



# PROTOKOLL ANALYTIK

## Versuch 2.2

Nachweis und Bestimmung von Blei in Trinkwasser  
(Polarographie)

Gruppe 2.4 (BCUC4)

### Teilnehmer:

Willy Messerschmidt  
Roman-Luca Zank

**Datum der Versuchsdurchführung:** 18.05.2020

**Abgabedatum:** 01.06.2020

Merseburg den 31. Mai 2020

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>2</b>
2.1	Voltammetrie . . . . .	2
2.2	Die Elektrochemische Spannungsreihe . . . . .	3
2.3	Analyse der Polarogramme . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Geräte und Chemikalien</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Durchführung</b>	<b>5</b>
4.1	Versuchsteil 1: Aufnahme und Glättung des Polarogramms . . . . .	5
4.2	Versuchsteil 2: Identifikation und Quantifizierung des Analyten Blei der Wasserprobe . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Berechnungen</b>	<b>7</b>
5.1	Versuchsteil 1: Aufnahme und Glättung des Polarogramms . . . . .	7
5.2	Versuchsteil 2: Identifikation und Quantifizierung des Analyten Blei der Wasserprobe . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Fehlerbetrachtung</b>	<b>16</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>17</b>

# 1 Einleitung

Als Teil der Voltammetrie bezeichnet die Polarographie ein Analyseverfahren, bei dem eine tropfende Quecksilberelektrode als polarisierbare Elektrode genutzt wird (siehe Abb. 1). Die im Praktikum aufgenommenen Daten beinhalten die Stromstärke  $I$  als Messgröße über die angelegte Gleichspannung  $U$  als variierende Größe. Das Verfahren beruht dabei auf der elektrolytischen Abscheidung, in diesem Fall Reduktion, von Stoffen aus der Probenlösung.[1]

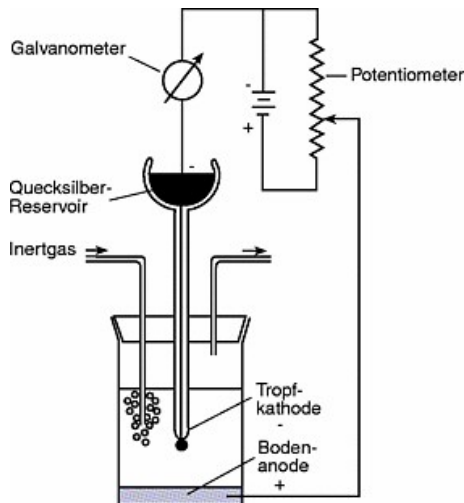


Abb. 1: Schematische Darstellung eines Polarographen [1]

Im Versuch wurde mittels des Analyseverfahrens der Polarographie, der Bleigehalt in einer unbekannten Wasserprobe bestimmt.

## 2 Theorie

**Grundlagen der Voltammetrie und der Elektrochemischen Spannungsreihe!**

### 2.1 Voltammetrie

Voltammetrie ist eine Sammelbezeichnung für einige elektrochemische Analysemethoden, bei denen die Spannung (das Potential) und der fließende Strom zwischen mindestens zwei Elektroden betrachtet werden, um daraus Aussagen zur Zusammensetzung einer Probe abzuleiten.

Die *Voltammetrie* ist nicht mit der *Voltmetrie* zu verwechseln. Bei letzterer wird lediglich die Spannung gemessen.

