

Salz und Säure in Kartoffelchips

Ein Unterrichtprojekt der Chemisch-Technischen-Assistent*innen
(CTA) der Adolf-Reichwein-Schule, Marburg



Bildquelle: iStock.com

1 Einleitung

Ein Thema im Rahmen des Fachs (Lernfelde) ‚Elektrochemische Methoden anwenden‘ des Lehrplans für Chemisch-technischen Assistent*innen (CTA) in Hessen ist die Durchführung von Analysen mit elektrochemischer Indikation. In der Regel wird in diesem Zusammenhang die Aufnahme von Titrationskurven mit einem pH-Meter bzw. einer Leitfähigkeits-elektrode behandelt.

In der hier beschriebenen Unterrichtseinheit werden die genannten Methoden, die potentiometrische Titration mit Silbernitrat-Lösung sowie eine Ionenselektive-Chlorid-Elektrode genutzt, um praktisch im Labor den Gehalt an Natriumchlorid und Citronensäure in Kartoffelchips der Geschmacksrichtung ‚Salt and Vinegar‘ zu bestimmen (siehe Abb. 1).

An diesem Beispiel können an einem alltagsbezogenen Untersuchungsobjekt alle vier elektrochemischen Analysemethoden angewandt werden, um die genannten Inhaltsstoffe quantitativ zu bestimmen. Der Gehalt an Natriumchlorid wurde dabei durch potentiometrische Titration mit einer Silbernitrat-Lösung sowie mit Hilfe der Ionenselektiven-Chlorid-Elektrode bestimmt. Der Gehalt an Citronensäure, die laut Herstellerangabe als Säuerungsmittel genutzt wird, wurde mit Hilfe einer pH-Titration und einer Leitfähigkeitstitration bestimmt.

Alle Experimente wurden mit Sensoren eines Messwerverfassungssystems (Pasco Scientific) durchgeführt. Die Messwerte werden über Bluetooth jeweils auf ein IPAD, das mit der entsprechenden Software (‚SPARKvue‘) ausgestattet ist, übertragen.

2 Beschreibung der Unterrichtseinheit

Der Einheit begann mit der oben genannten Chipstüte. Inhaltsstoffe wurden gesammelt und der Nährwert dieses Lebensmittels diskutiert. Einige Auszubildende hatten bereits im Chemieunterricht ihrer Herkunftsschulen den Fettgehalt von Kartoffelchips bestimmt. Ein Blick auf die Verpackung (siehe Abb.) verriet den Salzgehalt (2g/100g). Außerdem wird als Säuerungsmittel ‚Citronensäure‘ sowie ‚Branntweinessigextrakt‘ angegeben (siehe Abb. 2 und 3).



2: Zutatenliste Chipsfrisch ‚Salt and vinegar‘

Diese Packung enthält ca. 6 Portionen. Eine Portion = 30 g
Este paquete contiene aprox. 6 porciones. Una porción = 30 g

Nährwertangaben / valores nutritivos			
	100 g	30 g	%*
		(30 g)	
Energie / valor energético	2229 kJ / 534 kcal	668 kJ / 160 kcal	8 %
Fett / grasas	33 g	9,9 g	14 %
-davon gesättigte Fettsäuren / de las cuales saturadas	2,6 g	0,8 g	4 %
-davon einfach ungesättigte Fettsäuren / de las cuales monoinsaturadas	23,2 g	7,0 g	
-davon mehrfach ungesättigte Fettsäuren / de las cuales poliinsaturadas	2,2 g	0,7 g	
Kohlenhydrate / hidratos de carbono	50 g	15 g	6 %
-davon Zucker / de los cuales azúcares	2,8 g	0,8 g	1 %
Eiweiß / proteínas	5,4 g	1,6 g	3 %
Salz / sal	2,0 g	0,60 g	10 %

*Referenzmenge für einen durchschnittlichen Erwachsenen (8400 kJ / 2000 kcal) /
*Ingesta de referencia de un adulto medio (8400 kJ / 2000 kcal)

3: Nährwertangaben Chipsfrisch ‚Salt and Vinegar‘

Folgende Aufgabenstellungen wurden im Unterrichtsgespräch gemeinsam formuliert:

- Bestimmen Sie den Massenanteil an Natriumchlorid (NaCl) in den Kartoffelchips mit Hilfe einer Ionenselektiven Elektrode (ISE) und mittels einer potentiometrischen Titration mit einer Silbernitrat-Lösung.
- Bestimmen Sie den Massenanteil an Citronensäure in den Kartoffelchips mittels pH-Titration sowie mittels Leitfähigkeitstitration.

