

Institut Dr. Flad



Projektarbeit

**Trinkwasseraufbereitung
beim Zweckverband Wasserversorgung
„Kleine Kinzig“**

Bettina Brechenmacher

- Lehrgang 62 -

Betreuung: Frau Sigrid Pfiz

Betreuung (ZV WKK): Frau Margret Sommer

Schuljahr 2012 / 13



I INHALTSVERZEICHNIS

I	INHALTSVERZEICHNIS.....	I
II	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	IV
III	TABELLENVERZEICHNIS.....	V
IV	ABKÜRZUNGEN.....	V
V	FORMELZEICHEN UND EINHEITEN UND INDIZES.....	V
VI	VORWORT.....	VII
VII	ZUSAMMENFASSUNG.....	VIII
VIII	SUMMARY.....	IX
1.	Einleitung.....	1
2.	Einzugsgebiet.....	2
2.1	Zuflüsse.....	2
2.2	Schutzgebiet.....	3
2.3	Talsperre.....	4
2.4	Entnahmeturm.....	5
2.5	Staudamm.....	5
3.	Aufbereitungsprozess.....	6
3.1	Aufbereitung.....	6
3.2	Vorreinigung.....	7
3.3	Turbinen (regenerative Energieerzeugung).....	8
3.4	Entspannungsbecken.....	8
3.5	Teilstromaufhärtung – „Reinerzauer Verfahren“.....	9
3.6	Ozonung.....	10
3.7	Vermischungsbecken (Flockung).....	10
3.8	Mehrschichtfiltration (Filterstufe 1).....	10
3.9	Aufhärtung (Filterstufe 2).....	11
3.10	Trinkwasserkammer.....	11



4. Verbandsgebiet.....	12
4.1 Leitungsnetz.....	12
4.2 Hochbehälter.....	12
5. Das Multi-Barrieren-System.....	13
6. Praktischer Teil.....	14
6.1 Probenahme.....	14
6.2 Probenvorbereitung und Bestimmung der untersuchten Parameter.....	16
6.2.1 Bestimmung der Gesamthärte.....	16
6.2.2 Bestimmung pH- Wert.....	18
6.2.3 Leitfähigkeit.....	20
6.2.4 Bestimmung der Trübung.....	21
6.3 Analysenergebnisse.....	22
6.3.1 Zuflüsse.....	22
6.3.2 Wasserwerk und Verbraucher.....	23
6.4 Auswertung.....	25
6.4.1 Veränderung der Parameter während des Aufbereitungsprozesses.....	25
6.4.1.1 Gesamthärte.....	25
6.4.1.2 pH- Wert.....	27
6.4.1.3 Leitfähigkeit.....	29
6.4.1.4 Trübung.....	30
7. Die Beziehung zwischen den untersuchten Parametern.....	32
8. Ergebnis mit Fazit.....	35
LITERATURVERZEICHNIS.....	I
BEGLEITBLATT.....	IV
SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG.....	VI
ANHANG.....	VII
Anhang A: Formeln zur Berechnung der Gesamthärte.....	1
1. In $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	1
2. In Grad deutscher Härte ($^{\circ}\text{dH}$).....	2



Anhang B: Protokoll 1 bis Protokoll 5.....	3
Protokoll 1: Analyse der Wasserwerksproben	3
1. Bestimmung der Gesamthärte.....	3
2. Bestimmung des pH-Wertes.....	4
3. Bestimmung der Leitfähigkeit (25 °C).....	5
4. Bestimmung der Trübung	5
Protokoll 2: Analyse des Trinkwassers beim Verbraucher und der Zuflüsse.....	7
1. Bestimmung der Gesamthärte.....	7
2. Bestimmung des pH-Wertes.....	8
3. Bestimmung der Leitfähigkeit (25 °C).....	9
4. Bestimmung der Trübung	9
Protokoll 3: Analyse der Zuflüsse	11
1. Bestimmung der Gesamthärte.....	11
2. Bestimmung Leitfähigkeit (25 °C).....	12
Protokoll 4: Analyse der Teilstromaufhärtung (Gesamtablauf).....	14
1. Bestimmung der Gesamthärte.....	14
2. Bestimmung des pH-Wertes.....	15
3. Bestimmung der Leitfähigkeit (25 °C).....	16
Protokoll 5: Zweite Messung der Trübung	18
1. Bestimmung der Trübung	18



II ABILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Trinkwasser [7].....	1
Abbildung 2: Wassermangel [9]	1
Abbildung 3: Hauptzuflüsse der Talsperre [6]	2
Abbildung 4: Schutzzonen [6]	3
Abbildung 5: Talsperre Kleine Kinzig [6].....	4
Abbildung 6: Entnahmeturm [6].....	5
Abbildung 7: Luftbild Talsperre mit Wasserwerk [6]	6
Abbildung 8: Leitwarte [6]	6
Abbildung 9: Schema der Verfahrenstechnik im Wasserwerk [6]	7
Abbildung 10: Vorreinigung [6].....	7
Abbildung 11: Turbinenanlage [6]	8
Abbildung 12: Entspannungsbecken [6].....	8
Abbildung 13: Teilstromaufhärtung [6]	9
Abbildung 14: Einblick ins Ozonungsbecken [6].....	10
Abbildung 15: Vermischungsbecken mit Rührer [6].....	10
Abbildung 16: Mehrschichtfiltration [6]	10
Abbildung 17: Aufhärtingsbecken mit Kalksteinfilter [6].....	11
Abbildung 18: Trinkwasserkammer [6]	11
Abbildung 19: Hochbehälter im Verbandsgebiet [6]	12
Abbildung 20: Probenahme im Wasserwerk [6].....	14
Abbildung 21: Verfahrensschema mit Probenentnahmestellen [6]	15
Abbildung 22: Umschlag des Indikators von rot nach grün.....	17
Abbildung 23: Titration der Gesamthärte mit Digitalbürette	17
Abbildung 24: Versuchsaufbau einer Einstabmesskette [12].....	18
Abbildung 25: Messung des pH-Wertes [6].....	19
Abbildung 26: Konduktometer.....	20
Abbildung 27: Trübungsmessgerät [6]	21
Abbildung 28: Diagramm Gesamthärte – Probenahmestellen.....	25
Abbildung 29: Diagramm pH-Wert - Probenahmestellen.....	27
Abbildung 30: Diagramm Leitfähigkeit - Probenahmestellen	29
Abbildung 31: Diagramm Trübung - Probenahmestellen.....	30
Abbildung 32: Diagramm zum Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht [19]	33



III TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Analysenergebnisse Zuflüsse.....	22
Tabelle 2: Analysenergebnisse Wasserwerk und Verbraucher	23
Tabelle 3: Vergleich erste und zweite Messung der Trübung	24

IV ABKÜRZUNGEN

DIN	Deutsche Industrie – Norm
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
FNU	Formazine Nephelometric Unit
PE	Polyethylen
ZV WKK	Zweckverband Wasserversorgung „Kleine Kinzig“

V FORMELZEICHEN UND EINHEITEN UND INDIZES

Formelzeichen	Einheit	Beschreibung
l	m	Länge
A	m^2	Fläche
V	m^3	Volumen
V	L	Volumen
m	g	Masse
n	mol	Stoffmenge
c	$mol \cdot L^{-1}$	Stoffmengenkonzentration
β	$g \cdot L^{-1}$	Massenkonzentration
GH	$^{\circ}dH$	Gesamthärte in Grad deutscher Härte

Verzeichnisse



pH	1	pH-Wert
κ	$\mu S \cdot cm^{-1}$	Leitfähigkeit
$T.$	FNU	Trübung
T	$^{\circ}C$	Temperatur
U	V	Spannung
P	W	Leistung
W	kWh	Arbeit, Energie
Q	$L \cdot s^{-1}$	Volumenstrom

Gleichungen werden aufsteigend nummeriert, Kapitelnummer vorangestellt Gl. (6 – 1)

Literaturverweise sind mit eckigen Klammern gekennzeichnet [1]



VI VORWORT

Im Rahmen meiner Ausbildung zur Chemisch-Technischen-Assistentin am Institut Dr. Flad wurde das Projekt „Trinkwasseraufbereitung, beim Zweckverband Wasserversorgung Kleine Kinzig“, von mir bearbeitet.

Durch einen Sonntagsausflug zur Talsperre „Kleine Kinzig“ (Reinerzau, bei Freudenstadt), bin ich auf das Thema der Wasserversorgung meiner Heimat im Nordschwarzwald aufmerksam geworden. Um mich intensiver mit diesem ständig aktuellen Thema der Wasserversorgung zu beschäftigen, habe ich beschlossen im Rahmen meiner Projektarbeit ein Praktikum beim Zweckverband Wasserversorgung „Kleine Kinzig“, in den Sommerferien (2012), zu absolvieren.

Bei der Durchführung der Arbeit konnte das bereits erworbene Fachwissen aus der Theorie, sowie auch aus der Praxis am Institut Dr. Flad angewendet und vertieft werden. Durch das Bearbeiten konnte ich mein Wissen in der Wasseranalytik, insbesondere in der Wasseraufbereitung ausbauen und dabei auch einen kleinen Einblick in das Fachgebiet der Verfahrenstechnik erhalten. Die Projektarbeit hat mir die Möglichkeit gegeben einen Betrieb und das Berufsleben kennen zu lernen. Das Praktikum hat meine Erwartungen erfüllt, es war interessant und hat mir Spaß gemacht.

Dabei möchte ich mich für die Ermöglichung der Projektarbeit beim Institut Dr. Flad, sowie bei meiner Betreuerin Frau Sigrid Pfiz, vom Institut Dr. Flad bedanken. Ebenfalls möchte ich mich für die Praktikumsstelle und für die Betreuung durch Frau Margret Sommer und Herrn Gerhard Biber vom Zweckverband Wasserversorgung „Kleine Kinzig“, als auch bei allen nicht namentlich erwähnten Mitarbeitern des Zweckverbandes Wasserversorgung „Kleine Kinzig“ bedanken.

Baiersbronn – Tonbach , den 31.01.2013

Bettina Brechenmacher



VII ZUSAMMENFASSUNG

Im theoretischen Teil der Projektarbeit werden die Grundlagen der Trinkwasseraufbereitung beim Zweckverband Wasserversorgung „Kleine Kinzig“, sowie die Umgebung des Wasserwerks, die für eine optimale Wassergewinnung sorgt, behandelt. Bei der Beschreibung des Aufbereitungsprozesses soll erläutert werden, warum zusätzliche Stoffe an welcher Stelle eingesetzt werden.

Im praktischen Teil der Arbeit wird aufgezeigt, wie aus Rohwasser Trinkwasser wird. Dafür werden Proben bei den Zuflüssen, im Wasserwerk und zu Hause am Wasserhahn genommen. Das Wasser wird dann im Labor auf folgende Parameter: Gesamthärte, pH-Wert, Leitfähigkeit, Trübung untersucht. Anschließend wird dargestellt, wie sich diese Parameter während der Aufbereitung verändert haben und ob die Analyseergebnisse den Vorschriften der Trinkwasserverordnung (DIN 2001, in der Fassung vom 03.05.2011) entsprechen.



VIII SUMMARY

In the theoretical part of the project report, the basics of drinking water processing at the Zweckverband Wasserversorgung “Kleine Kinzig” are discussed. Additionally the surrounding area of the water work, which cares for an optimal water production, is treated. In the description of the preparation process, there is explained, why additional substances are used at which place.

The practical part shows, how raw water becomes drinking water. Therefore samples are taken at the inflows, in the water work and at home at the tap. Later the water samples are analyzed in the laboratory on the following parameters: Total hardness, pH-factor, conductivity and clouding. In addition the documentation illustrates how these parameters have changed during the preparation process.

Furthermore the analytical results are checked, whether they relate to the instructions of the drinking water ordinance (DIN 2001, in the version of the 5/3/2011).



1. Einleitung

Wasser ist die Grundlage des Lebens und das bestuntersuchte Lebensmittel in Deutschland. Eine Person verbraucht am Tag durchschnittlich 123 Liter Wasser. [4] Dafür



muss nur der Wasserhahn aufgedreht werden und schon steht fließendes Wasser mit Trinkwasserqualität zur Verfügung. In Deutschland ist dies eine Selbstverständlichkeit, man macht sich keine Gedanken über die Herkunft des Wassers und wie Wasser in den Wasserwerken zu Trinkwasser aufbereitet wird.

Abbildung 1: Trinkwasser [7]

Im Gegensatz dazu herrscht in vielen Ländern (Länder der 3. Welt) auf der ganzen Erde Wasserknappheit. Weltweit haben 1,1 Milliarden Menschen kein sauberes Wasser zur Verfügung. [8]



Abbildung 2: Wassermangel [9]

Der Zweckverband Wasserversorgung „Kleine Kinzig“ mit seiner Talsperre in Reinerzau bei Freudenstadt im Nordschwarzwald wurde 1985 in Betrieb genommen und versorgt im Verbandsgebiet ca. 250000 Einwohner mit Trinkwasser. [4]

In der folgenden Arbeit wird nun der Weg des Wassers von den Zuflüssen, über den Aufbereitungsprozess im Wasserwerk bis zum Verbraucher aufgezeigt.



