schule sollten die Kinder ausreichendes Vorwissen haben, zum System Storch kann man im Nachtest davon ausgehen, dass die Kinder ebenfalls eine solide Wissensbasis erworben haben. Das Ausmaß des verfügbaren Vorwissens der Kinder zu den beiden Systemen sollte sich daher nicht mehr gravierend unterscheiden. Die Systeme sollten sich nur noch bezüglich der ihnen zugrunde liegenden Inhaltsbereiche unterscheiden.

Tabelle 44 zeigt die Ergebnisse des T-Tests für gepaarte Stichproben.

Tabelle 44: Mittelwertvergleich für die Komplexität der Begriffslandkarten

Variable	Messzeitpunkt	Mittelwert	Standardabweichung	T-Test
System Schule	VT	43,2	17,5	T(170) = -10,9 ***
System Storch	PT	61,4	15,5	
System Schule	VT	49,9	17,5	T(210) = 7,7 ***
System Storch	VT	40,4	15,8	

*** $p < ,001$

Vergleicht man mit dem T-Test die Leistungen jedes Schülers zum System Schule und zum System Storch (NT), so zeigt sich, dass die Kinder nicht nur dasselbe Niveau wie im System Schule erreichen, sondern dass ihre Leistungen im System Storch die Leistungen im System Schule deutlich übertreffen.

Im Vergleich dazu sind die mittleren Leistungen im Vortest im bekannten System Schule deutlich höher als im wenig bekannten System Storch, VT (vgl. dazu die Analyse für System Schule VT, System Storch VT in Tabelle 44). In diesem Fall unterscheidet sich auch das Ausmaß des Vorwissens zu den Systemen.

Wie die Ergebnisse zum Vergleich der Leistungen in zwei unterschiedlichen Systemen zeigen, können die Kinder ihre Leistungen von einem Inhaltsbereich auf einen anderen

übertragen, wenn sie genügend Vorwissen haben. Dies ist ein Hinweis auf eine bereichsübergreifende Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation.

6 Diskussion

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, die Systemkompetenz von Grundschulern zu untersuchen. Da es sich dabei um ein bislang wenig erforschtes Feld der fachdidaktischen Forschung handelt, konnte weder auf eine Theorie zur Entstehung und Ausbildung von Systemkompetenz bei Grundschulern noch auf fertige Testinstrumente zurückgegriffen werden, die für den Einsatz in der Grundschule geeignet gewesen wären.

Es wurde daher im Rahmen der vorliegenden Arbeit versucht, aus der Theorie der Systemforschung und den bisherigen Studien zum Systemverständnis von älteren Schülern und Erwachsenen einen theoretischen Bezugsrahmen zur Untersuchung der Systemkompetenz von Grundschulern abzuleiten. Aus diesem wurden die einzelnen Untersuchungsfragen, die sich mit verschiedenen Bereichen der Systemkompetenz befassen, abgeleitet und operationalisiert. Ob und in welcher Form Grundschüler Systemkompetenz besitzen, ist Gegenstand der ersten Forschungsfrage. Die allgemeine Forschungsfrage wurde dazu anhand von mehreren Fragen zu Teilkompetenzen der Systemkompetenz konkretisiert. Die Ergebnisse zu diesem Punkt werden in Abschnitt 6.1 diskutiert.

Die Förderung von Systemkompetenz im Unterricht hängt sowohl von inneren Voraussetzungen der Schüler als auch vom externen Einfluss der Lernumgebung ab. Welche Rolle die verschiedenen, aus der Literatur bekannten Einflüsse im vorliegenden Fall spielen, wurde mit der Forschungsfrage 2 untersucht. In Kapitel 6.2 werden die Ergebnisse in Bezug auf die zu dieser Forschungsfrage formulierten Hypothesen diskutiert.

Für die Frage nach den Transfermöglichkeiten der Systemkompetenz auf andere inhaltliche Gebiete ist die Frage nach der Bereichsgebundenheit dieser Fähigkeit von Interesse. Aus dem Stand der Forschung lässt sich dazu kein übereinstimmendes Bild gewinnen. Forschungsfrage 3 bezog sich daher auf die Übertragungsmöglichkeiten der Systemkompetenz von einem inhaltlichen Gebiet auf ein anderes. Die Hinweise, die sich aus dieser Untersuchung zur Klärung dieser Frage ergeben, werden in Abschnitt 6.3 diskutiert.

6.1 Zeigen Grundschüler Systemkompetenz?

Systemkompetenz bezeichnet keine einzelne Fähigkeit, mit der sich die Leistungen im Umgang mit Systemen beschreiben ließen. Vielmehr steckt schon in dem Begriff der Kompetenz nach Weinert (2001) eine Aufgliederung in verschiedene Komponenten, bei denen es sich um kognitive, volitionale und motivationale Fähigkeiten und Bereitschaften handelt. Auch alle bisherigen Definitionen von Systemkompetenz oder systemischem Denken gliedern sich in verschiedene Teilbereiche ((Dörner, 1989; Lecher, 1997; Ossimitz, 2000; Klieme & Maichle, 1994; Orion & Assaraf, eingereicht; Rost, Lauströer, & Raack, 2003).

Zur Präzisierung der Forschungsfrage 1 wurden mehrere Teilfragen aus dem theoretischen Bezugsrahmen abgeleitet, und in einer explorativen Studie zu beantworten versucht. Die Teilfragen beziehen sich auf zu unterscheidende Teilkompetenzen der Systemkompetenz:

- Können Grundschüler die wesentlichen Systemelemente des Systems Storch identifizieren und durch Beziehungen verknüpfen?
- Können Grundschüler die Systemelemente und ihre Beziehungen im System Storch in einem Bezugsrahmen organisieren und dabei sinnvolle Systemgrenzen ziehen?
- Können Grundschüler im System Storch zwischen Eigenschaften des Systems und Eigenschaften der Elemente unterscheiden?
- Können Grundschüler im System Storch dynamische Beziehungen erkennen?
- Können Grundschüler im System Storch die Folgen von Veränderungen vorhersagen?
- Können Grundschüler im System Storch verschieden komplexe Wirkungen beurteilen?
- Können Grundschüler im System Storch Rückwirkungen erkennen und beschreiben?

Die Ergebnisse aus den Untersuchungen der Teilkompetenzen sollen anhand der einzelnen Kompetenzkomponenten diskutiert werden.

Können Grundschüler die wesentlichen Systemelemente des Systems Storch identifizieren und durch Beziehungen verknüpfen?

Die Identifikation relevanter Systemelemente und ihre Verknüpfung über Relationen ist eine wesentliche Fähigkeit zur Bildung eines Systemmodells. Dabei wird von verschiedenen Autoren (Ossimitz, 2000; Gomez & Probst, 1995) das Wirkungsdiagramm als geeignete Darstellungsform postuliert. Wie dargestellt wurde in dieser Studie auf ein vereinfachtes Pfeildiagramm zur Darstellung der Systemmodelle zurückgegriffen, das keine Einschränkungen für die Art der dargestellten Beziehungen macht. Diese sogenannten Begriffslandkarten enthalten daher neben Wirkungen auch zeitliche, finale und modale Relationen (vgl. 2.2.3.1).

Zur Untersuchung der Teilkompetenz „Identifikation wesentlicher Systemelemente und deren Verknüpfung über Beziehungen“ wurde zwischen den quantitativen und den inhaltlichen Leistungen der Schüler zum Identifizieren von Systemelementen und Beziehungen unterschieden. Ein weiterer Teilaspekt bezog sich auf das Knüpfen von Beziehungen.

Die Ergebnisse zur Darstellung von Elementen des Systems Storch zeigen, dass die Kinder ihre Fähigkeiten vom Vortest zum Posttest signifikant steigern. Die Begriffslandkarten des Posttests enthalten im Durchschnitt fast doppelt so viele Elemente wie im Vortest zum System Storch. Ebenso verhält es sich mit den zwischen den Elementen geknüpften Beziehungen, auch diese werden im Mittel verdoppelt.

Betrachtet man jedoch die Aufgaben, in denen die Schüler Elemente über reine Ursache-Wirkungsketten verknüpfen mussten (5.2.1.2), so zeigt sich, dass damit besondere Schwierigkeiten verbunden sind. Die vorgegebenen Zweierbeziehungen können zwar von fast allen Kindern vervollständigt werden. Das Lösen von Dreierketten ist aber schon eine größere Herausforderung, wird jedoch noch von der größten Gruppe der Kinder in VT und PT gelöst.

Die Verbindung von vier Elementen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu einer Viererkette wird dagegen vom größten Teil der Kinder nicht mehr bewältigt.

Die Vergleiche der Ergebnisse über verschiedene Testteile hinweg zeigen, dass sich die Fähigkeiten zum Knüpfen von Ursache-Wirkungsbeziehungen im Laufe der Unterrichtseinheit kaum verändern. Schüler, die im VT Ketten bilden können, tun dies mit größerer Wahrscheinlichkeit als die anderen auch im PT; Kinder, die die Elemente im VT nicht verbinden können, sind mit größerer Wahrscheinlichkeit auch im PT dazu nicht in der Lage. Die Unterrichtseinheit und der damit verbundene Wissenszuwachs hatten offensichtlich auf diese Fähigkeit keinen Einfluss. Man kann daher von einer in unterschiedlichem Ausmaß bereits vor dem Unterricht vorliegenden Methodenkompetenz ausgehen, die sich auf das Knüpfen von Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Elementen bezieht. Sie bleibt über die Unterrichtseinheit hinweg relativ stabil. Das Lösen von Viererketten setzt mehrere vermittelnde Schritte voraus, die sich logisch aufeinander beziehen müssen. In den frei gestaltbaren Beziehungen einer Begriffslandkarte sind die logischen Verknüpfungen dagegen nicht so streng auf einander aufbauend. Da die Kinder in den Begriffslandkarten deutliche Lernzuwächse über die verschiedenen Testteile hinweg zeigen, die Ursache-Wirkungsketten aber keine Lernfortschritte erkennen lassen, wäre eine Darstellung der Zusammenhänge im System Storch in einem „echten“ Wirkungsdiagramm tatsächlich eine Überforderung der Kinder. Mit Hilfe der vereinfachten Methode kommt es dagegen zu einem Lernfortschritt.

Die Bewertung der dargestellten Elemente nach inhaltlichen Kriterien im Hinblick darauf, ob die Kinder die *wesentlichen* Elemente und Beziehungen des Systems Storchs benennen können, ist deutlich schwieriger. Zum einen macht es wenig Sinn, die dargestellten Elemente losgelöst von den Beziehungen zu beurteilen. Es wurden daher Propositionen als kleinste Untersuchungseinheit, die als wahr oder falsch beurteilt werden kann (Zimbardo, 1992), bewertet. Diese Bewertung erfordert das Aufstellen von Kriterien, nach denen beurteilt werden kann, ob eine Proposition für das System wesentlich ist. Das Erstellen solcher objektiven Kriterien wird in den Studien von Klieme & Maichle (1994) und Ossimitz (2000) als „kaum möglich“ eingeschätzt. Das Problem wurde in dieser Studie dadurch gelöst, dass wesentliche biologische Kennzeichen des Systems Storch als Kategorien der Auswertung ausgewählt wurden, nämlich Nahrung, Aussehen, Fortpflanzung, Verhalten, Nistplatz, Zug, Lebensraum und Gefährdung. Bei der Auswertung wurden die zu beobachtenden Veränderungen in der Verteilung der Propositionen auf die inhaltlichen Kategorien über die verschiedenen Testteile hinweg analysiert.

Der Vergleich der Verteilung auf die Kategorien zwischen den einzelnen Testteilen ergibt signifikante Unterschiede. Im Vortest formulieren die Kinder überwiegend Propositionen aus den Bereichen Nahrung, Aussehen und Fortpflanzung, die sich weitgehend auf allgemeines biologisches Wissen zum Storch oder noch allgemeiner auf biologisches Wissen zu Vögeln beziehen. Höchst signifikante Zunahmen im Posttest sind vor allem in den Kategorien zu finden, die spezielleres biologisches Wissen zum Storch erfordern wie Nistplatz, Zug, Lebensraum und Gefährdung. Da die im Unterricht vermittelten Inhalte sich auf diese Kategorien beziehen, kann darin ein Effekt der Unterrichtseinheit und des Computerspiels

gesehen werden. Die Schüler erwerben dabei also die Fähigkeit, wesentliche Elemente des Systems Storch zu identifizieren.

Sowohl in den beschriebenen quantitativen Veränderungen der Menge der dargestellten Elemente und Beziehungen als auch in den inhaltlichen Verschiebungen der Berücksichtigung der verschiedenen Kategorien ergeben sich gegenüber dem Vortest höchst signifikante Verbesserungen. Diese Befunde decken sich mit den Ergebnissen der Studien von Ossimitz (2000) und Maierhofer (2001) an älteren Schülern. Allerdings führen Ossimitz und Maierhofer die Steigerungen in ihren Ergebnissen auf das Training von Systemdarstellungen, insbesondere in Form von Wirkungsdiagrammen zurück. Da in der vorliegenden Studie mit den Schülern kein Training systemischer Darstellungsformen durchgeführt wurde und die Schüler die Begriffslandkarten ausschließlich in den Tests zeichneten, kann der erzielte Effekt nur durch die Vermittlung des zugrunde liegenden Wissens und den Trainingseffekt durch das insgesamt viermalige Anfertigen von Begriffslandkarten zustande gekommen sein. Ossimitz und Maierhofer sprechen von einer deutlichen Steigerung der Fähigkeiten der Schüler aufgrund eines kurzen Trainings; in einer seiner Studien erzielt Ossimitz Erfolge auch schon durch das „bloße Sehen von zwei einfachen Wirkungsdiagrammen“ (Ossimitz, 2000; S. 133). Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass ein ähnlich starker Erfolg auch schon bei Grundschulern ohne eigenes Systemtraining zu erzielen ist. Dass es sich dabei nicht um methodische Artefakte handelt, zeigt der Vergleich der Leistungen im Vortest. Wie erwähnt zeichnen die Kinder zunächst eine Begriffslandkarte zum System Schule, dann zum System Storch. Trotzdem sind zumindest die Anzahl der dargestellten Beziehungen im System Storch signifikant niedriger als im System Schule, bei dem die Kinder zum ersten Mal eine Begriffslandkarte nur aufgrund eines Beispiels im Test zeichnen.

Können Grundschüler die Systemelemente und ihre Beziehungen im System Storch in einem Bezugsrahmen organisieren und dabei sinnvolle Systemgrenzen ziehen?

Zur Bewertung dieser Fähigkeit zur Modellbildung wurde aus den Elementen und Beziehungen der Begriffslandkarten der Vernetzungsindex nach Ossimitz (2000) und ein Strukturindex bestimmt.

Der Vergleich der Vernetzungsindizes für die verschiedenen Testteile zum System Storch zeigt, dass die Kinder ihre Vernetzungsleistung zwischen Vor- und Zwischentest höchst signifikant von 1,06 auf 1,49 Beziehungen pro Element steigern, zum Posttest ist die Steigerung nochmals signifikant auf 1,62 Beziehungen pro Element. Der Vergleich zwischen den verschiedenen inhaltlichen Systemen belegt, dass die Kinder im Vortest zum System Schule auf einen Vernetzungsindex kommen, der etwas über den Werten des Zwischentests zum System Storch liegt. Er ist höchst signifikant höher als der unmittelbar im Anschluss zum System Storch VT erhobene Vernetzungsindex. Dies belegt wiederum den Einfluss des Wissens auf die Fähigkeit zur Modellbildung. Der relative Vergleich der Leistungen im Posttest zum System Storch mit Leistungen im Vortest zum System Storch und zum bereichsfremden System Schule ergibt also eine deutliche Leistungssteigerung.

Zur weiteren Beurteilung der von den Grundschulern erreichten Werte können die von Ossimitz (2000) in seiner Studie „Entwicklung vernetzen Denkens“ ermittelten Vernetzungsindizes von älteren Schülern herangezogen werden. Allerdings muss bei diesem Vergleich beachtet werden, dass die Grundschüler der vorliegenden Studie Begriffslandkarten mit frei darstellbaren Relationen zeichneten, während die Schüler in Ossimitz' Studie Wirkungsdiagramme darstellten. Die dort untersuchten Schüler im Alter von 15 bis 19 Jahren erreichten Vernetzungsindizes zwischen 1,02 und 1,72, wobei der unterrichtende Lehrer und die Mathematiknote der Schüler den größten Einfluss auf das Abschneiden der Schüler hatten. Der Durchschnitt aller Schüler lag bei 1,45. Wenngleich ein direkter Vergleich mit den Zahlen der vorliegenden Studie aus den oben geschilderten Gründen nur mit Einschränkung möglich ist, so lässt sich doch feststellen, dass die Grundschüler mit einem Vernetzungsindex von durchschnittlich 1,62 im Posttest ein durchaus beachtenswertes Ergebnis erzielen.

Mit dem Strukturindex wird die Gesamtform der Begriffslandkarte kategorisiert. Die einzelnen Kategorien wurden darüber hinaus in eine Rangfolge gebracht, die beginnend mit unverbundenen Elementen, über Verbindungen von zwei Elementen, lineare Ketten, Ketten mit Verzweigungen und Kreisläufen bis hin zum Netz als komplexeste Struktur reicht. Die Ergebnisse des Vortests zum System Storch zeigen, dass die meisten Kinder die dargestellten Elemente nicht verbinden können oder einfachste Beziehungen darstellen. Bis zum Posttest ergibt sich eine deutliche Entwicklung hin zu der komplexesten Form, gut 60% aller Kinder zeichnen im PT ein Netz und weniger als 1% der Kinder kann die Elemente nicht verbinden. Zum Vergleichssystem Schule, zu dem die Kinder in dieser Studie die erste Begriffslandkarte zeichnen, kann der größte Teil der Kinder auf Anhieb eine netzartige Karte zeichnen, nur wenige Kinder können hier die Elemente nicht verbinden, und dies, obwohl ca. zwei Drittel der Kinder zu diesem Zeitpunkt zum ersten Mal mit der Methode des Begriffslandkarten-Zeichnens in Berührung kommen. Die Unterschiede im Vortest müssen daher auf das unterschiedliche Wissen zu den Systemen zurückzuführen sein. Die Veränderungen zwischen den weiteren Testteilen müssen demnach durch die Interventionen ausgelöst worden sein. Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass ein Teil der Steigerung im Posttest auch auf der zunehmenden Übung im Zeichnen von Begriffslandkarten beruht. Allerdings erhielten die Kinder zu keinem Zeitpunkt Hinweise zu den Kriterien der Auswertung der Begriffslandkarten. Eine Beeinflussung durch eine gezielte Lenkung in Richtung Komplexität kann also ausgeschlossen werden.

Zusammenfassend kann man für die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation, die sich in der Fähigkeit der Kinder zur Modellbildung zeigt, festhalten, dass das Wissen in einem Systembereich einen großen Einfluss auf die Fähigkeit hat, Elemente und Beziehungen in einem Bezugsrahmen zu organisieren. Der durchgeführte Unterricht konnte die Fähigkeiten der Kinder im Bereich Systemorganisation deutlich beeinflussen. Systemkompetenz in diesem Bereich ist also schon von Grundschulern relativ leicht erlernbar. Diese Befunde decken sich mit den Ergebnissen der Studien von Klieme & Maichle (1994), Ossimitz (2000) und Maierhofer (2001) bei älteren Schülern.

