

Teaching Thinking in der Physik – Eine empirische Studie zur Bestimmung zentraler Prozesse

Christian Spannagel, Florian Schimpf und Andreas Zendler
University of Education Ludwigsburg

Abstract. Aktuelle physikdidaktische Konzepte wie *nature of science*, *scientific literacy* und *scientific inquiry* betonen die Wichtigkeit von Prozessen für das Lehren und Lernen von Physik. Über die Prozesse, die in Bildungsstandards zum Physiklernen aufgeführt sind, spielen dabei im Sinne des *Teaching-Thinking*-Ansatzes auch allgemeine Denk- und Arbeitsweisen eine wichtige Rolle. Bisher ist jedoch nicht empirisch erforscht worden, welche allgemeinen Prozesse im Kontext von Physiklernen gefördert werden können und welche nicht. In der vorliegenden Studie werden die zentralen Prozesse der Physik durch Expertenbefragung empirisch bestimmt. Mittels einer Clusteranalyse werden für das Physiklernen relevante und nicht relevante Prozesse ermittelt. Zu den wichtigsten allgemeinen Prozessen in der Physik zählen demnach die Prozesse *finding cause-and-effect relationships*, *observing*, *analyzing*, *problem solving and problem posing*, *investigating* und *questioning*.

Keywords: physics education, science education, central processes, teaching thinking, process as content.

Contact: {spannagel, schimpf, zendler}@ph-ludwigsburg.de

1. Einleitung

Die aktuelle Diskussion um zeitgemäßes Lehren und Lernen im Fach Physik wird von verschiedenen Seiten geführt. Ergebnisse internationaler Studien wie TIMSS (Baumert, Bos, & Lehmann, 2000) und PISA (Deutsches PISA-Konsortium 2001, 2004, 2007) haben zu zahlreichen nationalen Initiativen zur Verbesserung der Lehr- und Lernprozesse geführt und damit prozessorientierte Ansätze stark in den Aufmerksamkeitsfokus der Fachdidaktiken gerückt. Für die Physikdidaktik liefert Duit (2006) eine Übersicht und kritische Bestandsaufnahme zu entsprechenden Forschungsprojekten. Die nationalen Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz für den Mittleren Bildungsabschluss im Fach Physik (KMK, 2004) betonen neben naturwissenschaftlichen Inhalten ebenfalls Prozesskompetenzen, z.B. Prozesse wie *Wahrnehmen*, *Ordnen*, *Prüfen*, *Erklären* oder *Modelle bilden* im Rahmen der physikalischen Erkenntnisgewinnung. Im internationalen Kontext wird durch Konzepte wie *nature of science*, *scientific inquiry* oder *scientific literacy* eine Neubestimmung der zu vermittelnden Inhalte im naturwissenschaftlichen Unterricht gefordert (Lederman, 1995; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Flick & Lederman, 2006). So ist

beispielsweise *scientific literacy* ein zentrales Konzept in den US-amerikanischen Standards für *science education* (NRC, 1996). „Scientific literacy is the knowledge and understanding of scientific concepts and processes required for personal decision making, participation in civic and cultural affairs, and economic productivity.” (NRC, 1996, S. 22). Insbesondere spielen hierbei auch prozessorientierte Aspekte eine wichtige Rolle, wie sie im curricularen Ansatz *process as content* gefordert werden (Parker & Rubin, 1966; Costa & Liebmann, 1997a, 1997b, 1997c). „Learning science is an active process. Learning science is something students do, not something that is done to them. In learning science, students describe objects and events, ask questions, acquire knowledge, construct explanations of natural phenomena, test those explanations in many different ways, and communicate their ideas to others.” (NRC, 1996, S. 20).

Neben den *fachspezifischen* Methoden wie dem Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten oder dem Bilden von physikalischen Modellen können auch *allgemeine* (d.h. prinzipiell fachunabhängige) Denkprozesse im Physikunterricht gefördert werden. Nach dem *Teaching-Thinking*-Ansatz sollen Kinder und Jugendliche neben Fachspezifika auch *das Denken im Allgemeinen lernen* (Baron & Sternberg, 1987; Barell, 1995; Costa, 2001; Crawford, Saul, Mathews, & Makinster, 2005; Bowkett, 2006; Marzano & Kendall, 2007; Brady, 2008). Dazu zählen Prozesse wie beispielsweise *categorizing, analyzing, deductive reasoning* und *brainstorming* (vgl. Costa und Liebmann, 1997a). Unklar ist bislang jedoch, welche allgemeinen Denk- und Arbeitsprozesse in welchen Fächern adäquat vermittelt werden können.

Costa und Liebmann (1997a) definieren insgesamt 44 Prozesse, die man im Kontext des *Teaching-Thinking*-Ansatzes als allgemein zu erlernende Prozesse bezeichnen kann (siehe Tabelle 1). Diese bilden einen möglichen Referenzrahmen, der über die Grenzen einzelner Fachdisziplinen hinausgeht. Auf der Basis dieses Referenzrahmens können Prozessprofile für verschiedene Disziplinen gebildet werden. Diese Prozessprofile erhalten die Information, welche Prozesse sich für die Vermittlung in der jeweiligen Disziplin gut bzw. schlecht eignen.

