

Svenja Rautenberg
Heiko Krabbe
Rainer Wackermann

Ruhr-Universität Bochum

Prototypische Aufgaben zum vertikalen und horizontalen Lernen mit dem Lichtwegekonzept in der Optik

Vernetzung und Transfer machen Wissen flexibel nutzbar und sind Voraussetzung für das Weiterlernen in einem Inhaltsgebiet (vertikaler Lerntransfer) und die Anwendung des Gelernten in unterschiedlichen Situationen (horizontaler Lerntransfer) (Ausubel & Robinson, 1969; Gagné, 1975; Weinert, 1998; Klauer, 2011). Schülerinnen und Schüler müssen neu erlerntes Wissen in möglichst vielen und sehr unterschiedlichen Kontexten anwenden (Gagné, 1975). Unterrichtsanalysen zeigen jedoch, dass Transfer und Vernetzungsphasen eher selten im Physikunterricht vorkommen (z.B. Wackermann, Trendel & Fischer, 2010; Krabbe, Zander & Fischer, 2015). Neu erlerntes Wissen wird häufig jedoch nur auf Beispiele mit eingeschränkter Reichweite angewendet (Perkins & Salomon, 1992). Ein Problem dabei ist, die erforderlichen Transferleistungen von Lernenden richtig einzuschätzen. Die Entfernung des Kontextes der Transferaufgabe zum Kontext der ursprünglichen Lernaufgabe wird als Transferdistanz bezeichnet, allerdings wird diese nicht detaillierter als „nah“ und „weit“ operationalisiert (vgl. Gagné, 1975; Perkins & Salomon, 1992). Auch in Hinblick auf vertikalen Transfers mangelt es neben Gagnés Theorie an allgemeingültigen Kriterien zur Einschätzung der Transferleistung. Es ist somit zwingend notwendig Kriterien zu entwickeln, mit denen sich die Transferleistung vertikal und horizontal einschätzen lässt. Für die Einbindung des Transfers in den Unterricht bedarf es eines Aufgabenentwicklungsmodells, welches den vertikalen und horizontalen Transfer so operationalisiert, dass passgenaue Aufgaben konstruiert werden können, mit welchen die Vernetzungs- bzw. Transferleistung der Schüler gesteuert und der Erfolg dieser Phasen im Unterricht gemessen werden kann.

Zwar existieren einige Ansätze zur Modellierung der vertikalen Vernetzung in der Physik und damit zum kumulativen Lernen (Weber, 2003; Neumann, Fischer & Sumfleth, 2008), jedoch fehlen vergleichbare Modelle zum horizontalen Transfer. Im deutschsprachigen Raum werden die beiden Begriffe Vernetzung und Transfer nicht klar voneinander abgegrenzt. Es ist oft nicht eindeutig, wann es sich um Transfer handelt und wann um Vernetzung. Um diese Problematik zu umgehen, werden hier beide Begriffe nicht differenziert, sondern unter dem Begriff „Lernen“ vereint. Es wird folglich zwischen vertikalen und horizontalen Lernen unterschieden (Ausubel & Robinson, 1969; Gagné, 1975; Weinert, 1998).

Vertikales Lernen meint einen aufbauenden Erwerb neuer Fähigkeiten durch die Verknüpfung bereits erworbener Fähigkeiten auf einem höheren Komplexitätsniveau. Gagné (1975) beschreibt dies als eine hierarchische Abfolge von Lerntypen, z. B. Begriffe, Regeln, Regeln höherer Ordnung und Problemlösen, die sukzessive durchlaufen werden müssen. Unterricht, der vertikales Lernen fördert, muss sich an den progressiven Komplexitätsniveaus in der Lernhierarchie orientieren und kumulativ gestaltet sein.