## 2.2 Die Elektrochemische Spannungsreihe

Text ausarbeiten

## 2.3 Analyse der Polarogramme

Grundlage für die Analyse der enthaltenen Metall-Ionen ist die aufgenommene Strom-Spannungs-Kurve des Polarographen. Aufgrund der spezifischen Halbstufenpotentiale von Metall-Ionen ändert sich bei unterschiedlichen Arbeitspotentialen die gemessene Stromstärke. Dieser Strom an der Arbeitselektrode tritt als Folge der Reduktionsreaktion der Metall-Ionen auf und ist direkt proportional zur Konzentration des umgesetzten Stoffes. Der Strom im Zusammenhang mit diesem Massentransport der Ionen wird als FARADAYScher Strom bezeichnet. Um eine ausreichende Leitfähigkeit und somit einen entsprechenden Ladungstransport in der Lösung garantieren zu können, werden den untersuchten Proben oft Grundelektrolyten in Form von Salzen, Säuren oder Basen zugegeben. Aufgrund der spezifischen Halbstufenpotentiale lassen sich qualitative Ergebnisse dieses Verfahrens auswerten. Betrachtet man jedoch auch den Zusammenhang des Stromflusses bei einem bestimmten Arbeitspotential mit der Konzentration des umgesetzten Stoffes, so lassen sich ebenfalls quantitative Bewertungen äußern. Für diese Betrachtung ist jedoch eine Form der Kalibrierung notwendig, um die gemessenen Signale quantitativ auswerten zu können. Dies ist zum einen über einen externen oder internen Standard möglich, jedoch wurde sich aufgrund der geringen zu bestimmenden Konzentrationen in diesem Versuch für die Aufstockmethode, auch Standardadditionsmethode genannt, entschieden. Möchte man einen internen oder externen Standard nutzen so sind in diesem Fall ebenfalls Kalibrierkurven mit linearem Zusammenhang mittels bekannter Referenz aufzustellen. Bei dieser Methode wird in diesem Versuch nach der polarographischen Analyse der unbehandelten Probe, eine definierte Menge eines bekannten Standards zugegeben. Dieser Standard enthält dabei den zu bestimmenden Stoff in einer exakt bekannten Konzentration. Aus den gemessenen Datenpunkten lässt sich nun eine Geradengleichung bestimmen (siehe Abb. 2 und Gl. 1).

$$Y = \frac{\Delta y}{\Delta x} \cdot X + y_A \quad (1)$$

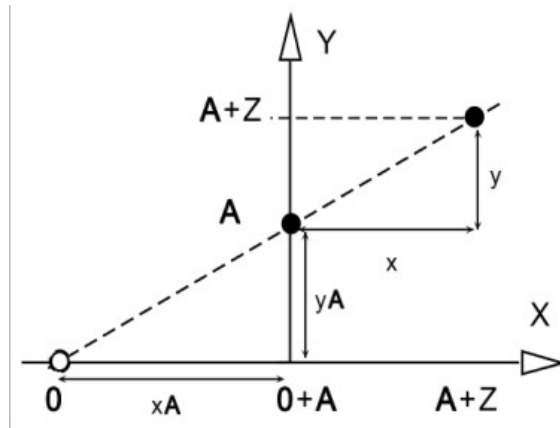


Abb. 2: Darstellung der Standardadditionsmethode []

Aus der ermittelten Geradengleichung, lässt sich nun, aufgrund der geometrischen Beziehung der Strahlensätze, die Konzentration der Probe über den Wert  $xA$  in Abb. 2 bestimmen. Eine Herleitung dazu ist unter Gl. 2 und Gl. 3 zu finden. Die Bedeutungen der Variablen sind nachfolgend in der Tabelle 1 aufgeführt.

$$Y = \frac{y}{x} \cdot X + yA$$

$$X = \frac{Y - yA}{\frac{y}{x}} \quad (2)$$

Für  $Y = 0$  heißt das:

$$X = xA = \frac{0 - yA}{\frac{y}{x}} = \frac{-yA}{\frac{y}{x}}$$

$$xA = -c$$

$$c = \frac{yA}{\frac{y}{x}} \quad (3)$$

Tab. 1: Variablen und ihre Bedeutung

Variable	Bedeutung
A	Analyt
Z	Zugabe
Y	Signalwert
yA	Signalwert der Testlösung - nur Analyt
$\Delta y$	Signaländerung nach Zugabe der Standardlösung
X	Analytwert
xA	Analytkonzentration in der Testlösung
$\Delta x$	Konzentrationsänderung durch Standard-Zugabe

# 3 Geräte und Chemikalien

## Geräte:

- VA Computrace System 757 (FA. METROHM, SCHWEIZ)
- Druckbehälter mit Stickstoff
- Eppendorfpipetten und Spitzen (10 µL bis 1000 µL)
- Vollpipetten und Pipettierhilfe (10 mL, 25 mL)

## Proben/Chemikalien:

- zu untersuchende Wasserprobe
- HNO<sub>3</sub>, ultrarein, zur Konservierung von Wasserproben, evtl. auch zur Herstellung von Standardlösungen
- Stickstoff als Spülgas zur Entlüftung (Beseitigung von Sauerstoff)
- Leitelektrolyt: Acetatpuffer, pH= 4,64  $\left(1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)$
- Triton-X (als Netzmittel)
- Multielementcocktail mit Zn-, Cd-, Pb-, Cu-Konzentrationen von je 250  $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$
- Blei-Standardlösung mit  $\beta(\text{Pb}^{2+}) = 1 \frac{\text{g}}{\text{L}}$