Diskussion der Methode des Zeichnens von Begriffslandkarten:

Das Zeichnen von Begriffslandkarten ist eine Methode, mit der in der Grundschule bereits Erfahrungen gesammelt wurden (z. B. Treinies & Einsiedler, 1993). Mit Hilfe der Begriffslandkarten gelang es auch im vorliegenden Fall, einen erheblichen Lernzuwachs zu erreichen und zu dokumentieren. Diese Methode darf daher als die für die Grundschule geeignete systemische Darstellungsform angesehen werden. Die leichte Erlernbarkeit dieser Methode ermöglicht in zukünftigen Studien auch die Beschriftung der Pfeile als Verbindungen zwischen den Elementen zu verlangen. Im vorliegenden Fall wurde im VT und im ZT zum System Storch die Beschriftung der Pfeile nicht ausdrücklich verlangt, aber doch von der überwiegenden Mehrheit der Kinder durchgeführt.

Können Grundschüler im System Storch zwischen Eigenschaften des Systems und Eigenschaften der Elemente unterscheiden?

Diese Untersuchungsfrage wurde über zwei Aufgaben zum System Storch und eine Aufgabe zum System Schule operationalisiert. Die Fragen bezogen sich auf unterschiedliche Teilaspekte der Systemintegrität: dem Hinzufügen von wesentlichen Teilen in ein System (System Schule VT), dem Herausnehmen wesentlicher Teile aus einem System (System Storch NT) und der Isolierung der einzelnen Teile (System Storch NT). Die Ergebnisse unterschieden sich in Bezug auf die untersuchten Teilaspekte. Es fiel den Kindern relativ leicht, die Folgen des Hinzufügens oder Entfernens relevanter Systemteile zu beurteilen. Dagegen war es für die Kinder wesentlich schwieriger zu erkennen, dass sich isolierte Teile eines Systems nicht wie Teile in einem intakten System verhalten. Die Unterschiede in den Ergebnissen beruhen also nicht auf dem zugrunde liegenden Wissen zu den verschiedenen Systemen. Da alle Fragen zu den Eigenschaften des Systems Storchs im Nachtest gestellt wurden, kann man davon ausgehen, dass eine geeignete Wissensbasis zur Beantwortung der Fragen zur Verfügung stand.

Da Fragen zur Systemintegrität in keiner der vorliegenden Studien zum Systemdenken getestet wurden, können die Ergebnisse nicht in Bezug zu den Leistungen älterer Schüler gesetzt werden.

Können Grundschüler im System Storch dynamische Beziehungen erkennen?

Mit dieser Untersuchungsfrage sollte geklärt werden, ob Grundschüler das Entwicklungsverhalten des Systems Storch erkennen können. Entwicklungen lassen sich beim Weißstorch u. a. in der Individualentwicklung und im jahreszeitlichen Verhalten erkennen. Die Untersuchungsfrage wurde über zwei Fragen operationalisiert, die einen unterschiedlichen Anspruch an das zur Beantwortung der Frage notwendige Wissen stellen. Während die erste Frage nach den Veränderungen der Nahrungsansprüche bei der Entwicklung des Storchs von Jungvogel zu Altvogel mit einem allgemeinen biologischen Wissen zu Vögeln zu beantworten ist, kann die zweite Frage nach den Gründen für das unterschiedliche Verhalten des Storches in seinem Sommer- und Winterquartier nur mit

speziellem biologischem Wissen zum Storch beantwortet werden. Während im ersten Fall die Hälfte aller Kinder einen Einfluss der wechselnden Bedürfnisse des Storches in verschiedenen Lebensphasen erkennt, sind es bei der Frage nach dem Einfluss der Jahreszeiten auf das Verhalten des Storches nur noch 13,5% der Kinder, die das veränderte Verhalten über die Brutplatzbindung im Sommerquartier erklären. Obwohl den Schülern der Grund für das veränderte Verhalten in Afrika im Computerspiel benannt wurde, waren sie offensichtlich nur zu einem kleinen Teil in der Lage diese Hinweise aufzunehmen und bei der Beantwortung der Frage einzusetzen.

Vergleiche der Ergebnisse mit Angaben aus der Literatur sind aufgrund der unterschiedlichen Testverfahren und Systeme nicht möglich.

Grundschüler sind also unter der Bedingung, dass sie auf allgemeines Vorwissen zurückgreifen können, durchaus in der Lage, dynamische Beziehungen zu erkennen, haben aber Schwierigkeiten, wenn sie spezifisches biologisches Wissen zum Erkennen der dynamischen Beziehung einsetzen müssen.

Können Grundschüler im System Storch die Folgen von Veränderungen vorhersagen?

Die Fähigkeiten im Bereich Vorhersage der Folgen von Veränderungen unterscheiden sich ebenfalls in Abhängigkeit vom jeweils erforderlichen Wissenstyp. Für die Veränderungen im System Storch, die auf einer starken Erhöhung der Anzahl an Eiern pro Brutpaar beruhen sollen, können zwei Drittel der Kinder spezifische Folgen für das System beschreiben. Darin eingeschlossen sind 10% der Kinder, die spontan eine Rückwirkung auf den Storch aufgrund von Nahrungs- und/oder Nistplatzmangel beschreiben. Zur Darstellung der Folgen dieser Art von Veränderungen benötigen die Kinder nur grundlegendes biologisches Wissen.

Zur Beantwortung der zweiten Frage nach den Folgen eines Nahrungsmangels im Frühjahr ist dagegen ein spezifisches biologisches Wissen zum Storch nötig. Rund ein Drittel der Kinder kann spezifische Folgen eines Wegfalls der Frühjahrshauptnahrung des Weißstorchs beschreiben.

Es hat sich also auch in diesem Fall gezeigt, dass die Leistungen geringer sind, wenn spezielles biologisches Wissen fehlt. Ist es vorhanden, können Grundschüler die Folgen von Veränderungen vorhersagen.

Können Grundschüler im System Storch verschieden komplexe Wirkungen beurteilen?

Die vier Aufgaben, die die Fähigkeit zum Beurteilen von Wirkungen im System Storch testen, unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Komplexität. Die Frage zum Einfluss der Stromleitungen auf den Storch prüft das Verständnis einer direkten Wirkung auf den Storch. Mehr als vier Fünftel der Kinder beschreibt die Wirkung auf den Storch richtig, obwohl dafür spezielles biologisches Wissen zum Storch benötigt wird.

Die Frage nach den Folgen der Veränderung der Landschaft durch den Menschen ist nur durch eine indirekte Wirkungsbetrachtung zu beantworten. Diese indirekte Wirkung auf den Storch können vier Fünftel aller Kinder beschreiben, obwohl sie spezielles Wissen zum Storch voraussetzt.

Eine weitere indirekte Wirkung wurde mit der Frage nach dem Einfluss der Regenmenge auf das Futter des Storchs getestet. Auch diese indirekte Wirkung können knapp vier Fünftel aller Kinder korrekt darstellen.

Der komplexeste Zusammenhang wurde mit der Frage nach dem Einfluss des Niederschlages in Afrika einige Monate vor Ankunft des Storchs in diesem Gebiet überprüft. In dieser Frage stehen Ursache und Wirkung sowohl in zeitlicher als auch in räumlicher Distanz zueinander. Die Schüler mussten zur Beantwortung dieser Frage spezielle biologische Wissensteile zum Storch miteinander verknüpfen, die sie im Computerspiel erwerben konnten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die untersuchten Schüler kaum Schwierigkeiten mit dem Erkennen direkter und auch indirekter Wirkungen im System Storch hatten. Selbst komplexe Wirkungen mit räumlicher und zeitlicher Distanz von Ursache und Wirkung werden noch von einem Viertel der Schüler erfasst, obwohl die Schüler dazu spezielles Wissen zum Weißstorch benötigten.

Das Erkennen von Fernwirkungen, das Bestandteil der Untersuchung von Maierhofer (2001) war (s. 2.2.2.2), kann nicht mit der vorliegenden Untersuchung verglichen werden, da es sich hinsichtlich Definition der Fernwirkung, Kontext der Aufgabenstellung und Untersuchungsgruppe grundlegend von der vorliegenden Aufgabe unterscheidet.

Können Grundschüler im System Storch Rückwirkungen erkennen und beschreiben?

Die Fähigkeit zum Erkennen von Rückwirkungen wurde an einer kleineren Schülergruppe mithilfe von Interviews erhoben. Den Schülern wurde ein einfaches, auf eine Räuber-Beute-Beziehung reduziertes System und ein komplexeres System in Form eines Nahrungsnetzes mit Eingriff durch den Menschen vorgestellt.

In dem reduzierten System beschreiben zwei Drittel der Kinder spontan eine Rückwirkung, fast alle können die Zusammenhänge durch Nachfrage aufeinander beziehen. Für das komplexere System reduziert sich die Anzahl der spontanen Nennungen von Rückwirkungen auf wenige Kinder. Nach einer Hinführung zu einer halbquantitativen Betrachtungsweise beschreiben wieder zwei Drittel aller Kinder eine Rückwirkung und verbinden alle Elemente biologisch richtig miteinander. Die Beschreibung von Rückwirkungen erfolgte während des ganzen Interviews ausschließlich verbal. Die Kinder mussten die Rückwirkungen also nicht selbst symbolisch darstellen.

Schlussfolgerungen und Perspektiven

Um aus den dargestellten Ergebnissen der Untersuchung der Systemkompetenz weiterführende Schlussfolgerungen ziehen zu können, soll zunächst kurz auf die **Generalisierbarkeit der Ergebnisse** eingegangen werden.

Ziel der meisten Studien im schulischen Bereich ist es, die anhand einer Auswahl von Schülern gewonnenen Erkenntnisse auf eine Gruppe von Schülern verallgemeinern zu können, die die gleichen Merkmale wie die untersuchte Gruppe aufweist. Es sollen also möglichst allgemein gültige Aussagen über die entsprechende Gruppe der Schüler getroffen werden, auf deren Grundlage die zukünftige Unterrichtsgestaltung erfolgen kann. Die

didaktische Forschung steht oft vor dem Problem die untersuchten Effekte zum einen möglichst sicher auf kontrollierte Einflüsse zurückzuführen, was nur mit Hilfe eines kontrollierten Experiments im Labor gelingen könnte. Zum anderen aber sollen „ökologisch valide“ Aussagen gemacht werden, die Gültigkeit für die schulische Realität mit ihrer Vielzahl an kaum kontrollierbaren Einflüssen haben. Das Problem der Sicherstellung der ökologischen Validität wurde in dieser Arbeit durch verschiedene Maßnahmen zu lösen versucht: Zum einen wurde die Datenerhebung auf eine breite empirische Basis gestellt. Dazu wurden alle Grundschulen Schleswig-Holsteins eingeladen, sich an der Untersuchung zu beteiligen. Die Auswahl der teilnehmenden Lehrer erfolgte im Hinblick auf eine ausgewogene Beteiligung von Schulen aus dem städtischen und ländlichen Raum. Daraus ergab sich eine relativ breite Basis von 27 Schulklassen, die an der Untersuchung teilnahmen. Zum anderen wurde durch vorbereitete Unterrichtsmaterialien versucht, den Unterricht in allen Klassen möglichst einheitlich zu gestalten. Trotzdem hatten die Lehrkräfte und die jeweiligen Umstände einen Einfluss auf den Unterricht (s. 5.5.3, Einfluss der Lehrkraft). Solche Einflüsse sind tolerierbar, solange sie keine systematischen Zusammenhänge zwischen Variablen abbilden, da sie dann über eine Variablenkonfundierung das Ergebnis verfälschen würden. Systematische Zusammenhänge zwischen Lehrkraft und anderen abhängigen Variablen wurden in der Voruntersuchung nicht festgestellt. Gelingt es, über diese natürliche Heterogenität hinaus, statistisch nachweisbare Effekte der Intervention abzubilden, kann man davon ausgehen, dass diese verallgemeinerbar sind (Bortz & Döring, 1995).

Auch die Reliabilität der Testinstrumente muss im Hinblick auf eine Verallgemeinerung der Ergebnisse geklärt werden. Die Reliabilität, d. h. die Frage, ob die Testinstrumente zuverlässige Meßinstrumente sind, wird über Messwiederholungen unter den gleichen Bedingungen getestet, die zum selben Ergebnis führen sollen (Bortz & Döring, 1995). In der vorliegenden Studie sind über das Testdesign Messwiederholungen gegeben. Wie an verschiedenen Ergebnissen ersichtlich, korrelieren die einzelnen Testteile miteinander (s. z. B. 5.2.2, 5.4.1). Sie können und sollen sich allerdings nicht vollständig decken, da sie eingesetzt wurden um einen Lerneffekt, d. h. eine Veränderung, nachzuweisen. Dieser wird durch den Zuwachs von einem Testteil zum anderen abgebildet.

Für die qualitativen Forschungsanteile der vorliegenden Arbeit in Form der Interviews sind ähnliche Maßnahmen zur Sicherung der Generalisierbarkeit eingesetzt worden. Die Auswahl der interviewten Schüler fand zufällig statt; die Schüler wurden mit Hilfe eines halbstandardisierten Interviewleitfadens befragt, so dass die Untersuchungsbedingungen vergleichbar waren. Mit Hilfe der „inhaltlichen Strukturierung“ (Mayring, 1993) werden dann bestimmte Aspekte der Aussagen herausgefiltert und im Hinblick auf ein erstelltes Kategoriensystem bewertet (s. 4.5.2.2). Zeigen sich bei einer kleinen Stichprobe starke Effekte wie im vorliegenden Fall, können sie auf die Gesamtheit der Schüler mit gleichen Merkmalen verallgemeinert werden.

Trennung in zwei Fähigkeitsbereiche in Bezug auf Systemorganisation und Systemeigenschaften

Wie in Kapitel 2.5 beschrieben werden die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Fähigkeiten aus zwei Bereichen der Systemtheorie abgeleitet, dem Bereich Systemorganisation und dem Bereich Systemeigenschaften.

Die beiden ersten diskutierten Untersuchungsfragen entstammen dem Bereich Systemorganisation, der sich mit den Fragen befasst, aus welchen Bestandteilen ein System besteht und wie diese Bestandteile miteinander verbunden sind. Damit hängt die Frage nach der Darstellung des Systems in Form eines Modells zusammen. Die Modellbildung ist die Grundlage der Beschäftigung mit einem System, das in aller Regel so komplex ist, dass es nicht in seiner Gesamtheit erfassbar ist. Ein Modell des Systems dient der Veranschaulichung der wesentlichen Elemente und Beziehungen des Systems. Nach Ossimitz (2000) ist das Lernen systemischen Denkens „auf das Engste mit dem Lernen entsprechender systemischer Darstellungsformen verbunden“, denn nur auf Grundlage einer zunächst internen Repräsentation des Modells, dass in einem weiteren Schritt in ein externes Modell überführt wird, kann über dieses System kommuniziert werden.

Die restlichen diskutierten Untersuchungsfragen betreffen Kompetenzkomponenten, die dem Bereich Systemeigenschaften zuzuordnen sind. Dieser befasst sich mit den besonderen Merkmalen und Reaktionsweisen eines Systems, die beim Umgang mit dynamischen Systemen beachtet werden müssen.

Die beiden Bereiche Systemorganisation und Systemeigenschaften stellen damit inhaltlich verschiedene Bereiche dar. In Kapitel 5.5 wurde gezeigt, dass sich die beiden Bereiche nicht nur inhaltlich, sondern auch anhand der Ergebnisse empirisch voneinander trennen lassen: Eine konfirmatorische Faktorenanalyse trennt die Fähigkeiten in zwei Bereiche, die sich bis auf eine Überschneidung exakt als Trennung zwischen den beiden Kompetenzbereichen darstellen.

Die Möglichkeit, dass sich die Bereiche nur aufgrund einer Konfundierung mit den Erhebungsmethoden unterscheiden, wird später diskutiert (s 6.3).

Auch aus anderen Studien ergeben sich Hinweise darauf, dass unter der Systemkompetenz verschiedene Fähigkeitsbereiche zusammengefasst sind. So finden Klieme & Maichle (1994) keinen Zusammenhang zwischen den in ihrer Studie erhobenen Fähigkeiten zur Modellbildung, also Fähigkeiten, die dem Bereich Systemeigenschaften zuzuordnen wären, und dem Umgang mit einem computergestützten Modellbildungssystem. Auch Steinberg (2001) konnte in ihrer Studie keinen direkten Zusammenhang zwischen dem Training von grafischen Modellrepräsentationen und der Steuerung einer komplexen Systemsimulation finden. Diese Befunde sprechen für verschiedene Kompetenzbereiche, die sich nur bedingt beeinflussen.

Hinweise auf Niveaustufen der Systemkompetenz bei Grundschulern

Im Hinblick auf die zunehmende Bedeutung systemischer Betrachtungsweisen in den Bildungsstandards der Schulen wäre eine Beschreibung eines Kompetenzstufenmodells für Systemkompetenz wünschenswert. Die meisten bisherigen Untersuchungen beschränken sich

in ihren Untersuchungszielen auf die Frage nach der Entwicklung von systemischem Denken auf die Trainierbarkeit dieser Fähigkeit durch Unterricht (Ossimitz, 2000; Maierhofer, 2001; Klieme & Maichle, 1994). Aus diesen Studien wurden keine unterschiedlichen Fähigkeitsniveaus abgeleitet, die die Systemkompetenz im Sinne eines Stufenmodells beschreiben würden. Orion (eingereicht) leistete auf diesem Gebiet Pionierarbeit, in dem er drei oder vier Levels beschreibt, denen er unterschiedliche Fähigkeiten zuordnet. Orion kann in seiner Studie empirisch belegen, dass die von ihm beschriebenen Fähigkeiten bei der Entwicklung systemischen Denkens nacheinander erreicht werden. Die kognitiven Fähigkeiten, die in einer Stufe erworben wurden, stellen laut Orion die Basis für die Entwicklung der nächst höheren Fähigkeit dar (s. 2.4.2.3). Die Befunde der vorliegenden Studie scheinen dagegen nicht für ein Stufenmodell zu sprechen, in dem jeweils eine Fähigkeit auf der anderen aufbaut, sondern für Abstufungen innerhalb der verschiedenen Fähigkeiten. Die untersuchten Grundschüler zeigen in keiner der beschriebenen Teilfähigkeiten ein völliges Versagen, welches sich zeigen müsste, wenn die zugrunde liegende Fähigkeit noch nicht entwickelt ist.

Lecher (1997) liefert eine sehr detaillierte Ableitung eines Stufenmodells aus der Theorie. Bei ihm werden 10 Komponenten mit je 6 Stufen unterschieden. Dabei werden zu jeder einzelnen Komponente Abstufungen formuliert, die allerdings über die Systemkompetenz von Schülern, insbesondere Grundschulern, weit hinausgehen. Lechers Stufenmodell wäre zur Einordnung der gesamten Bandbreite der Systemkompetenz über das Schulniveau hinaus geeignet.

Betrachtet man die Hinweise, die Klieme et al. (2003) zur Entwicklung von Kompetenzstufenmodellen für den Einsatz in der Schule geben, so zeigt sich, dass die Stufen im Allgemeinen Mischungen der Facetten (Wissen, Können, Handeln, Verstehen, Motivation, usw.) darstellen sollen. „Jede Kompetenzstufe ist dabei durch kognitive Prozesse und Handlungen von bestimmter Qualität spezifiziert, die Schülerinnen und Schüler auf dieser Stufe bewältigen können, nicht aber auf niedrigeren Stufen“ (Klieme et al. 2003, S. 62).

