pedocs
Open Access Erziehungswissenschaften

DIPF

Starauschek, Erich

# Ergebnisse einer Evaluationsstudie zum Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs

*Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 8 (2002), S. 7-21*

Quellenangabe/ Reference:
Starauschek, Erich: Ergebnisse einer Evaluationsstudie zum Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 8 (2002), S. 7-21 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-315745 - DOI: 10.25656/01:31574

*https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-315745*
*https://doi.org/10.25656/01:31574*

in Kooperation mit / in cooperation with:

IPN
Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

*https://www.leibniz-ipn.de*

**Nutzungsbedingungen**

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.
Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

**Terms of use**

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.
This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

**Kontakt / Contact:**

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Erich Starauschek

# Ergebnisse einer Evaluationsstudie zum Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs

Zusammenfassung:
Im Karlsruher Physikkurs wird durchgängig eine neue Sachstruktur der Physik unterrichtet. Die neue Sachstruktur bringt eine einheitliche Begriffsbildung und eine redundante Fachsprache mit sich. Die Lernumgebung und andere Unterrichtsvariablen wurden nicht verändert. Aus der konstruktivistischen Perspektive verspricht dieser Ansatz keine Aussichten zur Verbesserung des Physikunterrichts. Es lassen sich jedoch empirisch gesicherte Hinweise finden, die für positive Veränderungen des Unterrichts sprechen. Das Schulbuch zum Karlsruher Kurs wird von den Schülern genutzt und als verständlich eingeschätzt. Die Karlsruher Mädchen weisen ein höheres Selbstkonzept in Physik als traditionell unterrichtete Mädchen auf. In der Wärmelehre ist der Unterricht nach dem Karlsruher Kurs geeignet, bei den Schülern Konzeptwechselprozesse einzuleiten. Diese und andere Befunde lassen sich mit der Idee des Physikunterrichts als „gelingendes Sprachspiel" zusammenfassend interpretieren.

Abstract:
The Karlsruhe Physics Course is an alternative approach for physics teaching in the school. Physics is restructured and a new language of physics emerges. The learning environment and other classroom factors are left unmodified. An empirical investigation with treatment-controlgroup-design in German secondary schools reveals relevant statistical effects. German students do not use their textbooks in traditional physics education. Whereas the textbook of the Karlsruhe Physics Course is frequently used by the students. They also emphasize the high understandability of this textbook. Girls taught according the Karlsruhe Physics Course show a better self-efficacy than girls in traditional physics courses. In the field of basic thermodynamics the Karlsruhe Physics Course frequently initiates processes of conceptual change. Traditional physics instruction does not. The facts can be summarized in the vision of physics education as a language game that works.

## 1. Was ist der Karlsruher Physikkurs?

Die Karlsruher Physik formuliert den Anspruch, Gemeinsamkeiten unterschiedlicher physikalischer Theorien zu finden und hierüber eine Neuordnung bzw. Neudarstellung der Physik zu entwickeln (Falk, 1968). Sie geht auf die Thermodynamik zurück und interpretiert konsequent die Gibbssche Fundamentalform. Die Neudarstellung zeichnet sich durch einheitliche Begriffsbildungen aus und ist für viele Teilgebiete der Physik erarbeitet. Mit ihrer Hilfe wurde der Karlsruher Physikkurs für den Unterricht des Gymnasiums der Sekundarstufe I entwickelt, in Schulen erprobt und seit 13 Jahren in Baden-Württemberg eingesetzt (Herrmann, 1998a). Eine Gesamterhebung im Jahr 1998 ergab für die Klassen 8-11 eine Anzahl von 2080 Schülern, die nach dem Karlsruher Kurs unterrichtet wurden.

Die Analyse der Vorstellung vom Lehren und Lernen im Karlsruher Kurs zeigt die Transportmetapher des Lernens unter dem Primat der Lernökonomie. Mit Hilfe einer redundanten Sachstruktur soll es gelingen, in kürzerer Zeit mehr „Inhalt" in die Köpfe der Schüler zu schaffen. Wissen muss nur richtig strukturiert werden, um einen Wissenserwerb zu gewährleisten.
Diese Vorstellung steht im Kontrast zu den Ergebnissen der empirischen Lehr-Lern-Forschung und dem konstruktivistischen Paradigma, die den selbständigen Lerner in den Mittelpunkt der Betrachtungen stellt, der seine eigenen Vorstellungen auf Grund seines Vorwissens konstruiert (Duit, 1995).

## 2. Zur Untersuchung des Karlsruher Physikkurses: Methoden und Bemerkungen

Eine quasiexperimentelle Treatment-Kontrollgruppen-Untersuchung mit Fragebögen wurde 1998 in der Sekundarstufe I des Gymnasiums in Baden-Württemberg durchgeführt. Die Fragebogenuntersuchung wurde durch explorative Lehrer- und Schülerinterviews vorbereitet und durch Gelegenheitsbeobachtungen des Physikunterrichts gestützt. Gegenstände der Untersuchung waren Schülervorstellungen zur Mechanik in Klasse 8, zur Wärmelehre in Klasse 9, zur Elektrizitätslehre in Klasse 10 sowie das Selbstkonzept der Schüler in Physik, die Beliebtheit des Physikunterrichts und die Schulbuchnutzung. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in einem umfassenderen Rahmen dargestellt (Starauschek, 2002).

Bemerkungen:

- Im Folgenden werden überwiegend die Ergebnisse wiedergegeben. Die ausführlichen Begründungen und die Offenlegung der empirischen Daten finden sich in Starauschek (2002).
- Zur Schreibweise: Die Präfixe K- und T- sind auch bei anderen Bezeichnungen wie im folgenden Beispiel zu interpretieren. K-Schüler: Schüler, die nach dem Karlsruher Physikkurs unterrichtet werden. T-Schüler: Traditionell unterrichtete Schüler.
- Die Population der K-Schüler bringt Fragen zur Vergleichbarkeit von T- und K-Schülerpopulation mit sich. Die Diskussion ist not- und aufwändig und findet sich ebenfalls in Starauschek (2002). Daher seien im Folgenden die Größen der Stichproben ohne weiteren Kommentar angegeben.
- Die Vergleichbarkeit der Stichproben wurde durch folgende Maßnahmen hergestellt: Als Vergleichskriterium wurde die Veränderung von Alltagsvorstellungen gewählt, für die eine Reihe validierter Items vorliegt. Hinsichtlich des Lernerfolges wird ein kognitionspsychologisches Wissensmodell der mentalen Repräsentationen zu Grunde gelegt. Zusätzlich wurden K- und T-Lehrer, deren Klassen an der Untersuchung teilnahmen, um die Einschätzung der Aufgaben gebeten. Bei den Aufgaben zur Wärmelehre und der Elektrizitätslehre stimmen K- und T-Lehrer nach Datenlage überein, dass die Aufgaben von ihren Schülern gelöst werden können. Bei der Mechanik zeigen sich die erwarteten Unterschiede, da im Karlsruher Kurs Inhalte unterrichtet werden, die im traditionellen Unterricht erst in Klasse 11 behandelt werden.
- Die Lehrervariable ist die große Unbekannte: Verfügen die Karlsruher Lehrer über größere Kompetenzen, um Physikunterricht zu gestalten, als die Lehrer der traditionellen Kontrollgruppe?
  Nach Datenlage lässt sich hierüber keine Aussage machen. Jedoch kann ihr Einfluss durch eine Auswertung auf Klassenebene grob eingeschätzt werden. Eine Untersuchung der weiter unten folgenden Aufgaben zur Mechanik (acht K-Klassen, sechs T-Klassen), zur Wärmelehre (sieben K-Klassen, drei T-Klassen) und zur Elektrizitätslehre (fünf K-Klassen, fünf T-Klassen) zeigen hinsichtlich der Klasseneffekte ein wenig ausgeprägtes Bild. In der K- und T-Stichprobe finden sich Klassen, die eine Aufgabe besonders gut oder besonders schlecht gelöst haben. Die Ergebnisse seien vorweg skizziert: Zwei T-Klassen erzielen bei der Aufgabe in Abbildung 1 ein besonders gutes Ergebnis, eine K-Klasse löst die Aufgabe in Abbildung 2 sehr schlecht und eine K-Klasse gibt bei der Aufgabe in Abbildung 3 sehr häufig eine physikalische Lösung an. Ohne diese Klassen zeigen sich keine Klasseneffekte ($7^2$-Test, df = 1).
  Betrachtet man alle Ergebnisse der Tests in den Klassenstufen, so zeigt sich, dass die Klasseneffekte in Klassenstufe 8 häufiger als in den Klassenstufen 9 und 10 auftreten.
  Eine erweiterte Diskussion der Lehrervariable zeigt, dass sich deren Wirkung begrenzen lässt. Lehrer beider Gruppen nahmen

freiwillig an der Untersuchung teil, sodass für Lehrer beider Gruppen von einem erhöhten Kompetenzerleben ausgegangen werden kann (Bortz & Döring, 1995).

