

**Heft 60**

**Gutachten**  
**zur Vorbereitung des Programms**  
**"Steigerung der Effizienz des**  
**mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts"**

Materialien zur Bildungsplanung  
und zur Forschungsförderung

Mit den "Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung" veröffentlicht die Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung Unterlagen zur Situation und Planung in bestimmten Bereichen des Bildungswesens und der gemeinsamen Forschungsförderung. Die Veröffentlichungen dienen insbesondere der Information der verantwortlichen Stellen und der fachlich interessierten Öffentlichkeit. Nachdruck und Verwendung in elektronischen Systemen – auch auszugsweise – nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung der Geschäftsstelle der Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK) Bonn, E-Mail: [presse@blk-bonn.de](mailto:presse@blk-bonn.de).

Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK)  
- Geschäftsstelle -  
Hermann-Ehlers-Str.10, 53113 Bonn  
Telefon: (0228) 5402-0  
Telefax: (0228) 5402150  
e-mail: [blk@blk-bonn.de](mailto:blk@blk-bonn.de)  
internet: [www.blk-bonn.de](http://www.blk-bonn.de)

ISBN 3-9806109-0-X

1997

# **Expertise**

## **"Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts"**

verfaßt für die  
BLK-Projektgruppe "Innovationen im Bildungswesen"  
im Auftrage des  
Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie

November 1997

### Inhaltsübersicht:

1. Vorbemerkung
2. Bildungstheoretische Ausgangsannahmen der Expertise
3. Probleme und Prinzipien des Lehrens und Lernens in der Schule
4. Motivation als Bedingung und Ziel des Unterrichts
5. Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht im Rahmen einer modernen Allgemeinbildung
6. Professionalität der Lehrkräfte
7. Problemzonen des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts
8. Leitlinien eines Modellversuchsprogramms zur "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts"
9. Arbeitsschwerpunkte und Module des Programms
10. Vorschlag für die Organisation des Programms

## Inhaltsverzeichnis

1. **Vorbemerkung**
2. **Bildungstheoretische Ausgangsannahmen der Expertise**
  1. *Lernen in einer sich beschleunigt entwickelnden Wissensgesellschaft*
  2. *Fächer und Aufgabenfelder*
3. **Probleme und Prinzipien des Lehrens und Lernens in der Schule**
  1. *Lernen in der Schule und im Alltag*
  2. *Kumulatives Lernen in der Schule als Voraussetzung erfolgreichen Weiterlernens*
  3. *Lernen im Fach und fachübergreifender/fächerverbindender Unterricht*
  4. *Situiertes Lernen oder systematischer Wissensaufbau*
  5. *Selbstregulation und angeleitetes Lernen im lehrergelenkten Fachunterricht*
  6. *Lernen, leisten, prüfen: Fehler machen und Fehler vermeiden*
4. **Motivation als Bedingung und Ziel des Unterrichts**
  1. Interesse und Motivation als Ziel des Unterrichts
  2. Motivationale Orientierungen für das Umgehen mit Anforderungen
  3. Bedingungen für Lernmotivation und Interesse
5. **Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht im Rahmen einer modernen Allgemeinbildung**
  1. **Mathematik im Rahmen einer modernen Allgemeinbildung**
    1. *Mathematik zwischen Abbildfunktion und systemischem Charakter*
    2. *Das charakteristische Grundproblem des Schulfaches Mathematik*
    3. *Grundzüge sinnvollen Lehrens und Lernens von Mathematik*
    4. *Elemente mathematischer Grundbildung*
  2. **Die naturwissenschaftlichen Fächer im Rahmen einer modernen Allgemeinbildung**
    1. *Das naturwissenschaftliche Paradigma*
    2. *Biologie*  
*Bildungstheoretische Grundlegung des Biologieunterrichts, Allgemeine Ziele des Biologieunterrichts, Probleme des Biologieunterrichts*
    3. *Chemie*  
*Naturwissenschaften - Chemie, Unterricht Chemie, Organisation der Lernprozesse im Chemieunterricht*
    4. *Physik*  
*Der spezifische Beitrag der Physik zur Allgemeinbildung, Der Konsens über die allgemeinen Ziele des Physikunterrichts, Probleme des Physikunterrichts und Ansatzpunkte zu ihrer Lösung*
6. **Professionalität der Lehrkräfte**
  1. *Ausgangslage*
  2. **Elemente von Professionalität**
    1. *Wissensbasis*
    2. *Kooperation*
    3. *Selbstvergewisserung*
  3. *Stärkung der Professionalität der Lehrkräfte und Verbesserung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts*
7. **Problemzonen des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts**
  1. *Vorbemerkung*
  2. *Akzeptanz und Wertschätzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer*
  3. *Performanzprobleme im Leistungsbereich*
  4. *Lernmotivation und Interesse als Ziele des Unterrichts*
  5. *Modale Muster der Unterrichtsführung*
  6. *Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen*
  7. *Curriculare Problemzonen*
8. **Leitlinien eines Modellversuchsprogramms zur "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts"**
9. **Arbeitsschwerpunkte und Module des Programms**
  1. *Vorbemerkung*
  2. *Unterrichtsbezogene Maßnahmen*
  3. *Maßnahmen zur Steigerung der Sichtbarkeit, Akzeptanz und Wertschätzung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts innerhalb und außerhalb der Schule*
  4. *Stützende Entwicklungsmaßnahmen*
10. **Vorschlag für die Organisation des Programms**
  1. *Grundzüge des Organisationsvorschlags*
  2. *Lenkungsausschuß*
  3. *Koordinierungsstelle*
  4. *Pilotschulen und regionale Netzwerke*
  5. *Wissenschaftlicher Beirat*

# 1. Vorbemerkung

Das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie hat um eine Expertise zur Vorbereitung des Förderungsprogramms "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts" gebeten. Mit dieser Bitte wurde zugleich die grundsätzliche Zielsetzung des Programms festgelegt: "... die Intention des Programms ... ist: nicht so sehr durch Forschung, Entwicklung und Erprobung die vorhandenen Erkenntnisse ... aufzustocken, sondern das Vorhandene ... in die Breite umzusetzen." Ziel des Programms ist es, zu einer möglichst breit wirksamen Sicherung und Verbesserung der Qualität des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts und langfristig der mathematisch-naturwissenschaftlichen Bildung beizutragen. Dafür soll vorhandenes Wissen systematisch genutzt und der Optimierungsprozeß durch geeignete Hilfen und infrastrukturelle Maßnahmen unterstützt werden. Die Expertengruppe hat diese Festlegung als verbindliche Vorgabe und Rahmung ihrer Arbeit akzeptiert. Sie betrachtete es als ihre Aufgabe, diesen Rahmen zu konkretisieren und unter Nutzung des verfügbaren Fach- und Organisationswissens auszufüllen.

Die Arbeitsgruppe war heterogen zusammengesetzt. Ihr gehörten Personen aus der Schulpraxis, der Lehrerfortbildung, der Bildungsverwaltung, der Pädagogik, der Psychologie und nicht zuletzt den einschlägigen Fachdidaktiken an. Die Zusammensetzung der Gruppe hat sich bewährt, nicht weil sie die Arbeit erleichterte, sondern weil sie half, Einseitigkeiten vorzubeugen. Mitglieder der Expertenrunde haben nicht versucht, in jedem einzelnen Punkt Konsens zu erreichen, sich wohl aber an Pflichten der Begründung gebunden. Dies kommt auch in der Expertise zum Ausdruck.

Die Expertengruppe hat sich bemüht, ihre Anregungen in einem breiteren bildungstheoretischen und lern- bzw. motivationspsychologischen Rahmen zu entwickeln, der es erlaubt, Problemzonen des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts begründet zu identifizieren und zu beschreiben. Die konstruktiven Vorschläge zur Ausgestaltung eines Förderungsprogramms zur "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts" sind ein Versuch, auf diese Problemlagen zu antworten. Die Expertengruppe beansprucht für ihre Überlegungen und Empfehlungen eine gewisse Plausibilität. Sie ist sich jedoch auch der Kontingenz ihrer konstruktiven Vorschläge bewußt; auch andere Schritte und Maßnahmen sind denkbar. Mit dieser Expertise hofft sie, informierende Anregungen vorlegen zu können, die politischen Entscheidungen weder vorgreifen noch diese ersetzen.

Mitglieder der Expertengruppe waren:

- Professor Dr. Jürgen Baumert, Berlin (Vorsitzender)
- Professor Dr. Horst Bayrhuber, Kiel
- Ministerialrat Bernhard Brackhahn, Kiel
- Professor Dr. Reinhard Demuth, Kiel
- Oberstudiendirektor Heinz Durner, Unterhaching
- Professor Dr. Hans Ernst Fischer, Dortmund
- Professor Dr. Peter Häußler, Kiel (Mitarbeit an der schriftlichen Fassung der Expertise)
- Professor Dr. Lisa Hefendehl-Hebeker, Augsburg
- Leitender Regierungsschuldirektor Wolfgang Koch, Düsseldorf
- Oberstudiendirektorin Barbara Loos, Germering
- Professor Dr. Manfred Lutherdt, Erfurt
- Professor Dr. Michael Neubrand, Flensburg
- Professor Dr. Manfred Prenzel, Kiel
- Studiendirektor Roland Reger, München
- Wissenschaftlicher Oberrat Dr. Kurt Riquarts, Kiel
- Professor Udo-Michael Schampel, Stuttgart
- Professor Dr. Ulrich Schmidt, Erfurt
- Professor Dr. Ewald Terhart, Bochum

Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Expertengruppe: Dr. Klaus Blänsdorf, Kiel

Die Expertengruppe nahm ihre Tätigkeit Ende September 1997 auf und tagte insgesamt dreimal. Ein erster Entwurf der Expertise wurde der Projektgruppe "Innovationen im Bildungswesen" der Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung Anfang November 1997 vorgestellt. Die Expertise wurde am 17. November dem Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie übergeben.

## 2. Bildungstheoretische Ausgangsannahmen der Expertise

### 2.1 Lernen in einer sich beschleunigt entwickelnden Wissensgesellschaft

Der unmittelbare Kontext schulischen Lernens ist zunächst die Schule selbst mit ihren Erwartungen und Regeln. Schüler lernen in der Schule und für die Schule. Die Schule ist ein substantieller Teil der Lebenswelt der nachwachsenden Generationen. Allein der Umstand, daß die Schule einen beträchtlichen Teil des Zeitbudgets der Schülerinnen und Schüler beansprucht, legt ihr und nicht zuletzt dem Fachunterricht besondere Pflichten bezüglich eines sorgsamem Umgangs mit der gegenwärtigen Lebenszeit der ihr Anvertrauten auf: Gegenwart ist nicht gegen Zukunft aufrechenbar. Es gibt für die Schule keinen Dispens vom Auftrag, Lernen in sinnstiftenden Kontexten zu arrangieren.

Dennoch weist Lernen in der Schule immer auch über sich selbst hinaus: Es zielt auf das Verständnis der Gesellschaft, in die Kinder und Jugendliche allmählich hineinwachsen. Schule vermittelt - neben anderen Bildungs- und Erziehungsinstanzen - ein Orientierungswissen, das hilft, die Welt der Gegenwart zu ordnen, Zusammenhänge zu verstehen und eine eigene Identität zu erarbeiten. Schulisches Lernen richtet sich aber auch auf zukünftige unbestimmte Lebenssituationen, in denen Individuen zunehmend autonom und verantwortlich entscheiden und handeln sollen. Schulisches Lernen ist im Kern auf lateralen und vertikalen Transfer angelegt. Die Anforderungen an Schule und Unterricht ergeben sich also sowohl aus den Lebensbedingungen der Kinder und Jugendlichen als auch aus unbestimmten zukünftigen Situationen, in denen sich die heutigen Schüler als Erwachsene bewähren müssen.

Diese zukünftigen Anforderungen an Wissen, Fertigkeiten und motivationalen Orientierungen lassen sich jedoch in einer

modernen Welt mit hohen Änderungsraten nicht befriedigend vorhersagen. Ein maßgeblicher Orientierungspunkt eines modernen schulischen Bildungsprogramms ist die Unbestimmtheit einer sich beschleunigt entwickelnden Wissensgesellschaft. Bei aller Unsicherheit bezüglich zukünftigen gesellschaftlichen Wandels läßt sich allerdings gut begründen, daß - wie Weinert (1997) kürzlich formulierte - "an die Stelle von statischen Modellen der Bevorratung von Bildung ein dynamisches Modell der kontinuierlichen Ergänzung und Erneuerung von Bildung treten müsse". Nach dem Vorratsmodell erwirbt man in der Schule jenes Wissen, das der Erwachsene anwendet. Die meisten Klagen über den Modernitätsrückstand und die mangelnde Lebensnähe schulischen Lernens gehen unausgesprochen von einem normativen Modell direkter Übertragbarkeit und unmittelbarer Anwendbarkeit des Schulwissens aus. Selbst das Konzept fachlicher Schlüsselqualifikationen ist dieser statischen Vorstellung, wenngleich auf abstrakterem Niveau, verpflichtet. Nach dem dynamischen Modell der Ergänzung und Erneuerung von Bildung werden im Laufe des Erwachsenenlebens auf der Basis eines soliden Wissensfundaments kontinuierlich neue Kenntnisse und Fähigkeiten erworben, die für eine erfolgreiche Anpassung an veränderte Umstände nötig sind. Vieles, was Schüler als Erwachsene benötigen werden, können sie nicht schon jetzt erlernen. Erwerbbar sind allein die Voraussetzungen zum erfolgreichen Weiterlernen. Diese Voraussetzungen sind kognitiver und motivationaler Art.

Akzeptiert man diese bildungstheoretische Orientierung, wird die allgemeinbildende Schule von überzogenen Transfererwartungen und Ansprüchen an unmittelbare Verwendbarkeit erworbenen Wissens, die immer wieder enttäuscht werden, entlastet. Sie gewinnt Freiraum für ein Bildungsprogramm, das synchron und diachron, also im Hinblick auf Gegenwart und Zukunft, nicht auf direkte Anwendung, sondern auf *Anschlußfähigkeit* für nachfolgendes Lernen hin konzipiert ist, mit dem Wissen an die Besonderheiten der jeweiligen Situation angepaßt oder für die systematische Erweiterung des Wissensbestandes genutzt wird. Die Expertengruppe legt Wert darauf, zwischen der unmittelbaren Anwendbarkeit erworbenen Wissens und dessen Anschlußfähigkeit für Anpassung und Weiterlernen zu unterscheiden. Der zugrundegelegte Wissensbegriff ist weit: Er schließt Wissen über Fakten und deren Zusammenhänge, das Verständnis von Konzepten, Modellen und Theorien sowie methodologisches Wissen und methodische Kenntnisse ebenso ein wie das Wissen über das eigene Denken, Handeln und Lernen. Darüber hinaus werden unter diesem Begriff aber auch jene oftmals routinisierten, nicht selten auch automatisierten Fertigkeiten verstanden, die für erfolgreiches Handeln und Lernen notwendig sind. In der Regel ist Wissen an den Kontext seines Erwerbs gebunden. Es ist nicht ohne weiteres auf andere Zusammenhänge und Situationen übertragbar. Insofern ist es nicht verwunderlich, daß in der Schule erarbeitetes Wissen in außerschulischen Situationen nicht prompt zur Verfügung steht: Es bleibt träge. Um anwendbar zu sein, bedarf es der Erweiterung, Modifikation und Anpassung an die jeweils spezifische Situation. Trotz der Grenzen unmittelbarer Verwendbarkeit ist schulisches Wissen nicht nutzlos: Es erleichtert anschließendes Lernen. Dies wollen wir mit *Anschlußfähigkeit* bezeichnen. Die Qualität schulischen Lernens erweist sich also nicht nur - und möglicherweise sogar zum geringeren Teil - in der unmittelbar praktischen Anwendung, sondern in der Förderung anschließenden Lernens innerhalb und außerhalb der Schule. Eine derartige bildungstheoretische Orientierung hat curriculare und didaktische Konsequenzen. Sie akzeptiert die Schule als Lernstätte eigenen Rechts und entlastet sie von dem wenig erfolgversprechenden Versuch, gegenwärtige Lebenssituationen von Kindern und Jugendlichen in der Schule abbilden oder zukünftige Anwendungssituationen vorwegnehmen zu wollen.

Die moderne Bildungstheorie hat den legitimen Anspruch an Allgemeinbildung im Sinne einer Grundbildung für die ganze nachwachsende Generation konsequenterweise auch auf die Vermittlung der Voraussetzungen zu gesellschaftlicher Kommunikation und Teilhabe und die Sicherung von Lernfähigkeit zurückgenommen. Danach hat Allgemein- oder Grundbildung heute die Aufgabe, jene Basisqualifikationen zu vermitteln, die für eine verständige und reflektierbare Teilhabe am gesellschaftlichen und öffentlichen Leben angesichts von Normdissens und vielfältigen Traditionen und Kulturen unentbehrlich sind, und das Wissensfundament zu legen, von dem Weiterlernen mit einiger Aussicht auf Erfolg ausgehen kann. Obwohl der Schulbesuch ausgeprägter als je zuvor zu den wenigen gemeinsamen Erfahrungen einer nachwachsenden Generation gehört, kann man nicht mehr davon ausgehen, daß in der Allgemeinbildung das kollektive Gedächtnis einer Gesellschaft überliefert oder Konsens über eine wünschenswerte Zukunft erzeugt würde (Sekretariat der KMK, 1995).

Die Expertengruppe ist der Überzeugung, daß eine Allgemeinbildungskonzeption, die einerseits der Unbestimmtheit zukünftiger Lebenssituationen und Anforderungen und der Anschlußfähigkeit erworbenen Wissens für Weiterlernen Rechnung trägt und andererseits das Recht des Schülers auf Lernen in sinnstiftenden Kontexten als Regulativ im Auge behält, eine Basis bildet, von der aus sich Zielperspektiven für die allgemeinbildende Schule und auch den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht konkretisieren lassen:

(1) Die schulische Grundbildung muß die sichere Beherrschung kultureller Basiswerkzeuge vermitteln. Dazu gehören in einem modernen europäischen Industriestaat grundlegende Kenntnisse und Fertigkeiten im muttersprachlichen Bereich und hinreichende Vertrautheit im Umgang mit mathematischen Symbolen und einfachen Routinen. Allmählich kommen auch Grundkenntnisse in einer modernen Fremdsprache hinzu, wobei sich Englisch zur Lingua franca entwickelt hat. Diese Wissensbestände haben unmittelbar instrumentelle Funktion für das Weiterlernen. Hinreichende Sicherheit im Umgang mit diesen Kulturtechniken kann der größte Teil der jungen Generation außerhalb oder unabhängig von der Schule praktisch nicht erwerben. Alles hängt vom Lernen in der Schule ab. Gleichzeitig erschließt die Beherrschung dieser Kulturwerkzeuge neue Erfahrungshorizonte und neue Möglichkeiten selbständigen Lernens. Defizite in diesem Basiswissen sind schwer kompensierbar.

(2) Zum obligatorischen Wissensfundament gehört ferner ein hinreichend breites, in sich gut organisiertes und vernetztes sowie in unterschiedlichen Anwendungssituationen erprobtes Orientierungswissen in zentralen Wissensdomänen unserer Kultur, die unterschiedliche, nicht wechselseitig ersetzbare Horizonte des Weltverstehens erschließen. Diese Wissensdomänen haben in der deutschen Bildungstradition ihre exemplarische schulische Form in den Aufgabenfeldern der gymnasialen Oberstufe erhalten. An dieser Stelle werden sie expliziert und ausdrücklich zur Grundlage von Organisationsentscheidungen gemacht. Sie bilden jedoch in gleicher Weise das Bauprinzip des Bildungsprogramms der Mittelstufe. Diese Aufgabenfelder eröffnen Zugänge zu unterschiedlichen Formen der Rationalität ästhetisch-expressiver, historisch-gesellschaftlicher, religiös-konstitutiver und nicht zuletzt mathematischer und naturwissenschaftlich-technischer Art. Im mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bereich stehen die Mathematik für den Umgang mit abstrakten Symbolsystemen und die Naturwissenschaften und Technik für auf Beobachtung basierende Systematisierung und theoretische Modellbildung, die häufig mit experimentellem oder technisch gestaltendem Zugriff auf Realität verbunden ist. Jede dieser Rationalitätsformen hat ihre eigene Dignität -

auch im Rahmen einer modernen Grund- und Allgemeinbildung. Eine elementare Vertrautheit mit *jeder* dieser Denkweisen macht Allgemeinbildung aus. Dieses grundlegende Orientierungswissen ist eine Voraussetzung für gesellschaftliche Kommunikation und bürgerliche Teilhabe und die inhaltliche Basis für nachfolgendes Lernen.

Je nach Wissensdomäne hat die Schule eine herausgehobene Vermittlungsaufgabe oder ist ein Anbieter unter anderen. Für die mathematische Grundbildung, die über die Beherrschung von unmittelbar nützlichen Rechenfertigkeiten zweifellos hinausgeht, besitzt die Schule praktisch das Vermittlungsmonopol. Dem widerspricht auch nicht, daß Personen ohne oder mit minimalem Mathematikunterricht quantitative Alltagsprobleme in engen Grenzen mehr oder minder erfolgreich lösen können. Ähnliches gilt für die Naturwissenschaften. Ein systematisches Verständnis für naturwissenschaftliche Phänomene, das über anschauungsnahe Alltagsvorstellungen hinausgeht, ist schulabhängig. Für junge Menschen, die keinen naturwissenschaftlich-technischen Beruf wählen, ist der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht in der Schule praktisch die einzige Chance zur systematischen Begegnung mit einem zentralen Teil unserer Kultur.

(3) Teil einer zukunftsfähigen Allgemeinbildung sind darüber hinaus Fähigkeiten der Selbstorganisation und Selbstregulation des Lernens einschließlich der Bereitschaft, selbständig weiterzulernen, und der Fähigkeit, Durststrecken im Lernprozeß zu überstehen. Zu diesen metakognitiven Kompetenzen und motivationalen Orientierungen gehören das Wissen über das eigene Denken und Lernen, die Kenntnis von Lernstrategien und Heuristiken sowie die Fähigkeit, diese Kompetenzen einzusetzen, um den Lernprozeß zu steuern. Das Konzept der metakognitiven Kompetenzen und Lernstrategien ist breiter als die üblicherweise in der Schule unter der Perspektive "Lernen des Lernens" vermittelten Lerntechniken, die vor allem Methoden der Informationsbeschaffung und praktischen Organisation des Lernens berücksichtigen. Es schließt insbesondere jene Erwerbs- und metakognitiven Überwachungsstrategien ein, die auf ein tiefes Verstehen des Gelernten zielen.

Grundsätzlich lassen sich allgemeine Strategien, Heuristiken, Lösungsalgorithmen und Lernregeln in begrenztem Umfang auch direkt vermitteln und trainieren. Für diese generellen Werkzeuge gilt jedoch ein *Bandbreiten-Genauigkeitsdilemma*: Je allgemeiner diese Werkzeuge sind, desto geringer ist ihr Nutzen bei der Lösung spezifischer anspruchsvoller Probleme. Erfolgversprechender ist der Weg, Methoden des Lernens und des Problemlösens, persönliche Arbeitshaltungen und soziale Kompetenzen systematisch bei der Erarbeitung inhaltspezifischen Wissens zu vermitteln. Der Erfolg dieser induktiven Strategie hängt davon ab, daß es sich bei dieser Vermittlung nicht um sporadische, sondern um systematische Bemühungen handelt.

(4) Wissensergänzung und Weiterlernen werden sich zunehmend in sozialen Situationen vollziehen, in denen Menschen zusammenarbeiten und aufeinander angewiesen sind. Unter den sogenannten Schlüsselqualifikationen nehmen deshalb auch sozial-kognitive und soziale Kompetenzen einen besonderen Rang ein. Der gemeinsame Unterricht in der Schule bietet grundsätzlich relativ günstige Voraussetzungen, um soziale Kompetenzen wie Perspektivenwechsel, Mitempfinden, Hilfsbereitschaft, Kooperationsfähigkeit, Verantwortungsbereitschaft und moralische Urteilsfähigkeit zu entwickeln. Diese Aufgabe fällt allen Fächern in unterschiedlicher Intensität und der Schule als Organisation insgesamt zu. Auch hier gilt, daß Schlüsselqualifikationen in einer persönlich und sozial verantwortungsvollen, situativ variationsreichen Auseinandersetzung mit dem Stoff und konkreten Aufgaben erworben werden. Gerade ein experimentell ausgerichteter naturwissenschaftlicher Unterricht kann in dieser Hinsicht in besonderer Weise in die Pflicht genommen werden.

## **2.2 Fächer und Aufgabenfelder**

Fächer bilden in der Schule jenen thematischen Rahmen des Lernens, der Voraussetzung für Sequenzierung, Kumulativität und letztlich auch Bewertung von Lernfortschritten ist. Fächer sind der professionelle Rahmen des Lehrerhandelns. In dieser Funktion haben sie sich bewährt. Sie bilden jedoch keinen festen Kanon mehr, in dem eine geschlossene Bildungsidee abgebildet wird. Sie stehen exemplarisch für unterschiedliche, nicht austauschbare Wege der Weltbegegnung und der sinnstiftenden Ordnung von Erfahrungen. Ein Blick auf die gymnasiale Oberstufe, die sich mit ihrer Allgemeinbildungskonzeption praktisch zur Leitinstitution für das allgemeinbildende Schulwesen entwickelt hat, zeigt das Konstruktionsprinzip einer modernen zukunftsgerichteten Allgemeinbildung, zumindest wie sie sich in Deutschland allmählich herausgebildet hat. In der Verbindung von obligatorisch abzudeckenden Aufgabenfeldern und der Wahlmöglichkeit von Fächern wird die Absicht erkennbar, zwischen einem stabilen Kern des Bildungsprogramms und der flexiblen Anpassung an sich verändernde Umstände eine Balance zu finden, die auch schon im Prinzip in der Mittelstufe, und zwar für *alle* Schulformen angelegt ist. Die Aufgabenfelder repräsentieren unterschiedliche Modi der Welterschließung und unterschiedliche Formen der Rationalität. Die Einführung in jede dieser Vorstellungswelten ist Kern der Allgemeinbildung. Schulfächer - ihre Auswahl, ihr Einsetzen, ihr Stundenaufkommen, auch ihr Zusammengehen in bestimmten Jahrgangsstufen - sind demgegenüber variabel. Das Ausräumen von obligatorischen Anforderungen oberhalb von Fächern oder gar Einzelthemen und Variabilität auf den nachgeordneten Ebenen inhaltlicher Konkretisierung scheint im Unterschied zu allen traditionellen Kanonlösungen eine zumindest für absehbare Zukunft tragfähige Bildungskonzeption zu sein.

Mathematik hat entsprechend der kontinentaleuropäischen Bildungstradition auch in Deutschland eine angestammte starke Stellung im Bildungsprogramm des allgemeinbildenden Schulwesens. Aber auch der naturwissenschaftliche Unterricht hat sich zunächst im Gymnasium im Maturitätsstreit des ausgehenden 19. Jahrhunderts von den sprachlichen Fächern emanzipiert. In den nicht-gymnasialen Schulformen ist er erst in den 60er Jahren dieses Jahrhunderts aus dem Rahmen naturkundlicher Betrachtungsweisen herausgewachsen. Mittlerweile hat der naturwissenschaftliche Unterricht in Deutschland auf der Sekundarstufe I im internationalen Vergleich eine relativ starke Stellung. Hinsichtlich des Einsetzens der einzelnen naturwissenschaftlichen Fächer, ihrer Sequenzierung und Periodisierung, ihrer Verzahnung sowie ihrer Stundenausstattung in der Mittelstufe ist die Variation zwischen Schulformen und Bundesländern allerdings beträchtlich. Ob in der Nutzung des für die naturwissenschaftlichen Fächer insgesamt zur Verfügung stehenden Zeitbudgets bereits optimale Lösungen gefunden wurden, ist fraglich.

## **3. Probleme und Prinzipien des Lehrens und Lernens in der Schule**

### **3.1 Lernen in der Schule und im Alltag**

Erfahrungen, die im Rahmen formalisierter Bildungsprozesse angeboten werden, sind immer stellvertretende Erfahrungen - ausgewählt und präpariert mit dem Ziel, Lernprozesse anzubahnen und zu unterstützen, die gleichwohl, um erfolgreich zu verlaufen, als persönliche und authentische Erfahrungen wahrgenommen und verarbeitet werden müssen. Je stärker sich Bildungseinrichtungen darum bemühen, Alltagserfahrungen in ihre Programme aufzunehmen, desto deutlicher wird das Paradoxon. Schulische Erfahrungen sind immer pädagogisierte Erfahrungen. Nur bei der Aufhebung der Institution fallen praktisches Handeln und Lernen wieder zusammen.

Diese institutionelle Trennung ist die Voraussetzung der eigentlichen Stärke der Schule, nämlich Lernen systematisch, kumulativ, langfristig und explizit, d.h. reflexiv auf sich selbst bezogen anzulegen. Erkauft wird diese Stärke mit dem Strukturproblem, Lernen für den Schüler und die Schülerin als persönliche und sinnvolle Erfahrung erlebbar zu machen. Dennoch muß dieses Strukturproblem gelöst werden, wenn man verständnisvolle Lernprozesse einleiten will. Schulisches Lernen muß nicht nur anschlussfähig für zukünftiges Lernen sein, sondern auch Erfahrungen aus unterschiedlichen Lebenskontexten aufnehmen. Dieses Dilemma ist für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht eine besondere Herausforderung.

Eine Balance zwischen eng geführtem, systematischem Lernen in definierten Wissensdomänen und situationsbezogenem Lernen im praktischen Umgang mit lebensweltlichen Problemen zu finden, ist konstitutiv für die Schule. Wie die Gewichte zu verteilen sind, darüber kann man im einzelnen streiten. Ihre Verteilung wird vom Alter und Vorwissen der Schüler, von der Schulform, aber auch von situativen Bedingungen in der einzelnen Schule abhängig sein. Die Expertengruppe ist allerdings der Überzeugung, daß die Verabsolutierung jeweils einer der beiden Seiten zu suboptimalen Lösungen führt.

Soweit empirische Daten vorliegen, gibt es Hinweise, daß derzeit im Unterricht der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer weder die strukturelle Stärke der Schule in individuell erfahrbare Kumulativität der Lernprozesse und vertikalem Transfer innerhalb von Wissensdomänen ausreichend zur Geltung kommt noch kontextuelle Sinnstiftung befriedend gelingt.

### **3.2 Kumulatives Lernen in der Schule als Voraussetzung erfolgreichen Weiterlernens**

Die beste Voraussetzung für kumulative Lernprozesse und selbständiges, erfolgreiches Weiterlernen in einem breiten Wissens- und Anwendungsbereich sind nicht formale Schlüsselqualifikationen, sondern eine solide und gut organisierte Wissensbasis in der jeweiligen Domäne. Damit sind nicht vereinzelte und mechanisch erworbene Kenntnisse gemeint, sondern ein intelligent geordnetes, in sich vernetztes, in verschiedenen Situationen erprobtes und flexibel anpaßbares Wissen. Dazu gehört Fakten-, Konzept-, Theorie-, Methoden- und Prozeßwissen gleichermaßen. Kumulative Lernprozesse können also nicht in einem Unterricht erwartet werden, der eng entlang einer vermeintlich einzigen linearen Sachgesetzlichkeit, die als Blaupause des individuellen Wissenserwerbsprozesses gilt, enggeführt wird. Gelingende kumulative Lernprozesse werden in der Regel individuell gerade *nicht* linear-sequentiell verlaufen.

Verständnisvolles Lernen ist ein aktiver und konstruktiver Aufbau von Wissenssystemen. Dies ist immer ein individueller Konstruktionsprozeß, der maßgeblich durch das verfügbare Vorwissen und den dadurch beschriebenen Verständnishorizont beeinflusst wird. Der kumulative Verlauf des Lernens innerhalb eines Wissensbereichs wird unmittelbar durch die Qualität des Vorwissens bestimmt. Umfang, Organisation, mentale Repräsentation und Abrufbarkeit machen die Qualität des Wissensbestandes aus. Bei steigender Schwierigkeit und Komplexität der kognitiven Anforderung von Aufgaben und Problemstellungen nimmt die Bedeutung des spezifischen Vorwissens für deren erfolgreiche Bearbeitung zu. Fehlt dieses Wissen, entscheiden die allgemeinen kognitiven Grundfähigkeiten über die Lösungsqualität. Ein guter Problemlöser verfügt in seiner Domäne über eine breite, gut organisierte, multipel repräsentierte und leicht aktivierbare Wissensbasis. Der Aufbau von intelligentem Wissen ist in der Regel ein langjähriger übungsintensiver Prozeß, der Anstrengung und Ausdauer verlangt. Defizite sind nicht kurzfristig zu beseitigen. Fehlendes Wissen, insbesondere Lücken im Bereich des Basiswissens erschweren jedes weitere Lernen. Derartige Defizite sind insbesondere bei lernschwächeren Personen die größten Hindernisse für befriedigende Lernfortschritte.

Tendenziell werden von Lehrkräften in der Schule die Bedeutung des Vorwissens unterschätzt und Umfang und Qualität des verfügbaren Wissens von Schülern überschätzt. Die in unseren Schulen vorherrschende Praxis der Leistungsüberprüfung durch Klassen(Schul)arbeiten, die überwiegend kürzlich behandelte Stoffe berücksichtigen, ist wahrscheinlich für diese Fehleinschätzung mitverantwortlich.

### **3.3 Lernen im Fach und fachübergreifender/fächerverbindender Unterricht**

Das Strukturproblem der Schule, eine akzeptable Balance zwischen systematischem und situiertem Lernen, zwischen Systematik und Kasuistik zu finden, kehrt in besonderer Schärfe in der pädagogischen Diskussion über das Verhältnis vom Lernen im Fach zu fächerverbindendem und fachübergreifendem Unterricht wieder. Von dieser Diskussion ist auch der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht nicht ausgenommen. Die Expertengruppe ist der Überzeugung, daß die Behandlung beider Lernformen als Gegensätze oder konkurrierende didaktische Konzepte nicht nur für die Optimierung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts unangemessen, sondern auch aus didaktischer Perspektive nicht zu rechtfertigen ist. Je nach angestrebten Zielsetzungen ist fachliches oder fächerverbindendes Lernen notwendig.