# 4 Durchführung

## 4.1 Versuchsteil 1: Aufnahme und Glättung des Polarogramms

Nach Starten des Computersystems mit der Software 757 VA COMPUTRACE werden die entsprechenden Voreinstellungen des Systems nach der Versuchsanleitung getroffen. Während dessen werden 10 mL des Acetat-Puffer mit  $1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$  mit deionisierten Wasser auf 100 mL zu  $0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$  aufgefüllt (vgl. mit Gl. 4).

$$n_{\text{vorher}}(\text{Acetatpuffer}) = n_{\text{nachher}}(\text{Acetatpuffer})$$

$$c_{\text{vorher}}(\text{Acetatpuffer}) \cdot V_{\text{vorher}}(\text{Acetatpuffer}) = c_{\text{nachher}}(\text{Acetatpuffer}) \cdot V_{\text{nachher}}(\text{Acetatpuffer})$$

$$\begin{aligned} c_{\text{nachher}}(\text{Acetatpuffer}) &= \frac{V_{\text{vorher}}(\text{Acetatpuffer})}{V_{\text{nachher}}(\text{Acetatpuffer})} \cdot c_{\text{vorher}}(\text{Acetatpuffer}) \\ &= \frac{10 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} \cdot 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ &= \underline{\underline{0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}} \end{aligned} \tag{4}$$

In Folge der Verdünnung des Acetat-Puffers werden davon 25 mL in das Messgefäß pipettiert, sowie weitere 10 µL Triton-X, um die Oberflächenspannung der Lösung zu reduzieren. Die Messung durch das Messgerät wird mittels Mausklick gestartet und gibt ein Polarogramm aus.

Als nächster Schritt im Versuch wird versucht mittels fünfminütigen Spülens mit Stickstoff den gelösten Sauerstoff zu beseitigen. Ziel ist es dabei das zuvor ausgegebene Polarogramm zu glätten.

Zuletzt werden in diesem Versuchsteil 1000 µL des Multielementcocktails mit je 25  $\frac{\text{g}}{\text{L}}$  zugesetzt und ebenfalls ein Polarogramm davon aufgenommen.

Ein Vergleich und eine Auswertung der ausgegebenen Polarogramme erfolgt unter Abschnitt 5.

## **4.2 Versuchsteil 2: Identifikation und Quantifizierung des Analyten Blei der Wasserprobe**

Die im Polarogramm gezeichneten Peaks entsprechen voraussichtlich den verschiedenen, enthaltenen Metall-Ionen im Messgefäß. Für die eindeutige Bestimmung des Peaks für Blei wird eine 250 µL Blei-Standardlösung zugegeben. Die Peaks der restlichen Ionen bleiben gleich, während der Peak der für die Blei-Ionen steht, steigen wird. Die Peaks der jeweiligen Programme werden zum einen manuell und automatisch vom System bestimmt. Für nachfolgende Bestimmungen werden die Potentiale  $E_{Start}$  und  $E_{Ende}$  anhand des Peaks von Blei  $\pm 0,2 \text{ V}$  festgelegt.

Die Konzentration des Analyten Blei wird im Folgenden mittels Standardadditionsmethode (beschrieben unter Abschnitt 2) durch zweimaliges Aufstocken bestimmt. Dazu wird das Messgefäß gereinigt und der Maßkolben mit der Wasserprobe mit 10 mL unverdünnter Pufferlösung  $\left(1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)$  versetzt und mit destilliertem Wasser aufgefüllt. 25 mL dieser Analysenprobe werden in das gereinigte Messgefäß mit 10 µL Triton-X gegeben. Es werden nun die entsprechenden Parameter im Computerprogramm nach Praktikumsanleitung für zweimaliges Aufstocken mit 200 µL Blei-Standard eingegeben. Die Messung startet ebenfalls per Mausklick und je nach Messfortschritt und Aufforderung des Programms wird der entsprechende Standard manuell zugegeben. Zum Schluss gibt das Programm die quantitativen, gemessenen Daten zusammengefasst in Graphen, Kalibriergeradengleichungen und Konzentration des Analyten aus.

