

Lernen mit Modellen und Experimenten

Von der Beobachtung zur Erkenntnis am Beispiel des Regenbogens

ALBERT TEICHREW – ROGER ERB

Die Durchführung von Experimenten ist eine verbreitete Methode des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Jedoch ist Experimentieren kein Selbstzweck, sondern ein wesentlicher Schritt der Erkenntnisgewinnung. In diesem Kontext ist eine vorhergehende Auseinandersetzung mit dem realen Phänomen und einem dafür konstruierten Modell sinnvoll. Der am Beispiel des Regenbogens vorgestellte Kreislauf der Erkenntnisgewinnung eignet sich als Strukturhilfe für Lernumgebungen mit Modellen und Experimenten.

1 Experimentieren im Unterricht

Die Vermittlung experimentierbezogener Fähigkeiten selbst ist eines der Ziele, die Lehrer/innen mit dem Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht verbinden. Eine Befragung unter Physiklehrkräften hat ergeben, dass für im Unterricht tatsächlich durchgeführte Experimente ganz unterschiedliche Schwerpunkte im Experimentierprozess gesetzt werden (KARABÖCEK & ERB, 2015). Dabei kann es sich zum Beispiel um die Aneignung einer wissenschaftlichen Arbeitsweise handeln, die in der Planungsphase erläutert wird, oder den Ausbau praktischer Fähigkeiten, die während der Durchführung eines Schülerexperiments erforderlich sind. Auch der Umgang mit experimentell ermittelten Daten, die in einer quantitativen Auswertung weiterverarbeitet werden, kann die zentrale Rolle während einer Unterrichtsstunde einnehmen.

Daneben wird als übergeordnetes Ziel fast jeden Experiments im Physikunterricht die Vermittlung von Fachwissen genannt. Gleichzeitig betrachten sowohl Lehrer/innen als auch Didaktiker/innen Fachwissen als ein relevantes Schülermerkmal, wenn es um den Erfolg eines eigenständigen, hypothesengeleiteten Experiments geht, insbesondere während der Planung und Auswertung (HÄRTIG, NEUMANN & ERB, 2017). Es sind Lernschwierigkeiten und Fehlschlüsse zu erwarten, wenn ein Testen von Hypothesen Fachwissen erfordert, das im Unterricht durch ein entsprechendes Experiment aufgebaut werden soll.

Um diesem Widerspruch zu begegnen, wird in dem Beitrag eine Unterrichtsstruktur skizziert, in der Phänomene entdeckt und unter Berücksichtigung der Funktionen und Eigenschaften von Modellen und Experimenten untersucht werden.

2 Modellieren im Erkenntnisprozess

Der Modellbegriff wird je nach Kontext anders verwendet, was eine eindeutige Präzisierung schwierig macht. Nach MAHR (2008) können drei Fälle unterschieden werden, in denen einer Sache das Modellsein zugeschrieben wird: Modell von etwas, Modell als Objekt und Modell für etwas. Zudem treten Modelle im Erkenntnisprozess sowohl als gedankliche Konstrukte (mentale Modelle) als auch reale Darstellungen (Modellobjekte) auf. Naturwissenschaftlicher Unterricht lebt von interessanten Kon-

texten sowie Phänomen aufzeigenden Experimenten. Die Vorstellungen, die Schüler/innen zu einem wahrnehmbaren Phänomen entwickeln, setzen sich aus individuellen, mentalen Modellen zusammen. Wir sprechen an dieser Stelle nicht von didaktischen oder wissenschaftlichen Modellen als Teil einer übergeordneten Theorie wie z. B. dem Lichtstrahlmodell, sondern von Modellen für einzelne Phänomene (Modell von etwas). Für ihre gedankliche und reale Konstruktion im Unterricht wird jedoch auf die zuvor genannten theoretischen Elemente als naturwissenschaftliche Ideen zurückgegriffen. Dennoch sollte der Inhalt eines solchen mentalen Modells zunächst einen vorläufigen Charakter besitzen. Er wird neben dem Phänomen selbst durch vorkonstruierte Modellobjekte vermittelt. Einerseits ermöglichen sie als Beschreibungen und Visualisierungen den Zugang zum gewünschten mentalen Modell des Phänomens (Modell als Objekt). Andererseits können Modellrechnungen und Simulationen ebenfalls als Modellobjekte aufgefasst werden, die Hypothesen für das wahrnehmbare Phänomen liefern (Modell für etwas). Experimente helfen schließlich dabei, solche Hypothesen zu überprüfen und ein Urteil über das vermittelte mentale Modell zu fällen.