Horizontales Lernen meint indes das Transferieren des erlernten Wissens in andere Kontexte auf demselben Komplexitätsniveau. Man unterscheidet hier nahes und weites horizontales Lernen (Gagné, 1975; Perkins & Salomon, 1992). Das nahe horizontale Lernen sorgt hierbei für eine Steigerung der Performanz, so dass das „Anwenden des Erlernten“ zu einem reflexartigen bzw. spontanen Vorgang wird (Perkins & Salomon, 1992). Weites horizontales Lernen dient hingegen der Erkennung von abstrakten Prinzipien, Kernideen oder Prozeduren, die in vielen Situationen anwendbar sind und in vielseitig anwendbaren Lehr-Lernumgebungen erworben werden (Perkins & Salomon, 1992). Gemäß Klauer (2011) muss

zudem die Aufgabenstruktur (Grundstruktur) stets erhalten bleiben, wenn der Kontext variiert werden soll.

Aufgabenentwicklungsmodell

Mithilfe der in der Theorie erarbeiteten Kriterien zum vertikalen und horizontalen Lernen wurde das, in Abb. 1 vorliegende, Aufgabenentwicklungsmodell erstellt.

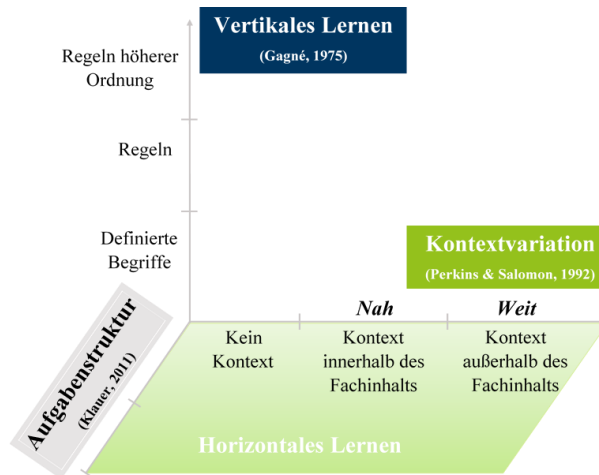


Abb. 1: Aufgabenentwicklungsmodell zum vertikalen & horizontalen Lernen

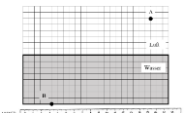
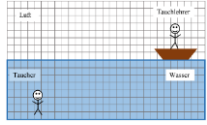


Die Achse zum vertikalen Lernen orientiert sich hierbei an Gagnés (1969) Lernhierarchien. Auf den Lerntyp „Problemlösen“ als oberste Stufe der vertikalen Achse wurde verzichtet, da jede neuartige Aufgabe auf jeder vertikalen Stufe ein zu lösendes Problem sein kann. Jede höhere Stufe beinhaltet kumulativ die darunterliegenden Stufen und führt sie durch ein allgemeineres Prinzip zusammen.

Das horizontale Lernen wird durch zwei Achsen operationalisiert: eine Achse zur Kontextvariation und eine Achse zur Aufgabenstruktur. Der explizite Fokus auf die Aufgabenstruktur ist notwendig, um der Forderung nach Strukturgleichheit bei der Variation des Kontexts (Klauer, 2011) gerecht zu werden. Zugleich nimmt diese Achse die Möglichkeit der Aufgabenvariation auf demselben Komplexitätsniveau und im gleichen Kontext (z. B. als Umkehraufgabe) in den Blick. Auf der Achse „Kontextvariation“ stellen die Aufgaben ohne Kontext den abstrakten und rein fachlichen Kern dar. Darüber hinaus wird zwischen nahem und weiten horizontalen Lernen unterschieden. Dies soll mit Perkins und Salomons (1992) Unterscheidung „low road“ und „high road“ Transfer einhergehen. Realisiert wird dies in diesem Modell zum einen durch eingekleidete Aufgaben, bei denen der Kontext nicht relevant zum Lösen der Aufgabe ist und die dadurch den Aufgaben ohne Kontext in der Struktur gleichen („Kontext innerhalb des Fachinhalts“). Zum anderen wird dies durch strukturgleiche Aufgaben mit anderem physikalischen Kontext, einem Kontext aus einem anderen naturwissenschaftlichen Fach oder einem Kontext außerhalb der Physik bzw. den Naturwissenschaften („Kontext außerhalb des Fachinhalts“) realisiert.