2. Einzugsgebiet

2.1 Zuflüsse

In die Trinkwassertalsperre fließen drei Hauptzuflüsse. Der größte ist die Kleine Kinzig (Namensgeber), es folgt das Huttenbächle und als kleinster Zufluss das Teufelsbächle. Das Wasser der Zuflüsse weist bereits durch das noch unberührte und bewaldete Einzugsgebiet eine hohe Wasserqualität auf. Der Gebirgsaufbau im Einzugsgebiet der Talsperre wird hauptsächlich vom roten Bundsandstein gebildet. Auf Grund des kalkarmen Bundsandsteins, der schwach gepufferte Gewässer hervorbringt, zeigt das Talsperrenwasser sauren Charakter. Der pH-Wert kann sich durch jahreszeitliche Schwankungen verändern, liegt aber zwischen 6,1 und 9 (Zeitraum ab 2002, Talsperrenwasser) [6]. In den Wintermonaten (November bis April) kommen aus den Zuflüssen ca. 70 % des jährlichen Zuflusses in die Talsperre, dies ist zum Teil auf schmelzende Schneemassen zurückzuführen. Die restlichen 30 % setzen sich aus Regen und Quellwasser zusammen. [2]

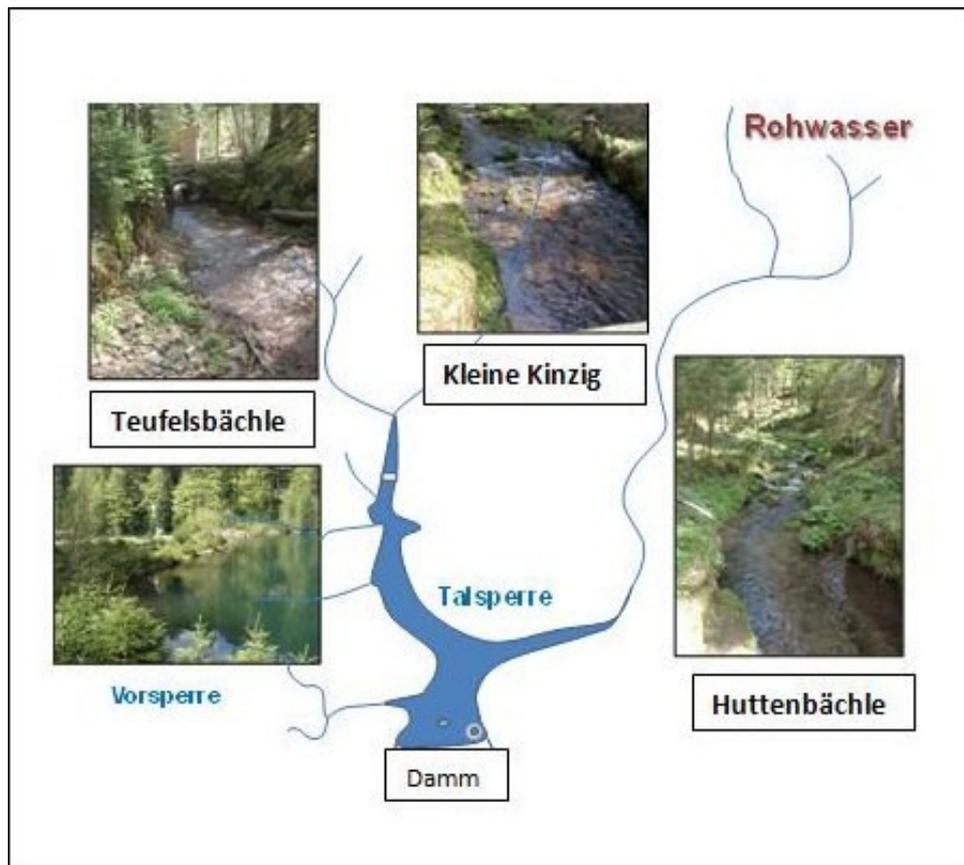


Abbildung 3: Hauptzuflüsse der Talsperre [6]



2.2 Schutzgebiet

Das Wasserschutzgebiet der künstlich angelegten Trinkwassertalsperre enthält das unterirdische und oberirdische Wassereinzugsgebiet, sowie die Seefläche und den Staudamm. Die Gesamtfläche des Schutzgebietes beträgt ca. 20 km². Das Schutzgebiet wird in drei Schutzzonen eingeteilt, die dafür sorgen, dass die von der Natur gegebenen Voraussetzungen für die Trinkwassergewinnung erhalten bleiben. [2]

Innerhalb dieser Zonen sind alle Handlungen verboten, die die Wasserqualität gefährden.

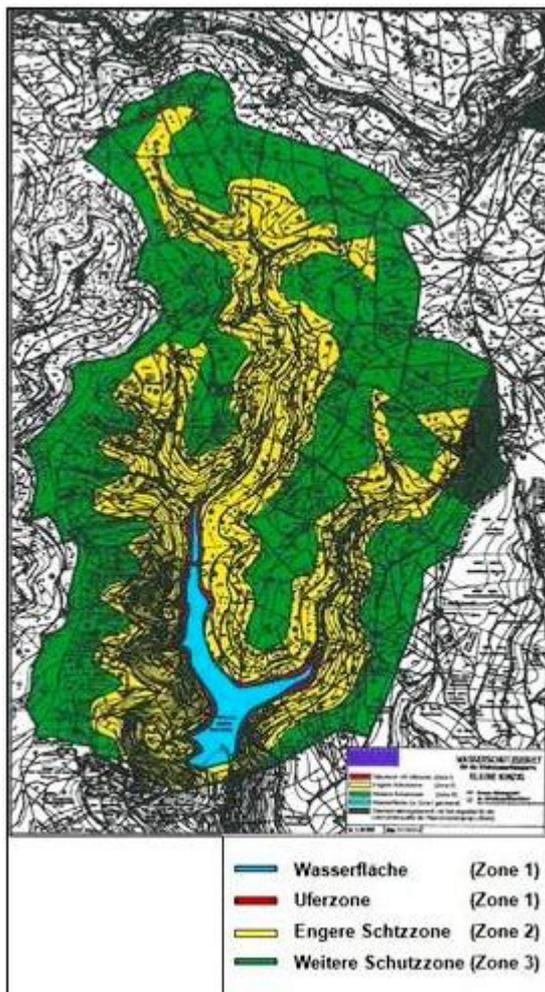


Abbildung 4: Schutzzonen [6]

Die Schutzzone 1 mit einer Fläche von 100 ha umfasst die Wasserfläche mit Uferzone. [2] Das Schwimmen im Stausee, sowie jede Art von Wassersport sind untersagt.

Die Schutzzone 2 (Engere Schutzzone) setzt sich aus den Zuflüssen, dem forstwirtschaftlichen Ersatzweg und dem Staudamm zusammen, sie hat eine Fläche von 868 ha. [2]

Die sich anschließende Schutzzone 3 (Weitere Schutzzone) besitzt die Fläche von 1010 ha.

Das Einzugsgebiet besteht aus 98 % aus Wald (50 % Fichte / 50 % Fichte-Tanne). Dieser Waldbestand ist der beste Schutz für Gewässer. [2]



2.3 Talsperre



Abbildung 5: Talsperre Kleine Kinzig [6]

Der Stausee der ZV WKK ist die einzige Talsperre in Baden-Württemberg, die zur Trinkwasserversorgung genutzt wird. Sie ist 3 km lang und hat eine Breite von 450 m. Der See hat eine max. Tiefe von 65 m, eine Gesamtwasserfläche von 56 ha und eine Speicherkapazität von 13 Mio. m³, bei Vollstau. Neben der Hauptaufgabe, der Trinkwasserversorgung, besitzt die Talsperre weitere Aufgaben. [2] [4]

- **Trinkwasserversorgung**

- **Hochwasserentlastung**

- **Niedrigwasseraufhöhung**

Aus der Talsperre muss zur Niedrigwasseraufhöhung eine Pflichtmenge von 100 L · s⁻¹ abgelassen werden, damit der Kleinen Kinzig eine ausreichende Wassermenge zur Verfügung steht. [2]

- **Energieerzeugung**

Das Talsperrenwasser wird im Wasserwerk, unterhalb der Talsperre zur regenerativen Stromerzeugung genutzt.



2.4 Entnahmeturm

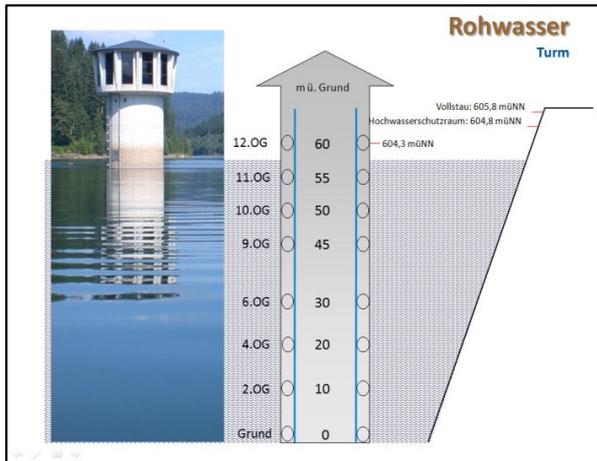


Abbildung 6: Entnahmeturm [6]

Über einen 75 m hohen Entnahmeturm, kann das Rohwasser aus dem Stausee aus acht verschiedenen Tiefen entnommen werden. [2] Dadurch ist es möglich die beste Wasserqualität zur Trinkwasseraufbereitung zu nutzen. Momentan wird das Rohwasser aus einer Tiefe von 30 Metern über Grund (6. Entnahmestockwerk) entnommen. [6]

Als Rohwasser bezeichnet man das Wasser, das in die Aufbereitung fließt.

2.5 Staudamm

Der Staudamm der Talsperre ist ein Erd- und Steinschüttdamm mit wasserundurchlässiger Asphaltbeton-Kerndichtung. Er besitzt eine Höhe von 72 m und hat eine Kronenlänge von 380 m. [5] Am „Fuße“ des Staudamms (Herdmauer) liegt ein Kontrollgang, durch diesen kann man auf die Ost- und West-Seite der Dammkrone gelangen.



3. Aufbereitungsprozess

Im Folgenden wird der Aufbereitungsprozess des Rohwassers bis zum Trinkwasser dargestellt.

3.1 Aufbereitung

Das schon sehr gute Rohwasser muss aufbereitet werden, um den hohen Anforderungen der Trinkwasserverordnung DIN 2001, in der Fassung vom 03.05.2011 gerecht zu werden. Die Trinkwasserverordnung umfasst sehr viele Parameter. Denn mit Recht ist Trinkwasser das bestuntersuchte Lebensmittel in Deutschland.

Unterhalb der Talsperre befindet sich das Wasserwerk, dort wird das Rohwasser dann zum Trinkwasser aufbereitet.



Abbildung 7: Luftbild Talsperre mit Wasserwerk [6]

Von der Leitwarte (Steuerzentrale) aus, erfolgt die Steuerung und Überwachung der Turbinen und der Wasseraufbereitung.

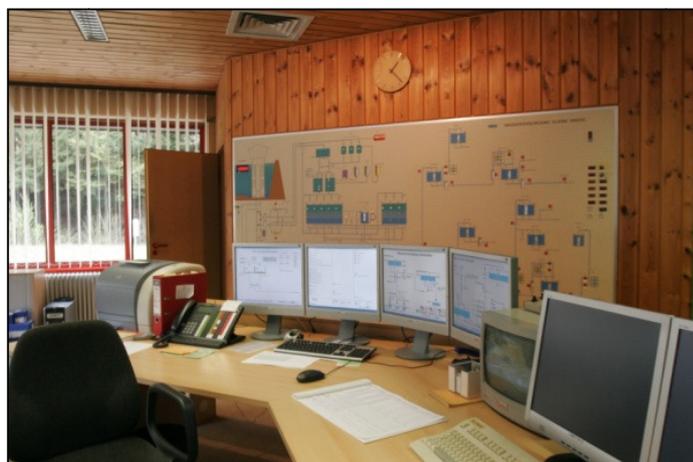


Abbildung 8: Leitwarte [6]



Anhand von Abbildung 9 ist das Schema der Verfahrenstechnik visuell verdeutlicht.

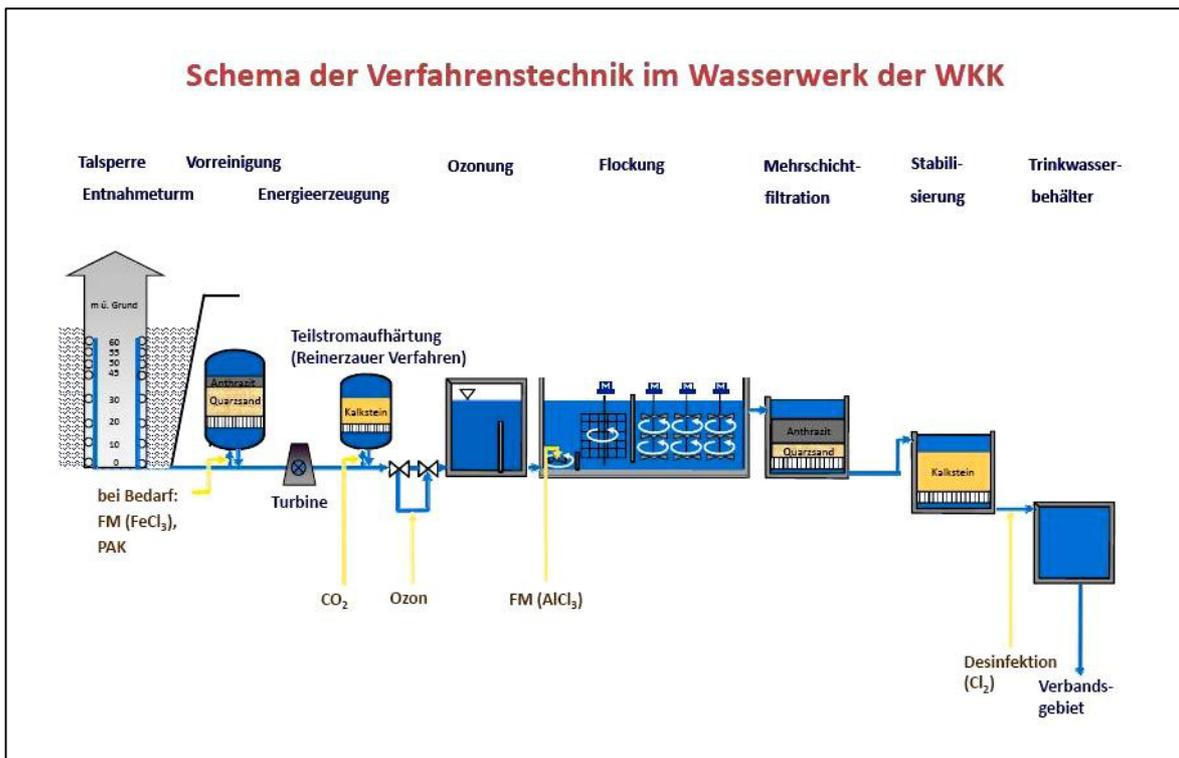


Abbildung 9: Schema der Verfahrenstechnik im Wasserwerk [6]

3.2 Vorreinigung



Abbildung 10: Vorreinigung [6]

Die Vorreinigung stellt den ersten Schritt der Trinkwasseraufbereitung dar. Hier fließt das Wasser durch acht 2-Schicht-Filtereinheiten (Druckfilter) mit Kohle (Anthrazit) und Sand (Quarzsand). Durch die Filtration werden Trübstoffe und Algen abgetrennt. Auf Grund von jahreszeitlichen Schwankungen (Seezirkulation im Frühling / Herbst), Niederschläge und Schmelzwasser kann sich die Qualität des Rohwassers verändern. Bei starker Trübung besteht an dieser Stelle die Möglichkeit einer Flockung. Als Fällungsmittel stehen in Deutschland unter anderem Eisenchlorid und Aluminiumchlorid zur Auswahl. Bei der Vorreinigung hat man sich für Eisenchlorid entschieden. Bei Bedarf kann auch Pulveraktivkohle eingesetzt werden. [6]



3.3 Turbinen (regenerative Energieerzeugung)



Das Rohwasser treibt zwei Turbinen (Francis-Spiralturbine, max. Leistung von 580 kW, jährliche Stromerzeugung ca. 2 Mio. kWh) an. [5] Dieser durch Wasserkraft erzeugte Strom wird in das Netz eingespeist.

Abbildung 11: Turbinenanlage [6]

3.4 Entspannungsbecken

Von der Turbinenanlage gelangt das Wasser über einen Quelltopf in das Entspannungsbecken.

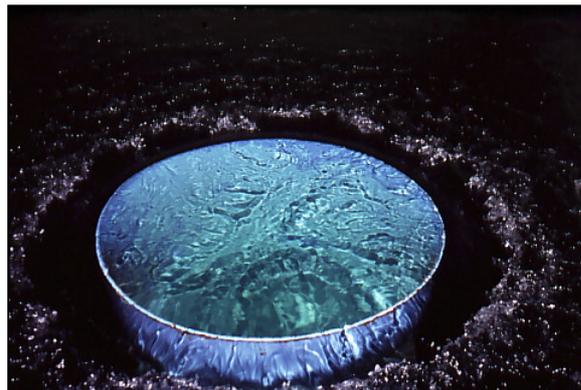


Abbildung 12: Entspannungsbecken [6]

Das Entspannungsbecken stellt den höchsten Punkt nach der Vorreinigung im Aufbereitungsprozess dar. Das aufzubereitende Wasser kann jetzt im freien Gefälle die einzelnen Aufbereitungsstufen durchlaufen. Damit das Bachbett der Kleinen Kinzig nicht trocken läuft, werden mindestens $100 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ der Kleinen Kinzig zugeführt. [2]



3.5 Teilstromaufhärtung – „Reinerzauer Verfahren“

Beim sehr weichen Talsperrenwasser der ZV WKK handelt es sich um einen natürlichen Säuerling. [2] Dadurch kann es zu Korrosionsschäden in den Rohwasserleitungen kommen, deshalb muss eine Aufhärtung (Entsäuerung) stattfinden. Im Reinerzauer Teilstromverfahren wird eine erste Aufhärtung vorweggenommen.