Die Sicht auf das Experiment als Frage an die Natur wird in dieser Darstellung der Erkenntnisgewinnung zur Frage an das Modell, mit dem die Natur rekonstruiert wurde. Dadurch wird unterstrichen, dass sich naturwissenschaftliches Wissen zwar auf empirische Belege stützt, aber als Produkt menschlicher Kreativität gleichzeitig subjektiv und theoriegeladen ist. Ein solches Naturwissenschaftsverständnis wird im traditionellen Unterricht – wenn überhaupt – erst spät erreicht (HÖTTECKE, 2001). Für ein zielgerichtetes Experimentieren sollte deshalb eine unvoreingenommene Auseinandersetzung mit Modellobjekten zum zu behandelnden Phänomen vorausgehen. Dadurch wird dem Experimentierprozess die scheinbare Beliebigkeit des forschend-entdeckenden Vorgehens genommen. Stattdessen hat das Experiment die Testung eines mentalen Modells zum Ziel, das anhand phänomenologischer Betrachtungen und theoretischer Überlegungen im dafür konstruierten Modellobjekt aufgebaut wurde. Wir orientieren uns dabei an einer aus wissenschaftlicher Sicht angemessenen Erschließung der Welt, bei der Schüler/innen befähigt werden, Phänomene wahrzunehmen, schließlich von ihnen abzusehen und das gewonnene abstrakte Werkzeug wieder zur Deutung konkreter Situationen zu nutzen (MUCKENFUß, 2001).

Im Folgenden werden die Eigenschaften grundlegender Lernprodukte, -schritte und -medien des aus erkenntnistheoretischen Überlegungen abgeleiteten Kreislaufs der Erkenntnisgewinnung am Beispiel des Regenbogens im Einzelnen dargestellt.

3 Lernprodukte, -schritte und -medien zum Regenbogen

Im Kreislauf der Erkenntnisgewinnung werden Phänomen, Modell, Hypothese und Experiment als wesentliche Unterrichtsgegenstände betrachtet, die im Laufe des Kreislaufs sowohl als Lernprodukt entwickelt werden als auch als Ausgangspunkt für das weitere Vorgehen dienen. Ein Phänomen wie der Regenbogen beispielsweise, in eigenen Wahrnehmungen oder in Bildern festgehalten, wird aus diesen situativen Beobachtungen verallgemeinert. Danach tritt er als Original auf, für das ein abstraktes, mentales Modell aufgebaut wird (Abb. 1).

Die *Lernprodukte* sind in der Darstellung des Kreislaufs entsprechend ihren Eigenschaften angeordnet. Oben befinden sich Unterrichtsgegenstände, die einen allgemeinen Charakter aufweisen, während unten situativ bedingte Umstände berücksichtigt sind. Dagegen befinden sich auf der linken Seite in der Realität verankerte Elemente, während auf der rechten Seite abstrakte Strukturen und mentale Schlussfolgerungen vorliegen. Davon leiten sich jeweils die *Lernschritte* ab, die beim Übergang von der allgemeinen in die situative oder von der realen in die mentale Ebene und umgekehrt notwendig sind. Außerdem werden relevante Werkzeuge und Darstellungen spezifiziert, die als *Lernmedien* eine Brücke zwischen den Ebenen darstellen und den Übergang erleichtern. Der Pfeil in der Mitte unterstreicht zudem die Notwendigkeit der Reflexion der Lernschritte, die in Rückrichtung vom Experiment über Hypothese und Modell stattfindet und zum Verständnis des Phänomens führt.

