

## Radioaktivität – eine didaktische Rekonstruktion

Axel-Thilo Prokop, Ronny Nawrodt

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

### Kurzfassung

Von Los Alamos bis Fukushima: Radioaktivität ist ein wichtiger, wenn gleich für Laien auch mysteriöser und unheilvoller Begriff der Physik. Welche Vorstellungen verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff der Radioaktivität? Die Erhebung bzw. die Replikation von Vorstellungen zur Radioaktivität sind in Bezug auf die Bewertung der Anwendung radioaktiver Stoffe notwendig. Die theoretische Basis für eine Einordnung der Vorstellungen im Begriff des „conceptual change“ soll gelegt werden. Authentische Versuche sind für Schulen häufig nicht mehr möglich. Ziel ist dabei letztendlich eine zeitgemäße didaktische Rekonstruktion des Themenbereichs Radioaktivität für die Sekundarstufe I und die Etablierung eines Angebotes im Lehr-Lern-Labor der Universität Stuttgart. Die Schaffung eines solchen Angebotes bzw. die didaktische Rekonstruktion des Themas erscheinen bereits allein wegen des Fehlens authentischer Versuche in der Schule notwendig.

### 1. Einleitung: Vorstellungen zur Radioaktivität

Radioaktivität ist ein wichtiger Begriff der Physik, mit dem auch Laien häufig in Kontakt kommen. Welche Vorstellungen verbinden Schülerinnen und Schüler (SuS) mit dem Begriff der Radioaktivität?

Die Vorstellungen, die die Radioaktivität berühren, sollen hier anhand von Kernaussagen charakterisiert werden. In Abschnitt 3. Theoretische Rahmung sollen diese Kernaussagen dann in Anlehnung an Heinicke bzw. diSessa [1–3] als sogenannte „p-prims“ aufgefasst werden.

Vorstellungen zur Radioaktivität sind bereits seit mehreren Jahrzehnten Untersuchungsgegenstand der Physikdidaktik. Beginnend mit Arbeiten Rieschs und Westphals [4] erstreckt sich die Bearbeitung dieses Themas mit den Arbeiten Neumanns [5] vor und nach den Ereignissen in Fukushima auch bis in das aktuelle Jahrzehnt. Alle Veröffentlichungen halten in Bezug auf die Radioaktivität fest, dass SuS die Begriffe Radioaktivität, (ionisierende) Strahlung und radioaktive Materie unzureichend voneinander trennen können [4, 6, 7]. Ionisierende Strahlung führe so beispielsweise zwingend dazu, dass ein bestrahlter Stoff selbst radioaktiv werde [6]. SuS können in Folge auch Kontamination als Stofftransport und Bestrahlung als Strahlungsprozess unzureichend differenzieren [6, 7]. SuS sprechen der Radioaktivität zudem ihre Natürlichkeit ab [8]. Vergleichbare Ergebnisse finden sich auch bei außerschulischen Laien [9]. In Bezug auf Bewertung der Anwendung radioaktiver Substanzen konnten Cooper et al. feststellen, dass SuS an präkonzeptuellen Vorstellungen, insbesondere im Bereich der Bewertung von Gefahren nach dem Unterricht festhalten [10].

In Nachbarschaft zum Begriff der „radioaktiven Strahlung“ bzw. der ionisierenden Strahlung des Atomkernes hat Plotz den Begriff der Strahlung im Allgemeinen untersucht; auch hier finden sich starke Querbezüge zum Thema Radioaktivität [11]. Der Begriff „Strahlung“ wird von SuS häufig mit Radioaktivität assoziiert [5, 11–13]. Die Unterscheidung von natürlichen und künstlichen Strahlenquellen sei zudem auch eine Entscheidung für ungefährliche bzw. gefährliche Strahlung [12]. In Anbetracht an den bereits vorhandenen Fundus an Beschreibungen zu Vorstellungen im Bereich der Radioaktivität scheint es möglicherweise so, als ob hier kein nennenswerter Forschungsbedarf mehr bestünde. Bisherige Arbeiten haben die Vorstellungen zur ionisierenden Strahlung bzw. Radioaktivität zwar bereits untersucht [1], hier soll die theoretische Rahmung deutlich erweitert werden. Eine mögliche Übertragung neuerworbenen Wissens auf die Bewertung der Anwendung kerntechnischer Anlagen bzw. Erzeugnisse ist bisher kaum untersucht; die Diskussion beschränkt sich im Wesentlichen auf die Nutzung als Energiequelle und den damit verbundenen Gefahren. SuS halten dabei nach dem Unterricht an vorunterrichtlichen Vorstellungen fest und nutzen neuerworbenes Wissen kaum zur fachgerechten Bewertung [10].

