

## II.11 Leitlinie Denk- und Arbeitsweisen der Chemie

Folgende Elemente prägen das Wesen dieser Leitlinie:

- Gliederung des Weges der Erkenntnisgewinnung (→ II.10) in Schritte (Phasen)
- Werkzeuge in Form von Fachmethoden (Arbeitsweisen) und naturwissenschaftliche Denkweisen
- Reflexion über den Weg der Erkenntnisgewinnung.

Die Kenntnis dieser Elemente vorausgesetzt, ermöglichen sie durch ihre Berücksichtigung und Umsetzung im Unterricht den Kompetenzerwerb im Bereich Erkenntnisgewinnung (→ I.2).

### Fachmethoden

Die Fachmethoden umfassen die fachspezifischen – also **chemiespezifischen – Methoden des Experimentierens**. Sie stellen das Instrumentarium für das Experiment auf dem Weg der Erkenntnisgewinnung bereit.

Die schulrelevanten Fachmethoden lassen sich wie folgt einteilen:

- Methoden zur **Ermittlung von Stoffeigenschaften**, z. B. Bestimmung der Siedetemperatur eines Stoffes,
- Methoden zur **Trennung von Stoffgemischen** bis hin zum Reinstoffkonzept, z. B. Destillation zur Trennung von zwei Reinstoffen mit unterschiedlichen Siedetemperaturen,
- Methoden der **Instrumentellen Analytik**, z. B. Spektroskopie (zur Identifizierung eines Stoffes),
- Methoden auf der Basis **chemischer Reaktionen**, z. B. Neutralisation von Salzsäure mit Natronlauge oder Redoxreaktion zur Gewinnung von Eisen.

Es ist das Ziel des Chemieunterrichts, das Prinzip einer Fachmethode ebenso wie die Durchführung und Anwendung zu vermitteln. Nur die Kenntnis der Fachmethoden ermöglicht es, bei einer Fragestellung die richtige Fachmethode für die Untersuchung auszuwählen und sie adäquat einzusetzen.

### Denkweisen

Die Fachmethoden stehen in enger Wechselbeziehung zu den Denkweisen. Es handelt sich um „**intellektuelle Fertigkeiten**“ (Gagné 1973), die den Erkenntnisprozess vorantreiben. Das Spektrum reicht vom Hypothesenbilden über das Planen von Versuchen bis zum Beobachten. Es wird ersichtlich, dass nahezu allen Schritten der Erkenntnisgewinnung (→ II.10) naturwissenschaftliche Denkweisen zugrunde liegen.

### Reflexion

Die Lernenden sollen den von ihnen beschrittenen Weg der Erkenntnisgewinnung kritisch reflektieren. Dafür ist ein entsprechendes **Methodenwissen** – also deklaratives Wissen über die einzelnen Schritte – unverzichtbar (→ Sommer et al. 2022). Auf dieser Basis lassen sich verschiedene Fragen ableiten, die Gegenstand der Reflexion sein können, wie z. B. sind Frage, Hypothese und Planung der Untersuchung in sich stimmig oder wurde die richtige Fachmethode für die Untersuchung ausgewählt. Es wird ersichtlich, dass auch in der Reflexion die verschiedenen Schritte des Weges der Erkenntnisgewinnung aufs Engste miteinander verknüpft werden müssen. (KS)

→ Sommer et al. 2022 → Gagne 1973

## Methodenwissen über die „Hypothese“ – ein Schritt auf dem Weg der Erkenntnisgewinnung

**Das Methodenwissen kennenlernen:** Das Methodenwissen umfasst die inhaltliche Beschreibung des Schrittes in einer für die Zielgruppe – Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I – didaktisch reduzierten Form. Bei den Merkmalen handelt es sich um deklaratives Wissen. Zum Beispiel:

### Merkmale einer Hypothese

1. Sie hat einen Bezug zur Fragestellung.
2. Sie ist eine begründete Vermutung. Dabei wird das Vorwissen einbezogen.
3. Sie ist genau (präzise) formuliert.
4. Sie lässt sich überprüfen, in der Chemie vor allem mit einem Experiment.

**Das Methodenwissen anwenden:** Es wird überprüft, ob die Merkmale am konkreten Beispiel – einer experimentellen Fragestellung – berücksichtigt werden. Es kommt zum Merkmalscheck. Die Lernenden überprüfen selbst, ob sie das erworbene Wissen anwenden können. Insofern handelt es sich bei dem Merkmalscheck um eine metakognitive Lernstrategie (→ III.1).

