

Peter Labudde

## 6.3 Gespielte Physik – Spielerische Physik

### Spiel und Physik

„Physikerinnen und Physiker sind Spielkinder.“ Mit dieser Feststellung wurden wir als Erstsemestrige zu Beginn des Physikstudiums von einem Dozenten begrüßt. Einige Jahre später las ich von Nietzsche: „Die Würde des Menschen liegt im Spiel des Kindes.“ Seither beschäftigt mich immer wieder die Frage: Wie viel Spiel, wie viel gespielte und zugleich spielerische Physik unterrichten wir?

### Spielregeln Spielverläufe Tipps und Tricks

*Spiel und Spaß in Physik* sollen gleichzeitig *Lernen und Verstehen der Physik* einschließen. Der folgende Beitrag und die Unterrichtsbeispiele gliedern sich, wie eine Spielanleitung, jeweils in drei Teile:

- Spielregeln beinhalten einige methodisch-didaktische Anregungen und Hintergrundinformationen zum Einsatz der Spiele,
- Spielverläufe schildern ganz konkret exemplarische Beispiele für den täglichen Unterricht: Welche physikalischen Voraussetzungen müssen die Spielerinnen und Spieler mitbringen? Wie lauten die Ziele des Spiels? Welche Materialien werden benötigt? Wie könnte das Spiel, d.h. die Unterrichtseinheit, ablaufen?
- Tipps und Tricks geben weiterführende Ideen und Anregungen für Fortgeschrittene, d.h. für ‚Spiel-Physik-Lehrkräfte‘.

Die Beispiele sind eingebettet in den theoretischen Rahmen, wie ihn Kircher u.a. (2001, 173 ff.) für das Spiel sowie Labudde (1997, 2000) für ein konstruktivistisches Unterrichtsmodell aufspannen.

### 6.3.1 Konstruktionsspiele – technische Kreativität

Zu den allgemeinen Spielregeln: Konstruktionsspiele verbinden Physik und Technik. Schülerinnen und Schüler können hier ihrer Kreativität freien Lauf lassen. Wir Lehrpersonen beschränken uns bei den Vorgaben auf ein absolutes Minimum. Als Folge werden die Klasse und wir mit einer Fülle von originellen physikalisch-technischen Ideen beschenkt, mit überraschenden Fragen und Antworten, mit Motivation und Spaß. Alle Beteiligten erleben das Lernen in einer „Wissensbildungsgemeinschaft“ (Stebler u.a., 1994).

Für den Unterricht hat sich folgender Ablauf bewährt:

1. In das Problem einsteigen: Was soll konstruiert werden? Welches Produkt wird erwartet? Wie lauten die Rahmenbedingungen?

## 6.3 Gespielte Physik – Spielerische Physik

gen, d.h. Baumaterial, Zeitdauer, Gruppengröße, Arbeitsplätze etc.? (Zeitdauer für diese Phase je nach Aufgabe 5'-15')

2. Probieren und Entwerfen: Jede Gruppe entwickelt erste Ideen, setzt diese um und baut eine erste vorläufige Version. (20'-45')
3. Erstes Treffen: Die Gruppen kommen zusammen, führen die Probeversionen vor, tauschen Fragen und Antworten aus. (10'-20')
4. Experimentieren und Optimieren (evtl. als Hausaufgabe): In dieser Phase werden die Modelle verbessert, das anfängliche intuitive Basteln macht einem Tüfteln und systematischen Experimentieren Platz. Die Lernenden werden so zu Expertinnen und Experten. (20'-45')
5. Zweites Treffen: Die Gruppen führen ihre Modelle im Plenum vor. Physikalisch-technische Probleme und ihre Lösungen werden kritisch begutachtet, gewürdigt oder hinterfragt. (10'-20')
6. Auswerten: Auf Tafel oder Papier werden Erkenntnisse („Was haben wir gelernt?“) und offene Fragen notiert. Beide bilden eine Basis für den weiteren Unterrichtsverlauf. (10'-20')

Die folgenden Beispiele bzw. Spielverläufe lassen sich – der Altersstufe jeweils angepasst – fast überall einsetzen: Orientierungsstufe, Sekundarstufen I und II, Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften.

**Ziel:** Konstruiere ein Fahrzeug, das durch ein Gummiband angetrieben wird und möglichst weit fährt.

### 1. Beispiel Gummibandauto

*Physikalische Inhalte:* Newtonsche Axiome, insbesondere  $F = m \cdot a$ , Reibungskraft, potentielle und kinetische Energie (bzw. Spannungs- und Bewegungsenergie).

*Rahmen:* Einsatz dieses Beispiels entweder beim Erarbeiten des 2. newtonschen Axioms oder beim Diskutieren des Energiesatzes.

*Material:* Gummibänder (für alle Gruppen genau die gleichen), Holz und Sperrholz, Draht, Klebstoff, Nägel, Schrauben, Räder (Holzräder, Räder von alten Spielzeugautos, alte CDs oder Schallplatten), Laubsäge, Hammer, Schraubenzieher, Handbohrer.

*Durchführung:* Bei der Aufgabenstellung muss bekannt gegeben werden, wo die Schülerinnen und Schüler ihre Autos nachher vorführen, z.B. Pausenplatz, Schulhauskorridor, Turnhalle. Diese 'Teststrecke' sollte einen relativ glatten Belag aufweisen sowie mindestens 30 m lang sein.