Auf den ersten Blick scheint, zumindest für die Nutzung der „Atomenergie“ in Deutschland, dieses Thema abgeschlossen zu sein. Denkt man jedoch an die aktuellen Ereignisse rund um die Kernanlage Tihange oder die ungelöste Endlagerfrage, ist erkennbar, dass auch bis in die ferne Zukunft die zugehörigen Fragen nicht verschwinden werden. Man kann von einem klassischen epochaltypischen Schlüsselproblem sprechen. Neben dieser Problematik werden jedoch andere Anwendungen radioaktiver Materia-

lien und deren enorme Bedeutung (z.B. in der medizinischen Anwendung) möglicherweise vernachlässigt. Eine didaktische Rekonstruktion des Themas erscheint daher unter dem Gesichtspunkt der veränderten Verhältnisse sinnvoll.

Viele Schulen sind zudem nicht mehr in der Lage, Experimente zum Thema durchzuführen, ein Angebot für Schulen bietet daher die Möglichkeit, Materialien im Lehr-Lern-Labor zu testen. Pädagogischer Ausgangspunkt dafür soll die Bewertung der Anwendung radioaktiver Stoffe und insbesondere deren Gefährdungspotential sein. Anwendungen radioaktiver Stoffe setzen hinsichtlich des Gefährdungspotentials bzw. dessen Einschätzung Sachkenntnisse voraus. Dies erzwingt die Notwendigkeit, solche Sachkenntnisse in angemessener Form zu rekonstruieren.

## 2. Theoretische Rahmung

Die didaktische Rekonstruktion stellt eines der großen Forschungsparadigmen der Physikdidaktik dar und wird durch das sogenannte „fachdidaktische Triplet“ und dessen Teilaufgaben (Fachliche Klärung, Erfassen von Schülerperspektiven und didaktische Strukturierung) gebildet bzw. beschrieben. Ziel der didaktischen Rekonstruktion ist dabei, Fachinhalte für die Lernenden zugänglich zu gestalten. Die Erfassung der Perspektiven der Lernenden wird dabei durch die empirische Erfassung der Vorstellungen geleistet [14].

Vorstellungen und deren Strukturierung sowie deren Änderung werden durch Modelle des Konzeptwandels („conceptual change“) beschrieben. Die Begriffswahl des Wandels verdeutlicht dabei das, in Anlehnung an den wissenschaftstheoretischen Begriff Kuhns, evolutive Verständnis des „conceptual change“.

Die Beschreibung von Alltagsvorstellungen im Rahmen dieser Arbeit soll durch die fragmentarische Perspektive diSessas erfolgen. Zentral für diese Idee ist die Existenz bestimmter Bausteine, die in Form einfacher Aussagen zusammengefasst werden können. Diese bilden dann situationsabhängig typische Vorstellungen ab [2]. Hiermit grenzt sich der fragmentarische Punkt von „naïve physics“ Vosniadous ab [15]. Für die Beschreibung des Forschungsvorhabens ist es jedoch vollständig ausreichend, ausgehend von einem pragmatischen Standpunkt zu argumentieren, dass Aussagen bzw. Fragmente leichter identifizierbar und damit auch untersuchbar werden. Im Rahmen der Darstellung des Forschungsstands zum Thema Radioaktivität konnte man bereits sehen, dass sich solche Fragmente leicht identifizieren lassen.