Um subjektive Einflüsse zu vermeiden und möglichst vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, müssen die Prozessprofile mit empirischen Methoden erstellt werden, beispielsweise durch Expertenbefragung. In bisherigen empirischen Studien wurden bereits die Prozessprofile für die Informatik (Zendler, Spannagel, & Klaut, 2008a) und die Mathematik (Spannagel & Zendler, 2008a) erstellt. Für die Physik steht eine Erhebung der zentralen Prozesse bisher aus.

In diesem Artikel wird eine Untersuchung beschrieben, in der diejenigen allgemeinen Denk- und Arbeitsweisen mittels einer Expertenbefragung bestimmt werden, die beim Physiklernen berücksichtigt werden sollten. In Abschnitt 2 wird die Ausgangsbasis der empirischen Untersuchung beschrieben. Abschnitt 3 enthält eine detaillierte Darstellung der Durchführung und Auswertung der Studie. Ebenso werden die Ergebnisse ausführlich diskutiert. In Abschnitt 4 werden die Resultate kurz zusammengefasst und ein Ausblick auf Folgeuntersuchungen gegeben.

2. Ausgangslage

Die 44 Prozesse von Costa und Liebmann (1997a) dienen als Grundlage für die empirische Bestimmung der zentralen Prozesse für Lehr-/Lernszenarien in der Physik. Tabelle 1 zeigt die Prozesse in alphabetischer Reihenfolge. Costa und Liebmann (1997a) geben zudem Definitionen für jeden Prozess. So schreiben sie beispielsweise zum Prozess *observing*: „Using all appropriate senses to gather information.“ (Costa & Liebmann, 1997a, S. 17). Die Prozesse mit ihren Definitionen bilden die Basis für die Studie.

Tabelle 1. Prozesse nach Costa und Liebmann (1997a)

1	analyzing	23	intuiting
2	brainstorming	24	investigating
3	categorizing	25	meaning making
4	classifying	26	mediating and coaching
5	collaborating	27	networking
6	communicating	28	observing
7	comparing	29	operationalizing
8	consulting	30	ordering
9	contrasting	31	patterning
10	creating and inventing	32	presenting
11	decision making	33	prioritizing
12	deductive reasoning	34	problem solving and problem posing
13	facilitating	35	questioning
14	finding cause-and-effect relationships	36	researching
15	finding relationships	37	self-evaluating
16	forming, testing, and revising concepts and generalizations	38	sequencing
17	generalizing	39	summarizing
18	generating criteria	40	sylogistic reasoning
19	hypothesizing	41	synthesizing
20	imaging	42	transferring
21	inferring	43	transforming
22	inquiring	44	using metaphor

Als Kriterien zur Entscheidung, ob ein Prozess als zentral zu betrachten ist, werden vier Kriterien verwendet, die von Schwill (1993, 1994) im Rahmen der Diskussion um fundamentale Ideen der Informatik entwickelt worden sind. Diese Kriterien

wurden bereits zur Bestimmung der zentralen Prozesse der Informatik (Zendler, Spannagel, & Klaudt, 2008a) und der Mathematik (Spannagel & Zendler, 2008a) verwendet. Dabei handelt es sich um das Horizontalkriterium, der Vertikalkriterium, das Zeitkriterium und das Sinnkriterium:

- **Horizontalkriterium:** Der Prozess ist in vielen Bereichen der Disziplin vielfältig anwendbar oder erkennbar.
- **Vertikalkriterium:** Der Prozess kann auf jedem intellektuellen Niveau aufgezeigt und vermittelt werden (in der Primarstufe, in den Sekundarstufen, im Studium).
- **Zeitkriterium:** Der Prozess ist in der historischen Entwicklung der Disziplin deutlich wahrnehmbar und bleibt längerfristig relevant.
- **Sinnkriterium:** Der Prozess besitzt einen Bezug zu Sprache und/oder Denken des Alltags und der Lebenswelt.

Ein Prozess kann dann als zentraler Prozess für physikalische Lehr-Lernszenarien betrachtet werden, wenn diese vier Kriterien in hohem Maße erfüllt sind, d.h. wenn der Prozess in vielen Bereichen der Physik relevant ist (*Horizontalkriterium*), wenn er Kindern und Jugendlichen aller Altersstufen vermittelt werden kann (*Vertikalkriterium*), wenn er bereits über einen längeren Zeitraum hinweg in der Physik bedeutsam war und mit großer Wahrscheinlichkeit auf bedeutsam bleiben wird (*Zeitkriterium*) und wenn er einen lebensweltlichen Bezug besitzt (*Sinnkriterium*).

Für die Informatik und die Mathematik wurden bereits anhand dieser vier Kriterien die zentralen Prozesse der jeweiligen Disziplin bestimmt (Zendler, Spannagel, & Klaudt, 2008a; Spannagel & Zendler, 2008a). Zentral für informatische Lehr-/Lernszenarien sind die folgenden Prozesse: *finding relationships*, *classifying*, *problem solving and problem posing*, *investigating*, *analyzing* und *generalizing*. In der Mathematik haben die Prozesse *deductive reasoning*, *analyzing*, *generalizing*, *problem solving and problem posing*, *finding cause-and-effect relationships* und *finding relationships* eine große Bedeutung.