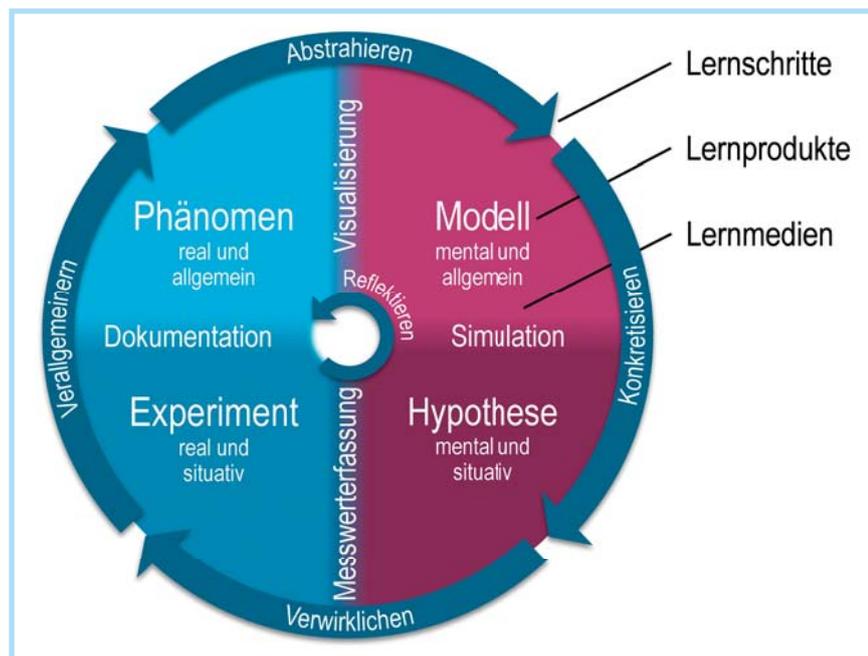


Abb. 1. Kreislauf der Erkenntnisgewinnung mit Lernschritten, -produkten und -medien

3.1 Von der Beobachtung zum Phänomen

Der Regenbogen ist eine auffällige Leuchterscheinung am Himmel. Darüber hinaus ist er kein einmaliges Erlebnis, sondern tritt unter bestimmten Umständen regelmäßig auf. Dadurch besteht ein begründetes Interesse herauszufinden, welche Umstände das sind und wodurch die Beobachtung eines Regenbogens möglich wird. Auf der phänomenologischen Ebene lässt sich festhalten, dass sich die Sonne dabei stets im Rücken befindet und der Blick in Richtung eines Regenschauers gerichtet ist. Blickt man mit dem Rücken zur Sonne in Richtung eines Springbrunnens, dann lässt sich ebenso ein Regenbogen beobachten, und zwar genau da, wo sich Wassertropfen in der Luft befinden (Abb. 2).



Abb. 2. Beobachtung des Regenbogens an einem Springbrunnen

Anscheinend sind die Regen- und Wassertropfen in der Lage, das Licht der Sonne in eine bestimmte Richtung zu reflektieren, wobei die Richtung für verschiedene Farben etwas variiert. Nichtsdestotrotz bleibt die Frage, warum in einem bestimmten Winkelbereich mehr Licht beobachtet wird als in anderen Richtungen. Oder in einfacheren Worten: Warum sehen wir einen Regenbogen dort, wo wir ihn sehen?

Somit lassen sich Phänomene auf der Basis von Alltagsbeobachtungen oder qualitativen Demonstrationen im Unterricht durch Loslösung von der konkreten Situation *verallgemeinern*. Obwohl direkte Wahrnehmung vorzuziehen ist, kann es durchaus objektive Hinderungsgründe dafür geben. In diesem Fall können *Dokumentationen* von bereits erfolgten Vorgängen in Form von Fotos oder Videos als Hilfsmittel herangezogen

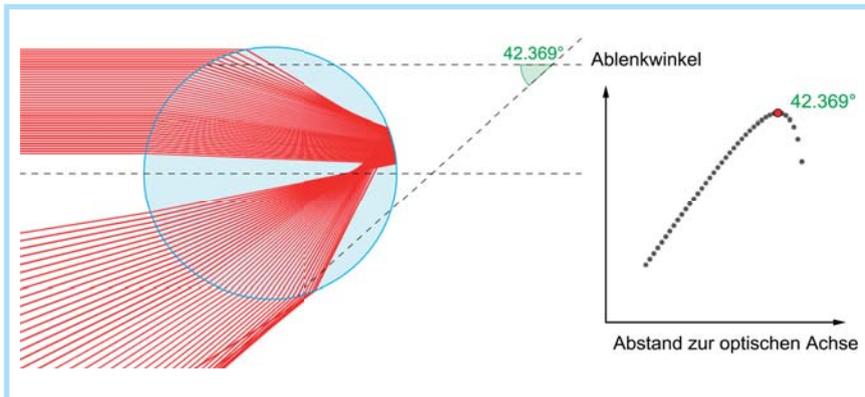


Abb. 3. GeoGebra-Modell zur Brechung und Reflexion in einer Kugel mit Möglichkeit zur Untersuchung des Ablenkwinkels in Abhängigkeit des Abstands zur optischen Achse

werden, um Fragestellungen bezüglich interessanter Phänomene abzuleiten.