Lehrerkompetenz in höheren Schulen lässt sich vermutlich gleichrangig in pädagogische und fachlich-didaktische Kompetenzen unterteilen (Häuselmann, 1984). Da sich die Karlsruher Lehrer fachlich fortbilden mussten, ist von einem mittelbaren Effekt zur Steigerung der fachlichen Kompetenz bei den K-Lehrern auszugehen. Erfolgreiche Implementationen des Karlsruher Kurses weisen ein weiteres Merkmal auf: Einem Neuling standen an der Schule Kollegen zur Seite, die über Erfahrungen mit dem Unterricht nach dem Karlsruher Physikkurs verfügten. Oder: Es handelte sich um zwei oder mehrere Lehrer, die den Unterricht umstellten.

- Den Ergebnissen ist angesichts der Unsicherheiten in der Stichprobe, der Lehrervariable und anderer nicht kontrollierter Variablen der Rang von statistisch erhärteten Hypothesen zuzuordnen.

## 3. Physikalische Grundlagen des Karlsruher Physikkurses

Die Karlsruher Schule verwendet zur Beschreibung verschiedener physikalischer Gebiete durchgängig die Metapher des „Stoffartigen". Unter „Stoffartigem" versteht man ein „Etwas",

- dem eine Menge zugeordnet werden kann, d.h. es ist sinnvoll von mehr oder weniger zu sprechen.
- das verschwinden oder entstehen kann oder unveränderbar ist.
- das sichtbar und unsichtbar sein kann.

Systeme werden mit physikalischen Größen beschrieben, die sich als „Stoff" veranschaulichen lassen: Diese Größen heißen mengenartige Größen (Herrmann, 1998b). Viele extensive Größen der Thermodynamik sind mengenartige Größen: Impuls, Entropie, elektrische Ladung. Zu den meisten mengenartigen Größen kann man eine sogenannte intensive Partnergröße finden. Zum Impuls ist es die Geschwindigkeit, zur Entropie die Temperatur, zur elektrischen Ladung das elektrische Potenzial.

Ein „Stoff" kann als Strom durch den Raum fließen. Die jeweiligen intensiven Partnergrößen müssen dabei an unterschiedlichen Orten verschiedene Werte haben. Die Differenz der intensiven Partnergröße stellt dann einen Antrieb für den Strom dar. Dieses sogenannte Strom-Antrieb-Konzept lässt sich redundant verwenden. Somit ist es möglich, verschiedene Teilgebiete der Physik, unter anderem die Mechanik, die Elektrizitätslehre, die Hydrodynamik und die Wärmelehre mit einer ähnlichen Struktur zu beschreiben und Teilgebiete der Physik vertikal zu vernetzen. Die traditionelle Schulphysik weist keine vertikale Vernetzung auf (BLK, 1997).

Man erkennt die Redundanz des Strom-Antrieb-Konzepts anhand einiger Lehrsätze und Sprechweisen (Tab. 1). Der Unterrichtsgang weist ein charakteristisches Element auf: Die Schüler lernen das Strom-Antrieb-Modell zuerst anhand von strömenden Flüssigkeiten kennen. Auf dieses Modell kann im Unterricht immer wieder zurückgegriffen werden. Die Mechanik stellt eine Ausnahme dar. Hier steht die mengenartige Größe Impuls ohne Partnergröße im Mittelpunkt.

| | |
|---|---|
| Flüssigkeiten und Gase fließen von selbst von Stellen höheren Drucks zu Stellen niedrigeren Drucks | Der Druckunterschied ist ein Antrieb für Flüssigkeits- und Gasströme |
| Entropie strömt von selbst von Stellen höherer Temperatur zu Stellen niedrigerer Temperatur | Ein Temperaturunterschied ist ein Antrieb für einen Entropiestrom |
| Elektrische Ladung fließt von selbst von Stellen höheren Potenzials zu Stellen niedrigeren Potenzials | Der Potenzialunterschied ist ein Antrieb für einen elektrischen Strom |

Tabelle 1: Sprachliche Beschreibung des Strom-Antrieb-Konzepts im Karlsruher Physikkurs

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Zum Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs

Es ist davon auszugehen, dass der Unterricht in den K- und T-Klassen als Frontalunterricht abgehalten wird, der durch die typischen Phasen strukturiert ist. Die K-Lehrer berichten dabei von Veränderungen auf der sprachlichen Ebene des Unterrichtsgeschehens: Physik mit dem Karlsruher Kurs gleiche dem Fremdsprachenlernen, die Schüler erinnerten sich an das Strom-Antrieb-Konzept, es fände mehr unbefangenes Unterrichtsgespräch statt. Die K-Lehrer schätzen den Anteil der Unterrichtsphase Unterrichtsgespräch größer als in ihrem traditionellen Unterricht ein.
Die K-Schüler benutzen das K-Buch signifikant häufiger als traditionell unterrichtete Schüler und lösen die Übungsaufgaben. Die K-Mädchen geben dabei signifikant häufiger als die T-Mädchen an, dass ihnen das K-Buch auch zu Hause beim Verstehen hilft. Etwa 60% der K-Schüler nennen bei einer offenen Befragung die gute Verständlichkeit des Schulbuches. Nur 22% der T-Schüler geben dies an. Dabei tritt eine ausgeprägte Geschlechterdifferenz zu Tage: 75% der K-Mädchen nennen die gute Verständlichkeit, 45% sind es bei den K-Jungen.
Durch sprachstatitistische Untersuchungen lässt sich zeigen, dass das Sprachniveau des K-Buches das Sprachniveau der Schüler trifft (Starauschek, 1998). Die bislang mit dieser Methode untersuchten traditionellen Physikschulbücher weisen ein zu hohes Sprachniveau auf (Merzyn, 1994). Es gibt Hinweise, dass auch die graphischen Repräsentationen ein Rolle spielen. Nur die K-Schüler geben an, dass die Bilder hilfreich beim Verstehen seien.

### 4.2 Mechanikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs in Klasse 8

Die physikalische Größe Impuls wird im Karlsruher Physikkurs an den Anfang des Unterrichts gestellt. Auf die Größe Kraft wird verzichtet. An zwei Beispielen soll die Wirkung der Impulsmechanik exemplarisch aufgezeigt werden (Abb. 1, Abb. 2).
Der gesamte Test umfasst 14 Aufgaben. Darunter vier Fragen zum Impuls: Ein Bewegungsvorgangs sollte in der Impulssprache beschrieben werden. Je eine Frage zum zentralen Stoß zweier Körper, zur Trägheit und zum Masse-Geschwindigkeits-Zusammen-hang des Impulses kommt vor.
Vier Fragen beziehen sich auf Situationen, die traditionell mit Hilfe des Prinzips von Actio-Reactio beantwortet werden. Bei zwei Fragen muss hierbei der Masse-Geschwindigkeits-Zusammenhang des Impulses mitbedacht werden. Je zwei Fragen wurden zum freien Fall, zur traditionellen Mechanik und zum Stoff aus höheren Klassen gestellt.