Das Fach hat aus gutem Grund eine zentrale Stellung in unserem Schulwesen, da es die pädagogische Arbeit in mehrfacher Weise bündelt. Das Schulfach ist der Rahmen, in dem außerschulische Stoffe und Probleme überhaupt erst zu Themen schulischen Lernens werden. Das Schulfach definiert eine sachliche und zeitliche Systematik, die nicht primär an einem Strukturentwurf der akademischen Bezugsdisziplin, sondern an Bildungsprozessen und den sie tragenden Leitbildern orientiert ist. Das Schulfach besitzt seine eigene pädagogisch-didaktische Logik. Es erlaubt die Sequenzierung von Stoffen und Themen, ohne einem linearen Ablauf verpflichtet zu sein, den kumulativen Wissensaufbau, individuelle Erfahrung von Kompetenzzuwachs und die begründete Bewertung von Leistungsfortschritten. Dies muß immer wieder auch gegenüber den Fachwissenschaften betont werden, in denen nicht selten die Überzeugung anzutreffen ist, das Schulfach sei die Elementarisierung einer Bezugsdisziplin. Ebenso wenig ergibt sich aus einer Abfolge von Alltagsproblemen - und mögen diese auch gesellschaftliche Schlüsselprobleme sein - kumulatives Lernen. In der Handhabung der Differenz von Schulfach und Fachwissenschaft sowie von Alltagswissen der Schüler und zu vermittelndem Bildungswissen erweist sich eine zentrale professionelle Leistung der Lehrenden.

So wichtig die Rahmung des Fachs für den systematischen Wissenserwerb ist, so macht sie doch gleichzeitig auf die Grenzen der im Fach stellbaren und beantwortbaren Fragen aufmerksam. Das Fach weist, wenn es reflexiv unterrichtet wird, immer schon über sich selbst hinaus. Dies ist keine Eigenschaft, die der Unterricht erst auf der Oberstufe annehmen kann; sie kann prinzipiell von Anbeginn des gefächerten Unterrichts realisiert werden. Der fächerverbindende und fachübergreifende Unterricht ist nicht nur eine notwendige Ergänzung des Fachunterrichts, sondern Teil dessen Vollendung. Es liegt der Expertengruppe sehr daran,

auf die didaktische Bedeutung jener fächerverbindenden und fachübergreifenden Fragestellungen und Themen hinzuweisen, die aus dem Fach selbst entwickelt werden und die Grenzen des Fachs thematisieren. Denn sie sind die Grundlage der Reflexivität des Fachunterrichts und damit eine der Voraussetzungen für ein wirkliches Verständnis fachlicher Anliegen im Rahmen einer modernen Allgemeinbildung. Fächerverbindender oder fachübergreifender Unterricht, der aus den Fächern selbst entwickelt wird, ist möglicherweise didaktisch anspruchsvoller als die Kooperation verschiedener Fächer in der Bearbeitung eines Alltagsproblems, bei der ein Kategorienwechsel zwischen Fächern veranschaulicht wird. Dennoch ist auch diese Mehrperspektivität, für die das Projekt, an dem mehrere Fächer beteiligt sind, exemplarisch steht, eine wichtige Korrektur des Fachunterrichts, da ein vergleichender Blick gleichsam von außen auf das Fach gerichtet wird. Man kann über das rechte Austarieren von fachlichem und fächerverbindendem bzw. fachübergreifendem Unterricht streiten. Je nach Fach, Alter und Vorwissen der Schüler und situativen Bedingungen in der einzelnen Schule sind unterschiedliche Lösungen denkbar. Kaum strittig ist jedoch, daß die überfachliche Perspektive in unseren Schulen im allgemeinen zu kurz kommt. Dies gilt insbesondere für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht.

In einer besonderen Situation ist die Familie der naturwissenschaftlichen Fächer. Die naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer haben je spezifische Anliegen und Aufgaben. Das gilt nicht nur für die Biologie als Vertreterin der Biowissenschaften einerseits und die Chemie und Physik andererseits, aber in besonderem Maße. Die drei Fächer eröffnen unterschiedliche Perspektiven auf die belebte und un belebte Natur mit jeweils differentiellem theoretischen und methodischen Vorgehen. Dennoch haben diese Fächer beträchtliche epistemologische, konzeptuelle und methodische Gemeinsamkeiten, die für das naturwissenschaftliche Paradigma insgesamt stehen. Von der Sache her haben sie wechselseitig Zulieferungsfunktionen wahrzunehmen, deren Erfüllung, wenn schon nicht Synchronisation, so doch in jedem Fall eine konzeptuelle horizontale Vernetzung der Fächer verlangt. Bislang fehlt allerdings ein theoretisch überzeugendes, naturwissenschaftsdidaktisches Bemühen, die naturwissenschaftliche Grundbildung als Gesamtaufgabe im Rahmen des allgemeinen Bildungsauftrages der Schule in den Blick zu nehmen. Das Zeitbudget, das diesen Fächern in der Sekundarstufe I und der Oberstufe eingeräumt wird, ist im internationalen Vergleich nicht unbeträchtlich. Die Expertengruppe ist auch der Ansicht, daß die in den Studentafeln der Länder gefundenen Aufteilungen des Unterrichtsaufkommens auf die unterschiedlichen *Aufgabenfelder* im großen und ganzen pragmatische und vertretbare Lösungen des Verteilungsproblems bei notwendiger Zeitknappheit darstellen. Vorschläge, nach denen der naturwissenschaftliche Unterricht durch die Erweiterung des Pflichtstundenanteils verbessert werden soll, sind in der Regel weder im Hinblick auf Nebenwirkung für die übrigen Aufgabenfelder und die Ausgewogenheit einer modernen Allgemeinbildung insgesamt noch hinsichtlich der zeitlichen Gesamtbelastung von Schülern gut durchdacht. Die Überlegungen der Expertengruppe stellen also bewußt die Verteilung der Unterrichtszeit zwischen den *Aufgabenfeldern* nicht in Frage. Dennoch reicht das für die Naturwissenschaften insgesamt verfügbare Stundenbudget nicht aus, um die einzelnen Fächer mit akzeptablem Zeitaufkommen durchgehend über die Sekundarstufe I und II hinweg zu unterrichten. Es sind also notwendigerweise Selektions- und Prioritätsentscheidungen im Fachwechsel über Jahrgangsstufen und systematische horizontale Verzahnungen zwischen den Fächern notwendig. Die gefundenen Lösungen sind bislang unbefriedigend.

#### **3.4 Situiertes Lernen oder systematischer Wissensaufbau**

Mit dem fachübergreifenden Lernen verbindet sich häufig die Vorstellung von Projektunterricht, in dem realitätsnahe, möglichst authentische und für Schüler bedeutungsvolle Probleme bearbeitet werden. Lernen erfolgt in diesen Fällen anwendungsorientiert und kontextbezogen. Die Identifikationsflächen für Schüler sind größer und häufig auch die individuelle Verantwortlichkeit, so daß Lernen eher als sinnvoll und motivierend erlebt werden kann. Die Aktivierung derart situiert erworbenen Wissens in gegenwärtigen Lebenssituationen dürfte auch leichter fallen. Wie steht es aber mit der Kumulativität von Lernprozessen und der Anschlußfähigkeit für nachfolgendes Lernen innerhalb der Wissensdomäne? Die Beantwortung dieser Frage ist von grundsätzlicher bildungstheoretischer Bedeutung und ebenso wichtig für die Entwicklung stabiler gegenstandsbezogener Motivation. Kann man sich auf die geheime Rationalität der Variation situierten Lernens verlassen?

In der Kognitionsforschung besteht Übereinstimmung, daß Wissen grundsätzlich kontextuiert erworben wird. Die individuellen Wissensbestände tragen gleichsam den Index ihres Erwerbszusammenhangs, der den Bereich ihrer Aktivierbarkeit, Wiederverwendbarkeit und Weiterentwicklung anzeigt und gleichzeitig jeden spontanen Transfer erschwert. Schulisches Wissen ist insofern immer auch Wissen für die Schule. Strittig ist allerdings, welche Bedeutung systematisch erworbenes konzeptuelles Wissen im Vergleich zu situiertem, erfahrungsgesättigten Handlungswissen besitzt.

Unter der Perspektive der situierten Kognition oder des situierten Lernens wird die Abhängigkeit allen Lernens insbesondere von der sozialen Interaktion des Erwerbszusammenhangs betont. Wissen löst sich danach nicht von den Handlungsregeln und dem Sinn des Erwerbskontextes. Es ist weniger eine Eigenschaft der Person als Kennzeichen der Qualität einer Person-Kontext-Beziehung - ähnlich wie Geschwindigkeit keine Eigenschaft eines Objekts ist. Abstraktes konzeptuelles Wissen bleibt träge, da konkrete Aufgaben in spezifischen Situationen nicht allein durch den Rückgriff auf symbolische Repräsentationen gelöst werden können, sondern immer die Besonderheit der jeweiligen sozialen Situation berücksichtigt werden muß. Folgt man diesem theoretischen Ansatz konsequent, muß man auf den üblichen Transferbegriff verzichten oder diesen mindestens erheblich modifizieren. "Transfer" ist dann zu erwarten, wenn situiert erworbenes und an soziale Interaktionsregeln des Erwerbskontextes gebundenes Handlungswissen in Alltagssituationen genutzt wird, die verwandte Interaktionsstrukturen aufweisen.

Die Hauptrichtung der Wissenserwerbsforschung geht allerdings von der Basisvorstellung aus, daß menschliche Erfahrungen und menschliches Wissen in idiosynkratischer Form mental repräsentiert sind. Die Erfahrungen mit der belebten und un belebten Natur, die Begegnungen mit den kulturellen Symbolsystemen - den Manifestationen des Geistes -, aber auch die Erfahrungen mit sich selbst, den eigenen Emotionen und dem eigenen Denken werden danach in mentalen Schemata repräsentiert. Nach dieser Modellvorstellung wird die Qualität der Wissensbasis durch den Umfang und die interne Organisation der Schemata, ihre Vernetzung untereinander und mit unterschiedlichen Anwendungssituationen bestimmt. Wissen wird leichter aktivierbar und an neue Anforderungen anpaßbar, wenn kognitive Schemata hierarchisch geordnet und untereinander vernetzt sind und durch die vorgängige Erprobung in unterschiedlichen Kontexten vom Erwerbszusammenhang gleichsam abgezogen sind. Es handelt sich also nicht um abstraktes, sondern systematisch abstrahiertes, aber erprobtes und oftmals auch erfahrungsbezogenes Wissen.

Für beide theoretischen Sichtweisen, sowohl für das situierte Lernen als auch für den systematischen konzeptuellen Wissenserwerb, gibt es gute empirische Belege, wobei der Forschungsstand für die Theorien mentaler Repräsentation elaborierter ist. Verdienst der Arbeiten zur situierten Kognition ist es insbesondere, die Bedeutung der sozialen Struktur des Erwerbskontextes für die spätere Anwendung von Wissen herausgearbeitet zu haben. Je nach bevorzugter theoretischer

Perspektive wird man Unterrichtsprozesse anders arrangieren. Dies verlangt eine Beurteilung der spezifischen Leistungsfähigkeit beider Ansätze. Das Urteil hängt von der jeweils eingenommenen Transferperspektive ab. Zielt man auf kumulativen Wissenserwerb innerhalb eines spezifischen Wissensbereichs, etwa in Mathematik oder einem naturwissenschaftlichen Fach, so belegen die empirischen Befunde die Wirksamkeit eines systematischen, kognitiv abstrahierenden Lernens: Die gut organisierte Wissensbasis ist die beste Voraussetzung für nachfolgendes Lernen innerhalb einer Domäne. Systematisch angeleitetes Lernen verbessert vor allem den vertikalen Transfer. Zielt man eher auf lateralen Transfer, auf die Übertragung des Gelernten auf parallele, aber distinkte Anwendungssituationen, dann erweist situiertes Lernen seine Stärke.

In der Schule sind beide Perspektiven des Lernens gleichermaßen bedeutsam. Die strukturelle Stärke der Schule liegt zweifellos in der Organisation systematischer, langfristiger Wissenserwerbsprozesse, die allerdings - wie wir eingangs ausgeführt haben -, um erfolgreich zu verlaufen, gerade die Anknüpfung an lebensweltliche Problemstellungen von Schülern verlangen. Darüber hinaus hängt aber auch die "Flüssigkeit" erworbenen Wissens, die Aktivierbarkeit und Anwendbarkeit in neuen Situationen, von der Durcharbeitung und Konsolidierung des Stoffes in variierenden Sachzusammenhängen ab. Durcharbeitung und Konsolidierung, die notwendiger Teil verständnisvoller Lernprozesse in der Schule sind, tragen auch immer Merkmale situierten Lernens. Schule ist auf das Ineinandergreifen von systematischem und situiertem Lernen angewiesen. Regulative Idee des Schulunterrichts ist der langfristige kumulative Wissenserwerb unter Nutzung variierender, wenn möglich auch authentischer Anwendungssituationen, bei einer immer wieder neu zu findenden Balance zwischen Kasuistik und Systematik.

Diese Balance wird je nach Alter und Vorwissen der Schüler, der Schulform, aber auch je nach Unterrichtsfach unterschiedlich ausfallen. In der Biologie werden Lebenssituationen von Schülern schon vom Gegenstand und der Systematik des Fachs her eine größere Rolle spielen können und besser integrierbar sein, als dies etwa in der Physik, Chemie oder Mathematik der Fall ist, wo in stärkerem Maße didaktische Phantasie erforderlich ist, um dem situierten Lernen ausreichend Geltung zu verschaffen, ohne die Zielvorstellung kumulativen Lernens, die gerade im naturwissenschaftlichen Unterricht der Mittelstufe schwach ausgeprägt ist, gänzlich aufzugeben. Generell weisen die verfügbaren empirischen Befunde darauf hin, daß in den naturwissenschaftlichen Fächern, aber auch in Mathematik, das Ineinandergreifen beider Komponenten nicht wirklich befriedigend gelingt und wahrscheinlich auch nicht hinreichend durchdacht ist.

### **3.5 Selbstregulation und angeleitetes Lernen im lehrergelenkten Fachunterricht**

Das Bild des Frontalunterrichts, der in wechselnden Fächern im 45-Minuten-Takt stattfindet, ist in der Regel der kritisierte Ausgangspunkt unterrichtsbezogener Reformmaßnahmen, die in reformpädagogischer Tradition stehen. Danach ist der lehrergesteuerte Unterricht synonym mit rezeptivem, mechanisch-sinnentleertem und entfremdetem Lernen. Die leitenden Zielvorstellungen reformpädagogischer Maßnahmen, die Selbstregulation des Lernens von früh auf zu stärken, verständnisvolles und erfahrungsgesättigtes Lernen in lebensnahen, sinnstiftenden Kontexten zu organisieren und nicht nur individuelles, sondern auch kooperatives Lernen und sozial verantwortliches Verhalten zu schulen, werden ungeteilte Zustimmung finden. Befunde der Motivationspsychologie unterstützen die Annahme, daß interessiertes und motiviertes Lernen sich in Situationen vollzieht, in denen sich der Lerner die Aufgabe zu eigen machen kann, Autonomie in der Bearbeitung empfindet und sich gleichzeitig sozial eingebunden erlebt. Entscheidend ist dabei die *subjektive* Wahrnehmung der Situation. Reformpädagogische Initiativen sind in der Regel, auch wenn dies angesichts des normativen Anspruchs nicht unmittelbar deutlich wird, zunächst technische Maßnahmen. Dazu gehören typischerweise die Flexibilisierung des Stundenplans, der Stoffauswahl und Stoffverteilung sowie der Unterrichtsorganisation in zeitlicher, sachlicher und sozialer Hinsicht. Die Organisationsmaßnahme wird in der Regel unmittelbar mit erhöhter individueller Aufmerksamkeit und kognitiver Aktivität, stärkerer emotionaler Bindung des Lernenden und subjektiver Wahrnehmung von sachbezogener Autonomie und sozialem Eingebundensein gleichgesetzt. Daß dieses auch tatsächlich ohne weiteres gelingt, dafür gibt es nur wenige überzeugende empirische Belege. Die Forschungslage ist im Vergleich zum normativen Programm defizitär. Die Untersuchungen zum offenen Unterricht sind am ehesten einschlägig. Die empirischen Befunde belegen differentielle Effekte der Maßnahmen in Abhängigkeit vom Vorwissen und Persönlichkeitsmerkmalen der Lernenden und den jeweiligen Zielsetzungen des Programms. Akademische Lernerfolge in offenen oder geöffneten Lernumgebungen hängen maßgeblich von der Qualität der Vorstrukturierung und den verfügbaren Hilfestellungen ab. Offene Lernumgebungen verlangen von den Lehrkräften größere Strukturierungsleistungen als der herkömmliche Klassenunterricht. Selbstregulationsfähigkeit von Schülern wird nicht dadurch erreicht, daß man sie in komplexen Lernsituationen kontrafaktisch als bereits erreicht unterstellt.

Es gibt allerdings eine hinreichende Zahl von Untersuchungen zum kooperativen Lernen in komplexen Situationen, welche die Wirksamkeit dieser Unterrichtsform gut belegen. Tutoring, partnerschaftliches Lernen mit reziproker Rollenverteilung oder die Bildung von Lerngemeinschaften sind Beispiele. Kennzeichnende Merkmale dieser Lernformen sind die Vorgabe problemorientierter Lernaufgaben und die Übertragung verstärkter Verantwortung für den Lernprozeß an die Lernenden selbst. (Dies unterscheidet diese Formen kooperativen Lernens von Vorstellungen der Partizipation von Schülern an Unterrichtsentscheidungen, die an Mitbestimmungsmodellen orientiert sind und sich nach den empirischen Befunden auf eine kontinuierliche Lernentwicklung eher problematisch auswirken.) Das kooperative Lernen anhand einer komplexen und weniger gut strukturierten Aufgabe ist im Sinne eines tieferen Verstehens von Konzepten und Verfahren allerdings nur dann erfolgversprechend, wenn während des Arbeitsprozesses Anleitungen und Hilfen verfügbar sind, so daß der Blick auf die wesentlichen Merkmale der Aufgabe nicht verlorengeht. Versuch und Irrtum in überkomplexen Situationen, auch wenn diese realitätsnah sind, führen zu keinen befriedigenden Ergebnissen. Offene und kooperative Lernsituationen bedürfen gleichermaßen besonders aufmerksamer Vorstrukturierung.

In scheinbarem Widerspruch zu diesen Befunden belegen alle ökologisch validen Unterrichtsstudien die Lernwirksamkeit und häufig die Überlegenheit eines anspruchsvollen lehrergesteuerten, störungspräventiven, aufgabenorientierten und klar strukturierten Unterrichts, in dem die verfügbare Zeit intensiv für akademische Aufgaben genutzt wird, das Interaktions-tempo aber gemäßigt bleibt, so daß Schüler Zeit zum Nachdenken und Spielraum für die Entwicklung eines eigenen Gedankenganges finden. Die Forschungsergebnisse zu den positiven Wirkungen eines Frontalunterrichts, der diese Merkmale der direkten Instruktion realisiert, sind außerordentlich robust. Nachgewiesene Effektstärken sind auch von praktischer Bedeutung. Diese scheinbar widersprüchlichen Ergebnisse weisen zunächst darauf hin, daß in der alltäglichen Unterrichtspraxis nicht nur ein einziger methodischer oder didaktischer Weg zum gewünschten Ziel führt. Es gibt offenbar hinreichende Bedingungen guten Unterrichts, die bis zu einem gewissen Grade auch austauschbar sind. Die Expertengruppe möchte diesen Befund betonen, um auf die Problematik pädagogischen Dogmatismus jeder Art hinzuweisen. Ferner verdeutlichen diese Ergebnisse, daß es nicht die

soziale Organisationsform des Unterrichts an sich ist, die ein aktives, verständnisvolles Lernen garantiert oder von vornherein verhindert. Entscheidend für verständnisvolle Lernprozesse sind die individuelle mentale Aktivität und die individuelle kognitive Konstruktionsleistung. Der lehrergeleitete Unterricht, der die beschriebenen Merkmale direkter Instruktion besitzt, macht offensichtlich Schüler nicht zu passiven Rezipienten, sondern bietet ihnen Strukturierungshilfen, durch die eine aktive mentale Auseinandersetzung mit der Aufgabenstellung und dem Stoff nicht verhindert, sondern gestützt wird.

Der im Rahmen der Dritten Internationalen Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie (TIMSS) durchgeführte Drei-Länder-Vergleich zwischen Deutschland, Japan und den USA belegt anhand von Videoaufnahmen, daß der japanische Mathematikunterricht in der sozialen Interaktion konventionell lehrergeleitet überwiegend im Wechsel zwischen Frontalunterricht und Stillarbeit (oder Gruppenarbeit) verläuft, in der mathematischen Aufgabenstellung aber komplex und auf Förderung der *kognitiven* Selbständigkeit der Schüler angelegt ist. Gleichzeitig zeigen die deutschen Videoaufnahmen die Problematik einer übermäßigen Engführung des Frontalunterrichts im kurzschrittigen fragend-entwickelnden Unterricht, die weniger in der vermuteten Passivität von Schülern als vielmehr in der Einschränkung des sachbezogenen kognitiven Bewegungsspielraums besteht. Umgekehrt eröffnet kooperativer Unterricht in komplexen Problemsituationen zwar einen großen kognitiven Operationsraum, der jedoch allein den Lernerfolg nicht gewährleistet. Vielmehr sind es hier die Strukturierungshilfen, die befriedigende Lernprozesse erst möglich machen.

Gerade vor dem Hintergrund der weitverbreiteten Kritik an jeder Form des Frontalunterrichts ist es geboten, auf die funktionale Äquivalenz von Unterrichtsmethoden hinzuweisen. Allerdings darf man darüber auch nicht deren spezifische Leistungsgrenzen übersehen. Der stärker lehrergeleitete Unterricht entlastet den Schüler bis zu einem gewissen Grade von der Verantwortung für die Selbstregulation des eigenen Lernprozesses. Für lernschwächere Schüler mit relativ geringem Vorwissen und unzureichenden metakognitiven Kompetenzen kann dies gerade stützend wirken. Dennoch hat unter dem Gesichtspunkt des kontinuierlichen Weiterlernens und der Anpassung des Wissens an neue Anwendungssituationen die Selbstregulationsfähigkeit große Bedeutung. Es besteht wenig Zweifel unter Fachkundigen, daß Arbeitsformen innerhalb und außerhalb des Unterrichts, die dem Schüler erhöhte Verantwortung zuweisen und stärkere Selbstorganisation abverlangen, im Alltag unserer Schule - und zwar insbesondere im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht - zu kurz kommen. Die Grundlagen selbständigen Lernens können bereits in der Grundschule gelegt werden. Mit zunehmendem Alter der Schüler sollte auch der Anspruch an die Selbstregulation des Lernens zunehmen. Die Arbeitsformen der Oberstufe setzen diese Fähigkeit zu einem guten Teil bereits voraus.

### **3.6 Lernen, leisten, prüfen: Fehler machen und Fehler vermeiden**

Kein Schüler beginnt den Unterricht voraussetzungslos. Das gilt auch für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Kinder und Jugendliche erwerben in ihrem Alltag Vorstellungen über die belebte und unbelebte Natur, über das Auftreten von Phänomenen und deren Zusammenhänge, über Funktionen von Ereignissen und Tatbeständen ebenso wie Vorstellungen über quantitative Eigenschaften und Relationen von Objekten. Je nach Lebensalter, kognitiver Entwicklung und Vorwissen geben sie ihren Erfahrungen spezifischen Sinn, der auch ihr Handeln anleitet. Im Alltag erworbene Vorstellungen, Deutungsmuster und das praktische Handlungswissen gehen selten konform mit den konzeptuellen und prozeduralen Vorstellungen, die der Schulunterricht vermitteln möchte. Häufig stehen beide sogar im Gegensatz oder zumindest in Spannung. Diese Spannung ist für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht in der Grundschule und Sekundarstufe gleichermaßen kennzeichnend. Im Aufeinandertreffen von Schülervorstellungen und Fachkonzepten vollzieht sich individuelles Lernen notwendigerweise auch als Prozeß des Fehlermachens und der kontinuierlichen Fehlerkorrektur. Verständnisfehler sind Lerngelegenheiten, die genutzt oder verpaßt werden können. Lernen aus Fehlern setzt voraus, daß Fehler thematisiert werden - bei geübten Lernern häufig durch Selbstkontrolle, im Unterricht in der Regel über Rückmeldung durch andere - und daß es Gelegenheit zum Einhalten und Nachdenken über die Genese und Logik des Fehlers gibt. Daraus kann und soll sich eine Respezifikation und Rekonstruktion der Vorstellung entwickeln, die dem Fehler zugrunde liegt. Verständnisvolles Lernen aus Fehlern verlangt mit dem Nachdenken über Vorwissen und Entstehung des Fehlers metakognitive Kompetenzen und in der Korrektur und Neuordnung der Vorstellung kognitiv-elaborative Anstrengungen. Nicht jeder Schüler ist beim Lernen aus Fehlern gleichermaßen erfolgreich. Fehler sind zunächst individueller Natur und in ihrer möglichen Zahl unbegrenzt. Fehler sind jedoch nicht gleich verteilt. Bestimmte (fehlerhafte) Vorstellungen von Phänomenen und deren Zusammenhängen treten in Abhängigkeit vom Alter und Vorwissen von Schülern in einzelnen Sachgebieten besonders häufig auf. Insbesondere in der Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktik gibt es mittlerweile eine große Zahl von systematischen Untersuchungen zu typischen Schülervorstellungen. Mathematische und naturwissenschaftliche Alltagsvorstellungen von Schülern, die sich durch eine gemeinsame "Fehlerlogik" auszeichnen, sind für eine produktive Nutzung im Unterricht besonders geeignet. Dies setzt jedoch voraus, daß Fehler erlaubt sind und auch tatsächlich Platz im Unterricht haben. Fehler sind aber in der subjektiven Wahrnehmung nur dann erlaubt, wenn sie als entwicklungsfördernde Ereignisse erlebt werden können, ohne negative Bewertung bleiben und keine Herabsetzung und Beschämung zur Folge haben.

*Lernsituationen* unterscheiden sich deutlich von *Leistungssituationen*. Während für gelingende Lernprozesse ein explorativer Umgang mit eigenen Fehlern charakteristisch ist, versucht man in Leistungssituationen einem subjektiv anerkannten Gütemaßstab zu genügen und Fehler nach Möglichkeit zu vermeiden. In Lernsituationen werden Fehler als Grenzerfahrung und Herausforderung gleichzeitig erlebt, in Leistungssituationen sind sie persönliches Versagen. Prüfungen - Tests, Klassen-(Schul-)Arbeiten und Übergangs- oder Abschlußprüfungen - sind typische Leistungssituationen, die für den Lernprozeß steuernde Wirkung haben, da sie Art und Umfang des erwarteten Wissens und die gültigen Gütemaßstäbe verdeutlichen. Der Unterricht sollte demgegenüber primär ein Ort des Lernens sein. Lernen und Leisten, Erprobung und Bewährung sind gleichermaßen für die moderne Schule charakteristisch; beides hat in ihr seinen spezifischen Platz. Der Expertengruppe liegt jedoch daran, die unterschiedliche und nicht-kompatible Logik von Lern- und Leistungssituationen zu betonen und auf die Problematik ihrer dauerhaften Vermischung aufmerksam zu machen.

Neuer Stoff wird im Fach Mathematik in der Regel im fragend-entwickelnden Unterricht erarbeitet. Auch das Durcharbeiten und Üben findet oftmals im relativ kleinschrittigen Unterrichtsgespräch statt. Soweit wir über empirische Hinweise verfügen, deuten diese darauf hin, daß die modale Struktur des naturwissenschaftlichen Unterrichts - sieht man einmal von experimentellen Phasen ab - sehr ähnlich ist. Das lehrergeleitete Unterrichtsgespräch steuert in der Regel konvergent auf die möglichst systematische Erarbeitung eines Konzeptes oder einer Routine zu. Das Erreichen des Unterrichtsziels hängt davon ab, daß sich Schülerantworten in die Entwicklung des Gedankengangs einfügen. Fehler haben in diesen Phasen des Unterrichts keinen

genuinen Ort. In der Regel stellen sie Unterbrechungen der Zielgerichtetheit des Unterrichts dar. Das gilt insbesondere für Verständnisfehler, die eine längere Explikation verlangen. Fehlerhafte Schülerantworten werden deshalb im Unterrichtsgespräch - durchaus funktional - oftmals negativ bewertet oder einfach übergangen. Damit wird aber jede Lehrerfrage in der Phase der Wissenserarbeitung für Schüler zur Leistungssituation. Lernen und Leisten sind eng verwoben. Die Intensivierung des Lernens im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht verlangt wahrscheinlich eine stärkere Entmischung beider Situationen. Im allgemeinen harmonisieren die üblichen Leistungsüberprüfungen durch Klassen-(Schul-) Arbeiten gut mit dem erarbeiteten Stoff. Die Aufgaben überprüfen das neuerworbene, geübte und routinisierte Wissen. Versucht man, Lernen und Leisten im Unterricht stärker zu trennen, um verständnisvolles Lernen, in dem Fehler ein eigenes Recht haben, zu intensivieren, wird zu prüfen sein, wie das Spektrum der Prüfungsaufgaben zur Unterstützung des gewünschten Lernens verbreitert werden kann. Wahrscheinlich müssen neben den Routineaufgaben, die nicht geringgeschätzt werden dürfen, systematisch Aufgaben berücksichtigt werden, die das Verständnis von Konzepten und Verfahren durch die Kombination von neuem und zurückliegendem Stoff und die Flexibilität des Verständnisses durch die Anwendung des Gelernten auf neue Situationen erfassen.

## 4. Motivation als Bedingung und Ziel des Unterrichts

Lernen beruht auf Aktivitäten, die man selber ausführen muß und die nicht von anderen übernommen werden können. Die Lerntätigkeiten werden durch Motivation ausgelöst, angetrieben und aufrechterhalten. Der Begriff Motivation beschreibt Zustände in der Person, die dem Lernen vorangehen und es begleiten. Ob jemand zum Lernen motiviert ist, hängt von Merkmalen der jeweiligen Situation, den Inhalten und Anforderungen, aber auch von individuellen Besonderheiten, Vorlieben und Selbsteinschätzungen ab. Damit erweist sich die Vorstellung, Lehrkräfte könnten die Schülerinnen und Schüler auf einfache und direkte Weise zum Lernen motivieren, als unrealistisch. Sie können nur Unterrichtssituationen herstellen und gestalten, die Motivierungsprozesse anregen und unterstützen, und zwar solche, die dazu führen, daß die Schülerinnen und Schüler sich auf die Sache und die Anforderungen einlassen, zuhören, mitdenken, nachfragen - also lernen. Insofern ist Motivation eine notwendige Bedingung für das Lernen im Unterricht, auf die Lehrende hinwirken müssen.

Lernen kann durch unterschiedliche Beweggründe veranlaßt sein. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Lerninhalte. Deshalb werden in der neueren Forschung mehrere Arten von Lernmotivation unterschieden. Eine bekannte Unterscheidung differenziert zwischen "extrinsischer" und "intrinsischer" Lernmotivation. Diese pauschale Gegenüberstellung ist aus pädagogischer wie psychologischer Sicht problematisch geworden. Aktuelle Differenzierungen von Lernmotivation berücksichtigen zum Beispiel, daß man durchaus selbstbestimmt Dinge lernen kann, die von der Sache her wenig reizvoll sind und Anstrengung verlangen. Die Art der Motivation bestimmt, wie man sich beim Lernen fühlt, ob man Anstrengung spürt, mühelos konzentriert ist, Freude empfindet. Die Art der Motivation bleibt nicht ohne Einfluß auf die Intensität von Wahrnehmungen und Denkprozessen, und dies kann sich wiederum auf den Lerngewinn auswirken. In diesen Situationen lernt die Person aber auch, daß sie unter bestimmten Konstellationen und bei bestimmten Inhalten und Tätigkeiten in bestimmten motivationalen Zuständen war: Sie hat Neugier oder Langeweile gespürt, Zwang, Widerwillen oder Begeisterung empfunden, sich als aktiv und wirksam oder als hilflos erlebt. Aus diesen Erfahrungen entwickelt sie Vorlieben für bestimmte Inhalte und Tätigkeiten, ausgeprägte Interessen oder aber Abneigungen, und sie entwickelt auch einen bestimmten Stil, mit Lernanforderungen umzugehen, die an sie herangetragen werden. Der Unterricht bietet reichlich Gelegenheiten, entsprechende Erfahrungen zu sammeln. Über den Verlauf der Schulzeit werden also auch stabile motivationale Orientierungen und Interessen erworben. Sie beeinflussen das Weiterlernen nach der Schule, die Berufswahl, die Freizeitgestaltung, die Auseinandersetzung mit Natur, Kultur und Gesellschaft. Bildung schließt Interesse ein. Bildung als fortlaufender, nie abgeschlossener Prozeß beruht auf motiviertem Lernen. Unter dem Bildungsanspruch kommt es darauf an, welche motivationalen Orientierungen und Interessen aufgebaut werden und auf welche Art und Weise im Unterricht gelernt wird. In diesem Sinn wird Motivation zu einem Ziel des Unterrichts, das näher bestimmt werden muß.

### 4.1 Interesse und Motivation als Ziel des Unterrichts

Welche Art der Lernmotivation pädagogisch anzustreben ist, begründete Herbart bereits vor zweihundert Jahren. Er argumentierte, Ziel des Unterrichts an allgemeinbildenden Schulen sei das "gleichschwebende vielseitige Interesse". Mit diesem Anspruch wird die Schule bis in die Gegenwart konfrontiert. Die Gegenüberstellung von vielseitiger vs. einseitiger Interessensförderung hilft, motivationsbezogene Ziele des Unterrichts in Mathematik und Naturwissenschaften zu klären.