# 5 Ergebnisse und Berechnungen

## 5.1 Versuchsteil 1: Aufnahme und Glättung des Polarogramms

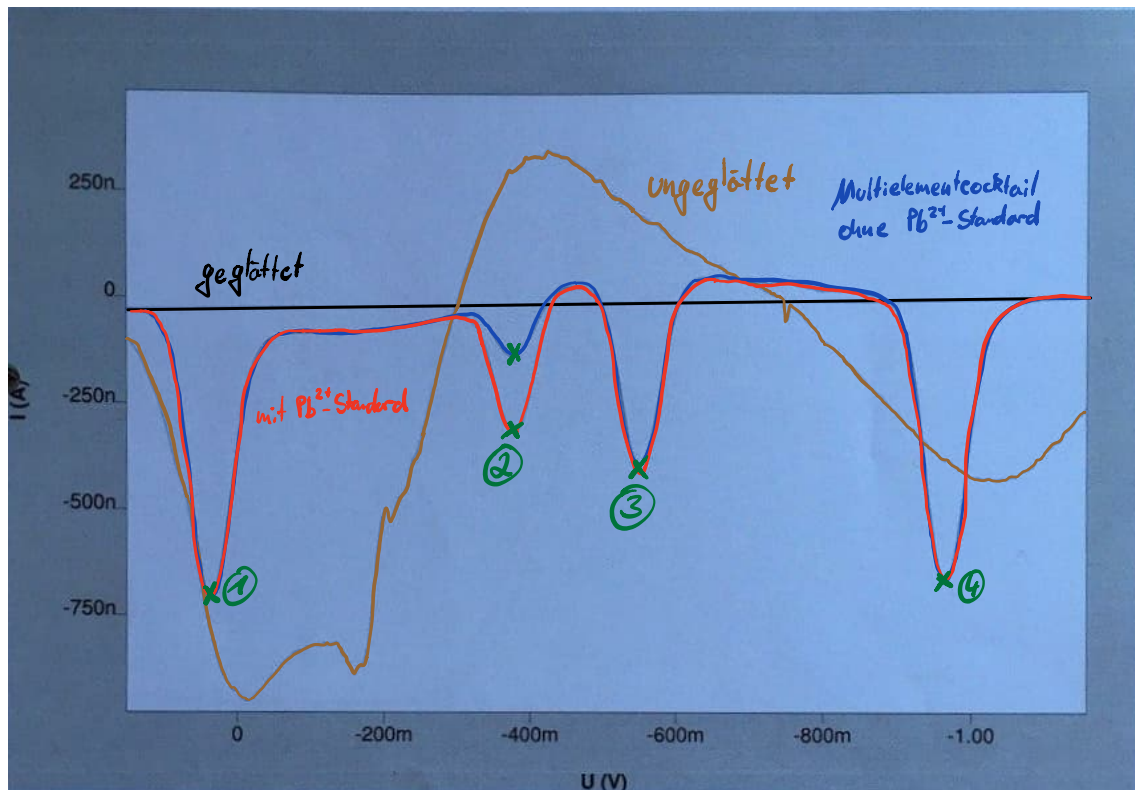


Abb. 3: Strom-Spannungskurven (Polarogramme) des Versuchsteils 1

abgelesene Werte für U händisch und automatisch mit Hilfe des Programms eintragen, für die Peaks

Tab. 2: Zuordnung der Peaks den Elementen des Multiementcocktails

Element	Kupfer Cu	Blei Pb	Cadmium Cd	Zink Zn
Std.-Elektrodenpotential [V]	+0,52	-0,13	-0,40	-0,76
Peak	1	2	3	4
abgelesenes Potential				
aut.erm. Potential				

Begründen woher die Unterschiede kommen



## 5.2 Versuchsteil 2: Identifikation und Quantifizierung des Analyten Blei der Wasserprobe

### Berechnung der Blei-Standard-Zugaben-Konzentration:

$$V_{\text{Standard-Zugabe}} \cdot c_{\text{Standard-Zugabe}} = V_{\text{Lösung}} \cdot c_{\text{Lösung}}$$

$$c_{\text{Lösung}} = \frac{V_{\text{Standard-Zugabe}}}{V_{\text{Lösung}}} \cdot c_{\text{Standard-Zugabe}} \quad (5)$$

$$c_{\text{Lösung},1} = \frac{200 \cdot 10^{-6} \text{ L}}{25 \cdot 10^{-3} \text{ L}} \cdot 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$= 8 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$c_{\text{Lösung},2} = \frac{400 \cdot 10^{-6} \text{ L}}{25 \cdot 10^{-3} \text{ L}} \cdot 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$= 16 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \quad (6)$$