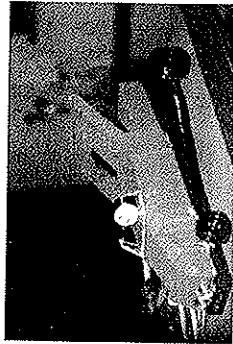
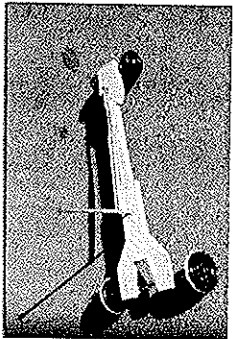


Abb. 6.18: Zwei Gummibandautos

## Physikalische Erkenntnisse

*Auswertung:* Warum beschleunigen die einen Autos mehr, die anderen weniger? Welchen Einfluss hat die Masse des Autos auf Beschleunigung und zurückgelegte Wegstrecke? Welchen Vorteil bieten Antriebsräder, die einen großen Durchmesser aufweisen (z.B. CDs)? Wie lässt sich die Reibung in den Radlagern reduzieren? In diesem Beispiel werden zum einen der Zusammenhang zwischen Kraft, Beschleunigung und Masse sowie die Umwandlung von Spannungs- in Bewegungsenergie „be-greifbar“. Zum anderen erfahren – im doppelten Sinn des Wortes – die Lernenden auch die Bedeutung der Reibungskraft. Ist diese zu klein, d.h. der Reibungskoeffizient bzw. das Gewicht sind zu klein, drehen die Räder beim Beschleunigungsvorgang durch.

*Weiterführende Tipps und Tricks:* Statt eines Gummibands lässt sich auch eine Mausefalle als Antriebssystem verwenden. Diese weist nicht nur eine Feder zur Energiespeicherung auf, sondern besitzt mit dem Holzbrettchen gleich noch ein Chassis. Köhler (2000) schildert ausführlich eine Unterrichtseinheit zum „Mausefallenauto“. Sie schlägt zudem vor, diese Projektaufgabe mit einer schriftlichen Erörterung abzuschließen. In dieser beschreiben und begründen die Jugendlichen aus physikalisch-technischer Perspektive ihre Konstruktion und führen zudem Schwächen und Verbesserungsvorschläge auf. Bei einer eventuellen Benotung gibt Köhler 20% der Note für die Fahrtüchtigkeit und gefahrene Strecke, 30% für die Konstruktion des Autos und 50% für die Erörterung.

*Ziel:* Baue ein Schiff aus Styropor, das Wasser mit sich führt und durch dieses angetrieben wird.

*Physikalische Inhalte:* Potenzielle Energie, Impulsatz, Rückstoßprinzip, evtl. Wasserwiderstand.

*Rahmen:* Dieser Schiffbau kann als verbindendes Element zwischen den zwei Unterrichtseinheiten Energie und Impuls eingesetzt werden. Wird zuerst die Energie diskutiert, hilft der Schiffbau mit, den

Begriff „potenzielle Energie“ zu „be-greifen“: Gleichzeitig entwickeln die Lernenden ein erstes qualitatives Verständnis von Impuls und Rückstoßprinzip (ohne dass diese Begriffe beim Bau des Schiffes bereits bekannt sein müssten).

*Material:* Styropor, Styroporschneider oder Messer, Klebstoff, Wassertecken (z.B. Planschbecken, Brunnen, Badewanne), leere PET-Flaschen (3 dl oder 5 dl), Plastikschläuche bzw. Plastiktrinkhalme, Holz-Spießchen und -Zahnstocher zum Zusammenstecken von Styroporteilen, Litermaß, je nach Bedarf weiteres Recycling-Material.

*Durchführung:* Es empfiehlt sich, die Menge des Antriebswassers auf 300 ml zu begrenzen, denn mehr Wasser führt zu großen Schiffen, für die dann eine passende Wasserfläche fehlt. Wenn immer möglich sollte diese Konstruktionsaufgabe alle sechs Phasen umfassen, d.h. die Kinder oder Jugendlichen sollten zuerst probieren und entwerfen, dann experimentieren und optimieren. Während des Baus treten nämlich derart viele physikalisch-technische Fragen und Probleme auf, dass genügend Zeit zur Verfügung stehen muss (mindestens 80 Minuten reine Gruppen-Arbeitszeit). Bei der ersten Durchführung war es für mich eine große Hilfe, mit einem Kollegen aus dem Fachbereich Technisches Gestalten zusammen zu arbeiten.

*Auswertung:* So einfach die Aufgabenstellung scheint, so interessant und vielfältig sind die physikalischen Einsichten und Herausforderungen, die sich während des Baus einstellen. Hier wird eine altbekannte Triade Pestalozzis umgestellt: „Hand, Herz, Kopf“. Während und nach dem Schiffbau fragen und diskutieren Schülerinnen und Schüler:

- Wie lässt sich das Schiff antreiben? Soll das Wasser hinten durch einen dünnen oder dicken Schlauch fließen? Soll dieser beim Ausfluss horizontal oder schräg nach unten geneigt sein, sich über oder unter der Wasseroberfläche befinden? (Impulsatz)
- In welcher Höhe sollte das Wasser gelagert werden? Könnte es auch eine Art Turbine bzw. Wasserrad antreiben, welche ihrerseits das Schiff vorwärts bewegen? (Energiesatz und Wirkungsgrad)

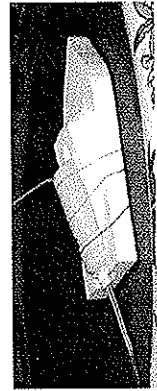


Abb. 6.19: Ein einfaches Turboschiff sowie ein Kataamaran mit Rad

- Wo muss das Wasser platziert werden: in der Schiffsmittle, mehr vorne oder eher hinten? (Schwerpunkt, Stabilität)
- Wie lässt sich der Wasserwiderstand verringern? Welchen Vorteil hat eine Katalan-Lösung? (Querschnitt, Widerstand)

*Weiterführende Tipps und Tricks:* Dieser Schiffbau wurde von mir bereits an anderer Stelle unter dem Titel „Mit den Händen denken lernen beim Schiffbau“ sehr ausführlich beschrieben und als ein Beispiel genetischen Lernens aus dem Blickwinkel der Physikdidaktik diskutiert (Labudde, 1993, 86).

#### Variante Papierschiff



Am Institut für Maritime Systeme und Strömungstechnik der Universität Rostock wird jährlich ein internationaler Wettbewerb ausgeschrieben (Bronst, 2001): Jugendliche sind eingeladen, ein Papierschiff zu bauen. Der Materialeinsatz ist auf 10 g Papier und Kleber beschränkt. Das Schiff mit der größten Tragfähigkeit gewinnt, der Rekord steht bei unglaublichen 2855 g. Der Wettbewerb bietet für Klassen, Gruppen oder Einzelpersonen eine schöne Gelegenheit, über das Gesetz von Archimedes hinaus zu gehen und auf spielerische Art einige physikalisch-technische Grundprinzipien des Schiffbaus zu erarbeiten.

