

Didaktische Rekonstruktion der Strahlentherapie

Axel-Thilo Prokop, Ronny Nawrodt

5. Physikalisches Institut, Abt. Physik und ihre Didaktik, Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart
a.prokop@physik.uni-stuttgart.de

Kurzfassung

Die Entwicklung des Lehr-Lern-Labors „Radioaktivität von A(tom) bis Z(erfall)“ schließt auch die medizinische Anwendung radioaktiver Stoffe bzw. deren ionisierender Strahlung ein. Die Entwicklung erfolgt auf Grundlage einer um die Perspektive der Lehrenden erweiterte Didaktische Rekonstruktion. Diese Erweiterung wird in dem Beitrag theoretisch umrissen. Die biologische Wirkung ionisierende Strahlung wird anhand der zugehörigen physikalischen, chemischen und biologischen Effekte differenziert und so für den Physikunterricht erschlossen.

1. Einleitung

Vorstellungen zur Radioaktivität sind bereits seit mehreren Jahrzehnten Untersuchungsgegenstand der Physikdidaktik. Beginnend mit Arbeiten Rieschs und Westphals [1] halten alle Veröffentlichungen in Bezug auf die Radioaktivität fest, dass Schülerinnen und Schüler (SuS) die Begriffe Radioaktivität, (ionisierende) Strahlung und radioaktive Materie unzureichend voneinander trennen können [1, 3, 4]. Ionisierende Strahlung führe beispielsweise zwingend dazu, dass ein bestrahlter Stoff selbst radioaktiv werde, was mit einer Speicherung der Strahlung assoziiert werden kann [3]. Ähnliche Vorstellungen finden sich auch bei angehenden Lehrerinnen und Lehrern [5].

2. Didaktische Rekonstruktion als Rahmentheorie

Physikdidaktisches Arbeiten erschließt physikalische Inhalte für den Unterricht. Auf den ersten Blick mag es erscheinen, dass bei einer hinreichenden Betrachtung der Fachinhalte und einer ausreichenden Reduzierung derselben, sich physikdidaktisches Arbeiten selbst auf die Betrachtung bzw. Reduktion von Fachinhalten reduziert. Der Inhalt des Physikunterrichts und dessen Erarbeitung wären damit der Physik selbst gleichzusetzen. Dieser primitive und flüchtige Ansatz vernachlässigt dabei eine Vielzahl von Einflussfaktoren und muss abwertend mit einem Nürnberger Trichter gleichgesetzt werden. Die Didaktische Rekonstruktion als zentrales Forschungsparadigma der entwickelnden Physikdidaktik bzw. Naturwissenschaftsdidaktik bringt die sogenannte fachliche Klärung, Erfassen der Lernendenperspektive und die der didaktischen Strukturierung synthetisch zusammen und schafft damit einen evolutiven Rahmen für die Ent- bzw. Weiterentwicklung des Physikunterrichts [2, 6].

Die fachliche Klärung strukturiert die zu unterrichtenden Inhalte anhand ihrer physikalischen bzw. naturwissenschaftlichen Leitdisziplin und erarbeitet fachwissenschaftliche Bezüge durch die Inhaltsanalyse angemessener Materialien wie z.B. Lehrbücher. Das Erfassen der Lernendenperspektive wird

zentralen konstruktivistischen Forderungen gerecht und trägt zu einem lernendenorientierten Unterricht bei. Der didaktischen Strukturierung kommt eine vermittelnde Rolle zu. Diese ermöglicht es Lernenden den jeweiligen erschlossenen Kontext fachdidaktisch geleitet zu verstehen. Die Teilaufgaben der Didaktischen Rekonstruktion sind dabei keine an und für sich stehenden Teilaufgaben, sondern weisen starke Querbezüge zueinander auf und führen zu einem rekursiven Entwicklungsvorgang von naturwissenschaftlichen Entwicklungsaufgaben. Das Wissen von Lehrenden lässt sich Shulman zufolge in drei wesentliche Kategorien unterteilen: Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und pädagogisches Wissen [7]. Die Didaktische Rekonstruktion vermittelt dabei zwischen diesen einzelnen Polen und schafft damit die Basis für eine entwicklungsorientierte, empirisch gesicherte Forschung [2].

Die Didaktische Rekonstruktion berücksichtigt die Perspektive der Lehrenden nicht explizit. Im Rahmen der fachlichen Klärung werden jedoch Erwartungen an die Aufbereitung des Inhalts formuliert, die bei einer Unterrichtsgestaltung umzusetzen sind. Ähnliches gilt für die Betrachtung der Lernendenperspektive sowie die didaktische Strukturierung. Innerhalb der physikdidaktischen Forschung wurden vielfältige persistierende Vorstellungen zu physikalischen Inhalten bei Lehramtsstudierenden gefunden. Die Annahme, dass diese mit dem Berufseinstieg verschwinden, scheint unter dem Blick des Konzeptwandels fraglich, wenn nicht sogar abwegig. Es kann also mit einer ähnlichen Begründung wie für die Betrachtung der Lernendenperspektive erwartet werden, dass die Perspektive der Lehrenden eine ebenso große Rolle spielt. Jenseits des bloßen Vergleiches mit der Lernendenperspektive kann sich diese Erweiterung als fruchtbares Paradigma etablieren.

