

Das Fermat-Prinzip in der Schule

Thomas Weber, Lutz-Helmut Schön

(aus: *Zur Didaktik der Physik und Chemie* 20, S. 309-311. Alsbach : Leuchtturm. Posterbeitrag auf der Tagung für Didaktik der Physik und Chemie 1999 in München)

Vorbemerkung

In dem von Erb und Schön unter dem Namen "Lichtwegkonzept" entwickelten Optikcurriculum (vgl. [Sch93, ES96]) ist es vorgesehen, die geometrische Optik in der Sekundarstufe I (Klasse 9/10) auf der Grundlage des Fermat-Prinzips aufzubauen. Zu diesem Teil des Konzepts wurden bisher einige Unterrichtsreihen durchgeführt, die in engem Zusammenhang mit der Entwicklung des Curriculums standen (vgl. [Erb94, SW99]). In einer weiteren unterrichtlichen Erprobung sollten nun einige spezielle Aspekte, die wir als maßgeblich für die Unterrichtskonzeption ansehen, genauer untersucht werden.

1 Inhaltlicher Aufbau des Unterrichtskonzepts

Das Curriculum ist so angelegt, dass es durch die Verwendung eines übergeordneten, verbindenden Prinzips, des Fermat-Prinzips, zu einer vertikalen Vernetzung der einzelnen Lerninhalte der geometrischen Optik kommt. Dieses Prinzip soll im Unterricht immer wieder aufgegriffen und dabei schrittweise genauer und umfassender formuliert werden. Bei der Erarbeitung wird ein phänomenologisches Vorgehen in dem Sinne angestrebt, dass die Schüler ausgehend von ihren Beobachtungen Regeln dafür suchen, wie sich das Licht "verhält" und die Vorstellung davon, was das Licht "ist" und woraus es "besteht", möglichst lange offengehalten wird.

2 Ziele und Durchführung der Erprobung

Ein wesentliches Ziel der Untersuchung war es, zu prüfen, ob sich die im Unterrichtskonzept beabsichtigte vertikale Vernetzung der Lerninhalte am Ende im erreichten Curriculum als vertikal vernetztes Wissen bei den Schülern nieder schlägt (vgl. [Bun97]). Daraus ergaben sich folgende Untersuchungsfragen:

1. Wie verändert sich die Wissensbasis der Lernenden infolge der Instruktion mit dem kohärent sequenzierten Lehrstoff?
2. Wirkt sich die im Unterrichtskonzept angelegte vertikale Vernetzung der Lerninhalte als "Mitnahmeeffekt" auf das Weiterlernen im nachfolgenden Unterricht aus?

Um das Konzept umsetzen zu können, wurde ein Skript für eine Einheit von 14 Unterrichtsstunden erstellt, das neben Lernzielen und Verlaufsplanungen auch didaktische Hinweise, Experimentieranleitungen und -materialien, Arbeitsblätter und Aufgabenvorschläge sowie eine Computersimulation enthält. Dieses Skript wurde an drei Lehrer weitergegeben, die davon ausgehend im Schuljahr 1998/99 Unterricht in insgesamt vier Lerngruppen der Jahrgangsstufen 9 und 10 durchführten. Die Schüler hatten im allgemeinen Vorkenntnisse zur Optik aus dem lehrplanmäßigen Unterricht in Klasse 7 bzw. Klasse 8. In einer halben Lerngruppe war dieser Optikunterricht jedoch ausgefallen.

3 Ergebnisse der Datenerhebung

An der Erprobung des Unterrichts in den vier Lerngruppen nahmen insgesamt $n = 100$ Schüler teil. In einem Vor- und einem Nachtest wurden von allen Schülern concept maps angefertigt sowie ein Fragebogen ausgefüllt. Beim concept mapping erhielten die Schüler 22 vorgegebene Begriffe, die sie frei anordnen und durch Relationen verbinden sollten. Bei der Auswertung wurden die Relationen vorher festgelegten Kategorien zugeordnet und aus den Daten der Einzelnetze Modalnetze berechnet. Gegen Ende der Unterrichtsreihe wurde in allen Lerngruppen eine Klassenarbeit geschrieben, die ebenfalls ausgewertet werden sollte. Zusätzlich wurden mit einzelnen Schülern im Verlauf der Unterrichtsreihe Interviews durchgeführt. Bisher wurde allerdings nur eine geringe Zahl der erhobenen Daten in die Auswertung einbezogen, so dass die vorhandenen Ergebnisse vorläufigen Charakter haben.