#### 3. Beispiel Ei-Fall-Bremser

**Ziel:** Ein rohes Ei wird aus 2 m Höhe fallen gelassen. Konstruiere ein ‚Gerät‘ bzw. eine ‚Bremsvorrichtung‘, so dass das Ei unbeschädigt auf dem Fußboden landet und dort zu liegen kommt.

**Physikalische Inhalte:** gleichmäßig beschleunigte Bewegung (freier Fall, Bremsvorgang, Radialbeschleunigung), Bremskraft.

**Unterrichtsrahmen:** Dieses Konstruktionspiel kann während oder am Ende einer Unterrichtseinheit zur Kinematik durchgeführt werden. Es leitet von der Kinematik zur Dynamik über.

**Material:** Rohe Eier (pro Gruppe ca. zwei), 2m-Zollstock, A4-Blätter, Karton, Gummibänder, Papierhandtücher, Bindfaden und Bänder, Büroklammern, Tesafilm, Scheren, Kleber, Papierhefter.

**Durchführung:** Zu Beginn werden die genauen Wettbewerbsbedingungen schriftlich festgehalten: Das Ei muss aus 2 m Höhe frei fallen; am Ei selber darf nichts angebracht werden; die Eierbremsmaschinen müssen alleine auf dem Boden stehen, d.h. sie dürfen nicht von einer Person gehalten werden; das Ei muss nachher wirklich auf dem Boden liegen, es darf sich keine Luft zwischen Ei und Fußboden befinden, allenfalls ein oder zwei Blatt Papier. Es reicht eine Bastel- und Experimentierphase von ca. 60' - 90', d.h. die Phasen 4 und 5 sind hier nicht nötig. Die Eier werden erst ganz am Schluss ausgegeben, d.h. wenn die Gruppen im Plenum ihre ‚Ei-

ausgegeben, d.h. wenn die Gruppen im Plenum ihre ‚Ei-Fall-Bremser‘ vorführen. Dieses Vorgehen steigert Spaß und Spannung.

**Auswertung:** Der Ei-Fall-Bremser könnte auch als „Ein-Fall-Bremser“ bezeichnet werden, niemals jedoch als „Einfall-Bremser“.

Der Kreativität sind hier keine Grenzen gesetzt, ein Dutzend Gruppen entwickelt ohne weiteres 5-8 ganz verschiedene Lösungen. Physikalisch „be-greifen“ die Schülerinnen und Schüler hier das Konzept der „Gleichmäßigkeit“, sie verstehen qualitativ das Wort „gleichmäßig“ in dem sonst recht theoretischen Ausdruck „gleichmäßig beschleunigte Bewegung“. Bei einigen Modellen erarbeiten die Jugendlichen intuitiv auch den Zusammenhang zwischen Richtungsänderung und (Radial-) Beschleunigung bzw. Zentralkraft. Zudem entwickeln sie erste Ideen bzw. Präkonzepte zur Proportionalität von (Brems-) Kraft und Beschleunigung. Diese Ideen können in den folgenden Stunden wieder aufgenommen werden.

**Weiterführende Tipps und Tricks:** Die Anregung für dieses Experiment verdanke ich der Arbeitsgruppe „Oberflächen“ des Instituts für Festkörperphysik der Universität Hannover: Als die Institutsmitglieder anlässlich einer Weihnachtsfeier „Ei-Fall-Bremser“ bauten, mussten von den einzelnen Gruppen alle Materialien teuer bei der Organisatorin des Spiels eingekauft werden (z.B. eine Rolle Tesafilm 2.-, ein Blatt Papier 0.5, Ausleihen einer Schere 10.- Euro). Das Geld kam einem karitativen Zweck zugute. Ähnlich könnte das Konstruktionspiel in der Schule eingesetzt werden: Tag der offenen Tür, Basar, Schulfest. So lässt sich Geld sammeln für eine wohltätige Organisation, die Physik-Sammlung oder eine Landschulwoche.

**Eine Bereicherung für Schulfest und -kasse**

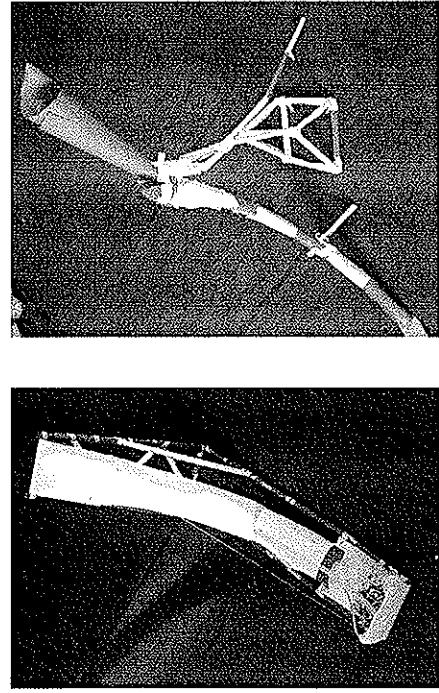


Abb. 6.20: Zwei Ei-Fall-Bremser

### 6.3.2 Gespielte Analogien – modellhaftes Lernen

Zu den allgemeinen Spielregeln: Bei dieser Art von Spielen (Kircher u.a., 2000, 162) geht es darum, Modelle spielerisch darzustellen, z.B. ein Modell für den elektrischen Stromkreis oder eines für die Aggregatzustände. Zuerst werden meist die physikalischen Inhalte erarbeitet. Im Spiel geht es dann um das Durcharbeiten, Üben und Anwenden der Modelle, gleichzeitig aber auch – von der Art des didaktischen Vorgehens her – um modellhaftes Lernen:

- Die Schülerinnen und Schüler können ihre vielfältigen Ideen einbringen, sie aktivieren ihr Vorwissen. Im Idealfall strukturieren sie es neu, nehmen neue und alte Wissensselemente aus der Fachsystematik der Physik auf. Sie verbinden so ihr Vorwissen mit dem Wissen der „scientific community“. Als Lehrkraft moderiere ich das Gespräch, halte mich selbst aber mit eigenen Beiträgen bewusst aus dem Spiel heraus.
- Die Jugendlichen tauschen ihre Vorschläge aus, diskutieren und streiten miteinander – ganz im Sinne eines wissenschaftlichen Streitgesprächs. Inhaltliches und sozial-kommunikatives Lernen gehen hier Hand in Hand.
- Die Kinder oder Jugendlichen spielen die Analogie zusammen – als Gemeinschaftswerk, inklusive Lehrkraft. Jede Person, auch die sonst stille oder uninteressierte, trägt etwas bei.

