

Elektrizitätslehre nach dem Karlsruher Physikkurs - Ergebnisse einer empirischen Studie -

Erich Starauschek

Lehrstuhl Didaktik der Physik, Universität Potsdam, 14469 Potsdam

(Eingegangen: 21.05.2002; Angenommen: 06.02.2003)

Kurzfassung

Im Karlsruher Physikkurs wird im Unterricht der Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I das elektrische Potenzial als physikalische Größe explizit eingeführt. Dies erfolgt über eine formale Analogie, das sogenannte Strom-Antrieb-Modell. In einer Treatment-Kontrollgruppen-Untersuchung in Klasse 10 in Baden-Württemberg wurden 85 Schülerinnen und Schülern, deren Physikunterricht in den Schuljahren 8, 9 und 10 am Karlsruher Physikkurs ausgerichtet war, und einer traditionell unterrichteten Kontrollgruppe ein standardisierter Fragebogen zur elementaren Elektrizitätslehre vorgelegt. Es zeigt sich, dass insbesondere die Mädchen, die nach dem Karlsruher Physikkurs unterrichtet worden sind, sprachlich besser zwischen elektrischem Strom und elektrischer Spannung unterscheiden als traditionell unterrichtete Schüler und Schülerinnen. Aus der kognitionspsychologischen Perspektive der mentalen Repräsentationen zeigt der Unterricht nach dem Karlsruher Physikkurs damit eine Wirkung auf der Ebene der propositionalen Repräsentationen.

1. Einleitung

Lernende bringen ihre eigenen Vorstellungen von Sachverhalten, die mit der Physik beschrieben werden, in den Physikunterricht mit. Oft behalten sie ihre eigenen Vorstellungen bei und deuten die Unterrichtsinhalte nur in diesem Rahmen oder verbinden sie idiosynkratisch mit physikalischen Beschreibungen. Aus Sicht der Lehrenden erscheinen Schülervorstellungen daher häufig als Hindernisse auf dem Weg zur physikalischen Begriffsbildung. Dem Physikunterricht gelingt es nur bedingt, Schüler von physikalischen Sichtweisen zu überzeugen.

Die Forschung zu Alltagsvorstellungen in der Physik, die Mitte der achtziger Jahre ihren vorläufigen Abschluss gefunden hat, zeigt, dass in der Elektrizitätslehre im Großen und Ganzen drei ‚Klippen‘ für die Schüler auftreten [1, 2]:

(1) Lernende verbinden in ihren Vorstellungen die Energie mit dem elektrischen Strom: ‚Der elektrische Strom wird verbraucht‘.

(2) Lernende trennen nicht zwischen dem elektrischen Strom und der elektrischen Spannung. Sie entwickeln damit auch keinen physikalischen Spannungsbegriff.

(3) Der ‚Systemcharakter des elektrischen Stromkreises‘ bleibt Lernenden oft verborgen. Sie beziehen sich in ihren Argumentationen auf einzelne Teile des Stromkreises, ohne zu bedenken, dass – grob gesprochen – eine Änderung an einer Stelle eines Stromkreises Auswirkungen auf andere Stellen des Stromkreises haben kann.

Ausgehend von diesen Ergebnissen haben Physikdidaktiker aus verschiedenen europäischen Ländern einen Fragebogen entwickelt, der zu einem Standardinstrument zur Untersuchung von Schülervorstellungen zur einfachen Elektrizitätslehre geworden ist – und der im Folgenden Europa-Test heißen soll [1]. Die deutsche Version des Europa-Tests geht auf v. Rhöneck zurück [3]. In [3] findet sich der vollständige Test – Detailfragen lassen sich mit Hilfe der Artikel in [2] beantworten. Mit dem Europa-Test lässt sich für die drei genannten Schwierigkeiten untersuchen, ob physikalische Vorstellungen entwickelt wurden, und wenn nicht, welche Schülervorstellung dann vorliegt. Der Europa-Test eignet sich als Evaluationswerkzeug, da mit dem Evaluationskriterium ‚Veränderung von Alltagsvorstellungen‘ unabhängig von konkreten Unterrichtsinhalten der Vermittlungsgrad von Grundbegriffen gemessen werden kann.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit soll es sein, den Unterricht der Elektrizitätslehre nach dem Karlsruher Physikkurs mit dem Europa-Test auf seine Wirksamkeit hinsichtlich der Lernleistung zu untersuchen. Damit wird der gleiche Maßstab verwendet, der auch an traditionelle Konzepte der Elektrizitätslehre angelegt ist. Anhand ausgewählter Aufgaben des Europa-Tests werden die Ergebnisse der Untersuchung exemplarisch dargelegt. Sie sind Teil einer größeren und aufwändigeren Untersuchung zum Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs. Die ausführliche Darstellung der Ergebnisse zur Elektrizitätslehre findet sich in [4].

2. Besonderheiten der Elektrizitätslehre nach dem Karlsruher Physikkurs

Im Karlsruher Physikkurs (KPK) [5] soll eine neue Sachstruktur das Erlernen der Physik in der Schule erleichtern. Andere Unterrichtsvariablen werden dabei nicht explizit verändert. Die neue Sachstruktur erlaubt es, die physikalische Beschreibung von Vorgängen einheitlich zu formulieren. Ihr Ursprung liegt in der Thermodynamik [6]. Damit kann ein einziges Modell verwendet werden, um die drei großen Teilgebiete der Physik des Physikunterrichts der Sekundarstufe I – Mechanik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre – zu unterrichten, das sogenannte Strom-Antrieb-Modell. Im KPK wird es mit einer vorangestellten Unterrichtseinheit zu strömenden Flüssigkeiten und Gasen eingeführt. Flüssigkeiten und Gase strömen hierbei von selbst von Stellen höheren Drucks zu Stellen niedrigeren Drucks. Die Druckdifferenz zwischen zwei Orten wird als Antrieb für den Flüssigkeits- oder Gasstrom interpretiert. Das Strom-Antrieb-Modell verallgemeinert diese Beschreibung für mengenartige Größen [7]. Zu einer mengenartigen Größe X gehört meist eine intensive Partnergröße x . Hat x an zwei Orten verschiedene Werte, so lässt sich eine Differenz als Antrieb für den Strom der Größe X interpretieren: X strömt von Stellen, an denen x einen größeren Wert hat, zu Stellen, an denen x einen kleineren Wert hat.