#### 4.2.1 Zusammenstoß von zwei Körpern

Können die Schüler vorhersagen, in welche Richtung sich zwei Körper unterschiedlicher Masse nach einem Zusammenstoß bewegen (Abb. 1)? Die Verteilungen der K- und T-Schüler unterscheiden sich signifikant (Tab. 2 und 3). Bei den K-Schülern spielen nur zwei Vorstellungen eine Rolle: Die richtige Vorhersage und die Vorstellung, dass beide Autos nach dem Stoß stehen bleiben. Fast alle K-

**Aufgabe 3:**

Stell Dir vor, wie ein großer LKW und ein Kleinwagen frontal zusammenstoßen. Der LKW kommt von links, und der PKW kommt von rechts. Beide Fahrer lesen auf ihren Tachometern die gleiche Geschwindigkeit ab. Beim Zusammenstoß gehen die Motoren aus und die beiden Fahrzeuge verkeilen sich. Sie können jedoch noch weiterrollen, weil das Fahrwerk jeweils intakt geblieben ist. Wie bewegen sich die verkeilten Fahrzeuge dann nach dem Stoß?

1. Die verkeilten Fahrzeuge bleiben stehen.
2. Die verkeilten Fahrzeuge bewegen sich nach rechts.
3. Die verkeilten Fahrzeuge bewegen sich nach links.

Begründe bitte Deine Antwort:

Abbildung 1

Jungen lösen die Aufgabe in der erwarteten Weise. Etwa ein Drittel der K-Mädchen macht hingegen die Vorhersage, dass die verkeilten Autos nach dem Zusammenstoß stehen bleiben.

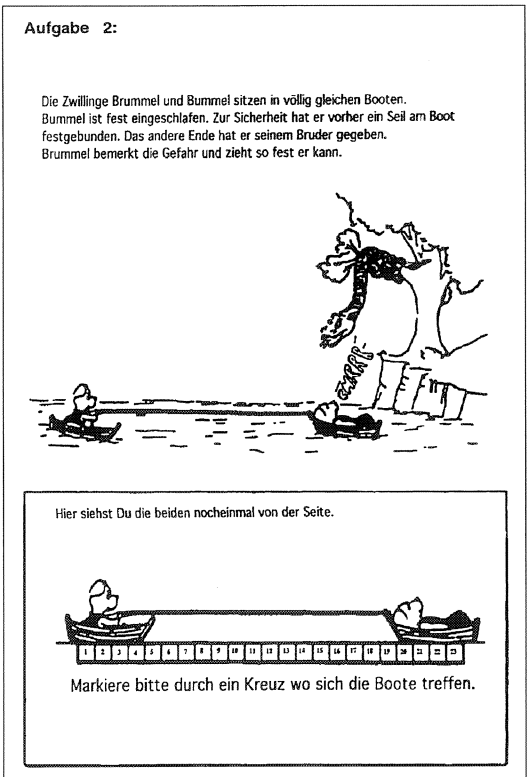



Abbildung 2

### 4.2.2 Standardaufgabe zu Actio und Reactio

Die Lösung einiger Aufgaben, bei denen im traditionellen Unterricht das Gesetz von Actio und Reactio angewendet werden muss, scheint sich mit der Impulssprache zu vereinfachen. Die Aufgabe in Abbildung 2 (Opitz, 2000) lehnt sich an die Standardsituationen der Schulbücher an. Die linke Figur ist aktiv, die rechte Figur verhält sich passiv.

Die K-Schüler lösen die Aufgabe signifikant besser als die T-Schüler (Tab. 4 und 5). Die Ergebnisse weisen auf eine „Linkstendenz" der K-Mädchen hin. Opitz (2000) findet ebenfalls eine „Linkstendenz".

Für die Leser, die mit der Karlsruher Impulsmechanik vertraut sind, lässt sich vorsichtig interpretieren: Die Impulspumpe muss fest stehen, um den passiven Körper heranzuziehen, und ruht daher. Interviews zu dieser Frage liegen bisher nicht vor. Bei einem Teil der K-Mädchen scheint somit durch den Unterricht das Aktivitätsschema der Alltagsvorstellungen angesprochen zu werden. Es unterscheidet sich vom Aktivitätsschema der T-Schüler, die dem aktiven Partner einen größeren Bewegungsspielraum zuschreiben. Der aktive Partner zieht sich bei den T-Schülern an den ruhenden Partner heran. Bei den K-Schülern ruht er.

| % | KPK<br>N = 180 | TRD<br>N = 120 | KPK J<br>N = 79 | TRD J<br>N = 52 | KPK M<br>N = 101 | TRD M<br>N = 68 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stehen | 17 | 15 | 3 | 21 | 29 | 10 |
| Rechts | 79 | 67 | 92 | 69 | 69 | 65 |
| Links | 3 | 13 | 5 | 6 | 2 | 18 |
| Keine Angabe | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sonstiges | 0 | 6 | 0 | 4 | 0 | 7 |
| | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Tab. 2: Klasse 8, Gymnasium Baden-Württemberg, Mechanik Aufgabe 3: Ergebnisse

| Vergleich von | KPK<br>TRD | KPK J<br>TRD J | KPK M<br>TRD M | KPK J<br>KPK M | TRD J<br>TRD M |
|---|---|---|---|---|---|
| p-Wert | .006<br>** | .001<br>*** | .000<br>*** | .000<br>*** | n.s.<br>(t)[a] |

[a] $p = .059$, $\chi^2$-Test, df = 2, *** $p < .001$, ** $p < .01$, (t) $p < .10$; mittlere Effekte nach Cohen (1992).

Tab. 3: Klasse 8, Gymnasium Baden-Württemberg, Mechanik Aufgabe 3: Signifikanz der Unterschiede

Die Ergebnisse der K-Schüler bei anderen Aufgaben sind nicht signifikant besser als die Ergebnisse der T-Schüler. Die Karlsruher Schüler erkennen den Masse-Geschwindigkeits-Zusammenhang des Impulses nicht häufiger als die T-Schüler. Ein altes Problem aus dem Physikunterricht taucht auf: Schüler der Sekundarstufe I haben Schwierigkeiten mit physikalischen Größen umzugehen, die von zwei Variablen abhängen. Aufgaben zu Actio und Reactio, zu deren Lösung ebenfalls der Masse-Geschwindigkeits-Zusammenhang des Impulses benötigt wird, können von den K-Schülern ebenfalls nicht besser als von T-Schülern gelöst werden. Die Ursachen für die besseren Ergebnisse der K-Jungen im Vergleich zu den K-Mädchen sind nicht geklärt.

### 4.2.3 Fachsprache der Schüler in der Mechanik

Die Schüler beider Stichproben sollten eine Autofahrt – Anfahren, Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit, Bremsen – physikalisch beschreiben. Die K-Schüler verwenden hierbei die Sprache der Impulsmechanik konsistenter als die T-Schüler die Kraftsprache. Die T-Schüler nannten 18 verschiedene Kräfte und 20 andere Namen von physikalischen Begriffen.

### 4.3 Wärmelehre nach dem Karlsruher Physikkurs in Klasse 9

Schüler entwickeln nur rudimentäre physikalische Konzepte in der Wärmelehre (Duit, 1986; Kesidou & Duit, 1993). Die Alltagsvorstellungen zur Wärme zeigen neben dem Aspekt der Energie und der Temperatur den Aspekt der mengenartigen Größe. Die orthodoxe physikalische Wärme hingegen ist keine mengenartige Größe, sondern eine Prozessgröße. In einer unorthodoxen Interpretation der Entropie zeigt sich die Entropie als mengenartige Größe, die erzeugt werden kann (Job, 1972). Dadurch wird auch in der Wärmelehre eine Umdeutungsstrategie ermöglicht.

Die Stichprobe der K-Schüler in Klasse 9 ist repräsentativ. Bei den T-Schülern zeigen sich bei einem Teil der Aufgaben Ergebnisse, die über den Werten in der Literatur liegen.

Der Test besteht aus sechzehn überwiegend offenen Fragen: Drei Fragen zur Unterscheidung von intensiver und extensiver Größe. Vier Fragen zu Temperaturausgleichsprozes-

| % | KPK N = 180 | TRD N = 120 | KPK J N = 79 | TRD J N = 52 | KPK M N = 101 | TRD M N = 68 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Links von der Mitte | 16 | 23 | 6 | 17 | 24 | 27 |
| Mitte[a] | 78 | 58 | 87 | 60 | 71 | 57 |
| Rechts von der Mitte | 6 | 18 | 6 | 21 | 5 | 16 |
| Keine Angabe | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

[a] Als Mitte wurden Kreuze an den Stellen 11, 11,5 und 12 gezählt.

