

Abb. 6: Analysenschema für die Identifizierung einer Aminosäure

mit kann sichergestellt werden, dass die gemessenen Drehwinkel groß genug sind um eine eindeutige Aussage machen zu können.

Wird die Polarisationssebene des Lichtes durch die Untersuchungssubstanz nicht gedreht, dann ist damit Glycin nachgewiesen worden, da dies die einzige

Aminosäure ist, die nicht optisch aktiv ist. L-Leucin wird durch eine eindeutig erkennbare Linksdrehung nachgewiesen. Wird die Polarisationssebene nach rechts gedreht, dann kann es sich nur um Alanin oder Asparaginsäure handeln.

Durch eine pH-Messung kann zwischen diesen beiden Aminosäuren un-

terschieden werden. Die wässrige Lösung von Asparaginsäure – eine mittelstarke Säure – reagiert eindeutig sauer, während der pH-Wert der wässrigen Lösung von Alanin nahe am Neutralpunkt liegt. pH-Wert des isoelektrischen Punktes [3, S. C-756]:

Alanin	6,11
Asparaginsäure	2,98

Literatur

[1] Ministerium für Bildung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein, Fachanforderungen für die Abiturprüfung im Fach Chemie, August 2009, <http://www.schleswig-holstein.de/cae/servlet/contentblob/865126/publicationFile/chemie.pdf> (Letzter Zugriff: 30. 01. 2012)

[2] Ministerium für Bildung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein, Lehrplan für die Sekundarstufe II Chemie, 2002, erreichbar über http://www.schleswig-holstein.de/Bildung/DE/Schulen/Unterricht/Lehrplan/lehrplan_node.html (Letzter Zugriff: 31. 01. 2012) oder direkt als pdf-Datei <http://lehrplan.lernnetz.de/index.php?DownloadID=57> (Letzter Zugriff: 31. 01. 2012)

[3] Handbook of Chemistry and Physics, 63. Auflage 1982–1983, CRC Press

[4] H. Beyer, W. Walter, Lehrbuch der Organischen Chemie, S. Hirzel Verlag Stuttgart Leipzig 1998, S. 668

[5] Hinweise z. B. unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Seliwanow-Probe> (Letzter Zugriff: 30. 01. 2012)

[6] Hinweise unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Glucose-Oxidase-Test> (Letzter Zugriff: 30. 01. 2012)

[7] P. David Josephy, Th. Eling, R. P. Mason, The Horseradish Peroxidase-catalyzed Oxidation of 3,3',5,5'-Tetramethylbenzidine, The Journal of Biological Chemistry, Vol. 257, No. 7, 1982, pp. 3669–3675. Einsehbar unter www.jbc.org/content/257/7/3669.full.pdf (Letzter Zugriff: 30. 01. 2012)

[8] H. Gallati, I. Pracht, Peroxidase aus Meerrettich: Kinetische Studien und Optimierung der Peroxidase-Aktivitätsbestimmung mit den Substraten H_2O_2 und 3,3',5,5'-Tetramethylbenzidin, J. Clin. Chem. Clin. Biochem., Vol. 23, 1985, pp. 453–460

[9] http://faculty.salisbury.edu/~momitchell/Chem_222_files/Ninhydrin%20Test.pdf (Letzter Zugriff: 30. 01. 2012)

Anschrift des Verfassers

Dr. Wolfgang Czieslik,
Gartenstraße 19, D-23617 Stockelsdorf,
E-Mail: wolfgang@czieslik.de

Makro, Halbmikro oder Mikro

Kriterien für experimentelle Prüfungsaufgaben am Beispiel Titration

B. Sieve und S. Schanze

Das Land Niedersachsen wird ab 2013 experimentelle Aufgaben im Zentralabitur Chemie stellen. Den Schulen sind zur Vorbereitung die Rahmenbedingungen (u. a. Ausstattungslisten) mitgeteilt worden. Am Beispiel von Titrationsaufgaben werden verschiedene Ausstattungsvariationen im Hinblick auf ihre Eignung in zentralen Prüfungen kriteriengeleitet analysiert.

Schlüsselwörter: Zentralabitur, Säure-Base-Titration, Redox-Titration

1 Einführung

„Die Chemie ist stark empirisch geprägt, wobei dem Experimentieren und Erforschen eine entscheidende Rolle im Erkenntnisprozess zukommt. Dieses chemiespezifische Handeln lernen Schülerinnen und Schüler, indem sie selbstständig tätig werden und ihre Versuchs- und Messergebnisse erfassen und auswerten.“ [1, S. 3] Diese in den Einheitlichen Prüfungsanforderungen (EPA) der Kultusministerkonferenz (KMK) bereits 2004 formulierte grundlegende Kompetenz legitimiert die Durchführung von Demonstrations- und Schülerexperimenten in der Abiturprüfung. Wenn das Experiment einen bedeutenden Anteil im Unterricht einnimmt, dann sollte die so erlangte Kompetenz auch überprüft und beurteilt werden können. Im Kompetenzkatalog der KMK-EPA im Bereich Fachmethoden heißt es daher: „Die Prüflinge können selbstständig chemische Experimente planen, durchführen, beobachten, beschreiben und auswerten.“ [1, S. 5].

