

Graphikfähige Taschenrechner im Chemieunterricht

Erfassung, Darstellung und Interpretation von Messwerten

REBEKKA HEIMANN – FRANK LIEBNER – LUKAS BESSER

Im Rahmen einer siebenstündigen Unterrichtseinheit für die Stufe 10 erfolgte dreimal eine Messwerterfassung und Messwertdarstellung mit Hilfe eines graphikfähigen Taschenrechners bzw. Taschencomputers sowie eine selbstständige Interpretation durch die Schüler. Die Einstellungen der Schüler zum Einsatz des Taschenrechners und das Maß, in dem die Schüler die erhaltenen graphischen Darstellungen tatsächlich selbstständig auswerten konnten, wurden mit Hilfe verschiedener Fragebögen ermittelt.

1 Einleitung

Graphikfähige Taschenrechner (GTR) oder Taschencomputer (im Folgenden ist der Einfachheit halber nur vom Taschenrechner die Rede) werden seit mehreren Jahren im Mathematikunterricht genutzt. Im Chemieunterricht führen sie eher ein Schattendasein, obwohl entsprechende Unterrichtsmaterialien durchaus vorliegen (LECKELT & LIEBNER 2006, 2007 und 2009, HÜBNER & LIEBNER 2008). Im Rahmen einer Arbeitsgemeinschaft mit dem Thema »Analytische Methoden in der Chemie« haben wir erste Erfahrungen mit dem Aufnehmen, Darstellen und Auswerten von Messwerten unter Einbezug des graphikfähigen Taschenrechners in Stufe 10 gesammelt (LIEBNER & HEIMANN 2009). Die Ergebnisse dieser Pilotstudie zeigten, welches Potential der Einsatz von Messwerterfassung mit Hilfe des graphikfähigen Taschenrechners im chemischen Kontext bietet. Die Einschätzungen der Schüler und des betreuenden Lehrers waren überaus positiv. Allerdings hatten an der Arbeitsgemeinschaft nur 10 Schüler teilgenommen, die überwiegend gute Leistungen im Fach Chemie erzielten und denen man ein überdurchschnittliches Interesse an der Chemie und am Umgang mit dem graphikfähigen Taschenrechner unterstellen kann. Die Schüler sind also keineswegs repräsentativ für eine

typische 10. Klasse. Deshalb haben wir eine Unterrichtseinheit für den regulären Chemieunterricht der Stufe 10 konzipiert, in der der graphikfähige Taschenrechner mehrmals zur Messwerterfassung und Messwertdarstellung eingesetzt wird, und diese mit 16 Klassen erprobt. Im Folgenden beschreiben wir zunächst ausführlich die Unterrichtseinheit und gehen dann auf die Ergebnisse der Erprobung ein.

2 Die erprobte Unterrichtseinheit

Thema der Unterrichtseinheit ist die Säure-Base-Titration. Vorausgesetzt wurden Kenntnisse zu Säuren, Laugen und zur Neutralisation. Um sicher zu stellen, dass die Schüler auch tatsächlich darauf zurückgreifen können, wurde **vor der eigentlichen Unterrichtseinheit** ein Arbeitsblatt mit Aufgaben zum entsprechenden fachlichen Hintergrund an die Schüler ausgegeben, das sie als Hausaufgabe bearbeiten sollten. Dabei ging es um Merkmale saurer und alkalischer Lösungen, Verständnis der Neutralisation, Aufstellen von Gleichungen zur Neutralisation in Ionenschreibweise, Merkmale exothermer und endothermer Reaktionen. Dieses Arbeitsblatt wurde dann in der **ersten Stunde** der Unterrichtseinheit besprochen. Ab-

Stunde	Thema	Inhalte
1	Einführung in die Messwerterfassung und -darstellung mit dem graphikfähigen Taschenrechner	Durchführung erster Berechnungen und Erstellung erster graphischer Darstellungen von vorgegebenen Daten
2		Fortführung der Übungen zur Berechnung und graphischen Darstellung; Einführung in die Messwerterfassung; Arbeiten mit dem Temperatursensor
3	Elektrische Leitfähigkeit von verdünnten Salzlösungen	Durchführung eines Schülerexperiments mit Leitfähigkeitssensor; Schüler stellen Daten graphisch dar und interpretieren sie selbstständig
4		Besprechung der Auswertung im Unterrichtsgespräch; Nacharbeit von Problemen des Handlings; Vorbereitung der Titration für die nächste Stunde
5	Leitfähigkeitstitration und thermometrische Titration am Beispiel Salzsäure und Natronlauge	Durchführung der beiden Schülerexperimente; graphische Darstellung der Messwerte und selbstständige Interpretation
6		
7		Besprechung der Auswertung im Unterrichtsgespräch

Abb. 1. Überblick über die Unterrichtseinheit

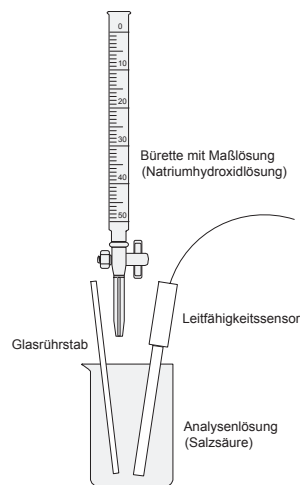
Leitfähigkeitstiteration von Salzsäure mit Natronlauge

Aufgabe

Ermittle die Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit bei der Titration von 100 ml Salzsäure (Analyselösung) mit Natronlauge (Maßlösung) der Stoffmengenkonzentration $c = 1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$.

Versuchsdurchführung

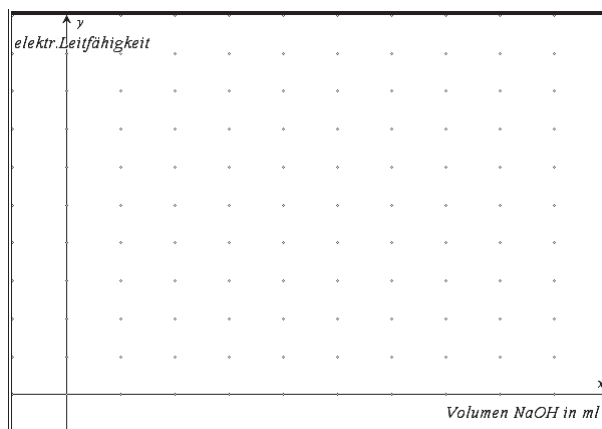
Gib 100 ml Salzsäure (Analyselösung) in das bereitgestellte Becherglas. Titriere unter Rühren mit mindestens 20 ml Natriumhydroxidlösung (Maßlösung). Die Zugabeintervalle sollten jeweils 1 ml Natriumhydroxidlösung betragen. Nach jeder Zugabe von Natriumhydroxidlösung ist die Leitfähigkeit zu messen.