Ich habe eine Vermutung, wie das gehen könnte: Wenn Rotwein über die Siedetemperatur von Ethanol, aber unterhalb der Siedetemperatur von Wasser erhitzt wird, dann wird Ethanol mit der niedrigeren Siedetemperatur schon gasförmig, Wasser mit der höheren Siedetemperatur bleibt flüssig.

Ich überprüfe mal, ob deine Vermutung eine richtige naturwissenschaftliche Hypothese ist.

1. Deine Hypothese hat einen Bezug zur Fragestellung.
2. Deine Hypothese lässt sich mithilfe der Stoffeigenschaften begründen.
3. Die Wenn-dann-Beziehung beschreibt deine Vermutung genau.
4. Du kannst sie mit einem Versuch überprüfen.



## II.13 Maßnahmen zur Didaktischen Reduktion

Es gibt keine allgemeingültigen „Rezepte“ für didaktische Reduktion, jedoch Vorschläge für Maßnahmen, die zur Elementarisierung beitragen können.

### **Beschränkung auf die qualitative Ebene**

Chemische Vorgänge quantitativ zu erfassen stellt hohe Anforderungen an die Lernenden. Daher sollte die quantitative Durchdringung eines chemischen Sachverhaltes auf der Basis einer soliden qualitativen Betrachtung erfolgen. Qualitativ kann bedeuten, dass die bei einer chemischen Reaktion umgesetzten Stoffe im Fokus stehen und diese anhand ihrer Eigenschaften identifiziert sowie benannt werden (→ II.5).

### **Vernachlässigung**

Mit fortschreitendem Verständnis chemischer Vorgänge wird ersichtlich, dass Nebeneffekte mitbestimmend sind, die im Anfangsunterricht häufig unberücksichtigt bleiben. Solche Vernachlässigungen sind als didaktisches Handwerkszeug zulässig und helfen die Komplexität der Lerninhalte leichter zugänglich zu machen.

### **Rückgriff auf historische Erkenntnisstufen**

Die Geschichte der Chemie zeigt, dass es häufig Probleme bei Verständnisprozessen gegeben hat, die auffällige Parallelen zu den Verstehenskonflikten heutiger Lernender aufweisen. Rückgriffe auf historische Ebenen bieten einerseits Klarheit über die Art der Verständnisschwierigkeiten und andererseits eine Handhabe zur didaktischen Reduktion.

### **Generalisierung**

Generalisierungen sind notwendig, um die Vielzahl von sehr ähnlichen Phänomenen zu ordnen. Damit einher geht jedoch der Verzicht auf Präzision im Detail und somit letztendlich auch auf fachliche Richtigkeit. Nur mithilfe von Generalisierungen zu elementarisieren, birgt die Gefahr, dass auf der Basis (viel zu) weniger Erkenntnisse allgemeingültige Aussage gemacht werden, die nur bedingt richtig sind.

### **Partikularisierung**

Partikularisierung meint didaktische Reduktion durch Betrachtung zunächst eines Teilaspekts unter Zurückstellung anderer Verständnisebenen. Von dieser Möglichkeit wird insbesondere bei der Formulierung von chemischen Gesetzmäßigkeiten Gebrauch gemacht. Dabei gilt die Voraussetzung, dass der Gesamtaspekt nicht verschoben oder gar verfälscht wird und sich andere Teilaspekte zwanglos anschließen lassen.

### **Vernachlässigung begrifflicher Differenzierungen**

Unter Vernachlässigung begrifflicher Differenzierungen wird das Akzeptieren von Begriffen verstanden, die in letzter Instanz nicht genügend ausdifferenziert sind (z. B. Teilchen – statt Atom, Molekül, Radikal (→ II.2)). Die Lehrkraft sollte diese Vernachlässigung bewusst einplanen, wohl wissend, ab wann im Unterrichtsgang eine Differenzierung des Begriffes notwendig ist. (BR, PP)

## Gefahren durch Generalisierung

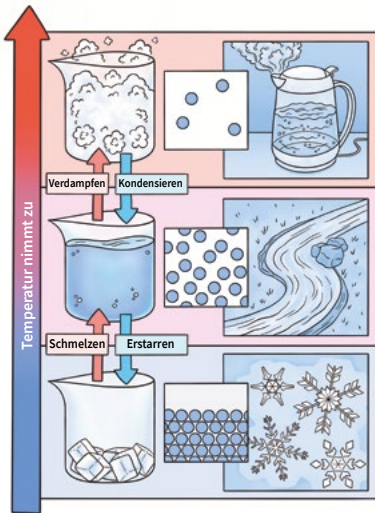


Abb. 1: Aggregatzustände bei Wasser: Fehlerhafte Darstellung der Teilchenabstände beim Aggregatzustand „Feststoff“

**Generelle Annahme:** Je höher die Temperatur, desto heftiger bewegen sich die Teilchen. Bei Verringerung der Temperatur bewegen sich die Teilchen weniger schnell und bei sehr tiefen Temperaturen kaum noch. Im festen Aggregatzustand sind die Abstände zwischen den Teilchen geringer als im flüssigen Aggregatzustand.

