

Der Weg zu einer Nachhaltigkeitskultur  
in der Schule  
Zwei empirische Studien

Laura Martignon, Winfried Sander



EUROPÄISCHE AKADEMIE

zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen  
Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH

Direktor: Professor Dr. Dr. h. c. Carl Friedrich Gethmann

GRAUE REIHE · NR. 48 · MÄRZ 2009

# Der Weg zu einer Nachhaltigkeitskultur in der Schule

## Zwei empirische Studien

**Laura Martignon, Winfried Sander**

**Publisher**



# EUROPÄISCHE AKADEMIE

zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen  
Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH

Direktor: Professor Dr. Dr. h. c. Carl Friedrich Gethmann

Die Schriften der „Graue Reihe“ umfassen aktuelle Materialien und Dokumentationen, die von den Wissenschaftlern der Europäischen Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH laufend erarbeitet werden. Die Publikationen der „Graue Reihe“ werden als Manuskripte gedruckt und erscheinen in loser Folge im Selbstverlag der Europäischen Akademie. Sie können über die Europäische Akademie auf schriftliche Anfrage bezogen und auf der Homepage der Europäischen Akademie ([www.ea-aw.de](http://www.ea-aw.de)) heruntergeladen werden.

## **Europäische Akademie**

zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen  
Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH

Wilhelmstr. 56, 53474 Bad Neuenahr-Ahrweiler  
Tel. +49 (0) 26 41 973-300, Fax +49 (0) 26 41 973-320  
e-mail: [europaeische.akademie@ea-aw.de](mailto:europaeische.akademie@ea-aw.de)  
Homepage: [www.ea-aw.de](http://www.ea-aw.de)

## **Direktor**

Professor Dr. Dr. h.c. Carl Friedrich Gethmann (V.i.S.d.P.)

## **ISSN**

1435-487 X

## **Redaktion**

Friederike Wütscher

## **Satz und Druck**

Köllen Druck+Verlag, Bonn+Berlin, [www.koellen.de](http://www.koellen.de)

## Vorwort

Die Bemühungen um eine Implementierung oder Intensivierung der Bildung für nachhaltige Entwicklung stehen immer auch unter der Herausforderung, dass jede Empfehlung zur Anpassung der schulischen Angebote an neue Erfordernisse nicht nur an die etablierten Lehrpläne anschließbar sein muss, sondern auch in Konkurrenz zu anderen, aus anderen Gründen erhobenen Reform-Empfehlungen steht.

Dieser Herausforderung war sich auch die interdisziplinäre Arbeitsgruppe, die ihre Empfehlungen im Rahmen des von der Europäischen Akademie Bad Neuenahr-Ahrweiler betriebenen Projekts „Verantwortung für zukünftige Generationen. Schulische Umsetzung von Nachhaltigkeit“ (2006–2008) entwickelt hat, bewusst. Die Empfehlungen, die schließlich in der Studie „Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit. Grundlagen und schulpraktische Konsequenzen“ (Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 2008) systematisch entwickelt wurden, sind daher auch ausdrücklich unter der Vorgabe ihrer praktischen Umsetzbarkeit formuliert. Dies setzt die Kenntnis der Rahmenbedingungen, unter denen die Umsetzung erfolgen muss, voraus.

Um ein klareres Bild dieser Rahmenbedingungen zu gewinnen, wurde u.a. von zwei Mitgliedern der Projektgruppe, Professor Dr. Laura Martignon (Ludwigsburg) und StD Winfried Sander (Adenau), eine explorative Befragung schulnaher Entscheidungsträger durchgeführt. Ferner hat Frau Professor Martignon eine Schulintervention unternommen, um zu erheben, wie sich Schülerinnen und Schüler mit medial vermittelten Daten zum Klimawandel und zu Fragen der Nachhaltigkeit auseinandersetzen. Die Ergebnisse sind im vorliegenden Band der „Grauen Reihe“ zusammengetragen.

Herrn Sander und Frau Professor Martignon gilt unser Dank für die Mühen, die mit den Vorbereitungen und der Durchführung dieser Aufgaben verbunden sind, insbesondere aber Frau Professor Martignon für die Niederschrift der Ergebnisse. Dank gebührt ferner auch dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, das im Rahmen des Programms „Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor

Klimawirkungen“ das Projekt der Europäischen Akademie und damit auch diesen Band der Grauen Reihe erst möglich gemacht hat. Frau Dr. F. Mosthaf hat einige Passagen aus dem Englischen übersetzt. Frau Professor Dr. A. Thyen sind wir für nützliche Kommentare zu Dank verpflichtet.

Bad Neuenahr-Ahrweiler, im März 2009

*Georg Kamp*

*(Projektkoordinator „Verantwortung für zukünftige Generationen“)*

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>I Die Interviews mit Mitgliedern von Schulaufsichten</b> .....	<b>9</b>
Fragebogen zur schulischen Umsetzung von Nachhaltigkeit (Projekt „Nachhaltigkeit für zukünftige Generationen. Schulische Umsetzung von Nachhaltigkeit“) .....	13
<b>II Die Schulinterventionen</b> .....	<b>17</b>
1 Warum stochastische Kompetenzen für den Umgang mit Risiken und Unsicherheit heute unentbehrlich sind .....	18
2 Der Umgang mit Unsicherheit im Kontext der Wetterdiagnostik.....	20
2.1 „Wetten um das Wetter“ .....	20
2.2 Die Mathematik des Wetters .....	23
2.3 Die Hierarchie der Klimamodelle .....	25
2.4 Klimamodell-Ensembles und die Notwendigkeit stochastischer Parametrisierungen .....	27
2.5 Die Erstellung probabilistischer Vorhersagen .....	29
3 Stochastik in der Schule .....	31
3.1 Die Entwicklung von elementaren mathematischen Kompetenzen für die Behandlung von Umweltfragen bereits in der Grundschule .....	33
3.2 Eine Interventionsstudie zur Evaluation des schulischen Interesses an der „hilfreichen Mathematik“ im Umgang mit Umweltdaten .....	35
3.3 Kurze Beschreibung der Phasen .....	38
3.4 Die unbequemen Fehler der unbequemen Wahrheit in den Augen der Schülerinnen und Schüler .....	39

3.5	Projektarbeit zur Entwicklung mathematischer Schulkompetenzen für die Behandlung von Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen .....	40
3.6	Reaktionen der Schülerinnen und Schüler .....	45
3.7	Kommentare und Zusammenfassung .....	49
<b>Referenzen .....</b>		<b>53</b>

# Einleitung

Parallel zu dem Projekt „Verantwortung für zukünftige Generationen. Schulische Umsetzung von Nachhaltigkeit“ der Europäischen Akademie Ahrweiler, das zwischen Juni 2006 und September 2008 realisiert wurde, haben zwei Projektgruppenmitglieder, Winfried Sander und Laura Martignon, zwei an das Projekt gebundene empirische Aufgaben geplant und durchgeführt<sup>1</sup>, und zwar im direkten Kontakt mit der schulischen Arbeitswelt. Beide Aufgaben hatten das Ziel, die schulische Realität im Bezug auf eine entstehende Kultur der Nachhaltigkeit zu untersuchen. Eine solche Kultur, so war die gemeinsame Einstellung, entsteht als Kristallisation vieler Veränderungen an den verschiedenen Bestandteilen, die Schule ausmachen. Sie resultiert in einer neuen Haltung, für die manche Bedürfnisse, die früher vielleicht als überflüssig hätten angesehen werden können, inzwischen als selbstverständlich gelten. In den Kontext einer Nachhaltigkeitskultur gehören sowohl die Vertrautheit mit der Geschichte ihrer Entwicklung von Seiten der schulischen Entscheidungsträger als auch die Vertrautheit mit den Instrumenten für die Verarbeitung der innerhalb dieser neuen Kultur entstehenden Fragen von Seiten der Lehrpersonen, die diese Vertrautheit der Schülerschaft wiederum vermitteln sollen.

Eine der behandelten Aufgaben befasste sich mit dem ersten Aspekt, also mit der Vertrautheit von schulischen Entscheidungsträgern mit der Geschichte, aber auch mit der Gegenwart der Nachhaltigkeitsdiskussion, mit der Problematik einer nachhaltigen Entwicklung und mit den aktuellen, groß angelegten Initiativen der Weltorganisation zur Unterstützung der dazugehörigen Prozesse. Sie bestand aus der Planung und Realisierung von Interviews mit Referenten und Mitgliedern der Schulaufsicht, also Mitarbeitern der für Bildung zuständigen Ministerien, in zwei Bundesländern, nämlich in Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg. Die Interviews wurden so konzipiert, dass sie eine Einschätzung darüber ermöglichen, in welchem Maße Schulreferenten mit dem Themengebiet der Nachhaltigkeit vertraut sind und welche Anstrengungen von Seite der ministeriellen Institutionen unternommen werden, um dieses Themengebiet als Teil der tatsächlich implementierten Komponenten der Curricula zu fixieren.

---

<sup>1</sup> Der vorliegende Band stellt das Ergebnis der beiden empirischen Studien dar, die von Winfried Sander und Laura Martignon erarbeitet und von Martignon verschriftlicht wurden.

Die zweite Aufgabe befasste sich mit der Frage, wie Schülerinnen und Schüler sich mit Daten der Medien zu Umweltfragen und Fragen von Nachhaltigkeit auseinandersetzen. Die Beantwortung dieser Frage wurde an der Präsentation von zwei sehr populären Filmen gekoppelt, welche auf die Nützlichkeit einer „Statistical Literacy“ zur aufgeklärten Behandlung der aufgeworfenen Fragen explizit hindeuteten. Die Motivation hinter dieser Aufgabe war die Vermittlung eines „mathematischen Werkzeugkastens“, den Schülerinnen und Schüler heute benötigen, um sinnvoll mit Daten über Umwelt und nachhaltige Entwicklung umzugehen. Die Daten, die von den Medien über solche Themen zur Verfügung gestellt werden, werden immer öfter in subtilen statistischen Formaten präsentiert. Ihre Verarbeitung verlangt eine mathematische Kompetenz, die sich erst seit wenigen Jahren als Teil der schulischen Bildungsstandards auch in Deutschland etabliert. Die zweite Aufgabe bestand somit aus der Kombination einer qualitativen Auswertung der Vertrautheit von Schülern mit einem solchen Werkzeugkasten einerseits und der en-aktiven Motivierung (im Sinne von Bruner, 1960), solche Kompetenzen durch die Auseinandersetzung mit Umwelt- und Nachhaltigkeitsproblemen zu erwerben.

Wir stellen die empirisch erarbeiteten Aufgaben in zwei in sich geschlossenen und voneinander abgegrenzten Teilen vor.

## Teil I: Die Interviews mit Mitgliedern von Schulaufsichten

Die erste Studie entstand aus der etwas pessimistischen Haltung, dass Schulaufsichten die Umweltfragen durchaus als schulischen Stoff etabliert sehen wollen, sich dennoch wenig mit Fragen der schulischen Umsetzung von Nachhaltigkeitskonzepten konkret auseinandersetzen. Es handelte sich um eine Befragung, bei der die Adressaten im Wesentlichen Mitarbeiter der für Lehrerbildung zuständigen Ministerien der Bundesländer Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz waren. Sie gehörten entweder zur Schulaufsicht oder waren Leiter von Ausbildungsseminaren der verschiedenen Schularten. Das Thema der Befragung waren die verschiedenen Komponenten der Nachhaltigkeitskultur und das Ziel war die Evaluierung der Einstellung der Befragten dazu.

Die Befragung verlief anhand eigens konzipierter Fragebögen, die im Voraus an die Adressaten versandt worden waren. Die Fragebögen dienten zur Strukturierung von Interviews, die meist im Format eines telefonischen oder persönlichen Gesprächs abliefen. Von den insgesamt 22 befragten Personen wurden die Antworten gesammelt und auf elementare Art ausgewertet, nämlich durch einfache Auszählung der zum Teil skalierten Antworten. Befragt wurden insgesamt 16 Personen aus dem gymnasialen Bereich und sechs aus dem Bereich Realschule: Zehn Schulaufsichtsbeamte, acht Fachberater und vier Referentinnen, von denen eine einzige Referentin sich speziell mit Nachhaltigkeit befasst (im Ministerium für Bildung in Rheinland-Pfalz).

Der Fragebogen beinhaltete einfache Fragen vom Typ:

„Was bedeutet für Sie der Begriff ‚Bildung für eine nachhaltige Entwicklung?‘“  
und

„Sind Sie mit dem Begriff ‚Agenda 21‘ vertraut?“

Dabei war es stets die Intention, die befragte Person diese Fragen im offenen Gespräch beantworten zu lassen, um sie in ihren freien Assoziationen zu beobachten. Dafür war beispielsweise auch die Frage typisch:

„Welche der nachstehenden Themenfelder bringen Sie mit dem Begriff ‚Nachhaltigkeit‘ in Verbindung?“

1. Die Bekämpfung der Armut/Ungerechtigkeit in den Entwicklungsländern.

2. Maßnahmen gegen die negativen Folgen des globalen Klimawandels.
3. Den Kampf gegen die Verschwendung bzw. Plünderung von Ressourcen auf der Erde.
4. Den Erhalt der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit eines Landes.“

Es ging dabei nicht nur um die Auswahl einer der Aussagen, sondern um die Verarbeitung der eigenen Einstellung zu der ausgewählten Aussage.

Die Befragten sollten auch erläutern, wie hoch sie die Notwendigkeit einschätzen, Bildung für eine nachhaltige Entwicklung als Unterrichtsthema zu etablieren. Sie sollten darüber hinaus ihre Einschätzung der Meinungen von Lehrerinnen und Lehrern zum Thema Nachhaltigkeit wiedergeben und das Interessenpotential von Schülerinnen und Schülern für das Thema am Abschluss der Sekundarstufe evaluieren. Die Frage nach der tatsächlichen Umsetzung von Nachhaltigkeitsthemen im Unterricht wurde in Teilfragen gegliedert, zu denen auch diejenigen nach dem für die Behandlung des Themenkomplexes adäquaten Fach oder Fächerverbund gehörten. Die Fächerverbunde aus Geographie (bzw. Erdkunde), Wirtschaft und Naturwissenschaften wurden von den meisten Befragten als für die Behandlung von Nachhaltigkeitskonzepten geeignet angesehen. Dass die Mathematik in diesen Fächerverbänden nicht vorhanden ist und dass sie selten von den Befragten genannt wurde, sah Martignon als sehr problematisch. Es ergab sich in manchen der von ihr geführten Gesprächen eine spannende Diskussion über den Werkzeugkasten der mathematischen Methoden, die heute von den Mathematiklehrerinnen und -lehrern vermittelt werden sollten, um Schülerinnen und Schülern die Behandlung typischer Fragen von Umwelt und Nachhaltigkeit zu ermöglichen. Manche der Befragten stimmten zu, dass die für das Fach Geographie typische Behandlung des Wachstums von Stadtpopulationen ohne eine Modellierung auf der Grundlage von Populationsgleichungen wenig Sinn macht. Manche der Befragten bemängelten regelrecht, dass die Vermittlung von Statistik und explorativer Datenanalyse nicht als integraler Bestandteil der Fächerverbände anzusehen ist, in denen die Thematik von Umwelt und Nachhaltigkeit angesiedelt wird (hierzu wurde die zweite und hier im Teil II beschriebene Aufgabe konzipiert und durchgeführt). Dennoch wurde die Aussage

„Der Begriff der Nachhaltigkeit (im Sinne der Agenda 21) ist heute in vielen Lehrplänen vertreten. Die Umsetzung im Unterricht erscheint nach Untersuchungen eher dürftig.“

von den meisten Befragten in dem Sinne beantwortet, dass sie eine Notwendigkeit zur Veränderung des bisherigen Ansatzes zur fächerübergreifenden Integration der Leitidee Nachhaltigkeit in die bestehende Fächerlandschaft nicht sehen.

Das Interview endete mit Fragen über das persönliche Engagement und die persönliche Anteilnahme an der gegenwärtigen (alarmierenden) Umweltdiskussion. Einige der Befragten berichteten über persönliche Erlebnisse, über politische Haltungen und Hoffnungen, über Lektüren, über Reisen und sogar über alltägliche Sorgen wie die Mülltrennung. Leider waren diese „engagierten“ Befragten eher die Minderheit. Die meisten schienen von ihrer Arbeitsroutine so belastet, dass sie kaum noch Zeit haben, sich mit Umwelt- und Nachhaltigkeitsdebatten auseinanderzusetzen.