Abbildung 13: Teilstromaufhärtung [6]

Dazu werden 10% des Rohwassers entnommen und nach einer definierten Zugabemenge von Kohlenstoffdioxid durch drei calciumcarbonathaltige (kalksteinhaltige) Filterkessel geleitet. Durch die Zugabe von Kohlenstoffdioxid in Wasser entsteht Kohlensäure, welche aus dem Kalkstein Calciumionen herauslösen kann. Es wird eine Aufhärtung von $0,5^\circ$ auf 9° d Härte [6] erreicht. Ebenfalls wird dadurch der gewünschte pH-Wert für die darauffolgende Flockung eingestellt. Der aufgehärtete Teilstrom wird anschließend wieder dem restlichen Rohwasser (90%) vor der nächsten Aufbereitungsstufe zugemischt und eine Aufhärtung der Gesamtwassermenge von $0,5^\circ$ auf ca. 2° d Härte [6] erreicht. [2]



3.6 Ozonung

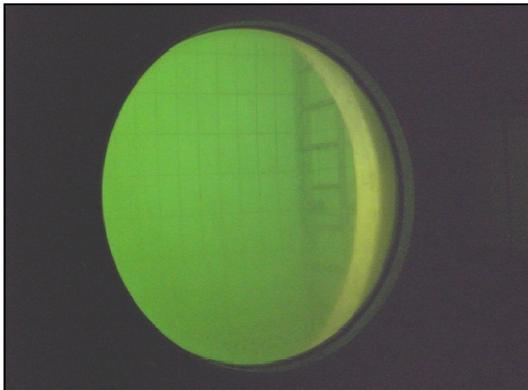


Abbildung 14: Einblick ins Ozonungsbecken [6]

In diesem Verfahrensschritt wird das Wasser mit Ozon versetzt. Das Ozon wird durch Luftsauerstoff mit Hilfe von vier Ozonerzeugern produziert. Durch die Zugabe von Ozon (aktiviertem Sauerstoff / starkes Oxidationsmittel) findet eine Inaktivierung der Mikroorganismen und eine Mikroflokkung statt. Hiermit ist auch die Sicherheit gewährleistet, dass organische Substanzen und Mikroorganismen, bedingt durch jahreszeitliche Schwankungen, nicht enthalten sind. [2]

3.7 Vermischungsbecken (Flockung)

Im Vermischungsbecken wird Flockungsmittel (Aluminiumchlorid), mittels eines Schnellrührers eingetragen. Es bilden sich Flocken aus, die durch weitere Langsamrührer in Schwebelage gehalten werden und stabilisiert werden.

Mit der Flockung wird eine Zusammenlagerung der Wasserinhaltsstoffe zu großen Teilchen (Makromolekülen) erreicht, welche anschließend in der Mehrschichtfiltration besser abgetrennt werden.

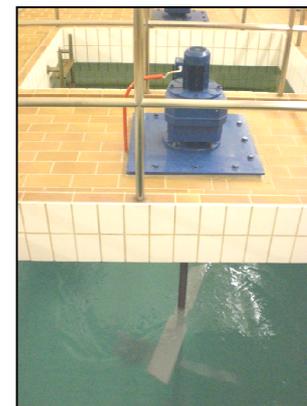


Abbildung 15: Vermischungsbecken mit Rührer [6]

3.8 Mehrschichtfiltration (Filterstufe 1)



Abbildung 16: Mehrschichtfiltration [6]

Bei der Mehrschichtfiltration werden die entstandenen Flocken abgetrennt. Das Wasser passiert verschiedene Filtrationsschichten, die Oberschicht (Hydroanthrazit), die Unterschicht (Quarzsand). Die fünf Mehrschichtfilter werden in regelmäßigen Zeitabständen gespült.



3.9 Aufhärtung (Filterstufe 2)



Das Wasser durchströmt drei Kalksteinfilter, dabei wird das restliche Kohlenstoffdioxid (freie, überschüssige Kohlensäure) aus dem Reinerzauer Verfahren abgebunden und eine Stabilisierung des Wassers von ca. 2 auf 3,5 °d Härte [6] erreicht.

Abbildung 17: Aufhärtungsbecken mit Kalksteinfilter [6]

3.10 Trinkwasserkammer

Nach der Aufhärtungsstufe wird das Trinkwasser in zwei Trinkwasserkammern geleitet.

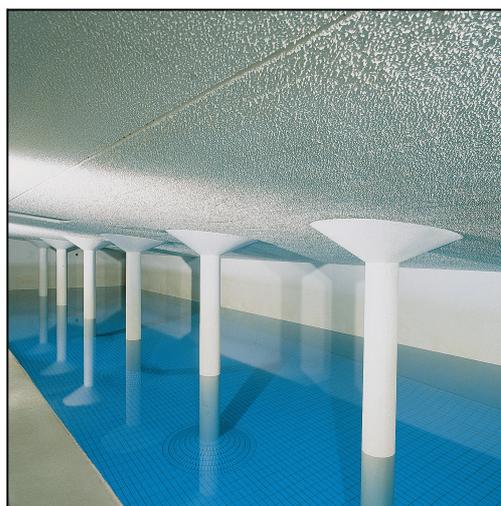


Abbildung 18: Trinkwasserkammer [6]

Oberflächenbeeinflusstes Wasser muss, bevor es in das Verteilungsnetz abgegeben wird desinfiziert werden. Durch Zugabe von Chlorgas wird das Filtrat der Filterstufe 2 desinfiziert. Chlor wird als häufigstes Desinfektionsmittel eingesetzt, da eine sichere Entkeimung erzielt wird. Außerdem besitzt Chlor eine hohe Depotwirkung, d.h. Chlor besitzt eine große Halbwertszeit und kann somit über längere Zeit als Desinfektionsmittel im Rohrnetz wirken. [1]



4. Verbandsgebiet

4.1 Leitungsnetz

Zur Trinkwasserverteilung der einzelnen Verbandsmitglieder dient ein 220 km langes Leitungsnetz. Während das Trinkwasser im eigenen Gefälle in den Weststrang (Kinzigtal) fließt, muss das Wasser in die Hochbehälter (max. Höhe 300 m) des Nordstranges (Richtung Freudenstadt und Horb) gepumpt werden. [4]

4.2 Hochbehälter

Die insgesamt 61 Hochbehälter des Verbandsgebietes dienen zur Speicherung des Trinkwassers. Von den Hochbehältern aus werden ungefähr 250000 Einwohner mit Trinkwasser versorgt. [4]

Der Zweckverband Wasserversorgung „Kleine Kinzig“ kontrolliert das Wasser auch am Einlauf der gemeindeeigenen Hochbehälter. Die Gemeinde selbst hat die Möglichkeit eigene Wässer (Quellen, Tiefbrunnen, etc.) zuzumischen und überwacht diese Zuläufe und den Gesamtablauf des Hochbehälters.



Abbildung 19: Hochbehälter im Verbandsgebiet [6]



5. Das Multi-Barrieren-System

Um die Wasservorkommen für die Trinkwassergewinnung zu schützen und um eine einwandfreie Trinkwasserqualität zu erhalten, ist ein System aus mehreren Sicherheitsstufen erforderlich. Dieses System wird Multi-Barrieren-System genannt und beginnt mit dem Schutz des Einzugsgebiets. Die Wassergewinnung, Aufbereitung, sowie die Speicherung und Verteilung bilden eine weitere Barriere, die zur Sicherheit der Trinkwasserqualität beiträgt. Damit der Verbraucher Trinkwasser in bester Qualität erhält ist die Auswahl der Werkstoffe für Rohrleitungen und Armaturen, eine weitere Maßnahme und von großer Bedeutung. [10] [11]



6. Praktischer Teil

6.1 Probenahme

Die Probenahme ist der wichtigste Teilschritt bei einer Analyse. Vom Probenort bis zur Analyse sollte das Wasser sich nicht verändern.

Probenahme > Probenvorbereitung > Analytik > Auswertung

Durch Fehler bei der Probenahme wird das Analysenergebnis nicht mehr reproduzierbar. Aus diesem Grund müssen für den Untersuchungszweck geeignete und saubere Probegefäße ausgewählt werden.

In der Regel werden für die Bestimmung anorganischer Stoffe Kunststoffflaschen und für die Untersuchung organischer Inhaltstoffe Glasflaschen verwendet. Außerdem sollten sich Wasserinhaltsstoffe nicht durch Adsorption an der Gefäßwand niederschlagen bzw. das Material der Gefäßwand muss inert sein, um die Wasserinhaltsstoffe nicht zu verändern. An den drei Zuflüssen, im Wasserwerk und am heimatlichen Hahn wurden Proben genommen und die Veränderung der vier Parameter (Gesamthärte, pH-Wert, Leitfähigkeit, Trübung) vom Zufluss über den Aufbereitungsprozess bis zum Verbraucher untersucht. (siehe Kapitel 6.3)

Im Wasserwerk gibt es Wasserhähne, die kontinuierlich Wasser abgeben (damit sie sofort beprobt werden können) und Wasserhähne, die erst geöffnet werden müssen, damit das Stagnationswasser abgelassen werden kann. Erst, wenn die Temperatur bzw. die Leitfähigkeit einen konstanten Wert erreicht hat, kann die Probenahme erfolgen. Die



Abbildung 20: Probenahme im Wasserwerk [6]

Probenahmeflaschen (PE-Flaschen), sowie die Verschlüsse müssen mit dem zu analysierenden Wasser durchgespült werden. Über einen Entnahmehahn wird dann das Probenwasser entnommen. Um Verwirbelungen beim Befüllen der Flasche zu vermeiden, lässt man das Wasser an der Flaschenwand einlaufen. Bei der Probenahme der Zuflüsse (Fließgewässer) wird das Wasser durch Untertauchen der Probeflasche gegen Strömungsrichtung entnommen. Bei beiden Probenahmetechniken erfolgt die Probenahme unter Luftabschluss, damit das Messergebnis nicht beeinflusst wird.



In der folgenden Abbildung ist das Schema der Verfahrenstechnik im Wasserwerk der ZV WKK dargestellt. Um die Veränderung des Wassers während der Aufbereitung zu zeigen, wurden Proben an unterschiedlichen Stellen, die in der Grafik eingezeichnet sind, im Wasserwerk genommen und untersucht.

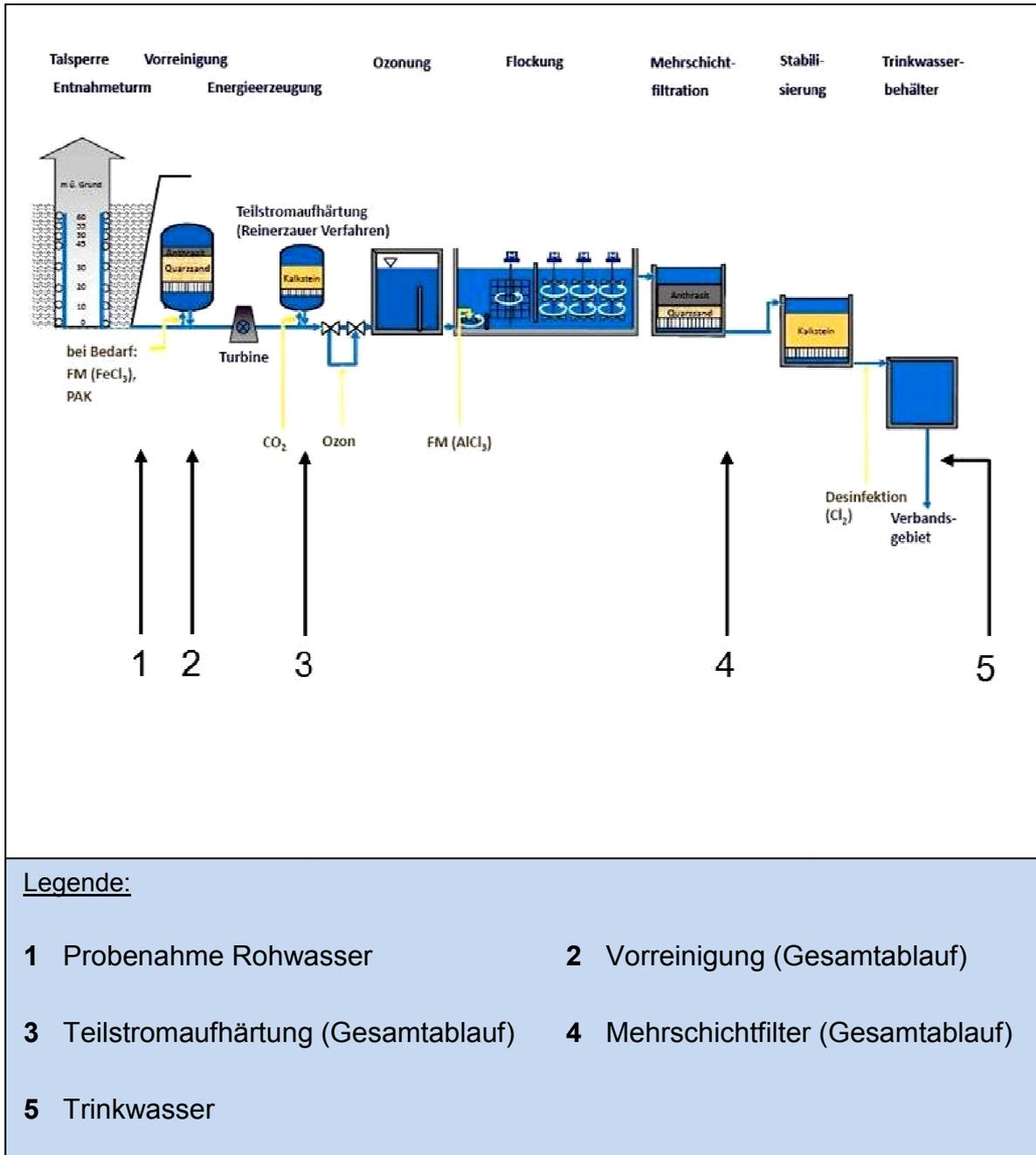


Abbildung 21: Verfahrensschema mit Probenentnahmestellen [6]



6. 2 Probenvorbereitung und Bestimmung der untersuchten Parameter

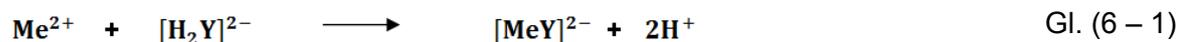
6.2.1 Bestimmung der Gesamthärte

Die Gesamthärte ist ein Maß für den Gehalt von Calcium- und Magnesium-Ionen (Erdalkalimetalle) im Wasser. Je größer diese Stoffmengenkonzentration im Wasser ist, desto härter ist das Wasser. Deshalb werden diese Ionen auch als Härtebildner bezeichnet. [3] Die Gesamthärte wird in $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (oder Grad deutscher Härte ($^{\circ}\text{dH}$)) angegeben.