In Schulbüchern wird dieses Phänomen gerne am Beispiel der **Aggregatzustände des Wassers** erklärt. Allerdings **folgt** dieses Beispiel **nicht der generellen Annahme**, sondern stellt eine Ausnahme dar. Die Abstände zwischen den Teilchen sind im Eis größer als im Wasser. Deshalb hat Wasser im festen Zustand (Eis) auch eine geringere Dichte als Wasser als Flüssigkeit (Dichteanomalie).

Es erfolgt also eine Generalisierung am falschen Beispiel.

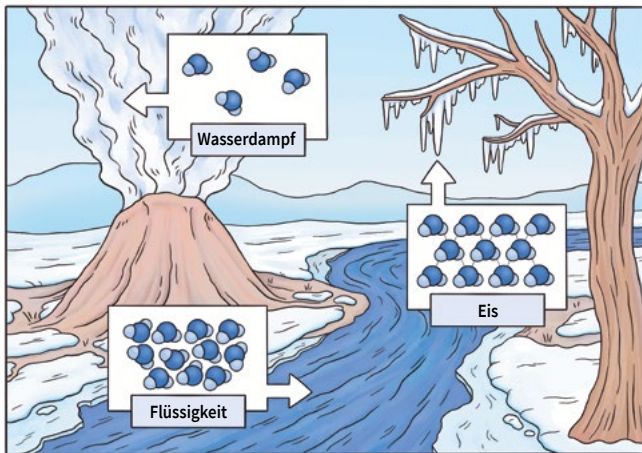


Abb. 2: Aggregatzustände bei Wasser: Richtige Darstellung der Teilchenabstände beim Aggregatzustand „Feststoff“

## V.1 Anforderungen an ein Schulexperiment

Das Experiment ist die **Basis naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung** (→ II. 9, II.10) und unverzichtbarer Bestandteil des Chemieunterrichts. Für die Auswahl eines geeigneten Experiments gelten folgende Anforderungen:

### *Fachliche Richtigkeit*

Ein Experiment muss vom fachlichen Standpunkt aus gesehen das, was erarbeitet werden soll, tatsächlich zeigen. Eine fachlich nicht **zutreffende Deutung** der Beobachtungen soll unterbleiben, auch wenn sie aus didaktischen Gründen in manchen Fällen statthaft erscheint.

### *Deutliche Effekte*

Farbumschläge (z. B. pH-Indikatoren), Niederschläge (z. B. Fällungsreaktionen), Gasentwicklungen (z. B. Wasserstoff bei Reaktion Magnesium/Salzsäure), akustische Effekte (z. B. Knallgasprobe) ermöglichen **deutliche und eindeutige Beobachtungen**. Chemische Vorgänge mit nicht unmittelbar wahrnehmbaren Beobachtungen (z. B. Acetylierung von Salicylsäure) können durch den Einsatz von Beobachtungsinstrumenten und/oder weiterer Fachmethoden erfahrbar gemacht werden.

### *Erfolgreiche Durchführung*

Die **Wahrscheinlichkeit des Gelingens und die Reproduzierbarkeit** sollten hoch sein. Aber auch das Scheitern eines Experiments aufgrund fehlerhafter Planung, Vorbereitung oder Durchführung kann lehrreich sein, wenn die Fehlerquellen im Unterricht benannt und diskutiert werden (z. B. falsche Verdünnung von Reaktionslösungen, defekt-

anfällige Laborgeräte, Nichteinhaltung von Versuchsparametern).

### *Angemessenheit an die Altersstufe und das Vorwissen der Lernenden*

Das Experiment soll durchschaubar, d. h. den **kognitiven Fähigkeiten** angemessen sein und auf den **Vorkenntnissen** aufbauen. Erkenntnisse gewinnen die Lernenden nur, wenn ihnen eine sinnvolle Deutung der Beobachtungen möglich ist.

### *Zeitlicher Rahmen, räumliche Gegebenheiten und Ausstattung*

Das Experiment soll in der Unterrichtszeit durchführbar sein. Die Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung (z. B. Entsorgung von Chemikalien) ist auch im Hinblick auf die räumlichen Gegebenheiten und die Ausstattung der Fachräume zu berücksichtigen.