**Ziel:** Die Klasse als Ganzes spielt im Elektronenmodell einen elektrischen Stromkreis: Strom, Generator, Stromstärke, Verzweigungen.

*Physikalische Inhalte:* Schalter, Leiter, Nichtleiter, Generator bzw. Dynamo, Stromstärke  $I = Q/t$ , Serie- und Parallelschaltung.

*Rahmen:* Nach dem Erarbeiten von Elektronenmodell und geschlossenem Stromkreis können wir als Lehrkräfte das Spiel einsetzen, um das zuvor Erarbeitete zu vertiefen und neue Begriffe qualitativ einzuführen, z.B. Leiter/Nichtleiter oder Stromverzweigungen.

*Material:* Je Person ein (gebrauchter) Tennisball, evtl. einige einfache T-Shirts oder Pullover.

*Durchführung und Auswertung:* Das Spiel lässt sich in verschiedene Phasen gliedern. Schrittweise wird altes Wissen durchgearbeitet, wiederholt oder angewendet sowie neues in Problemen aufgebaut (Aebli, 1985):

- Einfacher Stromkreis mit Generator und Schalter: Die Klasse steht im Kreis, bildet ein geschlossenes Rechteck oder eine an-

dere Figur. Jede Person (sie entspricht dem Atomrumpf eines Metallatoms) hat einen Tennisball (Elektron) in der Hand. Ein Schüler spielt den Generator und ist durch ein einfarbiges, z.B. blaues T-Shirt speziell gekennzeichnet. Zudem ist der eine Ärmel mit + der andere mit – gekennzeichnet. Dieser Schüler setzt den Elektronenfluss jeweils in Bewegung. Eine außerhalb des Kreises stehende Schülerin wirkt als „Schalter“, d.h. kann den Stromkreis unterbrechen bzw. schließen. Bei geschlossenem Stromkreis geben alle Schülerinnen und Schüler ihren Ball jeweils in die gleiche Richtung der Nachbarperson weiter. Nirgends sollte ein Stau oder eine Lücke entstehen. Während und direkt nach dieser Spielphase wird diskutiert: Was ist die Aufgabe des gespielten bzw. eines richtigen Dynamos? Woher erhält dieser seine Energie? Wofür zahlen wir eigentlich die Stromrechnung? (Für den Betrieb des Generators.) Warum kann bzw. darf kein Elektronenstau auftreten?

- Leiter und Nichtleiter: Wie lassen sich diese in unserem Modell darstellen? Wir lassen die Klasse entsprechende Vorschläge machen, diskutieren und dann natürlich spielen.
- Stromstärke: Was bedeutet  $I = Q/t$  in unserer Analogie? (Anzahl Bälle pro Zeiteinheit, d.h. pro Sekunde oder Minute.) Ändert sich die Stromstärke irgendwo im Kreis? (Nein.) Die Klasse könnte zwei Stromstärken spielen, z.B.  $I_1$  und  $I_2 = 2 I_1$ .

- Parallelschaltung: An einer Stelle verzweigt sich der Stromkreis, zwei Schülerreihen von je 4-5 Personen bilden zwei parallele Leiter, die dann wieder zusammenkommen. Bei der Verzweigung werden die Bälle abwechselungsweise auf die beiden Leiter verteilt. Auch hier wird wieder diskutiert: Warum sollten die Bälle auf die beiden Leiter, vorausgesetzt sie weisen identische Eigenschaften auf, gleichmäßig verteilt werden? Wie groß ist die Stromstärke in den parallelen Leitern, bzw. in der zu- und abführenden Leitung?

*Weiterführende Tipps und Tricks:* In dieser gespielten Analogie sollen Schülerinnen und Schüler einige grundlegende Begriffe und Zusammenhänge des elektrischen Stromkreises qualitativ verstehen. Das Spiel und die Diskussion darüber, d.h. wie das Modell am besten darzustellen sei, und damit das Lernen physikalischer Inhalte auf die Engste miteinander verzahnt. Auf eine zu frühe Mathematisierung wird – mit Ausnahme des Terms der Stromstärke  $I = Q/t$  – bewusst verzichtet, ebenso auf den Begriff der Spannung.

#### Physikalische Erkenntnisse

**1. Tipp: Qualitatives Verstehen**

## 2. Tipp: verschiedene Medien und Eingangskanäle

Verschiedene Lernangebote können in ihrer Gesamtheit zu einem vertieften Verständnis des Stromkreises führen: Schülerversuche mit Batterie, Kabeln, Lämpchen, Amperemeter etc.; das hier beschriebene Spielen des Stromkreises; das Erarbeiten im fragend-entwickelnden Unterricht; das Lesen eines Kapitels aus dem Physikbuch; der Bau eines Wasserkreislauf-Modells (Schwedes & Schilling, 1984). Der physikalische Inhalt wird jeweils in verschiedenen „Verpackungen“ erarbeitet. Als Lehrkräfte können wir damit diverse Zugänge öffnen, unterschiedliche Lernwege ermöglichen. Sie werden je nach Individuum verschieden begangen. Teilweise ergänzen sie sich komplementär. Die gespielte Analogie wird nach dem Spiel von den Jugendlichen beschrieben, erklärt und reflektiert (Metakognition; vgl. Kircher u.a., 2000, 122). Sie erhalten so die Gelegenheit, verschiedene Wissensfragmente – aus Spiel, Schülerexperiment, Schulbuch etc. – miteinander zu verbinden, ihre Struktur zum Begriff Stromkreis beweglich und vernetzt auszubauen.