Mit Hilfe des Strom-Antrieb-Modells gleichen sich die Lehrsätze und Sprechweisen in den verschiedenen Teilgebieten sprachlich an (Tab. 1).

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

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 Potentials zu Stellen niedrigeren Potentials. Der Potentialunterschied ist ein Antrieb für einen elektrischen Strom.

Wie sich Tabelle 1 entnehmen lässt, wird im KPK zur Aufrechterhaltung der vollständigen Analogie die physikalische Größe elektrisches Potenzial explizit verwendet [8]. Der Unterrichtsgang sei im Weiteren kurz skizziert. Der elektrische Strom wird eingeführt, indem über fließende Elektrizität gesprochen wird. Dabei spielt ein weiteres Modell des KPK eine Rolle: das Energieträger-Modell. Da es im Basiskurs der Elektrizitätslehre nach dem KPK nicht weiter verwendet wird, bleibt dieser Aspekt in der weiteren Diskussion unberücksichtigt. Im Anschluss werden einfache geschlossene Stromkreise diskutiert, die elektrische Stromstärke

definiert und die Knotenregel erklärt. In Analogie zum Druck wird dann das elektrische Potenzial eingeführt und die Potentialdifferenz als Antrieb für den elektrischen Strom interpretiert. Jetzt erst erhält sie einen eigenen Namen: Elektrische Spannung. Danach wird der Zusammenhang von elektrischer Stromstärke und Spannung hergestellt, und die Abhängigkeit der elektrischen Stromstärke von dem Widerstand des elektrischen Gerätes, durch das der elektrische Strom fließt, diskutiert. Details, unterrichtspraktische Hinweise und der weitere Unterrichtsgang, in dem einfache elektrische Schaltungen und Kennlinien von elektrischen Bauteilen behandelt werden, finden sich in [5, 9].

Auf eine Besonderheit zum elektrischen Potenzial sei hingewiesen, da sie später gebraucht wird. Die Schüler sollen im Unterricht nach dem KPK eine Strategie erlernen, um die elektrische Spannung in einfachen elektrischen Stromkreisen vorherzusagen. Gebiete mit jeweils gleichem Potenzial werden dabei mit unterschiedlichen Farben markiert. Gebiete mit unterschiedlichen Farben stoßen an Lämpchen oder Widerständen zusammen. Die Differenz der Potentiale der verschiedenfarbigen Gebiete, die durch die Bauteile getrennt werden, ergibt dann den Wert der elektrischen Spannung (s. Abb. 4).

Der KPK unterscheidet sich damit in der Sachstruktur von anderen Ansätzen für die Sekundarstufe I [10, 11, 12, 13] im Wesentlichen durch die explizite Verwendung des elektrischen Potentials. Die betrachteten traditionellen Ansätze [10, 11], die eine Wasseranalogie oder eine Höhenanalogie einsetzen, stellen die Druck- oder Höhendifferenz zur elektrischen Spannung in Beziehung, ohne das elektrische Potenzial als die zum Druck oder zur Höhe analoge Größe einzuführen.

3. Empirische Untersuchung und Stichprobe

In Baden-Württemberg wird seit zehn Jahren regulär nach dem Karlsruher Kurs unterrichtet. Damit lässt sich mit hoher externer Validität untersuchen, welchen Einfluss eine Veränderung der Sachstruktur auf den Aufbau der Wissensstrukturen von Lernenden hat.

(a) *Untersuchungsdesign*: Eine Treatment-Kontrollgruppen-Untersuchung mit dem Europa-Test wurde durchgeführt. Da zunächst statistische Effekte aufgespürt werden sollten, wurden Lernzuwächse nicht systematisch untersucht. Die Datenerhebung fand am Ende des Schuljahres 1997/98 in der Klassenstufe 10 des Gymnasiums in Baden-Württemberg statt.

(b) *Stichprobe*: Die Lehrer beider Gruppen stellten sich freiwillig zur Verfügung. Die KPK-Lehrer verfügten über Erfahrungen mit dem Physikunterricht nach dem KPK. Stichprobe und Kontrollgruppe unterschieden sich hinsichtlich der Zusammensetzung der Geschlechter, des Alters und

des Interesses an Fernsehsendungen zu Themen der Physik nicht signifikant [4].

Bedingt durch die kleine Gesamtpopulation der KPK-Schülerpopulation und die zahlreichen Bedingungen, die berücksichtigt werden mussten um die Vergleichbarkeit von Stichprobe und Kontrollgruppe zu erreichen, weisen die zu untersuchende Stichprobe und die Kontrollgruppe folgende Anzahl von Klassen und Lehrern auf (Tab. 2):

Tabelle 2: Stichprobe und Kontrollgruppe, Gymnasium, Baden-Württemberg, Klasse 10, 1998

	Zahl der Schüler	Zahl der Klassen	Zahl der Lehrer
Karlsruher Kurs	85	5	4
Trad. Unterricht	93	5	5

Die kleinere Zahl der KPK-Lehrer hat keinen großen Einfluss auf das Ergebnis, da die zwei Klassen, die von einem Lehrer unterrichtet wurden, je etwa 16 Schüler umfassen. Des Weiteren sind die Stichprobe und die Vergleichsgruppe geschichtet. Sie bestanden

(i) aus je zwei einstündig unterrichteten Klassen mit sprachlichem Profil,

(ii) und aus je drei zweistündig unterrichteten mathematisch-naturwissenschaftlichen Klassen.

Die Grundlagen der Elektrizitätslehre wurden in beiden Gruppen in Klasse 8 unterrichtet. Nur die Karlsruher Schüler haben dabei das elektrische Potenzial und die Spannung kennen gelernt. Die Elektrizitätslehre wurde – mit einer Ausnahme – in allen 10ten Klassen ein ganzes Schulhalbjahr unterrichtet. Die Aufgaben des Fragebogens bezogen sich dabei auf den Stoff, der in allen Klassen in den ersten Monaten unterrichtet wurde.