Der vorliegende Artikel dient dazu, die zentralen Prozesse für physikalische Lehr-/Lernszenarien analog zu bestimmen. Mit den Ergebnissen dieser Studie lassen sich dann beispielsweise die Prozessprofile der Informatik, der Mathematik und der Physik vergleichen.

3. Empirische Untersuchung

3.1 Methode

3.1.1 Stichprobe

Für die empirische Studie wurden 120 Physikprofessorinnen und -professoren angeschrieben. Dabei wurden Professorinnen und Professoren derjenigen 12 Hochschulen ausgewählt, die im CHE-Ranking 2006¹ in der Kategorie „Forschungsreputa-

¹ abrufbar unter <http://www.che.de> (letzter Zugriff am 16.3.2009); auszugsweise auch veröffentlicht in „Die Zeit. Studienführer 2006“

tion“ im Fach Physik die höchsten Bewertungen erhalten hatten. 18 gültige Rücksendungen gingen in die Auswertung ein (Rücklaufquote 15%).

3.1.2 Fragebogen

Der Fragebogen besteht aus drei Teilen: einer kurzen Einführung in die Thematik, dem eigentlichen Fragebogenteil und einem Glossar mit den Definitionen der Prozesse nach Costa und Liebmann (1997a). Der Fragebogenteil besteht aus vier Abschnitten, für jedes Kriterium nach Schwill (1993,1994) ein eigener Bereich. In diesen Abschnitten muss bewertet werden, inwieweit jeder der 44 Prozesse das jeweilige Kriterium erfüllt. Im Abschnitt zum Horizontalkriterium muss beispielsweise die folgende Aussage für jeden Prozess beurteilt werden: „Horizontalkriterium: Der Prozess ist in vielen Bereichen der Physik vielfältig anwendbar oder erkennbar.“ Die Bewertung erfolgt anhand einer 6-poligen Skala von 0 (*trifft nicht zu*) bis 5 (*trifft voll zu*).

3.1.3 Datenanalyse

Die Daten werden in Analogie zu den Studien von Zendler, Spannagel und Klaudt (2008a) und Spannagel und Zendler (2008a) analysiert:

- Die einzelnen Bewertungen werden einer Mittelwertanalyse unterzogen (Abschnitt 3.2.1).
- Auf der Basis der Mittelwertsvektoren wird eine Clusteranalyse durchgeführt, um Prozesse mit ähnlichen Bewertungen in Clustern zusammenzufassen (Abschnitt 3.2.2).
- Anschließend wird die Validität der Clusterlösung mittels einer Varianzanalyse überprüft (Abschnitt 3.2.3).

Die Auswertung erfolgt mit SPSS 16.0.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Deskriptive Datenanalyse

In ersten Schritt wurden die Einzelbewertungen der Professorinnen und Professoren gemittelt. Das Ergebnis ist eine 44×4-Mittelwertmatrix mit 44 Zeilen für die Prozesse und 4 Spalten für die Kriterien. Darüber hinaus wurden Gesamtmittelwerte errechnet. In Abbildung 1 sind die Ergebnisse dargestellt. Dabei sind die Prozesse nach ihren Gesamtmittelwerten absteigend sortiert.

Am höchsten wurden die Prozesse *finding cause-and-effect relationships*, *observing*, *analyzing*, *problem solving and problem posing* und *investigating* bewertet. Die niedrigsten Gesamtmittelwerte erzielten die Prozesse *sylogistic reasoning*, *self-evaluating*, *consulting*, *mediating and coaching* und *using metaphor*.

3.2.2 Clusteranalytische Auswertung

Im nächsten Schritt wurden die Ergebnisse clusteranalytisch ausgewertet. Hierzu wurden die Vektoren mit den Mittelwerten bezüglich der vier Kriterien aller Prozes-

se als Datenbasis herangezogen (ohne Berücksichtigung der Gesamtmittelwerte). Die Methode nach Ward (1963) wurde als clusteranalytisches Verfahren eingesetzt. Dabei wurde der quadrierte euklidische Abstand als Distanzmaß verwendet und der C-Index nach Hubert und Levin (1976) als Abbruchkriterium berücksichtigt (vgl. auch Zendler, Spannagel und Klaut, 2008a).