3.2 Vom Phänomen zum Modell

Um die Fragestellung zu beantworten, warum sich ein Phänomen auf die eine oder andere Weise ereignet, werden mentale Modelle benötigt, die naturwissenschaftliche Ideen und nicht nur phänomenologische Beschreibungen beinhalten. Da Phänomene allerdings nicht in ihrer Gänze erfasst und in ein Modell übertragen werden können, werden bei ihrer gedanklichen und realen Konstruktion zwangsweise Idealisierungen am modellierten Phänomen vorgenommen. Dazu gehört unter anderem, dass bestimmte Aspekte fokussiert und andere bewusst weggelassen werden (WINKELMANN, 2019). Außerdem wird zu ihrer Konstruktion ein theoretischer Rahmen benötigt, in dem relevante Fachbegriffe eingeführt wurden und gewisse Gesetze gelten. Im Falle des Regenbogens *abstrahieren* wir zunächst von der eigentlichen Erscheinung und greifen auf Ideen der geometrischen Optik zurück. Es bietet sich an, mithilfe der Geometriesoftware *GeoGebra* einen Lichtstrahl dynamisch zu modellieren, der in einem bestimmten Abstand zur optischen Achse in einen sphärischen Körper einfällt (Abb. 3). Eine Reihe von Modellobjekten in Form von solchen GeoGebra-Modellen wurden bereits als untersuchbare *Visualisierungen* für Phänomene der Optik zusammengetragen (ERB, 2016).

Wird der obere Teil einer Kugel bestrahlt, tritt das Licht teilweise im unteren Teil in Rückrichtung wieder aus. Dabei wird es beim Eintritt nach dem Brechungsgesetz gebrochen, nach dem Reflexionsgesetz auf der Rückseite reflektiert und beim Austritt an der Vorderseite wieder gebrochen. Da der Brechungsindex optischer Medien mit der Wellenlänge variiert, weichen die Winkel beim Ein- und Austritt für einzelne Farben leicht voneinander ab. Entscheidend für die Entstehung des Regenbogens ist allerdings ein anderer Umstand: Die sphärische Form des lichtbrechenden Mediums führt dazu, dass bei gleichmäßiger Bestrahlung der Kugel mit parallelen Lichtstrahlen einer Wellenlänge der Austritt nicht mehr parallel verläuft. Der Ablenkwinkel wächst mit zunehmendem Abstand zur optischen Achse, erreicht ein Maximum und nimmt danach wieder ab. Als Folge wird Licht in der Nähe des Maximums zwei Mal in dieselbe Richtung reflektiert. In Abbildung 3 lässt sich die resultierende

Aufhellung an den dicht beieinanderliegenden Linien beim Austritt erkennen. Um einem naiven Naturwissenschaftsverständnis vorzubeugen, gilt es an dieser Stelle im Unterricht die Grenzen und die Vorläufigkeit von Modellen zu thematisieren. Es wird beispielsweise davon ausgegangen, dass das Licht der Sonne in Form von parallelen Lichtstrahlen auf Regentropfen in Form von Kugeln trifft. Außerdem werden die Abschwächung der Intensität der modellierten Strahlen bei Brechung und Reflexion sowie Mehrfachreflexionen außer Acht gelassen. Ob diese Einschränkungen einen Einfluss auf die Angemessenheit des Modells haben,

bleibt zunächst offen und wird sich im weiteren Unterrichtsverlauf zeigen.

3.3 Vom Modell zur Hypothese

Das erläuterte GeoGebra-Modell visualisiert allgemeine Zusammenhänge, die – abhängig von den jeweiligen Eingaben – situative Ergebnisse liefern. Sobald konkrete Eingaben vorgenommen werden, um eine bestimmte Situation zu modellieren, lässt sich auch von einer *Simulation* sprechen.

Für rotes Licht sagt das GeoGebra-Modell in Abbildung 3 eine höhere Lichtintensität bei einem Ablenkwinkel von etwa $42,4^\circ$ voraus. Geht man von einem parallelen Lichteinfall auf die Erde aus, lässt sich mithilfe der Gleichheit von Wechselwinkeln für die Lage des Regenbogens folgende Hypothese *konkretisieren*: Peilt man als Beobachter den höchsten Punkt des roten Bogens und das Ende des eigenen Schattens an, dann wird zwischen den beiden Richtungen ein Winkel von $42,4^\circ$ aufgespannt (Abb. 4).