(c) *Unterrichtsablauf*: Als Grundannahme konnte davon ausgegangen werden, dass der Physikunterricht sowohl der Karlsruher Klassen als auch der traditionell unterrichteten Klassen als Frontalunterricht abgehalten wurde, der durch die typischen Phasen des Physikunterrichts strukturiert war [14]. Diese Annahme wurde durch Lehrerinterviews und Gelegenheitsbeobachtungen untermauert [4].

(d) *Bisherige Ergebnisse*: Gleixner & Wiesner (1997) ließen sich vom KPK anregen und entwickelten einen Unterrichtsgang, in dem das elektrische Potenzial ebenfalls als eigenständige physikalische Größe verwendet wird [15]. Der Unterrichtsgang wurde mit der Methode der Akzeptanzbefragung bei 11 Schülern der Klasse 9 des Gymnasiums untersucht. Gleixner & Wiesner (1997) berichten, dass es den Schülern mit dem elektrischen Potenzial ‚leicht gefallen‘ sei, Spannungen bei Stromkreisen vorherzusagen.

Damit lässt sich vermuten, dass Lernende auch im regulären Unterricht ein physikalisches Spannungskonzept entwickeln, d.h. die Schüler trennen zum einen zwischen der elektrischen Spannung und dem elektrischen Strom, zum anderen können

sie die Werte der elektrischen Spannung in einfachen Stromkreisen vorhersagen.

(e) *Fokussierung der Forschungsfragen*: Die Studie hat gezeigt, dass relevante Unterschiede nur hinsichtlich des Strom-Spannungs-Begriffs aufgetreten sind. Die Untersuchungen zur Verbrauchsvorstellung sowie zum Systemaspekt spielen hingegen nur eine untergeordnete Rolle [4]. Daher stehen die Fragen zum Strom-Spannungsbegriff im Mittelpunkt der Betrachtung:

(i) Trennen die KPK-Schüler häufiger zwischen elektrischem Strom und elektrischer Spannung als traditionelle Schüler?

(ii) Wenden die KPK-Schüler die erlernte Strategie der farblichen Kennzeichnung von Gebieten gleichen Potentials an? Lesen sie Potentialdifferenzen ab und schließen dabei auf die elektrische Stromstärke?

(iii) Können KPK-Schüler unter Zuhilfenahme des elektrischen Potentials Spannungswerte in einfachen elektrischen Stromkreisen vorhersagen?

(f) *Mentale Repräsentationen*: Als theoretische Grundlage des Lernens dient die kognitionspsychologische Theorie der mentalen Repräsentationen. Daher werden ‚Propositionale Repräsentationen‘ und ‚Mentale Modelle‘ untersucht [16, 17]. Lernende haben innerhalb dieser Theorie ‚verstanden‘, wenn sie mentale Modelle konstruieren und anwenden können.

Bemerkungen: (i) Bei den propositionalen Repräsentationen werden die Sätze der gesprochenen oder geschriebenen Sprache zu sogenannten semantischen Netzwerken reduziert [16], die den inhaltlichen Kern unabhängig von der wörtlichen Formulierung darstellen.

(ii) Unter einem mentalen Modell versteht man ein inneres objektartiges hypothetisches „Etwas“, das die strukturellen oder funktionalen Eigenschaften eines Gegenstandes der Welt über eine Analogie repräsentiert. Mit Hilfe der mentalen Modelle können Schlüsse gezogen werden, um zu neuem Wissen zu gelangen oder um das Wissen in unbekanntem Situationen anzuwenden. Propositionale Repräsentationen gelten dabei als Voraussetzung zur Bildung von mentalen Modellen oder gehen zumindest mit der Bildung von mentalen Modellen einher [17].

(iii) Die Theorie der mentalen Repräsentationen umfasst verschiedene theoretische Varianten und Ausprägungen und ist weitaus komplexer. Insbesondere wird der Aspekt der mentalen Repräsentation von Bildern vernachlässigt [18].

Aufgabe 2:
Betrachten Sie die vier Abbildungen A, B, C und D, die brauchbare Batterien und Lämpchen enthalten.

Lesen Sie nun jeden der vier folgenden Sätze durch. Ein Satz kann auf mehrere Abbildungen zutreffen. Wenn der Satz zutrifft, machen Sie bitte in dem entsprechenden Kästchen ein Kreuz.

	A	B	C	D	weiß nicht
1. Das Lämpchen leuchtet in:	<input type="checkbox"/>				
2. Elektrischer Strom ist in:	<input type="checkbox"/>				
3. Elektrische Stromstärke ist in:	<input type="checkbox"/>				
4. Elektrische Spannung ist in:	<input type="checkbox"/>				

Abbildung 1: (Lösung: 1. C/ 2. C/ 3. C/ 4. ABC)

Aufgabe 3:
Sie finden hier einige Sätze zur elektrischen Spannung, zum elektrischen Strom und zur Energie. Lesen Sie jeden der untenstehenden Sätze und kreuzen Sie an!

	stimmt	falsch	weiß nicht
1.a Die elektrische Spannung und der Strom kommen nur zusammen vor.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.b Die elektrische Spannung kann auch einmal ohne den elektrischen Strom vorkommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.c Der elektrische Strom kann auch einmal ohne die elektrische Spannung vorkommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Der elektrische Strom ist Energie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 2: (Lösung: 1.a falsch/ 1.b richtig/ 1.c falsch/ 2. falsch)

Aufgabe 11:
Die Lämpchen in der folgenden Schaltung sind alle gleich, sie leuchten gleich hell.

Geben Sie dafür eine Begründung an: _____

Abbildung 3: (Lösungen s. Tab. 7 u. Abb. 4)

Aufgabe 11:
Die Lämpchen in der folgenden Schaltung sind alle gleich, sie leuchten gleich hell.

Geben Sie dafür eine Begründung an: _____
weil bei allen Lampen der Potentialunterschied gleich ist

Abbildung 4: (Mit einer möglichen richtigen Lösung)

(g) Zusammenhänge zwischen der Theorie der mentalen Repräsentationen und den Fragen zum Strom-Spannungs-Konzept beim Europa-Test:

Es finden sich drei Aufgabentypen:

(i) Fragen zum sprachlichen Umgang mit den Wörtern ‚elektrischer Strom‘ und ‚elektrische Spannung‘. Den Schülern werden Aussagen und Abbildungen (Abb. 1) oder nur Aussagen (Abb. 2: 1a, 1b, 1c) zum Strom-Spannungs-Begriff vorgelegt, die von den Schülern auf ihre Richtigkeit zu beurteilen sind. Dies sei kurz als sprachliches Strom-Spannungs-Konzept bezeichnet.