## 2. Beispiel: Aggregatzustände

**Ziel:** Die Klasse stellt die Aggregatzustände des Wassers und seine Zustandsänderungen im Teilchenmodell von Dalton dar.

**Physikalische Inhalte:** Wasser im festen, flüssigen und gasförmigen Zustand, die jeweils verschiedenen Dichten und Kräfte zwischen den Teilchen, Geltungsbereich und Grenzen eines physikalischen Modells.

**Rahmen:** Die Analogie lässt sich in Physik am Anfang der Wärmelehre oder in Chemie bei der Einführung des Daltonmodells spielen.

**Material:** Keines.

**Durchführung und Auswertung:** Wie im 1. Beispiel sind auch hier Durchführung und Auswertung miteinander verwoben. Jede Spielsequenz wird ausführlich diskutiert und lässt so das Wissen wachsen. Ein Spiel, das , Wissen schafft:

„Jede Person stellt ein Wasserteilchen (für ältere Jugendliche: ein Wassermolekül) dar. Wie können wir flüssiges Wasser spielen?“ Die Klasse steht in der Mitte des Klassenzimmers, Hufeisenbestuhlung. Einzelne beginnen, sich zu bewegen (browsnsche Bewegung), gehen aufeinander zu (Dichte), strecken die Arme aus, berühren andere oder ergreifen diese bei Händen oder Schultern (Kohäsionskräfte).

„Wie lässt sich in unserem Modell Eis darstellen?“ Die Jugendlichen gehen „feste Verbindungen“ ein, d.h. greifen andere fest bei den Händen oder hängen sich mit den Armen ein (zum Lösen dieser Bindungen wird Energie benötigt: die Schmelzwärme). Sie diskutieren evtl. die Form des Eiskristalls, die Lehrperson hilft hier mit ihrem

Fachwissen weiter (sechszählige Symmetrie); Klasse und Lehrkraft vergleichen die Dichte von Eis und Wasser (da im Eis je sechs Wassermoleküle ein Sechseck bilden, bleibt je in der Mitte ein freier Raum, d.h. Eis weist eine geringere Dichte auf).

„Und wenn wir jetzt Wasserdampf spielen?“ Die Jugendlichen bewegen sich schnell mit größerem Abstand voneinander (keine Dichte), haben keinen Körperkontakt (keine Kohäsionskräfte), stoßen allenfalls gegeneinander (Richtungsänderung) oder gegen die Wand (Druck).

**Weiterführende Tipps und Tricks:** Für eine ausführlichere Beschreibung dieser gespielten Analogie sei verwiesen auf Labudde (1993, 177). Ergänzungen lassen sich das Spielen von Wasser, Eis und Dampf mit dem Darstellen von gefrierendem sowie kochendem Wasser: Beim Erstarren dehnt sich das Wasser aus und sprengt unter Umständen Glasflaschen oder Wasserleitungen; in der gespielten Analogie erkennt die Klasse, dass sie als Eis wegen der sechseckigen Kristallstruktur mehr Platz benötigt als beim flüssigen Wasser.

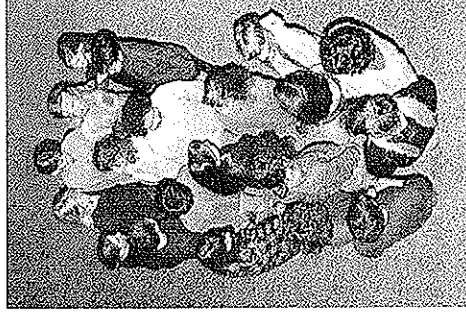


Abb. 6.21: Wasser (links) und Eis (rechts) im Modell dargestellt

Beim Kochen von Wasser gelangen einige Teilchen früher als andere in den gasförmigen Zustand, d.h. sie benötigen mehr Platz. Ein Siebbläschen besteht also aus Wasserdampf. Dies lässt sich im gespielten Modell simulieren.

Eine Diskussion über den Geltungsbereich und die Grenzen von naturwissenschaftlichen Modellen, über das Verhältnis von Modell und

Realität, über die Unterschiede zwischen Entdecken und Erfinden könnte die Unterrichtseinheit abrunden, dies besonders in Klassen, die an Wissenschaftstheorie und Philosophie interessiert sind.

### 3. Beispiel: Dynamisches Gleichgewicht

*Ziel:* In einem Modell simulieren Jugendliche zwei einander entgegengerichtete Prozesse und erleben dabei, wie sich ein dynamisches Gleichgewicht einstellt.

*Physikalische bzw. chemische Inhalte:* dynamisches Gleichgewicht, Dampfdruck, chemisches Gleichgewicht.

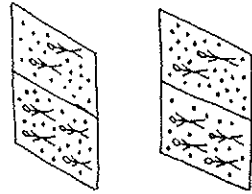
*Rahmen:* Im Physikunterricht der Sekundarstufe II kann das Spiel bei der Behandlung von Gleichgewichtszuständen eingesetzt werden (z.B. Gleichgewicht zwischen Flüssigkeit und Dampf beim Dampfdruck), in Chemie beim Diskutieren des chemischen Gleichgewichts.

*Material:* möglichst viele Bälle, mindestens 40 (Gymnastikbälle aus der Turnhalle, alte Tennisbälle, eventuell auch Tannenzapfen).

*Durchführung:* Wir messen ein Spielfeld ab, das in der Größe ungefähr einem Volleyballfeld entspricht, und teilen es mittels eines Kreidestrichs, Abdeckbands o.ä. in zwei Hälften. An den Außenseiten werden 'Banden' aufgestellt, um das Wegrollen der Bälle zu verhindern. Wenn man dieses Spiel in der Turnhalle durchführt, kann man dabei Sitz- bzw. Schwedenbänke verwenden, im Klassenzimmer auf die Seite gekippte Pulte als Banden. Beim Einsatz von Tannenzapfen kann das Spiel auf einem Rasenfeld ohne Banden durchgeführt werden.