3. Erweiterung der didaktischen Rekonstruktion

Die Beschreibung der Lehrendenperspektive werden bereits durchgeführte Forschungen zu Vorstellungen der Lehrenden unter der Didaktischen Rekonstruktion theoretisch vereinigt. Der Begriff der

Schülervorstellung wird durch den allgemeineren Begriff der Vorstellung ersetzt und bezieht Lehrende und ihre Vorstellungen ein. Ausgehend von der Arbeitshypothese, dass sich diese Vorstellungen bei SuS, Lehrerinnen und Lehrern und Studierenden finden lassen, müssen ihnen in der Planung und Erforschung von Unterricht ein theoretischer Platz zugewiesen werden. Es handelt sich in diesem Sinne nicht um eine neue Theorie, sondern um eine Zusammenfassung, die existierende Forschung zu Vorstellungen von Lehramtsstudierenden pragmatisch unter dem Dach der Didaktischen Rekonstruktion zusammenführt.

Die Dimension der Lehrendenperspektive (s. Abb. 1) trägt damit eine dezidierte Aufgabe für die Entwicklung für den Unterricht, die sich aus der ursprünglichen Didaktischen Rekonstruktion implizit ergeben hat. Diese kann als Selbstbeobachtung bzw. Introspektion betrachtet werden. Durch die Aufnahme der Lehrendenperspektive wird die Didaktische Rekonstruktion entscheidend weiterentwickelt.

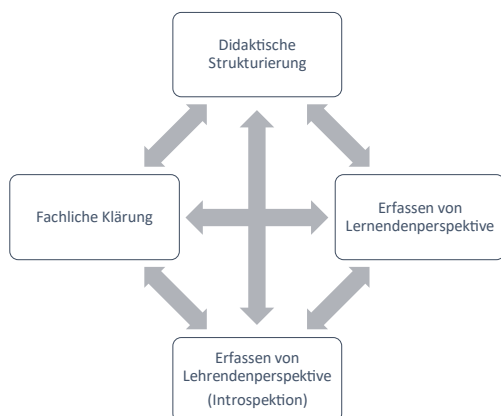


Abb.1: Didaktische Rekonstruktion mit Lehrendenperspektive (in Anlehnung an [2]).

4. Vorstellungen von Lehramtsstudierenden zur biologischen Wirkung ionisierender Strahlung

Die Datenlage zu den Vorstellungen Lehramtsstudierender ist, mit Ausnahme der Studie von Colclough et al. prekär [5]. Unter der Arbeitshypothese, dass Lehramtsstudierende und SuS ähnliche Vorstellungen aufweisen, lassen sich aus der Literatur Annahmen über die zu erwartenden Vorstellungen treffen. Eine Leitfrage der Studie bezieht sich daher darauf, welche Vorstellungen Lehramtsstudierende gegenüber dem Themengebiet Radioaktivität haben:

Eine Beantwortung dieser allgemein gehaltenen Frage ist im Rahmen dieses Beitrages unmöglich, daher soll hier der Fokus auf der Beschreibung eines Teils gelegt werden. Dabei handelt es sich um biologische Wirkung ionisierender Strahlung und der damit verbundenen Vorstellungen von Lehramtsstudierenden. Die Vorstellungen wurden im Rahmen von teilstrukturierten Einzelinterviews erhoben. Die Problemzentriertheit orientiert sich an vier

verschiedenen Prompts, die verschiedene schülernahe Szenarien enthalten.

Für eine explorative Annäherung an die Frage, wie sich Vorstellungen bei Lehramtsstudierenden präsentieren, erweist sich eine teiloffene Methode als vorteilhaft. Die Verwendung eines mündlichen Verfahrens erweist sich über die Pilotierung [8] hinaus als fruchtbares Verfahren, um ein Vorstellungsinventar für Lehramtsstudierende zum Teil erstmalig zusammenzustellen. Die Auswertung der Transkripte erfolgt mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse [9].

Potenzielle Teilnehmer erhielten eine E-Mail; einschränkend wurde die Einladung unter der Einschränkung ausgesprochen, dass die Personen eine kernphysikalische Vorlesung erfolgreich abgeschlossen haben. Die Interviews der Studie wurden mit einem onlinegestützten Konferenztool aufgezeichnet. Insgesamt wurden mit 13 Lehramtsstudierenden Interviews durchgeführt.