Prototypische Aufgaben zum Lichtwegekonzept

Mithilfe dieses Modells wurden exemplarisch Aufgaben zum vertikalen und zum horizontalen Lernen in der Optik konstruiert. Als Grundlage diente das Lichtwegekonzept von Erb und Schön (Erb 1992, 1994; Erb & Schön 1994, 1996; Schön 1993, 1994), welchem bereits die Idee des kumulativen, vertikalen Lernens zugrunde liegt (Weber, 2003). Dabei ist das Fermat-Prinzip die kumulierende Leitidee der Unterrichtsreihe. Durch diese Spezifizierung gliedert

sich die vertikale Achse in die beiden Regeln „Lichtwege sind kürzeste Wege“ und „Lichtwege sind schnellste Wege“. Der Fachinhalt liegt im Bereich der Optik (Reflexion, Brechung) mit entsprechenden Kontextvariation. In Tab. 1 sind Aufgabenbeispiele mit gleicher Aufgabenstruktur zu beiden vertikalen Stufen und allen drei Formen der Kontextvariation angegeben.

Lichtwege sind schnellste Wege	 <p>Bestimme näherungsweise den schnellsten der denkbaren Lichtwege zwischen Punkt A und B und zeichne diesen ein.</p>	 <p>Der Tauchlehrer muss seinen Schüler stets im Auge behalten. Bestimme wo der Tauchlehrer in etwa hinschauen muss, damit er den Taucher unter Wasser sehen kann. Zeichne den gesamten Lichtweg ein.</p>	<p>Der Rettungsschwimmer befindet gerade weiter abseits vom Schwimmbecken, als er sieht, wie jemand im Nichtschwimmerbecken ertrinkt und will diesen Mann retten. Bestimme näherungsweise den für den Rettungsschwimmer schnellstmöglichen Weg zu dem ertrinkenden Mann.</p>
Lichtwege sind kürzeste Wege	 <p>Bestimme näherungsweise zwischen A und B den kürzesten der denkbaren Lichtwege über den Spiegel und zeichne diesen ein.</p>	 <p>Trudi ist auf einer Tanzveranstaltung und sucht ihren Partner Hans. Da der Raum sehr voll ist, versucht sie es über den großen Spiegel. Bestimme wo Trudi in etwa hinschauen muss, damit sie Hans im Spiegel sehen kann. Zeichne den gesamten Lichtweg ein.</p>	<p>Ein Löschfahrzeug samt Einsatztrupp ist auf dem Weg zu ihrer Einsatzstelle. Als erstes muss der Trupp jedoch zu seinem Einsatzleiter, welcher sich an der Absperrgrenze aufhält. Bestimme, wo sich der Einsatzleiter an der Absperrgrenze in etwa positionieren muss, damit der Einsatztrupp den kürzt möglichsten Weg vom Löschfahrzeug über ihn zur Einsatzstelle zurücklegt. Die Einsatzstelle befindet sich dabei auf der gleichen Höhe, wie das Löschfahrzeug.</p>
Ohne Kontext	Kontext innerhalb der Optik	Kontext außerhalb der Optik	

Tab. 1: Prototypische Aufgaben zum Lichtwegekonzept (Aufgabenstruktur I)

In allen Aufgaben liegt die Position des zu beobachtenden Objekts fest und der Lichtweg über die reflektierende bzw. brechende Ebene ist zu konstruieren. Eine zweite mögliche Aufgabenstruktur besteht darin, dass die Blickrichtung auf den Spiegel bzw. auf das Medium gegeben ist und die Position des beobachteten Objekts konstruiert werden muss.