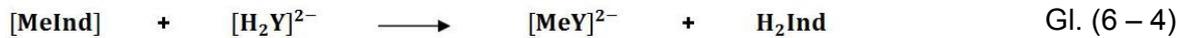
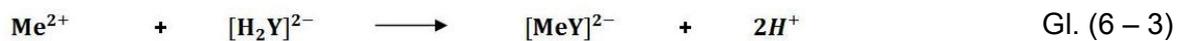
Wird hartes Wasser erhitzt, so fällt Kalk (Calciumcarbonat) aus, welcher sich an den Wänden von Rohren und Heißwasserspeichern als „Kesselstein“ festsetzt. Dieser Kesselstein verengt zum einen den Querschnitt der Rohrleitungen und zum anderen behindert er, als Wärmeisolator den Wärmeaustausch. Im Gegensatz dazu kann weiches Wasser, welches überschüssige Kohlensäure enthält Korrosionsschäden in Wasserleitung verursachen. [1]

Die Wasserhärte ist von den Bodenschichten und Gesteinen, durch welche das Wasser fließt, abhängig. Sickert das Wasser durch kalkhaltige Schichten (z.B. Schwäbische Alb), so werden Calcium Ionen herausgelöst und es entsteht hartes Wasser.

Calcium- und Magnesiumionen (zweiwertige Metallionen) können durch komplexometrische Titration (Chelatometrie) maßanalytisch bestimmt werden. Als Maßlösung wird das Natriumsalz der Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA), welches auch unter dem Handelsname Titriplex III ($[\text{H}_2\text{Y}]^{2-}$) erhältlich ist, verwendet. Die Komplexbildung zwischen EDTA und den mehrwertigen Metallkationen (z.B. Me^{2+}) erfolgt im Verhältnis 1:1 (Gl. (6 – 1)). [3]



Zur Erkennung des Äquivalenzpunktes werden Metallindikatoren ($[\text{MeInd}]$), die ebenfalls Komplexbildner sind, eingesetzt. Diese Indikatoren bilden mit den zu titrierenden Kationen Komplexe, die anders gefärbt sind als die freien Indikatoren (siehe Gl. (6 – 2)). Beim Titrieren mit EDTA werden zuerst die freien Metallionen erfasst (siehe Gl. (6 – 3)). Am Äquivalenzpunkt wird der Metallindikator-Komplex zerstört, d.h. die Metallionen werden aus dem Komplex verdrängt und mit EDTA titriert (siehe Gl. (6 – 4)). Der Farbumschlag ist dann durch das Auftreten der Farbe des freien Metallindikators erkennbar. Dabei ist zu beachten, dass der Metall-EDTA-Komplex stabiler ist als der Metall-Indikator-Komplex. [3]



Eine Grundvoraussetzung bei der komplexometrischen Titration mit EDTA ist die Einstellung/ Stabilisierung des pH-Wertes. Bei der Reaktion bilden sich pro Metallion zwei Wasserstoffionen (siehe Gl. (6 - 2)). Entstehen bei der Titration Metallkomplexe, die nicht beständig gegen Protonen sind, so müssen Pufferlösungen eingesetzt werden. [3]

Die Probenahme des Analysenwassers erfolgt in einer PE-Flasche. Falls die Probe eine visuelle Trübung aufweist muss das Wasser abfiltriert werden. Danach werden 100 mL des Analysenwassers in ein Becherglas pipettiert. Anschließend wird die Probe aufgeköcht, um Kohlenstoffdioxid auszutreiben. Beim Alkalisieren kann aus Kohlenstoffdioxid und Hydrogencarbonat Carbonat, welches störend wirkt, gebildet werden. Nach dem Abkühlen wird eine Indikatorpuffertablette gelöst und zur Pufferung / pH-Einstellung ca. 2 mL konzentrierter Ammoniak ($w=0,25$) gegeben. Mit einer Titriplex III - Maßlösung wird bis zum Farbumschlag von rot nach grün titriert. Im Labor der Kleinen Kinzig wird zur Qualitätssicherung vor jeder Titrationsserie eine Kontrolllösung (Calcium-Standardlösung) mit bekanntem Gehalt titriert.



Abbildung 23: Titration der Gesamthärte mit Digitalburette



Abbildung 22: Umschlag des Indikators von rot nach grün



6.2.2 Bestimmung pH- Wert

Der pH-Wert ist ein Maß für die Wasserstoffionenkonzentration einer wässrigen Lösung. Er ist definiert als der negative Zehnerlogarithmus der Protonenkonzentration. Er ist eine temperaturabhängige Größe und gibt an, wie stark sauer bzw. basisch das zu untersuchende Wasser reagiert. Das Wasser der Talsperre liegt unter pH 7 ($\text{pH} \sim 6,55$), (siehe S.22 Tabelle 1) es ist demnach leicht sauer, da u.a. überschüssige Kohlensäure vorliegt. Auf Grund von chemischen (Adsorption an Gefäßwand), physikalischen (Temperatur) und biologischen (Bakterien) Vorgängen kann sich der pH-Wert durch Transport einer Wasserprobe verändern, deshalb sollte die Messung wenn möglich an der Probenahmestelle durchgeführt werden. Besteht diese Möglichkeit nicht, erfolgt die Probenahme unter Luftabschluss in einer PE-Flasche.

Im Labor wird die Messung mittels einer elektrochemischen Messmethode durchgeführt. Zur pH-Messung werden zwei Elektroden benützt, eine Messelektrode (Glaselektrode) und eine Bezugslektrode (Vergleichselektrode). Die Kombination aus diesen beiden Elektroden wird als Einstabmesskette bezeichnet. [1] [12]

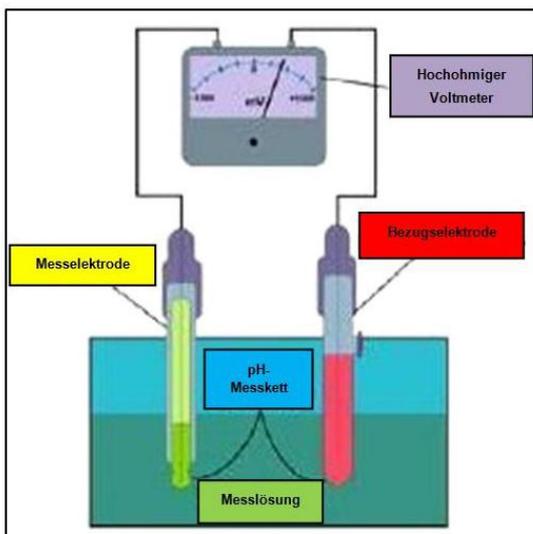


Abbildung 24: Versuchsaufbau einer Einstabmesskette [12]

Die Bezugslektrode (äußere Kammer) besteht aus einem silberchloridbeschichteten Silberdraht und befindet sich in einer 3 molaren Kaliumchlorid-Lösung. Als Messelektrode (innere Kammer) wird ein ebenfalls mit Silberchlorid beschichteter Silberdraht eingesetzt. Die Messelektrode ist mit einer Pufferlösung, die eine definierte Menge an Kaliumchlorid-Lösung enthält und (normaler-weise) $\text{pH}=7$ besitzt gefüllt. Durch ein Diaphragma an der Elektrode, entsteht eine elektrische Verbindung zur Messlösung (Diffusion der Kaliumchlorid-Lösung nach

außen in das Messgut), sodass der Stromkreis geschlossen ist und eine Spannungsmessung möglich ist. Aus diesem Grund muss bei der Messung darauf geachtet werden, dass sich das Diaphragma vollständig in der Lösung befindet. Bei der Messung wird die Messkette in die zu prüfende Lösung getaucht, dabei wird durch die Potentialdifferenz der beiden Elektroden eine Spannung (in mV) erzeugt, aus welcher dann der pH-Wert berechnet wird. Die Innenseite der Messelektrode



(Membranoberfläche) besitzt, bedingt durch die Pufferlösung eine stabile Ionenladung. Die Ionenladung an der Außenseite der Membran, die in Kontakt mit der Messlösung steht, ist dagegen variabel. Auf Grund der unterschiedlichen Ionenladung kann sich ein Potential aufbauen.

Dieses Potential der Messelektrode wird nun mit dem definierten Potential der Bezugslektrode verglichen, dabei entsteht die Potentialdifferenz. [12]

Bevor die Messung des pH-Wertes stattfinden kann muss die Elektrode mit Hilfe von Standard-Pufferlösungen kalibriert werden. Die Kalibrierung erfolgt zuerst mit der neutralen Pufferlösung (pH=7). Da der Innenpuffer der Messelektrode ebenfalls einen pH-Wert von 7 hat, beträgt die Potentialdifferenz (Asymmetriepotential) 0 mV. Nach der Einstellung des Nullpunktes erfolgt eine Kalibrierung im sauren oder basischen Bereich (Zweipunktkalibrierung). Für den sauren Bereich wird eine Pufferlösung mit pH=4, für den basischen Bereich eine Pufferlösung mit pH=9 verwendet. Trägt man die entstehenden Spannungen in ein mV/pH- Diagramm ein, so erhält man eine Kalibriergerade. Aus der gemessenen Spannung einer Analysenlösung, kann dann der pH-Wert aus der Kalibrierkurve abgelesen werden oder mit Hilfe der Nernstschen Gleichung berechnet werden. [1] [12] Dieser beschriebene Ablauf zur pH-Berechnung erfolgt im pH-Meter. Nach der Kalibrierung kann der pH-Wert gemessen werden.

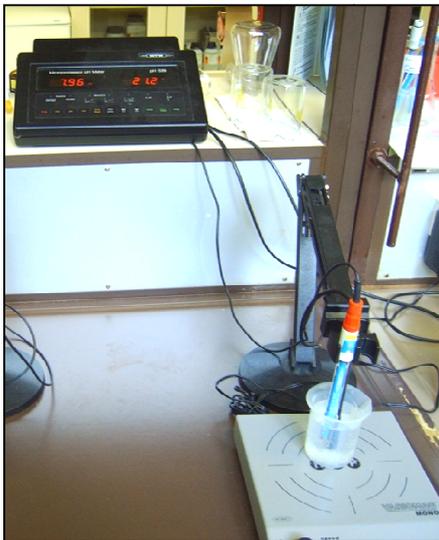


Abbildung 25: Messung des pH-Wertes [6]

Zu Beginn werden die Elektrode und der Temperaturfühler mit demineralisiertem Wasser abgespült. Danach wird die Elektrode plus Temperaturfühler in das Analysenwasser getaucht. Für eine gleichmäßige Bewegung der Ionen in der Lösung wird ein Rührfisch verwendet, der aber kurz vor der Ablesung ausgeschaltet wird. Bleibt die Anzeige des Messwertes konstant, so kann dieser Wert abgelesen werden. Der Messvorgang sollte nicht zu lange dauern, da ein Kohlenstoffdioxid-Austausch mit der Luft das Messergebnis beeinflussen kann. Nach dem Vorgang wird die Elektrode mit demineralisiertem Wasser abgespült und in einer Kaliumchlorid gefüllten Plastikkappe aufbewahrt.



6.2.3 Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeit ist ein Maß für die Menge an gelösten Ionen (geladene Teilchen) im Wasser. Sie ist abhängig von der Konzentration und dem Dissoziationsgrad der gelösten Elektrolyte. Je höher dieser Gehalt, desto besser leitet das Wasser den elektrischen Strom.

Die Leitfähigkeit ist definiert, als der Kehrwert des spezifischen elektrischen Widerstandes und wird in Mikrosiemens pro cm angegeben. Außerdem gibt die Leitfähigkeit Auskunft über den Mineralstoffgehalt im Wasser.

Mit steigender Temperatur nimmt die Leitfähigkeit einer Wasserprobe zu, da mehr wasserlösliche Stoffe in Lösung gehen können. Damit man Wasserproben mit unterschiedlicher Temperatur vergleichen kann, müssen die Messwerte auf eine einheitliche Referenztemperatur bezogen werden. Das Messgerät (Konduktometer) ist dafür mit einer automatischen Temperaturkompensation auf die Bezugstemperatur 25°C ausgestattet.

Die Leitfähigkeitsmesszelle besteht aus zwei Elektroden, an denen eine Wechselspannung angelegt wird. Aus dem Strom, der durch die Ionen entsteht, kann das Gerät dann unter Berücksichtigung der Zellkonstante die Leitfähigkeit berechnen. [1] [13]

Die Probenahme des Analysenwassers erfolgt in einer PE-Flasche. In der Regel wird die Messung der Leitfähigkeit während der Probenahme durchgeführt. Die

Messung sollte so früh wie möglich durchgeführt werden, da zum Beispiel ein Gasaustausch (Kohlenstoffdioxid /

Ammoniak) mit der Umgebung (Laborluft) stattfindet. Die Messzelle des Konduktometers wird in die Wasserprobe gehalten, bis die Anzeige konstant ist. Nach der Messung wird die Messzelle mit demineralisiertem Wasser abgespült und im trockenen Zustand aufbewahrt.



Abbildung 26: Konduktometer



6.2.4 Bestimmung der Trübung

Die Trübung ist ein Maß für die Reinheit einer Flüssigkeit. Durch die Anwesenheit von ungelösten Substanzen wird die Durchsichtigkeit beeinflusst. Die Trübung kann deshalb auch als optisches Qualitätsmerkmal betrachtet werden. Bei der Messung der Trübung einer Wasserprobe können Lehm, Ton und Sandpartikel (mineralische Trübung) erfasst werden. Die Messung erfolgt mit einem Trübungsmessgerät. Dabei wird ein optisches Messverfahren angewendet. Durch eine Wasserprobe, die durch ungelöste Substanzen eine Trübung aufweist, wird ein Lichtstrahl mit bekannter Wellenlänge (Europa: Infrarot Licht: 860 Nanometer) geschickt. Dabei wird das Licht gestreut und durch Absorption geschwächt. Das Trübungsmessgerät misst dann die Intensität des Streulichts im 90 Grad Winkel. Die Einheit der Trübung wird in FNU (Formazine Nephelometric Unit) angegeben. [14] [15] [16]



Abbildung 27:
Trübungsmessgerät [6]

Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche. Falls die Analyse nicht am Probenstag erfolgt, wird die Wasserprobe im Kühlschrank aufbewahrt (max. 24 Stunden). Für die Messung muss die Probe auf Raumtemperatur erwärmt werden um eine Störung des Analysensignals, durch eine beschlagene Küvette zu vermeiden. Bevor das Analysenwasser in die Messküvette gefüllt wird, muss die Probe vorsichtig homogenisiert werden, da ungelöste Teilchen sich schnell absetzen können. Beim Einsetzen der Küvette in den Küvettenschacht wird das Gerät automatisch eingeschaltet. Nach der Signalkonstanz kann der Messwert abgelesen werden.



6.3 Analyseergebnisse

In den folgenden Tabellen sind die Analyseergebnisse zusammengefasst. Die Messwerte befinden sich in den jeweils angefertigten Protokollen (siehe: Anhang B).