Tab. 3: Messwerte der Messreihe 1

Konzentration der Bleizugabe in $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	Spannung in V	Stromstärke in nA
0	-0,376	-113,0
0	-0,376	-112,5
8	-0,376	-268,2
8	-0,376	-266,6
16	-0,376	-422,8
16	-0,382	-416,0

Tab. 4: Messwerte der Messreihe 2

Konzentration der Bleizugabe in $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	Spannung in V	Stromstärke in nA
0	-0,382	-129,3
0	-0,382	-139,2
8	-0,382	-286,2
8	-0,382	-282,2
16	-0,382	-425,1
16	-0,382	-424,0

### Aufstellen der Kalibriergeraden:

Die Kalibriergerade wird manuell erstellt in dem die gemessenen Stromstärken der Peaks über dem Konzentrationszuschuss durch die Zugabe der Blei Standardlösung aufgetragen werden. Die Stromstärken für die Y-Achse werden aus den gewonnenen Polarogrammen abgelesen. Hier treten Ablesefehler von etwa  $\pm 10 \text{ nA}$  auf. Die Konzentrationsänderung bei Addition von Standardlösung wird entsprechend der Gleichungen (5) und (6) berechnet. Mittels des Tabellenkalkulationsprogramms *LibreOffice Calc* wurde eine lineare Regression zur Bestimmung der Kalibriergeradengleichung durchgeführt. Es ergaben sich folgende Funktionsgleichungen:

$$f_1(x) = y = -19,166 \cdot x - 113,19$$

$$f_2(x) = y = -18,144 \cdot x - 135,85$$

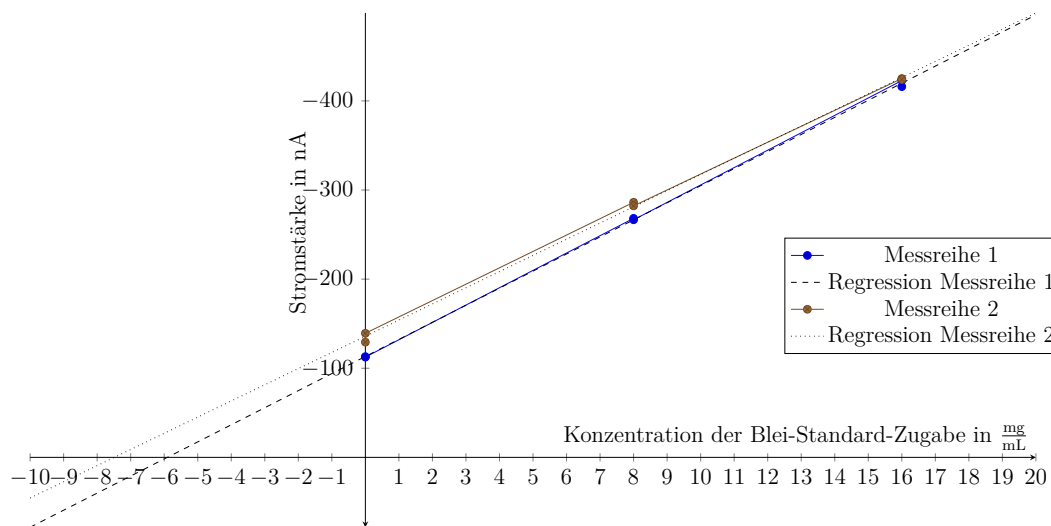


Abb. 4: Berechnete Leitungen in Abhängigkeit von der Konzentration der Blei-Standardzugabe (siehe Tab. 3 und Tab. 4)

Die Nullstellen der Kalibriergeraden liegen bei -5,906 und -7,487. Der Betrag dieser Werte entspricht der Ausgangskonzentration von  $5,906 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$  und  $7,487 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ . Die manuell ermittelten Konzentrationen entsprechen beinahe den computerberechneten Werten.

Da die Kalibriergeraden der beiden Versuchsdurchführungen signifikante Unterschiede aufwiesen, mit einer Differenz von  $1,581 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ , wurde sich dazu entschlossen die Daten alternativ auszuwerten.

Die Daten der Messreihe 1 und 2 wurden hierfür zusammengefasst und werden als eine gemeinsame Datenmenge, mit entsprechender Kalibriergerade, unter dem folgenden Abschnitt betrachtet.