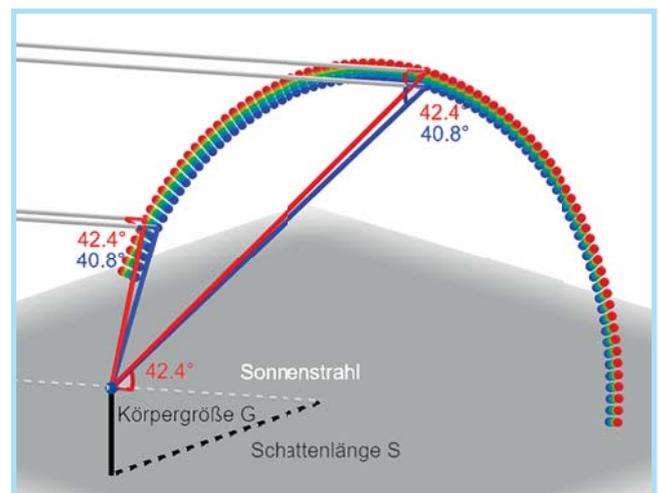


Abb. 4. GeoGebra-Modell als Simulation zur hypothetischen Lage des Regenbogens in Abhängigkeit vom Höhenwinkel der Sonne

Allerdings ist der Brechungsindex von Wasser unter anderem von der Temperatur und vor allem von der Wellenlänge des Lichts abhängig. In guter Näherung variiert der Brechungs-

index von 1,331 für rotes Licht bis 1,342 für violettes Licht. Für verschiedene Farben des Lichts ergeben sich damit Ablenkungswinkel mit maximaler Intensität zwischen $42,4^\circ$ und $40,8^\circ$. Diese Behauptung lässt sich im Folgenden experimentell überprüfen.

3.4 Von der Hypothese zum Experiment

Eine Hypothese enthält klare Vorgaben an die Umstände, in denen ein Phänomen beobachtet werden müsste. Was bleibt, ist diese Vorgaben in einem konkreten experimentellen Aufbau zu *verwirklichen*. Je nach Experiment werden unterschiedliche Messgeräte als Hilfsmittel der *Messwerterfassung* benötigt. Sie basieren ihrerseits auf theoretischen Vorüberlegungen, aber haben sich in der Praxis bereits bewährt, sodass ein Ablesen einer analogen oder digitalen Skala als reale Beobachtung wahrgenommen wird: Ausgestattet mit einem pendelbasierten Höhenwinkelmesser lässt sich bei der nächsten Beobachtung eines Regenbogens der Winkel zwischen dem Ende des eigenen Schattens und dem höchsten Punkt des Regenbogens bestimmen.

Außerdem lassen sich Hypothesen in sogenannten Augmented Reality-Experimenten (AR) überprüfen. Mithilfe der App *GeoGebra 3D Grafikrechner* werden reale Beobachtungen mit idealisierten Modelldarstellungen erweitert, die sich an die realen Gegebenheiten anpassen lassen (TEICHREW & ERB, 2020). Im Falle des Regenbogens wird das in Abbildung 4 abgebildete GeoGebra-Modell im AR-Modus der App auf die von der Kamera des Smartphones erkannte Fläche eingeblendet. Nach der Einstellung der Körpergröße G und Ausrich-

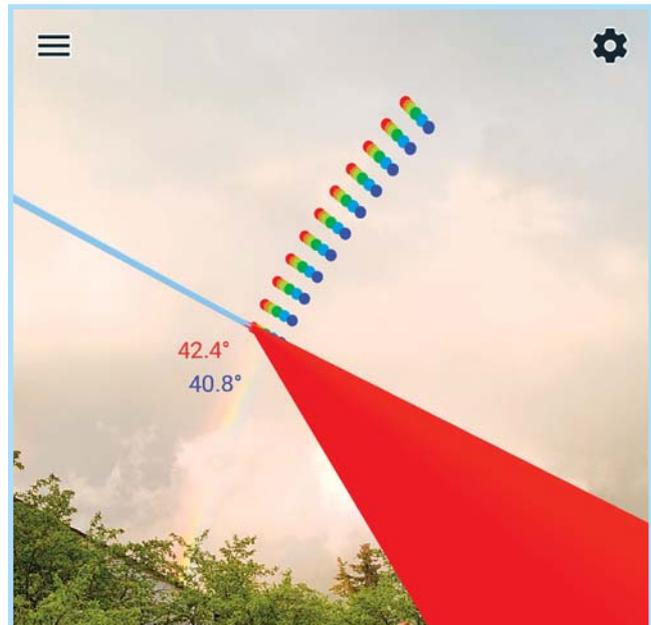


Abb. 5. Vergleich des Modells zur Lage des Regenbogens mit der Realität im AR-Experiment

