

# Messen und Auswerten

## Die Spannungsreihe der Metalle

Von Lutz Stäudel

In der Chemie gibt es zahlreiche Teilordnungssysteme, die jedes für sich die Abstraktion umfassenden Erfahrungswissens und experimenteller Arbeiten sind. Eines davon ist die Spannungsreihe der Metalle eine gedanklich entwickelte Skala, die die Ausprägung einer ganz bestimmten Eigenschaft einer Gruppe von Stoffen abbildet. Möchte man, dass die Schülerinnen und Schüler am Ende der Auseinandersetzung mit diesem Thema die Spannungsreihe in ihrem Kopf „aufspannen“ können, dann muss man ihnen Gelegenheit geben, sich dieses Abstraktum in einer parallelen Bearbeitung – praktisch-konkret und kognitiv – anzueignen beziehungsweise es im eigenen Kopf zu konstruieren.

Das vorgeschlagene Vorgehen, sowohl im Unterricht als auch mit Studenten und in Fortbildungen erprobt, erlaubt es dabei, einen Weg zu beschreiten, der mit einem Minimum von Vorgaben auskommt. Weder müssen die Schülerinnen und Schüler von Anfang an die Orientierung von Plus- und Minus-Pol berücksichtigen noch müssen sie über entwickelte Vorstellungen der Vorgänge an den Elektroden verfügen. Vielmehr werden sie in einer gut definierten Situation mit einer Messvorschrift zur Quantifizierung eines Effektes konfrontiert und anschließend mit der Frage, wie denn die gewonnenen Ergebnisse sinnvoll miteinander in Beziehung gesetzt werden können.

### Die Vorbereitung

Zum Einstieg in die Thematik eignen sich sehr unterschiedliche Elemente [1, 2]:

- ein Brainstorming zur Frage „Wie kann man an einem beliebigen Ort ein elektrisches Gerät betreiben?“ [3]
- der bekannte „Zitronen-Batterie-Versuch“, bei dem man je einen Streifen Kupferblech und Zinkblech in eine Zitrusfrucht steckt und damit einen kleinen Motor zum Laufen bringt [4],

- ein historischer Text oder historische Abbildungen zur Entdeckung der „chemischen Elektrizität“ [5, 6]

- ein klassischer Demonstrationsversuch, bei dem durch das Eintauchen der Metalle in eine Lösung der Stromkreis geschlossen und am Voltmeter ein Ausschlag abgelesen werden kann.

- bzw. eine Kombination der verschiedenen Möglichkeiten, z. B. c) und d) oder a) und b) in Partner- oder Gruppenarbeit.

In der sich anschließenden Phase werden einerseits die Ergebnisse und Überlegungen der Schülerinnen und Schüler zusammengetragen, andererseits muss vor diesem Hintergrund eine Fokussierung auf die folgende experimentelle Fragestellung stattfinden. Für die Lehrkraft ist es dabei hilfreich, wenn sie sich bereits, sozusagen routinemäßig, auf die Grundsätze naturwissenschaftlichen Vorgehens berufen kann:

Ein Phänomen wird isoliert und von möglichen störenden Einflüssen abgeschirmt, eine Versuchsanordnung wird entwickelt, die sich eindeutig beschreiben lässt und mittels der ein Parameter systematisch verändert werden kann. Schließlich ist die Fragestellung, die mit dieser experimentellen Anordnung verfolgt werden soll, zumindest vorläufig zu formulieren und es ist notwendig zu klären, wie die Ergebnisse der Versuche protokolliert werden.

Am Ende dieser Phase steht die Versuchsanordnung mit austauschbaren Halbzellen, wie sie sich im **Arbeitsblatt 1** wiederfindet.

### Anmerkungen zur „Vorbereitung“

Der Schwerpunkt dieser Unterrichtssequenz liegt ausdrücklich auf den Aspekten „Messen und Auswerten“, wie man aber sieht, lassen sich die anderen Elemente des naturwissenschaftlichen Arbeitens kaum davon trennen. Allerdings würde man die Lernenden überfordern

beziehungsweise den Unterricht überfrachten, wenn man in jedem Fall alle Aspekte der naturwissenschaftlichen Vorgehensweise in gleichem Umfang thematisieren wollte.

Bei der Formulierung der zentralen Fragestellung für die später durchzuführenden Messreihen ist zunächst eine gewisse Zurückhaltung angebracht: Da sich die „Spannungsreihe“ im Bewusstsein der Lernenden erst aus der Summe der Einzelmessungen ergeben wird, kann hier nur ein konkretes Ziel der Messungen festgelegt werden, zum Beispiel „Welche Spannung erhält man, wenn man je zwei (der ausgegebenen) Metalle und ihrer Salzlösungen miteinander kombiniert“. Eine solche Fragestellung ergibt sich in der Regel zwanglos aus dem Unterrichtsgespräch, da die Schülerinnen und Schüler meist schnell wissen wollen, welche Spannung man maximal mit zwei unterschiedlichen Metallen erreichen kann.

Bei der – lehrergeleiteten – Herausarbeitung einer geeigneten Versuchsanordnung kann die Leitfrage lauten „Wie erhält man möglichst eindeutige Versuchsbedingungen für die Kombination von zwei beliebigen Metallen?“ Wie sich etwa beim Versuch mit der Zitronenbatterie zeigt, variiert die Spannung stark mit dem Zustand der Zitrone: wie stark sie zuvor gedrückt wurde, um eine möglichst nicht unterbrochene flüssige Phase herzustellen, wie ihr Säuregehalt ist oder wie alt und/oder saftig eine Frucht ist. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer kontrolliert hergestellten flüssigen Phase. Schülerinnen und Schüler, die bereits geübt sind im expliziten Umgang mit der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise, werden darüber hinaus auch die Größe, Dicke und Eintauchtiefe der Metallstreifen thematisieren. Da in der Regel aber keine gleich großen Metallstücke zur Verfügung stehen, ist dieser Aspekt zumindest in einem Kontrollversuch zu überprüfen.

Die Verwendung einer elektrisch leitenden Verbindung zwischen den „Halbzellen“ wird bei dieser Form der Entwicklung der Versuchsanordnung zumindest einsichtig, der konkrete Bau des Stromschlüssels ein Filterpapierstreifen getränkt mit KCl-Lösung wird von der Lehrkraft als erprobte Lösung eingebracht. Bekanntermaßen lassen sich Spannungsmessungen mit Paaren von Metallen im stromlosen Zustand praktisch in beliebigen wässrigen Lösungen durchführen, jedoch sind die Ergebnisse dann weder gut reproduzierbar noch charakteristisch. Inwieweit die Lehrkraft an dieser Stelle die Verwendung der jeweils zugehörigen Metallsalzlösungen (vorzugsweise der Chloride oder Sulfate) begründet, hängt davon ab, ob zuvor bereits die Oxidation und Reduktion als Abgabe und Aufnahme von Elektronen erarbeitet wurden und inwieweit der Ionenbegriff verfügbar ist. Es sei jedoch darauf hin-

gewiesen, dass der Ionenbegriff weder für die Durchführung der Messreihen noch für die qualitative Erarbeitung der Spannungsreihe notwendig ist.

Bei der gewählten Vorgehensweise – jede Schülergruppe führt alle Messungen durch – ergeben sich ganz zwanglos so viele Parallelergebnisse wie es Gruppen gibt. Trotzdem sollte vor Beginn der Gruppenarbeit thematisiert werden, wie wichtig es ist, auf diese Weise jede Messung mehrfach durchführen zu können, um mögliche Fehler klein zu halten.

Hinsichtlich der Protokollierung der Messergebnisse hat es sich als hilfreich erwiesen, eine kurze Partnerarbeit vorzuschalten, während der entsprechende Vorschläge entwickelt werden. Will man nicht einen Teil der Ergebnisse vorwegnehmen, dann darf zu diesem Zeitpunkt weder die Abfolge der Metalle noch ihre Orientierung zueinander eine Rolle spielen (vgl. Tab. 1).

## Durchführung der Messungen und Zusammentragen der Ergebnisse

Für die Durchführung der Messungen in Gruppenarbeit ist, einschließlich der Herstellung der Halbzellen, je nach Geübtheit der Schülerinnen und Schüler und je nach Anzahl der Waagen, zwischen einer Stunde bis zu einer Doppelstunde zu veranschlagen. Aus Gründen der Zeitökonomie sollte darauf hingewiesen werden, dass bei der Herstellung der Metallsalzlösungen keine übergroße Genauigkeit erforderlich ist. Will man die Dauer für die Vorbereitung der Halbzellen verkürzen, dann kann man bereits kleine beschriftete Bechergläser mit eingewogenen Salzen für die Gruppen zur Verfügung stellen.

Die Herstellung des Stromschlüssels führt die Lehrkraft am besten einmal vor, damit diese kritische Fehlerstelle (mangelhafte Leitung mit dem Effekt zu nie-

## ARBEITSBLATT 1

### Spannungsmessung

#### ▼ VORBEMERKUNG ZU DEN MESSUNGEN

- Stellt vor Beginn der Messungen in eurer Gruppe für jedes zu untersuchende Metall eine Halbzelle her. Dazu löst ihr die ausgegebenen Metallsalze jeweils in je einem kleinen Becherglas mit 50 mL destilliertem Wasser. Rührt mit einem sauberen Glasstab, bis sich alles gelöst hat.
- Bereitet eine ausreichende Zahl Stromschlüssel vor. Dazu schneidet ihr das ausgegebene Filterpapier in 15 cm lange und 5 cm breite Streifen und tränkt sie gründlich mit KCl-Lösung. Für jede Messung muss ein neuer Stromschlüssel benutzt werden.
- Bei den anschließenden Messungen sollt ihr jede Halbzelle mit jeder anderen kombinieren (vgl. Abb. 1). Entwerft dazu einen sinnvollen Versuchsplan. Macht euch Gedanken, wie ihr die Messwerte sinnvoll protokollieren könnt.

#### ▼ DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN

- Steck die Verbindungen zwischen Metallelektroden und Messgerät bei ausgeschaltetem Messgerät. Stellt zuerst einen größeren Messbereich ein, dann einen kleineren für eine genauere Messung.
- Achtet auf feste elektrische Verbindungen!

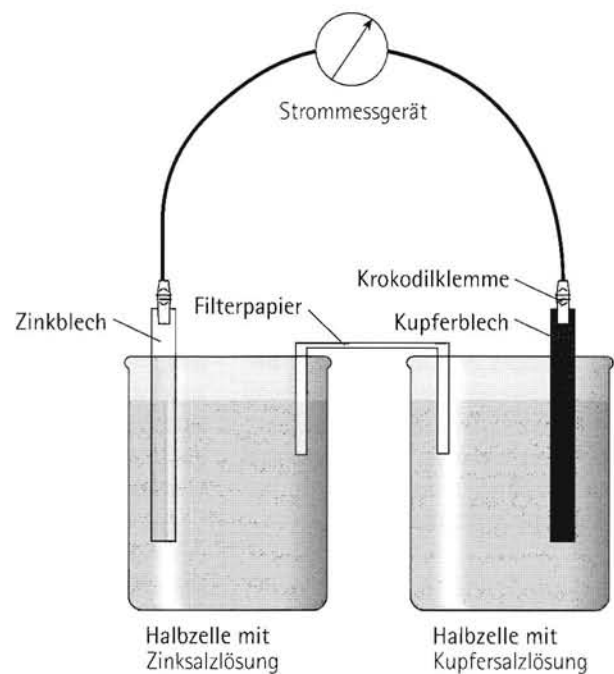


Abb. 1: Kombination der Zink- mit der Kupferhalbzelle

Der Stromschlüssel muss tief genug in die Metallsalzlösungen eintauchen und soll die Metallelektroden nicht berühren.

- Kombiniert jede Halbzelle mit jeder anderen! Führt jede Messung dreifach durch!

drig gemessener Spannungen) möglichst ausgeschaltet werden kann. Um eine Vermischung der Metallsalzlösungen zu vermeiden, muss der Stromschlüssel stets neu hergestellt werden.

Kritisch sind auch die Kontakte zwischen Metallblechen und ihren Zuleitungen. Die Krokodilklemmen dürfen nicht korrodiert sein, im Zweifelsfall schmirgelt man sie kurz und weist darauf hin, dass sie gut zusammengedrückt werden müssen.

Bei den Messungen treten erwartungsgemäß größere Schwankungen auf, die sich in den gefundenen Spannungswerten dokumentieren. Dies zeigt sich schnell, wenn die Gruppen ihre Ergebnisse an der Tafel in die zuvor kurz besprochene Tabelle eintragen. Insbesondere bei der Kombination mit der Magnesium-Halbzelle finden sich, vermutlich wegen Störungen in der an der Elektrode ausgebildeten Doppelschicht und/oder pH-Wert-Veränderungen, Abweichungen von bis zu 50 % nach unten. Eine bloße Mittelwertbildung wäre hier kaum sinnvoll, jedoch muss die Eliminierung von einzelnen Werten zumindest plausibel gemacht werden. Dies kann unter Hinweis auf gewöhnliche Batterien erfolgen und mit der Frage, wie wahrscheinlich es denn sei, dass eine 1,5-V-Batterie plötzlich eine deutlich höhere Spannung aufweisen würde, wohingegen das „Schwächer-werden“ ja ein durchaus bekannter Effekt ist.

Nach Diskussion der Einzeldaten kann man das Berechnen der Mittelwerte wieder den Gruppen überlassen. Schließlich erhält man Ergebniswerte wie in **Tabelle 2**.

### Konstruktion der Spannungsreihe aus den Messergebnissen

Die Idee für die anschließende Phase der Ordnung und Systematisierung der Ergebnisse bis hin zur Bildung der Spannungsreihe als kognitivem Konstrukt ist denkbar einfach: Schülerinnen und Schüler übertragen die Messwerte in eine anschauliche Form der Darstellung, nämlich in Papierstreifen, deren Längen den numerischen Werten proportional sind. Dabei können, je nach Schülerzahl und räumlichen Möglichkeiten, sehr unterschiedliche Maßstäbe vorgegeben werden. Am eindrucksvollsten ist ohne Zwei-

### Gemessene Spannungen in [V]

	Magnesium	Kupfer	Eisen	Zink	Silber
Magnesium		1,56	1,22	0,72	1,82
		1,50	1,18	0,68	1,80
		0,85	1,22	0,70	1,45
Kupfer			0,41	0,85	0,60
			0,50	1,01	0,62
			0,51	0,63	
Eisen				0,50	1,00
				0,48	0,76
					0,91
Zink					1,37
					1,45
					0,92

Tab. 1: Charakteristische Gruppenmesswerte

### Gemittelte Messwerte in [V]

	Magnesium	Kupfer	Eisen	Zink	Silber
Magnesium		1,53	1,21	0,70	1,81*
Kupfer			0,50*	1,01*	0,61*
Eisen				0,49	0,95*
Zink					1,41*

Tab. 2: Charakteristische gemittelte Werte

### Arbeitsaufträge zum Aufstellen einer Spannungsreihe

Ihr habt für die Kombination von je zwei Metallen und ihren Salzlösungen unterschiedliche Spannungen gemessen.

- Stellt für jedes Halbzellenpaar einen Papierstreifen her, der genau so lang ist, wie es dem gemessenen Wert entspricht. 1,0 Volt soll dabei durch einen Streifen von 1 m / 100 cm Länge dargestellt werden.
- Benutzt dazu die ausgeteilten Registrierkassenrollen/Toilettenpapierrollen.
- Beschriftet die Papierstreifen an den Enden mit den chemischen Symbolen der Metalle.
- Legt die Papierstreifen auf dem Boden aus und versucht, sie sinnvoll zu ordnen.
- Fasst euer Ergebnis kurz zusammen.

fel der Maßstab  $1\text{ V} = 1\text{ m}$ , was sich leicht mit Papier von einer Toilettenpapier-Rolle realisieren lässt. Eher für die Arbeit am Gruppentisch eignet sich die Umsetzung  $1\text{ V} = 1\text{ dm}$ . Andere Umrechnungsfakto-

ren mit Zahlenwerten  $\neq 1$  haben sich nicht bewährt, weil sie die Analogiebildung eher behindern.

Ein Kompromiss kann darin bestehen, der Mehrzahl der Gruppen die Tischva-

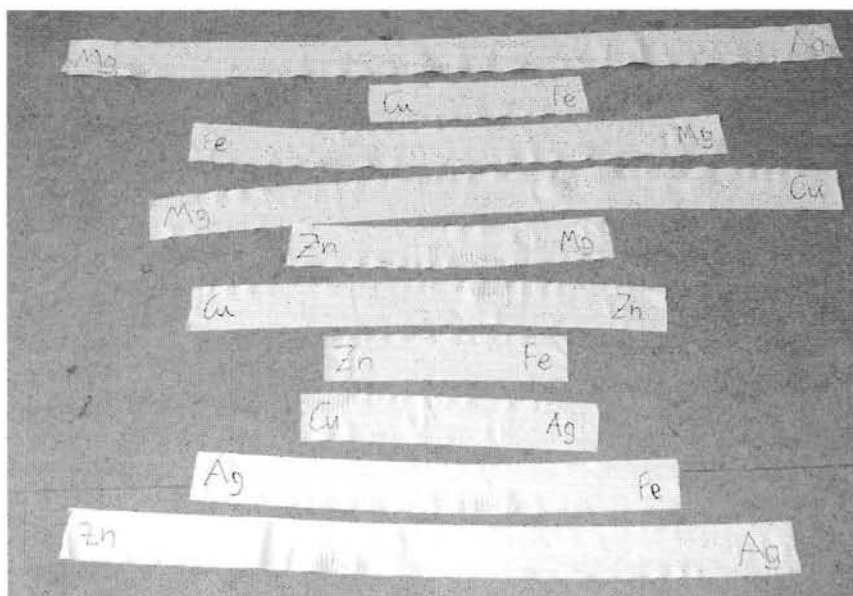


Abb. 1: Die Halbzellen-Paare wurden von den Schülerinnen und Schülern zunächst unsortiert auf dem Boden ausgebreitet

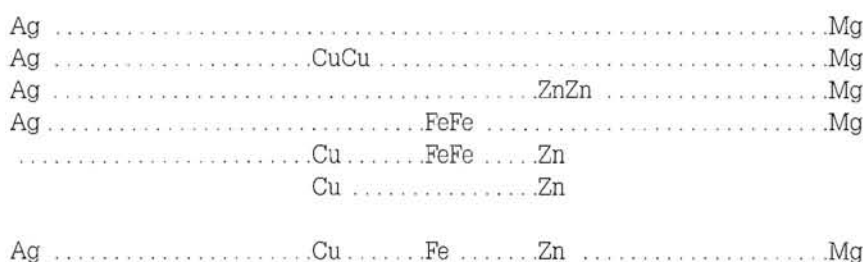


Abb. 2: Richtige Kombination der Halbzellenpaare

riante vorzuschlagen und eine oder zwei Gruppen im Meter-Maßstab arbeiten zu lassen. Interessant ist auch eine Auswertung der Dezimeter-Variante am Overhead-Projektor.

Mit dem Arbeitsauftrag versehen übertragen die Gruppen die gemittelten Messwerte auf Papierstreifen, schneiden sie entsprechend ab und beschriften die Enden. Die anschließende Phase des Ordnen erscheint zunächst oft chaotisch bzw. unstrukturiert; nach kurzer Zeit aber beginnen einige Schüler, Streifen mit gleichen Bezeichnungen parallel zu legen. Bei den vorgegebenen 5 Halbzellen-Paaren ergeben sich die in **Abbildung 2** dargestellten Kombinationen, die nach anfänglichen Schwierigkeiten relativ schnell herausgearbeitet werden.

Nach der gegenseitigen Vorstellung der Gruppenergebnisse ist es nur noch ein kleiner Schritt, bis die parallel gelegten Strecken auf einen gemeinsamen

Streifen übertragen werden, der dann mit entsprechenden Markierungen versehen wird (**Abb. 3**). Zu diesem Zeitpunkt werden immer noch „Abstände“ aufgetragen, aber es lässt sich jetzt ohne größere Probleme begründen, welchen Vorteil eine Skala mit frei gewähltem Nullpunkt hat. Weil sich die Funktionsweise der Wasserstoff-Standard-Elektrode oft dem Verständnis entzieht, kann hier zunächst die Bezugnahme auf den Wasserstoff über das Reaktionsverhalten gegenüber verdünnten Säuren vermittelt werden, eine Präzisierung der Nullpunktswahl kann später noch erfolgen.

### Nachbetrachtungen

Der hier vorgestellte Ansatz zur Erarbeitung der Spannungsreihe verdankt seine Existenz der Diskussion um die Vorstellung von konstruktivistischen Lernpro-

zessen. Wie bei ähnlichen Material gestützten Unterrichtssequenzen – z. B. dem Ordnen eines Kärtchentisches zu den Aggregatzuständen [7, 8] – wird eine Parallelität äußerer konkreter und innerer geistiger Tätigkeiten unterstellt. So wie sich außen eine Ordnung der Metalle auf Grund visualisierter Messwerte herausbildet, kann sich im Bewusstsein der Lernenden diese Skala bilden, die wir traditionsgemäß Spannungsreihe nennen. Wie man sieht, ist der Aufwand hierfür kaum größer als bei anderen Verfahren der Einführung, jedoch sind die vorab zu machenden Annahmen und Regeln deutlich weniger, und den Schülerinnen und Schülern kann schließlich das Ergebnis als Produkt einer geistigen Anstrengung vermittelt werden – wie viele andere Gesetze, Regeln oder Modelle der Naturwissenschaften auch [9].

### Literatur

- [1] Schmidkunz H., Pohl J.: Elektrochemie, Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie 66 (2001)
- [2] Jansen W. (Hrsg.): Handbuch der experimentellen Chemie Sekundarbereich II, Bd. 6, Elektrochemie, Köln 1994
- [3] Ducci M., Ducci B., Oetken M.: Aluminium in der Spannungsreihe der Metalle. NiU-Chemie 12 (2001) Nr. 66, S. 39-42
- [4] <http://www.science-club.lu/fuerschen/exp/Kartoffelbakterie/kartoffel.htm>
- [5] <http://marvin.sn.schule.de/~gyfloeha/rt/lex03/volta.html>
- [6] [http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/haus/strom\(R.Blume\)](http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/haus/strom(R.Blume))
- [7] Freiman T., Schlieker T.: Methodenwerkzeuge. NiU Chemie 12 (2001), Nr. 64/65, S. 84–89
- [8] Stamme M.: Fressen und gefressen werden. Strukturelles Denken entwickeln. In: Friedrich Jahresheft „Aufgaben“ (2003), S. 90–92
- [9] Stäudel L., Werber B., Freiman T.: Lernbox Naturwissenschaften verstehen und anwenden. Seelze 2002, S. 71–81 (Kapitel 7: Regeln, Gesetze, Theorien)

► Dr. Lutz Stäudel, seit 1976 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Kassel (Chemiedidaktik)

Eisenschmiede 76, 34125 Kassel  
Lutzs@uni-kassel.de ◀

Herausgeber: Prof. Dr. Peter Pfeifer, Nürnberg, Thomas Freiman, Erlangen, Dr. Lutz Stäudel, Kassel

## BASISARTIKEL

Lutz Stäudel	
Naturwissenschaftliches Arbeiten	4
Peter Pfeifer	
Was heißt „naturwissenschaftliches Arbeiten“?	7
Thomas Freiman	
Bildung? Grundbildung	12

## UNTERRICHTSPRAXIS

Manfred Prenzel und Ilka Parchmann	
Kompetenz entwickeln	15
Vom naturwissenschaftlichen Arbeiten zum naturwissenschaftlichen Denken	
Elfriede Nahrgang	
Förderung der Lesefähigkeit	20
Elke Peter	
Beobachten, Verbalisieren, Ordnen, Deuten	24
Ein „Starter-Experiment“ im Chemieunterricht	
Peter Slaby	
100 alltägliche Stoffe	28
Multiples Training im Umgang mit Informationen	
Karl Bögler, Judy Fuchs, Annett Hertel, Heike Roth und Wolf Kraus	
Durcharbeiten	30
Vom Schulbuchversuch zum selbst geplanten Modellversuch	
Andrea Gerdes	
Experimente entwickeln	33
Die Erhaltung der Masse	
Lutz Neider	
Anfangen – aber wie?	35
Chemieanfangsunterricht in Klasse 11	
Hubert Rösch	
Das projektorientierte naturwissenschaftliche Praktikum	37
Katrin Sommer	
Backpulver und Brausetablette	42
Anwendung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen	

Michael Schminke und Peter Pfeifer	
Wie viel Zucker ist im Ice-Tea?	44
Eine qualitative und quantitative Untersuchung	
Katrin Sommer	
Blindproben	49
Ein unverzichtbarer Schritt auf dem Weg zur Klarheit	
Thomas Freiman	
Die Wertigkeit	52
Plädoyer für ein fast vergessenes Konzept	
Lutz Stäudel	
Messen und Auswerten	55
Die Spannungsreihe der Metalle	
Werner Rink	
Lithiumbatterien im Schullabor selbst herstellen	59
Ein Beispiel für ein anspruchsvolles Projekt	
Thomas Freiman	
Das Pulver selber wieder erfinden	65
Eine Retro-Modellierung	
Lutz Stäudel	
Der Mineralwasser-Effekt	67
Modellieren als Element naturwissenschaftlichen Arbeitens	
Andrea Gerdes	
Mit Modellen arbeiten	71
Legosteine, Massenkonstanz und das Gesetz der konstanten Proportionen	
Dagmar Steiner	
Neue Medien – andere Methoden	76
Volker Schlieker	
Arbeiten im Team	80
Erfahrungen in einem Grundkurs Chemie 13. Jahrgang	
Waltraud Habelitz-Tkotz	
Kumulativ lernen	84
Volker Woest	
Methode, Berater oder Experte	89
Die Förderung naturwissenschaftlichen Lernens durch die Rolle der Lehrperson	

## MAGAZIN

ANREGUNG	Rebekka Heimann	
	Strategische Versuchsauswertung	93
	Eine Untersuchung zu kognitiven Voraussetzungen für naturwissenschaftliches Arbeiten	
	Heinz Schmidkuntz	
	Zur Bedeutung der Konzentration	96

## KARTEIKARTEN

		99
Meike Pflüger und Harald Sachs		
Rotkohlsaft als Indikator		99
Martin Holfeld, Wolfgang Proske und Volker Wiskamp		
Fotometrische Coffein-Bestimmung in Energy-Drinks		99

Kurzfassungen jetzt unter  
www.friedrich-verlag.de