Dazu wurden zunächst folgende Arbeitsschritte erarbeitet:

3.1 Vorbereitung der Probe und Herstellung der Maßlösungen

Natriumchlorid und Citronensäure sind gut wasserlöslich und sollten leicht aus den Kartoffelchips herausgelöst werden können. Nun wurde gemeinsam überlegt, welche Masse an Chips einzuwiegen und in welchem Volumen Wasser diese zu lösen ist sowie in welcher Konzentration die Maßlösungen für die Titrations anzusetzen sind. Ebenso mussten die Konzentrationen für die Kalibrierlösungen für die Messungen mit der ionenselektiven Elektrode festgelegt werden (hier werden die Chlorid-Ionen nach der Methode des externen Standards bestimmt).

Die Kartoffelchips wurden zunächst gemörsert (siehe Abb. 4). Die zuvor berechnete Masse an gemörserten Chips wurde abgewogen.



4: Chiara beim Mörsern der Chipsprobe

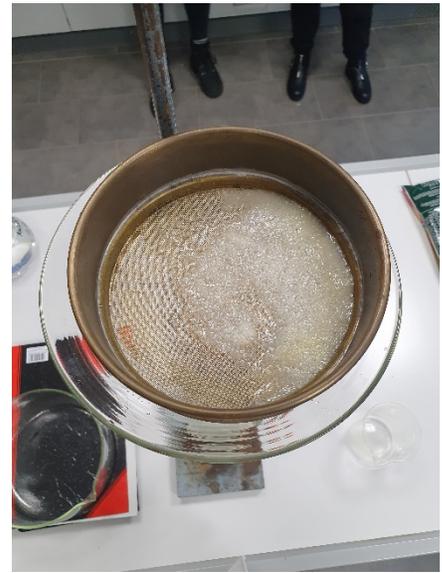
Die Herstellung der Probe-Lösungen gestaltete sich schwierig, da die Kartoffelchips im Wasser aufquellen und sich das Filtrieren der entstandenen Suspension mit den in den Schullaboren zur Verfügung stehenden Mitteln nur schwer möglich war. Zwei Methoden erwiesen sich schließlich als praktikabel und wurden umgesetzt. Eine Gruppe „siebte“ die hergestellte Suspension und spülte das gesiebte Gut in einen Messkolben (Abb. 6). In einer zweiten Variante wurde die Suspension in einem Messkolben mit destilliertem Wasser aufgefüllt und anschließend zentrifugiert, der Überstand schließlich durch einen Glasfiltertiegel filtriert.