Die kleine Stichprobe erlaubt keine allzu generellen Aussagen. Einige interessante Beobachtungen dürfen dennoch vor allem über die Unterschiede in den Haltungen der Referenten und Schulaufsichtsräte in den beiden Ländern, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg, notiert werden. Wenn man die Antworten auf die Kernfragen betrachtet, wird zum Beispiel klar, dass die Befragten über die Agenda 21 informiert sind; auffällig war die Betonung einiger der Referenten aus Baden-Württemberg, dass auch Religionslehrer/Innen in ihrem Unterricht Themen der Nachhaltigkeit und der Gerechtigkeit in Hinblick auf die Umweltproblematik behandeln sollten. Dagegen stimmte die Mehrheit der befragten Personen in Rheinland-Pfalz in der Auffassung überein, dass der Fächerverbund GWG (Geographie, Wirtschaft und Gemeinschaftskunde) am Gymnasium und EWG (Erdkunde, Wirtschaft und Gemeinschaftskunde) an der Realschule die Elemente der Nachhaltigkeitslehre integrieren sollte. Auch der Ethikunterricht wird von einigen der Befragten für die Behandlung von Nachhaltigkeitsthemen als geeignet angesehen: Dort sollten, meinten zwei Referentinnen aus Baden-Württemberg, Situationen und Probleme nicht allein aus dem unmittelbaren Erfahrungsbereich der Schüler im Alltag thematisiert werden, sondern darüber hinaus auch Fragen der globalen Gerechtigkeit mit schülergerechten Berichten über die Abkommen und Regelungen zur Kontrolle der globalen Erderwärmung und nachhaltiger Entwicklung.

Die Interviews haben die pessimistische Haltung, die sie motivierte, nicht ganz bestätigt, weil der Enthusiasmus von Seiten einiger der Befragten als sehr groß evaluiert werden kann. Nimmt man diese enthusiastischen Befragten ernst, so könnte man meinen, dass es nicht am Willen scheitert, eine Nachhaltigkeitskultur wenigstens in

einigen Schulen zu gestalten und zu pflegen, sondern eher an konkreten Empfehlungen und Modellen.

Wir präsentieren im Folgenden den Fragebogen mit den zusammengefassten Resultaten der Beantwortungen.



# EUROPÄISCHE AKADEMIE

zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen  
Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH

Direktor: Professor Dr. Dr.h.c. Carl Friedrich Gethmann

## **Projekt: Verantwortung für zukünftige Generationen. Schulische Umsetzung von Nachhaltigkeit**

Fragebogen zur schulischen Umsetzung von Nachhaltigkeit

Adressaten: Mitglieder der Schulaufsicht in den Ländern

Die Projektergebnisse sind adressiert an

- Bildungspolitik auf Länder- und Bundesebene,
- Träger für die Aus- und Weiterbildung der Lehrenden,
- einschlägige Berufsgruppen und -verbände

(Mitarbeiter des Ministeriums, der Schulaufsicht, der Lehrerseminare der verschiedenen Schularten, exemplarisch an zwei bis drei Bundesländern (RLP, BW))

Die Nutzung der Empfehlungen soll Schulen eine zukunftsorientierte Profilbildung ermöglichen.

- Was bedeutet für Sie der Begriff „Bildung für eine nachhaltige Entwicklung“?

- Sind Sie mit dem Begriff „Agenda 21“ vertraut?

- |  |        |
|--|--------|
| <input type="radio"/> Ja, sehr gut     | 2 Mal  |
| <input type="radio"/> Ja, gut          | 19 Mal |
| <input type="radio"/> Nein, eher wenig | 1 Mal  |
| <input type="radio"/> Nein, gar nicht  | 0 Mal  |

- Welche der nachstehenden Themenfelder bringen Sie mit dem Begriff „Nachhaltigkeit“ in Verbindung?

- Die Bekämpfung der Armut/Ungerechtigkeit in den Entwicklungsländern.

- Maßnahmen gegen die negativen Folgen des globalen Klimawandels.
- Den Kampf gegen die Verschwendung bzw. Plünderung von Ressourcen auf der Erde.
- Den Erhalt der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit eines Landes.  
Frage nach Reihenfolge: immer am Ende der Skala: „Erhalt der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit eines Landes“, nur 1 Mal Klimawandel an der Spitze, Ausgeglichenheit zwischen „Ungerechtigkeit“ und „Ressourcen“.

- Wie hoch schätzen Sie persönlich die Notwendigkeit ein, Bildung für eine nachhaltige Entwicklung zum Unterrichtsthema zu machen?

- Sehr wichtig 8 Mal
- Wichtig 14 Mal
- Weniger wichtig 0 Mal
- Unwichtig 0 Mal

- Wie wichtig schätzen nach Ihrer Auffassung Lehrerinnen und Lehrer ganz persönlich die Frage der Nachhaltigkeit ein?

- Sehr wichtig 3 Mal
- Wichtig 17 Mal
- Weniger wichtig 2 Mal
- Unwichtig 0 Mal

- Wie hoch schätzen nach Ihrer Auffassung Schülerinnen und Schüler am Abschluss der Sekundarstufe I die Frage der Nachhaltigkeit ein?

*Im Interesse*

- Sehr hoch 9 Mal
- Hoch 11 Mal
- Niedrig 1 Mal
- Sehr niedrig 1 Mal

*In der Werthaltung*

- Sehr wichtig 2 Mal
- Wichtig 18 Mal
- Weniger wichtig 1 Mal

- Unwichtig 1 Mal
- Wird Ihrer Meinung nach die Leitidee der Nachhaltigkeit hinreichend in der Schule umgesetzt?
- Ja 0 Mal
- Nein 22 Mal
- In welchem Fach/in welchen Fächern bzw. in welchem Fächerverbund siedeln Sie den Themenkomplex Nachhaltigkeit an?
- NW und Sozialwissenschaften in der Reihenfolge der Nennung gleich (sechs Mal), wobei vier Mal EK bei Sozialwissenschaften zunächst genannt wird; zudem Ethik (zwei Mal), Religion (Zwei Mal) und alle Fächer (ein Mal).
- Ist bei Ihren bisherigen Schulbesuchen der Themenkomplex Nachhaltigkeit Gegenstand des Unterrichtsgeschehens gewesen?
- Ja, sehr häufig 0 Mal
- Ja, manchmal 8 Mal
- Eher selten 8 Mal
- Nein, nie 6 Mal
- Haben Sie – zum Beispiel bei Ihren Auswahlgesprächen zu Funktionsstellen – die Leitidee der Nachhaltigkeit selbst thematisiert?
- Ja, generell 7Mal
- Ja, aber nur bei bestimmten Fächern 8 Mal
- In welchen? EK/Ph/NW
- Nein 7 Mal
- Der Begriff der Nachhaltigkeit (im Sinne der Agenda 21) ist heute in vielen Lehrplänen vertreten. Die Umsetzung im Unterricht erscheint nach Untersuchungen eher dürftig.
- Eine Notwendigkeit zur Veränderung des bisherigen Ansatzes zur fächerübergreifenden Integration der Leitidee Nachhaltigkeit in die bestehende Fächerlandschaft sehe ich aber nicht.

16 Mal

- Eine Neuorientierung der Fachlehrpläne mit konkreten Umsetzungsvorschlägen zum Themenkomplex Nachhaltigkeit halte ich für notwendig.

6 Mal

- In welchen Fächern?

NW: 8 Mal

SOWI: 8 Mal

Religion: 6 Mal

- Können Sie sich vorstellen, mit Ihren Kolleginnen und Kollegen in der Schulaufsicht die Umsetzung der Nachhaltigkeit im Unterricht zum Thema einer Dienstbesprechung zu machen?

- Ja 18 Mal

- Nein 4 Mal

Begründungen:

- Wir erleben im Augenblick eine starke Thematisierung der angesprochenen Fragen, die Besorgnis über die Zukunft der Welt nimmt zu. (offene Antwort)
- Wie erleben Sie diese Zeit? Wie sehen Sie die Zukunft der Welt? Sind Sie eher optimistisch/pessimistisch? Begründungen? (offene Antwort)
- Haben Sie Anmerkungen zum Thema Nachhaltigkeit im Unterricht, die im Fragebogen keine Berücksichtigung fanden? (offene Antwort)

Häufig bei den offenen Antworten: Verbindung zur Politik findet im Fragebogen keine Berücksichtigung.

## Teil II: Die Schulinterventionen

Die zweite Aufgabe war streng mit der ersten gekoppelt, denn sie befasst sich mit dem mathematischen Werkzeugkasten für die aufgeklärte Behandlung von Themen der Umwelt und Nachhaltigkeit. Sie entstand als Reaktion auf die Erscheinung des Filmes *Eine unbequeme Wahrheit* von Al Gore und Davis Guggenheim: Es handelte sich um Schulinterventionen, bei denen die Einführung (oder Wiederholung) von stochastischen Konzepten für die Bestimmung von Wetterprognosen und von elementaren Methoden der Explorativen Datenanalyse (EDA) für die Nachhaltigkeitsdebatte durch die Diskussion über diesen und einen anderen, im gewissen Sinne dazu komplementären Film, nämlich *Jurassic Park* von Spielberg, motiviert wurde.

Die folgenden Ausführungen seien also dem Film gewidmet, auf dem die hier beschriebene Intervention im Wesentlichen basiert – Al Gore erhielt für seine Bemühungen, mit dem Film *Eine unbequeme Wahrheit* das Wissen über den vom Menschen verursachten Klimawandel zu verbreiten und Grundlagen für Gegenmaßnahmen zu schaffen, den Friedensnobelpreis des Jahres 2007.

Im Herbst 2006 wurden in acht zehnten Klassen diese zwei Filme gezeigt, also „*Jurassic Park*“ nach dem gleichnamigen Buch von Michael Crichton, und „*Eine unbequeme Wahrheit*“, in dem die ökologische Botschaft des amerikanischen Politikers und Aktivisten Al Gore präsentiert wird. Im Anschluss an die Filmvorführungen wurde die Kontroverse zwischen Crichton und Gore kurz beschrieben und es folgte eine angeregte Diskussion unter den Schülern, die sich unter anderem auch um die Frage der „Glaubwürdigkeit“ der Aussagen in „*Eine unbequeme Wahrheit*“ drehte. Typisch für die Diskussion waren die Fragen „Ist es korrekt, den Hurrikan Katrina als eine Konsequenz der globalen Erderwärmung zu betrachten?“, oder auch „Ist es korrekt zu behaupten, dass die Eisbären vom Aussterben bedroht sind, nur weil drei Eisbären wegen der Gletscherschmelze ertrunken sind?“.

Der didaktische Wert beider Filme ist sehr hoch, da sie ausführlich die Themen des Aussterbens von Gattungen (dem mathematischen Themengebiet der Extinktionsgleichungen zugehörend) einerseits und der globalen Erderwärmung (der Explorativen Datenanalyse und dem Bayesianischen Schlussfolgern in der Wetterdiagnostik zugehörend) andererseits behandeln. Besonders in *Eine unbequeme Wahrheit* ist die Intention des Filmes stets eine didaktische. Es handelt sich um einen ausgedehnten

Vortrag, der durch eindrucksvolle Dokumentarfilme und statistische Darstellungen angereichert ist. Die Informationsformate, in denen quantitative Aussagen präsentiert werden, sind transparent und für Schülerinnen und Schüler gut verständlich. Der Film vermittelt jedoch einige statistisch nicht haltbare Botschaften, was den Schülerinnen und Schülern deutlich gemacht werden musste. Motiviert durch die Diskussionen wurden diverse mathematische Methoden zur Explorativen Datenanalyse und zum Umgang mit Unsicherheit wiederholt bzw. eingeführt. Wir sahen es als unsere Aufgabe an, den Schülerinnen und Schülern die Notwendigkeit zu verdeutlichen, die Aussagen des Films auf ihre probabilistische Richtigkeit zu überprüfen. Die Schülerinnen und Schüler arbeiteten anschließend an Projekten, bei denen ihre Fähigkeit getestet wurde, mit Umweltdaten (meistens aus Quellen des Internets oder künstlich konstruiert) sinnvoll umzugehen. Im Folgenden wollen wir als erstes die Notwendigkeit der Einführung von stochastischen Methoden und Methoden der Explorativen Datenanalyse erläutern. Obschon solche mathematische Disziplinen im schulischen Bereich bislang in Deutschland leider sehr stiefmütterlich behandelt wurden, ist es heute klar, dass sie mathematische Kompetenzen vermitteln, die für das moderne Leben unentbehrlich sind.

Es sei hier auch daran erinnert, dass die mathematischen Aufgaben der PISA Studien in vier Bereichen mit gleich vielen Items (jeweils 25%) aufgeteilt waren, von denen einer „Unsicherheit“ genannt wurde und aus stochastischen Aufgaben bestand. In Deutschland war dieser Bereich bei weitem der schwächste und trug dazu bei, die allgemeinen Durchschnittswerte zu senken (PISA Konsortium, 2004).

## **1 Warum stochastische Kompetenzen für den Umgang mit Risiken und Unsicherheit heute unentbehrlich sind**

Um das Jahr 1814 notierte Pierre Simon Marquis de Laplace, die Wahrscheinlichkeitsrechnung sei nichts anderes als der Kalkül des Verstandes (i.e., „sense commun“) für den aufgeklärten Menschen<sup>2</sup>. Der Verstand oder Gemeinsinn des aufgeklärten Menschen habe eine eigene Mathematik, meinte Laplace, so wie die „Philo-

<sup>2</sup> „Le calcul des probabilités n'est que le calcul du sense commun de l'homme éclairé“ (Laplace, 1814). Der aus dem lateinischen „sensus communis“ abgeleitete Begriff „Gemeinsinn“ (frz. sense commun, engl. common sense) hat sich im Deutschen im Laufe der Geschichte in zwei Typen des Urteilens aufgeteilt: Der eine Typ ist als „gesunder Menschenverstand“ faktisches und politisches Instrument, ein zweiter ist auf die allgemeine Urteilskraft für Handeln ganz allgemein, das sich auf Gemeinschaft bezieht, gerichtet (vgl. auch Hannah Arendt, Das Urteilen, 1985).

sophia Naturalis“ – die Physik – in der Analysis (Differential- und Integralrechnung) ihre Mathematik findet.

Innerhalb der mathematischen Tradition des 18. Jahrhunderts war die Mathematisierung des Umgangs mit Unsicherheit revolutionär. Die mathematische Denkweise war bis dahin von der strengen aristotelischen Logik regiert worden. Platon hatte, bereits mehr als zwei Jahrtausende vor der Aufklärung, die Welt in zwei Reiche aufgeteilt: einerseits die himmlische Welt der unveränderlichen Ordnung des wahrhaft Seienden, der Ideen, und andererseits die irdische Welt der veränderlichen Erscheinungen und der Unsicherheit. Theologen und Mathematiker hatten ihr Denken in der Welt der unveränderlichen Ordnung angesiedelt. Sie hatten damit bewusst die Unsicherheit der alltäglichen Realität ignoriert. Es handelte sich bei ihrem Bestreben um eine Suche nach der absoluten Wahrheit, die sowohl in der Mathematik als auch in der Theologie als unumstößlich gelten sollte. Doch die Zeit der Reformation und Gegenreformation – zugleich die Zeit der Einführung sehr präziser Messinstrumente in den Naturwissenschaften – hatte eine Revolution der mentalen Mechanismen des Schlussfolgerns bewirkt, und somit der Strukturierung des Denkens. Allmählich setzte sich ein bescheideneres Ideal durch. Man fand sich mit der Unerreichbarkeit vollständiger Gewissheit ab, hielt aber daran fest, dass das verfügbare Maß an Wissen dazu ausreiche, vernünftige Schlüsse zu ziehen, genauer gesagt „vernünftig zu wetten“.