Die biologische Wirkung ionisierender Strahlung zeichnet sich in allen Fällen durch die Schädigung biologischer Strukturen bzw. einer allgemeinen Schädigung des Lebewesens aus. Die Differenzierung der Kategorien erfolgt zwischen biologischen Strukturen, die alle biologischen Strukturen größer bzw. gleich groß wie eine Zelle einschließen und den biochemischen Strukturen, deren Beschreibung im Kontext der Radioaktivität auf deren chemische Bindungen abzielen. Erweiternd wird diese Schädigung von einem Teil der Lehramtsstudierenden auf biochemische Veränderungen (z.B. der DNA bzw. Erbgutes) zurückgeführt, die notwendigen Prozesse werden mechanistisch über Stöße beschrieben. In seltenen Fällen wird diese Beschreibung durch eine stochastische Beschreibung der Schädigung der DNA erweitert, durch die stochastisch das Auftreten von Krebserkrankungen erklärt wird. Die biologische Wirkung ionisierender Strahlung ist den Studierenden in Bezug auf deren karzinogene Eigenschaften bekannt. Dieser Befund ist in Angesicht der Darstellungsformen in den Medien erwartungskonform. Neben der makroskopischen Deutung beziehen sich einige Studierende auf einen stärker zellulären Zusammenhang bzw. auf die Erbinformation, was in Bezug auf das Modell ionisierender Strahlung erstmalig einen Wirkungsmechanismus auf der Teilchenebene einschließt.

Zu einer umfänglicheren Beschreibung, die die stochastischen Risiken einschließt, sind sie im Allgemeinen nicht in der Lage. Zusammengefasst stellen die Befunde dar, dass Studierende einen vereinfachten Wirkungsmechanismus beschreiben, welcher zur Beschreibung der Gefährdung und der Sicherheitsmaßnahmen aber ausreichend ist. Die Bedeutung der Kernphysik im schulischen Kontext liegt in der fachlichen Klärung der biologischen Vorgänge und deren Strukturierung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für Lehramtsstudierende die biologische Wirkung ionisierender Strahlung auf einer Schädigung der

Erbinformation beruht. Dabei wird die Ionisation als zentrale Eigenschaft der ionisierenden Strahlung zur Erklärung der Zerstörung chemischer Bindungen genutzt. Es zeigt sich ein gestaffeltes Bild mit zunehmender Detailtiefe. Ein geringer Anteil beschreibt die Wirkung als stochastisches Phänomen, während dies bei der Beschreibung der Natur der Halbwertszeit deutlicher war. Die Zerstörung von Organen bzw. der Erbinformation kann im Rahmen der Vorstellungen der Studierenden als eine Art gerichteter Prozess verstanden werden und ist damit gegenüber der fachlichen Beschreibung unvollständig (s. Abb.2).

5. Didaktische Rekonstruktion der Strahlentherapie

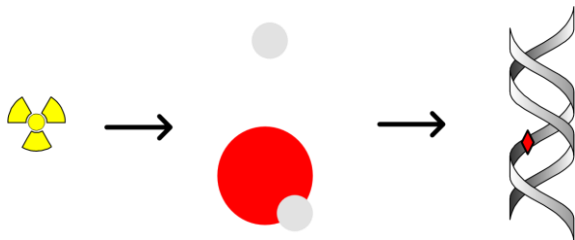


Abb.2: Ionisierende Strahlung trifft auf ein Wassermolekül und trennt dieses in Radikale. Die Radikale können anschließend vielfältige Reaktionen eingehen unter anderem auch mit der DNA.

Im Rahmen des Lehr-Lern-Labors „Radioaktivität von A(tom) bis Z(erfall)“ werden neben stark experimentell orientierten Stationen die biologische Wirkung ionisierender Strahlung und deren Nutzen in der medizinischen Anwendung diskutiert. Dies erfolgt am Beispiel einer neuartigen Therapie zur Behandlung von Prostatakarzinomen [10]. Das wirksame Isotop ist dabei Lu-177, welches in Reaktoren durch die Aktivierung mit Neutronen aus Lu-176 hergestellt wird. Bedingt durch die relativ kurze Halbwertszeit muss die Aufarbeitung des Isotops und dessen Verarbeitung in Form eines Medikaments zeitnah erfolgen. Lu-177 ist ein Betastrahler. Das Lu-177 wird über einen Komplexbildner chemisch gebunden und mit einem PSMA-Liganden verknüpft. Diese PSMA-Liganden binden dann an PSMA exprimierende Zellen, die besonders an Prostatakarzinomen verstärkt auftreten und bewirken somit eine zielgerichtete Therapie des Karzinoms.