5 a: Sana beim ‚Sieben‘ der Chips-Probeflösung



5 b: Apparatur zum ‚Sieben‘



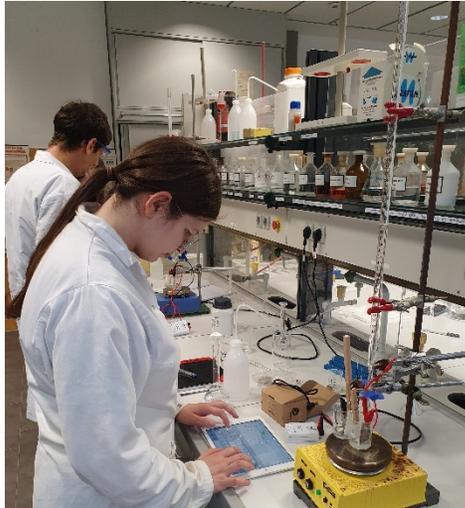
5 c: Das Sieb von oben

3.2 Stationen der elektrochemischen Analysemethoden

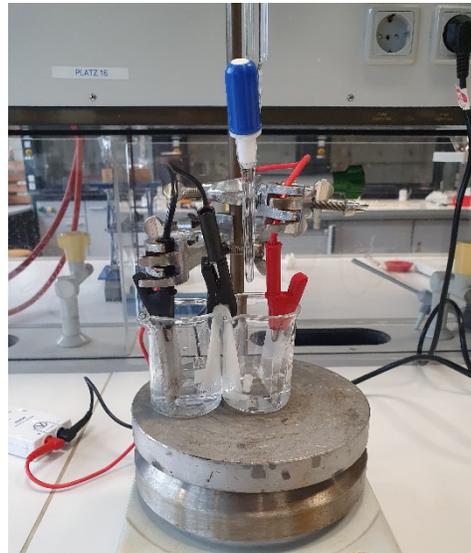
Mit den so vorbereiteten Probeflösungen wurden in Stationen die einzelnen Analysen durchgeführt. Die Schüler*innen erhielten allgemeine Versuchsvorschriften und wurden in die Arbeit mit dem Messwerterfassungssystem eingeführt.

Station 1: Bestimmung des Chloridgehalts durch potentiometrische Titration mit Silbernitrat-Lösung

Der Versuchsaufbau besteht aus zwei Bechergläsern, die auf einem Magnetrührer platziert werden und über eine Salzbrücke miteinander verbunden sind (Abb. 6 a und b.)

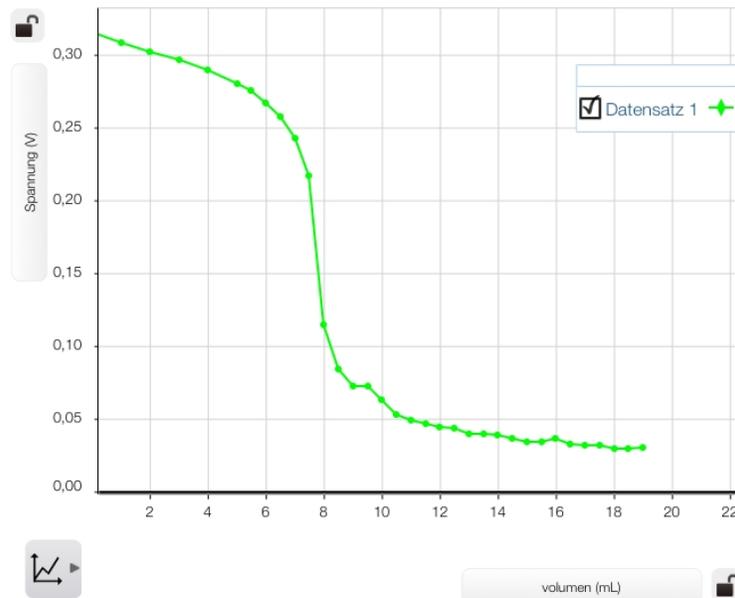


6 a: Chiara bei der Durchführung der potentiometrischen Titration mit Silbernitrat-Lösung



6 b: Versuchsaufbau der potentiometrischen Titration

Als Maßlösung wurde eine Silbernitrat-Lösung ($c(\text{AgNO}_3) = 0,1 \text{ mol/L}$) angesetzt und die Bürette damit befüllt. 10mL der Silbernitrat-Lösung wurden in die Referenzhalbzelle gefüllt (linkes Becherglas) und 10mL der Probe-Lösung in das rechte Becherglas. Das Messwertprogramm mit einem Spannungssensor wurde angeschlossen und nach der Zugabe von jeweils 0,5mL der Maßlösung die Spannung gemessen. Diese wurde von dem Programm gegen das zugegebene Volumen der Maßlösung aufgetragen. Nach beendeter Titration ergab sich die in Abb. 7 dargestellte Auftragung:

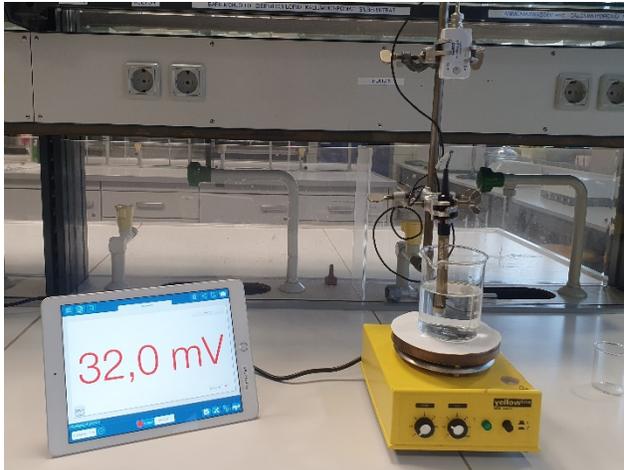


7: Mit dem Messwertaufnahmeprogramm
aufgenommene Titrationskurve

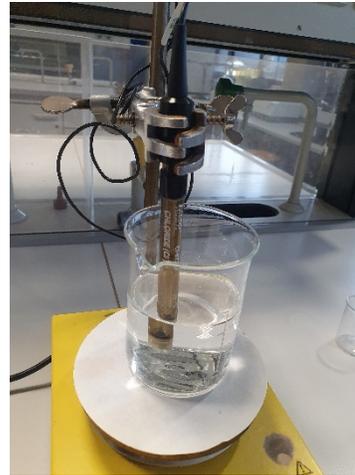
Der Äquivalenzpunkt wurde mittels Rechteckmethode bestimmt. Die Auswertung ergab einen Massenanteil an NaCl $w(\text{NaCl}) = 1,6\%$. Laut Herstellerangabe beträgt der Massenanteil $w(\text{NaCl}) = 2\%$.

Station 2: Bestimmung des Chloridgehalts mittels Ionenselektiver Elektrode

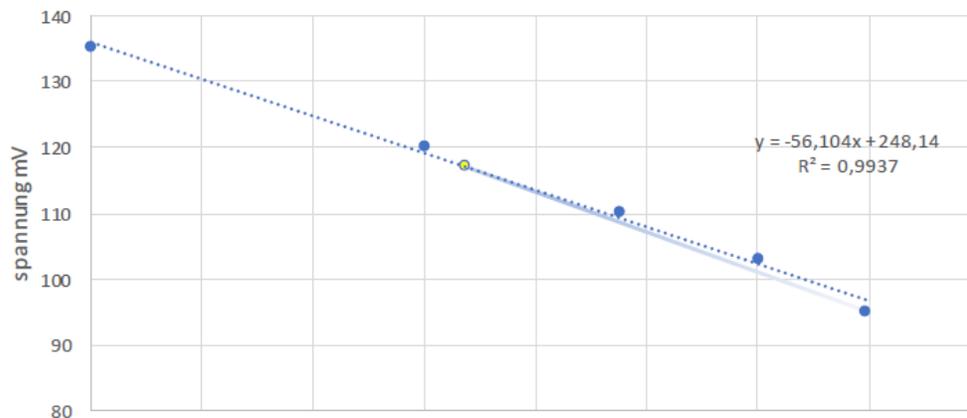
Der Chlorid-Gehalt sollte außerdem mit Hilfe einer Ionenselektiven Elektrode durchgeführt werden (vgl. Abb. 8 a und b). Zunächst mussten Kalibrierlösungen angesetzt werden. Anschließend wurde von den Kalibrierlösungen und der Probenlösung jeweils die Spannung mit der Ionenselektiven Elektrode gemessen. Eine Auftragung der Spannung gegen den Logarithmus der Konzentration ergab schließlich die in Abb. 9 dargestellte Auftragung:



8 a: Versuchsaufbau zur Chlorid-Bestimmung mittels Ionenselektiver Elektrode



8 b: Ionenselektive Elektrode



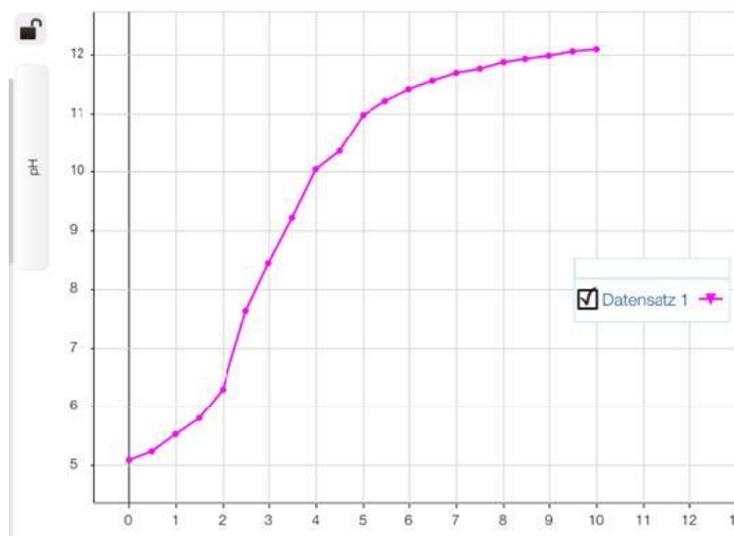
9: Auftragung der gemessenen Spannung gegen den lg der Konzentration