War das Instrument mentalen Schlussfolgerns vor der Aufklärung noch die Logik gewesen, so entwickelte sich für das Schlussfolgern unter unsicheren Bedingungen ein neuer Kalkül, nämlich der Kalkül von Zufall und Wahrscheinlichkeit. Seit der Aufklärung wurde die Mathematisierung des richtigen Umgangs mit Unsicherheit als ein emanzipatorisches Werkzeug betrachtet. An der Rolle der Mathematik hat sich in dieser Hinsicht bis heute nichts geändert: Tatsächlich brauchen die Bürgerinnen und Bürger der modernen Welt mehr denn je ein Grundinstrumentarium jener Mathematik, die unsere Entscheidungen unter unsicheren Verhältnissen unterstützt. Wir bewegen uns in einem komplexen Dschungel von Daten und Statistiken, die für jede unserer Entscheidungen relevant sein könnten. Und wir stehen ständig vor Entscheidungen: Im Beruf, bei der Steuererklärung, und, natürlich, beim Einschätzen von kollektiven Risiken. Im Kleinen, wenn wir entscheiden, ob wir hier oder dort einkaufen; im Großen, an der Wahlurne. In der Informationsflut, mit der wir oft konfrontiert werden, wenn wir vor Entscheidungen stehen, finden wir häufig ein aus der

Statistik stammendes Vokabular vor. Begriffe wie Prozent, Zinsen, Durchschnitt, Mittelwert, Abweichung, Verteilung und Varianz sollten mündigen Bürgerinnen und Bürgern vertraut sein, nicht zuletzt auch deshalb, weil sie Statistiken mit einer gesunden Skepsis begegnen können sollten. Denn bekanntlich (Krämer, 2003) kann man auch mit Statistiken „lügen“. Vor solchen Lügen, die auf falschen Statistiken basieren, kann sich wiederum nur derjenige retten, der diese Statistiken durchschaut. Hier muss die brisante Diskussion über Umwelt und nachhaltige Entwicklung genannt werden: Auf welche Aussagen von Presseartikeln oder Dokumentarfilmen über die globale Erderwärmung und ihre Konsequenzen können wir uns verlassen? Unsere Kompetenz, mit Daten und Schlussfolgerungen daraus umgehen zu können, wird heutzutage in ganz verschiedenen Bereichen ständig auf die Probe gestellt: Vom medizinischen Test zur DNA-Analyse, über Konsumentenanalysen zur Interpretation von Kennzahlen aus Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft. Zur Mündigkeit der Bürger und zu ihrer wahren Emanzipation von autoritären und ideologischen Dogmen sowie von gezielt produzierten Schockszenarien gehört heute die Fähigkeit, kritisch und kompetent Urteile zu fällen und Entscheidungen zu treffen. Ihre Teilnahme am öffentlichen Leben verlangt demnach eine Grundkompetenz im Umgang mit statistischen und wahrscheinlichkeitstheoretischen Aussagen. Das Grundwerkzeug für die Analyse von Entscheidungssituationen liefert uns die Stochastik<sup>3</sup>.

## 2 Der Umgang mit Unsicherheit im Kontext der Wetterdiagnostik

### 2.1 „Wetten um das Wetter“

„Das Wetter wird extremer“ sagt Daniela Jakob vom Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg, Chefredakteurin der im April 2006 vom Umweltbundesamt vorgelegten Studie mit dem Titel „Regionale Klimasimulationen für Deutschland, Österreich und die Schweiz“ (2006). Der von ihr gewählte Komparativ ist vorsichtig, aber präzise. Was sich am Wetter verändert hat, kann man auch so beschreiben: Die Varianz einiger wichtiger Parameter, die Wettermerkmale charakterisieren, ist größer geworden. Es handelt sich also um eine Feststellung über die Varianz des Wetters, ausgedrückt durch eine statistische Aussage. Die Studie des Hamburger Instituts, die die wissenschaftliche Grundlage für diese Aussage dar-

<sup>3</sup> Stochastik ist der moderne Name der Vereinigung zweier Disziplinen, nämlich der Statistik und der Wahrscheinlichkeitstheorie.

stellt, ist inzwischen weltberühmt. Sie ist zwar eine von Tausenden von Studien, die in den vergangenen 20 Jahren von bedeutenden Instituten für Meteorologie weltweit umgesetzt wurden, doch verwendet sie eine Methodologie des Schlussfolgerns, die eine Garantie für Verlässlichkeit darstellt, wie sie manche früheren Arbeiten vermissen lassen. Die Studie wird entsprechend in den aktuellen Forschungsartikeln aller weltweit wichtigen Journale zitiert, die verwendete Methodologie des Schlussfolgerns ist beispielgebend geworden auch für andere Studien. Die Forscher des Max-Planck-Instituts für Meteorologie erkannten nämlich sehr früh, dass das Schlussfolgern bei diagnostischen Aussagen über das Wetter strikt probabilistisch, im Sinne einer subjektiven Wahrscheinlichkeitstheorie, vorangetrieben werden muss. Sie waren von Anfang an „Bayesianer“, wie man in der Stochastik die Befürworter dieser Herangehensweise bezeichnet.

Die Notwendigkeit, Bayessche Vorgehensweisen bei der Wetterdiagnostik zu verwenden, ist inzwischen so emphatisch von Naturwissenschaftlern erkannt worden, dass sogar die Nachrichtenmagazine sich damit befassten. Beispielsweise fand sich diese Notwendigkeit mit Blick auf die aktuellen Debatten zur Wandlung des Klimas in einem Artikel des Economist aus dem Jahre 2007 (kurz nach dem Erscheinen des letzten IPCC Berichts) auf eingehende Weise beschrieben:

Bayes gilt als eine der beiden einflussreichsten Größen, wenn es um die Entstehung der Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik geht. Die andere Größe ist Blaise Pascal, ein Franzose. [...] Pascal betrachtete die Welt wie eine Art Glücksspiel: Jedes Würfeln ist unabhängig vom vorhergehenden. In Bayes' Welt hingegen können sich Erfahrungswerte akkumulieren. Er baut diese Ansicht in Form einer a posteriori-Wahrscheinlichkeit, die von den Bedingungen abhängt, in ein stochastisches Modell ein. Ein gutes Beispiel für eine a posteriori-Wahrscheinlichkeit über das Wetter von morgen ist beispielsweise, dass es so ähnlich sein wird, wie das Wetter von heute. Wahrscheinlichkeitsannahmen über das Wetter von übermorgen hingegen verändern sich je nachdem, wie das Wetter von morgen tatsächlich wird. Psychologisch gesehen neigt der Mensch eher dem Bayesschen Prinzip zu, in einem Maße, dass unangemessene Abhängigkeiten durchaus beim menschlichen Schließen häufig vorkommen. Um dieses Risiko zu umgehen, tendieren Naturwissenschaftler meistens Pascals Modell der Welt vorzusetzen. Es wirkt objektiver. Doch auch bei dessen Modellbildung sind a priori-Annahmen im Stile von Bayes fast unumgänglich. Wenn die Modellierer dieser Tatsache nicht

ins Auge sehen, riskieren sie schwerwiegende Fehler in ihren Modellen. In Klimamodellen gibt es nämlich Hunderte von Variablen, die in ähnlicher Weise voneinander abhängig sind. Wenn man brauchbare Ergebnisse und nicht aus Modellen generierte Artefakte erhalten möchte, muss man alle erdenklichen Konsequenzen solcher Abhängigkeiten berücksichtigen.<sup>4</sup>

Die Auswirkung des vom Menschen verursachten Klimawandels ist inzwischen weitestgehend unstrittig (vgl. z.B. IPCC Bericht 2007; Schröder & al. 2002). Die Beweisgrundlage dafür basiert auf zwei gleichermaßen entscheidenden Faktoren:

1. einem theoretischen Verständnis von Treibhausgasen und deren reaktivem Verhalten auf die Strahlung in der Atmosphäre,
2. hochwertigen Beobachtungsergebnissen des Klimasystems über einen längeren Zeitraum und physikalischen Modellen, mithilfe derer die Beobachtungen interpretiert wurden.

Welchen Weg soll die Klimawandelforschung in Zukunft einschlagen? Die politische Öffentlichkeit hat sich inzwischen des Themas deutlich vernehmbar angenommen, der Klimawandel prägt mehr und mehr die Agenden parteipolitischen Handelns wie großer internationaler Konferenzen. Eine der Aufgaben der Wissenschaften wird es hierbei sein müssen, die politischen Entscheidungen mit zuverlässigen Informationen zu unterstützen. Die Hochschulen werden dabei einen wesentlichen Teil der forschersischen Aufgaben zu übernehmen haben, Hochschulen und Schulen werden durch verstärkte Aufnahme der relevanten Themen in die Ausbildung die kompetente Auseinandersetzung mit den Problemstellungen und die Fähigkeit zur angemessenen Reaktion befördern. Im Folgenden soll ein genauerer Blick darauf gerichtet werden, welche Rolle dabei die Wissenschaft in der Klimaprognose spielt und welche Aufgaben der Schule zukommen könnte, wenn Kinder darauf vorbereitet werden sollen, sich mit Fragen auseinanderzusetzen, die zugleich für die Gestaltung der eigenen künftigen Lebenswelt so relevant und von so hoher, kaum fassbarer Komplexität sind.

---

<sup>4</sup> Das englische Original findet sich unter: <http://www.economist.com>. Übersetzung mit freundlicher Genehmigung des Herausgebers.

## 2.2 Die Mathematik des Wetters

In der Regel werden zwei Arten von Maßnahmen unterschieden, die hinsichtlich des Klimawandels unternommen werden können (vgl. etwa Jakob, 2006): Einerseits die Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken und ihn abmildern sollen („Mitigation“), andererseits die Anpassungsmaßnahmen, mit denen die Folgen des bereits eingetretenen und nicht mehr aufhaltbaren Wandels gemildert werden sollen („Adaptation“).

Will sich die Gesellschaft dem Klimawandel geplant anpassen, dann ist sie auf genaue Prognosen hinsichtlich der Veränderlichkeit und dem Wandel der jeweils regionalen Klimaverhältnisse angewiesen (unabhängig davon, ob der Wandel vom Menschen verursacht ist, oder ob es sich um natürliche Veränderungen handelt). Nur dann kann darüber befunden werden, wie hoch die Dämme an dieser und jener Küste zu bauen und wie weitgehend die Wasserreservoirs für bestimmte Territorien zu erweitern sind. Der Planungshorizont für Anpassungsschritte hat in der Regel (wenn auch nicht immer) die Größenordnung von Jahren bis Jahrzehnten und muss dabei angemessen auch auf andere Veränderungen reagieren, die mit dem Klima nichts zu tun haben.

Maßnahmen zur Abmilderung des Klimawandels bedürfen hingegen eher einer Langzeitlösung. Eine typische Frage aus diesem Bereich ist die nach der zulässigen  $\text{CO}_2$ -Konzentration, wenn gefährliche Klimaveränderungen vermieden werden sollen. Es geht dabei möglicherweise um eine Überschreitung von Schwellenwerten im System, die nach Meinung mancher Experten Katastrophen wie den Kollaps des Ökosystems der Ozeane oder das Absterben des tropischen Regenwalds einleiten kann.

Die Bürgerinnen und Bürger einer aufgeklärten Gesellschaft sollten einerseits ihr Entscheiden und Handeln in angemessener Weise auf die Möglichkeit einstellen, dass solche Gefahren mit den Klimaveränderungen eintreten könnten, sich zugleich aber auch über die tatsächliche Wahrscheinlichkeit des Eintretens solcher Szenarien im Klaren sein. Die Fragen stellen sich an den Schnittstellen zwischen verschiedenen Fachgebieten, von denen die Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik sicherlich unter den wichtigsten sind.

Ganz abgesehen von Themen wie die Nichtlinearität von Verläufen oder chaotischer Strömungen in der Atmosphäre stößt etwa bereits die gemeinsame Betrachtung physikalischer und biologischer Prozesse auf Schwierigkeiten, wenn eine elegante

Theorie zur Beantwortung gesellschaftlicher Schlüsselfragen angeboten werden soll. Und wo aus prinzipiellen Gründen Ungewissheiten bestehen, lässt sich keine Gewissheit erzwingen, auch nicht durch den Druck der Medien. Der Wissenschaft bleibt also die leider recht unelegante, aber wenigstens doch praktikable Lösung, methodisch geleitet numerische Modelle des Klimasystems zu entwickeln, die die wichtigsten Prozesse und deren Zusammenspiel so darstellen, dass sie für Klimaprognosen und Wetterdiagnostik mit hinreichender Verlässlichkeit und mit hinreichend langem Vorlauf die erforderliche Planbarkeit erlauben.

Aus heutiger Sicht darf es bereits als eine beachtliche Leistung betrachtet werden, dass Forscherteams die Gesetzmäßigkeiten von Strömungen, elektromagnetischer Strahlung usw. in approximativen Gleichungen darzustellen im Stande sind und dass sie diese in einem Raster diskretisieren, digital verschlüsseln und daraus Computersimulationen produzieren können, die eine passable Ähnlichkeit mit der wirklichen Welt haben. Wissenschaftliche Unterfangen zielen nach dem Selbstverständnis vieler Wissenschaftler aber immer auf die unumstößliche Beweisführung und die sichere Behauptbarkeit ab, und deshalb verweisen sie immer wieder umgehend auf die Unzulänglichkeiten von Klimasimulationen, die allenthalben das indiziengestützte Vermuten erlaubten. Die „Modellunvollkommenheiten“ basieren dabei nicht nur auf prinzipiell korrigierbaren Programmierungsfehlern, sondern auf der Unverfügbarkeit eines Kriteriums für die Elementarität der Daten und der aufgrund von unvermeidlichen Wechselwirkungen zwischen Messgerät und Messobjekten auf der Ebene der Elementarkräfte (Unschärfe) sowie der grundlegenden Begrenztheit der Rechenkapazitäten. Deshalb können wir grundsätzlich, wie immer gut sie begründet sind, den Klimaprojektionen für die Zukunft auch nur eingeschränkt vertrauen und bedürfen, wollen wir unser Handeln an den Projektionen ausrichten, unabhängiger Kriterien zur Beurteilung des Grades der Verlässlichkeit. Solange man aber den Anspruch der sicheren Behauptbarkeit erhebt, machen die prinzipiellen Modellunvollkommenheiten und die grundsätzliche Begrenztheit von Anfangswertvorhersagen des chaotischen Wetters, nicht zuletzt aber auch die Ungewissheit darüber, wohin sich die Gesellschaft in Sachen Treibhausgasemissionen entwickeln wird, zuverlässige Aussagen über die zukünftige Klimaentwicklung unmöglich. Wer gleichwohl planvoll auf die Veränderungen reagieren will, wird daher mit anhand der Prüfkriterien kritisch beurteilten indiziengestützten Vermutungen arbeiten müssen und den Plan so ent-

werfen, dass er, falls neue Erkenntnisse dem zuwiderlaufen, offen für ein „Umsteuern“ ist (vgl. hierzu de Haan et al. 2008, Kap. 3.1 und die dort genannte Literatur). Das übliche Vorgehen ist, dass Projektionsensembles als Stichprobe für unsichere Eingangswerte und Prozesse verwendet werden, die anschließend für Vorhersagen in Form von *Wahrscheinlichkeiten von gewissen wohl spezifizierten Ereignissen* dienen. Die Verwendung von Ensembles (= Parameterpaketen) und Wahrscheinlichkeitsverteilungen hat vor einigen Jahren Einzug in die Wettervorhersage gehalten (Palmer & Hagdorn, 2006). Ensembles, bei denen verschiedene Ausgangsbedingungen als Stichproben genommen werden (es geht um die empfindliche Abhängigkeit von Ausgangsbedingungen bei atmosphärischen Strömungen), werden inzwischen routinemäßig gewonnen und für risikobasierte Einschätzungen von Wettereinflüssen verwendet. Neuerdings wird die Wahrscheinlichkeitstheorie auch für Modellunsicherheiten herangezogen. Die natürliche Fortsetzung dieser Methode beim Klimaproblem liegt also auf der Hand. Der große Unterschied besteht jedoch darin, dass das System der Ensembleprognose bei der Wettervorhersage im Laufe der vielen Wetterzyklen ständig verifiziert, korrigiert und verbessert werden kann. Dies ist bei Prognosen über den Klimawandel noch nicht akzeptiert – ein Problem, das heftige Diskussionen über die optimale Methode der Vorhersage ausgelöst hat.