In Bezug auf die schulische Beschreibung des Sachverhalts mit Blick auf auftretende Vorstellungen zur Speicherung von Strahlung oder ähnlichem, lassen sich hier die Begriffe Strahlung und Kontamination praxisnah erarbeiten. Die biologische Wirkung auf Krebszellen und gesunde Zellen werden über ähnliche Prozesse beschrieben, wodurch die Wirkung ionisierender Strahlung entmystifiziert wird. Die Speicherung von Strahlung wird innerhalb der Station experimentell durch die SuS untersucht. Dabei wird ein Lebensmittel bestrahlt und anschließend auf eine Freisetzung ionisierender Strahlung untersucht. Die



Abb.3: Modell des Lu-177-PSMA-Liganden. In der Spitze sitzt das Lu-177 gebunden von einem Chelatkomplex, welcher dann an den PSMA-Liganden gebunden wird.

Lehramtsstudierenden lernen dabei die Persistenz bestimmter Vorstellungen, zu denen die Speicherung der Strahlung zählen muss, kennen. Ohne auf die gesamte Struktur des Lehr-Lern-Labors einzugehen, ist dieser Umgang mit den Vorstellungen der Studierenden und der SuS charakteristisch für die physikdidaktische Motivation bzw. Zielsetzung des Lehr-Lern-Labors.

6. Zusammenfassung

Die Didaktische Rekonstruktion eignet sich nicht nur für die Einbettung der Vorstellungen von Lernenden in den Unterricht, sondern auch für die Reflexion der Lehrenden und deren Vorstellungen bzw. der eigenen Vorstellungen. Durch die Aufnahme der Lehrendenperspektive wurde die Didaktische Rekonstruktion in diesem Beitrag geöffnet, wobei diese Öffnung sicherlich diskussionswürdig ist. Am Beispiel der Anwendung einer Lu-177 Therapie wurde gezeigt, dass die praxisnahe Anwendung kernphysikalischer Bezüge durch die Vorstellungen von SuS als auch von den betreuenden Lehramtsstudierenden beeinflusst wird.

7. Literaturverzeichnis

- [1] RIESCH, Werner ; WESTPHAL, Walter: *Modellhafte Schülervorstellungen zur Ausbreitung radioaktiver Strahlung*. In: *Der Physikunterricht* 1975/4 (1975), S. 75–85
- [2] KATTMANN, Ulrich ; DUIT, Reinders ; GROPEGIEßER, Harald ; KOMOREK, Michael: *Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3 (1997), Nr. 3, S. 3–18.
- [3] EIJKELHOF, Hendrikus Maria Carolus: *Radiation and risk in physics education : Straling en risico's in het natuurkundeonderwijs*. Zugl.: Utrecht, Univ., Diss. : 1990. Utrecht : CD-Beta Press, 1990 (The CD-/beta] series on research in education 2)
- [4] MILLAR, Robin ; KLAASSEN, Kees ; EIJKELHOF, Harrie: *Teaching about radioactivity and ionising radiation : An alternative*

- approach*. In: *Physics Education* 25 (1990), Nr. 6, S. 338–342
- [5] COLCLOUGH, Nicholas Denys ; LOCK, Roger ; SOARES, Allan: *Pre-service Teachers' Subject Knowledge of and Attitudes about Radioactivity and Ionising Radiation*. In: *International Journal of Science Education* 33 (2011), Nr. 3, S. 423–446
- [6] ENGELMANN, Philipp: *Fächerübergreifende Naturwissenschaften in der Lehrerfortbildung: eine Didaktische Rekonstruktion*. Friedrich-Schiller-Universität Jena. 2019
- [7] SHULMAN, Lee S.: *Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching*. In: *Educational Researcher* 15 (1986), Nr. 2, S. 4
- [8] PROKOP, Axel-Thilo ; NAWRODT, Ronny: *Radioaktivität - eine didaktische Rekonstruktion*. In: *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 1* (2019). URL <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/955>
- [9] MAYRING, Philipp: *Qualitative Inhaltsanalyse : Grundlagen und Techniken*. 12., überarb. Aufl. Weinheim, Basel : Beltz, 2015
- [10] BAUM, R. ; KULKARNI, H. ; VOLKMER, B. ; BOHUSLAVIZKI, K. ; SCHUCHARDT, C. ; KLETTE, I. ; SINGH, A. ; WESTER, H.-J.: *Theragnostik des metastasierten Prostatakarzinoms mittels Lu-177 PSMA-Liganden in Kombination mit Ga-68 PSMA PET/CT*. In: *Der Nuklearmediziner* 38 (2015), Nr. 02, S. 145–152

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen der gemeinsamen Qualitätsoffensive Lehrerbildung von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Projekt „Lehrerbildung PLUS“ (Förderkennzeichen 01JA1907A) unterstützt