(ii) Aufgaben, zu deren Lösung sich aus Karlsruher Sicht die Anwendung der unterrichteten Strategie des farblichen Markierens anbietet (Abb. 3 und Abb. 4).

(iii) Fragen zur Vorhersage von Spannungswerten in einfachen Stromkreisen.

Der Zusammenhang zur Theorie der mentalen Repräsentationen ist ersichtlich:

Unter (g(i)) werden die sprachliche Beschreibung von elektrischer Spannung in Abgrenzung zum elektrischen Strom und damit die ‚Propositionalen Repräsentationen‘ untersucht.

(g(ii)) und (g(iii)) zielen auf die ‚Mentalen Modelle‘. Wenden die KPK-Schüler in Stromkreisen die Markierungsstrategie an, um hierüber Stromstärken vorherzusagen und die Werte der elektrischen Spannung vorherzusagen?

4. Ergebnisse: Das Strom-Spannungs-Konzept der Schüler

(a) Sprachliches Strom-Spannungs-Konzept: Die Teilaufgaben von Aufgabe 2 (Abb. 1) werden wie folgt richtig gelöst (Tab. 3):

Tabelle 3: Elektrizitätslehre Aufgabe 2 (Abb. 1): Ergebnisse

Angabe in %	KPK 10 N = 85	TRD 10 N = 93
2.1	95	89
2.2	44	39
2.3	49	45
2.4	46	29

KPK 10: Karlsruher Physikkurs Klasse 10, TRD 10: Traditioneller Unterricht Klasse 10.

Die Teilfrage 2.3 (Abb. 1) zur elektrischen Stromstärke wird nicht weiter diskutiert, da die Diskussion aufwändig ist und wenig zur Gesamtaussage beiträgt – wesentlich ist die Unterscheidung zwischen elektrischem Strom und elektrischer Spannung. Die Ergebnisse der einzelnen Teilfragen von Aufgabe 2 werden im Folgenden zusammenfassend interpretiert.

Von einem *physikalischen Strom-Spannungskonzept* soll gesprochen werden, wenn C bei 2.2 und ABC bei 2.4 angekreuzt ist.

Unter bestimmten Umständen ist der Spannungsbegriff vom Strombegriff unabhängig, selbst wenn die Vorstellungen vom Strom nicht physikalischer Art sind. Wenn etwa bei 2.2 ABC angekreuzt wurde, so lässt sich auf die Vorstellung vom ‚ruhenden Strom‘ schließen, der wie eine Flüssigkeit in den Leitungen ‚steht‘. Ist gleichzeitig in 2.3 die Antwort C angegeben – die elektrische Stromstärke ist mit der Vorstellung des Fließens verknüpft – so kann bei Lösung ABC in Teil 4 angenommen werden, dass die elektrische Spannung als unabhängig vom elektrischen Strom gedacht wird. Die Kombinationen, bei denen ein unphysikalisches Stromkonzept mit einem physikalischen Spannungsbegriff verbunden ist, lassen sich zu der Kategorie *Spannung als unabhängiges Konzept* zusammenfassen.

In der Kategorie *Spannung als abhängiges Konzept* finden sich hingegen alle Lösungen, bei denen C in 2.2 und 2.4 angekreuzt wurde. Tabelle 4 zeigt diese drei am stärksten besetzten und einige kleinere Kategorien. In Tabelle 5 finden sich die Resultate für die am stärksten besetzten Kategorien. Die Verteilungen von Treatment- und Kontrollgruppe sind signifikant verschieden. Die Karlsruher Schüler (40%) verfügen damit häufiger als die traditionellen Schüler (25%) über ein sprachliches Strom-Spannungskonzept, in dem der Strom als von der elektrischen Spannung unabhängig angesehen wird. Bemerkenswert ist die Betrachtung einer kleineren Kategorie der Schülerantworten (Tab. 4): Die Alltagsvorstellung, die nur der Batterie eine elektrische Spannung zuordnet, ist bei den Karlsruher Schülern sehr selten zu finden. Bei den traditionell unterrichteten Schülern spielt sie mit 10% eine, wenn auch untergeordnete, Rolle.

Tabelle 5: Elektrizitätslehre Aufgabe 2 (Abb. 1): Sprachliche Strom-Spannungskonzepte bei Karlsruher Mädchen und Jungen und bei traditionell unterrichteten Mädchen und Jungen

%	KPK 10 N = 85	TRD 10 N = 93	KPK J 10 N = 36	KPK M 10 N = 49	TRD J 10 N = 41	TRD M 10 N = 52
Spannung ist ein vom Strom unabhängiges Konzept	40	26	39	41	27	25
Spannung ist ein vom Strom abhängiges Konzept	33	29	42	27	34	25
Andere	27	45	19	33	39	50
	100	100	100	101	100	100

Die Verteilungen KPK 10 und TRD 10 sind auf dem 5%-Signifikanzniveau verschieden: χ^2 -Test, $df = 2$, $p = .031$, mittlerer Effekt [23]. KPK 10: Karlsruher Physikkurs Klasse 10, TRD 10: Traditioneller Unterricht Klasse 10, M: Mädchen, J: Jungen.

Fragt man direkt nach der Unabhängigkeit von elektrischer Spannung und elektrischem Strom – Abbildung 2: Aufgabe 3, Teile 1a, 1b und 1c –, so erhält man ein ähnliches Ergebnis (Tab. 6). Bei Aufgabe 3 (Abb. 2) geben die Karlsruher Mädchen den Ausschlag für den statistischen Effekt (Tab. 6).