Aus der Analyse der vor und nach dem Unterricht angefertigten concept maps, die wir als Repräsentation der Wissensstruktur der Schüler ansehen, erhoffen wir Hinweise auf Veränderungen der Wissensbasis. Abbildung 1 auf der nächsten Seite zeigt das Modalnetz einer Lerngruppe bei Beginn der Unterrichtseinheit. Zu diesem Zeitpunkt hat das Wissensnetz fragmentarischen Charakter; es zerfällt in insgesamt 5 Teilnetze, deren größtes 6 Begriffe enthält. Im Modalnetz der selben Lerngruppe nach Ende der Unterrichtseinheit (Abbildung 2 auf Seite 4) hat sich die Zahl der Teilnetze auf 3 reduziert und die Zahl der Begriffe im größten Teilnetz verdoppelt, so dass wir auf eine stärker zusammenhängende Wissensstruktur schließen können. Eine zentrale Position erhält im Modalnetz nach der Unterrichtsreihe der Begriff "Licht", von dem zahlreiche Verbindungen zu anderen Begriffen ausgehen. Dies deutet darauf hin, dass im Unterricht übergreifendes, konzeptuelles Wissen über das Licht aufgebaut werden konnte. Weitere Veränderungen betreffen die Qualität der Verbindungen. So hat sich die Zahl der einfachen Zuordnungen, die auf unsicheres Wissen hindeuten, von 12 auf 6 reduziert. Die Zahl der charakteristischen Merkmalsrelationen hat sich hingegen von 10 auf 19 erhöht, was möglicherweise auf den phänomenologischen Zugang zurückzuführen ist. Inwieweit solche Veränderungen auf die inhaltliche Struktur des Curriculums zurückzuführen sind und nicht bei jeder Instruktion auftreten, muss durch Vergleichsuntersuchungen gezeigt werden.

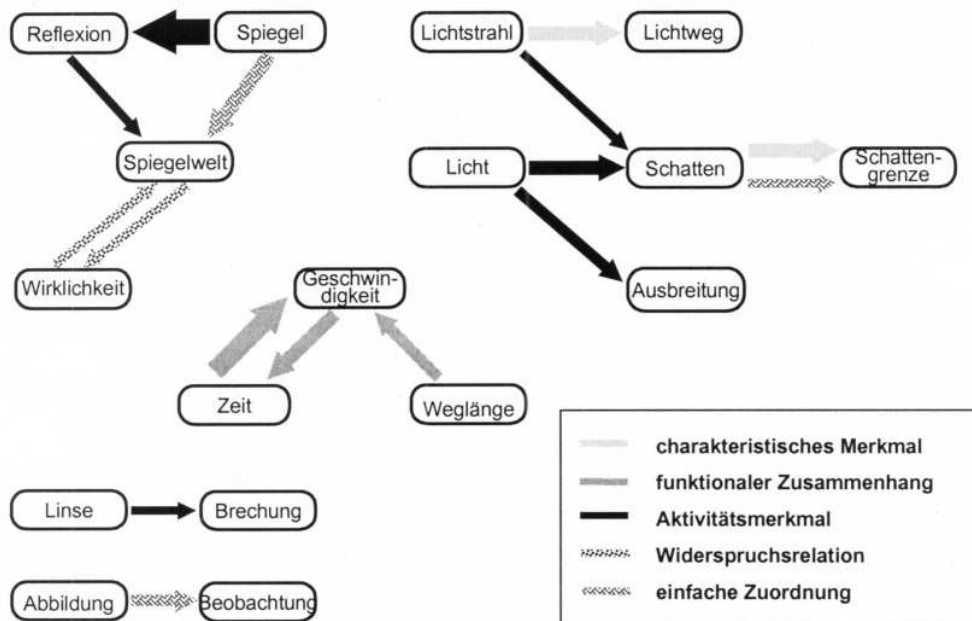


Abbildung 1: concept mapping vor dem Unterricht (Modalnetz, $n = 12$)

Als Maß für die Zentralität wurden die Hoede-Indices der einzelnen Begriffe in den Einzelnetzen berechnet. Die Bedeutungszunahme des Begriffs "Licht" wird auch darin deutlich, dass der zugehörige mittlere Hoede-Index im Laufe der Unterrichtseinheit von 3,5 auf 5,1 zugenommen hat. Der mittlere Hoede-Index des Begriffs "Weglänge" hat ebenfalls zugenommen, und zwar von 0,7 auf 1,8. Dieser Begriff stand als Schlüsselbegriff für die Bestimmung beobachtbarer Lichtwege bei vielen Arbeitsaufträgen sowie bei allen Formulierungen des Fermat-Prinzips im Mittelpunkt. Am stärksten abgenommen haben die mittleren Hoede-Indices der Begriffe Lichtstrahl (von 3,0 auf 2,5) und Lichtweg (von 2,2 auf 2,0). Mit dem Lichtstrahlmodell wurde im Unterricht nicht gearbeitet; der Begriff Lichtweg spielt zwar eine zentrale Rolle in unserem Konzept, wurde aber offenbar von vielen Schülern als Synonym zu dem weniger bedeutsamen Begriff Lichtstrahl angesehen.