Zwei Mannschaften spielen gegeneinander, die eine umfasst doppelt so viele Personen wie die andere, z.B. vier gegen zwei (die anderen schauen zu und kommen später an die Reihe). Zu Beginn befinden sich die Bälle je zur Hälfte auf den beiden Seiten. Jede Mannschaft versucht nun, möglichst rasch so viel Bälle wie möglich auf das Feld der Gegenseite zu werfen. Die Bälle werden also ständig hin und her geworfen. Frage an die Klasse: „Wie werden die Bälle nach einigen Minuten Spiel auf die beiden Spielfeldhälften verteilt sein?“ Die Klasse beginnt zu überlegen und entwickelt Hypothesen.

Jetzt kann das Spiel beginnen. Bereits nach kurzer Zeit ist ersichtlich: Die eine Mannschaft ist doppelt so groß wie die andere, die Anzahl Bälle auf ihrem Spielfeld wird kleiner (genauer die Konzentration der Bälle, d.h. die Anzahl pro Quadratmeter). Das führt aber dazu, dass diese Mannschaft mehr Mühe hat, Bälle zu finden. Umgekehrt umfasst die andere Mannschaft weniger Personen, hingegen finden diese mehr Bälle auf ihrem Spielfeld. Schließlich kommt es



zur Situation, dass die Anzahl Bälle, die pro Sekunde in die eine Richtung geworfen wird, genau gleich ist der Anzahl in die Gegenrichtung. Es stellt sich ein stabiles Gleichgewicht ein, d.h. die Bälle werden ungefähr im Verhältnis 2:1 auf die beiden Spielfeldhälften verteilt sein. Die folgenden Mannschaften, wobei die eine immer doppelt so groß sein soll wie die andere, können mit anderen Anfangsbedingungen starten: z.B. alle Bälle in einer Spielfeldhälfte oder eine verschiedene Anzahl Bälle zu Spielbeginn bei den beiden Mannschaften. Im Spiel wird sich stets ein Gleichgewichtszustand von ungefähr 2:1 einstellen. (Der durch die Spielanordnung gegebene Ablauf entspricht derselben Gesetzmäßigkeit wie der mikroskopisch reale Vorgang. Die Spielenden müssen sich also nicht um das erwartete Gleichgewicht kümmern, es stellt sich von selbst ein.)

*Auswertung:* Diese gespielte Analogie ist ein typisches Beispiel eines dynamischen Gleichgewichts in einem geschlossenen System, wie wir es beim Dampfdruck oder beim chemischen Gleichgewicht vorfinden. Im Folgenden beschreibe ich – im Sinne eines fachübergreifenden Unterrichts (Häußler u.a., 1998, 43) – das chemische Gleichgewicht. Die folgenden Beschreibungen lassen sich aber leicht auf den Dampfdruck übertragen: Denn dieser ist einfacher als das chemische Gleichgewicht zu erklären, da es sich bei Dampf und Flüssigkeit um den chemisch gleichen Stoff handelt.

Unser Spiel entspricht einer chemischen Reaktion:  $A \leftrightarrow B$ , bestehend aus Hin- und Rückreaktion,  $A \rightarrow B$  und  $A \leftarrow B$ . A steht hier für die Reaktanden, B für die Produkte. Im Gleichgewicht ist die Geschwindigkeit $_{A \rightarrow B}$  der Hinreaktion, gemessen in Mol pro Sekunde, gleich groß wie die Geschwindigkeit $_{B \rightarrow A}$  der Rückreaktion. Hierbei ist die Geschwindigkeit $_{A \rightarrow B}$  das Produkt von Geschwindigkeitskonstante  $k_{A \rightarrow B}$  und Konzentration von A in Mol pro Liter, abgekürzt [A]. Analog wird die Geschwindigkeit $_{B \rightarrow A}$  definiert. Im Spiel entspricht die Geschwindigkeitskonstante der Anzahl Personen in einer Mannschaft, die Konzentration der Anzahl Bälle pro Quadratmeter.

Für den Gleichgewichtszustand gilt:

$$\text{Geschwindigkeit}_{A \rightarrow B} = \text{Geschwindigkeit}_{B \rightarrow A}$$

$$k_{A \rightarrow B} \cdot [A] = k_{B \rightarrow A} \cdot [B]$$

Oder anders mit der Gleichgewichtskonstante der Reaktion notiert:

$$K_{\text{Gleichgewicht}} = k_{A \rightarrow B} / k_{B \rightarrow A} = [B] / [A]$$

Unabhängig von den Anfangsbedingungen und der absoluten Anzahl Moleküle (Anzahl Bälle) wird sich im Gleichgewicht also ein festes Verhältnis der Konzentrationen [A] und [B] einstellen. Das Gleich-

gewicht ist erreicht, wenn sich Hin- und Rückreaktion ausgleichen, d.h. die Waage halten. Für detaillierte chemische Informationen sei auf Dickerson & Geis (1981, 321) verwiesen, die eine vergleichbare Analogie beschreiben.

**Typ:**  
**Gleichgewichte in Natur, Technik und Gesellschaft**

*Weiterführende Tipps und Tricks:* In der Sekundarstufe II kann die lebensnotwendige Bedeutung von Gleichgewichten in einer fächerübergreifenden Unterrichtseinheit zum Thema „Leben im Gleichgewicht“ oder „Gleichgewichte in Natur, Technik und Gesellschaft“ erarbeitet werden. Es lassen sich verschiedenste Gleichgewichte analysieren, ihre Gemeinsamkeiten und Unterschiede vergleichen: z.B. statische, dynamische und stationäre Gleichgewichte in den Naturwissenschaften (chemisches, radioaktives und thermisches Gleichgewicht; Stoff- und Energiewechsel als Fließgleichgewichte in biologischen Systemen), „checks and balances“ der amerikanischen Verfassung, monetäre Gleichgewichte, seelisches Gleichgewicht.

