

H. Bayrhuber, W. Bünder, M. Euler, K.-H. Hansen,
W. Hassenpflug, K. Hildebrandt, S. Hlawatsch, L. Hoffmann,
E.R. Lucius, M. Raffelsiefer, F. Siemer

DIDAKTISCHE ANALYSE DES THEMAS SYSTEM ERDE

Im Projekt System Erde werden 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. Dafür ist nicht nur ein Verständnis naturwissenschaftlicher Grundkonzepte erforderlich, vielmehr geht es darum, Wissen aus unterschiedlichen Bereichen zu vernetzen und in komplexen Kontexten anzuwenden. Die Arbeiten in enger Zusammenarbeit mit geowissenschaftlichen Forschungseinrichtungen und Institutionen. Der interdisziplinäre Charakter der naturwissenschaftlich orientierten Geowissenschaften erfordert in inhaltlicher Hinsicht ein fächerverbindendes Vorgehen. Das Gleiche gilt für die Bearbeitung der Nutzungs- und Schutzgesichtspunkte. Anhand der folgenden Didaktischen Analyse sollen die dafür notwendigen Entwicklungs- und Forschungsarbeiten erläutert und wissenschaftlich begründet werden.

1. Schritte der Didaktischen Analyse

Die hier beschriebene Didaktische Analyse erfolgt in Anlehnung an das von Klafki (1980) entwickelte Modell sowie an die von Kattmann und Duit (1997) publizierte Didaktische Rekonstruktion, Vorschläge, die sich für den naturwissenschaftlichen Unterricht bewährt haben. Ausgangspunkt der Entwicklungsarbeiten ist die Formulierung und Begründung der allgemeinen Zielsetzung des Projektes. Im nächsten Schritt analysieren wir die fachwissenschaftlichen Rahmenbedingungen der Erforschung des Systems Erde. Dabei stellt sich die Frage, um welche Forschungsgegenstände und -ziele es im Einzelnen geht. Dann untersuchen wir die Implementationsvoraussetzungen für die fächerverbindende Bearbeitung des Themas an der Schule. Auf der Basis der Zielsetzung sowie der fachwissenschaftlichen und schulischen Rahmenbedingungen werden Kriterien der Themenwahl und Vermittlungsformen begründet und projektspezifische Themen und Vermittlungsformen ausge-



wählt. Schließlich wird geprüft, zu welchen Problemen Forschungsarbeiten durchgeführt werden müssen, und zwar im Hinblick auf die Implementation, die ausgewählten Themen und die projektspezifischen Vermittlungsformen.

2. Entwicklungsarbeiten

2.1 Begründung und Erläuterung der allgemeinen Zielsetzung des Projektes

Durch die Agenda 21 werden Themen wie Klimaänderung, Meeresspiegelschwankungen, Vulkanausbrüche, Ressourcenknappheit auch Gegenstand der öffentlichen Auseinandersetzung über nachhaltige Entwicklung. Mit Hilfe des Projektes System Erde sollen daher Schülerinnen und Schüler befähigt werden, diesen Diskurs zu verstehen beziehungsweise sich an ihm zu beteiligen. Zu einer entsprechenden Kompetenz gehört unter anderem ein *Grundverständnis* der Beiträge der Geowissenschaften zu Bau und Funktion unseres sich ständig wandelnden Planeten, zu dessen umweltschonender Nutzung sowie zur Entwicklung von Vorhersage- und Vorsorgestrategien. Dies erfordert interdisziplinäres Denken. Weiterhin gehören zu dieser Kompetenz die *Fähigkeit*, eine basale ethische Analyse durchzuführen sowie die Fähigkeit zum kritisch-rationalen Urteilen. Der Diskurs soll von den Schülerinnen und Schülern praktisch geübt und die dafür nötige Informationen sollen von ihnen eigenständig beschafft werden können. Diesen Zielen, die noch einer Ebene oberhalb einer fachlichen Konkretisierung angehören, sind geowissenschaftliche Themen und unterrichtliche Vermittlungsformen zuzuordnen (siehe hierzu bei Klafki die Frage nach der exemplarischen Bedeutung der Themenliste). Als Voraussetzung dafür soll zunächst auf fachwissenschaftliche Rahmenbedingungen und schulische Implementationsvoraussetzungen eingegangen werden.

2.2 Fachwissenschaftliche Rahmenbedingungen

Forschungsgegenstand der Geowissenschaften 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 mit biologischen, chemischen, geologischen und physikalischen Methoden.

Diese Ansätze umfassen einen weiten Bereich räumlicher und zeitlicher Skalen: von der globalen Beobachtung unseres Planeten aus dem Weltraum bis zur Analyse von Kristallgittern auf atomarer Ebene und von geologischen Zeiträumen der Bildung von Gebirgen (Millionen Jahre) bis zu schnellen Bruchvorgängen in Gesteinen bei Erdbeben (Mikrosekunden). Dementsprechend wird ein breites Spektrum an Methoden und Techniken eingesetzt. Dazu gehören spezielle Satelliten und raumgestützte Messsysteme sowie hochauflösende Verfahren der geophysikalischen Tiefenerkundung; weiterhin zählen dazu Laborexperimente, in denen z.B. die in Erdkruste und Erdmantel existierenden Druck- und Temperaturbedingungen simuliert werden. Die Erforschung unseres Planeten dient dem Ziel,

„das System Erde in all seinen Kompartimenten zu verstehen, globale Veränderungen zu unterscheiden, endogene und exogene Prozesse mit ihren Wechselbeziehungen zu quantifizieren und auf der Grundlage dieses System- und Prozessverständnisses Strategien zu entwickeln für die Sicherung und umweltverträgliche Gewinnung natürlicher Ressourcen, die Nutzung des ober- und unterirdischen Raums, die Deponierung von Abfallstoffen, die Beurteilung der Klima- und Umweltentwicklung und des anthropogenen Einflusses hierauf sowie für die Vorsorge vor Naturkatastrophen und der Minderung ihrer Folgen“

(Senatskommission für geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung der Deutschen Forschungsgemeinschaft 1999).

