

Jung, Walter

## Physikspezifische entwicklungspsychologische Konzepte

*Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* : ZfDN 4 (1998) 1, S. 45-49



Quellenangabe/ Reference:

Jung, Walter: Physikspezifische entwicklungspsychologische Konzepte - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 4 (1998) 1, S. 45-49 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-314993 - DOI: 10.25656/01:31499

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-314993>

<https://doi.org/10.25656/01:31499>

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](mailto:pedocs@dipf.de)  
Internet: [www.pedocs.de](http://www.pedocs.de)

Digitalisiert

Mitglied der

  
Leibniz-Gemeinschaft

WALTER JUNG

## Physikspezifische entwicklungspsychologische Konzepte

### Kurzfassung:

Kompensations- und Erhaltungsvorstellungen spielen in Piagets Theorie zur Entwicklung der kognitiven Ausstattung des Individuums eine wichtige Rolle. Anhand der Erklärung von einfachen Stoßexperimenten (computersimuliert und real durchgeführt) wird diskutiert, welche Rolle diese Vorstellungen bei der Deutung von Phänomenen im Bereich der Newtonschen Physik spielen können. Es zeigt sich, daß die Dinge in aller Regel weniger einfach liegen, als die Theorie von Piaget es erscheinen läßt.

### Abstract:

Compensation and conservation are core schemata in Piaget's theory of cognitive development. Students' attempts to explain simply experiments on giving moving bodies (in reality and also in computer simulations) additional velocity by pushing them in a particular direction are employed to discuss difficulties of the two schemata as described by Piaget.

### 1. Kompensation und Erhaltung

Neben Invarianz, Reversibilität und Transitivität spielt bei Piaget Kompensation eine wichtige Rolle in der Entwicklung der kognitiven Ausstattung des Individuums. Bei den bekannten Umgießversuchen z.B. erkennt nach Piaget ein Kind die Invarianz des Volumens deshalb nicht, weil es das Schema der Kompensation nicht hat bzw. es nicht heranzieht. Dieses Schema ist allerdings als ein logisches schwer formulierbar. Denn es ist in aller Regel eine empirische Frage, ob die gegenläufige Veränderung von zwei relevanten Variablen wirklich zu einer Kompensation im Sinne der Erhaltung führt. Das ist sogar beim Volumen einer Flüssigkeit so. Denn selbst unter Normalbedingungen führt das Umgießen in ein schmaleres Gefäß zu einer Volumendepression, die freilich weit unter den Meßmöglichkeiten liegt. Die bloß theoretische Erwägung einer solchen Depression reicht jedoch vollkommen aus, um zu beweisen, daß es sich nicht um eine Frage von Logik handelt, wobei ich Logik im strikten Sinn als Methode zur rein formalen Prüfung von Herleitungen von Aussagen aus Aussagen verstehe (z.B. Quine, 1963). Wichtig für die kognitive Leistungsfähigkeit ist nicht die Vorstellung einer Erhaltung durch Kompensation, sondern die Berücksichtigung der Tatsache, daß mehrere Variablen beteiligt sind,

daß sie zugleich verändert werden, daß man sich daher nicht ohne weitere Untersuchung auf eine beschränken darf. Die Reduktion auf die Beachtung nur einer Variablen kommt in den verschiedensten Kontexten vor; dies ist leicht erklärlich aus dem Bedürfnis nach Datenreduktion, dem jeder Organismus unterliegt. Soviel ist inzwischen weithin bekannt und akzeptiert. Aber es gibt nicht genügend Beispiele für fachspezifische Konkretionen.