Horizontalkriterium	Vertikalkriterium	Zeitkriterium	Sinnkriterium	Gesamtscore	Prozesse	Horizontalkriterium	Vertikalkriterium	Zeitkriterium	Sinnkriterium	Gesamtscore	Prozesse
4.94	4.33	4.56	4.11	4.49	finding cause-and-effect relationships	3.89	3.17	3.44	3.56	3.65	inferring
4.50	4.72	4.72	3.94	4.47	observing	3.33	3.17	3.44	3.72	3.42	classifying
4.78	4.00	4.67	4.06	4.38	analyzing	3.67	2.94	3.28	3.44	3.33	imaging
4.67	3.89	4.56	4.22	4.33	problem solving and problem posing	3.33	3.06	3.33	3.56	3.32	categorizing
4.72	4.06	4.56	3.67	4.25	investigating	3.44	3.06	2.94	3.67	3.28	collaborating
4.56	4.94	4.28	4.00	4.19	questioning	3.76	3.11	3.22	2.89	3.25	transforming
4.83	3.61	4.61	3.65	4.18	deductive reasoning	3.17	3.06	3.33	3.17	3.18	generating criteria
4.72	3.61	4.78	3.33	4.11	researching	3.78	2.94	2.78	3.00	3.13	synthesizing
4.11	4.00	4.06	4.22	4.10	finding relationships	3.11	2.89	3.00	3.44	3.11	facilitating
4.56	3.56	4.22	3.78	4.03	generalizing	3.39	2.78	3.06	3.22	3.11	brainstorming
4.61	3.56	4.50	3.39	4.01	forming, testing, and revising concepts and generalizations	3.22	2.61	2.67	3.61	3.03	prioritizing
4.50	3.72	4.00	3.78	4.00	inquiring	2.83	3.00	3.06	2.94	2.96	sequencing
4.39	3.89	3.72	3.78	3.94	transferring	2.67	3.39	2.61	2.94	2.90	contrasting
3.83	4.17	3.06	4.50	3.89	presenting	2.78	2.61	2.56	3.50	2.86	meaning making
4.06	3.78	3.83	3.89	3.89	summarizing	2.72	2.47	3.00	3.17	2.84	intuiting
3.89	4.17	3.22	3.94	3.81	comparing	2.67	2.72	2.17	3.58	2.78	networking
4.22	3.00	4.33	2.94	3.63	hypothesizing	2.67	2.94	2.50	2.89	2.75	patterning
4.28	2.89	3.89	3.39	3.61	creating and inventing	2.83	2.28	2.22	3.56	2.72	decision making
3.44	3.94	2.83	3.94	3.54	ordering	2.89	2.22	2.39	2.72	2.56	operationalizing
3.44	3.50	2.89	4.28	3.53	communicating	2.67	2.11	2.83	2.56	2.54	sylogistic reasoning
						2.83	2.06	1.94	3.28	2.53	self-evaluating
						2.78	1.94	2.00	2.94	2.42	consulting
						2.56	2.17	1.61	2.94	2.32	mediating and coaching
						1.50	2.00	1.56	2.44	1.88	using metaphor

Abbildung 1. Mittelwerte der Prozesse (N=18)

Die resultierende Clusterlösung besteht aus 8 Clustern: drei „Winner“-Cluster (kurz: „W“- Cluster), zwei „Intermediate“-Cluster (kurz: „I“- Cluster) und zwei „Loser“-Cluster (kurz: „L“- Cluster). Heatmaps werden als Visualisierung der Mittelwertvektoren verwendet (Grinstein, Trutschl, & Cvek, 2001), Dendrogramme als Veranschaulichung der sukzessiven Zusammenfassung von Prozessen. In den nun folgenden Abschnitten werden die Cluster detailliert beschrieben.

Die „W“-Cluster

Abbildung 2 zeigt die drei „Winner“-Cluster. Insgesamt sind 16 Prozesse in diesen Clustern enthalten.

„W1/+H+Z“-Cluster. Im „W1/+H+Z“-Cluster finden sich 6 Prozesse: *observing*, *finding cause-and-effect relationships*, *investigating*, *questioning*, *problem solving and problem posing* und *analyzing*. Die Prozesse in diesem Cluster haben besonders hohe Werte im Horizontal- und im Zeitkriterium erzielt [Zentroid = (4.69, 4.16, 4.56, 4.00)]. Sehr früh werden die Prozesse *analyzing*, *problem solving and problem*

posing, questioning und investigating zusammengefasst. Anschließend treten finding cause-and-effect relationships und schließlich observing zum Cluster hinzu.

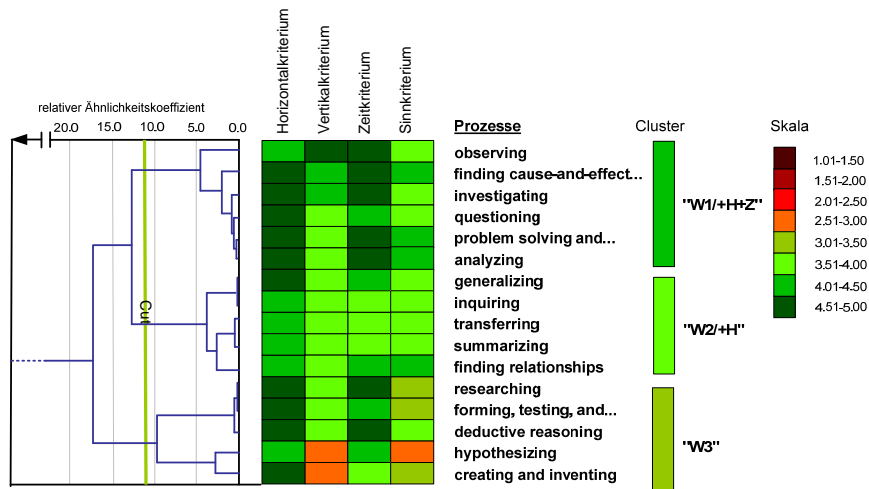


Abbildung 2. Clusterlösung für die "Winner"-Cluster

"W2/+H"-Cluster. Das "W2/+H"-Cluster besteht aus den folgenden 5 Prozessen: *generalizing*, *inquiring*, *transferring*, *summarizing* und *finding relationships*. Im Gegensatz zum "W1/+H+Z"-Cluster zeichnen sich die Prozesse im "W2/+H"-Cluster nur durch hohe Werte im Horizontalkriterium aus; die Werte im Zeitkriterium sind niedriger als diejenigen im "W1/+H+Z"-Cluster [Zentroid = (4.32, 3.79, 3.97, 3.89)]. In einem frühen Stadium werden die Prozesse *generalizing* und *inquiring* zusammengefasst, ebenso die Prozesse *transferring* und *summarizing*.