Letztendlich ergab sich ein Massenanteil an NaCl von $w = 1,2\%$. Eine Fehlerquelle für die relative große Abweichung der Resultate beider Methoden könnte darin liegen, dass die Ionenselektive Elektrode relativ alt war und die Korrelation zwischen der Chlorid-Ionenkonzentration und der gemessenen Spannung nicht mehr stimmte. Eine weitere Fehlerquelle kann auch darin bestehen, dass die Chipsprobe nicht homogen war und sich z. B. Natriumchlorid in der Chipstüte befand das nicht an den Chips haftete. Wichtiger als die exakten Werte war sicher die Fehlerdiskussion, die mit den Schüler*innen gemeinsam durchgeführt wurde.

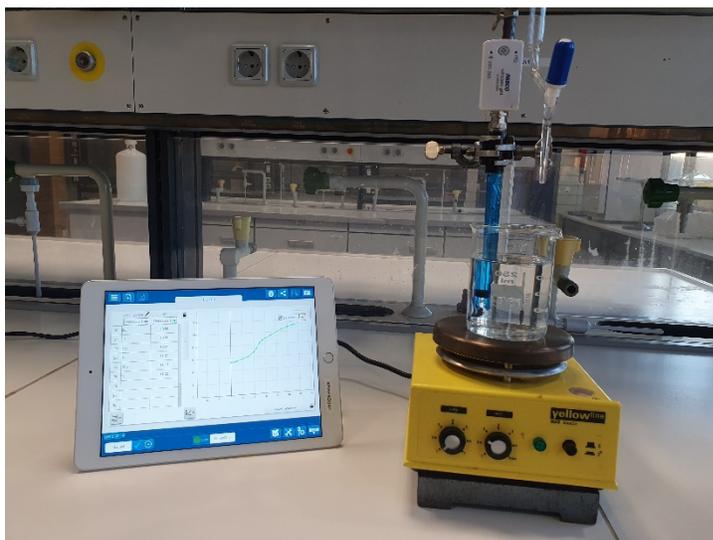
Für den sauren Geschmack der Kartoffelchips ist gemäß Angabe auf der Chipstüte Citronensäure sowie ‚Brandweinessigextrakt‘ verantwortlich (vgl. S. 2, Abb. 2). Was sich hinter dem Begriff ‚Brandweinessigextrakt‘ verbirgt, konnte auch nach Rückfragen bei der Firma ‚Funny‘ nicht geklärt werden. Wir sind davon ausgegangen, dass dieser Extrakt für den Essiggeschmack verantwortlich ist und dass die sauren Eigenschaften im Wesentlichen auf die Citronensäure zurückgehen. Wir haben deshalb vereinfacht den ermittelten Säuregehalt mit dem Gehalt an Citronensäure gleichgesetzt.