Das Datenmaterial, das Spill zur Newtonschen Dynamik erhoben hat (Spill, 1991; Jung, Wiesner, Spill & Blumör, 1992), enthält gute Beispiele für Kompensationsdenken, mit und ohne Erhaltung. Dabei geht es um folgende Situation: Zwei Scheiben (Abb. 1)

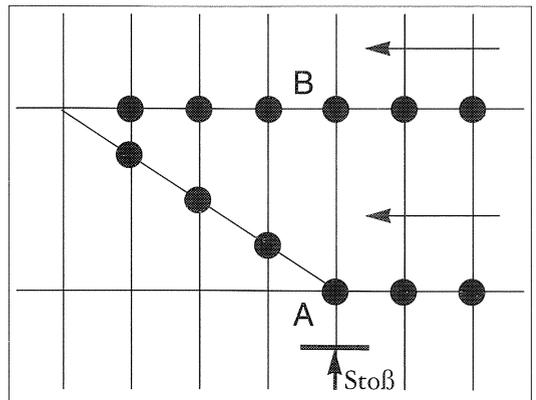


Abb. 1: Zwei parallel laufende Scheiben in einer Computersimulation. Scheibe A wird auf B zugestoßen, symbolisiert durch das „Stoßbrett“.

laufen reibungsfrei parallel mit gleichem konstantem Tempo, simuliert auf einem Computer-Display. Eine Scheibe wird senkrecht zur Bewegungsrichtung durch ein "Stoßbrett" (Jung, Reul & Schwedes, 1977; Jung, 1980) gestoßen. Die Frage ist: Bleiben die Scheiben "gleichauf"? Treffen sie aufeinander, wenn der Stoß auf die andere, parallel laufende Scheibe gerichtet ist? Natürlich kann man gute Gründe für die Vermutung finden, daß sie einander treffen bzw. gleichauf bleiben. Dazu muß man freilich an formales Argumentieren gewöhnt sein. Zwei Überlegungen sind einschlägig.

(a) Hier geht es um den Wechsel des Bezugssystems. Betrachtet man den Vorgang im Ruhesystem der parallel laufenden, ungestörten Scheibe, ist klar, daß die Scheiben einander treffen werden - wie es geschieht, wenn beide Scheiben vor dem Stoß die Geschwindigkeit Null haben. Das Problem ist hier, daß man unsicher werden kann hinsichtlich der Richtung des Stoßes. Stellt man sich den Stoß als durch Bewegung (eines Stoßbretts) realisiert vor, dann verläuft diese Bewegung im Ruhesystem der parallel laufenden Scheibe schräg (Abb. 2). Erfahrungsgemäß haben die

licherweise ist die Diskrepanz zwischen Stoßrichtung und Bewegungsrichtung des "Stoßbretts" ein Grund dafür: Man kann entweder in dem einen, oder in dem anderen System auf die Scheibe B zu stoßen, aber nicht zugleich in beiden, das ist die Intuition. Um dagegen anzugehen, muß man komplizierte Betrachtungen anstellen, z.B. über Reibung bzw. über die Rolle der Stoßzeit für die Reibung, und über die Richtung der Einwirkung des "Stoßbretts". Man muß überlegen, daß die Einwirkungsrichtung immer senkrecht zur Oberfläche erfolgt, Reibungsfreiheit vorausgesetzt. Das generelle Problem ist, wie sich in gegeneinander bewegten Systemen überhaupt einvernehmlich Richtungen beschreiben lassen.

Übrigens sollte man sich die Vermittlung des (Galileischen) Relativitätsprinzips im Unterricht nicht zu einfach vorstellen. Es hat wenig Überzeugungskraft zu erklären, alle (inertialen) Bezugssysteme seien gleichberechtigt. Das ist für die Lernenden unglaubwürdig, denn bei den meisten Problemen gibt es ein ausgezeichnetes System, z.B. im Straßenverkehr oder bei einer Mondlandung. Das sollte man nicht durch die Behauptung eines mißverständlich formulierten Relativitätsprinzips überspielen. Seine korrekte Fassung ist nicht einfach zu verstehen. Für den Anfang genügt es, wenn der Lernende versteht, daß das ausgezeichnete System durch das Problem bestimmt ist. Es handelt sich also um eine Frage der Ökonomie der Anwendung von Physik. Wird das verstanden, wird der Weg zum Verständnis des Relativitätsprinzips jedenfalls offen gehalten.