Tab. 4: Klasse 8, Gymnasium Baden-Württemberg, Mechanik Aufgabe zu Actio und Reactio: Ergebnisse

| Vergleich von | KPK TRD | KPK J TRD J | KPK M TRD M | KPK J KPK M | TRD J TRD M |
|---|---|---|---|---|---|
| p-Wert | .000 *** | .002 ** | .035 * | .007 ** | n.s. |

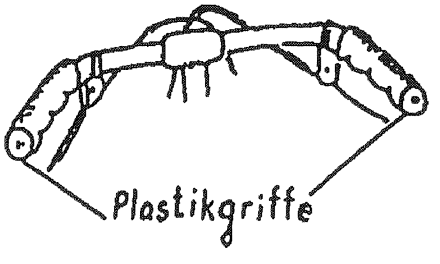
$\chi^2$-Test, df = 2, *** p < .001, ** p < .01, * p < .05; mittlere bis große Effekte nach Cohen (1992).
KPK: Karlsruher Physikkurs, TRD: Traditioneller Unterricht, M: Mädchen, J: Jungen.

Tab. 4: Klasse 8, Gymnasium Baden-Württemberg, Mechanik Aufgabe zu Actio und Reactio: Ergebnisse

sen. Drei Fragen zur Wärmeleitung unter Einbeziehung des Wärmeempfindens. Und: Fünf Fragen zu Phasenübergängen.
Zur Kontrolle wurde eine Frage zur Längenausdehnung von Metallen verwendet. Im Unterricht der Karlsruher Schüler wird dieses Thema nicht explizit behandelt.
Bei den K- und T-Schülern der Stichprobe finden sich mehr Gemeinsamkeiten als Unterschiede. Die Schüler beider Gruppen erkennen die Temperatur als intensive Größe (ca. 90%), sie entwickeln Vorstellungen einer mengenartigen Größe, wenn die Stoffabhängigkeit der Wärmekapazität nicht berücksichtigt werden muss (ca. 80%), und physikalische Vorstellungen zur Wärmeleitfähigkeit (ca. 80%). Fragen zu Phasenübergängen werden von beiden Gruppen überwiegend richtig beantwortet. Die physikalische Beschreibung von Temperaturausgleichsvorgängen und der Wärmeempfindung ist bei den K-Schülern hingegen ausgeprägter als bei den T-Schülern. Fragen der Irreversibilität, der Erzeugung der Entropie und der Unterscheidung von Energie und Entropie wurden nicht ausführlich untersucht.

### 4.3.1 Temperaturausgleichsvorgänge

Schüler entwickeln im traditionellen Physikunterricht zur Beschreibung von Temperaturausgleichsvorgängen keine physikalischen Konzepte (Kesidou & Duit, 1993).




**Aufgabe 10:**

Es ist ein kalter Tag. Anna fährt trotzdem mit dem Fahrrad zur Schule. Sie bemerkt, daß sich das Metall des Lenkers viel kälter anfühlt als die weißen Plastikgriffe.

Bitte erkläre, warum dies so ist.

Abbildung 3

Die folgende Aufgabe (Nach Fleischer, 1991)

*Eine Flasche mit lauwarmer Limonade wird in einen See mit kaltem Wasser eingetaucht.*
*a) Was beobachtest Du?*
*b) Wie erklärst Du Dir das?*

wurde – ebenso wie Aufgabe 10 (Abb. 3) – mit einem aufwändigen, überwiegend induktiven Verfahren mit deduktiven Anteilen ausgewertet. Eine Intercoder-Reliabilität von 95% wurde erzielt.
Die überwiegende Zahl der Schüler hat die Abkühlung der Flasche vorhergesagt. Zwei Typen der Formulierung dieser Vorhersage lassen sich finden: Die Vorhersage war in der Alltagssprache – Limonade wird kälter, die Limonadenflasche kühlt ab – oder mit Hilfe der Temperatur formuliert – die Temperatur in der Flasche sinkt. Etwa 90% der K-Schüler und 70% der T-Schüler machen die richtige Vorhersage. Ein Teil der T-Schüler erwartet Phänomene des Sinkens und Schwimmens.
Die Erklärungen der Beobachtung lassen sich in zwei Klassen einteilen. Die Formulierung der Erklärung mit einer mengenartigen Größe: „Die lauwarme Limonade gibt die Energie an den kalten See ab." oder „Der See ist kälter und ich weiß, dass Entropie von Stellen höherer Temp. zu Stellen niedriger Temp. fließt." Die zweite Klasse bilden falsche oder missverständliche Erklärungen. Die Erklärungen der K-Schüler lehnen sich eng an die Lehrsätze zum Strom-Antrieb-Konzept an. Dies berichten auch Kesidou und Duit (1991). 67% der K-Schüler und 34% der T-Schüler geben eine physikalisch adäquate Antwort. ($7^2$-Test, df = 1, $p < .001$; mittlerer bis großer Effekt nach Cohen (1992).)

### 4.3.2 Wärmeempfinden

Schüler akzeptieren nur schwer, dass die Empfindungen von warm und kalt nicht mit den Messungen von den Temperaturen übereinstimmen müssen (Lewis & Linn, 1994). Die Vorstellung, dass ein Etwas vom Körper weg fließt, ist für Schüler schwer zu realisieren (Brook et al., 1984). Um zu untersuchen, ob

die K-Schüler häufiger physikalisch orientierte Erklärungen des Wärmeempfindens als die T-Schüler benutzen, wurde eine Frage von Brook et al. (1984) verwendet (Abb. 3). Brook et al. (1984) haben bei ihrer Untersuchung 16% der Schüler zu der Kategorie „Responses including components of the accepted answer" zugeordnet. Analysiert man dort die Details, so zeigt sich, dass nur 6% der Schüler eine Antwort geben, in der die Richtung des Wärmestroms von der Hand zum Lenker zu erkennen ist. Der Schluss – und deshalb fühlt sich das Metall kälter an – war in keiner Antwort zu finden. Hingegen induziert die Aufgabe über Annas Fahrradlenker „Kältevorstellungen".

Etwa ein Drittel der K-Schüler gibt eine befriedigende Antwort. 5% der Antworten der T-Gruppe können als richtige Antworten gewertet werden (Tab. 6 und 7). K-Schüler nennen bei den Erklärungen weniger häufig als die T-Schüler die Kälte. 52% der T-Schüler argumentieren mit der Kälte, nur 22% der K-Schüler benutzen sie.

### 4.4 Elektrizitätslehre nach dem Karlsruher Physikkurs in Klasse 10

Die elementare Elektrizitätslehre nach dem Karlsruher Physikkurs unterscheidet sich am wenigsten von den traditionellen Unterrichtskonzepten. Das elektrische Potenzial wird beim Karlsruher Kurs allerdings anders als im traditionellen Unterricht explizit als physikalische Größe eingeführt. Zur Untersuchung

| Kategorie | Beispiele Schülerantworten |
|---|---|
| Etwas fließt aus der Umgebung in das Metall oder den Griff | Das Metall an ihrem Lenker nimmt viel mehr Kälte auf und ist daher kälter |
| Etwas fließt aus dem Metall oder dem Griff in die Umgebung | Metall gibt viel besser seine Energie an die Luft ab wie die Plastikgriffe |
| Es wird von „Leitung" gesprochen. Die Richtung ist nicht erkennbar | Der ganze Lenker ist gleich kalt. Allerdings leitet das Metall die Kälte mehr als das Plastik und es fühlt sich so an als wären sie unterschiedlich kalt |
| Etwas fließt aus den Fingern in das Metall oder den Griff | Metall leitet die Entropie vom Finger besser als Plastik<br>Weil das Metall ein besserer Wärmeleiter ist => sie nehmen die Energie (Wärme) der Hände viel schneller auf als die Plastikgriffe |
| Die Empfindung wird explizit durch Wärmeleitung aus den Fingern erklärt | Das Plastik leitet Entropie nicht so gut wie Metall, darum erwärmt es sich dort, wo Anna es anfasst => Anna fühlt ihre eigene Wärme. Im Metall fließt die Entropie fort und verteilt sich |