2.3 Implementationsvoraussetzungen geowissenschaftlicher Themen in der Schule

Sowohl die Geowissenschaften als auch der naturwissenschaftliche Unterricht sehen sich dem Nachhaltigkeitskonzept verpflichtet. Daher können die Geowissenschaften einen wichtigen Teil der Wissensbasis liefern, die der unterrichtlichen Vermittlung von Urteils- und Handlungskompetenzen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung dient. Weil *biologische*, *chemische* und *physikalische* Prozesse im Inneren und auf der Oberfläche des Planeten *Erde* untersucht werden, sind aus schulischer Sicht die drei Naturwissenschaften angesprochen. Zusätzlich ist das Fach Geographie betroffen, das sich mit Problemen der räumlichen Strukturierung befasst. Die Entwicklung eines umfassenden Grundverständnisses des Sys-

tems Erde macht es erforderlich, dass Wechselbeziehungen zwischen Elementen dieses Systems im Unterricht aus verschiedenen fachlichen Perspektiven bearbeitet werden, die jedoch in einem gemeinsamen interdisziplinären Zusammenhang verknüpft werden. Aus diesem Grund liegt im Schulunterricht ein fächerverbindendes Vorgehen nahe. Dieses ist aufgrund der Lehrpläne möglich: In den Bundesländern wurde in den letzten Jahren sowohl fachübergreifendes als auch fächerverbindendes Arbeiten in besonderem Maße gefördert, und zwar in allen Schulstufen. Das mehrperspektivische Vorgehen beim Thema System Erde entspricht auch dem interdisziplinären Arbeiten in den Geowissenschaften. Gerade in geowissenschaftlichen Großprojekten arbeiten unter anderem Biologen, Chemiker, Geologen und Physiker zusammen. Die interdisziplinäre Bearbeitung des hoch komplexen Systems Erde in der Forschung ermöglicht und vereinfacht ein fächerverbindendes Vorgehen in der Schule. Das Spezifische der jeweiligen disziplinären Sicht und Methodik wird erhalten und es erfolgt eine Zusammenarbeit auf ein gemeinsames Ziel hin.

2.4 Begründung der Kriterien der Themenwahl und der Vermittlungsformen

2.4.1 Übersicht über die Kriterien der Auswahl der Inhalte und der Vermittlungsformen

Eine notwendige Voraussetzung der curricularen Entwicklungsarbeiten ist eine begründete Entscheidung über die Art der zu vermittelnden Inhalte sowie die Vermittlungsformen. Die Begründung erfolgt unter Bezugnahme auf die allgemeine Zielsetzung des Vorhabens: (s. 2.1): Kurz gesagt, zielen die Projektarbeiten darauf ab, durch einen fächerverbindenden Unterricht bei den Schülerinnen und Schülern ein Grundverständnis des komplexen Systems Erde zu entwickeln und damit die naturwissenschaftliche Basis für die Vermittlung von Urteilskompetenzen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu schaffen.

Zum *Grundverständnis* gehört, die Erde als energetisch offenes, dynamisches System zu erfassen, das sich in ständigem Wandel befindet und in dem die biotischen und die abiotischen Teilsysteme miteinander in komplexer Wechselbeziehung stehen. Es integriert beschreibende und erklärende wissenschaftliche Aussagen über die Erde. Nun ist - wie schon oben angeführt - das verfügbare deskriptive und explikative Wissen, auf dessen Basis ein Grundverständnis



des Systems Erde entwickelt werden soll, interdisziplinär. Es schließt biologische, chemische, geologische und physikalische Wissensbestände ein. Die didaktische Umsetzung muss folglich anhand von Kriterien erfolgen, die dem Aufbau eines vernetzten Wissens dienen.

Welche *Typen* von Inhalten sind nun im Einzelnen für diese Art Verständnis erforderlich?

a) Kriterien der Auswahl von Inhalten

- Durch die Vernetzung inhaltlicher *Basiskonzepte* und verbindender *Prinzipien* werden die einzelwissenschaftlichen Inhalte in einem systemischen *Zusammenhang* verknüpft. Indem die Basiskonzepte und verbindenden Strukturprinzipien in unterschiedlichen Kontexten aktiviert werden, kann erwartet werden, dass Schülerinnen und Schüler ein kohärentes Wissen aufbauen.
- *Konzepte der Wissensgenese* sind Teil der Verständnisbasis und dienen als Grundlage der Beurteilung des Geltungsbereichs naturwissenschaftlicher Aussagen.

b) Kriterien der Auswahl von Vermittlungsformen

- *Durch die ethische Analyse und Begründung* von Maßnahmen des Schutzes und der Nutzung natürlicher Ressourcen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung werden normative Fähigkeiten entwickelt. Sie dienen der Vermittlung von Urteilsfähigkeit im Hinblick auf den Diskurs über gesellschaftlich-politische Entscheidungen zur Sicherung und nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen.

Zur Förderung des Verständnisses des Systems Erde sowie des rationalen Diskurses über die Nutzung und den Schutz der Erde sind spezifische Unterrichtsaktivitäten erforderlich. Dabei handelt es sich

- um die Nutzung des Computers zur Bearbeitung wissenschaftlicher Modelle sowie zur eigenständigen Beschaffung von Informationen z.B. im Internet;
- um die direkte Kommunikation mit Wissenschaftlern.

Auf diese Kriterien der Auswahl und Strukturierung von Themen beziehungsweise der Vermittlungsformen soll im Folgenden näher eingegangen werden.

2.4.2 Begründung der Kriterien der Auswahl von Themen

2.4.2.1 Kriterien der Themenwahl in deskriptiv-explikativer Hinsicht

Inhaltliche Basiskonzepte. In Anlehnung an Bruner (1960) verstehen wir unter Basiskonzepten allgemeine Begriffe, die zu einem umfassenden Verständnis einer Fachdisziplin und ihrer spezifischen Denkweisen erforderlich sind. Für unser Projekt sind vor allem solche Basiskonzepte von Bedeutung, die mehreren Disziplinen, welche das System Erde erforschen, gemeinsam sind (z.B. Energie, Kraft, Wechselwirkung, Dynamik, Stoff, Raum, Bau, Funktion, Entwicklung); denn deren Verständnis ist eine unverzichtbare Voraussetzung vernetzten Denkens.

Systemtheoretischer Bezugsrahmen. Als allgemeinsten Bezugsrahmen der Vermittlung eines basalen Verständnisses des Systems Erde dient die Systemtheorie. In diesem Zusammenhang spielen folgenden Gesichtspunkte des systemischen Denkens beziehungsweise Modellierens eine wichtige Rolle:

- Abgrenzung des Systems von der Systemumwelt;
- Identifizierung (relevanter) Systemelemente;
- Identifizierung charakteristischer Systemeigenschaften (Struktur- und Prozessgrößen);
- Reflexion der systemischen Betrachtungsweise (Innen- und Außenperspektive; Teil/Ganzes);
- Verständnis spezifischer Systemaspekte (Nichtlinearität, Irreversibilität, Selbstorganisation).

2.4.2.2 Kriterien der Themenwahl in wissenschaftsgenetischer Hinsicht

Dem besseren Verständnis des Systems Erde dient die Einsicht in die Genese des Wissens über Elemente und Wechselbeziehungen. Beispielsweise helfen *wissenschaftstheoretische Betrachtungen* über die Modellbildung dabei, den Geltungsbereich geowissenschaftlicher Modelle, z.B. zur Klimaentwicklung oder zum Gesteinskreislauf, kritisch einzuschätzen. Eine Einführung in ausgewählte *Wissenschaftsmethoden* z.B. die Erforschung der Erde mit Satelliten oder die Gewinnung und Analyse von Bohrkernen zeigt, wie aufwendig und kostspielig die Erforschung des Systems Erde ist. Außerdem macht die Beschäftigung mit verschiedenen Wissenschaftsmethoden die Schülerinnen und Schüler unter anderem mit

den unterschiedlichen Skalen vertraut, auf denen Geowissenschaftler ihre Ergebnisse beschreiben (s. 2.2). Die Fähigkeit, zwischen verschiedenen Skalen zu wechseln, ist zum Verständnis der Geowissenschaften von besonderer Bedeutung, da sie sich sowohl mit Prozessen im Sonnensystem als auch mit Vorgängen auf molekularer Ebene befassen. Anhand *wissenschaftsgeschichtlicher Betrachtungen* kommen nicht zuletzt wissenschaftliche Kontroversen in den Blick, bei deren Bearbeitung den Schülerinnen und Schülern die kritisch rationale Einstellung von Forschern gegenüber wissenschaftlichen Theorien und Ergebnissen deutlich gemacht werden kann.

2.4.2.3 Kriterien der Themenwahl in normativer Hinsicht

Dazu dienen allgemein die Kriterien der Nutzung und des Schutzes der Erde. Im Einzelnen geht es dabei um die bereits unter 2.2 genannten Strategien, die von der Senatskommission für geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (1999) formuliert worden sind. Der Inhaltsauswahl dienen weiterhin die Komponenten eines Konzeptes nachhaltiger Entwicklung (Rost 2002). Kenntnisse über den Schutz und die Nutzung der Erde sowie über Merkmale einer nachhaltigen Entwicklung bieten eine Grundlage für ethische Analysen und Begründungen und damit für die Urteilsbildung.

2.4.3 Begründung der Kriterien der Auswahl spezifischer Vermittlungsformen

Als Kriterien der Auswahl spezifischer Arbeitsformen dienen Aspekte der Wissensgenese sowie bestimmte metakognitive Kompetenzen, deren Erwerb aufgrund der Zielsetzung des Projekts besonders wichtig ist. Die Kriterien der Themenwahl aus wissenschaftsgenetischer Hinsicht, die unter 2.4.2.2 beschrieben wurden, dienen gleichermaßen der Auswahl von Vermittlungsformen. Im Folgenden wird daher nur auf Kriterien metakognitiver Art eingegangen. Aufgrund der Komplexität der Thematik ist es nämlich unabdingbar, dass die Lernenden die eigenen Lern- und Erkenntnisprozesse bewusst reflektieren.

Sowohl der Umgang mit dem Computer als auch die Kommunikation mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern erfolgt mit dem Ziel des Erwerbs bestimmter metakognitiver Kompetenzen im fachlichen Zusammenhang. Diese Kompetenzen dienen als Kriterien der Auswahl dieser Vermittlungsformen. Metakognitive Kom-

petenzen haben mit dem Wissen über Lernen, Gedächtnis und andere kognitive Funktionen sowie mit deren Kontrolle zu tun. In diesem Zusammenhang werden zwei Arten von Wissen unterschieden (Hasselhorn 1998 im Anschluss an Cavanaugh 1989): *Systemisches Wissen* (im Sinne der Metakognition!) bezieht sich darauf, wie die genannten kognitiven Funktionen ablaufen und welchem Einfluss sie unterliegen. Dazu gehört beispielsweise zu wissen, wie man am besten lernt, damit man sich neue Inhalte merkt. *Epistemisches Wissen (ebenfalls im Sinne der Metakognition)* umfasst die Beurteilung des Umfangs des eigenen Wissens und damit auch der Wissenslücken sowie Kenntnisse der Strategien des Erwerbs und der Anwendung des Wissens. Ein Beispiel dafür ist die Kenntnis weiterer Informationsquellen und das Wissen, wie man diese nutzt. Die *Kontrollkomponente* der Metakognition umfasst unter anderem die Fähigkeiten der Planung, Steuerung und Überwachung der kognitiven Funktionen. Dazu gehören die Fähigkeiten zu erkennen, dass man einen Textabschnitt nicht verstanden hat, und dieses Problem zu lösen sowie einseitige Argumentationsweisen als solche zu erkennen.

Das komplexe interdisziplinäre Themengebiet System Erde erfordert spezifische Strategien des Wissenserwerbs, vor allem auch die Kenntnis entsprechender Informationsquellen und ihrer Nutzung, also besonderes *epistemisches Wissen*. Über die Nutzung herkömmlicher Medien (Karten, Atlanten) hinaus erlangt beim Thema System Erde die reflektierte Informationsbeschaffung im Internet sowie der interaktive Umgang mit Informationssystemen (z.B. Geographisches Informationssystem, GIS) und Computermodellierungen eine besondere Rolle.

Da auf diesem Gebiet deskriptiv-explikatives Wissen mit Werten und Normen (s. "Nutzung", "Schutz") verknüpft ist, bedarf das kritisch-rationale Urteil einer besonderen Förderung. Dazu gehört die Fähigkeit, einseitige Argumentationsweisen zu vermeiden. Der Erwerb entsprechender Kompetenzen als Teil der *Kontrollkomponente* der Metakognition wird in besonderem Maße durch die Kommunikation mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern gefördert.

2.5 Ausgewählte Themen für die Entwicklung von Materialien

Aufgrund der allgemeinen Zielsetzung soll anhand der Materialien ein *basales Verständnis* des Systems Erde vermittelt und auf dieser Grundlage ein rationaler Diskurs über Fragen der *Nutzung* und des

Schutzes der Erde gefördert werden. Zu diesem Zweck sollen inhaltliche Basiskonzepte im systemaren Zusammenhang behandelt sowie Konzepte der Wissensgenese und der ethischen Analyse und Begründung vermittelt werden. Gemäß diesen Kriterien wurden Themen ausgewählt und geordnet. Dazu kommen Materialien zur Einführung in das Gesamtthema.

2.5.1 Materialien zur Einführung in das Thema "System Erde"

Anhand einer Einführung in das Thema wird in einem phänomenorientierten Zugang zum System Erde eine Übersicht und Gesamtchau gegeben, die vorwiegend motivationale und organisierende Funktionen hat. Es geht um das Wecken von Interesse und Staunen, um Einfühlen sowie um eine affektive Verbundenheit zu dem System Erde. Es soll deutlich werden, dass von der Erde unsere eigene Existenz und die des Lebens allgemein abhängt, dass die Erde aber umgekehrt durch menschliche Eingriffe einer tief greifenden Beeinflussung unterliegt.

2.5.2 Materialien zum Verständnis des Gesamtsystems Erde

Diese Materialien dienen der Erschließung des komplexen Gesamtsystems. Dabei wird berücksichtigt, dass komplexe Systeme aus einer großen Zahl wechselwirkender Komponenten bestehen und häufig offen gegenüber der Umgebung sind. Weiterhin, dass das zumeist nichtlineare Zusammenwirken ihrer Teile zu neuen Systemeigenschaften führt, die nur schwer vorhersagbar sind, die aber dennoch gewissen allgemeinen Strukturprinzipien unterliegen. Die Zugänge zu Strukturprinzipien und zum Denken in komplexen Systemzusammenhängen werden primär in einer Top-Down-Herangehensweise entwickelt, durch die exemplarisch die relevanten Prinzipien herausgearbeitet werden. Die Genese des Wissens bildet einen weiteren Schwerpunkt der Themenwahl. Die in diesem Zusammenhang zu entwickelnden Module stehen unter der Thematik "Das System Erde/Leben – ein komplexes dynamisches System".

Module: Die Erde als dynamisches System; Entwicklung des Lebens auf der Erde; Weltbilder und Bilder von der Erde.

2.5.3 Materialien zur Nutzung und zum Schutz der Erde

In einer Bottom-Up-Herangehensweise werden ausgewählte Teilsysteme betrachtet, um daran spezifische Methoden der Geowissenschaft zu erarbeiten und um die Teilsysteme und ihre Wechselbeziehungen in das Gesamtsystem einzubetten. Dadurch wird einerseits das unter 2.5.2 angesprochene Verständnis des Gesamtsystems weiter vertieft. Andererseits bilden Nutzungs- und Schutzgesichtspunkte mit Blick auf den gesellschaftlichen Diskurs besondere Schwerpunkte der Materialien. In diesem Zusammenhang wird insbesondere auch auf die Klimaentwicklung eingegangen.

- a) Im ersten Themenbereich "Stoffkreisläufe" werden Materialangebote zu solchen dynamischen Prozessen des Systems Erde gemacht, die vom Menschen in erheblichem Maße beeinflusst werden. Weil es in diesem Zusammenhang auch um die Entnahme von Stoffen aus der Natur und die Abgabe von Stoffen in die Natur geht, stehen die Nutzung und der Schutz der Erde im Zentrum des Unterrichts.

Module: Kreisläufe von nicht-metallischen Stoffen (z.B. Kohlenstoffkreislauf); Kreisläufe von Schwermetallen.

- b) Im zweiten Themenbereich geht es um "Nutzung und Sicherung von Stoff-, Energie- und Nahrungsressourcen": Durch die Entnahme von mineralischen Rohstoffen, Energierohstoffen und Biomasse aus dem System Erde sowie die Rückführung von Abfällen, Abwasser und Abgas greift der Mensch zum Teil massiv in den natürlichen Stoffhaushalt ein. Dieser Stoffaustausch steht in engem Wirkungszusammenhang mit der Dynamik des Systems Erde sowohl auf der Oberfläche als auch im Inneren des Planeten. Durch die Bearbeitung der Module sollen sich die Schülerinnen und Schüler mit Fragen der nachhaltigen Nutzung beziehungsweise Sicherung entsprechender Ressourcen sowie der Abfallbewirtschaftung auseinandersetzen. In diesem Zusammenhang wird auch auf umweltbiotechnologische Themen eingegangen.

Module: Rohstoffsicherung als Grundlage der gesellschaftlichen Entwicklung; Nutzung alternativer Energien, z.B. Geothermie, Biotechnologie; der Boden als Nahrungsquelle; Das Meer als Nahrungsquelle.

- c) Im dritten Themenbereich werden Materialien zu Ursachen von Naturereignissen sowie zu Fragen der Vorbeugung (Frühwarnsysteme) und Nachsorge erarbeitet. Naturereignisse werden

darüber hinaus auch aus einer kultur- und geistesgeschichtlichen Perspektive betrachtet.

Module: Erdbeben; Sturmfluten; Vulkanausbrüche; Klimaänderungen; Naturereignisse in historischem und geistesgeschichtlichem Kontext.

2.6 Projektspezifische Vermittlungsformen

Aspekte der Wissensgenese sowie epistemisches Wissen und Kontrollkomponente der Metakognition dienen als Kriterien der Auswahl projektspezifischer Arbeitsformen, nämlich der Computernutzung und der Kommunikation mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern (s. 2.4.3).

- a) Nutzung des Computers zur Bearbeitung wissenschaftlicher Modelle sowie zur eigenständigen Beschaffung von Informationen aus dem Internet.

Die Geowissenschaften entwickeln Modelle von Teilsystemen des Systems Erde. Nach fachdidaktischer Umsetzung können diese in der gymnasialen Oberstufe mit Hilfe der neuen Medien z.B. in Form von Simulationen im Unterricht von den Lernenden (interaktiv) bearbeitet werden. Zu diesem Zweck soll eine CD-ROM (beziehungsweise DVD) entwickelt werden. Der eigentätige Umgang mit wissenschaftlichen Modellen und deren reflektierter Einsatz fördert die Einsicht in naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen (Konzepte der Wissensgenese). Videos von Realaufnahmen der Natur, die im Rahmen von Forschungsinstituten entstanden sind, können hierzu eine wertvolle Ergänzung bieten. In komplexen Lernumgebungen, wie sie durch das Internet und interaktive Simulationen gegeben sind, werden die Lernenden zu einem aktiven und selbstgesteuerten Wissensaufbau angeregt (de Jong & Njoo 1992). Andererseits können komplexe Lernumgebungen auch zu einer Überlastung der Aufmerksamkeitskapazität der Lernenden führen. Daher bedarf es einer ausgeprägten instruktionalen Unterstützung, um bei den Lernenden den Erwerb anwendbaren Wissens zu fördern (Stark et al. 1995, 1997; Leutner 1993). Dies kann in Form von Aufträgen zur gezielten Informationsbeschaffung oder von Fragen zu wesentlichen inhaltlichen Aspekten einer Lernumgebung geschehen (Peeck 1993). Als hilfreich für den Aufbau themenspezifischen Wissens bei der Bearbeitung von Simulationen haben sich nach Leutner (1993) auch permanent angebo-



tene, vom Lernenden jederzeit abrufbare Hintergrundinformationen erwiesen (Basisinformationen) erwiesen. Diese können entweder in Basistexten enthalten sein, die in dem geplanten Projekt gesondert entwickelt werden oder aus dem Internet entnommen werden.

b) Direkte Kommunikation mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern

In der Kommunikation mit Wissenschaftlern vertiefen die Schülerinnen und Schüler ihr Verständnis des Systems Erde, und zwar nicht zuletzt im Hinblick auf die Genese geowissenschaftlichen Wissens. Auch üben sie den rationalen Diskurs über die Nutzung und den Schutz der Erde. Auf diese Weise soll auch der Dialog zwischen Forschung und Öffentlichkeit unterstützt werden, durch den unter anderem das Ziel verfolgt wird, eine "vernünftig abwägende ... Haltung der Öffentlichkeit gegenüber Wissenschaft, Forschung und Technologie" zu fördern, und zwar auch angesichts der Abhängigkeit von "Investitionsentscheidungen ... vom gesellschaftlichen und politischen Umfeld" (Stifterverband 1999, 58ff).

3. Forschungsarbeiten

Spezifische Forschungsfragen betreffen

- Implementationshemmnisse, auf die der innovative Ansatz stoßen kann,
- Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler,
- Bedingungen der Vermittlungsformen, unter anderem des Medieneinsatzes sowie
- Bedingungen des systemischen Lernens.

Zu den Lernvoraussetzungen gehören vorunterrichtliche Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler von den gewählten Unterrichtsthemen sowie deren Interesse an diesen. Eine weitere offene Frage ist die Wirkung des Unterrichts auf Lernerfolg und Interesse. Dazu ist eine Evaluation durchzuführen. Im Folgenden sollen nur die Forschungsarbeiten zu den Lernvoraussetzungen skizziert werden.

3.1 Untersuchung von Schülervorstellungen

3.1.1 Begründung, theoretischer Hintergrund, Forschungsfragen und Untersuchungsmethoden

Die Geowissenschaften haben sich zu einem interdisziplinär arbeitenden Forschungszweig entwickelt, der auf einer systemischen Sicht unseres Planeten basiert. Dieses dient einem verbesserten Struktur- und Prozessverständnis, welches grundlegend ist für die Entwicklung nachhaltiger Konzepte zur Sicherung und umweltverträglichen Nutzung der Erde. Die sich wechselseitig beeinflussenden Elemente des Systems erzeugen einen hohen Grad an Komplexität, welche durch dynamische Prozesse bestimmt ist. Diese machen es schwierig, die Natur mit Hilfe einfacher logischer Beziehungen darzustellen. Im Schulunterricht werden komplexe Wechselwirkungen jedoch häufig auf einfache Kausalbeziehungen reduziert. Trotz seiner Bedeutung ist systemisches Denken in geowissenschaftlichen Kontexten im Schulunterricht kaum etabliert.

Wir verstehen Lernen als einen Prozess, bei dem Wissen auf der Basis bereits bestehender Konzepte (Schülervorstellungen) aktiv konstruiert wird (Duit, 1995; Gerstenmaier & Mandl, 1995). Die vorunterrichtlichen Schülervorstellungen zum Systemcharakter der Erde, an die es bei der Entwicklung von Unterrichtsmaterial anzuknüpfen gilt, sind noch wenig erforscht (siehe Ben-Zvi - Assaraf & Orion, 2001; Gudovitch & Orion, 2001; Orion & Eylon, 2001). Diese Arbeiten zeigen im Wesentlichen, dass Schülerinnen und Schüler die Dynamik der Erde nicht erfassen und dynamische Prozesse mit Hilfe statischer Konzepte beschreiben. Aus diesem Grunde untersuchen wir Schülervorstellungen von charakteristischen Eigenschaften dieses natürlichen Systems.

In einer Voruntersuchung wurden vorunterrichtliche Vorstellungen von der Erde als Gesamtsystem und vom globalen Kohlenstoffkreislauf charakterisiert. Der Kohlenstoffkreislauf stellt ein komplexes System dar, welches biologische, chemische, geologische und physikalische Prozesse verbindet und als ideales Modell zur Illustration der Interaktionen zwischen den Teilsystemen der Erde – der Litho-, der Atmo-, der Hydro- und der Biosphäre – dient. Im Mittelpunkt der Voruntersuchungen stehen spezielle Eigenschaften des Systems wie Nichtlinearität, Irreversibilität. Vor allem diese Aspekte des systemischen Denkens (Ossimitz, 2000) sind schwer zu verstehen. Meist wird mehr Zeit darauf verwandt, Unterschiede



zwischen natürlichen Systemen zu analysieren als ihre allgemeinen Strukturprinzipien zu erkennen.

Auf der Grundlage der Voruntersuchung werden Lehr- Lernexperimente entwickelt, die Instruktionen zur multiplen, flexiblen Wissensrepräsentation im Sinne der Cognitive Flexibility Theory (Spiro et al., 1987, Gerstenmaier & Mandl, 1995) enthalten. Vor diesem Hintergrund wird folgenden Forschungsfragen nachgegangen:

- Welche Begriffe assoziieren Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff “System Erde”?
- Welche fachlichen Vorstellungen haben Schülerinnen und Schüler vom globalen Kohlenstoffkreislauf?
- Welche Aspekte des systemischen Denkens verwenden Schülerinnen und Schüler im Zusammenhang mit dem globalen Kohlenstoffkreislauf?

Zwei Schülergruppen wurden in der Vorstudie untersucht:

- 165 Schülerinnen und Schüler der 11. - 13. Jahrgangsstufe bearbeiteten einen Assoziationstest. Sie schrieben je bis zu 10 Termini auf, die ihnen zum Begriff “System Erde” einfielen. Die Antworten wurden anhand systemtheoretischer Konzepte kategorisiert und im Hinblick auf das zugrunde liegende Systemverständnis ausgewertet.
- Fünf Schülerinnen und Schüler der 12. und 13. Jahrgangsstufe wurden bezüglich ihrer Vorstellungen vom globalen Kohlenstoffkreislauf genauer untersucht. Die Datenerhebung basierte auf verschiedenen qualitativen und quantitativen Forschungsinstrumenten:

Abschätzung der Verteilung des Kohlenstoffs und Anfertigung einer Zeichnung des Kohlenstofftransportes zwischen den Sphären

Die Probanden wurden gebeten, die Verteilung des Kohlenstoffs auf der Erde in Prozent abzuschätzen (Luft, Ozean, Organismen, Gestein, Fossile Brennstoffe, Sonstiges). Anschließend sollten sie eine Zeichnung anzufertigen, die den Transport des Kohlenstoffs zwischen der Litho-, Atmo-, Hydro- und Biosphäre darstellt. Dabei hatten die Probanden die Möglichkeit Definitionen der vier Sphären einzusehen. Für die Abschätzung und die Zeichnung standen 10 Minuten zur Verfügung.

Interview

Die Probanden wurden in teilstrukturierten Interviews (45 Minuten) im Hinblick auf ihre Vorstellungen zur Struktur und Dynamik des Kohlenstofftransports zwischen Litho-, Atmo-, Hydro- und Biosphäre befragt.

Fragebogen

Die Probanden wurden gebeten, einen Fragebogen bezüglich ihres biologischen, chemischen, geologischen und physikalischen Wissens, das als grundlegend für das Verständnis des Kohlenstoffkreislaufes anzusehen ist, auszufüllen. Dafür standen 20 Minuten zur Verfügung.

3.1.2 Exemplarische Ergebnisse

Die im Assoziationstest angegebenen Termini deuten auf ein allgemeines Verständnis des Systemcharakters der Erde hin. Detaillierte Kenntnisse über Struktur und Dynamik der Sphären sowie deren Wechselwirkungen sind jedoch nicht zu erkennen. Auch fehlt die Vorstellung geologischer Zeitdimensionen im Hinblick auf die Entwicklung der Erde und ihrer Subsysteme.

Die Untersuchung der fünf Schülerinnen und Schüler ergab, dass diese die Verteilung des Kohlenstoffs auf der Erde nicht im Sinne der realen Größenordnungen abschätzen. Die Atmosphäre und die Biosphäre werden als Kohlenstoffreservoir gegenüber der Lithosphäre und der Hydrosphäre weit überschätzt.

Zudem haben die Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten, den Kohlenstofftransport als einen zyklischen Prozess zu verstehen. Einige Probanden beschreiben einen linearen Prozess von der Litho- zur Atmosphäre. Dabei wird die Lithosphäre als unerschöpfliche Kohlenstoffquelle und die Atmosphäre als unbegrenzte Kohlenstoffsink betraachtet. Die Hydrosphäre wird nicht berücksichtigt. Zwei Schüler beschreiben einen Kreislauf, der reduziert ist auf die Prozesse Photosynthese und Zellatmung beziehungsweise die Wechselwirkung zwischen den tierischen und den pflanzlichen Organismen. Der beschriebene Kreisprozess ist hingegen nicht als eine Beziehung zwischen Organismen und der Atmosphäre repräsentiert. Die untersuchten Schülerinnen und Schüler haben keine Vorstellung von den dynamischen Eigenschaften, die den Wandel des Systems Kohlenstoffkreislauf im Laufe der Erdgeschichte bestimmen. Die Entwicklung der System Erde wird mit Hilfe linearer Prozesse

erklärt. Nichtlinearität wird nicht erkannt. Die Fragen des Wissens-tests wurden überraschend gut beantwortet. Die biologischen, chemischen, geologischen und physikalischen Konzepte, die als grundlegend für die Bearbeitung des Kontextes „Globaler Kohlenstoffkreislauf“ anzusehen sind, scheinen relativ gut repräsentiert zu sein. Im kontextgebundenen Interview wurden sie jedoch nicht im wissenschaftlichen Sinne verwendet.