#### *Klärung der Interessen und Entwicklung eines Interessenprofils*

Ob das gleichschwebend vielseitige Interesse als Ziel der Schule pädagogisch gerechtfertigt und realisierbar ist, hängt davon ab, wie der Begriff Interesse verstanden wird. Im Alltag und in der Persönlichkeitspsychologie dient der Interessenbegriff abweichend von Herbart zur Beschreibung von ausgeprägten und stabilen Präferenzen für bestimmte Inhalts- oder Gegenstandsbereiche. Die stabilen Interessen gestatten gute Vorhersagen über Freizeitbeschäftigungen, über die Wahl von Kursangeboten und Ausbildungen oder über die Berufszufriedenheit. Die Entwicklung herausgehobener persönlicher Interessen gewinnt insbesondere Bedeutung für die Identitätsfindung.

Die ausgeprägten Interessendispositionen werden über einen fortschreitenden Selektions- und Differenzierungsprozeß ausgebildet. Ausgangspunkt in der frühen Kindheit ist ein universelles Interesse an allem, was die Umwelt anbietet. Im weiteren Entwicklungsverlauf erfolgt eine zunehmende Differenzierung, Kanalisierung und Verfestigung der Interessen.

Die Entwicklung eines persönlichen Interessenprofils, das für die Identitätsgewinnung, für die Berufsentscheidung und für eine sinnvolle Lebensgestaltung wichtig ist, steht allerdings im Widerspruch zur Idee einer gleichschwebenden Vielseitigkeit. An dem Ziel, gleichschwebend vielseitige Interessen im Sinne *stabiler Vorlieben* zu fördern, kann die Schule nur scheitern: Schülerinnen und Schüler können nicht für alle Fächer und deren Inhalte eine gleichermaßen stark ausgeprägte Vorliebe entwickeln. Aus pädagogischer Sicht hat die Schule vielmehr dazu beizutragen, daß die Kinder und Jugendlichen in der Auseinandersetzung mit der Vielfalt schulischer Bildungsangebote ihre Vorlieben herausfinden und sukzessive ein individuelles Interessenprofil mit ausgeprägten Spitzen entwickeln.

Einen entscheidenden Beitrag zur Klärung der eigenen Vorlieben, Stärken und Interessen können die mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer leisten. Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht konfrontiert mit Inhalten,

Problemstellungen und Denkweisen, die nicht nur für die entsprechenden Studienfächer charakteristisch sind. Sie sind ebenfalls in unterschiedlicher Kombination und Gewichtung - kennzeichnend oder aussagekräftig für die verschiedensten Ausbildungs- und Studiengänge, Berufe und für Freizeitaktivitäten. Für den Klärungsprozeß ist allerdings entscheidend, daß die Schülerinnen und Schüler einen angemessenen Eindruck von der Vielfalt und Bedeutung des Faches gewinnen konnten und ausreichend Gelegenheit hatten, Möglichkeiten der Auseinandersetzung mit fachspezifischen Inhalten, Problemen und Vorgehensweisen auszuloten.

Eine besondere Aufgabe und Verantwortung wächst dem mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht bei der Interessenklärung der Mädchen zu. Die Interessenklärung erfolgt bei vielen Schülerinnen derzeit so, daß sie sich im Verlauf der Schulzeit von der Mathematik, vor allem von der Physik und Chemie, in einem Ausmaß abwenden, das einer grundlegenden Ablehnung gleichkommt. Damit verbunden ist eine Einengung des Spektrums potentieller Studien- und Ausbildungsgänge, aus dem zahlreiche zukunftsrelevante Berufe ausgeschlossen bleiben. Es gibt gut belegte Hinweise darauf, daß die Abwendung der Mädchen von Mathematik, Physik und Chemie durch bestimmte Merkmale des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts begünstigt wird und durchaus, ohne Qualitätseinbußen oder Nachteile für die Jungen, verhindert werden kann. Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht hat also die Aufgabe, Inhalte so darzubieten, daß die Schülerinnen und Schüler deren Reiz und Bedeutung und ihre eigenen Vorlieben und Stärken erfahren können. Auf diese Weise kann und muß der Unterricht zur Klärung, Differenzierung und Verfestigung von Interessen und zur Ausformung eines persönlichen Interessenprofils beitragen. Die aus diesem Profil herausragenden stabilen Interessen werden ausschlaggebend für die Identitätsfindung, für die Entscheidung über Ausbildung und Beruf und für Schwerpunktsetzungen in der Freizeitgestaltung und im gesellschaftlichen Engagement. Deshalb muß mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht sicherstellen, daß seine Inhalte in den Interessenprofilen der Schülerinnen und Schüler angemessen repräsentiert werden. Ein ausgeprägtes Spitzeninteresse für Mathematik oder eine Naturwissenschaft wird letztlich aber immer nur ein Teil der Schülerschaft entwickeln.

#### *Vielseitiges Interesse im Unterricht*

Die Forderung, zur Klärung und Profilierung von Interessen beizutragen, scheint gegen das Ziel der gleichschwebenden Vielseitigkeit zu sprechen. Allerdings hat Herbart weniger an ausgeprägte dispositionale Interessen gedacht, sondern Interesse als *Gemütszustand* verstanden. Auch dieses Verständnis von Interesse ist in der Alltagssprache und in der neueren Pädagogischen Psychologie anzutreffen. Der Interessensbegriff bezeichnet hier einen inhaltsbezogenen motivationalen Zustand im Sinne einer Aktivierung der Handlungs- und Lernbereitschaft. Das bedeutet, daß Schülerinnen oder Schüler trotz eines ausgeprägten und verfestigten Interesses für einen bestimmten Inhaltsbereich im Unterricht vielseitig interessiert sein können. Der Anspruch an die Schule lautet nun jedoch anders: Der Unterricht ist so zu gestalten, daß in der aktuellen Situation bei den Schülerinnen und Schülern Interesse für den neuen Stoff entsteht, das heißt z.B. Offenheit, Aufmerksamkeit, Wißbegier und konzentrierte geistige Beteiligung. Ziel des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts muß also sein, daß die Schülerinnen und Schüler in der jeweiligen Stunde Interesse am Inhalt entwickeln. Das ist dann der Fall, wenn der Lerninhalt aus der Perspektive der Schule und vor ihrem Erfahrungshintergrund als "interessant" erscheint. Für diese Forderung spricht, daß beim Lernen mit Interesse das neue Wissen intensiv verarbeitet, vielfältig verknüpft und als bedeutsam markiert wird. Vor allem schafft das Lernen mit Interesse die motivationale Basis für die Kontinuität von Erfahrung, die über ein Reaktivieren und Rekonstruieren des Wissens innerhalb oder außerhalb des Fach- und Schulkontexts hergestellt wird. Das Empfinden von Interesse im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht bildet außerdem die Grundlage für eine positive Grundeinstellung, Wertschätzung und Aufgeschlossenheit für die Fächer, ihre Inhalte und ihre spezifischen Denk- und Arbeitsweisen. Aus dem wiederholten Erleben von Interesse im Fachunterricht kann sich ein ausgeprägtes und hervorgehobenes Interesse an Fachinhalten entwickeln, muß aber nicht. Das Ziel des gleichschwebend vielseitigen Interesses ist dann erreicht, wenn die Schülerinnen und Schüler Mathematik oder naturwissenschaftliche Fächer nach mehreren Jahren Unterricht immer noch interessant finden, auch wenn sie sich nicht explizit für diese Fächer interessieren.

#### **4.2 Motivationale Orientierungen für das Umgehen mit Anforderungen**

Die Inhalte des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts können allesamt durchaus interessant sein. Es ist aber unrealistisch zu erhoffen, daß sich alle Schülerinnen und Schüler im Unterricht gleichermaßen für alle Inhalte interessieren werden. Dazu kommt, daß der Erwerb von Wissen und von Ausführgungssicherheit nicht schon durch eine interessierte Auseinandersetzung mit den Inhalten garantiert wird, sondern oft auch langwieriges, intensives und weniger interessantes Üben erforderlich macht. Das Umgehen mit Aufgaben und Lernanforderungen, die wenig anregend und dafür mühevoll zu sein scheinen, kann auf unterschiedliche Weise motivational gesteuert werden. Einige Schülerinnen und Schüler lassen sich nur dann auf Anforderungen ein, wenn Sanktionen von seiten der Lehrkraft oder der Eltern drohen. Manche lernen, weil es sich eben so gehört. Wiederum andere bringen uninteressante Lernanforderungen mit ihren eigenen Zielen in Verbindung. Dabei schaffen sie einen Bezugsrahmen, in dem die Lernanforderungen für sie selbst wichtig werden. Sie lernen nun aus eigenem Anlaß, aufgrund der gefundenen Bedeutung der Sache. Im Verlauf der Schulzeit entwickeln die Schülerinnen und Schüler auf diese Weise unterschiedliche Stile oder motivationale Orientierungen, mit Lernanforderungen umzugehen, die an sie von außen herangetragen werden.

Das Umgehen mit Lerngelegenheiten und Lernanforderungen und das Regulieren der eigenen Motivation muß in der Schule gelernt werden. Man kann aber nur im Fachkontext erfahren und lernen, inhaltliche Lernanforderungen auf die eigenen Ziele zu beziehen und nach Möglichkeiten der Verknüpfung oder gar Integration zu suchen, mit denen das Lernen persönlich bedeutsam wird. Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht stellt ein Feld bereit, in dem man lernen kann, mit Anforderungen umzugehen und die eigene Motivation zu steuern. Die Entwicklung einer effektiven motivationalen Selbstregulation ist eine entscheidende Bedingung für ein effektives Lernen in der Schule, aber auch für das Weiterlernen nach der Schulzeit. Für die Lehrkräfte erhält das Unterrichten eine andere Qualität, wenn die Schülerinnen und Schülern gelernt haben, Anforderungen aufzugreifen und ihre Motivation selbst zu beeinflussen. Das Umgehen mit Anforderungen und das Regulieren der Motivation zu lernen, ist ein wichtiges Ziel schulischer Bildung. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht Gelegenheiten für eine motivationale Selbstregulation des Lernens geschaffen werden. Vor allem aber brauchen die Schülerinnen und Schüler Anregungen und Unterstützungen, damit sie lernen, ihre Motivation selbstbestimmt zu steuern.

#### **4.3 Bedingungen für Lernmotivation und Interesse**

Lernmotivation beruht letztlich auf organismischen und grundlegenden psychologischen Bedürfnissen. Von Geburt an ist der

Mensch aktiv und neugierig; er erkundet seine Umwelt und versucht, sie zu verstehen und ein kohärentes Bild von seiner eigenen Person und der Welt zu entwickeln. Er hat das grundlegende Bedürfnis, seine Umwelt zu beeinflussen, wirksam zu sein und seine Kompetenzen zu erweitern, sich zu einer selbständigen und selbstbestimmten Person zu entwickeln, in sozialen Bezügen angenommen und akzeptiert zu werden, um Verantwortung in Gesellschaft und Kultur zu übernehmen.

Entsprechende Bedürfnisse bilden den anthropologischen Hintergrund für motivationstheoretische Erklärungsansätze. Im Rahmen der Forschung zu Lernmotivation und Interesse haben sich einige Bedingungen als ausschlaggebend erwiesen:

#### *Bereichsspezifische Kompetenzerfahrungen*

Eine zentrale Rolle bei der Klärung der eigenen Interessen spielen bereichsspezifische Kompetenzerfahrungen. Sie sind auch eine notwendige Bedingung für die Interessenentwicklung. Um Interesse an Mathematik oder einer Naturwissenschaft zu entwickeln, müssen sich die Schülerinnen und Schüler in der Auseinandersetzung mit mathematischen oder naturwissenschaftlichen Sachverhalten und Problemen als erfolgreich, wirksam und kompetent erleben. Sie müssen vor allem spüren, daß sie in der Entwicklung ihrer Kompetenz Schritt um Schritt vorankommen. Die Chancen für Kompetenzerfahrungen sind dann größer, wenn Aufgaben oder Probleme bearbeitet werden, die individuell jeweils auf der nächsthöheren, noch erreichbaren Kompetenzstufe liegen. Das Erleben von Kompetenz wird durch die Information bestimmt, die der Schüler oder die Schülerin aus dem Gelingen einer Tätigkeit, den Fortschritten über die Zeit und dem Vergleich mit anderen Schülern ziehen kann. Ebenso wichtig sind Rückmeldungen, die maßgebliche andere Personen geben. Sie können Zutrauen signalisieren und auf Fortschritte aufmerksam machen, aber auch Leistungen abwerten oder die Befähigung grundlegend in Frage stellen.

Die Erfahrung von Kompetenz und Wirksamkeit in spezifischen Inhaltsbereichen ist ein Kriterium für die Selektion und Differenzierung von Interessengegenständen und für die Entwicklung stabiler Interessen. Das Kompetenzerleben ist aber auch eine Bedingung für die Motivierung von Lernen in einer aktuellen Unterrichtssituation. Voraussetzung für ein eigenständiges Einlassen auf Anforderungen ist die Erwartung, diese Anforderung auch bewältigen zu können. Die Erwartung gründet sich auf vorangegangene Kompetenzerfahrungen in derselben Domäne, vor allem auf Attributionen für Erfolg und Scheitern, die durch Lehrerrückmeldungen maßgeblich beeinflußt werden. Die Erwartung wird aber auch durch die Gestaltung der Aufgabe, das Bereitstellen von Unterstützungen und durch das Zutrauen beeinflußt, das die Lehrkraft den Schülerinnen und Schülern in der Unterrichtssituation entgegenbringt.

#### *Die Erfahrung, in einem Inhaltsbereich selbstbestimmt zu handeln*

Eine zweite Bedingung für Lernmotivation und Interesse ist die Erfahrung, daß man sich in einem bestimmten Inhaltsbereich als Person entwickeln und verwirklichen kann. Bei der Klärung der Interessen geht es darum, den Bereich zu finden, der sich mit der Vorstellung über das eigene Selbst am besten verträgt. Für die Interessenentwicklung wichtig wird dabei das Gefühl, daß man in diesem Feld selbstbestimmt handelt und lernt, das heißt, sich mit der Sache und mit dem Tun identifiziert. Die Identifikation mit der Sache und das Entdecken von persönlicher Bedeutung werden dann verhindert, wenn immer genau vorgeschrieben ist, mit welchen Inhalten man sich auf welche Weise zu befassen hat. Um Interesse an Mathematik oder Naturwissenschaften entwickeln zu können, benötigen Schülerinnen und Schüler auch gewisse Spielräume und Wahlmöglichkeiten. Spielräume sind notwendig, um den Gegenstand und seine Bedeutungen erkunden zu können; sie sind vor allem deshalb wichtig, um sich dabei als agierende, eigenständige Person zu erleben.

Das Gefühl, selbst- oder fremdbestimmt zu agieren, spielt ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Motivierung von Lernen im Unterricht. Auch hier erleichtern (kognitive) Spielräume das Identifizieren mit Anforderungen. Spielräume können Inhaltsaspekte, Anwendungsbeispiele, Vorgehensweisen, Arbeits- und Sozialformen oder die Zeiteinteilung betreffen. Voraussetzung für ein selbstbestimmtes Wählen ist aber auch, daß die Schülerinnen und Schüler eine Bandbreite an Möglichkeiten kennen und über alternative Wege und deren Konsequenzen informiert sind. Wahlmöglichkeiten veranlassen dazu, fachspezifische Anforderungen auf eigene Ziele zu beziehen und mit diesen abzustimmen. Die Schülerinnen und Schüler lernen auf diese Weise, ihre Motivation selbst zu regulieren.

#### *Soziale Einbindung in eine Domäne*

Eine dritte Bedingung für die Entwicklung von Motivation und Interesse betrifft die soziale bzw. kulturelle Komponente. Berufsfelder, wissenschaftliche Disziplinen, aber auch Schulfächer zeichnen sich jeweils durch besondere Symbolsysteme, Arbeitsweisen und Werkzeuge aus, mit denen Probleme bearbeitet werden. Sie bilden Teilkulturen, die für Schüler vor allem durch die Lehrkräfte repräsentiert werden. Die Entwicklung von dauerhaftem Interesse hängt auch davon ab, inwieweit es Lehrkräften gelingt, Schüler in diese Kulturen und deren Arbeits- und Denkweisen einzubinden. Das empirische und insbesondere experimentelle Vorgehen der Naturwissenschaften bietet im Grunde exzellente Gelegenheiten, Lernergemeinschaften zu bilden, die durch gemeinsame Arbeitsweisen sozial zusammengehalten werden. Wenig bedeutsame und sozial verschlossene oder abweisende Kulturen bzw. Gegenstandsbereiche haben geringere Chancen, interessenbildend zu wirken.

#### *Motivation und Interesse der Lehrkräfte*

Die Motivations- und Interessenforschung der letzten Jahrzehnte hat weitere Bedingungen identifiziert, die durch pädagogische Maßnahmen lernförderlich gestaltet werden können. Nur auf eine dieser Bedingungen soll an dieser Stelle noch eingegangen werden: das Interesse der Lehrerinnen und Lehrer. Schülerinnen und Schüler interessieren sich dann leichter für den Lehrstoff, wenn sie wahrnehmen können, daß auch die Lehrkraft das Thema interessant, spannend und wichtig findet. Allerdings ist dies nicht so oft der Fall, wie es sein könnte.

Die Motivation und das Interesse der Lehrkräfte hängen ebenfalls von Bedingungen ab. Die motivationalen Prinzipien, die für die Schülerseite dargestellt wurden, gelten ebenso für die Lehrkräfte und ihre Motivation zu unterrichten, für den Unterricht weiterzulernen, Neues zu erkunden und zu erproben. Ausschlaggebend werden Kompetenzerfahrungen und das Gefühl, wirksam zu sein, Spielräume und das Erleben von Selbstbestimmung und die soziale Einbindung in eine professionelle Gruppe oder Teilkultur.

## **5. Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht im Rahmen einer modernen Allgemeinbildung**

## **5.1 Mathematik im Rahmen einer modernen Allgemeinbildung**

### **5.1.1 Mathematik zwischen Abbildfunktion und systemischem Charakter**

Mathematik greift die strukturellen Aspekte von Wirklichkeit auf, faßt und verarbeitet sie in Begriffen, Theorien und Algorithmen. Von daher ist Mathematik, von der Bildung erster Zahl- und Formbegriffe an, abstrakt, selbstbezüglich und autonom. Sie unterscheidet sich insofern von den Naturwissenschaften, deren Begriffe - wenigstens teilweise - auf empirisch zugängliche Referenzgrößen zurückgreifen. Dennoch formen sich mathematische Begriffe, Strukturen und Algorithmen in stetem Kontakt zur - empirischen oder ideellen - Wirklichkeit, die als Vorbild, kontrollierende Norm oder als treibende Kraft für kreative Weiterentwicklung fungiert. Dieses Spannungsverhältnis von Abbildfunktion und systemischem Charakter zeigt sich in den verschiedenen Sichtweisen von Mathematik:

- (1) Mathematik tritt als eine in vielen Bereichen *anwendbare* Wissenschaft auf. Traditionell ist die Rolle von Mathematik als Beschreibungs- und Problemlösungssprache in Naturwissenschaften; zunehmend werden mathematische Sprech- und Denkweisen aber auch in anderen Bereichen, z.B. den Sozialwissenschaften, der Medizin und den Wirtschaftswissenschaften verwendet. Der Mathematik kommt somit eine Schlüsselfunktion zur Erschließung großer Wissensbereiche zu.
- (2) Die breite Anwendbarkeit verdankt die Mathematik ihrem *abstrakten und formalen* Charakter, also dem begrifflich und strukturell bestimmten Zugriff auf Probleme. Mathematik stellt Modelle bereit, aber auch die Methoden, diese Modelle in sich zu sichern, zu verknüpfen, weiter zu entwickeln und zu begründen. Auf der begrifflichen und strukturellen Ebene stehen dafür die Instrumente der Logik und des Beweisens zur Verfügung, auf der Verfahrensebene die Kalküle aller Art und deren Effektivierung.
- (3) Die Dynamik der Mathematik - im anwendungsorientierten wie im formalen Sinn - kommt aber einerseits dadurch zustande, daß mathematische Methoden auf die Realität passen müssen, und wird andererseits erzeugt aus dem freien, kreativen, oft vom Erstaunen ausgehenden, an ästhetischer Darstellung orientierten und den Dialog suchenden *intellektuellen Handeln*.

### **5.1.2 Das charakteristische Grundproblem des Schulfaches Mathematik**

Diesen Erscheinungsformen der Mathematik hat auch das Schulfach Mathematik in ausgewogener Weise Rechnung zu tragen.

*Beispiel 1:* Den Begriff der Variablen aus dem Hauptschul-Curriculum auszuschließen, verletzt diese Ausgewogenheit. Denn Variable - als abstrakte mathematische Sprachelemente - dienen gerade in ihrer Abstraktheit der Anwendung von Mathematik (Formeln, Berechnungen, Tabellen). Den Umgang mit Variablen aber allzusehr aufs Kalkülhafte auszudehnen ("mit x rechnen"), blendet wiederum die Anwendbarkeit von Mathematik aus. Eine Verwendung von Variablen zur Beschreibung von außermathematischen Gegebenheiten erscheint daher in der Hauptschule angemessen.

Mathematik in der skizzierten Weise in Balance zwischen Abbild und System zu sehen, zeigt jedoch gleichzeitig das charakteristische Grundproblem des Schulfaches Mathematik auf: Charakteristisch für Mathematik ist das stete Suchen nach Verallgemeinerung und begrifflicher Fundierung und in der Folge nach Effektivierung der gebildeten Begriffe und Verfahren. Diese Tendenz führt aber dazu, daß durch die fortwährende mathematische Bearbeitung bestimmte Klassen von Problemen schließlich optimalen Lösungen zugeführt werden. Damit werden diese Problembereiche erledigt, erscheinen gewissermaßen "trivialisieren". Was bleibt, sind die fertigen Begriffsstrukturen und Lösungsverfahren.

Diese der Mathematik inhärente Dialektik von Fundierung und Trivialisierung bildet sich als Grundproblematik des Lehrens und Lernens von Mathematik in der Schule ab: Diejenigen Stoffbereiche und Probleme, die im Schulunterricht behandelt werden, sind durch erprobte, abgesicherte und leistungsfähige Begriffe und Verfahren abgedeckt. Dies fördert aber Tendenzen, im Mathematikunterricht eben die fertigen Verfahren selbst direkt und möglichst effektiv anzustreben. Die mathematische Darstellung selbst erscheint dann als optimale Lehrstruktur.

Verständnisorientiertes Hinführen zum mathematischen Denken kann aber nicht die Endprodukte zum Ausgangspunkt nehmen, sondern muß die Entwicklungen zu diesen hin zum Ziel haben: Verständnisorientiertes Durchdringen ist die Grundlage für das Automatisieren hinsichtlich der Beherrschung von Verfahren; Entwickeln von Gedanken auf unterschiedlichen Niveaus und nicht Nachvollziehen muß Ziel sein hinsichtlich der Aneignung von Konzepten; beziehungsreiches Denken sowie Verständnis für Modellbildung statt kritikloser Regelanwendung müssen gefördert werden in Hinblick auf das Anwenden von Mathematik. Für eine verständnisorientierte Einführung in mathematisches Denken ist somit eine kleinschrittige Methodik im Unterricht, die entlang einer vorgegebenen Stoffsystematik eine Engführung der Lernenden betreibt, ungeeignet. Oft zeigt sich eine solche Methodik im traditionellen fragend-entwickelnden Unterrichtsstil. Da dieser Unterrichtsstil aus den genannten Gründen im Mathematikunterricht besonders häufig anzutreffen ist, erfordert seine Überwindung mehr als eine nur methodische, unterrichtstechnische oder thematische Umorientierung.

### **5.1.3 Grundzüge sinnvollen Lehrens und Lernens von Mathematik**

Der fragend-entwickelnde Unterrichtsstil ist nicht nur eine inhaltliche Engführung des Unterrichts. Untersuchungen über Kommunikationsprozesse im Unterricht haben darüber hinaus gezeigt, daß es sich um eine von allen Beteiligten akzeptierte, mit Routine durchgespielte Art von Inszenierung handelt, die - auf der Mikroebene - nicht unbedingt auf das Verständnis des einzelnen Schülers angelegt sein muß. Jedenfalls werden die Anknüpfung von Wissen an individuelles Vorwissen und die Orientierung auf ein Ziel hin oft durch die trichterförmig konzipierte Kommunikationsstruktur behindert.

Sinnvolles Lernen ist demgegenüber auf individuelle und soziale Sinnkonstruktion, auf Zielorientierung und auf Offenhalten der Komplexität des Lerngegenstandes angewiesen. Vermittlung ist daher - jedenfalls nach breit geteilter Auffassung in der Wissenserwerbsforschung - nicht einfach Transport stabiler Information, sondern Aufnahme, Verarbeitung, Einordnung und Weiterentwicklung von Vorwissen und Erfahrungen. Unterricht muß daher der (kognitiven) Selbsttätigkeit in angemessener Weise Raum geben, darf dabei aber das Erreichen fachlicher Ziele nicht aus dem Auge verlieren. Dies setzt voraus, daß der Unterricht unter pädagogischen und lernpsychologischen Gesichtspunkten kompetent (bezogen auf die Lernprozesse), aspektreich (bezogen auf die Gegenstände) und authentisch (bezogen auf die fachliche Bedeutung der Inhalte) gestaltet wird. An diese Bedingungen sind die Mittel zu knüpfen, die für die Einleitung verständnisorientierten Lernens im Mathematikunterricht eingesetzt werden. Es gibt hierfür ein breites Spektrum an Möglichkeiten: Anwendungsbezogene Aufgaben, aber auch innermathematische Probleme; moderne Fortentwicklungen der Mathematik, aber auch historische Themen; moderne Medien oder auch die traditionellen Arbeitsmittel.

*Beispiel 2:* Die traditionellen Aufgabensammlungen sowohl in der Grundschule wie in der Sekundarstufe I, d.h. die Zusammenstellung vieler unverbundener Einzelaufgaben zu einem bestimmten Verfahren, entsprechen der Engführung des

Lernens. Die neuerdings entwickelte Konzeption "produktiver" Übungsformen ist hingegen der Selbstorganisation des Lernens verpflichtet. Denn die Übungen letzteren Typs beinhalten operativ variierte Serien, Übungen mit zu entdeckenden Zusammenhängen, Übungen mit unterschiedlich möglichen Lösungswegen und Begründungsmöglichkeiten. Das Ziel auch der produktiven Übungsformen ist gleichermaßen die Ausbildung eines auf Verständnis basierten, schließlich aber automatisierten Beherrschens der jeweiligen Gegenstände. Analoge Gegenüberstellungen sind auch in der Sekundarstufe I angebracht, wengleich dort bisher nicht so detailliert ausgearbeitet.

Die inhaltliche und methodische Unterrichtsgestaltung ist aber als Gesamtaufgabe aufzufassen. Die Änderung einzelner Elemente muß wirkungslos bleiben, wenn nicht die Unterrichtskultur insgesamt mitbedacht wird: So setzen entdecken-lassende Methoden des Mathematikunterrichts eine passende Auswahl und Bewertung des Stoffes voraus; offene Unterrichtssituationen mit ihren zunächst oft individuellen Begriffsbildungen bedürfen des Auffangens in der normierten und dadurch kommunikablen Fachsprache; Anwendungsorientierung ist nur sinnvoll, wenn der Modellierungsprozeß thematisiert wird und der Unterricht zu begrifflicher Vertiefung führt.

Die Balance zwischen Abbild und System, aber auch die Bedingungen sinnvollen Lernens werden am besten eingehalten, wenn sich der Mathematikunterricht an den Entstehungsprozessen mathematischen Wissens orientiert. Die Problemstellungen sollen daher den Schülerinnen und Schülern einsehbar sein und den Gegenstand erschließen, sie müssen nicht kompliziert sein. Mathematisches Wissen entsteht, wenn Vernetzung von Wissens-elementen nicht nur auf globaler Ebene über Unterrichtseinheiten und Jahrgänge hinweg, sondern schon lokal in jeder einzelnen Stunde vorgenommen wird.

#### **5.1.4 Elemente mathematischer Grundbildung**

Die Weiterentwicklung des Mathematikunterrichts setzt nicht notwendig eine radikale Änderung des tradierten Stoffkanons voraus. Vielmehr sind - vor der eingangs geschilderten Sichtweise von Mathematik in Balance zwischen Abbildfunktion und systemischem Charakter - die Akzente angemessen zu setzen; möglicherweise sind lokale Ergänzungen und Streichungen angebracht.

*Beispiel 3:* Für die traditionellen Stoffgebiete der gymnasialen Oberstufe können solche Akzentsetzungen, vor allem im Hinblick auf die Grundkurse, sein: Lineare Algebra / Analytische Geometrie: Es erscheint angebracht, die geometrischen Teile dieses Gebiets stärker zu betonen, wenn Aspektreichtum und Strukturierung von begrifflichen Zusammenhängen Gestaltungsmerkmale sind. Analysis: Der Aspektreichtum kann durch horizontale Verbindung zur Physik (Newtonsche Mechanik, Sonnensystem) erhöht werden; vertikale Vernetzung kann durch Anknüpfung an elementare Linearisierungen in der Sekundarstufe I erreicht werden; zugleich werden auf diese Weisen die historischen Wurzeln der Differentialrechnung sichtbar.

In den einzelnen Schulstufen stellen sich die Elemente mathematischer Grundbildung etwa so dar: In der *Grundschule* ist das flüssige Beherrschen der Grundrechenarten im Zahlenbereich bis etwa 1 Million zu erreichen. Jedoch muß dies verbunden sein mit strukturierenden Vorstellungen über den Aufbau des Zahlensystems, mit Wissen über die Anwendbarkeit der Mathematik in Alltag und Umwelt. Hinzu kommt die Kenntnis geometrischer Formen und Eigenschaften, die nicht nur für die Erschließung der Umwelt, sondern auch für das visuelle Verständnis, und damit für Veranschaulichungen aller Art, grundlegend ist. Diese Bereiche zusammen sollen eine breite kognitive Entwicklung einleiten, die Kreativität einschließt und das Beherrschen von Verfahren als Bedingung für produktives Arbeiten sieht. Gerade eine umfassende Sichtweise von Mathematik erlaubt es, abgestufte, aber sinnvolle und motivierende Tätigkeiten für Schülerinnen und Schüler unterschiedlicher Leistungsfähigkeit zu konstruieren.

In der *Sekundarstufe I* sind die Verfahren des sogenannten bürgerlichen Rechnens unverzichtbar. Aber auch hier kommt es auf begriffliche Durchdringung an, die in allen Schularten möglich ist. Denn Beschränkung auf Rechenverfahren erschwert den einzelnen Schülerinnen und Schülern eine weiterführende Entwicklung mathematischen Denkens.

*Beispiel 4:* Sicher muß Ziel des Unterrichts der Sekundarstufe I in allen Schulformen sein, mit proportionalen Zuordnungen umgehen zu können. Dieses Gebiet hat aber mehrere Aspekte und Zugänge: Funktionales Denken, Muster linearer Fortschreibung oder der sogenannte Dreisatz. Bleibt man im schematischen Verfahren stecken und wird nicht einer der grundlegenden Aspekte herausgearbeitet, wird die Chance auf eine flexible Anwendung und die Grundlegung des umfassenderen Funktionsbegriffs vertan. Auch in der Hauptschule ist daher eine begriffliche Ausbildung angemessener Grundvorstellungen dringend.

Der Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I hat aber weit über den Bereich des bürgerlichen Rechnens hinausgehende Aufgaben, wenn er Grundbildung vermitteln soll. Orientierungsrahmen hierfür können zentrale Ideen der Mathematik sein, wie z.B. die Idee der Zahl mit ihren verschiedenen Ausprägungen, Zwecken und Verwendungen, die Idee des Raumes als idealisierten Mediums, sodann die besonders anwendungsbezogene Idee des funktionalen Zusammenhangs (Bewegungen, Muster, Wachstumsvorgänge) oder die Idee des Algorithmus als der Möglichkeit, Problemlösungen (beispielsweise in Form der modernen Technik der Simulation) derart zu fassen, daß sie schließlich "abgegeben" werden können, z.B. an Computer. Diese Ideen sind weit genug, so daß sie spezifisch auf unterschiedliche Schularten und Lerngruppen einzugehen erlauben, und geben zugleich die für das Lernen notwendige Ziel-orientierung.

Orientiert an zentralen Ideen der Mathematik sind die Geometrie (als Formen-Erkundung, aber auch als erste Begegnung mit einem wenigstens lokal deduktiv geordneten Begriffsfeld) und die Algebra (als symbolisches Darstellungsmittel) die Kernbereiche des Unterrichts; hinzu kommen Anfänge der Stochastik als Feld paradigmatischer Modellbildungserfahrung. Am Ende des Mathematikunterrichts der Sekundarstufe I sollte man jedenfalls diese über die elementarsten Rechenfertigkeiten hinausgehenden Fähigkeiten erwarten können: einen Begriff von Zahlen, der Größenvorstellungen und die Systematik des dezimalen Aufbaus ebenso umfaßt wie ein Grundverständnis für die Notwendigkeit von Zahlbereichserweiterungen; ein grundlegendes Verständnis von funktionaler Abhängigkeit; Verständnis des Variablenbegriffs als Mittel der Formalisierung intuitiv vorhandenen Wissens, das auf Hauptschulniveau jedenfalls die Verwendung von Variablen zur Beschreibung von Zusammenhängen, nach Abschluß von Realschule oder Gymnasium auch die elementaren algebraischen Techniken umfassen muß; ein Verständnis geometrischer Formen der Ebene und des Raumes, das auf visuelle Diskriminierungsfähigkeit und auf Wissen über elementare Flächen- und Volumenberechnungen zurückgreifen kann; die Fähigkeit, die die vorher genannten Komponenten alle zusammenbringt, graphische und tabellarische Darstellungen von Daten aller Art lesen und einordnen zu können. Hinzu kommen Handlungswissen, wie es das sog. bürgerliche Rechnen bereitstellt, und elementare heuristische Techniken, wie ein Problem in Teilprobleme aufgliedern, Verknüpfungen bilden und sich verschiedener Darstellungen bedienen

zu können.

In der *Sekundarstufe II* werden die oben dargestellten zentralen Ideen der Mathematik weitergeführt und begrifflich präzisiert. Zusätzlich zur allgemeinen Grundbildung, die also in einem reflektierten Verständnis elementarer mathematischer Begriffe und Tätigkeiten gesehen wird, kommt die Erreichung von Studierfähigkeit als Ziel hinzu. Die materielle Ausgestaltung dieser Aufgabe darf sich aber nicht in Stoffansammlung erschöpfen. Es kommt auf dieser Stufe in besonderem Maße auf die eingangs geschilderte Balance an. Mathematik muß nun auch von den Schülerinnen und Schülern selbst in weiterem Kontext gesehen werden.