## Ausreißertests der zusammengefassten Messreihen 1 und 2:

Berechnung des Mittelwertes:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{n=1}^N x_n}{N} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{-139,2 - 129,2 - 113,0 - 112,5}{4} \\ &= \underline{-123,5} \end{aligned} \quad (8)$$

Berechnung der Standardabweichung:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} s &= \sqrt{\frac{(-139,2 + 123,5)^2 + (-129,2 + 123,5)^2 + (-113,0 + 123,5)^2 + (-112,5 + 123,5)^2}{3}} \\ &= \underline{11,3} \end{aligned} \quad (10)$$

Berechnung des Q-Wertes:

$$Q_{\text{emp}} = \frac{x_{n+1} - x_n}{x_n - x_1} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{emp}} &= \frac{-129,2 - (-139,2)}{-112,5 - (-139,2)} \\ &= \underline{0,371} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{tab}} &> Q_{\text{emp}} \rightarrow \text{Kein Ausreißer} \\ 0,829 &> 0,371 \rightarrow \underline{\text{Kein Ausreißer : wahr}} \end{aligned} \quad (12)$$

Berechnung des G-Wertes:

$$G_{\text{emp}} = \frac{|x_{\text{Test}} - \bar{x}|}{s} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} G_{\text{emp}} &= \frac{|-139,2 - (-123,5)|}{11,3} \\ &= \underline{1,389} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{\text{tab}} &> G_{\text{emp}} \rightarrow \text{Kein Ausreißer} \\ 1,463 &> 1,389 \rightarrow \underline{\text{Kein Ausreißer : wahr}} \end{aligned} \quad (14)$$

Tab. 5: Zusammengefasste, aufsteigend sortierte Messwerte mit Mittelwerten und Standardabweichungen

Blei-Standard-Zugabe in $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	Messwert in nA	Mittelwert	Standardabweichung
0	-139,2	-123,5	11,3
0	-129,3		
0	-113,0		
0	-112,5		
8	-286,2	-275,8	8,5
8	-282,2		
8	-268,2		
8	-266,6		
16	-425,1	-422,0	3,5
16	-424,0		
16	-422,8		
16	-416,0		

Tab. 6: Zusammengefasste, aufsteigend sortierte Messwerte und empirische Q- und G-Werte zur Ausreißerbewertung

Blei-Standard-Zugabe in $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	Messwert in nA	Q-Wert (Tab=0,829)	Q-Ausreißer ?	G-Wert (Tab=1,463)	G-Ausreißer ?
0	-139,2	0,371	Nein	1,389	Nein
0	-129,3	-	Nein	0,513	Nein
0	-113,0	-	Nein	0,929	Nein
0	-112,5	0,019	Nein	0,9723	Nein
8	-286,2	0,204	Nein	1,218	Nein
8	-282,2	-	Nein	0,750	Nein
8	-268,2	-	Nein	0,890	Nein
8	-266,6	0,082	Nein	1,078	Nein
16	-425,1	0,121	Nein	0,882	Nein
16	-424,0	-	Nein	0,571	Nein
16	-422,8	-	Nein	0,233	Nein
16	-416,0	0,747	Nein	1,686	Ja