Diskussion und Ausblick

Insgesamt wurden 56 Aufgaben zu diesem Modell konstruiert. Diese sind unterteilt in vier Aufgaben ohne Kontext (zwei vertikale Niveaus gekreuzt mit zwei Aufgabenstrukturen), 48 Aufgaben zu 12 Kontexten innerhalb der Optik und weitere vier Aufgaben mit Kontext außerhalb der Optik. Mit diesen Aufgaben kann das Modell nun empirisch untersucht werden. Zunächst müssen die angenommenen Hierarchien des vertikalen und horizontalen Lernens überprüft werden. Anschließend können Einflussfaktoren auf die Kontextdistanz unter Berücksichtigung der Aufgabenstruktur empirisch bestimmt werden. Langfristig sollen so Anhaltspunkte für die Gestaltung von Vernetzungs- bzw. Transferphasen im Unterricht gewonnen werden.

Literatur

- Ausubel, D.P., Robinson, F.G. (1969). *School Learning. An Introduction to Educational Psychology*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Erb, R. (1992). Geometrische Optik mit dem Fermat-Prinzip. *Physik in der Schule*, 30(9), 291-295.
- Erb, R. (1994). *Optik mit Lichtwegen*. Magdeburg: Westarp Wissenschaften Verlag.
- Erb R., Schön, L. (1994). Lichtwege – zentrales Element unseres Optik-Lehrganges. In *Zur Didaktik der Physik und Chemie* (Bd. 14, S. 244-246). Alsbach: Leuchtturm Verlag.
- Erb, R., Schön L. (1996). Vom Sehen zur Optik – Ein Curriculum für die Mittelstufe. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik*, 45(8), 31-36.
- Gagné, R.M. (1975). *Die Bedingungen des menschlichen Lernens*. Hannover: Hermann Schroedel Verlag. 4. Auflage.
- Klauer, K.J. (2011). *Transfer des Lernens. Warum wir oft mehr lernen als gelehrt wird*. Stuttgart: W. Kohlhammer Verlag.
- Krabbe, H., Zander, S., Fischer, H.E. (2015). *Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht: Materialien zur Lehrerfortbildung*. Münster: Waxmann Verlag.
- Lersch, R. (2010). *Wie unterrichtet man Kompetenzen? Didaktik und Praxis kompetenzfördernden Unterrichts*. Wiesbaden: Hessisches Kultusministerium – Institut für Qualitätsentwicklung.
- Neumann, K., Fischer, H.E., Sumfleth, E. (2008). Vertikale Vernetzung und kumulatives Lernen im Chemie- und Physikunterricht. In Lankes, E.-M. (Hrsg.), *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung*. (S. 141-152). Münster: Waxmann Verlag.
- Perkins, D.N., Salomon, G. (1992). *Transfer of Learning*. In *International Encyclopedia of Education* (Vol. 2, S. 2-13). Oxford: Pergamon Press.
- Schön, L. (1993). Vom Sehen zur Optik. Ein Curriculum für die Mittel- und Oberstufe. In *Zur Didaktik der Physik und Chemie* (Bd. 13, S. 271-273). Alsbach: Leuchtturm Verlag.
- Schön, L. (1994). Ein Blick in den Spiegel. Von der Wahrnehmung zur Physik. *Physik in der Schule*, 32(1), 2-5
- Wackermann, R., Trendel, G., Fischer, H.E. (2010). Evaluation of a Theory of Instructional Sequences for Physics Instruction. *International Journal of Science Education*, 32 (7), 963 – 985.
- Weber, T. (2003). *Kumulatives Lernen im Physikunterricht. Eine vergleichende Untersuchung in Unterrichtsgängen zur geometrischen Optik*. Berlin: Logos Verlag.
- Weinert, F. E. (1998). Neue Unterrichtskonzepte zwischen gesellschaftlichen Notwendigkeiten, pädagogischen Visionen und psychologischen Möglichkeiten. In Bayerisches Staatsministerium (Hrsg.), *Wissen und Werte für die Welt von morgen. Dokumentation zum Bildungskongress des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst* (S. 101-125). München.