"W3"-Cluster. Im "W3"-Cluster sind ebenfalls 5 Prozesse enthalten. Dabei handelt es sich um die Prozesse *researching*, *forming*, *testing*, *and revising concepts and generalizations*, *deductive reasoning*, *hypothesizing* und *creating and inventing*. Die Prozesse im "W3"-Cluster haben im Mittel (ebenfalls wie die Prozesse im "W1/+H+Z"-Cluster) hohe Werte im Horizontal- und Zeitkriterium, jedoch im Vergleich deutlich niedrigere Werte im Vertikal- und im Sinnkriterium [Zentroid = (4.53, 3.33, 4.42, 3.34)]. In diesem Cluster ist die frühe Zusammenfassung der Prozesse *researching*, *forming*, *testing*, *and revising concepts and generalizations* und *deductive reasoning* auffällig.

Die "I" Cluster

In Abbildung 3 sind die drei „Intermediate“-Cluster dargestellt mit insgesamt 22 Prozessen.

"I1/+V+S"-Cluster. Im "I1/+V+S"-Cluster sind 4 Prozesse zusammengefasst: *ordering*, *communicating*, *presenting* und *comparing*. Dieses Cluster erhält seine Bezeichnung aufgrund der im Vergleich zu den anderen "I"-Clustern höheren Werte im Vertikal- und im Sinnkriterium [Zentroid = (3.65, 3.94, 3.00, 4.17)]. Die darin

enthaltenen Prozesse werden zunächst in zwei Paaren zusammengefasst (*ordering* und *communicating* sowie *presenting* und *comparing*). Anschließend wird das Gesamtcluster gebildet.

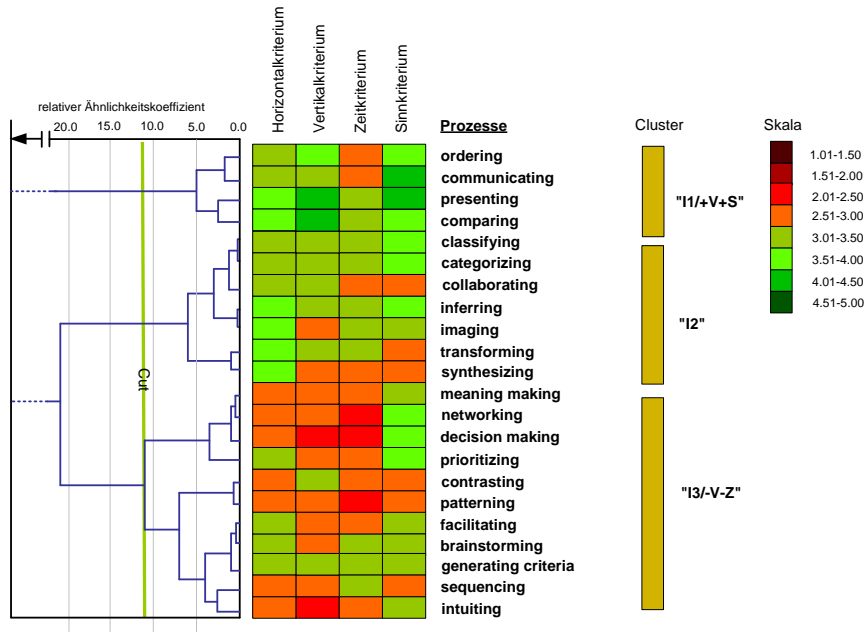


Abbildung 3. Clusterlösung für die „Intermediate“-Cluster

“I2”-Cluster. Das “I2”-Cluster enthält die folgenden 7 Prozesse: *classifying*, *categorizing*, *collaborating*, *inferring*, *imaging*, *transforming* und *synthesizing* [Zentroid = (3.60, 3.06, 3.21, 3.40)]. Bemerkenswert sind die frühen Zusammenfassungen von *classifying* und *categorizing* sowie von *inferring* und *imaging*.

“I3/-V-Z”-Cluster. Das “I3/-V-Z”-Cluster bildet mit 11 Prozessen das größte Cluster in der Clusterlösung. Darin sind die folgenden Prozesse enthalten: *meaning making*, *networking*, *decision making*, *prioritizing*, *contrasting*, *patterning*, *facilitating*, *brainstorming*, *generating criteria*, *sequencing* und *intuiting*. Das Cluster zeichnet sich insbesondere durch niedrige Werte im Vertikal- und im Zeitkriterium aus [Zentroid = (2.91, 2.80, 2.74, 3.28)]. Aufgrund des Cuts (siehe das Dendrogramm in Abbildung 3) können die in diesem Cluster enthaltenen Prozesse nicht in zwei unterschiedliche Cluster aufgeteilt werden.