Auswertung

- 1 Stelle die elektrische Leitfähigkeit der untersuchten Lösung in Abhängigkeit vom zugegebenen Volumen Natriumhydroxidlösung als Skizze in dem nebenstehenden Koordinatensystem dar.

Hinweis: Du kannst mit Hilfe einer entsprechenden Computersoftware selbst einen Bildschirmausdruck erzeugen und ihn dann in das vorgesehene Feld kleben.



- 2 Gib das Volumen an zugesetzter Natriumhydroxidlösung an, bei dem die elektrische Leitfähigkeit der untersuchten Lösung ein Minimum besitzt.

$V(\text{NaOH}) =$

- 3 Entwickle die Reaktionsgleichung für die Reaktion von Natriumhydroxidlösung mit Salzsäure in Ionenschreibweise.

- 4 Interpretiere die graphische Darstellung.

- 5* Berechne ausgehend von dem in Aufgabe 2 ermittelten Wert die Stoffmengenkonzentration der untersuchten Salzsäure.

Abb. 2. Schülerarbeitsblatt zur Leitfähigkeitstiteration (verändert nach LECKELT & LIEBNER 2009)

bildung 1 gibt einen Überblick über das gesamte Unterrichtskonzept. In der ersten Stunde, in der zunächst auch in einem Fragebogen die Ausgangssituation der Schüler erfragt wurde, erfolgte eine Einführung in den Umgang mit dem graphikfähigen Taschenrechner. Dabei wurde der Schwerpunkt auf die graphische Darstellung vorgegebener bzw. berechneter Daten gelegt. Nach der Berechnung der Molaren Masse der Alkane auf Grundlage der allgemeinen Summenformel konnte z. B.

die Siedetemperatur in Abhängigkeit von der Molaren Masse dargestellt werden. Für die Handhabung des Taschenrechners standen entsprechende Arbeitsblätter zur Verfügung. In der **zweiten Stunde** wurde der Taschenrechner nun auch zusammen mit einem Temperatursensor zur Messwertfassung eingesetzt. So wurden Daten beim Reiben am Temperatursensor und beim Abkühlen einer Flüssigkeit aufgenommen. Auch hierzu gab es entsprechende Arbeitsblätter.

In der **dritten Stunde** begann die Arbeit am eigentlichen Thema. In Vorbereitung auf die Leitfähigkeitstiteration wurde in dieser Stunde die elektrische Leitfähigkeit von Natriumchlorid- und Calciumchloridlösung (jeweils in der Konzentration $c(\text{Salz}) = 1 \text{ mol/l}$) nach tropfenweiser Zugabe zu Wasser gemessen. Die Schüler, die in kleinen Gruppen von zwei bis drei Personen arbeiteten, bekamen ein Arbeitsblatt mit der Versuchsvorschrift (ein ähnliches Arbeitsblatt ist in LIEBNER & HEIMANN (2009) abgebildet) und als Aufgabe

- die elektrische Leitfähigkeit der beiden Lösungen in Abhängigkeit von der zugesetzten Tropfenzahl an Salzlösung zu Wasser mit Hilfe des Rechners graphisch darzustellen
- die erhaltene graphische Darstellung zu interpretieren.

Außerdem lag für den Bedarfsfall ein Hilfsblatt für die genaue Bedienung des Taschenrechners aus. Die Schülergruppen sollten völlig selbstständig arbeiten.

In der **vierten Stunde** wurde zunächst von den Schülern ein Fragebogen bearbeitet, in dem sie einerseits Fragen zu ihren Erfahrungen mit der verwendeten Software, dem Experiment sowie der Bearbeitung, graphischen Darstellung und Auswertung der Messwerte beantwortet haben. Andererseits enthielt der Fragebogen aber auch drei Fragen zur Leitfähigkeit, die auch schon vor Durchführung des Experiments gestellt wurden, um zu sehen, ob die Schüler durch die selbstständige Untersuchung einen Wissenszuwachs erreicht haben. Dabei durften die Schüler nicht das ausgefüllte Arbeitsblatt der letzten Stunde verwenden, sondern sollten auf der Grundlage ihrer Erinnerung individuell antworten. Im Anschluss daran wurde das Arbeitsblatt dann im Unterrichtsgespräch ausgewertet. Schließlich wurden Fragen und Probleme zur Handhabung des Taschenrechners besprochen und die in den nächsten Stunden vorgesehenen Titrations insofern vorbereitet, als grundlegende Begriffe wie Maßlösung, Analysenlösung, Bürette geklärt wurden.

In der **fünften und sechsten Stunde** wurden eine Leitfähigkeitstiteration von Salzsäure mit Natronlauge und eine thermometrische Titration von Natronlauge mit Salzsäure in Stationenarbeit durchgeführt. Nach Einführung in die jeweilige Problemstellung arbeiteten die Schüler wieder komplett selbstständig. Für den Fall, dass Probleme mit dem Handling des Rechners auftreten, lag auch für diese beiden Experimente eine ausführliche Anleitung zu den einzelnen Bedienungsschritten

des Rechners aus, auf die bei Bedarf zurückgegriffen werden konnte. Das Arbeitsblatt zur Leitfähigkeitstiteration ist in Abbildung 2 dargestellt. Auch bei diesen beiden Versuchen sollten die Daten graphisch dargestellt (Abb. 3) und die graphischen Darstellungen selbstständig interpretiert werden. Es gab eine Pufferstation, an der die Schüler eine Gleichung in den Taschenrechner eingeben konnten, mit der das Molare Volumen von Gasen in Abhängigkeit von der Temperatur berechnet werden konnte. Die Werte sollten graphisch dargestellt werden. Außerdem stand ein Arbeitsblatt mit anwendungsorientierten Aufgaben zu Salzsäure und Schwefelsäure zur Verfügung. Es enthält z. B. eine Aufgabe, in der der Verlauf von Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit der Flüssigkeit angegeben ist, die beim Besprühen von ausgetretenem Chlorwasserstoffgas mit Wasser entsteht.