### 2.3 Die Hierarchie der Klimamodelle

Klimamodelle basieren grundsätzlich auf Differentialgleichungen, die sich aus physikalischen Gesetzen ableiten. Ein typisches Beispiel sind die nichtlinearen Navier-Stokes-Gleichungen der Strömungsmechanik. Empirische Herangehensweisen sind für Klimawandelprognosen leider unzulässig, da sie außerhalb ihrer historischen Geltungsdauer nicht zuverlässig zu allgemeingültigen Erkenntnissen führen. Die Begrenztheit der Rechenkapazitäten führt dazu, dass Gleichungen zwingend auf Annäherungen basieren. Da diese nur mithilfe von Computertechnik gelöst werden können, müssen gewisse Prozesse der Praktikabilität halber vereinfacht oder „in Kennziffern verwandelt“ werden (und dabei kann sich ein empirischer Fehler einschleichen). Die folgenden drei Modellklassen können wir zum Zweck der vorliegenden Diskussion ermitteln:

- i. *Energiebilanzmodelle* (EBM) sind einfache Modelle, die lediglich Gleichungen für globale oder hemisphärische durchschnittliche Mengen lösen können. Diese sind von der Datenverarbeitung her unaufwendig und können deshalb dazu ver-

wendet werden, große Ensembles zu produzieren, bei denen unsichere Schlüsselparameter vollständig geschätzt werden. Man kann Hypothesen über bestimmte Techniken anhand dieser Modelle überprüfen und die Ergebnisse komplexerer Modelle damit annähern. Sie können hingegen weder Informationen auf regionaler Ebene liefern noch Informationen über Faktoren wie z.B. Winde, die in diesen vereinfachten Gleichungen nicht berücksichtigt werden.

- ii. *Erdsystemmodelle* von mittlerer Komplexität (englische Abkürzung: EMIC) sind komplexer und daher teurer bei der Datenverarbeitung. Meistens sind sie aber noch unaufwendig genug für die Produktion größerer Ensembles (Stott & Forest, 2007). Sie sind hilfreich als ein Schritt zwischen den EBMen und hochkomplexen globalen Klimamodellen (GCMs, siehe iii.), wenngleich viele von ihnen immer noch Annäherungen biologischer Prozesse und Rückschlüsse beinhalten, die erst in einer begrenzten Zahl komplexer GCMs verwendet wurden – daher der Name ‚System Erde‘.
- iii. *Globale Klimamodelle* oder allgemeine Zirkulationsmodelle (GCM) sind die komplexesten aller Klimamodelle (Huebner et al. 2007). Sie lösen die dreidimensionalen Meeres- und Luftströmungen in ein so feines Raster auf, dass die Praktikabilität noch gerade eben gewährleistet ist und beziehen Darstellungen ungeklärter untergitter-skalierteter Prozesse ein. Diese Modelltypen sind sehr aufwendig in der Rechenleistung. Mit normalen Größtrechneranlagen können Ensembles mit bis zu mehreren hundert Elementen erstellt werden (Murphy et al. 2007): Sehr viel größere Ensembles konnten bisher nur mit hochmodernen Datenverarbeitungstechniken gewonnen werden (Frame et al. 2007; Stainforth et al. 2007). Nur durch ihre Verwendung gelingt es, Prognosen auf regionaler Ebene und mit ‚exotischen‘ Variablen wie etwa extremem Niederschlag zu machen.

Die Zuordnung der konkreten Modellierungen zu einer dieser Modellklassen ist nicht immer ohne weiteres möglich. Für die Ensemble-Klimaprognose muss etwa überlegt werden, welche Größenwerte des Klimawandels die emergenten Merkmale des Modells sind, was als Eingangsgröße festgelegt werden kann oder doch zumindest einen trivialen Bezug dazu hat. Bei EBMen wird z.B. normalerweise die Klimasensitivität festgelegt (die Gleichgewichtsänderung der simulierten globalen Mitteltemperatur, welche sich aus einer Verdoppelung des atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehalts ergibt – ein beliebter Größenwert von Klimaforschern). Bei einem GCM hingegen ist die Klimasensitivität eine Funktion der Interaktion zwischen fein mathematisch

determinierten und parametrisierten physikalischen Prozessen und kann nicht *a priori* festgelegt werden. Bei einem EBM können Annahmen über die Verteilung der Klimasensitivität gemacht werden, bei einem GCM hingegen nicht (es gestaltet sich jedenfalls sehr schwierig). Es muss auch berücksichtigt werden, ob der Rechenaufwand gering genug ist, um eine vollständige Abbildung von Eingangs- und Ausgangsparametern zu produzieren, oder ob die Ermittlung einer „neuen“ Stichprobe erfolgen muss.

## 2.4 Klimamodell-Ensembles und die Notwendigkeit stochastischer Parametrisierungen

Üblicherweise wird Modellunsicherheit weiter unterteilt in *Parameterunsicherheit*, d.h. die Unsicherheit der Parameter, die für die parametrisierten physikalischen Prozesse von Klimamodellen verantwortlich sind, und in *Strukturunsicherheiten*, d.h. Unsicherheiten bei der Kodierung hochaufgelöster Prozesse (es muss angemerkt werden, dass beide Arten der Unsicherheit vollkommen untrennbar miteinander verbunden sind).

Liegen unsichere Parameter vor, bietet sich die naheliegende Methode an, diese Parameter zu stören und dann die Auswirkung in den Vorausberechnungen der Klimaveränderung zu messen. Die sogenannten *perturbed physics ensembles* sind inzwischen grundlegend für einige Ansätze zur Quantifizierung von Unsicherheit. Die gesamte Skala an Modellen wurde verwendet: von den recheneffizienten EBMs und EMICs, die einen vollständigen Modellparameterraum abbilden können, bis hin zu den komplexen GCMs, denen dies nicht möglich ist. Das ist ein beachtliches Problem, da GCMs mehrere Hundert unsichere Parameter enthalten können. Überdies sind diese Parameter nicht unabhängig und ihre gegenseitige Abhängigkeit ist nicht trivial; es gibt komplexe Verflechtungen physikalischer Prozesse, beispielsweise Wolkenbildung und Strahlung. Die Herangehensweise der gestörten Physik hat den großen Vorteil, dass es damit immerhin theoretisch möglich wird, Unsicherheit bei Vorausberechnungen von Klimaveränderungen über alle plausiblen Werte unsicherer Parameter hinweg zu schätzen (dieses Konzept wird in Rougier & Sextoy 2007 vertieft). Darüber hinaus ist es auf diese Weise möglich, effiziente Techniken zur Erhebung von Stichproben des Parameterraums eines Modells (Annan & Hargreaves 2007) zu verwenden. Unter praktischen Gesichtspunkten kann die Forschergruppe die Ensemble-Generierung hinsichtlich der Spezifikation von sowohl Ein-

gangs- als auch Ausgangsdaten sehr gut kontrollieren und auf diese Weise bestimmte Hypothesen testen.

In einigen gestörten physikalischen Ensembles wurden verschiedene Teile des komplexen Modellcodes an- und abgeschaltet. Generell ist es aber nicht möglich, eine Stichprobe aller sogenannter struktureller Entscheidungen, die bei der Gestaltung eines GCM getroffen werden, zu machen. Es gibt viele Entscheidungen, z.B. bei der Spezifikation des numerischen Auflösers für dynamische Strömung, der Parametrisierung konvektiver Prozesse oder der Darstellung von Treibeis. Für die Erstellung eines Ensembles, das eine adäquate Stichprobe aller möglichen (oder wenigstens der häufigsten) Kombinationen struktureller Entscheidungen bei GCMs verwendet, wären beträchtliche weltweite Investitionen in die Forschung notwendig: Investitionen einer Größenordnung, die die bisherigen weltweiten Ausgaben für Klimaforschung um ein Vielfaches überschreitet. Immerhin laufen Anstrengungen, das experimentelle Design und das Ergebnis der etwa 20 existierenden komplexen Klimamodelle weltweit zu koordinieren. Dieses *Multi-Modell-Ensemble* hat den Vorteil, dass es Stichproben für strukturelle Unsicherheiten erhebt, wenn diese auch nicht systematisch sind. Überdies bestehen Gemeinsamkeiten bei bestimmten Komponenten und bei bekannten Algorithmen für Lösungsaspekte aufgelöster und unaufgelöster Prozesse verschiedener Modelle. Das Ensemble ist dennoch ein außerordentlich wichtiger Richtwert für die Größenordnung von Unsicherheiten und wurde schon selbst zur Erstellung probabilistischer Prognosen verwendet (Min et al. 2007; Tebaldi & Knutti 2007).

Eine bisher noch nicht verwendete wichtige Möglichkeit, an das Thema Langzeit-Klimaveränderungen heranzugehen, ist die *stochastische Parametrisierung* oder stochastische Physik, d.h. Physik, in der die meisten Beschreibungen nicht deterministisch sondern mittels Wahrscheinlichkeitsverteilungen erfasst werden. Bei der Erstellung von Modellen wurde erkannt, dass es nicht unbedingt eine einfache umkehrbare Beziehung zwischen sogenannten „gitterskalierten“, d.h. vollständig determinierten Variablen, und „unter-gitterskalierten“, d.h., unterdeterminierten Prozessen, gibt, weshalb auch „zufällige Störungen“ und unter-gitterskalierte Tendenzen in den Modellen eingebaut werden mussten. Diese haben dazu beigetragen, dass sich sowohl die mittleren Simulationscharakteristika der Modelle als auch ihre kurzzeitigen Wettervorhersagefähigkeiten verbessert haben. Derzeit wird an noch differen-

zierteren Darstellungen gearbeitet. Wie solche Schemata die Klimaveränderungsprognosen beeinflussen können, muss allerdings einstweilen als noch offen gelten. Das bis hierher Erörterte bezieht sich im Allgemeinen auf Unsicherheiten hinsichtlich der ‚bekannten Unbekannten‘ der Klimamodellierung, besonders auf physikalische Prozesse, die mit Ozean, Land, Treibeis und atmosphärischen Feedbacks zu tun haben. Daneben gibt es auch andere Prozesse oder „unbekannte Unbekannte“ wie z.B. biologische Feedback-Prozesse, die mit dem Kohlenstoffkreislauf der Erde zu tun haben, die in einigen recheneffizienten Modellen und komplexen GCMs verwendet wurden, aber nicht grundsätzlich eingebaut werden. Andere unbekannte Unbekannte, wie potenzielle Feedbacks, die mit der Freisetzung von Methanen aus subozeanischen Methanhydrat-Kammern zusammenhängen, müssen sogar erst entdeckt werden.

## 2.5 Die Erstellung probabilistischer Vorhersagen

Im Zuge der Entwicklung der Ensembles und probabilistischer Prognosen in der Wettervorhersage wurde es auch möglich, verschiedene Ensemble-Typen und Stör-Techniken zu vergleichen, indem regelmäßig Verifizierungsmessungen bei einer großen Anzahl von Vorhersagen ausgewertet werden. Eine solche Verifizierung kann direkt wieder rückgekoppelt und das Vorhersagesystem auf diese Weise verbessert werden. Wie bereits erwähnt, ist dieses Verfahren aber für die Klimaprognose nicht zweckmäßig. Der einfachste Ansatz, Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (PDFs) zu generieren, ist nun das Bayessche Theorem. Dabei werden Daten als eine Sammlung beobachteter Klimavariablen genommen. Wir wollen hier eine knappe mathematische Beschreibung dieses Theorems angeben. Die Variable ‘s’ steht für die Prognosevariable in der Modellierung, ‘P’ bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, das Symbol ‘ $\propto$ ’ bezeichnet eine Proportionalitätsbeziehung und das Symbol ‘|’ steht für eine Konditionierung.

Beispielsweise bezeichnet P ‘(A ist krank | A hat Fieber)’ die Wahrscheinlichkeit, dass A krank ist, wenn man als Datum hat, dass A Fieber hat. Es ist empirisch stets leichter, die Wahrscheinlichkeit der Daten oder Evidenz im Lichte einer Hypothese zu bestimmen, als die inverse Wahrscheinlichkeit der Hypothese im Lichte der Daten. Der revolutionäre Schritt von Thomas Bayes war es, eine Formel für eben diese Inversion zu finden.

Mathematisch wird der Satz von Bayes so formuliert:

$$[\text{BT}] \text{ Theorem (Thomas Bayes)} \quad P(s|\text{Daten}) \propto P(s)P(\text{Daten}|s)$$

Das Zeichen in der Mitte ist kein Gleichheitszeichen, sondern ein Proportionalitätszeichen. Die Formel besagt, dass die a posteriori-Wahrscheinlichkeit von  $s$  (d.h. die Wahrscheinlichkeit von  $s$  im Lichte der Daten oder der Evidenz) proportional zur a priori-Wahrscheinlichkeit von  $s$  ist (ohne Bezug zu Daten oder Evidenz), multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit, die Daten für einen gegebenen Wert von  $s$  zu erhalten.

In der Praxis kann die Verwendung der Formel sehr kompliziert werden, wenn man keine Elemente für die Aufstellung der *a priori*-Wahrscheinlichkeit von  $s$  hat. Die Gleichung [BT] ist dennoch enorm hilfreich, wenn es um einige grundlegende Themen der Generierung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen (= PDFs) geht. Die Rolle der *a priori*-Wahrscheinlichkeiten wird heute intensiv diskutiert. Das Vorhandensein einer Konzentration der Wahrscheinlichkeitsdichte oder die eingeschränkten Möglichkeiten bei der Erhebung von Beobachtungsdaten führen dazu, dass die *a priori*-Verteilung von  $s$  auf Dauer kaum Einfluss auf die *a posteriori* prognostische Verteilung haben sollte.

Die Formel von Bayes wird verwendet, um die Plausibilität einer Aussage im Lichte neuer Erkenntnisse zu aktualisieren, d.h. neu zu bemessen. Laplace (1812, 1814) entdeckte das Resultat unabhängig von Bayes und verwendete es, um Probleme in der Himmelsmechanik, in der medizinischen Statistik und, einigen Berichten zufolge, sogar in der Rechtsprechung zu lösen. Zum Beispiel schätzte Laplace die Masse des Planeten Saturn auf Basis vorhandener astronomischer Beobachtungen zu dessen Umlaufbahn. Er erläuterte die Ergebnisse zusammen mit einer – für die Zeit revolutionären – Abschätzung seiner Unsicherheit:

Laplace's Wette: Ich wette 11000 zu 1, dass der Fehler in diesem Ergebnis nicht größer als 1/100 seines tatsächlichen Wertes sein kann.

Laplace hätte die Wette gewonnen, wie wir heute wissen: hundertfünfzig Jahre nach seiner Wette musste sein Ergebnis auf der Grundlage sehr exakter Messungen um lediglich 0,63 % korrigiert werden (Howson & Urbach, 1993). Nach der so genannten frequentistischen Interpretation von Wahrscheinlichkeit wäre es nicht erlaubt, das Instrumentarium der Wahrscheinlichkeitstheorie auf das Problem der Bestimmung der Masse des Saturns anzuwenden: Saturns Masse ist eine Konstante und keine Zufallsvariable, daher gibt es dazu weder eine Häufigkeitsverteilung noch eine mitt-

lere Häufigkeit. Was die Wetterdiagnostik anbelangt, verhält es sich dabei heute genauso wie bei Saturns Masse. Es gibt keine Verteilungen und keine zufällig erzeugte Stichprobe. Es geht um Wetten unter Unsicherheit, aber auch unter Ungewissheit. Das heißt, wir kennen nicht einmal die Wahrscheinlichkeitsverteilungen: Alles ist ungewiss. Es geht also tatsächlich um die reinste Form des Wettens. Führende Namen unter den Bayesianern wurden Leonard Jimmie Savage und Bruno de Finetti. Ihr Grundgedanke ist, „vernünftige Einschätzungen“ (engl. *rational beliefs*) als eine Verallgemeinerung von Wettstrategien aufzufassen. Die typische Frage lautet:

Gegeben sei eine Menge von Informationen/Messungen/Datenpunkten/Ensembles. Wird man nach einer Einschätzung der Werte dieser Messungen oder gar ihrer Entwicklung über längere Zeit gefragt, wie hoch würde man auf die Richtigkeit der Einschätzung wetten?