Das kann - beispielsweise in exemplarischer Bearbeitung in einem Projekt - durch die systematische Beleuchtung ausgewählter substantieller mathematischer Begriffe (beispielsweise des Ableitungsbegriffs; siehe Beispiel 3) von verschiedenen Seiten aus geschehen, etwa hinsichtlich Anwendungsbezug, Genese und innermathematischer Bedeutung; wenigstens exemplarisch sollen die grundlegenden Prozesse und Bedingungen des Aufbaus einer mathematischen Theorie erkennbar werden. Die Stoffe hierfür sind nicht beliebig wählbar, sondern müssen kritisch bewertet werden unter dem Gesichtspunkt der Anschluß- und Erschließungsfähigkeit im inner- wie im außermathematischen Bereich.

Leistungs- und Grundkurse unterscheiden sich in dieser allgemeinen Sichtweise zwar nur graduell. Jedoch ist zu bedenken, daß ein begrifflich orientierter und aspektreich aufgebaute Lehrgang nicht beliebig ausgedünnt werden kann, sollen Begriff und Verfahren, Anwendung und Bedeutung ausgewogen bestehen können. Für Grundkurse ist also eine vollständige, didaktische und curriculare Bedingungen bedenkende Konzeption erforderlich. Hierfür sind freilich derzeit erst Anfänge sichtbar, die weiter zu bearbeiten sind. Eine Schlüsselrolle kommt dabei einer anschlussfähigen Gestaltung des Unterrichts in Klassenstufe 11 zu, weil bereits hier viele Grundlagen sowohl für den Grundkurs als auch für den Leistungskurs gelegt werden.

## **5.2 Die naturwissenschaftlichen Fächer im Rahmen einer modernen Allgemeinbildung**

### **5.2.1 Das naturwissenschaftliche Paradigma**

Im Rahmen eines modernen Allgemeinbildungskonzepts, für das die Unbestimmtheit einer sich beschleunigt entwickelnden Wissensgesellschaft richtunggebend ist (s. 2.1), schafft der Fachunterricht Voraussetzungen für ein erfolgreiches Weiterlernen sowie für die gesellschaftliche Kommunikation und Teilhabe. Weil die Schule einen substantiellen Teil der Lebenszeit der nachwachsenden Generation beansprucht, hat jedes Fach darüber hinaus den Auftrag, auch die Lebenswelt der Schüler angemessen zu berücksichtigen. Wesentliche Merkmale einer so verstandenen Allgemeinbildung sind demnach anschlussfähiges Wissen und sinnstiftende Kontexte. Das Wissen schließt kulturelle Basiskompetenzen ein und dient darüber hinaus der Orientierung in unserer Kultur. Seine Quellen sind daher die zentralen Wissensdomänen, die in erster Näherung z.B. durch die Aufgabenfelder der gymnasialen Oberstufe gekennzeichnet werden. Die Selbst- und Welterschließung erfolgt also auf unterschiedlichen Wegen und exemplarisch, d.h., in verschiedenen Fächergruppen und Fächern. Diese vermitteln dabei auch metakognitive Kompetenzen und motivationale Orientierungen sowie sozial-kognitive und soziale Kompetenzen.

Biologie, Chemie und Physik vermitteln naturwissenschaftliche Basiskonzepte zur Interpretation von Mensch, Natur und einer durch Naturwissenschaften und Technik gestalteten Welt. Als Basiswerkzeuge der naturwissenschaftlichen Selbst- und Welterschließung dienen im Unterricht die verschiedenen Erkenntnismethoden der Naturwissenschaften (distanziertes Beobachten und Analysieren auf der Basis verschiedener Theorien sowie Experimentieren in allen drei Fächern, spezifische Modellbildung und Modelldenken in der Chemie, Vergleichen und Systematisieren auf der Basis wissenschaftlicher Kriterien in der Biologie). Zwar bestimmen die Formen naturwissenschaftlicher Rationalität den Unterricht in Biologie, Chemie und Physik maßgeblich, es werden aber auch Anleihen bei der Logik anderer Wissensdomänen gemacht, wenn z.B. die Urteilsfähigkeit (im Hinblick auf naturwissenschaftliche und technische Handlungsziele, Tätigkeiten und Anwendungen) gefördert wird oder die Schönheit der Natur im Blick ist.

Vorschläge für das Einbeziehen der Lebenswelt in den Physikunterricht wurden in den vergangenen Jahren im Rahmen von Untersuchungen zur Interessenförderung bei Mädchen gemacht. Dabei stellte sich auch heraus, daß Lern- und Behaltensleistung (von Mädchen und Jungen) steigen, wenn physikalische Inhalte in lebensweltlichen Kontexten unterrichtet werden. Entsprechend weit entwickelte fachdidaktische Arbeiten stehen für den Chemieunterricht sowie die stark von Chemie und Physik geprägten Teilgebiete des Biologieunterrichts (u.a. der gymnasialen Oberstufe) noch aus.

Ein besonderes Problem des Unterrichts in den naturwissenschaftlichen Fächern stellt die mangelnde inhaltliche Verzahnung der größeren thematischen Einheiten dar. Da die vertikale Vernetzung innerhalb der einzelnen Fächer bisher nicht ausreichend gelungen ist, leidet die Anschlussfähigkeit des erworbenen Wissens. Verschärft wird dieses Problem dadurch, daß der Unterricht in ganzen Jahrgängen ausfällt. Dazu kommt die ungelöste Aufgabe der Koordination der Fächer Biologie, Chemie, Physik und Mathematik (horizontale Vernetzung). Der Unterricht in diesen Fächern hat sich im Sinne der vertikalen Vernetzung an der Systematik des jeweiligen Bildungsgangs zu orientieren und außerdem zum Zwecke der horizontalen Vernetzung Funktionen im Hinblick auf Nachbarfächer zu erfüllen. Diese Problematik ist bisher - von einzelnen Teilbereichen abgesehen - fachdidaktisch kaum bearbeitet.

*Drängende Probleme.* Aus der Sicht des skizzierten Allgemeinbildungskonzeptes hat der Unterricht in der *Sekundarstufe I* vor allem die Aufgabe, ein Verständnis für die Denk- und Arbeitsweise der Naturwissenschaften sowie anschlussfähiges Wissen für das Weiterlernen sowohl im Laufe der Schulzeit als auch danach zu vermitteln. Nun hat TIMSS gezeigt, daß beide Ziele alles in allem nur unvollkommen erreicht werden. Zur Lösung dieser Problematik muß sowohl der innere Zusammenhang der in den einzelnen Fächern aufeinanderfolgenden Themen (*vertikale Vernetzung*) als auch ihr transdisziplinärer Zusammenhang (*horizontale Vernetzung*) verbessert werden. Weiterhin ist die Gestaltung des konkreten Unterrichts (z.B. fragend-entwickelndes Vorgehen, Art des Experimentierens) zu optimieren. Die Problematik der vertikalen und der horizontalen Vernetzung stellt sich auch dann, wenn Biologie, Chemie und Physik nicht in getrennten Fächern, sondern in einem Einheitsfach "Naturwissenschaft" unterrichtet werden.

Die *gymnasiale Oberstufe* hat die Aufgabe, vertiefte Allgemeinbildung zu vermitteln, sich der Wissenschaftspropädeutik anzunehmen und Studierfähigkeit zu sichern. In den *naturwissenschaftlichen Leistungskursen* erfolgt dies gemäß der Systematik der einzelnen Fächer. Demgemäß stellt sich das Problem der vertikalen und der horizontalen Verknüpfung ähnlich wie in der Sekundarstufe I. *Grundkurse* sind in der Regel vergleichbar angelegt, sie stellen normalerweise verkürzte Leistungskurse dar. Da im Prinzip die gleichen Ziele angestrebt werden wie in Leistungskursen, allerdings im Rahmen eines viel kleineren Zeitbudgets, treten zwangsläufig Lerndefizite auf. Dieses Problem ist nur im Rahmen eines eigenen Grundkurskonzepts zu lösen.

### **5.2.2 Biologie**

Biologie ist die Wissenschaft von den Systemen des Lebendigen. Als eine Wissenschaft der *Grundlagenforschung* klassifiziert und analysiert die Biologie Systeme des Lebendigen auf verschiedenen, hierarchisch geordneten Organisationsebenen. Zu diesen Systemen gehören unter anderem Molekül, Zelle, Gewebe, Organ, Organismus, Population, Ökosystem, Biosphäre. Als Gebiet der *angewandten Forschung* entwickelt sich die Biologie seit einigen Jahrzehnten verstärkt zu einer Wissenschaft der industriellen Praxis (vor allem der Chemischen Industrie und der Lebensmittellindustrie); im Bereich der Erzeugung, Gewinnung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturprodukten einschließlich der Züchtung und Haltung von Nutztieren und Nutzpflanzen hat die Biologie traditionell eine Vielfalt von Anwendungsbereichen.

Das Ziel der *klassifikatorischen (systematischen)* Biologie ist die Beschreibung, Ausdifferenzierung und Begründung des "natürlichen Systems" der Lebewesen. Dabei spielen die Methoden des exakten Beobachtens, Beschreibens sowie des Vergleichens und Systematisierens auf der Basis wissenschaftlicher Kriterien eine besondere Rolle.

Die *analytische (allgemeine)* Biologie erklärt Struktur- und Funktionseigenschaften biologischer Systeme; sie setzt dazu reduktionistische oder integrative Verfahren ein. Aus *reduktionistischer* Sicht werden Phänomene des Lebendigen durch die Untersuchung von Einzelelementen eines Systems und eingegrenzter Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zu erklären versucht. Auch dazu bedient sich die Biologie des exakten Beobachtens und Beschreibens, aber auch des Experimentierens. Diese Forschungsarbeiten sind in aller Regel fachübergreifend angelegt. So werden an Molekülen, Zellen, Geweben und Organen systematische experimentelle Untersuchungen oft mit Hilfe chemischer und physikalischer Methoden durchgeführt. Nun sind die einfacheren Systeme des Lebendigen Teilsysteme von jeweils komplexeren Systemen (z.B. sind Organe Teilsysteme des Organismus, Organismen von Populationen, diese von Ökosystemen). Und auf jeder Stufe dieser Hierarchie treten neue Systemeigenschaften auf, die nicht eindeutig durch die Eigenschaften der weniger komplexen Systeme determiniert sind. Daher reichen chemische und physikalische Experimente nicht aus, um komplexere biologische Systeme zu untersuchen.

Aus *integrativer* Sicht ist die Vernetzung biologischer Teilsysteme erkenntnisleitend. Dazu gehören z.B. die Regelung im Organismus oder das Zusammenspiel der Arten untereinander und mit der unbelebten Natur im Ökosystem. Entsprechende Arbeiten sind ebenfalls oft fachübergreifend angelegt, wobei u.a. auch Strukturwissenschaften wie Mathematik, Systemtheorie und Kybernetik einbezogen werden. Das Ergebnis der Untersuchung komplexer Systeme, z.B. in der Ökosystemforschung, sind nicht selten Szenarien, die durch Wahrscheinlichkeitsaussagen gekennzeichnet sind.

Aufgrund der verschiedenenartigen Fragestellungen, der unterschiedlichen Systeme und deren spezifischen Eigenschaften, mit denen sich Biologen beschäftigen, sowie der verschiedenen Anwendungsfelder der Biologie entstanden bis heute etwa 30 Biowissenschaften. Diese sind durch einen Mangel an Kohärenz gekennzeichnet, obwohl sie zum Teil die gleichen Methoden verwenden oder sich in der Theorie auf gemeinsame basale Konzepte beziehen, von denen im folgenden einige aufgeführt sind. So gehören zu den basalen Konzepten der systematischen Biologie:

- Stammbaum und Verwandtschaft (als Ergebnisse der Phylogenese),
- Entwicklung (Evolution) zu verschiedenen Stufen der Anpassung,
- Natürliches System (als Resultat der Klassifikation).

Und zu den basalen Konzepten der allgemeinen Biologie gehören neben einer Reihe anderer:

- Stoffwechsel (Ernährung des Organismus; Nahrungsketten und Nahrungsnetze auf der Ebene der Population; Stoffkreisläufe und Energieflüsse in Ökosystem und Biosphäre),
- Wachstum (Größenzunahme des Organismus; r- und K-Strategien in Populationen),
- Wechselwirkung (Informationsverarbeitung sowie Steuerung und Regelung im Organismus; Symbiose, Konkurrenz, ökologische Regelung auf der Ebene der Population; Zusammenspiel von Lebensgemeinschaft und Biotop im Ökosystem sowie von Ökosystemen in der Biosphäre).
- Selbstreplikation (als Basis der Kontinuität des Lebendigen).

Die inhaltliche und methodische Aufgliederung der Biologie in Teildisziplinen vollzog sich auch durch Integration von Erkenntnissen und Arbeitsweisen anderer Wissenschaftsdisziplinen wie der Chemie, der Physik oder auch der Mathematik und der Psychologie, also durch transdisziplinäre Ansätze. Diese Veränderung und Ausdifferenzierung der Fragestellungen und Methoden der Bezugswissenschaft Biologie hat Einfluß auf den Biologieunterricht der allgemeinbildenden Schulen. In diesem Zusammenhang ist zu bedenken, daß auch Teildisziplinen der Medizin (u.a. Anatomie, Physiologie, Pathologie, Pathophysiologie, medizinische Mikrobiologie) für den Biologieunterricht von besonderer Bedeutung sind. Die Forschung auf diesen medizinischen Gebieten wird heute maßgeblich von Biologen durchgeführt.

**Bildungstheoretische Grundlegung des Biologieunterrichts.** Als Teil des schulischen Lernens ist auch das Lernen im Biologieunterricht auf gegenwärtige und zukünftige Lebenssituationen ausgerichtet, in denen die Individuen selbstbestimmt und in sozialer Verantwortung urteilen und handeln sollen.

Lebenssituationen sind immer auch durch Zustände von Systemen des *Lebendigen* mit bestimmt. Da der Mensch Teil von Ökosystemen ist und seine nackte Existenz letztlich von deren Produktivität abhängt, wird die nicht im einzelnen vorhersagbare Veränderung der Biosphäre in der Zeit die *künftige* Lebenssituation des Menschen maßgeblich beeinflussen. Der Biologieunterricht kann den Schülern entsprechende Einsichten in Struktur und Funktion von Systemen des Lebendigen vermitteln. Er schafft damit eine Basis für vernünftiges *Urteilen und Handeln* und *anschlußfähiges Wissen* für das *Weiterlernen* nach der Schule.

Der Biologieunterricht kann jedoch auch einen engen Bezug zur Lebenswelt der Schüler *in der Gegenwart* herstellen, und das nicht zuletzt deshalb, weil der Mensch auch *Objekt* des Biologieunterrichts ist. Mit Themenbereichen wie Gesundheit, Ernährung, Sexualität, Sport, Bewegung und Umwelt wird im Biologieunterricht ein wichtiger Beitrag zur Lebensführung und allgemein zum bedeutungsvollen Lernen (in *sinnstiftenden Kontexten*) geleistet. Weiterhin schafft der Biologieunterricht Voraussetzungen eines *umweltverantwortlichen Handelns*. Darüber hinaus kann er die Lernenden über wichtige Anwendungsfelder der Biologie sowie über das Für und Wider von Handlungszielen und Tätigkeiten auf diesen Gebieten orientieren. Auch dadurch schafft er eine wichtige Grundlage für ein *vernünftiges Urteilen* in der Auseinandersetzung um Probleme, die sich in einer von Naturwissenschaft und Technik bestimmten Welt stellen.

*Denken in Systemen.* Ein adäquates Verständnis von Systemen des Lebendigen setzt die Verknüpfung von Wissensbeständen, die im Hinblick auf die verschiedenen Einzelsysteme akkumuliert worden sind, voraus. Dem wirkt allerdings die gegenwärtige Aufsplitterung der Biologie in Einzeldisziplinen entgegen. Diese Integration zu leisten, ist der Fachdidaktik bisher nur ansatzweise gelungen. Damit fehlt noch eine wichtige Voraussetzung für die Anschlußfähigkeit des biologischen Wissens im

Schulunterricht und danach. Somit ist auch die verantwortliche Teilhabe an der Gestaltung biologisch bestimmter gesellschaftlicher Lebensbereiche noch nicht gesichert, und das, obwohl das Denken in Systemen angesichts der Komplexität und Unbestimmtheit künftiger Lebenssituationen geradezu als *Basiskompetenz unserer Kultur* anzusehen ist.

*Bioethisches Urteilen.* Das Angebot von Optionen selbstbestimmten Urteilens und Handelns in entsprechenden Kontexten macht den Schülern zugleich die Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung des Gelernten deutlich. Eine weitere spezifische Kompetenz, die im Biologieunterricht in diesem Zusammenhang vermittelt werden kann, ist das bioethische Urteilen. So führen besondere Umstände der *Genese* des biologischen (auch medizinischen) Wissens (z.B. Tierversuche), die *Nutzung* des Wissens in ökonomisch bedeutsamen Anwendungsfeldern (z.B. Biotechnik, Ökotechnik, Naturschutz, Landwirtschaft, Tierschutz, Reproduktionstechnik) und nicht zuletzt die *weltanschauliche Relevanz* biologischen Wissens (z.B. Evolutionslehre, Soziobiologie, Humangenetik) im Biologieunterricht regelmäßig zu Diskussionen über *Werte* und *Normen* und schließlich über den *Normdissens* in unserer Gesellschaft. Ein Verständnis der unterschiedlichen Positionen erfordert ethisches Analysieren und Begründen auf der Basis von solidem fachspezifischen Wissen. Wegen der großen Bedeutung der angewandten Biologie für die Gesellschaft und den einzelnen gehört die Fähigkeit zum bioethischen Urteilen zu den bedeutsamen Kompetenzen sowohl für die *Teilhabe am gesellschaftlichen Leben* als auch für die *individuelle Entscheidungsfindung*. Außerdem stellt diese Kompetenz eine wichtige Voraussetzung für *individuelles Weiterlernen* dar. Trotz der Wichtigkeit der Bioethik für ein selbstbestimmtes Urteilen und Handeln in sozialer Verantwortung spielt diese im Biologieunterricht eher eine marginale Rolle, und die Kooperation von Biologie-, Philosophie- und Religionslehrern auf diesem Gebiet beginnt sich erst allmählich zu entwickeln. Dies mag daran liegen, daß die Integration zweier unterschiedlicher Rationalitäten ein offenes fachdidaktisches Problem darstellt.

*Motivationale, ästhetische Orientierung und soziales Lernen.* Die Beschäftigung mit Lebewesen führt regelmäßig auch zu affektiven Reaktionen und ästhetischen Urteilen. Indem der Biologieunterricht Gelegenheiten zur unmittelbaren Naturbegegnung schafft, kann er die *Persönlichkeitsentwicklung* im Sinne einer erlebnishaften Bindung an die Natur beeinflussen und in dieser Hinsicht auch ein Gefühl für Schönes und Häßliches in der Natur vermitteln sowie zu einem reflektierten Umgang mit affektiven Reaktionen beitragen. Im Zusammenhang mit der Vermittlung sozialer Kompetenzen ist die für den Biologieunterricht typische Freilandarbeit besonders hervorzuheben. Dabei wird unter anderem eine Pflege- und Schutzhaltung gegenüber Tieren, Pflanzen und Biotopen eingeübt sowie eine erlebnishaftige Bindung an die Natur gefördert.

**Allgemeine Ziele des Biologieunterrichts.** Generell hat der Biologieunterricht das Ziel, altersgemäß strukturiertes Wissen aus den Bezugsdisziplinen zu vermitteln, einschließlich dessen Genese und Anwendung, um zu einer spezifischen Form der Welt- und Selbsterschließung beizutragen. Viele Themen des Biologieunterrichts eröffnen dabei fast zwangsläufig die Möglichkeit, in sinnstiftenden Kontexten zu lernen.

Zu den allgemeinen Zielen auf der Ebene der Inhalte gehört die Förderung der Einsicht, daß alle biologischen Teilsysteme in der gesamten Biosphäre vernetzt sind (Systemdenken), weiterhin, daß nicht sicher gesagt werden kann, welche Richtung die (laufende) Evolution einschlagen wird, daß aus diesen Gründen Eingriffe in Biosysteme mit dem Risiko unvorhersehbarer Nebenwirkungen behaftet sind. Auch die Einsicht, daß die Beurteilung biologischer Tätigkeiten und Handlungsziele nicht allein auf kritisch-rationalistischer Grundlage erfolgen kann, gehört zu den wichtigen allgemeinen Zielen auf der Inhaltsebene.

Um die Entwicklung dieser und anderer fachlicher und fachüberschreitender Denkweisen zu unterstützen, bedarf es der Beschäftigung mit den verschiedenen Wegen der Erkenntnisgewinnung. In diesem Zusammenhang sind biologische Arbeitsweisen wie Beobachten und exaktes Beschreiben oder auch Zeichnen (u.a. mit Hilfe des Mikroskops), Vergleichen und Systematisieren, Experimentieren und Denken in Modellen zu vermitteln. Das Vergleichen und Systematisieren auf der Basis wissenschaftlicher Kriterien (z.B. der Homologiekriterien) macht eine Spezifität der Biologie und des Biologieunterrichts aus.

**Probleme des Biologieunterrichts.** Im folgenden sei auf zwei ernsthafte Schwierigkeiten hingewiesen, die der Biologieunterricht überwinden muß, wenn er künftig effizienter sein will. Zum einen läßt bisher die Anschlußfähigkeit des vermittelten Wissens innerhalb der Schulzeit zu wünschen übrig; es ist nicht ausreichend vertikal vernetzt, so daß teilweise sogar dem mechanischen Lernen Vorschub geleistet wird. Zum anderen leidet der Biologieunterricht unter der mangelnden Koordination der naturwissenschaftlichen Fächer; es ist also auch die horizontale Vernetzung biologischen Wissens ein offenes Problem.

*Zum Problem der vertikalen Vernetzung biologischen Wissens.* Die relative Inkohärenz des Fachgebiets erschwert eine Vermittlung aufeinander aufbauender Konzepte und den fortlaufenden Aufweis von Zusammenhängen. Diese Problematik wird durch die mangelnde Koordination der naturwissenschaftlichen Fächer weiter vergrößert. So hat der Biologielehrer bisher im Normalfall nicht die Möglichkeit, auf chemisches oder physikalisches Vorwissen der Schüler im Unterricht zurückzugreifen, sondern ist gezwungen, selbst entsprechende Inhalte einzuführen, und zwar zwangsläufig ohne sich die Mühe machen zu können, die Chemie- oder Physiklehrer aufwenden (s. z.B. Einführung des Teilchenkonzepts oder der Vorstellung vom diskontinuierlichen Aufbau der Stoffe). Sowohl die Inkohärenz der Biowissenschaften als auch das Fehlen der Fächerkoordination erschweren also die Vermittlung von anschlussfähigem Wissen im Biologieunterricht und damit den Lernfortschritt der Schüler.

Zur Entschärfung dieses Problems sind zwar bestimmte unterrichtliche Maßnahmen wie die Förderung des intelligenten Übens unverzichtbar, diese allein reichen aber nicht aus. Darüber hinaus sind theoretische begründete fachdidaktische Arbeiten zur Vernetzung von basalen Konzepten der verschiedenen Organisationsebenen biologischer Systeme einschließlich der Ausarbeitung entsprechender Themensequenzen erforderlich. Weiterhin muß geklärt werden, wie vom Chemie- und Physikunterricht das im Biologieunterricht erforderliche Wissen bereitgestellt werden kann, ohne daß dadurch die systematische und strukturierte Wissensvermittlung in diesen Fächern leidet. Die gleiche Anforderung müßte zumindest der Physikunterricht an den Biologieunterricht stellen.

Ein besonderes Ziel der vertikalen Vernetzung sollte die altersgemäße Steigerung des Anspruchsniveaus sein, wozu die Zuordnung besonderer Organisationsebenen biologischer Systeme zum Unterricht in den einzelnen Jahrgängen beitragen kann. In diesem Zusammenhang ist allerdings zu bedenken, daß es mit Blick auf die verschiedenen Organisationsebenen durchaus zur Entwicklung individueller Interessenprofile kommen kann (Interessendifferenzierung innerhalb des Faches Biologie hinsichtlich verschiedener Biowissenschaften wie z.B. Verhaltenslehre und Molekularbiologie). Es ist nicht auszuschließen, daß kumulatives Lernen auch zur Akkumulation von Defiziten bei einem Teil der Schüler führen wird. Beide Effekte verstärken die Unterschiede in den Kompetenzen innerhalb einer Schulklasse und stehen damit einer generellen Erhöhung des Anspruchsniveaus im Wege. Es ist zu prüfen, ob dieses Problem durch den Einsatz von Aufgaben, in denen auf unterschiedliche Weise früher Gelerntes aufgegriffen wird oder die unterschiedliche Lösungswege möglich machen, entschärft werden kann.

*Zum Problem der horizontalen Vernetzung biologischen Wissens.* Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß schon allein aufgrund der konstitutiven Interdisziplinarität der Biologie eine horizontale Verknüpfung biologischen Wissens von der vertikalen nicht zu trennen, eine rein "biologische" Engführung also aus fachlicher Sicht unmöglich ist. Dazu kommt, daß sich der Wegfall des Biologieunterrichts in bestimmten Schuljahren oder Halbjahren hemmend auf den Lernfortschritt auswirken dürfte. Es wäre zu prüfen, ob während dieser Epochen der spätere Biologieunterricht in den anderen naturwissenschaftlichen Fächern mit vorbereitet werden kann, ohne daß dadurch die systematische und strukturierte Wissensvermittlung leidet. Dann könnte im neu einsetzenden Biologieunterricht auf Kompetenzen aufgebaut werden, die zuvor in den anderen beiden Fächern erworben worden sind, und so eine gewisse Kontinuität des Wissenserwerbs gesichert werden. Einer vergleichbaren Anforderung des Chemie- und Physikunterrichts muß sich auch der Biologieunterricht stellen.

Die angewandte Biologie verweist auf eine große Fülle entsprechender Kontexte, aus denen eine schwerpunktmäßige Auswahl getroffen werden kann. Die sachgemäße Problemlösung bei der Behandlung entsprechender Themen ermöglicht eine vielfältige Anwendung von Grundlagenwissen. Sie bietet den Schülern weiterhin Gelegenheit, über die Grenzen der Biologie hinauszugehen und sich sachgemäß z.B. mit der normativen Seite menschlichen Urteilens und Handelns auseinanderzusetzen. Einen fachübergreifenden bzw. fächerverbindenden Unterricht ermöglicht beispielsweise auch der Übergang von der Physiologie zur Medizin und zur praktischen Philosophie, von der Evolutionslehre zur Theologie und Erkenntnistheorie, von der Ökologie zur Ökonomie und Geographie, von der Neurobiologie zur Psychologie.

### 5.2.3 Chemie

#### *Naturwissenschaften - Chemie*

Chemie wird vielfach als die **Wissenschaft** beschrieben, die sich mit der Charakterisierung von Zuständen und der Veränderung der materiellen Welt befaßt, nämlich mit den Struktureigenschaften und der Umwandlung von Stoffen. Dabei ist die Spannweite der Betrachtung in dieser Wissenschaftsdisziplin besonders breit: So können nukleare Reaktionen mit chemischen Begriffen erfaßt werden, wenn die wechselseitige Umwandlung von Masse und Energie berücksichtigt wird; zur Beschreibung der Zusammensetzung und der Veränderungen von Boden, Wasser und Luft ist genauso chemische Forschung erforderlich wie bei der Untersuchung physiologischer Prozesse. Auf Grund der sehr verschiedenen Untersuchungsfelder und Fragestellungen der großen Breite der untersuchten Stoffe sowie der Vielfalt der verwendeten Untersuchungsmethoden hat sich in diesem Jahrhundert die Chemie in eine große Zahl von Teildisziplinen differenziert, wie z.B. die Anorganische Chemie, die Organische Chemie, die Physikalische Chemie, die Technische Chemie, die Theoretische Chemie, die Biochemie, die Analytische Chemie, die Umweltchemie, die Kernchemie, die Makromolekulare Chemie oder die Lebensmittelchemie. In den letzten beiden Jahrzehnten hat diese Klassifikation allerdings an Bedeutung verloren und Sichtweisen Platz gemacht, die transdisziplinären Betrachtungsweisen eine verstärkte Bedeutung zumessen. Chemie ist primär eine empirisch-beobachtende Wissenschaft. Wenn sie so angelegt ist, ermittelt sie Fakten durch systematische experimentelle Untersuchungen. Kennzeichnend für das Vorgehen der Wissenschaft Chemie ist die Deutung bestimmter makroskopisch oder mikroskopisch beobachtbarer Phänomene (Fakten) durch eine modellhafte Beschreibung auf submikroskopischer Ebene, d.h. durch die Vorstellung von diskontinuierlichen Aufbau der Materie, bzw. von der Existenz kleinster Teilchen, in deren Verbänden die Eigenschaften der Stoffe angelegt sind.

Chemie ist aber auch eine deduktiv-prognostisch arbeitende Wissenschaft; sie sagt auf der Grundlage von Modellen spezielle Stoffeigenschaften vorher und überprüft diese Prognosen experimentell.

Ergebnisse der chemischen Wissenschaft wurden viel häufiger in der Industrie genutzt als Resultate ihrer beiden Schwesterdisziplinen (Produktion von Grundchemikalien wie Natronlauge, Schwefelsäure, etc., von Erdölprodukten, Farbstoffen, Kunststoffen, Arzneistoffen u. v. a. m. in der chemischen Industrie).

Wenn die Chemie als Wissenschaft die Gesetzmäßigkeiten erforscht, die auf der Erde die Möglichkeiten und Grenzen für eine Veränderung der materiellen Welt durch chemische Reaktionen bestimmen, dann vermittelt sie dem Menschen eine Einsicht in konkrete Handlungs- und Gestaltungsfelder, zugleich aber auch die Möglichkeit, die Folgen seines Handelns abzuschätzen.

#### *Unterricht Chemie*

Aus den beschriebenen Gegenstandsbereichen leiten sich die Beiträge ab, die von der Chemie als Wissenschaftsdisziplin für die schulische Bildung bereitgestellt werden können. Für den Chemieunterricht gehört dazu insbesondere eine spezifische Form der Modellbildung: Wenn sich Chemie mit der Erforschung von "Formen" befaßt, dann handelt es sich im wesentlichen um die unterschiedliche Ausbildung von Stoffen oder um Stoffumwandlungen. Ihre phänomenologische Beschreibung erfolgt aus diskontinuierlicher Sicht. Zur Deutung der makroskopisch und mikroskopisch sichtbaren Phänomene wird jedoch immer auf die submikroskopische Ebene zurückgegriffen, nämlich auf die Vorstellung vom diskontinuierlichen Aufbau der Materie aus Teilchen und Teilchenaggregaten und von den zwischen ihnen bestehenden Wechselwirkungen. Diese für den Zugang zum submikroskopischen Bereich erforderliche besondere Form der Modellbildung und die deutliche Unterscheidung dieser beiden Betrachtungsebenen (sowie die wechselseitige Zuordnung von Objekten aus diesen Ebenen) ist ein Spezifikum des Chemieunterrichts. Die Lernenden können durch die Befassung mit Chemie in die Lage versetzt werden, Stoffeigenschaften und Stoffumwandlungen in Natur, Technik und Alltag zu erkennen, zu beschreiben und in ihrer Bedeutung für Mensch und Umwelt zu erschließen.

Die Verankerung der Gegenstände chemischer Betrachtung in lebensweltlichen Zusammenhängen macht es möglich, im Unterricht auch die lebenswirkliche Bedeutsamkeit chemischer Sachverhalte aufzuzeigen. Auf diese Weise kann ein vertieftes Welt- und Sachverständnis herausgebildet werden. Der Chemieunterricht schafft damit Grundlagen für ein vernünftiges Urteilen und Handeln und ermöglicht ein Lernen in sinnstiftenden Kontexten.

Der Chemieunterricht zielt vor diesem Hintergrund insbesondere darauf ab, vier besondere Fähigkeiten in den Kindern und Jugendlichen auszubilden und zu schulen: Dies ist erstens das *Beobachten* bestimmter Phänomene und ihre Deutung als chemische Reaktionen (z.B. Oxidationen, Vorgänge bei der Elektrolyse); zweitens ein besonderes *Klassifizieren*, wodurch die Vielzahl der verschiedenen Reaktionen auf wenige übergeordnete Prinzipien zurückgeführt wird (z.B. Säure-Base-Reaktionen, Donator-Akzeptor-Prinzip). Drittens das *Experimentieren*, das zu allgemeinen gesetzmäßigen Aussagen über Phänomene in der materiellen Welt führt; und viertens das *Abstrahieren*, auf dessen Basis Unterschiede in den Stoffeigenschaften letztlich durch den verschiedenartigen Aufbau der Stoffe aus kleinsten Teilchen erklärt werden können. Wie für die anderen Naturwissenschaften ist es auch für den Chemieunterricht von elementarer Bedeutung, den Weg der Erkenntnisgewinnung als wichtige Zielsetzung für den Unterricht zu begreifen. Dabei sind Experimente unterrichtstragend.

Die im Chemieunterricht erlernten Denk- und Arbeitsweisen sind im Physikunterricht bei der Behandlung des Atomismus unmittelbar verwertbar und im Biologieunterricht für den gesamten Bereich der molekularen Biologie wichtig und nützlich. Es ist jedoch festzuhalten, daß die hierfür erforderliche horizontale Verknüpfung der Lerninhalte zwischen den unterschiedlichen Disziplinen defizitär ist. Entsprechende Defizite sind auch im Hinblick auf die zweite Ebene der horizontalen Verknüpfung festzustellen, wenn eine Brücke zwischen den chemiespezifischen Betrachtungsweisen und dem Alltags- und Erfahrungswissen geschlagen werden muß.