In der **siebten Stunde** bearbeiteten die Schüler zunächst einen Fragebogen, in dem einerseits wieder Fragen zu den Erfahrungen mit den Experimenten sowie der Bearbeitung, graphischen Darstellung und Auswertung der Messwerte zu beantworten waren. Außerdem wurde nach der Interpretation der den beiden Experimenten zugehörigen graphischen Darstellungen gefragt. Dazu durften die Schüler zwar diese Darstellungen hinzuziehen, nicht aber die Notizen zu deren Interpretation aus der Gruppenarbeit der vorherigen zwei Stunden. Außerdem wurde eine Gesamteinschätzung der Unterrichtseinheit durch die Schüler erfragt. Im Anschluss daran wurden die Interpretationen der Schüler im Unterrichtsgespräch besprochen und ggf. korrigiert. Dies war v. a. bei der Leitfähigkeitstiteration notwendig. Hier kamen viele Schüler zu dem Schluss, dass durch die stattfindende Neutralisation unter Wasserbildung die absolute Zahl an Ionen kleiner würde (siehe auch BARKE 2006). Deshalb muss in der Diskussion ganz klar herausgearbeitet werden, dass die Zahl der Ionen bis zur vollständigen Neutralisation gleich bleibt, da für jedes H^+ -Ion, das mit einem OH^- -Ion reagiert, auch ein Na^+ -Ion hinzukommt. Der daraus entstehende kognitive Konflikt sollte ganz deutlich formuliert werden. Im ersten Experiment zeigte sich eine Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der Ionenkonzentration. Bei der Leitfähigkeitstiteration bleibt die Ionenkonzentration weitgehend konstant (die Anzahl an Ionen ändert sich nicht) und trotzdem nimmt die Leitfähigkeit deutlich ab. Der Konflikt lässt sich dadurch lösen, dass eine unterschiedliche Beweglichkeit der verschiedenen Ionen angenommen wird. Da H^+ -Ionen und OH^- -Ionen beweglicher als Na^+ -Ionen und Cl^- -Ionen sind, leisten sie einen größeren Beitrag zur elektrischen Leitfähigkeit.

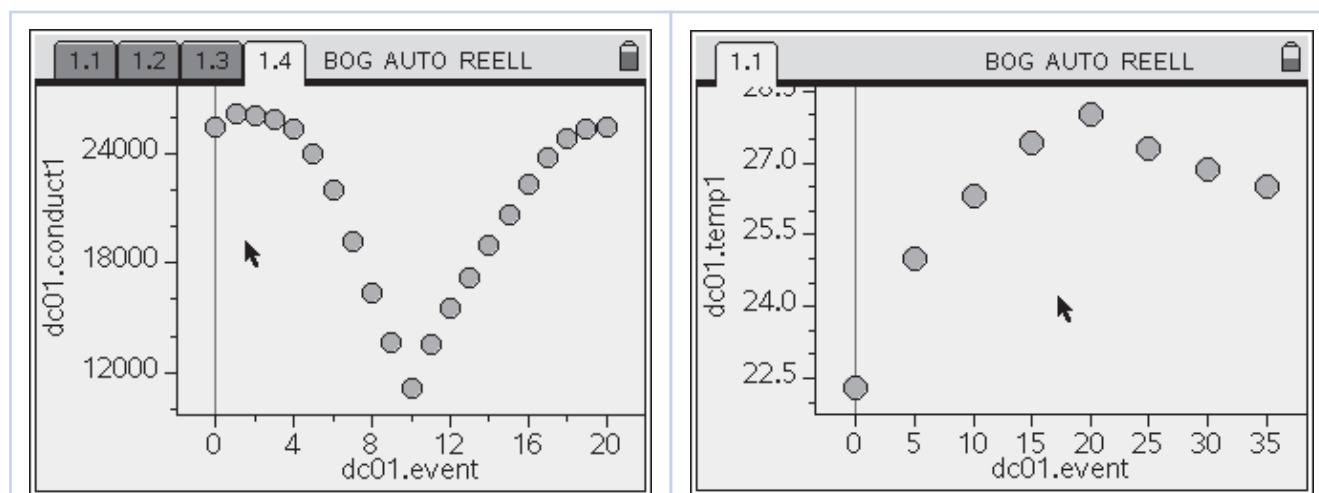


Abb. 3. Graphiken zur Leitfähigkeitstiteration und zur thermometrischen Titration (aufgenommen mit dem TI-Nspire™)

Bei der Erprobung der Unterrichtseinheit hat der überwiegende Teil der Klassen (12 Klassen) mit dem TI-Nspire™ von Texas Instruments gearbeitet, an den die Messsonden direkt angeschlossen werden können. Vier Klassen der Stufe 10 haben einen älteren Rechner verwendet, bei dem dies über das Datenerfassungsmodul CBL2™ (Calculator-Based Laboratory) in Kombination mit einem Taschenrechner erfolgte. In diesem Fall war nur eine Stunde zur Einführung in den Umgang mit dem Rechner vorgesehen, da dieser bereits im Mathematikunterricht seit der Klassenstufe 8 genutzt wird. Den Klassen wurden durch Texas Instruments und verschiedene Händler die benötigten Geräte wie TI-Nspire™, CBL2™, pH- und Leitfähigkeitssensoren leihweise zur Verfügung gestellt.

3 Ziele und Rahmenbedingungen der Erprobung

Im Mittelpunkt der Erprobung standen einerseits die Urteile der Schüler zum Umgang mit dem grafikfähigen Taschenrechner und zur Auswertung der erhaltenen Graphen. So soll die Frage beantwortet werden, ob der Einsatz des grafikfähigen Taschenrechners im Chemieunterricht das Interesse der Schüler findet, inwieweit sie seinen Einsatz als hilfreich empfinden, wo eventuell Probleme auftreten und ob es in der Beurteilung Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen gibt. Andererseits sollten auch Erfahrungen gesammelt werden, inwieweit die Schüler die erhaltenen graphischen Darstellungen selbstständig auswerten können, inwiefern also die Arbeit mit dem Taschenrechner zur Förderung des selbstständigen Arbeitens im Chemieunterricht eingesetzt werden kann. Es ging nicht darum, zu erfassen, ob die Schüler mit dem Einsatz des grafikfähigen Taschenrechners mehr lernen als ohne seinen Einsatz. Daher wurden keine Kontrollgruppen einbezogen. Vielmehr ging es darum, systematisch Erfahrungen mit einer bisher noch relativ wenig verbreiteten methodischen Variante im Chemieunterricht zu sammeln.