Tabelle 4: Elektrizitätslehre Aufgabe 2 (Abb. 1): Sprachliche Strom-Spannungskonzepte bei Karlsruher Schülern und traditionell unterrichteten Schülern

Angabe in %	KPK 10 N = 85	TRD 10 N = 93
Physikalischer Strom-Spannungsbegriff	18	10
Die Spannung ist vom Strom unabhängig	22	16
Spannung und Strom kommen nur zusammen vor	33	29
Nur die Batterie hat eine Spannung (Angabe A bei Aufgabe 2.4)	1	10
Leiter und Spannung sind verknüpft (Angabe BC bei Aufgabe 2.4)	4	10
Batterie und geschlossener Stromkreis sind mit der Spannung verknüpft (Angabe AC bei Aufgabe 2.4)	2	1
Andere Antworten	6	7
Weiß nicht	11	16
Keine Angabe	4	1
	101	100

KPK 10: Karlsruher Physikkurs Klasse 10, TRD 10: Traditioneller Unterricht Klasse 10.

(b) *Aufgaben zur Anwendung des Strom-Spannungsbegriffs*: Karlsruher Schüler können „physikalischer“ über Spannung und Strom sprechen. Entwickeln sich damit auch vermehrt mentale Modelle? Unterstützt der Unterricht der Markierungsstrategie die Bildung des mentalen Modells zur Vorhersage der Stärke des Stromes? Die freie Aufgabe 11 (Abb. 3) erfasst, wie die Schüler von sich aus antworten. Die Antworten wurden induktiv mit Hilfe eines Verfahrens kategorisiert, das sich aus der qualitativen Inhaltsanalyse ableitet [19]. Die Intercoder-Reliabilität wies Werte zwischen 90% und 95% auf.

Tabelle 6: Elektrizitätslehre Aufgabe 3 (Abb. 2): Trennung von elektrischer Spannung und elektrischem Strom, Kombinationen

%	KPK 10 N = 85	TRD 10 N = 93	KPK J 10 N = 36	KPK M 10 N = 49	TRD J 10 N = 41	TRD M 10 N = 52
Spannung ist ein vom Strom unabhängiges Konzept	42	29	33	49	29	29
Spannung ist ein vom Strom abhängiges Konzept	20	29	28	14	51	35
Andere	38	42	39	37	20	37
	100	100	100	100	100	101

Die Verteilungen KPK 10 und TRD 10 sind auf dem 1% -Signifikanzniveau verschieden: χ^2 -Test, $df = 2$, $p = .007$, mittlerer bis großer Effekt. Die Verteilungen K-Mädchen 10 und T-Mädchen 10 sind auf dem 5% -Signifikanzniveau verschieden: χ^2 -Test, $df = 2$, $p = .032$, mittlerer bis großer Effekt [23]. KPK 10: Karlsruher Physikkurs Klasse 10, TRD 10: Traditioneller Unterricht Klasse 10, M: Mädchen, J: Jungen.

Die Beschreibung des genauen Verfahrens findet sich in [4]. Für die am stärksten besetzten Kategorien sind die Ankerbeispiele angegeben (Tab. 7). Tabelle 8 zeigt, mit welchen Worten oder Begriffen argumentiert wurde.

Tabelle 7: Elektrizitätslehre Aufgabe 11(Abb. 3): Kategorien und Ankerbeispiele

Kategorie	Ankerbeispiele
Der Strom verteilt sich gleich	Überall ist die Stromstärke gleich Weil sich der Strom gleichmäßig verteilt Der Strom teilt sich auf
Spannung/ Potenzial	Der Spannungsunterschied ist an allen Lampen gleich Weil da dieselbe Spannung ist Sie liegen auf dem gleichen Potential Es herrscht überall die gleiche Spannung
Schaltung	Es ist eine Parallelschaltung weil sie parallel geschaltet sind

Tabelle 8: Elektrizitätslehre Aufgabe 11 (Abb. 3): Vorhersage der Helligkeiten von Lämpchen bei einer verfremdeten elektrischen Schaltung – Verteilung der Argumente

Angabe in % (Bezogen auf die Zahl der Argumente)	KPK 10	TRD 10
Der Strom verteilt sich gleich	17	18
Spannung/ Potenzial	19	10
Schaltung	11	24
Energie	2	1
Widerstand	2	4
Sonstiges	12	4
Keine Angabe	36	38
	99	99

KPK 10: Karlsruher Physikkurs Klasse 10, TRD 10: Traditioneller Unterricht Klasse 10.

Etwa 20% der Schülerantworten bestehen aus mehreren Argumenten. Die Angaben in Tabelle 8 beziehen sich auf alle verwendeten Argumente und damit auf Mehrfachnennungen.

Aufgabe 11 (Abb. 3) erlaubt in erster Linie Schlüsse auf die sprachliche Verwendung physikalischer Vokabeln. Mit Vorbehalt kann aus der Richtigkeit der vorhandenen Argumente auf die Vorstellungen geschlossen werden.

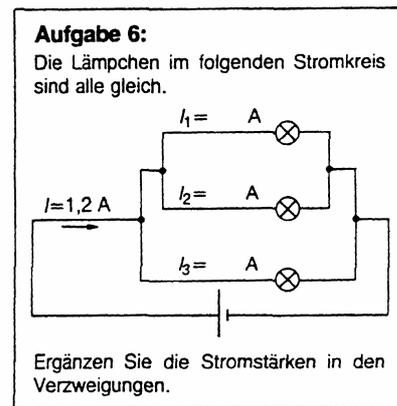


Abbildung 5: (Lösung: 0.4/0.4/0.4)

Fragt man nach Unterschieden zwischen den Geschlechtern, so zeigt sich, dass sich die Verteilungen bei den Jungen nicht signifikant voneinander unterscheiden. Eine Tendenz in den Zahlenwerten zeigt sich bei den Mädchen: 15% der Karlsruher Mädchen verwenden die Worte ‚Spannung‘ oder ‚elektrisches Potenzial‘ - hingegen benutzen sie nur 3% der traditionell unterrichteten Mädchen.

Die Karlsruher Schüler argumentieren also häufiger mit der Spannung oder dem elektrischen Potenzial. Auf einen dahinter liegenden physikalischen Begriff kann nicht eindeutig geschlossen werden. Die folgenden Antworten der KPK-Schüler deuten auf die bekannte Vermischung von Spannung und elektrischem Strom hin:

Schülerantworten, Elektrizitätslehre, Aufgabe 11

"Spannung teilt sich gleich auf."
"Jede Lampe erhält zwei Volt."