### 6.3.3 Sinnhafte Spiele – ursprüngliches Verstehen

Mit diesen Spielen gelangen wir an Ursprünge physikalischen Denkens. Zualterst sind es ja unsere Sinne, mit denen wir unsere Umgebung wahrnehmen und beobachten. Wir stellen uns Fragen, entwerfen Hypothesen, experimentieren und überprüfen. Seit Jahrtausenden entwickeln so Laien und Fachleute, jede Person auf ihre Art und entsprechend ihrem Niveau, neues physikalisches Wissen: Sei es das „Aha-Erlebnis“ des Individuums oder sei es eine Nobelpreiswürdige Entdeckung in der „scientific community“. In Anlehnung an Wagenscheins Hauptwerk (1970) Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken lässt sich für die hier beschriebenen Spiele – vielleicht etwas optimistisch – skizzieren: Schülerinnen und Schüler entdecken physikalische Phänomene mit ihren Sinnen, spielen mit Phänomenen und Sinnen. Aus sinnlichen werden sinnhafte Begegnungen. Kinder und Jugendliche verstehen Physik an ihren Ursprüngen. Sie nähern sich exaktem, wissenschaftlichem Denken.

Exaktes Denken und wissenschaftliches Arbeiten sind in der Physik des 20. und 21. Jahrhunderts nicht ohne Laborexperimente möglich. Für uns Physiklehrkräfte eine Selbstverständlichkeit, nicht so für unsere Schülerinnen und Schüler! Ein Ziel, das eigentlich zu den wichtigsten Bildungszielen des Physikunterrichts gehört, findet sich leider kaum in einem Lehrplan: *Schülerinnen und Schüler sollen Einsicht in die Notwendigkeit von Laborexperimenten gewinnen*. Ohne diese Einsicht bleiben die Physik als Wissenschaft, die sie vermittelnde Lehrkraft und die fremdartigen Geräte der Physiksammlung für Kin-

**1. Spielregel:**  
**Sinnlich-sinnhaftes Verstehen ermöglichen**

**2. Spielregel:**  
**Einsicht in die Notwendigkeit von Laborexperimenten gewinnen**

der und Jugendliche eine unfassbare Realität. Bei Spielen und Experimenten mit unseren Sinnen gelangen wir, wenn wir es genau wissen wollen, d.h. an die Ursprünge gelangen und es wirklich verstehen wollen, bald einmal an Grenzen: Wir können mit unseren Sinnenorganen nicht exakt genug beobachten und messen: Der Wunsch nach Messgeräten und Laborexperimenten wird wach, die Einsicht in die Notwendigkeit von Laborexperimenten wächst.

**Ziel:** Bestimme den Wasserdruck auf dein Ohr in verschiedenen Wassertiefen, bei unterschiedlicher Neigung des Kopfes sowie in verschiedenen großen Schwimmbecken.

*Physikalische Inhalte:* Druck in Abhängigkeit der Wassertiefe, Druck als skalare Größe, hydrostatisches Paradoxon.

*Rahmen:* Der Besuch im Hallen- oder Freibad findet am besten ganz am Anfang einer Unterrichtseinheit zur Hydrostatik statt.

*Material:* Hallen- oder Freibad; evtl. Taucherbrillen.

*Durchführung:* Niemand sollte gezwungen werden, die folgenden Spiele und Experimente mitzumachen, denn es gibt immer wieder Kinder und Jugendliche, die nicht gerne schwimmen und tauchen. Drei Fragebereiche liefern die Gliederung für die Unterrichtsstunde:

1. Wie verändert sich der Druck mit der Tiefe? Wie stark empfindet man den Druck z.B. in 1.5 m bzw. 3 m Tiefe?
2. Besteht ein Unterschied, ob sich der Kopf senkrecht oder waagrecht unter Wasser befindet? Spürt man bei waagrechttem Kopf überhaupt einen Druck auf dem unteren Ohr?
3. Spielt es für den Druck, den ich in den Ohren spüre, eine Rolle, ob ich in einem flächenmäßig kleinen oder großen Schwimmbecken oder in einem See tauche? (Vorausgesetzt ich befinde mich stets in gleicher Wassertiefe)



Abb. 6.22: Spürt man im unteren Ohr auch den Wasserdruck?

### 1. Beispiel: Hydrostatischer Druck

### Physikalische Erkenntnisse

*Auswertung:* Die spielerischen Experimente im Wasser und die Diskussionen am Beckenrand führen zu folgenden Einsichten:

1. Der Druck nimmt mit zunehmender Wassertiefe zu. Er ist in 3 m Tiefe deutlich stärker als in 1,5 m Tiefe. Ob Druck und Wassertiefe allerdings wirklich proportional zueinander sind, können wir mit dem Ohr als Messgerät nicht bestimmen. An dieser Stelle regt sich der Wunsch nach einem exakten Messgerät. Warum ein solches nicht ins Bad mitnehmen? (Nebenbei: Unsere Sinnesorgane sind für derartige Experimente nicht nur zu unempfindlich, sondern auch wegen des nichtlinearen Zusammenhangs zwischen physikalischem Sinnesreiz und physiologischem Sinnesindruck, wie es im Weber-Fechnerschen Gesetz beschrieben wird, wenig geeignet.)
2. Egal ob das Ohr unter Wasser nach oben, unten, rechts oder links orientiert ist, wir spüren stets den gleichen Druck. Der Druck weist also keine bestimmte Richtung auf. Hier lässt sich mit der Klasse auch ein Vergleich mit der Luft ziehen: Wir befinden uns ja am Boden eines gewaltigen „Luftmeeres“, wie bereits Pascal (1648) feststellte. Druckunterschiede spüren wir unabhängig davon, wie der Kopf geneigt ist, z.B. wenn wir mit Auto oder Fahrrad eine Passstraße oder mit Ski bzw. Snowboard einen Berghang hinunter fahren.

3. Es spielt keine Rolle, ob wir in einem großen oder kleinen Wasserbecken tauchen. Der Druck hängt nicht von der Größe der Wasseroberfläche ab, sondern ausschließlich von der Wassertiefe. Das, was bei anderer Fragestellung zum sogenannten hydrostatischen Paradoxon führt, tritt hier gar nicht als Paradox und damit auch nicht als Lernschwierigkeit auf. Im Gegenteil: Die Erfahrung beim Tauchen hilft zu verstehen, warum die Staudämme eines kleinen und großen Stausees, von je gleicher Tiefe, gleich stark gebaut sein müssen. (Man kann Physik manchmal wirklich schwerer machen als sie ist, z.B. durch das unselige hydrostatische Paradoxon.) – Eventuell wenden Jugendliche ein, sie könnten das „Druckgefühl“ im zweiten Becken nicht mit demjenigen des ersten vergleichen, da die „Druck Erinnerung“ vom ersten Tauchversuch verloren gegangen oder durch andere Sinnesindrücke gestört worden sei. Dieser Einwand ist eine Chance, auf die Notwendigkeit von physikalischen Messgeräten und Laborversuchen hinzuweisen.

