

Nachweis von Aluminium in Kaffee



Maturaarbeit
Kantonsschule Wohlen

Lilly Rullkötter G4E
Referent: Martin Lussi
Co-Referent: Markus Wohlmuth

30.10.2023

Inhaltsverzeichnis

Abstract	3
1 Einleitung	4
1.1 Fragestellung	4
1.2 Theorie	5
1.2.1 Der Kaffee	5
1.2.2 Veraschung	5
1.2.3 Komplexbildung	6
1.2.4 Komplexometrische Rücktitration	7
1.2.5 Ionenchromatographie	9
1.3 Hypothese 1	11
1.4 Hypothese 2	11
2 Material und Methoden	12
2.1 Vorexperimente	13
2.1.1 Herausfiltern der Farbe mit Aktivkohle	14
2.1.2 Ethanolische Dithizon-Lösung	15
2.2 Rücktitration der Kaffeelösung	16
2.3 Ionenchromatographie	17
3 Resultate	18
3.1 Herausfiltern der Farbe mit Aktivkohle	18
3.2 Rücktitrationen der Aluminiumhaltigen Proben	18
3.3 Ionenchromatographie	20
3.3.1 Probe 1	20
3.3.2 Probe 2	21
3.3.3 Probe 3	22
3.3.4 Probe 4	23
4 Diskussion	24
4.1 Herausfiltern der Farbe mit Aktivkohle	24
4.2 Aluminiumgehalt der Proben 1 bis 4	25
5 Weiterführende Diskussion	28
5.1 Aluminium im Körper	28
5.2 Aluminium im Gehirn	29
5.3 Fazit	29
6 Selbständigkeitserklärung	31
7 Abkürzungsverzeichnis/Glossar	32
8 Quellenverzeichnis	33
8.1 Literaturverzeichnis	33

8.2 Tabellenverzeichnis	34
8.3 Abbildungsverzeichnis	34
Anhang.....	35

Abstract

Kaffee ist in der Schweiz, wie in vielen Teilen der Welt, ein sehr häufig konsumiertes Genussmittel. Obwohl verschiedene Herstellungsverfahren existieren, verwenden Konsumenten für die Zubereitung oft Kaffeekapseln, welche mehrheitlich aus Aluminium bestehen. In dieser Arbeit wird der Frage nachgegangen, wie viel Aluminium in den Kaffee übergeht, welcher mit Aluminiumkapseln zubereitet wurde. Dabei wird vermutet, dass der Aluminiumgehalt in Kaffee, der mit Alukapseln zubereitet wurde, messbar höher ist als der Aluminiumgehalt in Kaffee, der beispielsweise durch Plastikkapseln gebrüht wurde. Für die quantitative Bestimmung der Aluminium(III)-Ionen wurde mittels einer komplexometrische Rücktitration der Gehalt der Ionen indirekt bestimmt. Dafür wurden die Proben verascht, und danach mit einer Zinksulfat-Lösung titriert, bis ein Farbumschlag in der Probelösung festzustellen war. Der Gehalt an Aluminium-Ionen konnte dann mittels Differenzrechnung bestimmt werden. Neben der Rücktitration wurde der Aluminiumgehalt mit Ionenchromatographie gemessen. Dabei wurde festgestellt, dass sich die Werte um ein Vielfaches unterscheiden. Bei der Rücktitration wurden Werte zwischen 1'753.7 mg/L und 2'225.85 mg/L gemessen, während bei der Ionenchromatographie Werte zwischen 0.152mg/L und 7.238mg/L gemessen wurde. Die bei der Rücktitration gemessenen Werte scheinen zwar zu hoch, trotzdem kann anhand der Ergebnisse angenommen werden, dass der Aluminiumgehalt in Kaffee, der unter Verwendung von Aluminiumkapseln zubereitet wurde, höher ist als jener in Kaffee, bei deren Herstellung keine Aluminiumkapseln verwendet wurden. Die Ionenchromatographie bestätigt die Hypothese teilweise, da einer der Probenwerte aufgrund zu grosser Abweichung als nicht aussagefähig eingestuft wurde, und somit kein eindeutiges Ergebnis zustande kam. Am Ende dieser Arbeit wird zudem kurz auf die Auswirkungen von Aluminium auf den Körper eingegangen.

1 Einleitung

Sei es eine Tasse Kaffee am Morgen, um wach zu werden, oder ein Espresso nach dem Mittagessen; Kaffee ist das am häufigsten konsumierte Getränk der Welt. Die Schweizer Bevölkerung gehört mit einem Konsum von rund drei Tassen täglich zu den Ländern mit dem höchsten Kaffeekonsum pro Kopf [1]. Doch neben der frischgemahlene Kaffeebohne wird heutzutage vermehrt die Aluminiumkapsel verwendet, bei denen die Nachhaltigkeit fragwürdig ist. Neben dem Abfall, den sie verursachen, haben zudem die Produktion, der Anbau und die Ernte der Kaffeebohne negative Auswirkungen auf die Umwelt. Vor allem durch den Einsatz von Maschinen, Dünger und Pestiziden, ist die Umweltbelastung durch Kaffeeplantagen sehr hoch [2]. Denn obwohl viele Kaffeekapselhersteller ihre Kapseln als «recyclebar» bewerben (beispielsweise aufgrund der Nutzung von Aluminium, welches grundsätzlich recyclebar wäre), erweist sich die Rezyklierung in der Realität oft als schwierig. Denn für eine erfolgreiche Rezyklierung sollte aus den Kapseln der Kaffeesatz entfernt werden, was sich für viele Konsumenten als zu viel Aufwand erweist. Rund 3.4 Milliarden Kaffeekapseln sind 2019 dadurch allein in Deutschland falsch entsorgt worden [3]. Das entspricht fast 340 Tonnen Aluminiummüll, wenn man davon ausgeht, dass jede Kaffeekapsel etwa ein Gramm Aluminium enthält [4].

Neben den Auswirkungen auf die Umwelt, wird vor zu hohen Aluminiumwerten im Körper gewarnt. So schreibt das BfR, das Bundesinstitut für Risikobewertung, auf seiner Website: «Zu hohe Aluminiumgehalte im Körper haben negative Auswirkungen auf das Nervensystem, und können die Niere und Knochen schädigen» [5]. Zudem werden zu hohe Aluminiumwerte im Körper, und somit auch im Gehirn, mit Alzheimererkrankungen in Verbindung gebracht. Diese Vermutung konnte jedoch bislang nicht bestätigt werden und ist daher umstritten. Es wurde zwar bei Experimenten mit Alzheimer-Patienten eine erhöhte Aluminium-Konzentration und ein erhöhter Aluminiumspiegel im Blut festgestellt, jedoch könnten diese Befunde sowohl als Ursache, als auch als Konsequenz angesehen werden [6].

1.1 Fragestellung

Die erstmals von Nespresso eingeführten Kaffeekapseln aus Aluminium verwenden den Rohstoff Aluminium als dünne Folie. Diese Folie sollte dafür sorgen, dass ein höherer Wasserdruck den Kaffee aus der Kapsel presst [4]. Es stellt sich nun die Frage, ob durch den Druck und die hohe Temperatur Aluminium-Ionen von der Folie gelöst werden, und somit in den Kaffee gelangen. Der Aluminiumgehalt würde demzufolge im Kaffee steigen und könnte metrologisch nachgewiesen werden.

Im Weiteren soll geklärt werden, wie hoch der Aluminiumgehalt im Kaffee in Verwendung mit und ohne Aluminiumkapseln ist, und ob in der Folge die gemessene Menge schädliche Auswirkungen auf das Gehirn und den Körper haben könnte.

1.2 Theorie

1.2.1 Der Kaffee

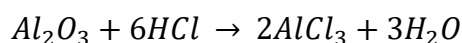
Die Inhaltsstoffe von Kaffee variieren je nach Sorte, Umwelteinflüssen und Röstverfahren. Aus diesem Grund kann sich die genaue Zusammensetzung von Produkt zu Produkt ändern. Trotzdem gibt es einige Inhaltsstoffe, die immer im Kaffee gefunden werden können. Dazu gehören Kohlenhydrate, Wasser, Lipide, Alkaloide, Proteine, Säuren, Mineralien und Aromastoffe. Interessant für diese Arbeit sind die Mineralien, denn sie bilden einen Anteil von etwa 4%, welcher fast vollständig in den Kaffee übergeht. Dieser besteht vor allem aus Kalium, Calcium, Natrium, Magnesium und Phosphor. Zudem wurden kleine Mengen an Eisen und Kupfer gefunden. [7] , [8]

1.2.2 Veraschung

Bei der Veraschung werden kohlenstoffhaltige Substanzen thermisch zersetzt, wodurch schliesslich die anorganischen Bestandteile zurückbleiben [9]. Der Kaffee wird vorbereitet, indem er in einem Tiegel so weit wie möglich getrocknet wird, bis eine dunkle, dickflüssige Masse zurückbleibt. Das Wasser ist dabei fast vollständig verdampft. Anschliessend wird der Tiegel für mehrere Stunden in den Muffelofen gestellt. Heraus kommt ein weisser Rückstand, welcher unter anderem Aluminiumoxid enthält, wie Gleichung (1.1) zeigt.



Da für die Weiterverwendung der Probe nicht das schwerlösliche Salz, sondern ausschliesslich die Aluminium(III)-Ionen brauchbar sind, wird dem Rückstand aus dem Muffelofen hochprozentige Salzsäure beigegeben. Die Lösung wird anschliessend aufgeköcht, bis das Wasser in Gleichung (1.2) verdampft ist, und das leichtlösliche Salz (1.2) Aluminiumchlorid zurückbleibt.



Zurück bleibt ein etwas gelblicher Rückstand, welcher nun in säuerlichem Wasser aufgelöst wird, und verdünnt mit destilliertem Wasser für die anschliessende Rücktitration verwendet werden kann.

1.2.3 Komplexbildung

Der aluminium(III)-Ionen-haltigen Lösung wird ein Überschuss an Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) in Form der Titrierkomplex III-Lösung beigefügt. EDTA ist ein in der Komplexometrie sehr oft verwendeter Chelatbildner, welcher stabile Komplexe bildet und mit mehrwertigen Metall-Ionen im Verhältnis 1:1 reagiert. Auf der folgenden Abbildung ist links der mehrzahnige Ligand abgebildet, rechts daneben ein EDTA-Komplex mit einem beliebigen mehrwertigem Metallion M.