### *Arbeitssicherheit, Gefährdungsbeurteilung*

Die Lehrperson hat fachkundig bei jedem Experiment die gesetzlichen Richtlinien und **Vorschriften zur Arbeitssicherheit** (besonders Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht: RiSU) zu beachten. Für jedes Experiment muss die Lehrkraft die Gefahrenpotenziale kennen, um die Lernenden ggf. auf Besonderheiten und Vorsicht bei der Durchführung aufmerksam zu machen. Zusätzlich muss eine aktualisierte **Gefährdungsbeurteilung** zum Versuch vorliegen, in der auch Besonderheiten für inklusive Lernende berücksichtigt sind. Für Berufsanfänger ist es unabdingbar, für den Unterricht geplante Versuche vorab selbst durchzuführen. (AL)

→ Sommer et al. 2018

## Anforderungen an ein Schulexperiment – am Beispiel „Chlorwasserstoff-Springbrunnen“

### Fachliche Richtigkeit:

- hohe Löslichkeit von Chlorwasserstoffgas in Wasser (720 g/L bei 20 °C)
- Protolysereaktion:
- $\text{HCl (g)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ \text{(aq)} + \text{Cl}^- \text{(aq)}$
- Bildung einer sauren Lösung (Salzsäure)
- Verringerung des Gasvolumens beim Lösevorgang führt zum Einströmen der Flüssigkeit

### Tipps zur erfolgreichen Durchführung:

- Glaskolben vollständig mit Chlorwasserstoffgas füllen
- Glaskolben bis zum Start des Reaktionsvorgangs trocken halten
- Zum Starten des Vorgangs einige Tropfen Wasser durch das Glasrohr in den Kolben befördern und die Rohróffnung sofort mit dem Finger verschließen
- Nach dem Eintauchen des Glasrohres in die mit Wasser gefüllte Glasschale Öffnung wieder frei geben

### Deutliche Effekte:

- Flüssigkeitsfontäne im Inneren des Rundkolbens beobachtbar
- Verwendung eines pH-Indikatorfarbstoffes für weitere Beobachtung (vgl. fachliche Richtigkeit)

### Zeitlicher Rahmen, Ausstattung:

- Durchführung des Experiments nur einige Minuten
- Zeit für Vorbereitung einplanen, da Chlorwasserstoffgas in einer Gasentwicklungsapparatur hergestellt und im Rundkolben ausreichend gesammelt werden muss

### Vorwissen:

- Löslichkeit von Gasen
- Chemische Reaktion / Bindungen
- Säureeigenschaften
- Säureindikatoren



### Arbeitssicherheit:

- Lehrerdemonstrationsexperiment; auch als Schülerversuch (vgl. GefStoffV) möglich
- Unter dem Abzug durchzuführen, insbesondere wenn auch die Herstellung des Chlorwasserstoffgases im Unterricht gezeigt werden soll
- Gefährdungsbeurteilung



## V.2 Funktionen von Experimenten im Unterricht

Das Experiment hat immer eine **didaktische Funktion** und kann methodisch an verschiedenen Stellen im Unterrichtsverlauf stehen.

### *Das Experiment als Einstieg...*

... soll bei den Lernenden durch unerwartete Beobachtungen einen kognitiven Konflikt erzeugen (→ IV.16). Daraus ergibt sich die Fragestellung für den Unterricht. Es ist die Aufgabe des Einstiegsperiments, den **Zugang zum Unterrichtsthema** zu schaffen und das Problem zu generieren. Derartige Experimente sollen kurz und prägnant sein.

### *Das Experiment zur Auseinandersetzung mit neuen Inhalten ...*

... ist entweder

A) Teil der Problemlösestrategie (Problemlöseprozess)

oder dient

B) zur Erarbeitung, Vermittlung oder Illustration.

A) Die Lernenden sollen sich mit einem Unterrichtsthema gemäß den naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen beschäftigen und das **Experiment als zentralen Schritt** einbeziehen. Der gesamte Weg von der Problemstellung und Hypothesenbildung über die Planung, Durchführung, Auswertung des Experiments bis zur Interpretation der Ergebnisse sollte schrittweise erlernt werden (→ II.10).

B) Demgegenüber wird durch das Erarbeitungs-, Vermittlungs- oder Illustrationsexperiment neues Wissen durch die Betrachtung und Auswertung vermittelt, **ohne** dass der gesamte **Weg der Erkenntnisgewinnung** genommen wird.

### *Übungs- und Wiederholungsexperimente...*

... führen die Lernenden zur **Festigung von gelernten Unterrichtsinhalten** und erworbenen Fähigkeiten durch. Diese Experimente sind den Lernenden grundlegend bekannt, jedoch werden Versuchsparameter geändert oder Varianten der Versuchsdurchführung vorgegeben.