tung des Modells entlang des eigenen Schattens lässt sich der Weg des Lichts nachverfolgen, das von den verschiedenen Farben des Regenbogens kommt (Abb. 5). Der genaue Abstand einer Regenwand ist für die Beobachtung in der Egoperspektive unerheblich und wird deshalb näher eingestellt als in Wirklichkeit.

↓ Lernprodukte	↓ Lernschritte	↓ Lernmedien
Phänomen – real und allgemein Welche bemerkenswerte Erscheinung soll behandelt werden? Leitfrage der Erkenntnisgewinnung: > Warum läuft diese Erscheinung so ab, wie sie abläuft?	Verallgemeinern (von der Beobachtung zum Phänomen) Loslösung von einer konkreten Situation: > Wie sind die Umstände, die bei der Beobachtung des Phänomens regelmäßig auftreten? > Wie lässt sich das Phänomen im Allgemeinen beschreiben?	Dokumentation > Schilderungen von Alltagsbeobachtungen? > Fotos und Videos? > Qualitative Demonstrationen?
Modell – mental und allgemein Auf welcher Grundlage soll die Erklärung basieren?	Abstrahieren (vom Phänomen zum Modell) Konstruktion eines theoretischen Modells: > Welche naturwissenschaftlichen Ideen und nicht beobachtbaren Elemente werden für die Erklärung benötigt? > Welche Idealisierungen müssen vorgenommen werden?	Visualisierung > Größen und ihre Zusammenhänge? > Statische Skizzen? > Dynamische Konstruktionen oder Animationen?
Hypothese – mental und situativ Wie lauten die qualitativen und quantitativen Vorhersagen?	Konkretisieren (vom Modell zur Hypothese) Ableitung einer überprüfaren Behauptung: > Wie sehen die konkreten Vorkehrungen aus? > Welche Annahmen werden gemacht? > Welche Ergebnisse sind zu erwarten?	Simulation > Berechnungen? > Fehlerabschätzungen? > Simulationen?
Experiment – real und situativ Wie lässt sich die Behauptung experimentell überprüfen?	Verwirklichen (von der Hypothese zum Experiment) Durchführung eines quantitativen Experiments: > Wie sieht der Aufbau aus? > Welche Messgeräte werden verwendet? > Wie werden die Messungen ausgewertet?	Messwerterfassung > Materialien und Messgeräte? > Tabellen und Diagramme? > Videoanalyse? > Sensoren und Smartphones?
Reflektieren (vom Experiment zur Erkenntnis)		
Reflexion des Experiments: Wie gut entspricht der Aufbau den Annahmen? Reflexion der Hypothese: Wie gut passen die experimentellen Ergebnisse zu der Hypothese? Reflexion des Modells: Wie gut entspricht das Modell der Realität? Welche Aspekte wurden nicht bedacht? Welche alternativen Modelle kann es geben? Reflexion des Phänomens: Welche Antwort lässt sich auf die anfangs aufgestellte Leitfrage formulieren? Welche Einschränkungen gibt es? Reflexion der Beobachtung: Auf welche anderen Situationen lässt sich die Antwort noch anwenden?		