Tab. 6: Klasse 9, Gymnasium Baden-Württemberg,
Wärmelehre Aufgabe 10: Kategorien und Beispiele: Schülerantworten

| % | KPK N = 155 | TRD N = 75 |
|---|---|---|
| Etwas fließt aus der Umgebung in das Metall oder den Griff | 16 | 29 |
| Etwas fließt aus dem Metall oder dem Griff in die Umgebung | 10 | 8 |
| Es wird von „Leitung" gesprochen. Die Richtung ist nicht erkennbar | 25 | 35 |
| Etwas fließt aus den Fingern in das Metall oder den Griff$^{+}$ | 19 | 4 |
| Die Empfindung wird explizit durch Wärmeleitung aus den Fingern erklärt $^{++}$ | 14 | 1 |
| Sonstige | 11 | 20 |
| Keine Angabe | 4 | 3 |
| | 100 | 100 |

$\chi^2$-Test, df = 1, Kategorie$^{+}$ und Kategorie$^{++}$ werden zu einer Kategorie zusammengefasst, *** $p < .001$; mittlerer bis großer Effekt nach Cohen (1992). KPK: Karlsruher Physikkurs, TRD: Traditioneller Unterricht.

Tab. 7: Klasse 9, Gymnasium Baden-Württemberg,
Wärmelehre Aufgabe 10: Ergebnisse

von Schülervorstellungen wurde der Fragebogen von Rhöneck verwendet (Rhöneck, 1986). Der Rhöneck-Test umfasst zwölf Fragen: Je zwei Fragen zur Verbrauchsvorstellung des elektrischen Stromes, zum sprachlichen Strom-Spannungs-Konzept, zur Vorhersage von Spannungswerten, zum Systemcharakter von Stromkreisen, zur elektrischen Stromstärke in verzweigten Stromkreisen und zur Vorhersage zur Helligkeit von Lämpchen in topologisch komplizierten Stromkreisen.

| % | KPK<br>N = 85 | TRD<br>N = 93 |
|---|---|---|
| Spannung ist ein vom Strom unabhängiges Konzept | 42 | 29 |
| Spannung ist ein vom Strom abhängiges Konzept | 20 | 29 |
| Andere | 38 | 42 |
| | 100 | 100 |

$\chi^2$-Test, df = 2, ** p < .01; mittlerer bis großer Effekt, Cohen (1992)
Das Ankreuzen der Kombination a falsch, b richtig, c falsch wird als Indikator für ein unabhängiges Strom-Spannungs-Konzept gewertet, Kombination a richtig, b falsch, c falsch als Indikator für ein abhängiges Strom-Spannungs-Konzept
KPK: Karlsruher Physikkurs, TRD: Traditioneller Unterricht

Tab. 8: Klasse 10, Gymnasium Baden-Württemberg, Elektrizitätslehre: Trennung von elektrischer Spannung und elektrischem Strom

| | $N_{KPK}$ | $N_{TRD}$ | MW KPK | MW TRD |
|---|---|---|---|---|
| G | 266 | 286 | 4.46 | 4.18 |
| J | 139 | 139 | 4.85 | 4.83 |
| M | 127 | 147 | 4.03 * | 3.59 |
| 8 | 137 | 76 | 4.17 * | 3.92 |
| 9 | 16 | 30 | 3.31 | 3.50 |
| 10 | 51 | 57 | 4.00 * | 3.23 |

U-Test, * p < .050
Für das detaillierte Zustandekommen der Werte s. Starauschek 2002; MW: Mittelwert, KPK: Karlsruher Physikkurs, TRD: Traditioneller Unterricht, G: Gesamt, M: Mädchen, J: Jungen, 8: Klasse 8, 9: Klasse 9, 10: Klasse 10.

Tab. 9: Gymnasium Baden-Württemberg, Selbstkonzept Physik

In der Elektrizitätslehre treten keine großen Unterschiede zwischen den beiden Populationen auf. K- und T-Schüler gehen bei den Aufgaben nur vereinzelt Antworten, die auf ein mentales Modell schließen lassen, in dem elektrischer Strom und elektrische Spannung als voneinander unabhängige Größen auftreten. Sie trennen ebenfalls nicht zwischen elektrischem Strom und Energiestrom (K-Schüler) bzw. zwischen elektrischem Strom und Energie (T-Schüler). Auch der Systemcharakter von elektrischen Stromkreisen bleibt der Schülern beider Gruppen verborgen.
Die sprachlichen Repräsentationen der K-Schüler hingegen weisen auf ein physikalisches Strom-Spannungs-Konzept hin. Sie sollten die folgenden drei Aussagen mit falsch oder richtig bewerten:

a *Die elektrische Spannung und der Strom kommen nur zusammen vor.*
b *Die elektrische Spannung kann auch einmal ohne den elektrischen Strom vorkommen.*
c *Der elektrische Strom kann auch einmal ohne die elektrische Spannung vorkommen.*

K-Schüler verwenden die elektrische Spannung sprachlich wie eine vom Strom unabhängige Größe (Tab. 8).

### 4.5 Selbstkonzept in Physik

Unterschiede zwischen Karlsruher Schülern und traditionell unterrichteten Schülern finden sich beim fachspezifischen Selbstkonzept (Helmke, 1992). Das Selbstkonzept kann die Werte von Null – niedrigstes Selbstkonzept – bis sechs – höchstes Selbstkonzept – annehmen. Das Selbstkonzept der K-Mädchen in der Mittelstufe des Gymnasiums ist besser als das Selbstkonzept der traditionell unterrichteten Mädchen (Tab. 9). Die Werte bei den Jungen unterscheiden sich auch in den Klassenstufen nicht. Sie liegt in beiden Gruppen konstant bei etwa 4.8 ± 0.1. Bei den traditionell unterrichteten Mädchen zeigt sich der Abfall des Selbstkonzepts. K-Mädchen hingegen haben in Klasse 8 und in Klasse 10 ein besseres Selbstkonzept als traditionell unterrichtete Mädchen.

### 4.6 Beliebtheit des Physikunterrichts

Mit der Frage nach dem Interesse an einem Schulfach und der Frage nach der Beliebtheit eines Schulfaches scheinen unterschiedliche aber verwandte Bereiche angesprochen zu werden (Muckenfuß, 1995; Lex & Gunnacker, 1998). Bei methodisch einfachen Erhebungen des Interesses unterscheiden Schüler nicht hinreichend zwischen dem Interesse am Fach Physik, das positiv ausgeprägt sein kann, und einem Interesse am Schulfach Physik, das ein Desinteresse sein kann. Die Frage nach der Beliebtheit eines Schulfaches scheint eindeutiger interpretierbar zu sein als die Frage nach dem Interesse: Welches sind Deine drei liebsten Schulfächer? Welches sind Deine drei ungeliebtesten Schulfächer? (Muckenfuß, 1995)
Es wird zwar nach „geliebt" bzw. „ungeliebt" gefragt; die Ergebnisse werden aber als Beliebtheit bzw. Unbeliebtheit interpretiert (Tab. 10).
Der Physikunterricht in der Sekundarstufe I ist bei K-Schülern etwas weniger unbeliebt als bei T-Schülern. Bei den K-Jungen ist er weniger unbeliebt und beliebter als bei den T-Jungen. Betrachtet man die Werte, so ist dieser Effekt in Klasse 8 besonders stark ausgeprägt.
Die Unbeliebtheit in der K-Population nimmt mit steigender Klassenstufe zu und gleicht sich der Unbeliebtheit der T-Gruppe an. Ebenso gleichen sich die Beliebtheitswerte an.

## 5. Interpretation

Nach Datenlage unterscheiden sich die Bedingungen des traditionellen Unterrichts nicht von den Bedingungen des Unterrichts nach dem Karlsruher Physikkurs. Die Daten der Beliebtheit oder Unbeliebtheit als globale Indikatoren zeigen nur kleine Effekte. Die Lehrervariable wurde weiter oben diskutiert. Als besonderes Merkmal tritt beim K-Physikunterricht unter verschiedenen Aspekten die Sprache auf.