Station 3: Bestimmung des Gehalts an Citronensäure mittels pH-Titration

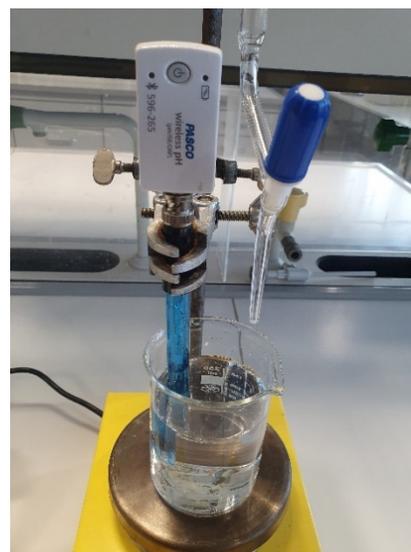
An dieser Station wurde eine Säure-Base-Titration durchgeführt, die mit einer pH-Elektrode verfolgt wurde. Als Maßlösung wurde eine Natronlauge-Maßlösung mit $c = 0,1 \text{ mol/L}$ verwendet. Mit Hilfe des Messwerterfassungsprogramms wurden die unten abgebildete Titrationskurve aufgenommen (vgl. Abb. 10). Citronensäure ist eine 3-protonige Säure, bei der die pKs-Werte nahe beieinander liegen, so dass nur der 3. Äquivalenzpunkt zu erkennen ist. Folglich entspricht $n(\text{NaOH}) = 1/3 n(\text{Citronensäure})$. Damit ergab sich ein Massenanteil $w(\text{Citronensäure}) = 0,82\%$.



10: Mit dem Messwerterfassungsprogramm aufgenommene Titrationskurve (pH-Wert gegen das Volumen der Natronlauge)



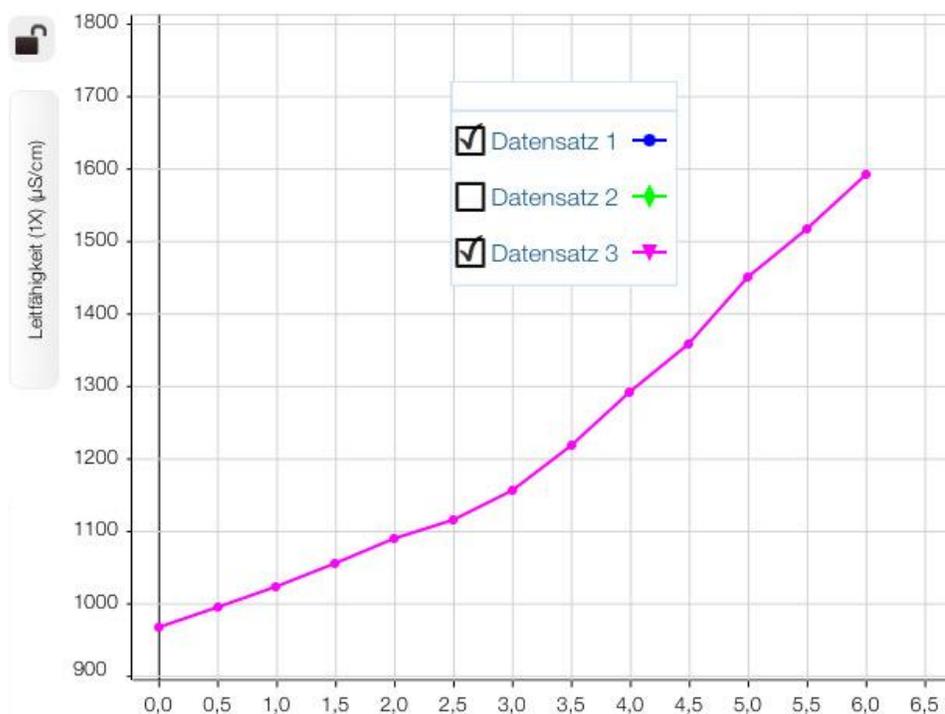
11 a: Versuchsaufbau der pH-Titration



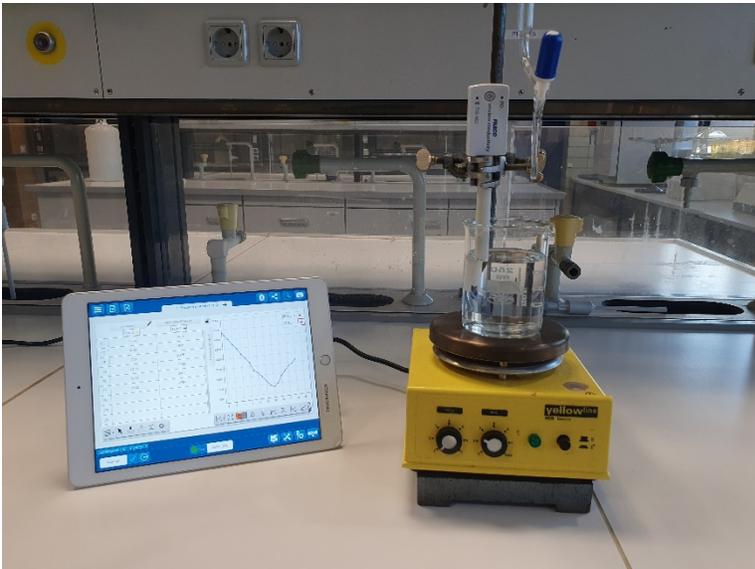
11 b: pH-Elektrode

Station 4: Bestimmung des Gehalts an Citronensäure mittels Leitfähigkeitstitation