Eine weitere Form des Konzeptwandels wird von Chi durch die Idee beschrieben, dass neuerworbenes Wissen falsch kategorisiert werden könnte. Resistente Vorstellungen werden dabei durch ontologisch falsche Kategorisierungen erzeugt. Zentral sind dabei

für Chi die Unterscheidung von emergenten bzw. direkten Prozessen und die Unterscheidung von Prozessen und Entitäten im Allgemeinen.

Die zugehörige didaktische Forderung Chis für diese Art von Fehlvorstellungen besteht darin, dass relevante ontologische Kategorien zunächst entstehen müssten, um nachhaltigen Lernerfolg möglich zu machen [16, 17]. Die Fehlkategorisierung als Ursprung d.h. „misconceived knowledge“ als alleiniger Ursprung von (Fehl-)Vorstellungen ist jedoch umstritten und kann hinsichtlich eines Alleinvertretungsanspruches sicherlich als widerlegt betrachtet werden [18, 19].

Die Problematik unterschiedlicher Kategorisierungen und deren Bedeutung wurde bereits 1979 von Walter Jung beschrieben. Jung lenkt dabei das Augenmerk auf die der Sprache im Allgemeinen zugrundeliegenden Kategorisierungen und arbeitet deren zum Teil ambivalente Zuordnungsmöglichkeiten heraus. Die Unterscheidung von Prozessen und Gegenständen ist hier auch wichtig. Die Bildung oder Nutzung von Kategorien fordert dabei von Lehrenden einen Planungsprozess, der die fachlichen Inhalte kategorisiert und zugänglich macht. Die bloße „Schöpfung“ neuer Kategorien führe noch nicht zu diesem Ziel [20].

Im Rahmen dieses kurzen Abrisses ist klar geworden, dass die Anzahl der theoretischen Zugänge groß ist. Es erscheint dabei in Anlehnung an das konstruktivistische Prinzip der Viabilität wichtig, innerhalb der theoretischen Rahmung Freiheiten zuzulassen; der Konzeptwandel ist auch dann nicht beliebig, sondern muss vom Fach ausgehend von Lehrenden auf Basis der kategorialen Identität der Physik geplant und interindividuell durch die SuS ausgedacht werden. Die didaktische Rekonstruktion bildet hierfür einen sicheren Ausgangspunkt.

## 3. Forschungsfragen

Die Bewertung der Anwendung radioaktiver Substanzen ist vor dem Unterricht vermutlich stark durch präkonzeptuelle Motive geprägt. Daher ist es, um eine didaktische Rekonstruktion überhaupt zu ermöglichen, notwendig, die vorunterrichtlichen Vorstellungen der SuS zunächst zu untersuchen. Die didaktische Strukturierung des Angebotes im Lehr-Lern-Labor ist dabei, im Sinne der didaktischen Rekonstruktion, auf diese Erhebung angewiesen. Es ist also ein Anliegen der didaktischen Rekonstruktion die Vorstellungen vor dem Unterricht zu erfassen:

Welche Vorstellungen verbinden SuS mit dem Thema Radioaktivität vor dem Unterricht mit diesem Thema?

Die dabei erfassten Vorstellungen werden dann auch auf ihre innere Struktur hin untersucht:

Wie strukturieren sich die so erhobenen Vorstellungen in Bezug auf die ontologischen Grundkategorien

Chis, das Kategorienproblem Jungs und die „p-prims“ diSessas?

#### 4. Entwicklungsaufgabe

Die didaktische Rekonstruktion des Themas geht auch einher mit der Entwicklung neuer Materialien bzw. der didaktischen Strukturierung des Themas [14].

In Bezug auf das Thema Radioaktivität sind viele Schulen nicht mehr in der Lage, authentische Experimente vorzustellen. Die Schaffung eines Angebotes des Lehr-Lern-Labors, welches auch in „exotischen“ Teilen der Physik Experimente anbieten kann, ist unter anderem aufgrund dieser Exklusivität sinnvoll. Die Schaffung eines experimentellen Angebotes soll bei SuS sowie den betreuenden Studierenden des LA Physik dazu führen, irrationale Ängste abzubauen und gleichzeitig eine kritische Auseinandersetzung zu fördern.

Die Materialien sollen in Bezug auf die Lernpläne bzw. Bildungspläne Deutschlands anschlussfähig sein. Exemplarisch wird hier von den Bildungsplänen des Landes Baden-Württemberg für die Sekundarstufe I ausgegangen. Die SuS sollen dabei anhand fachspezifischer Begriffe (z.B. Atomhülle und Atomkern) den Aufbau des Atoms bzw. die Struktur der Materie beschreiben können. Sie sollen ionisierende Strahlung bzw. Radioaktivität, deren biologische Wirkung und technische Anwendung beschreiben bzw. nennen können. Die Risiken bei der Nutzung sollen durch die SuS abgewogen werden; SuS beschreiben Maßnahmen des Strahlenschutzes [21]. Gesetzliche Anforderung (z.B. Strahlenschutzverordnung) beim Umgang mit ionisierender Strahlung werden selbstredend eingehalten und die SuS auch über die Gefährdung aufgeklärt.

Neben den offensichtlichen (Bildungsplan-)Inhalten, ist jedoch auch eine erneute fachliche Klärung jenseits des Lehrplaninhaltes sinnvoll. Die Anbindung an den Bildungsplan ist jedoch für Lehrerinnen und Lehrer wichtig, da deren Bereitschaft zu einem Besuch des Lehr-Lern-Labors dann größer ist. Wissenschaftshistorisch ist die „Entdeckung“ des Atomkerns durch das sogenannte „Rutherford“-Experiment wichtig gewesen, bestimmte Eigenschaften des Atomkerns wurden hier erstmalig entdeckt und beschrieben. Aus wissenschaftshistorischer Perspektive scheint hier eine didaktische Rekonstruktion des sogenannten „Rutherford-Experiments“ vielversprechend. Die Aufarbeitung dieser Themen scheint aus wissenschaftstheoretischer Sicht in Bezug auf die physikalische Modellbildung ansprechend.

Pädagogisch wird sich das Material am Konzept des „inquiry-based learning“ orientieren. Der Unterricht orientiert sich dabei an einer „Forschungsfrage“. Ziel des Unterrichtes ist dann eine propädeutische Bearbeitung des mit der Forschungsfrage verbundenen

Problems [22]. Ausgangspunkt der Unterrichtssequenz wird dabei die Frage, die inhaltlich auch mit vielen bereits bekannten Vorstellungen zusammenhängt, welche Gefährdung von radioaktiven Materialien ausgeht („Wann wird Radioaktivität gefährlich?“). Ausgehend von einem Klassengespräch und einer informellen Abfrage, welche Gefahren mit der Radioaktivität verbunden sind, kann man über die Einführung des Geiger-Müller-Zählrohres als Messinstrument ionisierender Strahlung und des Nulleffekts diese Frage triggern. Die Beantwortung dieser Frage im Sinne des gegenwärtigen Wissenstands zur biologischen Wirkung ionisierender Strahlung ist einfach; jedes Photon trägt in diesem Sinne zu der stochastischen Strahlungsgefährdung bei [23]. Gleichzeitig gibt es aber eine Vielzahl von Anwendungen, die ionisierende Strahlung beim derzeitigen technischen Stand nutzen. Eine Diskussion der Bedeutung der Gefährdung durch ionisierende Strahlung und der Bedeutung des Risikobegriffes werden Teil des Materials.

Die Materialien bzw. die didaktische Strukturierung werden sich dabei an den Vorstellungen der SuS orientieren. Hier ist beispielsweise die klare Trennung von radioaktiver Materie und ionisierender Strahlung wichtig; auch die Klärung des Begriffes „radioaktive Strahlung“ ist erstrebenswert. Ausgehend vom „piece-like view“ diSessas wird dabei davon ausgegangen, dass durch das Erlernen neuer „p-prims“ oder deren veränderte Aktivierungsabfolge „umgelernt“ werden kann. Zudem soll der Wert unterschiedlicher Kategorisierungen betont werden; beispielsweise soll hier zwischen Strahlung als emergenter Prozess und der radioaktiven Materie als Entität bzw. Eigenschaftsträger im Sinne Chis bzw. Jungs unterschieden werden.

#### 5. Methodik

Die Vorstellungen der SuS sollen durch eine qualitative Inhaltsanalyse von Interviews erhoben werden. Die Befragung soll bei SuS der Klassenstufe 9 (präinstruktiv) bzw. 10 (postinstruktiv) des näheren Stuttgarter Umfelds erfolgen. Die Instruktion soll dabei durch das bereits beschriebene Angebot im Lehr-Lern-Labor der Universität Stuttgart stattfinden.

Derzeitig werden die Lernmaterialien für das Lehr-Lern-Labor entwickelt. Eine Präpilotierung mit SuS der Klassenstufe 10 ist für Juni 2019 geplant; eine Pilotierung sich der Präpilotierung anschließen. Eine Überarbeitung des Angebotes schließt sich, in Tradition an die rekursive Arbeitsweise der didaktischen Rekonstruktion, an diese Schritte an. Die eigentliche Erhebung der Vorstellungen bzw. der Bewertung ist

dann für 2020 vorgesehen. Ein möglicher Verlauf dieser Untersuchungen ist in Abbildung 1 dargestellt.



**Abb. 1:** Erfassung der Schülerperspektive für die didaktische Rekonstruktion

## 6. Zusammenfassung & Ausblick

Der Themenbereich Radioaktivität ist, trotz der zahlreichen Publikationen zu diesem Thema, überarbeitungs- bzw. rekonstruktionswürdig. Die Replikation und theoretische Einordnung bereits erhobener Vorstellungen ist für die didaktische Rekonstruktion der Radioaktivität relevant. Es konnte skizzenhaft dargestellt werden, dass die Frage der Anwendung radioaktiver Materialien jenseits der Anwendung in Kernenergieanlagen Beobachtung verlangt. Desiderat ist hierbei die Anwendung physikalischer Konzepte im Rahmen der Bewertung vor dem Unterricht im Thema „Radioaktivität“ und in Konsequenz die Rekonstruktion des Themas auch in Hinblick auf die veränderten Sichtweisen auf Nutzungsformen radioaktiver Stoffe.

Im weiteren Verlauf sollen die „inquiry-based“ Lernmaterialien vervollständigt und mithilfe der erhobenen Präkonzepte zur Etablierung eines Programms im Lehr-Lern-Labor führen. Die Erhebung der Prä-Post-

Vorstellungen ist dann für 2020 vorgesehen. Mögliche Evaluationen des dann erstellten Materials mit Blick auf die Bewertungskompetenz schließen sich an.

## 7. Literatur

- [1] HEINICKE, Susanne ; MEYER, Svenja ; KORFF, Sebastian: "Radioaktivität entsteht, wenn man Strom herstellt" Alltagsvorstellungen zu Radioaktivität und Kernzerfall bei Schülerinnen und Schülern. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 25 (2014), 141/142, S. 9–13
- [2] DISSA, Andrea A.: A Bird's-Eye View of the "Pieces" vs. "Coherence" Controversy (from the "Pieces" side of the Fence). In: VOSNIADOU, Stella (Hrsg.): *International handbook of research on conceptual change*. 2. ed. New York : Routledge, 2013 (Educational psychology handbook series).
- [3] DISSA, Andrea A.: *Toward an Epistemology of Physics*. In: *Cognition and Instruction* 10 (1993), 2-3, S. 105–225
- [4] RIESCH, Werner ; WESTPHAL, Walter: *Modellhafte Schülervorstellungen zur Ausbreitung radioaktiver Strahlung*. In: *Der Physikunterricht* 1975/4 (1975), S. 75–85
- [5] NEUMANN, Susanne ; HOPF, Martin: *Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff "Strahlung"? : Paralleltitel: What do students associate with the German Term "Strahlung" (=radiation)?* In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 17 (2011), 157-176
- [6] EIJELHOF, 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)
- [7] MILLAR, Robin ; KLAASSEN, Kees ; EIJELHOF, Harrie: *Teaching about radioactivity and ionising radiation : An alternative approach*. In: *Physics Education* 25 (1990), Nr. 6, S. 338–342
- [8] HENRIKSEN, Ellen K. ; JORDE, Doris: *High school students' understanding of radiation and the environment: Can museums play a role?* In: *Science Education* 85 (2001), Nr. 2, S. 189–206
- [9] HENRIKSEN, E. K.: *Laypeople's Understanding of Radioactivity and Radiation*. In: *Radiation Protection Dosimetry* 68 (1996), Nr. 3, S. 191–196
- [10] COOPER, Sarina ; YEO, Shelley ; ZADNIK, Marjan: *Australian students' views on nuclear issues: Does teaching alter prior beliefs?* In: *Physics Education* 38 (2003), Nr. 2, S. 123–129
- [11] PLOTZ, Thomas: *Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung*. Logos Verlag Berlin GmbH. Dissertation. 2017
- [12] NEUMANN, Susanne ; HOPF, Martin: *Students' Conceptions About 'Radiation': Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade*

- Students*. In: *Journal of Science Education and Technology* 21 (2012), Nr. 6, S. 826–834
- [13] NEUMANN, Susanne ; HOPF, Martin: *Students' Ideas About Nuclear Radiation – Before and After Fukushima*. In: *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 9 (2013)
- [14] KATTMANN, Ulrich ; DUIT, Reinders ; GROPENIEBER, 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
- [15] VOSNIADOU, Stella (Hrsg.): *International handbook of research on conceptual change*. 2. ed. New York : Routledge, 2013 (Educational psychology handbook series)
- [16] CHI, Michelene T. H.: *Commonsense Conceptions of Emergent Processes: Why Some Misconceptions Are Robust*. In: *Journal of the Learning Sciences* 14 (2005), Nr. 2, S. 161–199
- [17] CHI, Michelene T. H.: *Two Kinds and Four Sub-Types of Misconceived Knowledge, Ways to Change it, and the Learning Outcomes*. In: VOSNIADOU, Stella (Hrsg.): *International handbook of research on conceptual change*. 2. ed. New York : Routledge, 2013 (Educational psychology handbook series).
- [18] GUPTA, Ayush ; HAMMER, David ; REDISH, Edward F.: *The Case for Dynamic Models of Learners' Ontologies in Physics*. In: *Journal of the Learning Sciences* 19 (2010), Nr. 3, S. 285–321
- [19] HAMMER, David ; GUPTA, Ayush ; REDISH, Edward F.: *On Static and Dynamic Intuitive Ontologies*. In: *Journal of the Learning Sciences* 20 (2011), Nr. 1, S. 163–168
- [20] JUNG, Walter: *Aufsätze zur Didaktik der Physik und Wissenschaftstheorie*. Frankfurt am Main : Diesterweg, 1979 (Beiträge zur Methodik und Didaktik der Physik)
- [21] MINISTERIUMS FÜR KULTUS, JUGEND UND SPORT: *Bildungsplan Physik 2016 Gemeinsamer Bildungsplan für die Sekundarstufe I* (in Kraft getr. am 2016) (2016). Url [http://bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lbw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW\\_ALLG\\_SEK1\\_PH.pdf](http://bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lbw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW_ALLG_SEK1_PH.pdf) (Stand 5/2018)
- [22] DIANOVSKY, Michael ; CHINN, Clark ; DUNCAN, Ravit ; RINEHART, Ronald: *Promoting Conceptual Change Through Inquiry*. In: , 2013, S. 539–559
- [23] GRUPEN, Claus; STROH, Tilo (Mitarb.); WERTHENBACH, Ulrich (Mitarb.) : *Grundkurs Strahlenschutz : Praxiswissen für den Umgang mit radioaktiven Stoffen*. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Spektrum, 2014