Mit der Einführung des Zentralabiturs in Niedersachsen im Jahre 2006 wurde schlagartig die langjährige Tradition der Durchführung von Schüler- und Demonstrationsexperimenten in der Abiturprüfung Chemie beendet. Dieser dem experimentell ausgerichteten Fach Chemie widersprechende Ansatz begründete sich auf die erschwerte Durchführbarkeit praktischer Aufgaben landesweit zu vergleichbaren Bedingungen und hatte Konsequenzen für die experimentelle Praxis im Chemieunterricht: Bei einer offenen Befragung von Chemie-Lehramtsstudenten im Rahmen eines Fachdidaktikseminars an der Leibniz Universität Hannover äußerten weniger als 10% der aus Niedersachsen stammenden Studierenden Er-

fahrungen mit experimentellen Aufgaben in Klausuren. Die Funktion der Überprüfung experimenteller Fähigkeiten wurde zwar als sinnvoll anerkannt, von einem nicht geringen Teil der Studierenden aber im Rahmen einer Klausur als kaum leistbar angesehen. Als logische Konsequenz könnte somit auch das Experiment als Schülerübung im Unterricht den in der Abiturprüfung geforderten Kompetenzen weichen, was aus unserer Sicht mit den Zielen des experimentell ausgerichteten Fachs Chemie nicht vereinbar wäre.

2 Experimente in zentralen Prüfungen

Anders als bei dezentralen Abiturprüfungen, in denen die jeweiligen Fachlehrer bei der Erstellung der Abiturklausuren die Experimente auf die jeweilige Lerngruppe und die Ausstattung der Chemiesammlung angepasst haben, ist dies bei zentral gestellten Abituraufgaben, wie sie in Niedersachsen und vielen anderen Bundesländern bereits durchgeführt werden, nicht so einfach zu bewerkstelligen, jedoch nicht unmöglich. Dies zeigt ein Blick in Bundesländer wie Sachsen, Thüringen, Brandenburg oder Sachsen-Anhalt. Dort sind experimentelle Aufgabenstellungen seit langem fester Bestandteil der Abiturprüfung Chemie. Auch im ersten Durchgang des nordrhein-westfälischen Zentralabiturs Chemie gab es einen Vorschlag mit experimentellem Anteil. Leider blieb es hier bei dem einen Mal.

Nun hat man sich seitens der niedersächsischen Kultusbehörde entschlossen, mit der Abiturprüfung 2013 das Realexperiment für den Schulunterricht wieder aufzuwerten – zunächst nur für die Kurse auf erhöhtem Niveau (ehemals Leistungskurse). So heißt es in einer Mitteilung der Logistikkstelle für zentrale Arbeiten: „Zum Abitur 2013 werden für das Prüfungsfach auf erhöhtem Anforderungsniveau zusätzlich Aufgaben mit einem experimen-

tellen Aufgabenteil bereitgestellt, die einen Anteil von ca. einem Fünftel an der Gesamtaufgabe haben werden. Der experimentelle Aufgabenteil kann sich auf Schülerexperimente oder auf ein Lehrer-demonstrationsexperiment beziehen.“ [2]

Die Kurslehrer können je nach Ausstattungssituation zwischen zwei Paketen mit je zwei Prüfungsvorschlägen wählen. Das eine Paket enthält wie bisher zwei materialorientierte Prüfungsaufgaben ohne experimentellen Anteil; im anderen Paket befinden sich eine materialorientierte Aufgabe und eine Prüfungsaufgabe mit Experiment. Im Falle des Misslingens der experimentellen Aufgabe werden die Versuchsergebnisse für die zu Prüfenden vorgehalten, um eine weitere Bearbeitung zu ermöglichen. Die Schüler erhalten dann nur die Punkte für die Auswertung des Experiments und nicht die für die Durchführung vorgesehenen Bewertungspunkte.

Als weitere Durchführungsbestimmungen wurden den Schulen jeweils eine Liste mit Geräten, Chemikalien und eine Übersicht über die laut Kerncurriculum in der Qualifikationsphase durchzuführenden Experimente vorgelegt. Allerdings entstammen die Formulierungen überwiegend dem Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung im Kerncurriculum und sind nicht immer eindeutig; ferner ist nicht in jedem Fall festgelegt, ob diese Experimente als Schülerexperiment durchgeführt werden sollen oder lediglich den Schülern demonstriert werden. Zusätzlich wurden kurzerhand zwei Beispiele für experimentelle Aufgabenstellungen den Lehrern an die Hand gegeben.