Hier wurde eine ähnliche Titration, wie in Station 3 durchgeführt, mit dem Unterschied, dass diese in diesem Fall mit einer Leitfähigkeitselektrode verfolgt wurde. Dabei ergab sich die in Abb. 12 dargestellte Titrationskurve, in der die Leitfähigkeit gegen das Volumen an titrierter Natronlauge aufgetragen ist. Der Kurvenverlauf ist typisch für die Titration einer schwachen bzw. mittelstarken Säure gegen Natronlauge. Die relativ geringe Leitfähigkeit zu Beginn der Titration resultiert aus dem großen Anteil an undissoziierter Säure, der zu Beginn vorliegt. Nach dem Äquivalenzpunkt, der durch das Anlegen zweier Tangenten ermittelt wurde, steigt die Leitfähigkeit aufgrund der nun frei vorliegenden OH⁻-Ionen wieder an. Für den Äquivalenzpunkt wurde ein Verbrauch an Natronlauge von $V(\text{NaOH}) = 3,7\text{ mL}$ ermittelt. Damit ergab sich Massenanteil $w(\text{Citronensäure}) = 0,95\%$, der etwa mit dem in Station 3 ermittelten Wert korreliert.



12: Titrationskurve der Leitfähigkeitstitation



13 a: Versuchsaufbau der Leitfähigkeitstiteration



13 b: Leitfähigkeitselektrode

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Analyt	Methode	Ergebnis	Herstellerangabe
NaCl	Potentiometrie	1,6%	2%
	Ionenselektive Elektrode	1,2%	
Säuregehalt (Citronensäure)	pH-Titration	0,82%	Keine Angabe
	Leitfähigkeitstitation	0,95%	

3.4 Fazit

Mit der Unterrichtsreihe ist es gelungen, die wichtigsten elektrochemischen Analysemethoden an einem Untersuchungsobjekt zu thematisieren und praktisch anzuwenden. Dadurch konnte zum einen eine motivierende Aufgabenstellung für die Auszubildenden geschaffen werden, zum anderen konnten die einzelnen Methoden miteinander verglichen und Abweichungen diskutiert werden.

Durch Verwendung der Messwerterfassungssysteme konnten die Titrationskurven direkt mit dem entsprechenden Programm erzeugt und auch geteilt werden, so dass diese den Schüler*innen für ihre Auswertung direkt zur Verfügung gestellt werden konnten.

Die Auszubildenden waren, während der insgesamt 12 Unterrichtsstunden der Unterrichtseinheit – von der Planung der Versuche bis zur Verkostung – sehr motiviert bei der Sache.

Anhang

Beschreibungen der durchgeführten Versuche

1 Vorbereitung der Probelösungen

Geräte und Chemikalien:

Analysenwaage, 600mL Becherglas, Rührfisch und Magnetrühren, feines Sieb, Trichter, 500mL Messkolben, funny chips, ‚salt and vinegar‘.

Durchführung:

Ca. 15g (Stationen 1 und 2) bzw. 25g (Stationen 3 und 4) Kartoffelchips werden auf einer Analysenwaage genau abgewogen und gemörsert. Die gemörserten Chips werden in ein 600mL Becherglas überführt und mit ca. 400mL dest. Wasser versetzt. Nach Zugabe eines Rührfisches wird die Suspension auf einem Magnetrührer ca. 10Min. gerührt. Die Suspension wird durch ein feines Sieb über einen Trichter in einen 500mL Messkolben überführt (vgl. S. 3, Abb. 5a–c).