An der Erprobung nahmen 368 Schülerinnen und Schüler aus 16 Klassen an 7 Gymnasien teil. Die Gymnasien liegen in vier Bundesländern (Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Sachsen, Schleswig-Holstein). Ursprünglich wurde die Unterrichtseinheit zwar für Zehntklässler konzipiert, da das Thema der Unterrichtseinheit aber in den verschiedenen Bundesländern zu unterschiedlichen Zeiten zu unterrichten war, wurden schließlich auch drei neunte und eine elfte Klasse einbezogen, was unter anderem Anhaltspunkte darüber erlaubt, ob der entsprechende Einsatz des Taschenrechners auch schon in Stufe 9 sinnvoll ist. Viele der teilnehmenden Lehrer wurden auf Fortbildungen und anlässlich von Vorträgen zum Einsatz des grafikfähigen Taschenrechners im Chemieunterricht gewonnen und bekamen eine intensive Einführung in die Unterrichtseinheit und – falls nötig – in die Handhabung der Messwerterfassung mit dem Taschenrechner. Sie führten die Unterrichtseinheit zwischen März 2010 und Juli 2010 durch.

4 Ergebnisse der Erprobung

4.1 Ausgangssituation

In einem Fragebogen wurden Vorerfahrungen im Umgang mit dem Rechner und der entsprechenden Datenerfassung sowie das Interesse am Umgang mit dem Rechner und an der Chemie erfasst. Während 87 % der Schüler angeben, dass der Rechner im Mathematikunterricht häufig oder sehr häufig eingesetzt wird, geben 52 % Gleiches für den Physikunterricht und 16 % für den Chemieunterricht bzw. 8 % für den Biologie-

unterricht an. Laut 54 % der Schüler wird der Taschenrechner im Chemieunterricht selten oder nie benutzt. Sein Einsatz im Rahmen dieser Unterrichtseinheit ist also für viele Schüler eine methodische Neuheit.

Auf einer fünfstufigen Skala konnten die Schüler angeben, wie viel Spaß ihnen der Chemieunterricht bzw. die Arbeit mit dem Rechner macht. Wie aus den Abbildungen 4 und 5 deutlich wird, haben die Jungen mehr Spaß am Arbeiten mit dem Rechner als die Mädchen und auch mehr Spaß am Fach Chemie. Insgesamt sind die Einstellungen recht positiv. Die Vorerfahrungen mit der Messwerterfassung sind sehr gering: 68 % der Schüler geben an, noch nie Experimente im Chemieunterricht gesehen zu haben, bei denen mit dem Rechner über einen Sensor Daten erfasst wurden, und 98 % der Schüler haben noch nie selbst auf diese Weise Daten im Chemieunterricht erfasst. Es liegen also nur wenige Erfahrungen im Umgang mit der Technik vor.

4.2 Beurteilung verschiedener Aspekte der Unterrichtseinheit durch die Schüler

Nach Durchführung der ersten rechnergestützten Messwertaufnahme und -darstellung am Beispiel der Leitfähigkeit zwei-

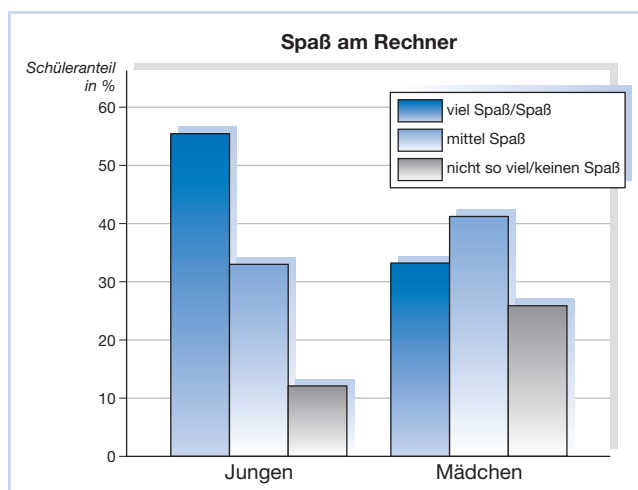


Abb. 4. Spaß bei der Arbeit mit dem Rechner

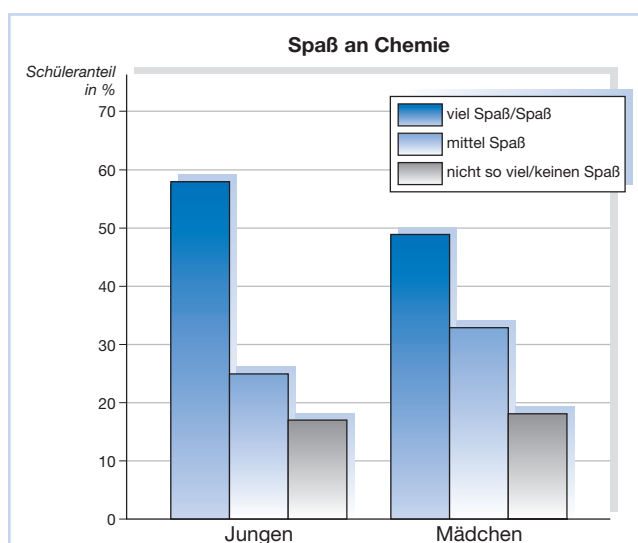


Abb. 5. Spaß am Unterrichtsfach Chemie

	Gesamt (N = 346)	Jungen (N = 168)	Mädchen (N = 173)	Stufe 9 (N = 68)	Stufe 10 (N = 259)	Stufe 11 (N = 19)
Sehr gut/gut verstanden	61	73	51	66	59	79
Mittel gut verstanden	30	21	38	27	31	21
Nicht so gut/schlecht verstanden	9	7	10	7	10	0

Tab. 1. Antworten auf die Frage, wie gut die Schüler die Handhabung der Software zur Datenerfassung verstanden haben (Schüleranteil in %)

er Salzlösungen wurden die Schüler danach gefragt, wie gut sie die Handhabung der entsprechenden Software verstanden haben. Tab. 1 zeigt, dass die Schüler nach eigenen Angaben gut mit der Messwerterfassung zurecht gekommen sind, die Jungen deutlich besser als die Mädchen, aber auch bei den Mädchen ist der Anteil an Schülern, die die Handhabung nicht so gut oder schlecht verstanden haben, sehr gering. Zwischen den Neunt- und Zehntklässlern erkennt man wenig Unterschiede. Die Zahl der Elftklässler ist zu gering, um selbst eine vorsichtige Verallgemeinerung zuzulassen.