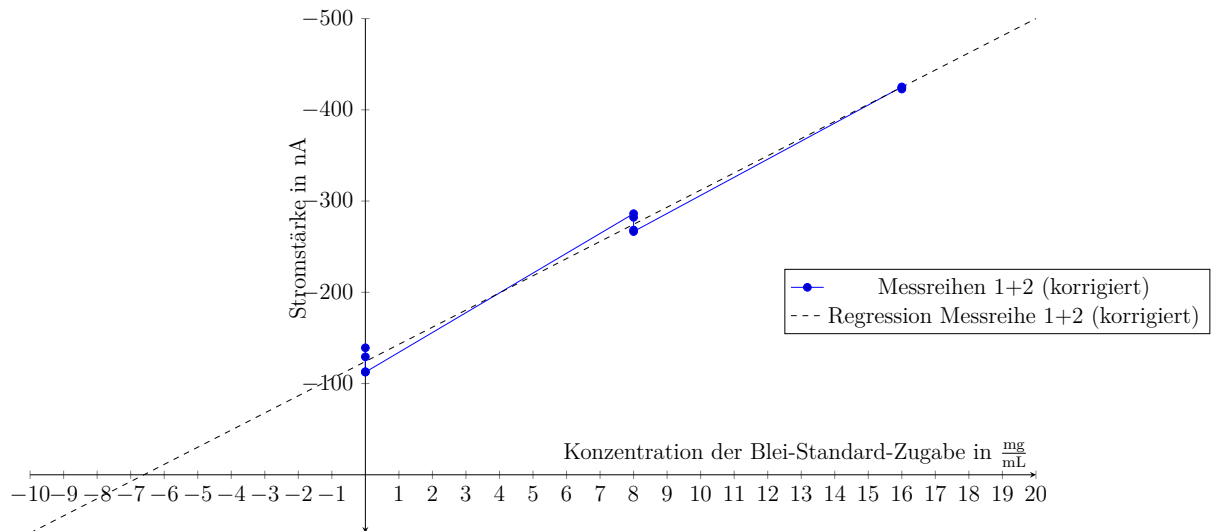


Abb. 5: Korrigierte Kalibrierkurve der Messreihen 1 und 2

Tab. 7: Vergleich der ermittelten Konzentrationen aus manueller und Computergestützter Berechnung

	Computer	Manuell einzeln	Manuell	Mittelwert	Standardabweichung
$c_1$	$5,757 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$5,906 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$6,606 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$		
$c_2$	$7,186 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$7,487 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	-		
$\bar{c}$	$6,472 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$6,697 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$6,606 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$6,591 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$0,113 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$

### Bestimmung des Bleigehaltes in der originalen Probe:

#### Berechnung des Vertrauensintervalls:

Für die Berechnungen des Mittelwertes und der Standardabweichung siehe Gl. (7), (8) und (9).

$$\text{conf}(\bar{x}) = \bar{x} \pm \frac{t}{\sqrt{N}} \cdot s \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \text{conf}(\bar{x}) &= 6,591 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \pm \frac{4,303}{\sqrt{3}} \cdot 0,113 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \\ &= \underline{6,591 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \pm 0,280 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \end{aligned} \quad (16)$$

**Aliquotierfaktor:**

Der Aliquotierfaktor dient zur Hochrechnung auf das gesamte Probenvolumen. Die Bleihaltige Probe wurde zuvor auf 100 mL aufgefüllt, wovon jeweils 25 mL in das Messgerät gegeben wurden. Das ergibt nach Gl.17 einen Aliquotierfaktor von 4.

$$f_A = \frac{100 \text{ mL}}{25 \text{ mL}} = 4 \quad (17)$$

**Berechnung der Masse an Blei in der Originalprobe:**

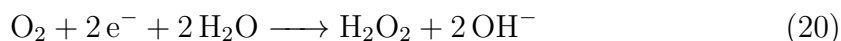
$$\begin{aligned} m_{\text{original}} &= m_{\text{mess}} \cdot f_A \\ m_{\text{original}} &= V_{\text{mess}} \cdot c \cdot f_A \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} m_{\text{original}} &= m_{\text{mess}} \cdot f_A \\ m_{\text{original}} &= V_{\text{mess}} \cdot c \cdot f_A \\ &= 25 \cdot 10^{-3} \text{ L} \cdot \left( 6,591 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \pm 0,280 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \cdot 4 \\ m_{\text{original}} &= 0,659 \text{ mg} \pm 0,0280 \text{ mg} = \underline{659,1 \text{ } \mu\text{g} \pm 28,0 \text{ } \mu\text{g}} \end{aligned} \quad (19)$$

## 6 Diskussion

### Interpretation mit Reaktionsgleichung Sauerstoff

Die Reduktion des gelösten Sauerstoffs läuft ab einer Spannung von 0 V wie in Gleichung (20) und bei circa 1 V entsprechend der Gleichung (21) ab.



### Vergleich Polarogramm geglättet und ungeglättet

Das ungeglättete Polarogramm (vgl. Abb.3 in gelb) zeigt den Stromstärkeverlauf in Anwesenheit von Sauerstoff. Es treten Peaks auf, wenn die Reduktionsreaktionen (20) bei etwa 0 V und (21) bei etwa  $-1 \text{ V}$  ablaufen. Nach erfolgter Spülung mit Stickstoff ist der Sauerstoff aus der Lösung verschwunden. Er kann nicht mehr reduziert werden und stört darum auch nicht mehr das Polarogramm (vgl. Abb.3 in schwarz) welches damit als geglättet anzusehen ist. Es besitzt nun einen quasi horizontalen Verlauf.