3.2 Untersuchung von Schülerinteressen am System Erde

3.2.1 Begründung, theoretischer Hintergrund, Forschungsfragen und Untersuchungsmethoden

Kenntnisse über Schülerinteressen sind eine wichtige Grundlage der Entwicklung und Evaluation von Unterrichtsmaterialien.

Das Konstrukt Interesse wird in der Literatur als eine situationsunabhängige dauerhafte Disposition eines Individuums angesehen (z.B. Todt 1978, Prenzel, Krapp, Schiefele 1986) oder als situationsgebunden interpretiert (z.B. Hidi, Andersen 1992). Häussler und Hoffmann (1998) begründen die Auffassung, dass sich situationsunabhängiges dauerhaftes Interesse auf der Grundlage von situationsgebundenem Interesse entwickelt. Diese Autoren unterscheiden drei Dimensionen von situationsgebundenem Interesse: Interesse an einem spezifischen Inhalt, an einem spezifischen Kontext, der mit dem Inhalt verknüpft ist, und an einer spezifischen Lernaktivität, in der der kontextgebundene Inhalt erarbeitet wird. Vor diesem Hintergrund wurde folgenden Forschungsfragen nachgegangen:

- Wie groß ist das Interesse von Schülerinnen und Schülern an bestimmten geowissenschaftlichen Inhalten, wenn diese in Verbindung mit spezifischen Kontexten unterrichtet werden?
- Wie groß ist das Interesse der Schülerinnen und Schüler an bestimmten Tätigkeiten bei ihrer Beschäftigung mit dem System Erde?

Für eine Pilotstudie wurde ein Fragebogen entwickelt und in drei Bundesländern (Bayern, NRW, SH) in der gymnasialen Oberstufe von insgesamt 163 Schülerinnen und 172 Schülern bearbeitet. Er umfasste 88 Items, in denen 11 Gebiete und 8 Kontexte systematisch kombiniert wurden. Getrennt davon wurde das Interesse an verschiedenen Tätigkeiten erhoben. Zusätzlich wurden Fragen zur



schulischen und außerschulischen Beschäftigung mit geowissenschaftlichen Themen vorgegeben (s. Tätigkeiten).

Gebiete		Kontexte		Tätigkeiten	
G1	Teilsysteme des Systems Erde	K1	Individuum	T1	Dem Vortrag des Lehrers zuhören
G2	Kohlenstoffkreislauf	K2	Gesellschaft	T2	Wissenschaftliche Daten auswerten
G3	Gesteine und Mineralien	K3	Werte und Normen	T3	Auf Exkursion Daten erheben
G4	Fossile Brennstoffe	K4	Systemtheorie	T4	Selbstständig eine Vermutung aufstellen
G5	Boden	K5	Geowissenschaften	T5	Fragen an Geowissenschaftler stellen
G6	Gashydrate	K6	Geschichte der Erde		
G7	Meer	K7	Räumliche Konzepte		
G8	Trinkwasser	K8	Wissenschaftsmethode		
G9	Erdbeben				
G10	Klimaänderungen				
G11	Änderung der Biodiversität				

Drei Beispiele von Items zum Gebiet Erdbeben

Mein Interesse daran, mehr darüber zu erfahren, ..., ist		sehr groß (1)	groß (2)	mittel (3)	gering (4)	sehr gering (5)
G9K2	... wie man in Erdbebengebieten einem möglichen Einsturz der Häuser vorbeugen kann					
G9K5	... wie Erdbeben entstehen					
G9K8	... wie das Zentrum eines Erdbebens von jeder anderen Stelle der Erde aus ermittelt werden kann					

3.2.2 Erste exemplarische Ergebnisse

Im Allgemeinen zeigen die Schülerinnen und Schüler im Durchschnitt ein mittleres Interesse an fast allen Gebieten. Gesteine und Mineralien wecken das geringste Interesse, Erdbeben ein relativ hohes.

Die Kontexte Individuum, Gesellschaft sowie Werte und Normen sind von relativ hohem Interesse. Das Schülerinteresse an geowissenschaftlichen Gebieten verändert sich durch den Kontext, in dessen Zusammenhang es gestellt wird. Beispielsweise ist das Schülerinteresse am Kohlenstoffkreislauf viel höher im Kontext Individuum (Gesundheit) als im geowissenschaftlichen Kontext. Auf der anderen Seite zeigen die Schülerinnen und Schüler unterschiedliches Interesse am selben Kontext in Abhängigkeit vom Gebiet.

So ist der Kontext Wissenschaftsmethode von hohem Interesse im Zusammenhang mit Erdbeben und von geringerem in Kombination mit Boden. Hinsichtlich der Gebiete Teilsysteme des Systems Erde und Trinkwasser sind die Schülerinnen und Schüler viel mehr am Kontext Geowissenschaften als am Kontext Systemtheorie interessiert. Kohlenstoffkreislauf, Boden, Klimaveränderungen und Änderung der Biodiversität betreffend wurde größeres Interesse am Kontext Systemtheorie gezeigt. Hinsichtlich der anderen Inhalte, waren die Schülerinnen und Schüler an beiden Kontexten gleich stark interessiert.

Aus Sicht der Schülerinnen und Schüler werden die 11 ausgewählten Gebiete zum System Erde vorrangig im Geographieunterricht, deutlich weniger in Biologie- und nahezu gar nicht in Chemie- oder Physikunterricht behandelt.