- Die Fachsprache der K-Schüler ist konsistenter. Dies hängt mit der redundant verwendeten Formulierung des Strom-Antrieb-Modells zusammen.

| % | | | Physik ist beliebtes Fach | | Physik ist unbeliebtes Fach | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $N_{KPK}$ | $N_{TRD}$ | KPK | TRD | KPK | TRD |
| G | 266 | 286 | 15 | 10 | 35 * [a] | 45 |
| J | 139 | 139 | 25 * [a] | 12 | 19 * [a] | 30 |
| M | 127 | 147 | 4 | 8 | 53 | 59 |
| 8 | 218 | 129 | 17.0 | 13.2 | 28.4 * [a] | 41.1 |
| 9 | 64 | 75 | 18.8 | 6.7 | 34.4 | 42.7 |
| 10 | 89 | 98 | 5.6 | 7.1 | 47.2 | 53.1 |
| 8 J | 81 | 53 | 34.6 | 20.8 | 12.3 (t) [a] | 26.4 |
| 9 J | 48 | 45 | 22.9 | 4.4 | 20.8 | 28.9 |
| 10 J | 38 | 41 | 13.2 | 9.8 | 23.7 | 34.1 |
| 8 M | 137 | 76 | 6.6 | 7.9 | 38.0 (t) [a] | 51.3 |
| 9 M | 16 | 30 | 6.3 | 10.0 | 75.0 | 63.3 |
| 10 M | 51 | 57 | 0.0 | 5.3 | 64.7 | 66.7 |

[a] $\chi^2$-Test mit Kontinuitätskorrektur, df = 1, * $p < .05$, (t) $p < .01$; mittlere bis kleine Effekte, Cohen (1992).
KPK: Karlsruher Physikkurs, TRD: Traditioneller Unterricht, M: Mädchen, J: Jungen, 8: Klasse 8, 9: Klasse 9, 10: Klasse 10.

Tab. 10: Klasse 8, 9 und 10, Gymnasium Baden-Württemberg,
Nennung von Physik als beliebtes bzw. unbeliebtes Fach

- Im Karlsruher Kurs kann der assoziativ unbelastete Terminus Entropie – und unter Umständen auch der Terminus Impuls – zu einer besseren Trennung von Alltagssprache und Fachsprache beitragen.
- Die Schüler schätzen das Buch zum Karlsruher Kurs als sehr verständlich ein. Das Sprachniveau des Buches ist dabei dem Sprachniveau der Schüler angepasst.
- Das Buch wird im Unterricht als Arbeitsmittel benutzt. Unterricht und Buch sind aufeinander abgestimmt. Die Schüler haben damit die Chance, auch bei oberflächlichem Lesen die „Sprache des Unterrichts" anzunehmen.
- Die Verfügbarkeit der Sprache des Karlsruher Kurses im Unterricht stimmt mit der plausiblen Vermutung überein, dass die Phase der Unterrichtsgespräche beim Unterricht nach dem Karlsruher Kurs im Vergleich zum traditionellen Unterricht an zeitlichem Umfang zugenommen hat, wie es sich aus der Abschätzung der Unterrichtsphasen durch die K-Lehrer ergibt. Damit kann man unterstellen, dass die Schüler auch einen größeren Redeanteil am Gespräch haben. Dies trifft sich auch mit anderen Aussagen der K-Lehrer: ungezwungene Unterrichtsgespräche entstünden. Diese Annahme wäre weiter zu untersuchen.
- In den K-Schülerinterviews finden sich Hinweise, dass die Schüler in Analogie zum Strom-Antrieb-Modell des fließenden Wassers argumentieren. Offenbar kann auch im Unterricht auf diese Analogie zurückgegriffen werden.
- Eine größere Anzahl sprachlicher Repräsentationen physikalischer Konzepte bei den K-Schülern lässt sich gegenüber den T-Schülern signifikant nachweisen. In der Wärmelehre bilden sich bei den K-Schülern häufiger mentale Modell als bei den T-Schülern heraus.

Die Einzelbefunde führen auf die Idee des „Sprachspiels". Es handelt sich um eine plausible Erklärungshypothese, die durch direkte Unterrichtsbeobachtungen zu bestätigen oder zu verwerfen ist. Direkte Wirkungen auf das Lernen sind ebenfalls noch nachzuweisen.

Was ist ein „Sprachspiel"?

*„In der Praxis des Gebrauchs der Sprache ruft der eine Teil die Wörter, der andere handelt nach ihnen; im Unterricht der Sprache aber wird sich dieser Vorgang finden: Der Lernende benennt die Gegenstände. D.h. er spricht das Wort, wenn der Lehrer auf den Stein zeigt. – Ja, es wird sich auch hier die noch einfachere Übung finden: der Schüler spricht die Worte nach, die der Lehrer ihm vorsagt – beides sprachähnliche Vorgänge. (...) Ich werde (...) das Ganze: der Sprache und der Tätigkeiten, mit denen sie verwoben ist, das »Sprachspiel« nennen." (Wittgenstein, {1953} 1984, 570)*

Man denke sich für die Steine physikalische Sachverhalte und Bilder physikalischer Sachverhalte – das Zeigen und das Erkennen von physikalischen Sachverhalten ist gerade im Physikunterricht das Schwierige: Der Lehrer zeigt etwa auf zwei sich bewegende Gegenstände mit gleicher Geschwindigkeit und unterschiedlicher Masse. Die beiden Gegenstände werden gleich gebremst. Es zeigen sich unterschiedliche Bremswege. Der Lehrer sagt, die Gegenstände haben unterschiedlich viel Schwung. Der Schüler erkennt nur die unterschiedliche Größe.

Natürlich beschreibt Wittgenstein nicht das tatsächliche Sprachspiel in einer Sprachgemeinschaft, das Wiederholen, Fragen und Nachfragen in verschiedenen Formulierungen erlaubt. Wittgenstein schält die Kernfunktion des tatsächlichen Sprachspiels heraus: „Nachsprechen" geht dem „Nachverstehen" voraus. Erst in einem oder mehreren weiteren auch zeitlich versetzten Schritten entstehen Bedeutung und verständiges Sprechen.

Bedeutungen werden auch nach konstruktivistischer Lesart immer auf Grundlage eines nicht näher spezifizierten „Inventars" durch Handlungen bzw. Sprechhandlungen verfügbar gemacht – „rekonstruiert". „Kurzlebige" Bedeutungen – die Momente des Sprachspiels – werden beim Lernen durch Rückkopplungsprozesse in das „langlebige" Inventar integriert (v. Aufschnaiter, 2001).

Damit sei der Unterricht nach dem Karlsruher Kurs – im Unterschied zum traditionellen Unterricht – als „gelingendes Sprachspiel" charakterisiert.