Spezielle Informationen über die für die konkrete Abiturprüfung nötigen Geräte und Materialien erhalten die Schulen vier Tage vor dem festgelegten Prüfungszeitraum, damit ein Ansetzen von Lösungen bzw. das Bereitstellen von Glasgeräten und anderen Materialien erfol-

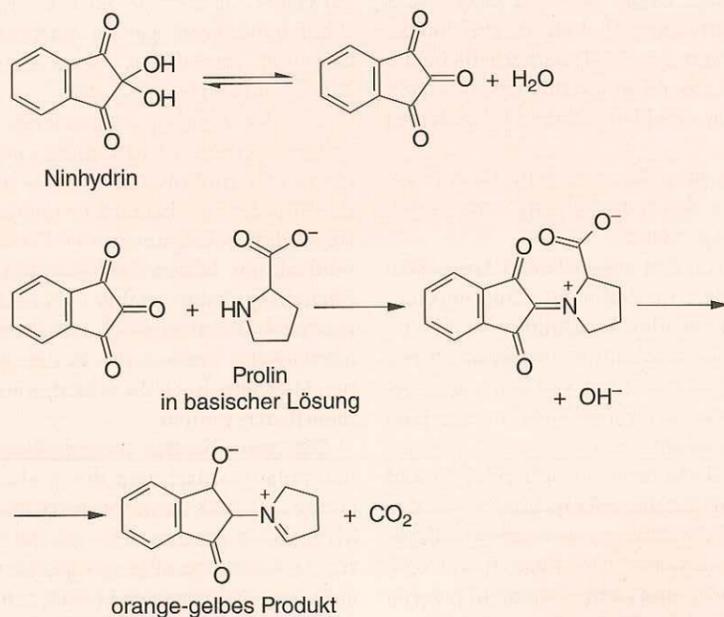


Abb. 7: Reaktion von Prolin mit Ninhydrin [9]

gen kann. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die für die Durchführung der Experimente benötigten Geräte und Chemikalien jedem einzelnen Prüfling zur Verfügung gestellt werden müssen. Wenn dies nicht gewährleistet werden könne – so der Text der Kultusbehörde – dürfe der experimentelle Aufgabenteil nicht verwendet werden.

Diese geplante Renaissance experimenteller Aufgabenstellungen ist aus unserer Sicht sehr begrüßenswert, weil doch dadurch dem Experiment als dem wichtigsten Baustein chemischer Erkenntnisgewinnung endlich wieder die Bedeutung zukommt, die es verdient – auch in Prüfungen. Fraglich ist nur, inwieweit die Maßgaben der Kultusbehörde zur Ausstattungssituation der Schulen passen und ob nicht allein dadurch das hehre Ziel der Förderung experimenteller Arbeitsweisen konterkariert wird.

Ein Problem, wenn nicht sogar das zentrale Problem von Schülerexperimenten bei zentral gestellten Prüfungen liegt in der Auswahl der Experimente und der damit verbundenen Ausstattungsvoraussetzungen der Schulen.

Es bleibt also die Frage nach den Gütekriterien für Experimente in zentralen Prüfungen. Das Projekt „Experimentelle Aufgaben im Abitur Chemie“, welches freundlicherweise vom Fonds der chemischen Industrie finanziell unterstützt wird, versucht diese Gütekriterien zu erstellen und zu validieren. Unser Ziel ist es,

exemplarisch Beispiele guter Praxis des Experimentierens zu beschreiben und diejenigen Experimente herauszuarbeiten, die hinsichtlich ihrer Durchführbarkeit eine genügend große Anzahl an Variationen der Konfiguration bieten, dass sie einerseits problemlos mit dem unterschiedlichen Sammlungsinventar der Schulen durchführbar sind sowie als Basis vieler gleichwertiger experimenteller Zugänge dienen können.

Die Arbeit in dem Projekt fokussiert daher zunächst auf das Experiment an sich und erst einmal nicht darauf, in welchen Aufgabenkontext dieses eingebunden werden kann. Das wird zwar die Aufgabenschwierigkeit ausmachen. Es ist aus unserer Sicht aber Vorsicht geboten. Wenn nämlich der Schwierigkeitsbestimmende Schritt in einer Aufgabe ist, das geeignete Experiment aus dem Kontext herauszulösen, es zu planen etc., so werden zwar diese wichtigen Bereiche der Erkenntniskompetenz überprüft. Eine Aussage über die Fähigkeiten des Experimentierens ist aber dann noch nicht unbedingt möglich, wenn der Lernende schon zu Beginn der Aufgabe Defizite aufweist. Somit sehen wir es als durchaus legitim an, das Experiment in einen aus dem Unterricht bereits vertrauten Kontext einzubinden. Die Variation liegt dann in der Zusammensetzung der Chemikalien, bei Titrationen beispielsweise auch in den Konzentrationen der Stoffe, in der Auswahl der zur Verfügung stehenden Indikatoren etc.