(b) Die zweite Überlegung geht davon aus, daß die Stoßrichtung (im Laborsystem betrachtet), symmetrisch zur Bahn von A erfolgt: Es wird weder in der Bewegungsrichtung von A (vor dem Stoß) noch gegen sie gestoßen, daher kann der Stoß die Scheibe in dieser Richtung weder schneller noch langsamer machen. Die Schwierigkeit ist hier, daß man den Vorgang auch anders sehen kann, und dann verschwindet die Symmetrie. Denn die Scheibe A hat eine Geschwindigkeit quer zur Stoßrichtung, sie "trifft" gleichsam auf

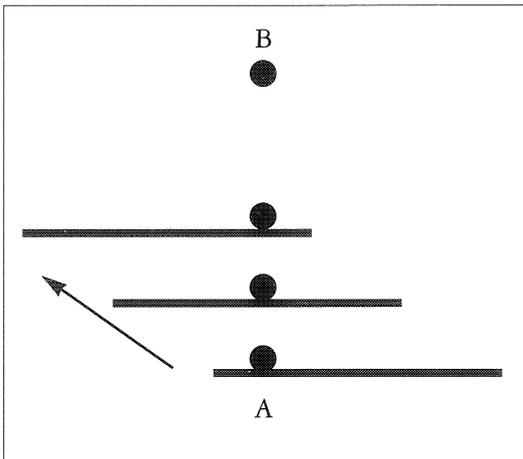


Abb. 2: Im Ruhesystem der Scheibe B bewegt sich das Stoßbrett schräg nach links. Wenn keine Reibung der Scheibe am Stoßbrett vorliegt, ist dennoch die Stoßrichtung stets senkrecht zur Brettoberfläche, d.h. auf B gerichtet.

bisher untersuchten Schüler große Schwierigkeiten mit einer Betrachtung, die auf dem Wechsel des Bezugssystems beruht, und mög-

den Stoß von der einen Seite, aber nicht von der anderen. Hat jemand diese Sichtweise, greift die erwähnte Symmetrieüberlegung nicht. Dabei kann noch die Schwierigkeit hinzukommen, daß ein Überlagerungsschema fehlt: Die Vorstellung ist höchst plausibel, daß ein Körper nur eine Geschwindigkeit haben könne, und nicht mehrere zugleich (s.u.).

Im übrigen wird man nicht erwarten dürfen, daß Lernende ohne entsprechende Schulung die erwähnten Betrachtungen anstellen. Was sich tatsächlich als Antworten anbietet, sieht man aus Spills Befragungsergebnissen. Es sind im wesentlichen zwei:

- Die Scheiben bleiben gleichauf bzw. treffen einander, weil die gestoßene, schräg laufende Scheibe zwar einen längeren Weg zurücklegt, dafür aber ein größeres Tempo hat. Das ist die häufigste Antwort.
- Andere sagen, der längere Weg werde durch das veränderte Tempo nicht ausgeglichen.

Dies ist ein schönes Beispiel für "Erhaltungslogik", die keine Logik ist<sup>1</sup>. Weshalb sollte denn das Tempo gerade so erhöht werden, daß der längere Weg genau kompensiert wird? Ohne weitere Voraussetzungen ist das logisch nicht stringent. Man kann sich leicht Welten vorstellen, in denen der Stoß z.B. die Anfangsgeschwindigkeit "vernichtet", ganz oder zum Teil. Es wäre eine kompliziertere Welt als die, in der wir leben, aber sie auszuschließen, ist keine Frage von Logik, sondern von Prämissen.

Etwas anders liegen die Verhältnisse, wenn die Befragten über eine Variable selbst verfügen können. Bislang haben wir den Fall betrachtet, daß sie alle relevanten Variablen als belegt vorfanden, Anfangsgeschwindigkeit, Masse und Stoß. In Spills Befragung gibt es aber auch offenere Situationen. Die Scheibe wird z.B. real, d.h. nicht in einer Computersimulation, von einem Luftstrom "gestoßen", der durch ein Gebläse erzeugt wird. Wenn die Scheibe den Bereich der Gebläseeinwirkung verläßt, bewegt sie sich

wieder mit konstanter Geschwindigkeit, aber um einen Winkel gegenüber der Anfangsgeschwindigkeit abgelenkt, genau wie beim Stoß mit dem Stoßbrett, bei dem die Stoßzeit und damit die Einwirkungszone normalerweise nicht wahrgenommen wird.