Der ernsthafte Hintergrund dieser Frage ist der, dass man genau dann bereit ist, viele „Ressourcen“ zu verwetten, wenn man sich seiner Einschätzung relativ sicher ist. Diese Idee hatte großen Einfluss auf die moderne ökonomische Theorie und auf die Beschreibung von Ressourcenplanung unter Unsicherheit.

Ohne ein besseres Verständnis der Wetten über das Wetter, der Bayesianischen Form der Aktualisierung von *a priori*-Hypothesen anhand neuer Hypothesen, bleibt es für den modernen Bürger schwierig, sich ein eigenes Urteil über die aktuelle Diskussion zur Wetterdiagnostik zu bilden. Den modernen Schülerinnen und Schülern sollten die mathematischen Instrumente für den Umgang mit grundlegenden Aspekten der Klimawandeldiskussion in elementarer Form und früh genug nahe gebracht werden. Sie sollten beispielsweise sehr genau erläutern können, was die Aussage „Die morgige Regenwahrscheinlichkeit beträgt 30%.“ tatsächlich bedeutet.<sup>5</sup>

### 3 Stochastik in der Schule

Eine kritisch aufgeklärte Öffentlichkeit ist zu ihrer Aufrechterhaltung auf Fertigkeiten im Umgang mit Unsicherheit angewiesen, die in einem engen Zusammenhang mit demokratischen Grundwerten zu sehen sind. Risiken müssen zur Kenntnis genommen, abgeschätzt und kommuniziert werden und Entscheidungen in Kenntnis von Risiken getroffen werden. Stochastisches Denken ist damit nicht nur als Kompetenz

---

<sup>5</sup> Bei unserer Intervention wurde klar, dass die wenigsten Schüler diese Aussage korrekt deuten. Viele denken: „Es wird ein Drittel des Tages regnen“.

einzelner (oder vielleicht weniger Experten) zu betrachten, sondern kennzeichnet eine Gesellschaft auch im Ganzen, z.B. durch den Umgang mit Unsicherheit in einer Vielzahl gesellschaftlich etablierter Diskurse. Dieser Sachverhalt wird heute offenkundig nicht nur für den persönlichen Bereich (z.B. bei der medizinischen Diagnostik) sondern auch für den gesellschaftlich bedeutsamen Bereich der kollektiven Diskussion über Umwelt und nachhaltige Entwicklung. Bürgerinnen und Bürger sollen nicht die Opfer mancher Politiker werden, die Katastrophenszenarien präsentieren, ohne die notwendige Information zu vermitteln und vor allem ohne die Information so zu präsentieren, dass sie verständlich wird. Da globale Einschätzungen von Risiken schwierig sind, ganz besonders wenn es um zum Teil labile, zum Teil chaotische Wettersysteme geht, stellt sich umso mehr die Frage nach Formen transparenter Darstellung von quantitativer Information zur Risikoeinschätzung und Risikokommunikation. Im konkreten Fall steht dabei nicht nur ein Bildungsziel im Mittelpunkt, sondern Transparenz. Obwohl es sich bei konkreten Entscheidungssituationen um ganz spezifische Situationen handeln kann, die auch als solche wahrgenommen werden sollen, können dennoch Prinzipien transparenter Risikokommunikation in diesen zur Anwendung kommen. Als Beispiel sei hier das Prinzip genannt, die absolute Risikoreduktion (oder -erhöhung) anzugeben im Gegensatz zur allgemein nur schwer verständlichen relativen Risikoreduktion. Die Kenntnis solcher Prinzipien kann und sollte Bildungsziel sein. Die Stochastik, also die Kombination von Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung, kann Kenntnisse anbahnen, die für den aufgeklärten Umgang mit Unsicherheit unentbehrlich sind. Der gute Umgang mit Daten entwickelt sich heute zu einem Desiderat für die ganze Gesellschaft und die Schulmathematik soll die Werkzeuge dafür liefern.

In der Mathematikdidaktik und in der Diskussion zum deutschen Bildungssystem besteht Konsens darüber, dass mathematische Grundbildung den Umgang mit Unsicherheit — also den Umgang mit Chancen, Risiken und Variation — beinhalten soll. Im deutschen Bildungssystem hat sich diesbezüglich in den vergangenen zwei Jahrzehnten ein Wandel vollzogen, der darin besteht, dass das Themengebiet „Daten und Zufall“ nicht erst in der Oberstufe, Berufsschule oder sogar erst im Studium thematisiert wird. Die Etablierung der Stochastik über den gesamten schulischen Bildungsverlauf hinweg ist in den Bildungsplänen aller Länder vollzogen. Die stochastischen Inhalte werden aber dennoch im Mathematikunterricht der Grundschule und der Mittelstufe bzw. Sekundarstufe I dennoch relativ verhalten realisiert. Der

Arbeitskreis Stochastik in der Schule der Gesellschaft der Didaktik der Mathematik (GDM) kämpft seit Jahrzehnten für die konsistente Einführung stochastischer Elemente im Unterricht. In den vergangenen Jahren werden auch erste stochastische Einheiten in einzelnen Grundschulen erprobt. Die Resultate sind im Allgemeinen sehr ermunternd.

### **3.1 Die Entwicklung von elementaren mathematischen Kompetenzen für die Behandlung von Umweltfragen bereits in der Grundschule**

Die Schule ist der Ort, an dem das erforderliche Verständnis für die Umweltproblematik und für die Bedingungen einer nachhaltigen Entwicklung vorbereitet werden kann. Schülerinnen und Schüler sollten aber auch bald erkennen, dass es fast unmöglich ist, diese Fragen abschließend zu beantworten und dass, vielleicht noch stärker als in anderen Bereichen, alle Szenarien und Vorhersagen einer Unsicherheit unterliegen und auf Annäherungen beruhen. Die Fächerverbunde, die heute solche Themen behandeln, sollten demnach auch Elemente der Explorativen Datenanalyse und der Stochastik enthalten. Diese ist unsere überzeugte Empfehlung Mathematiklehrerinnen und Mathematiklehrer können heute in der Lage sein, ihren Schülern einige neue Methoden im Umgang mit der Unsicherheit von Klimaprognosen zu vermitteln. Für die Entwicklung dieser Kompetenzen in der Schule ergeben sich daraus folgende Fragen:

1. Wie können sich Schüler Methoden aneignen, mit deren Hilfe sie wenigstens die Grundlagen von Klimamodellen – mitsamt dem Einfluss unseres Wirkens auf die aktuellen Klimaveränderungen – verstehen, damit sie sich mit der tatsächlichen Ungewissheit der Modelle auseinandersetzen können?
2. Auf welchem didaktischen Wege können diese Methoden vermittelt werden?

Es ist, wie bereits erwähnt, unsere feste Meinung, dass erste Elemente der Stochastik erfolgreich in der Grundschule eingeführt werden können. In der Tat wurden erste Elemente bayesianischen Schließens in der Grundschule in zahlreichen vierten Klassen in Baden-Württemberg erfolgreich eingeführt (Kurz-Milcke & Martignon, 2006). Es handelte sich hier um gezielte Interventionen: Unseren Interventionen lag die Arbeitshypothese zu Grunde, dass die Begeisterung für den kritischen und kompetenten Umgang mit stochastischen Konzepten sehr wohl bei allen und sehr früh geweckt werden kann. Diese Kompetenz setzt allerdings die frühe Ausbildung eines entsprechenden „Vorstellungsraumes“ voraus. Probabilistisch zu denken bedeutet,

die Fantasie zu besitzen, sich wiederholte Experimente vorstellen und die dazu passenden mentalen Modelle schaffen zu können. Wir knüpfen hier an eine neuere kognitionswissenschaftliche Forschung an, in der die Bedeutung des simulativen Denkens eine zunehmende Rolle für das Erfassen und Erklären von Denkstrukturen spielt. Ähnlich wie für die Arithmetik und Geometrie soll mit der Ausbildung eines Vorstellungsraumes für den Umgang mit probabilistischen Inhalten früh begonnen werden. Viele Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe tendieren dazu, sich dem Umgang mit mathematischen Vorstellungsräumen zu entziehen und greifen bevorzugt auf eher mnemonische Strategien zurück, beispielsweise auf auswendig gelernte Algorithmen. Dies wurde von den PISA-Studien ausgiebig empirisch belegt. Es geht aber darum, diesen mathematischen Vorstellungsraum systematisch zu erschließen und zu festigen. Vorteilhaft ist eine frühe Förderung dieser Kompetenz, die dann in besonderem Maße zum mathematischen Selbstbild beitragen kann. Das Erschließen mathematischer Vorstellungsräume ist dabei nicht nur eine kognitive Fertigkeit, sondern unserer Ansicht nach auch ein Schlüssel zur Begeisterungsfähigkeit für die mathematische Sichtweise. Konkret wird der kompetente Umgang mit dem probabilistischen Vorstellungsraum erst durch Erfahrungen mit Modellsituationen möglich, die in ersten Stufen schon in Vor- und Grundschule realisierbar sind.

Als Beispiel wurde in verschiedenen Schulinterventionen in der vierten Klasse den Film *The Miniature Earth* ([http://www.miniature-earth.com/me\\_german.htm](http://www.miniature-earth.com/me_german.htm)) gezeigt. Anschließend wurde mit einem Modell gearbeitet, das man „Die Welt und Du“ genannt hat (Smith & Armstrong, 2002) und das die statistischen Informationen des Filmes im Detail verarbeitet. Der nachfolgende Text aus dem Buch beschreibt einige der statistischen Informationen zu diesem sehr vereinfachten Modell der Erdpopulation.

Angenommen, wir stellen uns die ganze Weltbevölkerung als Dorf mit nur 100 Bewohnern vor. In diesem Dorf repräsentiert jede Person ungefähr 62 Millionen Menschen aus der tatsächlichen Welt.

Wie sieht das Dorf aus?

Von den 100 Menschen im Weltendorf kommen

61 aus Asien

13 aus Afrika

12 aus Europa

8 aus Südamerika, Zentralamerika und aus der Karibik

5 aus Kanada und den Vereinigten Staaten von Amerika

1 aus Ozeanien

In diesem Dorf herrschen merkwürdige Verhältnisse, die Du kennen solltest:

Acht Personen in dem Weltdorf besitzen mehr als die Hälfte des gesamten Weltreichtums und drei davon kommen alle aus den Vereinigten Staaten von Amerika. Es herrscht kein Mangel an Nahrungsmittel im Weltdorf. Wenn alle Nahrungsmittel gleichmäßig aufgeteilt wären, hätte jeder genug zu essen. Aber sie werden nicht gleichmäßig aufgeteilt. Und obwohl genug da ist, um alle Dorfbewohner zu ernähren, sind nicht alle gut ernährt:

50 Bewohner des Weltdorfs haben oft oder immer Hunger

20 Bewohner sind unterernährt

Nur 30 Bewohner haben immer genug zu essen

Es ging anschließend um die Konstruktion dieses „Weltdorfes“ anhand von Steckwürfeln in verschiedenen Farben (Martignon, 2008). Die Schülerinnen und Schüler bauten Türme von Steckwürfeln zur Repräsentation der verschiedenen Kategorien und übten somit erste Elemente von proportionaler und Prozent-Rechnung. Auch erste probabilistische Schritte wurden folgende Aufgaben behandelt: Die Welt der Steckwürfel wurde auseinander genommen und in eine Urne gesteckt. Aus dieser Urne wurde „blind“ gezogen und Fragen vom Typ „Wettest Du, dass der gezogene Würfel eher asiatisch oder eher europäisch ist?“ wurden von den Kindern beantwortet. Die Schülerinnen und Schüler haben begeistert mitgemacht. Sie waren zum Teil neugierig und wollten über die Sachverhalte weiter informiert werden.

Eine solche Veranstaltung ist eine Vorbereitung auf die spätere Diskussion über Gerechtigkeit (und somit, im weitesten Sinne, eine Vorbereitung für die Diskussion über nachhaltige Entwicklung). Die Schulen, an denen diese Interventionen stattfanden, haben nachträglich die Materialien angeschafft, damit solche „Konstruktionen“ regelmäßig und in verschiedenen Varianten realisiert werden können (Martignon, 2008).

### **3.2 Eine Interventionsstudie zur Evaluation des schulischen Interesses an der „hilfreichen Mathematik“ im Umgang mit Umweltdaten**

Der Film Eine unbequeme Wahrheit von Al Gore bietet ein exzellentes Beispiel für die Notwendigkeit eines ausgebildeten „statistischen Lebensgefühls“ oder, anders ausgedrückt, einer „wohlfundierten Skepsis“: Es handelt sich um einen höchst didak-

tischen Dokumentarfilm, der gelegentlich stark übertriebene Aussagen macht, vor denen sich statistisch gebildete Schülerinnen und Schüler automatisch zu schützen wissen sollten. Dabei muss betont werden, dass der Film insgesamt sehr sorgfältig mit Informationen umgeht. Das Erscheinen des Filmes hat die Intervention überhaupt motiviert, weil er einerseits didaktisch gestaltet wurde und andererseits durch die gelegentlichen Übertreibungen Anlass zur Auseinandersetzung mit verzerrten statistischen Aussagen gibt.

Die Studie bestand aus einer sechsständigen Intervention in acht zehnten Klassen (sechs Realschulen, zwei Gymnasien), sechs davon aus Schulen in Stuttgart und Umgebung und zwei aus Schulen in Berlin, sowie aus den daran anschließenden Schlussbetrachtungen. Intention der Studie war einerseits, die Motivation von Jugendlichen zu untersuchen, sich mit Umwelt und Nachhaltigkeitsfragen auseinanderzusetzen, andererseits ihre Bereitschaft zu bewerten, mathematische Werkzeuge zu erwerben, die für eine solche Auseinandersetzung heutzutage notwendig sind. Die Lehrpersonen, die alle bei den Ausführungen und Diskussionen anwesend waren, hatten bei der Planung der Ausführungen mitgewirkt. Zusätzlich zu der Koordinatorin der Interventionen (Laura Martignon) waren stets zwei Student/Innen dabei, die bei den Ausführungen mithalfen und die von den Rektoren und Elternschaften genehmigten Videoaufnahmen aufarbeiteten. Für die Interventionsstudie haben die acht Schulen bzw. die Lehrerinnen und Lehrer der acht 10. Klassen die sechs Unterrichtsstunden an drei verschiedenen Tagen zu Verfügung gestellt. Die drei Phasen oder Blöcke waren so gestaltet, dass die ersten zwei kurz nacheinander realisiert wurden, während eine ganze Woche zwischen dem zweiten und dritten Block verlief. Teilweise wurden dafür Mathematikstunden verwendet, teilweise aber auch Unterrichtsstunden anderer Fächer (GWG, EWG). Den Schülerinnen und Schülern wurde vor den Interventionen erklärt, Ziel der Studie sei, einige Methoden der „hilfreichen Mathematik“ zu vermitteln. Die Schüler konnten ihre Zustimmung dazu äußern: in jeder der acht Klassen stimmte die absolute Mehrheit für die Intervention.

Der erste Block der Interventionsstudie bestand aus der Filmpräsentation mit anschließender Diskussion. Einige Aspekte der Filmpräsentation wollen wir im Folgenden gesondert betrachten:

- i. Der Film „Eine unbequeme Wahrheit“ unter der Regie von Davis Guggenheim behandelt auf der einen Seite Themen wie das Austrocknen ganzer Landstriche, die Überflutung der Küsten, das Schmelzen von Polarkappen und das Aussterben

von Tier- und Pflanzenarten, auf der anderen Seite Möglichkeiten der “korrigierenden“ Reaktion auf diese Szenarien. Das didaktische Material des Films besteht aus sehr guten Darstellungen statistischer Information über Umweltphänomene, den nicht selten auf emotionale Reaktionen des Betrachters zielende Ausmalungen bestimmter, vor allem unerwünschter Folgen der Entwicklungen (viel diskutiert ist etwa das Eisbärjunge, das sich auf der schmelzenden Eisscholle nicht länger halten kann und in das offene Meer abgleitet) und aus der Analyse möglicher, konkreter Entwicklungen, die wenigstens die Prozesse, die sich bereits jetzt für einen Teil der Umwelt als fatal erweisen, abschwächen können.