6.3.1 Zuflüsse

In Tabelle 1 wird ein Überblick der Analyseergebnisse aus den Zuflüssen gegeben.

Datum Messung	Parameter	Einheit	Kleine Kinzig	Teufelsbächle	Huttenbächle
01.08.2012	Gesamthärte	[mmol · L ⁻¹]	0,15	0,10	0,17
		[°dH]	0,8	0,6	1,0
31.07.2012	pH- Wert	[1]	6,9 bei 19,8 °C	6,5 bei 19,7 °C	6,6 bei 19,7 °C
01.08.2012	Leitfähigkeit (25°C)	[μS · cm ⁻¹]	51,2	30,8	41,7
31.07.2012	Trübung	[FNU]	0,195	0,187	0,131

Tabelle 1: Analyseergebnisse Zuflüsse



6.3.2 Wasserwerk und Verbraucher

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Analysenergebnisse aus dem Wasserwerk und vom Verbraucher.

Datum Messung		30.07.2012	30.07.2012	10.08.2012	30.07.2012	30.07.2012	31.07.2012
Parameter	Einheit	Rohwasser	Vorreinigung (Gesamtablauf)	Teilstromaufhärtung (Gesamtablauf)	Mehrschichtfilter (Gesamtablauf)	Trinkwasser	Wasserhahn Verbraucher
Gesamthärte	[mmol · L ⁻¹]	0,14	0,13	1,55	0,35	0,66	0,68
	[°dH]	0,8	0,7	8,7	2,0	3,7	3,8
pH- Wert	[1]	6,5 bei 20,1 °C	6,4 bei 19,9 °C	7,2 bei 19,0 °C	6,8 bei 19,7 °C	8,0 bei 19,8°C	8,3 bei 18,5°C
Leitfähigkeit (25 °C)	[μS · cm ⁻¹]	40,8	40,5	365,0	86,0	144,5	143,3
Trübung	[FNU]	0,366	0,234	0,136	0,186	0,069	0,110

Tabelle 2: Analysenergebnisse Wasserwerk und Verbraucher



Da nach Rücksprache die Werte der Trübung bei der Messung im Wasserwerk (insbesondere bei Mehrschichtfilter (Gesamtablauf), Trinkwasser und beim Wasserhahn Verbraucher (siehe: Tabelle 2) zu hoch gegenüber den Richtwerten sind, wird eine zweite Messung der Trübung durchgeführt. Die Messwerte zur zweiten Messung der Trübung befinden sich im Protokoll 5 im Anhang B.

In Tabelle 3 sind die Analysenergebnisse der zweiten Messung der Trübung im Vergleich zur ersten Messung dargestellt. Die Messung wurde am 06.09.2012 wiederholt.

Parameter	Einheit	Rohwasser	Vorreinigung (Gesamtablauf)	Teilstromaufhärtung (Gesamtablauf)	Mehrschichtfilter (Gesamtablauf)	Trinkwasser	Wasserhahn Verbraucher
Trübung Messung 1 (siehe: Tabelle 2)	[FNU]	0,366	0,234	0,136	0,186	0,069	0,110
Trübung Messung 2	[FNU]	0,383	0,171	0,190	0,055	0,058	0,064

Tabelle 3: Vergleich erste und zweite Messung der Trübung

Die zu hohen Werte, bei der ersten Messung der Trübung können durch die Art des Homogenisierens (schütteln, drehen), vor der Messung verursacht werden. Bei der Probenahme am heimatischen Hahn wurde bei der ersten Probenahme der Perlator nicht entfernt, dies ist auch ein möglicher Grund für eine zu hohe Trübung. Der Perlator ist vor einer Probenahme zu entfernen, da er Luft in den Wasserstrahl bringt. Die sich im Wasser befindenden Luftblasen können das Ergebnis verfälschen.



6.4 Auswertung

Für die Auswertung wurde die zweite Messung der Trübung (Messung am 06.09.2012 siehe Tabelle 3) berücksichtigt. Da es sich bei der Kleinen Kinzig um den größten Zufluss handelt, wurde dieser für die Auswertung gewählt.

6.4.1 Veränderung der Parameter während des Aufbereitungsprozesses

6.4.1.1 Gesamthärte



Abbildung 28: Diagramm Gesamthärte – Probenahmestellen

Das Diagramm Abbildung 28 zeigt, wie sich die Gesamthärte des Wassers vom Zufluss (Kleine Kinzig) über den Aufbereitungsprozess bis hin zum Verbraucher verändert. Zu Beginn besitzt das Wasser der Kleinen Kinzig eine Gesamthärte von 0,8 °dH (siehe Tabelle 1). Der Härtebereich wird als weich eingestuft d.h. der Gehalt an Calciumionen, Calciumcarbonat (Kalk) im Wasser ist niedrig.

Dieses Untersuchungsergebnis lässt sich durch die Gesteinsschichten im Schwarzwald begründen, die vorwiegend aus kalkarmem Granit und rotem Bundsandstein bestehen. [2] Da das weiche Wasser natürliche, überschüssige Kohlensäure enthält und dadurch sauer reagiert, muss laut Trinkwasserverordnung (DIN 2001, in der Fassung vom



03.05.2011) im Aufbereitungsprozess eine Aufhärtung (Entsäuerung) stattfinden, um Korrosionsschäden in Wasserleitungen zu vermeiden. Das Rohwasser und der Ablauf der Vorreinigung zeigen keine Veränderung der Gesamthärte gegenüber dem Wasser der Kleinen Kinzig. Bei der Vorreinigung findet eine erste Filtration des Wassers statt, die aber keinen Einfluss auf die Gesamthärte hat. Im nächsten Schritt ist ein deutlicher Anstieg der Gesamthärte von 0,7 °d Härte (siehe Tabelle 2 Vorreinigung Gesamtablauf) auf 8,7 °dH (siehe Tabelle 2 Teilstromaufhärtung Gesamtablauf) zu sehen. Bei dieser Analyse wurde eine Probe vom Ablauf der Teilstromaufhärtung genommen, d.h. die 10% des Rohwassers (Reinerzauer Verfahren) die durch kalkhaltige Filterkessel mit definierter Zugabemenge von Kohlenstoffdioxid geleitet werden, wurden auf die Gesamthärte untersucht. Bei der Untersuchung wurde ein Härtegrad des Teilstromes von 8,7 °dH (siehe Tabelle 2 Teilstromaufhärtung Gesamtablauf) ermittelt. Das Wasser im Ablauf der Mehrschichtfiltration zeigt einen Anstieg der Gesamthärte gegenüber dem Rohwasser, da die aufgehärteten 10% des Teilstroms dem weichen Rohwasser (90%) zugemischt werden. Durch diese Teilstromaufhärtung wird die Gesamthärte auf 2 °dH (siehe Tabelle 2 Mehrschichtfilter Gesamtablauf) gesetzt. Nach der Mehrschichtfiltration erfolgt im Aufbereitungsprozess eine Stabilisierung der Gesamthärte. Hier wird das gesamte Wasser über einen Kalkstein geleitet und das restliche Kohlenstoffdioxid (überschüssige Kohlensäure) abgebunden und eine Gesamthärte des Trinkwassers von 3,7 °dH (siehe Tabelle 2 Trinkwasser) erreicht. Die ermittelte Gesamthärte von 3,8 °dH (siehe Tabelle 2 Wasserhahn Verbraucher) beim Verbraucher zeigt, dass es sich, in Bezug auf die Gesamthärte, um Trinkwasser handeln muss, das zu 100% von der ZV WKK stammt.



6.4.1.2 pH- Wert

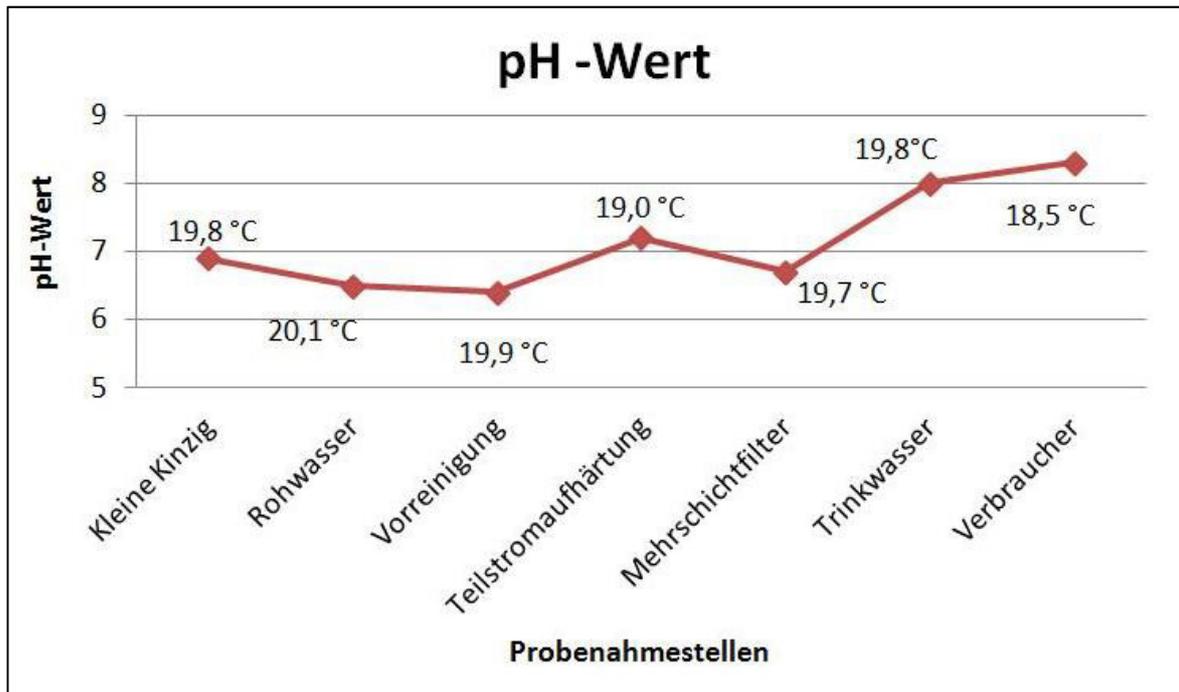


Abbildung 29: Diagramm pH-Wert - Probenahmestellen

Der pH-Wert des Zuflusses Kleine Kinzig (pH=6,9 bei 19,8°C siehe Tabelle 1) zeigt eine geringe Abweichung zum pH-Wert des Rohwassers (6. Entnahmestockwerk, Tiefe: 30 Meter über Grund) (pH=6,5 bei 20,1°C; siehe Tabelle 2). Das Rohwasser wird in der Talsperre gesammelt und setzt sich unter anderem aus Niederschlägen (Regen) und den zwei anderen Zuflüssen (Teufelsbächle und Huttenbächle), die einen niedrigeren pH-Wert haben, als die Kleine Kinzig, (siehe Tabelle 1) zusammen. Die Ursache für den etwas niedrigeren pH-Wert des gespeicherten Rohwassers in der Talsperre, kann auch zusätzlich zum einen durch den Kohlenstoffdioxid - Austausch mit der Umgebung oder durch Abbauprozesse von Wasserorganismen (Atmung) bedingt sein. Durch das gelöste Kohlenstoffdioxid (CO₂) entsteht Kohlensäure (H₂CO₃), welche dem Wasser (H₂O) die leicht saure Eigenschaft gibt. (siehe Gl. (6 – 5))



Da das Trinkwasser nicht korrosiv wirken darf, muss der pH-Wert, laut Trinkwasserverordnung (DIN 2001, in der Fassung vom 03.05.2011) nach der Aufbereitung zwischen pH=6,5 und pH=9,5 liegen.

Durch die Vorreinigung wird wie auch bei der Gesamthärte der pH-Wert nicht beeinflusst.



Bei der Untersuchung des Gesamtablaufs der Teilstromaufhärtung wurde ein pH-Wert von 7,2 bei 19,0°C (siehe Tabelle 2) ermittelt. Der 10%-prozentige Teilstrom des Rohwassers wird über einen Kalkstein geleitet, dabei wird zusätzlich eine definierte Zugabemenge an Kohlenstoffdioxid beigemischt. Die Kohlensäure, die durch die Kohlenstoffdioxid-Dosierung entsteht löst aus dem Kalkstein Calciumionen heraus und bewirkt dadurch eine Verschiebung des Kalk-Kohlensäure- Gleichgewichts (siehe Kapitel 7) und somit auch eine pH-Wert Änderung.

Durch die Teilstromaufhärtung (Teilstromentsäuerung) wird ein pH-Wert von 7,2 des Teilstroms erreicht (siehe Tabelle 2). Der aufbereitete Teilstrom bildet dann mit dem restlichen Rohwasser (90%) einen optimalen pH-Wert zwischen 6,6 und 6,8 [6], für die darauffolgende Flockung. Der pH-Wert nach der Flockung und anschließender Mehrschichtfiltration liegt bei 6,8 (siehe Tabelle 2). Im nächsten Schritt wird der pH-Wert durch die Restentsäuerung, bei der die restliche, überschüssige Kohlensäure, mittels eines Kalksteines entfernt wird, stabilisiert. Das Trinkwasser besitzt dann einen pH-Wert von 8,0 bei 19,8 °C (siehe Tabelle 2). Beim Verbraucher liegt der pH- Wert bei 8,3 (siehe Tabelle 2), etwas höher als beim Trinkwasserablauf im Wasserwerk. Diese Änderung kann z. B. durch physikalische, chemische oder biologische Vorgänge, die während des Transportes der Wasserprobe ins Labor ablaufen können verursacht werden. Weiterhin ist zu beachten, dass das Wasser im Haushalt schon eine weite Reise hatte. Diese Reise dauert ca. drei Tage.