3 Welche Experimente eignen sich für experimentelle Aufgabenstellungen im Zentralabitur?

Eine Analyse der bisherigen experimentellen Abituraufgaben der o. g. Bundesländer zeigt eine Dominanz der folgenden Kategorien:

- Titration als Verfahren der Maßanalyse
- Nachweisreaktionen als Methode der qualitativen Analyse

Deutlich seltener sind Experimente zu folgenden Themen zu finden:

- Galvanische Zellen/Elektrolysen im Kontext mobiler Spannungsquellen
- Kalorimetrische Messungen
- Reaktionstypen und Reaktionsmechanismen organischer Reaktionen (meist gekoppelt mit Nachweisreaktionen)

Eine Frage ist nun, was gerade die ersten beiden Themen gegenüber den übrigen Themen auszeichnet und welche Auswahlkriterien dort greifen. Neben den allgemeinen Anforderungen für Aufgabenstellungen, wie sie beispielsweise von Leisen [3] formuliert wurden, gelten bei der Wahl geeigneter Experimente für Klausuren allgemein und für zentrale Abschlussprüfungen im Speziellen weitere Kriterien, die insbesondere die Durchführbarkeit und Auswertbarkeit von Experimenten unter unterschiedlichen Ausstattungsbedingungen prüfen (Zander weist hierzu allgemeine Kriterien und Hinweise für die Durchführung von Schülerexperimenten in Klassenarbeiten und Klausuren aus [4, S. 8f]). Ferner sollten diese Experimente exemplarischen Charakter haben und zentrale Fachmethoden daran überprüft werden können. Geeignete Experimente müssen sich daher in verschiedene Basiskonzepte einbinden lassen.

Um verschiedene Variationen von Experimenten vergleichen zu können, formulieren wir folgende zusätzlichen Forderungen:

- Reproduzierbarkeit: Die verschiedenen Variationen sollten zu vergleichbaren Ergebnissen führen und eine hohe Fehlertoleranz aufweisen.
- Handhabbarkeit: Die Variationen sollten vergleichsweise einfach und sicher in der Handhabung sein. Sie sollten auf die im Unterricht erlangten fachmethodischen Kompetenzen aufbauen bzw. daran anknüpfen.
- Zeitaufwand: Die Variationen sollten hinsichtlich der Vorbereitung und der Durchführung etwa den gleichen zeitlichen Aufwand einnehmen.

Bis 2005 musste in Niedersachsen Fachlehrer, die einen Leistungs- oder Grundkurs im Fach Chemie hatten, zwei auf den eigenen Unterricht abgestimmte Vorschläge für Abiturklausuren konzipieren. Diese wurden von der Fachaufsicht der Schulbehörden eingehend geprüft und ggf. nach einer Überarbeitung zugelassen. Die Fachaufsicht wählte einen der beiden Vorschläge für die Abiturprüfung aus. Eine Wahlmöglichkeit für die Schüler bestand nicht. Bei der vorliegenden Aufgabe handelt es sich um eine Abiturklausur eines Leistungskurses bzw. Kurses auf erhöhtem Anspruchsniveau mit Schwerpunktthema Donator-Akzeptor-Reaktionen. Die gesamte Klausur nebst Erwartungshorizont und unterrichtlichen Voraussetzungen steht in der Online-Ergänzung zum Download bereit.

Praktische Aufgabe:

- 2.1 Bestimmen Sie titrimetrisch-iodometrisch den Gehalt an schwefeliger Säure im Weißwein. Benutzen Sie dazu die in Material 4 gegebenen Hinweise. Erstellen Sie ein vollständiges Versuchsprotokoll in dem auch die dieser Bestimmung zugrunde liegenden Redoxreaktionen (Ionenschreibweise) formuliert werden. Berechnen Sie anschließend, welche Menge an schwefeliger Säure in einem Liter des untersuchten Weines enthalten sind.
- 2.2 Beurteilen Sie den von Ihnen ermittelten Messwert unter Einbeziehung von Material 3 und 5, sowie dem Etikett des verwendeten Weins.

Material 3: Sulfitfreie Weine (nach [6])

Unter normalen Bedingungen produzieren die im Weinbau verwendeten Hefen während des Gärvorgangs geringe Mengen an Sulfiten (etwa 30 mg/l). Streng genommen gibt es daher kein „schwefelfreies“ Weine, nur solche, denen zusätzlich keine Sulfite zugesetzt wurden. Weine, die nach dem November 2005 abgefüllt wurden, müssen durch den Hinweis „enthält Sulfite“ gekennzeichnet sein, wenn ihr Sulfitgehalt mehr als 10 mg/l (umgerechnet auf Schwefeldioxid) beträgt.