### *Experimente zur Leistungskontrolle...*

... können verschiedene Kompetenzen der Lernenden ins Auge fassen. Nicht allein das Ergebnis des Experimentierens (z. B. Messwerte, Stoffausbeuten), sondern insbesondere die Fähigkeiten und Fertigkeiten bei der Planung, Durchführung einschließlich dem verantwortungsvollen Umgang mit Geräten und Chemikalien sowie der Auswertung des Experiments sollten beurteilt werden (→ IV.18). Voraussetzung ist, dass einerseits die Lernenden ausreichend Gelegenheit zur Übung der Arbeitstechniken hatten und andererseits die Lehrperson die Experimentierleistungen intensiv beobachten kann und ein klares Beurteilungsschema anwendet (→ IV.18).

### *Der Wunderversuch...*

... hat einen unterhaltenden Charakter. Es werden beeindruckende chemische Phänomene gezeigt, ohne die Beobachtungen anschließend zu deuten. Eingesetzt im Chemieunterricht kann der Wunderversuch jedoch eine Haltung gegenüber dem Experiment verstärken, die der zentralen Stellung des Experiments im Erkenntnisprozess – als Element der Erkenntnisgewinnung – widerspricht. (AL)

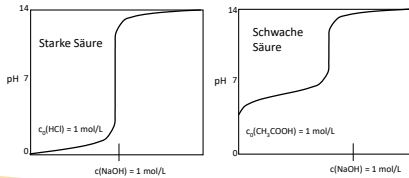
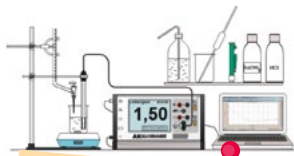
→ Sommer et al. 2018, S. 467–470

## Experiment zum Einstieg: Balkenwaagenversuch



- Kognitiver Konflikt zwischen Alltagserfahrungen (Massenabnahme bei Verbrennungen ( $\rightarrow$  III.7) und diesem experimentellen Befund (Massenzunahme)
- Themenfelder:
  - (1) Verbrennung als Reaktion mit Sauerstoff,
  - (2) Gesetz von der Erhaltung der Masse (in Kombination mit mehreren Verbrennungsreaktionen)
- Mögliche Fragestellungen:
  - (1) Warum nimmt die Masse bei der Verbrennung von Eisenwolle zu?
  - (2) Wie ändert sich die Masse bei der Verbrennung?  
Oder: Nimmt die Masse bei der Verbrennung zu oder ab?

## Das Experiment zur Auseinandersetzung mit neuen Inhalten: Säure-Base-Titration



**Tipp:** Nutzung der digitalen Messwerterfassung und -auswertung ( $\rightarrow$  AK Kappenberg)

### Fragestellung: Liegt der Äquivalenzpunkt immer bei pH 7?

#### Experiment als Teil der Problemlösestrategie (A)

- Hypothesen aufstellen, z. B. Äquivalenzpunkt ist immer bei pH 7 unabhängig von der Säure wegen Neutralisation der Säure durch Base
- Experimentelle Prüfung durch pH-metrische Titration verschiedener Säuren (z. B. Salzsäure, Essigsäure, Kohlensäure, Phosphorsäure, etc.) mit Natronlauge
- Interpretation der aufgenommenen Neutralisationskurven und Einordnung in die Theorie

#### Experiment zur Erarbeitung (B)

- Quantitative Erarbeitung des Konzeptes starke bzw. schwache Säuren durch pH-metrische Titration von Salzsäure bzw. Essigsäure-Lösung mit Natronlauge
- Interpretation der aufgenommenen Neutralisationskurven und Einordnung in Theorie

Beantwortung der Fragestellung

## V.3 Demonstrationsexperimente

Chemische Arbeitstechniken, Vorgänge und Phänomene werden bei dieser Experimentierform den Lernenden gezeigt, ohne dass diese selbst tätig werden. Dabei experimentiert meist die Lehrperson, es können jedoch auch einzelne Lernende in die Vorbereitung und Durchführung des Demonstrationsexperiments einbezogen werden. **Fokussierter als im Schülerexperiment** kann die Lehrperson bei der Demonstration eines Experiments den Lernenden den apparativen Aufbau sowie die Experimentierschritte und -techniken erläutern und auf mögliche und signifikante Phänomene, die zu beobachten bzw. wahrzunehmen sind, aufmerksam machen. Sachverhalte der Chemie werden im Demonstrationsexperiment in besonderem Maße bedeutungsvoll für die Lernenden (Ralle 1994).