Was bedeutet ein „gelingendes Sprachspiel"? Wie lässt sich das „Gelingen" eingrenzen? Der Erwerb der Zahlwörter sei als Beispiel für ein „gelingendes Sprachspiel" interpretiert. Schon beim Spracherwerb „zählen" Kinder. Natürlich ist in der Regel kein Zahlbegriff vorhanden. Kinder „zählen": Eins, Zwei, Sieben, Vier. Legt man ihnen Tafeln mit Zeichen unterschiedlicher Anzahl vor, so zählen sie in der gleichen Weise: Eins, Drei, Sechs. Ähnliches beobachtet man bei Kindern zu Schulbeginn. Kinder können „zählen": Eins, Zwei, Drei, Vier – bis Zehn. Aber oftmals ordnen sie nicht allen Zahlwörtern eine richtige Anzahl zu. Einem entwickelten Zahlbegriff gehen damit Sprechhandlungen voraus.
Auch wenn die Kinder nicht richtig zählen können, zeigen sich im Sprachspiel richtige Aspekte. Erstens: Nur Zahlwörter werden benutzt. Zweitens: Die meisten „Zählungen" beginnen mit der Eins. Die Sprechhandlungen sind dabei in sich konsistent. Werden Zähltafeln vorgelegt, so beginnen die Kinder Zahlworte zu benutzen. Die Kinder zählen nicht: Hund, Vier, Katze, Auto, Sieben.
Das Sprachspiel zeigt zwei Schritte des Gelingens: 1. Die Zahlworte werden konsistent gebraucht – die Kinder erkennen die Zahlworte als solche. 2. Aus dem Sprachspiel entwickelt sich bei fast allen Kindern der Zahlbegriff – in der Sprache der Kognitionspsychologie: Es entwickelt sich ein konsistentes mentales Modell.
Das Sprachspiel der Physik ist komplexer. In die Beschreibung der Lehr-Lern-Prozesse als Sprachspiel geht die Auffassung ein, dass Lernen in der Physik immer mit „Sprechhandlungen" verbunden ist, die in den sozialen Kontext eingebunden sind, der Sprachgemeinschaft. Im Sinne des Erlernens von Sprechhandlungen in einer Sprachgemeinschaft hat Sprache auch die Funktion eines Gerüstes. Die Gerüstfunktion der Sprache wirkt auf zweierlei Weisen. Zum einen ist sie für den Lernenden abrufbar. Der Lernende kann sich erinnern und erkennt die Vokabeln und die Regeln: So und so geht die Sprache.
Zweitens: Wenn sich redundante Strukturen erkennen lassen, bedeutet dies für den Lernenden, dass es etwas zu verstehen gibt und dass ein Verstehen gelingen kann. Die von den Schülern geäußerte Verständlichkeit der Physikbücher des Karlsruher Kurses wäre in dieser Richtung weiter zu untersuchen.
Im Sinne der Analogie wird mit dem Sprachspiel der Zielbereich sichtbar. Aber nicht in seiner inhaltlichen Struktur, sondern in einer Metaaussage. Top-Down-Prozesse werden nicht postuliert. Am Gerüst der Sprache können sich jedoch metaphorisch gesprochen Bottom-Up-Prozesse entwickeln. Aus der Sicht der Lernenden gibt das Gerüst der Sprache Halt.
Die Erfüllung der Gerüstfunktion soll als „gelingendes Sprachspiel" bezeichnet werden. Das gelingende Sprachspiel lässt sich mit drei Merkmalen charakterisieren:

1. Die Fachsprache wird als solche erkennbar.
2. Die Ordnung der Fachsprache wird erkennbar.
3. Für den Unterricht bedeutet das gelingende Sprachspiel: Die Physiksprache kann aus dem Gedächtnis abgerufen werden. Sie spiegelt eine nachvollziehbare Ordnungsstruktur wider. Es ist denkbar, dass sie im Unterricht situativ aktualisiert werden und so zur Ausbildung von mentalen Modellen beitragen kann.

Für einen Zusammenhang zwischen der Verfügbarkeit der Sprache des Karlsruher Kurses und dem gegenüber den T-Mädchen positiven Selbstkonzept der K-Mädchen in Physik sprechen Befunde der Lehr-Lern-Forschung.
Dabei spielt das K-Schulbuch eine Rolle. Insbesondere von den Mädchen wird es als hilfreich für das Verstehen physikalischer Zusammenhänge angesehen. Die Bremer Gruppe um v. Aufschnaiter (2001) hat durch Videoanalysen gezeigt, dass Schüler Aufgaben oder Teilaufgaben innerhalb von fünf Minuten erfolgreich bearbeiten oder zur Seite legen. Das Abbrechen der Aufgabe sei dabei häufig mit Frustrationen verknüpft. Überträgt man die-

sen Befund auf die Nutzung des Buches zum Karlsruher Kurs, so wäre zu untersuchen, ob insbesondere die K-Mädchen häufiger Erfolge und weniger Frustrationen erleben – und ob die Fünf-Minuten-Frist damit unterschritten wird.

Für das gelingende Sprachspiel im Unterricht spricht auch die „Fünf-Minuten-Frist". Formulierungen des Strom-Antrieb-Konzeptes können von den Schülern leicht erinnert werden. Und sei es auch nur im Wortlaut. Die Formulierungen jedenfalls können aktualisiert werden und stehen innerhalb einer kurzen Zeitspanne zur Verfügung.

Gläser-Zikuda & Mayring (2000) haben gezeigt, dass „Mädchen ihre Lernprozesse stärker beobachten als Jungen." Sie nehmen damit Erfolgserlebnisse wahr. Und: „Insgesamt lernen Mädchen mehr als Jungen und sie kontrollieren auch häufiger ihre Lernfortschritte. (...) Für die Mädchen geht dies mit einer größeren Freude am Lernprozess einher. Diese Freude tritt im Unterricht und zu Hause auf." (Gläser-Zikuda & Mayring, 2000).

Mit beiden Beobachtungen ließe sich die bessere Selbsteinschätzung der Mädchen erklären. Dies passt auch zum Charakter des Karlsruher Kurses, in dem die sprachliche oder die qualitative Ebene stärker als in der traditionellen Physik berücksichtigt wird.

Dies entspricht den Ergebnissen von Spada & Lay (2000), die den Wert qualitativer Ansätze für Mädchen untersucht haben.

Das fachspezifische Selbstkonzept der K-Jungen bleibt über die Klassenstufen nahezu unverändert hoch. Ob die Ursachen für ihr hohes fachspezifisches Selbstkonzept, die für die K-Mädchen plausibel erscheinen, auch für die Jungen zutreffen, ist fraglich.

Die Vermutung der „Fünf-Minuten-Frist" wäre in Lehr-Lern-Situationen zu prüfen. Ebenso erscheint es aussichtsreich, im Unterricht nach dem Karlsruher Kurs nach Veränderungen im emotionalen Bereich der Schüler zu suchen.

## 6. Conclusio

(1) Die Erprobung des Karlsruher Physikkurses kann als Experiment betrachtet werden, bei dem die Variable Physik verändert wurde, sämtliche andere Unterrichtsvariablen aber im Großen und Ganzen gleich geblieben sind. Es zeigt sich, dass im dreijährigen Physikunterricht von Klasse 8 bis Klasse 10 Schülervorstellungen nur in der Karlsruher Wärmelehre zu einem besseren Verständnis der Physik führt als der traditionelle Physikunterricht. In der Mechanik sind andere hemmende Schülervorstellungen entstanden.

Damit sprechen Fakten für die Physikdidaktik als Humanwissenschaft mit physikalisch fachlichen Aspekten. Physikdidaktik ist insbesondere keine Fachwissenschaft Physik, die mit humanwissenschaftlichem Wissen angereichert ist. Für die Mehrheit der Schüler ist das Erlernen physikalischer Inhalte eine Frage des Unterrichts oder der Lernumgebung im weitesten Sinn, d.h. der Frage ob den Schülern ein ihnen gemäßer Lernprozess ermöglicht wird.

(2) Die Sachstruktur der physikalischen Inhalte stellt ebenfalls einen wichtigen Faktor dar: In der Wärmelehre ist der Karlsruher Kurs dazu geeignet, in größerem Ausmaß Konzeptwechselprozesse einzuleiten als bei traditionell unterrichteten Schülern.

Posner et. al. (1982) haben in ihrer Theorie vier Bedingungen des Konzeptwechsels angegeben. Die drei wichtigeren lauten: Neue Vorstellungen müssen für die Schüler „intelligible", „plausible" und „fruitful" sein. Am ehesten lässt sich das Sprachspiel des Karlsruher Kurses und die damit verbundenen Vorstellungen unter die Bedingungen „intelligible" und „plausible" einordnen.

(3) Die redundanten Formulierungen tragen zum vermuteten gelingenden Sprachspiel bei und erzeugen den Eindruck einer vertikalen Vernetzung. Das Sprachspiel des Karlsruher Kurses ist damit geeignet, das Erreichen eines wichtigen „Metazieles" des Physikunterrichts zu unterstützen. Denn: Erscheint die Physik als „sinnvolles Ganzes", so können sich auch die Einstellungen der Schüler zur Physik und

zum Physikunterricht positiv verändern. Dieses Lernziel trifft sich mit neueren Ansätzen der Physikdidaktik zu Bildungswerten und Bildungszielen des Physikunterrichts:

*„Aus naturwissenschaftsdidaktischer Sicht sind die Entwicklung und Förderung des Interesses sowie positiver Einstellungen zum Fach und zum Fachunterricht Ziele, die denen des Erwerbs angemessenen Verständnisses naturwissenschaftlicher Sichtweisen gleichkommen." (Duit, 2000, 91)*

Fasst man „Bildung" vorläufig als Terminus technicus auf, so lässt sich eine Arbeitsdefinition finden: Heranwachsenden und Laien soll der Erwerb von Kenntnissen und Fähigkeiten so ermöglicht werden, dass sie an der „Welt", in die sie hineinwachsen oder in der sie leben, teilhaben und teilnehmen können. Oft genügt auch das Gefühl, teilnehmen oder teilhaben zu können: Auch wenn ich, Schüler, die Physik nicht mag, ist es doch etwas, was sich verstehen lässt. Hierin besteht der Bildungswert des gelingenden Sprachspiels.