Die “L”-Cluster

Abbildung 4 zeigt die beiden “Loser”-Cluster. Der Cut im Dendrogramm verdeutlicht, dass beide Cluster nicht mehr zu einem einzigen Cluster zusammengefasst werden könnten.

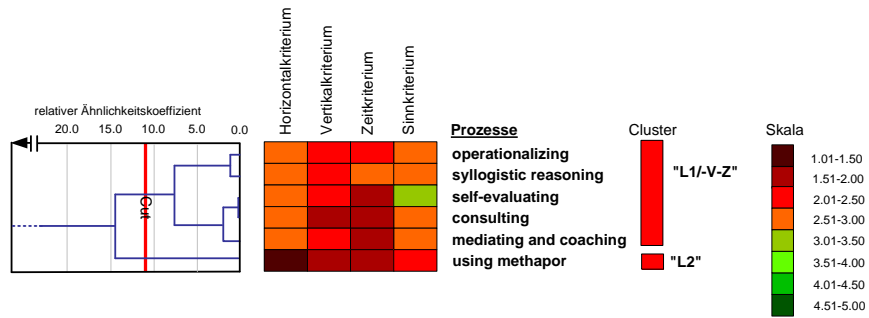


Abbildung 4. Clusterlösung für das „Loser“-Cluster

“L1/-V-Z”-Cluster. Das “L1/-V-Z”-Cluster enthält 5 Prozesse: *operationalizing*, *sylogistic reasoning*, *self-evaluating*, *consulting* und *mediating and coaching*. Dieses Cluster zeichnet sich durch besonders niedrige Werte im Vertikal- und im Zeitkriterium aus [Zentroid = (2.74, 2.10, 2.16, 2.89)]. Die Prozesse *self-evaluating* und *consulting* werden bereits sehr früh zusammengefasst.

“L2”-Cluster. Das “L2”-Cluster enthält einen einzigen Prozess: *using metaphor*. Dieser Prozess unterscheidet sich von allen anderen Prozessen durch sehr niedrige Werte bezüglich aller Kriterien [Kriteriumsmittelwerte = (1.50, 2.00, 1.56, 2.44)].

3.2.3 Validität der clusteranalytischen Ergebnisse

Mittels einer einfaktoriellen 4-variaten Varianzanalyse wird zunächst getestet, ob sich die Cluster insgesamt unterscheiden.² Bei einem signifikanten Ergebnis werden Post-Hoc-Tests durchgeführt, um die Unterschiede zwischen einzelnen Clusterpaaren zu beurteilen. In allen Fällen wird Wilks Λ als Prüfgröße verwendet und in einen F-Wert transformiert.

Die multivariante Varianzanalyse ergibt einen F-Wert von $F=14.28$. Der kritische F-Wert beträgt $F_{(24, 116)} < 1.96$ ($\alpha=.01$). Die Cluster unterscheiden sich global betrachtet also signifikant. Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der anschließenden Post-Hoc-Tests (links) und die kritischen Werte für zwei α -Niveaus ($\alpha=.01$ und $\alpha=.05$; rechts). Von den 21 durchgeführten Vergleichen sind 17 bei $\alpha=.01$ (**) und vier bei $\alpha=.05$ (*) signifikant. Hieraus kann gefolgert werden, dass sich alle Cluster statistisch unterscheiden.

3.3 Diskussion

Insgesamt zählen 16 Prozesse von Costa und Liebmann (1997a) zu den “Winner”-Clustern in der Physik. Diese Prozesse unterscheiden sich von den anderen Prozessen in den “Intermediate”-Clustern und “Loser”-Clustern dadurch, dass sie die höchsten Werte bezüglich der vier Kriterien von Schwill (1993, 1994) aufweisen. Dem-

² Das “L2”-Cluster enthält nur einen Prozess. Daher wird es von den Varianzanalysen ausgeschlossen.

nach sind dies die allgemeinen Denk- und Arbeitsprozesse, den in physikalischen Lehr-Lernszenarien eine große Bedeutung zukommen sollte.

Die Prozesse im "W1/+H+Z"-Cluster sind besonders hoch bewertet worden: *observing, finding cause-and-effect relationships, investigating, questioning, problem solving and problem posing* und *analyzing*. Diese Prozesse haben insbesondere hohe Werte im Horizontal- und im Zeitkriterium. Das heißt, dass sie in vielen Bereichen der Physik über einen längeren Zeitraum eine Bedeutung hatten und weiterhin haben werden. Aber auch im Vertikal- und im Sinnkriterium haben diese Prozesse hohe Werte erzielt. Dies bedeutet, dass die Prozesse auf allen intellektuellen Niveaus vermittelt werden können und einen Bezug zu Alltag und Lebenswelt besitzen. Daher sollten diese Prozesse eine besondere Rolle im Physikunterricht spielen.