Durch Analyse der Lösungen von Aufgaben aus einer Klassenarbeit sollte geprüft werden, inwieweit ein "Mitnahmeeffekt" eintritt, der dadurch gekennzeichnet ist, dass die Schüler auf früher erworbenes Wissen zugreifen, es zur Lösung neuer Problemstellungen nutzen und modifizieren können. Während nur zwei bzw. sechs von 13 Schülern erfolgreich die wenige Stunden vor der Klassenarbeit eingeführten Inhalte "Abbildungsgleichung" und "Breckkraft einer Linse" anwenden konnten, griffen jeweils neun Schüler erfolgreich auf die einige Wochen früher eingeführten Inhalte "optische und geometrische Weglänge" sowie "optische Abbildung" zurück. Dies erklären wir uns damit, dass in unserem Unterrichtskonzept einmal eingeführte Lerninhalte im nachfolgenden Unterricht konsequent weiterverfolgt und im Unterricht immer wieder aufgegriffen wurden.

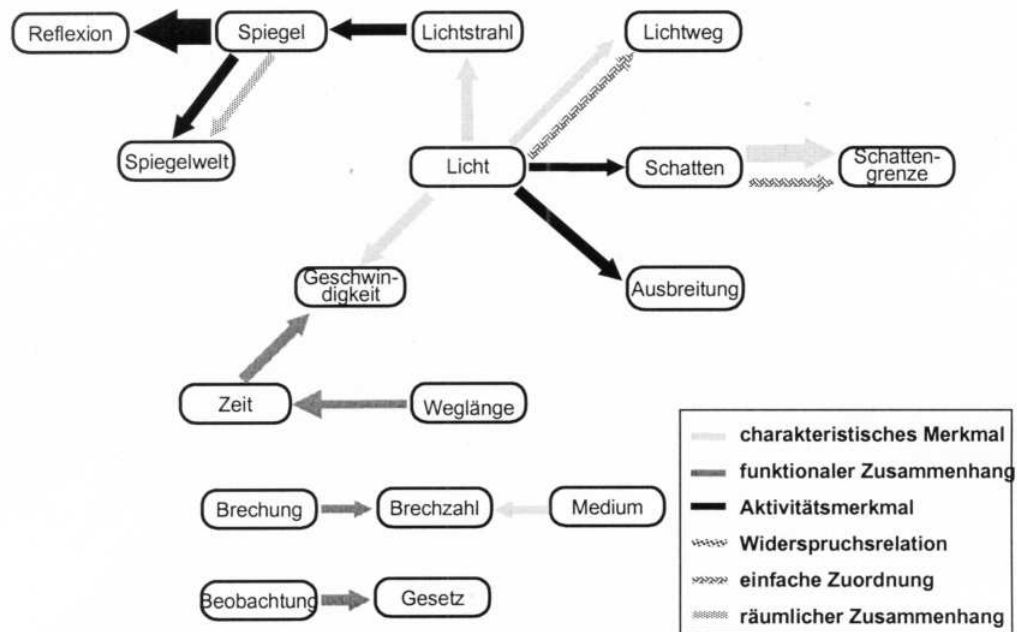


Abbildung 2: concept mapping nach dem Unterricht (Modalnetz, $n = 12$)

4 Ausblick

Aus dem derzeitigen Stand der Arbeit ergeben sich folgende Aufgaben für die nächste Zeit: Die erhobenen Daten müssen weiter bearbeitet werden, so dass eine größere Zahl ausgewerteter Fälle zuverlässigere Aussagen ermöglicht. Im laufenden Schuljahr soll in Kontrollgruppen eine vergleichbare Datenerhebung durchgeführt werden, so dass wir einen Maßstab für die Interpretation der vorhandenen Ergebnisse erhalten. Schließlich ist ebenfalls in diesem Schuljahr eine Nachuntersuchung geplant, in der geprüft werden soll, wie dauerhaft die Veränderungen in der Wissensstruktur der Schüler sind und ob sich der Mitnahmeeffekt auch auf den nachfolgenden Teil des Curriculums erstreckt.

Literatur

- [Bun97] BUND-LÄNDER-KOMMISSION FÜR BILDUNGSPLANUNG UND FORSCHUNGSFÖRDERUNG (Hrsg.): *Gutachten zur Vorbereitung des Programms "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts"*. Bonn, 1997. – In: Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung, H. 60
- [Erb94] ERB, R.: *Optik mit Lichtwegen – Das Fermat-Prinzip als Grundlage für das Verstehen der Optik*. Bochum, Magdeburg : Westarp-Wissenschaften, 1994. – Dissertation

-
- [ES96] ERB, R. ; SCHÖN, L.: Vom Sehen zur Optik – Ein Curriculum für die Mittelstufe.
In: *PdN-Physik* 45 (1996), Nr. 8, S. 31–36
- [Sch93] SCHÖN, L.: Vom Sehen zur Optik – Ein Curriculum für die Mittel- und Oberstufe.
In: BEHRENDT, H. (Hrsg.): *Zur Didaktik der Chemie und Physik – Vorträge der GDCP-Tagung in Erfurt 1992* Bd. 13. Alsbach : Leuchtturm, 1993, S. 271–273
- [SW99] SCHÖN, L. ; WERNER, J.: Vom Licht zum Atom. In: *Didaktik der Physik und Chemie*
Bd. 19. Alsbach : Leuchtturm, 1999