2 Bestimmung des Chloridgehalts durch potentiometrische Titration mit Silbernitrat-Lösung (Station 1)

Geräte und Chemikalien:

10-mL-Vollpipette, 2 x 50mL Bechergläser, 2 Silberbleche, Filterpapier, Magnetrührer mit Rührfisch, Bürette, 2 Krokodilklemmen, Spannungssensor (Pasco Scientific), Silbernitrat-Maßlösung
($c = 0,01 \text{ mol/L}$).

Durchführung:

Der Versuch wird entsprechend Abb. 6b (S. 4) aufgebaut. In ein Becherglas werden 10mL Silbernitrat-Maßlösung gegeben, in das zweite Becherglas 10mL der in 1 vorbereiteten Probelösung. In beide Bechergläser wird jeweils eine Silberelektrode gehängt, die mit Krokodilklemmen mit dem Spannungssensor verbunden wird. Beide Bechergläser werden über ein mit Natriumnitrat getränktes Filterpapier miteinander verbunden. In das zweite Becherglas wird nun in Abständen von 0,5mL Silbernitrat-Maßlösung titriert und jeweils die Spannung gemessen. Es ergab sich die in Abb. 7 (S. 5) dargestellte Titrationskurve.

3 Bestimmung des Chloridgehalts mittels Ionenselektiver Elektrode (Station 2)

Geräte und Chemikalien:

5 x 100mL Messkolben, 100mL Vollpipette, Cl^- -Stammlösung ($\beta(\text{Cl}^-) = 1000\text{mg/L}$) (hergestellt aus NaCl), NaNO_3 -Lösung ($c = 5\text{mol/L}$) (Ionic Strength Adjuster, ISA),

Durchführung:

In 100-mL-Messkolben werden aus der Cl^- -Stammlösung 5 Kalibrierlösungen mit einer Massenkonzentration an Cl^- von $\beta(\text{Cl}^-) = 100\text{--}500\text{mg/L}$ hergestellt. Jede Lösung (100mL) wird in ein 150mL Becherglas überführt und mit 2mL ISA versetzt. Das Becherglas wird auf einem Magnetrührer platziert, ein Rührfisch hinzugegeben mit der Ionenselektiven Elektrode jeweils die Spannung gemessen (vgl. S. 5, Abb. 8a und b). Mit 100mL der in **1** hergestellten Probelösung, die mittels Vollpipette ebenfalls in ein 150mL Becherglas pipettiert werden, wird ebenso verfahren. Die gemessenen Spannungen werden gegen den Logarithmus der Konzentration aufgetragen (vgl. S. 6, Abb. 9).

4 Bestimmung des Gehalts an Citronensäure mittels pH-Titration und Leitfähigkeitstitation (Stationen 3 und 4)

Geräte und Chemikalien:

pH-Elektrode, Leitfähigkeitselektrode, 50-mL-Vollpipette, 250-mL-Becherglas, Magnetrührer und Rührfisch, Bürette, NaOH-Maßlösung ($c = 0,1\text{mol/L}$)

Durchführung:

50mL der in **1** hergestellten Probelösung werden in ein 250-mL-Becherglas pipettiert und auf ca. 100mL mit dest. Wasser aufgefüllt. Das Becherglas wird mit einem Rührfisch auf einem Magnetrührer platziert und - mittels Stativ und Klammern - eine pH-Elektrode so befestigt, dass diese in die Flüssigkeit taucht, ohne Kontakt mit dem Rührfisch zu bekommen (vgl. S.7 Abb. 11a und b). Mittels Bürette wird nun mit NaOH-Maßlösung ($c = 0,1\text{mol/L}$) titriert und jeweils nach Zugabe von 0,5mL der pH-Wert bestimmt. Die Datenaufnahme erfolgt wiederum mit dem Programm SPARKvue (vgl. S. 1). Es ergibt sich die in Abb. 10 (S. 7) dargestellte Titrationskurve. Für die Leitfähigkeitstitation (Station 4) wird der gleiche Versuchsaufbau verwendet mit dem Unterschied, dass die Titration nun mit einer Leitfähigkeitselektrode verfolgt wird (vgl. S. 8 Abb. 13a und b). Es ergibt sich die in Abb. 12 (S. 8) dargestellte Titrationskurve, in der das Volumen an NaOH-Maßlösung gegen die Leitfähigkeit aufgetragen ist.