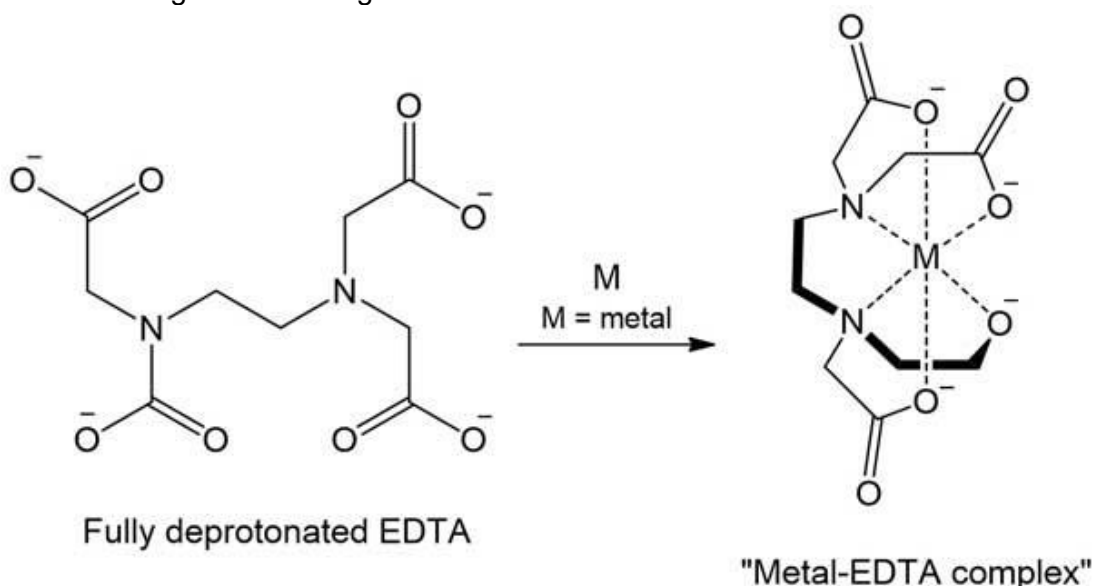
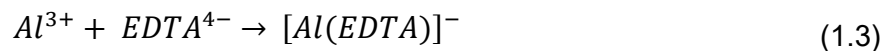
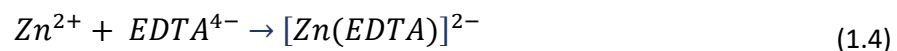


Abb. 2: Bildung des Metall-EDTA-Komplexes, <https://seven.edu.vn/draw-the-structure-of-edta-s75t1z3f/>

Durch die Zugabe von EDTA in die aluminium(III)-Ionen-haltige Lösung, bildet sich der Aluminium(III)-EDTA-Komplex (Al-EDTA-Komplex), wie Gleichung (1.3) zeigt.



Da EDTA als Überschuss hinzugefügt wurde, bleibt nun noch etwas EDTA übrig, welches keinen Al-EDTA-Komplex bildet. Stattdessen bildet es mit dem Zink der Zinksulfat-Lösung, welche als Masslösung in die Probelösung dazu getropft wird, einen Zink-EDTA-Komplex (Zn-EDTA-Komplex), wie in Gleichung (1.4) ersichtlich. Zink wird in der Masslösung verwendet, da es ein sehr schnell komplexierendes Metall ist, und sich somit gut für die Rücktitration eignet.



Sobald der Äquivalenzpunkt erreicht wird, und dadurch die Zink-Ionen anfangen mit dem Indikator einen stabilen Komplex zu bilden, ist ein Farbumschlag der Probelösung zur Farbe Pink festzustellen.

1.2.4 Komplexometrische Rücktitration

Die Rücktitration ist eine Methode, die für die quantitative Analyse von Ionen mit unbekannter Konzentration verwendet wird. Zur Bestimmung von Aluminium(III)-Ionen wird sie oft genutzt, da die Komplexbildung des hochgeladenen Ions zu langsam verläuft, und eine normale Titration deswegen unpassend wäre.

Bei der Rücktitration wird zu einer Probelösung, welche unter anderem die zu bestimmenden Metall-Ionen enthält, die Masslösung dazugetropft. Diese beinhaltet eine Lösung mit einem schnell komplexierenden Metall-Ion, deren Konzentration bekannt ist. Oft wird dabei Zink in einer Zinksulfat-Lösung verwendet.

Die Probelösung beinhaltet die Lösung mit den zu bestimmenden Metallionen, einen Überschuss an Chelatbildner, einen Puffer und einen Indikator. Der Puffer wird verwendet, um sicherzustellen, dass die Titrationsbedingungen gleichbleiben. Weil der PH-Wert der Lösung die Bildung der Komplexe beeinflusst, würde die Genauigkeit der Titration abnehmen, wenn sich der PH-Wert ändert [10].

Für die Titration wird der aluminiumhaltigen Probe, auf Abbildung 3 in Blau dargestellt, ein Überschuss an EDTA (grün) und der Puffer beigegefügt. Da die Komplexbildung von Aluminium $3+$ sehr langsam verläuft, wird

die Probelösung nun zum Sieden gebracht, um sicherzustellen, dass die Reaktion vollständig ablaufen kann. Nun besteht die Lösung aus dem sehr stabilen Al-EDTA-Komplex (türkis) und einem kleinen Rest an EDTA, welches nicht in einem Komplex vorliegt. Zum Schluss wird der Indikator (hellbraun) hinzugefügt.

Da die Masslösung aus einem schnell komplexierendem Metall-

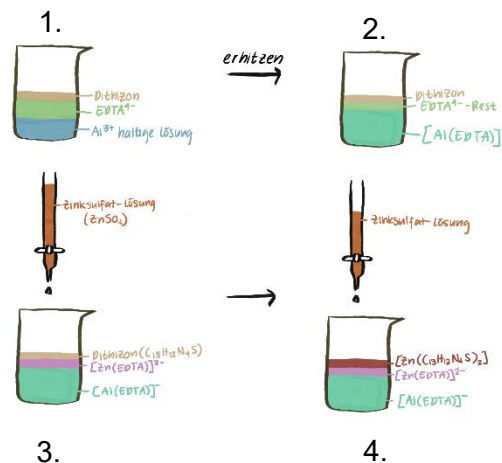


Abb.3: Darstellung der Rücktitration

Ion besteht, komplexiert dieses direkt beim Hineintropfen mit dem EDTA und es entsteht der Zn-EDTA-Komplex (violett). Sobald der Rest der EDTA-Liganden vollständig aufgebraucht ist, bildet das Metall-Ion Zink mit dem Dithizon einen Komplex (dunkelrot), welcher schlussendlich für den Farbumschlag der Lösung verantwortlich ist.

Um den Gehalt an Aluminium-Ionen zu berechnen, wird die zugegebene Menge an Zinksulfat bis zum Farbumschlag von der Menge an EDTA subtrahiert. Dadurch erhält man die Anzahl Mol an Aluminium(III)-Ionen, welche anschliessend durch stöchiometrische Berechnungen (1.5) in die Konzentration umgerechnet werden kann.

$$n(\text{Al}^{3+}) = n(\text{EDTA}) - n(\text{ZnSO}_4)$$

$$M(\text{Al}^{3+}) = 26.98 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{Al}^{3+}) * M(\text{Al}^{3+}) = m_1(\text{Al}^{3+}) / 20 \text{ ml Probelösung}$$

$$m_1(\text{Al}^{3+}) * 50 = m_2(\text{Al}^{3+}) / L \text{ Probelösung}$$

$$m_1(\text{Al}^{3+}) * 5 = m_3(\text{Al}^{3+}) / 100 \text{ ml Probelösung}$$

$$m_3(\text{Al}^{3+}) = 20 \text{ ml Kaffee}$$

$$m_3(\text{Al}^{3+}) * 50 = m_4(\text{Al}^{3+}) / L \text{ Kaffee}$$

(1.5)

1.2.5 Ionenchromatographie

Bei der Ionenchromatographie (IC) handelt es sich um eine analytische Methode, mit welcher Stoffe anhand ihrer Ladung getrennt und bestimmt werden können. Dieser Vorgang kann in drei Schritte geteilt werden: die Injektion, die Trennung und die Detektion. Dabei verwendet man einen Eluenten, welcher die Probe durch das System trägt, eine Pumpe, welche den Eluenten durch den Ionenchromatographen pumpt und eine Trennsäule, welche für die Trennung der Komponenten in der Probe verantwortlich ist. Die wichtigsten Komponenten dieses Verfahrens sind auf Abbildung 4 rot eingekreist und nummeriert.

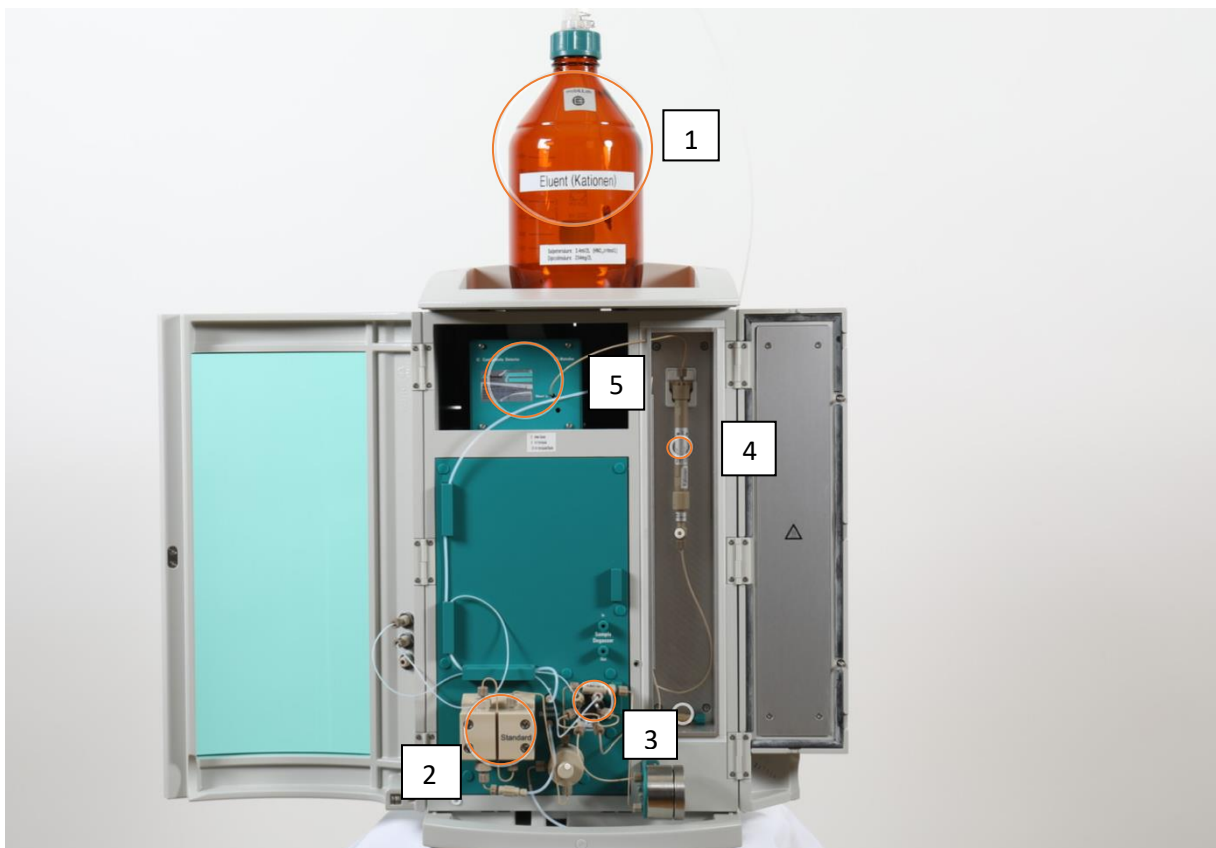


Abb.4: Aufbau eines Ionenchromatographen,

<https://phsg-berzelius-labor-journal.pageflow.io/ionenchromatographie-22601#252114>

- 1: Der Eluent (mobile Phase) fließt durch Kapillarleitungen und transportiert die Probe vom Injektor bis zum Detektor. Die Auswahl des Eluenten ist abhängig vom Detektor.
- 2: Die Pumpe pumpt den Eluenten mittels Kapillarleitungen durch den Chromatographen.
- 3: Nach der Injektion der Probe gelangt diese in die Probeschleife und anschliessend zur Trennsäule.
- 4: Die Trennsäule (stationäre Phase) trennt die Proben in ihre Komponenten auf.
- 5: Der Leitfähigkeitsdetektor registriert die zuvor getrennten Komponenten.