### Dimensionierung

Da sich die Lernenden in mehr oder weniger großem Abstand zum Experimentalaufbau befinden, ist dafür Sorge zu tragen, dass dieser und die Phänomene bestmöglich von allen beobachtet werden können. Anzustreben ist die unmittelbare Beobachtbarkeit. Der Aufbau soll deshalb **ausreichend groß dimensioniert** sein. Dies bedeutet meist aber auch den Einsatz größerer Chemikalienmengen, die später entsorgt werden müssen. Bei ungefährlichen Versuchen können die Lernenden näher an den Experimentiertisch geholt und so ein kleinerer Aufbau gewählt werden. Eine Alternative können auch Microscale-Experimente unter Verwendung von **Projektionstechniken** (z. B. Videokamera mit Beamer oder Overheadprojektion) sein. Allerdings

geht dabei die direkte Beobachtbarkeit für die Lernenden weitgehend verloren.

### Wahrnehmung

Die visuelle Wahrnehmung steht im direkten Zusammenhang mit den anschließend ablaufenden Denk- und Lernprozessen (Arnheim 1972). Daher sollen Demonstrationsexperimente wahrnehmungsaktiv aufgebaut und durchgeführt werden. Die sogenannten **Wahrnehmungsgesetze** (Gesetze des Sehens) machen dazu auf verschiedene Aspekte aufmerksam. Sie werden hier nur aufgelistet (Sommer et al. 2018, S. 471–475):

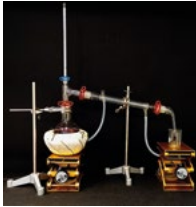
- Figur-Grund-Kontrast
- Einfachheit
- Gleichartigkeit
- Nähe
- Glatt durchlaufende Kurve/Linie
- Symmetrie
- Dynamik links nach rechts
- Objektive Einstellung

Aus pragmatischen Gründen wird die Form des Demonstrationsexperiments zu wählen sein, wenn Experimentiermaterialien, Chemikalien oder die Zeit stark limitiert sind.

Von der Lehrperson sollten Demonstrationsexperimente übernommen werden, wenn diese ein hohes Maß an Erfahrung und Übung für die erfolgreiche und sichere Durchführung erfordern, sodass sich die Lernenden ganz auf die Beobachtung konzentrieren können. Selbstverständlich sind Experimente mit hohem **Gefährdungspotenzial** nur als Lehrerdemonstrationsexperiment durchzuführen. (AL)

→ Ralle 1994 → Arnheim 1972 → Sommer et al. 2018

## Umsetzung der Wahrnehmungsgesetze am Beispiel von ...



Destillation  
von Rotwein

Nachweis  
der Ver-  
brennungs-  
gase



✓ (dunkler Hintergrund)	Gesetz des Figur-Grund-Kontrastes	✓ (dunkler Hintergrund)
✓ (wenig Stativmaterial)	Gesetz der Einfachheit	✓ (wenig Stativmaterial)
✓ (genügend Abstand zwischen Destillations- und Vorlagekolben)	Gesetz der Nähe	./.
X (Die beiden Schläuche für den Zu- und Ablauf des Kühlwassers suggerieren, dass sie in die Apparatur führen. Das kann zu Fehlassoziationen führen)	Gesetz der glatt durchlaufenden Kurve/Linie	X (Optische Kurve der Gasdurchleitung wird durch senkrecht stehende U-Rohrschenkel im Wasserbad unterbrochen; Stativstangen stören die Linie)
./.	Gesetz der Symmetrie	X (Symmetrie des U-Rohrs in der Mitte des Aufbaus stört Dynamik von links nach rechts)
✓ (Destillationskolben links, Vorlagekolben rechts)	Gesetz der Dynamik links nach rechts	X (Verbrennungsgase werden von rechts nach links durch die Apparatur geleitet)

## Ein typisches Demonstrationsexperiment: „Thermitreaktion“

Die Thermitreaktion darf wegen des hohen Gefährdungspotenzials nur als Demonstrationsexperiment von der Fachlehrkraft durchgeführt werden. Der zu beobachtende Reaktionsvorgang beeindruckt durch starken Funkenflug, Rauchentwicklung und das Ausfließen der Eisenschmelze. Der Aufbau ist als Modellexperiment für das aluminothermische Schweißverfahren, wie es im Schienenbau Anwendung findet, zu betrachten.



## V.4 Schülerexperimente

Hervorgehoben ist bei dieser Form die **Selbsttätigkeit der Lernenden** bei der Planung und Durchführung von Experimenten. Pädagogisch und fachdidaktisch erscheint das Schülerexperiment zur **Förderung von Interesse und Motivation** als Prädiktoren der Lernbereitschaft in besonderem Maße wertvoll. Auch die **soziale und kommunikative Bedeutung** wird betont. Zur Auswahl von Schülerexperimenten sind verschiedene Entscheidungsfelder in den Blick zu nehmen:

### *Lehr-/Rahmenplan, Kompetenzbereiche*

Schülerexperimente stehen in den meisten Bundesländern verpflichtend oder optional in den Rahmenplänen bzw. kompetenzorientierten Curricula. Betont werden sie im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung (→ I.2).