Folgende Höchstmengen gelten generell in der EU (Aktualisierung vom 01. 08. 2010): Weine mit einem Restzuckeranteil unter 5 g/L: trockene Weine
Rotwein (alle Qualitätsstufen) 150 mg/L
Übrige Weine (alle Qualitätsstufen) 200 mg/L

Weine mit einem Restzuckeranteil über 5 g/L: halbtrockene und liebliche Weine
Rotwein (alle Qualitätsstufen) 200 mg/L
Tafel-, Land-, Qualitätswein, Kabinett 250 mg/L
Spätlese 350 mg/L
Beerenauslese, Trockenbeerenauslese, Eiswein 400 mg/L

Weine mit der Kennzeichnung „Für Diabetiker geeignet“: 150 mg/L

Material 4 (nach [6])

Folgende Materialien stehen zur Verfügung: Messzylinder (10 mL und 100 mL), Messpipette 10 mL, Pipettierhilfe bzw. Peleusball,

Erlenmeyerkolben, Bürette, Magnetrührer mit Rührstäbchen, Kunststoffspritzen mit verschiedenen Volumina, Schnappdeckelglas mit Deckel;
Weißwein (z. B. Mosel-Rivaner, Jahrgang 2009, trocken), Iod-Lösung $c(I_2) = 0,05 \text{ mol/L}$, Stärkelösung, Natriumthiosulfatlösung $c(Na_2S_2O_3) = 0,05 \text{ mol/L}$

Anweisung zur Herstellung der Probelösung: Pipettieren Sie ein Ihnen geeignet erscheinendes Volumen Weißwein in ein Probengefäß. Fügen Sie so viel Iod-Lösung hinzu, dass das Volumen 1/5 dem des Weißweins entspricht und tropfen Sie einige Tropfen Stärkelösung hinzu.

Material 5: Anmerkungen zum Verfahren der Sulfitbestimmung im Wein [6]

[...] Einschränkend muss gesagt werden, dass man durch dieses Verfahren nicht nur die im Wein enthaltene Menge an Schwefeldioxid bestimmt, sondern die Gesamtmenge an Iod reduzierenden Substanzen, den so genannten Reduktionen. Dies gilt speziell für Rotweine aber auch für Weißweine mit Zusatz von Vitamin C.

Um die Konzentration an Sulfite im Wein hinreichend genau zu bestimmen, müssen nach Tanner und Brunner zunächst iodometrisch alle Reduktone bestimmt werden. Durch Binden der freien Sulfite mit Glyoxal- bzw. Propionaldehyd und erneute iodometrische Titration erhält man aus der Differenz beider Werte die Konzentration an freiem Sulfite. [...]

Die folgende Aufgabe entstammt der schriftlichen Abiturprüfung für das Leistungsfach Chemie in Thüringen aus 2004. Die Klausur wurde zentral gestellt und enthielt 5 Aufgabenteile (A1/A2, B1 bis B3), von denen die Teile A jeweils ein Experiment enthielten. Jeder Schüler musste einen experimentellen Teil aus dem Aufgabenteil A und einen materialgebundenen Teil aus B wählen. Die für die Versuche benötigten Geräte und Chemikalien mussten vom Schüler während der Klausur schriftlich beim aufsichtführenden Lehrer beantragt werden. Die gesamte Klausur ist unter folgendem Link als Download verfügbar: http://www.thueringen.de/de/tmbwk/pruefungsaufgaben/pruefung2004/abi/ch_lf_04.pdf?year=2004&sf=Abitur (Letzter Zugriff: 28. 02. 2012)

Praktische Aufgabe

2. Eine wichtige analytische Methode ist die Titration.
 - 2.1 Bestimmen Sie die Stoffmengenkonzentration der vorgelegten Propansäurelösung durch potenziometrische Titration von 10 mL Vorlage mit Kalilauge der Stoffmengenkonzentration $c = 0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
 - 2.2 Interpretieren Sie die in Aufgabe 2.1 aufgenommene Titrationskurve! Berechnen Sie den pH-Wert am Äquivalenzpunkt und vergleichen Sie diesen mit dem von Ihnen experimentell ermittelten pH-Wert! $K_s(\text{Propansäure}) = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
 - 2.3 Die Titration aus Aufgabe 2.1 könnte auch konduktometrisch durchgeführt werden. Skizzieren Sie die bei der Titration zu erwartende Titrationskurve und erläutern Sie den Kurvenverlauf!

Kasten 1: Hinweise zur Abituraufgabe Säure-Base-Titration

Kasten 2: Hinweise zur Abituraufgabe Redox-Titration

Am Beispiel Titration soll nun zunächst allgemein verdeutlicht werden, weshalb dieses zentrale Verfahren für experimentelle Prüfungsaufgaben geeignet ist:

- Titrationen lassen sich auf verschiedenste Weise durchführen (potentiometrisch, konduktometrisch, colorimetrisch, komplexometrisch) und somit mit nahezu allen Basiskonzepten verknüpfen (BK Donator-Akzeptor: Redox-Titrationen, Säure-Base-Titrationen, Ligandenaustauschreaktionen; BK Reaktionskinetik, chemisches Gleichgewicht, BK Energie: Neutralisationsenthalpie). Das Prinzip dieses Verfahrens kann auf verschiedene Anwendungsbereiche der Maßanalyse übertragen werden, wodurch es eine Allgemeingültigkeit erhält. Lernende können daher dieses Verfahren auch in anderen Kontexten anwenden als den ursprünglichen Lernkontexten.