Eine Frage ist nun z.B., ob man auch mit einem schwächeren Gebläse, sagen wir einem halb so starken, denselben Ablenkwinkel bei der gleichen Scheibe erreichen kann. Das ist wieder eine "Erhaltungsaufgabe", bei der aber nur eine Variable vorab belegt ist. Was kann man als Antwort erwarten? Nun, ein Ja, dessen Erläuterung enthüllt, durch welche weitere Variable die Befragten glauben, die Ablenkung beeinflussen zu können. Die im Rahmen der Newtonschen Dynamik richtige Antwort ist, man müsse die Einwirkungszeit verdoppeln, um denselben Ablenkwinkel zu erzielen, also eine Annäherung an  $\Delta p = F \Delta t$ . Im Datenmaterial findet man z.B. die folgenden zwei Antworttypen:

- "Wenn die Einwirkungszeit länger ist, dann könnte die auch dieselbe Richtung und denselben Winkel schaffen."
- "Wenn man die Hälfte der Stärke nimmt, dann die doppelte Breite."

Bezüglich der zweiten Antwort ist anzumerken, daß man sie nicht ohne weiteres als im Sinne der Newtonschen Dynamik richtige Antwort klassifizieren darf. Das wäre nur dann der Fall, wenn die Prämisse die Erhaltung der Anfangsgeschwindigkeit wäre, samt des Zusammenhangs "Breite=Anfangsgeschwindigkeit  $\Delta t$ ". Das kann man bei Lernenden i.a. nicht unterstellen.

Jedenfalls wird in beiden Antworttypen stillschweigend angenommen, daß die Aufgabe lösbar ist, allerdings mit Hilfe von zwei unterschiedlichen Variablen, d.h. die Vorstellung ist, daß man die Erhaltung (des Winkels) erzwingen kann. Es ist interessant sich zu vergegenwärtigen, daß diese entscheidende Auffassung, die "Erhaltung" des Ablenkwinkels ließe sich erzwingen, nicht ohne weiteres auf die Erhaltung der Anfangsgeschwindig-

<sup>1</sup> Wodzinski hat aufgrund ihres Datenmaterials eine zweckmäßige Differenzierung eingeführt, nämlich den „Erhaltungsaspekt“ im Unterschied zum „Beibehaltungsaspekt“ (Wodzinski, 1996, Sektion 4.8). Dies ist ein weiteres Beispiel dafür, wie sich Schemata fachspezifisch differenzieren und modifizieren.

keit übertragbar ist. Dies gilt nämlich dann nicht, wenn das Konzept einer Geschwindigkeitskomponente nicht verfügbar ist. Es wäre aber nützlich zu erfahren, ob man Lernenden mit der Frage, ob es möglich ist, die Erhaltung der Anfangsgeschwindigkeit zu erzwingen, helfen kann, Überlegungen wie oben unter (b) skizziert anzustellen. Bislang steht ein Versuch dazu aus.

## 2. Formales Denken: Das Beispiel der Geschwindigkeit

“Die gedankliche Zerlegung einer gegebenen Bewegung in Komponenten - hat ein Gegenstand mehrere Geschwindigkeiten oder nur eine? - stellt für Schüler ein erhebliches Problem dar”. So schreibt Spill (1991) in seinem Bericht.

Hier handelt es sich um die Schwierigkeit, “formal” zu denken. Dabei lege ich die verschiedenartigen Äußerungen Piagets so aus, daß formales Denken die Fähigkeit beinhaltet, hypothetisch und damit in einem Raum von Irrealitäten zu denken. Das Beispiel zeigt wiederum, daß es wichtig ist, das Konzept im jeweiligen Kontext zu betrachten. Die von Spill beschriebene Schwierigkeit beim Geschwindigkeitsbegriff läßt sich nämlich auch so beschreiben: Die Schüler denken im Rahmen eines Substanz-Attribut-Schemas, während hier ein Denken in Relationen gefordert ist. Bisher ist noch nicht untersucht worden, ob ein Diskurs über dieses Schema bzw. den Wechsel zu einer relationalen Denkweise den Übergang in formales Denken vorbereitet, erleichtert oder in Gang setzt.

