

PATRÍCIA JELEMENSKÁ

**Wie kann man Kompetenzen im Bereich Ökologie erfassen?**

TIMSS-Aufgaben zur Ökologie in der Sicht von Ergebnissen der Didaktischen Rekonstruktion

**How to measure competencies in the field of ecology?**

Analysis of TIMSS-Items based on the Model of Educational Reconstruction

## Zusammenfassung

In Beitrag werden methodologische Aspekte der TIMS-Studien diskutiert. Auf der Basis einer qualitativen Analyse von TIMSS Aufgaben im Bereich Ökologie und einer Reanalyse der Schülerleistungen und Lösungshäufigkeiten werden die Kompetenzfestlegungen in diesem Bereich beurteilt. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion dient als theoretischer Rahmen der Analysen. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Art von Analysen auch für andere Themenbereiche internationaler Studien wie TIMSS und PISA fruchtbar wären.

Schlagwörter: Bestimmung von Kompetenzen, Didaktische Rekonstruktion, Ökologie

## Abstract

This paper focuses on methodological issues of TIMS-Studies. Based on a qualitative analysis of TIMSS ecology related items and a re-analysis of students' scores the kind of ecology conceptions assessed in TIMSS are investigated. The Model of Educational Reconstruction provides the theoretical frame for the analyses. The results indicate that such analyses would be also fruitful for other themes in TIMSS and in other international studies like PISA as well.

Keywords: measuring competencies, educational reconstruction, ecology

**1 Einleitung**

In Untersuchungen zu Schülervorstellungen wird festgestellt, dass die Vorstellungen der Kinder in mehrerer Hinsicht Übereinstimmungen mit jenen der Erwachsenen zeigen. Grotzer und Bell Basca (2003) weisen darauf hin, dass Primarlehrerinnen und -lehrer Schwierigkeiten haben, wenn sie den Weg der Energie im Ökosystem als Fluss und den der Stoffe als einen Kreislauf deuten sollen: Energie wird nach Ansicht der Lehrkräfte genauso wie die Stoffe im Nahrungsnetz recycelt. In den TIMS-Studien (TIMSS, 1995) wird dagegen u.a. festgestellt, dass eine Aufgabe zum Energiefluss bei den 13- bis 14-jährigen Lernenden auf Grund der hohen Lösungshäufigkeit in eine niedrigere Niveaustufe einzuordnen sei. Baumert, Klieme, Lehrke, & Savelsbergh (1999) leiten aus den TIMSS-Ergebnissen im Bereich der Physik Kompetenzstufen ab. Eine solche Ableitung von

Kompetenzen und Kompetenzniveaus aus den Aufgaben bei TIMSS wird von anderen Autoren kritisch betrachtet, da sie nicht auf einer Grundbildungskonzeption oder von den Lernenden gezeigten Kompetenzen beruht, sondern allein aus den statistischen Daten extrahiert wird, die mit den verwendeten Aufgabentypen gewonnen werden (Schecker, & Parchmann, 2006).

In dem vorliegenden Beitrag werden die TIMSS-Ergebnisse mit Hilfe des Modells der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997) betrachtet: Die in TIMSS verwendeten Aufgaben sowie mögliche Ursachen für die Lösungshäufigkeiten werden anhand der Ergebnisse der Didaktischen Rekonstruktion zu ökologischen Begriffen (Ökosystem, Lebensgemeinschaft; Jelemenská, 2006) (re)analysiert.

## 2 Ausgangspunkt der Überlegungen

Der Ausgangspunkt der Überlegungen ist der Unterschied zwischen den Vorgehensweisen der TIMSS-Studie und dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Die jeweilige Vorgehensweise prägt das Verständnis und die Formulierung von Kompetenzen.

### 2.1 „Trends in International Mathematics and Science Study“ (TIMSS)

Der Untersuchungsrahmen von TIMSS ist am Curriculum orientiert: Es wird zwischen „Intended“, „Implemented“ und „Attained Curriculum“ unterschieden. Die Frage ist, inwiefern sich das „Intended“ vom „Implemented Curriculum“ und vor allem vom „Attained Curriculum“ unterscheidet, d.h. davon, was die Schüler tatsächlich lernen (Mullis, Martin, Smith, Garden, Gregory, Gonzales et al., 2001). Mit dem internationalen Vergleich der Ergebnisse der Studien, die seit TIMSS 1995 im Intervall von vier Jahren ablaufen, wird u.a. versucht, Trends im mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht zu erfassen.

1. Hinsichtlich des „*Intended Curriculum*“ geht man davon aus, dass die Aufgaben (möglichst viele) Übereinstimmungen mit den Curricula der beteiligten Länder haben. Beispielsweise sind die Aufgaben im Inhaltsbereich „Science“ („Life science“) auf eine funktionale Definition des Ökosystems hin orientiert, d.h. auf das Wissen zur Einordnung der Organismen in trophische Stufen, zur Interpretation der Nahrungspyramiden, Beschreibung der Energieflüsse, oder Erklärung der Stabilität und Veränderung im Sinne eines ökologischen Gleichgewichts (Mullis et al., 2001). Derartige Definitionen sind u.a. die Grundlage für die Aufgaben in TIMSS 2007 (Mullis, Martin, Ruddock, O'Sullivan, Arora, & Erberber, 2005).
2. Das „*Implemented Curriculum*“ betrifft die Beschreibung des Ablaufs des Unterrichts im Kontext der Schule. Die Daten hierzu werden mit einem Fragebogen (Lehrkräfte und Schulleitung) oder (vertieft) mit Video-Aufnahmen erfasst.
3. Im „*Attained Curriculum*“ geht es darum festzustellen, was die Schüler tatsächlich

wissen. Die Schülerleistungen werden anhand des intendierten Schulwissens bewertet, in diesem Sinne werden nicht korrekte Aussagen als „Fehlvorstellungen“ erfasst. Die Testaufgaben werden zu unterschiedlichen kognitiven Domänen („knowing“, „applying“, „reasoning“) formuliert. Als ein Teil der Domänen wird „scientific inquiry“ angesehen (seit TIMSS 2003). Die Anzahl der kognitiven Domänen unterscheidet sich zwischen den TIMSS-Zyklen (z.B. Mullis et al., 2005). Die Auswertung der Ergebnisse basiert auf der „Item Response Theory“ (zur Entwicklung der Messinstrumente und Auswertung s. Martin, Mullis, & Chrostowski, 2004a). Neben den Zielen der Curricula und der Gestaltung des Unterrichts werden beispielsweise die Gründe für die Schülerleistungen u.a. aus den Einstellungen der Lernenden, dem Selbstkonzept und dem sozialen Hintergrund (Schülerfragebogen) hergeleitet.

Die fachliche Grundlage der Aufgaben erscheint fragwürdig. Die Tatsache, dass in der Wissenschaft eine Vielfalt von Positionen, beispielsweise zum Begriff des Ökosystems und zur Interpretation der Geschichte des Ökosystemsbegriffs existiert, wird im Untersuchungsrahmen von TIMSS nicht berücksichtigt. In der Literatur wird jedoch besonders kritisiert, die funktionelle Definition und das Verständnis der Begriffe als „evident“ anzunehmen (s. z.B. Jax, 2002). In der fachdidaktischen Forschung wird die Bezeichnung von Alltagsvorstellungen als „Fehlvorstellungen“ als defizitär angesehen (vgl. u.a. Gropengießer, 2001).

### 2.2 Kriterien aus der Sicht der Didaktischen Rekonstruktion

Angesichts der Kontroversen in der Wissenschaft können die Unterrichtsinhalte nicht von der Wissenschaft vorgegeben, sondern sie müssen fachdidaktisch hergestellt werden (Kattmann, 1992). Im Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997), das drei Untersuchungsaufgaben beinhaltet – Fachliche Klärung, Erfassung der Schülervorstellungen und Lernumgebungs-

gestaltung – ist bedeutsam, dass die Überlegungen zur Gestaltung der Lernumgebungen aus dem systematischen Vergleich von Vorstellungen der Wissenschaftler und der Lernenden unter fachdidaktischer Perspektive hinterfragt werden:

1. Zum „*Intended Curriculum*“: Einige Aspekte in den Vorstellungen der Lernenden korrespondieren vor allem mit den historischen, aber auch mit aktuellen Vorstellungen der Wissenschaftler (s. z.B. Gropengießer, 2001). Dies konnte auch für den ökologischen Bereich empirisch gezeigt werden (vgl. Jelemenská, 2006; Jelemenská, & Kattmann, 2006). Die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Vorstellungen der Lernenden und der Wissenschaftler wurden hier unter epistemologischen Gesichtspunkten erfasst, indem der Gegensatz zwischen gegenständlich-realem (reifizierendem) bzw. gedanklich-konstruiertem (reflektiertem) Wissen in Bezug auf ökologische Einheiten (Ökosysteme, Lebensgemeinschaften) herausgearbeitet wurde. Reifizierung bedeutet, dass z.B. die visuell wahrnehmbaren Merkmale der Landschaft sowie die mit den ökologischen Termini verbundenen Assoziationen als selbstverständliche Grundlage für die Definition des Ökosystems angenommen werden. Die Ursache für solches reifizierendes Wissen ist die Selbstverständlichkeit, mit der sinnlich Wahrgenommenes als Erkenntnisgrund angesehen wird: Das betrifft z.B. die Wahrnehmung von „Ökosystemen“ als Teile der Landschaft, die anhand der Vegetation als räumlich klar abgegrenzt erscheinen. Reflektiertes Wissen bedeutet, dass die Betrachtungsweisen, die einem Begriff zugrunde liegen, wahrgenommen und so die Grenzen und Tragweite der wissenschaftlichen Aussagen erkannt werden. So kann das Kriterium der räumlichen Abgrenzung hinterfragt werden, indem beispielsweise Nahrungsbeziehungen betrachtet werden, die über die angenommenen Grenzen des Ökosystems hinausgehen.