- Methodisch stehen für Titrationen verschiedene Variationen zur Verfügung – vom klassischen Makromaßstab mit Bürette und Erlenmeyerkolben bis hin zur Mikrotechnik unter Verwendung von Spritzen und Mikrotiterplatten.
- Die Anwendung der erhaltenen Messergebnisse ist problemlos möglich.

4 Makro, Halbmikro oder Mikro – die Qual der Wahl mit der Durchführung?

Das Qualitätskriterium der Variabilität beinhaltet eine möglichst große Unabhängigkeit der Durchführung von der schulischen Ausstattung. Eine Aufgabe kann so gestellt werden, dass die Schüler gemäß ihren bisherigen experimentellen Erfahrungen und in Abhängigkeit der schulischen Ausstattung die geeigneten Geräte auswählen sollen. Dies setzt allerdings voraus, dass die zu erwartenden Ergebnisse unabhängig von der gewählten oder

vorhandenen Ausstattung mit vergleichbarem Aufwand erreicht werden können. Im Rahmen des vom Fonds der chemischen Industrie geförderten Projekts wurden daher verschiedene experimentelle Aufgabenstellungen zur Titration (sowie zum Themenkreis Nachweismethoden) im Makromaßstab, im Halbmikro- und im Mikromaßstab durchgeführt und hinsichtlich der Kriterien Reproduzierbarkeit und zeitlicher Aufwand verglichen (zwei beispielhafte Aufgaben sind in den Kästen 1 und 2 aufgeführt).

Durchgeführt wurden die Titrationen im Makromaßstab mittels Bürette bzw. einer Messpipette in der Low-cost-Version (Skalierung: 0,1 mL), einmal mit einer Spritze für die Dosierung des Volumens an Maßlösung, einmal mit einer Pipettierhilfe (Abb. 1 und 2).

Die Halbmikro- und Mikrotitration erfolgte unter Verwendung von Tuberku-



Abb. 1: Potentiometrische Titration mit Spritze

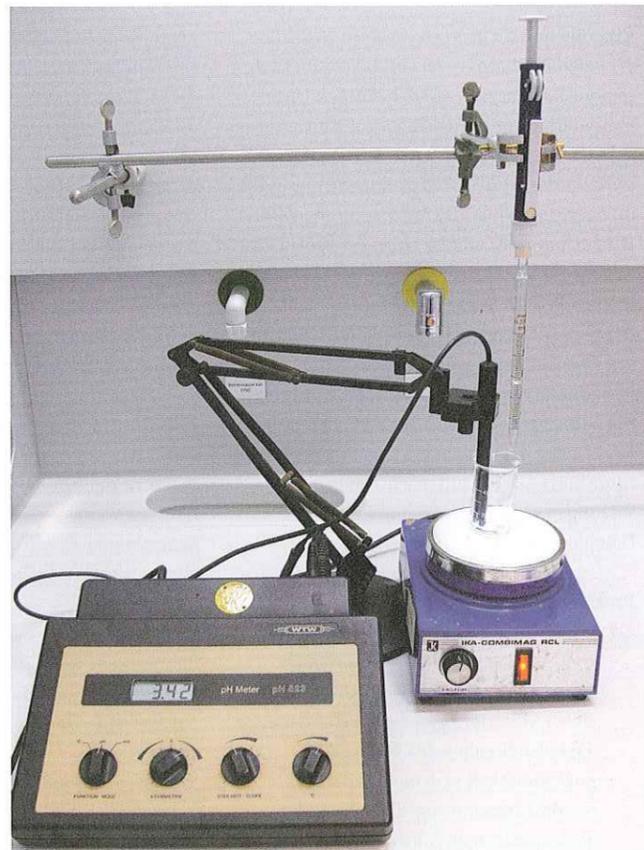


Abb. 2: Potentiometrische Titration mit Pipettierhilfe

linspritzen mit 0,01 mL Skalierung mit aufgesetzter Kanüle 27 G, wobei im ersten Fall ein kleines Becherglas bzw. Schnappdeckelglas (Abb. 3) und im zweiten Fall Mikrotiterplatten als Probengefäß angewendet wurden.

Letztere ist jedoch für die gestellte Aufgabe (potentiometrische Titration) nicht geeignet, weil das Probenvolumen für die pH-Elektrode zu klein ist. Mikrotiterplatten eignen sich allenfalls für eine colorimetrische Bestimmung des Äquivalenzpunkts im Rahmen der Konzentrationsbestimmung. Um die Verletzungsgefahr beim Umgang mit Kanülen zu verringern, sollte man mit Sicherheitskanülen (z. B. Terumo Surguard oder BD Eclipse) arbeiten. Bei der folgenden Ergebnisdarstellung wird die Mikrotitration nicht berücksichtigt. Insgesamt ergeben sich daher fünf zu vergleichende Variationen des Experiments.