6.4.1.3 Leitfähigkeit

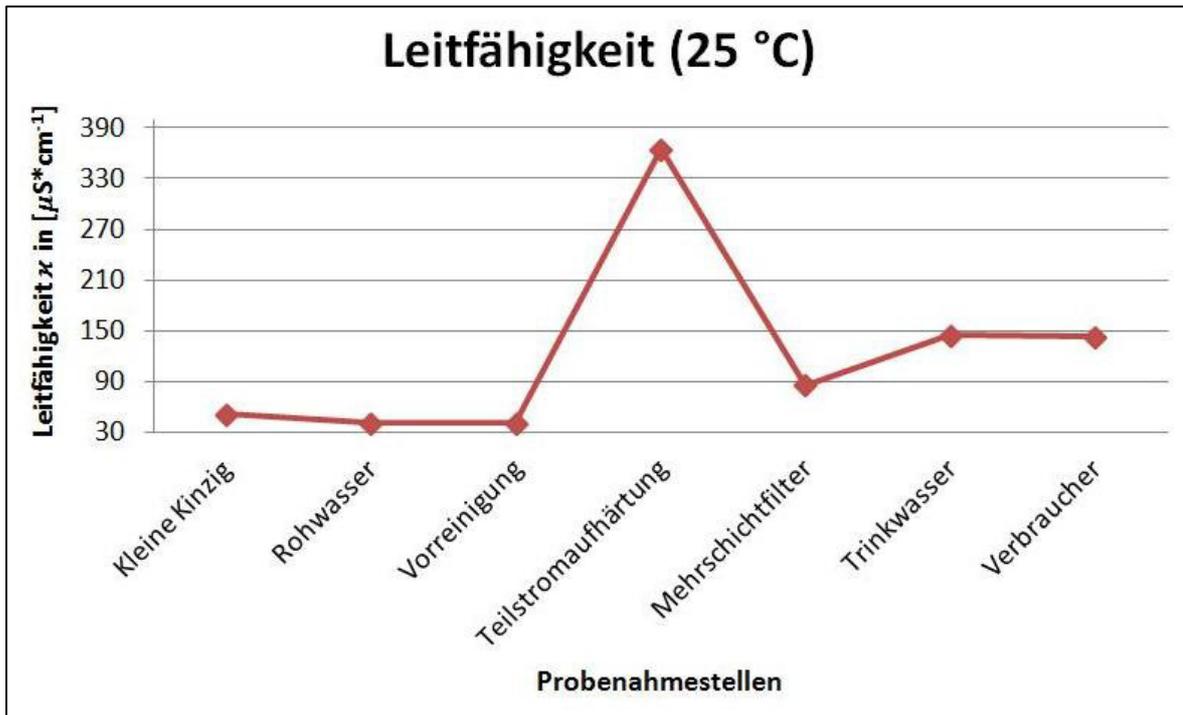


Abbildung 30: Diagramm Leitfähigkeit - Probenahmestellen

Die Leitfähigkeit gibt Auskunft über den Ionengehalt (Anionen und Kationen) im Wasser. Dadurch, dass die Zuflüsse der Talsperre weichen Charakter aufweisen und somit wenige Calciumionen enthalten, ist auch die Leitfähigkeit dementsprechend gering. Bis zum Gesamtablauf der Vorreinigung zeigt die Leitfähigkeit keine Veränderung. Im Gesamtablauf der Vorreinigung wurde eine Leitfähigkeit von $40,5 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (siehe Tabelle 2) ermittelt. Mit dem Reinerzauer Verfahren wird eine erste Aufhärtung (Teilstromaufhärtung) und demzufolge auch ein Anstieg der Leitfähigkeit auf $365 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (siehe Tabelle 2) erreicht. Da der aufgehärtete Teilstrom (10 %) mit dem restlichen Rohwasser vermischt wird, ist nach der Analyse am Mehrschichtfilter, bezüglich des Rohwassers ein Anstieg der Leitfähigkeit auf $86 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (siehe Tabelle 2) zu sehen. Um den pH-Wert in den vorgeschriebenen pH-Bereich zu bringen, findet nach der Mehrschichtfiltration eine Restentsäuerung (Stabilisierung) statt, indem das Wasser über einen Kalkstein geleitet wird. Dadurch erhöht sich die Calciumionenkonzentration im Wasser und somit auch die Leitfähigkeit.

Das Trinkwasser hat dann eine Leitfähigkeit von $144,5 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (siehe Tabelle 2). Laut Trinkwasserverordnung (DIN 2001, in der Fassung vom 03.05.2011) darf die Leitfähigkeit den Richtwert $2790 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ bei 25°C nicht überschreiten.



6.4.1.4 Trübung

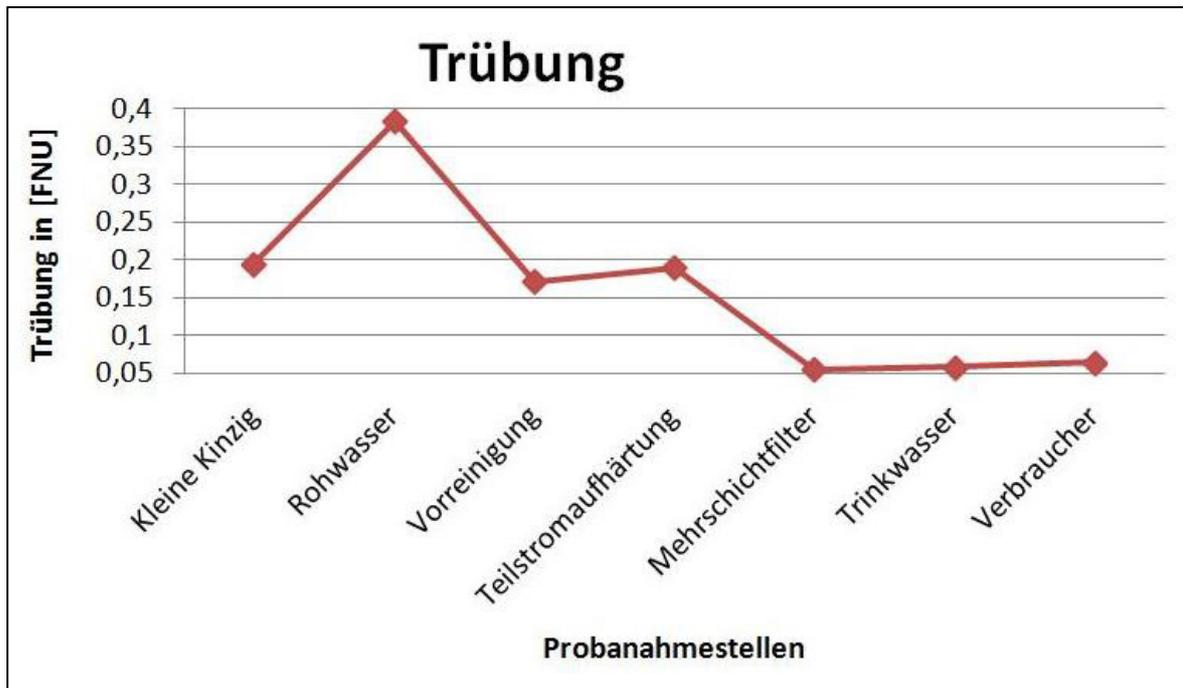


Abbildung 31: Diagramm Trübung - Probenahmestellen

Mit Hilfe der Trübung, kann man eine Aussage über den Gehalt an ungelösten Partikeln im Wasser machen. Die Trübung des Wassers ist allerdings vom Wetter und von der Jahreszeit abhängig. Durch Niederschläge und Einwaschungen von Ufersedimenten, Blättern, Huminstoffe, aber auch durch die Seezirkulation (Frühjahr / Herbst) können Trübungen eingetragen werden. Die Wetterlage am Tag der Probenahme war sonnig, leicht bewölkt und trocken, in den letzten Tagen gab es kaum Regen, sodass das Wasser der Zuflüsse eine geringe Trübung zeigt. Die Zuflüsse liefern der Talsperre ständig frisches Wasser. Das gespeicherte Rohwasser in der Talsperre weist zu diesem Zeitpunkt, im Vergleich zu den Zuflüssen eine etwas stärkere Trübung auf (siehe Tabelle 1 und Tabelle 3). Da es sich bei dem Talsperrenwasser um Oberflächenwasser handelt und der künstlich angelegte Stausee ein Ökosystem darstellt, entsteht besonders im Sommer auf Grund des vermehrten Algenwachstums in den oberen Lichtschichten eine Algentrübung. [6] Durch die Sauerstoffproduktion der Algen erfolgen natürliche Reinigungsprozesse.

Die Vorreinigung stellt den ersten Schritt des Aufbereitungsprozesses im Wasserwerk dar. Dabei wird eine erste Filtration des Rohwassers vorgenommen, wobei Trübstoffe und Algen schon teilweise abgetrennt werden. Nach diesem Schritt zeigt die Analyse eine klare Senkung der Trübung von 0,383 FNU auf 0,171 FNU (siehe Tabelle 3). Nachdem



10% des bereits vorgereinigten Wassers die calciumcarbonathaltigen Filterkessel des Teilstromverfahrens durchlaufen haben, zeigt der Ablauf des Teilstromes 0,190 FNU (siehe Tabelle 3) an. Auch hier werden Trübungspartikel zurückgehalten.

Allerdings gehen auch Feinanteile von Calciumcarbonat ungelöst mit ins Wasser, dies kann bei frisch eingefülltem Kalk-Material vorkommen. Nach einiger Zeit ist dieser Feinanteil jedoch ausgewaschen. Nimmt man die Probe am Ablauf des Teilstromes, bei einem frisch gefüllten Filter, so ist die Trübung höher, als bei einem eingefahrenen Filter. Der Teilstrom und die übrigen 90% des vorgereinigten Wassers passieren nun die Flockung und Mehrschichtfiltration. In der Flockung werden die Teilchen aneinandergelagert, sodass mit den anschließenden Mehrschichtfiltern eine bessere Filtration erreicht wird. Durch die Filtration der Mehrschichtfilter sinkt die Trübung bezüglich der Vorreinigung von 0,171 FNU auf 0,055 FNU (siehe Tabelle 3). Das aufbereitete Wasser wird jetzt im letzten Schritt, wie im Teilstromverfahren über einen Kalksteinfilter geleitet und anschließend im Zulauf zu den Trinkwasserkammern desinfiziert. In diesem Fall hat die Filterstufe 2 (Aufhärtung) keine Auswirkung auf die Trübung. Obwohl Trübungspartikel zurückgehalten werden können, können gleichzeitig aber auch Feinanteile an ungelöstem Kalk ins Wasser abgegeben werden. Das Trinkwasser besitzt im Ablauf der Trinkwasserkammern nun eine Trübung von 0,058 FNU (siehe Tabelle 3). Nach der Trinkwasserverordnung (DIN 2001, in der Fassung vom 03.05.2011) darf der Grenzwert 1,000 FNU nicht überschritten werden. Der Grenzwert gilt als eingehalten, wenn am Ausgang des Wasserwerks dieser Wert nicht überschritten wird. Die etwas höhere Trübung beim Verbraucher von 0,064 FNU kann durch Rohrleitungen und durch den Transport der Wasserprobe bedingt sein.



Das Kohlenstoffdioxid aus der Umgebung löst sich im Wasser und reagiert zu Kohlensäure. Je nachdem welcher pH-Wert vorliegt kann die Kohlensäure unterschiedlich stark dissoziieren. [17]



In Abbildung 32 ist der Anteil an Kohlendioxid + Kohlensäure, Hydrogencarbonat und Carbonat im Wasser in Abhängigkeit vom pH-Wert dargestellt.

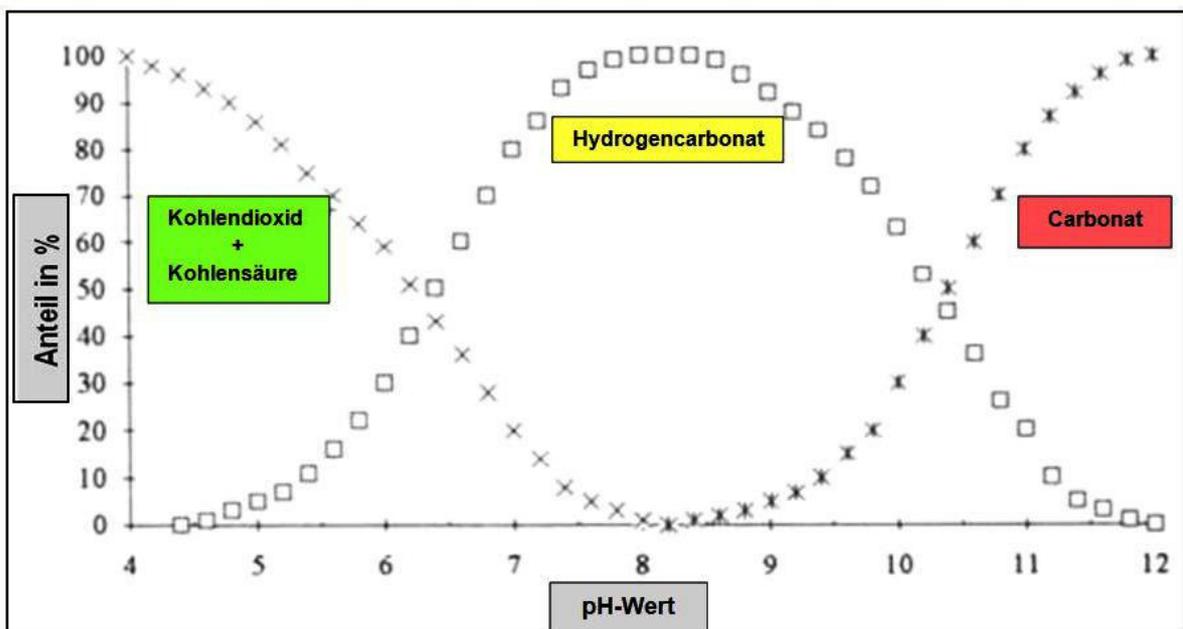


Abbildung 32: Diagramm zum Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht [19]

Bei niedrigen pH-Wert liegt vorwiegend Kohlensäure und freies Kohlendioxid vor. Abbildung 32 zeigt, dass bei pH=8 fast nur Hydrogencarbonat vorliegt und im stärker alkalischen Bereich der Anteil an Carbonat überwiegt.



Das Wasser, das freie, überschüssige Kohlensäure enthält, wird bei der Aufbereitung über einen Kalkstein (Calciumcarbonat) geleitet. Dabei löst die Kohlensäure aus dem Kalkstein Calciumionen heraus. Im Wasser liegt dann die gelöste Form des Kalkes, Calciumhydrogencarbonat vor (siehe Gl. (7 -7)).



Durch diesen Aufbereitungsschritt wird die Konzentration an Calciumionen im Wasser erhöht und der Gehalt an Kohlenstoffdioxid (überschüssiger Kohlensäure) gesenkt. Deshalb ändert sich der pH-Wert und die Gesamthärte. Nach der Trinkwasserverordnung sollte sich das Wasser im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befinden. Um dieses Gleichgewicht zu erhalten, muss immer eine gewisse Menge an Hydrogencarbonat vorliegen, dazu wird aber auch ein bestimmter Anteil an Kohlenstoffdioxid (freie Kohlensäure) benötigt. Deshalb wird diese bestimmte Menge an freier Kohlensäure auch als zugehörige Kohlensäure bezeichnet. Besitzt das Wasser zu wenig Kohlenstoffdioxid, so verschiebt sich das Gleichgewicht und es fällt Kalk aus (z.B. bei Temperatureinfluss, beim Erhitzen entweicht Kohlenstoffdioxid). Ist dagegen mehr Kohlenstoffdioxid im Wasser vorhanden, als zur Erhaltung des Gleichgewichts notwendig, so wirkt das Wasser korrosiv. [1] [18]

Eine weitere Beziehung ist zwischen der Gesamthärte und der Leitfähigkeit festzustellen. Da die Leitfähigkeit ein Maß für den Ionengehalt im Wasser ist und die Gesamthärte Auskunft über den Calcium und Magnesiumgehalt im Wasser gibt, besteht zwischen diesen beiden Parametern ein linearer Zusammenhang. Dadurch, dass das Wasser während der Aufbereitung aufgehärtet wird und somit die Konzentration an Calciumionen im Wasser steigt, nimmt auch die Leitfähigkeit zu.



8. Ergebnis mit Fazit

In der Projektarbeit wurden die grundlegenden Sachverhalte der Trinkwasseraufbereitung der Wasserversorgung Kleine Kinzig, sowie auch die Voraussetzungen (u.a. Schutzgebiet, Talsperre), die für eine optimale Wassergewinnung und die anschließende Aufbereitung notwendig sind aufgezeigt. Im Weiteren wurden Proben an den Zuflüssen, im Wasserwerk und zu Hause am Trinkwasserhahn genommen und die Veränderung des Wassers von den Zuflüssen bis zum Trinkwasserhahn des Verbrauchers untersucht. Die Analyseergebnisse wurden tabellarisch dargestellt und ausgewertet.