Kasten 1. Planungsraaster zum Kreislauf der Erkenntnisgewinnung mit Ausfüllhilfe

↓ Lernprodukte	↓ Lernschritte
Phänomen – real und allgemein Der Regenbogen als auffällige Leuchterscheinung am Himmel. „Warum sehen wir einen Regenbogen dort, wo wir ihn sehen?“	Verallgemeinern (von der Beobachtung zum Phänomen) Bei der Beobachtung des Regenbogens befindet sich die Sonne stets im Rücken und der Blick ist in Richtung eines Regenschauers gerichtet. Wassertropfen reflektieren das Sonnenlicht je nach Farbe in eine bestimmte Richtung.
Modell – mental und allgemein Lichtwege durch eine Kugel mit verschiedenen Abständen zur optischen Achse sowie Brechung und Reflexion	Abstrahieren (vom Phänomen zum Modell) Es wird von parallelen Sonnenstrahlen ausgegangen, die auf Regentropfen in Form von Kugeln treffen. Bei paralleler Bestrahlung einer Kugel mit parallelen Lichtstrahlen einer Farbe verläuft der Austritt nicht mehr parallel. Der Ablenkwinkel erreicht ein Maximum und nimmt danach wieder ab.
Hypothese – mental und situativ „Peilt man den höchsten Punkt des roten Bogens und das Ende des eigenen Schattens an, dann wird zwischen den beiden Richtungen ein Winkel von $42,4^\circ$ aufgespannt.“	Konkretisieren (vom Modell zur Hypothese) Für rotes Licht sagt das visualisierte Modell eine höhere Lichtintensität bei einem Ablenkwinkel von etwa $42,4^\circ$ voraus. Mithilfe der Gleichheit von Wechselwinkeln wird eine Hypothese für die Beobachtung des Regenbogens formuliert.
Experiment – real und situativ Bestimmung des Winkels zwischen dem Ende des eigenen Schattens und des höchsten Punktes des Regenbogens	Verwirklichen (von der Hypothese zum Experiment) Mithilfe von Augmented Reality wird die Hypothese mit der Realität durch die Einblendung des simulierten Regenbogens verglichen. Dazu muss nach der Einstellung der Körpergröße die Konstruktion entlang des eigenen Schattens ausgerichtet werden.
Reflektieren (vom Experiment zur Erkenntnis)	
Das Modell sagt den Ort des Hauptregenbogens mithilfe der Brechung und Reflexion im als Kugel idealisierten Wassertropfen ungefähr voraus. Allerdings lässt sich oft ein Nebenregenbogen beobachten, was sich mithilfe eines um eine weitere Reflexion und Brechung erweiterten Modells untersuchen lässt. Die Lage des Regenbogens hängt vom Sonnenstand relativ zum Beobachter ab und ist charakteristisch für die Brechung und Reflexion in einem sphärischen Körper. Der Brechungsindex von Wasser variiert für verschiedene Farben des Lichts, sodass sich etwas andere Ablenkwinkel ergeben.	

Kasten 2. Ausschnitt des ausgefüllten Planungsrasters zum Regenbogen

Beim Lernen mit Modellen und Experimenten liegt das Ziel eines Experiments im Allgemeinen und eines AR-Experiments im Speziellen im direkten Vergleich der mentalen Ebene in Form von Modellhypothesen mit der realen Ebene in Form von Beobachtungen während eines Experiments. Die Überprüfung der Hypothesen gehört zur schrittweisen Reflektion der erarbeiteten Lernprodukte, die letztendlich zum Erkenntnisgewinn führt.

3.5 Vom Experiment zur Erkenntnis

Wie in der Mitte des Kreislaufs in Abbildung 1 angedeutet, werden die Lernschritte nach dem hypothesengeleiteten Experiment in umgekehrter Reihenfolge nochmals durchlaufen. Lernende reflektieren zum einen die einzelnen Lernprodukte und zum anderen den gesamten Erkenntnisprozess.

Zunächst werden die in den Hypothesen verankerten Idealisierungen und Grenzen in Anbetracht der Realität neu bewertet. Abweichungen zwischen dem Modell und dem Experiment werden akzeptiert, solange das Modell seinen

Zweck erfüllt, den Ort des Hauptregenbogens mithilfe der Brechung und Reflexion im idealisierten Wassertropfen ungefähr vorauszusagen.

Nachdem einzelne Hypothesen des Modells mit experimentellen Ergebnissen verglichen wurden, wird das Modell als Ganzes überdacht. Im Realexperiment werden beispielsweise Nebeneffekte sichtbar, die im Modell nicht berücksichtigt wurden, wie in diesem Beispiel der Nebenregenbogen. Das kann als Ausgangspunkt für eine erneute Iteration des Kreislaufs dienen, der zu anderen mentalen Modellen und Modellobjekten führt. In diesem Prozess wird exemplarisch deutlich, dass alternative Modelle ihre Berechtigung haben, denn sie verfolgen unterschiedliche Zielsetzungen. Die Erkenntnisse aus dem mentalen Modell, sofern sie durch ein Experiment gestützt wurden, dürfen innerhalb der diskutierten Grenzen auf das reale Phänomen übertragen werden. Die anfangs formulierte Fragestellung wird beantwortet und das Phänomen bekommt eine tiefergehende Beschreibung: Die Lage des Regenbogens hängt vom Sonnenstand relativ zum Beobachter ab und ist

charakteristisch für die Brechung und Reflexion in einem sphärischen Körper.