Selbst der Autor Spill formuliert in der Sprache von Substanz und Attribut, wenn er fragt, “hat der Gegenstand eine oder mehrere Geschwindigkeiten?” Auch Erwachsene haben diese Vorstellung einer “Eigengeschwindigkeit”, d.h. einer wahren Geschwindigkeit. Relativgeschwindigkeiten werden zwar anerkannt, aber sie werden als künstlich und sekundär angesehen (s. auch Jung, 1983). In der Newtonschen Dynamik geht man jedoch davon aus, daß Geschwindigkeit kein (akzidentelles) Attribut ist, das ein Körper “hat”, sondern eine Größe, die eine Beziehung eines

Körpers zu anderen Körpern beschreibt. Statt mit  $v(x)$  hat man es mit dem Relationsprädikat  $v(x, y, z, \dots)$  zu tun, d.h. mit “x steht in Relation v zu y, z, ...”.

Tatsächlich ist auch diese Festlegung noch zu einfach, es gibt darin noch gebundene Variablen. Man muß nämlich noch erklären, wie die Messung erfolgen soll. Stillschweigend denken wir das als etwas nicht Verfügbares mit. Es ist ein “default value” im Sinne von Minskis Schemabegriff. Man muß also erklären, wie Abstände und Zeitintervalle gemessen werden.

Daß das nicht trivial ist, kann eine einfache Überlegung zeigen. Üblicherweise verfährt man so, daß man eine Strecke  $P_1$  bis  $P_2$  im System  $y, z, \dots$  mit ruhenden Maßstäben mißt, und das Zeitintervall durch in diesem System ruhende und synchronisierte Uhren. Doch kann man auch anders verfahren, nämlich man mißt Streckenlängen wie zuvor, aber die Zeit durch mitbewegte Uhren. Anschaulich gesprochen: Ein Fahrer liest auf seiner Stoppuhr die Zeit zum Durchfahren der Strecke von  $P_1$  bis  $P_2$  ab. Wir wissen heute, daß dieses Verfahren zu einer anderen Geschwindigkeit führt. Im ersten Fall gibt es eine endliche Grenzgeschwindigkeit, im zweiten Fall nicht.

Die Frage, welche Geschwindigkeit ein Körper “hat”, ist sinnlos. Die Geschwindigkeit, für die wir uns gerade interessieren, ist die, die den Gegenstand zu einem relevanten System durch ein relevantes Verfahren in Beziehung setzt. Wenn ein Raumschiff auf dem Mond landen soll, hat es wenig Sinn, die Geschwindigkeit auf die Erde zu beziehen, wichtig ist die Geschwindigkeit relativ zum Mond. Das heißt aber, wir sehen die gerade interessierende Geschwindigkeit als eine unter vielen möglichen anderen Geschwindigkeiten. Das ist hier formales Denken, vermittelt über das Denken in Relationsprädikaten (vgl. Jung, 1977, Sektion 2).

Die Schwierigkeit, die Schüler (und Erwachsene) mit der Komponentenzerlegung der Geschwindigkeit haben, könnte durch einen Meta-Diskurs über Geschwindigkeit gemildert werden. Ich sehe zwei Möglichkeiten.

(a) Man zieht wirklich zwei (oder mehr) Bezugssysteme heran. In dem hier diskutierten Beispiel könnte das z.B. das Ruhesystem der parallel laufenden Scheibe sein, die nicht gestoßen wird. In diesem System "hat" die gestoßene Scheibe dann die Geschwindigkeit  $\Delta v$ . Man kann auch eine zur Stoßrichtung parallel laufende Scheibe einführen, die mit der gestoßenen auf gleicher Höhe bleibt. In deren Ruhesystem "hat" die gestoßene Scheibe die Anfangsgeschwindigkeit vor dem Stoß. Um das irreführende "hat" zu vermeiden und den relationalen Charakter zu betonen, sollte man die Redeweise einführen: Das Meßverfahren schiebt einem Körper in einem Bezugssystem eine Geschwindigkeit(sgröße) zu. Man sieht dann, daß man problemlos einem Körper zwei Geschwindigkeiten zuordnen kann. Und dann ist der Weg nicht mehr weit zu der Einsicht, daß man dem Körper unendlich viele Geschwindigkeiten zuschreiben kann, wobei drei in einem System genügen, um alle zu erzeugen - das wäre die nächste übergeordnete Einsicht.