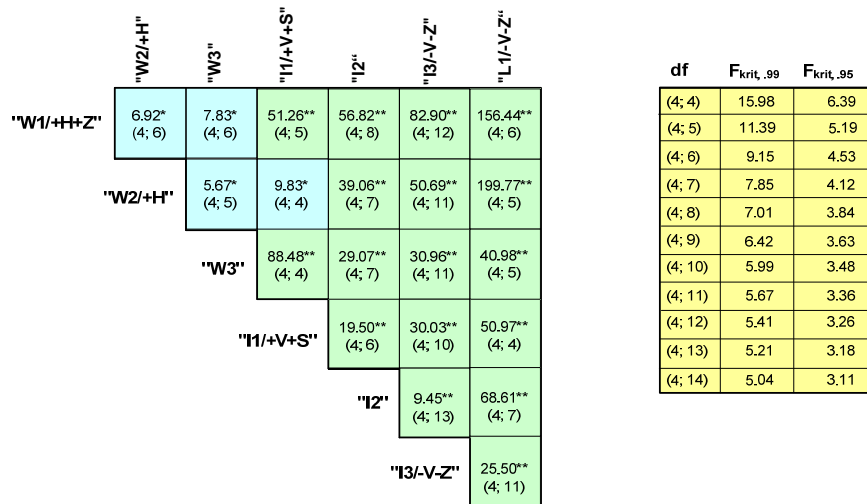


Abbildung 5. Berechnete und kritische F-Werte für die Einzelvergleiche

Die Prozesse des "W2/+H"-Clusters sind in vielen Bereichen der Physik aufgrund ihrer hohen Werte im Horizontalkriterium relevant. Das heißt, dass es in vielen Bereichen der Physik Anknüpfungspunkte für die Vermittlung dieser Prozesse gibt. Ebenso sind die Prozesse im "W3"-Cluster hoch bewertet worden. Allerdings sind sie aufgrund eher niedriger Werte im Vertikalkriterium und Sinnkriterium schlechter vermittelbar und weniger in Alltagskontexte eingebunden.

Von den Prozessen in den "Intermediate"-Clustern sind insbesondere die des "I1/+V+S"-Clusters hervorzuheben: *ordering, communicating, presenting* und *comparing*. Diese Prozesse sind aufgrund ihrer hohen Werte im Vertikalkriterium auf allen intellektuellen Stufen behandelbar. Außerdem wurden sie hoch bezüglich des Sinnkriteriums bewertet. Das heißt, dass sie einen starken Lebensweltbezug besitzen. Daraus kann geschlossen werden, dass diese Prozesse leicht an Alltagssituationen angebunden und hierdurch auch leicht vermittelt werden können.

Keine Bedeutung in der Physik haben die Prozesse *operationalizing*, *syillogistic reasoning*, *self-evaluating*, *consulting*, *mediating and coaching* und *using metaphor*. Sie haben durchweg die niedrigsten Bewertungen bezüglich der vier Schwillschen Kriterien erhalten.

4. Zusammenfassung und Ausblick

In der im vorliegenden Artikel beschriebenen Studie wurden mit empirischen Methoden die zentralen Prozesskonzepte der Physik bestimmt. Dabei handelt es sich um die Prozesse des "W1/+H+Z"-Clusters: *observing*, *finding cause-and-effect relationships*, *investigating*, *questioning*, *problem solving and problem posing* und *analyzing*. Neben diesen zentralen Prozessen sind auch die Prozesse der anderen beiden "W"-Cluster von hoher Bedeutung für das Lehren und Lernen in der Physik. Im Vergleich zu den Prozessen in den "I"- und "L"-Clustern haben diese Prozesse hohe Werte bzgl. aller vier Kriterien. Damit sind sie in vielen Bereichen der Physik relevant, können auf allen intellektuellen Niveaus vermittelt werden, sind über einen längeren Zeitraum in der Disziplin von Bedeutung und haben einen Bezug zum Alltag und zur Lebenswelt der Lernenden.

In einem nächsten Schritt können nun die hier ermittelten zentralen Prozesse der Physik mit den Prozessen, die in der fachdidaktischen Literatur und in den Bildungsplänen zum Fach Physik aufgeführt sind, verglichen und in Beziehung gesetzt werden. So entsteht im Sinne des Ansatzes *process as content* ein Katalog von Prozessen, die sowohl aus fachdidaktischer als auch aus allgemeindidaktischer Perspektive für den Physikunterricht als relevant erachtet werden.

In der Informatik wurden neben den zentralen Prozesskonzepten auch die zentralen Inhaltskonzepte empirisch ermittelt und mit den Prozesskonzepten in Verbindung gebracht (Zendler & Spannagel, 2008; Zendler, Spannagel, & Klaudt, 2008b; Spannagel & Zendler, 2008b). In der gleichen Vorgehensweise können nun zunächst die zentralen Inhaltskonzepte der Physik durch Expertenerfragung empirisch ermittelt werden. Anschließend werden – ebenfalls empirisch – für das Physiklernen relevante Inhalts-Prozess-Kombinationen bestimmt.

Darüber hinaus kann nun das Prozessprofil der Physik mit den bereits vorliegenden Profilen der Informatik und der Mathematik (Zendler, Spannagel, & Klaudt, 2008a; Spannagel & Zendler, 2008a) verglichen werden. Ebenso müssen in Zukunft weitere Erhebungen in anderen Disziplinen (z.B. Germanistik, Fremdsprachen, Chemie, Biologie, Musik, Kunst, Sport, Geschichte, Psychologie) durchgeführt und mit den Ergebnissen der bereits vorliegenden Studien in Beziehung gesetzt werden. Mit Hilfe dieser Vergleiche kann festgestellt werden, in welchen Fächern bestimmte allgemeine Denkprozesse schwerpunktmäßig vermittelt werden sollten.