Ausgehend von den kontroversen Annahmen in der Wissenschaft kann eine Wertung (beispielsweise eine hierarchische Darstellung der Organisationsstufen) und Idealisierung/Gegensätze (räumliche Abgrenzung gegen die durch die „Grenze“ des Ökosystems übergreifenden Nahrungsbeziehungen) in den wissenschaftlichen Vorstellungen und den Vorstellungen der Lernenden hinterfragt werden. Da ein wissenschaftlich angemessenes Verständnis auf die Reflexion des reifizierenden Wissens angewiesen ist, wird als Ziel des Unterrichts das reflektierte Wissen angestrebt, das gegensätzliche Annahmen und auch das Reflektieren von Werten einschließt (Jelemenská, 2006; Jelemenská, & Kattmann, 2006).

2. Zum „*Implemented Curriculum*“ und „*Attained Curriculum*“. Dass bestimmte Vorgehensweisen zu unterschiedlichen ontologischen Annahmen führen, weist darauf hin, dass die Bildung von Begriffen durch die zugrunde liegende Epistemologie bestimmt wird. Wird der Unterricht nur auf eine funktionelle Definition von Systemen angelegt, so wird damit das Verständnis auf reifizierendes Wissen beschränkt und lediglich innerhalb dieses Rahmens ausdifferenziert. Die Chance, „Probleme“ epistemologisch betrachten zu können (z.B. Selbstverständlichkeit des Wissens vs. Reflexion), wird dann im Unterricht nicht genutzt. Daher ist die (zunächst) hierarchisch-gedachte Beziehung zwischen „factual knowledge“ und z.B. „applying“ – wie sie in den kognitiven Domänen der TIMSS-Zyklen gedacht ist – der Ansicht gegenüber zu stellen, dass die Lern-Inhalte von den zugrunde liegenden epistemologischen Annahmen her zu beurteilen sind. Wird zuerst vom Lernen der Fakten ausgegangen (factual knowledge), liegt dem ein Verständnis vom Lernen als Memorieren zugrunde (rote learning). Betrachtet man die Bildung der Begriffe dagegen aus der Sicht der jeweiligen Vorgehensweisen, können die Inhalte in der Sicht der jeweiligen Epistemologie reflektiert werden (meaningful learning).

Das Vorgehen soll zum Umbau und zur Neubildung von Vorstellungen durch die Lernenden führen. Dieses Lernen wird daher als „conceptual reconstruction“ bezeichnet (Kattmann, 2005). Im Modell der Didaktischen Rekonstruktion wird zusätzlich angenommen, dass bei der bewussten Auseinandersetzung mit einem Problem emotionale Aspekte in der Kognition eingeschlossen sind (vgl. Baalman, Frerichs, & Kattmann, 2005). Der Defizitorientierung bei TIMSS kann die *Potentialorientierung* im Modell der Didaktischen Rekonstruktion gegenübergestellt werden.

### 3 Forschungsfragen

Da die Überlegungen für den Unterricht von den in TIMSS verwendeten Aufgaben abhängen, sind die Kriterien für die Aufgabenformulierung zu beachten. Es werden hier zwei Aspekte beleuchtet: Zum einen wird die inhaltliche Orientierung der Aufgaben aus einer fachdidaktisch geklärten Perspektive untersucht und zum anderen wird der von TIMSS angewendete Beurteilungsmaßstab der Schülerleistungen kritisch betrachtet. Die Forschungsfragen lauten:

1. An welcher fachlichen Definition sind die TIMSS-Aufgaben zur Ökologie orientiert? Wo zeigen sich die Grenzen der Definition aus einer fachdidaktischen Perspektive?
2. Welche Leistungen der Lernenden werden mit den Testaufgaben zur Ökologie erfasst?
3. Welche Konsequenzen lassen sich aus den Ergebnissen der Reanalyse der Lösungshäufigkeiten für die Leistungsniveaus und das Erfassen (bzw. Formulierung) von Kompetenzen im Bereich Ökologie ziehen?

## 4 Der Gegenstand:

### Untersuchte Aufgaben von TIMSS

In TIMSS werden multiple-choice und offene Aufgaben verwendet (s. Martin et al., 2004a). Für die vorliegende Studie werden (vor allem) offene Aufgaben und Kodierungen aus dem inhaltlichen Bereich Ökologie von TIMSS 1995, TIMSS-R 1999 und TIMSS 2003 für die Population 2 (ca. 14-15-jährige Schüler) herangezogen. Die Analyse bezieht sich auf die für die Öffentlichkeit freigegebenen Aufgaben, die in den jeweiligen Hauptuntersuchungen verwendet wurden:

TIMSS 1995 (X.02A, X.02B, R.03, K.11, M.11), TIMSS-R 1999 (N02, X.02A, X.02B, R03D, L08) and TIMSS 2003 (S032202, S032704, S032705A, S032705B). Die Aufgaben und Kodierungen können von der TIMSS Webseite <http://isc.bc.edu/timss2003.html> heruntergeladen werden (November 2007). In Tabelle 1 befindet sich eine kurze Charakterisierung und Bezeichnung der Aufgaben zur Ökologie (in Abbildung 1 sind Aufgaben von TIMSS 1995 erfasst).

Jede offene Aufgabe hat einen eigenen „scoring guide“, der zwei-Ziffern als Skoringsschema nutzt, um eine diagnostische Information anzubieten. Die erste Ziffer bestimmt das Richtigkeitsniveau der Antwort: 2 für eine Zwei-Punkte-Antwort, 1 für eine Ein-Punkte-Antwort, und 7 für eine unkorrekte Antwort. Die Zwei-Punkte-Antwort gilt als komplett und korrekt. Sie soll völliges Verständnis der wissenschaftlichen Begriffe und/oder Prozeduren anzeigen. Die Ein-Punkte-Antwort bei der Zwei-Punkte-Antwort gilt als nur teilweise korrekt, z.B. beinhaltet sie zwar die korrekte Antwort, aber die erforderliche Erklärung gilt als nicht komplett. Die zweite Ziffer (0-5, 9) repräsentiert in der Kombination mit der ersten einen diagnostischen Kode, der den spezifischen Ansatz, die Strategie, oder den gemeinsamen Fehler bzw. „misconception“ anzeigt. Für die Richtigkeit der Antwort ist die erste Ziffer bestimmend (Martin et al., 2004 a, s.a. Kodierungsreliabilität).

Da die Kodierungen bei TIMSS auf Grund von Schülerantworten in vorangegangenen Tests formuliert wurden, ist zu vermuten, dass anthropomorphe Vorstellungen automatisch in die Kodierungen eingegangen sind.

Tab. 1: Charakterisierung und Bezeichnung der Aufgaben zur Ökologie

Charakterisierung der Aufgaben zur Ökologie	Bezeichnung der Aufgaben
Nahrungsnetz: Ergänzung der Organismen und der Energiefluss	TIMSS 1995 M.11, TIMSS 1999-R L08, TIMSS 2003 S032704 (Inselbesiedlung)
Nahrungsnetz: Veränderung der Populationsgrößen	TIMSS 1999-R N02 (Auswirkung der unzureichende Menge von Nahrung auf das Nahrungsnetz), TIMSS 2003 S032202 (Auswirkung von fehlenden Prädatoren auf die Nahrungskette)
Einführung einer neuer Art in einen Lebensraum	TIMSS 1995 R.03, TIMSS 1999-R R03D, TIMSS 2003 S032705A (Katzen), S032705B (Ziegen)
Bedeutung der Pflanzen für den Lebensraum	TIMSS 1995 X.02A, TIMSS 1995 K.11 (Aquarium), TIMSS 1999-R X.02A (Regenwald)
Bedeutung der Energie für den Lebensraum	TIMSS 1995 X.02B (Licht), TIMSS 1999-R X.02B (Sonne)

## 5 Theoretischer Rahmen zur Auswertung der TIMSS-Aufgaben und Ergebnisse

Für die Interpretation der Vorstellungen der Lernenden und der Wissenschaftler dient die Unterscheidung zwischen reifizierendem (gegenständlich-reales Verständnis) und reflektiertem Wissen (gedanklich-konstruiertes Verständnis), wie sie bei der Didaktischen Rekonstruktion der ökologischen Begriffe gewonnen wurde. Reifizierendes Wissen meint eine Gleichsetzung von Wahrnehmung und Realität: Die visuell wahrnehmbaren Merkmale der Landschaft dienen als selbstverständliche Kriterien für die Definition des Ökosystems. Die Alltagsrelevanz des gegenständlich-realen Verständnisses kann mit der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens erklärt werden (Gropengießer, 2003).

Reflektiertes Wissen bedeutet, dass die Sichtweisen, Voraussetzungen und Grenzen erkannt werden, die der Definition und dem Verständnis der Begriffe zugrunde liegen. Ökologische Systeme sind mentale Konstrukte, und sie können nicht als (selbstverständliche) reale Einheiten der Natur erfasst werden (Jelemenská, 2006).

*Fachliche Klärung: Analyse der TIMSS-Aufgaben zur Ökologie.* Um die fachliche Orientierung der *TIMSS-Aufgaben zur Ökologie* herausstellen zu können, wird eine kurze Fachliche Klärung den Aufgaben vorangestellt. Da

für die Begriffsbildung die epistemologische Orientierung grundlegend ist, sind für die Fachliche Klärung historische und aktuelle Quellen mit unterschiedlicher Argumentation bedeutsam. Die Fachliche Klärung wird nach den zentralen Kriterien des Ökosystembegriffs gegliedert. Den vorgenommenen Kategorisierungen der wissenschaftlichen Aussagen liegt ein Kategorisierungssystem zugrunde, das auf Grund des Vergleichs der wissenschaftlichen Vorstellungen und der Schülervorstellungen im Bereich Ökologie empirisch gewonnen wurde (Jelemenská, 2006). Die so generierten „Kategorien“ werden dann als Instrument zur Beurteilung der TIMSS-Aufgaben verwendet.

*Erfassen der Schülervorstellungen: Reanalyse der Schülerleistungen.* In der Reanalyse werden die Schülerantworten bei den offenen TIMSS-Aufgaben zur Ökologie auf Grund des Vergleichs mit den Ergebnissen der Fachlichen Klärung in Beziehung gesetzt. Mit dem Vergleich der Vorstellungen der Wissenschaftler und den Schülerantworten werden die Kodierungen der Aufgaben in einem breiten fachdidaktisch geklärten ökologischen Kontext neu abgesteckt. Auf dieser Grundlage können die Kodierungen reanalysiert werden. Inwiefern die Reanalyse der Schülerleistungen zutreffend ist, kann anhand der Lösungshäufigkeiten der Aufgaben teilweise überprüft werden.

*Reanalyse der Lösungsbäufigkeiten.* Die Leistungsniveaus werden bei TIMSS statistisch begründet, die Aufgaben werden voneinander (inhaltlich) unabhängig ausgewertet. Die tatsächliche kognitive Leistung der Lernenden kann mit dem Vergleich der Ergebnisse der Fachlichen Klärung, in welchem historisch-wissenschaftliche Quellen analysiert werden, auf einer qualitativ-empirischen Grundlage verdeutlicht werden. Der in TIMSS angewendete Beurteilungsmaßstab für die Kompetenzen wird anhand der theoretischen Annahmen und der Ergebnisse der Didaktischen Rekonstruktion der ökologischen Begriffe reanalysiert, indem die kognitive Leistung der Lernenden abhängig von der jeweiligen epistemologischen Position herausgestellt wird. Um die kognitive Leistungen der Lernenden erfassen zu können, werden inhaltlich ähnliche Aufgaben zueinander in Beziehung gesetzt, das Leistungsniveau beurteilt und erkennbare Zusammenhänge im Verständnis der Lernenden interpretiert. Die Kriterien für die Beurteilung der Schülerleistungen sind zu hinterfragen und herauszustellen.

Die anthropomorphen Anteile in den Schülervorstellungen sind besonders zu reflektieren und mit fachlich geklärten Aussagen in Beziehung zu setzen. Das Kodieren anthropomorpher Vorstellungen als korrekt ist problematisch. Das Verhältnis zwischen lebensweltlichen und wissenschaftlichen Konzepten ist vielmehr zu untersuchen, um es für das Lernen fachlich geklärter Aussagen nutzbar zu machen (Kattmann, 2003).

## 6 Befunde

### 6.1 Analyse der Aufgaben und Reanalyse der Schülerleistungen

Im Folgenden sind die Aufgaben nach Inhaltsaspekten zusammengestellt. Die fachliche Grundlage wird zunächst anhand von historischen und aktuellen ökologisch-fachlichen Quellen in der gebotenen Kürze geklärt, um anschließend den Charakter der Aufgaben von TIMSS und das mit ihnen getestete Verständnis zu umreißen.

### *Abgrenzbarkeit und Komplexität von Ökosystemen?*

Für Karl Friederichs (1938) ist die Welt auf Grund der übergreifenden Stoffkreisläufe und Verbreitung der Arten das einzige von der Umwelt unabhängige System. Die Holocene („Ökosysteme“) und Lebensgemeinschaften sind auf Grund der Verbreitung der Arten unechte Ganzheiten. Eugen P. Odum (1999) unterscheidet zwischen Energiefluss und Stoffkreisläufen: Auf Grund der vollständigen Stoffkreisläufe werden Ökosysteme eher als von der Umwelt unabhängige Systeme, jedoch für die Energie als offene Systeme angesehen. Odum vertritt eine funktionale Auffassung von Ökosystemen. Um die Ökosystemstruktur empirisch zu erfassen, er reduziert die angenommene Komplexität durch die Gliederung der Organismen in Trophiestufen. Auf Grund der visuell wahrnehmbaren Eigenschaften der Landschaft wird von den beiden Autoren das Ökosystem als von der Umwelt abgrenzbarer Einheit in der Natur wahrgenommen (Reifizierung).

Nach Knight, McCoy, Chase, McCoy, & Holt (2005) werden von vielen Ökologen die Wechselbeziehungen der Organismen innerhalb der Grenzen des Ökosystem als eine bedeutsame Ursache für die Dynamik der Lebensgemeinschaft angesehen. Anhand des Lebenszyklus' von Libellen stellen die Autoren jedoch empirisch die Ökosystemübergreifende Wirkung von ökologischen Beziehungen und damit einen grenzenlosen Zusammenhang zwischen aquatischen und terrestrischen „Ökosystemen“ fest. Nicht die Funktionalität der Ökosysteme, sondern die Ansprüche der konkreten Arten an die Umwelt werden hier bei der Erforschung der ökologischen Systeme bedeutsam: Deren Komplexität wird auf das empirisch Erfassbare reduziert und die Schwierigkeit der räumlichen Definition reflektiert. Ökosysteme besitzen keine natürlichen Grenzen (vgl. auch Jax, 2002).

Die Aufgaben von TIMSS sind vor allem auf die Zusammenhänge in einem visuell abgrenzbaren Lebensraum orientiert: am Aqua-

rium (TIMSS 1995, X.02A, X.02B), Regenwald (TIMSS-R 1999 X.02A, X.02B), See (TIMSS-R 1999 R03D), Feld (TIMSS 2003 S032202), an einer Insel (TIMSS 2003 S032704, S032705A, S032705B) oder einem nicht spezifizierten Lebensraum (TIMSS 1995 R.03). Im Ökosystem werden vollständige „Stoffkreisläufe“ vorausgesetzt (TIMSS 1995 X.02A, TIMSS-R 1999 X.02A) und Ökosysteme werden damit als von der Umgebung unabhängig betrachtet. Hinsichtlich der Energie (TIMSS 1995 X.02B, TIMSS-R 1999 X.02B) und zur Verbreitung, Einführung, bzw. Vernichtung von Organismen (TIMSS 1995 R.03, TIMSS-R 1999 R03D, TIMSS 2003 S032202, S032704, S032705A, S032705B) wird jedoch vor allem „Offenheit“ des Ökosystems gegenüber der Umwelt thematisiert, bzw. angedeutet. Aus pragmatischen Gründen werden in den Testaufgaben die Zusammenhänge auf wenige Organismen reduziert (z.B. X.02A, X.02B). Die Aufgaben sind so insgesamt auf ein reifizierendes Verständnis ausgerichtet.

### *Homöostase und ihre Erhaltung?*

*Gleichgewicht.* Ausgehend vom Prinzip des Eingeschlossenseins (Enkapsis) wird von Friederichs (1938) und Odum (1999) die Selbstregulation als eine fundamentale emergente Eigenschaft der Systeme angenommen. Friederichs erklärt die Erhaltung der Natur anthropomorph (soziomorph) im Sinne von Harmonie: Die Teile stehen für das Ganze und das Ganze steht für die Erhaltung der Teile. Für die Erhaltung sorgt die Natur (Personifizierung). Die Systeme sind für Friederichs reale Systeme der Natur (reifizierende anthropomorphe Sichtweise). Für Odum sind Populationssystem, Ökosystem und Biosphäre selbstregulierende Systeme. Die Regulation ist für Odum ein Ergebnis von homöostatischen Mechanismen (reifizierende kybernetisch/technomorphe Sichtweise). Beide Autoren erklären das ökologische Gleichgewicht mit Systemerhaltung. Das Gleichgewicht wird als normaler Zustand der Natur angenommen (vgl. auch Sander, 1998, 2002). Mit der Personifizierung und Technisierung werden die Ökosysteme als in der Natur vorhanden reifiziert.

A. G. Tansley (1935) hält dagegen den Satz, „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“ für verschleiern, da er meint, dass das Ganze nicht anders gedacht werden kann als das Resultat der Wirkungen zwischen den Teilen. Für die Erfassung der Prozesse ist das *Zusammenwirken der Komponenten*, die in der Analyse nur gedanklich isoliert werden, grundlegend. Nicht die Erhaltung eines Zustandes, sondern das Herausstellen der Ursachen der Prozesse, die empirisch erfassbar sein müssen, spiegelt den naturwissenschaftlichen Wert des Systembegriffs wider. Der Ökosystembegriff ist für Tansley ein gedankliches Konstrukt. In der neuzeitlichen Ökologie wird nicht Gleichgewicht sondern Ungleichgewicht als normaler Zustand der Natur betrachtet und die Störungen als Voraussetzungen für die Entwicklung (Townsend, Harper, & Begon, 2003; vgl. Sander, 2002).

In den TIMSS-Aufgaben ist deutlich, dass für die Definition des Ökosystems das ökologische Gleichgewicht (*ecological balance*) als normal angenommener Zustand – bedeutsam ist (s. oben Mullis et al., 2005). Dies ist vor allem in den älteren Aufgaben ersichtlich: Bei den Aufgaben TIMSS 1995 R.03 und TIMSS R-1999 R03D wird davon ausgegangen, dass die Systeme sich in einem natürlichen ökologischen Gleichgewicht befinden. Durch die Einführung einer neuen Art „*the natural (ecological) balance or food web, chain will be upset*“ (R.03, Kode 20; R03D, Kode 14). Die Veränderungen des Lebensraums sind „*the unwanted consequences*“ (Aufgabestellung R.03). Es wird also ein reifizierendes Systemverständnis getestet.

*Stoffkreisläufe: Aufrechterhaltung der Systeme.* Für Friederichs (1938) stehen die Stoffkreisläufe im Dienste der Lebenserhaltung und sind zugleich durch das Leben bedingt: Die Pflanzen werden vor allem als Sauerstoffproduzenten angesehen.

Die Bedeutung der Pflanzen liegt aber tatsächlich nicht in der Anreicherung von Sauerstoff in der Atmosphäre, da es, ausgehend

aus der Stöchiometrie, bei der Photosynthese und der Atmung keine Netto-Freisetzung von Sauerstoff gibt, wenn die produzierte Biomasse vollständig wieder abgebaut wird. Der Sauerstoff ist ein Ergebnis des Ungleichgewichts zwischen Produktion und Abbau in der Erdgeschichte, d.h. ein Ergebnis von unvollständigen Kreisläufen (Lovelock, 1991; Biologos, 1992; Sander, Jelemenská, & Kattmann, 2004).

Explizit werden die Komponenten und Zusammenhänge für die Aufrechterhaltung des Ökosystems in den Aufgaben thematisiert (TIMSS 1995 X.02A, X.02B, TIMSS-R 1999 X.02A, X.02B). Die Aufgabestellungen und die Kodierungen sind der historischen Vorstellung ähnlich, die hier exemplarisch mit Karl Friederichs dargestellt wurde.

In den Aufgaben TIMSS 1995 X.02B und 1999 X.02B wird die Bedeutung der Energie (Sonne) für die Aufrechterhaltung des Ökosystems thematisiert. Dies wird mit den Codes nicht vollständig erfasst (s. Zielgerichtetheit). In der Aufgabe TIMSS 1995 X.02B kommen (nur) Kodierungen zum Wissen der Photosynthese vor: Das Licht ist da, „to help the plant make photosynthesis“ (10). In diesem Zusammenhang werden jedoch auch Aussagen ohne weitere Details kodiert: Das Licht gibt Energie (11), oder „Helps keeps the plant alive“ (19). Als nicht korrekte Aussagen werden u.a. kodiert: „States the light is needed so the fish can see“ (70), oder „Explains that light provides warmth to the fish“ (72). In der ähnlichen Aufgabe TIMSS-R 1999 X.02B sind die Codes etwas stärker ausdifferenziert, wobei aber in den korrekten Kodierungen anthropomorphe Aussagen eingeschlossen und explizit ausgedrückt werden. Statt Licht wird die Sonne als Ausdruck verwendet. Es werden Kodierungen für das Wissen zur Photosynthese verwendet wie: „The Sun provides light energy for plants so they can grow using photosynthesis“ (Kode 10). Es wird auch die Bedeutung des Chlorophylls für die Photosynthese als korrekt kodiert (11). Jedoch werden auch (eher) anthropomorphe Vorstellungen kodiert, indem die Be-

deutung der Sonne im Sinne von Nahrungs-, Lebensspender gedeutet wird: „The Sun keeps the trees and all plants living which give us oxygen“ (Kode 12). Ebenso werden folgende Aussagen als korrekt kodiert: „Sun provides heat (warmth) or maintains the temperature“ (13) und „Sun provides light and/or enables animals to see“ (14). Für unkorrekt wird dagegen Unbestimmtheit in den Antworten gesehen wie: „The Sun is probably the most important part of ecosystem, it nourishes everything“ (Kode 70), obwohl die Bedeutung der Sonne als Lebensspender hier im allgemeinen Sinne im Bezug auf Ernährung eingeschlossen ist.

Bei den Aufgaben TIMSS 1995 X.02A, 1999 X.02A wird die Bedeutung der Pflanzen für die Aufrechterhaltung des Ökosystems angesprochen. In der Aufgabe TIMSS 1995 X.02A werden die Pflanzen ausschließlich als Sauerstoffproduzenten angesehen (Kode 10). In der Aufgabe TIMSS-R 1999 X.02A wird in der Anleitung zur Kodierung angegeben: „Trees produce oxygen and/or use carbon dioxide.“ In den Antworten wird jedoch auch die Einseitigkeit als korrekt kodiert: „The trees take in carbon dioxide and give off oxygen which animals need“ (Kode 10). Die Tiere und Pflanzen stehen füreinander im Dienste des Lebens. Und die Teile stehen im Dienste des Ökosystems, der Natur (Personifizierung): „Trees are important because the ecosystem needs the oxygen they give of“ oder „The trees help the rainforest by turning the carbon dioxide into oxygen“ (Kode 10). Pflanzen werden hier auch als Nahrung oder „Energiequelle“ angesehen TIMSS 1995 X.02A: „Plants provide food for fish“ (Kode 12) oder TIMSS-R 1999 X.02A wiederum stehen die Bäume im Dienste des Ganzen: „Trees provide energy for the ecosystem“ (Kode 11). Ebenso kommt eine anthropomorphe Sichtweise beim Wald als Lebensraum in Sicht: TIMSS 1995 X02 (Kode 13) und in TIMSS-R 1999 X.02A: „Trees are important because they give a home for the animals“ (Kode 12). Und in der nächsten Kodierung 13 bei der Aufgabe TIMSS-R 1999 X.02A wird das anthropomorphe Verständ-

nis mit dem angenehmen Wohnen im Wald explizit ausgedrückt: „*It would get too hot in the forest without shade from trees*“ und ebenso „*Trees block sunlight to protect animals*“.

*Veränderung von Populationen und der Lebensgemeinschaft: Wechselwirkungen.* Von Karl Friederichs (1938) werden die biotischen Beziehungen anthropomorph (zweckmäßig) beschrieben: In der Lebensgemeinschaft schränken sich die verschiedenen Wesen durch die Stoffwechselbeziehungen – das Fressen und Gefressen werden – gegenseitig ein, da sich keines unbegrenzt vermehren kann. Ebenso wird die Wechselwirkung zwischen Lebensraum und Lebensgemeinschaft als zweckmäßig gedeutet: Der Lebensraum bestimmt den Phänotypus der Lebewesen, modifiziert ihr Verhalten, bestimmt die Arten und die Individuenmenge, die darin leben kann und umgekehrt bauen die Lebewesen die Beschaffenheit des Lebensraums um oder erhalten ihn. Friederichs deutet soziomorphe Vorstellungen zur Erhaltung des Gleichgewichts an. Bei Eugen P. Odum (1999) wird die Gleichgewichtserhaltung technomorph erfasst. Da im Mittelpunkt das Erreichen der Stabilität der Klimax steht, wird die Veränderung der Populationsgrößen auf negative und positive Rückkopplungen zurückgeführt (36-37). Bei Beute-Beutegreifer-Beziehung neigen vor allem neu zusammengefügte Räuber- und Beutepopulationen zu heftigen Oszillationen. Die Ursache der Regulation der Populationsgröße ist die Dichte (Sollwert) der Population, die durch die gemeinsamen Ressourcen im Lebensraum begrenzt wird. Ebenso wird die Erhaltung der Lebensgemeinschaft mit positiven und negativen Rückkopplungen im System erklärt: Das Gleichgewicht wird als der normale Zustand bewertet.

Dass eine Sukzession auf ein Endstadium gerichtet ist, basiert eher auf einer vorgefassten Annahme als auf empirischen Ergebnissen (Tansley, 1935). Nicht die ungestörte ganzheitliche Entwicklung (beispielsweise) der Pflanzenformationen, sondern die Ur-

sachen („Störungen“), die bei der Bildung von kleinen Flächen (patch-dynamics) im Zeitablauf beteiligt sind, sind für eine Beschreibung der Sukzession maßgeblich (Townsend et al., 2003).

In den TIMSS-Aufgaben R.03, R03D, S032705A und S032705B wird die Veränderung der Populationsgröße, der Lebensgemeinschaft oder des Ökosystems auf Grund der Einführung einer neuen Art behandelt. Dabei werden die wechselseitigen Abhängigkeiten sowohl zwischen den Organismen als auch zwischen den Organismen und der abiotischen Umwelt betrachtet. Diese Aufgaben stehen den Vorstellungen von Karl Friederichs am nächsten, da soziomorphe Erklärungen in den Kodierungen aufgelistet werden. Die Aufgaben N02 und S032202 sind an wechselseitigen (direkten, indirekten) Abhängigkeiten in einem Nahrungsnetz orientiert. Sie zeigen auch Übereinstimmungen mit den technomorphen Vorstellungen Odums, da die Veränderung der Populationsgröße auf Grund der Veränderung der Nahrungsressourcen im Lebensraum z.B. im Sinne von Oszillationen thematisiert wird.