Die traditionell unterrichteten Schüler argumentieren hingegen häufiger mit dem topologischen Argument der Parallelschaltung.

Nur eine Minderheit Karlsruher Schüler (< 5%) wendet die Argumentation oder die Markierungsstrategie des Strom-Spannungs-Modells an, obgleich sie auf der sprachlichen Ebene Strom und Spannung trennen. Eine zweite Aufgabe bestätigt dies: Aufgabe 6 (Abb. 5) hat die gleiche physikalische Struktur wie Aufgabe 11 (Abb. 3). Die meisten Schüler wählen hier in beiden Gruppen lokale Argumentationen: Der Strom teilt sich wie das Wasser an jeder Ver-

zweigung auf. Die Schüler favorisieren die Lösung 0,3A, 0,3A und 0,6A an. Nur etwa 10% der Schüler beider Gruppen geben an, dass die elektrische Stromstärke in allen Ästen der Cabelungen gleich ist: 0,4A, 0,4A und 0,4A (Tab. 9).

Tabelle 9: Elektrizitätslehre Aufgabe 6: Vorhersage der Werte der Stromstärke bei einer versteckten Parallelschaltung

Angabe in %	KPK 10 N = 85	TRD 10 N = 93
0.4A/ 0.4A/ 0.4A	8	8
0.3A/ 0.3A/ 0.6A	62	50
Andere	15	8
Keine Angabe	14	34
	99	100

KPK 10: Karlsruher Physikkurs Klasse 10, TRD 10: Traditioneller Unterricht Klasse 10.

Aufgabe 8:
Betrachten Sie die folgende Schaltung:

Wie groß ist in diesem Stromkreis die Spannung zwischen den Punkten:
1 und 2: V, 2 und 3: V
3 und 4: V

Zwischen den Punkten 3 und 4 wird ein zweites Lämpchen der gleichen Sorte zugeschaltet:

Wie groß ist in dem Stromkreis mit 2 Lämpchen die Spannung zwischen den Punkten:
1 und 2: V, 2 und 3: V
3 und 4: V

Abbildung 6:
(Lösungen obere Aufgabe: Zwischen 1 und 2: 0V, zwischen 2 und 3: 6V, zwischen 3 und 4: 0V.
Lösungen untere Aufgabe: Zwischen 1 und 2: 0V, zwischen 2 und 3: 3V, zwischen 3 und 4: 3V.)

Auch hier lässt sich von der richtigen Antwort nicht auf die Verwendung des Strom-Spannungs-Begriffs schließen. Die Aufgabe kann aber auch gelöst werden, wenn die Parallelschaltung erkannt wird. Testet man auf die Zahl der richtigen Antworten, so zeigt sich kein signifikanter Unterschied. Festzuhalten bleibt, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den traditionell unterrichteten Jungen und Mädchen gibt. Der Anteil der traditionell unterrichteten Jungen, der die Aufgabe richtig löst, liegt bei 17%. Nur 2% der traditionell unterrichteten Mädchen sehen die richtige Lösung. Bei den Karlsruher Schülern sind die Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen nicht mehr signifikant verschieden: Die Jungen und Mädchen geben zu je 8% die richtige Lösung an.

(c) Vorhersage von Spannungswerten an einfachen Stromkreisen: Die Schüler wurden zur Vorhersage von Spannungswerten aufgefordert (Abb. 6). Die Unterschiede zwischen Karlsruher Stichprobe und traditioneller Kontrollgruppe fallen gering aus. Lediglich die KPK-Jungen lösen bei Aufgabe 8 den ersten Aufgabenteil besser als die traditionell unterrichteten Jungen. Man erkennt aber eine andere Tendenz: Die Karlsruher Schüler bringen die Spannung nicht so häufig mit einer Stelle des Stromkreises in Verbindung wie die traditionellen Schüler.

Tabelle 10: Elektrizitätslehre Aufgabe 8, Teil 1 (Abb. 6): Vorhersage von Spannungswerten an einem einfachen Stromkreis

Angabe in %	KPK 10 N = 85	TRD 10 N = 93
Richtig: (0/6/0)	18	19
U an jeder Stelle gleich: (6/6/6)	21	34
(6/-/-)	4	7
Mischung (1): (6/6/0)	15	1
Mischung (2): (6/-/0)	9	0
(6/3/3)	4	0
Andere	16	21
Keine Angabe	13	18
	100	100

Tabelle 11: Elektrizitätslehre Aufgabe 8, Teil 2 (Abb. 6): Vorhersage von Spannungswerten an einem einfachen Stromkreis

Angabe in %	KPK 10 N = 85	TRD 10 N = 93
Richtig: (0/3/3)	15	16
U an jeder Stelle gleich: (6/6/6)	22	28
(6/-/-)	7	5
Mischung (1): (0/6/6)	2	5
Mischung (2): (6/3/0)	8	0
(6/3/3)	13	5
Andere	15	9
Keine Angabe	18	32
	100	100

KPK 10: Karlsruher Physikkurs Klasse 10, TRD 10: Traditioneller Unterricht Klasse 10. Die Tripel (X/Y/Z) sind wie folgt zu lesen: X bezeichnet den Wert der Spannung zwischen den Punkten 1 und 2, Y bezeichnet den Wert der Spannung zwischen den Punkten 2 und 3, Z bezeichnet den Wert der Spannung zwischen den Punkten 3 und 4.

Dafür tritt bei ihnen vermehrt eine Lösung auf, bei der das Potenzial und die Spannung vermischt werden (Abb. 6, Tab. 10): Lösungen (6/6/0), (6/-/0), und (6/3/3). Bei dem Leiterstück auf hohem Potenzial zeigt sich, dass keine Potenzialdifferenz gebildet, sondern der Potenzialwert angegeben wird. Beim zweiten Teil der Aufgabe 8 (Abb. 6, Tab. 11) zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim ersten Teil.

Der Anteil der richtigen Lösungen beträgt etwa ein Achtel. Die Schüler, die den ersten Teil richtig gelöst haben, lösen auch die zweite Teilaufgabe richtig. Wieder gibt es Lösungen, die auf die Vermischung von Potenzial und Spannung hinweisen.