#### **Organisation der Lernprozesse im Chemieunterricht**

In der Grundschulzeit sollen erste unterrichtliche Begegnungen mit Naturphänomenen der unbelebten Natur ermöglicht werden. Diese sollten zum Ausgangspunkt tiefergehender Untersuchungen gemacht werden. Im **Sachunterricht** der Grundschule sind seit Anfang der 80er Jahre diese Inhaltsbereiche zunehmend vernachlässigt worden, so daß in einigen Ländern der Sachunterricht inzwischen von entsprechenden Inhalten völlig "befreit" ist - eine aus der Sicht der naturwissenschaftlichen Grundbildung sehr unbefriedigende Situation. Eine Reform des naturwissenschaftlichen Unterrichts wird sich auch mit der Frage des Anteils naturwissenschaftlicher Inhalte und der Qualität ihrer Behandlung im Sachunterricht auseinanderzusetzen haben. Im Chemieunterricht der **Sekundarstufe I** steht die systematische Heranführung an die früher beschriebenen spezifischen Methoden und Erklärungsmuster der Chemie in Vordergrund. Die weitaus größte Teil der Schülerinnen und Schüler wird mit dem in dieser Phase vermittelten Wissen die Schule verlassen und auch später keine zusätzlichen Kenntnisse in diesem Feld mehr erwerben. Daher muß sich der Unterricht darauf konzentrieren, basale Wissenbestände anzulegen, die anschlussfähig im weitesten Sinne des Wortes sind.

Bis Ende der Klasse 10 (mit Einschränkungen am Ende der Klasse 9 der Hauptschule) sollten daher die folgenden Problemfelder behandelt sein:

1. Beschreiben, Ordnen und Klassifizieren von Stoffen nach bestimmten Kriterien;
2. Beschreiben und Klassifizieren von Phänomenen aus Kontinuumssicht;
3. erste Deutung von Reaktionen aus Diskontinuumssicht;
4. Systematisierung von Stoffen und Reaktionen;
5. differenzierte Deutung von Reaktionsverläufen und Teilchenstrukturen.

Umfang und Tiefe des Verständnisses sind naturgemäß abhängig von der Dauer des Unterrichts und seinem Anspruchsniveau. Besondere Probleme zeigen sich in Unterrichtsphasen, in denen ein Konzeptwechsel erfolgen soll. Erhebliche Mängel sind festzustellen, wenn es um die horizontale Verknüpfung der Fachinhalte der Chemie mit denen der anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen geht.

Die Arbeit in der **gymnasialen Oberstufe** orientiert sich an den drei für sie typischen Zielen, der Trias von vertiefter Allgemeinbildung, der Wissenschaftspropädeutik und der Sicherung der Studierfähigkeit. Einen Beitrag zu einer vertieften Allgemeinbildung zu leisten ist Aufgabe von Leistungskursen und Grundkursen in der gymnasialen Oberstufe. Allerdings stehen in den *Leistungskursen* die Vermittlung speziellen Wissens, die Wissenschaftspropädeutik und Studierfähigkeit eher im Vordergrund. Werden Grundkurse - wie zur Zeit - als verkürzte Leistungskurse konzipiert, kommt es zu einem Defizit im Bereich der vertieften Allgemeinbildung. Die Entwicklung und Erprobung eigenständiger didaktischer Konzeptionen für den Bereich der *Grundkurse* in der gymnasialen Oberstufe mit der Zielsetzung, dieses Defizit zu kompensieren, ist daher dringlich. Auch für die Anforderungen der *Grundkurse* in der gymnasialen Oberstufe gibt der traditionelle Fachunterricht eine tragfähige Basis ab. Ein besonderes Problem in der gymnasialen Oberstufe ist die horizontale Verknüpfung der Lerninhalte verschiedener Fächer. Darüber hinaus ist festzustellen, daß Bezüge der Chemie zu transdisziplinär angelegten Wissenschaftsdisziplinen (Umweltchemie, Gentechnik, Ionik), aber auch zu den transdisziplinär in Erscheinung tretenden Problemstellungen des Alltags (z.B. Energie, Abfall, neue Technologien, Schadstoffe) noch nicht befriedigend hergestellt werden.

Wir gehen davon aus, daß dieses Problem durch ein neues Grundkurskonzept zumindest deutlich gemildert würde, in dem eine Thematik aus dem Fach heraus entwickelt, aber gezielt über die Grenzen des Fachs hinaus verfolgt wird (z.B. die Realisierung eines Chemiekurses "Umweltanalytik" mit gezielten Bezügen zur Biologie und Geographie, aber auch zu nicht disziplingebundenen Fragestellungen des Alltags).

#### **5.2.4 Physik**

##### **Der spezifische Beitrag der Physik zur Allgemeinbildung**

So wie Allgemeinbildung nur in spezifischen Kontexten vermittelt werden kann und auf konkrete, sinnstiftende Themen und Inhalte bezogen sein muß, so erhält umgekehrt jede fachliche Bildung ihre Legitimität durch ihren Beitrag zur Allgemeinbildung und muß den exemplarischen Charakter der ausgewählten Inhalte, Arbeitsweisen und Erkenntnismethoden ausweisen. Insofern beziehen die einzelnen naturwissenschaftlichen Fächer ihre Daseinsberechtigung aus dem Umstand, daß sie unterschiedliche, wechselseitig nicht ersetzbare Wege des Weltverstehens ermöglichen. Der Physikunterricht vermag in diesem Sinne folgenden spezifischen Beitrag zu leisten.

1. Die Physik hat wie keine andere Naturwissenschaft unsere Vorstellung von der Welt beeinflusst. Ihre Entwicklungsgeschichte ist von grundlegenden Änderungen in ihren Theorien und Weltdeutungen geprägt - Änderungen, die auch immer die Alltagsvorstellungen von dem, 'was die Welt zusammenhält', betroffen haben. Nach dem Triumph der klassischen Mechanik, der es gelang, die irdischen und astronomischen Bewegungen einfach zu erklären und vorauszuberechnen, wurde im letzten Jahrhundert, zunächst noch mechanistisch, dann als abstrakte Theorie, die Grundlage für eine dynamische Theorie des elektromagnetischen Feldes und der Thermodynamik erarbeitet. Die Erkenntnisse der Mathematik zur Geometrie des gekrümmten Raumes, die erkenntnistheoretische Annahme, daß eine Unterscheidung von Bezugssystemen eine meßbare Grundlage haben muß, und die experimentell bestätigte Gleichheit von schwerer und träger Masse im selben Jahrhundert waren Bedingungen für die Entwicklung der allgemeinen Relativitätstheorie, die das Ende eines mechanistischen Weltbildes besiegelte. Die Erklärung diskreter Energieniveaus und einfacher Fälle aus der Spektralanalyse stammender Meßwerte durch Bohr begründete zu Beginn des Jahrhunderts die Quantenmechanik und Quantenfeldtheorie. Damit wurde offensichtlich, daß unsere bisherigen Vorstellungen von der Welt versagen, sobald wir den Mikrokosmos beschreiben wollen. Mit der Verknüpfung von Fraktalgeometrie und chaotischer Bewegung schließt sich der Problemkreis der Kausalitätsvorstellung der klassischen Physik: Es gibt Systeme, deren Verhalten unter bestimmten Bedingungen prinzipiell nicht mehr vorhersagbar ist. Die

Entwicklung der Physik ist von Paradigmenwechseln geprägt, die immer mit heftigen Auseinandersetzungen unter den Wissenschaftlern einhergingen und die ebenfalls in Teilen der nicht professionell mit Physik befaßten Gesellschaft diskutiert wurden. Im Physikunterricht kann exemplarisch gezeigt werden, daß die Naturwissenschaften keine fertigen Wissensgebäude sind, sondern von Menschen konstruierte, sich entwickelnde und prinzipiell immer unvollständige Systeme von Modellen und Theorien.

2. Die Physik ist ein geeignetes Feld, die Erkenntnismethode einer empirischen Wissenschaft als Wechselspiel zwischen Theorie (Modell) und Experiment kennenzulernen. Gerade in der Physik können die in der Wissenschaft üblichen Standardverfahren in elementarer Form an relativ einfachen Systemen, etwa am Hebel, am einfachen elektrischen Stromkreis oder bei der Erklärung einfacher optischer Phänomene geübt werden. Standardverfahren, die in den Unterricht integriert werden können, sind z. B. die Zerlegung eines Problems in Teilprobleme, die Formulierung einer Forschungsfragestellung, die Auswahl eines adäquaten Experiments oder eines anderen empirischen Verfahrens, die Kontrolle und Variation von Parametern, die Frage nach der Vertrauenswürdigkeit der Daten und ihrer Interpretation, die Diskussion der Angemessenheit eines Versuchsdesigns oder eine Evidenzabschätzung in bezug auf alternative Modelle oder Theorien und die Diskussion der gesellschaftlichen Bedeutung naturwissenschaftlicher Forschung.
3. Ein wesentliches Merkmal der physikalischen Erklärung von natürlichen und technischen Zusammenhängen ist ihre Mathematisierbarkeit. Die schnelle Formalisierung erschwert allerdings Schülern in der Sekundarstufe I oftmals auch das Verständnis physikalischer Zusammenhänge, da der Transfer der mathematischen Methoden vom Mathematikunterricht in den Physikunterricht nicht selbstverständlich erwartet werden kann. Verständnisprobleme können verringert werden, indem stärker nichtmathematische Erklärungen physikalischer Sachverhalte (Analogien, sprachliche Beschreibung, Computersimulationen) genutzt werden. Computersimulationen und Modellbildungssysteme können in eingeschränktem Maße helfen, physikalische Zusammenhänge zu verdeutlichen, ohne sie mathematisieren zu müssen. Dennoch bleibt es ein Ziel des Physikunterrichts, die Mathematisierung physikalischer Erklärungen zu zeigen und die notwendigen mathematischen Verfahren der Physik dem Vorwissen der Schüler entsprechend zu vermitteln. Gelingt dies, ist die Physik nicht nur ein geeignetes Anwendungsfeld für im Mathematikunterricht erarbeitete Kenntnisse und Routinen, sondern sie vermag diese auch inhaltlich zu unterfüttern.
4. Ein erheblicher Teil der Technik, die heute unser Leben im häuslichen Umfeld, in der Freizeit und am Arbeitsplatz prägt, ist auf physikalischer Grundlage entwickelt worden: elektrische Geräte samt der Bereitstellung elektrischer Energie, Medizintechnik, Unterhaltungselektronik, moderne Informationsverarbeitung oder Telekommunikation. Zum Physikunterricht gehört es auch, die Verbindungen zwischen den physikalischen Grundlagen und ihren Anwendungen sowie mögliche Folgen der technischen Anwendungen zu thematisieren. Dabei muß man weder zu sehr ins Detail gehen (auch ein Physiker versteht einen Fernsehapparat oder einen Computertomographen nur in groben Zügen) noch der letzten technischen Neuerung hinterherjagen (die meisten technologischen Neuerungen basieren auf der immer raffinierteren Ausnutzung lange bekannter physikalischer Prinzipien).

### ***Der Konsens über die allgemeinen Ziele des Physikunterrichts***

Im wesentlichen lassen sich fünf Zielbereiche physikalischer Bildung jeweils eigenen Rechts unterscheiden. Nach einer Delphi-Studie, die in den 80er Jahren durchgeführt wurde, besteht in Schule, Hochschule und Wirtschaft ein breiter Konsens, daß jeder dieser Zielbereiche im Physikunterricht berücksichtigt werden sollte.

#### ***(1) Physik als Wissenschaft***

In physikalischer Bildung werden bedeutende Bestandteile unseres naturwissenschaftlichen Wissens überliefert. Der Physikunterricht eröffnet durch die Vermittlung naturwissenschaftlicher Begriffe, Modelle, Theorien und Denk- und Arbeitsmethoden den Zugang zu einem zentralen Bereich unserer naturwissenschaftlich-technisch geprägten Kultur. Der Physikunterricht soll ein angemessenes Bild von der Welt und ihren Gesetzmäßigkeiten entwickeln, zu einem aufgeklärten Bewußtsein beitragen und menschliches Handeln von irrationalen Fehlhaltungen (wie zum Beispiel Aberglauben, blinder Wissenschaftsgläubigkeit oder Technikfeindlichkeit) unabhängiger machen.

#### ***(2) Physik in ihrer Bedeutung für die Gesellschaft***

Zur physikalischen Bildung gehört nach weitverbreiteter Vorstellung auch, die enge Verflechtung naturwissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Entwicklungen zu erkennen und zu beurteilen, naturwissenschaftlich-technische Entwicklungen und Neuerungen aufmerksam zu verfolgen, grob einzuordnen und deren Folgen für die natürliche und soziale Umwelt zu verstehen und zu beurteilen. Damit verbindet sich die Erwartung, daß physikalische Bildung auch zu reflektiertem und verantwortungsbewußtem Handeln beitrage.

#### ***(3) Physik als Mittel zum Verständnis technischer Objekte im Alltag***

Unter dieser Perspektive soll physikalische Bildung dazu beitragen, den Anforderungen des täglichen Lebens besser gerecht zu werden. Wissen über und Verstehen von Funktionsweisen technischer Objekte sowie die Verfügbarkeit entsprechender manueller Fertigkeiten können helfen, mit Systemen und Geräten im Wohn- und Haushaltsbereich sachgerecht umzugehen, Gefahrenquellen zu erkennen und Unfälle zu vermeiden.

#### ***(4) Physik als Bereicherung emotionaler Erfahrungen***

Erfahrungen, die der einzelne in Auseinandersetzung mit der natürlichen und technischen Umwelt macht, können Staunen, Faszination, aber auch Angst oder Aversion, auslösen. Dieses individuelle Erleben und seine emotionale Einbettung sollten legitimer Teil des Physikunterrichts sein. Erfahrungen, die von positiven Emotionen begleitet sind, können Ausgangspunkte von epistemischer Neugier und Interesse sein.

#### ***(5) Physik als Grundlage beruflicher Tätigkeiten***

Physikalische Bildung soll auch Grundlagenqualifikationen für auf Physik angewiesene Berufe sowie Orientierungswissen über die technische Arbeitswelt und die von Physik geprägten Berufe vermitteln. Dabei sollte sich der Physikunterricht mit einem breiten Spektrum physikalischer Gebiete auseinandersetzen.

Es ist weitgehend unstrittig, daß jede dieser fünf Zielperspektiven im Physikunterricht zur Geltung kommen sollte. Wie die Gewichte im einzelnen zu setzen sind, darüber wird man im einzelnen unterschiedlicher Meinung sein können. Die Akzentsetzungen werden auch sehr vom Alter und Vorwissen der Schülerinnen und Schüler abhängen. Der Verein zur Förderung

des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts (MNU) legte in einer Empfehlung zur Gestaltung der Physiklehrpläne den breit akzeptierten Vorschlag vor, daß "insbesondere in den unteren Klassenstufen eine vom eigenen Erleben der Schüler geleitete Auseinandersetzung mit physikalischen Phänomenen stattfindet (Zielbereich 4) und ein tätiger Umgang mit physikalischen und technischen Vorgängen ermöglicht wird (Zielbereich 3). Fortschreitend wird dann eine stärkere begriffliche Durchdringung der Physik erfolgen (Zielbereich 1). Es müssen zunehmend auch Probleme angesprochen werden, die in der Öffentlichkeit im Zusammenhang mit physikalischen Technologien diskutiert werden (Zielbereich 2)."

### **Probleme des Physikunterrichts und Ansatzpunkte zu ihrer Lösung**

#### **1. Inkongruenz zwischen Lehrplan und Schulwirklichkeit**

Aufschlußreich für die gegenwärtige Verfassung des Physikunterrichts sind die Äußerungen von Schülerinnen und Schülern darüber, wie sie diesen Unterricht wahrnehmen. Eine in der Sekundarstufe I jeweils in den Jahren 1984 bis 1989 durchgeführte Befragung ergab, daß Physikunterricht in der Regel als die auf Schulniveau transformierte wissenschaftliche Disziplin wahrgenommen wurde, die einen Bezug zum Leben der Schüler und zu den Problemen der Gesellschaft nur selten erkennen ließ.

#### **2. Inkongruenz zwischen Unterrichtsangebot und Schülerinteressen**

Dieselbe Studie erlaubt es, die Häufigkeit, mit der verschiedene Zielbereiche im Unterricht vorkommen, mit den gleichzeitig erhobenen Schülerinteressen zu konfrontieren und deren schlechte Passung zu zeigen. Mit anderen Worten: Der praktizierte Physikunterricht geht größtenteils an den Interessen der Schülerinnen und Schüler vorbei. Ein BLK-Modellversuch zum Physikunterricht, der versuchte, die Kongruenz von Schüler-Interessen und Unterrichtsangeboten herzustellen, ohne Abstriche in der physikalischen Substanz des Unterrichts vorzunehmen, lieferte im Experiment und in der Feldstudie den Nachweis, daß es möglich ist, mit einer curricularen Innovation - die traditionellen Lehrplaninhalte wurden in schüler- und lebensnahen Kontexten vermittelt - die Effizienz des Unterrichts in fachlicher und motivationaler Hinsicht zu steigern.

#### **3. Benachteiligung von Mädchen**

Für Mädchen gehört Physik zu einem der uninteressantesten Fächer. Im Verlauf der Sekundarstufe I können sie sogar immer weiter hinter den auf höherem Interessenniveau bleibenden Jungen zurückfallen. Auf der gymnasialen Oberstufe wählen Mädchen selten Physikurse. Bereits am Ende des ersten Schuljahres, in dem Physikunterricht stattfindet, hat die Erwartung der Mädchen, in Physik etwas leisten zu können, dramatisch abgenommen. Dieser Entwicklung kann man erfolgreich gegensteuern. Als wirksame Maßnahmen haben sich dabei erwiesen:

- die Einbettung der Physik in auch für Mädchen interessante Kontexte (z.B. Alltag, Naturphänomene, Umwelt, Gesellschaft, Medizin, menschlicher Körper) bei gleichzeitiger Förderung der Eigentätigkeit und
- die zeitweise Aufhebung der Koedukation im Anfangsunterricht.

#### **4. Mangelnde Effizienz**

Schülerinnen und Schüler kommen bereits mit teilweise tief in Alltagserfahrungen verankerten Vorstellungen in den Physikunterricht. In der Regel stimmen diese vorunterrichtlichen Vorstellungen mit den zu lernenden naturwissenschaftlichen Konzepten zumindest in einigen zentralen Aspekten nicht überein. Da die Alltagsvorstellungen den einzigen Rahmen bilden, der den Schülerinnen und Schülern zur Interpretation des von der Lehrkraft oder vom Lehrbuch angebotenen Stoffs zur Verfügung steht, verstehen sie häufig das Präsentierte nicht in der Weise, in der es eigentlich gemeint war. Dies ist besonders dann problematisch, wenn derselbe Begriff in der Umgangssprache und der Sprache der Physik eine unterschiedliche Bedeutung hat. Tiefgreifende Lernschwierigkeiten sind die Folge.

Es gibt hinreichende experimentelle und praktische Erfahrungen, die zeigen, daß die vorunterrichtlichen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler produktiv genutzt werden können. Dabei haben sich folgende Strategien bewährt:

- Die Perspektiven der Schülerinnen und Schüler ernst nehmen
- Eine aktive Auseinandersetzung mit einem Problem oder Thema anregen
- Reflexionen über das eigene Wissen und den eigenen Lernprozeß anregen.

#### **(5) Unzureichende Vernetzung der Stoffe**

Die Vernetzung von Unterricht besitzt einen horizontalen und einen vertikalen Aspekt. Eine bessere horizontale Vernetzung ist insbesondere mit dem Fach Mathematik anzustreben. Auch die Berührungspunkte zwischen Physik und Chemie bedürfen einer besseren Koordination. Aber auch die vertikale Vernetzung des Physikunterrichts gelingt bislang nur unbefriedigend. Dieses Problem ist auch nicht ohne weiteres und leicht lösbar. Die naheliegende Konzentration auf tragende Konzepte der Physik, wie zum Beispiel Kräfte, Energie, Erhaltungssätze, Schwingungen und Wellen oder Felder, scheint, wie bisherige Versuche zeigen, weder eine einfache noch durchschlagende Lösung zu sein.

## **6. Professionalität der Lehrkräfte //Variante Baumert//**

### **6.1 Ausgangslage**

Verglichen mit der Situation des Lehrerberufs in anderen Ländern sind in Deutschland vor allem aufgrund der Dauer und der Qualität der Lehrerausbildung die Voraussetzungen für die Entwicklung von Professionalität relativ günstig: Die universitäre wie auch die berufsvorbereitende Phase der Lehrerausbildung vermitteln in fachlicher Hinsicht gute Voraussetzungen für ein qualifiziertes Unterrichten. Bei erfahrenen Lehrkräften des mathematisch-naturwissenschaftlichen Lernbereichs herrscht auf dieser Basis auch weitgehend Konsens über Umfang, Struktur und Sequenzierung des Stoffes; sie besitzen außerdem ein breites, allerdings eher implizites Handlungswissen über die Gestaltung von Unterricht und ein weitgehend gemeinsames, implizites Bild von gelingendem Unterricht im jeweiligen Fach. Obwohl also die fachlichen Voraussetzungen vergleichsweise gut sind, sind die Ergebnisse des Unterrichts eher unbefriedigend.

Nun können die Erfahrungen, die einen Berufsanfänger zu einer erfahrenen und erfolgreichen Lehrkraft machen, durch Ausbildung nicht vorweggenommen, sondern allenfalls vorbereitet und vorstrukturiert werden. Dazu kommt, daß die Ausbildung der Lehrkräfte ein Unterrichtsverständnis vermittelt, das eher von Wissensvermittlung und Wissensprüfung gekennzeichnet ist als von Durchdringen und Verstehen von Wissensstrukturen und von Problemlösen.

Da das persönliche professionelle Wissen hauptsächlich in den ersten Berufsjahren erworben wird, ist die konkrete Arbeit der Lehrkräfte im Klassenzimmer weniger durch Ausbildungskonzepte, administrative und curriculare Vorgaben bestimmt als durch die (allgemeine und fachspezifische) Berufskultur der Lehrerschaft, durch kulturelle Skripte also, die auf geteilten Erfahrungen

und Leitbildern beruhen, die in Sozialisationsprozessen tradiert und erworben werden und die je nach Schulform sowie Fach oder Lernbereich unterschiedliche Ausprägungsformen aufweisen. Solche Berufskulturen stabilisieren den Unterricht, indem sie einen Rahmen bestimmter Traditionen und Routinen des Handelns anbieten, an dem sich Neulinge orientieren können. Diese stabilisierende Wirkung ist zugleich eine der Ursachen dafür, daß Innovationen nur schwer Aufnahme in die kulturellen Skripte finden. Neuerungen werden umso leichter angenommen, je ähnlicher sie den vorhandenen Grundmustern sind oder je leichter sie an diese assimiliert werden können. Insofern ist es auch wenig erfolgversprechend, einzelne Elemente dieses ganzheitlichen berufskulturellen Zusammenhangs gegen andersartige, innovative austauschen zu wollen. Deshalb werden Innovationskonzepte häufig nur formal adaptiert, in inhaltlicher Hinsicht aber nur unverändert oder überhaupt nicht realisiert. Demgegenüber ist es aussichtsreicher (und zugleich schwieriger), die Angehörigen einer Profession dazu anzuregen, die grundlegenden beruflichen Haltungen und Traditionen in einem Prozeß der Selbstvergewisserung selbst zu thematisieren und, sofern sie neuen Gegebenheiten und Herausforderungen nicht mehr entsprechen, auch zu transformieren. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, daß diese Berufs- bzw. Fachtraditionen die Praxis weitgehend implizit bestimmen. Die Umstellung von einem latenten berufskulturellen Skript zu einem expliziten professionellen Skript kann wahrscheinlich nur begrenzt von außen gefördert werden, sondern ist von der Lehrerschaft selbst als Aufgabe zu erkennen, zu akzeptieren und zu vollziehen. Aus- und Fortbildung können diesen Prozeß unterstützen. Allerdings spielen dabei die innerberufliche Kommunikation und Kooperationsfähigkeit eine wesentliche, wenn nicht die wichtigste Rolle.

### **6.2 Elemente von Professionalität**

In dem geplanten Programm sollte, auf einer soliden **Wissensbasis**, ein höheres Maß an Professionalität des Unterrichtshandelns angestrebt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, muß auf der Ebene der einzelnen Schule die berufs- und unterrichtsbezogene **Kooperation** zwischen Lehrkräften vorangetrieben werden. Weiterhin muß die Einsicht in die Notwendigkeit einer **Selbstvergewisserung gefördert werden**, die den nüchternen Blick auf den Verlauf und die Wirkung der eigenen Arbeit einschließt.

#### **6.2.1 Wissensbasis**

Basis für professionelles Lehrerhandeln ist eine solide Wissensbasis in den eigenen Fächern. Dies schließt Kenntnisse über die Geschichte, die Epistemologie und die kulturelle Bedeutung der Fächer ein. Dazu kommt pädagogisches Kontextwissen, das fachdidaktische, pädagogische, psychologische, sozialisationstheoretische und institutionsbezogene Anteile hat. Zentral für die gelingende Verschränkung von fachwissenschaftlicher und didaktisch-pädagogischer Perspektive ist die Grundlegung einer fachdidaktischen Wissensbasis. Für ein qualifiziertes Unterrichten ist die Verknüpfung von Fach- und **Wissensstruktur** einerseits sowie **Lehr-Lern-Prozeß** andererseits entscheidend. Dafür ist fachdidaktisches Wissen von grundlegender Bedeutung. Schließlich ist operatives Handlungswissen von besonderer Tragweite (Lehr-Lern-Arrangements, Erkennen und Einordnen von Schülerfehlern und Fehlvorstellungen, Konfliktbearbeitungsformen, Gesprächsführung); die Grundlagen dafür werden in der schulpraktischen Ausbildung erworben. Eine eigentliche Berufserfahrung und Routinebildung können jedoch nur in beruflichen Arbeitskontexten selbst erworben werden.

#### **6.2.2 Kooperation**

Sowohl die empirische Forschung zur Wirksamkeit 'guter' Schulen (research on effective schools) als auch in den empirischen Studien zur individuellen Entwicklung einer professionellen Handlungskompetenz (research on teacher development) ergab, daß berufsbezogene Kooperation zwischen Lehrkräften in unterschiedlichen Stadien ihrer beruflichen Entwicklung von zentraler Bedeutung ist. Demgegenüber ist die Berufskultur der Lehrerschaft - insbesondere in Deutschland - von einem starken Lehrerindividualismus, von einem schon sprichwörtlichen 'Einzelkämpfertum' bestimmt. Diese Haltung wird hier und da bewußt gepflegt und u.U. gar mit Stolz herausgeholt, sie verdeckt jedoch nicht selten den wenig glanzvollen Alltag eines unkoordinierten Nebeneinanderarbeitens.

Dem gegenüber existieren Beispiele gelingender Kooperation: Unterrichtsmaterialien und Prüfungsaufgaben werden ausgetauscht, es wird wechselseitig hospitiert, der Unterricht im eigenen Fach wird mit dem in anderen Fächern abgestimmt und es wird fachgruppeninterne oder schulinterne Lehrerfortbildung organisiert. Daran kann das Programm produktiv anknüpfen. Gelingende Kooperation läßt sich allerdings nicht verordnen; sie kann aber durch Unterstützung von außen und eine gewisse Entlastung innerhalb der Schule erleichtert werden. In der 2. Phase der Lehrerbildung kann auf die Einübung kooperativer berufsbezogener Arbeitsformen verstärkt Wert gelegt werden, was sich allerdings erst längerfristig auswirkt. In den Lehrerkollegien ist Kooperation am ehesten dann zu erreichen, wenn jedem (potentiell) Beteiligten die individuellen Vorteile für die eigene Arbeit unmittelbar deutlich werden: Kooperation muß sich lohnen. Programme und Projekte zur Förderung der Kooperation sollten zunächst fachgruppenbezogen sein und konkrete, arbeits- und berufsbezogene Themen, Aufgaben und Probleme aufnehmen.

#### **6.2.3 Selbstvergewisserung**

Professionelles berufliches Handeln ist durch eine spezifische Mischung von Routinebildung und Reflexion gekennzeichnet. Angehende Lehrkräfte sind zunächst noch ganz damit beschäftigt, ihre anfänglichen Entscheidungs- und Handlungsunsicherheiten durch einen allmählichen Prozeß der Erfahrungsbildung und Routinisierung im Sinne von Situation-Handlungs-Verknüpfungen zu überwinden. Erfahrene Lehrer verfügen über bewährte Wahrnehmungs- und Beurteilungsmuster (subjektive Theorien) und entsprechende Handlungsrouinen. Die Erfahrung zunehmender Handlungssicherheit ist gleichermaßen ein stabilisierendes und potentiell dynamisierendes Element im Professionalisierungsprozeß von Lehrkräften. Das praxis- und erfolgsbezogene Sammeln von Erfahrungen und Routinen und die damit verbundene Integration in die Berufskultur der (Fach)Lehrerschaft gehören notwendig zu einem gelingenden Professionalisierungsprozeß. Wenn sich allerdings Verkrustungen und Abnutzungserscheinungen zeigen, die äußeren Verhältnisse wandeln oder neue Herausforderungen Änderungen erforderlich machen, sind Selbstüberprüfung und Selbstvergewisserung erforderlich. Dies gilt für alle anspruchsvollen Berufe, und damit auch für die Lehrerschaft. Denn bei Professionen ist der Prozeß der kollektiven und individuellen Routinenbildung und Tradierung von Berufswissen typischerweise und mit gutem Grund verknüpft mit dem Prozeß der kritischen Rückbeziehung auf die eigene Tätigkeit, mit Selbstvergewisserung über die Adäquatheit der Erfahrungsregeln und mit der Bereitschaft, bestehende Muster weiterzuentwickeln und auf neue Situationen zu beziehen. Selbstvergewisserung und kollegialer Austausch darüber sind auch eine notwendige Voraussetzung für die Optimierung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts. Die Selbstvergewisserung muß allerdings tätigkeitsfeldbezogen sein (Reflexion auf Unterricht) und darf nicht in einem individuell-persönlichen Sinne betrieben werden (Reflexion auf die Person). Es gibt

zahlreiche Anlässe für die professionelle Selbstvergewisserung; über den konkret einzuschlagenden Weg entscheiden die personellen und situativen Bedingungen der einzelnen Schule.

### **6.3 Stärkung der Professionalität der Lehrkräfte und Verbesserung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts**

Der Vorschlag der Expertengruppe für ein Förderungsprogramm zur "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts" geht davon aus, daß eine sichtbare und langfristige Verbesserung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts ohne eine Stärkung der beiden, zentralen Elemente professionellen Handelns, nämlich der Selbstvergewisserung und Kooperation, nicht gelingen kann. Die Expertengruppe schlägt deshalb vor, das geplante Modellprogramm so anzulegen, daß Prozesse der Qualitätssicherung und Optimierung von Lehrern und Lernen in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern auf der Ebene der Schule selbst in Gang gesetzt und mit dem Ziel gestützt werden, diesem eine eigene, dauerhafte, professionelle Dynamik zu geben. Die Expertengruppe wird in Abschnitt neun auch eine Reihe diesen Prozeß anregender, unterstützender Maßnahmen vorschlagen.

## **7. Problemzonen des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts**

### **7.1 Vorbemerkung**

Unterricht ist ein komplexes System, in dem viele Elemente bei einem hohen Tempo des sozialen Geschehens passend ineinandergreifen müssen. Der in der Regel glatte und störungsarme Verlauf des Unterrichts läßt Unterrichten oftmals als einfache und voraussetzungsarme Tätigkeit erscheinen, die nur etwas soziales Geschick verlange. Der Erfolg des Unterrichts selbst verdeckt die immense pädagogisch-choreographische Leistung, die in jeder Unterrichtsstunde der Lehrkraft abverlangt wird, wenn sie die fachliche Logik des Stoffes mit der Logik der sozialen Interaktion in der Gruppe stetig abzustimmen hat. Unterricht basiert auf einer komplexen Gesamtchoreographie, die Laien in der Regel nicht wahrnehmen. Dieses Unterrichtssystem funktioniert nicht voraussetzungslos; im Gegenteil: Es ist auf den Rückhalt in unterschiedlichen Stützsyste-men angewiesen, deren Zubringerleistungen den Unterrichtserfolg nicht unwesentlich mitbestimmen. Zu diesen Stützsyste-men gehören zunächst der schulische Kontext selbst, der hinsichtlich der akademischen Kultur und Wertschätzung des jeweiligen Fachunterrichts sehr variieren kann, dann das Elternhaus, das die schulische Arbeit in unterschiedlicher Weise unterstützen kann, und nicht zuletzt die Bildungsnähe und Schulkultur einer Gesellschaft insgesamt, die den breiten normativen Rahmen definiert, in den schulisches Lernen und der Unterricht in spezifischen Fächern eingebettet sind. Will man Unterricht optimieren, muß man den systemischen Gesamtzusammenhang im Auge behalten.

Dennoch ist es nicht zu umgehen, sich bei der Identifikation und Beschreibung potentieller Problemzonen auf Einzelaspekte zu konzentrieren und diese herauszuheben. Bei einer systematischen Analyse von Problembereichen kann dann der Eindruck einseitiger Kritik oder gar Unterrichtsschelte entstehen, zugleich aber auch der Vorstellung Vorschub geleistet werden, Verbesserung des Unterrichts wäre schon mit der Änderung eines einzelnen Merkmals, der Justierung einer Schraube vergleichbar, erreicht. Die Expertengruppe meint, beiden Fehlinterpretationen ausdrücklich vorbeugen zu sollen. Sie möchte deshalb vor der Analyse von Problemzonen Stärken des Unterrichts in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern besonders betonen. Sie liegen in der unterstützenden Rahmung durch eine insgesamt solide Lehrplanarbeit, in der fachlichen Gediegenheit des Unterrichts, die durch die TIMSS-Video-Studie noch einmal gut belegt wird, und in der Erfahrung und den bewährten Handlungsmustern der Lehrkräfte. Gerade die bewährten Routinen legen Unterricht nicht nur fest, sondern geben auch jenen Handlungsspielraum, der notwendig ist, um situativ angemessen auf individuelle Schüler oder soziale Ereignisse zu reagieren - und um Unterricht ohne zu große Risiken des Scheiterns überhaupt zu verändern. Diese Stärken sind nach der Überzeugung der Expertengruppe eine gute Voraussetzung, den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht weiterzuentwickeln und zu optimieren, ohne auf Bewährtes zu verzichten.