In den Aufgaben TIMSS 1995 R.03, TIMSS-R 1999 R03D, TIMSS 2003 S032705A, TIMSS 2003 S032705B wird die Veränderung der Lebensgemeinschaft auf eine anthropomorph verstandene Beute-Beutegreifer-Beziehung bezogen. In diesen Zusammenhang sind auch anthropomorphe Wertungen erkennbar. Bei den Kodierungen wird deutlich, dass eher die Vorstellung von der Macht des Beutegreifers getestet wird, als die Bedeutung, die die Beute-Beutegreifer-Beziehung für die Veränderung der Populationsgröße hat. Beispielsweise wird bei der Aufgabe R.03 als realistisches Beispiel angegeben: „*It [new species] may kill everything. If you put an alligator in a fish and duck pond, it will eat the fish and ducks*“ (Kode 21), ebenso R03D: „*The fish can destroy other species in the water*“ (Kode 12), S032705A: „*Their prey [cats] could become extinct*“ (Kode 10), S032705B: „*The goats will eat all the grass in the island*“ (Kode 10). Bei einigen erwart-

teten Antworten ist das Kodieren lediglich auf eine Beschreibung der Veränderung des Zustandes der Beutegreiferpopulation orientiert: „*There will be too many*“ (R.03, Kode 10), „*The new fishes will overbreed*“ (R03D, Kode 10). In der Kodierung 10 der Aufgabe R03D wird als Ursache für die Veränderung der Populationsgröße die Konkurrenz angesehen, diese wird anthropomorph aufgefasst: „*They [individuals of the new species] could eat all the plants the other fish need to survive.*“ Ebenso zielt die Kodierung 11 bei der Aufgabe S032705B eher auf ein anthropomorphes Verständnis: „*The animals that eat goats would have more food.*“ Dagegen findet sich in der gleichen Kodierung eine Antwort, die die Bedeutung des indirekten Einflusses der Beute-Beutegreifer-Beziehung in Anspruch nimmt: „*The goats will eat up the plants and the populations that depend on plants will decrease.*“ In Aufgabe S032705B wird jedoch die Antwort: „*They [goats] die because they don't have any food*“ (Kode 70) als nicht korrekt kodiert, obwohl die intraspezifische Konkurrenz die Veränderung der Populationsgröße von Pflanzen einschließt.

Wird die neu eingeführte Art selbst zu einer Beute für andere Fische im See, dann wird die Bedeutung der Beute-Beutegreifer-Beziehung im Sinne von „Gefressen werden“ gedeutet: „*The new species gets eaten by the fish already in the lake*“ (R03D, Kode 12). Die Anthropomorphisierung drückt am besten die vorgesehene Antwort in der Aufgabe S032705A aus: „*The cats help them [den Menschen] by eating the rats and mice*“ (Kode 10). Außerdem ist bei einigen Kodierungen schwer zu entscheiden, ob die Lernenden den Beutegreifer (alligator, fish etc.) und die Beute (species) auf ein Individuum oder auf eine Population beziehen.

Nicht nur die Nahrungszusammenhänge, sondern auch die Beeinflussung von Krankheiten wird als Ursache für die Vernichtung oder Veränderung der „Populationsgrößen“ angesehen. „*This new species could carry viruses which kill off the other fish*“ (R03D, Kode 11) oder „*They might pass on diseases*

*to other animals*“ (S032705A, Kode 19). Das als korrekt codierte Wissen scheint eher in lebensweltlichen Erfahrungen (Infektionen) seinen Ursprung zu haben, als in einem Verständnis von ökologischen Zusammenhängen.

Wo auf die Abhängigkeit der neuen Art von den Bedingungen in einem Lebensraum eingegangen wird, werden nicht die für eine Art spezifischen Ansprüche kodiert, sondern die gesamte Umwelt, deren Einfluss negativ gedeutet wird. „*Extinction due to inhospitable habitat: The new fish might catch a disease in the lake and die*“ (R03D, Kode 13). Oder die als korrekt kodierten Antworten sind zu allgemein, um das Verständnis erfassen zu können: „*The fish may die out immediately because it is not the right type of water*“ (R03D, Kode 13).

Antworten zur Wahrnehmung der (in)direkten Wechselwirkungen auf Grund der Beute-Beutegreifer-Beziehung (Konkurrenz), werden zu den Aufgaben N02 und S032202 zutreffend kodiert. Dennoch wird in Aufgabe S032202 die Veränderung der Populationsgrößen teilweise auch anthropomorph gedeutet. Bei diesen Aufgaben ist von Interesse, ob die Kausalität in Nahrungsnetzen wahrgenommen wird. Bei Aufgabe S032202 wird deutlich, dass die Veränderung der Populationsgröße der Pflanzenfresser auf Grund des Fehlens des Beutegreifers und die Veränderung der Pflanzenpopulation erfasst wird: „*The population of mice would increase because there are no snakes. The increase in mice would then cause the amount of wheat plants to decrease*“ (Kode 20). Oder: „*Mice would eat all the plants, then the plants would die out, then the mice would not have anything to eat so then they would die*“ (21). Die Kodierungen zur Aufgabe N02 zeigen deutlich, dass die indirekten Einflüsse der Beute-Beutegreifer-Beziehung auf die Veränderung der Populationsgröße wahrgenommen werden: „*There would be less robins because the mouse population would decrease and the snakes (and/or hawks) would eat more of robins*“ (10). „*It would not change because*

*the mouse would find other grain to eat so the snake would be unaffected“ (12).*

Durch die Aufgaben wird vorwiegend eine kybernetische Betrachtungsweise impliziert. Dementsprechend kann das damit erfasste Wissen im Weiteren als „technomorph“-reifizierend gekennzeichnet werden. Jedoch ist bei Aufgabe S032202 aus einigen Aussagen nicht eindeutig zu interpretieren, inwiefern es sich um eine lebensweltliche Anschauung handelt, bzw. inwiefern die Veränderung anthropomorph verstanden wird: *„There would be lots of mice“ (10); „If people killed the snakes the mice would destroy all the wheat plants“ (11).* Die Tätigkeit der Menschen wird dabei negativ bewertet.

#### **„Zielgerichtetheit“ (Fortschritt)**

*Energiefluss und Sukzession.* Bei E. P. Odum stehen die Ökosysteme im „dynamischen Gleichgewicht“. Jedoch kann das Verhalten der Energie im Ökosystem am besten im Gegensatz zu den Stoffkreisläufen mit dem Begriff Energiefluss erfasst werden, da die Energieumwandlungen stets in einer Richtung ablaufen (Odum, 1999, 44). Die Trophiestruktur und ihre Entwicklung in einem Ökosystem werden von E. P. Odum (1999) auf energetische Aspekte bezogen. Da Odum von einem Ökosystem (Pflanzenformation) im Klimax (Endstadium der Entwicklung) ausgeht, wird von ihm die Trophiestruktur eines Ökosystems als *Energiepyramide* beschrieben (91-92). Seine Berechnung der Produktivität in einem Ökosystem ist für ihn zentral (Zweckmäßigkeit). Die physikomorphe Definition des Systems ist reifizierend.

Dieses physikomorphe Verständnis wird von anderer Seite kritisiert, da damit eine determinierte Entwicklungsrichtung auf eine höhere Ordnung hin angenommen werde (Valsangiacomo, 1998). Die klassische „energetische“ Erklärung der Nahrungsnetze wird in der Ökologie auf Grund empirischer Ergebnisse ebenso kritisch gesehen: Eine solche Betrachtung erlaubt z.B. nicht, die Anzahl der Trophie-

stufen mit der vorhandenen Energie der vorherigen Stufe zu erklären (Begon, Harper, & Townsend, 1997).

Bei primärer Sukzession auf einer Lavain-sel (Krakatau) scheint sich zu zeigen, dass nicht die Produzenten, sondern die ersten Besiedler die primären Lieferanten von verwertbarer Biomasse sind (Whittaker in Storch, & Mihulka, 2000).

Bei den Aufgaben TIMSS 1995 M.11, TIMSS-R 1999 L08 wird vorausgesetzt, dass die Lernenden die Aufgaben – die Abhängigkeit der Konsumenten von den Produzenten – auf Grund der Kenntnisse zum Energiefluss im Ökosystem lösen sollen (s.a. Smith, Martin, Mullis, & Kelly, 2000). Die Aufgaben sind auf eine physikomorphe Vorstellung des Ökosystembegriffs orientiert. Mit den Aufgaben kann das Wissen zu Nahrungsbeziehungen – Beute und Beutegreifer – nicht erfasst werden, da lediglich Organismen (Nummern) eingeführt werden sollen. Die Aufgaben unterscheiden sich in den Organismenarten. Nach dem Verständnis der Zusammenhänge wird nicht gefragt.

Ebenso wird in Aufgabe S032704 zur primären Sukzession, die sich auf eine Lavain-sel bezieht, eine funktionelle Abhängigkeit der Organismen vorausgesetzt und die Entwicklung zielgerichtet (von Produzenten zu Konsumenten hin) gedeutet. Die Priorität bei der Kodierung wird auf Verständnis der Autotrophie gesetzt: z.B. *„Because plant[s] make their own food using light, water and chlorophyll“ (Kode 10).* Mit den Codes 11 und 12 wird eine Anthropomorphisierung (d.h. ein lebensweltlich anschauliches Wissen) als ein Wissen über die Ursachen für eine Sukzession ausgelegt, indem auf die Nahrungsabhängigkeit der Tiere von den Pflanzen eingegangen wird. Die Erklärung basiert auf dem Überleben (einseitige Abhängigkeit): *„First the plants arrived. Then the animals can come and survive by eating the plants“ (11).* Ebenso werden Antworten, die auf einer allgemeinen Abhängigkeit basieren, als korrekt kodiert, die Erklärung der Abhängigkeit wird jedoch nicht verlangt: *„Without plants there would not be*

*animals*“ (11). In diesem Bereich wird keine Abstufung von Schwierigkeitsgraden bei den Kode-Varianten vorgenommen. Einige Antworten basieren nur auf dem Transport von Pflanzen oder Tieren. Nur das Hinzukommen der Organismen wird geklärt, nicht aber die Voraussetzung für die „Einsiedlung“ der Organismen: „*Seeds could just be carried by the wind*“; „*Animals would have to swim a long distance*“ (11). Oder die Erklärung wird nur implizit vorausgesetzt: „*Seals can swim there and live on the rocky shore. [Assumes seals eat fish.]*“ (12). Jedoch wird die Antwort, dass die Tiere als erste auf die Lavainsel kommen, weil „*There will be a surplus of food*“ (71), als inkorrekt bewertet wird, da die Nahrungszusammenhänge nicht präzise genug ausgedrückt werden. Ebenso werden Schülerantworten als inkorrekt bewertet, die auf einem erdgeschichtlichen „Auftreten“ der Pflanzen basieren: „*Plants were on Earth before animals*“ (Kode 70). In diesem Falle wird wohl nur das verständnisvolle Lesen des Textes getestet (s. die SP32704), das Verständnis der Zusammenhänge aber nicht erfasst.

**Zusammenfassend ist festzustellen:** Mit den Aufgaben wird versucht, eine reifizierende (zweckmäßige) Definition von Systemen zu erfassen und die Codes sind auf dieses Verständnis hin orientiert. Mit den Aufgaben wird weitestgehend ein anthropomorphes Verständnis angesprochen, das vielfach in reifizierendes Wissen eingeschlossen ist.

## 6.2 Reanalyse der Lösungshäufigkeiten

In der TIMSS „science achievement scale“ werden die Schülerleistungen zu den Testaufgaben zusammengefasst. Um die Leistungsniveaus sinnvoll beschreiben zu können, werden von TIMSS vier Punkte in der Skala identifiziert und als „international benchmarks“ benutzt. Mit einigen Beispielaufgaben wird illustriert, was die Schüler auf dem Leistungsniveaus wissen und machen können (n. Martin, Mullis, Gonzalez, & Chrostowski, 2004b). Beispielsweise wird das „Top 10% Benchmark“ (TIMSS-R

1999) charakterisiert als: „Students demonstrate a grasp of some complex and abstract science concepts. [...] They can provide written explanations and use diagrams to communicate scientific knowledge“. Dies wird u.a. mit der Aufgabe TIMSS-R 1999 N02 verdeutlicht: Students „demonstrate understanding [...] of the interrelationships in a food web“ (Martin, Mullis, Gonzalez, Gregory, Smith, Chrostowski et al., 2000, 63). Das „High International Benchmark“ (TIMSS 2003) wird beschrieben als: „Students demonstrate conceptual understanding of some science cycles, systems, and principles. [...] They can combine information to draw conclusions; interpret information in diagrams and tables to solve problems; and provide short explanations conveying scientific knowledge and cause/effect relationships“ (77). Die Aufgabe TIMSS 2003 S032202 verdeutlicht das „High International Benchmark“: „Students [...] demonstrate an understanding of interrelations of plants and animals in ecosystems, and recognize that the loss of a food supply is likely the cause of a drop in population size“ (Martin et al., 2004b, 77). Mit den beiden Aufgaben, die auf das Wahrnehmen der (in) direkten Wechselwirkungen in einem Ökosystem orientiert sind, werden also auf unterschiedlichen Leistungsniveaus eigentlich die gleichen Kompetenzen beschrieben, die in einer technomorphen Betrachtung des Ökosystems bestehen.

Die Intention von TIMSS ist, die Testaufgaben nur als Illustrationen für ein Benchmarking einzusetzen. Dabei ist es nicht notwendig, dass eine Beziehung zwischen den Aufgaben und Benchmarks an jedem Zyklus von TIMSS (1995, 1999, 2003 usw.) besteht. Die Benchmarks selbst sind von Zyklus zu Zyklus ziemlich ähnlich, aber die einzelne Aufgaben, die die Schülerleistungen an jeder Benchmark beschreiben, können sich verändern (zur Skalaentwicklung s. Martin et al., 2004a). Um die Schülerleistungen zwischen den TIMSS-Zyklen vergleichen zu können, werden von TIMSS die gleichen Aufgaben (Trendaufgaben) in

mehreren Zyklen eingesetzt. Jedoch verdeutlicht der Vergleich der einzelnen freigegebenen Aufgaben und deren Lösungshäufigkeiten zwischen den TIMSS-Zyklen, dass die Schülerleistungen auch durch andere Zusammenhänge (z.B. Aufgabenstellung) bestimmt werden (vgl. Harlow, & Jones, 2004). Die qualitative Analyse zeigt gerade durch den Vergleich der einzelnen Aufgaben, dass diese eigentlich auf die gleichen inhaltlichen und kognitiven Aspekte ausgerichtet sind.

Das Ziel, die Kompetenzen hier auf eine qualitativ-empirische Basis zu stellen, kann auf Grund der TIMSS-Daten jedoch nur begrenzt erreicht werden. Bei umfassender Analyse wären außer den angelegten Kriterien differenziertere Codes anzuwenden und ebenso wäre die Aufgabenstellung zu analysieren. In der vorliegenden Studie können die Schülerleistungen nur anhand der Skala von TIMSS 1995 beurteilt werden. Auf Basis der Reanalyse der Schülerleistungen werden die Lösungshäufigkeiten, die Leistungsniveaus und daran anschließend die Aufteilung der Aufgaben in die kognitiven Domänen hinterfragt (s. Abbildung 1).

*Benchmark.* Die Aufteilung der Aufgaben in die Benchmarks und die Lösungshäufigkeiten innerhalb der Benchmarks zeigen, dass die Aufgaben mit einer größeren Lösungshäufigkeit anthropomorphen Alltagsvorstellungen erfassen, die Aufgaben mit einer geringeren Lösungshäufigkeit eher gelernte Kenntnisse. Dies ergibt sich aus dem Vergleich der Ergebnisse bei entsprechenden Aufgaben.

Die Aufgabe X.02A bezieht sich auf die Bedeutung der Pflanzen für die Aufrechterhaltung des Ökosystems. Sie schließt eher lebensweltlich-anschauliche oder bekannte Bezüge ein. Die Aufgabe X.02B testet die Bedeutung des Lichtes für die Pflanze. Sie zielt dabei auf ein Wissen der Photosynthese (die anthropomorphen Bezüge werden hier als unkorrekt kodiert). Die zuerst genannte Aufgabe ist in die „Median Benchmark“ eingeordnet (s. Abbildung 1).

Die meisten Antworten beziehen sich auf die Bedeutung der Pflanze im Sinne von Nahrung (Kode 12) oder Sauerstoff, die Photosynthese muss nicht erwähnt sein (Kode 10, vgl. Smith, Martin, Mullis, & Kelly, 2000). Die zweite Aufgabe ist in die „Top 10% Benchmark“ eingeordnet (s. Abbildung 1). Dieses Ergebnis zeigt, dass die Schüler Schwierigkeiten haben, die Bedeutung der Photosynthese für die Pflanzen zu klären. Dieses Ergebnis unterstützt ebenso die Interpretation, dass den Lösungen der Aufgabe M.11 zum „Energiefluss“ ein anthropomorphes Verständnis zugrunde liegt („Median Benchmark“) und nicht – wie in TIMSS vorausgesetzt – wissenschaftlich korrektes Wissen (Smith et al., 2000). Im Vergleich mit den Lösungshäufigkeiten der oben genannten Aufgabe X.02A (International Avg. 64) ist die Aufgabe M.11 sogar häufiger gelöst worden (International Avg. 68) (Smith et al., 2000).

Bei der Aufgabe R.03 (Einführung einer neuen Art in einen Lebensraum) erfassen die beiden Codes ebenfalls anthropomorphe Erklärungen. Jedoch es ergeben sich bezüglich der Codes 20 und 10 unterschiedliche Lösungshäufigkeiten. Die Aufgabe mit dem Kode 20 geht über den „Top 10% Benchmark“ hinaus, und die mit Kode 10 wird in eine „Upper quarter“ eingeordnet (s. Abbildung 1). Die Unterschiede in den Lösungshäufigkeiten deuten hier darauf hin, dass bezüglich des Codes 20 eine mehr erklärende Antwort zur Veränderung des Lebensraums gefordert wird als bei Kode 10. Es ist sogar zu vermuten, dass die Lösungshäufigkeiten bei der Aufgabe R.03 größer als bei den anderen Aufgaben ausfielen, wenn den Lernenden ein konkretes Beispiel gegeben würde.

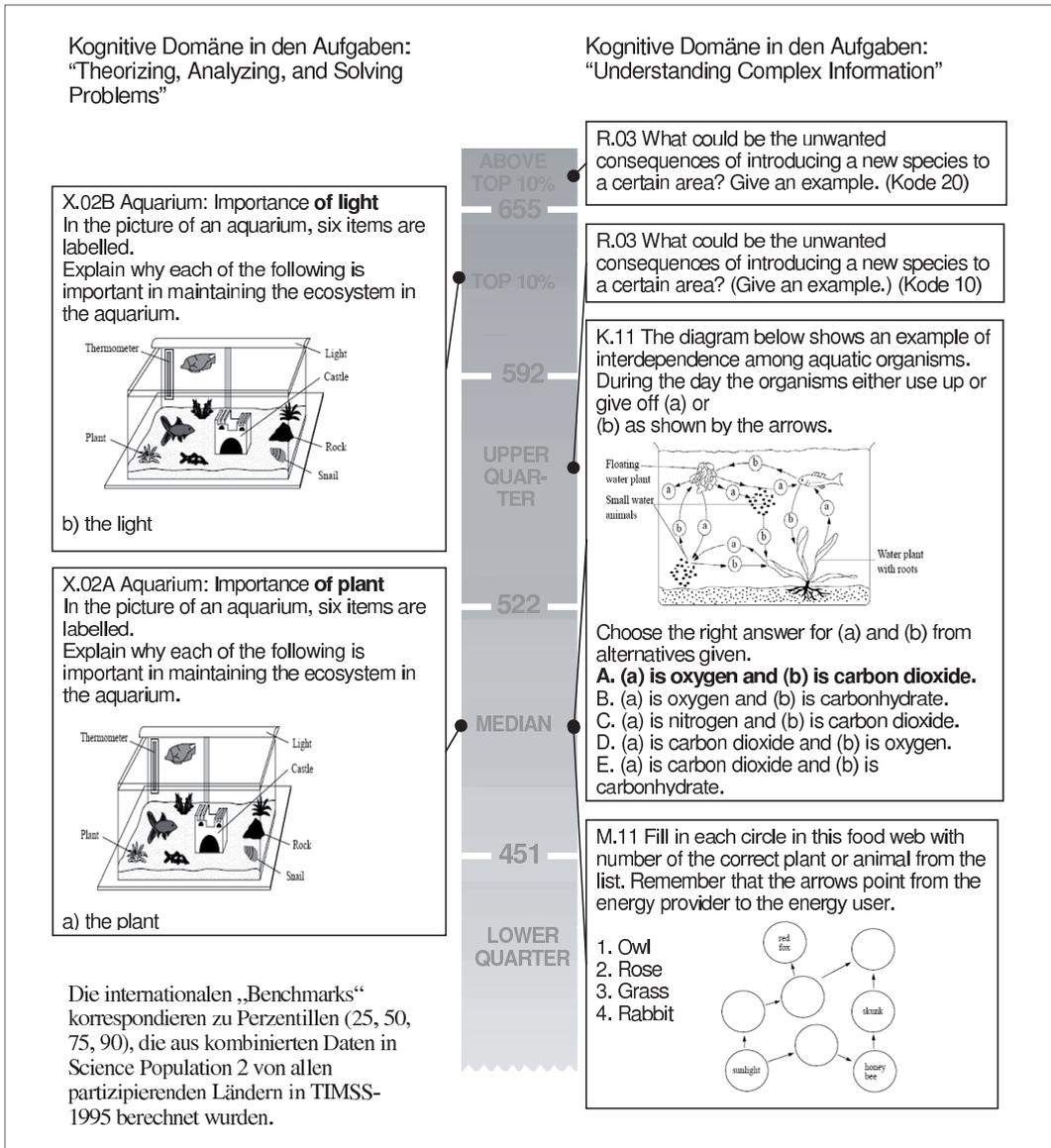


Abb. 1: Internationale Benchmarking TIMSS 1995 und kognitive Domänen mit den Beispielaufgaben zur Ökologie (modifiziert nach Smith et al. 2000)

*Kognitive Domänen.* Beispielsweise steht die Aufgabe X.02A (Bedeutung der Pflanzen für den Lebensraum) für die kognitive Domäne „Theorizing, Analyzing, and Solving Problems“. Die (multiple-choice) Aufgabe K.11 orientiert sich an „Understanding Complex Information“. Sie zielt aber nur auf ein vereinfachtes Wissen von Zusammenhängen zwischen Organismen hin (auto-

throphe Organismen produzieren den Sauerstoff, die Tiere aufnehmen und sie nehmen das Kohlenstoffdioxid auf, das die Tiere abgeben) (s. Abbildung 1). Im Folgenden werden inhaltlich zusammenhängende Aufgaben unter epistemologischen Aspekten in Beziehung gesetzt.  
Die Aufgaben X.02A und K.11 (Bedeutung der Pflanze für den Lebensraum) testen bei-

de ein lebensweltliches Verständnis, wobei die Aufgabe K.11 den „Zusammenhang“ zwischen den Pflanzen und Tieren präzise in Betracht zieht. Mit dem lebensweltlichen Wissen kann ein anthropomorphes Verständnis von Gleichgewicht als Erklärung unterstellt werden. Die Schüler lösen dabei ein Problem (Aufrechterhaltung des Ökosystems auf Grund stofflicher Beziehungen), das sich auf eine anthropomorph-reifizierende Definition des Ökosystems bezieht (vgl. K. Friederichs). In den Aufgaben wird das gleiche Wissen erfasst, die das harmonische Zusammenleben in einem Ökosystem unterstützt. Von diesem Standpunkt aus erscheint die Trennung der Aufgaben in die unterschiedliche kognitive Domäne als nicht sachgemäß. Ausschlaggebend für die kognitive Leistung sind vielmehr die Gemeinsamkeiten im anthropomorph-reifizierenden Wissen.

Die Aufgaben X.02B (kognitive Domäne „Theorizing, Analyzing, and Solving Problems“) und M.11 („Understanding Complex Information“) sollen ein Wissen zu den energetischen Aspekten des Ökosystems testen. Um das tatsächliche Wissen zu erfassen, wäre eine Aufgabe zu formulieren, die sich beispielsweise auf die Begründung einer Anzahl der trophischen Stufen in einem Ökosystem beziehen würde. Dabei wäre das physikomorph-reifizierendes Wissen zu reflektieren.

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Die Aufgaben sind an einer reifizierenden Definition von Ökosystemen orientiert.
2. Die Aufgabekodierungen und die Aufgaben selbst beschreiben nicht die Schülerleistungen in der Ökologie: Mit den Aufgaben und Kodierungen werden überwiegend nicht die fachlichen Kenntnisse, sondern häufig ein anthropomorphes Verständnis erfasst.
3. Die kognitiven Domänen entsprechen nicht den Lösungshäufigkeiten: Die kognitiven Ansprüche der Aufgaben werden in TIMSS erst auf Grund der Ergeb-

nisse der Untersuchungen gewonnen. Die Kompetenzen werden aus jeweiligen Leistungsstufen abgeleitet, denen die Aufgaben zugeordnet worden sind: Die angenommenen Kompetenzen sind also von statistisch ermittelten Größen abhängig. Wenn man Aufgaben vergleicht, die in ein und dieselbe Leistungsstufe eingeordnet worden sind, kann man jedoch erkennen, dass die Ergebnisse durch die Art des Wissens (z.B. anthropomorph-reifizierend) bedingt sind, mit dem die Schüler das angesprochene ökologische Phänomen erfassen. Ebenso zeigen sich in diesem Zusammenhang einige Parallelen zwischen reifizierendem Wissen und historisch-wissenschaftlichen Quellen, die diese Beurteilung zusätzlich belegen.

4. Die qualitative Analyse macht also deutlich, was mit den Aufgaben eigentlich getestet wird. Mit den Aufgaben werden verschiedene Aspekte der Ökosystembetrachtung erfasst: Beschreibung der Struktur, ihrer Erhaltung und ihrer Entwicklung. Die Aufgaben sind auf bestimmte reifizierende wissenschaftliche Fragestellungen orientiert, die epistemologisch als anthropomorph-reifizierend und „technomorph“-reifizierend gekennzeichnet werden können.

## 8 Folgerungen und weiterführende Vorschläge

Die reifizierenden Definitionen der ökologischen Begriffe sind für Unterricht bedeutsam, wenn die Lernenden angeleitet werden, sich mit den Gegensätzen und Werten in den (eigenen) Vorstellungen auseinander zu setzen. Der Schwerpunkt wäre auf die Argumentationslinien zu setzen.

1. Um die kognitiven Leistungen der Lernenden tatsächlich erfassen zu können, wären unterschiedliche Sets von den Aufgaben zu entwickeln, die anthropomorph-reifizierende und technomorph/physikomorph-reifizierende Definitionen des Ökosystems ansprechen und reflektiertes Wissen verlangen: Das Erreichen von Kompetenzen wäre also mit den

Unterschieden in der Epistemologie zu begründen, die im Bereich des reifizierenden Wissens mit dem Wissensstand des Lernenden korrelieren.

2. Die Verdeutlichung der Schülervorstellungen in Verbindung mit der Fachlichen Klärung könnte helfen, die Aufgaben und das Kodierungssystem unter einer fachdidaktischen Perspektive konstruktiv auszdifferenzieren und für das Erfassen des Verständnisses nutzbar zu machen.
3. Anhand der qualitativen Reanalyse der Schülerleistungen und Lösungshäufigkeiten kann das Verständnis des Ökosystemsbegriffs, bzw. der ökologischen Zusammenhänge als anthropomorph-reifizierendes bzw. „technomorph/physikomorph“-reifizierendes Wissen charakterisiert werden. Durch den Vergleich der Vorstellungen der Wissenschaftler und der Schüler kann das Verhältnis zwischen reifizierendem Wissen und einem reflektierten Verständnis vertieft erfasst werden.
4. Darüber hinaus könnte durch einen Vergleich zwischen den Zyklen in weiteren Untersuchungen (bei Freigabe der entsprechenden Aufgaben) die Reliabilität von ähnlich formulierten Aufgaben geprüft werden. Durch eine Überprüfung der Ergebnisse der Reanalyse der Aufgaben könnte eine detaillierte Einsicht in die Gründe für die Lösungshäufigkeiten auf nationaler Ebene erreicht werden, indem beispielsweise die Lösungshäufigkeiten bei unterschiedlichen Kodes betrachtet werden. Die Gründe für die Lösungshäufigkeiten in unterschiedlichen TIMSS-Zyklen bei ähnlichen Aufgaben könnten zeigen, ob die abstrakt formulierten Aufgaben durchgehend eine geringere Lösungshäufigkeit im Vergleich zu den konkreten erreichen und der Zusammenhang zwischen den Kodierungen der Aufgaben und deren Formulierung untersucht werden.
5. Eine Reanalyse von PISA-Aufgaben könnte helfen, die Überlegungen zum reifizierenden und reflektierten Wissen auch im Hinblick auf den Aspekt „Knowledge

about science“ stärke auszdifferenzieren. Auf Grund des Vergleichs der Vorstellungen der Lernenden und der Wissenschaftler könnte die Frage nach der „Anzahl“ der Kompetenzstufen, die von Schecker und Parchmann (2006) formuliert wurde, auch verallgemeinernd, d.h. auf andere inhaltliche Bereiche ausgeweitet, betrachtet werden.

### Danksagung

Ich danke Ulrich Kattmann (Universität Oldenburg) für die Durchsicht des Skripts und zahlreiche Anregungen sowie einem anonymen Gutachter für die konstruktive Kritik.

## Literatur

- Baalmann W., Frerichs, V., & Kattmann, U. (2005). Genetik im Kontext von Evolution oder: Warum die Gorillas schwarz wurden. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 58, 420-427.
- Baumert, J., Klieme, E., Lehrke, M., & Savelsbergh, E. (2000). Konzeption und Aussagekraft der TIMSS-Leistungstests: zur Diskussion um TIMSS-Aufgaben aus der Mittelstufenphysik. *Deutsche Schule*, 92, 102-115.
- Beaton, A.E., Martin, M.O., Mullis, I. V. S., Gonzalez, E.J., Smith, T.A., & Kelly, D.L (1996). *Science achievement in the Middle School years: IEA's Third International Mathematics and Science Study (TIMSS)*. Boston: International Study Center (URL: <http://isc.bc.edu/timss1995i/TIMSSPDF/BSciAll.pdf>).
- Begon, M., Harper, J.L., & Townsend, C.R. (1997). *Ökologie. Jedinci, populace a spoločenstva*. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého. [Ecology. Individuals, Populations and Communities (3rd.). Boston: Blackwell.]
- Biologos (1992). Die Sauerstoffflüge. *Biologie Heute*, 42, 7.
- Friederichs, K. (1937). Ökologie als Wissenschaft von der Natur oder biologische Raumforschung. *Bios*, 7, 1-108.
- Gropengießer, H. (2001). *Didaktische Rekonstruktion des Sebens: Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung. 2. Aufl. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion 1*. Oldenburg: Universität Oldenburg, Didaktisches Zentrum.
- Gropengießer, H. (2003). *Lebenswelten. Denkwelten. Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. Beiträge zu Didaktischen Rekonstruktion 4*. Oldenburg: Universität Oldenburg, Didaktisches Zentrum.
- Grotzer, T.A., & Bell Basca, B. (2003). How does grasping the underlying causal structures of ecosystems impact students understanding? *Journal of Biological Education*, 38(1), 16-29.
- Harlow, A., & Jones, A. (2004). Why Students Answer TIMSS Science Test Items the Way They Do, *Research in Science Education*, 34, 221-238.
- Jax, K. (2002). *Die Einheiten der Ökologie*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Jelemenská, P. (2006). *Biologie verstehen: ökologische Einheiten. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion 12*. Oldenburg: Universität Oldenburg, Didaktisches Zentrum.
- Jelemenská, P., & Kattmann, U. (2006, September). Understanding the units of nature: From reification to reflection. A contribution to Educational Reconstruction in the field of ecology. Paper presented at ERIDOB 2006 in London.
- Kattmann, U. (1992). Originalarbeiten als Quellen didaktischen Rekonstruktion. *Unterricht Biologie*, 7, 46-49.
- Kattmann, U. (2003). Vom Blatt zum Planeten“ – Scientific Literacy und kumulatives Lernen. In B. Moschner, H. Kiper, & U. Kattmann (Eds.), *PISA 2000 als Herausforderung* (pp. 307-318). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Kattmann, U. (2005). Lernen mit anthropomorphen Vorstellungen? Ergebnisse der Didaktischen Rekonstruktion in der Biologie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 165-174.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftliche Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3-18.
- Knight, T.M., McCoy, M.W., Chase, J.M., McCoy, K.A., & Holt, R.D. (2005). Trophic cascades across ecosystems. *Nature*, 437, 880-883.
- Martin, M.O., & Kelly, D.L. (1996). *TIMSS 1995 Technical report. Volume I: Design and development*. Chestnut Hill, MA: Center for the Study of Testing, Evaluation and Educational Policy.
- Martin, M.O., Mullis, I.V.S., Gonzalez, E.J., Gregory, K.D., Smith, T.A., Chrostowski, S.J., et al. (2000). *TIMSS 1999 International Science Report: Findings from IEA's Repeat of the Third International Mathematics and Science Study at the Eighth Grade*. Chestnut Hill, MA: International Study Center.
- Martin, M.O., Mullis, I.V.S., & Chrostowski, S.J. (2004a). *TIMSS 2003 Technical report*. Chestnut Hill, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center.
- Martin, M.O., Mullis, I.V.S., Gonzalez, E.J., & Chrostowski, S.J. (2004b). *TIMSS 2003 International Science Report: Findings from IEA's Trends in International Mathematics and Science Study at the fourth and eighth grades*. Chestnut Hill, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center.
- Mullis, I.V.S., Martin, O.M., Smith, T.A., Garden, K.D., Gregory, K.D., Gonzales E.J., et al. (2001). *TIMSS Assessment Frameworks and Specifications 2003*. Chestnut Hill, MA: International Study Center.

- Mullis, I.V.S., Martin, O.M., Ruddock, G.J., O'Sullivan C., Arora, A., & Erberber, E. (2005). *TIMSS 2007 Assessment Frameworks*. Chestnut Hill, MA: International Study Center.
- Odum, E. P. (1999). *Ökologie: Grundlagen – Standorte – Anwendung (3. Aufl.)*. Stuttgart: Thieme.
- Sander, E. (1998). *Das Verständnis des biologischen Gleichgewichts in der Fachwissenschaft und in den Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern*. Oldenburger Vor-Drucke 366. Oldenburg: Universität Oldenburg.
- Sander, E. (2002). Wissenschaftliche Konzepte und Schülervorstellungen zum „biologischen Gleichgewicht“ – Ein Forschungsprojekt im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion. In R. Klee, & H. Bayrhuber (Eds.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik* (Bd. 1) (pp. 61-73). Innsbruck: Studienverlag.
- Sander, E., Jelemenská, P., & Kattmann, U. (2004). Woher kommt der Sauerstoff? Überlegungen zum erdgeschichtlichen Ungleichgewicht. *Unterricht Biologie*, 28, 20-24.
- Schecker, H., & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 45-66.
- Smith, T.A., Martin, M.O., Mullis, I.V.S. & Kelly, D.L. (2000). *Profiles of student achievement in science at the TIMSS International Benchmarks: U.S. performance and standards in an international context*. Chestnut Hill, MA: International Study Center (URL: [http://isc.bc.edu/timss1995i/TIMSPDF/PSA\\_S\\_all.pdf](http://isc.bc.edu/timss1995i/TIMSPDF/PSA_S_all.pdf)).
- Storch, D., & Mihulka, S. (2000). *Úvod do současné ekologie*. Praha: Portál. [Einführung in aktuelle Ökologie.]
- Tansley, A.G. (1935). The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 296, 16, 284-307.
- Townsend, C.R., Harper, J.L., & Begon, M. (2003). *Ökologie*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Valsangiacomo, A. (1998). *Die Natur der Ökologie: Anspruch und Grenzen ökologischer Wissenschaften*. Zürich: Hochsch.-Verl. an der ETH Zürich.

## Kontakt

Dr. Patrícia Jelemenská  
National Pädagogisches Institut  
Puhová 8  
P.O.BOX 26  
830 00 Bratislava  
Slowakei  
[patricia.jelemenska@uni-oldenburg.de](mailto:patricia.jelemenska@uni-oldenburg.de)

## Autoreninformation

Patrícia Jelemenská arbeitet zurzeit als nationale Forschungskordinatorin für die Hauptstudie TIMSS 2007 in der Slowakei. Die Grundlagen für die Lehr-, Lernforschung orientieren sich am Modell der Didaktischen Rekonstruktion vorwiegend im Bereich Ökologie. Sie ist als Postdoc Mitglied des Graduiertenkollegs „Fachdidaktische Lehr- und Lernforschung – Didaktische Rekonstruktion“ an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.