(d) *Schülervorstellungen zum elektrischen Potenzial:* Nur eine Minderheit der Karlsruher Schüler wendet die ‚Potenzialmarkierungsstrategie‘ des KPKs an (Abb. 4). Die meisten dieser Karlsruher Schüler interpretieren sie dabei aber um.

In der einfachsten Schülerinterpretation werden elektrisches Potenzial und elektrische Spannung gleichgesetzt. Es finden sich jedoch auch andere Deutungen. Die Markierungsstrategie wird angewendet, ohne zu beachten, dass die Potenzialwerte in einem Stromkreis von der Schaltung der Elemente des Stromkreises abhängen.

Es scheint, als ob die Potenzialwerte in den Augen der Schüler mit systematischer Willkür verteilt werden dürfen (Abb. 7). Andere Schüler gehen noch freier mit dem elektrischen Potenzial um. Sie teilen die Spannung wie einen Wasserstrom an Verzweigungen des Stromkreises zu gleichen Teilen auf oder markieren ohne erkennbare Regeln.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse und Interpretation

(a) *Strom-Spannungs-Begriff:* Karlsruher Schüler entwickeln häufiger als die traditionell unterrichteten Schüler einen sprachlichen Strom-Spannungs-Begriff, in dem die elektrische Spannung unabhängig vom elektrischen Strom angesehen wird. Den Karlsruher Schülern gelingt es aber nicht, damit physikalische Probleme zu lösen.

In der Sprache der mentalen Repräsentationen entwickeln die Karlsruher Schüler bessere sprachliche Repräsentationen des Strom-Spannungs-Begriffs als die traditionellen Schüler: Mentale Modelle, die zum vollständigen Strom-Spannungs-Begriff gehören, werden dabei nicht entwickelt oder nicht angewendet.

Dieses Ergebnis ist insofern von Wichtigkeit, da die Bildung von propositionalen Repräsentationen als Vorstufe zur Bildung mentaler Modelle gedeutet werden kann. Das Ergebnis ist dabei mit der nötigen Vorsicht als empirisch gestützte Hypothese zu interpretieren, da zwar Schülerinterviews durchgeführt wurden, um die Ergebnisse der Fragebogenuntersuchung zu validieren, jedoch nicht ausreichend viele, um die Aussagen der Schüler ex-post zu analysieren.

(b) *Das elektrische Potenzial:* Karlsruher Schüler zeigen bei Aufgaben, die unter Verwendung des elektrischen Potenzials einfach zu lösen sind, keine besseren Resultate als traditionell unterrichtete Schüler. Sie vermischen die elektrische Spannung mit dem elektrischen Potenzial. Dieser Befund fügt sich in die konstruktivistische Sicht des Lehrens und Lernens: Lernende deuten Gelehrtes [20]. Insofern wundert es nicht, wenn neue physikalische Größen zu neuen Missverständnissen führen.

Aufgabe 11:
Die Lämpchen in der folgenden Schaltung sind alle gleich, sie leuchten gleich hell.

Geben Sie dafür eine Begründung an: _____

Da an dem getrennten Leiter die Spannung immer gleich 3V ist.

Abbildung 7

(c) Die wichtigsten Ergebnisse zur Trennung von elektrischem Strom und Energie bzw. Energiestrom und zum Systemcharakter werden, wie weiter oben angedeutet, kurz und ohne statistische Details dargestellt.

In der Karlsruher Stichprobe und der Stichprobe der traditionell unterrichteten Schüler dominieren die Verbrauchsvorstellungen vom elektrischen Strom. Nur 10% der Karlsruher Schüler trennen zwischen dem elektrischen Strom und dem Energiestrom. Jedoch finden sich bei traditionellem Unterricht nur einzelne Schüler, denen eine Trennung von Energie und elektrischem Strom gelingt. Nur etwa 15% der Schüler beider Gruppen tragen dem Systemcharakter des elektrischen Stromkreises Rechnung. Die ausführliche Darstellung findet sich in [4].

(d) Fasst man die Ergebnisse aus dem evaluativen Sichtwinkel zusammen und legt die Annahme zu Grunde, dass Unterricht nach dem KPK Lernergebnisse verbessern sollte, so lässt sich kurz und knapp sagen, dass diese Erwartungen hinsichtlich der Elektrizitätslehre nicht erfüllt wurden: Dem Unterricht nach dem KPK gelingt es nicht, den Schülern Grundbegriffe der einfachen Elektrizitätslehre besser zu vermitteln als dem traditionellen Unterricht.

Es sei angemerkt, dass dieses Ergebnis durch eine Untersuchung in Klasse 8 und eine kleinere Pre-Post-Studie in Klasse 10 gestützt wird. Von Klassenstufe 8 zu Klassenstufe 10 zeigt sich außer einem deutlich besseren sprachlichen Strom-Spannungs-Konzept kein wesentlicher Zugewinn an Wissen. Die Pre-Post-Studie in einer zehnten Klasse (N=13) zeigt ebenfalls keine Veränderungen, obgleich der Europa-Test im direkten Anschluss an den Unterricht von zweimonatiger Dauer stattgefunden hat. Im Unterricht der Elektrizitätslehre dieser Klasse 10 stand die elektrische Energie im Mittelpunkt. Das Ergebnis zeigt, dass eine kurze Wiederholung der Grundbegriffe vermutlich keine langfristige Auswirkung auf die Lernergebnisse zeigt. Die ausführliche Darstellung der Studien finden sich wieder in [4].

Weiter zeigt sich: Das Strom-Antrieb-Modell des KPK wurde in der Treatment-Gruppe über mehrere Schuljahre redundant unterrichtet. Die wiederholte Verwendung des Strom-Antrieb-Modells im Unter-

richt führt dabei nicht zu einer Ausbildung eines allgemeinen mentalen Modells, das sich erfolgreich bei der Elektrizitätslehre anwenden lässt. Dies mag auch einem anderen Merkmal der Elektrizitätslehre geschuldet sein, die sich durch einen hohen Abstraktionsgrad kennzeichnen lässt. Die Leistungssteigerungen, die sich hingegen beim Unterricht der Wärmelehre nach dem KPK zeigen [21], lassen diese Deutung für die Elektrizitätslehre zu.