Die Idee vom Physikunterricht als gelingendem Sprachspiel fügt sich in die aktuelle Diskussion um die Scientific Literacy. Wenn mit der Scientific Literacy angenommen wird, dass der Schwerpunkt naturwissenschaftlicher Bildung in der Schule nicht mehr auf der Vermittlung von Kompetenzen für zukünftige Naturwissenschaftler liegt, sondern auf der lebenslangen Ausbildung der Fähigkeiten, naturwissenschaftliche Ergebnisse zu verstehen, zu beurteilen und daraus Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen treffen und verstehen zu können –, dann bildet ein gelingendes Sprachspiel als schulischer Ausgangspunkt eine kognitive und emotionale Grundlage lebenslanger Lernprozesse. Dies hat Konsequenzen für die Wissenschaftlergemeinden. Wurde bislang die Vermittlung der Fachsprache als Ziel naturwissenschaftlichen Unterrichts angesehen, um von Laien verstanden zu werden, so verschieben sich im Sinne eines gelingenden Sprachspiels die Akzente: Die Fachwissenschaften selbst haben dann im Falle unterschiedlicher Sprachspiele im schulischen und wissenschaftlichen Bereich Übersetzungsleistungen zu erbringen.

(4) Es zeigen sich empirische Hinweise auf die Bedeutung des Sprechens über Physik für das Physiklernen, wie in der Literatur benannt (Lichtfeld, 1994; Merzyn 1998). Auf die Bedeutung der Sprache beim Erlernen „höherer geistiger Funktionen" hat die sowjetische Schule der Psychologie ebenfalls immer wieder verwiesen (Wygotski, [1934] 1977; Lurija & Judowitsch, [1959] 1970).

Zusammenfassung: Das Sprachspiel des Karlsruher Physikkurses weist auf eine stützende Struktur der Sprache beim Physiklernen, die es in der bisherigen traditionellen Physik nicht gibt. Das Sprachspiel kann Einstellungen zur Physik und zum Physikunterricht beeinflussen. Im übertragenen Sinn kann man sich das Sprachspiel als eine Schicht denken, die über dem kognitiv-emotionalen Inventarium liegt.

## Literatur


v. Aufschnaiter, S. (2001). Wissensentwicklung und Lernen am Beispiel Physikunterricht. In J. Meixner & K. Müller (Hrsg.), Konstruktivistische Schulpraxis. Neuwied: Luchterhand, 249-271.

Bund-Länder-Kommission (BLK) für Bildungsplanung und Forschungsförderung (1997). Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts". Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung, Heft 60, Bonn. Download unter: http://www.blk-bonn.de/ (Stand: 2/2002).

Brook, A., Briggs, H., Bell, B. & Driver, R. (1984). Aspects of secondary students' understanding of heat: Full report. University of Leeds, Centre for Studies in Science and Mathematics Education.

Cohen, J. (1992). A Power Primer. Psychological Bulletin 112, 1, 155-159.

Duit, R. (1986). Wärmevorstellungen. Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie 34, 13, 30-33.

Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. Zeitschrift für Pädagogik 41, 6, 905-923.

Duit, R. (2000). Konzeptwechsel und Lernen in den Naturwissenschaften in einem mehrperspektivischen Ansatz. In R. Duit & Ch. v. Rhöneck (Hrsg.), Ergebnisse fachdidaktischer und psychologischer Lehr-Lern-Forschung. Kiel, 77-103.

Falk, G. (1968). Theoretische Physik II. Berlin: Springer.

Gläser-Zikuda, M. & Mayring, Ph. (2000). Emotionen und Lernstrategien von Mädchen und Jungen im Fach Physik. CD zur DPG Tagung Didaktik der Physik Berlin.

Häuselmann, E. (1984). Maturanden und Technik. Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften (Hrsg.), Zürich.

Helmke, A. (1992). Determinanten der Schulleistung: Forschungsstand und Forschungsdefizit. In G. Nold (Hrsg.), Lernbedingungen und Lernstrategien. Tübingen: Narr, 23-34.

Herrmann, F. (1998a). Der Karlsruher Physikkurs. Köln: Aulis.

Herrmann, F. (1998b). Mengenartige Größen im Physikunterricht. Physikalische Blätter 54, 830-833.

Job, G. (1972). Neudarstellung der Wärmelehre - die Entropie als Wärme. Frankfurt a.M.: Akademische Verlagsgesellschaft.

Kesidou, S. & Duit, R. (1991). Wärme, Energie, Irreversibilität - Schülervorstellungen im herkömmlichen Unterricht und im Karlsruher Ansatz. physica didactica 18, 2/3, 57-75.

Kesidou, S. & Duit, R. (1993). Student's conceptions of the second law of thermodynamics - an interpretive study. Journal of Research in Science Teaching 30, 1, 85-106, 98.

Lewis, E.L. & Linn, M.C. (1994). Heat energy and temperature concepts of adolecents, adults, and experts: Implications for curricular improvements. Journal of Research in Science Teaching 31, 6, 657-677.

Lex, E. & Gunacker, E. (1998). Der Physik- und Chemieunterricht aus der Sicht des Schülers. Plus Lucis 3, 7-12.

Lurija, A.R. & Judowitsch F. I. [1959] (1970). Die Funktion der Sprache in der geistigen Entwicklung des Kindes. Düsseldorf: Pädagogischer Verlag Schwann.

Lichtfeldt, M. (1994). Sprechen, Denken und Handeln von Schülerinnen und Schülern im Physikunterricht. In H. Behrendt (Hrsg.), Zur Didaktik der Physik und Chemie. Alsbach, 127-159.

Merzyn, G. (1994). Physikschulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht. Kiel: IPN.

Merzyn, G. (1998). Sprache und naturwissenschaftlicher Unterricht - 10 Thesen. Praxis der Naturwissenschaften Physik, 47, 2, 1.

Muckenfuß, H. (1995). Lernen im sinnstiftenden Kontext. Berlin: Cornelsen.

Opitz, R. (2000). Welche Rolle spielt die Fachsprache bei der Lösung physikalischer Fragestellungen? CD zur DPG Tagung Didaktik der Physik Dresden.

Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. Science Education 66, 2, 211-227.

v. Rhöneck, Ch. (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis. Naturwissenschaften im Unterricht - Physik, 34, 13, 10-14.

Spada, H. & Lay, K. (2000). Erwerb und Anwendung domänenspezifischen Wissens: Eine psychologische Perspektive. In R. Duit & Ch. v. Rhöneck (Hrsg.), Ergebnisse fachdidaktischer und psychologischer Lehr-Lern-Forschung. Kiel: IPN, 17-34.

Starauschek, E. (1998). Zur Sprache im Karlsruher Physikkurs. Praxis der Naturwissenschaften Physik, 47, 2, 24-28.

Starauschek, E. (2002). Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs - Ergebnisse einer Evaluationsstudie. Berlin: Logos Verlag.

Wittgenstein, L. [1953] (1984). Philosophische Untersuchungen. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.

Wygotski, L.S. [1934] (1977). Denken und Sprechen. Frankfurt a.M.: Fischer.

Dr. Erich Starauschek ist Physikdidaktiker und Lehrer und arbeitet an der Abteilung Didaktik der Physik der Universität Karlsruhe.

Dr. E. Starauschek,
Universität Karlsruhe,
Abteilung Didaktik der Physik
e-Mail: Erich.Starauschek@physik.uni-karlsruhe.de