Auf der Basis dieser Definition ließen sich anhand der in der vorliegenden Studie getesteten Kompetenzkomponenten verschiedene Niveaus der jeweiligen Fähigkeiten beschreiben. Die Abstufungen der Fähigkeiten sind dabei innerhalb jeder Kompetenzkomponente zu finden. Die Kriterien zur Abstufung beziehen sich auf eine zunehmende Komplexität in Verbindung mit zunehmend spezifischerem Wissen.

Interpretiert man die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit im Hinblick auf die Entwicklung von Systemkompetenz kann man für die jeweiligen Kompetenzkomponenten drei Niveaustufen unterscheiden.

Für die Fähigkeit zur Organisation von Elementen und Beziehungen in einem Organisationsrahmen können Kinder auf der untersten Ebene isolierte Elemente angeben, die nicht über Beziehungen verknüpft werden. Auf der mittleren Ebene sind die Kinder in der Lage, monokausale Beziehungen zu knüpfen, auf der höchsten Ebene werden die Elemente netzwerkartig verknüpft. Die letzte Ebene erreichen in der vorliegenden Untersuchung die meisten Kinder.

Im Bereich der Systemintegrität können die Kinder auf der untersten Stufe nicht zwischen den Eigenschaften von Elementen und den Eigenschaften des Systems unterscheiden, infolge

dessen messen sie einem Entfernen oder Hinzufügen von wesentlichen Elementen keine Bedeutung für die Funktion des Systems bei. Auf der mittleren Stufe können die Kinder die Folgen des Hinzufügens oder Entfernens von Teilen aus einem System beschreiben. Die überwiegende Mehrheit der untersuchten Kinder ist auf dieser Stufe einzuordnen. Auf einer noch höheren Niveaustufe ist die Fähigkeit, das Verhalten isolierter Teile im Gegensatz zum Verhalten der Teile in einem System zu beurteilen, anzusiedeln. Diese Stufe wird von einem Drittel aller Kinder erreicht.

Zum Erkennen von dynamischen Beziehungen lassen sich Abstufungen in Bezug auf das zugrunde liegende biologische Wissen formulieren. Auf der untersten Ebene können die Kinder keine dynamischen Beziehungen erkennen, auf der mittleren Ebene werden solche dynamische Beziehungen erkannt, die auf der Basis eines allgemeinen biologischen Wissen zu erfassen sind. Auf dieser Stufe finden sich in der vorliegenden Untersuchung die meisten Kinder. Auf dem höchsten Niveau werden dynamische Veränderungen erkannt, denen spezielle biologische Zusammenhänge zugrunde liegen.

Für den Bereich des Vorhersagens von Folgen von Veränderungen gelten die gleichen Stufen mit Bezug zum allgemeinen bzw. speziellen biologischen Wissen. Die höchste Stufe erreicht ein Drittel der untersuchten Kinder.

Im Bereich Beurteilen von Wirkungen können die Kinder auf dem untersten Niveau keine Wirkungen beurteilen, auf dem mittleren Niveau sind die Kinder in der Lage direkte und indirekte Wirkungen zu beurteilen und auf dem höchsten Niveau werden komplexe Wirkungen mit räumlicher und zeitlicher Distanz zwischen Ursache und Wirkung beschrieben. Ca. ein Viertel der hier untersuchten Kinder erreicht das höchste Niveau.

Eine besondere Form der Wirkungen stellen die Rückwirkungen dar. Auch hier lassen sich unterschiedliche Niveaus formulieren. Auf dem untersten können die Schüler keine Rückwirkungen beschreiben, auf einem mittleren Niveau werden Rückwirkungen in einem einfachen System beschrieben. Das höchste Niveau lässt sich durch das Erkennen von Rückwirkungen in einem komplexen System beschreiben.

Die genannten Niveaustufen sollen in der folgenden Abbildung 87 zur Übersicht zusammengefasst werden. Die Darstellung versteht sich dabei als Diskussionsgrundlage zur weiteren Erforschung der Systemkompetenz bei Grundschulern. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll den Stand der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung widerspiegeln.

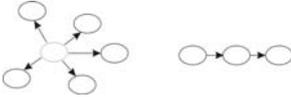
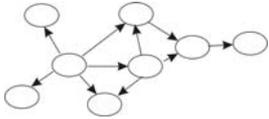
Kompetenz-Komponenten	niedrigstes Niveau	mittleres Niveau	höchstes Niveau
Verbindung von Elementen und Beziehungen in Bezugsrahmen	Elemente und Beziehungen werden nicht verbunden. 	Elemente und Beziehungen werden monokausal verbunden. 	Elemente und Beziehungen werden vernetzt. 
Unterscheidung zw. Eigenschaften des Systems und der Elemente	Keine Unterscheidung.	Folgen der Veränderung des Systems durch Hinzufügen oder Entfernen von Teilen werden beschrieben.	Folgen der Veränderung des Systems durch Isolation der Elemente werden beschrieben.
dynamische Beziehungen erkennen	Keine dynamischen Beziehungen werden erkannt.	Einfache dynamische Beziehungen werden aufgrund allg. biolog. Wissens erkannt.	Dynamische Beziehungen werden aufgrund speziellen biolog. Wissens erkannt.
Folgen von Veränderungen vorhersagen	Keine Folgen von Veränderungen werden vorhergesagt.	Folgen von Veränderungen werden aufgrund allg. biolog. Wissens vorhergesagt.	Folgen von Veränderungen werden aufgrund Kenntnis speziellen biolog. Wissens vorhergesagt.
Wirkungen beurteilen	Keine Wirkungen werden beurteilt.	Direkte und indirekte Wirkungen werden beurteilt.	Komplexe Wirkungen mit räumlicher und zeitlicher Distanz zwischen Ursache und Wirkung werden beschrieben.
Rückwirkungen erkennen	Keine Rückwirkungen werden erkannt.	Rückwirkungen in einem einfachen System werden erkannt.	Rückwirkungen in einem komplexen System werden erkannt.

Abbildung 88: Kompetenzstufenmodell auf der Basis der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit

Inwiefern die Abstufung der Komponenten ihrerseits aufeinander aufbauen, ob also ein Kind beispielsweise vor Erreichen des dritten Niveaus das zweite Niveau beherrschen muss, lässt sich anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht beurteilen. Der empirische Nachweis einer zeitlichen Aufeinanderfolge der Niveaustufen muss Gegenstand weiterer Forschung sein.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass das situationale Interesse sich einerseits signifikant auf den Bereich der Systemkompetenz auswirkt, der sich auf den Umfang des im Modell dargestellten Wissens bezieht und andererseits ebenfalls signifikant das biologische Wissen im Computerspiel beeinflusst. Das situationale Interesse wirkt sich nicht auf die Darstellung des Vorwissens aus. Auch mit längerem zeitlichem Abstand zum Erhebungszeitpunkt hat es keinen Einfluss mehr auf die Lernprodukte. Die Hypothese 1 wird unter diesen Einschränkungen bestätigt.

Das **individuelle Interesse** von Schülern am Unterrichtsfach beschreibt das über eine bestimmte Situation hinweg andauernde Interesse. Ausgehend von den theoretischen Erörterungen des Einflusses von individuellem Interesse auf das Lernprodukt wurde mit Hypothese 2 ein Einfluss auf die Lernprodukte des hier untersuchten Lernprozesses erwartet. Diese Erwartungen wurden aber nur zum Teil erfüllt. Die Analysen zeigten, dass das individuelle Interesse nur auf den Umfang des im Vortest dargestellten systemischen Wissens einen Einfluss hatte. In den folgenden Testteilen wirkte es sich weder auf die Fähigkeiten im Bereich Systemorganisation noch auf die Fähigkeiten im Bereich Systemeigenschaften signifikant aus. Auch auf den Erwerb von biologischem Wissen hatte es keinen nachweisbaren Einfluss. Hypothese 2 kann damit weder angenommen noch zweifelsfrei abgelehnt werden.

Es gibt mehrere mögliche Gründe dafür, dass der Zusammenhang zwischen dem individuellen Interesse und den abhängigen Variablen sich nicht so eindeutig gezeigt hat, wie aus der allgemeinen Unterrichtsforschung zu erwarten war. Zum einen könnte ein vorhandener Einfluss von anderen Faktoren überdeckt werden, wenn die Varianz des individuellen Interesses sich mit der anderer Faktoren deckt (wie z. B. des situationalen Interesses). Die gemeinsame Varianz dieser Variablen wird dann herausgerechnet, sie könnte aber der Teil sein, der einen Einfluss auf die abhängige Variable hat. Des Weiteren könnte der undeutliche Zusammenhang an der begrenzten Itemauswahl zur Erfassung des individuellen Interesses gelegen haben. Damit in Zusammenhang steht, dass die Erhebung des individuellen Interesses am Sachunterricht problematisch ist, weil dieses Fach ein relativ breites inhaltliches Feld abdeckt: Im Sachunterricht der Grundschule werden neben naturwissenschaftlichen Themen auch Verkehrserziehung, Heimatkunde, Technik sowie soziale und geschichtliche Aspekte behandelt. Insofern könnte ein Interesse an diesem Fach ein zu weiter Rahmen zur Identifizierung individuellen biologischen Interesses sein.

Daneben ist der Einfluss des Interesses auf die Schulleistung in der Interessenforschung nicht unumstritten. Helmke & Weinert (1997) berichten von Metaanalysen (Schiefele et al., 1993), die lediglich eine mittlere Korrelation von $r = .12$ zwischen motivationalen Variablen und schulischen Leistungen feststellen. Dabei verbergen sich hinter den motivationalen Variablen allerdings sehr unterschiedliche Konstrukte. Bei einer Einschränkung auf das Interessenskonstrukt zitieren Helmke & Weinert (1997) allerdings Werte von $r = .41$. Die Wirkungsweise des Interesses als Bedingungsfaktor für Lernen und für Schulleistungen wird

mit komplexen motivationalen und kognitiven Orientierungen, Lernstrategien, Prozessen der Aufmerksamkeitssteuerung und emotionalen Begleitzuständen erklärt (Helmke & Weinert, 1997). Das heißt, der Einfluss des Interesses auf das Lernprodukt wird über Mediatorvariablen vermittelt. Demzufolge hätte das Interesse auch eine gemeinsame Varianz mit den erhobenen kognitiven Variablen und könnte – wie oben vermutet – durch andere Variablen verdeckt werden.

In den Studien zum systemischen Denken von Maierhofer (2001), Ossimitz (2000), Klieme & Maichle (1994) und Steinberg (2001) wurde das individuelle Interesse der Schüler nicht untersucht, so dass hier keine Vergleichsmöglichkeiten bestehen.

b) kognitive Faktoren

Das **biologische Vorwissen** stellt für den Kompetenzbereich Systemorganisation im Vor- und im Zwischentest einen signifikanten Prädiktor dar. Ebenso wirkt sich das biologische Vorwissen signifikant auf die Fähigkeiten im Bereich Systemeigenschaften aus. Damit wird der bedeutende Einfluss, der dem Vorwissen in der Literatur zugeschrieben wird, für diese Studie bestätigt. Hypothese 3 kann damit angenommen werden.

Allerdings bleibt erklärungsbedürftig, warum das biologische Vorwissen sich auf die Ergebnisse für den Bereich Systemorganisation im Posttest nicht mehr auswirkt. Diese Entwicklung wird wahrscheinlich auf den Ausgleich des Wissensvorsprungs der Kinder mit höherem Vorwissen durch die Unterrichtseinheit und eine zunehmende Routine im Umgang mit dem Aufgabentyp zurückzuführen sein. Dieser Interpretation zufolge müsste das im Laufe der Unterrichtseinheit erworbene Wissen auch den Effekt des Vorwissens für den Bereich Systemeigenschaften ausgleichen. Allerdings handelt es sich bei den Fragen zu Systemeigenschaften um neue und deutlich unterschiedliche Aufgabenstellungen. Für diese ist der Einfluss des Vorwissens insofern von Bedeutung, als hier auch auf allgemeines biologisches Wissen zurückgegriffen wird.

Die Bedeutung des Vorwissens wird auch in den Ergebnissen verschiedener anderer Studien bestätigt (Putz-Osterloh, 1987; Steinberg, 2001; Ossimitz, 2000; Maierhofer, 2001).

Das **bereichsspezifische systemische Vorwissen**, das in der Komplexität der Modellbildung zum Ausdruck kommt, hat auf beide abhängige Variablen im Bereich Systemorganisation im Zwischentest einen signifikanten Einfluss. Auch auf die Fähigkeiten im Bereich Systemeigenschaften im NT wirkt es als signifikanter Prädiktor. Für diese Testteile kann die Hypothese 4 als belegt angesehen werden.

Das bereichsspezifische systemische Vorwissen hat dagegen keinen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse im Posttest für den Bereich Systemorganisation sowie auf das biologische Wissen im Computerspiel. Zur Interpretation des wechselnden Einflusses sei auf die Erklärungsversuche zum Einfluss des biologischen Vorwissens verwiesen. Da es sich in beiden Fällen um Vorwissensformen handelt, können die Zusammenhänge als gleichartig angesehen werden.

Das **abstrakte Denkvermögen** als ein Teilbereich der Intelligenz hat in keinem der untersuchten Testteile einen signifikanten Einfluss auf die Systemkompetenz. Hypothese 5 kann somit für die vorliegende Untersuchung verworfen werden.

Die Befunde zum Einfluss der Intelligenz auf die Systemkompetenz in anderen Studien sind nicht eindeutig. In einer der ersten Untersuchungen zum systemischen Denken fand Dörner (1989) keinen Zusammenhang zwischen Maßen psychometrischer Intelligenztests und der Lösung von Aufgaben zum Problemlösen im Umgang mit Systemen. In den Studien von Klieme & Maichle (1994), Ossimitz (2000), Steinberg (2000) und Maierhofer (2001) wurde der Einfluss von Intelligenz auf die Systemkompetenz nicht untersucht. Orion & Assaraf (eingereicht) finden in ihrer Untersuchung einen Einfluss der Intelligenz auf die Fähigkeit, mit dem Systemkonzept umzugehen. Allerdings geht aus ihrer Studie nicht hervor, wie die Intelligenz ermittelt wurde. Während die genannten Untersuchungen speziell zum Einfluss der Intelligenz auf Systemkompetenz also zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, wird die Bedeutung von Intelligenz umso klarer, je allgemeiner der betrachtete Lernprozess ist. Für den Bereich des Problemlösens wurde in neueren Studien ein Einfluss der Intelligenz als eine allgemeine Voraussetzung zum Erkennen und effektiven Einsetzen von Algorithmen festgestellt (Funke, 1992). Ergebnisse aus der Expertiseforschung, in der u. a. die Problemlöseleistungen von Experten und Novizen untersucht werden, zeigen, dass Expertise sowohl durch ein gewisses Maß an allgemeiner Intelligenz als auch durch ein breites domänenspezifisches Vorwissen gekennzeichnet ist (Wild, Hofer, & Pekrun, 2001). Der Einfluss der Intelligenz auf noch allgemeinere Variablen wie Schulleistungen wurde in der Literatur vielfach beschrieben (Helmke & Weinert, 1997; Weinert, 1996), ihr Anteil an der Erklärung von Schulleistungen ist aber umstritten. Untersuchungen in der Expertiseforschung belegten darüber hinaus, dass intelligenzbedingte Unterschiede von Lernenden durch ein differenziertes bereichsspezifisches Vorwissen mehr als kompensiert werden können (Wild, Hofer, & Pekrun, 2001). Die Längsschnittstudie SCHOLASTIK (1995) von Weinert und Helmke (zitiert aus Helmke, 1997), in der der Zusammenhang von Intelligenz, Vorwissen und Mathematikleistung bei Grundschulkindern untersucht wurde, ergab, dass der Zusammenhang zwischen Intelligenz und hochautomatisierten Arithmetikleistungen auf Null absinkt, wenn die Vorkenntnisse herauspartialisiert werden.

Neben den diskutierten Möglichkeiten, dass kein Zusammenhang zwischen Intelligenz und Systemkompetenz besteht, bzw. dass ein vorhandener Zusammenhang von anderen Variablen verdeckt wird, besteht des Weiteren die Möglichkeit, dass die eingesetzten Testmethoden nicht geeignet waren, einen Zusammenhang nachzuweisen. Wie erwähnt stellt der verwendete Test zum abstrakten Denkvermögen eine Auskopplung aus einem umfangreicheren Intelligenztest dar. Obwohl dieser Testteil auch schon in anderen Studien eingesetzt wurde (CROSSTEL, Geiser et al., 1997), könnte der fehlende Zusammenhang auf der Reduktion des Gesamttests beruhen. Diese Annahme kann nur durch weitere spezieller fokussierende Untersuchungen geprüft werden, bei der z. B. der Gesamttest zur Intelligenzerfassung eingesetzt wird.

c) Soziale Faktoren

Die **Klassenstufe** stellt die Variable dar, die auch die Alterseffekte abdeckt (vgl. Kapitel 4.5.4.1). Sie hat einen signifikanten Einfluss auf die Systemkompetenz im Zwischen- und Posttest für den Bereich Systemorganisation, gemessen an der Variablen Umfang des dargestellten Wissens. Auch auf die Fähigkeiten im Bereich Systemeigenschaften hat sie einen signifikanten Einfluss. Das gleiche gilt für das biologische Wissen. Damit konnte lediglich kein signifikanter Einfluss der Klassenstufe auf die Variable Vernetzung im Bereich Systemorganisation nachgewiesen werden.

Der Einfluss des Alters tritt auch in den Untersuchungen von Klieme & Maichle (1994) an älteren Schülern zutage. Ossimitz (2000) findet dagegen keine signifikanten Zusammenhänge. Aus der Entwicklungspsychologie ist bekannt, dass während der Kindheit und zum Teil auch in der Jugendzeit Lebensalter und kognitive Entwicklung sehr stark mit einander konfundiert sind. Trotzdem unterscheiden sich die Schulleistungen von Kindern einer Altersstufe zum Teil erheblich. Helmke & Weinert (1997) führen dies darauf zurück, dass das Alter nur durch seinen Hinweischarakter auf Reifungsvorgänge, Lernprozesse und Bildungseinflüsse praktische Bedeutung für die Vorhersage von Schulleistungen gewinnt. Insofern stellt die in der vorliegenden Untersuchung genutzte Variable Klassenstufe bereits eine Anpassung des reinen Lebensalters an die schulische Leistungsfähigkeit dar. In aller Regel stellen die ältesten Kinder einer Klassenstufe keineswegs die leistungsstärksten dar. Dieser Effekt kommt wahrscheinlich durch zurückgestellte Kinder zustande.

Das **Geschlecht** hat nur für die Vernetzung des Wissens (Systemorganisation) im Vortest einen signifikanten Vorhersagewert. Dort schneiden die Mädchen besser ab als die Jungen. In anderen Studien zur Systemkompetenz finden sich keine Hinweise auf Unterschiede zwischen den Geschlechtern (Klieme & Maichle, 1994; Maierhofer, 2001; Ossimitz, 2000).

Geschlechtsabhängige Leistungsdifferenzen im Bereich der Grundschule werden in der Internationalen Grundschul-Lese-Untersuchung (IGLU) gefunden. In dieser Untersuchung zeigt sich eine tendenziell höhere Lesekompetenz der Mädchen und eine tendenziell höhere Kompetenz der Jungen im naturwissenschaftlich-mathematischen Bereich (Bos et al., 2004). Ob damit ein Zusammenhang zum unterschiedlichen Abschneiden der Mädchen in Bezug auf die Vernetzung des Wissens im Vortest der vorliegenden Untersuchung besteht, kann im Rahmen dieser Studie nicht geklärt werden.