### *Konzeptionelle Ausrichtung*

Kernkonzept des Schülerexperiments ist die zum Einsatz kommende Fachmethode bei gegebenem konkretem Fachinhalt (→ II.11). Es werden fachmethodisch geschlossene, halbgeschlossene und offene Schülerexperimente unterschieden. Grundsätzlich werden dabei die **Freiheitsgrade und Eigenständigkeit** der Lernenden bei der Fragestellung, Planung und Durchführung von Experimenten stufenweise geöffnet (→ V.15). Dabei werden zunehmend theoretische Kenntnisse und Fertigkeiten der Fachmethode auf authentische Fragestellungen angewendet.

### *Handhabung*

Die Anforderungen an das manuelle Geschick beim Aufbau und bei der Durch-

führung des Experiments müssen den **Fähigkeiten der Lernenden** entsprechen. Die ausgewählten Experimente sollen robust und tolerant gegenüber Experimentierfehlern sein.

### *Aufwand*

Bei der Vor- und Nachbereitung sowie der Durchführung erscheinen der Zeitaufwand, der Einsatz an Chemikalien und der damit verbundenen Kosten oft hoch. Mit alternativen Experimentiertechniken (z. B. Low-Cost, Microscale u. Ä.) können Aufwand und Kosten reduziert werden. Es muss aber berücksichtigt werden, dass damit die Authentizität chemischen Experimentierens in den Hintergrund tritt.

### *Organisationsformen*

Für die materielle Organisation bieten sich entsprechend der Raumsituation verschiedene Möglichkeiten der Aufbewahrung und Bereitstellung von Experimentiermaterialien in Schränken, Experimentierboxen oder direkt an den Arbeitstischen der Lernenden.

Bei der sozialen Organisation ist zu entscheiden, ob die Lernenden einzeln oder in Partner- oder Gruppenarbeit experimentieren. Zu beachten ist dabei eine mögliche beabsichtigte oder unbeabsichtigte Rollenverteilung.

Die arbeitsmethodische Organisation regelt, ob alle Lernenden arbeitsgleich oder arbeitsverschieden experimentieren. Auch an eine Wahldifferenzierung, zum Beispiel durch verschiedene Experimentierstationen, ist hier zu denken. (AL)

## Schülerexperimente in verschiedenen Ausführungen



Normschliff-Apparatur

Flörke-Kolben mit  
KühllappenLow-Cost-Apparatur mit  
MedizintechnikBürette mit  
AuslasshahnMesspipette mit  
Kunststoffspritze

Gasflasche



Wassersprudler

Gasgenerator mit  
Sprizentechnik

## V.5 Schlüsselstellen und Schlüsselexperimente

**Schlüsselstellen** im Chemieunterricht sind zentrale Stufen der chemiespezifischen Verständniserweiterung. Vergleichbar mit den schwierigsten Stellen eines Anstiegs beim Bergsteigen ist eine erfolgreiche Bewältigung verbunden mit der Bereitschaft zur (kognitiven) Auseinandersetzung und einer (kognitiven) Anstrengung.

An diesen Stellen ermöglichen **Schlüsselexperimente** durch die Erzeugung eines kognitiven Konfliktes eine kognitive Aktivierung, sodass eigene Beobachtungen und Untersuchungen die Schülerinnen und Schüler zum intensiven Nachdenken anregen. Mit Durchführung und Deutung eines jeden Schulexperimentes wird der Umfang der stoffbasierten Erfahrungen der Lernenden vergrößert, mit jedem Schlüsselexperiment werden wichtige Stufen zur Erkenntniserweiterung und damit wichtige Schritte in der Entwicklung des Theorieverständnis besprochen, die zu sichern, festigen und transferieren sind (→ *Abb. 1, S. 123*).

### Stufen der Verständniserweiterung

Für die Sek. I resultieren folgende Stufen der fachspezifischen **Verständniserweiterung**:

1. Kontinuum – Diskontinuum
2. Quantitative Betrachtungen – chemische Symbole, Formeln
3. Elektrische Erscheinungen – Atombau, Ionen
4. Moleküle – Dipole, Teilchenstrukturen
5. Elektrischer Stromfluss – Elektrolyse, galvanisches Element
6. Chemisches Gleichgewicht.