4. Ausblick

Insgesamt ergibt die Interessenstudie detaillierte Hinweise darauf, bei welchen Teilthemen besondere Anstrengungen an eine attraktive Gestaltung der Lernumgebung erforderlich wird. Die Voruntersuchung zum Systemverständnis unterstreicht die Notwendigkeit eines systemischen didaktischen Ansatzes. Bisher vermittelte der Schulunterricht eine eher statische Sichtweise, die sich auf einzelfachliche Perspektiven beschränkt. Es ist zu erwarten, dass das Projekt System Erde aufgrund seiner interdisziplinären Konzeption und der systemtheoretischen Betrachtungsweise neue Impulse für einen fächerverbindenden bzw. fachübergreifenden Unterricht setzt.

Literatur:

- Ben-Zvi - Assaraf, O. & Orion, N. (2001): Studying the Water Cycle in an Environmental Context. The "Blue Planet" Program (paper presented at the NARST).
- Cavanaugh, J.C. 1989: The importance of awareness in memory aging, in: L.W. Poon, D.C. Rubin & B.H. Wilson (Eds.): Every day cognition in adulthood and late life (pp. 416-436). Cambridge: Cambridge University Press.
- de Jong, T.; Njoo, M. (1992): Learning and instruction with computer simulations: Learning processes involved. In: De Corte, E., Linn, M.C., Mandl, H., Verschaffel, L.: Computer based learning environments and problem solving. NATO ASI Series, Series F: Computer and systems sciences, Vol. 84. Berlin: Springer, S. 411-428.
- Duit, R. (1995): Zur Rolle der Konstruktivistischen Sichtweise in der Naturwissenschaftlichen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik* 41(6): 905-923.
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995): Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik* 41(6): 867-888.
- Gudovitch, Y. & Orion, N. (2001): The carbon cycle and the earth systems. Studying the carbon cycle in multidisciplinary environmental context. Department of Science Teaching, Weizmann Institute of Science Rehovot, Israel.
- Hasselhorn, M. (1998): Metakognition, in: D.H. Rost: Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Weinheim: Beltz, Psychologie Verlags Union.
- Hassenpflug, W. (1996): Fernerkundung und Satellitenbilder – Methoden und geographiedidaktische bedeutsame Potentiale. *Geographie und Schule* 18 (104): 3-11.
- Hassenpflug, W. (1996): Fernerkundung als geowissenschaftliche Informationsquelle. *Geographie und Schule* 18 (100): 1-38.
- Häussler, P., & Hoffmann, L. (1998): Qualitative differences in students' interest in physics, and the dependence on gender and age. In L. Hoffmann, A. Krapp, K.A. Renninger & J. Baumert (Eds.), Interest and learning (pp. 280-288) Proceedings on the Seon Conference on Interest and Gender (1998). IPN 164. Kiel: IPN.
- Hidi, S. & Andersen, V. (1992): Situational interest and its impact on reading and expository writing. In K.A. Renninger; S. Hidi, & A. Krapp (Eds.), *The Role of Interest in Learning and Development* (215-238). Hillsdale/NJ: Erlbaum.
- Kali, Y.; Orion, N. & Eylon, B.-S. (2001): The Effect of Knowledge Integration Activities on Students' Perception of the Earth's Crust as

- a Cyclic System, Department of Science Teaching, Weizmann Institute of Science Rehovot, Israel (submitted to the *Journal of Research in Science Teaching*).
- 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), 3-18.
- Klafki, W. (1980): Die bildungstheoretische Didaktik. *Westermann Pädagog. Beiträge* 32 (1), 32-37.
- Leutner, D. (1993): Guided discovery learning with computer based simulation games: Effects of adaptive and non adaptive instructional support. *Learning and Instruction* 3(2): 113-132.
- Meißner, R. (1996): Geowissenschaften – Gesellschaft – Schule. *Geographie und Schule* 18 (100): 3-8.
- Ossimitz, G. (2000): Entwicklung systemischen Denkens. *Klagenfurter Beiträge zur Didaktik der Mathematik*, Bd. 1. Profil-Verlag, München-Wien.
- Peeck, J. (1993): Increasing picture effects in learning from illustrated text. *Learning and Instruction* 3(3): 227-238.
- Peeck, J. (1994): Enhancing graphic effects in instructional texts: Influencing learning activities. In: *Comprehension of graphics*. W. Schnotz, R.W. Kulhavy. Amsterdam, Netherlands, North-Holland/Elsevier Science Publishers: 291-301.
- Prenzel, M.; Krapp, A., & Schiefele, H. (1986): Grundzüge einer pädagogischen Interessentheorie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 32, 163-173.
- Rieber, L.P. (1990): Using Computer Animated Graphics in Science Instruction With Children. *Journal of Educational Psychology* 82(1): 135-140.
- Rost, J. (2002): *Umweltbildung – Bildung für eine nachhaltige Entwicklung: Was macht den Unterschied* (Verlag noch nicht bekannt).
- Senatskommission für geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (1999): *Geotechnologien. Das System Erde. Vom Prozessverständnis zum Erdmanagement*. GFZ: Potsdam.
- Spiro, R.J.; Vispoel, W.P.; Schmitz, J.G. et al. (1987): Knowledge Acquisition for Application: Cognitive Flexibility and Transfer in Complex Content Domains. In: Britton, B.C. & Glynn, S.: *Executive control processes*. Erlbaum, Hillsdale NJ.
- Stark, R.; Graf, M.; Renkl, A., Gruber, H. & Mandl, H. (1995): Förderung von Handlungskompetenz durch geleitetes Problemlösen und multiple Lernkontexte. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 27(4): 289-312.



-
- Stark, R.; Gruber, H.; Renkl, A. & Mandl, H. (1997): "Wenn um mich herum alles drunter und drüber geht, fühle ich mich so richtig wohl." Ambiguitätstoleranz und Transfererfolg. *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 44(3): 204-215.
- Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (1999) (Hg.): *Dialog Wissenschaft und Gesellschaft*. Essen.
- Todt, E. (1978): *Das Interesse*. Bern: Huber.
- Weidenmann, B. (1989): When good pictures fail: An information processing approach to the effect of illustrations. In: *Knowledge acquisition from text and pictures*. H. Mandl, J.R. Levin. Amsterdam, Netherlands, North-Holland: 157-170.