Mit dieser Vorgehensweise kann somit erstmals die Basis für ein fächerübergreifendes prozessorientiertes Curriculum gelegt werden, das empirisch begründet ist.

Danksagung

Wir danken Irene Reeb und Anna Höing für die freundliche Unterstützung bei der Fragebogenaktion und Raimund Girwidz für seine wertvollen inhaltlichen Anregungen. Dank gilt außerdem der LANDESSTIFTUNG Baden-Württemberg für die finanzielle Unterstützung der Forschungsarbeit im Rahmen des Eliteprogramms für Postdoktorandinnen und Postdoktoranden.

Literatur

- Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665–701.
- Barell, J. (1995). *Teaching for thoughtfulness. Classroom strategies to enhance intellectual development*. White Plains, NY: Longman.
- Baron, J. B. & Sternberg, R. J. (Eds.) (1987). *Teaching thinking skills. Theory and practice*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Baumert, J., Bos, W., & Lehmann, R. (Eds.) (2000). *TIMSS/III. Dritte internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn*. Opladen: Leske und Budrich.
- Bowkett, S. (2006). *100 ideas for teaching thinking skills*. London, New York: Continuum.
- Brady, M. (2008). Cover the material – or teach students to think? *Educational Leadership*, 65(5), 64–67.
- Costa, A. L. (Ed.) (2001). *Developing minds. A resource book for teaching thinking* (3. Ed.). Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Costa, A. L. & Liebmann, R. M. (Eds.) (1997a). *Envisioning process as content. Toward a renaissance curriculum*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Costa, A. L. & Liebmann, R. M. (Eds.) (1997b). *The process-centered school. Sustaining a renaissance community*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Costa, A. L. & Liebmann, R. M. (Eds.) (1997c). *Supporting the spirit of learning. When process is content*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Crawford, A., Saul, W., Mathews, S. R., & Makinster, J. (2005). *Teaching and learning strategies for the thinking classroom*. New York: The International Debate Education Association.
- Deutsches PISA-Konsortium (Eds.) (2001). *PISA 2000 - Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske und Budrich.
- Deutsches PISA-Konsortium (Eds.) (2004). *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Münster: Waxmann.

- Deutsches PISA-Konsortium (Eds.) (2007). *PISA '06. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichstudie*. Münster: Waxmann.
- Duit, R. (2006). Initiativen zur Verbesserung des Physikunterrichts in Deutschland. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, PhyDid*, 2(5), 83–96.
- Flick, L. B. & Ledermann, N. G. (Eds.) (2006). *Scientific inquiry and nature of science. Implications for teaching, learning, and teacher education*. Dordrecht: Springer.
- Grinstein, G., Trutschl, M., & Cvek, U. (2001). High-dimensional visualizations. In *Data mining conference KDD workshop 2001* (pp. 7–19). New York: ACM Press.
- Hubert, L. J. & Levin, J. R. (1976). A general statistical framework for assessing categorical clustering in free recall. *Psychological Bulletin*, 83, 1072–1080.
- KMK – Kultusministerkonferenz (2004): *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. Abrufbar unter: http://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/Beschluesse_Veroeffentlichungen/allg_Schulwesen/Physik_MSA16-12-04.pdf (Stand: 16.3.2009)
- Lederman, N. G. (1995): Suchting on the nature of scientific thought: are we anchoring curricula in quicksand? *Science & Education*, 4, 371–377.
- Marzano, R. J., & Kendall, J. S. (2007). *The new taxonomy of educational objectives* (2. ed). Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- NRC – National Research Council (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Parker, J. C. & Rubin, L. J. (1966). *Process as content. Curriculum Design and the application of knowledge*. Chicago: Rand McNally & Company.
- Schwill, A. (1993). Fundamentale Ideen der Informatik. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 25(1), 20–31.
- Schwill, A. (1994). Fundamental ideas of computer science. *EATCS Bulletin* 53, 274–295.
- Spannagel, C. & Zendler, A. (2008a). Teaching Thinking in der Mathematik – Eine empirische Bestimmung zentraler Prozesse. *Notes on Educational Informatics – Section A: Concepts and Techniques*, 4(2), 33–46.
- Spannagel, C. & Zendler, A. (2008b). Prozessorientierte Informatikdidaktik: Welche Inhaltskonzepte sind relevant? *Notes on Educational Informatics - Section A: Concepts and Techniques*, 4(2), 19–32.
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical groupings to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58, 236–244.
- Zendler, A. & Spannagel, C. (2008). Empirical foundation of central concepts for computer science education. *Journal of Educational Resources in Computing*, 8(2), Art. No. 6.

Zender, A., Spannagel, C., & Klautt, D. (2008a). Process as content in computer science education: empirical determination of central processes. *Computer Science Education*, 18(4), 231–245.

Zender, A., Spannagel, C., & Klautt, D. (2008b). Zur Kombination von Inhalts- und Prozesskonzepten für den Informatikunterricht: eine empirische Grundlegung. *Notes on Educational Informatics - Section A: Concepts and Techniques*, 4(2), 1–18.