In Bezug auf die vier untersuchten Parameter (Gesamthärte, pH-Wert, Leitfähigkeit und Trübung) wurde vermutet, dass der Verbraucher (in Baiersbronn-Tonbach) 100-prozentiges Trinkwasser vom ZV WKK erhält. In der Regel sind die Wasservorkommen im Verbandsgebiet härter, als das abgegebene Trinkwasser des ZV WKK. Deshalb kann man davon ausgehen, dass es sich beim Verbraucher um 100-prozentiges Trinkwasser der ZV WKK handelt. Nach Erkundigung beim Wassermeister in Baiersbronn, wird dem Verbraucher zurzeit tatsächlich Trinkwasser des ZV WKK geliefert.

Das Verfahren der Trinkwasseraufbereitung ist ein aufwändiger Prozess, da viele Vorschriften eingehalten werden müssen, um die Anforderungen der Trinkwasserverordnung einzuhalten. Die Probenahme an verschiedenen Stellen im Wasserwerk und die anschließende Untersuchung haben gezeigt, dass mit jedem Verfahrensschritt die Qualität des Wassers erhöht wird.

Die Trinkwasserversorgung ist und wird auch ein aktuelles Thema bleiben, da Wasser lebensnotwendig ist. Deshalb sollten wir sorgfältig damit umgehen, denn Experten vermuten, dass es in Zukunft Kriege um Wasser geben wird.

Während der Bearbeitung wurde auch deutlich, dass man sich beim Entwickeln der Aufbereitungsanlage des ZV WKK unter anderem in den Verfahrensschritten der Aufhärtung (Entsäuerung) und der Ozonung an der Natur orientiert hat. Dies zeigt, dass es von großer Bedeutung ist seine Umgebung wahrzunehmen und zu beobachten, denn wir können von der Natur nur lernen.



LITERATURVERZEICHNIS

Bücher, Flyer, ZV WKK:

- [1] HÜTTER, Leonhard A. (1992): Laborbücher. Wasser und Wasseruntersuchung. 5. Auflage. Frankfurt am Main: Sale Aarau; Frankfurt am Main; Salzburg: Sauerländer.

- [2] RAPP, Joachim et al. (1999): Talsperre Kleine Kinzig. Quelle für unser Trinkwasser; 25 Jahre Zweckverband WKK. Stuttgart: Günter Heimbach.

- [3] SCHULZE, Gerhard / SIMON, Jürgen (2009): Jander / Jahr Maßanalyse. Theorie und Praxis der Titration und physikalischen Indikationen. 17. Auflage. Berlin: Walter de Gruyter.

- [4] Flyer der Wasserversorgung „Kleine Kinzig“. Reines Trinkwasser aus dem Schwarzwald.

- [5] Kurzinformation, Zweckverband Wasserversorgung „Kleine Kinzig“

- [6] Zweckverband Wasserversorgung „Kleine Kinzig“



Internetseiten:

[7] Trinkwasser

Entnahmedatum: 01.01.2013

http://static3.kleinezeitung.at/system/galleries_520x335/upload/7/2/2/2815954/wasserhahn2408ap726.jpg

[8] Trinkwassermangel

Entnahmedatum: 30.12.2012

<http://www.berlin-institut.org/online-handbuchdemografie/umwelt/wasser.html>

[9] Wassermangel

Entnahmedatum: 01.01.2013

http://www.google.de/imgres?imgurl=http://choicechange.files.wordpress.com/2009/11/kenia-wassermangel.jpg&imgrefurl=http://choicechange.wordpress.com/&usq=__GO_j86bJcYkf-l_YV_zszTslUVw=&h=358&w=280&sz=59&hl=de&start=9&zoom=1&tbnid=m19-v9jbvZiBoM:&tbnh=121&tbnw=95&ei=0efiULKgNMSB4ATEilCAAg&prev=/search%3Fq%3DAfrika%2Bwassermangel%26um%3D1%26hl%3Dde%26sa%3DN%26gbv%3D2%26tbm%3Disch&um=1&itbs=1

[10] Multi-Barrieren-System

Entnahmedatum: 30.12.2012

<http://www.lanuv.nrw.de/wasser/versorger/rohwasser.htm>

[11] Multi-Barrieren-System

Entnahmedatum: 30.12.2012

<http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/organisation/multibarrierensystem.pdf>

[12] pH-Wert

Entnahmedatum: 10.08.2012

http://www.hamiltoncompany.com/downloads/62411700_komplett.pdf

[13] Leitfähigkeit

Entnahmedatum: 07.08.2012

http://www.omnilab.de/tl_files/Omnilab_2011/Downloads/Wissen_Kompakt/COND_D.pdf



[14] Trübung

Entnahmedatum: 06.08.2012

<http://www.conducta.endress.com/eh/pc/conducta/de/home.nsf/#page/id/C12574A4002CEAF0C1256C23004D9097>

[15] Trübung

Entnahmedatum: 06.08.2012

http://old.omnilab.de/hpb/export/1/TURB_D.PDF

[16] Trübung

Entnahmedatum: 06.08.2012

http://www.dwa-bw.de/download/fachdatenbank/21_kl_b_t3.pdf

[17] Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht

Entnahmedatum: 08.08.2012

<http://www.trinkwasserspezi.de/KKSGgw.htm>

[18] Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht

Entnahmedatum: 08.08.2012

<http://www.waterquality.de/hydrobio.hw/2CHEM.HTM>

[19] Diagramm Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht

Entnahmedatum: 28.08.2012

http://www.google.de/imgres?imgurl=http://www.aquacare.de/info/veroeff/c_kreis/c_co2_gl.jpg&imgrefurl=http://www.aquacare.de/info/veroeff/c_kreis/c_kreis.htm&usg=__C7fa8fzmq_kGaypp_jrE-JMK264=&h=295&w=554&sz=12&hl=de&start=7&zoom=1&tbnid=AnyrPIdvIMcP6M:&tbnh=71&tbnw=133&ei=jfLnULWSMYb14QSxzoHoAQ&prev=/search%3Fq%3Dkalk%2Bkohle%25C3%25A4ure%2Bgleichgewicht%26um%3D1%26hl%3Dde%26sa%3DN%26gbv%3D2%26tbn%3Disch&um=1&itbs=1



BEGLEITBLATT

Begleitblatt zur Projektarbeit

Name: Bettina Brechenmacher
 Betreuung durch: Frau Margret Sommer
 Thema: Trinkwasseraufbereitung bei der Wasserversorgung „Kleine Kinzig“

Datum	Arbeiten / Tätigkeiten	Aufwand (Std.)	Bestätigung
30.07.2012	Besichtigung des Wasserwerks + Probenahme; Probenvorbereitung + Messung; Auswertung der Analysenergebnisse	5	M. Sommer
	Ausarbeitung der Struktur / Gliederung der Projektarbeit	1	M. Sommer
31.07.2012	Probenahme Zuhause; Probenahme an der Zuflüssen; Probenvorbereitung und Messung; Auswertung der Analysenergebnisse	6	M. Sommer
	Bearbeitung der Theorie	1	M. Sommer
01.08.2012	Messung des restlichen Teils der Zuflüsse; Auswertung der Analysenergebnisse	3	M. Sommer
	Bearbeitung der Theorie	4	M. Sommer
02.08.2012	Besichtigung des Entnahmeturms	2	M. Sommer
	Bearbeitung der Theorie	5	M. Sommer
03.08.2012	Bearbeitung der Theorie	6	M. Sommer
06.08.2012	Rundgang im Wasserwerk	1	M. Sommer
	Bearbeitung der Theorie	6	M. Sommer
07.08.2012	Bearbeitung der Theorie	7	M. Sommer
08.08.2012	Besichtigung Kontrollgang des Damms	2	M. Sommer
	Bearbeitung der Theorie	5	M. Sommer



Datum	Arbeiten / Tätigkeiten	Aufwand (Std.)	Bestätigung
09.08.2012	Bearbeitung der Theorie	7	M. Sommer
10.08.2012	Rundgang Wasserwerk + Probenahme; Probenvorbereitung und Messung; Auswertung der Analyseergebnisse	3	M. Sommer
	Bearbeitung der Theorie	3	M. Sommer
06.09.2012	Probenahme Zuhause; Rundgang Wasserwerk + Probenahme; Probenvorbereitung + Messung; Auswertung Analyseergebnisse; Besichtigung der Trinkwasserkammer	6	M. Sommer

August 2012 bis Januar 2013	Gesamtstundenaufwand zu Hause	ca. 67	
---	-------------------------------	--------	--

Gesamtaufwand: ca. 140 Stunden

.....
Ort, Datum

.....
Unterschrift



SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Erklärung über die eigenständige Erstellung der Arbeit und zum Urheberrecht:

Hiermit erkläre ich, dass diese Projektarbeit von mir, unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel und Literaturquellen, eigenständig durchgeführt und dokumentiert wurde.

Weiterhin erkläre ich, dass das Urheberrecht für alle in dieser Projektarbeit verwendeten Bilder und Grafiken bei uns liegt, bzw. uns entsprechende schriftliche Einwilligungen der Urheber zur Verwendung dieser Bilder und Grafiken vorliegt. Sollte dies nicht der Fall sein, komme ich für eventuelle Schadensersatzforderungen eines Urhebers in vollem Umfang auf.

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift

Anhang



ANHANG

Anhang A: Formeln zur Berechnung der Gesamthärte

Anhang B: Protokoll 1 bis Protokoll 5



Anhang A: Formeln zur Berechnung der Gesamthärte

Die Gesamthärte kann nach folgender Gleichung berechnet werden:

1. In $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot V_1}{V_2}$$

C_1 : Stoffmengenkonzentration der EDTA- Maßlösung in [$\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$]

V_1 : Verbrauch (Volumen) der EDTA- Maßlösung bei der Titration in [mL]

C_2 : Stoffmengenkonzentration der Ca- und Mg- Ionen in der Wasserprobe in [$\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$]

V_2 : Volumen des vorgelegten Analysenwassers in [mL]

Oder:

$$V \cdot f_1 \cdot c \cdot t = \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

V : Verbrauch (Volumen) an EDTA- Maßlösung in [mL]

f_1 : Umrechnungsfaktor in [L^{-1}]

Volumen der Vorlage an Analysenwasser bezogen auf einen Liter

c : Konzentration der EDTA- Maßlösung in [$\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$]

t : Titer der Maßlösung $t = 1,0000$ wegen gekaufter Maßlösung



2. In Grad deutscher Härte (°dH)

$$V \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot t = \text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaO}$$

V : Verbrauch (Volumen) an EDTA- Maßlösung in **[mL]**

f₂: Umrechnungsfaktor in **[L⁻¹]**

Volumen der Vorlage an Analysenwasser bezogen auf einen Liter

f₃: Umrechnungsfaktor für CaO in **[mg · mL⁻¹]**

f₃ = **0,56 mg · mL⁻¹** bei einer EDTA-Maßlösung (c = 0,01 mmol · mL⁻¹) bzw.

f₃ = **5,6 mg · mL⁻¹** bei einer EDTA-Maßlösung (c = 0,1 mmol · mL⁻¹)

t : Titer der Maßlösung t = **1,0000** wegen gekaufter Maßlösung

$$10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaO} = 1^\circ \text{dH}$$



Anhang B: Protokoll 1 bis Protokoll 5

Protokoll 1: Analyse der Wasserwerksproben

Ort der Probenahme: Wasserwerk

Datum Probenahme: 30.07.2012

Datum Messung: 30.07.2012

Betreuerin: Fr. Margret Sommer

1. Bestimmung der Gesamthärte

Die Gesamthärte gibt die Stoffmengenkonzentration der Calcium- und Magnesiumionen an.

Geräte:

100mL Becherglas, 100mL Vollpipette, Digitalbürette, Heizplatte

Chemikalien:

EDTA-Maßlösung ($c = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$), Indikatorpuffertablette (Umschlag von rot nach grün), konzentrierter Ammoniak ($w = 25\%$)

Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Probenvorbereitung: Falls die Probe eine visuelle Trübung aufweist muss das Analysenwasser abfiltriert werden.

100mL des Analysenwassers werden in ein Becherglas pipettiert. Anschließend wird die Probe kurz aufgeköcht, um vorhandenes Kohlenstoffdioxid auszutreiben. Nach dem Abkühlen wird eine Indikatorpuffertablette gelöst und die Probe mit 2mL konzentriertem Ammoniak ($w = 25\%$) versetzt. Mit einer EDTA-Maßlösung ($c = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) wird bis zum Farbumschlag von rot nach grün titriert.

(Zur Qualitätssicherung wird im Labor der ZV WKK vor jeder Titrationsserie eine Kontrolllösung (Calciumstandardlösung) mit bekanntem Gehalt titriert.)

Messung:

Bei der Gesamthärte wurde jeweils eine Probe gemessen, da bereits Werte von wöchentlichen Kontrolluntersuchungen vorhanden sind.

Vorlage Analysenwasser: 100 mL

Verbrauch an EDTA-Maßlösung ($c = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$):

Probenahme Rohwasser: 1,38 mL

Vorreinigung (Gesamtablauf): 1,34 mL

Mehrschichtfilter (Gesamtablauf): 3,53 mL

Trinkwasser: 6,59 mL

Auswertung:

(Formel zur Berechnung der Gesamthärte siehe Anhang A)

Rechenbeispiel für Probenahme Rohwasser:

$$1. 1,38 \text{ mL} \cdot 10 \text{ L}^{-1} \cdot 0,01 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 1,0000 = 0,14 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$2. 1,38 \text{ mL} \cdot 10 \text{ L}^{-1} \cdot 0,56 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 1,0000 = 7,7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaO}$$

$$7,7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaO} \div 10 = 0,8 \text{ }^\circ\text{dH}$$

Ergebnis:

1. Probenahme Rohwasser: 0,14 mmol · L⁻¹ bzw. 0,8 °dH

2. Vorreinigung (Gesamtablauf): 0,13 mmol · L⁻¹ bzw. 0,7 °dH

3. Mehrschichtfilter (Gesamtablauf): 0,35 mmol · L⁻¹ bzw. 2,0 °dH

4. Trinkwasser: 0,66 mmol · L⁻¹ bzw. 3,7 °dH

2. Bestimmung des pH-Wertes

$$\text{pH} = -\lg c(\text{H})^+$$

Geräte:

100 mL Becherglas, Magnetrührer, Rührfisch, Einstabmesskette, pH-Meter

Chemikalien:

Demineralisiertes Wasser, Standard-Pufferlösungen (pH=4; pH=7; pH=9)



Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Mit dem pH-Meter wird der pH-Wert bei bekannter Temperatur ermittelt.

Messung und Ergebnis:

1. Probenahme Rohwasser: 6,5 bei 20,1 °C
2. Vorreinigung (Gesamtablauf): 6,4 bei 19,9 °C
3. Mehrschichtfilter (Gesamtablauf): 6,8 bei 19,7 °C
4. Trinkwasser: 8,0 bei 19,8 °C

3. Bestimmung der Leitfähigkeit (25 °C)

Die Leitfähigkeit ist ein Maß für die Menge der im Wasser gelösten Ionen.

Geräte:

Konduktometer

Chemikalien:

Demineralisiertes Wasser

Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Die elektrische Leitfähigkeit wird mit einem Konduktometer bestimmt.