(b) Man kann die Zuschreibung von Geschwindigkeiten auch anders vornehmen, indem man die Bewegung auf Achsen projiziert. "Die" Geschwindigkeit ist dann ein Sonderfall, nämlich die Projektion auf eine Achse parallel zur Bewegungsrichtung. Anschaulich läßt sich das deuten als verschiedene Blickwinkel auf die Bewegung. Spill hat dieses Verfahren durch Indikatorpfeile auf den Achsen am Rand des Computer-Display simuliert.

Auch bei diesem zweiten Verfahren muß deutlich werden, daß es sich um Zuschreibungen handelt, die von der Wahl der Achsen abhängen. Hier sind die Achsen gerade so wenig willkürlich wie im Fall des ersten Verfahrens die gewählten Bezugssysteme.

Die Frage ist, ob eines dieser Verfahren sachgerechter ist. Ohne Zweifel ist das erste Verfahren angemessener. Denn es führt in seiner Konsequenz zu der Einsicht, daß es "die" Geschwindigkeit des Körpers gar nicht gibt. Beim zweiten Verfahren liegt die Gefahr auch für den Lehrer nahe, diese Projektionen als die der "wahren" Geschwindigkeit anzusehen: Das der Betrachtung zugrundeliegende Labor-

system wird nicht relativiert. Da erfahrungsgemäß Bezugssysteme für Schüler problematisch sind, wird man sich, je nach Beurteilung der Fähigkeiten der Lerngruppe, gegebenenfalls mit dem zweiten Verfahren begnügen müssen in der Hoffnung, es später relativieren zu können. Daß die Art, wie die Messungen erfolgen, vom Standpunkt der Lorentz-Invarianz naiv ist, wird man i.a. ebenfalls in der Schule nicht einsichtig machen können. Die Idee "learning relativity from scratch" (Feyerabend) ist nicht praktikabel (vgl. Jung, 1980, 23 und Jung et al. 1977, 125).

### Literatur

- Beth, E.W. (1962). *Formal Methods*. Dordrecht, Niederlande: D. Reidel.
- Jung, W., Reul, H. & Schwedes, H. (1977). Untersuchungen zur Einführung in die Mechanik in den Klassen 3 - 6. Frankfurt a.M.: Diesterweg-Salle.
- Jung, W. (1977). Zur Einführung des Kraftbegriffs. *physica didact* 4, 171-187.
- Jung, W. (1980). *Mechanik für die Sekundarstufe I*. Frankfurt a.M.: Diesterweg-Salle.
- Jung, W. (1983). Sprache und Physiklernen. Zur Beschreibung von Bewegung. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, 10, 335-339.
- Jung, W., Wiesner, H., Spill, L. & Blumör, R. (1992). Lernprozesse in Mechanik. Abschlußbericht des DFG-Projekts Ju 150/4-1 und Ju 150/4-2. Nicht veröffentlicht.
- Spill, L. (1991). Schülervorstellungen zum Stoß. Ergebnisse einer Schülerbefragung. In H. Wiesner (Hrsg.). Aufsätze zur Didaktik der Physik II. Bad Salzdetfurth: Franzbecker, 231-241.
- Wodzinski, R. (1996). Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht. Münster: LIT Verlag.
- Quine, W.V.O. (1963). *Methods of Logic*. Revised Edition. New York et al.: Holt, Reinhart and Winston.

Dr. h.c. Walter Jung ist emeritierter Professor für Didaktik der Physik an der Universität Frankfurt

Professor Dr. Walter Jung  
Am Grundweg 27  
64342 Seeheim-Jugenheim