Die empirische Basis der Identifikation und Beschreibung von Problemzonen ist je nach Bereich unterschiedlich breit und unterschiedlich solide. Für bestimmte Gebiete - etwa die Interessenentwicklung in den naturwissenschaftlichen Fächern - verfügen wir nicht nur über ausgezeichnete diagnostische Informationen, sondern auch über experimentell und praktisch bewährte Konzepte zur Besserung der Situation. In anderen Bereichen ist die Ausgangslage weniger günstig. Für den zentralen und bislang vernachlässigten Fachleistungsbereich hat die Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie für eine erste Qualitätskontrolle gesorgt und eine quantitative Basis der Diagnose geliefert. Sie bietet zusammen mit den vorhandenen mikroanalytischen Unterrichtsstudien der Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktik einen Ausgangspunkt, an dem didaktische und praktische Phantasie informiert ansetzen kann. In anderen Bereichen wiederum, die wie die zweite Phase der Lehrerausbildung langfristig für die Verbesserung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts wahrscheinlich von großer Bedeutung sind, ist man praktisch nur auf Erfahrungsberichte und Rückschlüsse aus der herrschenden Unterrichtspraxis angewiesen. Im folgenden wird auf quantitative und qualitative Informationen gleichermaßen zurückgegriffen. Besondere Forschungs- und Wissensdesiderate werden kenntlich gemacht.

### **7.2 Akzeptanz und Wertschätzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer**

Mathematik und die naturwissenschaftlichen Fächer haben in den Studentafeln der Sekundarstufe I und in den Belegvorschriften der gymnasialen Oberstufe eine im internationalen Vergleich durchaus starke Position. Die Bedeutung der Mathematik als eines der zentralen Auslesefächer ist den meisten Eltern auch ausreichend präsent. Ähnliches gilt für die Bedeutung mathematischer Basiskompetenzen, über deren Bedeutung als Kulturtechnik weitgehend Einigkeit herrscht. Dies gilt wahrscheinlich nicht in gleicher Weise für das Verständnis der Mathematik als eines unverzichtbaren Elements der Allgemeinbildung. Die Stellung der naturwissenschaftlichen Fächer ist vor allem in der Mittelstufe ungleich komplizierter. Sie gelten vielfach noch als Nebenfächer, und die Biologie hat die Konnotation des leichten und intellektuell wenig anspruchsvollen Fachs bislang nicht ganz abstreifen können. Bemerkenswerterweise haben auch Erwachsene wenig Schwierigkeiten, mit eigenen Leistungsschwächen in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern retrospektiv umzugehen: Man kann sich in diesen Bereichen ohne Gesichtsverlust mangelnde Begabung eingestehen - was heißt, daß dies für die individuelle Entwicklung keineswegs hinderlich zu sein scheint. Damit schlägt ein Argumentationsmuster, dessen sich Lehrkräfte in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern gern zur Erklärung von Leistungsversagen von Schülern bedienen, nämlich die Attribution auf mangelnde Begabung, langfristig auf die Reputation der Fächer als eines Teils der Allgemeinbildung zurück. Offenbar ist es dem mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht bislang noch nicht in ausreichendem Maße gelungen, Sinn zuverlässig erfahrbar zu machen. Dies kann nicht allein im Unterricht geschehen. Vielmehr bedarf der Unterricht einer Einbettung in eine Schulkultur, in der die

Bedeutung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereichs anschaulich und Schülern und Eltern mitteilbar wird. Gleichwohl ist der Expertengruppe bekannt, daß es in jeder Schulform und in allen Ländern der Bundesrepublik Schulen gibt, denen diese Veranschaulichung in unterschiedlicher, aber jeweils vorbildlicher Weise gelingt. Diese Schulen zeichnen sich keineswegs und notwendigerweise durch Einseitigkeit und Spezialisierung im mathematisch-naturwissenschaftlichen Sektor aus. Vielmehr ist es diesen Schulen gelungen, ein Aktivitätsprofil zu entwickeln, das die Bedeutung der Mathematik und der Naturwissenschaften neben anderen Fachgebieten symbolisch überzeugend ausweist. Die Expertengruppe hat den Eindruck, daß hervorragende Leistungen dieser Art bislang noch nicht hinreichend anerkannt, systematisch gefördert und in ihrer Vorbildfunktion für das in der Schule Mögliche genutzt werden. Die Expertengruppe ist der Überzeugung, daß Exzellenz eine wünschenswerte Form der Ungleichheit zwischen Schulen ist.

### 7.3 Performanzprobleme im Leistungsbereich

(1) Die Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie (TIMSS) der IEA erlaubt zum ersten Mal seit Jahrzehnten, die Performanz ausgewählter Schülerjahrgänge in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern international zu verorten. Die Fachleistungen der deutschen Schülerinnen und Schüler liegen in Mathematik in der Mittelstufe in einem breiten internationalen Mittelfeld. Auch in den naturwissenschaftlichen Fächern befindet sich Deutschland im mittleren Bereich, auch wenn die Leistungen insgesamt günstiger als in Mathematik ausfallen. Die Mathematikleistungen liegen am Ende der 8. Jahrgangsstufe in Deutschland nahe am internationalen Mittelwert. Dies entspricht einem Fähigkeitsniveau, auf dem einfache mathematische *Routineverfahren*, die Unterrichtsstoff der 6. bis 8. Jahrgangsstufe sind, einigermaßen sicher ausgeführt werden können. In den naturwissenschaftlichen Fächern läßt sich das im Mittel verfügbare Wissensrepertoire als naturwissenschaftliches Alltagswissen beschreiben, das noch kaum aus spezifischen Erwerbskontexten gelöst werden kann. Die mittlere Leistungsgruppe wird vor allem durch angelsächsische Länder bestimmt.

Diese Befunde wären weniger beunruhigend, wenn die Leistungsunterschiede zur nächsthöheren oder zur internationalen Spitzengruppe nicht so gravierend wären. Die Schülerinnen und Schüler der Mehrzahl der nord-, ost- und westeuropäischen TIMSS-Teilnehmerstaaten, zu denen auch die deutschsprachigen Länder Österreich und Schweiz gehören, erreichen in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern Leistungsergebnisse, die zwischen einer halben bis über einer Standardabweichung über denen der deutschen Alterskameraden liegen. Diese Differenz entspricht dem Leistungsfortschritt von ein bis zwei Schuljahren. Die Mathematikleistungen der internationalen Spitzengruppe, die von den asiatischen Ländern gebildet wird, liegen für deutsche Schülerinnen und Schüler in unerreichbarer Höhe. Insgesamt stehen die Leistungsergebnisse der stärkeren Leistungsgruppen für ein qualitativ anderes Niveau des mathematischen und naturwissenschaftlichen Verständnisses; die Unterschiede erschöpfen sich gerade nicht in unterschiedlicher Sicherheit der Beherrschung von Routineverfahren. Die regionale Variabilität innerhalb Deutschlands ist im Vergleich zu den internationalen Leistungsunterschieden gering. Dies weist auf eine generelle Herausforderung zur Optimierung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts in Deutschland hin.

(2) Die Heterogenität der mathematischen und naturwissenschaftlichen Fähigkeiten in einer Jahrgangsstufe ist in Deutschland sehr groß. Die Fachleistungen der Schülerinnen und Schüler der 8. Klasse spiegeln das gesamte Leistungsspektrum der Sekundarstufe I von der 5. bis zur 10. Jahrgangsstufe wider. Selbst innerhalb derselben Schulform entspricht die Leistungsstreuung den Lernfortschritten von zwei bis zweieinhalb Schuljahren. Insbesondere ist der Anteil jener Schüler, deren mathematische und naturwissenschaftliche Fähigkeiten noch am Ende des 8. Jahrgangs im wesentlichen auf einem erweiterten Grundschulniveau liegen, mit etwa 20 Prozent auch im internationalen Vergleich sehr hoch. Diese Schüler haben nur geringe Chancen, in den verbleibenden ein bis zwei Schuljahren noch systematische Lernfortschritte zu machen.

(3) Im Bereich der mathematischen Spitzenleistungen sind deutsche Schülerinnen und Schüler im internationalen Vergleich in bedenklicher Weise unterrepräsentiert. Dies schließt Spitzenleistungen einzelner Personen in Leistungswettbewerben nicht aus. Der Kreis, aus dem diese Personen rekrutiert werden können, ist jedoch relativ klein.

(4) Es besteht eine bemerkenswerte Diskrepanz zwischen den Kompetenzen, die im Rahmen einer mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundbildung vermittelt werden sollen, und dem am Ende der 8. Jahrgangsstufe erreichten Fähigkeitsniveau. Defizite liegen weniger, aber auch im Bereich der Beherrschung grundlegender Routineverfahren, vor allem aber im konzeptuellen Verständnis und im Verständnis naturwissenschaftlichen Arbeitens und Argumentierens. Die Standards, die als Kriterien eines auf mathematisches und naturwissenschaftliches Verständnis zielenden Unterrichts für die 8. Klasse gelten, erfüllen nur Gymnasiasten mit überdurchschnittlichem Leistungsniveau. In der deutschsprachigen Schweiz werden diese Normen von nahezu der Hälfte der gesamten Schülerschaft erreicht.

Die relativen Leistungsschwächen der deutschen Schüler in Mathematik und den naturwissenschaftlichen Fächern werden insbesondere bei Aufgaben sichtbar, die eine sinnvolle Anwendung und Übertragung des Gelernten auf neue innerfachliche oder außerfachliche Problemstellungen verlangen. Diese Aufgaben prüfen das Verständnis von Sachverhalten und dessen Flexibilität. Insbesondere sind anspruchsvollere Aufgaben, die den durchgenommenen Stoff auf lebenspraktische Situationen beziehen, für die meisten deutschen Schüler unlösbar. Dies weist auf Mängel im lateralen Transfer hin.

(5) Aber auch die Kumulativität des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts läßt zu wünschen übrig. Die Leistungsfortschritte von einer Jahrgangsstufe zur nächsten sind in diesen Fächern im Vergleich etwa zum Fremdsprachenunterricht gering. Dies gilt insbesondere für den Unterricht in Biologie und Physik. Damit sind die Chancen der Erfahrung individuellen Kompetenzzuwachses - eine wichtige Voraussetzung für Interessenbildung - herabgesetzt. Die geringe Kumulativität der Lernprozesse im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht kann auch nicht allein auf die inhärente Struktur dieser Fächer zurückgeführt werden, die systematisches Lernen erschwere. Denn die in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern in Deutschland erreichten Lernfortschritte sind im internationalen Vergleich eher gering.

Die relativ geringe Kumulativität des Lernens in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern läßt sich auch noch in der gymnasialen Oberstufe nachweisen. In den Fächern Mathematik und Physik sind in den Grundkursen die Stoffe curricular offenbar so angeordnet, daß individuelle Leistungsfortschritte von einer Jahrgangsstufe zur nächsten kaum - wie im Fach Mathematik - oder nur im geringen Umfang - wie im Fach Physik - erfahrbar sind. Deutliche Leistungsfortschritte werden vom 12. zum 13. Jahrgang allerdings in den Physikleistungskursen erzielt, die zu einer deutlichen Verbreiterung des

physikalischen Verständnisses führen. Ein zentraler Problembereich der gymnasialen Oberstufe scheint die Konzeption der Grundkurse zu sein.

(6) Vergleicht man die in TIMSS gefundenen internationalen Unterschiede in den *Zuwachsraten* der Fachleistungen mit den Unterschieden der Leistungsresultate, so wird augenfällig, daß die nachweisbaren differentiellen Zuwachsraten weder in Mathematik noch in den naturwissenschaftlichen Fächern eine ausreichende Erklärung für die immensen Unterschiede in den Fachleistungen zwischen den Ländern bieten können. Bereits am Ende der Grundschulzeit müssen erhebliche Leistungsunterschiede vorhanden sein. In Deutschland fehlen die entsprechenden Vergleichsdaten. Diese Forschungslücke bedarf dringend der Schließung.

(7) Mädchen erreichen in Mathematik und Physik in allen Schulformen schwächere Leistungen als Jungen. Die Leistungsunterschiede sind in beiden Fächern, vor allem aber in Physik, beträchtlich. Die Leistungsunterschiede zwischen Jungen und Mädchen sind auch im internationalen Vergleich groß. Im Fach Physik sind die Leistungsunterschiede zwischen Jungen und Mädchen in allen Schulformen der neuen Länder kleiner als in den alten Ländern, jedoch nicht aufgehoben. Bei der Betrachtung der Leistungsbilanz von Jungen und Mädchen auf der Ebene des gesamten Altersjahrgangs treten im Fach Mathematik keine und im Fach Physik kleinere Leistungsunterschiede zwischen den Geschlechtern auf als in den einzelnen Schulformen. Dies ist ausschließlich eine Folge der höheren gymnasialen Bildungsbeteiligung von Mädchen, insbesondere in den neuen Ländern. Im Fach Biologie lassen sich keine über Schulformen und Regionen hinweg konsistenten Leistungsunterschiede zwischen Jungen und Mädchen zeigen. Die Leistungsunterschiede zwischen Jungen und Mädchen in den Fächern Mathematik und Physik bleiben bis in die gymnasiale Oberstufe hinein erhalten. Sie lassen sich erstaunlicherweise sogar in den Leistungskursen nachweisen.

#### **7.4 Lernmotivation und Interesse als Ziele des Unterrichts**

Im Laufe der Schulzeit bilden sich individuelle Interessenprofile heraus, wenn Schülerinnen und Schüler ihre spezifischen Stärken und Schwächen kennenlernen und ihren Fähigkeiten entsprechend Interessenschwerpunkte entwickeln. Dies ist für eine gelingende Identitätsentwicklung auch wünschenswert. Allerdings hat dieser intraindividuelle Differenzierungsprozeß zur Folge, daß mit zunehmendem Alter der Schüler die Interessenheterogenität in der Schulklasse zu- und das mittlere Interessenniveau notwendigerweise abnimmt, und zwar in allen Fächern im Prinzip in vergleichbarer Weise. Dies ist ein Strukturproblem des Pflichtunterrichts und keine Folge zunehmender Schulunlust von Schülern, auch wenn diese Interpretation aus der Perspektive des einzelnen Fachlehrers naheliegt. Trotz dieser Interessendifferenzierung kann ein allgemeines "schwebendes" Interesse und eine Lernmotivation, die für eine ausreichende Beteiligung am Unterricht sorgt, durch eine lernfördernde, in der Bearbeitung der Aufgaben Kompetenzerleben vermittelnde und zugleich sozial unterstützende Unterrichtsführung positiv beeinflusst werden. Insbesondere erklärt der an sich wünschenswerte Prozeß der Interessendifferenzierung nicht die immensen Interessenunterschiede zwischen den Unterrichtsfächern. Die mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer sind generell unbeliebter. Besorgniserregend ist insbesondere das niedrige Interesse an Physik und Chemie.

Der häufig vorgetragene Einwand, daß es sich bei Mathematik, Physik und Chemie um schwierige Unterrichtsfächer handle, die Abstraktionsleistungen erforderten, zu denen viele Schüler nicht in der Lage seien, ist nicht zu halten. Entscheidend für die Entwicklung von Lernmotivation und Interesse ist nicht die Schwierigkeit des Gegenstandes an sich, sondern der subjektiv wahrgenommene Kompetenzzuwachs und der persönliche Bedeutungsgehalt des Gegenstandes, der sich in der sinnstiftenden Begegnung entwickelt. Interesse wird vor allem durch Kompetenzerleben erzeugt und aufrechterhalten. Die Kumulativität des Lernprozesses selbst ist also eine der günstigsten Voraussetzungen zur Erhaltung der Lernmotivation. Intrinsische Motivation kann nicht erwartet werden, wo Wissenserwerbsprozesse erfolglos sind. Der internationale Vergleich belegt aber, daß gerade in Deutschland die mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer wenig kumulativ unterrichtet werden.

Kompetenzzuwachs ist wahrscheinlich eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung der Genese und Stabilisierung von Interessen. Der Kompetenzzuwachs muß auch als persönlich bedeutungsvoll empfunden werden. Dies ist jedoch nur dann zu erwarten, wenn die Auseinandersetzung mit dem Gegenstand selbst sinnvoll erscheint. Für den Experten macht der Umgang mit dem abstrakten theoretischen Modell bereits höchsten Sinn. Dies gilt für den Anfänger in der Regel nicht im gleichen Maße. Für diesen hängt ein verständnisvoller Wissenserwerb nicht zuletzt auch von der Sinnhaftigkeit des Kontextes ab. Offensichtlich bietet die Biologie thematisch mehr Identifikationspunkte, als dies in Physik und Chemie der Fall ist. Dennoch ist mittlerweile durch experimentelle Untersuchungen und Feldstudien in ausreichender Weise belegt, daß auch in diesen Fächern mit didaktischer Phantasie die fachlichen Gegenstände ohne Abstriche an ihre Substanz in Kontexten vermittelt werden können, die nicht nur zur Interessenentwicklung beitragen, sondern überdies auch leistungssteigernd wirken. Handlungsbedarf ist in dieser Hinsicht vordringlich in der Sekundarstufe I. Denn die Interessenentwicklung während der Adoleszenz entscheidet maßgeblich mit über Berufswahlen und Fachwahlen in der Oberstufe.

Mädchen und Jungen unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihres Interesses an mathematischen, physikalischen und chemischen Sachverhalten und ebenso in der Selbsteinschätzung ihrer Leistungsfähigkeit in den entsprechenden Unterrichtsfächern. Die Unterschiede im Fach- und Sachinteresse und im fachspezifischen Selbstkonzept der eigenen Leistungsfähigkeit sind weit größer, als dies aufgrund der tatsächlichen Leistungsdifferenzen zu erwarten wäre. Jungen neigen zur Über-, Mädchen deutlich zur Unterschätzung ihrer Fähigkeiten. Dies bleibt für die Interessenentwicklung nicht ohne Bedeutung. Die Befunde zu den Interessenunterschieden zwischen Jungen und Mädchen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich sind robust. Darüber hinaus gibt es mittlerweile aber auch experimentelle Belege und Erfahrungen aus Modellversuchen, die zeigen, daß Interessen von Mädchen ohne nachteilige Wirkung für Jungen durch Änderung der Interaktionsstruktur - zum Beispiel zeitweilige Trennung von Jungen und Mädchen im Anfangsunterricht - oder durch die Einbettung der zu vermittelnden Stoffe in für Mädchen vertrautere Kontexte förderbar sind.

#### **7.5 Modale Muster der Unterrichtsführung**

Eines der zentralen Ergebnisse des im Rahmen von TIMSS durchgeführten intensivierten Drei-Länder-Vergleichs auf der Basis von Video-Mitschnitten aus dem Mathematikunterricht ist der Befund, daß der Unterricht in verschiedenen Nationen offenbar sehr spezifischen kulturellen Skripts oder Drehbüchern folgt, in denen die Grundzüge der komplexen Choreographie des Fachunterrichts gleichsam festgelegt sind. Die Unterschiede zwischen den kulturellen Skripts können weitaus größer sein als die empirisch anzutreffenden Variationen des Unterrichts innerhalb eines Skripts. Diese Skripts enthalten implizite Vorstellungen vom gelingenden Unterricht, die sich auf erwartete Schülerleistungen beziehen, vor allem aber an typischen Handlungssequenzen im Unterricht festgemacht sind. Eine Grundform des Mathematikunterrichts in der Mittelstufe folgt in Deutschland folgendem

Muster:

- (1) Die Stunde beginnt mit der Durchsicht und Besprechung der Hausarbeiten.
- (2) Es folgt eine kurze Wiederholungsphase bei zügigem Interaktionstempo.
- (3) Variante 1: Der neue mathematische Stoff wird im fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch, das auf eine einzige Lösung hinführt, relativ kurzschrittig erarbeitet und vom Lehrer an der Tafel dokumentiert.  
Variante 2: Wenn das Thema schon in der vorhergegangenen Stunde vorbereitet wurde, kann ein Schüler - unterstützt von der Klasse und dem Lehrer - eine Aufgabe an der Tafel entwickeln.
- (4) Anschließend werden in Stillarbeit ähnliche Aufgaben zur Einübung des Verfahrens gelöst.
- (5) Die Stunde schließt mit der Vergabe und Erläuterung der Hausaufgaben.

Der Unterricht wird insgesamt überwiegend auf mittlerem bis hohem fachlichen Niveau erteilt.

Für den naturwissenschaftlichen Unterricht verfügen wir nicht über ähnlich dichte, qualitative Informationen. Die verfügbaren Unterrichtsstudien deuten jedoch auf eine vergleichbare Bedeutung des fragend-entwickelnden Unterrichtsgesprächs hin.

Auf folgende Problemzonen, die für dieses kulturelle Skript des Unterrichts charakteristisch sind, soll hingewiesen werden:

- Unter den Unterrichtszielen nimmt die sichere Beherrschung von Routineverfahren eine herausgehobene Position ein. Auf sie konzentriert sich die Erarbeitung des Stoffs und das Übungsgeschehen.
- Das fragend-entwickelnde Unterrichtsgespräch wird in der Regel fachlich anspruchsvoll und engagiert auf eine *einzig*e Lösung - einen Beweis, einen Algorithmus oder eine Handlungsroutine - hingeführt. Diese konvergente Unterrichtsführung in der Erarbeitungsphase des Stoffes ist auch durch ethnographische Studien zum Mathematikunterricht gut belegt und hinsichtlich der problematischen Kommunikationsstruktur beschrieben.
- Im konvergent geführten fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch, das einen genuinen Platz in der Erarbeitungsphase hat, aber nicht selten auch zu Übungszwecken angewandt wird, vermischen sich systematisch Lern- und Leistungssituationen. Da Schülerantworten sich möglichst harmonisch in den Entwicklungsgang des Gesprächs einfügen müssen, ist jede Lehrerfrage für Schüler eine potentielle Leistungssituation.
- Die Übungsphasen stehen in der Regel im Einklang mit der Logik der Erarbeitungsphase. Die Übungsaufgaben dienen im wesentlichen der Routinisierung und Einübung des neu eingeführten Stoffes. Eine systematische Durcharbeitung und Konsolidierung durch Variation der Aufgabenkontexte, Modifikation der mathematischen Struktur der Aufgaben und gezielten Verbindung mit vorgängigem Stoff zur Verankerung der neu eingeführten Sachverhalte im Wissensfundament sind sehr selten anzutreffen.
- Folgerichtig beziehen sich auch Prüfungsarbeiten auf den neu eingeführten Stoff. Damit wird vornehmlich eine relativ kurzfristige Behaltens- und Verständnisleistung erfaßt, während Flexibilisierung und Verankerung des neu Gelernten in den Hintergrund treten.

#### 7.6 Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen

Die große Chance der naturwissenschaftlichen Fächer in der Schule besteht darin, daß naturwissenschaftliche Arbeitsweisen in Ansätzen und in einfacher Form in den Unterricht integriert werden können. Vertrautheit mit naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen und Argumentationsformen ist deshalb nicht nur ein Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts, sondern das naturwissenschaftliche Arbeiten kann phasenweise geradezu zum Organisationsprinzip der Unterrichtsführung werden. Dies leuchtet sofort ein, wenn man an naturwissenschaftliches Experimentieren als einen wichtigen Bereich naturwissenschaftlichen Arbeitens denkt. Beobachten und Experimentieren werden aber erst dann zum naturwissenschaftlichen Arbeiten, wenn sie Teil des spezifisch naturwissenschaftlichen Argumentierens sind. In dieser Funktion ist das empirische Arbeiten allerdings weniger beliebt als der bloß handelnde Umgang mit Gegenständen des Fachs. Ohne diese Einbindung schult das Experimentieren jedoch höchstens manuelle Geschicklichkeit im Umgang mit diversen, sehr speziellen Apparaten und die Fähigkeit, Arbeitsanweisungen sequentiell abzuarbeiten. Die inhaltliche Einbettung des empirischen, insbesondere experimentellen Arbeitens in seiner *ganzen* Abfolge gelingt wahrscheinlich nur durch bewußt gestaltete Unterrichtsphasen, deren Organisationsprinzip das naturwissenschaftliche Arbeiten, freilich in elementarer Form, dann selbst ist. Am Beispiel des Experiments läßt sich dies am einfachsten zeigen:

- Planungs- und Gestaltungsphase: (Forschungs-) Fragestellungen werden erarbeitet, Ergebnisse vorhergesagt, zu testende Hypothesen formuliert und experimentelle (oder andere empirische) Verfahren entworfen.
- Durchführungsphase: Das Experiment wird durchgeführt, es wird mit Material umgegangen, Techniken werden erprobt, es wird beobachtet und Daten werden erhoben.
- Analyse- und Interpretationsphase: Die Daten werden aufbereitet und weiterverarbeitet, Beziehungen werden erklärt, Verallgemeinerungen werden entwickelt, eine Fehlerabschätzung wird durchgeführt und die Vertrauenswürdigkeit der Daten eingeschätzt, die Ergebnisse werden mit Bezug auf die Eingangshypothesen interpretiert, die Randbedingungen des Experiments und neue Fragestellungen werden formuliert.
- Anwendungsphase: Auf der Basis der Untersuchung werden neue Hypothesen formuliert, es werden Vermutungen über die Anwendbarkeit auf neue Situationen erarbeitet und die erarbeiteten Resultate und Techniken werden auf eine neue Situation angewandt, gegebenenfalls wird über die gesellschaftliche Relevanz des behandelten Ausschnitts naturwissenschaftlicher Forschung diskutiert.

Neue Medien bieten eine besondere Chance, experimentelle Arbeitsweisen für den Unterricht fruchtbar zu machen und das Ausprobieren eigener Ideen und Modelle zu fördern.

- Die einfache Digitalisierung von Abläufen und ihre dadurch mögliche raumzeitliche Darstellung und Analyse ermöglicht einen neuen Zugang zu einer großen Gruppe naturwissenschaftlicher Probleme.
- Computergestützte Meßwertaufzeichnung ermöglicht die on-line-Datenerfassung und Datenauswertung. Damit können Experimente in einer Sitzung durchgeführt und die Ergebnisse dargestellt und eventuell interpretiert werden.
- Computersimulationen ermöglichen eine leichte Variation von Parametern und eine Anwendung unterschiedlicher Modelle mit gleichzeitiger Überprüfung der Adäquanz der eigenen Annahmen.
- Modellbildungssysteme lassen Modellbildung zu, ohne auf mathematische Verfahren angewiesen zu sein, und ermöglichen einen direkten Vergleich des eigenen Modells mit dem Experiment, bei dem die Daten computergestützt erhoben wurden.

Ein besonderer Aspekt experimentellen Arbeitens im Unterricht ist die Notwendigkeit der Zusammenarbeit in kleinen

Arbeitsgruppen. Gruppenarbeit in den naturwissenschaftlichen Fächern wird von Schülerinnen und Schülern im allgemeinen als Teil des naturwissenschaftlichen Unterrichts akzeptiert und kann auch relativ leicht um einen Gegenstand herum organisiert werden.

Die Integrierbarkeit naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen als Organisationsprinzip herausgehobener Unterrichtsphasen ist eine einzigartige Chance der naturwissenschaftlichen Fächer. Zugleich ist damit aber auch eine Problemzone des naturwissenschaftlichen Unterrichts bezeichnet. Es gelingt seltener als erwartet, die naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen als Instrumente der Klärung des Denkens wirksam werden zu lassen. Die empirischen Befunde sprechen dafür, daß der Prozeß des naturwissenschaftlichen Arbeitens gerade in den Phasen der eigentlichen kognitiven Herausforderung allzu oft abgekürzt wird.

### **7.7 Curriculare Problemzonen**

Die geringe Kumulativität des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts weist zunächst darauf hin, daß die regelmäßige Wiederholung, die harmonisch mit der Erarbeitung eines neuen Stoffgebiets und dessen Übung verbunden ist, in Deutschland weniger gepflegt wird, als dies in Ländern mit erfolgreicherem mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht geschieht. Daß die relativ geringe Bedeutung des systematischen und in den Unterrichtsfortgang integrierten Wiederholens in der Regel als nicht sonderlich problematisch wahrgenommen wird, hat wahrscheinlich weniger mit didaktischen Moden - etwa scheinbar zugenommener Geringschätzung von Üben und Wiederholen - zu tun, sondern ist eher eine Folge der Stoffanordnung und Prüfungspraxis in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern. Die einzelnen Sachgebiete werden häufig als relativ in sich geschlossene Einheiten unterrichtet, die kaum aufeinander aufbauen und deshalb ein systematisches Wiederholen und Vernetzen der Inhalte auch nicht erfordern. Aus Schülersicht fehlt die rationale Klammer, die das Fach inhaltlich zusammenhält. (Hinweise auf mangelnde fachliche Kohärenz und die Kompartimentalisierung des Lernens sind abrupte Leistungsschwankungen von Schülern bei einem Wechsel des Sachgebiets. Zu Unrecht und leichtfertig werden solche Leistungsschwankungen auf spezifische Begabungsprofile der Schüler zurückgeführt.) Eine bessere vertikale Vernetzung der Stoffe, die eine Voraussetzung des selbstverständlichen und harmonischen Wiederholens ist, kann nicht allein oder in erster Linie aus dem Entwurf einer Systematik des jeweiligen Fachs abgeleitet werden, sondern bedarf der mit fachsystematischen Überlegungen verträglichen Entwicklung aus den beabsichtigten Lernprozessen heraus. Die Expertengruppe ist der Auffassung, daß das systematische Wiederholen ein guter Indikator für die Kohärenz des Bildungsprogramms eines Faches insgesamt darstellt und deshalb in seiner Bedeutung gar nicht überschätzt werden kann. Ein additives Wiederholen, das nicht auch für die Erarbeitung, Konsolidierung und Einübung des neuen Stoffs Nutzen bringt, kann unter den unvermeidlichen Randbedingungen knapper Unterrichtszeit nicht regelmäßig erwartet werden. Die Praxis der Überprüfung von Unterrichtsergebnissen stützt die relative Randständigkeit systematischen Wiederholens. Die Aufgaben der Klassen-(Schul-)Arbeiten prüfen in der Regel den neu erarbeiteten Stoff und nicht dessen Verknüpfung mit dem früheren Pensum. Die Expertengruppe sieht in diesem Punkt didaktischen Handlungsbedarf vor allem in den Fachgruppen der einzelnen Schulen, die allerdings auf der Ebene von Lehrplanarbeit und didaktischen Anregungen unterstützt werden muß.

Die inhaltliche Abstimmung zwischen den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern ist trotz tatsächlicher und gut vorstellbarer thematischer Überschneidungen relativ gering. Der Versuch, die Behandlung von Stoffgebieten zwischen den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern zu synchronisieren, ist kompliziert und nach Ansicht der Expertengruppe derzeit auch nicht erfolgversprechend. Es gibt jedoch eine Reihe von Themen und Konzepten, die nicht nur in *einem* der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer von zentraler Bedeutung sind. Sie bezeichnen inhaltliche Anschlußstellen, an denen sich Fächer ohne systematische zeitliche Koordination der Stoffverteilung wechselseitig mit Gewinn aufeinander beziehen können. Die Möglichkeiten der didaktischen Phantasie und der unterstützenden Lehrplanarbeit sind bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Unterricht, der eine fachübergreifende Perspektive aus dem Fach selbst entwickelt, ist im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich offensichtlich rar. Projekttag oder die Projektwoche sind eine Bereicherung, aber kein Ersatz. Die Expertengruppe sieht hier ein Defizit didaktischer Anregung sowohl auf der Ebene didaktischer Materialien und Handreichungen als auch der Lehrerfortbildung und der Lehrplanarbeit. Zur Koordination oder Integration der naturwissenschaftlichen Fächer, vor allen Dingen im Anfangsunterricht der Sekundarstufe I, gibt es verschiedene Initiativen in einzelnen Bundesländern und einen noch nicht abgeschlossenen Modellversuch der Bund-Länder-Kommission. Die Expertengruppe hält eine solide Evaluation und Auswertung des Modellversuchs unter dem Gesichtspunkt der Qualitätssicherung im naturwissenschaftlichen Unterricht und der weiteren Nutzbarkeit der entwickelten Materialien für dringend. Ein offensichtliches Desiderat, zu dem es bislang kaum überzeugende Vorarbeiten gibt, ist der theoretisch überzeugende didaktische Entwurf eines Gesamtprogramms für die naturwissenschaftliche Grundbildung in der Sekundarstufe I, in dem die gemeinsamen und spezifischen Leistungen der naturwissenschaftlichen Fächer analysiert und in eine realistische Beziehung zu möglichen Stundenverteilungen gesetzt werden. Unterricht, der eine fachübergreifende Perspektive aus dem Fach selbst entwickelt, oder der längerfristig themenbezogen arbeitet, ist im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich offensichtlich rar.

Ein ähnlicher Mangel an curricularer konzeptueller Arbeit besteht hinsichtlich der mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundkurse in der gymnasialen Oberstufe. Die Grundkurse haben bislang hinsichtlich der Auswahl von Unterrichtsstoffen und deren Sequenzierung sowie hinsichtlich ihrer didaktisch-methodischen Gestaltung noch keine Form gefunden, die im Rahmen des gymnasialen Bildungsauftrages, der vertiefte Allgemeinbildung, Wissenschaftspropädeutik und Studierfähigkeit verbindet, wirklich überzeugt. Die Expertengruppe hält didaktische Entwicklungsarbeiten für dringend.