- ii. Der Film ist keine apokalyptische Warnung an die Menschheit; seine Botschaft ist vielmehr die von einem Schüler folgendermaßen formulierte: „Die Lage ist ernst und wir müssen handeln, im Kleinen und im Großen, auf globaler aber auch auf individueller Ebene“. Gerade in seiner doppelten Ermunterung „im Kleinen“ wie „im Großen“ zu handeln – „im Kleinen“ beim Konsumieren, „im Großen“ beispielsweise an der Wahlurne (auch wenn unsere Stimme eine von Millionen ist), wirkte der Film ausgewogen. Die Schülerinnen und Schüler waren zum Teil erschüttert. Die Thematik hat sie gleichermaßen begeistert und gerührt. Allen Schulen erschien die Wiederholung einer solchen Intervention als sinnvoll und wünschenswert und neue Interventionen mit der gleichen Thematik sind geplant.
- iii. Der Film „Jurassic Park“ schildert eine mögliche Version des Untergangs einer Spezies und motiviert damit die mathematische Modellierung von Wachstum, aber auch von Vernichtung von Populationen. Typische Frage der Erdkunde ist in diesem Kontext, welche der heutigen Metropolen werden in 2050 eine „viel größere“ Population erreichen und welche eine konstante Population behalten werden. Die mathematisch relevante Frage ist, wie man solche Phänomene anhand von verschiedenen Parametern modelliert.
- iv. Die Schülerinnen und Schüler durften zwischen zwei Filmen wählen, die parallel gezeigt wurden. Dass die Schülerinnen und Schüler selbst wählen durften, diente der Motivation und sollte sich positiv auf die Intensität der Beschäftigung mit den Themen auswirken (Heckhausen & Heckhausen, 2007). Wenn man die Schülerinnen und Schüler aller Klassen zusammen betrachtet ( $N = 223$ ), so haben sich 68% von ihnen für den Al Gore-Film entschieden.

Die Diskussion im Anschluss an die zwei parallelen Filmvorführungen drehte sich im Kern um folgende Fragen: Wie können wir unser Verständnis der Umweltprobleme

verbessern? Wie wird das Verschwinden oder das Wachsen von Populationen mathematisch modelliert? Wie können wir lernen, z.B. im Internet nach Daten zu suchen, die uns über Umweltprobleme aufklären, und mit diesen Daten adäquat umgehen? Wie verlässlich sind die dargebotenen Informationen? Und letztlich, sind wir gezwungen, wegen unserer eingeschränkten Urteilsfähigkeit, „im Nebel zu stochern“ und den verfügbaren Informationen „blind“ zu vertrauen?

Eine Umfrage nach der Diskussion zeigte, dass mehr als 75% der Schülerinnen und Schüler den dringenden Wunsch haben, Instrumente zu erlernen, damit sich „der Nebel für sie lichtet“.

### 3.3 Kurze Beschreibung der Phasen

Teil der Arbeit der Studentinnen (jeweils zwei per Schulklasse) war es, die wichtigsten Momente der drei Phasen in Video aufzunehmen. Die drei Phasen der Intervention entsprachen den drei zweistündigen Blöcken ihrer Realisierung.

Phase I: Besichtigung der Filme und Diskussion. Diese Phase sollte von den Schülerinnen und Schülern nicht als „Unterhaltung“ erlebt werden. Ihnen war klar, dass die anschließenden Diskussionen eher als Debatten moderiert werden würden.

Phase II: Einführung oder Wiederholung einiger mathematischer Methoden (Anpassung von Funktionen an gegebenen Daten, Verteilungen und Regressionsgleichungen). Hausaufgabe: Übungen lösen und sich über den Film informieren, um eine zweite Diskussion zu gestalten.

Nach Phase II unterstützten die zuständigen Lehrerinnen/Lehrer die Fixierung der eingeführten (zum Teil wiederholten) mathematischen Methoden mit zusätzlichen Übungsveranstaltungen.

Phase III: Die Schülerinnen und Schüler (in Gruppen) präsentierten eigene Zusammenfassungen zu Aspekten der Filme. Die Projekte wurden an Gruppen von Schülerinnen und Schülern erteilt.

Nach Phase III betreuten die Lehrerinnen und Lehrer die Arbeitsgruppen und sahen zu, dass die Projekte entwickelt wurden. Die Präsentation der Resultate wurde von den Lehrerinnen und Lehrern eigenständig gestaltet. Bei zwei dieser Ausführungen waren die Teams der PH Ludwigsburg (Kordinatorin und zwei Assistentinnen) anwesend.

### 3.4 Die unbequemen Fehler der unbequemen Wahrheit in den Augen der Schülerinnen und Schüler

Unter den Fragen, die die Schülerinnen und Schülern in der sich an die Filmvorführung anschließenden Diskussion stellten, war auch die nach dem Zusammenhang zwischen den im Film angebotenen Informationen zur globalen Erwärmung und zur – zur Zeit der Intervention noch erinnerungsfrischen – Katastrophe, die der Wirbelsturm Katrina im August 2005 im Südwesten der USA verursacht hatte. Bilder dieser Katastrophe werden im Film zugleich als sachlicher Anknüpfungspunkt und als emotionale Motivation eingesetzt:

„Ist es wahr, dass der Hurrikan Katrina als eine Konsequenz der globalen Erderwärmung gesehen werden muss?“

Die Antwort lautet natürlich „Nein“, oder genauer, „Gäbe es mindestens vierzehn solcher Wirbelstürme innerhalb eines Jahres, wären wir bei Zugrundelegung allgemein akzeptierter wissenschaftlicher Standards dazu berechtigt, einen solchen Zusammenhang zu behaupten, sonst nicht.“ (Murphy, Booth, Collins, , Harris, Sexton, Webb, 2007). Eine (vereinfachte) Aufstellung der mathematischen Zusammenhänge, die diese Berechnung ermöglichen, ist relativ einfach und wurde in einem der Projekte behandelt.

Eine andere Frage, die in der Diskussion aufkam, betrifft die ertrinkenden Eisbären. Ganz analog kann auch hier gefragt werden: Wie viele Eisbären müssten ertrinken, damit das Phänomen als signifikant betrachtet werden muss? Und stimmt es, wie im Film behauptet, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt durch benzinsparende Autos, Wärmedämmung bei Häusern und einen bewussten Energie- und Warenverbrauch leicht reduziert werden kann, ohne dass die gewohnte Lebensqualität sinkt?

Die Schülerinnen und Schüler stimmten zu, dass der Diskurs über solche Aussagen und über die daraus ggf. zu ziehenden normativen Konsequenzen auf belastbaren Informationen beruhen muss und „rational“ geführt werden sollte. Sie schienen davon überzeugt, dass Aufklärung zum Teil mittels einer Grundausbildung in Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie geleistet werden kann.

### 3.5 Projektarbeit zur Entwicklung mathematischer Schulkompetenzen für die Behandlung von Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen

Wir beschreiben hier die vier Projekte, die von den Schülerinnen und Schülern der acht zehnten Klassen im Zusammenhang mit den Filmvorführungen von Jurassic Park und Eine unbequeme Wahrheit erarbeitet wurden. Diese Projekte wurden gezielt auf die Kompetenz „Mit Daten umgehen“ zugeschnitten. Die Projekte wurden von Gruppen zu je vier bis fünf Schülerinnen und Schülern bearbeitet. Die Schülerinnen und Schüler durften ihr Projekt frei auswählen.

Drei der Projekte (vier insgesamt) waren sehr „populär“ und wurden in allen Klassen realisiert, während eins (das CO<sub>2</sub>-Projekt) nur von drei Gruppen (zwei von Gymnasialschülern und eine von Realschülern) erarbeitet wurde.

Im Folgenden werden die Projekte kurz beschrieben:

#### **Projekt 1:** Unbequeme Ungenauigkeiten der unbequemen Wahrheit

Das Projekt bestand darin, die möglichen Übertreibungen des Filmes von Al Gore zu finden, Fragen dazu zu formulieren und sie, wenn möglich, zu beantworten.

Im Folgenden wollen wir einen Teil der Zusammenfassung einer Gruppe in einem der Gymnasien wiedergeben:

„Hinsichtlich seiner didaktischen Qualitäten verdient der Film von Gore Beachtung und Anerkennung. Zum ersten Mal konnten Schülerinnen und Schüler so viel qualitativ hochwertige Information über brisante Probleme klar strukturiert aufnehmen. Eine Reihe von Klimatologen hat auch gleich nach Erscheinen des Filmes bestätigt, dass Al Gore den Stand der Klimaforschung im Film bis auf wenige, nebensächliche Details richtig darstellt. Auch der Kieler Klimaforscher Mojib Latif bezeichnet den Film als im Großen und Ganzen richtig.

Es gibt aber doch einige „Fehler“ darin, und diese sind alle statistischer Natur. Das gilt besonders, wenn es um einmalige Ereignisse, wie den Hurrikan Katrina, geht, die nur dann eine Aussagekraft haben, wenn sie gehäuft auftreten. Außerdem überbetont der Film „worst case“-Szenarien, wie das komplette Abschmelzen der westlichen Antarktis, was nach heutigem Kenntnisstand wahrscheinlich – und wenn gar nichts dagegen unternommen wird – noch mindestens einige hundert Jahre dauern wird. In diesem Kontext sagt Gore einen bevorstehenden Anstieg des Meeresspiegels um

mehrere Meter bei gleichzeitiger Überflutung von Teilen der Städte New York und New Orleans voraus, ohne einen realistischeren Zeithorizont anzugeben. Kritisch ist auch der in dem Film simulierte Temperaturanstieg. Viele Eisbär-Populationen sind stärker von anderen Umweltschäden bedroht als vom Temperaturanstieg und seinen Konsequenzen. Die Annahme, dass die globale Klimaerwärmung zu einer Zunahme an Wirbelstürmen führt, ist mindestens umstritten und über ihre Berechtigung lässt sich auf der Grundlage der (glücklicherweise!) zu geringen Anzahl an Vorkommnissen methodisch nicht entscheiden. Nicht zuletzt präsentiert Gore manche Fakten als sicher, die wiederum vom UN-Klimarat IPCC nur als „low-confidence“-Szenarien beschrieben werden.“

Dass dieses Projekt zum Teil mit Informationen aus dem Internet realisiert wurde, war den Lehrerinnen und Lehrern klar. Das Hauptaugenmerk lag auf der Qualität der Wiedergabe und der Diskussion der Schülerinnen, die das Projekt entwickelten. Es ging also hauptsächlich um die Kompetenz des guten Argumentierens anhand von gesammelten Informationen. Es ging auch um die geeignete Sprache und die geeigneten Informationsformate, mit denen Schlussfolgerungen unter Unsicherheit sinnvoll gezogen werden können.

## **Projekt 2:** Was heißt Nanosolar?

Hier ging es darum, Informationen zu sammeln, die gestellte Frage verständlich zu beantworten und sinnvoll über das Unterfangen Nanosolar zu argumentieren. Es wurde vorausgesetzt, dass die Schülerinnen und Schüler Informationen aus dem Internet sammeln würden. Das Hauptaugenmerk lag auf der Kompetenz mit Daten umzugehen sowie auf der Argumentationskompetenz.

Eine Antwort der Schülerin Sibel, Pattonville (Großraum Stuttgart) auf die Frage wird hier wiedergegeben:

„Computerchips und Solarbatterien werden aus demselben Material gemacht: aus in dünne Scheiben geschnittenem Silizium. Dennoch hat sich das berühmte Silicon Valley in Kalifornien bis vor kurzem kaum mit diesen alternativen Nutzungen seines wichtigsten Rohstoffes befasst. Dies hat sich jetzt geändert. Die ganz großen Unternehmer der Welt investieren in saubere Energie. Im Juni 2006 hat eine Gruppe großer Investoren aus dem Silicon Valley 100 Millionen US-Dollar in Nanosolar investiert. Nanosolar ist ein Unternehmen, das die Kosten der Produktion von Solarbat-

terien dramatisch reduzieren will. Unter den Investoren sind auch die Gründer von eBay, des größten Internet-Auktionshauses der Welt, und SAP Deutschland, einem riesigen Software-Unternehmen. Die Gründung von Nanosolar wurde von Sergey Brin und Larry Page ermöglicht, den Erfindern von Google. Im letzten Monat hat ihre „do no evil“ (tue nichts Böses)-Suchmaschine die größte durch Sonnenenergie betriebene Installation auf dem Gelände des Silicon Valley angekündigt. Die Kollektoren werden 30% des gesamten Bedarfs zu Verfügung stellen können. Saubere Energie ist das Motto einiger großer Konzerne. Man rechnet, dass die Investition in saubere Energie dieses Jahres 63 Milliarden US-Dollar beträgt, 15 Milliarden mehr als im letzten Jahr.

Dürfen wir uns darüber freuen? Oder ist dieser Enthusiasmus ein Modephänomen wie so oft? In den späten Neunzigern ging das große Geld in Telekom- und dotcom-Investitionen. Einige der großen Vorsätze wurden zwar realisiert, nicht aber ohne den Verlust von großen Summen (1000 Milliarden). Wird das auch das Schicksal von Nanosolar sein?“

### **Projekt 3: CO<sub>2</sub>**

Dieses Projekt wurde an drei zehnten Klassen (zwei Gymnasien, eine Realschule) nach einer Wiederholung der Regressionsgleichung und einfacher Methoden zur Kurveninterpolation und ihrer Verwendung erfolgreich umgesetzt. Es war bei weitem das aufwendigste Projekt und wir konnten über Fragen an die Lehrerinnen und Lehrer der Klassen feststellen, dass diese Gruppen aus den mathematisch Begabtesten bestanden und dass sie dennoch zusätzliche Unterstützung benötigten. Wir präsentieren die Instruktionen des Projekts (übernommen von Erickson, 2006):

Hintergrund: Die Daten in der Datei CO2.ftm bestehen aus monatlichen Durchschnittswerten der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Erdatmosphäre, gemessen auf Hawaii zwischen September 1975 und Februar 1988. Sie stammen vom Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) und sind erhältlich unter <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2/sio-mlo.htm>. Die Konzentrationen sind in Anzahl der Teilchen pro Million gemessen.

Die folgenden Fragen/Aufgaben sollten als Motivation des Projekts anhand von Internetquellen beantwortet werden: A) Warum hat das CDIAC das Jahr 1750 gewählt? B) Wer ist Charles Keeling? Wodurch hat er sich verdient gemacht? Lies auf

der Homepage der Tagesschau vom 13. November 2006 über die Weltumweltkonferenz in Peking und die Zunahme der Treibhausgase in der Erdatmosphäre nach:  
[http://www.tagesschau.de/aktuell/meldungen/0,1185,OID6089196\\_REF3\\_NAV\\_BAB,00.html](http://www.tagesschau.de/aktuell/meldungen/0,1185,OID6089196_REF3_NAV_BAB,00.html)

Die Instruktionen für die Ausführung des Projektes waren genau festgelegt:

1. Öffne die Datei CO2.ftm und erstelle ein Streudiagramm von CO<sub>2</sub> versus Zeit (Jahr in Dezimaldarstellung). Beschreibe die Form der Daten

Verwende eine Gerade (eine bewegliche Gerade reicht aus), um in etwa den Trend der Daten wiederzugeben. Richte die Gerade so gut wie möglich ein, auch wenn offensichtlich ist, dass die Daten nicht linear sind. Was bedeuten Steigung und y-Achsenabschnitt dieser Geraden im Kontext dieser Daten.2. Basierend auf den vorliegenden Daten, in welchem Jahr erwartest Du, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration einen durchschnittlichen Wert von 600 ppmv erreicht? Erstelle ein Residuenplot und beschreibe seine Form. Welcher Funktionstyp eignet sich als Modell für die Residuen? Nun sollen die Residuen für sich untersucht werden. Erstelle ein neues Merkmal mit dem Namen Modell unter Verwendung Deiner Geradengleichung. Dazu klickst Du in der Datentabelle die Spalte „Neu“ an, gibst anstelle des Wortes Neu das Wort Modell ein. Danach musst Du auf die rechte Maustaste klicken, dann auf „Formel bearbeiten“ und die Formel für die oben erstellte Geradengleichung angeben. Danach erstellst Du auf gleiche Weise ein neues Merkmal mit dem Namen resid. Dann drückst Du auf die rechte Maustaste und klickst im Menü auf „Formel bearbeiten“, gib als Formel „CO<sub>2</sub>-Modell“ ein. Plote „resid“ versus Zeit in einem Streudiagramm.3. Erstelle ein möglichst genaues Modell für die Residuen. Welche Art von Funktion hast Du verwendet? Was sind die Parameter und was bedeuten sie? Was ist Dein kombiniertes Modell? Kommentiere die Qualität der Anpassung an die Daten. Lade jetzt die Datei MaunaLoa56-94.ftm. Sie enthält monatliche CO<sub>2</sub>-Messungen von 1956 bis 1994. Ist der Trend (Daten ohne monatsbedingte Schwankungen) über den längeren Zeitraum immer noch mit einer Geraden angemessen modelliert? Warum oder warum nicht? Wenn nicht, suche nach einem verbesserten Modell.