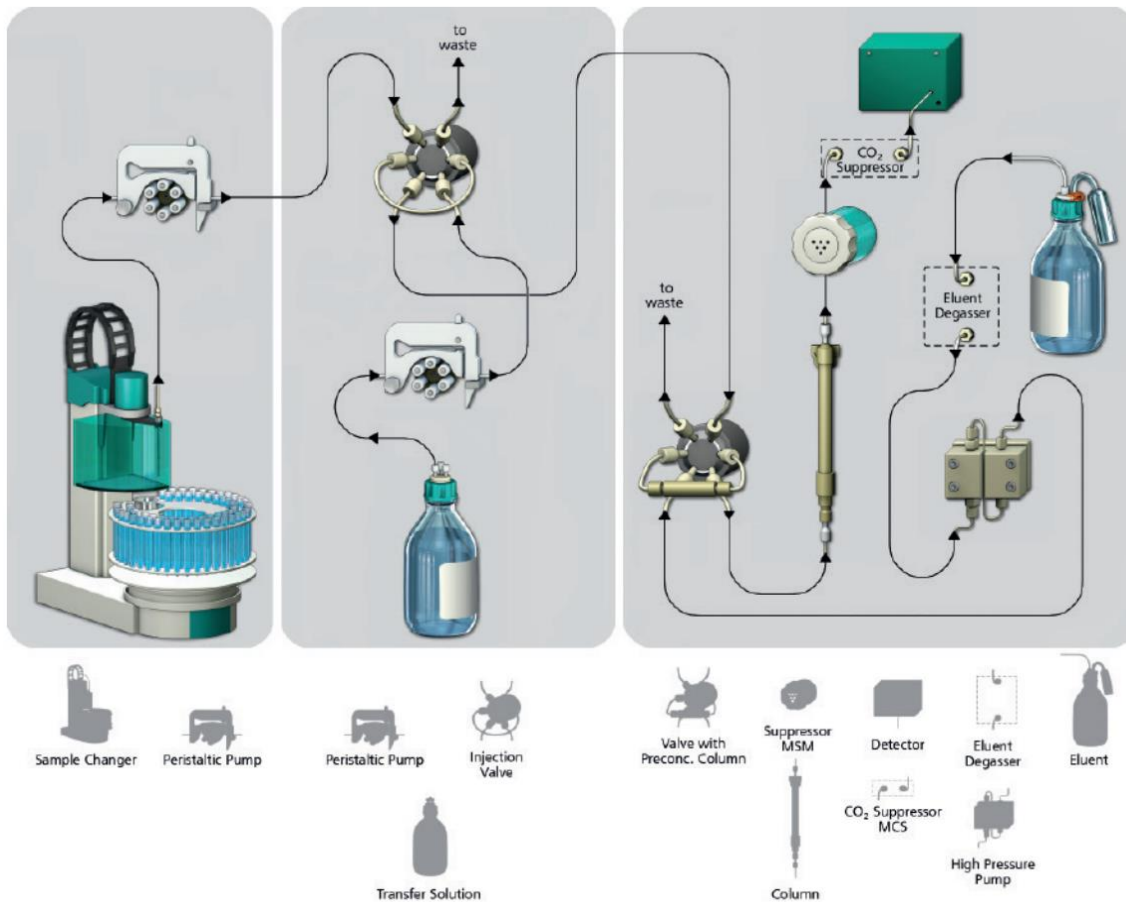


Abb.5: Ablauf der Ionenchromatographie,

<https://phsg-berzelius-labor-journal.pageflow.io/ionenchromatographie-22601#252114>

Wie in Abbildung 5 dargestellt, wird der Eluent zusammen mit der Probe durch das System gepumpt. Davor wird die Probe in den Injektor gegeben, und zum Injektorventil weitergeleitet, wo sie anschliessend in der Probeschleife verweilt. Der Probenüberschuss verlässt den Ionenchromatographen.

Die Oberfläche der Trennsäule besteht aus negativ geladenen funktionellen Gruppen, da das zu bestimmende Teilchen (Aluminium 3+) positiv geladen ist. In der Säule angekommen verdrängen die Probe-Kationen die Eluent-Kationen, welche zuvor an den Austauscherplätzen der funktionellen Gruppen waren. Die Probe-Kationen verlassen die Säule nach einiger Zeit, je nachdem wie gut sie an die funktionellen Gruppen gebunden sind. Schlecht gebundene Probe-Kationen verlassen die Säule schneller, während andere Kationen, die besser an die funktionellen Gruppen gebunden sind, länger in der Säule bleiben.

Die Komponenten werden anschliessend vom Detektor zeitbezogen gemessen. Anders formuliert misst der Detektor, wie viel Zeit die Bestandteile von der Injektion bis zur Messung

gebraucht haben, um das System zu durchlaufen. Da gewisse Komponenten in der Säule länger auf den Austauscherplätzen festgehalten werden als andere, können sie dadurch unterschieden werden. Aus diesen Messungen wird ein Chromatogramm erstellt, welches die Konzentration der Komponenten mit einer Kurve darstellt [11].

1.3 Hypothese 1

Mit Hilfe der Aktivkohle, welche vor der Zugabe von Natriumhydroxid in die Aluminiumchlorid-Lösung gegeben wird, kann der unerwünschte Farbstoff des Kaffees, ohne quantitative Auswirkungen auf den Aluminiumgehalt, entfernt werden.

1.4 Hypothese 2

In Kaffee, der unter Verwendung von Aluminiumkapseln aufgebrüht wurde, ist der Aluminiumgehalt höher als in Kaffee, der entweder unter Verwendung von Plastikkapseln oder aus gerösteten Kaffeebohnen gebrüht wurde. Wegen des hohen Drucks und der Temperaturen, mit welchen der Kaffee durch die Aluminiumkapsel gepresst wird, lösen sich Aluminium-Ionen und gelangen in den Kaffee und sind metrologisch nachweisbar.

2 Material und Methoden

Bei den Experimenten wurden die in den folgenden Tabellen ersichtlichen Materialien und Chemikalien benutzt.

Tabelle 1: Materialien

Bezeichnung	Bezugsquelle/Marke
Saugflasche	Kantonsschule Wohlen
ADB 200-4 KERN- Analysewaage	Kern.swiss
Nutsche mit Gummiring	Kantonsschule Wohlen
Rundes Filterpapier	Kantonsschule Wohlen
Muffelofen	Kantonsschule Wohlen
Tiegel	Kantonsschule Wohlen
Heizplatte	Kantonsschule Wohlen
Messkolben (100ml)	Kantonsschule Wohlen
Peleusball	Kantonsschule Wohlen
Messkolben (10ml)	Kantonsschule Wohlen
Becherglas (100ml)	Kantonsschule Wohlen
Erlenmeyerkolben (200ml)	Kantonsschule Wohlen
Erlenmeyerkolben (250ml)	Kantonsschule Wohlen
Pasteurpipette	Kantonsschule Wohlen
Bürette (25ml)	Kantonsschule Wohlen
Stativ	Kantonsschule Wohlen
Bunsenbrenner	Kantonsschule Wohlen
Dolce Gusto Maschine	Nescafé
Nespresso Pro-Maschine	Nespresso

Tabelle 2: Chemikalien

Bezeichnung	Bezugsquelle/Marke
Salzsäure (37%)	VWR, Kantonsschule Wohlen
Titriplex III-Lösung	Merck
Essigsäure	Hänseler, Kantonsschule Wohlen
Ammoniumacetat-Lösung	Thermo Scientific, Kantonsschule Wohlen
Ethanol (96%)	Hänseler, Kantonsschule Wohlen
Dithizon	Fisher Scientific
Zinksulfat Heptahydrat	VWR, Kantonsschule Wohlen
Natriumhydroxid (0.1M)	Hänseler, Kantonsschule Wohlen
Aluminiumchlorid (0.1M)	Merck, Kantonsschule Wohlen
Aktivkohle	Sigma-Aldrich, Kantonsschule Wohlen
Destilliertes Wasser	Kantonsschule Wohlen
Aluminiumkapsel von Vivente, Lungo Forte	Denner
Plastikkapsel von Dolce Gusto, Espresso	Nescafé
Kaffeebohne von Roast Master, Espresso	Amaroy
Aluminiumkapsel von Intenso Espresso	Mövenpick

2.1 Vorexperimente

Da bei der komplexometrischen Titration der Farbumschlag der Lösung, welcher die Bildung eines neuen Komplexes andeutet, essenziell ist, steht man mit dem dunkelfarbigem Kaffee zunächst vor einem Problem. Zuerst wurde versucht, die Farbe mit Hilfe von Aktivkohle herauszufiltern. Die Inspiration dafür war ein vorgehendes Experiment im Fach Enatech, bei

welchem die schwarze Farbe von Coca-Cola mit Aktivkohle gefiltert wurde, sodass schlussendlich eine durchsichtige Flüssigkeit bestand blieb.

Da nicht sicher war, ob die Aktivkohle Einfluss auf das Aluminium und somit auf das Endresultat haben könnte, mussten im Vorfeld Experimente durchgeführt werden, um dies auszuschliessen. Dabei simulierte man den Aluminiumgehalt im Kaffee mit Aluminiumchlorid, welches mit Natriumhydroxid freiwillig ein Salz bildet, das gemessen werden kann.

Das Experiment scheiterte wegen einem deutlichen Mengenunterschied des erhaltenen Salzes, weshalb die Methode der Veraschung verwendet wurde. Mit dieser Methode wurden die Kohlenstoffketten im Kaffee, welche unter anderem für die dunkle Farbe verantwortlich sind, verbrannt. Aus den daraus resultierenden Überresten konnte anschliessend eine für die Titration verwendbare Lösung hergestellt werden.

Ein weiteres Vorexperiment musste durchgeführt werden, da der Indikator in Pulverform vorhanden war, für das Experiment aber in flüssiger Form gebraucht werden sollte. Aus diesem Grund musste eine Lösung hergestellt werden, welche sich für die Verwendung im Experiment eignen würde. Der entscheidende Punkt dabei war, dass die Indikatorlösung keine Partikel enthalten durfte, da diese auf eine falsche Konzentration der Indikatorlösung hinweisen würden.

2.1.1 Hinausfiltern der Farbe mit Aktivkohle

Eine 0.1 M Aluminiumchlorid-Lösung wurde in eine 0.1 M Natriumhydroxid-Lösung gegeben und gemischt. Das in der Lösung ausgefallene Aluminiumhydroxid wurde anschliessend abgenutscht und gewogen.

Das Experiment wurde wiederholt mit dem Unterschied, dass vor der Zugabe der Natriumhydroxid-Lösung, einige Polyelöffel Aktivkohle in die Aluminiumchlorid-Lösung gegeben, und stark verrührt wurden. Um zu testen, ob die Aktivkohle das in der Lösung vorhandene Aluminium, und demzufolge die Bildung des Salzes Aluminiumhydroxid, beeinflusst, wurde die Aktivkohle danach wieder abgenutscht. Im Anschluss gab man die Natriumhydroxid-Lösung bei, welche zu einem Ausfall des Salzes Aluminiumchlorid führte. Das Salz wurde wie zuvor abgenutscht und gewogen.

2.1.2 Ethanolische Dithizon-Lösung

Um die als Indikator verwendete ethanolische Dithizon-Lösung zu erhalten, wurde unter ständigem Rühren auf der Heizplatte eine 1% Lösung hergestellt. Daraufhin wurden schrittweise weitere 328ml Ethanol der Lösung beigelegt. Da sich das Dithizon immer noch nicht vollständig aufgelöst hatte und weiterhin kleine Stückchen in der Lösung zu erkennen waren (vgl. Abbildungen 6 bis 9), verdünnte man die ethanolische Lösung erneut im Verhältnis 1:50. Am Ende war die Lösung genug verdünnt, und es waren, wie auf Abbildung 10 ersichtlich, keine Dithizonpartikel mehr erkennbar. Die Farbe der Lösung wäre im Normalfall grün, ist auf den folgenden Abbildungen jedoch pink, da das Dithizon mit Aluminium komplexiert ist.



Abb.6: Dithizon-Lösung 1



Abb.7: Dithizon-Lösung 2



Abb.8: Dithizon-Lösung 3

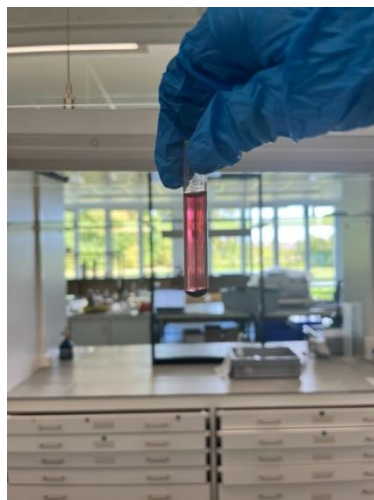


Abb.9: Dithizon-Lösung 4



Abb.10: Dithizon-Lösung 5

2.2 Rücktitration der Kaffeelösung

Probe 1: Vivente, Lungo Forte (mit Aluminiumkapsel)

Probe 2: Dolce Gusto Espresso von Nescafé (mit Plastikkapsel)

Probe 3: Roast Master Espresso von Amaroy (frisch geröstete Bohnen)

Probe 4: Intenso Espresso von Mövenpick (mit Aluminiumkapsel)

Als Vorlage für die folgende Rücktitration wurde das YouTube Video vom Praktikum Anorganische Chemie verwendet [12].

20ml der jeweils frisch gebrühten Kaffees aller vier Proben wurden für eine halbe Stunde bei 200°C auf einer Heizplatte erhitzt, bis lediglich eine dunkelbraune Paste am Boden des Tiegels zurückblieb und somit das

enthaltene Wasser fast komplett verdampft war. Daraufhin liess man den Kaffee bei 800°C für 40 Stunden im Muffelofen. Übrig blieb, wie in Abbildung 11 zu sehen, ein weisser Rückstand. Den

Überresten des Kaffees wurden 10ml konzentrierte Salzsäure beigegeben, danach wurde die Lösung aufgeköcht, bis keine Flüssigkeit mehr übrigblieb. Dies wurde mit Hilfe einer Salzsäure-Lösung (5ml destilliertes Wasser + 2 Tropfen HCl) in einen 100ml Messkolben übergeführt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die

Salzsäure-Lösung an die Ränder des Tiegels gelangt, um auch dort mögliche Aluminiumrückstände zu lösen. Die Lösung wurde schliesslich in einen Messkolben gegeben, und bis zur 100ml Markierung mit destilliertem Wasser aufgefüllt.



Abb.11: Rückstände nach 40 Stunden im Muffelofen

Für die Probelösungen wurden 20ml der Kaffee-Lösungen zu 20ml Titriplex III-Lösung gegeben. Anschliessend gab man den Puffer (10ml 1M Essigsäure und 10ml 1M Ammoniumacetat-Lösung) zu der Probe dazu und brachte diese für etwa zwei Minuten zum Sieden. Der Probe wurden, nachdem sie abgekühlt war, 50ml der hergestellten ethanolschen Dithizon-Lösung beigelegt.

Daraufhin wurde die Masslösung (0.1M Zinksulfat-Lösung) vorsichtig zur Probe titriert, bis ein Farbumschlag von hellbraun (Abbildung 8) zu pink (Abbildung 9) zu erkennen war. Der Prozess der Titration wurde für alle Proben wiederholt.



Abb.12: Farbe der Lösung vor dem Farbumschlag

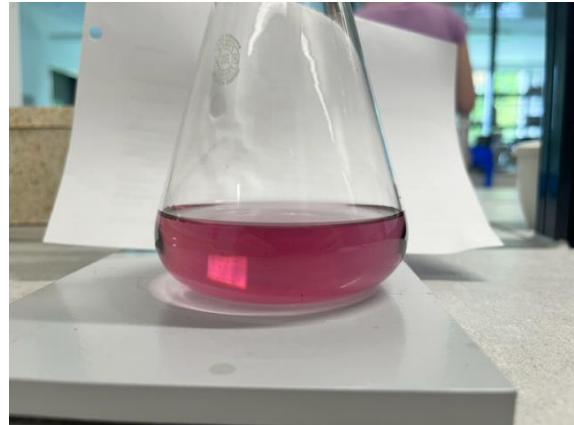


Abb.13: Farbe der Lösung nach dem Farbumschlag

2.3 Ionenchromatographie

Die IC wurde mit einer Standardlösung von 0.001 M kalibriert. Als Eluent wurde eine 20mMol/L Natriumacetat-Lösung mit einer 100% Acetonitril Lösung im Verhältnis 3:2 gemischt. Anschliessend wurde mit 5mMol/L 8-Hydroxycholelin der pH auf 5.8 gestellt. Der Eluent wurde für 15 Minuten auf Kanal 3 mit einem Fluss von 1 ml/min und einem Druck von 9.35 MPa durch das System gepumpt. Als Säule wurde eine MetroSil RP 3 – 150/4.0 verwendet und als Detektor der 944 Professional UV/VIS Detector Vario 1. ¹

¹ Messungen wurden von Markus Roth vom Institut für mathematische naturwissenschaftliche und technische Bildung der PHSG durchgeführt.

3 Resultate

3.1 Hinausfiltern der Farbe mit Aktivkohle

Das Papier wurde jeweils vor und nach dem Experiment auf der Analysewaage gewogen. Das Filterpapier wog vor dem ersten Experiment (ohne Aktivkohle) 0.1664g, und danach 0.4497g, was einer Differenz von 0.2833g entspricht.

Das Filterpapier des Experiments unter Verwendung von Aktivkohle hatte ein Startgewicht von 0.1632g und nach dem Abnutschen ein Gewicht von 0.1629g. Bei Wiederholung des gleichen Experiments war das Gewicht von 0.1797g auf 0.01734g gesunken.

3.2 Rücktitrationen der Aluminiumhaltigen Proben

In der folgenden Tabelle sind die gemessenen Mengen der Zinksulfat-Lösung bis zum Farbumschlag der Lösung und die berechneten Aluminiumkonzentrationen $c(\text{Al}^{3+})$ der Probelösungen und der Standardlösungen ersichtlich

Tabelle 3: Resultate der Rücktitration

	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4
Menge an Zinksulfat-Lösung bis zum Farbumschlag [ml]	16.7	16.8	17.4	17.1
Menge an Aluminium in 20ml Probelösung [mg]	8.9034	8.6336	7.0148	7.8242
$c(\text{Al}^{3+})$ Probelösung [mg/L]	445.17	431.68	350.74	391.21
$c(\text{Al}^{3+})$ Standardlösung [mg/L]	2'225.85	2'158.4	1'753.7	1'956.05

Die Aluminiumkonzentration der Probelösung wurde, wie in der Theorie (vgl. 1.2.4) beschrieben, berechnet. Von der Stoffmenge an in der Lösung vorhandenem EDTA wurde die Stoffmenge an bis zum Farbumschlag zugegebener Zinksulfat-Lösung subtrahiert. Dadurch erhielt man die Stoffmenge der in der Probelösung Aluminium-Ionen. Durch stöchiometrische Rechnungen wurde die Konzentration der Ionen in 20 ml Probelösung und in einem Liter ermittelt.

Da die veraschten 20 ml des Kaffees auf 100 ml mit destilliertem Wasser verdünnt wurden, und anschliessend davon erneut 20ml entzogen wurden, mussten einige Faktoren zu der Konzentration von Aluminium(III)-Ionen der Probelösung multipliziert werden. Zuerst wurde die gemessene Menge an Aluminium in 20 ml Probelösung mit fünf multipliziert, um so die Konzentration in 100 ml Probelösung zu ermitteln. Da dieser Wert der Konzentration von 20 ml Standardlösung (gebrühter Kaffee) entspricht, wurde er mit 50 multipliziert, um die Konzentration der Ionen in einem Liter zu erhalten.

Auf Abbildung 14 sind die Resultate der vier Titrations graphisch dargestellt, wobei die Konzentrationen an Aluminium in den Probelösungen als dunkelblauer Balken zu erkennen sind.

Dabei ist der Aluminiumgehalt in Probelösung 3 mit gemessenen 350.7 mg/L am tiefsten, bei Probelösung 1 mit 445.17mg/L am höchsten. In Probelösung 2 wurden 431.68 mg/L gemessen, in Probelösung 4 391.21 mg/L.

Die Konzentration an Aluminium im Kaffee ist in der Abbildung als hellblaue Balken zu erkennen. Kaffeeprobe 1 enthält 2225.85 mg Aluminium pro Liter Kaffee und Kaffeeprobe 4 1956.05 mg/L. Bei beiden wurden Aluminiumkapseln für die Herstellung verwendet. Kaffeeprobe 2, welche mit einer Plastikkapsel hergestellt wurde, enthält 2158.4 mg/L, und Kaffeeprobe 3, welche aus Kaffeebohnen frisch gemacht wurde, enthält am wenigsten Aluminium mit 1753.7 mg/L.

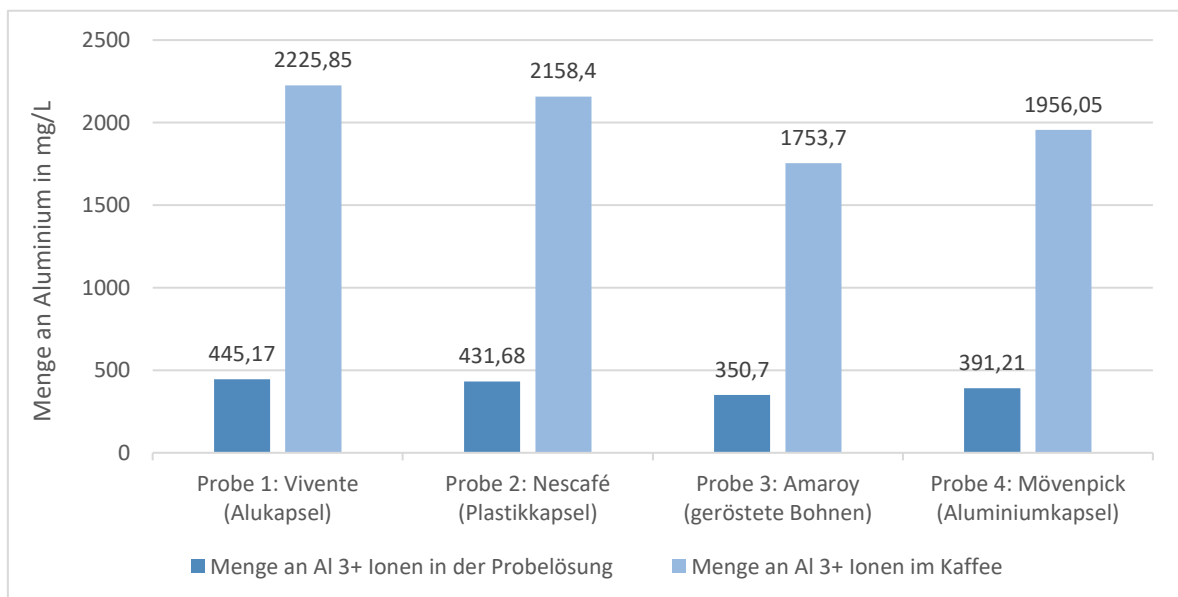


Abb.14: gemessene Aluminiumkonzentrationen der Probelösungen und Standardlösungen

3.3 Ionenchromatographie

Auf den folgenden Abbildungen 15 bis 22 sind die Chromatogramme der Ionenchromatographie dargestellt. Jede Probe wurde zwei Mal gemessen, um Messfehler auszuschliessen.