Schließlich können in Zukunft mithilfe des erarbeiteten Fachwissens ähnliche Beobachtungen und Experimente zumindest ansatzweise erklärt werden.

4 Fazit

Am Beispiel des Regenbogens wurde die Struktur eines naturwissenschaftlichen Unterrichts erläutert, der die Bedeutung von Modellen und Experimenten im Erkenntnisprozess unterstreicht.

Das Entwickeln einer Fragestellung ist genauso wie das Aufstellen von Hypothesen ein wichtiger Teil der Planung eines Experiments. Allerdings benötigen Schüler/innen für begründete Vorhersagen zunächst eine Grundlage. Im Vorfeld eines hypothesenüberprüfenden Experiments wird deshalb mithilfe von Visualisierungen ein mentales Modell mit möglichen Zusammenhängen gewisser Größen aufgebaut, das im nächsten Schritt mit konkreten Werten zu einer Hypothese präzisiert wird.

Als Hilfestellung bei der Gestaltung entsprechender Lernumgebungen ist in Kasten 1 ein Planungsraster für Lehrer/innen mit Ausfüllhilfe gezeigt. Die Online-Ergänzung enthält außerdem eine leere Druckvorlage zum Selbstauffüllen und das Beispiel zum Regenbogen mit Links zu den verwendeten GeoGebra-Modellen (Ausschnitt in Kasten 2). Wir hoffen, dass dadurch Modellverständnis als Teil des Naturwissenschaftsverständnisses im Unterricht gefördert wird. Bei der Arbeit mit GeoGebra-Modellen werden naturwissenschaftliche Kenntnisse zum Phänomen vermittelt, die zum Aufbau eines adäquaten mentalen Modells führen sollen. Außerdem können unterschiedliche Modelle zur Beschreibung eines Phänomens diskutiert werden. Dabei wird die Nutzung von Modellen zur Prognose unterstrichen, die nach ihrer Überprüfung im Experiment bei Bedarf überarbeitet werden können.

Der Kreislauf der Erkenntnisgewinnung versteht sich damit als Synthese verschiedener Lern- und Kompetenzmodelle. Er verlangt eine Organisation des Unterrichts um Phänomene, Modelle, Hypothesen und Experimente, was die Förderung von Experimentier- und Modellkompetenzen in einem gemeinsamen Erkenntnisprozess ermöglicht.

Literatur

ERB, R. (2016). *Optik mit GeoGebra*. Berlin: De Gruyter.

HÄRTIG, H., NEUMANN, K. & ERB, R. (2017). Experimentieren als Interaktion von Situation und Person: Ergebnisse einer Expertenbefragung. *ZfDN*, 23, 71–80.

HÖTTECKE, D. (2001). Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der „Natur der Naturwissenschaften“. *ZfDN*, 7, 7–23.

KARABÓCEK, F. & ERB, R. (2015). Funktionale Aspekte des Experiments – Die Sicht der Lehrkraft. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung – Wuppertal 2015* (Nachtrag Frankfurt 2014). <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/543/725> (21.08.2020).

MAHR, B. (2008). Ein Modell des Modellseins – Ein Beitrag zur Aufklärung des Modellbegriffs. In U. DIRKS & E. KNOBLOCH (Hg.), *Modelle* (S. 187–220). Frankfurt am Main: Peter Lang Verlag.

MUCKENFUß, H. (2001). Retten uns die Phänomene? Anmerkungen zum Verhältnis von Wahrnehmung und Theorie. *NiU Physik*, 12(63–64), 74–77.

TEICHREW, A. & ERB, R. (2020). Einsatz und Evaluation eines Augmented Reality-Experiments zur Optik. In S. HABIG (Hg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019* (S. 987–990). Universität Duisburg-Essen. https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2020/TB2020_987_Teichrew.pdf (21.08.2020).

WINKELMANN, J. (2019). Idealisierungen und Modelle im Physikunterricht. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung – Aachen 2019*, 227–231. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/938/1065> (21.08.2020).



ALBERT TEICHREW, teichrew@physik.uni-frankfurt.de, hat die Fächer Mathematik und Physik für das Lehramt an Gymnasien studiert und ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Didaktik der Physik der Goethe-Universität Frankfurt am Main tätig.

ROGER ERB, roger.erb@physik.uni-frankfurt.de, ist Professor für Didaktik der Physik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main. ■