6.2.2 Externe Einflussfaktoren auf den Erwerb von Systemkompetenz und biologischem Wissen

Auf einen Lernprozess und damit auch auf sein Ergebnis haben über die sogenannten internen Bedingungen des Schülers hinaus noch eine ganze Reihe kontextbezogener Faktoren einen Einfluss. Davon konnte in der vorliegenden Arbeit nur ein kleiner Ausschnitt erhoben werden.

Betrachtet man die Unterschiede zwischen den Klassen, so sind große Streuungen in den Leistungen zu bemerken. Die Analyse der Standardabweichungen der einzelnen Klassen vom

Mittelwert aller Schüler zu den getesteten abhängigen Variablen zeigt, dass sich die einzelnen Klassen in ihren Leistungen voneinander unterscheiden. Die Standardabweichungen bilden damit die natürliche Streuung zwischen den Klassen ab. Die Ursachen für die Unterschiede zwischen den Klassen können vielfältig sein. Sicherlich werden die Lehrkraft und durch sie beeinflusste Faktoren wie Klassenklima, Unterrichtsstil, usw. einen starken Anteil an den Schwankungen zwischen den Klassen haben. Darüber hinaus spielen aber auch außerschulische Faktoren wie die Eltern und z. B. deren sozio-ökonomischer Hintergrund eine große Rolle (Schwippert, Bos, & Lankes, 2004). Die Frage, welcher Anteil der Klassenunterschiede durch die Lehrkraft und welcher durch andere Faktoren verursacht wird, kann mit dieser Arbeit nicht beantwortet werden.

Wie in Kapitel 5.5.3 dargestellt, haben die Klassenunterschiede keinen Einfluss auf die Betrachtungen der Systemkompetenz der Schüler, da für diese Auswertungen nur Differenzen zwischen verschiedenen Testteilen betrachtet wurden. Sie können sich aber auf die Regressionsanalysen zum Einfluss der internen Faktoren auf die Systemkompetenz auswirken. Wie erwähnt wurde die unabhängige Variable Klassenzugehörigkeit trotzdem nicht in die Analyse aufgenommen, da sie einige Effekte überdecken, bzw. den gemeinsamen Anteil mit anderen Variablen herausrechnen würde. Die dargestellten Effekte treten *trotz* der natürlichen Schwankungen zwischen den Klassen auf (vgl. 6.1).

Durch den im Rahmen der begleitenden Evaluation des Gesamtprojekts „System Erde“ entworfenen Lehrerfragebogen (Hlawatsch, Lücken, Hansen, Fischer, & Bayrhuber, 2005) konnten einige Einflüsse der Lehrkraft und des Unterrichts näher untersucht werden. Da die vorliegende Studie im Rahmen von „System Erde“ durchgeführt wurde, sollen die Ergebnisse an dieser Stelle zusammenfassend beurteilt werden. Sie bestätigen, dass die externe Lernsteuerung einen Einfluss auf die Lernprodukte hat. Betrachtet man einzelne Bereiche der externen Lernsteuerung, so zeigt sich, dass dem jeweiligen Lehrer ein großer Einfluss zukommt. Dies macht sich sowohl in den Unterschieden zwischen den einzelnen Klassen als auch im partiellen Austausch der Lehrkraft durch die Versuchsleiterin bemerkbar.

Die Behandlung systemischer Aspekte im Unterricht und die Berücksichtigung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen wirkten sich positiv auf die verschiedenen Bereiche der Systemkompetenz aus. Besonders auffällig ist der positive Einfluss fast aller überprüfter Einflussfaktoren auf den letzten Testteil, in dem die Komplexität der Begriffslandkarten zum System Storch mit einigen Tagen bis Wochen Abstand zum vorangegangenen Unterricht erhoben wurde. Die Kinder erreichten in diesem Testteil – wie aus den Auswertungen in Kapitel 5.2 hervorgeht – auch die höchsten Testwerte.

Die Darstellung systemischer Aspekte im Unterricht und die Berücksichtigung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen wirkten sich ebenfalls positiv auf das Verständnis von Systemeigenschaften und das biologische Wissen aus. Auf die Komplexität der Begriffslandkarten im Zwischentest haben die genannten Faktoren den geringsten Einfluss, obwohl die Unterrichtseinheit und damit die erfassten Einflussfaktoren zeitlich vor diesem Testteil lagen. Offensichtlich haben diese Faktoren mit einigem Abstand zum Ereignis den größten Einfluss und wirken am deutlichsten auf den Testteil mit der größten zugrunde

liegenden Erfahrung. Dies könnte ein Hinweis auf einen gewissen „Reifungsprozess“ des Wissens und der damit verbundenen Fähigkeiten sein.

In Abhängigkeit von der Berücksichtigung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen, von systemischen Aspekten und von Aspekten der nachhaltigen Bildung im Unterricht zeigen sich in weiten Teilen der Systemkompetenz Unterschiede. Diese entsprechen im wesentlichen den Ergebnissen der Gesamtevaluation des Projektes „System Erde“ (Hlawatsch et al., 2005). Aus den Ergebnissen kann man folgern, dass die Berücksichtigung der vorgeschlagenen Leitideen im Unterricht einen positiven Einfluss auf den Erwerb von Systemkompetenz hat.

6.3 Systemkompetenz als bereichsspezifische versus bereichsübergreifende Fähigkeit

- Hinweise auf die Bereichsunabhängigkeit der Systemkompetenz

In der vorliegenden Studie wurde versucht, über zwei verschiedene Analyseformen einen Beitrag zur Frage nach der Bereichsspezifität von Systemkompetenz zu liefern. Zum einen wurde der Einfluss von bereichsfremder Systemkompetenz auf die Systemkompetenz im System Storch getestet. Zum anderen wurden die erreichten Leistungen in den beiden inhaltlich unterschiedlichen Systemen verglichen.

In den ersten Analysen konnte ein Zusammenhang zwischen dem bereichsfremden systemischen Vorwissen zum System Schule auf die Systemkompetenz im System Storch nachgewiesen werden. Für die Systemkompetenz wurde sowohl bei den abhängigen als auch bei den unabhängigen Variablen zwischen den Bereichen Systemorganisation und Systemeigenschaften unterschieden. Im Vortest zeigte sich ein signifikanter Einfluss von bereichsfremdem systemischem Vorwissen im Bereich Systemorganisation auf beide abhängigen Variablen des Bereichs Systemorganisation Storch. Im Zwischentest verhielt es sich ebenso. Das bereichsfremde systemische Vorwissen im Bereich Systemeigenschaften hatte einen signifikanten Einfluss auf die Systemorganisations-Variable Umfang des dargestellten Wissens im System Storch und auf die Variable Systemeigenschaften im NT Storch. Mit anderen Worten: Es besteht ein Bezug zwischen der Systemkompetenz im System Schule und der Systemkompetenz im System Storch. Außerdem beeinflussen sich die gleichen Bereiche der Systemkompetenz, mit Ausnahme des Einflusses von Systemeigenschaften des Systems Schule auf den Umfang des zum System Storch dargestellten Wissens im PT.

Zwischen dem System Schule und dem System Storch besteht kein inhaltlicher Zusammenhang. Wenn die Systemkompetenzen im System Schule und im System Storch sich trotzdem beeinflussen, spricht dies für eine bereichsübergreifende Verbindung zwischen den beiden Systemen. Es liegt nahe, darin einen Hinweis auf eine bereichsübergreifende Systemkompetenz zu sehen.

Bei kritischer Betrachtung könnte dieser Zusammenhang allerdings auch über einen Konfundierungseffekt zustande kommen. Da die Kompetenzen in den Bereichen Systemorganisation und Systemeigenschaften mit zwei unterschiedlichen Methoden erhoben wurden, könnte sich statt des Zusammenhangs über Systemkompetenzbereiche ein

Zusammenhang über die jeweilige Methode abbilden. Dagegen spricht allerdings, dass sich die Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften auch auf den Umfang des Wissens über das System Storch im PT auswirkt.

- Hinweise auf die Bereichsabhängigkeit der Systemkompetenz

Von der Bereichsabhängigkeit einer Fähigkeit kann dann gesprochen werden, wenn diese Fähigkeit nur in einem speziellen Inhaltsbereich gezeigt werden kann. Schachexperten zeigen z. B. ihre besonderen Gedächtnisleistungen nur für das Behalten von Figurenstellungen im Schachspiel, nicht aber für das Erinnern von Telefonnummern (Chi et al., 1982). Die besondere Leistung setzt ein ausreichendes Vorwissen und Erfahrung voraus.

In der vorliegenden Studie zeigten die Schüler Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation, und zwar im Vortest für das System Schule, nicht aber für das System Storch. Offensichtlich hatten die Schüler zu diesem Zeitpunkt zu wenig Wissen über das System Storch.

Im Anschluss an die Unterrichtseinheit haben die Kinder zum System Storch vielfältiges Wissen erworben. Die beiden untersuchten Systeme sollten sich in Bezug auf die Leistungen der Schüler nun nicht mehr durch das verfügbare Vorwissen, sondern nur noch durch ihren unterschiedlichen Kontext (Gesellschaft und Biologie) unterscheiden. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass die Leistungen der Schüler zum System Storch PT die Leistungen zum System Schule sogar übertreffen.

Aus diesen Befunden ergibt sich eine deutliche Abhängigkeit der Leistung vom Vorwissen. Wenn das Vorwissen nicht vorhanden ist (System Storch VT), kann auch keine Systemkompetenz im Bereich Organisation gezeigt werden. Ist das bereichsspezifische Wissen nach der Unterrichtseinheit aufgebaut, können die Kinder auch höhere Leistungen im Bereich Systemorganisation zeigen. Damit ist Wissen eine notwendige Bedingung für die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Da dieses Wissen bereichsspezifisch ist, ergibt sich aus diesen Befunden zwangsläufig ein Hinweis auf eine *bereichsspezifische* Vorwissensabhängigkeit der Systemkompetenz.

Ein bereichsübergreifender Anteil der Systemkompetenz ist damit allerdings nicht ausgeschlossen. Die oben dargestellten Befunde zu einer *bereichsübergreifenden* Komponente der Systemkompetenz könnten in Übereinstimmung gebracht werden mit der Annahme, dass *bereichsspezifisches* Vorwissen eine notwendige Voraussetzung für eine Vernetzung dieses Wissens ist. Das vernetzte Wissen lässt sich mit zunehmender Erfahrung im Umgang mit verschiedenen Systemen immer besser in Modellen darstellen, so dass sich hieraus eine *bereichsübergreifende* Kompetenz zur Modellbildung (also zur Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation) ergibt.

Dabei handelt es sich keineswegs nur um eine Übertragung von Methodenkompetenz, wie der Vergleich von System Schule und System Storch im Vortest zeigt. Obwohl die Kinder das System Storch im Vortest nach dem System Schule bearbeiteten, ist die Komplexität der Darstellung für das System Storch signifikant geringer.

Mit dieser Annahme wäre die Frage danach, ob Systemkompetenz eine bereichsspezifische Kompetenz oder eine bereichsübergreifende „Schlüsselqualifikation“ ist, mit einem „sowohl – als auch“ beantwortet. Zumindest für den Bereich Modellbildung, also für die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation, wäre auch eine Übereinstimmung mit den folgenden Charakteristika von bereichsübergreifenden Kompetenzen gegeben.

Im Gegensatz zu den bereichsspezifischen Kompetenzen werden von Klieme et al. (2001) unter sog. „Schlüsselqualifikationen“ oder „fächerübergreifenden Kompetenzen“ Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten verstanden, die auf neue Situationen übertragen werden können und somit sicherstellen, dass im späteren Privat- und Berufsleben immer neue, noch unbekannte Herausforderungen gemeistert werden können.

Laut Klieme et al. (2001) werden fächerübergreifende Kompetenzen wie folgt umschrieben:

- Sie werden in verschiedenen Fächern und Lerngebieten gefordert und/oder gefördert.
- Sie helfen bei der Bewältigung komplexer, ganzheitlicher Aufgaben in realistischen Kontexten.
- Sie können auf neuartige, nicht explizit im Lehrplan enthaltene Anforderungssituationen transferiert werden und
- lassen sich als allgemeine Fähigkeitsdimensionen identifizieren.

Auf die hier untersuchte Fähigkeit zur Systemorganisation können diese Punkte übertragen werden. Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation wurde im vorliegenden Fall in zwei unterschiedlichen Inhaltsbereichen, dem System Schule und dem System Storch, gefördert und untersucht. Die Fähigkeit zur Systemorganisation hilft bei der kriteriengeleiteten Reduzierung der komplexen Realität auf durchschaubare Modelle. Es sprechen einige Hinweise dafür, dass sie unter der Bedingung eines ausreichenden Vorwissens von einer Anforderungssituation auf die andere übertragen werden kann. Sie stellt als Fähigkeit zur Modellbildung eine allgemeine Fähigkeitsdimension dar.

Inwiefern sich die Ergebnisse dieser Untersuchung an zwei verschiedenen Systemen weiter auf andere Inhaltsgebiete übertragen lassen und die aufgrund der vorliegenden Ergebnisse aufgestellten Vermutungen bestätigen können, kann hier nicht geklärt werden. Ebenso müsste es Gegenstand weiterer Forschung sein, inwiefern die Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften anhand der von Klieme et al. (2001) benannten Kriterien eine bereichsübergreifende Fähigkeit darstellt.

Zusammenfassende Schlussfolgerungen für die schulische Praxis

Aus den dargestellten Leistungen in Bezug auf die Systemkompetenzkomponenten kann man folgern, dass Grundschüler grundsätzlich in der Lage sind, Systemkompetenz auf einem einfachen, grundschulgemäßen Niveau zu erwerben. Sie zeigen dabei außerdem einen erheblichen Zugewinn in der Menge und Komplexität ihres biologischen Wissens.

Es zeigte sich, dass es sich bei der Erstellung von Begriffslandkarten um eine Methode handelt, die ohne großen Übungsaufwand zu einem deutlichen Gewinn an systemischen Darstellungsmitteln führt.

Das Erlernen dieses systemischen Darstellungsmittels ist für Grundschüler innerhalb recht kurzer Zeit möglich. Sie sollten in die Darstellung von Begriffslandkarten explizit eingeführt werden. In Bezug auf die Methode des Anfertigens von Begriffslandkarten stellte sich heraus, dass Grundschüler fähig sind, Begriffslandkarten mit beschrifteten Pfeilen, die unterschiedliche Beziehungen (Oberbegriffs-/Unterbegriffsrelation, Wirkungsbeziehungen, zeitliche Beziehungen, usw.) darstellen, zu zeichnen. Mit der Darstellung von qualitativen Wirkungsdiagrammen sind sie dagegen überfordert.

In die Bildungspläne der Grundschulen werden vermehrt systemische Gesichtspunkte in verschiedenen Inhaltzusammenhängen aufgenommen. Entwicklungsvorgänge, Veränderungen und deren Wirkungen, Wechselwirkungen und Anpassungen sind systemische Charakteristika, die in den Bildungsstandards der vierten Grundschulklasse zu finden sind (Bildungsplan Grundschule Baden-Württemberg, 2004). Sie sollten nicht nur an spezielle Inhalte geknüpft werden, denn sie haben für viele Inhaltsbereiche eine Bedeutung. Zu ihrem bereichsübergreifenden Verständnis über den jeweiligen Vermittlungskontext hinaus könnte eine systemische Betrachtungsweise beitragen.

7 Literatur

- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., & Weiber, R. (2003). *Multivariate Analysemethoden*. Berlin: Springer.
- Bayrhuber, H., Bündler, W., Euler, M., Hansen, K.-H., Hassenpflug, W., Hildebrandt, K., Hlawatsch, S., et al. (2002). *Didaktik Analysis for the System Earth Project. The analytical foundation of the System Earth Project*. Paper presented at the IOSTE, Sao Paulo.
- Bayrhuber, H., & Kull, U. H. (2005). *Linder Biologie*. Braunschweig: Schroedel.
- Bayrhuber, H., & Schaefer, G. (1980). *Kybernetische Biologie*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Bertalanffy, L. v. (1968). *General System Theory. Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller.
- Berthold, P., & Querner, U. (2002). Vogelzug - Prinzesschens Reisen nach Afrika. *Spektrum der Wissenschaft*.
- Bildungsplan Grundschule Baden-Württemberg*. (2004).
- Bortz, J., & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin: Springer.
- Bos, W., Lankes, E., Prenzel, M., Schwippert, K., Valtin, R., & Walther, G. (2004). *IGLU*. Münster: Waxmann.
- Bossel, H. (1987). *Systemdynamik*. Braunschweig: Vieweg.
- Bossel, H. (1994). *Modellbildung und Simulation*. Braunschweig: Vieweg.
- Bower, G. H. (1969). Chunks as inference units in free recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 8, 610-613.
- Bransford, J., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (1999). *How People learn*. Washington D.C: National Academy Press.
- Brosius, F. (2004). *SPSS 12*. Bonn: mitp-Verlag.
- Brown, A. L., & DeLoache, J. (1978). Skills, plans and self-regulation. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bühl, A., & Zöfel, P. (2000). *SPSS Version 10. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows*. München: Addison-Wesley.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT/Bradford.
- Cattell, R. B. (1968). Are IQ Test intelligent? *Psychology today*, 16.
- Chi, M., Feltovich, P., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*(5), 121-152.
- Chi, M. T. H. (1978). Knowledge structures and memory development. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 73-96). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chi, M. T. H., Glaser, R., & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the Psychology of Human Intelligence* (Vol. 1). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Creutz, G. (1988). *Der Weiss-Storch*. Wittenberg: A. Ziemsen Verlag.

- Curry-Lindahl, K. (1982). *Das große Buch vom Vogelzug*. Berlin: Parey.
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Misslingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Reinbek: Rowohlt.
- Duit, R. (1997). Alltagsvorstellungen und Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht - Forschungsstand und Perspektiven für den Sachunterricht der Primarstufe. In Köhnlein (Ed.), *Kinder auf dem Weg zum Verstehen der Welt*: Klinkhardt.
- Dumke, D. (1984). Die hierarchische Strukturierung von Unterrichtsinhalten als Lernhilfe in der Grundschule. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 31, 43-49.
- Einsiedler, W. (2002). Empirische Forschung zum Sachunterricht - ein Überblick. In *GDSU-Tagungsband: Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht Bd. 5*: Klinkhardt Verlag.
- Eschenhagen, D., Kattmann, U., & Rodi, D. (1996). *Fachdidaktik Biologie*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Fiedler, G., & Wissner, A. (1980). Freileitungen als tödliche Gefahr für Störche (*C. ciconia*). *Ökol. Vögel*, 2 (Sonderheft), 59-109.
- Forrester, J. W. (1969). *Urban Dynamics*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Frank, M. (2000). Engineering Systems Thinking and Systems Thinking. *Systems Engineering*, 3, 63-168.
- Funke, J. (1992). *Wissen über dynamische Systeme: Erwerb, Repräsentation und Anwendung*. Berlin: Springer.
- Geiser, H., Baumert, J., & Evans, R. H. (1997). Auswirkungen der Fernsehnutzung auf Alltagsfahrten, Kontrollüberzeugungen und Leistungen im Sachunterricht bei Grundschulkindern. In B. Marquardt-Mau, Köhnlein, W., Lauterbach, R. (Ed.), *Forschung zum Sachunterricht. Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts* (Vol. 7, pp. 77-100). Heilbrunn: Klinkhardt.
- Gomez, P., & Probst, G. (1987). Vernetztes Denken im Management: Eine Methodik des ganzheitlichen Problemlösens. In *Die Orientierung 89*. Bern: Schweizerische Volksbank.
- Gomez, P., & Probst, G. (1995). *Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens*. Bern: Haupt.
- Helmke, A., & Weinert, F. E. (1997). Bedingungsfaktoren schulischer Leistungen. In F. E. Weinert (Ed.), *Psychologie des Unterrichts* (Vol. 3). Göttingen: Hogrefe.
- Hildebrandt, K., & Bayrhuber, H. (2002). *Student's conceptions about System Earth - system thinking in the carbon cycle context*. Paper presented at the NARST 7, New Orleans.
- Hlawatsch, S., Lücken, M., Hansen, K.-H., Fischer, M., & Bayrhuber, H. (2005). *Forschungsdialo: System Erde. Schlussbericht*. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- Jäger, A. O. (1982). Mehrmodale Klassifikation von Intelligenzleistungen: Experimentkontrollierte Weiterentwicklung des deskriptiven Intelligenzstrukturmodells. *Diagnostica*, 18, 195-225.
- Jäger, A. O. (1984). Intelligenz-Strukturforschung: Konkurrierende Modelle, neue Entwicklungen, Perspektiven. *Psychologische Rundschau*, 35, 21-35.
- Kaatz, C. (2004). *Mitteilungsblatt 96 der BAG Weißstorchschutz*. Bonn: NABU.

- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Ein Rahmen für naturwissenschafts-didaktische Forschung und Entwicklung. *ZfDN*, 3, 3-18.
- Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruber, H., Prenzel, M., et al. (2003). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards*. Berlin: Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung und Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Klieme, E., & Maichle, U. (1991). *Erprobung eines Modellbildungssystems im Unterricht. Bericht über eine Pilotstudie zur Unterrichtsevaluation*. Bonn: Institut für Test- und Begabungsforschung.
- Klieme, E., & Maichle, U. (1994). *Modellbildung und Simulation im Unterricht der Sekundarstufe I*. Berlin: Institut für Bildungsforschung.
- Klieme, E., Stanat, P., & Artelt, C. (2001). Fächerübergreifende Kompetenzen: Konzepte und Indikatoren. In F. Weinert (Ed.), *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim: Beltz.
- Krapp, A. (1992). Konzepte und Forschungsansätze zur Analyse des Zusammenhangs von Interesse, Lernen und Leistung. In A. P. Krapp, M. (Ed.), *Interesse, Lernen, Leistung* (Vol. 26, pp. 9-52). Münster: Aschendorffsche Verlagsbuchhandlung.
- Krapp, A. (2001). Interesse. In D. Rost (Ed.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (pp. 286-294). Weinheim: Beltz PVU.
- Kroß, A., & Lind, G. (2001). Einfluss von Vorwissen auf Intensität und Qualität des Selbsterklärens beim Lesen mit biologischen Beispielaufgaben. *Unterrichtswissenschaften*, 1, 5-25.
- Lecher, T. (1997). *Die Umweltkrise im Alltagsdenken*. Weinheim: Beltz.
- Mackensen-Friedrichs, I. (2004). *Förderung des Expertiseerwerbs durch das Lernen mit Beispielaufgaben im Biologieunterricht der Klasse 9*, from http://e-diss.uni-kiel.de/diss_1303/
- Maierhofer, M. (2001). *Förderung des systemischen Denkens durch computerunterstützten Biologieunterricht*. Herdecke: GCA-Verlag.
- Malik, F. (1992). *Strategie des Managements komplexer Systeme*. Bern: Haupt.
- Martschinke, S. (1996). Der Aufbau mentaler Modelle durch bildliche Darstellungen. Eine experimentelle Studie über die Bedeutung der Merkmalsdimensionen Elaboriertheit und Strukturiertheit im Sachunterricht der Grundschule. *Zeitschrift für Pädagogik*, 42, 215-232.
- Mayer, J., Harms, U., Hammann, M., Bayrhuber, H., & Kattmann, U. (2004). Kerncurriculum Biologie der gymnasialen Oberstufe. *MNU*, 57(3), 166-173.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayring, P. (1993). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.
- McKoon, G., & Radcliff, R. (1980). Priming in item recognition: The organization of propositions in memory for text. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 19, 369-386.
- Meadows, D., Meadows, D., & Zahn, E. (1973). *Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*. Reinbek: Rowohlt.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. New York: Cambridge Press.

- Odum, E. P. (1983). *Grundlagen der Ökologie*. Stuttgart: Thieme.
- Orion, N., & Assaraf, O. (eingereicht). The Development of System Thinking Skills in the Context of Earth. *Journal of research in science teaching*.
- Ossimitz, G. (1991). Darstellungsformen in der Systemdynamik. In K. e. al. (Ed.), *Anschauliche und Experimentelle Mathematik* (pp. 175-184). Wien: Hölder-Pichler-Tempsky.
- Ossimitz, G. (1997). *Einführung und Kommentar zum Lehrplankapitel "Untersuchung vernetzter Systeme"*, 1998, from www.uni-klu.ac.at/users/gossimitz/sydn/lkom.htm
- Ossimitz, G. (2000). *Entwicklung systemischen Denkens*. Wien: Profil.
- Ossimitz, G. (o.J.). *Systematisches Denken braucht systemische Darstellungsmittel*
- Paivio, A. (1983). The empirical case for dual coding. In J. C. Yuille (Ed.), *Imagery, memory and cognition* (pp. 307-332). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Peuckert, J. (1999). Concept Mapping - Lernen wir unsere Schüler kennen! *Physik in der Schule*, 37, 47-55.
- Putz-Osterloh, W. (1987). Gibt es Experten für Problemlösen? *Zeitschrift für Psychologie*, 195, 63-84.
- Richmond, B. (1993). Systems Thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review*, 9(2), 113-133.
- Rieck, K., & Bayrhuber, H. (2004). Forschungsdialog: "System Erde" - Inhalte und Kompetenzen für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht. In A. Hartinger, Fölling-Albers, M. (Ed.), *Lehrerkompetenzen für den Sachunterricht* (pp. 93-99). Bad Heilbrunn: Klinkhardt Verlag.
- Rost, J., Lauströer, A., & Raack, N. (2003). Kompetenzmodelle einer Bildung für Nachhaltigkeit. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie*, 8/52, 10-15.
- Rost, J., & Strauß, B. (1993). Zur Wechselwirkung von Informationsdarbietung und mentalem Modell beim Umgang mit einem komplexen Problem. *Sprache & Kognition*, 12(2), 73-82.
- Ruiz-Primo, M. A., & Shavelson, R. J. (1996). Problems and Issues in the Use of Concept Maps in Science Assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), 569-600.
- Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1978). Das aktive strukturelle Netz. In D. E. R. D. A. Norman (Ed.), *Strukturen des Wissens*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Sackl, P. (1987). Über saisonale und regionale Unterschiede in der Ernährung und Nahrungswahl des Weißstorches (*Ciconia ciconia*) im Verlauf der Brutperiode. *Egretta*, 30, 49-80.
- Schaub, H., & Strohschneider, S. (1992). Die Auswirkungen unterschiedlicher Problemlöseerfahrung auf den Umgang mit einem unbekanntem, komplexen Problem. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 36, 117-126.
- Schecker, H., Klieme, E., Niedderer, H., Gerdes, J., & Ebach, J. (1997). *Physiklernen mit Modellbildungssystemen. Förderung physikalischer Kompetenz und systemischen Denkens durch computergestützte Modellbildungssysteme (Zwischenbericht zum DFG-Projekt)*. Bremen und Bonn: Universität Bremen, Institut für Bildungsforschung, Bonn.

- Schiefele, U., Krapp, A., & Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 25, 120-148.
- Schimkat, J., & Bäßler, R. (2001). Möglichkeiten der Erhaltung, Analyse und Verbesserung von natürlichen Nahrungsräumen für den Weißstorch. In C. u. M. Kaatz (Ed.), 2. *Jubiläumsband Weißstorch*: . Schönebeck: Staatliche Vogelschutzwarte im Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt.
- Schneider, W., Gruber, A., Gold, A., & Opivis, K. (1993). Chess expertise and memory for chess positions in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*(56), 323-349.
- Schulz, H. (1988). *Weißstorchzug - Ökologie, Gefährdung und Schutz des Weißstorchs in Afrika und Nahost*. Weikersheim: Verlag josef margraf.
- Schulz, H. (1993). *Der Weißstorch: Lebensweise und Schutz*. Augsburg: Naturbuch-Verlag.
- Schwippert, K., Bos, W., & Lankes, E. (2004). Heterogenität und Chancengleichheit am Ende der vierten Jahrgangsstufe in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland und im internationalen Vergleich. In W. Bos, Lankes, E., Prenzel, M., Schwippert, K., Valtin, R., Walther, G. (Ed.), *IGLU*. Münster: Waxmann.
- Sossinka, R., & Ballasus, H. (1997). Verhaltensökologische Betrachtungen von Effekten der Industrielandschaft auf freilebende Vögel unter besonderer Berücksichtigung von Freileitungen. *Vogel und Umwelt; Sonderheft: Vögel und Freileitungen*(9), 19-27.
- Steinberg, S. (2001). *Die Bedeutung graphischer Repräsentationen für den Umgang mit einem komplexen dynamischen Problem. Eine Trainingsstudie*. Berlin.
- Steinbuch, K. (1977). Denken in Modellen. In G. Schaefer, G. Trommer & K. Wenk (Eds.), *Denken in Modellen*. Braunschweig: Westermann.
- Steiner, G. (2001). Lernen und Wissenserwerb. In B. W. A. Krapp (Ed.), *Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Beltz.
- Süß, H. M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen*. Göttingen: Hogrefe.
- Thomsen, K.-M. (1995). *Auswirkungen moderner Landwirtschaft auf die Nahrungsökologie des Weißstorchs*. Paper presented at the International Symposium on the White Stork (Western Population), Basel.
- Thomsen, K.-M., Dziewiaty, K., & Schulz, H. (2001). *Zukunftsprogramm Weißstorch - Aktionsplan zum Schutze des Weißstorchs in Deutschland*. Bonn: NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.).
- Tischler, W. (1984). *Einführung in die Ökologie*. Stuttgart: Fischer.
- Treinius, G., & Einsiedler, W. (1993). Hierarchische und bedeutungsnetzartige Lehrstoffdarstellungen als Lernhilfe beim Wissenserwerb im Sachunterricht der Grundschule. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 40, 263-277.
- Vester, F. (1988). *Leitmotiv vernetztes Denken*. München: Heyne.
- Vester, F. (1997). *Neuland des Denkens*. München: DTV.
- Wechsler, D. (1975). Intelligence defined and undefined: A relativistic appraisal. *American Psychologist*, 30, 135-139.
- Weinert, F. (1996). Lerntheorien und Instruktionsmodelle. In F. E. Weinert (Ed.), *Psychologie des Lernens und der Instruktion* (Vol. 2). Göttingen: Hogrefe.

- Weinert, F. (1999). Concepts of Competence: A Conceptual Clarification. In OECD (Ed.), *Definition and selection of competencies: Theoretical and conceptual foundations (DeSeCo)*.
- Weinert, F. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Ed.), *Leistungsmessung in Schulen* (pp. 17-31). Weinheim: Beltz Verlag.
- Weiß, R. H. (1987). *Grundintelligenztest Skala 2 CFT 20*. Göttingen: Hogrefe.
- Wild, E., Hofer, M., & Pekrun, R. (2001). Psychologie des Lerners. In A. W. Krapp, B. (Ed.), *Pädagogische Psychologie* (pp. 207-267). Weinheim: Beltz PVU.
- Windelband, W. (1894). *Geschichte und Naturwissenschaft*. Straßburg: Universität.
- Zimbardo, P. G. (1992). *Psychologie*. Berlin: Springer.

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Punktevergabe für die Strukturkategorien.....	150
Tabelle 2:	Kategorien der qualitativen Analyse für die Aufgaben im Nachtest 18 - 22	154
Tabelle 3:	Kategorien der qualitativen Analyse für die Aufgaben im Nachtest 23-27:	155
Tabelle 4:	Kategorien zur inhaltlichen Beschreibung des biologischen Wissens in den Begriffslandkarten.....	159
Tabelle 5:	Punktevergabe für die Aufgaben im Computerspiel.....	160
Tabelle 6:	Zusammensetzung der motivationalen Variablen.....	165
Tabelle 7:	Entwicklung des individuellen und situationalen Interesses zwischen Vor- und Zwischentest.....	174
Tabelle 8:	Einschätzung des Vorwissens im Vergleich von Vor- und Zwischentest, bzw. Zwischen- und Nachtest.....	174
Tabelle 9:	Vergleich der Beurteilung von Unterricht und Computerspiel.....	175
Tabelle 10:	Mittelwertvergleich für die Differenzen der Anzahl Elemente in den verschiedenen Testteilen.....	180
Tabelle 11:	Mittelwertvergleich für die Differenzen der Anzahl Beziehungen in den verschiedenen Testteilen.....	181
Tabelle 12:	Mittelwertvergleich für die Differenzen des Umfangs des dargestellten Wissens in den verschiedenen Testteilen.....	183
Tabelle 13:	Mittelwertunterschiede im Lösen der Zweierbeziehungen zwischen den verschiedenen Testteilen.....	185
Tabelle 14:	Kreuztabellen zur Lösung der Dreierketten in den verschiedenen Testteilen...	186
Tabelle 15:	Kreuztabellen zur Lösung der Viererketten in den verschiedenen Testteilen...	187
Tabelle 16:	Mittelwertvergleich für die Differenzen der Vernetzung in den verschiedenen Testteilen.....	189
Tabelle 17:	Nichtparametrischer Vergleich der Differenzen der Struktur in den verschiedenen Testteilen.....	191
Tabelle 18:	Mittelwertvergleich für die Differenzen der Anzahl Propositionen; aufgeteilt nach inhaltlichen Kategorien.....	211
Tabelle 19:	Häufigkeitsverteilung der Kinder auf die Anzahl berücksichtigter Kategorien Angaben in Prozent der jeweiligen Gruppe.....	213
Tabelle 20:	Vergleich der Anzahl berücksichtigter Kategorien in den verschiedenen Testteilen.....	213
Tabelle 21:	Vergleich der erreichten mit den max. erreichbaren Punkten in den Abschnitten des Computerspiels.....	214
Tabelle 22:	Rotierte konfirmatorische Komponentenmatrix für die Systemkompetenz	215
Tabelle 23:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation.....	217
Tabelle 24:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation.....	218
Tabelle 25:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation.....	220
		272

Tabelle 26:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation	221
Tabelle 27:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation	222
Tabelle 28:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften	224
Tabelle 29:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften	224
Tabelle 30:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die abhängige Variable biologisches Wissen, Computerspiel; Analyse mit systemischem Vorwissen als unabhängige Variable.....	225
Tabelle 31:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die abhängige Variable biologisches Wissen, Computerspiel; Analyse ohne systemisches Vorwissen als unabhängige Variable.....	225
Tabelle 32:	Mittelwertsunterschiede in den Variablen der Systemkompetenz hervorgerufen durch persönliches Interesse der Lehrkraft am Unterrichtsthema (T-Test für unabhängige Stichproben)	228
Tabelle 33:	Mittelwertsunterschiede in den Variablen der Systemkompetenz hervorgerufen durch Organisationsmerkmale des Unterrichts (T-Test für unabhängige Stichproben)	229
Tabelle 34:	Korrelation der Unterrichtsdauer mit den Variablen der Systemkompetenz	231
Tabelle 35:	Mittelwertsunterschiede in den Variablen der Systemkompetenz durch Berücksichtigung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen (T-Test für unabhängige Stichproben)	232
Tabelle 36:	Mittelwertsunterschiede in den Variablen der Systemkompetenz durch Berücksichtigung systemischer Aspekte (T-Test für unabhängige Stichproben)	233
Tabelle 37:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des in den Begriffslandkarten dargestellten Wissens, VT	236
Tabelle 38:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Vernetzung, VT	237
Tabelle 39:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des im ZT zum System Storch dargestellten Wissens.....	237
Tabelle 40:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Vernetzung, ZT	238
Tabelle 41:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des in der Begriffslandkarte dargestellten Wissens, PT	239
Tabelle 42:	Statistische Kennwerte zum Einfluss auf die abhängige Variable Eigenschaften System Storch, PT	239

Tabelle 43: Zusammenfassung des Einflusses von bereichsfremdem systemischem Vorwissen auf die Systemkompetenz zum System Storch	240
Tabelle 44: Mittelwertvergleich für die Komplexität der Begriffslandkarten	241

9 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Überschneidung der Forschungsbereiche zum Untersuchungsgebiet.....	7
Abbildung 2: Einordnung des Kapitels Systemtheorie in den Gesamtaufbau der Arbeit	9
Abbildung 3: Systemdarstellung	11
Abbildung 4: Elemente in Systemen	12
Abbildung 5: Einordnung des Kapitels Systemisches Denken in den Gesamtaufbau der Arbeit.....	17
Abbildung 6: Vesters Acht Prinzipien der Natur, die das Überleben garantieren sollen (Vester, 1988).....	19
Abbildung 7: Schritte und Umsetzung zum ganzheitlichen Problemlösen nach Gomez & Probst, 1987	21
Abbildung 8: Ausubels hierarchische Wissensstruktur	45
Abbildung 9: Einfaches propositionales Netzwerk nach Rumelhart & Norman	46
Abbildung 10: hierarchische Concept map nach Novak & Gowin	47
Abbildung 11: netzwerkartige Concept map.....	48
Abbildung 12: Prozess der Modellbildung (Maierhofer, 2001 verändert nach Eschenhagen, Kattmann, & Rodi, 1996).....	50
Abbildung 13: Darstellungsformen in der Systemdynamik nach Ossimitz (1991)	52
Abbildung 14: Pfeildiagramme zur Darstellung von Kreisprozessen.....	55
Abbildung 15: Begriffslandkarte.....	56
Abbildung 16: Einordnung des Kapitels Kompetenzen in den Gesamtaufbau der Arbeit.....	58
Abbildung 17: Facetten einer Kompetenz nach Weinert und ihr Bezug zu bestimmten Fähigkeiten und Fertigkeiten.....	59
Abbildung 18: Einordnung des Kapitels Systemkompetenz in den Gesamtaufbau der Arbeit.....	62
Abbildung 19: Niveaus des ökologischen Denkens nach Lecher (1997).....	65
Abbildung 20: Übersicht über die wesentlichen Merkmale von komplexen, dynamischen Systemen	73
Abbildung 21: Ableitung der Systemkompetenzkomponenten aus der Systemtheorie und den Studien zum systemischen Denken: Bezugspunkt zur Untersuchung der Systemkompetenz von Grundschulern	78
Abbildung 22: Schematischer Lernprozess verändert nach Wild, Hofer, & Pekrun (2001)	79
Abbildung 23: Untersucher Lernprozess	80
Abbildung 24: Relationale Struktur der Bedeutungsvarianten des Interessenkonstrukts (nach Krapp, 1992).....	81
Abbildung 25: Variablenmodell zur Beschreibung und Erklärung des Zusammenhangs von Interesse, Lernen und Leistung nach Krapp (1992)	83
Abbildung 26: Das Berliner Intelligenzstrukturmodell mit Einordnung des CFT-20 nach Jäger (1982)	93
Abbildung 27: Einordnung des Kapitels "Biologische und fachdidaktische Theorie“ in den Gesamtaufbau der Arbeit.....	97

Abbildung 28: Die Ostroute des Weißstorchs.....	103
Abbildung 29: Technik des Segelfliegens.....	104
Abbildung 30: Bestandsentwicklung des Weißstorchs in Deutschland von 1934 bis 2003 ..	104
Abbildung 31: Einordnung des Themas in den Gesamtaufbau der Arbeit	106
Abbildung 32: Ableitung der Forschungsfragen aus dem theoretischen Bezugsrahmen.....	112
Abbildung 33: Darstellung der vermuteten Zusammenhänge zum Einfluss des bereichsspezifischen Vorwissens auf die Systemkompetenz.....	114
Abbildung 34: Darstellung der zu untersuchenden Zusammenhänge zum Einfluss des bereichsübergreifenden Vorwissens auf die Systemkompetenz	116
Abbildung 35: Übersicht über den Ablauf der Studie. VT: Vortest, ZT: Zwischentest, CT: Computerspieltest, NT: Nachtest, PT: Posttest.....	118
Abbildung 36: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Einleitung	122
Abbildung 37: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Lebensraumsuche	123
Abbildung 38: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Nahrungssuche	124
Abbildung 39: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Nistplatzsuche	125
Abbildung 40: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Film zum Brutgeschehen.....	125
Abbildung 41: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Zug nach Afrika	126
Abbildung 42: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Lebensraum- und Nahrungssuche in Afrika.....	127
Abbildung 43: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Begriffslandkarte.....	128
Abbildung 44: Szene aus dem Computerspiel "Ciconias abenteuerliche Reise": Abschluss	128
Abbildung 45: Beispiel für das Darstellen von Zweierbeziehungen im Vortest.....	130
Abbildung 46: Operationalisierung der in Kap. 2.5.3 abgeleiteten Komponenten der Systemkompetenz	133
Abbildung 47: Beispiel-Item aus dem eingesetzten Test zum abstrakten Denkvermögen	136
Abbildung 48: Beispiel einer zu ergänzenden Zweierbeziehung.....	138
Abbildung 49: Beispiel für die Vorlage einer Dreierkette	138
Abbildung 50: halbquantitative Darstellung des Systems 1: Störche und Fische.....	156
Abbildung 51: halbquantitative Darstellung des Systems 2: Störche und Heuschrecken in Afrika	157
Abbildung 52: Mögliche Einflussfaktoren auf den untersuchten Lernprozess.....	161
Abbildung 53: Übersicht über die theoretisch abgeleiteten Einflussfaktoren und die in die statistischen Berechnungen als unabhängige Variablen aufgenommenen Faktoren	166

Abbildung 54: Zusammensetzung der abhängigen Variablen Gesamtpunktzahl „Eigenschaften"	167
Abbildung 55: Einfluss auf Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation: Darstellung des Testdesigns	168
Abbildung 56: Einfluss auf Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften: Darstellung des Testdesigns	169
Abbildung 57: Untersuchung des bereichsübergreifenden Einflusses auf Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation: Darstellung des Testdesigns	171
Abbildung 58: Beurteilung des Schwierigkeitsgrades des Computerspiels.....	176
Abbildung 59: Beschäftigung mit dem Computer Angaben in Prozent.....	177
Abbildung 60: durchschnittliche Anzahl von Elementen in den verschiedenen Testteilen	179
Abbildung 61: Grafische Darstellung der Differenzen zwischen den Testteilen für die Anzahl Elemente	180
Abbildung 62: durchschnittliche Anzahl von Beziehungen in den einzelnen Testteilen.....	181
Abbildung 63: Grafische Darstellung der Differenzen zwischen den Testteilen für die Anzahl Beziehungen.....	182
Abbildung 64: Umfang des in den Begriffslandkarten dargestellten Wissens in den verschiedenen Testteilen	182
Abbildung 65: Vernetzung des Wissens in den verschiedenen Testteilen.....	188
Abbildung 66: Grafische Darstellung der Differenzen zwischen den Testteilen für die Vernetzung	189
Abbildung 67: Strukturen des Wissens der Begriffslandkarten in den verschiedenen Testteilen	190
Abbildung 68: Grafische Darstellung der Differenzen zwischen den Testteilen für die Struktur	192
Abbildung 69: Qualität der Antworten zum Hinzufügen von Elementen in ein System.....	194
Abbildung 70: Qualität der Antworten zum Entfernen von Teilen aus dem System Storch.....	195
Abbildung 71: Qualität der Antworten zum Verhalten von isolierten Teilen des Systems Storch.....	196
Abbildung 72: Beurteilung der Antworten auf das Erkennen eines Einflusses von wechselnden Bedürfnissen in verschiedenen Lebensphasen	198
Abbildung 73: Beurteilung der Antworten zum Erkennen eines Einflusses der Jahreszeiten auf das Verhalten des Storches	199
Abbildung 74: Beurteilung der Antworten auf das Erkennen der Folgen von Veränderungen	200
Abbildung 75: Beurteilung der Antworten auf das Vorhersagen der Folgen von Veränderungen	201
Abbildung 76: Beurteilung der Antworten auf das Erkennen eines Einflusses von Stromleitungen auf den Storch.....	203

Abbildung 77: Beurteilung der Antworten auf das Erkennen eines Einflusses von Lebensraumveränderungen auf den Storch	204
Abbildung 78: Beurteilung der Antworten auf das Erkennen eines Einflusses der Regenmenge auf das Futter des Storchs.....	205
Abbildung 79: Beurteilung der Antworten auf das Erkennen eines Zusammenhangs zwischen Regen in Afrika lange vor dem Storchenzug und dem Storch	206
Abbildung 80: Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des dargestellten Wissens, VT; Analyse ohne bereichsspezifisches systemisches Vorwissen als unabhängige Variable.....	216
Abbildung 81: Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Vernetzung, VT; Analyse ohne bereichsspezifisches systemisches Vorwissen als unabhängige Variable	218
Abbildung 82: Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des in den Begriffslandkarten dargestellten Wissens, ZT; Analyse mit bereichsspezifischem systemischem Vorwissen als unabhängige Variable	219
Abbildung 83: Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Vernetzung ; ZT. Analyse mit bereichsspezifischem systemischem Vorwissen als unabhängige Variable.....	221
Abbildung 84: Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz im Bereich Systemorganisation. Abhängige Variable: Umfang des in der Begriffslandkarte dargestellten Wissens im PT; Analyse mit bereichsspezifischem systemischem Vorwissen als unabhängige Variable	222
Abbildung 85: Einflussfaktoren auf die Systemkompetenz im Bereich Systemeigenschaften. Abhängige Variable: Eigenschaften, NT; Analyse mit bereichsspezifischem systemischem Vorwissen als unabhängige Variable.....	223
Abbildung 86: Einflussfaktoren auf die abhängige Variable biologisches Wissen im Computerspiel	224
Abbildung 87: Kompetenzstufenmodell auf der Basis der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit.....	255

10 Anhang

Nr.

Meine Schule heißt _____
 Ich gehe in die Klasse _____

Heute ist der _____
 Ich bin Jahre alt.

- Ich bin ein Mädchen.
- Ich bin ein Junge.

Hallo,

demnächst werdet ihr im Sachunterricht ein neues Thema behandeln. Heute möchten wir gerne wissen, was du schon vorher zum Thema Storch weißt.

Am Anfang ...

kreuzt du an, ob eine Aussage für dich stimmt.

Lies dir die Sätze genau durch und überlege, wie gut sie zu deiner eigenen Meinung passen.

Zum Beispiel:



Ich spiele gerne Fußball.

<i>stimmt gar nicht</i>	<i>stimmt wenig</i>	<i>stimmt ziemlich</i>	<i>stimmt genau</i>
<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="radio"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="radio"/>



Danach ...

schreibst du deine Antworten in Stichwörtern oder Wortgruppen auf. Es müssen keine ganzen Sätze sein. Außerdem gibt es Felder, in die du Begriffe einträgst und Pfeile, die du benennen sollst.

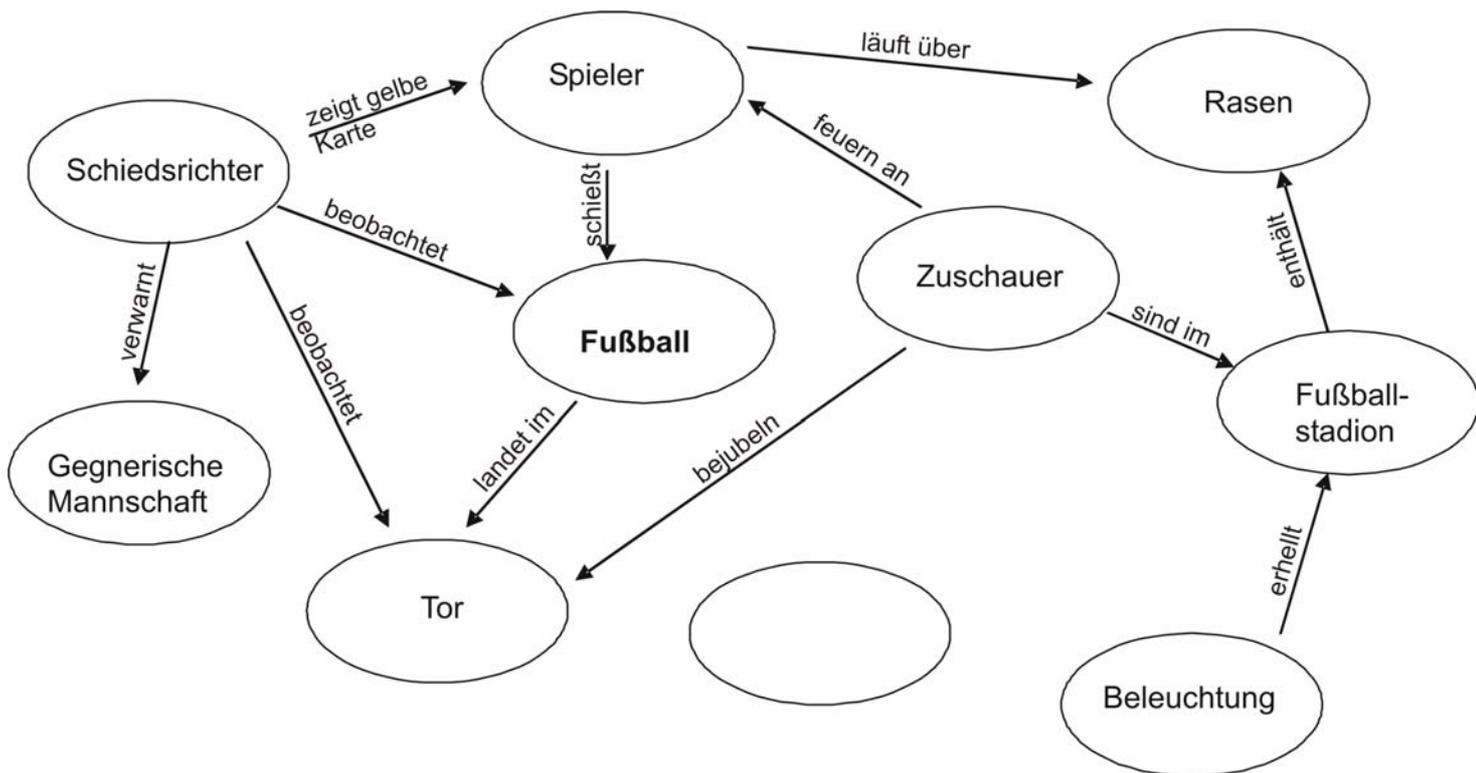
Viel Spaß beim Ausfüllen!!

Jetzt geht's los:

	<i>stimmt gar nicht</i>	<i>stimmt wenig</i>	<i>stimmt ziemlich</i>	<i>stimmt genau</i>
1) Sachunterricht ist mein Lieblingsfach	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="radio"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="radio"/>
2) Oft habe ich keine Lust auf den Sachunterricht:	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="radio"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="radio"/>
3) Ich freue mich auf den Unterricht zum Thema Storch	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="radio"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="radio"/>
4) Ich weiß schon viel zum Thema Storch	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="radio"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="radio"/>

5) Das würde ich gerne zum Thema **Storch** wissen:

In dieser Unterrichtsreihe wirst du öfter „Begriffslandkarten“ zeichnen. In einer Begriffslandkarte werden alle Begriffe gesammelt, die dir zu einem bestimmten Thema einfallen. Du schreibst diese Begriffe auf ein Blatt Papier. Dann ordnest du die Begriffe auf einem anderen Blatt Papier: die Begriffe, die irgendetwas mit einander zu tun haben, schreibst du näher zusammen und ziehst zwischen ihnen einen Pfeil. Auf den Pfeil schreibst du, was die Begriffe mit einander verbindet. Das ist ganz einfach, schau dir hier ein Beispiel an.

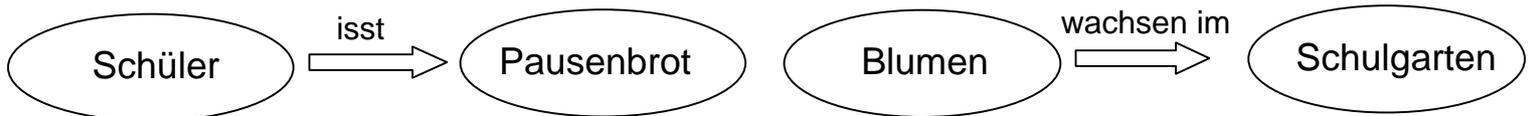


Man könnte diese Begriffslandkarte zum Fußball auch ganz anders zeichnen, es gibt viele verschiedene Möglichkeiten. Und: es gibt auch keine falschen Begriffslandkarten, also nur Mut!

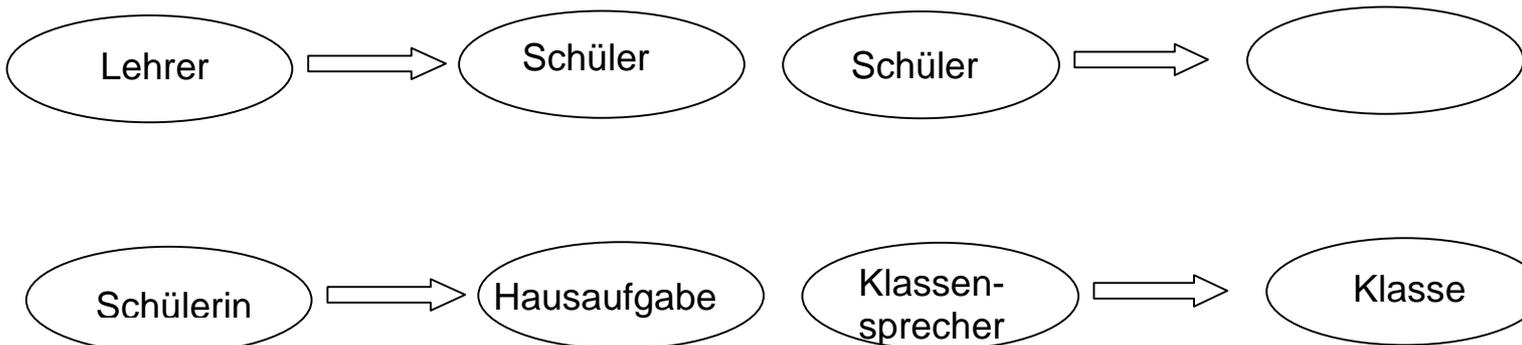
Jetzt wollen wir uns mit dem Thema **Schule** beschäftigen.

6) Zeichne eine Begriffslandkarte zum Thema **Schule**. Schreibe jeden Begriff in ein neues Feld. Verbinde die Begriffe, die etwas miteinander zu tun haben, mit einem Pfeil. An den Pfeil schreibst du, was die Begriffe miteinander zu tun haben.

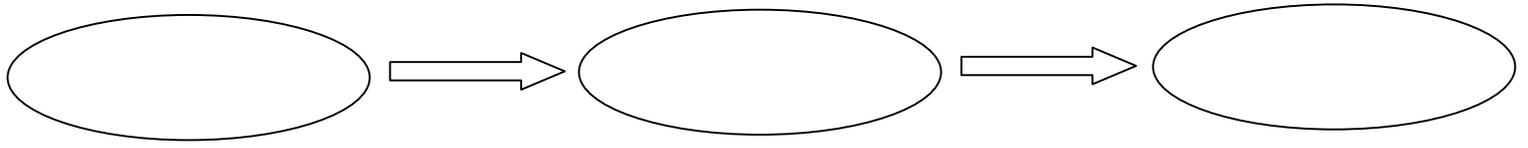
Beim Thema **Schule** gibt es viele verschiedene Zusammenhänge. Zum Beispiel diese:



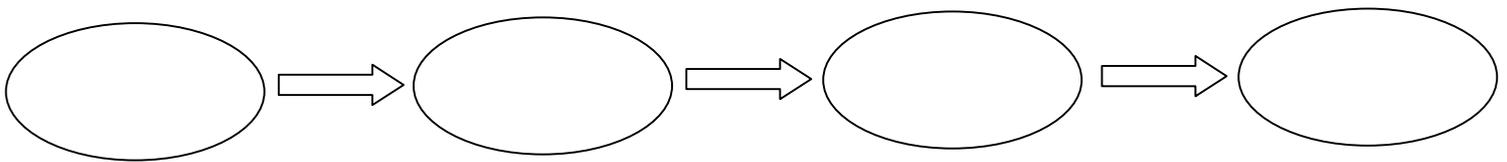
7) Kennst du auch die folgenden Zusammenhänge? Schreibe die fehlenden Begriffe in die leeren Felder und benenne die leeren Pfeile.



8) Man kann auch mehrere Begriffe zu einer Kette zusammensetzen. Schreibe Begriffe in die leeren Felder und benenne die Pfeile.



9) Kennst du sogar eine Viererkette zum Thema **Schule**? Schreibe Begriffe in die Felder und benenne die Pfeile.



10) Stell dir deine Schule in 100 Jahren vor. Hat sich etwas verändert? Schau dir die Begriffe an, die du in Frage 6 gesammelt hast und schreibe so viele Veränderungen auf, wie dir einfallen.

11) Stell dir vor, die Schule in einem nahegelegenen Dorf muss umgebaut werden und alle Schüler dieser Schule kommen nun in eure Schule. Welche Folgen hätte das ? Schreibe möglichst viele Folgen auf.

In den nächsten Stunden werdet ihr euch mit dem Thema Storch beschäftigen. Hier wollen wir herausfinden, was du schon vor dem Unterricht zum Thema Storch weißt. *Es ist also überhaupt nicht schlimm, wenn du manche Fragen nicht beantworten kannst.*

Bei den nächsten Fragen kreuzt du die Antworten an, die du für richtig hältst.

12) Welche Eigenschaften haben Vögel? Kreuze an:

- | | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------------|----------------------|
| <input type="checkbox"/> | haben Federn | <input type="checkbox"/> | sind Säugetiere |
| <input type="checkbox"/> | haben Lippen | <input type="checkbox"/> | legen Eier |
| <input type="checkbox"/> | haben zwei Beine | <input type="checkbox"/> | haben einen Schnabel |
| <input type="checkbox"/> | haben Haare | <input type="checkbox"/> | können fliegen |

13) Bleiben alle Vögel im Winter hier bei uns?

- Ja, es bleiben alle Vögel, die im Sommer hier sind, auch im Winter bei uns.
- Nein, manche Vögel wollen sich im Winter ein anderes Land ansehen.
- Nein, manche Vögel finden bei uns im Winter nichts zu fressen und fliegen deshalb in andere Länder

14) Was frisst ein Storch?

- Nur Frösche.
- Frösche, Mäuse, Regenwürmer, Käfer.
- Verschiedene Tiere und Pflanzen.

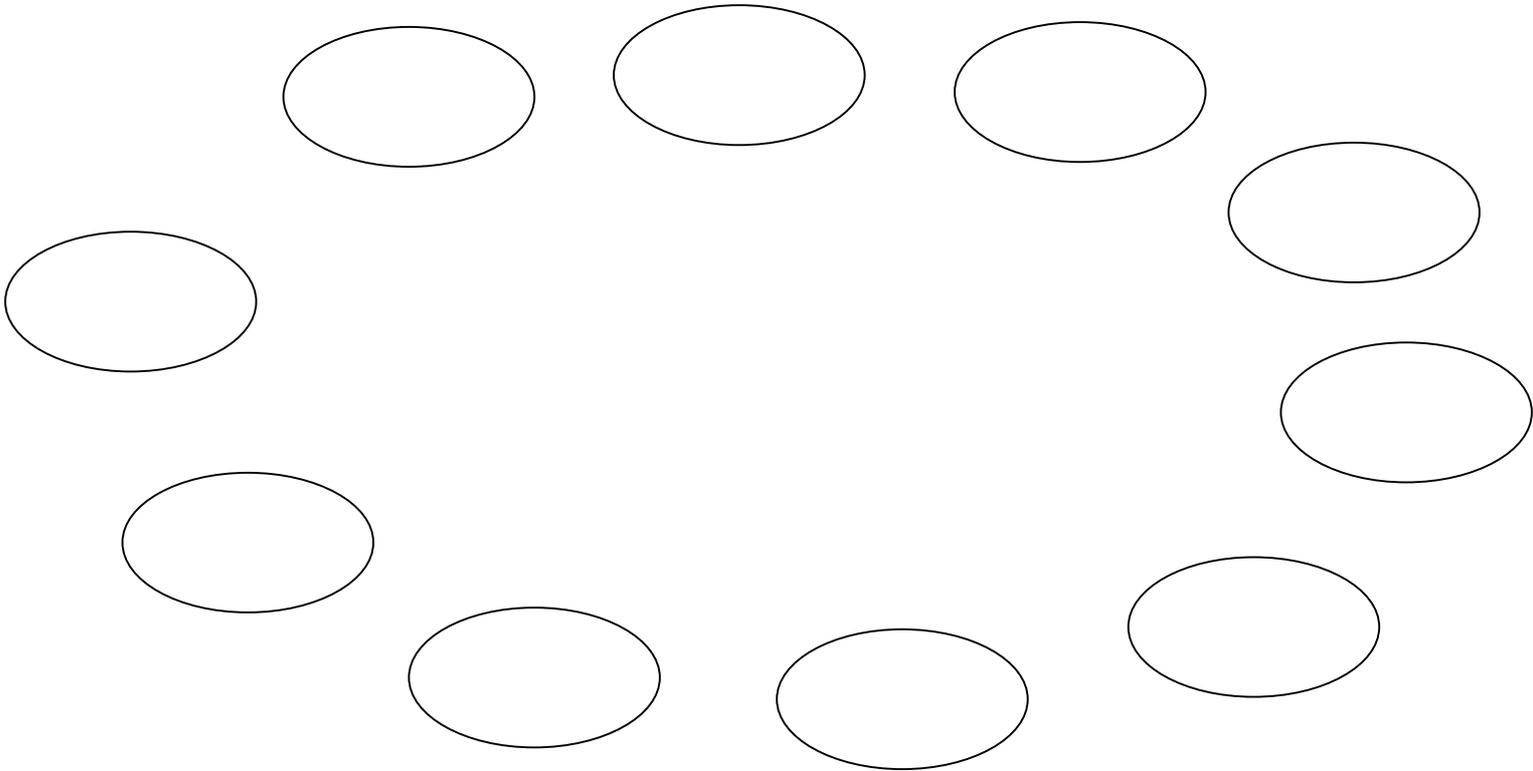
15) Wo ist der Storch im Winter?

- Er fliegt nach Afrika.
- Er fliegt nach Amerika.
- Er bleibt in Deutschland.

16) Wo baut der Storch sein Nest?

- Versteckt im hohen Gras.
- Auf Bäumen im Wald.
- Auf Dächern, hohen Pfosten und kahlen Bäumen.

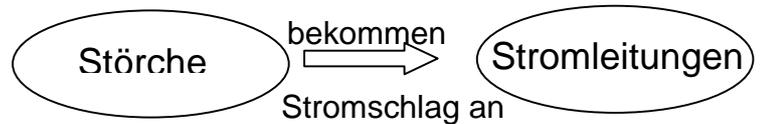
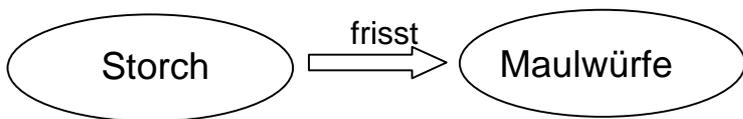
17) Welche Begriffe fallen dir zum Thema **Storch** ein? Schreibe jeden Begriff in ein neues Feld. Verbinde die Begriffe, die etwas miteinander zu tun haben, mit einer Linie.
Du kannst auch neue Felder dazu malen, wenn dir noch mehr Begriffe einfallen.



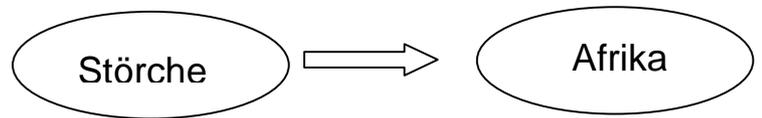
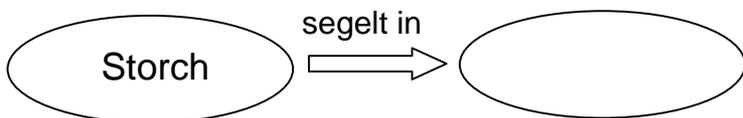
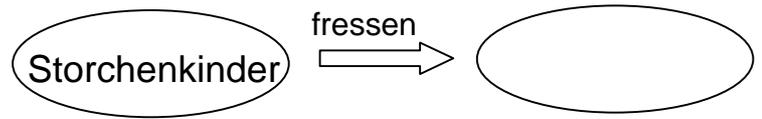
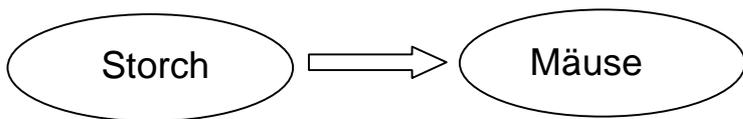
Beim Thema **Storch** gibt es viele verschiedene Zusammenhänge zwischen Tieren, Pflanzen, Wasser, Luft und Boden. Zum Beispiel diese:

Was frisst der Storch?

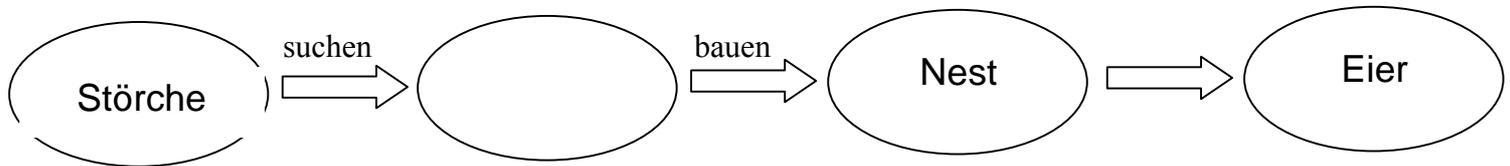
Woran sterben viele Störche?



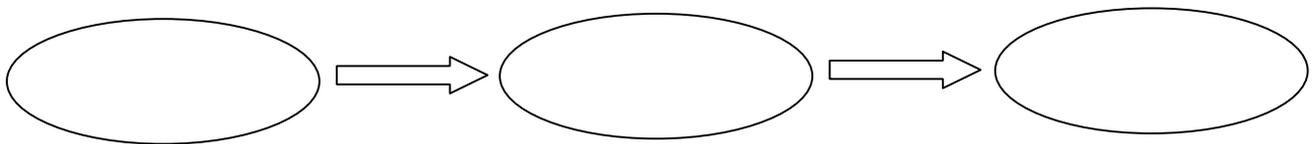
18) Kennst du auch die folgenden Zusammenhänge? Schreibe die fehlenden Begriffe in die leeren Felder und benenne die leeren Pfeile.



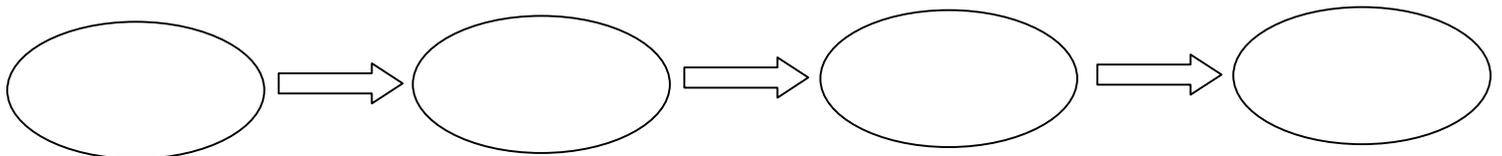
19) Man kann auch mehrere Begriffe zu einer Kette zusammensetzen. Kannst du die Lücken in dieser Kette füllen? Schreibe den fehlenden Begriff in das leere Feld und benenne die Pfeile.



Kennst du selbst eine Dreierkette zum Thema **Storch**? Schreibe Begriffe in die Felder und benenne die Pfeile.



Kennst du sogar eine Viererkette zum Thema **Storch**? Schreibe Begriffe in die Felder und benenne die Pfeile.



*Super, geschafft!!!
Danke fürs Mitmachen !!!*

Nr.

Meine Schule heißt _____
 Ich gehe in die Klasse _____

Heute ist der _____
 Ich bin Jahre alt.

- Ich bin ein Mädchen.
- Ich bin ein Junge.

Hallo,
 gleich sollst du ankreuzen und aufschreiben, wie dir der Sachunterricht zum **Storch** gefallen hat und was du dabei gelernt hast.

Am Anfang ...
 kreuzt du an, ob eine Aussage für dich stimmt.
 Lies dir die Sätze genau durch und überlege, wie gut sie zu deiner eigenen Meinung passen.

Zum Beispiel:

Ich spiele gerne Fußball.



stimmt gar nicht

stimmt wenig

stimmt ziemlich

stimmt genau



Danach ...
 schreibst du deine Antworten in Stichwörtern oder Wortgruppen auf. Es müssen keine ganzen Sätze sein. Außerdem gibt es Felder, in die du Begriffe einträgst und Pfeile, die du benennen sollst.

Viel Spaß beim Ausfüllen!!

Achtung:
 Bei diesen ersten beiden Fragen geht es ganz allgemein um den Sachunterricht. Danach geht es nur noch um das Thema Storch.

	stimmt gar nicht	stimmt wenig	stimmt ziemlich	stimmt genau
1) Sachunterricht ist mein Lieblingsfach :::::::::::::::	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>			
2) Oft habe ich keine Lust auf den Sachunterricht:	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>			

- | | stimmt
gar nicht | stimmt
wenig | stimmt
ziemlich | stimmt
genau |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 3) Ich habe mich auf den Unterricht zum Thema Storch gefreut:..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) Der Unterricht zum Thema Storch war spannend | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) Im Unterricht zum Thema Storch habe ich viel gelernt:..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6) Der Unterricht zum Thema Storch war langweilig | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7) Ich habe jetzt genug zum Thema Storch gelernt: | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8) Ich würde gerne noch mehr über das Thema Storch lernen:..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9) Ich habe mich noch zusätzlich mit dem Thema Storch beschäftigt:.....
<i>(z.B. in Sachbüchern oder im Internet nachgeschaut, andere gefragt, draußen gewesen, experimentiert ...)</i> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10) Ich weiß nicht so genau, was ich über das Thema Storch gelernt habe:..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11) Ich habe alles, was wir zum Thema Storch besprochen haben, schon vorher gewusst | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12) Fernsehsendungen zum Thema Storch sind besser als der Sachunterricht dazu war | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13) Die Stunden zum Thema Storch waren anders als der Sachunterricht sonst immer ist | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14) Das möchte ich gerne noch zum Thema Storch wissen: | | | | |

15) Das hätte im Unterricht zum Thema **Storch** anders sein sollen:

16) Das habe ich beim Thema **Storch** nicht verstanden:

Überlege dir nun genau, was du im Sachunterricht zum Storch gelernt hast.

17) Welche Begriffe gehören zum Storch? Schreibe jeden Begriff in ein neues Feld.

Verbinde die Begriffe, die etwas miteinander zu tun haben, mit einer Linie.

Du kannst auch neue Felder dazu malen, wenn dir noch mehr Begriffe einfallen.

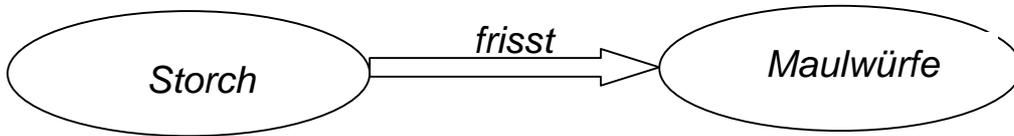


Diagram for concept mapping with 10 empty ovals:

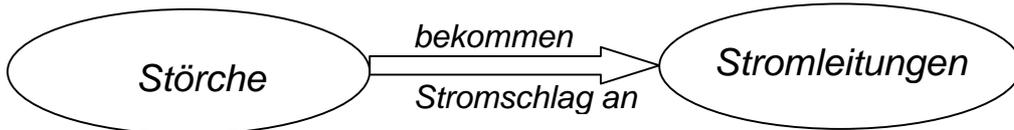
- Row 1: Three ovals.
- Row 2: Two ovals.
- Row 3: Two ovals.
- Row 4: Two ovals.
- Row 5: One oval centered below the two ovals of the row above.

18) Beim Thema **Storch** gibt es viele verschiedene Zusammenhänge zwischen Tieren, Pflanzen, Wasser, Luft und Boden. Zum Beispiel diese:

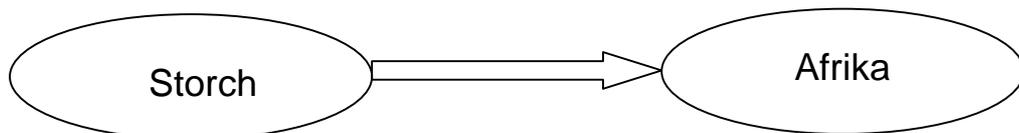
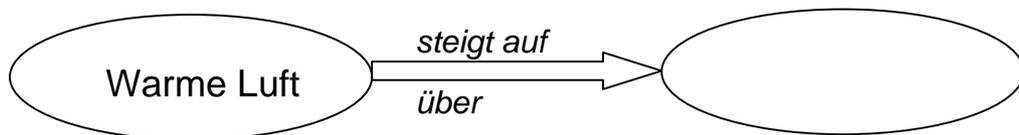
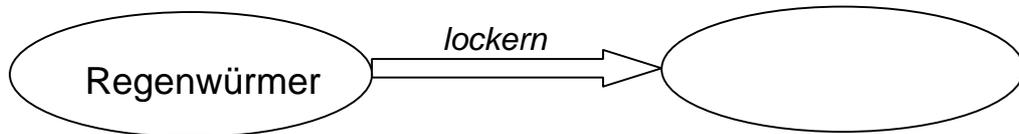
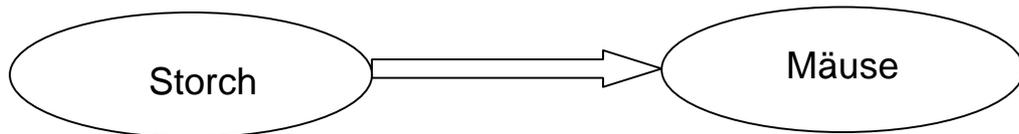
Was frisst der Storch?



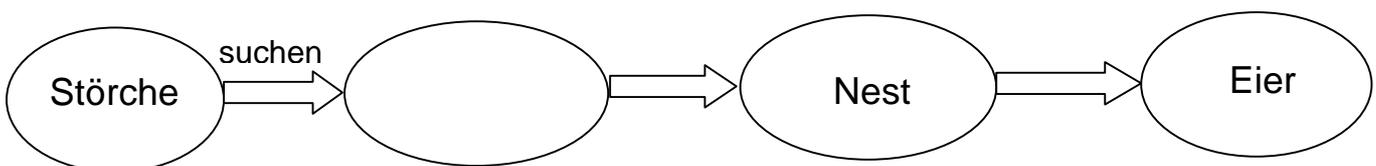
Woran sterben viele Störche?



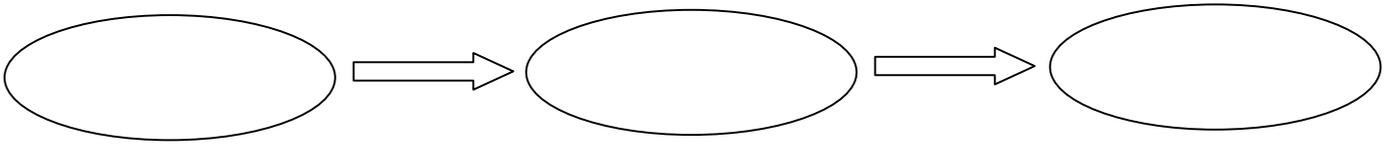
Kennst du auch die folgenden Zusammenhänge? Schreibe die fehlenden Begriffe in die leeren Felder und benenne den leeren Pfeil.



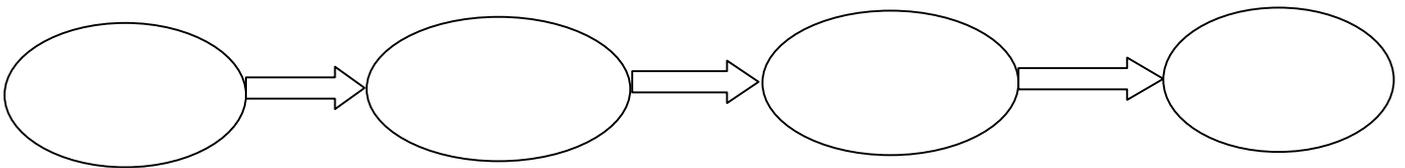
19) Man kann auch mehrere Begriffe zu einer Kette zusammensetzen. Schreibe den fehlenden Begriff in das leere Feld und benenne die Pfeile.



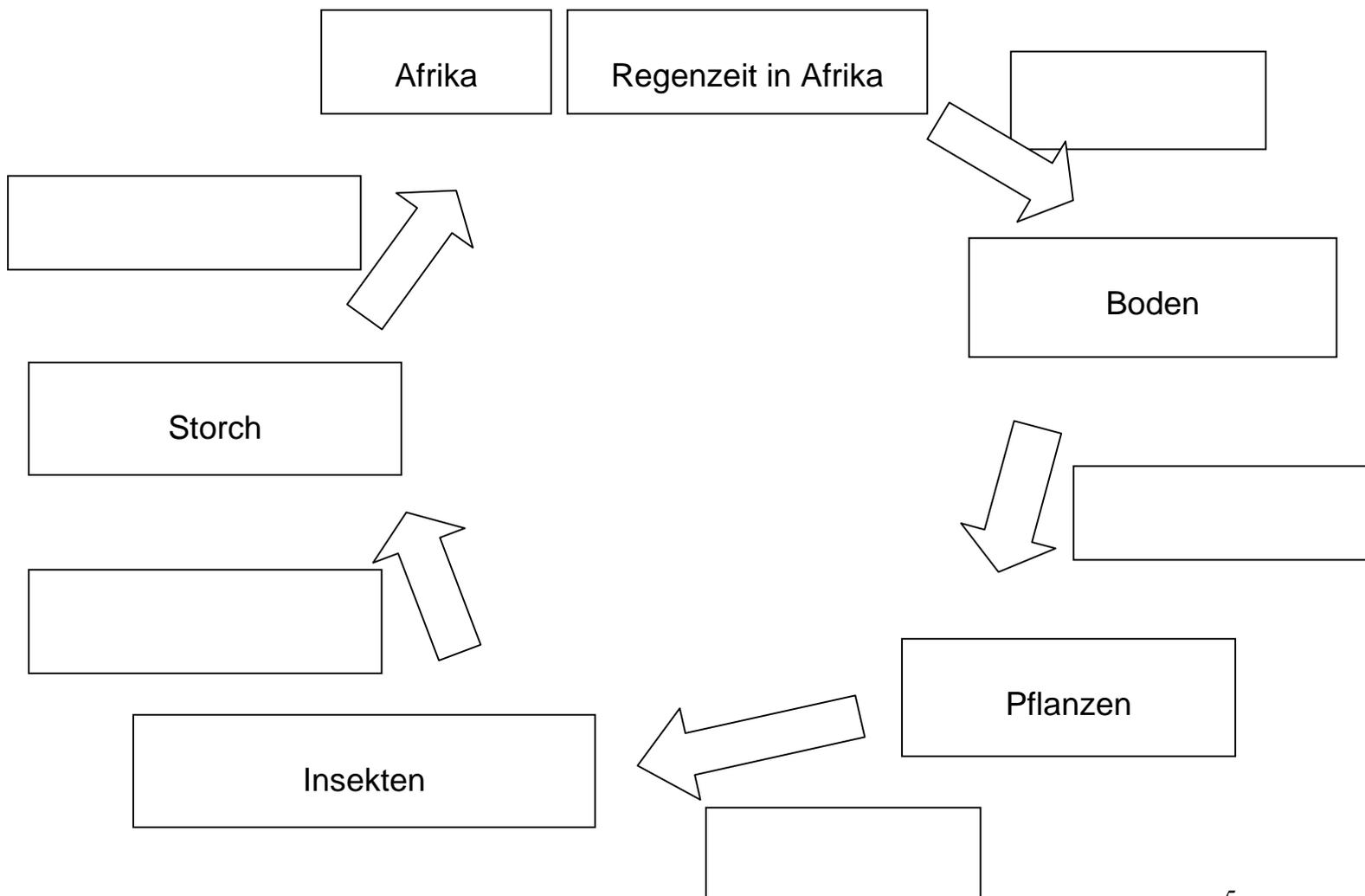
Kennst du selbst eine Dreierkette zum Thema **Storch**? Schreibe Begriffe in die Felder und benenne die Pfeile. *Versuche doch einmal etwas anderes als eine Nahrungskette.*



Kennst du sogar eine Viererkette zum Thema **Storch**? Schreibe Begriffe in die Felder und benenne die Pfeile.



20) Überlege, was die Begriffe in den Kästen miteinander zu tun haben. Schreibe an die Pfeile, welche Zusammenhänge zwischen den Begriffen bestehen.



Denke nun daran, dass der Wildvogel Storch sehr eng mit dem Menschen zusammenlebt.

21) Wo überall treffen Menschen und Storch aufeinander?

22) Stell dir vor, die Menschen würden auf einmal alle Storchennester von ihren Dächern entfernen und alle Nisthilfen abbauen. Welche Folgen hätte das für den Storch?



*Super, geschafft!!!
Danke fürs Mitmachen !!!*

Nr.

Meine Schule heißt _____
 Ich gehe in die Klasse _____

Heute ist der _____

Ich bin Jahre alt. Ich bin ein Mädchen. Ich bin ein Junge.**Hallo,**

*gleich sollst du ankreuzen und aufschreiben, wie dir das Computerspiel
Ciconias abenteuerliche Reise gefallen hat und was du dabei gelernt hast.*

Am Anfang ...*kreuzt du an, ob eine Aussage für dich stimmt.*

*Lies dir die Sätze genau durch und überlege, wie gut sie zu deiner eigenen Meinung
 passen.*

Zum Beispiel:

Ich spiele gerne Fußball.

stimmt
gar nichtstimmt
wenigstimmt
ziemlichstimmt
genau**Danach ...**

*schreibst du deine Antworten in Stichwörtern oder Wortgruppen auf. Es müssen keine
 ganzen Sätze sein. Außerdem gibt es Felder, in die du Begriffe einträgst und Pfeile,
 die du benennen sollst.*

Viel Spaß beim Ausfüllen!!*Zuerst geht es um deine Erfahrung mit dem Computer.*

1) Hast du schon mit Lernspielen am Computer gearbeitet? _____

2) An wievielen Tagen pro Woche sitzt du am Computer? _____ Tage pro Woche

3) Wie lange sitzt du pro Tag ungefähr am Computer? _____ Minuten pro Tag

4) Kannst du zu Hause an einem Computer arbeiten? ja nein

5) Was machst du überwiegend am Computer? _____

Nun geht es um das Computerspiel Ciconias abenteuerliche Reise

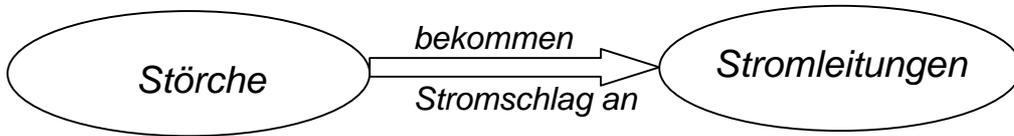
- | | stimmt
gar nicht | stimmt
wenig | stimmt
ziemlich | stimmt
genau |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 6) Das Computerspiel Ciconias abenteuerliche Reise war langweilig | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7) Ich habe mit dem Computerspiel viel zum Thema Storch gelernt | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8) Ich fand den Unterricht zum Thema Storch besser als das Computerspiel: | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9) Ich habe mich noch zusätzlich mit dem Thema Storch beschäftigt
<i>(z.B. in Sachbüchern oder im Internet nachgeschaut, andere gefragt, draußen gewesen, experimentiert ...)</i> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10) Mir ist es schwer gefallen, die Fragen im Computerspiel zu beantworten | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11) Ich habe alles, was im Computerspiel gefragt wurde, schon vorher gewusst | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12) Das Ordnen der Notizzettel zum Schluss des Spieles ist mir leicht gefallen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

13) Das möchte ich gerne noch zum Computer-Spiel Ciconias abenteuerliche Reise sagen _____

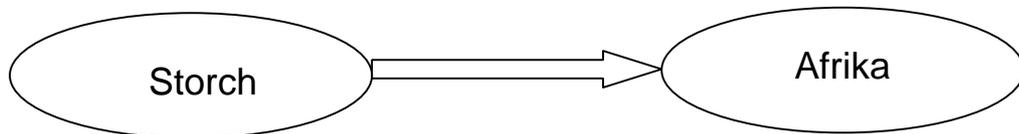
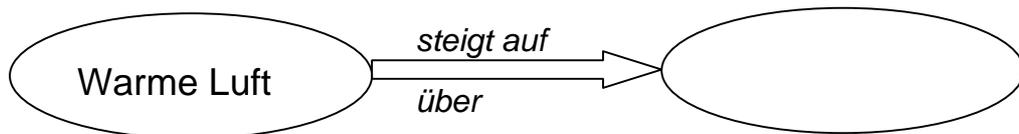
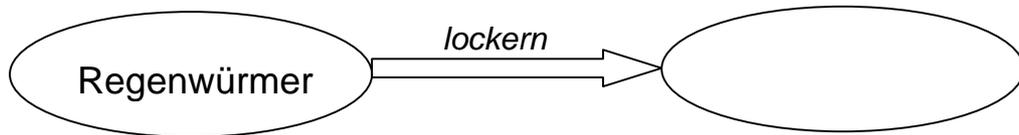
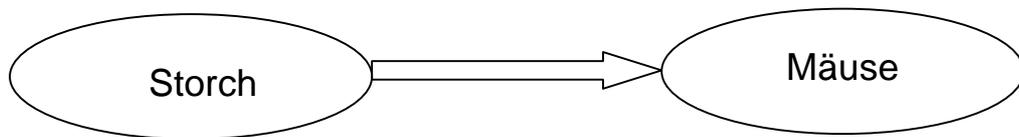
14) Das hätte im Computer-Spiel Ciconias abenteuerliche Reise anders sein sollen: _____

15) Beim Thema **Storch** gibt es viele verschiedene Zusammenhänge zwischen Tieren, Pflanzen, Wasser, Luft und Boden. Zum Beispiel diese:

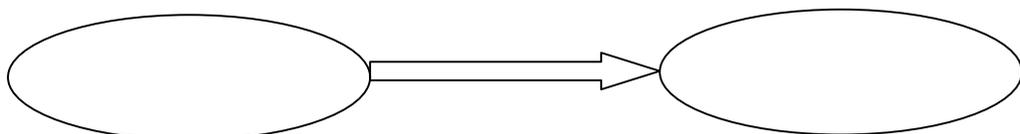
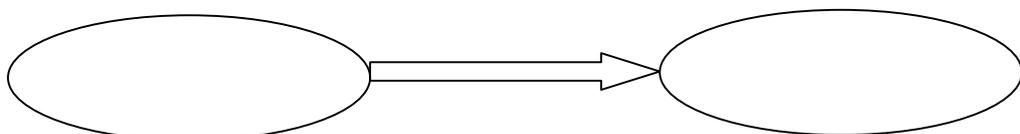
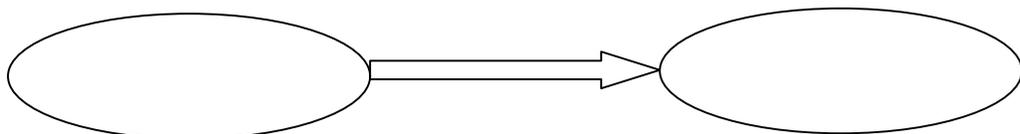
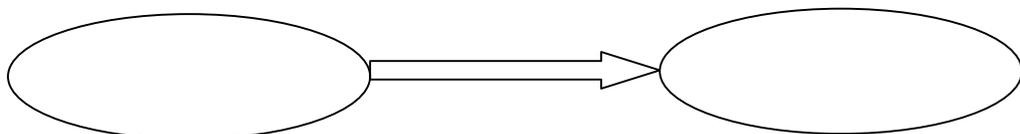
Woran sterben viele Störche?



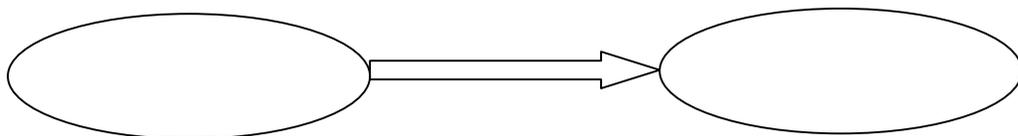
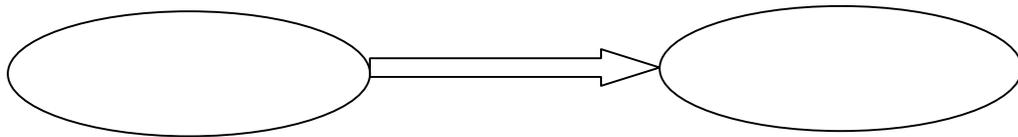
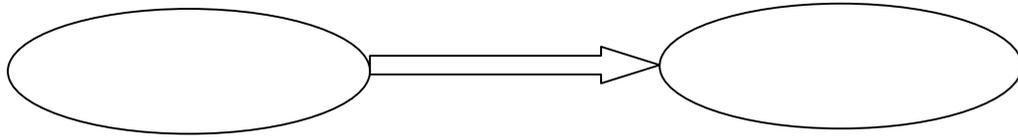
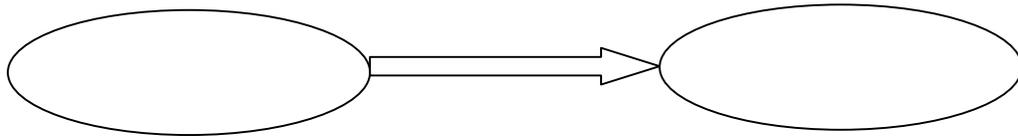
Kennst du auch die folgenden Zusammenhänge? Schreibe die fehlenden Begriffe in die leeren Felder und benenne den leeren Pfeil.



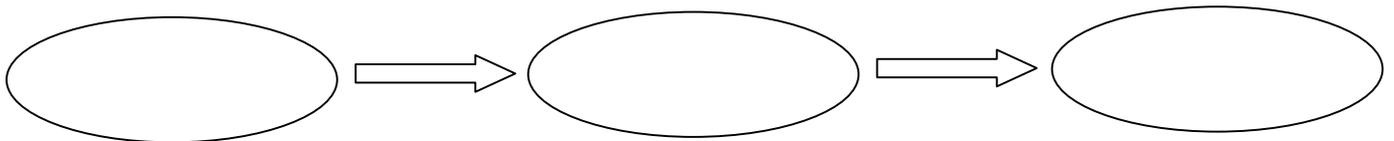
Fallen dir noch mehr Beispiele ein? Schreibe so viele Beziehungen wie möglich auf.



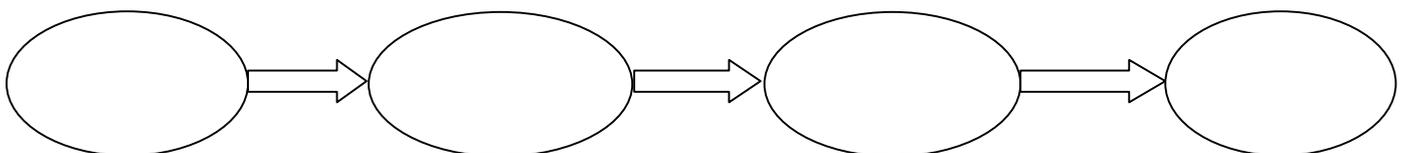
Hier kannst du noch mehr Beziehungen eintragen.



16) Man kann auch mehr als zwei Begriffe mit einander verbinden. Fällt dir eine Dreierkette ein?.



17) Kennst du sogar eine Viererkette zum Thema **Storch**? Schreibe Begriffe in die Felder und benenne die Pfeile.



Beantworte die folgenden Fragen:

18) Stell dir vor, die Störche würden auf einmal 10 Eier legen, statt wie bisher nur ungefähr 3-4 Eier. Was glaubst du, würde passieren? Versuche, dir alle möglichen Auswirkungen vorzustellen, auch die, die nicht unmittelbar den Storch betreffen. (z.B. die Regenwürmer, die Luzerneschnetterlinge in Afrika, die Nistplätze, ...)

19) Stell dir vor, die Menschen würden auf einmal alle Nistplätze von ihren Dächern und die Nisthilfen auf ihren Bauernhöfen entfernen. Welche Folgen hätte das für den Storch?

20) In einem Frühjahr gab es ungewöhnlich wenige Regenwürmer. Ist das für den Storch von Bedeutung?

21) Vor einigen Jahren regnete es in Afrika zur gewohnten Regenzeit im Sommer nur sehr wenig, in einigen Gebieten fiel sogar überhaupt kein Niederschlag. Der Storch kommt erst einige Monate später nach Afrika. Ist es für ihn dann wichtig, ob es im Sommer geregnet hat oder nicht?

22) Einige Forscher machten einen Versuch: Sie suchten sich einen großen Raum, in den sie alles hineinbrachten, was für den Storch wichtig ist: ein Nest, viele Regenwürmer in einer Kiste, viele Käfer in einer anderen Kiste, Wasser in einem Eimer usw.. Was glaubst du, wie es dem Storch in diesem Raum ergangen ist? Was war nach einem halben Jahr in diesem Raum los? Sah es aus wie draußen?

Nun sollst du eine Reihe von Aussagen zum Storch beurteilen. Kreuze an, ob du sie für richtig oder falsch hältst und schreibe dazu, wieso es so ist.

23) Früher gab es noch keine Stromleitungen. Heute hängen überall Stromleitungen, die den Menschen Strom in die Häuser bringen. Auf die Störche hat das keinen Einfluss.

Stimmt stimmt nicht

Weil _____

24) Die Menschen in Deutschland wollen alles Land möglichst gut nutzen, deshalb legen sie sumpfige Wiesen trocken, damit darauf Getreide angepflanzt werden kann. Oder sie leiten Bäche in Betonrinnen um, damit das Land nicht überschwemmt wird. Für die Störche ist das kein Problem.

Stimmt stimmt nicht

Weil _____

25) Wenn es in einem Gebiet viel regnet oder wenig regnet, dann hat das einen Einfluss auf das Futter des Storches.

Stimmt stimmt nicht

Weil _____

26) Störche können von Beginn ihres Lebens an immer das Gleiche fressen.

Stimmt stimmt nicht

Weil _____

27) Im Sommerquartier bleiben die Störche die ganze Zeit in einem Gebiet. Im Winterquartier ziehen sie in großen Gebieten umher.

Stimmt stimmt nicht

Weil _____



*Super, geschafft!!!
Danke fürs Mitmachen !!!*

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit nach Inhalt und Form selbständig und – abgesehen von der Beratung durch meinen Betreuer Prof. Dr. Bayrhuber – ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus anderen Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Ferner erkläre ich, dass ich zuvor noch keinen Promotionsversuch unternommen habe und dass die vorliegende Arbeit weder vollständig, noch in Teilen an anderer Stelle im Rahmen eines Prüfungsverfahrens vorgelegt, veröffentlicht oder zur Veröffentlichung eingereicht worden ist.

Cornelia Sommer
15. Dezember 2005

Lebenslauf

Cornelia Sommer

Geburtsdatum 15.04.1968
Geburtsort Mainz
Staatsangehörigkeit deutsch
Wohnort Windmühlenberg 8
24631 Langwedel

Schule und Studium

08/ 1974 – 07/ 1978 Grundschule im Münchfeld, Mainz
08/ 1978 – 07/ 1987 Gymnasium Gonsenheim, Mainz
10/ 1988 – 9/ 1991 Grundstudium der Diplom-Biologie an der Johannes
Gutenberg- Universität Mainz,
Erwerb des Vordiploms

10/ 1991 – 1995 Hauptstudium der Diplom-Biologie an der Ludwig
Maximilians-Universität München.
Spezialisierung in den Fächern Zoologie, Neurobiologie,
Wildbiologie und Psychologie, zusätzlich Fachdidaktik.
Interfakultäre Diplomarbeit: „Zur Entwicklung biologischer
Konzepte: Einfluss der Erfahrung mit Haustieren auf das
biologische Wissen von Vorschulkindern“.
Abschluss: Diplom, Note: sehr gut

Seit 10/ 2004 Promotionsstudium der Biologiedidaktik an der Christian
Albrechts-Universität Kiel

Wissenschaftliche Berufstätigkeit

Seit 2/ 1996 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Leibniz-Institut für die
Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der CAU
Kiel

unterbrochen durch die Erziehungszeiten nach den
Geburten meiner drei Kinder (24.09.1996, 05.10.1998,
22.10.2002)