### Tipp: Physik im Schwimmbad

*Weiterführende Tipps und Tricks:* Die hier geschilderten sportlich-spielerischen Begegnungen mit dem Druck lassen sich in zwei Richtungen erweitern: Wilke (1998) beschreibt vielfältige hydrostatische Experimente mit PET-Flaschen und Wasser, die die SchülerInnen und Schüler allesamt im Schwimmbad durchführen können. Dies im

Sinne eines echten „Physik-Plansch-Festivals“! Oder die oben geschilderten Experimente werden eingebettet in eine größere Unterrichtseinheit „Physik im Schwimmbad“. Hier werden Themen wie Brechung, Auftrieb, Wärmekapazität und Zeitmessung im Schwimmsport direkt mit dem Alltagsbezug des Schwimmbads erarbeitet (Labudde, 1993, 117).

**Ziel:** Die Jugendlichen erfahren die Radialkraft (Zentripetalkraft) als Ursache einer Richtungsänderung, können diese Kraft qualitativ charakterisieren und in Alltagsbeispielen identifizieren.

### 2. Beispiel: Radialkräfte

*Physikalische Inhalte:* Radialkraft, Reibungs-, Gravitations- und evtl. Lorentz-Kraft (alle drei Kräfte nur qualitativ),  $F_z = m \cdot v^2 / r$ .

*Rahmen:* In der Dynamik kann dieses Spiel zum Einstieg in das Thema „Kräfte bei Kreisbewegungen“ dienen.

*Material:* Abdeckband oder Kreide, Schnur, funkgesteuertes Auto (von einem Schüler oder einer Schülerin mitbringen lassen), Globus, Modellrakete oder -satellit.

*Durchführung und Auswertung:* „Wie lässt sich ein Gegenstand auf eine gekrümmte Bahn bringen: z.B. ein Auto oder Fahrrad in einer Kurve oder ein Satellit in einer Erdumlaufbahn?“ Diese Frage steht am Anfang der Unterrichtseinheit (Labudde, 1993, 152). Auf dem Pausenhof, in der Eingangs- oder Turnhalle markieren wir einen Kreismittelpunkt, spannen eine Schnur als Zirkel und ziehen mit Kreide oder Abdeckband eine Bahn auf den Boden, z.B. einen Halbkreis von 3–4 m Radius. Die Jugendlichen stellen sich in regelmäßigen Abständen der Bahn entlang auf. Die Lehrkraft lässt jetzt ein funkgesteuertes Auto mit konstanter Geschwindigkeit der Bahn entlang fahren, die Räder bleiben immer geradeaus gestellt. Es wird also an der Fernsteuerung während des ganzen Experiments weder Geschwindigkeitsbetrag noch -richtung verändert.

„Jetzt waren wir es, die das Auto auf die Kurvenbahn gezwungen haben. Welche Kraft wirkt bei einem richtigen Auto oder Fahrrad?“ Die Jugendlichen analysieren, es ist die Reibungskraft. „Welche Kräfte wirken auf einen Satelliten in einer Erdumlaufbahn, welche auf ein elektrisches Teilchen in einem Kreisbeschleuniger?“ Wir stellen zur Veranschaulichung einen Globus auf den Bahnmittelpunkt und lassen einen Modellsatelliten um ihn „kreisen“. Die folgende Diskussion zeigt, dass verschiedene Formen von Kräften als Radialkräfte wirken können: Reibungs-, Gravitations-, elektromagnetische Kräfte oder die Kräfte unserer Hände.

### Verstuchsaufbau

### Physikalische Erkenntnisse:

### 1. Charakteristika der Radialkraft



## 2. Arten von Radialkräften



Abb. 6.23: Radialkräfte bei Funkauto und Mond

Erst nach diesem qualitativen Verstehen der Kräfte bei Kreisbewegungen werden die quantitativen Zusammenhänge zwischen Radialkraft, Bahnradius, Geschwindigkeit und Masse diskutiert. Die Erfahrungen aus den vorangegangenen Spielen helfen, entsprechende Hypothesen aufzustellen. Die Jugendlichen realisieren rasch: ihre Hypothesen können nicht mehr mit Händen und Funkauto überprüft werden; dazu bedarf es eines geeigneten Experiments mit Kraftmesser, Stoppuhr, Waage etc. Auch hier wieder: Einsicht in die Notwendigkeit von Laborexperimenten.

## Weitere Beispiele

Sinnhafte Spiele bzw. das Erfahren von Physik mit den eigenen Sinnen lassen sich in weiteren Beispielen umsetzen. Entscheidend ist, dass Kinder und Jugendliche diese nicht einfach theoretisch z.B. anhand eines Lehrbuchtextes erarbeiten, sondern wirklich mit den eigenen Sinnen erfahren: Die Geschwindigkeit eines Autos mittels Dopplereffekt und Ohr bestimmen (Labudde, 1996, 64); den Drehimpulsatz auf einem Kinderkarussell erleben; Kraft und Gegenkraft beim Tragen eines Steines erfahren (Schön, 1991), Eigenschwingung und Resonanz beim Schaukeln spüren (Labudde, 1997); das Fliegen und den aerodynamischen Auftrieb mit einem ausgestopften Vogel flügel entdecken (Labudde, 1993, 170), die Last an einem elektrischen Generator wahrnehmen (Muckenfuß, 1992).

Mit diesen und ähnlichen Beispielen können wir Physiklehrkräfte einer Klage Nietzsches begegnen, der seufzte: „Die Bildung wird täglich geringer, weil die Hast größer wird.“ *Mit sinnhaften Spielen, mit Sinnlichkeit und Sinn wird der Physikunterricht entschleunigt, dafür das ursprüngliche Verstehen gestützt.*