### Zuordnung Begründen

Die Peaks können den enthaltenen Elementen aufgrund ihrer Stellung in der elektrochemischen Spannungsreihe zugeordnet werden. Je edler ein Metall ist, umso höher ist auch das entsprechende Standardelektrodenpotential und umso eher wird es reduziert.

oder zweite Peak kann besonders sicher dem Blei zugeordnet werden, da durch wissentliche Erhöhung der Bleikonzentration ein größerer Ausschlag erkennbar ist.

### Vergleich mit Grenzwert für Trinkwasser

Der Grenzwert für Trinkwasser liegt laut der aktuell gültigen Fassung der Trinkwasserverordnung [2] bei  $10 \frac{\mu\text{g}}{\text{L}}$ . Den statistischen Grenzwerttests im Folgenden ist zu entnehmen, dass selbiger eingehalten wird.

## Statistischer Grenzwerttest zur Unterschreitung des Trinkwassergrenzwertes für Blei

Gegebene Parameter (vgl. Tab.7)

- Mittelwert  $\bar{x} = 6,591 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$
- Grenzwert  $x_{\text{Grenz}} = 10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$
- Standardabweichung  $s = 0,113 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$
- $N=3$

### Grenzwerttest für eine Sicherheit von 95%

$$\begin{aligned} t_{EMP;95} &= \frac{\bar{x} - x_{\text{Grenz}}}{s} \cdot \sqrt{N} \\ &= \frac{6,591 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,113 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \cdot \sqrt{3} \\ &= -52,2528 \end{aligned} \quad (22)$$

Der tabellierte Wert für  $t_{\text{CRIT}}$  für einen einseitigen Test mit einer Sicherheit von 95% bei einem Freiheitsgrad von 2 lautet 2,920.

$$\begin{aligned} t_{EMP} &< -t_{\text{CRIT}} \\ -52,2528 &< -2,920 \end{aligned}$$

Damit ist bewiesen, dass der Grenzwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% eingehalten ist.

### Grenzwerttest für eine Sicherheit von 99,9%

$$\begin{aligned} t_{EMP;95} &= \frac{\bar{x} - x_{\text{Grenz}}}{s} \cdot \sqrt{N} \\ &= \frac{6,591 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,113 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \cdot \sqrt{3} \\ &= -52,2528 \end{aligned} \quad (23)$$

Der tabellierte Wert für  $t_{\text{CRIT}}$  für einen einseitigen Test mit einer Sicherheit von 99,9% bei einem Freiheitsgrad von 2 lautet 22,327.

$$\begin{aligned} t_{EMP} &< -t_{\text{CRIT}} \\ -52,2528 &< -22,327 \end{aligned}$$

Damit ist bewiesen, dass der Grenzwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9% eingehalten ist.



# 7 Fehlerbetrachtung

Abweichungen in der Messgenauigkeit vom PC aus (0,92% und 4,3 %) liegen ja aber noch 95% Vertrauen

Fehler sind bei der Pipettierung der Lösungen aufgetreten. Zum ersten wurde abwechselnd von zwei Personen pipettiert und zum zweiten besitzen die verwendeten Vollpipetten Toleranzen. Die Toleranzen belaufen sich auf  $\pm 0,03$  mL für die 10 mL-Pipette und auf  $\pm 0,045$  mL für die 25 mL-Pipette. Die Lösungen waren nicht ständig agitiert, wodurch es zu Absetzungsunterschieden und Konzentrationsunterschieden innerhalb der Lösung gekommen sein könnte. Die Reinheit des verwendeten Quecksilbers wirkt sich ebenfalls auf das Messergebnis aus. Eine Spülzeit von 30 s wurde als ausreichend angenommen. Längere Spülzeiten könnten noch mehr Sauerstoff austreiben und den Störenden Einfluss weiter verringern.

Die Konzentrationen der bereitgestellten Lösungen könnten vom erwarteten Wert abweichen. Das Alter der Lösungen ist unbekannt. Trotz vorherigem Spülens

Auch das Messgerät METROHM 757 VA COMPUTRACE unterliegt gewissen Toleranzen.

Ablesefehler aus dem Polarogramm sind in die Erstellung der manuellen Kalibriergerade eingeflossen.

# Literatur

- [1] BREHM, Ingrid: *Polarographie*. Version: 2004. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-16-02953>, Abruf: 28.05.2020
- [2] *Trinkwasserverordnung*. Version: 01.01.2020. <https://www.dvgw.de/themen/wasser/trinkwasserverordnung/anlage-1-2/>, Abruf: 31.05.2020