Zur Beurteilung der Datenerfassung und Datendarstellung konnten sich die Schüler frei äußern. Demnach gefiel den Schülern z. B. das selbstständige Arbeiten, das Kennenlernen einer neuen Technik, die unkomplizierte Handhabung des Taschenrechners, die Anschaulichkeit der Daten, die übersichtlichen Diagramme, das Übereinanderlegen von mehreren Messkurven und die schnelle und einfache Datenerfassung. Als Kritikpunkte wurden z. B. die umständliche Speicherung, eine umständliche Menüführung, Störanfälligkeit der Sensoren und ein hoher Batterieverbrauch genannt.

Einstellungen bezüglich der Experimente, der Datenerfassung und Datenauswertung wurden sowohl nach dem ersten Experiment zur Leitfähigkeit als auch nach den beiden Titrations erfragt. So beurteilten 81 % der Schüler das Experiment zur Leitfähigkeit verdünnter Salzlösungen und 85 % der Schüler die beiden Titrations als leicht oder nicht so schwer. Die Jungen fanden alle Experimente leichter als die Mädchen. Zwischen Neunt- und Zehntklässlern lassen sich keine erkennbaren Unterschiede feststellen.

Interessant sind nun besonders die Fragen im Hinblick auf die Messwertdarstellung und -auswertung. Die Abbildungen 6 bis 8 geben einen Überblick.

Insgesamt kann man feststellen, dass die Bearbeitung der Messwerte mit dem Rechner den Schülern recht leicht fällt,

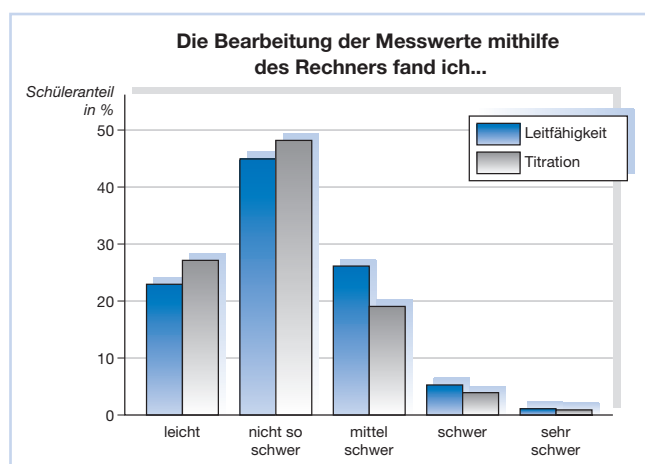


Abb. 6. Bewertung der Bearbeitung von Messwerten mit dem Rechner

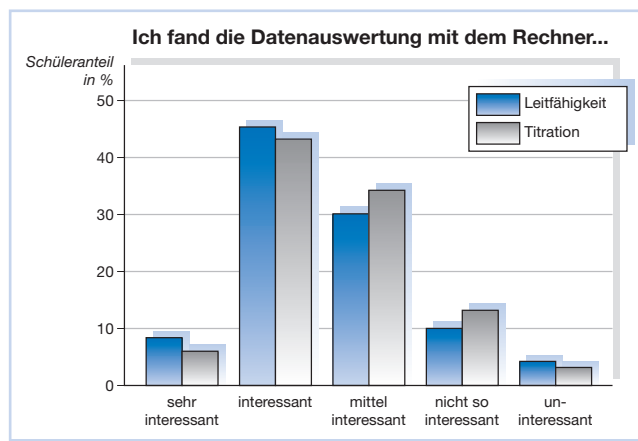


Abb. 7. Interesse an der Datenauswertung mit dem Rechner

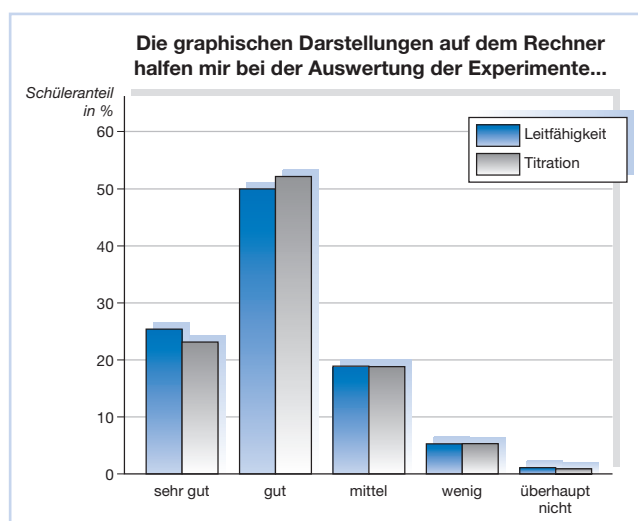


Abb. 8. Bewertung der graphischen Darstellungen auf dem Rechner

dass ungefähr die Hälfte der Schüler die Datenauswertung mit dem Rechner interessant oder sehr interessant findet und dass die Nützlichkeit der graphischen Darstellungen für die Auswertung der Experimente breite Zustimmung findet. Dabei unterscheiden sich Jungen und Mädchen in der Beurteilung kaum. Nur die Bearbeitung der Messwerte fanden die Jungen deutlich leichter. Positiv zu vermerken ist die Tatsache, dass Mädchen und Jungen die Datenauswertung in gleichem Maße interessant fanden, obwohl vor Beginn der Unterrichtseinheit die Jungen mehr Spaß am Umgang mit dem Rechner angaben. Neunt- und Zehntklässler gaben sehr ähnliche Bewertungen ab.

48 % aller Schüler sahen ihre Kenntnisse über die Ursachen der elektrischen Leitfähigkeit durch das erste Experiment und seine Auswertung erweitert bzw. stark erweitert, 69 % ihre

Kenntnisse zur Titration. Im ersten Fall führen 20 % dies in besonderer Weise auf die graphischen Darstellungen und ihre Interpretation zurück, im zweiten Fall sind es 26 %.

4.3 Einstellungen der Schüler im Vergleich zwischen bisherigem Chemieunterricht und der erprobten Unterrichtseinheit

Um die Einstellungen der Schüler zu der gesamten Unterrichtseinheit zu ermitteln, wurde außerdem der von BOLTE (2004) konzipierte Fragebogen zur Erfassung des Klassenklimas mit leichten Anpassungen eingesetzt. In 13 Items wurden die Schüler auf einer siebenstufigen Skala vor der Unterrichtseinheit nach ihrer Einschätzung des bisherigen Chemieunterrichts gefragt und zwar im Hinblick auf Spaß am Unterricht (1), Grad des Wohlfühlens (2), das Verständnis des Unterrichtsstoffes (3), Zeit zum Nachdenken (4), selbstständiges Arbeiten (5), Maß der Anschaulichkeit (6), Nützlichkeit der Themen (7), Berücksichtigung von Schülervorschlägen (8), Möglichkeit zum Fragenstellen (9), Mitarbeit der Klasse (10), Grad des sich Anstrebens (11), Bemühungen, den Stoff zu verstehen (12) und die Bereitschaft, sich zu beteiligen (13). Dieser Fragebogen wurde auch nach Abschluss der Unterrichtseinheit bearbeitet und beides anschließend verglichen (Abb. 9).

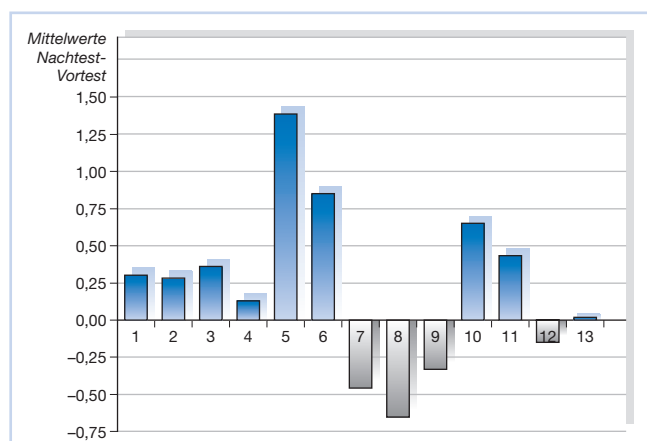


Abb. 9. Bewertung der erprobten Unterrichtseinheit im Vergleich zum bisherigen Chemieunterricht (Differenz der Bewertung Nachtest-Vortest; positive Differenz bedeutet bessere Bewertung im Nachtest, Beschreibung der Items 1 bis 13 unter 4.3)

Hinsichtlich der persönlichen Nützlichkeit des Themas, der Berücksichtigung von Schülerfragen und der Berücksichtigung von Schülervorschlägen schneidet die erprobte Unterrichtseinheit erkennbar schlechter ab als der bisherige Chemieunterricht. Dies könnte so erklärt werden, dass aus praktischen Gründen kein Alltagsbezug realisiert wurde und die Lehrer, da sie teilweise selbst noch nicht so intensiv in die Technik der Messwerterfassung und -darstellung eingearbeitet waren, nicht so flexibel auf die Schüler eingehen konnten. Hinsichtlich der Beurteilung der Items Zeit zum Nachdenken, Bemühungen den Stoff zu verstehen und Bereitschaft sich zu beteiligen gibt es kaum Unterschiede zwischen dem bisherigen Chemieunterricht und der erprobten Unterrichtseinheit. In

dieser Unterrichtseinheit konnten die Schüler aber nach eigenen Angaben selbstständiger arbeiten, sie empfanden den Unterricht als anschaulicher und hatten den Eindruck, dass die Klasse besser mitgearbeitet hat und sich mehr angestrengt hat. Hierbei handelt es sich um besonders große Unterschiede zum bisherigen Chemieunterricht. Besser schnitten für die erprobte Unterrichtseinheit auch die Items Spaß am Unterricht und Verstehen des Stoffes ab. Die Antworten von Jungen und Mädchen bzw. Neunt- und Zehntklässlern sind jeweils sehr ähnlich.

4.4 Auswertung inhaltlicher Fragen

Um das Vorwissen bezüglich der Ursachen für die elektrische Leitfähigkeit von Lösungen und den Wissenszuwachs durch das erste Experiment zur Leitfähigkeit von Natriumchlorid- und Calciumchloridlösung zu erfassen, wurden den Schülern drei Aufgaben vorgelegt. In der ersten Aufgabe sollten die Schüler angeben, wodurch die elektrische Leitfähigkeit von Lösungen hervorgerufen wird. Bei den Neuntklässlern ist der Anteil an Schülern, die gar nichts hingeschrieben haben, vor allem im Vortest, aber auch im Nachtest recht hoch (Tab. 2). Im Vortest werden am häufigsten Elektronen angegeben (29 %), im Nachtest am häufigsten Ionen (38 %). Bei den Zehntklässlern ist schon ein gewisses Vorwissen vorhanden. Im Vortest werden von 66 % der Schüler Ionen oder allgemein Ladungsträger genannt, im Nachtest von 72 %. Nach der entsprechenden Unterrichtsstunde (aber vor der gemeinsamen Nachbesprechung) stellt man eine starke Verbesserung bei den Neuntklässlern fest, bei den Zehntklässlern ist nur ein geringer Effekt erkennbar.

In der zweiten Aufgabe sollte vorausgesagt werden, ob die elektrische Leitfähigkeit verdünnter Natriumchloridlösungen unabhängig von der Stoffmengenkonzentration ist oder ob sie mit der Stoffmengenkonzentration zu- oder abnimmt (1 Punkt für richtige Ankreuzentscheidung) und die Entscheidung begründet werden (max. 2 Punkte). Die Ergebnisse im Vor- und Nachtest zeigen Tabelle 3 und Abbildung 10. Sowohl für die Neuntklässler als auch für die Zehntklässler ergibt sich eine sehr deutliche Verbesserung.

In der dritten Aufgabe schließlich liegen Natriumchlorid-, Calciumchlorid- und Aluminiumchloridlösungen gleicher Stoffmengenkonzentration vor; die Formeln der drei gelösten Salze sind angegeben. Auch hier sollten Aussagen über die relative Leitfähigkeit getroffen und begründet werden. Die Ankreuzentscheidungen sowie die erreichte Gesamtpunktzahl haben sich im Nachtest deutlich verbessert (Tab. 4, Abb. 11). Es zeigt sich also, dass die selbstständige Durchführung und Auswertung der Experimente auch schon vor einer gemeinsa-

	Neuntklässler		Zehntklässler	
	Vortest	Nachtest	Vortest	Nachtest
Ionen	13	38	47	52
Ladungsträger	9	6	19	20
Elektronen	29	12	27	23
Teilchen	12	15	3	4
Sonstiges	0	6	7	8
Keine Angaben	37	24	8	4

Tab. 2. Ursachen für die elektrische Leitfähigkeit von Lösungen im Vortest und Nachtest (Angaben in %; Mehrfachantworten möglich)

	Alle Schüler (Stufe 9, 10 und 11)		Neuntklässler		Zehntklässler	
	Vortest	Nachtest	Vortest	Nachtest	Vortest	Nachtest
Leitfähigkeit bei allen Lösungen gleich	7	3	10	2	7	3
Leitfähigkeit bei erhöhter Konzentration größer (richtige Antwort)	72	92	69	95	71	92
Leitfähigkeit bei erhöhter Konzentration geringer	14	4	6	3	18	4
Kein Kreuz gesetzt	7	1	15	0	5	2

Tab. 3. Ankreuzentscheidungen bei Aufgabe 2 des Vortests und Nachtests (Schüleranteil in %)

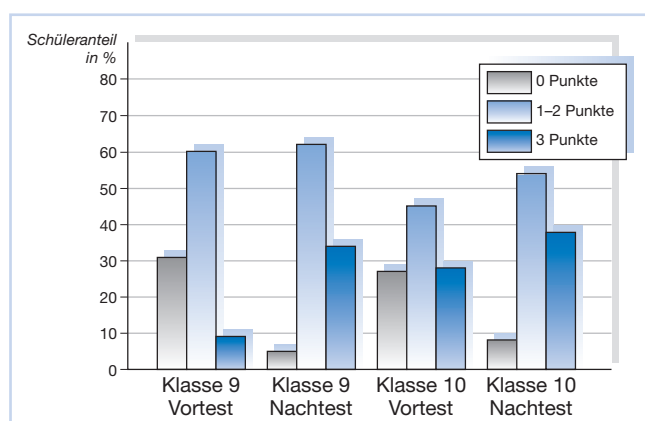


Abb. 10. Gesamtpunktzahl für Aufgabe 2 im Vor- und Nachtest

men Nachbesprechung zu deutlichen Lernzuwächsen geführt haben.

Weiterhin wurde untersucht, wie gut die Schüler mit der selbstständigen Auswertung der graphischen Darstellungen bei den Titrationen zurechtgekommen sind.

Bei der Leitfähigkeitstiteration sollte überlegt werden, warum die Leitfähigkeit bei der Zugabe von Natronlauge zunächst abnimmt und dann wieder zunimmt. 23 % der Neunt- und der Zehntklässler haben die Aufgabe nicht bearbeitet. 59 % der Neuntklässler und 66 % der Zehntklässler, die an der Befragung teilnahmen, nennen als Grund für die Abnahme entweder, dass die Lösung neutralisiert wird, oder schreiben die Gleichung $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$ auf. Die Neutralisation an sich erklärt die Leitfähigkeitsabnahme allerdings nicht. 28 % der Neuntklässler und 40 % der Zehntklässler geben explizit an, dass weniger Ionen bzw. Ladungsträger in der Lösung vorhanden sind. Hier ergibt sich ein guter Ansatzpunkt, die konstante Anzahl an Ionen bis zur vollständigen Neutralisation heraus-

zuarbeiten und einen kognitiven Konflikt zu erzeugen, der dadurch gelöst wird, dass die unterschiedliche Beweglichkeit verschiedener Ionen thematisiert wird. 58 % (9. Klasse) bzw. 66 % (10. Klasse) der Schüler schreiben, dass die Leitfähigkeit nach Erreichen eines Minimums wieder ansteigt, weil ein Überschuss an Ionen vorliegt bzw. weil die Zahl der Ladungsträger erhöht wird.

Bei der thermometrischen Titration (Aufgabe siehe Abb. 12) entscheiden sich 73 % aller Schüler für die richtige Antwort, dass die Temperaturzunahme durch die exotherme Reaktion von Hydroxid- und Wasserstoffionen zu Wassermolekülen zu erklären ist. 10 % bearbeiten die Teilaufgabe nicht. Es lassen sich Unterschiede zwischen den Neunt- und Zehntklässlern erkennen. 64 % aller Neuntklässler und 78 % aller Zehntklässler finden die richtige Erklärung. Da den Schülern in einer Vorstudie eine völlig selbstständige Auswertung an dieser Stelle schwer fiel, wurde die erste Teilaufgabe im Multiple-Choice-Format eingesetzt. Zur Temperaturabnahme bei weiterer Zugabe von Salzsäure haben sich 35 % der Schüler (41 %

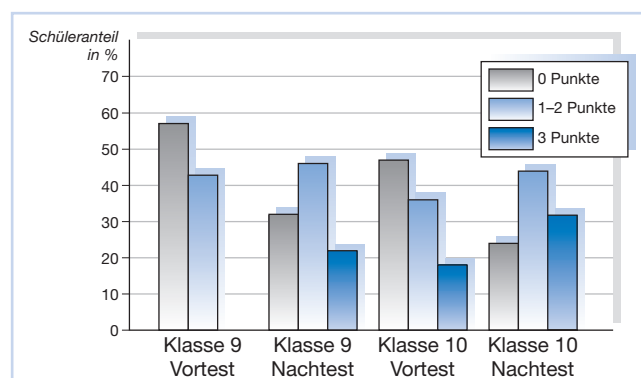


Abb. 11. Gesamtpunktzahl für Aufgabe 3 im Vor- und Nachtest

	Alle Schüler (Stufe 9, 10 und 11)		Neuntklässler		Zehntklässler	
	Vortest	Nachtest	Vortest	Nachtest	Vortest	Nachtest
Leitfähigkeit bei allen Lösungen gleich	19	8	16	2	21	9
Leitfähigkeit bei Natriumchlorid am größten	17	14	22	25	16	13
Leitfähigkeit bei Natriumchlorid am geringsten (richtige Antwort)	52	74	43	68	52	76
Kein Kreuz gesetzt	12	4	19	6	11	2

Tab. 4. Ankreuzentscheidungen bei Aufgabe 3 des Vortests und Nachtests (Schüleranteil in %)

der Neuntklässler bzw. 33 % der Zehntklässler) nicht geäußert. 17 % aller Neuntklässler und 35 % aller Zehntklässler geben an, dass keine Reaktion mehr abläuft, 44 % aller Neuntklässler und 10 % aller Zehntklässler, dass die zugegebene Lösung kälter ist. Insgesamt fällt die selbstständige Auswertung der graphischen Darstellungen den Schülern also recht schwer, was u. a. daran liegen kann, dass die Schüler darin noch keine Übung haben. Die selbstständige Arbeit muss im Unterrichtsgespräch unbedingt nachbesprochen werden.

- 1.1 Bei der Zugabe von Salzsäure zur Analysenlösung nimmt die Temperatur zunächst zu, weil
- aus Natrium- und Chlorid-Ionen Natriumchlorid entsteht.
 - beim Mischen von zwei Lösungen die Temperatur immer steigt.
 - Hydroxid- und Wasserstoff-Ionen in einer exothermen Reaktion zu Wassermolekülen reagieren.
 - Hydroxid- und Wasserstoff-Ionen in einer endothermen Reaktion zu Wassermolekülen reagieren.
 - (anderer Grund) _____

- 1.4 Nach Überschreiten des Temperaturmaximums nimmt die Temperatur der Analysenlösung bei weiterer Zugabe von Salzsäure langsam ab, weil ...

Abb. 12. Aufgabenstellung zur Thermometrischen Titration

5 Schluss

Obwohl viele Schüler keine oder wenig Vorerfahrung mit der Anwendung des graphikfähigen Taschenrechners bei der Messwerterfassung hatten, gab es keine größeren Schwierigkeiten mit der Handhabung. Mehr als 60 % der Schüler gaben nach dem ersten Experiment an, dass sie die Handhabung der Software zur Datenerfassung sehr gut oder gut verstanden haben, 2/3 der Schüler fanden die Bearbeitung der Messwerte beim ersten Experiment leicht oder nicht so schwer und 3/4 beim zweiten Experiment. Dabei fielen diese Aktivitäten den Jungen leichter als den Mädchen. Trotzdem gibt es keine nachweisbaren Unterschiede im Interesse an der Datenauswertung. Eine geringe Minderheit von nur 14 % (beim 1. Experiment) bzw. 16 % (beim 2. Experiment) fanden die Datenauswertung nicht so interessant oder uninteressant und 3/4 der Schüler fand die graphischen Darstellungen hilfreich bei der Auswertung der Experimente. Grundsätzlich konnten keine Unterschiede zwischen den Klassenstufen 9 und 10 festgestellt werden. Die Erprobung zeigt, dass die Methode der Messwerterfassung und -auswertung mithilfe des graphikfähigen Taschenrech-

ners auch in Stufe 9 problemlos einsetzbar ist. Mit der selbstständigen Interpretation der graphischen Darstellungen traten deutliche Schwierigkeiten auf; eine anschließende Diskussion im Plenum ist also unabdingbar. Diese Fähigkeit sollte intensiver geübt werden. Die Zeit, die die Erstellung der Graphiken durch den Rechner einspart, kann in deren Interpretation investiert werden.

Hinweis: Die in der Studie verwendeten Arbeitsblätter können Interessenten auf Nachfrage zur Verfügung gestellt werden.

Literatur

BARKE, H. D. (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin: Springer.

BOLTE, C. (2004). Motivationales Lernklima im Chemieunterricht an Realschulen und Gymnasien. *PdN-ChiS*, 53(7), 33–37.

HÜBNER, E. S. & LIEBNER, F. (Hg.) (2008). *TINU – Taschenrechner im naturwissenschaftlichen Unterricht. Materialien für den Chemieunterricht*. T³ Deutschland – Chemie.

LECKELT, U. & LIEBNER, F. (Hg.) (2006). *Experimenteller Chemieunterricht – Datenerfassung mit dem CBL2TM*. T³ Deutschland.

LECKELT, U. & LIEBNER, F. (Hg.) (2007). *Experimenteller Chemieunterricht – Datenerfassung mit dem CBL2TM. 1. Ergänzung*. T³ Deutschland – Chemie.

LECKELT, U. & LIEBNER, F. (Hg.) (2009). *Experimenteller Chemieunterricht – Datenerfassung mit dem CBL2TM. 2. Ergänzung*. T³ Deutschland – Chemie.

LIEBNER, F. & HEIMANN, R. (2009). Der graphikfähige Taschenrechner – Erfahrungen mit seinem Einsatz in einer Chemie-Arbeitsgemeinschaft. *MNU*, 62, 288–294.

Wir bedanken uns bei T³ Deutschland und Texas Instruments für die Unterstützung des Projekts und bei den vielen Lehrerinnen und Lehrern sowie bei deren Schülerinnen und Schülern für die Teilnahme an dem Projekt. Prof. Dr. BOLTE danken wir dafür, dass er uns den Test zum Lernklima zur Verfügung gestellt hat.

Prof. Dr. REBEKKA HEIMANN ist Professorin für Chemiedidaktik an der Universität Leipzig. Anschrift: Universität Leipzig, Fakultät für Chemie und Mineralogie, Didaktik der Chemie, Johannisallee 29, 04103 Leipzig, E-Mail: heimare@uni-leipzig.de.

FRANK LIEBNER ist Lehrer am Geschwister-Scholl-Gymnasium in Löbau und Fachberater für Chemie. Er ist Koordinator bei T³ im Bereich der Naturwissenschaften.

LUKAS BESSER ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Arbeitskreis von Prof. HEIMANN. ■