3.3.1 Probe 1

Auf den beiden Abbildungen 15 und 16 sind die Chromatogramme der beiden Messungen von Probelösung 1 abgebildet. Erkennbar sind drei Spitzen, wobei die Spitze bei Minute 8 der gemessenen Aluminiumkonzentration in der Probelösung entspricht. Auf Abbildung 15 entspricht dieser 7.238 mg/L und auf Abbildung 16 6.687 mg/L. Der Durchschnitt der beiden Messungen beträgt 6.9625 mg/L.

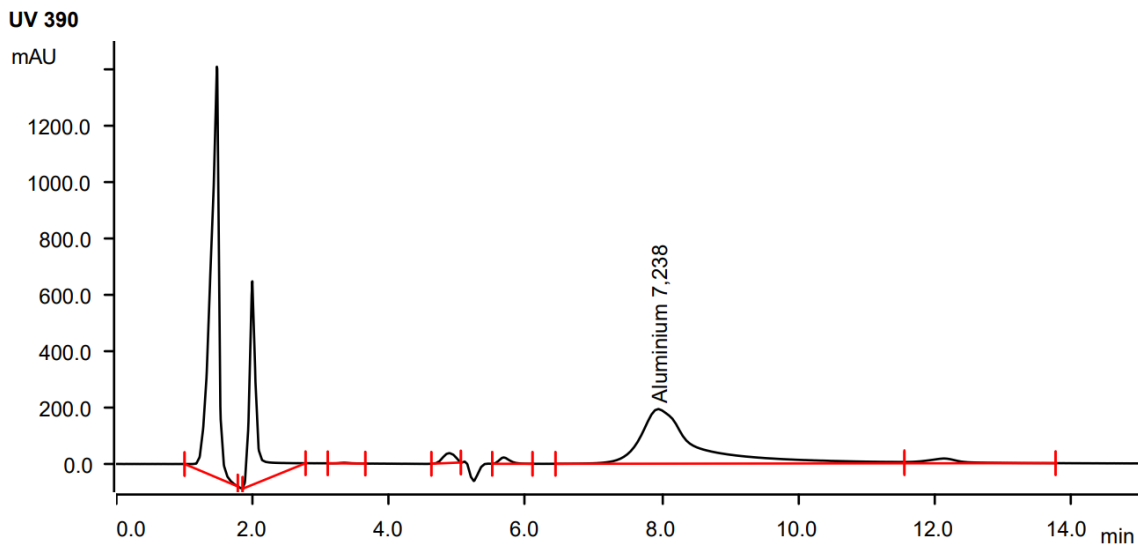


Abb.15: Chromatogramm Probe 1, Messung 1

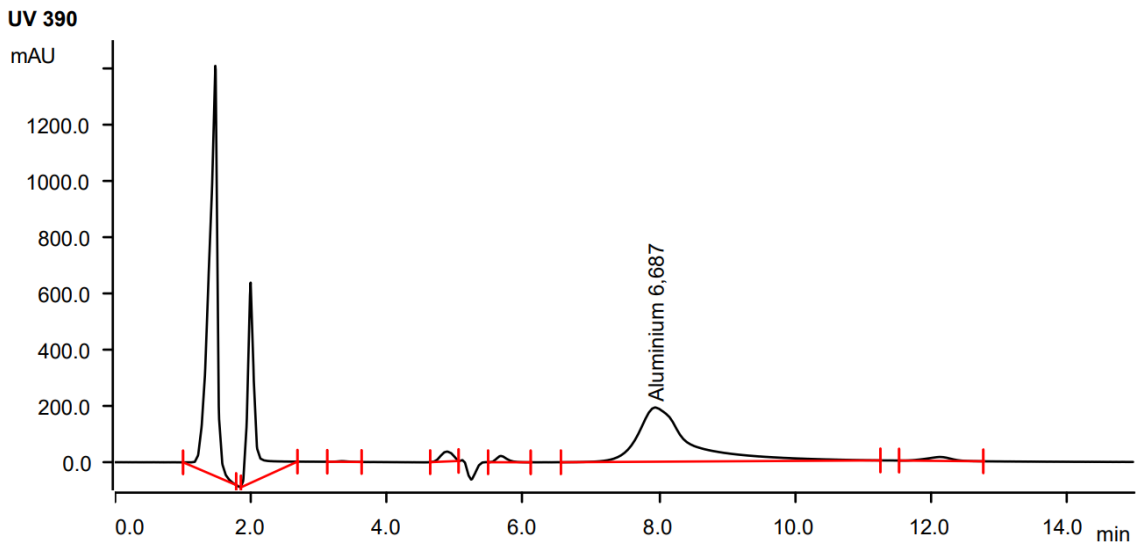


Abb.16: Chromatogramm Probe 1, Messung 2

3.3.2 Probe 2

Auf den Abbildungen 17 und 18 ist erneut bei Minute 8 eine kleine Spitze zu erkennen.

Bei Messung 1 wurde ein Aluminiumgehalt von 3.147mg/L gemessen, bei Messung 2 ein Gehalt von 3.315mg/L. Der Durchschnitt der beiden Messungen beträgt 3.231 mg/L.

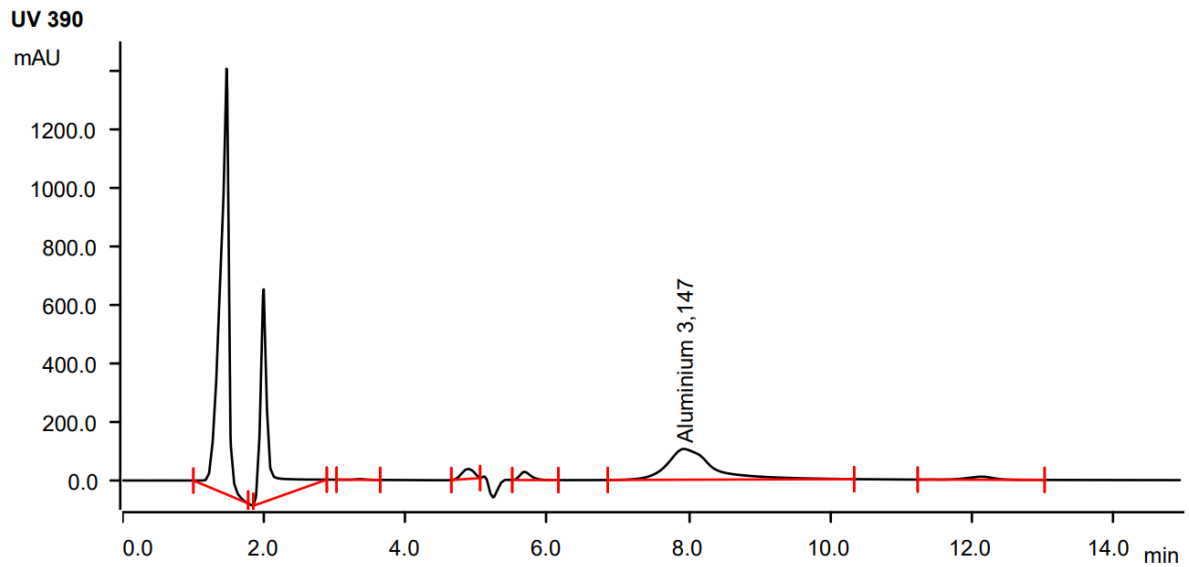


Abb.17: Chromatogramm Probe 2, Messung 1

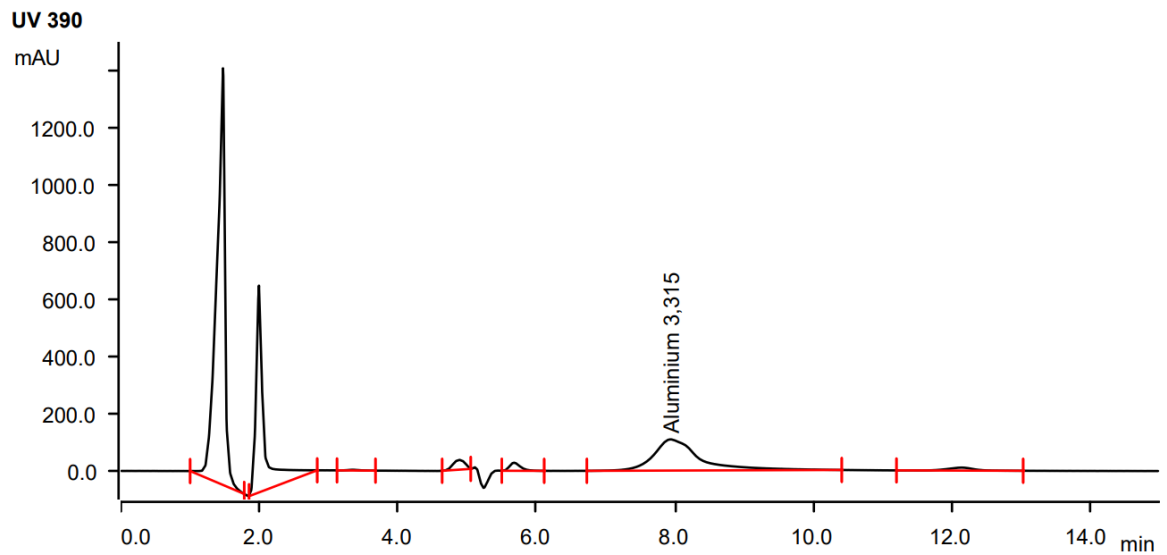


Abb. 18: Chromatogramm Probe 2, Messung 2

3.3.3 Probe 3

Auf den Abbildungen 19 und 20 ist bei Minute 8 eine kleine Spitze erkennbar, welche die Aluminiumgehalte von 4.595 mg/L bei Messung 1 und 5.573 mg/L bei Messung 2 darstellen. Der Durchschnitt der beiden Messungen beträgt 5.084 mg/L.

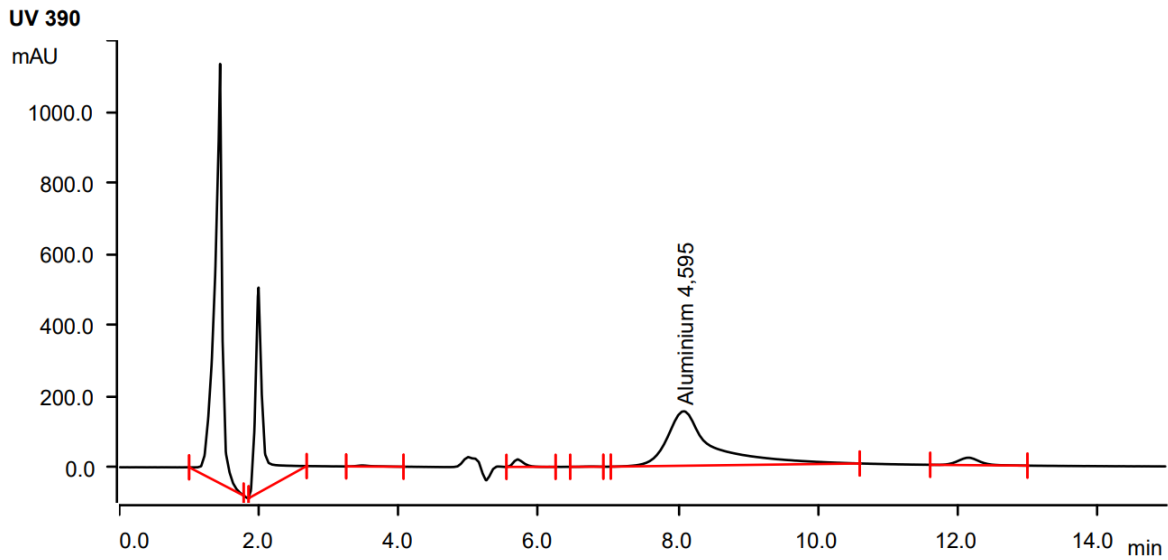


Abb.19: Chromatogramm Probe 3, Messung 1

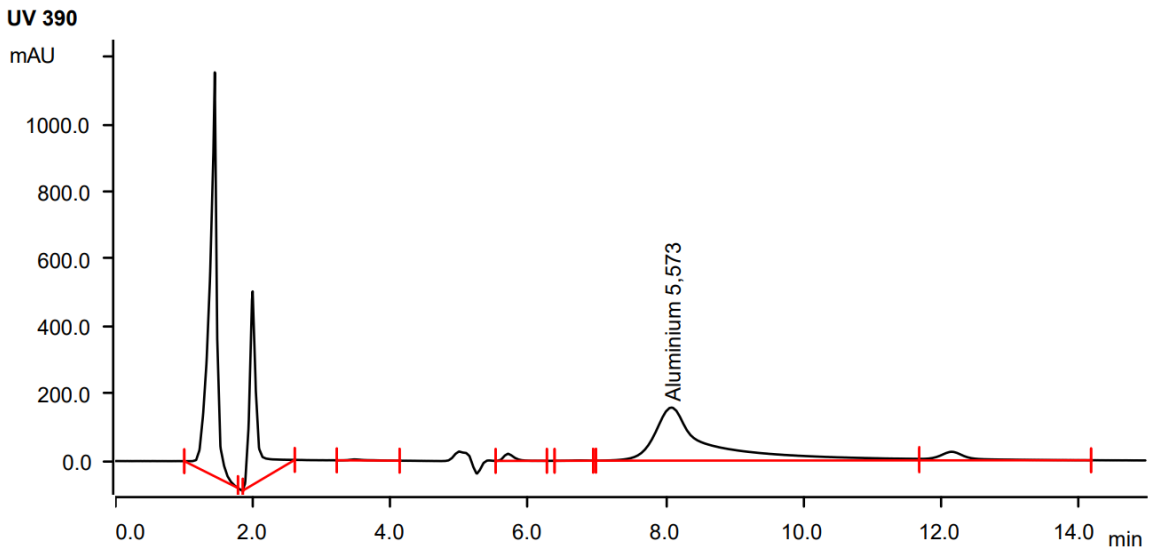


Abb.20: Chromatogramm Probe 3, Messung 2

3.3.4 Probe 4

Wie auf Abbildung 21 und 22 zu sehen, ist kaum eine Erhebung bei Minute 8 zu erkennen. Auch einige Minuten später ist keine Spitze auszumachen. Trotzdem wird ein Gehalt von 0.157 mg/L bei Messung 1 und ein Gehalt von 0.152 mg/L bei Messung 2 gemessen. Beide Werte sind deutlich tiefer und zeitlich versetzt im Gegensatz zu den Werten der anderen Proben.

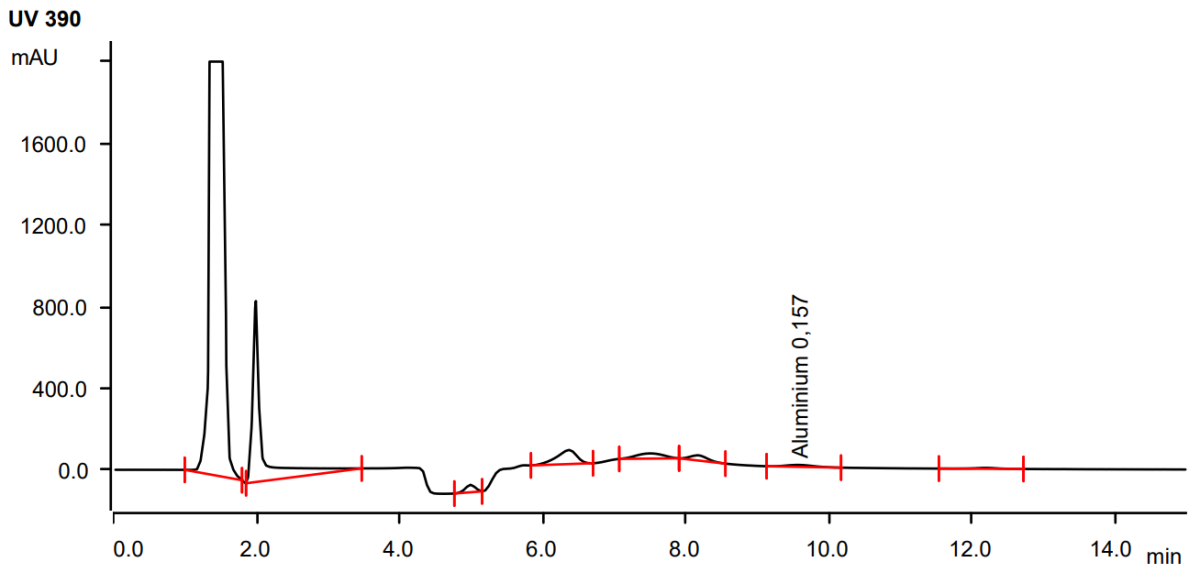


Abb.21: Chromatogramm Probe 4, Messung 1

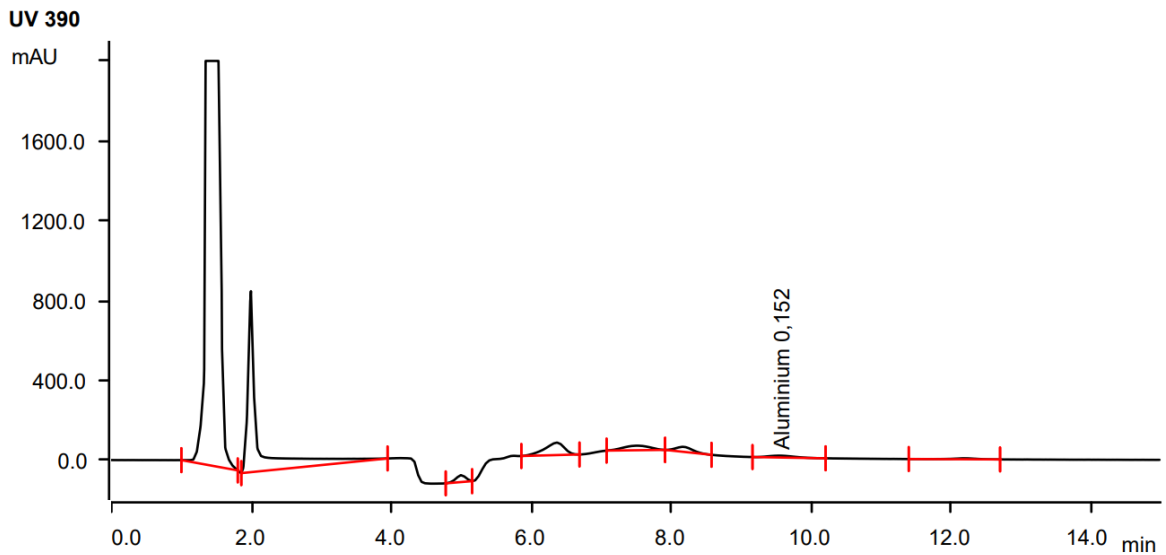


Abb.22: Chromatogramm Probe 4, Messung 2

4 Diskussion

4.1 Hinausfiltern der Farbe mit Aktivkohle

Vor dem Experiment wurde vermutet, dass die Farbe des Kaffees mit Hilfe von Aktivkohle herausgefiltert werden könnte, um so mit einer durchsichtigen Lösung weiterarbeiten zu können. Die Lösung wurde zwar wie vermutet durchsichtig, verlor aber an gebildetem Aluminiumchlorid. Bei Experiment 1 auf Abbildung 23 ist das gebildete Salz zu erkennen,



Abb. 23: Aluminiumhydroxid abgenutscht und getrocknet ohne Aktivkohle



Abb. 24: Aluminiumhydroxid abgenutscht und getrocknet mit Aktivkohle

welches einen Gewichtsunterschied des Papierses von 0.28g ausmacht. Auf Abbildung 24 ist im Vergleich zu Abbildung 23 klar erkennbar, dass nur sehr wenig Aluminiumchlorid gebildet wurde. Diese Feststellung widerspricht der Hypothese 1 und somit der Annahme, dass die Aktivkohle keine Auswirkungen auf den Aluminiumgehalt im Kaffee hat.

Aufgrund des Ergebnisses wird angenommen, dass Aktivkohle das Aluminium auf unbekannte Weise absorbiert. Grund dieser Überlegung sind Aktivkohlefilter, mit welchen aus Flüssigkeiten oder der Luft unerwünschte Stoffe entfernt werden. So können aus Wasser Bakterien, Hormone und Schwermetalle gefiltert werden. Dabei werden die Substanzen von der Aktivkohle absorbiert und in der Kohlenstoffmasse gespeichert [13]. Im Falle dieses Experimentes würde sich dabei Aluminiumcarbid bilden, was jedoch in der Praxis nicht möglich ist, da die Herstellung von Aluminiumcarbid normalerweise in einem elektrischen Ofen in Wasseratmosphäre bei 2000°C stattfindet.

Ein anderer Denkansatz ist, dass das Hydroxid mit der Aktivkohle reagiert und deshalb kein Aluminiumhydroxid ausfallen kann.

Bei der Betrachtung der Gewichte der Filterpapiere fällt auf, dass das Papier von Experiment 2 vor dem Experiment schwerer ist als danach. Vermutet wird, dass der Gewichtsunterschied an dem im Papier gelagerten Wasser liegt, welches nach dem Experiment im Ofen verdampft ist. Vor dem Experiment wurde das Papier an der Luft gelagert, und hätte daher Wassermoleküle im Papier speichern können. Nachdem das Aluminiumhydroxid im Experiment abgenutzt wurde, ist das Papier in den Ofen gelegt worden, um es dort zu trocknen. Das im Papier gespeicherte Wasser ist vermutlich dort verdampft, und hat so zur Gewichtsreduktion des Filterpapiers beigetragen.

4.2 Aluminiumgehalt der Proben 1 bis 4

Kaffee kann je nach Sorte der Kaffeebohne, der Herkunft, der Art des Anbaus und des Verarbeitungsprozesses unterschiedliche Anteile verschiedener Inhaltsstoffe aufweisen. Aus diesem Grund wurde darauf geachtet, möglichst ähnliche Kaffeesorten zu verwenden, um die Abweichungen so minimal wie möglich zu halten (alle Sorten sind Espresso oder mit Espresso vergleichbar). Trotzdem gibt es unabhängig davon, ob der Kaffee mit oder ohne Aluminiumkapsel zubereitet wurde, minimale Unterschiede, welche nicht ausser Acht gelassen werden sollen.

Im Vergleich aller gemessenen Aluminiumgehalte kann festgestellt werden, dass Probe 1 am meisten Aluminium $3+$ Ionen enthält. Probe 4, welche laut der gestellten Hypothese auch mehr Aluminium-Ionen als Proben 2 und 3 enthalten sollte da die Standardlösung mit Verwendung von Aluminiumkapseln hergestellt wurde, liegt mit 391.21 mg/L in der Probelösung nur wenig unter dem Mittelwert der Messungen. Des Weiteren handelt es sich bei den Messwerten der IC von Probe 4 um zwei Ausreisser, da die Resultate gegenüber den anderen zeitverschoben ist und kein Peak erkennbar ist. Aus diesem Grund wird angenommen, dass bei Probelösung 4 ein Fehler bei der Herstellung unterlaufen ist. Daher wird das Ergebnis der IC von Probe 4 als nicht gültig bewertet, und deshalb verworfen.

Mit durchschnittlich 2023.5 mg/L Kaffee ist der gemessene Aluminiumgehalt zweifelhaft, da er zu hoch ist. Probe 1 hat mit 445.17 mg/L Probelösung und 2225.85 mg/L Kaffee den höchsten und Probe 3 mit 350.74 mg/L Probelösung und 1753.7 mg/L Kaffee den tiefsten Aluminiumgehalt. Dazwischen liegen Proben 2 und 4 mit 431.68 mg/L PI und 391.21 mg/L PI und einem Aluminiumgehalt im Kaffee von 2158.4mg/L und 1956.05 mg/L. Es fällt auf, dass Proben 3 und 4, welche gleichlaufend hergestellt wurden, fast 100 mg/L unter den

Probelösungen 1 und 2 liegen. Entweder handelt es sich dabei um einen Zufall oder um ungenaues Arbeiten im Labor.

Da bei der Rücktitration nicht sichergestellt werden kann, dass ausschliesslich Aluminium(III)-Ionen mit EDTA einen Komplex bilden, wird vermutet, dass andere Ionen zusätzlich mit dem EDTA einen Komplex gebildet haben. EDTA ist ein hervorragender Chelatbildner für zweiwertige Kationen, weswegen einige Kationen als mögliche Metallionen für den Komplex in Frage kommen würden. So beispielsweise Calcium, Kupfer, Magnesium oder Mangan, welche laut Sati Y. Al-Dalain & co. in Kaffee enthalten sein können. Ob Kalium und Natrium auch in Frage kommen, ist nicht sicher, da nicht ermittelt werden konnte, ob diese nach der Veraschung im Muffelofen noch übriggeblieben sind [8].

Kupfer konnte anhand der Farbe der Lösung nach Zugabe von Salzsäure nach der Veraschung festgestellt werden, da der zuvor weisse Rückstand einen leichten Grünstich bekam. Kupfer ist allerdings laut A. Tesfay Gebretsadik nur zu einem sehr kleinen Anteil im Kaffee vertreten, weswegen der Anteil des Kupfer-EDTA-Komplexes mutmasslich vernachlässigbar ist [14]. Zwar ist der Komplex im Verhältnis zu anderen EDTA-Komplexen sehr stark, man kann deswegen jedoch nicht sagen, dass Kupfer als Metallion bevorzugt wird.

Ausserdem ist es möglich, dass nach der Veraschung nicht alle Überreste aus dem Tiegel entfernt wurden. Ein Teil der Rückstände der Veraschung blieb sichtbar im Tiegel zurück, selbst nach Ausspülen mit saurem Wasser. Möglicherweise liegt dies daran, dass nicht mehr genug Chlor-Teilchen übrig waren, die im Rest vorhandenen Ionen zu binden.

Ein weiterer Grund, welcher die grosse Abweichung zwischen den beiden Messmethoden erklären könnte, ist das Arbeiten im Labor an sich. Da es sich in den Proben um sehr kleine Mengen an Aluminium handelt, muss mit grosser Sorgfalt gearbeitet werden. Es kann deshalb gut sein, dass es wegen unsauberem oder ungenauem Arbeiten zu Verfälschungen der Messdaten kommen konnte. Diese sollten jedoch nicht so gross sein wie die erhaltenen.

Die Rücktitration ist grundsätzlich eine genaue Messmethode, weshalb sie vermutlich nicht der Grund für die erwähnten Unterschiede ist.

Des Weiteren kommen als Fehlerursache die Berechnungen in Frage, welche möglicherweise zu grossen Unterschieden zwischen den beiden Methoden geführt haben könnten. Sie wurden jedoch mehrere Male überprüft, weshalb sie ausgeschlossen werden können.

Obwohl die bei der Rücktitration gemessenen Werte sehr unplausibel scheinen, kann die gestellte Hypothese trotzdem teilweise bestätigt werden. Denn Probelösung 1 enthält, wie in Hypothese 2 angenommen, am meisten Aluminium, Probelösungen 2 und 3 liegen mit ihren

Werten darunter. Zwar befindet sich Probelösung 4 zwischen den Probelösungen 2 und 3, jedoch ist, wie schon öfter erwähnt, nicht sicher, ob sie gültig ist.

Bei den Resultaten der Ionenchromatographie ist erkennbar, dass Probe 1 mit Abstand den höchsten Aluminiumgehalt der drei Proben hat. Mit einem Durchschnitt von 6.9625 mg/L PI ist er fast doppelt so hoch wie derjenige von Probe 2. Zudem ist der gemessene Wert 1.879 mg höher als der von Probe 3. Hypothese 2 kann deshalb mit den Werten der IC teilweise bestätigt werden, da die erhaltenen Messwerte für Probe 1 deutlich über denjenigen der anderen Proben liegen. Für eine vollständige Bestätigung der Hypothese ist eine zweite Probelösung von Kaffee mit Aluminiumkapseln nötig.

Die Menge an gemessenem Aluminium macht im Übrigen im Vergleich zu anderen Experimenten Sinn. Trond Peder Flaten mass in Teeaufgüssen einen durchschnittlichen Aluminiumgehalt von 1-6mg/L [15].

Um aufzuzeigen, wie viel Aluminium durch Kaffee an einem Tag aufgenommen werden könnte wurde folgendes Szenario erstellt:

Es wird nun davon ausgegangen, dass durchschnittlich drei Tassen Espresso (zubereitet mit Aluminiumkapseln) à 25ml von einer 65kg wiegenden Frau getrunken werden. Die tägliche Aufnahme von Aluminium würde in diesem Fall bei 0.5221 mg liegen, die wöchentliche bei 3.6547 mg. Bei ihrem Körpergewicht dürfte die Frau ca. 65 mg Aluminium pro Woche zu sich nehmen. Die drei Tassen Kaffee pro Tag würden demzufolge 5.6% ihres ganzen Aluminiumbedarfes ausmachen.

5 Weiterführende Diskussion

Aluminium ist in Produkten und insbesondere Produktverpackungen oft zu finden. So kommt es beispielsweise in Verpackungen von Lebensmitteln, Kosmetikprodukten und Arzneimitteln vor. Durch die häufige Verwendung der verschiedenen Legierungen und Aluminiumverbindungen, ist die Menge an aufgenommenem Aluminium entsprechend hoch. Zwar wird nur etwa 0,1% des Aluminiums, welches in Nahrungsmitteln enthalten ist, aufgenommen, jedoch ist die wöchentlich tolerierbare Aufnahmemenge von 1 mg Aluminium/kg Körpergewicht gering. Dadurch wird der TWI («Tolerable Weekly Intake») oft überschritten [16]. So schreibt das EFSA Journal:

The estimated daily dietary exposure to aluminium in the general population, assessed in several European countries, varied from 0.2 to 1.5 mg/kg bw/week at the mean and was up to 2.3 mg/kg bw/week in highly exposed consumers. The TWI of 1mg/kg bw/week is therefore likely to be exceeded in a significant part of the European population.

Zudem betont das EFSA Journal, dass die relative Aufnahme von Aluminium bei Kindern noch höher ist als bei Erwachsenen, da Kinder grundsätzlich eine höhere Nahrungsmittelaufnahme im Verhältnis zu ihrem Körpergewicht haben [17].

5.1 Aluminium im Körper

Das Aluminium, welches durch Nahrungsmittel aufgenommen wurde, kommt im Magen vor allem in einem Aquakomplex vor. Durch den Anstieg des PH-Wertes bei der Aufnahme durch den Magen-Darm-Trakt, löst sich der Aquakomplex auf und das Aluminium wird in das schwerlösliche Aluminiumhydroxid umgewandelt. Obwohl die Menge an absorbiertem Aluminium von Nahrungsmitteln etwa einem Drittel von demjenigen von Getränken entspricht, kann die Absorbierung um fast das zehnfache variieren.

Nachdem das Aluminium ins Blut aufgenommen wurde, verteilt es sich im Körper, wobei ein Grossteil in den Knochen und der Lunge abgelagert wird. Auch in anderen Körperteilen wie der Haut oder verschiedenen Organen wurden Aluminiumansammlungen gefunden. Bei Tieren wurde zudem erkannt, dass der Aluminiumgehalt mit dem Alter in den Geweben und Organen zunimmt.

Auch das Gehirn kann von Aluminium(III)-Ionen erreicht werden. So kann es entweder mit Hilfe eines Proteins durch die Blut-Gehirn-Schranke gelangen oder durch den Plexus choroideus, in die Cerebrospinalflüssigkeit, bis ins Gehirn. [17]

5.2 Aluminium im Gehirn

Die Behauptung, dass erhöhte Aluminiumablagerungen im Gehirn sich negativ auf den betroffenen Menschen auswirken, und sogar eine Alzheimererkrankung auslösen könnte, wurde bisher noch nicht bestätigt. Trotzdem gibt es Studien, die behaupten, Aluminium sei ein Auslöser für Alzheimer.

Eines der Hauptmerkmale der Alzheimer-Krankheit sind die sogenannten Beta-Amyloid-Plaques, welche sich zwischen den Nervenzellen im Gehirn ansammeln und somit die Funktionen des Gehirns stark beeinträchtigen. Die natürliche Amyloid-Produktion ist für uns Menschen normalerweise unbedenklich, da sie problemlos abgebaut werden können. Bei Alzheimer-Patienten ist dies nicht mehr der Fall und es bilden sich Verklumpungen, die für den betroffenen Körper unauflösbar sind. Dazu kommen Tau-Ansammlungen, welche den Transport innerhalb der Nervenzellen stören oder sogar hemmen.

Es wird vermutet, dass sich in der Mitte der Amyloid-Plaques Aluminium befinden könnte. Möglicherweise lagert der Körper die Plaques um das Aluminium an, um das Gewebe vor ihm zu schützen. [18], [19]

5.3 Fazit

Mit den erhaltenen Messungen der komplexometrischen Rücktitration und der Ionenchromatographie konnten vier verschiedenen Kaffeeproben verglichen werden. Zwar erwiesen sich die bei der Rücktitration alle gemessenen Werte als unplausibel, dennoch konnten die Proben miteinander verglichen werden. Probelösung 1 hatte bei beiden verwendeten Methoden den höchsten Aluminiumgehalt, Probelösung 4 den tiefsten. Es wird jedoch vermutet, dass es bei der Herstellung von der Probe zu einem Fehler gekommen ist, weshalb die Resultate von Probelösung 4 ungültig sind. Die Messresultate der Rücktitration sind zudem um einiges höher als jene der Ionenchromatographie, weswegen vermutet wird, dass neben dem Aluminium andere Kationen den Messwert verfälscht haben. Da die genauere Untersuchung dieser Kationen jedoch nicht Ziel dieser Arbeit ist, wurde darauf verzichtet, dieser These weiter nachzugehen. Trotzdem wäre es erstrebenswert, mit anderen Messungen die anderen im Kaffee enthaltenen Metall-Ionen zu bestimmen, und somit die Genauigkeit der Rücktitration zu ermitteln.

In weiterführenden Experimenten wäre es zudem hilfreich, die Rücktitration erstmals mit einer Aluminiumlösung von bekannter Konzentration zu benutzen, um mögliche Abweichungen zu erkennen. Darüber hinaus sollte nach einer anderen Methode gesucht werden, aus dem

Kaffee eine farblose Lösung herzustellen, da die Veraschung vermutlich zu Ungenauigkeiten geführt hat.

In Hypothese 1 wurde vermutet, dass mit Hilfe von Aktivkohle die unerwünschte Verfärbung des Kaffees entfernt werden könnte, ohne Auswirkungen auf den Aluminiumgehalt in der Lösung. Die Hypothese wurde jedoch widerlegt, da eine klare Gewichtsdiﬀerenz bei der Messung des entstandenen Salzes festgestellt werden konnte. Bei der Zugabe von Aktivkohle wurde kaum Aluminiumchlorid gebildet, was darauf schliessen lässt, dass die Aktivkohle die Aluminium-Ionen absorbiert hat.

Hypothese 2, welche besagt, dass mit Aluminiumkapseln hergestellter Kaffee einen höheren Aluminiumgehalt aufweist als Kaffee, der mit anderen Methoden gebrüht wurde, konnte teilweise bestätigt werden. Sowohl bei der Rücktitration als auch bei der IC konnten erhöhte Werte bei Probe 1, welche von einer Aluminiumkapsel stammt, festgestellt werden. Für eine definitive Bestätigung wäre jedoch eine zweite gültige Probe notwendig, in welcher ein erhöhter Aluminiumgehalt nachgewiesen werden müsste.

6 Selbständigkeitserklärung

Betreuungsperson: _____

Ich erkläre hiermit, dass ich

- diese Arbeit ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt habe.
- keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe.
- sämtliche Stellen, die wörtlich aus fremden Quellen entnommen oder mit eigenen Worten wiedergegeben wurden, als solche gekennzeichnet und die Urheberschaft angegeben habe.
- die Meinungen und Ideen anderer explizit ausgewiesen habe. - die Arbeit in eigenen Worten formuliert habe.

Ich bin damit einverstanden, dass meine Arbeit als pdf-Datei in der Mediothek archiviert wird und Schulseitige diese einsehen dürfen.

Name _____ Vorname _____ Abt. _____

Ort, Datum _____ Unterschrift _____

Unterschrift __ Unterschrift __

23.05.2022

7 Abkürzungsverzeichnis/Glossar

Al-EDTA-Komplex: Aluminium-EDTA-Komplex

Bw: body-weight, auf Deutsch: Körpergewicht

EDTA: Ethylendiamintetraessigsäure

EFSA: European Food Safety Authority

IC: Ionenchromatographie

PI: Probelösung

Probe 1: Kaffee mit Aluminiumkapsel 1 (Vivente, Lungo Forte)

Probe 2: Kaffee ohne Aluminiumkapsel 1 (Nescafé, Dolce Gusto Espresso)

Probe 3: Kaffee ohne Aluminiumkapsel 2 (Amaroy, Roast Master Espresso)

Probe 4: Kaffee mit Aluminiumkapsel 2 (Moevenpick, Espresso)

TWI: «Tolerable Weekly Intake», auf Deutsch: wöchentlich tolerierbare Aufnahme

Zn-EDTA-Komplex: Zink-EDTA-Komplex

8 Quellenverzeichnis

8.1 Literaturverzeichnis

- [1] «Kaffeekonsum weltweit - Swiss Fair Trade,» Swiss Fair Trade, [Online]. Available: <https://www.swissfairtrade.ch/schwerpunkte/kompetenzzentrum/fair-trade-kaffee/kaffeekonsum-weltweit/#:~:text=SchweizerInnen%20trinken%20im%20internationalen%20Vergleich,entspricht%20rund%20drei%20Tassen%20täglich..> [Zugriff am 2 Oktober 2023].
- [2] M. Hagmann, «Auf den Kaffee kommt es an,» Empa, 9 Mai 2011. [Online]. Available: <https://www.empa.ch/de/web/s604/auf-den-kaffee-kommt-es-an>. [Zugriff am 2 Oktober 2023].
- [3] «Kaffeekapseln - Deutsche Umwelthilfe e.V.,» Deutsche Umwelthilfe, [Online]. Available: <https://www.duh.de/projekte/kaffeekapseln/>. [Zugriff am 2 Oktober 2023].
- [4] A. Preuss, «Umweltsünde Kaffeekapseln 2023: Haben wir es immer noch nicht kapiert?,» Coffeeness, 2 März 2023. [Online]. Available: <https://www.coffeeness.de/kaffeekapseln/#problem>. [Zugriff am 3 Oktober 2023].
- [5] F. d. BfR, «Fragen und Antworten zur BfR-Neubewertung von 20. Juli 2020 von Aluminium in Antitranspirantien,» BfR, 14 August 2020. [Online]. Available: https://www.bfr.bund.de/de/fragen_und_antworten_zur_bfr_neubewertung_vom_20_juli_2020_von_aluminium_in_antitranspirantien-252646.html#:~:text=Das%20BfR%20beschäftigt%20sich%20mit,die%20Niere%20und%20Knochen%20schädigen.. [Zugriff am 3 Oktober 2023].
- [6] «Aluminium und Alzheimer: Der aktuelle Stand,» Alzheimer Forschung, 12 Dezember 2019. [Online]. Available: <https://www.alzheimerforschung.de/forschung/aktuell/aluminium/#:~:text=Bereits%20in%20der%201970er%20Jahren,im%20Blut%20festgestellt%20werden%20kann..> [Zugriff am 3 Oktober 2023].
- [7] «Die Inhaltsstoffe im Kaffee,» Kaffee Spezialisten, [Online]. Available: <https://kaffeespezialisten.com/die-inhaltsstoffe-im-kaffee/>. [Zugriff am 3 Oktober 2023].
- [8] M. A. & c. Sati Y. Al-Dalain, «Determination of Macroelements, Transition Elements and Anionic Contents of Commercial Roasted Ground Coffee Available in Jordanian Markets,» *Beverages*, Nr. Chemical Contaminants and Residues in Beverages, 2020.
- [9] C. Lüttmann, «Muffelofen, Veraschen in Minuten statt Stunden,» Labor Praxis, 6 September 2021. [Online]. Available: <https://www.laborpraxis.vogel.de/veraschen-in-minuten-statt-stunden-a-1053289/>. [Zugriff am 3 Oktober 2023].
- [10] «Komplexometrie,» Lern Helfer, [Online]. Available: <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie-abitur/artikel/komplexometrie#>. [Zugriff am 20 Oktober 2023].
- [11] D. A. S. u. M. Roth, «Multimediale Laborjournale - Ionenchromatographie,» April 2021. [Online]. Available: <https://phsg-berzelius-laborjournal.pageflow.io/ionenchromatographie-22601#252114>. [Zugriff am 21 Oktober 2023].
- [12] *Bestimmung von Aluminium - Praktikum Anorganische Chemie*. [Film]. Praktikum Anorganische Chemie, 2020.
- [13] T. Müller, «Aktivkohlefilter für Wasser,» Alb Filter, 1 März 2022. [Online]. Available: <https://alb-filter.com/blogs/ratgeber/aktivkohlefilter-fuer-wasser#:~:text=Aktivkohlefilter%20für%20Wasser%20können%20Mikroplastik,Geruch>

e%20oder%20unangenehmen%20Geschmack%20beseitigen.. [Zugriff am 24 Oktober 2023].

- [14] T. B. B. K. A. Tesfay Gebretsadik, «Levels of Selected Essential and Nonessential Metals in Roasted Coffee Beans of Yirgacheffe and Sidama, Ethiopia,» *American Journal of Environmental Protection*, Bd. 4, Nr. 4, pp. 188-192, 2015.
- [15] T. P. Flaten, «Aluminium in tea-concentrations, speciation and bioavailability,» *Coordination Chemistry Reviews*, Bd. 228, Nr. 2, pp. 385-395, 2002.
- [16] „Aluminium,“ Ages, 10 Oktober 2023. [Online]. Available: <https://www.ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/rueckstaende-kontaminanten-von-a-bis-z/aluminium#:~:text=Aluminium%20begegnet%20uns%20unter%20anderem,%2C%20Pflanzenschutzmitteln%2C%20Kosmetikprodukten%20und%20Medikamenten..> [Zugriff am 17 Oktober 2023].
- [17] H. A. S. B. & c. F. Aguilar, «Safety of aluminium from dietary intake,» *The EFSA Journal*, p. 122, 2008.
- [18] S. Meier, «Demenz durch Aluminium,» Zentrum der Gesundheit, 23 Februar 2023. [Online]. Available: <https://www.zentrum-der-gesundheit.de/krankheiten/neurodegenerative-erkrankungen/alzheimer-demenz/demenz-aluminium-ia>. [Zugriff am 22 Oktober 2023].
- [19] «Amyloid: der Auslöser einer tödlichen Kaskade, die zum Nervenzelltod führt.,» DZNE, [Online]. Available: <https://www.dzne.de/aktuelles/hintergrund/default-b42f88c69376bbd139dd7cde36a9f930/>. [Zugriff am 22 Oktober 2023].
- [20] N. v. d. H. F. F. Dr. Frank Antwerpes, „Komplexometrie,“ DocCheck Flexikon, 28 Januar 2022. [Online]. Available: <https://flexikon.doccheck.com/de/Komplexometrie>. [Zugriff am 20 Oktober 2023].

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Materialien

Tabelle 2: Chemikalien

Tabelle 3: Resultate der Rücktitration

8.3 Abbildungsverzeichnis

Titelblatt: Das Abfallproblem mit den Kaffeekapseln, Steffen, Januar 2014

<https://www.kapsel-kaffee.net/das-abfallproblem-mit-den-kaffeekapseln/>

Abb.2: seven.edu.vn, Bildung des Metall-EDTA-Komplexes in:

<https://seven.edu.vn/draw-the-structure-of-edta-s75t1z3f/>

Abb.3: Darstellung der Rücktitration, eigene Abbildung

Abb.4: Dr. Alfred Steinbach und Markus Roth, Aufbau eines Ionenchromatographen 2020 in:

<https://phsg-berzelius-labor-journal.pageflow.io/ionenchromatographie-22601#252114>

Abb.5: Dr. Alfred Steinbach und Markus Roth, Ablauf der Ionenchromatographie 2020 in:

<https://phsg-berzelius-labor-journal.pageflow.io/ionenchromatographie-22601#252114>

Abb.6: Dithizon-Lösung 1, eigene Fotografie
Abb.7: Dithizon-Lösung 2, eigene Fotografie
Abb.8: Dithizon-Lösung 3, eigene Fotografie
Abb.9: Dithizon-Lösung 4, eigene Fotografie
Abb.10: Dithizon-Lösung 5, eigene Fotografie
Abb.11: Rückstände nach 40 Stunden im Muffelofen, eigene Fotografie
Abb.12: Farbe der Lösung vor dem Farbumschlag, eigene Fotografie
Abb.13: Farbe der Lösung nach dem Farbumschlag, eigene Fotografie
Abb.14: gemessene Aluminiumkonzentrationen der Probelösungen und Standardlösungen, eigene Grafik
Abb.15: Chromatogramm Probe 1, Messung 1, Markus Roth, Institut für mathematische naturwissenschaftliche und technische Bildung an der PHSG
Abb.16: Chromatogramm Probe 1, Messung 2, Markus Roth, Institut für mathematische naturwissenschaftliche und technische Bildung an der PHSG
Abb.17: Chromatogramm Probe 2, Messung 1, Markus Roth, Institut für mathematische naturwissenschaftliche und technische Bildung an der PHSG
Abb.18: Chromatogramm Probe 2, Messung 2, Markus Roth, Institut für mathematische naturwissenschaftliche und technische Bildung an der PHSG
Abb.19: Chromatogramm Probe 3, Messung 1, Markus Roth, Institut für mathematische naturwissenschaftliche und technische Bildung an der PHSG
Abb.20: Chromatogramm Probe 3, Messung 2, Markus Roth, Institut für mathematische naturwissenschaftliche und technische Bildung an der PHSG
Abb.21: Chromatogramm Probe 4, Messung 1, Markus Roth, Institut für mathematische naturwissenschaftliche und technische Bildung an der PHSG
Abb.22: Chromatogramm Probe 4, Messung 2, Markus Roth, Institut für mathematische naturwissenschaftliche und technische Bildung an der PHSG
Abb.23: Aluminiumhydroxid abgenutscht und getrocknet ohne Aktivkohle, eigene Fotografie
Abb.24: Aluminiumhydroxid abgenutscht und getrocknet mit Aktivkohle, eigene Fotografie

Anhang

Laborjournal