Die Ergebnisse für das Beispiel Titration von Propansäure mit Kalilauge sind nachfolgend zusammengestellt. Sämtliche Titrationsversuche erfolgten mit einer Propansäurelösung mit bekannter Stoffmengenkonzentration (0,1 mol/L) und wurden mehrfach durchgeführt (jeweils 5-mal), um Mittelwert und Standardabweichung zu ermitteln. Da gerade bei der Titration

im Halbmikro- und besonders im Mikromaßstab sehr kleine Volumina eingesetzt werden, für eine potentiometrische Messung die pH-Elektrode jedoch ausreichend in die Probelösung eintauchen muss, wurde das Volumen der Probelösung jeweils um den gleichen Faktor verdünnt, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten und Verdünnungsfehler zu minimieren.

Der Äquivalenzpunkt wurde über die Bestimmung der Steigung der Titrationskurve ermittelt [vgl. 5]. Zusätzlich wurde die Zeit für Aufbau und Durchführung der Experimente gemessen. Dabei konnte auch erfasst werden, inwieweit die Durchführung g mehrerer Messungen ohne zwischenzeitliches Kalibrieren des pH-Meters den Messwert beeinflusst.

Tabelle 1 zeigt die erhaltenen Messergebnisse.

4.1 Reproduzierbarkeit

Die Tabelle 1 zeigt, dass sowohl die Titration im Makromaßstab mit einer Bürette sowie die Verwendung von Tuberkulinspritzen im Halbmikromaßstab sehr gute Ergebnisse innerhalb der Fehlertoleranz von gut 10% liefern. Mögliche Verdünnungsfehler aufgrund der kleineren Probenvolumina werden durch die höhere Ablesegenauigkeit bei den Tu-

berkulinspritzen (Skalierung: 0,01 mL) im Vergleich zur herkömmlichen Bürette (Skalierung: 0,05 mL) ausgeglichen. Beide Variationen sind daher für experimentelle Aufgabenstellungen in zentralen Prüfungen hinsichtlich dieses Kriteriums gleichermaßen geeignet. Weniger gute Ergebnisse liefern die Titrations unter Verwendung von Messpipetten. Aufgrund der weniger genauen Skalierung ist der Ablesefehler höher.

4.2 Handhabbarkeit

Die Handhabung einer Bürette ist Schülern meist aus dem Vorunterricht geläufig. Die Gefäße und Flüssigkeitsvolumina sind hinreichend groß und somit gut handhabbar. Das Arbeiten mit der Spritzentechnik und den um den Faktor 10 bis 20 kleineren Volumina bedarf einer stärkeren Übung – insbesondere was das Zutropfen der Maßlösung angeht. Hier kann es Ungeübten schnell passieren, dass sie zu stark auf den Kolben der Spritze drücken. Ferner ist das Ablesen auf der sehr kleinen Skala zunächst schwierig. Ggf. ist die Verwendung einer Lupe hier sinnvoll. Generell sollte man bei der Titration im Halbmikromaßstab darauf achten, dass die Spritzen blasenfrei gefüllt sind und die Messelektrode hinreichend tief in die Probelösung

taucht. Vor der eigentlichen Titration sollte man die Leichtgängigkeit der Spritze prüfen. Mit etwas Übung lässt sich mit einer Tuberkulinspritze das Volumen an zuge-setzter Maßlösung sehr gut und sehr fein dosieren. Auf die in der Literatur teilweise beschriebene Sicherheitsmaßnahme, die Kanülen abzukneifen, um das Verletzungsrisiko zu minimieren, kann aus unserer Sicht jedoch verzichtet werden. Die Kanülen sind auch mit abgekniffener Spitze scharf genug, um sich zu verletzen. Zudem entstehen durch das Abkneifen scharfe Kanten, die eher zu schlecht heilenden Rissverletzungen führen.

Auf die Verwendung von Pipetten für diesen Zweck sollte besser verzichtet werden. Gerade in Kombination mit einer Pipettierhilfe oder eines Peleusballs ist die Dosiergenauigkeit zu gering. Ferner bleibt bei einer Messpipette aufgrund des größeren Auslaufdurchmessers häufig ein Tropfen Maßlösung hängen.

4.3 Zeitaufwand

Hinsichtlich des Zeitaufwandes gibt es für die fünf getesteten Variationen keine nennenswerten Unterschiede. In allen Fällen benötigte man für den Aufbau, die Durchführung und das Wegräumen 25 bis 30 Minuten.