## **8. Leitlinien eines Modellversuchsprogramms zur "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts"**

Maßnahmen zur Sicherung der Qualität des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts sind in Deutschland keine Selbstverständlichkeit. Daß entsprechende Maßnahmen erwägenswert, vielleicht sogar notwendig sind, ist im vorangegangenen Abschnitt mit der Beschreibung von Problemzonen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht zu zeigen versucht worden. Die Expertengruppe schlägt vor, das geplante Modellprogramm so anzulegen, daß Prozesse der Qualitätssicherung und Optimierung von Lehren und Lernen in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern auf der Ebene der Schule selbst in Gang gesetzt und mit dem Ziel gestützt werden, diesen eine eigene Dynamik zu geben, die über das Modellversuchsprogramm hinaus trägt. Dieser Vorschlag nimmt die immer wieder replizierten Befunde der Implementationsforschung auf, daß in professionellen Handlungszusammenhängen sich Veränderungen nur dann entwickeln und Bestand haben, wenn diese nicht nur

von den Handelnden subjektiv akzeptiert, sondern auch erfolgreich in modifizierte Handlungsroutrinen integriert werden können. Für das komplexe und störanfällige System des Unterrichts in der Schulklasse gilt dies allemal. Jede Veränderung ist ein Eingriff in einen eingespielten Interaktionszusammenhang mit spezifischen Regeln, der dann insgesamt neu austariert werden muß. Dies ist ein risikoreicher Prozeß, der höchste Aufmerksamkeit und Anstrengung verlangt. Dennoch führt nach Auffassung der Expertengruppe kein Weg zur Optimierung des Unterrichts an ihm vorbei. Wie dieser Prozeß zu gestalten ist, darüber kann nur die einzelne Lehrkraft - freilich im Austausch mit anderen - entscheiden. Leitgedanke des Vorschlags der Expertengruppe ist es, diesen Prozeß anzuregen, zu unterstützen und in die Breite wirken zu lassen.

Die Anregungen für Einzelmaßnahmen orientieren sich insgesamt an den allgemeinbildenden Funktionen des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts, die in vorangehenden Abschnitten dieser Expertise skizziert sind. Im Zentrum des Allgemeinbildungsauftrags der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer steht die Vermittlung eines kognitiven und motivationalen Fundaments, das nachfolgendes Lernen trägt. Einige wichtige Elemente dieses Fundaments sollen an dieser Stelle noch einmal zusammengefaßt werden:

- Grundwissen und Fertigkeiten, die sicher beherrscht und flexibel angewendet werden können;
- ein breites Orientierungswissen, das geistig durchdrungen, wohlorganisiert und vielseitig vernetzt und anschlussfähig ist;
- Klarheit über persönliche Vorlieben und Stärken und die Bedeutung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer für die eigene berufliche Zukunft und Lebensgestaltung;
- Bewußtsein von der Bedeutung der Mathematik und Naturwissenschaften für das Begreifen der Welt und die Beteiligung am gesellschaftlichen Leben;
- eine aufgeschlossene und positive Einstellung zu diesen Fächern und die Bereitschaft, Entwicklungen in diesen Gebieten weiter zu verfolgen bzw. weiter zu lernen.

Daß diese Ziele nicht immer im notwendigen Umfang und mit ausreichender Sicherheit erreicht werden, belegt die Beschreibung der Problemzonen in Abschnitt 7. Die von der Expertengruppe vorgeschlagenen Maßnahmen werden sich auf diese Problemzonen beziehen.

Der Programmentwurf der Expertengruppe folgt im wesentlichen folgenden Leitlinien:

(1) Die Vorschläge setzen gezielt an den Stärken des mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereichs an. Dies sind die fachliche Qualifikation der Lehrkräfte, die in der fachlichen Gediegenheit des Unterrichts unmittelbar sichtbar wird, und deren solide Unterrichtserfahrungen. Dies sind gute Voraussetzungen für die Weiterentwicklung und Optimierung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts.

Die Expertengruppe kann sich auch nicht das häufig zu hörende Argument zu eigen machen, das relativ hohe Durchschnittsalter der Lehrkörper behindere Innovationen und Weiterentwicklung. Eine gleichmäßige Altersverteilung im Lehrkörper ist zwar aus vielerlei Gründen wünschenswert; ein höheres Alter bedeutet jedoch keine Beeinträchtigung der Professionalität. Im Gegenteil: Professionelles Handeln ist in hohem Maße erfahrungsbasiert, und die Souveränität des Handelns in sozialen Situationen nimmt bei Erfolg im Berufsleben über lange Zeit zu. Dauerhafte Mißerfolge werden allerdings mit zunehmendem Alter belastender.

(2) Die Programmelemente sind modular aufgebaut, so daß je nach den Anliegen und Schulentwicklungsperspektiven der beteiligten Länder sowie den jeweiligen Gegebenheiten in der Einzelschule und den spezifischen Stärken der beteiligten Lehrer Auswahlen getroffen und Schwerpunkte gesetzt werden können. Die Module beziehen sich sowohl auf die Optimierung des Unterrichts als auch eine Verbesserung der allgemeinen Akzeptanz und Wertschätzung des naturwissenschaftlichen Bereichs innerhalb und außerhalb der Schule. Die Module geben dem Modellversuchsprogramm Flexibilität, indem sie dessen Anpassung an lokale, regionale und länderspezifische Bedingungen erlauben. Sie sind jedoch keine beliebigen Versatzstücke. Sie fügen sich im Konzept einer modernen mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundbildung zusammen, sind gleichermaßen den eingangs beschriebenen Prinzipien des Lehrens und Lernens verpflichtet und antworten direkt auf die beschriebenen Problemlagen des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts. Das Modellversuchsprogramm soll flexibel gegenüber den Ländern und der Einzelschule sein, aber als Ganzes alle Module abdecken, so daß eine hinreichend breite überregionale Erfahrungssicherung möglich ist.

(3) Das Programm setzt auf die Zusammenarbeit von Lehrkräften innerhalb der Fachgruppe einer Schule und längerfristig auch auf die Abstimmung und Justierung des Unterrichts über die Einzelschule hinweg. Das Programm läßt sehr unterschiedliche Formen der Kooperation zu und rechnet auch mit von Schule zu Schule variierender Intensität der Zusammenarbeit. Die Expertengruppe rät zunächst zu vorsichtigen Schritten, auch wenn die kooperative Sicherung und Verbesserung der Qualität des Unterrichts selbst das Ziel ist. Die Bereitschaft zur Zusammenarbeit sollte jedoch eine Vorbedingung der Beteiligung am Programm sein.

(4) Ein Grundgedanke des Programmentwurfs ist es, die Arbeit der Schulen möglichst maßgeschneidert - lokal, regional oder überregional - zu unterstützen. Dazu enthalten der Organisationsvorschlag und der Kostenplan spezifische Anregungen. Die Expertengruppe hat sich dabei von der Überzeugung leiten lassen, daß für das Modellversuchsprogramm möglichst *keine* neue Infrastruktur geschaffen werden soll, sondern vorhandene Einrichtungen systematisch genutzt und für die Laufzeit des Programms, soweit es nötig ist, ergänzt werden.

(5) Die Expertengruppe empfiehlt, die Arbeit der am Programm beteiligten Schulen regional/landesweit zu koordinieren. Die Form der Zusammenarbeit und Koordination kann von Land zu Land unterschiedlich gestaltet werden. Dort, wo die Voraussetzungen gegeben sind, rät die Expertengruppe, die Bildung kleiner regionaler Schulnetze zu prüfen, für deren Betreuung auf bereits existierende Infrastruktur zurückgegriffen werden kann. Die regionale Zusammenarbeit von Schulen sollte auf die Wirkung in die Breite angelegt sein.

(6) Der Organisationsvorschlag der Expertengruppe unterscheidet zwischen Pilotschulen und assoziierten Netzwerkschulen. Pilotschulen bilden Kristallisationskerne, von denen aus das Programm über eine regional oder landesweit organisierte Zusammenarbeit von Schulen in die Breite wirkt. Jeder Pilotschule sollten fünf bis sechs Netzwerkschulen zugeordnet werden, die ebenfalls am Programm teilnehmen. Die Zahl der Pilotschulen erreicht eine pragmatische Obergrenze, die durch die Funktionsfähigkeit überregionaler Koordination und Unterstützung bestimmt wird. Bei dem geplanten Förderungsvolumen dürfte die Obergrenze bei etwa 30 Pilotschulen liegen.

- (7) Die Initiative zur Teilnahme am Programm, die Vorauswahl der Schulen, die Vorbereitung der Planung sowie die Steuerung und primäre Betreuung der Arbeit in den Schulen liegen bei den Ländern. Die überregionale Koordination des Programms hat also Länder- und Schulperspektiven gleichermaßen abzustimmen.
- (8) Nach Vorstellung der Expertengruppe sollte die Planung der Beteiligung am Modellversuchsprogramm bereits von Anfang an im Zusammenwirken von Schule, Schulaufsicht, den Landesinstituten und Fortbildungseinrichtungen der Länder und nach Möglichkeit auch unter Beteiligung von Fachseminaren entwickelt werden. Dort, wo die Zusammenarbeit mit Hochschulen realisiert werden kann, ist dies eine wünschenswerte Bereicherung des Programms. Die Expertengruppe hält eine enge Abstimmung mit der Schulaufsicht und den unterstützenden Landeseinrichtungen für eine optimale Betreuung der Arbeit der Schulen für notwendig. Die gemeinsamen Planungen sollten auch eine Perspektive für die Breitenwirkung und langfristige Sicherung und Verbesserung der Qualität des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts über das Ende des Modellversuchsprogramms hinaus entwickeln.
- (9) Die Expertengruppe geht davon aus, daß die im folgenden Abschnitt vorgelegten Themenschwerpunkte im Rahmen der geltenden Rechts- und Verwaltungsvorschriften bearbeitet werden können. An einzelnen Stellen wird freilich Liberalität etwa bei der konkreten Stoffverteilung oder bei der Auswahl von Prüfungsaufgaben in Klassen(Schul-)Arbeiten notwendig sein. Dies erfordert die enge Abstimmung mit der Schulaufsicht, schon um die Arbeit der Schulen auch Eltern mit hinreichendem Nachdruck erläutern zu können.
- (10) Überregionale Koordination, Erfahrungssicherung und Unterstützungsleistung sowie überregionaler Erfahrungsaustausch sind für das Programm konstitutiv. Die Expertengruppe empfiehlt deshalb, eine zentrale Koordinierungsstelle bei dem Programmträger einzurichten, deren Aufgaben im Organisationsplan beschrieben werden. Dieser Koordinationsstelle soll auch die Sicherung der Ergebnisse des Programms obliegen.
- (11) Die Expertengruppe empfiehlt die Einrichtung eines kleinen wissenschaftlichen Beirats. Dieser Beirat soll nach Vorstellung der Expertengruppe nicht nur für die wissenschaftliche Beratung des Gesamtvorhabens zuständig sein, sondern auch die externe Evaluation in sehr gezielter und spezifischer Weise durch die Vergabe von exakt umschriebenen Untersuchungsaufträgen organisieren. Damit wird einem variablen Outsourcing-Evaluationsmodell vor einer eigenen, durchgehenden wissenschaftlichen Begleitung Vorzug gegeben.
- (12) Die Expertengruppe geht davon aus, daß das Versuchsprogramm auch grundsätzliche methodische Perspektiven für Bildungsplanung und Innovationsstrategie der Bund-Länder-Kommission hinsichtlich der Qualitätssicherung von Unterricht eröffnet und empfiehlt daher der BLK die regelmäßige, bilanzierende Vergewisserung über den Programmverlauf.

## 9 Arbeitsschwerpunkte und Module des Programms

### 9.1 Vorbemerkung

Die thematischen Vorschläge der Expertengruppe für die Arbeit im Programm beziehen sich auf alle Schulformen der Sekundarstufe I gleichermaßen. Darüber hinaus wird aber auch der gymnasiale Bildungsgang als ganzer in den Blick genommen, in dem die Einführungsphase und die Grundkurse der gymnasialen Oberstufe besonderer Aufmerksamkeit bedürfen. Auch in der Grundschule sieht die Expertengruppe Forschungs- und Handlungsbedarf. Sie zögert jedoch, den Rahmen des Programms zu stark auszuweiten, so daß die Grundschule unberücksichtigt bleibt. Die Themenvorschläge sind als Module eines Gesamtsystems konzipiert. Bei aller thematischen Variabilität und Flexibilität der Schwerpunktsetzung haben alle Module das gemeinsame Element der systematischen Zusammenarbeit von Lehrkräften im Fach, der Fächergruppe und gegebenenfalls auch über Fächergruppen hinweg. Diese Zusammenarbeit erhält ihren größeren Rahmen im regionalen Erfahrungsaustausch zwischen Schulen und in der überregionalen Unterstützung und Betreuung. Die Bereitschaft zur Zusammenarbeit innerhalb einer Schule zur Optimierung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts und zur Verbesserung der Sichtbarkeit und Akzeptanz dieses Bereichs ist eine Vorbedingung für die Teilnahme am Programm. Eine Schule wird also immer mit mehreren Klassen innerhalb eines Jahrgangs oder über Jahrgangsstufen hinweg am Modellversuch beteiligt sein. Die Beteiligung am Programm sollte nicht nur vom Schulleiter und einzelnen Lehrern, sondern von einem substantiellen Teil des Kollegiums zumindest mitgetragen werden.

Die Arbeitsschwerpunkte sind als Module konzipiert, die unterschiedliche Schwerpunktsetzungen erlauben, aber gleichwohl in einem Gesamtkonzept organisiert sind. Die Reihe der modularen Themen ist nicht abschließend. Sie ist offen für Ergänzungen, die aus den Ländern und Schulen kommen können. Auch die Module selbst sind nur knapp umrissen, sie bedürfen der Interpretation und Konkretisierung unter Berücksichtigung der lokalen und regionalen Bedingungen.

Im folgenden werden unterrichtsbezogene Maßnahmen, die den eigentlichen Kern des Programms bilden, Maßnahmen zur Verbesserung der Sichtbarkeit, Akzeptanz und Wertschätzung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereichs innerhalb und außerhalb der Schule sowie unterstützende Materialentwicklungen und Maßnahmen zur Sicherung des Erfahrungsaustauschs beschrieben. Die Expertengruppe zögert, das Ensemble der vorgeschlagenen Maßnahmen als Reform oder Innovation zu bezeichnen, die den Eindruck einer schnellen und abschließbaren Veränderung erwecken. Denn gerade dies hält die Expertengruppe weder für erstrebenswert noch für realisierbar. Ihre Vorschläge setzen auf einen langfristigen, kontinuierlichen und letztlich professionellen Prozeß der Optimierung, in dem Bewährtes zum Zwecke der Weiterentwicklung und Verbesserung thematisierbar wird. Ein solcher Optimierungsprozeß kann und sollte auch in die Breite gehen, aber er wird nicht flächendeckend sein können. Wenn er erfolgreich verläuft, wird die Heterogenität von Schulen zunächst erhöht. Hervorragende Leistungen werden damit sicherlich nicht zur Regel, aber doch häufiger anzutreffen sein als bisher. Realistische Erwartungen sollten nach der Überzeugung der Expertengruppe Bestandteil des Modellversuchsprogramms sein.

### 9.2 Unterrichtsbezogene Maßnahmen

Lehrkräfte haben eine Vorstellung von gelingendem Unterricht, die Sicherheit des Handelns gewährleistet. Diese Vorstellungen sind in der Regel nicht ohne weiteres beschreibbar oder explizierbar. Aber die impliziten subjektiven Theorien leiten Wahrnehmen und Handeln der Lehrkraft im Unterricht. Bereits die eigenen Unterrichtserfahrungen als Schüler prägen die subjektiven Theorien, die dann vor allem in der zweiten Phase der Lehrerbildung stabilisiert und generalisiert werden. Die

subjektiven Theorien helfen, um mit der Komplexität des Unterrichtsgeschehens umgehen zu können. Sie dienen als Orientierungsrahmen, in dem relativ schnell Handlungssicherheit gewonnen werden kann.

Die subjektiven Theorien werden in der Lehrerschaft als Professionskultur geteilt. Gemeinsame Erfahrungen und Einflüsse führen zu ähnlichen, kulturspezifischen Vorstellungen von Unterricht. Diese handlungsleitenden Vorstellungen oder Theorien konstituieren kulturelle Skripts, gleichsam Drehbücher, die den Ablauf zahlreicher Stunden festlegen. In die Gesamtchoreographie des Unterrichts eingebettet sind spezifische Skripts für bestimmte Unterrichtsphasen oder Arbeitsformen. Die unmittelbar auf das Unterrichtsgeschehen bezogenen Skripts werden ergänzt und gestützt durch vergleichbare Skripts für das Handeln außerhalb des Unterrichts (z.B. Vor- und Nachbereitung, Planung).

Die Skripts beschreiben Grundstrukturen von Unterricht, die Variationen in bestimmten Bandbreiten zulassen. Insgesamt bilden sie ein System, das in seiner Abstimmung routiniertes Handeln gewährleistet. Jede Änderung bzw. jeder Eingriff in einzelne Unterrichtsroutrinen ist ein Eingriff in das System, der ein Neutrieren der Elemente verlangt. So tangieren Änderungen bestimmter unterrichtsbezogener Abläufe auch die Skripts für das außerunterrichtliche Lehrerhandeln.

In Hinblick auf die Optimierung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts empfiehlt die Expertengruppe deshalb behutsame Maßnahmen, die an den Unterrichtsroutrinen und Skripts ansetzen:

- Die Maßnahmen sollten so an persönliche und situative Bedingungen anpaßbar sein, daß die Handlungssicherheit der Lehrkräfte nicht gefährdet wird.
- Die Schritte sollten im Rahmen einer Gesamtkonzeption koordiniert und von einer übergeordneten Vision einer Entwicklung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts getragen sein.
- In diesem Rahmen sind unterschiedliche Ansatzpunkte und unterschiedliche Kombinationen von thematischer Arbeit möglich und nötig. Vielfach wird eine Vernetzung der Maßnahmen erforderlich oder sinnvoll sein.
- Gemeinsame Zielperspektive ist die Erweiterung des kulturellen Skripts des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts zur Verbesserung verständnisvollen Lernens und zur Stabilisierung der Lernmotivation.

Die Expertenkommission ist der Überzeugung, daß die Weiterentwicklung der kulturellen Unterrichtsskripts nur durch Zusammenarbeit und Erfahrungsaustausch auf unterschiedlichen Ebenen gelingt. Ziel ist die Transformation eines impliziten kulturellen Unterrichtsskripts in ein professionelles Skript, dessen Elemente zwar Teile von gut eingeschliffenen Routinen sind, aber leicht bewußt gemacht und diskursiv verhandelt werden können.

Im folgenden werden die thematischen Schwerpunkte der unterrichtsbezogenen Maßnahmen skizziert, die freilich im Kontext des jeweiligen Faches zu spezifizieren sind:

#### **(1) Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht**

In motivationaler wie kognitiver Hinsicht nicht minder bedeutsam sind die Aufgaben, die zur Konsolidierung und Übung des erworbenen Wissens, bis hin zur Automatisierung, dienen. Entscheidend für die Motivierung des Lernens und für ein verständnisvolles Erschließen von Wissen sind die Aufgabenstellungen, an denen Schülerinnen und Schüler neuen Stoff im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht erarbeiten. In motivationaler wie kognitiver Hinsicht nicht minder bedeutsam sind die Aufgaben, die zur Konsolidierung und Übung des erworbenen Wissen dienen. Mit der didaktischen Konzeption von Aufgabenstellungen werden Aspekte oder Teilskripts des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts reflektiert und geprüft, die relativ konkret und gut eingegrenzt sind. In der Weiterentwicklung von Aufgabenstellungen und der Form ihrer Bearbeitung liegt ein beträchtliches Potential zur Verbesserung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts.

- Die Erarbeitung von neuem Stoff wird sowohl durch die Aufgabenstellung selbst als auch durch die Art ihrer Präsentation und die Form ihrer Behandlung im Unterricht bestimmt. Beides zeichnet die Art des zu erwerbenden Wissens vor. Die Unterrichtsführung kann auf die Erarbeitung *einer* Lösung, die Beherrschung eines Algorithmus' oder die Automatisierung einer Routine angelegt sein oder aber die Vielfalt möglicher methodischer Zugangsweisen und Lösungswege herausstellen. Bestimmte Aufgabenstellungen begünstigen die eine oder andere Vorgehensweise. Es ist unter Fachkundigen unstrittig, daß bestimmte Stoffe und Themen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht vernünftigerweise konvergent mit dem Ziel unterrichtet werden, bestimmte Verfahren zu sichern und zu automatisieren. Problematisch ist dieses Vorgehen dann, wenn es ein Unterrichtsfach insgesamt prägt und damit schematisches Arbeiten begünstigt und den auf Verständnis beruhenden Erwerb flexiblen Wissens erschwert. Die Engführung der Erarbeitung des neuen Stoffs im fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch auf eine einzige Lösung und Routine hin ist für den Mathematikunterricht und aller Wahrscheinlichkeit nach auch für den Unterricht in den naturwissenschaftlichen Fächern in Deutschland charakteristisch.

Um zu einer größeren methodischen Variabilität zu kommen, sollten in einem Schwerpunkt des geplanten Programms Aufgabentypen entwickelt und erprobt werden, die mehrere Vorgehensweisen und unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten zulassen oder geradezu anbieten. Darüber hinaus sollte aber auch geprüft und erprobt werden, wie traditionelle, bereits eingeführte Aufgabenstellungen in einer Form dargeboten und bearbeitet werden können, die es erlaubt, multiple Zugangswege fruchtbar zu machen. Ziel ist es, Schülerinnen und Schüler auf unterschiedlichen Kompetenzniveaus anzuregen, mit ihnen zugängliche Lösungen zu finden, die dann im Unterricht vergleichend analysiert werden könnten. Besonders im Vergleich qualitativ unterschiedlicher Lösungswege, ihrer Begründungen und Probleme kann sich Verständnis entfalten.

- Abwechslungsreiche Anwendungsaufgaben in variierenden Kontexten geben dem Durcharbeiten und Üben Reiz und Bedeutung und tragen zur Konsolidierung des Wissens bei. Neben den Prüfungsaufgaben definieren vor allem sie die Standards dessen, was von Schülern am Ende einer Unterrichtseinheit erwartet wird. Zusätzliche Strukturveränderungen in den Aufgaben schaffen anspruchsvolle Denk- und Übertragungsprobleme, die Wissen flexibilisieren. Neben einer Reflexion der gängigen Übungspraxis bietet es sich an, Übungsaufgaben unter bestimmten Gesichtspunkten (z.B. Variieren von Inhalten, Kontexten und Strukturen) zu konstruieren, zu erproben, auszutauschen und zu dokumentieren. Entsprechend abgestufte und durchdachte Aufgaben lassen die Schüler selbst spüren, wo weiterer Übungsbedarf besteht. Sie liefern zudem diagnostische Information über individuelle Verständnisprobleme und Lernschwierigkeiten.

- Bisher ist es noch nicht befriedigend gelungen, systematisches Wiederholen auch länger zurückliegender Stoffe so in den Unterricht zu integrieren, daß es sich harmonisch in die Erarbeitung, Konsolidierung und Übung des neuen Stoffs einfügt. Vernetztes Wissen und die individuelle Erfahrung allmählichen Kompetenzzuwachses verlangen aber gerade dies. Ursachen für die Randständigkeit des Wiederholens - Randständigkeit auch im wörtlichen Sinne: denn oftmals eröffnet die

Wiederholungsphase den Unterricht mit der Rekapitulation des Stoffes der vorangegangenen Unterrichtsstunde - sind vielfältig. Dazu gehören die relativ geringe vertikale Vernetztheit der Themen und Stoffe im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht, ein Unterrichtsskript, das vornehmlich den Erwerb neuer Routinen begünstigt, und Klassen-(Schul-)Arbeiten, die im wesentlichen nur den jüngst durchgenommenen Stoff prüfen. Ein unterrichtsbezogener Schwerpunkt des geplanten Programms sollte sich mit der Integration der systematischen Wiederholung auch des länger zurückliegenden Pensums in die Erarbeitung, Konsolidierung und Übung neuer Stoffe beschäftigen. Unter dieser Perspektive müssen Aufgabenstellungen überprüft, modifiziert, teilweise auch neu entwickelt und erprobt werden.

Die Bemühungen der Lehrkräfte und Fachgruppen um eine Optimierung der Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht sollten durch fachdidaktische Entwicklungs- und Dokumentationsarbeiten angeregt und unterstützt werden.

## **(2) *Naturwissenschaftliches Arbeiten***

Das Experimentieren, Beobachten, Vergleichen und Systematisieren spielt im naturwissenschaftlichen Unterricht eine herausragende Rolle. Die Besonderheiten und den Sinn der naturwissenschaftlichen Denk- und Vorgehensweise erschließen sich Schülerinnen und Schüler jedoch nur dann, wenn sie im Unterricht von Anfang an daran gewöhnt werden, gedanklich vorbereitet, zielgerichtet und systematisch zu experimentieren und zu beobachten. Gleichgültig, ob Lehrkräfte oder Schüler Versuche durchführen, das Formulieren von Fragestellungen und Vermutungen, die Aufbereitung und Interpretation der Ergebnisse und das Reflektieren der Vorgehensweise müssen zur Selbstverständlichkeit werden. Damit gewinnen das Sprechen, Austauschen, Verständigen und Diskutieren, aber auch die Verschriftlichung eines zusammenhängenden Gedankengangs eine Bedeutung für den naturwissenschaftlichen Unterricht, die nicht immer erkannt wird.

Aus diesen Gründen rentiert es sich, selbstkritisch zu überprüfen, ob und inwieweit das Beobachten und Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht theorie- oder fragestellungsgeleitet und reflektiert abläuft. Besondere Aufmerksamkeit verdienen dabei das Sprechen und der sachbezogene Diskurs, aber vermutlich auch Formen des epistemischen, d.h. klärenden und Verständnis erzeugenden Schreibens.

Das Feld des naturwissenschaftlichen Arbeitens und insbesondere des Experimentierens - mag es sich um Demonstrationsexperimente oder Schülerversuche handeln - ist eine besondere Stärke der Naturwissenschaftsdidaktiken. Zu fast allen Sachgebieten gibt es phantasievolle und sehr spezifische Vorschläge für Demonstrationen oder Schülerversuche. Innerhalb der einzelnen naturwissenschaftlichen Fächer liegt der Mangel weniger in einem unzureichenden Fundus didaktischer Ideen als vielmehr in der konsequenten Nutzung vor allem des Experiments zur Anregung von Denken und Lernen. Allerdings gibt es ein erhebliches konzeptuelles didaktisches Defizit im Bemühen, das naturwissenschaftliche Arbeiten in den einzelnen Fächern aufeinander zu beziehen und abzustimmen. In dieser Hinsicht sind Entwicklungsarbeiten dringend. Unter dieser doppelten Perspektive sollte die Stärkung des naturwissenschaftlichen Arbeitens einen Schwerpunkt des Förderungsprogramms bilden.

## **(3) *Aus Fehlern lernen***

Durch Fehler wird man klug. Dies könnte auch für die Schule gelten. Wenn im Alltag erworbene Vorstellungen, Deutungsmuster und das praktische Handlungswissen auf die konzeptuellen und prozeduralen Vorstellungen stoßen, die der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht vermitteln möchte, entwickelt sich Lernen notwendigerweise auch als Prozeß des Fehlermachens und der Fehlerkorrektur. Verständnisfehler sind Lerngelegenheiten, die genutzt oder verpaßt werden können. Obwohl Fehler immer individuell und im einzelnen kaum prognostizierbar sind, sind sie doch nicht gleich verteilt. Bestimmte Alltagsvorstellungen von Phänomenen und deren Zusammenhänge treten in Abhängigkeit vom Alter und Vorwissen von Schülern besonders häufig auf. Über typische Schülervorstellungen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich wissen die Fachdidaktiken mittlerweile sehr gut Bescheid. Mathematische und naturwissenschaftliche Alltagsvorstellungen von Schülern, die sich durch eine gemeinsame Fehlerlogik auszeichnen, sind für eine produktive Nutzung im Unterricht besonders geeignet. Dies setzt jedoch voraus, daß Fehlermachen im Unterricht ohne Bewertung und Beschämung erlaubt ist und adäquate Handlungsroutinen verfügbar sind, mit Fehlern lernfördernd umzugehen. Die Rehabilitierung des Fehlers als Lerngelegenheit sollte ein unterrichtsbezogener Schwerpunkt des Förderungsprogramms sein. Als Unterstützungsleistung sollten einschlägige Arbeiten zu typischen Schülervorstellungen, die für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe I Bedeutung haben, gesichtet und unterrichtsbezogen aufgearbeitet werden.

## **(4) *Sicherung von Basiswissen - Verständnisvolles Lernen auf unterschiedlichen Niveaus***

Im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht werden die Lehrkräfte mit ausgeprägten Unterschieden in Vorwissen und Vorerfahrungen konfrontiert. Es fällt dementsprechend schwer, den Unterricht an die Lernvoraussetzungen anzupassen, ohne bestimmte Schülergruppen zu benachteiligen. Der Blick in Schulsysteme anderer Nationen zeigt, daß es die Lehrkräfte in Deutschland aufgrund des differenzierten Schulsystems mit einer vergleichsweise homogenen Schülerschaft zu tun haben. Es zeigt sich aber auch, daß Lehrkräfte in anderen Ländern geschickte Verfahren entwickelt haben, um mit heterogenen Lernvoraussetzungen umzugehen. Unter anderem gelingt dies durch Problemstellungen oder Übungsaufgaben, die Lösungen auf unterschiedlichen Niveaus zulassen. Diese Ansätze ermöglichen es, Unterschieden in den Lernvoraussetzungen didaktisch zu begegnen, ohne spezielle Lerngruppen im Sinne einer inneren Differenzierung zu bilden.

Anliegen des Modellprogramms sollte es sein, mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht so zu optimieren, daß relativ große Bandbreiten von Schülern im Klassenverband aller Schulformen kognitiv wie motivational angesprochen werden. Freilich trägt Unterricht, der optimal individuell fördert, in der Regel dazu bei, daß sich die Unterschiede zwischen Schülern über die Zeit weiter vergrößern. Damit ergibt sich für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht die besondere Herausforderung, auch bei einer Auseinanderentwicklung der Leistungsniveaus sicherzustellen, daß alle Schülerinnen und Schüler verständnisvoll lernen, wenn auch auf unterschiedlichen Komplexitätsniveaus. Die Herausforderung muß angenommen werden, um sicherzustellen, daß der größte Teil der Schülerschaft das mathematisch-naturwissenschaftliche Grundwissen und Grundverständnis erwirbt, das notwendige Bedingung für einen erfolgreichen Übergang in die berufliche Erstausbildung ist. Dies bedeutet zum Beispiel, daß für anstehende mathematisch-naturwissenschaftliche Inhalte Niveaus des Verstehens differenziert werden, die je nach Vorwissen von den Schülerinnen und Schülern erreicht werden können. Die Verstehensniveaus müßten so beschrieben werden, daß sie beim Bearbeiten von Aufgaben erkannt und bei der Konstruktion von Prüfungsaufgaben berücksichtigt werden können. Bei der Bewältigung dieser Aufgaben benötigen die Lehrkräfte und Fachgruppen Anregungen und Unterstützungen durch beispielhafte fachdidaktische Differenzierungen von Verstehensebenen für mathematisch-naturwissenschaftliche Lehrinhalte.

**(5) *Zuwachs von Kompetenz erfahrbar machen: Kumulatives Lernen***

Lernanstrengungen lohnen sich dann, wenn ersichtlich ist, was man hinterher kann. Schülerinnen und Schüler, die sich über mehrere Jahre mit mathematischen und naturwissenschaftlichen Inhalten auseinandersetzen, müssen spüren können, daß sie in ihrer fachbezogenen Kompetenzentwicklung sukzessive voranschreiten. Dies wird dann erfahrbar, wenn sie eine Vorstellung darüber entwickeln konnten, wie die Lerninhalte aufeinander aufbauen und in dieser Verknüpfung die Grundlage für ein Verständnis komplexer Sachverhalte schaffen. Die Sequenzierung des Lehrstoffes muß für Schüler nicht in jedem einzelnen Schritt, aber langfristig kohärent sein. Aussagekräftige Rückmeldungen über ihren Kompetenzzuwachs erhalten die Schülerinnen und Schüler zum Beispiel durch Wiederholungsaufgaben, die in Neuerwerbsaufgaben eingebettet sind. Dabei wird ihr vorangegangener Lernfortschritt bestätigt. Sie spüren die Nützlichkeit des vorangegangenen Lernens und zugleich die Notwendigkeit weiterer Lernbemühungen.

Voraussetzung für das Erfahren von Kompetenzzuwachs ist eine kohärente und kumulative Sequenzierung des Lehrstoffes. Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht gewinnt Kohärenz durch vertikale Verknüpfungen, die zwischen früheren, aktuellen oder auch zukünftigen Lerninhalten hergestellt werden. Entsprechende Möglichkeiten vertikaler Verknüpfungen sind in den Fachlehrplänen nur zum Teil ausgewiesen oder angedeutet. Sie können und müssen von den Lehrkräften für ihren Unterricht generiert werden. Daß dies Zusammenarbeit und Abstimmung in der Fachgruppe verlangt, ist unmittelbar einsichtig. Im Rahmen des Modellprogramms sollte der Frage nachgegangen werden, inwieweit der derzeitige mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht kumulativ angelegt und vertikal verzahnt ist. Zu entwickeln und zu erproben wären Unterrichtseinstiege und Aufgabenstellungen, die früher Gelerntes mit dem aktuellen Lehrstoff systematisch verbinden. Zur Anregung benötigen die beteiligten Lehrkräfte beispielhafte Vorlagen von fachdidaktischer Seite, die Möglichkeiten effektiver vertikaler Verknüpfungen sichtbar machen und lernpsychologisch begründen.

**(6) *Fächergrenzen erfahrbar machen: Fachübergreifendes und fächerverbindendes Arbeiten***

Trotz ihrer inhaltlichen Besonderheiten teilen die Fächer Biologie, Chemie, Mathematik und Physik eine Reihe von Gemeinsamkeiten. Diese werden dann deutlich, wenn explizit auf Wissen aus dem anderen Fach zurückgegriffen wird, wenn interdisziplinäre Schnittstellen behandelt und bestimmte Phänomene oder Probleme aus der Sicht verschiedener Fächer betrachtet und damit multiperspektivisch erschlossen werden. Horizontale Verknüpfungen zwischen Inhalten, Fragestellungen und Verfahren der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer können genutzt werden, um komplexe Probleme zu bearbeiten und die wechselseitige Bezogenheit der naturwissenschaftlichen Fächer sichtbar zu machen. Sie haben auch die Funktion, Wissen vielfältig zu vernetzen, neue Anwendungskontexte bereitzustellen und Konzepte und Modellvorstellungen flexibel werden zu lassen.