Das CDIAC schätzt, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration vor 1750 ungefähr 280 ppmv betrug. Welche „Voraussage“ macht Dein Modell für das Jahr 1750? Zu welcher Vermutung über die zeitliche Änderung der CO<sub>2</sub>-Konzentration gibt die Diskrepanz zwischen Deiner Schätzung und dem Wert des CDIAC Anlass? Warum?

Wie bereits erwähnt, wurde dieses Projekt von zwei Gruppen der zwei zehnten Klassen der Gymnasien bearbeitet und einer einzigen Gruppe der Realschule. Manche Teile wurden nur ansatzweise behandelt und die Lehrer haben aktive Unterstützung geleistet. Es waren die mathematisch leistungsstarken Schülerinnen und Schüler, die sich mit diesem Projekt befassten. Obschon die Schüler für die Projektarbeiten keine Benotung erhielten, waren der Fleiß der Schülerinnen und Schüler und ihr Enthusiasmus so bemerkenswert, dass alle drei Gruppen einen kleinen Preis erhielten (der Film von Al Gore als Video).

#### **Projekt 4: Das Wetter**

Das Projekt beinhaltete zwei Phasen. Als erste Phase wurde von Seite der Schülerinnen und Schüler untersucht, wie Erwachsene die Aussage „Morgen wird es mit einer Wahrscheinlichkeit von 30% regnen“ verstehen. Die Schülerinnen und Schüler sollten eine Stichprobe von 30 Personen befragen und die Antworten kategorisieren. Die zweite Komponente des Projekts behandelte sechs Aufgaben mit Anwendungen von bedingten Wahrscheinlichkeiten und dem Satz von Bayes. Es ging einerseits um das Verständnis der Aussage „Die Regenwahrscheinlichkeit morgen beträgt 30%“ und um Beschreibungen des Wetters in einem ganz besonderen Land, nämlich Sikkim (die Aufgaben stammen von Artur Engel, 1974). Eine der sechs Aufgaben lautete beispielsweise

„Wenn es heute in Sikkim trocken (T) ist, dann ist es morgen mit Wahrscheinlichkeit  $\frac{5}{6}$  wieder trocken. Wenn es heute nass (N) ist, dann ist es morgen mit Wahrscheinlichkeit  $\frac{2}{3}$  nass. Gestern war Sonntag und es war trocken. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass es

- a. Dienstag trocken
- b. Mittwoch nass
- c. Donnerstag trocken

ist?“

Das Projekt beinhaltete einerseits die Bearbeitung der Aufgaben und andererseits die Diskussion über probabilistische Wetteraussagen.

Dieses Projekt wurde von 16 Gruppen bearbeitet. Die Realschülerinnen und -schüler, die den Stoff zu bedingten Wahrscheinlichkeiten bis dahin oft nur oberflächlich behandelt hatten, wurden von den Lehrerinnen und Lehrern mit Instruktionsein-

heiten unterstützt. Die Gruppen waren von dem Thema begeistert und insgesamt erfolgreich. Einige dieser Gruppen haben auch Präsentationen in anderen zehnten Klassen ihrer Schulen ausgeführt.

### 3.6 Reaktionen der Schülerinnen und Schüler

Bei der Analyse der Aufnahmen der dritten Phase wurden Aussagen (Statements) der Schülerinnen und Schüler transkribiert und gesammelt, die uns von besonderer Bedeutung schienen. Wie bereits erwähnt hatten die Schülerinnen und Schüler die Gelegenheit, sich im Internet über die behandelten Fragestellungen zu informieren. Wir beurteilten ihre Aussagen in den Diskussionen (die frei gehalten wurde) als von Bedeutung, wenn sie auf ein gutes Verständnis der erforschten Zusammenhänge deuteten. Es ging also um die Kompetenz, sich Meinungen zu bilden und sie verständlich und deutlich zusammenzufassen. Eine Stichprobe der Aussagen der Schülerinnen und Schüler wird in den folgenden Abschnitten (mit deren Erlaubnis) zitiert:

#### 1. Jens (Realschule):

In dem Film stellt Gore seine Sicht des derzeitigen Standes der Klimaforschung dar und kommentiert diesen. Al Gore weist auf die sehr dünne Erdatmosphäre hin, die aus dem All zu erkennen ist, und stellt einen Einfluss der Menschheit auf die globale Erwärmung als möglich dar. Al Gore befürchtet, dass die Menschheit trotz der Größe der Erde mit ihren Abgasen die Zusammensetzung der Atmosphäre mit katastrophalen Folgen verändert.

#### 2. Maria (Realschule):

Mich hat die Erläuterung der kausalen Zusammenhänge zwischen CO<sub>2</sub>-Emissionen und Klimawandel beeindruckt. Ich hatte das bisher nicht verstanden. Von der Sonnenstrahlung, die die Erde und Atmosphäre erwärmt, wird ein Teil der Wärme als Infrarotstrahlung wieder nach außen abgestrahlt, während der Rest von der äußeren Atmosphärenschicht wieder zurückgestrahlt wird und so bisher die Temperatur relativ konstant hält. Die klimaschädigenden Treibhausgase machen die äußere Atmosphärenschicht immer undurchlässiger, es wird mehr Infrarotstrahlung zur Erde zurückgestrahlt. Daran ist das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) beteiligt, dessen Gehalt seit dem Beginn der Aufzeichnungen in Form einer jährlichen Zickzack-Kurve insgesamt immer weiter ansteigt. Der Anstieg dieser Kurve hat sich aber in den letzten Jahren verändert.

### 3. Jana (Realschule):

Wie die CO<sub>2</sub>-Emissionen die globale Erderwärmung verursachen, war mir bis jetzt nicht klar. Trotz der Versuche, die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren, wie durch eine CO<sub>2</sub>-Steuer und das Kyoto-Protokoll, steigt der CO<sub>2</sub>-Gehalt weiter. Mir ist aber nicht klar, ob dadurch unbedingt die Gletscher abschmelzen, wie am Kilimandscharo-Massiv und im Himalaja. Und was sind die Konsequenzen für die Trinkwasserversorgung der Menschheit?

### 4. Johanna (Realschule):

Ich bin sehr motiviert, mich in Zukunft mit den im Film beschriebenen Problemen auseinanderzusetzen. Zum Beispiel würde mich die Erforschung der Gletscher am Himalaja interessieren. Ich würde untersuchen, ob es möglich ist, dass es in 50 Jahren kaum noch Himalaja-Gletscher gibt, aus denen die Flüsse entstehen, wenn es mit der Erwärmung so weiter geht.

### 5. Almut (Gymnasium):

Ich war erstaunt, wie sich das Verhältnis zwischen dem CO<sub>2</sub> und der restlichen Atmosphäre verändert hat. In den letzten 650.000 Jahren war das Verhältnis zwischen dem CO<sub>2</sub>-Anteil und der restlichen Atmosphäre relativ konstant. Doch in den letzten 50 Jahren ist der CO<sub>2</sub>-Anteil auf beinahe das Doppelte angestiegen. Wenn wir nichts tun und der Ausstoß gleich bleibt, dann wird die Sonnenstrahlung noch weniger die Atmosphäre verlassen, wodurch mehr Wärme entsteht.

### 6. Robert (Gymnasium):

Der Film zeigt uns, dass sich viele „Ängste“ der Skeptiker von vor 30 Jahren als begründet erwiesen haben. Seit den Siebziger Jahren haben nämlich Skeptiker eine Erwärmung der Weltmeere vorausgesagt und sind dafür ausgelacht worden. Heute erkennt man, dass ihre Prognosen richtig waren. Eine Erwärmung der Meere führt zu einer höheren Luftfeuchtigkeit und zu stärkeren Stürmen und Hurrikanen. Der Film sagt, dass Katrina eine direkte Folge der Erwärmung der Meere ist. Mir scheint diese Aussage ein wenig gewagt, weil man mehrere solcher Katrinas haben müsste, bevor man sicher ist. Aber mir ist klar, dass wir uns wirklich mit diesen Problemen beschäftigen sollten und dass die Schule uns die Methoden zeigen kann, wie man sich mit den vielen Aussagen der Medien auseinandersetzen kann.

7. Jan (*Gymnasium*):

Mich hat vor allem beeindruckt, dass der einzelne Mensch alleine so wenig tun kann. Die Wissenschaftler und die Politiker stecken unter einer Decke. Kann das sein, dass die Wahrheit über den Klimawandel von den Regierungen verschwiegen wurde?

8. Elke (*Realschule*):

Ich habe nicht ganz verstanden, wieso der Tschadsee wegen der globalen Erwärmung austrocknen könnte. Es ist irgendwie klar, dass die globale Erderwärmung gewaltige Niederschlagsmengen verursacht, die kleine Gebiete überfluten. Warum muss man aber annehmen, dass deshalb die Nachbarprovinzen vertrocknen. Warum saugt die Erderwärmung nicht nur mehr Wasser aus dem Meer, sondern auch mehr Flüssigkeit aus der Erde, die sich dann in Steppe verwandelt?

9. Ursula (*Realschule*):

Ich wusste nicht, dass in der Arktis der Permafrostboden wegen der Erderwärmung taut und Pipelines und Häuser zerbrechen. Gore sagte, dass man vor 35 Jahren an 225 Tagen pro Jahr mit dem LKW auf dem Permafrostboden fahren konnte. Heute sind es nur noch 75 Tage. Seit 1970 sind 40% der Eismenge an der Arktis geschmolzen, wenn es so weiter geht, wird das Eis in 50 Jahren vollkommen verschwunden sein. Die Eisbären kommen deshalb in Schwierigkeiten.

10. Sibel (*Realschule*):

Ich will genauer wissen, was man für die Eisbären tun kann. In dem Film heißt es, dass die Bären ertrinken, weil sie große Strecken schwimmen müssen, um Packeis zu finden, wo sie laufen können.

11. Elif (*Realschule*):

Al Gore zeigt, dass wir Schülerinnen und Schüler uns wirklich sehr ernsthaft mit den Problemen der Erde beschäftigen sollten. Das Weltklima ist wie ein großer Motor, der Wärme vom Äquator zu den Polen durch Strömungen und Windsysteme treibt. Das Klima bewegt sich in abrupten Sprüngen. Wenn es nach dem statistischen Mittelwert einen weltweiten Temperaturanstieg von 2,75°C gibt, dann erwärmt sich die Erde in Äquatornähe nur um 0,5°C. In der Arktis ist es aber viel schlimmer: Da erwärmt sich das Klima um 6°C. Diese Probleme sind groß. Ich will all diese Sachverhalte besser verstehen.

12. *Georg (Gymnasium):*

Man hört so viel über den Golfstrom. Der Golfstrom ist eine Art „Förderband des Ozeans“, das durch das schwere salzige Wasser der Arktis angetrieben wird. Vor 9000 Jahren ist es zu einer knapp 1000jährigen Kälteperiode in der Atlantikregion gekommen, weil das Gletscherwasser geschmolzen war. Das viele Wasser erreichte den nordamerikanischen Kontinent und machte den Salzgehalt kleiner und setzte den Golfstrom außer Kraft. Etwas Ähnliches könnte wieder passieren. Aber wann?

13. *Rafi (Gymnasium):*

Mir hat der Film sehr gut gefallen, weil ich viel verstanden habe. Zum Beispiel ist mir klar geworden, dass es relativ bald zu einem Klimaschock kommen kann. Wenn sich auf der Oberfläche des Grönlandgletschers durch die Erwärmung Süßwasserseen bilden, die das atlantische Salzwasser verdünnen, wie es seit einigen Jahren passiert, droht ein Klimaschock.

14. *Kevin (Gymnasium):*

Es hat mich beeindruckt, wie viele Phänomene miteinander verknüpft sein können. Im Wattenmeer erschienen die Zugvögel seit Jahrhunderten um den 25. April herum, ihre Küken schlüpften um den 3. Juni. Die Ökosysteme hatten sich so aufeinander eingestellt, dass zu dieser Zeit auch Raupen schlüpften, die die Nahrungsgrundlage bildeten. Doch mittlerweile schlüpfen die Zugvögel und die Küken schon zwei Wochen früher, so dass die Zugvögel dann keine Nahrungsmittel mehr haben und die Raupen andererseits große Umweltschäden anrichten können.

15. *Jean (Gymnasium):*

Wie steht es mit dem Aussterben von Korallen? Durch die Meerese Erwärmung kommt es zu einem Korallensterben, das wiederum Fischarten aussterben lässt. Die Aussterberate hat sich in den letzten Jahrzehnten vertausendfacht, sagt der Film. Ich möchte das erforschen.

16. *Marina (Gymnasium):*

Wenn das grönländische Festlandeis und der Antarktiseisschelf zur Hälfte schmelzen, steigt der Meeresspiegel weltweit um sechs Meter an. Das Wasser aus den Süßwasserseen verändert die Konsistenz des Eises, und es entstehen Gletscherhöhlen, sagt Al Gore. Der Grönländische Eisschelf ist in den letzten 15 Jahren schon um die

Hälfte geschrumpft. Kann man glauben, dass in den nächsten Jahren mit so vielen Flüchtlingen zu rechnen ist?

### **Bemerkungen zu den Aussagen**

Die hier gesammelten Aussagen sind Teile der von 16 Schülerinnen und Schülern „vorbereiteten“ Thesen oder Stellungnahmen für die Gestaltung einer gemeinsamen Diskussion. Das Kriterium der Auswahl (es waren insgesamt um die 200), die hier wiedergegeben sind, bilden ein Mosaik von Kommentaren über den Film „Eine unbequeme Wahrheit“, das einige seiner bedeutenden Aspekte abdeckt. Jeder Kommentar wurde als der Inhalt eines eigenen, individuellen Steckbriefes der Schülerin oder des Schülers konzipiert. Den Schülerinnen und Schülern war bewusst, dass Teile ihrer Aussagen gesammelt werden und dass anschließend eine Auswahl davon getroffen werden würde, um sie in eine Veröffentlichung zu integrieren. Dieser Faktor förderte ihren Enthusiasmus: sie fühlten ihre Verantwortung in einem Forschungsprojekt. Die Lehrerinnen und Lehrer aller besuchten Klassen waren über die Anteilnahme und die Bereitschaft der Schülerinnen und Schüler sowie über die Präzision ihrer Aussagen und Fragen erstaunt. Erstaunlich an den Aussagen ist die „echte“ Neugierde, die sie ausdrücken und die der Film ausgelöst hat. Die Funktion der Diskussion um diese Aussagen war die Motivation für die Auseinandersetzung mit der Problematik der Modellierung einiger der Fragen, die der Film stellt.

### **3.7 Kommentare und Zusammenfassung**

Die Interventionsstudie wurde als Pilotstudie für die Planung einer Reihe von strukturierten Interventionen gesehen, die als Ziel haben, Schüler für die Stochastik und Explorative Datenanalyse zu begeistern, und zwar als mathematische Instrumente für den sinnvollen Umgang mit Informationen zu Problemen von Umwelt und Nachhaltigkeit. Einige partielle Resultate der Auswertungen der Projektarbeiten wurden einzeln auf Tagungen und in Publikationen berichtet (Martignon, 2008; Martignon & Krauss, 2008).

Viele Schwächen der Studie fielen auf, die zum Teil durch die Kurzfristigkeit ihrer Planung zustande kamen. Die Kombination von zwei Klassen aus dem Gymnasium und sechs Klassen aus der Realschule hatte Vorteile und Nachteile: einerseits wurden die Unterschiede in der mathematischen Ausbildung sehr deutlich (weshalb das

CO<sub>2</sub>-Projekt nur an einer Realschule ausgeführt werden konnte), andererseits wurde aber klar, dass eine Unterrichtsform, die an reellen Problemen anknüpft, Schülerinnen und Schüler beider Schultypen stark motiviert. Weil wir das Projekt CO<sub>2</sub> als das nützlichste und auch wichtigste betrachten, sahen wir es als unsere Aufgabe, es nochmals zu überarbeiten und als Teil von neuen Interventionen in zehnten Klassen realisieren zu lassen.