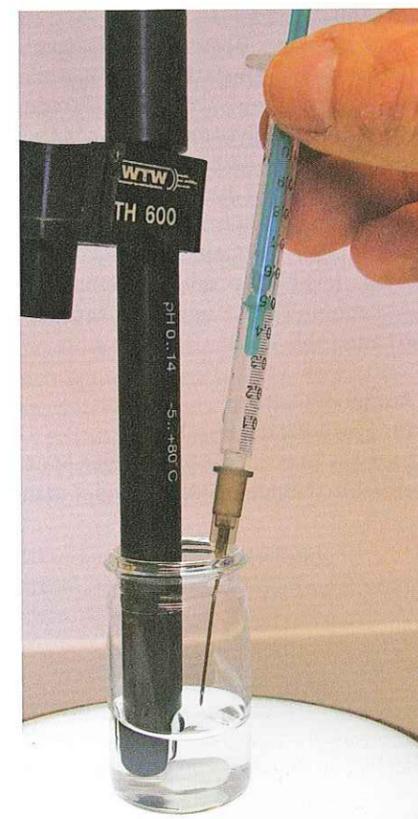


Abb. 3: Potentiometrische Halbmikro-Titration mit Tuberculinspritze

Variation	Probevolumen	Auffüllen auf	Arithmetisches Mittel der Konzentration in mol/L	SD in mol/L	Abweichung in %
Makro mit Bürette	10 mL	50 mL	0,0924	0,00153	7,6
Makro low cost mit Spritze	10 mL	50 mL	0,1196	0,00416	13,6
Makro low cost mit Pipettierhilfe	10 mL	50 mL	0,1224	0,00473	22,4
Halbmikro im Becherglas	1 mL	5 mL	0,1064	0,00306	6,4
Halbmikro im Schnappdeckelglas	1 mL	5 mL	0,1056	0,00252	5,6

Tab. 1: Vergleich der Variationen zum Versuch Titration von Propansäure

4.4 Folgerungen für die Praxis

Sowohl die Makrotechnik unter Verwendung einer Bürette als auch die Verwendung von Spritzen (Halbmikrotechnik) liefern bei der vorgestellten experimentellen Abituraufgabe vergleichbar gute Ergebnisse, sodass beide Techniken sich für die Durchführung im Zentralabitur gleichermaßen gut eignen. Allerdings muss die Handhabung der Spritzentechnik im Vorunterricht wie auch die Handhabung von Büretten geübt werden. Darin liegt aus unserer Sicht auch der Kern einer soliden Vorbereitung auf experimentelle Aufgabenstellungen. Die zentralen Fachmethoden müssen an verschiedenen Beispielen eingeübt werden.

Die Übung darf jedoch nicht nur das Ziel verfolgen, eine Variation der Fachmethode zu internalisieren und bei Bedarf anzuwenden. Vielmehr muss man den Schülern bereits im Unterricht mehrere Variationen einer Fachmethode (hier Titration) vorstellen und ausprobieren lassen. Ziel muss es also sein, das der Fachmethode zugrunde liegende Prinzip zu vermitteln und darauf aufbauend das methodische Repertoire für diese Fachmethode zu erweitern. Dies lässt sich erreichen, wenn man das Aufgabensetting bereits so gestaltet, dass mehrere Variationen möglich sind. In der Abituraufgabe zur Redoxtitration ist ein solches Aufgabensetting verwirklicht. Durch Angabe verschiedener Materialien können die zu prüfenden Schüler ihre eigene Variation der Durchführung des Experiments wählen, je nach ihrer eigenen Präferenz und unterrichtlicher Vorbereitung. Für zentral gestellte Aufgaben ist diese Variationsbreite im Aufgabensetting von besonderer Bedeutung, weil man gerade dort angesichts der unterschiedlichen Aus-

stattungssituationen in den Schulen sich nicht auf eine bestimmte Variation berufen kann bzw. diese vorschreiben kann. Es gilt also wie so oft: „variatio delectat“!

Dank

Wir danken dem Fonds der chemischen Industrie für die freundliche Unterstützung dieses Projekts.

Die Experimente wurden z. T. im Rahmen der Examensarbeit von Frau Stefanie Gaun durchgeführt, bei der wir uns an dieser Stelle herzlich bedanken.

Literatur

- [1] KMK (2004). Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Chemie. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 01. 12. 1989 i. d. F. vom 05. 02. 2004
- [2] Niedersächsisches Kultusministerium: Schüler- oder Demonstrationsexperimente im Fach Chemie für das Zentralabitur ab 2013. Logistikkstelle für zentrale Arbeiten. Elektronisch den niedersächsischen Gymnasien, Fachgymnasien und Gesamtschulen übermittelte Datei, Hannover 2011
- [3] J. Leisen: Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. MNU 59,5, S. 260–266 (2006)
- [4] H. Zander: Chemische Experimente in Klassenarbeiten und Klausuren. Aulis, Köln (1994)
- [5] http://www.unics.uni-hannover.de/analytik/Lehre/Qualiquanti/Auswertung_Potentiometrie.pdf (Letzter Zugriff: 30. 02. 2012)
- [6] B. Sieve: Schwefeldioxid als Konservierungsmittel. PdN-ChiS 58,2, S. 45 ff. (2009)

Anschrift der Verfasser

OStR Bernhard Sieve, Prof. Dr. Sascha Schanze, Institut für Didaktik der Naturwissenschaften (IDN), Fachgebiet Chemiedidaktik, Am kleinen Felde 30, D-30167-Hannover, E-Mail: sieve@idn.uni-hannover.de