Im Rahmen des Modellversuchs kann die Problematik horizontaler Verknüpfungen dann zweckmäßig bearbeitet werden, wenn der Suchraum auf einige wenige Bereiche konzentriert wird, die für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht besonders kritisch sind. Damit die Lehrkräfte didaktisch sinnvolle Möglichkeiten horizontaler Verknüpfungen erarbeiten und erproben können, sollte im Modellprogramm ein Gerüst mit Anregungen und Unterstützungen bereitgestellt werden. In den Lehrplänen einzelner Länder sind dafür bereits Vorarbeiten geleistet worden.

Die Expertengruppe möchte darüber hinaus anregen, Themen und Fragestellungen zu identifizieren und für den Unterricht aufzubereiten, die besonders geeignet sind, eine fachübergreifende und fächerverbindende Perspektive, die durchaus über die Familie der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer hinausreichen kann, aus dem jeweiligen Fach selbst heraus zu entwickeln. Dies sind Themenstellungen, die die spezifische Leistungsfähigkeit eines Fachs und deren Grenzen zugleich sichtbar machen.

**(7) *Förderung von Mädchen und Jungen***

Im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich zeichnen sich schon zum Ende der Grundschulzeit beträchtliche Leistungs- und Interessenunterschiede zwischen den Geschlechtern ab, die sich im Verlauf der Schulzeit noch vergrößern können. Vor allem die Fächer Mathematik, Physik und Chemie (nicht aber die Biologie) polarisieren zwischen Mädchen und Jungen. Für diese Fächer und ihre Inhalte interessieren sich Mädchen im Mittel deutlich weniger als Jungen. Auch bei Leistungsvergleichen schneiden die Schülerinnen im Durchschnitt in diesen Fächern schlechter ab als die Schüler. Dieser Unterschied wird jedoch nicht durch Geschlechterdifferenzen in kognitiven Fähigkeiten bedingt.

Die Distanz der Mädchen zur Mathematik und vor allem zur Physik und zur Chemie stellt eine aktuelle Herausforderung für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht dar. In verschiedenen, größer und kleiner angelegten Projekten wurden in der letzten Zeit Konzepte und Materialien zur speziellen Förderung von Mädchen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht entwickelt. Dabei wurden Möglichkeiten erarbeitet, den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht so an den Interessen der Mädchen zu orientieren, daß ihr Interesse und ihr Lernerfolg gefördert wird, ohne das Lernen der Jungen zu beeinträchtigen.

Die Expertengruppe regt an, in einem unterrichtsbezogenen Schwerpunkt des Modellprogramms an der Umsetzung dieser Konzepte weiterzuarbeiten. Zur Unterstützung sollten die verfügbaren Materialien und Anregungen zur differentiellen Förderung von Mädchen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht dokumentiert und unterrichtsbezogen aufbereitet werden.

**(8) *Entwicklung von Aufgaben für die Kooperation von Schülern***

In den auf die gegenständliche Welt bezogenen mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern wird die Bedeutung sozialer Prozesse auch für das Lernen nicht selten unterschätzt. Deshalb empfiehlt es sich, das Augenmerk unter anderem auch auf soziale Aspekte des Unterrichts zu richten: auf die sozialen Umgangs- und Arbeitsformen, vor allem auf das Kooperieren zwischen Schülern. Kooperatives Lernen kann nicht nur zu einem produktiven Arbeitsklima und zu einem abwechslungsreichen Unterricht beitragen. Es unterstützt den Aufbau sozialer Kompetenzen und unter bestimmten Rahmenbedingungen, die im Abschnitt 3 dieser Expertise skizziert wurden, auch fachliche Lernprozesse. Kooperative Arbeitsformen veranlassen die Schülerinnen und Schüler dazu, Gedachtes sprachlich verständlich zu fassen, zu argumentieren, andere Perspektiven einzunehmen und mit diskrepanten Ansichten und Urteilen umzugehen. Kooperation schafft die Grundlage für das Gefühl, in eine Gemeinschaft einbezogen und Teilnehmer einer Gruppe zu sein, die an bestimmten inhaltlichen Problemstellungen arbeitet. Für die Motivierung des Lernens spielt die soziale Einbindung durch Kooperation eine wichtige Rolle.

Kooperative Arbeitsformen werden im Unterricht häufig aus pragmatischen Gründen vernachlässigt. Ob die von Lehrkräften befürchteten Probleme wie Unruhe, Aufwand oder unsicherer Lerngewinn tatsächlich auftreten, hängt von der Gestaltung sozialer Arbeitsformen ab. Kooperatives Lernen kommt nicht schon dadurch zustande, daß Schüler Aufgaben in Gruppen

bearbeiten. Kooperation bedarf der Übung, um die erforderlichen sozialen Routinen einzuschleifen und Zeitverluste zu minimieren. Vor allem aber müssen die Aufgabenstellungen so angelegt sein, daß Kooperation sinnvoll wird und die Schülerinnen und Schüler durch das Zusammenarbeiten für ihr Lernen profitieren. Die inhaltlichen Besonderheiten des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts erfordern fachspezifische Skripts für soziale Arbeitsformen. Im Rahmen des Modellprogramms können auch hier wiederum die Strukturen und Routinen der bisherigen Gruppenarbeit überprüft und geeignete Aufgaben für erfolgreiches Kooperieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht entwickelt und erprobt werden.

#### **(9) Verantwortung für das eigene Lernen stärken**

Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht konfrontiert mit schwierigen Inhalten und anspruchsvollen Problemstellungen, die Anstrengungen von den Schülerinnen und Schülern verlangen. Nennenswerte Erkenntnis- und Lernfortschritte erzielen die Schülerinnen und Schüler nur dann, wenn sie systematisch, konzentriert, beharrlich und nachdenklich vorgehen. Um die notwendige Ausführungssicherheit zu gewinnen, muß das Neugelernte wiederholt und auch selbstständig geübt werden. Effektives Üben, das über ein bloßes Memorieren von Routinen hinausgeht, setzt kognitive und motivationale Strategien voraus.

Die Bereitschaft und die Fähigkeit, selbstverantwortlich und selbstreguliert zu lernen und dabei wirksame Strategien zu verwenden, müssen in der Schule und im Fachkontext entwickelt werden. Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht kann zur Entwicklung dieser Kompetenz beitragen, indem den Schülerinnen und Schülern Gelegenheiten gegeben werden, eigenständig Lösungen zu erarbeiten sowie unterschiedliche Übungsformen zu erproben und ihr Lernen selbst zu strukturieren und zu überwachen. In welcher alters- und vorwissensangemessenen Form Schülern größere Verantwortung für das eigene Lernen abverlangt werden kann und welcher Hilfen und Unterstützung Schüler dafür bedürfen, dazu fehlt es bislang an systematischen Erfahrungen. Die Expertengruppe regt an, im Rahmen des Modellprogramms zu prüfen und zu erproben, welche Gelegenheiten im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht besonders für selbstverantwortliches und selbstgesteuertes Lernen geeignet sind und wie dieser Prozeß der allmählich wachsenden Übernahme von Verantwortung altersadäquat und schulformangemessen unterstützt werden kann.

#### **(10) Prüfen: Erfassen und Rückmelden von Kompetenzzuwachs**

Die Verknüpfung von Zeugnissen mit Berufs- und Ausbildungschancen hat zu einer problematischen Entwicklung geführt. Eltern wie Schüler neigen dazu, dem formalen Prüfungserfolg mehr Bedeutung beizumessen als dem inhaltlichen Lerngewinn. Im Zweifelsfall bestimmt nicht das, was gelehrt, sondern das, was geprüft wird, das Lernen. Prüfungsaufgaben, die durch simples Memorieren und schematisches Einsetzen erfolgreich bestanden werden können, gefährden ein Unterrichtskonzept, das auf gründliches Nachdenken, auf Problemlösekompetenz und auf eine Motivierung des Lernens durch die Bedeutung der Sache abzielt.

Um unbeabsichtigte Rückwirkungen der Prüfungsanforderungen auf das Lernen im Unterricht auszuschließen, sollten im Rahmen des Modellprogramms Leistungsüberprüfungen mit den Zielen und der Konzeption des Unterrichts abgestimmt werden. Das verlangt, daß Prüfungsaufgaben, die im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht verwendet werden, kritisch auf ihre Validität hin überprüft werden: Erfassen die Prüfungsaufgaben wirklich die Anliegen des Unterrichts in ihrer ganzen Breite? Wahrscheinlich bedarf es variationsreicherer Klassen-(Schul-)Arbeiten, die abgestuft Routinewissen, die Kombination des neuerworbenen Wissens mit früherem Stoff und die Übertragung und Anwendung auf neue Situationen überprüfen. Offen ist auch die Frage, ob sich Prüfungsaufgaben entwickeln lassen, die besonders geeignet sind, um Schülerinnen und Schülern Rückmeldung über individuelle Leistungsfortschritte zu geben.

#### **(11) Qualitätssicherung innerhalb der Schule und Entwicklung schulübergreifender Standards**

Professionelles Handeln schließt ein, die geleistete Arbeit kritisch zu prüfen. Für Lehrkräfte ist es selbstverständlich, daß sie über ihren Unterricht und über ihre Wirkungen auf das Lernen der Schüler nachdenken. Sie sprechen auch im Kollegenkreis über die Leistungen ihrer Schüler. Aber es ist bisher noch nicht üblich, daß sich Lehrkräfte oder Fachgruppen an Schulen systematisch einen Eindruck vom Leistungsstand in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern verschaffen. Es bleibt den einzelnen Lehrkräften überlassen, ob und wie sie sich über den Leistungsstand und über Leistungsfortschritte ihrer Schüler Rechenschaft geben wollen. Gemeinsame Anstrengungen zur Verbesserung der Qualität des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts setzen jedoch eine Bestandsaufnahme voraus.

Im Rahmen des Modellprogramms könnten an den Schulen Verfahren für eine entsprechende Bestandsaufnahme im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich entwickelt werden. Dazu müßten Kriterien diskutiert, abgestimmt und konkretisiert werden, die aus der Sicht der Fachgruppe geeignet sind, den Stand des Wissens und Könnens in Mathematik und in den Naturwissenschaften zu erfassen. Mit Hilfe von Aufgaben, die gemeinsam in der Fachgruppe erarbeitet wurden, könnten sich die einzelnen Lehrkräfte dann über den Leistungsstand und die Leistungsfortschritte ihrer Schüler vergewissern. Mit der Diskussion über Leistungskriterien wird ein erster Schritt der Qualitätssicherung vollzogen, mit der Diskussion über die Ergebnisse der Leistungsüberprüfungen ein wichtiger zweiter. Mit einer Diskussion über mögliche Bedingungen beginnt der Einstieg in die Qualitätsentwicklung.

Für die Entwicklung schulübergreifender Qualitätsstandards, die im Rahmen des Modellversuchs ebenfalls angestrebt werden sollte, liefern die schulinternen Leistungskriterien und Erhebungsverfahren eine konkrete Grundlage. Die Verfahren geben die Möglichkeit zu Leistungsvergleichen unter verschiedenen Bezugssystemen und zur Entwicklung gemeinsamer Instrumente zur Qualitätssicherung.

### **9.3 Maßnahmen zur Steigerung der Sichtbarkeit, Akzeptanz und Wertschätzung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts innerhalb und außerhalb der Schule**

Unterricht gelingt nicht voraussetzungslos. Unterrichtserfolg ist auf Stütz- und Zubringerleistungen angewiesen. Wir haben im Abschnitt 7 von Stützsystemen gesprochen, zu denen der schulische Kontext selbst gehört, der hinsichtlich der akademischen Kultur und Wertschätzung des jeweiligen Fachunterrichts sehr variieren kann, dann das Elternhaus, das die schulische Arbeit in unterschiedlicher Weise unterstützen, aber auch erschweren kann, und nicht zuletzt die Bildungsnähe und Schulkultur einer Gesellschaft insgesamt, die den breiten normativen Rahmen definiert, in den das schulische Lernen und der Unterricht in spezifischen Fächern eingebettet sind. Nicht alles ist der gestaltenden Einflußnahme gleichermaßen zugänglich. Die Expertengruppe empfiehlt, sich im Rahmen des Modellversuchsprogramms auf den proximalen Kontext der Schule selbst zu

konzentrieren. Es ist nicht Anliegen der Expertengruppe, die Bildung spezifischer Schulprofile oder Schulprogramme mit mathematisch-naturwissenschaftlichem Schwerpunkt zu empfehlen. Dies mag im Einzelfall durchaus sinnvoll sein und in dem einen oder anderen Land auch mit bildungspolitischen Optionen konsistent sein. Die Expertengruppe möchte einer allgemeineren Perspektive zur Verbesserung der Visibilität und Wertschätzung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts im Rahmen eines umfassenden Konzepts einer modernen Allgemeinbildung folgen. Durch Maßnahmen im Rahmen des Modellversuchsprogramms sollen die Mathematik und Naturwissenschaften in ihrer je spezifischen Dignität auch außerhalb des Unterrichts im Schulleben *neben* den anderen Bereichen sichtbar werden.

Zur Stärkung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Elements einer Schulkultur bedarf es vor allem lokaler Phantasie und der Überzeugung, daß die Investition im außerunterrichtlichen Bereich langfristig dem Unterricht selbst durch die Stabilisierung eines wichtigen Stützsystems nützt. Das Modellversuchsprogramm sollte die Aufgabe haben, diese Phantasie anzuregen und die Unterstützung zu organisieren, die für einen erfolgreichen Anfang gelegentlich fehlt. Die Expertengruppe will deshalb für diesen Bereich keine thematischen Schwerpunkte vorschlagen, sondern nur Prinzipien der Förderung empfehlen und das Spektrum möglicher Maßnahmen umreißen. Maßnahmen im außerunterrichtlichen Bereich sollten sich an vier Prinzipien orientieren:

- 1) Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht sollte mit seinen interessantesten Vorhaben und besten Ergebnissen in der Schule insgesamt sichtbar gemacht werden. Dies ist der erste Schritt einer Belohnung von Anstrengung.
- 2) Die Gelegenheitsstruktur, sich mit Mathematik und den Naturwissenschaften einzulassen, sollte über den Unterricht hinaus verbreitet werden. Dem situierten und komplexen Lernen sind hier kaum Grenzen gesetzt. Selbstverständlich wird es nicht möglich sein, alle oder auch nur den größten Teil der Schüler einer Schule für diese Angebote zu gewinnen. Wenn es gelingt, stabile Aktivitätszentren zu bilden, ist viel erreicht.
- 3) Das aktuelle mathematisch-naturwissenschaftliche Geschehen sollte systematisch in die Schule hineingeholt werden. Dies verlangt dauerhafte Aufmerksamkeit und vorausschauende Planung.
- 4) Alle Maßnahmen sollten sich in eine langfristige Entwicklungsperspektive für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Teil der Schulkultur einfügen. Es bedarf einer konkretisierten Vision, die langfristige Planung ermöglicht und in der Ausdauer belohnt wird.

Vierorts gibt es bereits beispielhafte Ansätze der Schulentwicklung - auch im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich. Das Förderungsprogramm sollte dazu beitragen, Schulen aller Schulformen und mit unterschiedlichen Arbeitsbedingungen zu identifizieren, die in ihrer Art exzellent sein wollen. Diese Schulen sollten gefördert werden einmal, um besondere Leistungen zu honorieren, und zum anderen, um Beispiele zu gewinnen, die zeigen, wie weit die Grenzen des Möglichen in der Schule gesteckt sind.

Darüber hinaus sollten der Phantasie von Schulen, die sich am Programm beteiligen wollen, keine Grenzen gesetzt sein. Maßnahmen können von der Bildung mathematisch-naturwissenschaftlicher Kerngruppen mit besonderen thematischen Schwerpunkten, über die Intensivierung des Wettstreits innerhalb der Schule und die Honorierung von besonderen Leistungen, die verstärkte Teilnahme an Wettbewerben, die Veranschaulichung interessanter Vorhaben aus dem Unterricht, die themenbezogene Einbeziehung von Eltern in die schulische Arbeit bis hin zur Intensivierung der Zusammenarbeit von Betrieben und Hochschulen reichen. Gerade für die verstärkte Zusammenarbeit mit Betrieben und Hochschulen gibt es in einzelnen Bundesländern auch ausgezeichnete Beispiele und Anknüpfungspunkte.

#### **9.4 Stützende Entwicklungsmaßnahmen**

Fachdidaktische Entwicklungsaufgaben sind sowohl im Hinblick auf die Unterrichtsgestaltung als auch auf curriculärer Ebene erforderlich. Zur Optimierung des Unterrichts müssen Beispiele für spezifische Aufgabenstellungen verfügbar gemacht werden. So erfordert die Erarbeitungsphase Aufgaben, die unterschiedlich schwierige Lösungswege zulassen. In diesem Zusammenhang sind auch Materialien bereitzustellen, die die Lernenden veranlassen, naturwissenschaftliche Arbeitsweisen mit Verständnis anzuwenden und nicht rein mechanisch vorzugehen. Zur Einführung von neuem Stoff sind im Sinne des kumulativen Lernens Aufgaben vorzubereiten, bei deren Bearbeitung auch früher Gelerntes wiederholt bzw. das Vorverständnis der Schüler berücksichtigt wird. Auch zur Unterstützung des intelligenten Übens sind besondere Hilfestellungen nötig. Entsprechende Aufgaben ermöglichen die Anwendung des Gelernten in verschiedenen Kontexten, sie dienen außerdem der Feststellung des Wissensstandes und von Lernschwierigkeiten. Damit in Prüfungen nicht allein der neu erarbeitete Stoff erfaßt, sondern auch der Kompetenzzuwachs ermittelt werden kann, sind ebenfalls neuartige Aufgabenstellungen vonnöten. Mit ihrer Hilfe können sowohl Routine als auch neuer Stoff in Kombination mit altem sowie die Anwendung von neuem und altem Stoff zum Gegenstand der Prüfung gemacht werden. Um Aufgaben der hier beschriebenen Art verfügbar machen zu können, sind zum Teil Neuentwicklungen nötig, zum Teil kann aber auch auf vorliegende Materialien aus dem In- und Ausland zurückgegriffen werden, die in der Regel jedoch umzuarbeiten sind. Weitere Problembereiche, die die Dokumentation oder auch Neuentwicklung von Materialien erforderlich machen, sind die Mädchenförderung sowie die Kooperation unter Schülern.

Auf curriculärer Ebene erfordert die Problematik der vertikalen und der horizontalen Vernetzung besondere fachdidaktische Anstrengungen. So müssen auf der Basis von notwendigen theoretischen Arbeiten Materialien bereitgestellt werden, die den Lernenden den inneren Zusammenhang der Stoffgebiete der einzelnen Fächer deutlich machen. Aufgrund der Überschneidungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer in basalen Konzepten ist ein kohärentes Bildungsangebot für ein Fach nicht ohne horizontale Verknüpfungen mit den anderen zu entwickeln. Dabei stellt die Verwirklichung der instrumentellen Funktion der Fächer ein praktisch ungelöstes curriculares Problem dar. Wird nämlich der Zulieferfunktion (im Sinne der horizontalen Vernetzung) Rechnung getragen, so kann das zu Lasten der fachsystematischen Stringenz des Bildungsprogramms des entsprechenden Faches gehen. Zur Entschärfung dieses Problems sind curriculare Arbeiten erforderlich, auf deren Basis Materialangebote für den Unterricht zu machen sind. Weitere Materialien sind zum Zwecke der Vernetzung mit nicht mathematisch-naturwissenschaftlichen Wissensgebieten erforderlich. Sie dienen nicht zuletzt der Vermittlung von Basiswissen in sinnstiftenden Kontexten sowie der Förderung des selbstbestimmten Urteilens und verantwortlichen Handelns.

Eine besondere Herausforderung stellt die curriculare Arbeit für die Grundkurse der gymnasialen Oberstufe dar. Für keines der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer ist es bisher gelungen, eine überzeugende Grundkurskonzeption zu entwickeln, die der dreifachen Zielsetzung der Arbeit in der gymnasialen Oberstufe - vertiefte Allgemeinbildung, Wissenschaftspropädeutik und Studierfähigkeit - wirklich genügt und kumulatives Lernen über die Oberstufe hinweg sichert. Wenn auf dem Gebiet der Didaktik der Grundkurse durch das Modellversuchsprogramm Fortschritte erzielt werden, ist dies schon ein beträchtlicher Erfolg. Dafür

könnte an laufende Arbeiten in verschiedenen Bundesländern angeknüpft werden.

## **10 Vorschlag für die Organisation des Programms**

### **10.1 Grundzüge des Organisationsvorschlags**

Mit der Vorlage eines Vorschlags zur Organisation des geplanten Modellversuchsprogramms erreicht die Gutachtergruppe Grenzen ihrer Expertise. An dieser Stelle erwies sich die plurale Zusammensetzung der Expertengruppe, in der administrative Erfahrungen aus verschiedenen Ländern und Erfahrungen mit der überregionalen Organisation und Koordination von Modellversuchen vertreten sind, als besondere Stärke. Der folgende Vorschlag nutzt diese Erfahrungen und versucht, sie auf das spezifische Anliegen dieses Modellversuchsprogramms zu beziehen. Der Vorschlag der Expertengruppe versteht sich als Skizze eines Organisationsrahmens, der an verschiedenen Stellen der Konkretisierung bedarf. Dort, wo der Vorschlag konkreter wird, dient die Spezifikation vor allem der Veranschaulichung des zugrundeliegenden Gedankens, ohne den Anspruch einer optimalen oder gar einzigen Lösung zu erheben. Ziel des Organisationsvorschlags ist es, einen längerfristigen Prozeß der Sicherung und Optimierung der Qualität des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts anzuregen und zu unterstützen, der

- Unterrichten als komplexes, auf stabile und bewährte Routinen angewiesenes System auffaßt,
- auf lokalen, regionalen und überregionalen Erfahrungsaustausch angelegt ist,
- von Anfang an die Perspektive der Breitenwirkung in die Region entwickelt und
- eine Dynamik entfalten kann, die über das Ende des Modellversuchsprogramms hinaus trägt.

Die im vorangegangenen Abschnitt dargestellten thematischen Arbeitsschwerpunkte zur Sicherung der Qualität und Optimierung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts nutzen die hohe fachliche Qualifikation und die Stärken der Berufserfahrung der Lehrkräfte. Sie setzen aber gleichzeitig bei der Umsetzung der Maßnahmen auf eine sich entwickelnde Zusammenarbeit von Lehrkräften einer Schule im Rahmen von Fachgruppen und längerfristig auch auf die Abstimmung über die Einzelschule hinweg. Die Bereitschaft zur unterrichtsbezogenen Zusammenarbeit ist die eigentliche Vorleistung der Schulen, die sich am Programm beteiligen wollen. Die professionelle, d.h. erfahrungsbasierte und kollegial reflektierte Verbesserung des Unterrichts ist ein Erfolgskriterium des Programms. Deshalb stellt der Organisationsvorschlag die einzelne Pilotschule für die Entwicklung und Umsetzung der Maßnahmen in den Mittelpunkt. Gleichzeitig dienen die Pilotschulen als Kristallisationspunkte, von denen aus das Programm über eine regional oder landesweit organisierte Zusammenarbeit von Schulen in die Breite wirkt. Die Pilotschulen können Kerne für den Aufbau kleiner regionaler Netzwerke von Schulen oder Elemente eines breiteren Landesprogramms sein.

Für die Koordination und Betreuung der Zusammenarbeit und des Erfahrungsaustausches soll die existierende Infrastruktur der einzelnen Länder genutzt werden. Die dafür erforderlichen Verstärkungsmittel sind im Kostenplan eingearbeitet. Für die überregionale Abstimmung und Unterstützung des Programms sorgt die Koordinierungsstelle eines zentralen Programmträgers. Anregung, Beratung und Fortbildung sowie Informations-, Anregungs-, Arbeits- und Unterrichtsmaterial erhalten die am Programm beteiligten Lehrkräfte sowohl regional als auch überregional. Die Programmschulen sind untereinander sowie mit den Landeseinrichtungen und der überregionalen Koordinationsstelle durch ein elektronisches Kommunikationsnetz verbunden. Der Server wird zentral betrieben.

Die Initiative zur Beteiligung an dem Modellversuchsprogramm muß von den Ländern ausgehen. Sie treffen die Vorentscheidung über die Beteiligung von Schulen am Programm und bei ihnen liegt auch die Lenkung und Abstimmung der Arbeit der Programmschulen.

Im Rahmen dieser Grundkonzeption folgt der Organisationsvorschlag der Expertengruppe drei weiteren regulativen Ideen: (1) Es soll von Anfang an die Zusammenarbeit zwischen Schulen, Schulaufsicht und den Einrichtungen der Lehreraus- und -fortbildung der Länder gestützt werden. (2) Es soll für das Modellversuchsprogramm *keine* neue Infrastruktur geschaffen, sondern vorhandene Einrichtungen sollen genutzt und, soweit nötig, zeitlich befristet ergänzt oder verstärkt werden. (3) Die Personalausstattung der Koordinationsstelle soll so schlank wie möglich sein. Gleichzeitig soll für die Organisation gezielter Unterstützungsleistungen das Mittel des Outsourcing systematisch eingesetzt werden.

Die Expertengruppe regt an, eine Ausschreibung sowohl zur Gewinnung von Pilotschulen aller Schularten als auch eines Programmträgers oder eines Programmträgerverbundes durchzuführen. Bei der Auswahl der Pilotschulen, die von den Ländern vorgeschlagen werden, sollten neben den oben genannten Grundsätzen folgende Kriterien leitend sein:

- Die Schulen beschreiben möglichst in Zusammenarbeit und Abstimmung mit anderen Schulen, in jedem Fall aber in Abstimmung mit der Schulaufsicht und den Landesinstituten ihre Arbeitsvorhaben unter Bezugnahme auf die das Programm konstituierenden Module.
- Die Schulen beteiligen sich in der Regel mit mehreren Fachkräften und mehreren Klassen aus einer und/oder mehreren Jahrgangsstufen.
- Die Schulen erklären ihre Bereitschaft zur schulinternen, regionalen und überregionalen Zusammenarbeit.
- Die Schulen können sich auf eine hinreichende Akzeptanz der Teilnahme am Programm innerhalb des Kollegiums und ggf. auch der Elternschaft stützen.

Bei der Auswahl der Pilotschulen und der von ihnen vorgeschlagenen Vorhaben ist sicherzustellen, daß (a) im Förderungsprogramm insgesamt - nicht in der einzelnen Schule - möglichst alle Schwerpunkte (Module) abgedeckt werden, (b) Überregionalität gewährleistet ist, (c) eine größtmögliche Breitenwirkung in den Ländern angestrebt und vorbereitet wird und (d) eine Entwicklungsperspektive über das Ende des Modellzeitraumes hinaus entwickelt wird.

Als *Programmträger* kann sich eine Institution oder ein Trägerverbund bewerben. Voraussetzungen sind insbesondere:

- ausreichende Kontakte zu Schulen
- anerkannte fachliche Kompetenz
- Erfahrung in der Koordination überregionaler Aktivitäten
- geeignete Infrastruktur (z. B. Verwaltung, Konferenzeinrichtungen, Unterbringungsmöglichkeiten bei mehrtägigen Veranstaltungen)

Bei der Bewerbung durch einen Trägerverbund sind Arbeitsteilung und Kooperation ausführlicher zu beschreiben. Die Expertengruppe ist der Ansicht, daß ein länderübergreifender Trägerverbund die überregionale Akzeptanz des Programms stärken könnte. In diesem Fall dürften auch höhere Koordinationskosten gerechtfertigt sein.

Zur formalen Steuerung und Durchführung des Programms schlägt die Expertengruppe folgende viergeteilte

Organisationsstruktur vor:

- Lenkungsausschuß
- Koordinierungsstelle beim Programmträger
- Pilotschulen in regionaler Zusammenarbeit (länderspezifische Programme oder regionale Netzwerke)
- Wissenschaftlicher Beirat

## **10.2 Lenkungsausschuß**

Der Lenkungsausschuß ist das zentrale Steuerungsgremium des Programms. Ihm obliegt insbesondere die Beratung und Beschlußfassung über die Programmaktivitäten sowie die Prüfung der fachlichen Auswertungen der ordnungsgemäßen finanziellen Abwicklung und regelmäßige Berichterstattung in der Projektgruppe der BLK.

Der Lenkungsausschuß setzt sich zusammen aus

- je 1 Vertreter/-in der beteiligten Länder
- 1 Vertreter/-in des Bundes
- 1 Vertreter/-in der wissenschaftlichen Begleitung
- Programmkoordinator/-in der BLK-Projektgruppe
- 1 Vertreter/-in der Koordinierungsstelle

Bei Teilnahme aller 16 Bundesländer am Programm umfaßt der Lenkungsausschuß 20 Personen. Er tritt pro Jahr zu ein bis zwei Sitzungen zusammen.

Der Lenkungsausschuß bildet aus seiner Mitte einen *Arbeitsausschuß*, der die Sitzungen des Lenkungsausschusses vorbereitet und gleichzeitig als Beratungs- und Interventionsinstanz zwischen den Plenarsitzungen dient.

Der Arbeitsausschuß setzt sich zusammen aus

- 1 Vertreter/-in der beteiligten Länder
- 1 Vertreter/-in des Bundes
- 1 Vertreter/-in der wissenschaftlichen Begleitung
- Programmkoordinator/-in der BLK-Projektgruppe
- 1 Vertreter/-in der Koordinationsstelle

Die fünf Personen des Arbeitsausschusses treffen sich zu ca. vier Sitzungen pro Jahr.

## **10.3 Koordinierungsstelle**

Beim Programmträger wird eine Koordinierungsstelle eingerichtet. Sie dient

- der fachlichen Koordination, insbesondere der wissenschaftlichen Beratung und Begleitung, der Ergebnissicherung und der Erstellung der Berichte,
- als zentraler Dienstleister für Pilot- und Netzwerkschulen bei der Umsetzung der Arbeitsprogramme, der Planung und Organisation zusätzlicher Expertise, Dokumentationsleistungen und Entwicklungsarbeiten, bei der Koordination aller Gremien sowie zur Organisation und Durchführung von Tagungen,
- der Vergabe und Bewirtschaftung aller zentralen Mittel entsprechend den Entscheidungen des Lenkungsausschusses sowie der Verwendungsnachweise.

Der Programmträger und die Koordinierungsstelle werden im Rahmen der Vorgaben des Lenkungsausschusses tätig. Die Koordinierungsstelle für alle Länder wird mit einem Geschäftsführer, 4/2 wissenschaftlichen Mitarbeitern, die die beteiligten Fächer fachdidaktisch vertreten, einem Sachbearbeiter sowie 2/2 Schreibkräften ausgestattet. Bei einem Trägerverbund sollte die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter auf mindestens 5/2 erhöht werden. Die Expertengruppe hält dies für die minimale Personalausstattung. Sie ist jedoch auch der Ansicht, daß zunächst über diese Ausstattung nicht hinausgegangen werden muß, sofern die Arbeitsfähigkeit der Koordinierungsstelle durch folgende zusätzliche Voraussetzungen gewährleistet werden kann. Der Programmträger muß in die Lage versetzt werden, erfahrenes Personal für die Koordinierungsstelle zu gewinnen. Dies wird durch die befristete Einstellung von zusätzlichem Personal auf halben Stellen in der Regel nicht möglich sein. Deshalb muß der Programmträger durch die Zuweisung von Äquivalenzzuweisungen in die Lage versetzt werden, Stammpersonal der Einrichtung für das Modellversuchsprogramm zu gewinnen. Diese Flexibilität der Mittelzuweisung ist nach Ansicht der Expertengruppe von außerordentlich großer Bedeutung. Ferner muß die äußerst schmale Personalausstattung durch einen höheren Ansatz der Sachmittel für ein Outsourcing-Programm kompensiert werden, mit dem gezielte Zuarbeit als Input für die Arbeit in den Schulen eingeworben wird.

## **10.4 Pilotschulen und regionale Netzwerke**

Auf der Basis der Programmelemente des Modellversuchs können sich Schulen, die von den beteiligten Ländern vorgeschlagen werden, bewerben. Der Lenkungsausschuß wählt in Abstimmung mit den Schulverwaltungen der Länder 30 Schulen aller Schularten als Pilotschulen aus.

In den Pilotschulen finden Projektkonferenzen statt, die der Planung, dem Erfahrungsaustausch, der Supervision, der Evaluation und der Fortbildung dienen. An diesen Veranstaltungen nehmen Schulleitungen, beteiligte Lehrkräfte und Berater des Landes teil.

Jede Pilotschule ist Element und Kristallisationskern in einem regionalen oder länderspezifischen Verbund. Die Zusammenarbeit mit den Pilotschulen kann in Form von regionalen Netzwerken, zu denen jeweils 5 bis 6 Schulen gehören, organisiert sein, die Pilotschule kann aber auch Kristallisationspunkt in einem größeren länderspezifischen Programm sein. Ziel der Vernetzung, in welcher Form sie auch immer ausgestaltet wird, ist die Umsetzung der gewonnenen Ergebnisse und Erfahrungen sowie die gegenseitige Beratung und eine schulübergreifende Qualitätssicherung.

Bei 30 Pilotschulen ergibt sich ein Umfang von insgesamt 150 bis 180 Kooperationsschulen. Die Koordination und Unterstützung der Zusammenarbeit erfolgt in jedem am Programm beteiligten Land durch Netzwerkbetreuer und/oder ein Landesinstitut für Lehrerfortbildung. Etwa vier Konferenzen oder Fortbildungsveranstaltungen pro Jahr sind vorgesehen.

## **10.5 Wissenschaftlicher Beirat**

Die Expertengruppe empfiehlt, einen aus 5 bis 6 Personen bestehenden wissenschaftlichen Beirat einzurichten. Dieser Beirat berät den Lenkungsausschuß, den Programmträger und die Koordinierungsstelle. Nach Maßgabe des Lenkungsausschusses vergibt er Forschungsaufträge zur Evaluation von Programmelementen. Der wissenschaftliche Beirat soll auch Forschungsvorhaben von längerfristiger wissenschaftlicher Bedeutung anregen, die von anderen Einrichtungen der Forschungsförderung finanziert werden.

Nach Maßgabe des Lenkungsausschusses kann der wissenschaftliche Beirat auch mit der Durchführung von Supervisionsvorhaben beauftragt werden.