Diese müssen jeweils weiter ausdifferenziert werden, z. B.:

IV. Moleküle – Dipole:

- a) unpolare Elektronenpaarbindung,
- b) Oktettregel, Elektronenpaar-Prinzip auf der Valenzschale, Energieniveauschema,
- c) Elektronenpaar-Abstoßungsmodell,
- d) polare Elektronenpaarbindung, Elektronegativität, e) Wasserstoffbrücken,
- f) Ionen in sauren bzw. alkalischen Lösungen, g) Neutralisation,
- h) Übertragung von Wasserstoff-Ionen.

Für die **Vorbereitung des Unterrichts** ist die Kenntnis sinnvoller Schlüsselexperimente notwendig. Bei IV.a) kann man die Reaktivität der Wasserstoff-Atome direkt nach ihrer Entstehung (aus Zink/Salzsäure in Methylenblau-Lösung: Entfärbung) mit der Stabilität der Wasserstoff-Moleküle (bei Einleiten von Wasserstoff in Methylenblau-Lösung: keine Entfärbung) vergleichen (Tausch & von Wachtendonk 2006, S. 146). Eine tabellarische Aufstellung der Stufen, der wichtigsten Verständnisschritte und praktikabler Experimente findet sich in Sommer et al. 2018, S. 502 ff.

### Lernhindernisse und Diagnose

Wichtige Stufen zur Erkenntniserweiterung sind verbunden mit **Lernhindernissen**, die auftreten können. Um eine gute Passung des Unterrichts zu ermöglichen, sollten der Lehrkraft typische Verständnishürden bekannt sein (Sommer et al. 2018, S. 506). Da der Lernfortschritt der Lernenden an den Schlüsselstellen entscheidend für den weiteren Lernerfolg ist, bieten sich diese Stellen zur Diagnose und **differenzierten Analyse** an (→ III.4). (JWL)

→ Sommer et al. 2018 → Tausch & von Wachtendonk 2006

## Fachspezifische Verständnisenwicklung (Ausschnitt)

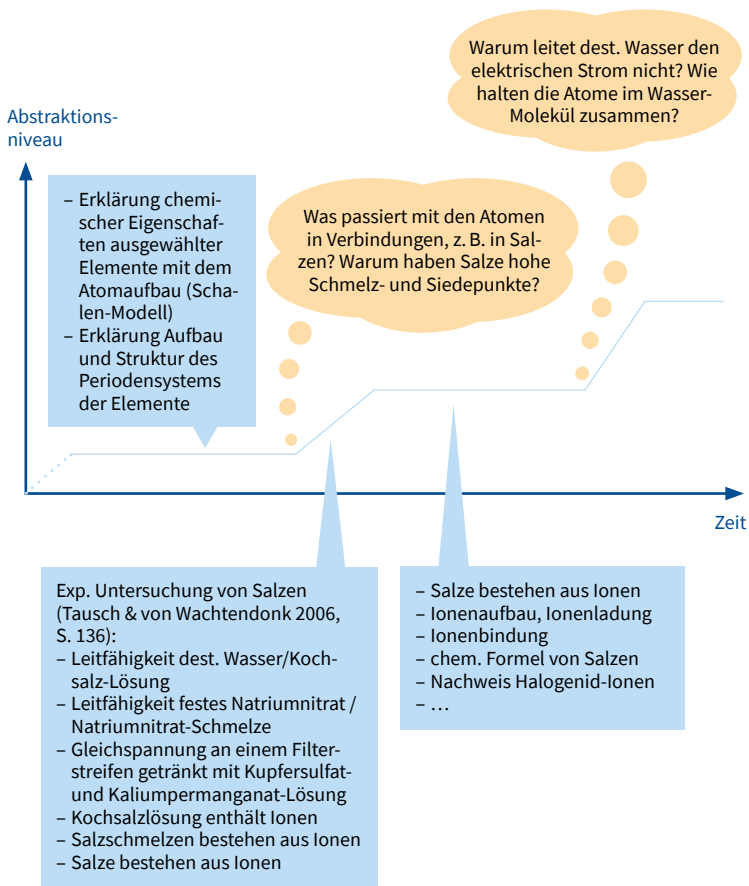


Abb. 1: Fachspezifische Verständnisenwicklung – ein Ausschnitt. Mit den Schlüsselexperimenten zur Untersuchung der Eigenschaften von Salzen wird die Erkenntnis der Schülerinnen und Schüler um die Existenz von Ionen und der Ionenbindung erweitert. Das in Steilphasen erworbene Wissen und die erweiterte Fachkompetenz sind in Plateauphasen (Leisen, 2014, S. 178) zu sichern, festigen und transferieren.