Als Gesamtergebnis wollen wir betonen, dass das Interesse der Schülerinnen und Schüler und ihre Bereitschaft, mathematische Instrumente gezielt zu erlernen, um mit diesen Instrumenten anhand von reellen Daten zu arbeiten, überraschend groß war. Das Ziel, Elemente der Stochastik und Explorativen Datenanalyse anhand der ausgeführten Filme und der darauf folgenden Diskussionen zu motivieren, schien uns nach der Projektphase erfolgreich realisiert. Es ging vor allem darum, die Kultur einer „aufgeklärten“, informierten und mathematisch fundierten Debatte zu etablieren. Am auffälligsten schien uns die Bereitschaft der Lehrerinnen und Lehrer, die für sie teilweise nicht so vertrauten mathematischen Konzepte aufzunehmen und in ihr Lehrinstrumentarium zu integrieren. Ein implizites Ziel war es auch, die Lehrerinnen und Lehrer zu überzeugen, mit einer Software zu arbeiten, die speziell für die Stochastik und die Explorative Datenanalyse konzipiert wurde (Phathom). Dieses Ziel wurde zweifellos erreicht. Mit einigen dieser Lehrerinnen und Lehrern hat sich ein reger Kontakt etabliert. Mit sechs der acht Schulen wurden auch dieses Jahr (2008 = Jahr der Mathematik) ähnliche Interventionen geplant und durchgeführt. Der Film „Eine unbequeme Wahrheit“ diente wieder als Brücke zur Projektarbeit über Themen von Umwelt und Nachhaltigkeit anhand der adäquaten mathematischen Modellierungen (vgl. Martignon, 2008).

Das Projekt, das der Film „Eine unbequeme Wahrheit“ bei uns in Gang gesetzt hat, zielt also auf die Motivation einer stochastischen Grundbildung, die nicht allein durch das Spielen mit Urnen und Kugeln geschehen soll – wie es leider in den Anfangskursen der Stochastik oft der Fall ist – sondern durch die Auseinandersetzung mit reellen Problemen unserer Welt. Es handelt sich um ein aufklärerisches Ziel, nach dem statistische Grundkenntnisse Teil des verbindlichen Bildungskanons werden sollen – und zwar für alle.

Um Grundkenntnisse im stochastischen Denken aufzubauen, beginnend in der Grundschule und dann fortgeführt in allen Schultypen, sind die Leitideen „Daten“ und in der Sekundarstufe „Zufall“ in den Bildungsplänen seit 2005 zwar verankert.

Es fehlt aber ein kohärentes didaktisches Programm von der Grundschule bis zu den Schulabschlüssen, das eine stochastische Grundbildung für alle realisieren soll. Die in dieser Studie beschriebenen Interventionen dienten zur Motivation von Schülerinnen und Schülern und auch von Lehrerinnen und Lehrern genau in diesem Sinne, nämlich eines solchen aufzubauenden Programms. Die Interventionen haben wichtige Anknüpfungspunkte mit dem Konzept der ‚statistical literacy‘, das über Kenntnisse des Problemlösens und des Modellierens im engeren Sinne hinausgeht und ein statistisches Lebensgefühl subsumiert: eine Zuhause sein im Umgang mit statistischen Repräsentationen, um Entscheidungen in unseren Lebenswelten zu treffen und kommunizieren. Dieses statistische Lebensgefühl sollte zwar in der neunten und zehnten Klasse aller Schultypen durch Modellierungsmethoden der Explorativen Datenanalyse (e.g. Regressionsmodelle) und durch die Verwendung von Software zur Simulation angereichert, aber bereits ab der vierten Klasse der Grundschule gefördert werden. Die Gleichverteilung von Ressourcen kann, wie wir empirisch feststellen konnten, bereits von Schülerinnen und Schülern der vierten Klasse modelliert und begriffen werden. Die Grundschule ist der Ort, in dem Kinder damit anfangen können – und sollten – unser Weltdorf zu modellieren.



## Referenzen

- Arendt, H. (1985) *Das Urteilen*. München: Piper
- Annan, J. D. & Hargreaves, J. C. (2007) Efficient estimation and ensemble generation in climate modelling. *Phil. Trans. R. Soc. A* 365, 2077–2088
- Bruner, J. (1960) *The process of education*. Cambridge, Mass: Harvard University Press
- de Haan, G.; Kamp, G.; Lerch, A.; Martignon, L.; Müller-Christ, G.; Nutzinger H. G. (2008) *Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit. Grundlagen und schulpraktische Konsequenzen*. Springer Verlag Berlin/Heidelberg/New York
- Engel, A. (1974) *Stochastik*. Stuttgart: Klett Verlag
- Erickson, T. (2006) *Mauna Loa Project with Phathom* (auch in Engel, J. *PH-Ludwigsburg, Angewandte Mathematik*)
- Heckhausen, J. & Heckhausen, H. (2007) *Motivation and action*. New York, NJ: Cambridge University Press
- Howson, C. & Urbach, P. (1993) *Scientific Reasoning – the Bayesian Approach*. Chicago and La Salle: Open Court
- Huebener, H., Cubasch, U., Langematz, U., Spanghel, T., Nierhorster, F., Fast, I. & Kunze, M. (2007) Ensemble climate simulations using a fully coupled ocean–troposphere–stratosphere general circulation model. *Phil. Trans. R. Soc. A* 365, 2089–2101
- IPCC (2007) *Klima Bericht*: [http://www.upi-institut.de/klima-bericht\\_des\\_ipcc.htm](http://www.upi-institut.de/klima-bericht_des_ipcc.htm)
- Jakob, D. (2006) *Regionale Klimasimulationen für Deutschland, Österreich und die Schweiz*. Max Planck Institut für Meteorologie, Hamburg
- Krämer, W. (2003) *So lügt man mit Statistik*. München: Piper
- Kurz-Milcke, E. & Martignon, L. (2006) Lebendige Urnen und ereignisreiche Bäume: Überlegungen und Versuche zu einer Didaktik der Stochastik in der Grundschule. In J. Meyer (Hrsg.) *Anregungen zum Stochastikunterricht*, Bd. 3. (pp. 181–203). Hildesheim: Franzbecker
- Martignon, L. (2008) *Instructing future teachers of statistics: the benefits of en-active, analogue modelling*. ICMI/IASE Study. [http://www.ugr.es/~icmi/iase\\_study/](http://www.ugr.es/~icmi/iase_study/)
- Martignon, L. & Krauss, S. (2008) *Hands-on Modelling with Wason Cards and Tinker Cubes*. Proceedings of the Topic Study Group 13 of the ICME 11 Conference, Monterrey

- Min, S.-K., Simonis, D. & Hense, A. (2007) Probabilistic climate change predictions applying Bayesian model averaging. *Phil. Trans. R. Soc. A* 365, 2103–2116
- Murphy, J. M., Booth, B. B. B., Collins, M., Harris, G. R., Sexton, D. & Webb, M. (2007) A methodology for probabilistic predictions of regional climate change from perturbed physics ensembles. *Phil. Trans. R. Soc. A* 365, 1993–2028
- Palmer, T. N. & Hagedorn, R. (eds) (2006). *Predictability of weather and climate*. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- PISA-Konsortium 2003 Deutschland (2004) *Der Bildungsstandard der Jugendlichen in Deutschland: Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Münster: Waxmann
- Rougier, J. & Sexton, D. S. (2007) Inference in ensemble experiments. *Phil. Trans. R. Soc. A* 365, 2133–2143
- Stainforth, D. A., Allen, M. R., Tredger, E. R. & Smith, L. (2007a) Confidence, uncertainty and decision-support relevance in climate predictions. *Phil. Trans. R. Soc. A* 365, 2145–216
- Stainforth, D. A., Downing, T., Washington, R., Lopez, A. & New, M. (2007b) Issues in the interpretation of climate model ensembles to inform decisions. *Phil. Trans. R. Soc. A* 365, 2163–2177
- Stott, P. A. & Forest, C. E. (2007) Ensemble climate predictions using climate models and observational constraints. *Phil. Trans. R. Soc. A* 365, 2029–2052
- Schröder, M., Claussen, M., Grunwald, A., Hense, A., Klepper, G., Lingner, S., Ott, K., Schmitt, D. & Sprinz, D (2002) *Klimavorhersage und Klimavorsorge*, Springer Verlag Berlin/Heidelberg/New York
- Smith, D. & Armstrong, S. (2002) *Wenn die Welt ein Dorf wäre*. Jungbrunnen: Wien
- Tebaldi, C. & Knutti, R. (2007) The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projection. *Phil. Trans. R. Soc. A* 365, 2053–2075

## Further volumes of the “Graue Reihe”:

- 1 Carl Friedrich Gethmann, Armin Grunwald, *Technikfolgenabschätzung: Konzeptionen im Überblick*, 9/96, 2. Aufl. 7/98
- 2 Carl Friedrich Gethmann, *Umweltprobleme und globaler Wandel als Thema der Ethik in Deutschland*, 9/96, 2. Aufl. 10/98
- 3 Armin Grunwald, *Sozialverträgliche Technikgestaltung: Kritik des deskriptivistischen Verständnisses*, 10/96
- 4 Arbeitsgruppe Neue Materialien, *Technikfolgenbeurteilung der Erforschung und Entwicklung neuer Materialien. Perspektiven in der Verkehrstechnik*. Endbericht zum Vorprojekt, 1/97
- 5 Mathias Gutmann, Peter Janich, *Zur Wissenschaftstheorie der Genetik. Materialien zum Genbegriff*, 4/97
- 6 Stephan Lingner, Carl Friedrich Gethmann, *Klimavorhersage und -vorsorge*, 7/97
- 7 Jan P. Beckmann, *Xenotransplantation. Ethische Fragen und Probleme*, 7/97
- 8 Michael Decker, *Perspektiven der Robotik. Überlegungen zur Ersetzbarkeit des Menschen*, 11/97
- 9 Carl Friedrich Gethmann, Nikolaj Plotnikov, *Philosophie in Rußland. Tendenzen und Perspektiven*, 5/98
- 10 Gerhard Banse (Hrsg.), *Technikfolgenbeurteilung in Ländern Mittel- und Osteuropas*, 6/98
- 11 Mathias Gutmann, Wilhelm Barthlott (Hrsg.), *Biodiversitätsforschung in Deutschland. Potentiale und Perspektiven*, 11/98, 2. Aufl. 4/00
- 12 Thorsten Galert, *Biodiversität als Problem der Naturethik. Literaturreview und Bibliographie*, 12/98
- 13 Gerhard Banse, Christian J. Langenbach (Hrsg.), *Geistiges Eigentum und Copyright im multimedialen Zeitalter*. Positionen, Probleme, Perspektiven, 2/99
- 14 Karl-Michael Nigge, *Materials Science in Europe*, 3/99
- 15 Meinhard Schröder, Stephan Lingner (eds.), *Modelling Climate Change and its Economic Consequences. A review*, 6/99
- 16 Michael Decker (Hrsg.), *Robotik. Einführung in eine interdisziplinäre Diskussion*, 9/99
- 17 Otto Ulrich, „Protection Profile“ – Ein industriepolitischer Ansatz zur Förderung des „neuen Datenschutzes“, 11/99
- 18 Ulrich Müller-Herold, Martin Scheringer, *Zur Umweltgefährdungsbewertung von Schadstoffen und Schadstoffkombinationen durch Reichweiten- und Persistenzanalyse*, 12/99
- 19 Christian Streffer et al., *Environmental Standards. Combined Exposures and their Effects on Human Beings and their Environment (Summary)*, 1/00
- 20 Felix Thiele (Hrsg.), *Genetische Diagnostik und Versicherungsschutz. Die Situation in Deutschland*, 1/00, 2. Aufl. 2/01
- 21 Michael Weingarten, *Entwicklung und Innovation*, 4/00
- 22 Ramon Rosselló-Mora, Rudolf Amann, *The Species Concepts in Prokaryotic Taxonomy*, 8/00
- 23 Stephan Lingner, Erik Borg, *Präventiver Bodenschutz. Problemdimensionen und normative Grundlagen*, 9/00
- 24 Minou Bernadette Friele (Hrsg.), *Embryo Experimentation in Europe*, 2/01
- 25 Felix Thiele (Hrsg.), *Tierschutz als Staatsziel? Naturwissenschaftliche, rechtliche und ethische Aspekte*, 2/01

- 26 Vitaly G. Gorokhov, *Technikphilosophie und Technikfolgenforschung in Russland*, 2/01
- 27 Chris W. Backes, *Klimaschutz in den Niederlanden*, 3/01
- 28 G. Hanekamp, U. Steger (Hrsg.), *Nachhaltige Entwicklung und Innovation im Energiebereich*, 7/01
- 29 Thomas Christaller, Michael Decker (Hrsg.), *Robotik. Perspektiven für menschliches Handeln in der zukünftigen Gesellschaft. Materialienband*, 11/01
- 30 Michael J. Selgelid, *Societal Decision Making and the New Eugenics*, 4/02
- 31 Bernhard Irrgang, *Humangenetik auf dem Weg in eine neue Eugenik von unten?*, 2/02
- 32 Meinhard Schröder et al., *Climate Prediction and Climate Precautions*, 6/02
- 33 Ulrich Steger et al., *Sustainable Development and Innovation in the Energy Sector. Executive Summary*, 2/03
- 34 Carl Friedrich Gethmann, Stephan Lingner, *Zukünftige Klimaänderungen als Herausforderung für die deutsche Wirtschaft*, 7/03
- 35 Günter Schmid et al., *Small Dimensions and Material Properties. A Definition of Nanotechnology*, 11/03
- 36 Jorge Guerra González (ed.), *Environmental Noise. Main Focus: Aircraft Noise*, 3/04
- 37 Konrad Ott, Gernot Klepper, Stephan Lingner, Achim Schäfer, Jürgen Scheffran, Detlef Sprinz (mit einem Beitrag von Meinhard Schröder), *Konkretisierungsstrategien für Art. 2 der UN-Klimarahmenkonvention*, 7/04
- 38 Annemarie Gethmann-Siefert, Stefan Huster (Hrsg.), *Recht und Ethik in der Präimplantationsdiagnostik*, 7/05
- 39 Friedrich Breyer, Margret Engelhard (Hrsg.), *Anreize zur Organspende*, 11/06
- 40 Carl Friedrich Gethmann, Nicola Rohner, Kai-Uwe Schrogl (Hrsg.), *Die Zukunft der Raumfahrt. Ihr Nutzen und ihr Wert*, 1/07
- 41 Michael Decker, *Angewandte interdisziplinäre Forschung in der Technikfolgenabschätzung*, 1/07
- 42 Stephan Lingner, Simone Allin, Gerhard Steinebach (Hrsg.), *Gesellschaftliche Randbedingungen der Virtualisierung urbaner Lebenswelten*, 5/07
- 43 Margret Engelhard, Kristin Hagen, Felix Thiele (eds), *Pharming – A New Branch of Biotechnology*, 11/07
- 44 Ulrich Steger, Ulrich Büdenbender, Eberhard Feess, Dieter Nelles, *The Regulation of Electricity Networks. Open Questions and Methods of Solution. Executive Summary*, 7/08
- 45 Jan A. Bollinger, *Profilierung und Qualitätsentwicklung von Schulen durch Bildung für eine nachhaltige und gerechte Entwicklung*, 9/08
- 46 Felix Thiele, Jörg M. Fegert, Günter Stock (eds) *Clinical research in minors and the mentally ill*, 11/08
- 47 Bert Droste-Franke, Holger Berg, Annette Kötter, Jörg Krüger, Karsten Mause, Johann-Christian Pielow, Ingo Romey, Thomas Ziesemer, *Fuel Cells and Virtual Power Plants. Energy, Environmental, and Technology Policy Aspects of an Efficient Domestic Energy Supply. Executive Summary*, 11/08
- 48 Laura Martignon, Winfried Sander, *Der Weg zu einer Nachhaltigkeitskultur in der Schule. Zwei empirische Studien*, 3/09