Offenbar zeigt sich, dass bei der Vermittlung der Elektrizitätslehre andere Lehr-Lern-Variablen eine wichtigere Rolle spielen. Der Unterrichtsumfang zeigt bei der Vermittlung der Elektrizitätslehre ebenfalls einen starken Einfluss. Die Schüler der Untersuchungen von v. Rhöneck [3] zeigen bei allen Fragen des Europa-Tests bessere Ergebnisse als die Karlsruher Schüler und die traditionell unterrichteten Schüler. Die Anzahl der unterrichteten Stunden der Schüler der v. Rhöneck Untersuchung war etwa doppelt so groß wie die Zahl der Unterrichtsstunden der Schüler der vorliegenden Untersuchung. Die Vermutung über den Einfluss der Unterrichtszeit ist damit plausibel.

Auch wenn die Empfehlung, die Elektrizitätslehre nach dem KPK zu unterrichten, nicht ausgesprochen werden kann, so lässt sich aus den Ergebnissen der Untersuchung genauso wenig schließen, dass nicht nach dem KPK unterrichtet werden kann.

Der erweiterte Sichtwinkel der fachdidaktischen Forschung führt zu einer optimistischen Sichtweise auf den KPK. Die Veränderungen der propositionalen Repräsentationen sprechen für eine wenn auch eingeschränkte Wirksamkeit des Karlsruher Ansatzes. Bemerkenswert hierbei ist Zweierlei.

Erstens: Viele Veränderungen, die der KPK in seiner Gesamtheit mit sich bringt, verweisen auf eine besondere Bedeutung seiner Sprache – Fach- als auch Schulbuchsprache [4, 21].

Zweitens: In der Wärmelehre zeigen sich durchaus Veränderungen, die als Herausbildung mentaler Modelle – also als physikalisches Verständnis – interpretiert werden kann [4, 21].

Mit der Annahme, dass propositionale Repräsentationen eine notwendige Bedingung zur Ausbildung mentaler Modelle sind, zeigt sich im Unterricht nach dem KPK im Vergleich zum traditionellen Unterricht unter gleichen Unterrichtsbedingungen demnach eine Vorstufe des Verstehens. Insofern lässt sich weitere zu evaluierende Entwicklungsarbeit rechtfertigen, die allerdings einen anderen als den fachlich strukturierenden Schwerpunkt haben sollte.

Es scheint sinnvoll den Unterricht des KPKs in konstruktivistische Lehr-Lern-Umgebungen [20] oder sinnstiftende Kontexte [23] einzubetten – mit der Erwartung, dass Lernende dort häufiger mentale Modelle des Strom-Antrieb-Modells in der Elektrizitätslehre entwickeln, die auch stabil verankert werden können.

6. Literatur

- [1] Shipstone, D.M., v. Rhöneck, Ch., Jung, W., Kärrqvist, C., Dupin, J.J. & Licht, P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, 10, 303-316.
- [2] Duit, R., Jung, W. & v. Rhöneck, C. (1985). Aspects of understanding electricity. Kiel: IPN.
- [3] v. Rhöneck, Ch. (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie*, 34, 13, 10-14.
- [4] Starauschek, E. (2001). *Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs - Ergebnisse einer Evaluationsstudie*. Berlin: Logos Verlag.
- [5] Herrmann, F. (1998). *Der Karlsruher Physikkurs*. Köln: Aulis.
- [6] Falk, G. (1968). *Theoretische Physik II*. Berlin: Springer.
- [7] Herrmann, F. (1998). Mengenartige Größen im Physikunterricht. *Phys. Bl.* 54, 9, 830-833.
- [8] Herrmann, F. & Schmälzle, P. (1984). Das elektrische Potenzial im Unterricht der Sekundarstufe I. *MNU* 37, 8, 476-482
- [9] Herrmann, F. (1998). *Der Karlsruher Physikkurs, Lehrerband*. Köln: Aulis.
- [10] Grob, K., v. Rhöneck, Ch. & Völker, B. (1988). Die Gravitationsanalogie zur Einführung des Spannungsbegriffs. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie*, 31, 14-22.
- [11] Schwedes, H. & Dudeck, W.-G. (1993). Lernen mit der Wasseranalogie. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 4, 16, 16-23
- [12] Muckenfuß, H. (1993). Der Sinngehalt von Alltagsvorstellungen - Konsequenzen für ein neues Gesamtkonzept zur Elektrizitätslehre. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 4, 16, 11-15.
- [13] Ansätze der Schulbücher: Die Spannung wird dort z.B. über $U = W/Q$ oder als Eigenschaft der ‚Quelle‘ eingeführt.
- [14] Leisen, J. (2001). Qualitätssteigerung des Physikunterrichts durch Weiterentwicklung der Aufgabekultur. *MNU*, 54, 7, 401-405.
- [15] Gleixner, Ch. & Wiesner, H. (1997). Wege zum Verständnis der elementaren Elektrizitätslehre - Lernprozesse bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. Tagungsband zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik in der DPG Berlin 1997, 322-327.
- [16] Schnotz, W. (1991). Mentale Repräsentationen beim Sprachverstehen. *Forschungsberichte 57*. Tübingen: Deutsches Institut für Fernstudien.
- [17] Schnotz, W. (1996). Psychologische Ansätze des Wissenserwerbs und der Wissensveränderung. In: Duit, R. & v. Rhöneck, Ch. (Hrsg.): *Lernen in den Naturwissenschaften*. Kiel: IPN.
- [18] Schnotz, W. (1998). Conceptual Change. In: Rost, D. H. (Hrsg.): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Beltz, 556-560.
- [19] Mayring, Ph. (1997). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim: Beltz.
- [20] Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik*. 41, 6, 905-923.
- [21] Starauschek, E. (2002). Wärmelehre nach dem Karlsruher Physikkurs. *PhyDid* 1/1, 12-18. <http://www.phydid.de/> (Stand: 15.01.2003)
- [22] Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext*. Berlin: Cornelsen.
- [23] Cohen, J. (1992). A Power Primer. *Psychological Bulletin*, 112, 1, 155-159.