Messung und Ergebnis:

1. Probenahme Rohwasser: 40,8 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$
2. Vorreinigung (Gesamtablauf): 40,5 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$
3. Mehrschichtfilter (Gesamtablauf): 86,0 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$
4. Trinkwasser: 144,5 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$

4. Bestimmung der Trübung

Die Trübung ist ein Maß für die Reinheit einer Flüssigkeit.

Geräte:

Trübungsmessgerät, Messküvette

Chemikalien: keineDurchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Das Analysenwasser muss vor dem Einfüllen in die Messküvette homogenisiert werden. Nach dem Einsetzen der Messküvette in den Küvettenschacht, kann der Messwert nach Signalkonstanz abgelesen werden.

Messung:

	Probe 1 in FNU	Probe 2 in FNU	Mittelwert in FNU
Probenahme Rohwasser	0,366	0,366	0,366
Vorreinigung (Gesamtablauf)	0,235	0,232	0,234
Mehrschichtfilter (Gesamtablauf)	0,180	0,192	0,186
Trinkwasser	0,073	0,064	0,069

Ergebnis:

1. Probenahme Rohwasser: 0,366 FNU
2. Vorreinigung (Gesamtablauf): 0,234 FNU
3. Mehrschichtfilter (Gesamtablauf): 0,186 FNU
4. Trinkwasser: 0,069 FNU

Datum:Unterschrift:



Protokoll 2: Analyse des Trinkwassers beim Verbraucher und der Zuflüsse

Ort der Probenahme: Verbraucher (in Baiersbronn - Tonbach), Zuflüsse
Wetterlage am Probenstag: sonnig, leicht bewölkt, trocken
Datum Probenahme: 31.07.2012
Datum Messung: 31.07.2012
Betreuerin: Fr. Margret Sommer

1. Bestimmung der Gesamthärte

Die Gesamthärte gibt die Stoffmengenkonzentration der Calcium- und Magnesiumionen an.

Geräte:

100mL Becherglas, 100mL Vollpipette, Digitalbürette, Heizplatte

Chemikalien:

EDTA-Maßlösung ($c = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$), Indikatorpuffertablette (Umschlag von rot nach grün), konzentrierter Ammoniak ($w = 25\%$).

Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Probenvorbereitung: Falls die Probe eine visuelle Trübung aufweist muss das Analysenwasser abfiltriert werden.

100mL des Analysenwassers werden in ein Becherglas pipettiert. Anschließend wird die Probe kurz aufgeköcht, um vorhandenes Kohlenstoffdioxid auszutreiben. Nach dem Abkühlen wird eine Indikatorpuffertablette gelöst und die Probe mit 2mL konzentriertem Ammoniak ($w = 25\%$) versetzt. Mit einer EDTA-Maßlösung ($c = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) wird bis zum Farbumschlag von rot nach grün titriert.

(Zur Qualitätssicherung wird im Labor der ZV WKK vor jeder Titrationsserie eine Kontrolllösung (Calciumstandardlösung) mit bekanntem Gehalt titriert.)



Messung:

Bei der Gesamthärte wurde jeweils eine Probe gemessen, da bereits Werte von wöchentlichen Kontrolluntersuchungen vorhanden sind.

Vorlage Analysenwasser: 100 mL

Verbrauch an EDTA-Maßlösung ($c = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$):

Wasserhahn Verbraucher: 6,75 mL

Auswertung:

(Formel zur Berechnung der Gesamthärte siehe Anhang A)

$$1. 6,75 \text{ mL} \cdot 10 \text{ L}^{-1} \cdot 0,01 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 1,0000 = 0,68 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$2. 6,75 \text{ mL} \cdot 10 \text{ L}^{-1} \cdot 0,56 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 1,0000 = 37,8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaO}$$

$$37,8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaO} \div 10 = 3,8 \text{ °dH}$$

Ergebnis:

Wasserhahn Verbraucher: 0,68 mmol · L⁻¹ bzw. 3,8 °dH

2. Bestimmung des pH-Wertes

$$\text{pH} = -\lg c(\text{H})^+$$

Geräte:

100 mL Becherglas, Magnetrührer, Rührfisch, Einstabmesskette, pH-Meter

Chemikalien:

Demineralisiertes Wasser, Standard-Pufferlösungen (pH=4; pH=7; pH=9)

Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Mit dem pH-Meter wird der pH-Wert bei bekannter Temperatur ermittelt.

Messung und Ergebnis:

1. Wasserhahn Verbraucher: 8,3 bei 18,5 °C

2. Kleine Kinzig: 6,9 bei 19,8 °C

3. Teufelsbächle: 6,5 bei 19,7 °C

4. Huttenbächle: 6,6 bei 19,7 °C



3. Bestimmung der Leitfähigkeit (25 °C)

Die Leitfähigkeit ist ein Maß für die Menge der im Wasser gelösten Ionen.

Geräte:

Konduktometer

Chemikalien:

Demineralisiertes Wasser

Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Die elektrische Leitfähigkeit wird mit einem Konduktometer bestimmt.

Messung und Ergebnis:

Wasserhahn Verbraucher: $143,3 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$

4. Bestimmung der Trübung

Die Trübung ist ein Maß für die Reinheit einer Flüssigkeit.

Geräte:

Trübungsmessgerät, Messküvette

Chemikalien: keine

Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Das Analysenwasser muss vor dem Einfüllen in die Messküvette homogenisiert werden.

Nach dem Einsetzen der Messküvette in den Küvettenschacht, kann der Messwert nach Signalkonstanz abgelesen werden.

Messung:

	Probe 1 in FNU	Probe 2 in FNU	Mittelwert in FNU
Wasserhahn Verbraucher	0,120	0,100	0,110
Kleine Kinzig	0,200	0,190	0,195
Teufelsbächle	0,193	0,181	0,187
Huttenbächle	0,132	0,129	0,131

Ergebnis:

1. Wasserhahn Verbraucher: 0,110 FNU
2. Kleine Kinzig: 0,195 FNU
3. Teufelsbächle: 0,187 FNU
4. Huttenbächle: 0,131 FNU

Datum:Unterschrift:



Protokoll 3: Analyse der Zuflüsse

Ort der Probenahme: Zuflüsse
Wetterlage am Probenstag: sonnig, leicht bewölkt, trocken
Datum Probenahme: 31.07.2012
Datum Messung: 01.08.2012
Betreuerin: Fr. Margret Sommer

1. Bestimmung der Gesamthärte

Die Gesamthärte gibt die Stoffmengenkonzentration der Calcium- und Magnesiumionen an.

Geräte:

100mL Becherglas, 100mL Vollpipette, Digitalbürette, Heizplatte

Chemikalien:

EDTA-Maßlösung ($c = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$), Indikatorpuffertablette (Umschlag von rot nach grün), konzentrierter Ammoniak ($w = 25\%$).

Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Probenvorbereitung: Falls die Probe eine visuelle Trübung aufweist muss das Analysenwasser abfiltriert werden.

100mL des Analysenwassers werden in ein Becherglas pipettiert. Anschließend wird die Probe kurz aufgeköcht, um vorhandenes Kohlenstoffdioxid auszutreiben. Nach dem Abkühlen wird eine Indikatorpuffertablette gelöst und die Probe mit 2mL konzentriertem Ammoniak ($w = 25\%$) versetzt. Mit einer EDTA-Maßlösung ($c = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) wird bis zum Farbumschlag von rot nach grün titriert.

(Zur Qualitätssicherung wird im Labor der ZV WKK vor jeder Titrationsserie eine Kontrolllösung (Calciumstandardlösung) mit bekanntem Gehalt titriert.)

Messung:

Bei der Gesamthärte wurde jeweils eine Probe gemessen, da bereits Werte von wöchentlichen Kontrolluntersuchungen vorhanden sind.

Vorlage Analysenwasser: 100 mL

Verbrauch an EDTA-Maßlösung ($c = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$):

Kleine Kinzig:	1,50 mL
Teufelsbächle:	1,03 mL
Huttenbächle:	1,72 mL

Auswertung:

(Formel zur Berechnung der Gesamthärte siehe Anhang A)

Rechenbeispiel für Kleine Kinzig:

$$1. 1,50 \text{ mL} \cdot 10 \text{ L}^{-1} \cdot 0,01 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 1,0000 = 0,15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$2. 1,50 \text{ mL} \cdot 10 \text{ L}^{-1} \cdot 0,56 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 1,0000 = 8,4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaO}$$

$$8,4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaO} \div 10 = 0,8 \text{ }^\circ\text{dH}$$

Ergebnis:

1. Kleine Kinzig: $0,15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ bzw. $0,8 \text{ }^\circ\text{dH}$
2. Teufelsbächle: $0,10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ bzw. $0,6 \text{ }^\circ\text{dH}$
3. Huttenbächle: $0,17 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ bzw. $1,0 \text{ }^\circ\text{dH}$

2. Bestimmung Leitfähigkeit(25 °C)

Die Leitfähigkeit ist ein Maß für die Menge der im Wasser gelösten Ionen.

Geräte:

Konduktometer

Chemikalien:

Demineralisiertes Wasser

Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Die elektrische Leitfähigkeit wird mit einem Konduktometer bestimmt.

Anhang



Messung und Ergebnis:

1. Kleine Kinzig: $51,2 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$
2. Teufelsbächle: $30,8 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$
3. Huttenbächle: $41,7 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$

Datum:

Unterschrift:



Protokoll 4: Analyse der Teilstromaufhärtung (Gesamtablauf)

Ort der Probenahme: Wasserwerk

Datum Probenahme: 10.08.2012

Datum Messung: 10.08.2012

Betreuerin: Fr. Margret Sommer

1. Bestimmung der Gesamthärte

Die Gesamthärte gibt die Stoffmengenkonzentration der Calcium- und Magnesiumionen an.

Geräte:

100mL Becherglas, 100mL Vollpipette, Digitalbürette, Heizplatte

Chemikalien:

EDTA-Maßlösung ($c = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$), Indikatorpuffertablette (Umschlag von rot nach grün), konzentrierter Ammoniak ($w = 25\%$).

Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Probenvorbereitung: Falls die Probe eine visuelle Trübung aufweist muss das Analysenwasser abfiltriert werden.

100mL des Analysenwassers werden in ein Becherglas pipettiert. Anschließend wird die Probe kurz aufgeköcht, um vorhandenes Kohlenstoffdioxid auszutreiben. Nach dem Abkühlen wird eine Indikatorpuffertablette gelöst und die Probe mit 2mL konzentriertem Ammoniak ($w = 25\%$) versetzt. Mit einer EDTA-Maßlösung ($c = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) wird bis zum Farbumschlag von rot nach grün titriert.

(Zur Qualitätssicherung wird im Labor der ZV WKK vor jeder Titrationsserie eine Kontrolllösung (Calciumstandardlösung) mit bekanntem Gehalt titriert.)



Messung:

Bei der Gesamthärte wurde jeweils eine Probe gemessen, da bereits Werte von wöchentlichen Kontrolluntersuchungen vorhanden sind.

Vorlage Analysenwasser: 100 mL

Verbrauch an EDTA-Maßlösung ($c = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$):

Teilstromaufhärtung (Gesamtablauf): 1,38 mL

Auswertung:

(Formel zur Berechnung der Gesamthärte siehe Anhang A)

$$1. 1,55 \text{ mL} \cdot 10 \text{ L}^{-1} \cdot 0,1 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 1,0000 = 1,55 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$2. 1,55 \text{ mL} \cdot 10 \text{ L}^{-1} \cdot 5,6 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 1,0000 = 86,8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaO}$$

$$86,8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaO} \div 10 = 8,7 \text{ °dH}$$

Ergebnis:

Teilstromaufhärtung (Gesamtablauf): $1,55 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ bzw. $8,7 \text{ °dH}$

2. Bestimmung des pH-Wertes

$$\text{pH} = -\lg c(\text{H})^+$$

Geräte:

100 mL Becherglas, Magnetrührer, Rührfisch, Einstabmesskette, pH-Meter

Chemikalien:

Demineralisiertes Wasser, Standard-Pufferlösungen (pH=4; pH=7; pH=9)

Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Mit dem pH-Meter wird der pH-Wert bei bekannter Temperatur ermittelt.

Messung und Ergebnis:

Teilstromaufhärtung (Gesamtablauf): 7,2 bei $19,0 \text{ °C}$



3. Bestimmung der Leitfähigkeit (25 °C)

Die Leitfähigkeit ist ein Maß für die Menge der im Wasser gelösten Ionen.

Geräte:

Konduktometer

Chemikalien:

Demineralisiertes Wasser

Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Die elektrische Leitfähigkeit wird mit einem Konduktometer bestimmt.

Messung und Ergebnis:

Teilstromaufhärtung (Gesamtablauf): $365,0 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$

4. Bestimmung der Trübung

Die Trübung ist ein Maß für die Reinheit einer Flüssigkeit.

Geräte:

Trübungsmessgerät, Messküvette

Chemikalien: keine

Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Das Analysenwasser muss vor dem Einfüllen in die Messküvette homogenisiert werden.

Nach dem Einsetzen der Messküvette in den Küvettenschacht, kann der Messwert nach Signalkonstanz abgelesen werden.



Messung:

	Probe 1 in FNU	Probe 2 in FNU	Mittelwert in FNU
Teilstromaufhärtung (Gesamtablauf)	0,137	0,135	0,136

Ergebnis:

Teilstromaufhärtung (Gesamtablauf): 0,136 FNU

Datum:

Unterschrift:



Protokoll 5: Zweite Messung der Trübung

Ort der Probenahme: Wasserwerk, Verbraucher (in Baiersbronn – Tonbach)

Datum Probenahme: 06.09.2012

Datum Messung: 06.09.2012

Betreuerin: Fr. Margret Sommer

1. Bestimmung der Trübung

Die Trübung ist ein Maß für die Reinheit einer Flüssigkeit.

Geräte:

Trübungsmessgerät, Messküvette

Durchführung:

Probenahme: Die Probenahme erfolgt in einer PE-Flasche

Das Analysenwasser muss vor dem Einfüllen in die Messküvette homogenisiert werden.

Nach dem Einsetzen der Messküvette in den Küvettenschacht, kann der Messwert nach Signalkonstanz abgelesen werden.

Messung:

	Probe 1 in FNU	Probe 2 in FNU	Probe 3 in FNU	Mittelwert in FNU
Probenahme Rohwasser	0,373	0,392		0,383
Vorreinigung (Gesamtablauf)	0,172	0,170		0,171
Teilstromaufhärtung (Gesamtablauf)	0,195	0,185	0,191	0,190
Mehrschichtfilter (Gesamtablauf)	0,053	0,055	0,056	0,055



	Probe 1 in FNU	Probe 2 in FNU	Probe 3 in FNU	Mittelwert in FNU
Trinkwasser	0,058	0,061	0,056	0,058
Wasserhahn Verbraucher	0,069	0,066	0,057	0,064

Ergebnis:

1. Probenahme Rohwasser: 0,383 FNU
2. Vorreinigung (Gesamtablauf): 0,171 FNU
3. Teilstromaufhärtung (Gesamtablauf): 0,190 FNU
4. Mehrschichtfilter (Gesamtablauf): 0,055 FNU
5. Trinkwasser: 0,058 FNU
6. Wasserhahn Verbraucher: 0,064 FNU

Datum:Unterschrift: