

# **Trinkwasseraufbereitung bei Karstquellen**

## am Fallbeispiel Weiz

Masterarbeit zum Erwerb des  
akademischen Titels Diplomingenieur der  
Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften

**Anita Kavazović**

Verfasst am Institut für  
Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau  
der Technischen Universität Graz

Betreuer der Masterarbeit:  
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günter Gruber

Mitbetreuende Assistenten:  
Dipl.-Ing. Rosa Maria Sulzbacher  
Dipl.-Ing. Dr.techn. Martin Hochedlinger

Graz, Oktober 2013

Kontakt:  
Anita Kavazović  
basic\_anita@hotmail.com

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

## Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am 23.10.2013

Kavazović Anita

(Anita Kavazović)

## **Danksagung**

Dank gebührt den vielen Menschen, die mich nicht nur während meines Studiums, sondern im Laufe meines bisherigen Lebens unterstützt haben. Einige waren zwar nur eine kurze Zeit an meiner Seite haben mich dennoch langfristig inspiriert und geprägt. Einige andere sind erst kürzlich in mein Leben getreten und haben mich vor allem in dieser letzten Phase meines Studiums tatkräftig unterstützt. Und dann gibt es noch die Konstanten im Leben, diejenigen Menschen die mich begleiten, egal wo ich gerade stehe und egal wohin ich gehe. Diese Konstanten sind meine Eltern, meine Schwester, ihre Familie, mein Ehemann und meine langjährigen Freunde. Ihnen gehört an dieser Stelle ein besonderer Dank.

Bedanken möchte ich mich im Weiteren bei Ing. Walter Ederer, Leiter der Wasserversorgung Weiz, der den praktischen Teil dieser Arbeit erst ermöglichte. Insbesondere möchte ich mich beim Wassermeister Robert Schaffernack und seinem Team bedanken. Herr Schaffernack stand mir jederzeit außerordentlich hilfsbereit zur Seite.

Diese Masterarbeit wurde von Dipl.-Ing. Dr.techn. Martin Hochedlinger und Peter Stimpfl von der Firma Hawle ins Leben gerufen. Durch diese Masterarbeit war es mir möglich ein praktisches Projekt zu bearbeiten und wertvolle Erfahrungen zu sammeln. Dafür möchte ich mich sehr herzlich bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günter Gruber und Dipl.-Ing. Rosa Maria Sulzbacher für die Betreuung der Masterarbeit und die sehr aktive Unterstützung in vielerlei Hinsicht.

**Hvala lijepa!**

## Kurzfassung

Eine stetig wachsende und konsumierende Bevölkerung sowie Klimaveränderungen führen in vielen Bereichen zu Ressourcenverknappung. Die schützenswerteste und gleichzeitig empfindlichste Ressource war, ist und bleibt das Trinkwasser.

Porengrundwasser stellt dabei die beste Art der Trinkwasserversorgung dar. Diese von Natur aus einwandfreien Wasservorkommen werden jedoch weniger und beeinträchtigtes Wasser muss durch Aufbereitung für Trinkwasserzwecke nutzbar gemacht werden. Weiteres Erschließungspotenzial bieten vor allem Karstgebiete an. Dabei kann Karstwasser von sehr hoher Qualität sein und dem Porengrundwasser gleichen. In der Regel reagiert Karstwasser jedoch unterschiedlich stark auf Niederschläge und Schneeschmelzen, wird dementsprechend beeinträchtigt und bedarf meist einer Aufbereitung.

Diese Arbeit beschreibt zunächst alle gängigen Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung und setzt sich im Weiteren mit der Karstwasserproblematik auseinander. Dabei wird die Wasserversorgung der Stadt Weiz näher betrachtet. Das Trinkwasser in Weiz und Umgebung kommt aus einem niederschlagsreichen und empfindlichen Karstgebiet, dem Weizer Bergland. Das Wasser der größten Karstquelle muss einer permanenten Aufbereitung unterzogen werden. Die derzeitige Aufbereitung, eine Ozonung mit nachgeschalteter Sandfilterung wird seit den 1970er betrieben und stellt ein energieintensives Verfahren dar. Die Aufbereitungsanlage soll modernisiert werden. Im Rahmen der Planungsarbeiten zu diesem Vorhaben, konnte ein Feldversuch mit einem automatischen Rückspülfilter durchgeführt werden. Die Dokumentation dieses Feldversuches, sowie die Auswertung der dabei gewonnenen Daten und Erfahrungen sind in der vorliegenden Masterarbeit zusammengestellt und können für zukünftige Feldversuche verwendet werden.

## Abstract

**Title of the master thesis:**

*“Drinking water treatment for karstic springs – case study Weiz”*

A constantly growing and consuming population together with climate change is leading to scarcity of resources in many fields. Drinking water was, is and will be the most sensitive and the most worth protecting resource on our planet.

Groundwater is our main drinking water supply. However, since the natural supply in clean water is dropping, polluted water has to be purified and developed. Especially karstic areas have a high potential for further development. The quality of karstic water can equal groundwater's quality. Occasionally karstic water reacts on rainfalls and snowmelts in different ways, thus it gets affected and needs a water treatment.

Initially this thesis describes all current drinking water treatments. Furthermore it focuses on the karstic water problem; therefore the water supply of Weiz is specified. The drinking water for Weiz and its periphery comes from a vulnerable karstic area which is highly influenced by precipitation. The main karstic spring has to be purified constantly. An ozone treatment with a downstream sand filter, which has been operating since the 1970s is still the current practice. The ozone treatment constitutes an energy-intensive process and should be modernized. Within the design period a field test of an automatic backwashing filter system could be conducted. This thesis summarizes the experiences of the field experiment and evaluates the received data.

## **Gleichheitsgrundsatz**

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Jedoch möchte ich ausdrücklich festhalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ALLGEMEINE GRUNDLAGEN</b>	<b>3</b>
2.1	Trinkwasser	3
2.1.1	Bedeutung	3
2.1.2	Herkunft	5
2.1.2.1	Unterirdisches Wasser	5
2.1.2.2	Oberflächenwasser	6
2.1.2.3	Niederschlagswasser	7
2.1.3	Versorgung	8
2.1.3.1	Einzelwasserversorgung	8
2.1.3.2	Eigenwasserversorgung	8
2.1.3.3	Öffentliche Wasserversorgung	8
2.1.3.4	Sicherstellung der Wasserversorgung	8
2.1.4	Schutzgebiete	9
2.1.4.1	Beeinträchtigungen	9
2.1.4.2	Schutz- und Schongebiete	9
2.1.4.3	Trinkwasserschutzgebiete in Karstgebieten	10
2.1.5	Eigenschaften	11
2.1.5.1	Temperatur	11
2.1.5.2	Lösungsvermögen	11
2.1.5.3	Elektrische Leitfähigkeit	12
2.1.5.4	Trübung	12
2.1.5.5	Färbung	13
2.1.5.6	Geruch und Geschmack	13
2.1.5.7	Oxidierbarkeit	13
2.1.5.8	pH-Wert	14
2.1.5.9	Calcitlösekapazität	14
2.1.5.10	Wasserhärte	15
2.1.5.11	Redoxspannung	16
2.1.6	Inhaltsstoffe	17
2.1.6.1	Ungelöste Stoffe	17
2.1.6.2	Gelöste Stoffe	18
2.1.7	Rechtliche Bestimmungen	19

---

2.1.7.1	Trinkwasserverordnung - Allgemeines .....	19
2.1.7.2	Trinkwasserverordnung - Parameter.....	20
2.1.7.3	Trinkwasserverordnung - Indikatorparameter.....	20
2.1.7.4	Trinkwasserverordnung - Eigenkontrolle.....	21
2.1.7.5	Trinkwasserverordnung - Überwachung .....	22
2.2	Trinkwasseraufbereitung .....	23
2.2.1	Aufgabe.....	23
2.2.2	Vorreinigung.....	24
2.2.2.1	Rechen .....	24
2.2.2.2	Siebe .....	24
2.2.2.3	Entsandung .....	24
2.2.3	Sedimentation .....	25
2.2.4	Flotation .....	26
2.2.5	Flockung .....	27
2.2.5.1	Flockungsmittel.....	27
2.2.5.2	Flockungshilfsmittel .....	27
2.2.5.3	Verfahrensschritte der Flockung .....	28
2.2.5.4	Probleme .....	28
2.2.5.5	Qualitative Bemessungsgrundlagen .....	28
2.2.6	Fällung .....	29
2.2.7	Filtration .....	29
2.2.8	Flächenfiltration.....	29
2.2.9	Tiefenfiltration.....	30
2.2.9.1	Filtermaterialien .....	31
2.2.9.2	Langsamfiltration .....	31
2.2.9.3	Schnellfiltration .....	32
2.2.10	Membranverfahren.....	33
2.2.10.1	Membran .....	34
2.2.10.2	Betrieb.....	35
2.2.10.3	Problematik.....	36
2.2.10.4	Spülung und chemische Reinigung.....	36
2.2.10.5	Leistungsfähigkeit .....	37
2.2.10.6	Vor- und Nachbehandlung.....	38
2.2.10.7	Kontrolle der Wirksamkeit.....	38
2.2.11	Adsorption.....	39
2.2.11.1	Aktivkohle .....	39

---

2.2.11.2 Pulverkohleeinsatz.....	40
2.2.11.3 Reaktivierung beladener Aktivkohle.....	40
2.2.12 Gasaustausch/Belüftung .....	41
2.2.13 Oxidation.....	42
2.2.14 Neutralisation .....	42
2.2.14.1 Filtration über Kalkstein .....	42
2.2.14.2 Filtration über dolomitische Materialien.....	43
2.2.14.3 Zugabe von Alkalien .....	43
2.2.15 Ionenaustausch.....	43
2.2.16 Desinfektion .....	44
2.2.16.1 Allgemeines.....	44
2.2.16.2 Wichtige Begriffe .....	45
2.2.16.3 Desinfektion mit Chlorungs- und Oxidationsmittel.....	45
2.2.16.4 Desinfektion mit UV-Bestrahlung .....	48
2.2.17 Kontrolle des Wirkungsgrades einer Aufbereitungsanlage .....	50
2.3 Trinkwasserspeicherung .....	51
2.3.1 Aufgabe und Art .....	51
2.3.2 Anforderungen .....	51
2.3.3 Be- und Entlüftung .....	52
2.3.3.1 Wasserkammer .....	52
2.3.4 Wassererneuerung.....	52
2.3.5 Kontrolle, Reinigung und Desinfektion.....	53
<b>3 CHARAKTERISTIKA VON KARST UND KARSTWASSER .....</b>	<b>54</b>
3.1 Karst .....	54
3.1.1 Begriff Karst .....	54
3.1.2 Karstmorphologie .....	54
3.1.3 Karstgebiete in Österreich.....	56
3.1.4 Sonstige Karstgebiete .....	56
3.2 Karstwasser .....	57
3.2.1 Unterirdische Wasserwege.....	57
3.2.2 Karstquellen .....	57
3.2.3 Karstwasserbeschaffenheit .....	58
3.2.4 Verletzlichkeit und Empfindlichkeit .....	58
3.2.5 Probleme.....	59

---

3.2.6	Karstwasser in Österreich .....	61
3.2.6.1	Wasserschongebiete .....	61
3.2.6.2	Wien .....	62
3.2.6.3	Salzburg .....	63
3.2.6.4	Villach.....	64
3.2.6.5	Innsbruck.....	66
<b>4</b>	<b>WASSERVERSORGUNG WEIZ .....</b>	<b>67</b>
4.1	Geschichtliche Entwicklung.....	67
4.1.1	Wasserversorgung Weiz - Chronik.....	67
4.1.2	Bevölkerungsentwicklung.....	68
4.2	Allgemeine Beschreibung.....	69
4.2.1	Versorgungsgebiet .....	69
4.2.2	Trinkwasserherkunft.....	69
4.2.3	Wasserspeicherung.....	69
4.2.3.1	Hochbehälter Sturmberg.....	69
4.2.3.2	Hochbehälter Göttelsberg.....	70
4.2.3.3	Hochbehälter Marburgerstraße.....	70
4.2.3.4	Hochbehälter Raas .....	70
4.2.3.5	Hochbehälter Weizberg .....	70
4.2.4	Wasserverteilung .....	70
4.2.5	Übersichtskarte .....	71
4.3	Paarquellen.....	72
4.3.1	Wasserbeschaffenheit.....	72
4.4	Baumühlquelle .....	73
4.4.1	Aufbereitungsanlage .....	74
4.4.2	Wasserbeschaffenheit.....	75
4.4.2.1	Allgemeine Wasserbeschaffenheit.....	75
4.4.2.2	Trübung Rohwasser .....	75
4.4.2.3	Mikrobiologische Beschaffenheit.....	78
4.5	Wasserschutz.....	79
4.5.1	Karsthydrologische Untersuchungen.....	79
4.5.1.1	Flächennutzung .....	80
4.5.2	Wasserschutzgebiete .....	81
4.5.3	Wasserschongebiet Weizer Bergland.....	81

---

4.5.3.1	Allgemeines .....	81
4.5.3.2	Diskurs .....	82
<b>5</b>	<b>FELDVERSUCH: Automatischer Rückspülfilter .....</b>	<b>83</b>
5.1	Allgemeines.....	83
5.2	Produktbeschreibung Hawle OptiFil .....	83
5.2.1	Allgemeines .....	83
5.2.2	Filtration .....	84
5.2.3	Rückspülung .....	84
5.3	Versuchsaufbau in Weiz.....	85
5.3.1	Installation.....	85
5.3.2	Betriebseinstellungen .....	88
5.3.2.1	Erste Betriebseinstellung .....	88
5.3.2.2	Zweite Betriebseinstellung .....	88
5.4	Untersuchungen.....	89
5.4.1	Allgemeines .....	89
5.4.2	Probenahmen.....	89
5.4.3	Analysen .....	91
5.4.4	Analysenergebnisse .....	92
5.4.4.1	Abfiltrierbare Stoffe (AFS).....	92
5.4.4.2	TOC-Gehalt .....	93
5.4.4.3	DOC-Gehalt.....	94
5.4.4.4	SAK 254 .....	95
5.4.4.5	SAK 436 .....	96
5.4.4.6	Partikelmessung .....	97
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>102</b>
6.1	Trinkwasseraufbereitung bei Karstquellen.....	102
6.2	Wasserversorgung Weiz .....	103
6.3	Feldversuch: Automatischer Rückspülfilter .....	104

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Härtebereiche für Trinkwasser (Merkl, 2008) .....	16
Tabelle 2: Gelöste Inhaltsstoffe im Wasser nach ihrer Massenkonzentration zusammengestellt nach (Grombach et al., 2000) & (Mutschmann et al., 2007) .....	18
Tabelle 3: Mikrobiologische Parameter für nicht desinfiziertes und desinfiziertes Trinkwasser gemäß Trinkwasserverordnung (TWV, 2001) .....	20
Tabelle 4: Mikrobiologische Indikatorparameter gemäß Trinkwasserverordnung (TWV, 2001) .....	21
Tabelle 5: Mindesthäufigkeiten für Untersuchungen von Trinkwasser (TWV, 2001) .....	21
Tabelle 6: Verfahren der Trinkwasseraufbereitung nach (Grombach et al., 2000) .....	23
Tabelle 7: Übliche Spül- und Reinigungsintervalle (Lipp et al., 2005) .....	37
Tabelle 8: Aufbereitungswirksamkeit von Membranverfahren (Lipp et al., 2005) .....	37
Tabelle 9: Gliederung von Karstwasser nach (ÖWAV, 2007) .....	57
Tabelle 10: Durchschnittswerte gebildet aus Werten der vierteljährlichen Routineuntersuchungen aus den Jahren 2011 und 2012 .....	72
Tabelle 11: Eigenschaften des Rohwassers und des aufbereiteten Wassers der Baumühlquelle in den Jahren 2001 bis 2012 .....	75
Tabelle 12: Trübungswerte des Rohwassers der Baumühlquelle, März 2005 bis August 2013 .....	76
Tabelle 13: Übersicht Trübungen des Rohwassers der Baumühlquelle im Jahr 2013 .....	89
Tabelle 14: Analysenübersicht .....	91
Tabelle 15: Partikelmessung Abscheideraten für die unterschiedlichen Partikeldurchmesser .....	98
Tabelle 16: Gegenüberstellung analysierte AFS und abgeschätzte AFS .....	99

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht von Inhaltsstoffen im Wasser nach ihrer Größe und ihrem Lösungszustand zusammengestellt nach (Grohmann et al., 2011) & (Merkl, 2008).....	17
Abbildung 2: Einteilung der Wasserinhaltsstoffe nach ihrer Größe (DVGW, 1987).....	25
Abbildung 3: Flotationsanlage mit Blasenerzeugung, Belüftungsbecken, Flotationsbecken und Schwimmstoffabzug (Grombach et al., 2000) .....	26
Abbildung 4: Schematischer Aufbau einer Flockungsanlage mit nachgeschalteter Abtrennung der Partikel (BAG, 2010).....	28
Abbildung 5: Flächenfiltration (kuchenbildende Filtration) (Grohmann et al., 2011) .....	30
Abbildung 6: Raumfiltration (Tiefenfiltration) (Grohmann et al., 2011).....	30
Abbildung 7: Beispiele von Einschicht- und Mehrschichtfiltern (Gujer, 2007).....	33
Abbildung 8: Schematische Darstellung: Trennverfahren und Wasserinhaltsstoffe (Lipp et al., 2008)	34
Abbildung 9: Betriebsarten von Membranverfahren: Dead-End-Modus (li) und Cross-Flow-Modus (re) (Mutschmann et al., 2007).....	35
Abbildung 10: Unterschied zwischen Dolinen (li) und Kegelkarst (re) aus Pfeffer (1978) .....	55
Abbildung 11: Verkarstungsfähiges Gestein in Österreich modifiziert nach (Kralik, 2001).....	56
Abbildung 12: Einteilung von Grundwasserkörpern in Österreich modifiziert nach (BMLFUW, 2013) .	61
Abbildung 13: Wasserversorgung der Stadt Wien (Wien, 2013).....	62
Abbildung 14: Bevölkerungsentwicklung Weiz von 1869 bis 2013 nach (Weiz, 2013).....	68
Abbildung 15: Übersichtskarte Wasserversorgung Weiz (Weiz, 2013).....	71
Abbildung 16: Pumpenhaus Paarquelle (li) und UV-Desinfektionsanlage (re) (Weiz, 2013) .....	72
Abbildung 17: UV-Desinfektion mit Pumpen und Zu- und Ablaufleitung (Fotos: Gruber, 2013).....	72
Abbildung 18: Pumpenhaus der Baumühlquelle (li) und Überlauf (re) (Fotos: Sulzbacher, 2013) .....	73
Abbildung 19: Leitungen im Pumpenhaus Baumühlquelle (Fotos: Weiz, 2012) .....	73
Abbildung 20: Ozonung außer Betrieb (li) und Ozonung in Betrieb (re) (Fotos: Gruber, 2013) .....	74
Abbildung 21: Quarzsandfilter nach Ozonung (Foto: Gruber, 2013).....	74
Abbildung 22: Überlauf der Baumühlquelle, Trübung über 190 NTU (li) und Trübung ca. 1,5 NTU (re) (Fotos: Kavazovic, 2013).....	76
Abbildung 23: Grafische Auswertung - Maximale tägliche Trübungen (März 2005 - August 2013) .....	77
Abbildung 24: Wasserschongebiet Weizer Bergland, Zone I und Zone II (Stmk, 2013).....	81
Abbildung 25: Hawle Optifil, Edelstahlvlies (li) und Edeltstahlgewebe (re) Hawle (2013) .....	83
Abbildung 26: Hawle Optifil, Prinzip der Filtration Hawle (1013).....	84
Abbildung 27: Hawle Optifil, Prinzip der Rückspülung Hawle (2013) .....	84
Abbildung 28: Versuchsaufbau - Optifil im Bypass (zulaufseitig).....	85
Abbildung 29: Versuchsaufbau - Optifil im Bypass mit Konzentratablauf .....	85
Abbildung 30: Versuchsaufbau - Optifil im Bypass mit Ausgleichsbehälter .....	86

---

Abbildung 31: Versuchsaufbau - Optifil im Bypass (ablaufseitig) .....	86
Abbildung 32: Nachträglicher Einbau 2-Wege Verteiler - Probenahmeahn Zulauf .....	87
Abbildung 33: Nachträglicher Einbau 2-Wege Verteiler - Probenahmeahn Ablauf.....	87
Abbildung 34: Maximale Trübung - Baumühlquelle Rohwasser, Mai 2013 .....	90
Abbildung 35: Maximale Trübung - Baumühlquelle Rohwasser, Juni 2013.....	90
Abbildung 36: Maximale Trübung - Baumühlquelle Rohwasser, August 2013 .....	91
Abbildung 37: Übersicht: Gehalt an Abfiltrierbare Stoffe (AFS) für PN 1 bis PN 10 .....	92
Abbildung 38: Übersicht: Gehalt an TOC für PN 1 bis PN 10 .....	93
Abbildung 39: Übersicht: Gehalt an gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) für PN1 bis PN10.....	94
Abbildung 40: Übersicht: Spektraler Absorptionskoeffizient bei 254 nm für PN1 bis PN10 .....	95
Abbildung 41: Übersicht: Spektraler Absorptionskoeffizient bei 436 nm für PN 1 bis PN10 .....	96
Abbildung 42: Partikelanzahl PN 3 am 05.06.2013, Rohwasser und Filtrat .....	97
Abbildung 43: Partikelanzahl PN 3 am 05.06.2013, Konzentrat bzw. Reject .....	97
Abbildung 44: Vergleich analysierte und abgeschätzte AFS, Rohwasser .....	99
Abbildung 45: Vergleich analysierte und abgeschätzte AFS, Filtrat .....	100
Abbildung 46: Vergleich analysierte und abgeschätzte AFS, Konzentrat.....	100
Abbildung 47: Partikelanzahl Rohwasser.....	101

## 1 AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

Mit wachsender Bevölkerung und steigender Flächennutzung nimmt die Belastung der Umwelt und des Grundwassers zu. Im 19. Jhd. führte verseuchtes Trinkwasser in Europa immer wieder zu Epidemien (Typhus, Cholera, etc.). In dieser Zeit wurde auch der Zusammenhang zwischen fehlender Hygiene und hoher Sterblichkeit festgestellt. Folgend wurde dem Schutz des Trinkwassers sowie der Aufbereitung eine immer größere Bedeutung zugeschrieben. Obwohl mittlerweile viel in diesem Bereich geforscht worden ist und einige neue Verfahren, wie beispielsweise die Membranverfahren hervorgingen, wird dieses Thema auch in Zukunft sehr wichtig bleiben. Einerseits ist mit einem stetigen Bevölkerungswachstum zu rechnen und andererseits warten neue Herausforderungen aufgrund von Klimaveränderungen.

In Österreich kommt das Trinkwasser zu 50 % aus qualitativ hochwertigem Porengrundwasser, welches meist keiner Aufbereitung bedarf (UBA, 2013). Die anderen 50 % kommen aus dem Karst- und Kluftgrundwasser, unter anderem stammen 97 % des Wiener Trinkwassers aus Karstgebieten (Wien, 2013). Karstquellwasser kann durchaus sehr hochwertig sein und ohne Aufbereitung bzw. mit einer einfachen Aufbereitung verwendet werden. In der Regel reagieren jedoch Karstquellen qualitativ und quantitativ auf Niederschläge und Schneeschmelzen, wodurch Trüb- und Farbstoffe ins Wasser gelangen können. Dies führt dann entweder zu einer aufwändigeren Aufbereitung oder zur Ausleitung dieser Wässer.

Diese Arbeit gibt im Allgemeinen eine Zusammenstellung und Beschreibung aller gängigen Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung. Vorangehend wird auf die Bedeutung und andere wichtige Grundlagen des Elementes Wasser eingegangen, welche in diesem Zusammenhang wichtig sind. Unter anderem werden einige wichtige Eigenschaften und Inhaltsstoffe sowie rechtliche Bestimmungen näher beschrieben. Es erfolgt auch eine kurze Betrachtung der Trinkwasserspeicherung, denn zur Sicherstellung der Wasserqualität ist auch eine einwandfreie Speicherung des Wassers notwendig.

Im Speziellen wird auf die Karstwasserproblematik eingegangen. Anhand von Beispielen werden die Hauptprobleme bei Karstquellwasser in Österreich sichtbar gemacht. Es erfolgt eine detaillierte Betrachtung der Wasserversorgung der Stadt Weiz. Weiz bezieht sein Trinkwasser aus einem Karstgebiet, dem Weizer Bergland. Das Quellwasser reagiert dort sehr schnell auf Niederschlagsereignisse, weist dann erhöhte Trübungswerte sowie mikrobiologische Belastungen auf. Daher wird das Wasser seit den 1970er Jahren mit einer Ozonung und einem nachgeschalteten Sandfilter aufbereitet. Diese Art der Aufbereitung ist sehr energieintensiv und kann trübstoffhaltige Wässer nur bis zu einem gewissen Grad aufbereiten. Stark trübstoffhaltiges Wasser muss ausgeleitet werden und steht somit der Trinkwasserversorgung nicht zur Verfügung. Die Anlage in Weiz soll nun modernisiert werden, um energieeffizienter zu arbeiten und um die Versorgungssicherheit zu erhöhen.

Im Zuge der Planungsarbeiten ermöglichte das Wasserwerk Weiz der Firma Hawle die Erprobung eines Filtersystems. Das Filtersystem *HAWLE-OPFTIFIL* ist ein kompakter Filter, der wenig Platz benötigt und nachträglich einfach eingebaut werden kann. Die Wartungs- und Betriebsaufwendungen sind gering. Eine Rückspülung des Filtermaterials kann dabei ohne Unterbrechung der Filtration erfolgen. Auch die Menge des Rückspülwassers ist gering. Der Filter wird bereits erfolgreich in der Zellstoff- und Papierindustrie, Faserindustrie, Stahlindustrie, Petrochemie und Automobilindustrie zur Aufbereitung von Prozesswasser eingesetzt. Auch in Lebensmittelbetrieben kommt der *HAWLE-OPFTIFIL* zum Einsatz. Die Er-

schließung des Marktes der Trinkwasseraufbereitung ist im Gange. Europaweit kommen bereits einige Filter in der Aufbereitung von Trinkwasser zum Einsatz. Österreichweit sind einige Feldversuche gestartet worden, unter anderem auch der Feldversuch in Weiz.

Der Feldversuch in Weiz wird mit Karstquellwasser der größten Quelle des Weizer Berglandes – der Baumühlquelle durchgeführt. Das Wasser unterliegt teils starken Qualitätsschwankungen. Für die Erprobung eines Filtersystems ist es zweckmäßig die Funktionsfähigkeit des Filters bei unterschiedlichen Wasserqualitäten und Randbedingungen zu testen.

Das Ziel dieser Arbeit ist unter anderem die Dokumentation des Feldversuches in Weiz. Damit ist die Betreuung vor Ort, die Beprobung von Rohwasser, Filtrat und Konzentrat und folglich die Auswertung der dabei gewonnenen Daten und Erfahrungen gemeint. Daneben liegen auch das Aufzeigen der Hauptprobleme bei der Nutzung von Karstquellwässern für die Trinkwasserversorgung und die Möglichkeiten der Aufbereitung solcher Wässer im Fokus dieser Arbeit.

## 2 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

### 2.1 Trinkwasser

*Durst ist schlimmer als Heimweh!* Wasser ist durch nichts zu ersetzen. Es ist neben der Luft das wichtigste Gemeingut. Schätzungen zufolge sind von den weltweit ca. 1,4 Mio. km<sup>3</sup> Wasser höchstens 2,8 % Süßwasser. Etwa 25 % des Süßwasservorkommens auf der Erde sind zugänglich, die anderen 75 % sind im Eis, Schnee und Erdinneren gebunden (Grambow, 2012).

#### 2.1.1 Bedeutung

An den Komfort, die Sicherheit und vor allem die Zuverlässigkeit der Wasserversorgung haben sich moderne Gesellschaften längst gewöhnt. Anfang des 20. Jahrhunderts ist dies unvorstellbar gewesen. Heute ist der direkte Kontakt zum Ursprung des Wassers verloren gegangen, da es billig und sicher in jedem Haushalt zur freien Verfügung steht. Trinkwasser ist in unseren Breiten zum billigsten Konsumgut - nur wenige Euro pro m<sup>3</sup> Wasser – degradiert (Gujer, 2007).

Weltweit sieht die Situation jedoch anders aus, denn laut den Vereinten Nationen haben rund 884 Millionen Menschen keinen sicheren Zugang zu hygienisch einwandfreiem Trinkwasser (UN, 2013).

Erst im Juli 2010 erklärte die UN im Beschluss 64/292, dass ein Zugang zu sauberem Trinkwasser und sanitärer Grundversorgung ein Menschenrecht ist (UN, 2013).

Einige Grundsätze dieses Menschenrechtes sind:

- Wasserentnahmestelle sollte innerhalb von 1000 m vom Wohnort liegen
- Beschaffungszeit sollte 30 Minuten nicht überschreiten
- Kosten sollten 3 % des Hauseinkommens nicht überschreiten
- Pro Person sollten täglich zwischen 50 und 100 L hygienisch einwandfreies Wasser zur Verfügung stehen, um eine Grundversorgung zu gewährleisten

Eine Grundversorgung ist demnach mit 50 L Wasser pro Person und Tag gesichert. In Österreich liegt der Wasserverbrauch im Durchschnitt bei 130 L pro Person und Tag. Davon entfallen etwa 60 % auf die individuelle Hygiene – Duschen und Toilettengänge. Lediglich 2 % des Tagesverbrauches werden als Trinkwasser konsumiert. Der restliche Tagesverbrauch wird für Wäschewaschen, Reinigen, Geschirrspülen und Gartenbewässerung aufgewendet (ÖVGW, 2013).

Österreichs Wasserverbrauch liegt dabei weltweit gesehen im mittleren Bereich. Spitzenreiter im Wasserverbrauch sind unter anderem die USA mit ca. 300 L pro Person und Tag und die Vereinigten Arabischen Emirate, wo der tägliche Wasserverbrauch auf ca. 500 L pro Person geschätzt wird.

Dieser direkte Wasserverbrauch – Duschen, Toilettengänge, Waschen, etc. – macht nur einen Bruchteil des tatsächlichen Wasserverbrauches aus. Der tatsächliche Wasserverbrauch setzt sich nämlich neben dem direkten auch aus dem indirekten bzw. virtuellen Wasserverbrauch zusammen.

Der virtuelle Wasserverbrauch bzw. das „virtuelle Wasser“ wurde 1993 von Professor John Anthony Allan aus Großbritannien geprägt. Für sein Konzept des virtuellen Wassers bekam er 2008 den Stockholmer Wasserpreis. Virtuelles Wasser entsteht durch den Konsum von Gütern und somit dem indirekten Verbrauch von Wasser. Hinter einem morgendlichen Kaffee stecken 140 L Wasser, dabei ist das Wasser, welches für das Pflanzen, Ernten, Verarbeiten, Verpacken und Verschiffen der Bohnen benötigt wird, berücksichtigt. Das wasserintensivste Lebensmittel ist Fleisch, für ein Kilogramm Rindfleisch muss im Durchschnitt 15.000 L Wasser aufgewendet werden, dabei wird auch die Herstellung des Tierfutters berücksichtigt (SIWI, 2012).

Das virtuelle Wasser spielt jedoch nicht nur in der Lebensmittelproduktion eine große Rolle, sondern zieht sich durch die gesamte Produktpalette und betrifft alle Konsumgüter. Für die Herstellung eines Baumwoll-T-Shirts werden durchschnittlich 2.000 L Wasser benötigt (OekoFair, 2013).

Das Konzept des virtuellen Wassers stellt die Zusammenhänge zwischen den Bereichen Wasser, Landwirtschaft, Klimawandel, Wirtschaft und Politik dar. Das virtuelle Wasser hat großen Einfluss auf diese Bereiche und kann zu sogenanntem Wasserstress führen. Wasserstress entsteht dann, wenn in wasserarmen Regionen Produkte mit einem hohen Wasserverbrauch hergestellt und in wasserreichen Regionen konsumiert werden. Eine österreichische Tomate, die auch in Österreich, einem wasserreichen Land, konsumiert wird, erzeugt wenig Wasserstress. Hingegen löst eine südspanische Tomate, die in Österreich verzehrt wird, Wasserstress aus. Das Sparen des direkt verbrauchten Wassers ist zwar ein unerlässlicher Punkt im Ressourcenschutz, jedoch ist es wesentlicher darauf zu achten, was und in welcher Menge etwas in den Einkaufskorb kommt (OekoFair, 2013).

Um die hohe Bedeutung der weltweit wichtigsten Ressource – des Wassers – der Öffentlichkeit und der Politik näher zu bringen, wurde im Dezember 1992 von der UN der Weltwassertag ausgerufen. Der Weltwassertag wird jährlich am 22. März veranstaltet, dabei wird jedes Jahr ein anderer Themenschwerpunkt gewählt (UNESCO, 2013).

### 2.1.2 Herkunft

Für die Trinkwasserversorgung werden vorzugsweise unterirdische Wässer (Grund- und Quellwasser) herangezogen. Diese sind wegen ihrer Bodenüberdeckung besser gegen Umwelteinflüsse und gegen einen Schadstoffeintrag geschützt als Oberflächenwässer. Ist unterirdisches Wasser nicht oder nur ungenügend vorhanden, dann wird auch oberirdisches Wasser gefasst und verwendet (Kainz et al., 2012).

Trinkwasser stammt aus:

- *Unterirdischem Wasser (Grund- und Quellwasser)*
- *Oberflächenwasser*
- *Niederschlagswasser*

#### 2.1.2.1 Unterirdisches Wasser

Das Grundwasser ist die wichtigste Quelle für die Trinkwasserversorgung in Österreich. Etwa 99 % des Trinkwassers werden aus dem Grundwasser gewonnen, eine Hälfte wird dabei aus den Porengrundwasservorkommen der Tal- und Beckenlagen und die andere Hälfte aus den Karst- und Kluftgrundwasservorkommen der Gebirgszüge gewonnen (UBA, 2013).

#### **Grundwasser:**

Im Allgemeinen gilt Grundwasser für Trinkwasserzwecke als hygienisch beste Art der Wasserversorgung (Kainz et al., 2012). Dabei versickert Niederschlagswasser in den Untergrund und bildet jenes Wasser, dass in Poren, Klüften und Spalten unterirdisch gesammelt wird (Merkl, 2008). Die Grundwasserbeschaffenheit wird maßgebend durch die geologischen Formationen, die Mächtigkeit der Bodenpassage und die Aufenthaltszeit im Untergrund (Grundwasseralter) geprägt.

- *Poren-Grundwasser:*
  - Lockergesteine wie Sand, Kies, hohe Porosität 10-20 %
  - Großer Fließwiderstand im Untergrund
  - Große Speicherkapazität
  - Fließgeschwindigkeit mit  $v = 0,5-20$  m/d relativ gering
  - Mit einer biologisch aktiven Bodenschicht überdeckt
  - Mikrobiologisch einwandfrei mit gleich bleibender Beschaffenheit
  - Gewinnung durch Brunnen
- *Kluft-Grundwasser:*
  - Geklüftetes, nicht verkarstetes Festgestein wie Sandgestein, Muschelkalk
  - geringe Porosität 1-2 %
  - Mittlere Fließgeschwindigkeit
  - Gewinnung durch Quellen oder Brunnen
- *Karst-Grundwasser:*
  - Festgestein mit Hohlräumen, verkarstungsfähiges Gestein(Karbonate)
  - Großes Hohlraumvolumen; besonders kompliziert und unregelmäßig
  - Sehr hohe Fließgeschwindigkeit  $v = 15-400$  m/d
  - Unterirdisches Gerinne; zum Teil mit Abstürzen
  - Gewinnung überwiegend aus Quellen

Porengrundwasser kommt vor allem in großen Tal- und Beckenlandschaften. In Österreich ist dies beispielsweise das Rheintal, Inntal, Jaunfeld, Leibnitzer Feld, Südliches Wiener Becken oder Seewinkel (BMLFUW, 2013).

Kluftgrundwasser in Österreich sind z.B.: die Kristallingesteine der Zentralalpen von Vorarlberg bis ins Burgenland sowie die Böhmisches Masse mit deren unterschiedlichen Schiefer- und Granitgesteinen (BMLFUW, 2013).

Als typische Karstgrundwasserleiter in Österreich sind die ausgedehnten nördlichen und südlichen Kalkalpen mit ihren Kalk- und Dolomitgesteinen (Karbonatgesteine) zu nennen (BMLFUW, 2013).

### **Quellwasser:**

Quellwasser ist Grundwasser, welches durch geologische Bedingungen an bestimmten Stellen der Erdoberfläche austritt (Kainz et al., 2012).

Die Qualität des Quellwassers hängt im Wesentlichen von der Beschaffenheit der wasserführenden Schichten, ihrer Überdeckung, der vorhandenen Vegetation und der Nutzung der Flächen ab. Unter günstigen Voraussetzungen weist Quellwasser eine gleich gute Wasserqualität wie Grundwasser auf. Quellwasser, welches eine geringe Überdeckung hat und ggf. bei Klüften und Spalten austritt, ist besonders bei starken Niederschlägen und Schneeschmelzen durch die eindringenden Oberflächenwässer beeinträchtigt. In diesem Fall kann das Quellwasser ohne Aufbereitung als Trinkwasser nicht verwendet werden.

Die Nutzung von Quellwasser ist tendenziell rückläufig. Die Erstellung neuer Quelfassungen ist selten geworden und die Anforderungen an die Aufbereitung von Quellwasser sind gestiegen (Mutschmann et al., 2007).

Man unterscheidet:

- Quellen aus nicht verkarsteten Gebieten:
  - Geringere und konstante Schüttungen
  - Meist maximal mehrere 10 l/s
- Quellen aus Karstgebieten:
  - Größere und stark schwankende Schüttungen
  - Bis einige 100 l/s möglich

Da die Fließgeschwindigkeit bei Karstquellen relativ hoch ist, ist die Aufenthaltszeit des Wassers entsprechend kurz. Dadurch können Verunreinigungen nicht gut abgebaut werden. Karstquellen sind besonders durch Umwelteinflüsse, wie Starkregen und Schneeschmelze gefährdet, was sich auch in der Wasserbeschaffenheit widerspiegelt (Kainz et al., 2012).

Die Beschaffenheit von Karstquellwasser schwankt in Abhängigkeit von den Schüttungsschwankungen des Wasservorkommens bzw. mit den Schwankungen der Parameter Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert (ÖWAV, 2007).

#### 2.1.2.2 Oberflächenwasser

Unter Oberflächenwasser ist Wasser aus stehenden und fließenden oberirdischen Gewässern zu verstehen. Hierzu zählen, Flusswasser, Bachwasser, Seewasser, Talsperrenwasser, Meerwasser.

Die Qualität des Oberflächenwassers unterliegt starken Schwankungen. Einerseits sind diese örtlich, zeitlich und jahreszeitlich bedingt. Andererseits sind die Art und die Nutzung des Einzugsgebietes von oberirdischen Gewässern wesentliche Einflussfaktoren. Charakteristisch für Oberflächenwasser sind Sink- und Schwebstoffe, starke Schwankung der Wassertemperatur und ein höherer Gehalt an organischen Inhaltsstoffen, sowie erhöhte mikrobiologische Parameter. Für Trinkwasserzwecke ist Oberflächenwasser gegenüber Grundwasser als hygienisch bedenklicher einzustufen (Mutschmann et al., 2007).

Österreich ist aufgrund des großen Grundwasservorkommens und der guten Qualität dieser Wässer auf die Nutzung von Oberflächenwasser zur Trinkwasserversorgung nicht angewiesen. In Deutschland hingegen liegt der Anteil an Oberflächenwasser für öffentliche Trinkwasserversorgungsanlagen bei rund 13 %. Die Nutzung von Oberflächenwasser und der damit stark schwankenden Wasserbeschaffenheit, aufgrund von starken Niederschlägen und Hochwasser, bedarf einer mehrstufigen Aufbereitung des Wassers und ist eher für große als für kleine Wasserversorgungsanlagen geeignet. Fließende Gewässer dienen oft der Einleitung von diversen Abwässern. Daher kann die Aufbereitung vor allem bei Nutzung von Bach- und Flusswasser für Trinkwasserzwecke sehr aufwändig und kompliziert werden (Mutschmann et al., 2007).

Im Gegensatz zu Fließgewässern ist die Aufbereitung von Seewasser meist einfacher. Der Grund dafür ist, eine über längere Zeit gleichbleibende Wasserqualität und die damit mögliche Sedimentation von Trübstoffen. Seen werden meist unterschiedlich (Erholung, Schifffahrt, Abwassereinleitung, etc.) genutzt, daher ist vor allem dem Schutz der Seen und deren Einzugsgebiete eine große Bedeutung zuzuschreiben (Gujer, 2007).

In vielen Städten wird Seewasser zu Trinkwasser aufbereitet, als Beispiel ist die Bodenseewasserversorgung zu nennen. Das aufbereitete Bodenseewasser versorgt insgesamt etwa 320 Städte und damit etwa vier Mio. Einwohner (ZVBWV, 2013).

Bei Talsperren handelt es sich um künstliche Seen, welche gezielte Schutzmaßnahmen des Sees und dessen Einzugsgebiete erlauben, daher ist auch die Qualität des Talsperrenwassers besser als von natürlichen Seen (Gujer, 2007).

Die Bedeutung zur Nutzung von Meerwasser zur Trinkwasserversorgung steigt in Mangelgebieten wie dem Persischen Golf stetig an. Meerwasser kann mit unterschiedlichen, sehr energieintensiven Verfahren entsalzt werden und als Trinkwasser bereitgestellt werden (Gujer, 2007).

### 2.1.2.3 Niederschlagswasser

Örtlich bedingt löst Niederschlagswasser aus der Luft verschiedene Bestandteile wie Stickstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff, Schmutz- und Schadstoffe sowie Keime und nimmt diese in unterschiedlicher Menge auf. Aufgrund dieses Stoffeintrags und der hygienischen Problematik wird Niederschlagswasser für die zentrale Trinkwasserversorgung nicht genutzt, wohl aber bei Einzelwasserversorgungen. In Hamburg wird für bestimmte Verwendungszwecke wie Gartenbewässerung und Toilettenspülung die Nutzung von Niederschlagswasser sogar finanziell gefördert, was den begrenzten Trinkwasserressourcen zugute kommt. In Ausnahmefällen, beispielsweise im Gebirge, kann Niederschlagswasser in Zisternen gesammelt und durch eine individuell abgestimmte Aufbereitung samt Desinfektion als Trinkwasser verwendet werden (Mutschmann et al., 2007).

### 2.1.3 Versorgung

Grundsätzlich kann die Versorgung mit Trinkwasser zentral oder dezentral erfolgen. In Österreich werden rund 90 % der Bevölkerung zentral mit Trinkwasser versorgt. Über eigene Hausbrunnen und Quellen beziehen die restlichen 10 % der österreichischen Bevölkerung ihr Trinkwasser. Dabei sind die Besitzer der Wasserversorgungsanlage für die Qualität und die regelmäßige Kontrolle des Trinkwassers verantwortlich (BMLFUW, 2013).

#### 2.1.3.1 Einzelwasserversorgung

Ist der Anschluss an eine zentrale Wasserversorgungsanlage nicht möglich, werden Einzelwasserversorgungen, meistens in Form von Brunnen errichtet. Hierbei werden kleine Wassermengen für den privaten Verbrauch gefördert. Darauf angewiesen sind vor allem einzeln stehende Häuser, Bauernhöfe und Streusiedlungen (Kainz et al., 2012).

#### 2.1.3.2 Eigenwasserversorgung

Diese Art der Wasserversorgung dient nicht direkt der Allgemeinheit und wird mit eigenen Wassergewinnungsanlagen betrieben. Die Eigenwasserversorgung wird meistens für Lebensmittelbetriebe wie Brauereien, Landwirtschaft oder für die Getränkeindustrie, Molkereien u.v.m. errichtet. Für die Errichtung einer Eigenwasserversorgung gibt es unterschiedliche Gründe. Entscheidend können Verbrauchsmengen und die dabei entstehenden Kosten oder die betriebsabhängigen Qualitätsanforderungen an das Wasser sein (Merkel, 2008).

#### 2.1.3.3 Öffentliche Wasserversorgung

Die öffentliche bzw. die zentrale Wasserversorgung dient direkt der Allgemeinheit und gewährleistet eine einwandfreie Versorgung der Bevölkerung mit regelmäßig kontrolliertem Trinkwasser. Zu einer zentralen Wasserversorgungsanlage zählen Wassergewinnung, eventuell Wasseraufbereitung, Wasserspeicherung, Wassertransport und -verteilung, Pumpwerke und Regeleinrichtungen (Kainz et al., 2012).

Die Länge des in Österreich genutzten öffentlichen Leitungsnetzes beträgt ca. 76.000 km und wird von rund 5.500 Wasserversorgungsunternehmen (WVU) betrieben (BMLFUW, 2013).

#### 2.1.3.4 Sicherstellung der Wasserversorgung

Kommt es in einem Wasserversorgungsgebiet zu Wassermangel oder zur Verschlechterung der Wasserqualität, so ist es trotzdem notwendig das betroffene Versorgungsgebiet mit einwandfreiem Wasser versorgen zu können. Dazu schließen sich oft mehrere Versorgungsgebiete zusammen und dienen der gegenseitigen Absicherung bei akut auftretenden Problemen. Diese Versorgung einer Region wird als Gruppenwasserversorgung oder regionale Wasserversorgung bezeichnet und erfordert teils lange Fern- und Zubringerleitungen, mehrere Pumpenwerke und unterschiedlich hoch liegende Hochbehälter. Schließen sich wiederum Gruppenwasserversorgungen zusammen und werden diese weiterentwickelt, bedeutet dies eine höhere Stabilität und Sicherheit der Wasserversorgung (Kainz et al., 2012).

### 2.1.4 Schutzgebiete

Die rechtliche Grundlage für den Schutz der Wasserversorgungsanlagen ist das Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG). § 30 des WRG besagt, dass alle Gewässer so reinzuhalten sind, dass die Gesundheit von Mensch und Tier nicht negativ beeinflusst wird. Weiter wird gefordert, dass Grund- und Quellwässer stets als Trinkwasser verwendet werden können.

#### 2.1.4.1 Beeinträchtigungen

Zu unterscheiden sind punktuelle und diffuse Einwirkungen auf das Grundwasser. Punktuell können Grundwässer, vor allem durch Stoffe aus gewerblichen, industriellen und häuslichen Bereichen beeinträchtigt werden. Die Ursachen einer punktuellen Einwirkung auf das Grundwasser sind in der unsachgemäßen Handhabung und der Entsorgung wassergefährdender Stoffe, in der Lagerung von Altlasten, in undichten Leitungen sowie in unterirdischen Behälter zu finden. Diffuse Einwirkungen sind hingegen Folgen von großflächiger Kontamination, wie dem Eintrag aus der Atmosphäre, Einwirkungen aus dem landwirtschaftlichen Bereich, Exfiltration aus Gerinnen und aus Straßengräben (ÖVGW, 2004).

#### 2.1.4.2 Schutz- und Schongebiete

Wesentliche Voraussetzung für einen nachhaltigen Schutz des Grundwassers ist die Ausweisung ausreichend großer Schutzzonen. Dabei sollen die Schutzzonen weder zu klein noch zu groß sein. Zu groß bemessene oder unnötig ausgewiesene Schutzzonen verringern die Akzeptanz der Öffentlichkeit. Folglich führt dies dazu, dass Schutznormen auch in schutzrelevante Zonen nicht eingehalten werden. Die Festlegung von Schutzgebieten erfolgt mittels Bescheid der zuständigen Behörde (je nach Art und Umfang entweder der Landeshauptmann oder der Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft), die Schongebiete werden durch den Landeshauptmann verordnet (ÖVGW, 2004).

Der Schutz von Wasserversorgungsanlagen (Wasserschutzgebiete) wird im § 34 des WRG näher erläutert:

Schutzgebiet: Um die Wasserversorgungsanlage gegen Verunreinigung oder gegen Beeinträchtigung ihrer Ergiebigkeit zu schützen, kann die zuständige Wasserrechtsbehörde durch Bescheid gegenüber den Grundeigentümern besondere Anordnungen über die Bewirtschaftung oder sonstige Benutzung von Grundstücken und Gewässern treffen. Zudem kann die Wasserrechtsbehörde die Errichtung bestimmter Anlagen untersagen, entsprechende Schutzgebiete bestimmen und den Betrieb bestehender Anlagen und Unternehmungen im notwendigen Ausmaß einschränken (WRG, 1959).

Schutzzonen: Das Schutzgebiet wird in Schutzzonen mit Verboten und/oder Einschränkungen unterteilt, welche grundstücksscharf abgegrenzt werden.

- **Schutzzone I – Fassungsbereich:** Die Schutzzone I dient dem Schutz des Fassungsbereichs einer Wassergewinnungsanlage und der dazugehörigen Bauten vor unmittelbar schädigenden Einflüssen. Diese ist besonders wichtig, da dieser Bereich wegen der kurzen Fließstrecke und der kurzen Verweilzeit weder eine ausreichende natürliche Reinigungswirkung besitzt noch eine rechtzeitig wirksame Gegenmaßnahmen ergriffen werden kann. Das Wasserversorgungsunternehmen sollte nach Möglichkeit dieses Gebiet der Schutzzone I erwerben und einzäunen (ÖVGW, 2004).

- **Schutzzone II – Engeres Schutzgebiet:** Die Schutzzone II dient dem Schutz des Gebietes des Zuflusses zur Wasserfassung. Dabei soll ein anthropogen unbeeinflusster Zufluss gewährleistet und eine zusätzliche mikrobielle Belastung verhindert werden. Die im Zufluss eventuell vorhandenen mikrobiellen Verunreinigungen sollen durch eine hinreichende Verweilzeit von mindestens 60 Tagen des Wassers im Boden reduziert werden. Im Gebiet der Schutzzone II sind sämtliche Flächennutzungen oder Bewirtschaftungsformen, durch welche der Grundwasserkörper belastet werden könnte, auszuschließen. Der Erwerb dieses Gebietes ist empfohlen und die Grenzen hinreichend zu kennzeichnen (ÖVGW, 2004).
- **Schutzzone III – Weiteres Schutzgebiet:** Die Schutzzone III dient dem Schutz des hydrographischen Einzugsgebietes, welches entweder einer oder mehrerer Wasserfassungen zugeordnet werden kann. Je nach standörtlichem Gefährdungsrisiko sind für alle Teile der Schutzzone III spezifische Schutzmaßnahmen zu definieren. Vor allem kann man durch laufende Beobachtungen der Schutzzone III die Qualität des zufließenden Grundwassers erfassen und etwaige Verunreinigungen rechtzeitig erkennen (ÖVGW, 2004).

Schongebiete: Ist der Schutz der Wasserversorgungsanlage mit der Ausweisung eines Schutzgebietes nicht ausreichend gegeben, so hat der Landeshauptmann mit Verordnung ein Schongebiet zu bestimmen. In einem Schongebiet – näher zu bezeichnender Teil des Einzugsgebietes – können Maßnahmen, welche das Wasservorkommen sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Weise beeinträchtigen können, als anzeigepflichtig, bewilligungspflichtig oder unzulässig erklärt werden bzw. gewissen Einschränkungen unterworfen werden (WRG, 1959).

#### 2.1.4.3 Trinkwasserschutzgebiete in Karstgebieten

Die Ausweisung von Schutzgebieten für Karstgrundwasser kann nicht ident mit der zuvor erläuterten Zonenbildung geschehen. Lediglich die Definition der Schutzzone I bleibt gleich. Dabei ist auch für Karstgrundwasser der unmittelbare Bereich der Quelfassung gemeint und somit besonders schützenswert. Charakteristisch für Karstgrundwasser ist die nicht ausreichende oder fehlende Filterwirkung bzw. Bodenpassage. Daher reagieren diese Wässer auf direkt von der Oberfläche eingebrachte Schadstoffe besonders empfindlich. Der Schadstoffeintrag kann von großer Entfernung über die Atmosphäre herangetragen werden. Daher sind Schutzmaßnahmen unabhängig von einer Zonierung, gebietsumfassend festzulegen (ÖVGW, 2004).

Vorschläge für die Festlegung von Schutz- und Schongebieten in Karstbereichen gibt dabei das ÖWAV Regelblatt 201. Hierbei hat das Schutzgebiet „*jene Teile des Einzugsgebietes zu umfassen, aus denen dem Wasservorkommen eine unmittelbare qualitative oder quantitative Beeinträchtigung droht.*“ Ebenso sind räumlich weit entfernte Bereiche, die einen unmittelbaren Zufluss haben, als Schutzgebiet auszuweisen. Als Schongebiet sollte das gesamte hydrographisch (jenes Gebiet, aus denen den Quellen tatsächlich Wasser zufließt und in ihrer Größe räumlich und zeitlich variabel sind) wirksame Einzugsgebiet definiert werden (ÖWAV, 2007).

### 2.1.5 Eigenschaften

Die Eigenschaften des Wassers stehen in Wechselwirkung zueinander, beeinflussen und beschränken teils stark die Aufbereitung, deshalb werden im Folgenden einige relevante Eigenschaften beschrieben.

#### 2.1.5.1 Temperatur

Die Temperatur stellt eine wichtige Zustandsgröße dar und beeinflusst das spezifische Gewicht, die Löslichkeit von Gasen und Mineralien, das Gleichgewicht zwischen Säuren und Basen und die Geschwindigkeit chemischer und biologischer Prozesse (Gujer, 2007).

Die Temperatur von Trinkwasser soll möglichst konstant bleiben. Es soll nicht zu kalt aber auch nicht zu warm sein. Trinkwasser ist bei Temperaturen zwischen 8°C und 12°C am besten für den menschlichen Verzehr geeignet (Kainz et al., 2012).

Temperaturen niedriger als 5°C sind gesundheitsschädlich, vor allem Magen, Darm und Niere sind davon betroffen. Trinkwasser mit Temperaturen über 15°C bringt keine Abkühlung, schmeckt fad und fördert die Wiederverkeimung im Netz (Mutschmann et al., 2007).

Starke Schwankungen der Temperatur deuten darauf hin, dass infolge von Niederschlägen, Hochwässern, Überschwemmungen oder Schneeschmelzen Oberflächenwässer der Gewinnungsstelle rasch zufließen (Mutschmann et al., 2007).

#### 2.1.5.2 Lösungsvermögen

Das Wassermolekül hat einen gewinkelten Aufbau und dadurch ein großes permanentes Dipolmoment (d. h. der Schwerpunkt der negativen Ladung fällt mit dem Schwerpunkt der positiven Ladung nicht zusammen). Demzufolge ist Wasser eine stark polare Flüssigkeit. Das Gegenteil zu polaren sind die unpolaren Flüssigkeiten mit keinem permanenten Dipolmoment, wie Benzol. Für das Lösungsvermögen von Stoffen gilt im Allgemeinen, dass polare Stoffe sich in polaren Lösemitteln und unpolare Stoffe sich in unpolaren Lösemitteln besser lösen (Grohmann et al., 2011).

Durch die starke Polarität des Wassers, weist es eine hohe Bereitschaft auf, andere Stoffe zu lösen, vor allem solche die selbst polar sind – dazu gehören viele Mineralien, wie Natrium, Kalium, Magnesium, Calcium, etc. Dabei werden die Salze im Wasser in elektrisch geladene Teilchen (Ionen) aufgespalten, wodurch sie für den Stoffwechsel von Menschen, Tieren und Pflanzen nutzbar werden (Merkl, 2008).

Die Löslichkeit und damit die Konzentration von Stoffen im Wasser sind von der Temperatur abhängig und nehmen mit steigender Temperatur größtenteils zu. Wesentlichste Ausnahme sind die Carbonate, ihre Löslichkeit nimmt mit steigender Temperatur ab (Höll, 2010).

Unterschiede der Löslichkeit abhängig von der Temperatur gibt es auch zwischen Gasen und festen Stoffen. Dabei lösen sich Gase im kalten Wasser und feste Stoffe im warmen Wasser besser (Mutschmann et al., 2007).

### 2.1.5.3 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit des Wassers nimmt mit der Konzentration der Ionen (elektrisch geladenen Teilchen, gelöste Salze - Mineralien) zu. Sie kann sehr einfach gemessen werden und wird häufig herangezogen, um Veränderungen in der Wasserzusammensetzung - vor allem im Salzgehalt – darzustellen (Gujer, 2007).

Die elektrische Leitfähigkeit wird in Siemens angegeben und auf 25 °C bezogen, ist bei reinem Wasser niedrig und bei Meerwasser hoch (Grohmann et al., 2011).

### 2.1.5.4 Trübung

Die Qualität des Trinkwassers lässt sich sehr gut mit der regelmäßigen Kontrolle der Trübung und der Färbung überwachen. Trübstoffe können Farbträger sein oder es können neben Trübstoffen auch gelöste Farbstoffe im Wasser vorkommen. Bei Messungen ist es oft nicht möglich, eine eindeutige Zuordnung zur Färbung oder zur Trübung vorzunehmen (Höll, 2010).

Der Gehalt an feinen Partikeln (ungelöste Stoffe wie feiner Sand, Ton, Schluff, Eisen, Mangan, organische Stoffe und Abfallstoffe), an Kolloiden sowie an Gasbläschen im Wasser wird als Trübung wahrgenommen (Gujer, 2007). Die hygienische Beschaffenheit des aufbereiteten Wassers hängt wesentlich mit der Partikelzahl (Partikel je ml) zusammen. An Partikeln können sich Mikroorganismen anlagern, sich einem Desinfektionsverfahren entziehen und unbemerkt ins Netz gelangen (Grombach et al., 2000).

Die Trübung wird mittels Nephelometer gemessen und in FNU (Formazin Nephelometric Units) bzw. in NTU (Nephelometric Turbidity Units) angegeben. Dabei wird das Streulicht gemessen. Trifft Licht auf ein Partikel, so wird ein Teil des Lichtes gestreut. Die Streuung ist maßgebend von der Anzahl und den Eigenschaften (Größe, Form, Farbe) der Partikel abhängig. Dabei ist der Trübungswert im Wesentlichen von Teilchen geprägt, die etwa zwischen 0,1 und 1 µm groß sind. Andere Teilchen sind vergleichsweise weniger an der Streulichtbildung beteiligt (DVGW, 1997).

Messwerte der Streulichtmessung sind abhängig von

- *der Wellenlänge des einfallenden Lichtes,*
- *dem im Gerät vorgegebenen Streulichtwinkel (meist 90 °),*
- *der Form, Größenverteilung und des Reflexionsvermögens der im Wasser suspendierten Teilchen und*
- *der im Wasser vorhandenen Luftbläschen, welche die Messung verfälschen.*

Die Trübungsmessung gibt lediglich einen Hinweis auf den Partikelgehalt an, jedoch bietet sie keine Möglichkeit, diese auf die Konzentration der ungelösten Stoffe umzurechnen (Grombach et al., 2000).

Im Allgemeinen verlangt die Trinkwasserverordnung, dass der Messwert Trübung für den Verbraucher annehmbar und ohne anormale Veränderung ist. Bei der Aufbereitung von Oberflächenwasser gilt jedoch ein Parameterwert von 1,0 NTU am Ausgang der Aufbereitungsanlage (TWV, 2001).

Trübungsmessungen sollten, wenn möglich, an Ort und Stelle und möglichst bald nach den Probenahmen erfolgen, da es sonst zur Ausflockung oder mikrobiologischen Zersetzung der

Trübstoffe kommt und diese die Messergebnisse verfälschen. Ist eine Messung an Ort und Stelle nicht möglich, dann ist die Wasserprobe in einer luftblasenfrei gefüllten, fest verschlossenen Glasflasche (kühl ca. 4°C, dunkel) zu transportieren und spätestens nach 24 Stunden zu untersuchen. Die Probe ist vor der Messung sorgfältig zu durchmischen und auf Raumtemperatur zu erwärmen (Höll, 2010).

Durch moderne Betriebsmessgeräte lässt sich jedoch der Parameter Trübung leicht kontinuierlich messen und gilt in der Wasseraufbereitung als wichtige Überwachungs- und Regelgröße (Mutschmann et al., 2007). Darüber hinaus ist die kontinuierliche Trübungsmessung in der Aufbereitung zur Steuerung von Flockungs- und Fällungsvorgängen einsetzbar (Merkl, 2008).

### 2.1.5.5 Färbung

Im Allgemeinen ist reines Wasser farblos. Ist das Wasser hingegen verfärbt, deutet dies auf diverse gelöste Inhaltsstoffe hin. So beinhaltet gelblich oder bräunlich gefärbtes Wasser organische Bestandteile wie z. B. Huminsäuren. Starke rot bzw. schwarzbraune Färbung werden durch Ausscheidungen von Eisen und Mangan in Rohrleitungen verursacht. Ist die Ursache der Färbung geologisch bedingt, ist dies in gesundheitlicher Hinsicht harmlos (Mutschmann et al., 2007).

Eine qualitative Beurteilung der Färbung des Wassers ist visuell möglich. Dazu wird ein, mit Wasser gefülltes Klarglasgefäß gegen einen weißen Hintergrund betrachtet und in farblos, schwache Färbung, starke Färbung eingeteilt. Eine genaue Messung erfolgt mittels Spektral- oder Filterphotometern. Bei diesen Methoden wird der spektrale Absorptionskoeffizient (SAK) in  $\text{m}^{-1}$  gemessen (Mutschmann et al., 2007).

Die Trinkwasserverordnung schreibt hier einen SAK von  $0,5 \text{ m}^{-1}$ , gemessen bei 436 nm vor. Eine Messung wird nur dann erforderlich, wenn eine Färbung grobsinnlich wahrnehmbar ist (TWV, 2001).

### 2.1.5.6 Geruch und Geschmack

Trinkwasser soll geruchs- und geschmackslos sein. Diese zwei Parameter sind nicht absolut messbar. Lediglich eine Sinnesprüfung (organoleptische Untersuchung) ist möglich, welche zwar eine einfache und effektive jedoch auch subjektive Analysemöglichkeit darstellt (Merkl, 2008).

- *Beeinträchtigung durch Schwefelwasserstoff: Geruch nach faulen Eiern*
- *Beeinträchtigung mit Eisen, Mangan: Tintiger Geschmack dabei rostige Färbung*
- *Uferfiltratverunreinigung: Dumpfer, fauliger Geruch und salzig, bitterer Geschmack*
- *Anthropogene Beeinflussung: Geruch nach Jauche, Lösungsmittel, Mineralöl, Teer*

### 2.1.5.7 Oxidierbarkeit

Die Oxidierbarkeit ist ein Summenparameter und umfasst die oxidierbaren organischen und anorganischen Inhaltsstoffe in einem definierten Wasservolumen. Kaliumpermanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) dient dabei als Oxidationsmittel, weshalb die Oxidierbarkeit des Wassers auch als  $\text{KMnO}_4$ -Verbrauch bezeichnet wird (Veolia, 2010).

Besitzt ein Wasser einen hohen Kaliumpermanganatverbrauch, so deutet es auf eine organische Belastung hin, ohne jedoch die einzelnen organischen Stoffe klassifizieren zu können. Folgend ist die Oxidierbarkeit bzw. der  $\text{KMnO}_4$ -Verbrauch nur ein Indikator für eine organische Verschmutzung des Wassers.

Der TOC (Total Organic Carbon) ist ebenfalls ein Summenparameter, der als Indikator für organische Inhaltstoffe im Wasser dient. Da dieser aussagekräftiger, automatisiert und nahezu chemikalienfrei ermittelt werden kann, ist zu erwarten, dass in Zukunft der TOC den  $\text{KMnO}_4$ -Verbrauch ablösen wird (Höll, 2010).

### 2.1.5.8 pH-Wert

Der pH-Wert stellt den negativen dekadischen Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration  $\text{H}^+$  dar und beeinflusst das Gleichgewicht von Säuren und Basen, die Fällungsreaktionen, die elektrische Ladung an Partikeln und andere chemische und biologische Vorgänge im Wasser. Daher ist der pH-Wert eine zentrale physikalisch-chemische Größe zur Beurteilung des Wassers (Gujer, 2007).

$$\text{pH Wert} = -\log[\text{H}^+]$$

Die Kontrolle und eine eventuelle Einstellung des pH-Wertes sind insbesondere bei Aufbereitungsverfahren wie Flockung und Desinfektion sinnvoll.

Ein pH-Wert von 7 gilt als neutral, pH-Werte unter 7 als sauer und pH-Werte über 7 als basisch bzw. alkalisch. Dies ist jedoch nur bedingt richtig, da der pH-Wert temperaturabhängig schwankt. Tatsächlich hat nur reines Wasser bei 24 °C einen pH-Wert von 7, 10 °C kaltes Wasser weist bereits einen pH-Wert von 7,27 auf (Mutschmann et al., 2007).

Typische pH-Werte für Trinkwasser liegen zwischen 7 und 8 (Gujer, 2007). Wasser mit einem pH-Wert von 8 schmeckt fad, bei höheren Werten macht sich ein seifiger Geschmack bemerkbar (Roeske, 2007). Die Trinkwasserverordnung legt einen zulässigen pH-Wertebereich für Trinkwasser zwischen 6,5 und 9,5 pH-Einheiten fest. Diese Wässer sind für den menschlichen Organismus unbedenklich. Dennoch können technische Probleme bei der Wassergewinnung, -aufbereitung, -speicherung, -verteilung bei zu niedrigen bzw. zu hohen pH-Werten (Aggressivität gegenüber Kalk und Metall; auftretender Kalkausfall) auftreten (Mutschmann et al., 2007).

Ferner verlangt die Trinkwasserverordnung, dass Trinkwasser nicht korrosiv wirken darf. Korrosionstechnisch günstige pH-Werte liegen zwischen 7,8 und 8,5 (Merkl, 2008).

### 2.1.5.9 Calcitlösekapazität

Calcit ist die am häufigsten auftretende Kristallform des Calciumcarbonats. Bei Kontakt von Wasser mit Calcit kann es zur Auflösung oder zur Abscheidung von Calciumcarbonat  $\text{CaCO}_3$  kommen. Neigt das Wasser weder zur Auflösung noch zur Abscheidung von  $\text{CaCO}_3$  so befindet es sich im Zustand der Calciumcarbonatsättigung bzw. Calcitsättigung. Jedes Wasser besitzt hierzu einen eigenen Sättigungs-pH-Wert, dieser ist keinesfalls ident mit dem „Neutralpunkt“ von reinem Wasser. Eine Auflösung von Calcit geschieht bei Unterschreitung dieses Wertes und eine Abscheidung bei einer Überschreitung, denn dann liegt eine Übersättigung des Wassers mit Calciumcarbonat vor (Mutschmann et al., 2007).

In der österreichischen Trinkwasserverordnung sind zur Calcitlösekapazität keine Angaben festgelegt. Die deutsche Trinkwasserverordnung verlangt jedoch eine Calcitlösekapazität am Ausgang des Wasserwerkes von maximal 5 mg/L und weist daraufhin, dass diese Forderung als erfüllt gilt, wenn der pH-Wert  $\geq 7,7$  ist. Im Verteilernetz darf ein Wert von 10 mg/L nicht überschritten werden (DVGW, 2013).

### 2.1.5.10 Wasserhärte

Der Gehalt an Erdalkalien (Calcium, Magnesium, Barium und Strontium) in mmol/L oder °dH wird als Wasserhärte bzw. Härte des Wassers bezeichnet. Die wesentlichsten Mineralien sind Calcium und Magnesium; Barium und Strontium treten nur sehr selten auf. Daher kann die Wasserhärte als Gehalt an gelösten Calcium- und Magnesiumionen angesehen werden. In Sonderfällen, beispielsweise bei Meerwasser, ist der Gehalt an Barium und Strontium zu beachten.

Reines Niederschlagswasser ist sehr weich. Versickert dieses, nimmt es je nach geologischer Lage und Kohlensäuregehalt mehr oder weniger Härtebildner auf (Mutschmann et al., 2007).

In Gegenden mit löslichem Kalkspat-, Gips- oder Dolomitschichten sind harte Wässer vorhanden, hingegen sind weiche Wässer in Gebieten mit unlöslichem Basalt, Sandstein, Gneis oder Granit anzutreffen (Merkl, 2008).

Die Gesamthärte ist die Summe aus

- *Temporärer Härte*

Beim Erwärmen des Wassers über 60 °C wird Kohlensäure aus dem Wasser ausgetrieben, wodurch die Carbonate nicht mehr in Lösung gehalten werden können und aus der Lösung ausgeschieden werden. Das bedeutet, unlösliches Calciumcarbonat (Kalkstein, Kesselstein) fällt aus (Merkl, 2008).

- *Permanenter Härte*

Beim Erwärmen bzw. Kochen des Wassers bleibt diese Härte erhalten. Dies ist dadurch möglich, da einige Calcium- und Magnesiumionen an Sulfate, Phosphate, Silikate, Nitrate, Humate (Salze der Huminsäure), Chlorite gebunden sind (Merkl, 2008).

Natürlich bedingte hohe Wasserhärten sind gesundheitlich unbedenklich. Das Gegenteil ist bei geringen Wasserhärten der Fall, denn zu weiches Wasser soll Herzerkrankungen und Zahnschäden fördern. Tabelle 1 zeigt die Härtebereiche für Trinkwasser. Wässer mit 10 °dH bis 15 °dH werden am angenehmsten empfunden. Dies entspricht einem mittel-harten Wasser. Indessen schmeckt weiches Wasser fad. Im Haushalt bringt hartes Wasser jedoch eine Reihe von Nachteilen mit sich, beim Erhitzen über 60 °C bildet es Kesselstein, was bei Badeboilern, Kaffemaschinen, Warmwasserheizungen zu Verkrustungen führen kann. Weiter erhöht hartes Wasser den Seifenverbrauch und macht Gewebe brüchig und grau. Dennoch ist eine zentrale, also im Wasserwerk direkte Enthärtung bei erhöhter Wasserhärte nicht zu empfehlen, da durch ein Enthärtungsverfahren meist andere Stoffe ins Wasser eingetragen werden, welche gesundheitlich meist bedenklicher sind als die Erdalkalien. Eine zentrale Enthärtung ist erst dann zweckmäßig, wenn die Wasserhärte 3,8 mmol/L bzw. 21 °dH über-

steigt. Die Problematik der Verkrustung im Warmwasserbereich kann minimiert werden, indem Temperaturen über 60 °C nicht überschritten werden (Mutschmann et al., 2007).

Tabelle 1: Härtebereiche für Trinkwasser (Merkl, 2008)

1	= weich	0 – 8,4	°dH	0 – 1,5	mmol/L
2	= mittel	8,4 – 14	°dH	1,5 – 2,5	mmol/L
3	= hart	> 14	°dH	> 2,5	mmol/L
(4)	(= sehr hart)	(> 21)	(°dH)	(> 3,75)	(mmol/L)

#### 2.1.5.11 Redoxspannung

Die Redoxspannung ist ein Maß für das Reduktions- bzw. Oxidationsvermögen des Wassers und wird in [mV] angegeben. Herrscht eine negative Spannung, so überwiegen die Reduktionsmittel, ist dagegen eine positive Spannung dominierend, so überwiegen die Oxidationsmittel. Ein Stoff mit einer höheren Redoxspannung kann einen anderen Stoff mit einer niedrigeren Redoxspannung oxidieren. Ein positives Redoxspannung im Wasser stellt ein Maß für die Oxidation und die keimtötende Wirkung dar. Damit kann es als einfache Kontrolle einer Desinfektion dienen, wenn eine Änderung des Chlorzehrungspotenzials durch algenbürtige Stoffe (bei Talsperrenwässern) zu erwarten ist. Zu beachten ist auch, dass die Redoxspannung wesentlich von der Temperatur abhängig ist und sich mit dem pH-Wert ändert (Mutschmann et al., 2007).

### 2.1.6 Inhaltsstoffe

Die Natur bringt selten reines Wasser hervor. Jeder Kontakt des Wassers mit Gasen oder Feststoffen führt zu einem Stoffeintrag (Grohmann et al., 2011). Trinkwasser spiegelt daher regionale Besonderheiten wider und kann nicht als Einheitswasser gesehen werden. Die Beschaffenheit des Wassers ist abhängig vom durchsickerten, belebten Boden, dem durchströmten Gestein, der Länge des Fließweges, sowie der Verweilzeit im Untergrund (Höll, 2010).

Das Wasser bzw. die Wasserproben können qualitativ und quantitativ untersucht werden. Unter qualitativer Untersuchung sind dabei vor allem die organoleptisch untersuchten Merkmale wie Klarheit bzw. Trübung, Färbung, Geruch und Geschmack zu verstehen. Eine quantitative Analyse bestimmt den Gehalt an Stoffen im Wasser und gibt diese entweder als chemische Konzentration [mmol/L] oder als Massenkonzentration [mg/L] an (Grohmann et al., 2011).

Die Unterscheidung zwischen Summenparametern und Einzelstoffen ist für eine richtige Interpretation der Wasserqualität wichtig. In Summenparametern sind Gruppen unterschiedlicher Stoffe, die eine gemeinsame Eigenschaft besitzen, zusammengefasst. Bei Analysen von Einzelstoffen wird ein einzeln definierter Stoff gezielt untersucht (Gujer, 2007).

Die vielen Einzelstoffe im Wasser können in gelöste und ungelöste Stoffe eingeteilt werden. Die Abbildung 1 bietet dazu eine Übersicht an, in der auch die Bereiche der Trübung und Färbung angezeigt werden. Die ISO 15089:2000 legt zwischen Trübung und Färbung eine Grenze von  $0,45 \mu\text{m}$  fest. Partikel die größer sind, werden als Trübung definiert und kleinere Partikel als Färbung.

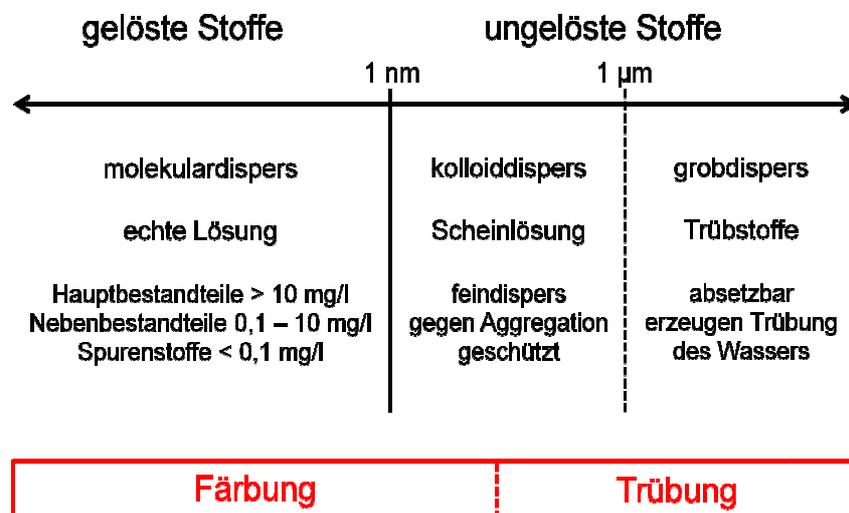


Abbildung 1: Übersicht von Inhaltsstoffen im Wasser nach ihrer Größe und ihrem Lösungszustand zusammengestellt nach (Grohmann et al., 2011) & (Merkl, 2008)

#### 2.1.6.1 Ungelöste Stoffe

Ungelöste Stoffe sind alle im Wasser fest vorliegenden Stoffe. Mit Suspension oder Suspensa bezeichnet man die Summe aller festen Stoffe im Wasser. In der Analytik spricht man in diesem Zusammenhang von abtrennbaren Stoffen. Die ungelösten Stoffe im Wasser werden je nach ihrer Größe in grobdisperse und kolloiddisperse Stoffe unterschieden. Diese Stoffe

haben eine große Bedeutung für die Wasserqualität und zeigen sich im Wasser anhand der Trübung. An diesen Trübstoffen können sich wiederum Mikroorganismen anlagern, welche im Trinkwasser je nach Art als Krankheitserreger wirksam werden können. Daher muss, ein Wasser welches als Trinkwasser verwendet werden soll, trübstofffrei und damit keimarm sein (Grohmann et al., 2011).

- **Grobdisperse Stoffe**  $d > 1 \mu\text{m}$  = Schwebstoffe oder Trübstoffe  
Hierbei sind die organischen und anorganischen absetzbaren Stoffe gemeint, welche unter einem Lichtmikroskop noch sichtbar sind. Durch eine Streuung des Lichtes wird eine Trübung des Wassers erzeugt (Grohmann et al., 2011).
- **Kolloiddisperse Stoffe**  $1 \text{ nm} < d < 1 \mu\text{m}$  = Scheinlösung, feindispers  
Diese Stoffe sind nicht absetzbar und unter dem Lichtmikroskop nicht mehr erkennbar. Jedoch können sie als Lichtpunkte bei dunklem Hintergrund erfasst werden. Aufgrund ihrer gleichsinnigen Ladung stoßen sie einander ab und sind gegen eine Aggregation geschützt und bleiben somit in Schwebelage. Kolloide Stoffe sind unter anderem Huminstoffe (Grohmann et al., 2011).

#### 2.1.6.2 Gelöste Stoffe

Aufgrund des Lösungsvermögens von Wasser (siehe 2.1.5.2) kann es eine Vielzahl an gelösten Stoffen enthalten. Leiten diese molekulardisperse Stoffe elektrischen Strom so werden sie Elektrolyte genannt.

- **Molekulardisperse Stoffe**  $d < 1 \text{ nm}$  = echte Lösung

Diese molekulardispersen Stoffe werden je nach Massenkonzentration in Hauptinhaltsstoffe, Nebeninhaltsstoffe sowie in Spurenstoffe eingeteilt (siehe Tabelle 2):

Tabelle 2: Gelöste Inhaltsstoffe im Wasser nach ihrer Massenkonzentration zusammengestellt nach (Grombach et al., 2000) & (Mutschmann et al., 2007)

Hauptinhaltsstoffe > 10 mg/L	Nebenbestandteile 0,1-10 mg/L	Spurenstoffe < 0,1 mg/L
Calcium Magnesium Natrium Chlorid Hydrogencarbonat Sulfat	Kalium Mangan Eisen Strontium Nitrat Fluor	Aluminium Antimon Blei Bor Cadmium Chrom Cyanid Fluorid Und Andere

Die Inhaltsstoffe können weiter nach ihrer Art eingeteilt werden. Eine Zusammenstellung ist im Anhang A zu finden.

### 2.1.7 Rechtliche Bestimmungen

Das Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz (LMSVG, BGBl. I Nr. 13/2006) stellt Grundsätze und Anforderungen an Lebensmittel, Wasser für den menschlichen Gebrauch, Gebrauchsgegenstände und kosmetische Mittel zum Schutze der Verbraucher dar. Es besagt, dass das Inverkehrbringen von gesundheitsschädlichen oder für den menschlichen Verzehr ungeeigneten Lebensmitteln verboten ist.

Gemäß § 3 Z 2 LMSVG ist Wasser für den menschlichen Gebrauch Wasser vom Wasserspender bis zum Abnehmer zum Zweck der Verwendung als Lebensmittel und in Lebensmittelunternehmen.

Genauere Anforderungen an das Inverkehrbringen, die Qualität und die Kontrolle des Wassers für den menschlichen Gebrauch sind in der *Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch* – kurz Trinkwasserverordnung TWV – geregelt. Diese Verordnung wurde am 21. August 2001 vom Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz herausgegeben, ist nicht auf natürliche Mineralwässer anwendbar und stellt die nationale Umsetzung der europäischen Richtlinie 98/83/EG dar. Die letztgültige Fassung ist am 30.10.2012 im BGBl. II Nr. 359/2012 veröffentlicht worden.

Mit in Kraft Treten der Trinkwasserverordnung sind frühere Verordnungen wie Trinkwasser-Nitratverordnung und Trinkwasser- Pestizidverordnung als ungültig erklärt worden.

Darüber hinaus gibt es das österreichische Lebensmittelbuch (ÖLMB). Das Kapitel B1 „Trinkwasser“ erläutert die Qualitätskriterien für Trinkwasser, beinhaltet zulässige Aufbereitungsverfahren, gibt Werte für Desinfektionsmaßnahmen und begrenzt unerwünschte oder toxische Stoffe, die in der Trinkwasserverordnung nicht aufgelistet sind.

#### 2.1.7.1 Trinkwasserverordnung - Allgemeines

Die Trinkwasserverordnung fordert, dass Wasser geeignet sein muss, um getrunken und verwendet zu werden, ohne dabei eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit nach sich zu ziehen. Dies ist dann gegeben, wenn Mikroorganismen, Parasiten und derartige Stoffe nur in einer gewissen Anzahl bzw. Konzentration im Wasser enthalten sind, welche die menschliche Gesundheit nicht gefährden (TWV, 2001).

Paracelsus prägte schon vor über 400 Jahren den heute noch gültigen und in diesem Zusammenhang passenden Grundsatz:

*„Dosis sola facit venenum“ – „Allein die Menge macht das Gift“*

Dies gilt im Allgemeinen auch für Trinkwasser, denn auch Trinkwasser ist zwar keimarm, jedoch nicht völlig keimfrei (Höll, 2010).

In der Trinkwasserverordnung wird zwischen „Parametern“ und „Indikatorparametern“ unterschieden. Dabei stellen die Parameter die Mindestanforderungen an das Trinkwasser dar. Bei einer Überschreitung der Parameter im Rohwasser bedarf es einer Aufbereitung. Weist das aufbereitete Wasser eine Überschreitung der geforderten Parameter auf, darf das Wasser nicht verteilt werden. Die Indikatorparameter dienen dem Zweck der Überwachung. Bei einer Überschreitung darf das Wasser zwar weiter verteilt werden, jedoch ist die Ursache der Überschreitung zu prüfen und etwaige Gegenmaßnahmen einzuleiten.

### 2.1.7.2 Trinkwasserverordnung - Parameter

Die Parameterwerte sind Grenzwerte bzw. Höchstkonzentrationen und sind in der Trinkwasserverordnung so begrenzt, dass nach derzeitigen Erkenntnissen ein lebenslanger, täglicher Konsum von Trinkwasser keine schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen hat (ÖLMB, 2007).

Die Trinkwasserverordnung unterscheidet zwischen mikrobiologischen und chemischen Parametern. Wobei an erster Stelle die mikrobiologischen Parameter genannt werden, da bei ihrem Vorkommen bereits der einmalige Wasserkonsum eine Infektion hervorrufen kann. Erhöhte Konzentrationen der chemischen Stoffe hingegen verursachen erst nach längerem Wasserkonsum eine gesundheitliche Beeinträchtigung (Merkl, 2008).

#### Mikrobiologische Parameter:

Der konkrete Nachweis von einzelnen Krankheitserregern ist sehr zeitaufwendig. Daher erfolgt die mikrobiologische Beurteilung von Wasser anhand von Anzeige- oder Indikatororganismen. Diese haben die gleiche Herkunft und die gleichen Überlebenszeiten im Wasser wie die Krankheitserreger selbst, sind aber deutlich einfacher und schneller nachweisbar (Höll, 2010).

Die Tabelle 3 zeigt die mikrobiologischen Anforderungen an das Trinkwasser. Die Parameter dürfen in einer Probe von 100 ml nicht desinfiziertem Wasser nicht nachweisbar sein. Für desinfiziertes Wasser dürfen diese in einer Wasserprobe von 250 ml nicht nachweisbar sein.

Tabelle 3: Mikrobiologische Parameter für nicht desinfiziertes und desinfiziertes Trinkwasser gemäß Trinkwasserverordnung (TWV, 2001)

Parameter	Nicht desinfiziertes Wasser		Desinfiziertes Wasser	
	0	Anzahl/100 ml	0	Anzahl/250 ml
Escherichia Coli	0	Anzahl/100 ml	0	Anzahl/250 ml
Enterokokken	0	Anzahl/100 ml	0	Anzahl/250 ml
Pseudomonas aeruginosa	0	Anzahl/100 ml	0	Anzahl/250 ml

#### Chemische Parameter:

Die aktuelle Tabelle ist der aktuellen Trinkwasserverordnung zu entnehmen.

### 2.1.7.3 Trinkwasserverordnung - Indikatorparameter

Konzentrationen von Inhaltsstoffen, Mikroorganismen oder Strahlenaktivität werden mittels Indikatorparameter vorgegeben. Bei Überschreitung der Werte von Indikatorparameter ist die Ursache zu ermitteln und im Weiteren festzustellen, ob bzw. welche Maßnahmen zur Aufrechterhaltung einer einwandfreien Wasserqualität notwendig sind (TWV, 2001).

#### Chemische und physikalische Indikatorparameter:

Die chemischen und physikalischen Indikatorparameter sind in der Trinkwasserverordnung aufgelistet. Einige von ihnen sind bei der routinemäßigen Untersuchung vorgeschrieben. Somit können Änderungen der Wasserqualität festgestellt werden und die dazu notwendigen Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Vor allem die Indikatorparameter Trübung und Temperatur können kontinuierlich mittels eingebauter Trübungs- und Temperaturmesser überwacht und Änderungen schnell bemerkt werden.

Mikrobiologische Indikatorparameter:

Tabelle 4 zeigt die mikrobiologischen Indikatorparameter. Für desinfiziertes Wasser gelten die angeführten Werte unmittelbar nach Abschluss der Desinfektion. Der Vergleich der Werte zwischen Wasser vor und nach der Desinfektionsmaßnahme stellt die Wirksamkeit der Desinfektion dar. Diese mikrobiologischen Indikatorparameter sind im Zuge jeder routinemäßigen Untersuchung laut TWV vorgeschrieben.

Tabelle 4: Mikrobiologische Indikatorparameter gemäß Trinkwasserverordnung (TWV, 2001)

Indikatorparameter	Nicht desinfiziertes Wasser		Desinfiziertes Wasser	
KBE 22 (koloniebildende Einheiten bei 22 °C Bebrütungstemperatur)	100	Anzahl/ml	10	Anzahl/ml
KBE 37 (koloniebildende Einheiten bei 37 °C Bebrütungstemperatur)	20	Anzahl/ml	10	Anzahl/ml
Coliforme Bakterien	0	Anzahl/100 ml	0	Anzahl/250 ml
Clostridium perfringens (einschließlich Sporen)	0	Anzahl/100 ml	0	Anzahl/250 ml

## 2.1.7.4 Trinkwasserverordnung - Eigenkontrolle

Gemäß § 5 der TWV, hat der Betreiber einer Wasserversorgungsanlage

- *“die Wasserversorgungsanlage so zu errichten, dass diese dem Stand der Technik entspricht. Der Betreiber hat dafür zu sorgen, dass die Anlage in einem ordnungsgemäßen Zustand gehalten und eine negative Beeinflussung des Wassers vermieden wird. Daher hat die Errichtung, Wartung und Instandhaltung der Anlage von fachlich geschulten Personen zu erfolgen. Die Aufzeichnungen über diese Maßnahmen, insbesondere jedoch Baupläne und Planungsunterlagen sind aufzubewahren und jederzeit auf Forderung der zuständigen Behörden vorzulegen,*
- *Untersuchungen des Wassers von hierzu berechtigten Untersuchungsanstalten oder Personen durchführen zu lassen. Die TWV legt im Anhang II die zu analysierenden Parameter für routinemäßige und umfassende Kontrollen fest. Im Anhang III der TWV werden Spezifikationen für die Analyse der Parameter angegeben. Die Untersuchungshäufigkeit ist in der Tabelle 5 zusammengestellt und ist von der Menge des täglich abgegebenen Wassers abhängig. Diese täglich abgegebene Wassermenge kann entweder als Mittelwert über ein Jahr oder durch Umrechnung der Einwohnerzahl des Versorgungsgebietes berechnet werden. Für diese Umrechnung ist ein täglicher Wasserverbrauch von 200 l pro Einwohner anzusetzen,*

Tabelle 5: Mindesthäufigkeiten für Untersuchungen von Trinkwasser (TWV, 2001)

Menge des abgegebenen Wassers [m <sup>3</sup> /Tag]	Routinemäßige Kontrollen [Anzahl der Proben/Jahr]	Umfassende Kontrollen [Anzahl der Proben/Jahr]
≤ 10	-	1
> 10 bis ≤ 100	1	1
> 100 bis ≤ 1.000	4	1
> 1.000 bis ≤ 10.000	4	1
> 10.000 bis ≤ 100.000		3
> 100.000		10

- *die Proben dort entnehmen zu lassen, wo eine zweckmäßige Beurteilung der Qualität des Wassers möglich ist,*
- *die Befunde und Gutachten der durchgeführten Untersuchungen unverzüglich an die zuständige Behörde zu übermitteln. Befunde und Gutachten von routinemäßigen Untersuchungen sind mindestens fünf Jahre und von umfassenden Untersuchungen mindestens zehn Jahre aufzubewahren und*
- *bei Nichteinhalten der vorgegebenen mikrobiologischen und chemischen Anforderungen sofort Maßnahmen zu ergreifen, um die einwandfreie Qualität des Wassers wiederherzustellen. Spätestens innerhalb von 30 Tagen müssen die Parameterwerte den Anforderungen der TWV genügen. Sowohl die Behörde als auch die Abnehmer sind unverzüglich über die betreffenden Parameter samt Parameterwerten zu informieren.“*

#### 2.1.7.5 Trinkwasserverordnung - Überwachung

Gemäß § 7 der TWV, hat die zuständige Behörde

- *“die Stelle an der die Proben entnommen werden, festzulegen. Hier sind sowohl Probenahmestellen direkt in der Wasserversorgungsanlage als auch im Verteilungsnetz notwendig. Unterliegt das Wasser einer Desinfektion, sind weitere Probenahmestellen auf verschiedenen Stufen der Anlage anzuordnen um die Wirksamkeit der Desinfektion zu überprüfen,*
- *die Möglichkeit bei ihrer Überwachung, Untersuchungen der Parameter Aussehen, Geruch, Geschmack, Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Nitrit und Parameter der Desinfektionsmaßnahmen durch geschulte Personen selbst durchzuführen,*
- *die Möglichkeit für einen bestimmten Zeitraum den Umfang der Untersuchungen um einen bestimmten Parameter zu reduzieren. Voraussetzung ist, dass dieser Parameter nicht in Konzentrationen vorhanden sein wird, welche das Einhalten der entsprechenden Werte gefährden könnte und*
- *die Möglichkeit bei Bedarf den Umfang und die Häufigkeit der Untersuchungen zu erhöhen. Zusätzlich können einzelne zu untersuchende Parameter vorgeschrieben werden. Dies dient der Überwachung einer einwandfreien Trinkwasserqualität.“*

## 2.2 Trinkwasseraufbereitung

Rohwässer, welche die Mindestanforderungen an Trinkwasser nicht sicherstellen, müssen aufbereitet werden. Die Aufbereitungsart kann nicht generell festgelegt werden und richtet sich immer nach der Qualität des Rohwassers. Dabei werden die chemischen, physikalischen und hygienischen Eigenschaften des Wassers derart verändert, sodass der Verbraucher zu jeder Zeit einwandfreies und hygienisch stabiles Trinkwasser erhält. Auch die Gefahr einer Wiederverkeimung bzw. Nachverkeimung im Netz darf nicht gegeben sein. Dies kann durch eine Elimination oder maximale Reduktion des organischen Nährstoffangebotes gewährleistet werden. Bei fehlenden organischen Nährstoffen können Mikroorganismen nicht wachsen oder sich vermehren (Gujer, 2007).

### 2.2.1 Aufgabe

Laut Grombach et al. (2000) hat die Trinkwasseraufbereitung die Aufgabe, manche Stoffe

- *möglichst vollständig zu entfernen (Kumulationsgifte, Schadstoffe)*
- *unter eine vorgegebene Konzentration zu verringern (akut toxische Stoffe)*
- *erforderliche Konzentrationen einzustellen (je nach vorliegender Konzentration Stoffe zu entfernen oder zuzusetzen)*
- *möglichst weitgehend zuzugeben (bis zur Sättigung)*

Eine Aufbereitungsanlage besteht meist aus einer Kombination von Verfahrensschritten. Die Qualität des Rohwassers wird dabei Schritt für Schritt verbessert bis am Ende der Aufbereitungsanlage ein für den menschlichen Genuss unbedenkliches und für die Verteilung stabiles Trinkwasser entsteht. Bei der Wahl der Verfahrenskombination ist zu beachten, dass jedes einzelne Verfahren spezifischen Randbedingungen unterliegt und unterschiedliche eingangsseitige Wasserqualitäten verlangt.

Das gewählte Verfahren bzw. die gewählten Verfahrensschritte müssen für große Produktionsströme geeignet, betriebssicher und leicht steuerbar sein, nach Möglichkeit automatisiert arbeiten, einen Dauerbetrieb zulassen und eventuelle Schwankungen der Durchsatzleistung erlauben (Grombach et al., 2000).

Abhängig vom Aggregatzustand und Dispersionsgrad der Inhaltsstoffe können die in der Tabelle 6 aufgelisteten Aufbereitungsverfahren angewandt werden.

Tabelle 6: Verfahren der Trinkwasseraufbereitung nach (Grombach et al., 2000)

abzuscheidende Stoffe		Aufbereitungsverfahren	
Gase	molekulardispers	Gasaustausch	
Feststoffe	grobdispers	Siebung	
		Filtration	
		Sedimentation	
		Flotation	
		kolloiddispers	Flockung
	molekulardispers	Fällung	
		Sorption	
		Membranverfahren	
Destillation			

## 2.2.2 Vorreinigung

Die Aufgabe der Vorreinigung ist die Entfernung von Schwimm- und Schwebstoffen (Blätter, Äste, Algen und Plankton). Diese wird vor allem dann notwendig, wenn das Trinkwasser aus Oberflächenwässern gewonnen wird (Mutschmann et al., 2007).

### 2.2.2.1 Rechen

Rechen sind parallel angeordnete Stäbe. Der Abstand zwischen den Stäben ist konstant. Rechen werden je nach ihrer Durchgangsweite unterschieden und halten grobe Anteile an Schwimmstoffen zurück (Mutschmann et al., 2007).

- *Grobrechen*                      3-10 cm
- *Mittelrechen*                    1-3 cm
- *Feinrechen*                     0,3-1 cm

Bei Trinkwassertalsperren und Seen werden meist Saugkörbe bzw. Feinrechen verwendet, da die Entnahme in großen Tiefen erfolgt und keine Schwimmstoffe vorhanden sind. Zur Flusswasserentnahme werden vorwiegend Grobrechen mit elektrischen Fischabweisern und Mittelrechen mit einer automatischen Rechenreinigung verwendet.

Da der freie Durchflussquerschnitt des Rechens etwa gleich dem Querschnitt des normalen Zulaufgerinnes sein soll, erfolgt im Bereich der Rechenanlage eine Aufweitung. Die Rechenanlage darf nicht als Sandfang wirken, weshalb die Durchflussgeschwindigkeit nicht zu klein sein dürfen ( $> 0,5$  m/s). Es soll auch darauf geachtet werden, dass die Eintrittsfläche abwärts oder höchstens senkrecht zur Fließrichtung liegt, damit möglichst wenige Schwimmstoffe zuströmen können (Perfler, 2011).

### 2.2.2.2 Siebe

Unter Sieben sind zweidimensionale Netzwerke zu verstehen, welche der Abtrennung von kleineren Stoffen aller Art im mm-Bereich dienen (Wilhelm, 2008).

Durch den Einsatz von Sieben und damit der Entfernung von Schwebstoffen werden die nachgeschalteten Aufbereitungsverfahren wie Flockung, Sedimentation und Filtration nicht belastet.

In der Aufbereitung von Trinkwasser werden Makrosiebe selten eingesetzt. Makrosiebe, mit einer Maschenweite  $> 0,3$  mm halten Feinsande und Insekten zurück. Häufiger werden Mikrosiebe verwendet, die mit ihrer Maschenweite von  $< 100$   $\mu\text{m}$  Plankton entfernen. Zur Anwendung kommen Siebband- oder Trommelmaschinen (Mutschmann et al., 2007).

### 2.2.2.3 Entsandung

Sandfänge werden häufig bei Flusswasserentnahmen und manchmal auch bei sandführenden Quellen notwendig. Hierbei werden feste Inhaltstoffe  $> 0,2$  mm zurückgehalten. Suspensionen und feine organische Inhaltsstoffe werden dabei weiter transportiert. Grundlage für die Bemessung von Sandfängen ist das Prinzip der Sedimentation (Mutschmann et al., 2007).

### 2.2.3 Sedimentation

Die Sedimentation (lat. *sedimentum* = Bodensatz) ist die Abtrennung von Feststoffen aus dem Wasser allein durch die Schwerkraft (Veolia, 2010).

Die Einsatzmöglichkeit der Sedimentation ist durch die Größe der abzuscheidenden Teilchen begrenzt. Kleine Teilchen haben eine geringe Absetzgeschwindigkeit und demnach eine sehr lange Sedimentationszeit (Gimbel et al., 2004).

Die folgende Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang zwischen der Größe und Dichte der Inhaltsstoffe im Wasser und der Sedimentationszeit. Demzufolge ist die Sedimentation für Teilchen kleiner 1-10  $\mu\text{m}$  nicht geeignet, da die Sedimentationszeit zu lang wird (Gimbel et al., 2004).

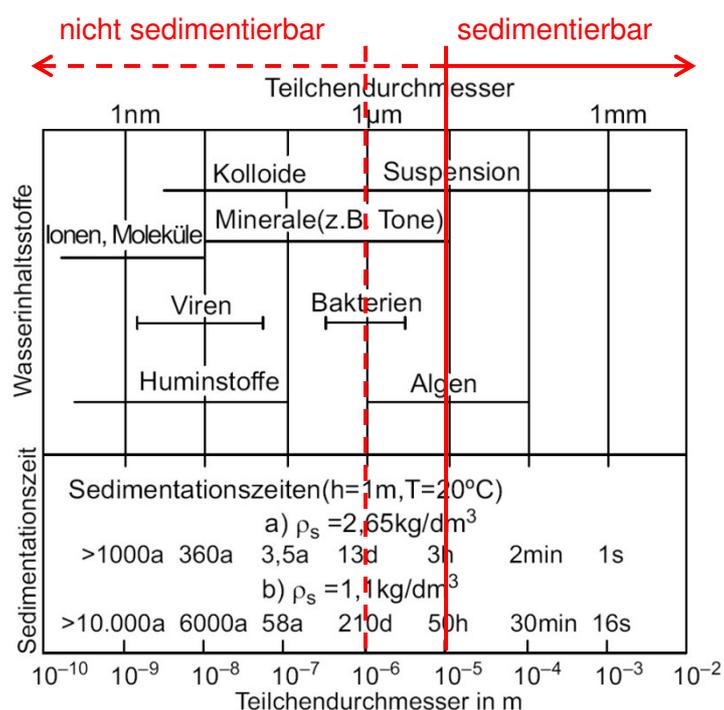


Abbildung 2: Einteilung der Wasserinhaltsstoffe nach ihrer Größe (DVGW, 1987)

Die Sedimentation ist ein betriebstechnisch einfaches Verfahren und kann ohne großen Energieaufwand betrieben werden. Nachteilig ist die Tatsache, dass im Vorfeld nicht alle Partikel erfasst und identifiziert werden können. Dadurch kann keine zuverlässige Aussage über die Absetzeigenschaften der Partikel gegeben werden. Ein weiterer Nachteil ist der große Platzbedarf, wodurch das Verfahren der Sedimentation in bebauten Gebieten oder für kleine Anlagen nicht zu empfehlen ist (Perfler, 2011).

Ein Einsatz dieses Verfahrens ist vor allem für Rohwässer mit hohen Feststoffgehalten und mit guten Partikel-Absetzeigenschaften geeignet. Typische Anwendung der Sedimentation ist der, in der Vorreinigung vorkommende Sandfang. Dieser kann als Längssandfang oder Rundsandfang ausgeführt werden. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ist die Behandlung des Spülwassers, welches bei einer Filtration anfällt (Mutschmann et al., 2007).

### 2.2.4 Flotation

Die Flotation (engl. *to float* = schwimmen) ist die Bewegung von Feststoffen im Wasser nach oben unter Einwirken einer überwiegenden Auftriebskraft - Aufschwimmverfahren. Die wirkende Auftriebskraft kann durch das Einbringen von Luftblasen vergrößert werden. Die Luftblasen haften sich an den suspendierten Teilchen an und steigen schneller zur Wasseroberfläche auf. Von der Wasseroberfläche wird das Partikel-Luft-Gemisch von einem Räumler abgezogen und abgeleitet (Gimbel et al., 2004). Die Abbildung 3 zeigt das Prinzip einer Flotationsanlage.

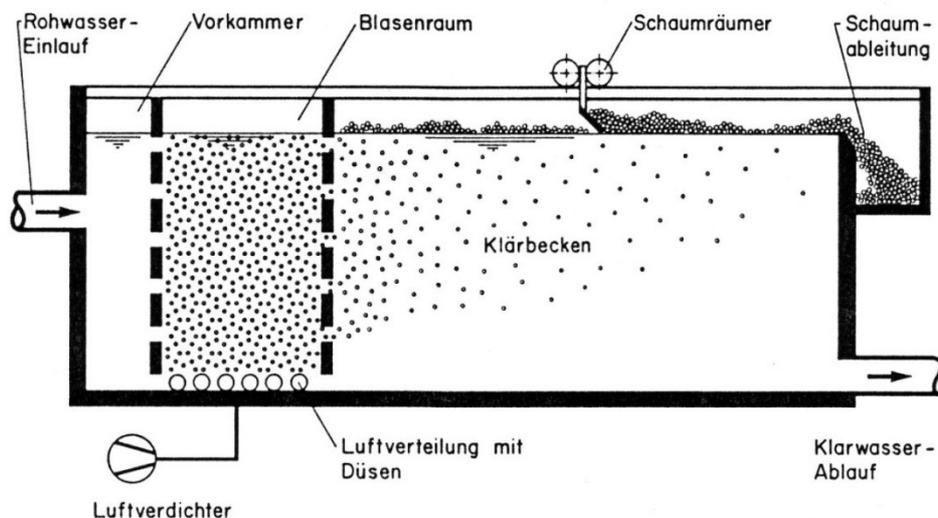


Abbildung 3: Flotationsanlage mit Blasenerzeugung, Belüftungsbecken, Flotationsbecken und Schwimmstoffabzug (Grombach et al., 2000)

Die Größe der eingebrachten Luftbläschen beeinflusst die Aufschwimmeigenschaften wesentlich. Große Luftblasen steigen zwar schneller auf, haften jedoch nicht gut an kleinen Feststoffteilchen. Daher gilt, je feiner die Luftblasen, desto besser und gleichmäßiger bleiben sie an den Partikel haften und desto besser ist der Wirkungsgrad der Flotation (Veolia, 2010).

Das Verfahren der Flotation stellt den Gegensatz zur Sedimentation dar und benötigt daher leichte und feine Partikel. In der Trinkwasseraufbereitung kommt die Flotation selten zum Einsatz, kann aber bei Rohwässern mit geringer Trübung und einer starken Färbung (Indiz für leichte und kleine Inhaltsstoffe) eingesetzt werden (Mutschmann et al., 2007).

### 2.2.5 Flockung

Als Flockung (lat. *flocculus* = kleines Büschel Wolle) bezeichnet man die Erzeugung künstlicher Flocken unter Beimengung bestimmter Flockungsmittel. Der Zweck einer Flockung ist es, die Entfernung von feinsuspendiert oder kolloidal vorliegenden Substanzen wie Tonen, Silikaten und Metalloxidhydraten zu unterstützen (Grombach et al., 2000).

Mit Hilfe dieser Methode können auch kleine organische Materien wie Algenzellen, Bakterien, Parasiten und Huminsäure aus dem Wasser abgeschieden werden (Merkl, 2008).

Das Flockungsverfahren wird in zwei wesentliche Phasen eingeteilt:

- **Koagulation** - Entstabilisierungsphase: Die zu entfernenden Teilchen sind meist elektrisch gleichsinnig geladen, stoßen einander ab und sind somit gegen Aggregation geschützt. Durch die Einmischung von Fremdionen (Flockungsmittel) werden die dispergierten Teilchen entladen bzw. entstabilisiert und somit in einen aggregationsfähigen Zustand versetzt.
- **Aggregation** - Wachstumsphase: In dieser Phase bewegen sich die entstabilisierten Teilchen zueinander und häufen sich zu größeren Agglomeraten zusammen. Diese Agglomerate lagern sich wiederum an den Flocken, welche durch Hydrolyse des Flockungsmittels entstanden sind, an.

Die entstandenen Flocken können dann durch nachgeschaltete Verfahren wie der Sedimentation, Flotation oder Filtration aus dem Wasser entfernt werden. Je nach Art des physikalischen Abtrennverfahrens sind unterschiedliche Flockenstrukturen erforderlich. Die Sedimentation fordert Flocken mit möglichst großer Dichte. Bei der Flotation ist die Anlagerungsfähigkeit von Luftblasen von Bedeutung – daher sind voluminöse, weniger dichte Flocken notwendig. Für die Filtration werden kompakte Flocken mit geringeren mittleren Flockendurchmesser und einer engen Flockengrößenverteilung benötigt (Mutschmann et al., 2007).

#### 2.2.5.1 Flockungsmittel

Salze höherwertiger Ionen dienen häufig als Flockungsmittel. Die Ladung, der im Wasser vorkommenden Kolloide, ist meist negativ. Für die Flockung werden daher Salze dreiwertiger positiv geladener Ionen, wie Eisen III- oder Aluminiumsalze verwendet (Grombach et al., 2000).

#### 2.2.5.2 Flockungshilfsmittel

Hierbei handelt es sich um lineare, wasserlösliche Polymere. Die Flockungshilfsmittel werden nach der Zugabe der Flockungsmittel eingesetzt. Flockungshilfsmittel unterstützen die Bildung gutabtrennbarer Makroflocken. Diese Phase nennt man Flocculation (Grohmann et al., 2011).

### 2.2.5.3 Verfahrensschritte der Flockung

Folgende Verfahrensschritte sind nach Mutschmann et al. (2007) notwendig:

- Dosierung und Mischung: Schnelle homogene Verteilung des Flockungsmittels, meist hohe Turbulenz zweckmäßig (Rührer, Rohrvermischung, statische Mischer)
- Entstabilisierung: Teils gleichzeitig mit der Einmischung des Flockungsmittels und im gleichen Anlagenteil ablaufend.
- Aggregation zu Mikrofloccen: Einfluss durch Rühren kaum möglich
- Aggregation zu Makrofloccen: Die Vergrößerung der Floccen erfolgt bei verringertem Energieeintrag und eventuell durch Zugabe von Flockungshilfsmittel. Je nach Abtrennverfahren erfolgt eine Optimierung.

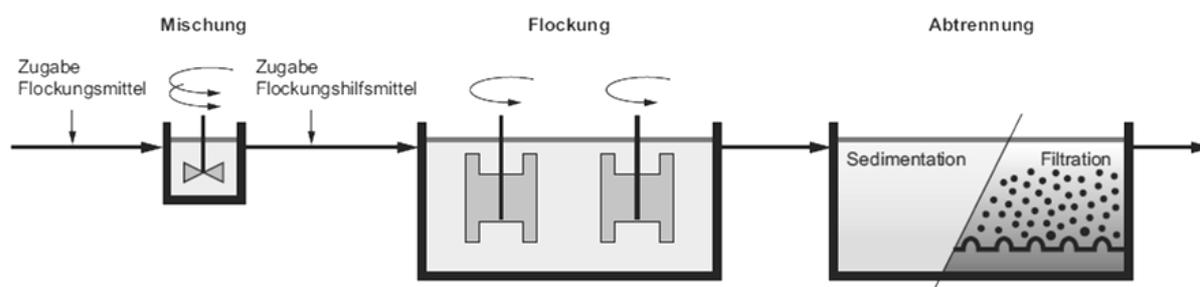


Abbildung 4: Schematischer Aufbau einer Flockungsanlage mit nachgeschalteter Abtrennung der Partikel (BAG, 2010)

### 2.2.5.4 Probleme

Dosierung, Einmischverhältnisse sowie die Reaktionszeit sind Faktoren, die den Flockungsprozess stark beeinflussen. Dadurch ergeben sich bei stark schwankender Rohwasserqualität Probleme mit der Dosierung von Flockungs- und Flockungshilfsmittel. Ein zu geringer Zusatz kann eine schwache Floccenbildung ergeben und eine zu hohe Zugabe kann wiederum zu einem Rückgang der Flockungsleistung führen. Jeder Einsatz von chemischen Flockungsmitteln ist mit einem unerwünschten Eintrag von diversen Substanzen verbunden. Diese müssen entweder direkt im Flockungsprozess oder in einem nachgeschalteten Verfahren auf ein Minimum gesenkt werden. Kontrollen des Reinwassers auf diese Substanzen sind daher unabdingbar (Perfler, 2011).

### 2.2.5.5 Qualitative Bemessungsgrundlagen

Grombach et al. (2000) gibt Hinweise zur Bemessung:

- *Flockungsmittel – Salze des dreiwertigen Eisen und Aluminiums*
- *Wirkung von Flockungsmittel – pH-Wert abhängig*

Prinzipiell	> 5,5
Bei Aluminiumsalzen	< 7,4
Bei Aluminiumchlorid	< 9,0
- *Wirkung von Flockungsmittel – temperaturabhängig*

Zunehmende Beweglichkeit der Partikel mit steigender Temperatur und damit sinkender Viskosität.
- *Oft muss pH-Wert nach der Flockung wieder angehoben werden*
- *Ozon unterstützt die Flockung*

- *Reihenfolge und zeitlicher Ablauf der Chemikaliengabe – entscheidende Rolle, Optimum wird durch Versuche ermittelt*
- *Gelegentlich muss eine zweite Flockung vorgenommen werden*

Die tatsächliche Zugabemenge ist stets abhängig von der Rohwasserqualität und kann nur experimentell ermittelt werden.

### **2.2.6 Fällung**

Als Fällung bezeichnet man jene Maßnahme, die echt oder kolloidal gelöste Bestandteile des Wassers in eine ungelöste absetzbare oder abfiltrierbare Form überführt. Da die Flockungs- und Fällungsvorgänge durch die gleichen Zusätze ausgelöst werden, laufen diese meist zusammen ab und können oft nicht unterschieden werden (Grombach et al., 2000). Mittels Fällung kann eine Entcarbonatisierung des Wassers durchgeführt werden (Veolia, 2010).

### **2.2.7 Filtration**

Mit der Filtration wird der Vorgang einer Konzentrationsverringerung gewisser Stoffe beim Durchströmen eines Filtermediums bezeichnet. Je nach Filtermedium können physikalische, chemische oder biologische Prozesse ablaufen (Grohmann et al., 2011). Die Filtration hat große Bedeutung in der Wasseraufbereitung, vor allem weil eine gute Partikelentfernung und damit ein weitgehend trübstoffreies Wasser für eine wirksame Desinfektion notwendig sind (Mutschmann et al., 2007).

Die meisten Filtrationen laufen diskontinuierlich ab, das heißt der einzelne Filter wird periodisch für Reinigungs- und Spülvorgänge außer Betrieb genommen (BAG, 2010). Es gibt aber auch Filter, die eine automatische Spülung durchführen können ohne den Betrieb zu stören.

Die Filtration kann grundsätzlich wie folgt eingeteilt werden:

- *Flächenfiltration (= kuchenbildende Filtration)*
- *Tiefenfiltration (= Raumfiltration)*

### **2.2.8 Flächenfiltration**

Die Flächenfiltration oder auch als Oberflächenfiltration bezeichnet, basiert auf einem physikalischen Abtrennmechanismus (Siebwirkung). Es werden Feststoffe an einer dünnen, flächenartigen Filterschicht mit definierter Porengröße abgetrennt (Perfler, 2011). Die abgetrennten Teilchen, welche den Filter nicht passieren können, verbleiben als Filterkuchen auf der Filterschicht zurück, siehe Abbildung 5 (Grohmann et al., 2011). Die Filterschicht muss regelmäßig von Ablagerungen gereinigt werden, um die Leistung des Filters aufrecht zu erhalten. Die Reinigung kann entweder nach zeitlichen Intervallen definiert sein oder abhängig vom Differenzdruck ausgelöst werden.

Konventionelle Beispiele:

Mikrosiebe, Tuchfilter

Moderne Beispiele:

Membranverfahren (siehe Punkt 2.2.10)

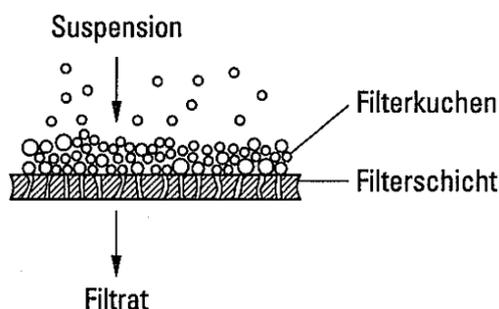


Abbildung 5: Flächenfiltration (kuchenbildende Filtration) (Grohmann et al., 2011)

### 2.2.9 Tiefenfiltration

Der Unterschied zur Flächenfiltration ist, dass die abzutrennenden Teilchen im Inneren – in der Tiefe einer porösen Filterschicht (= Filterbett) – zurückgehalten werden. Diese Filterschicht besteht vorwiegend aus körnigen Materialien wie Sand, Bims oder Filterkoks. Die Porenweite der Filterschicht muss wesentlich größer sein als die der abzuscheidenden Teilchen, um die Tiefenwirkung zu erhalten (siehe Abbildung 6). Damit wird der Gefahr einer Siebwirkung und eines Umschlagens zur Flächenfiltration entgegengewirkt (Gimbel et al., 2004). Bei Tiefenfiltern, auch Raumfilter genannt, spielen neben physikalische auch chemische und teils auch biologische Prozesse eine wichtige Rolle.

Der Vorgang der Tiefenfiltration kann in zwei Schritte unterteilt werden:

- *Transport der Teilchen im Inneren des Filters aus dem Wasser an die Oberfläche des Filtermaterials*
- *Haftung der Teilchen, sodass eine stabile, anhaltende Ablagerung erfolgt*

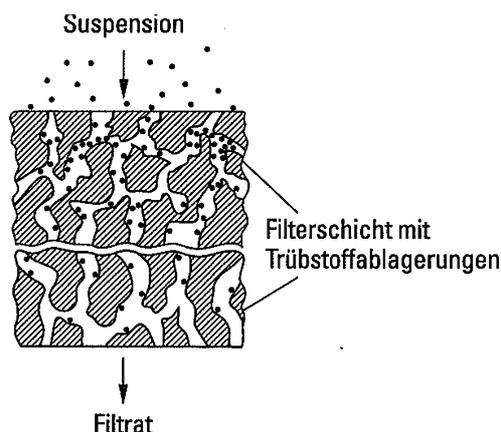


Abbildung 6: Raumfiltration (Tiefenfiltration) (Grohmann et al., 2011)

Raumfilter können wie folgt unterschieden werden (Mutschmann et al., 2007):

- *Nach Filtergeschwindigkeit:*
  - o *Schnellfilter:* 4 – 20 m/h, fest installiertes Spülsystem
  - o *Langsamfilter:* 0,05 – 0,3 m/h, flächenweise Reinigung – keine Rückspülung
- *Nach dem Druck:*
  - o *Offener Filter:* freies Gefälle, optische Kontrolle möglich, Filtergeschwindigkeit durch Druckverlust begrenzt
  - o *Geschlossener Filter:* beliebig hohe Filtergeschwindigkeiten, auch für den Druck im Rohrnetz auslegbar
- *Nach Rückspülmöglichkeit:*
  - o *Rückspülbare Filter*
  - o *Nicht rückspülbare Filter*
- *Nach Schichtaufbau:*
  - o *Einschichtfilter:* einheitliches Filtermaterial
  - o *Mehrschichtfilter:* Filtermaterial in Schichten, verschiedene Dichte und Körnung

#### 2.2.9.1 Filtermaterialien

Je nach abzutrennenden Wasserinhaltsstoffen kommen unterschiedliche Materialien zum Einsatz (Merkl, 2008):

- *Quarzsand:* zur Abtrennung von Schweb- und Trübstoffen, Enteisung/Entmanganung, bei Einschichtfilter, bei Mehrschichtfilter: als untere Feinkornschicht, darüber eine oder mehrere Schichten aus leichterem Material (z. B.: Bims)
- *Alkalische Filtermaterialien (Jurakalk, halbgebrannter Dolomit):* chemische Reaktion zur Entsäuerung des Wassers. Begrenzte Filterwirkung bzgl. Eisen, Mangan und Trübstoffen.
- *Aktivkohle:* zur Entfernung organischer Mikroverunreinigungen

#### 2.2.9.2 Langsamfiltration

*Einsatzbereich: Partikelentfernung, Sorption partikulärer Stoffe, biologischer Abbau*

Mit dem Langsamfilter wird die Reinigungswirkung einer Bodenpassage nachgeahmt. Diese Art der Aufbereitung stellt das älteste Verfahren dar. Die Entfernung der Wasserinhaltsstoffe erfolgt physikalisch (Siebwirkung an der Oberfläche), adsorptiv im Filterbett und durch mikrobiologischen Abbau (Mutschmann et al., 2007). Im Langsamfilter bildet sich an der oberen Schicht nach einer bestimmten Einarbeitungszeit eine biologisch aktive Schicht (Schmutzdecke) aus. Einerseits wird dadurch die Filtrationsschärfe durch Zuwachsen der Zwischenräume erhöht. Andererseits werden die organischen Stoffe durch mikrobiologische Abbauprozesse reduziert. Die Filterschicht besteht aus feinem Sand (meist Quarzsand mit Körnungen 0,1-1,0 mm) und ist auf Stützschichten aufgebaut. Die Stützschichten bestehen aus Körnungen von 2-40 mm. Die Filtergeschwindigkeit beträgt 0,05 und 0,3 m/h. Beim Zuwachsen der oberen Filterschicht muss diese entsprechend gereinigt werden. Die Reinigung erfolgt durch

Abschälen der obersten 2-5 cm, wobei der Filter außer Betrieb genommen wird. Anschließend wird der Sand von den Verunreinigungen in einer Spültrommel gewaschen. Nach erfolgreicher Spülung der verunreinigten obersten Filterschicht wird diese wieder aufgebracht (Wilhelm, 2008).

Die Langsamsandfiltration weist aufgrund der geringen Filtergeschwindigkeit auch einen geringen Durchsatz auf. Weiter sind lange Einarbeitungszeiten von mehreren Wochen notwendig, um eine gute Reinigungsleistung des Filters zu erzielen (Perfler, 2011). Aufgrund dieser Faktoren und des daraus resultierenden großen Platzbedarfs sowie der Entwicklung neuerer Verfahren wie Flockung, Schnellfiltration, Ozonung, Aktivkohlefiltration und Chlorung wird der Langsamfilter weitgehend abgelöst. Nichts desto trotz stellt diese Aufbereitungsart ein sehr naturnahes Verfahren dar, welches sehr einfach, effizient und chemiefrei arbeitet. Neben der Entfernung von Mikroorganismen und Krankheitserregern werden auch organische (TOC, organische Spurenstoffe) und anorganische Verbindungen (z. B.: Schwermetalle) entfernt (Höll, 2010). Heutzutage wird dieses Verfahren nur noch für kleine Wasserversorgungsanlagen neu errichtet (Perfler, 2011).

Langsamfilter sind für Rohwässer mit geringer organischer Belastung geeignet. Dabei kann das Wasser auch weitgehend entkeimt werden - Desinfektionswirkung (Wilhelm, 2008). Für Rohwässer mit starker Trübung und einem hohen Gehalt an organischen Stoffen ist diese Art der Filtration nicht ausreichend. In solchen Fällen muss ein Aufbereitungsverfahren (z. B.: Sedimentation) vorgeschaltet werden (Mutschmann et al., 2007).

### 2.2.9.3 Schnellfiltration

#### *Einsatzbereich: Partikelentfernung*

Schnellfilter kommen als offene oder geschlossene Systeme zum Einsatz und haben zum Unterschied zu Langsamfiltern viel höhere Filtergeschwindigkeiten und geringere Filterlaufzeiten (Merkl, 2008).

Die Filtration erfolgt von oben nach unten. Schnellfilter dienen vorrangig einer intensiven Vorreinigung bei Rohwässern mit großer Trübung oder relativ hohem Partikelgehalt. Dabei werden vor allem anorganische und organische Partikel, Mikroorganismen und partikulär gebundene Schadstoffe im Bereich  $> 1 \mu\text{m}$  entfernt. Schnellfilter können kaum als einziges Aufbereitungsverfahren angewendet werden, sondern sind in eine Verfahrenskette eingebettet (z. B.: mit Desinfektion, Sedimentation, Membranverfahren, Flockung etc.). Je nach Rohwasserqualität können Schnellfilter als Ein- oder Mehrschichtfilter mit unterschiedlichen Filtermaterialien ausgeführt werden (siehe Abbildung 7). Beim Aufbau von Mehrschichtfiltern weisen die oberen Schichten eine höhere Porosität als die unteren Filterschichten auf. Eine vorgeschaltete Zugabe von bereits geringen Mengen an Flockungsmitteln kann die Leistung des Filters erheblich verbessern (Perfler, 2011).

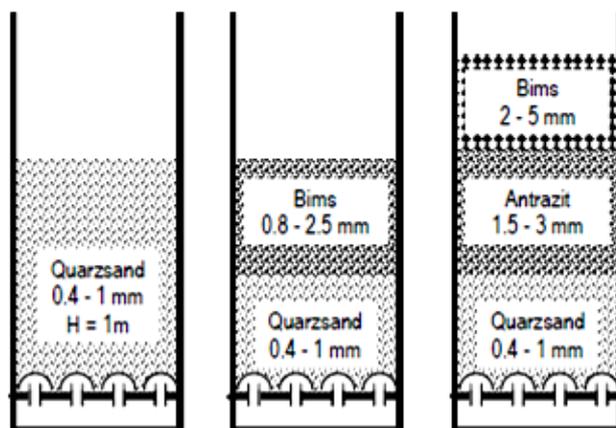


Abbildung 7: Beispiele von Einschicht- und Mehrschichtfiltern (Gujer, 2007)

Eine Rückspülung erfolgt von unten nach oben und kann mit Wasser oder mit einer Kombination aus Wasser und Luft erfolgen. Durch die Luft wird das Filtermaterial stärker aufgelockert, wodurch der Reinigungseffekt besser wird. Wegen der unterschiedlichen Dichten der Filterschichten können sie sich absetzen und kommen nach einer Rückspülung von selbst in den ursprünglichen Zustand zurück. Die Filterschicht mit der größten Dichte befindet sich ganz unten im Filter. Nachteilig ist das bei jeder Rückspülung anfallende schlammhaltige Spülwasser. Diese Schlammwässer müssen meist separat gereinigt werden, bevor sie abgeleitet werden dürfen (Perfler, 2011). Die Baukosten für Schnellfilter sind meist kleiner als für Langsamfilter, jedoch sind die Betriebskosten höher als für Langsamfilter (Merkl, 2008).

### 2.2.10 Membranverfahren

Die Membranfiltration stellt eine Flächenfiltration dar und ist zur Partikelentfernung (MF/UF) sowie zur Entfernung gelöster Inhaltstoffe (NF/UF) geeignet (siehe Abbildung 8). Wasser wird mittels Druck durch die Membrane gepresst. Dabei werden die Wasserinhaltsstoffe, die größer als die Porenweite der Membran sind, zurückgehalten und als Retentat bzw. Konzentrat abgeleitet. Das gereinigte Wasser (Permeat bzw. Filtrat) tritt durch die Membrane durch. Dabei wird je nach Partikelgröße der zu eliminierenden Stoffe unterschieden (Kainz, et al., 2012).

#### - Mikrofiltration (MF)

Elimination von Partikeln  $> 0,1 \mu\text{m}$  mit Drücken von 0,1 – 2 bar, geringe DOC-Reduktion und Reduktion von Bakterien und Parasiten

#### - Ultrafiltration (UF)

Elimination von Makromolekülen  $> 0,01 \mu\text{m}$  mit Drücken von 0,1 – 5 bar und Mikroorganismen (Bakterien, Viren, Parasiten), teilweise DOC-Reduktion

#### - Nanofiltration (NF)

Elimination von Molekülen  $> 0,001 \mu\text{m}$  mit Drücken 3 – 20 bar, zur teilweisen Enthärtung, Elimination von Sulfat und Nitrit, DOC und Mikroorganismen

#### - Umkehrosmose bzw. Hyperfiltration (UF)

Elimination von Ionen  $< 0,001 \mu\text{m}$  mit Drücken von 10 – 100 bar, zur Meerwasserentsalzung, Wasserrecycling

Die Ultrafiltration ist eine Barriere sowohl für Bakterien als auch Viren. Da der Filtrationsbereich von etwa 0,005 µm bis 0,2 µm liegt, können alle partikulären Inhaltsstoffe abgetrennt werden – das gefilterte Wasser ist dann praktisch trübstofffrei (Roeske, 2007).

Die Nanofiltration und die Umkehrosmose arbeiten mit höheren Drücken und halten sogar gelöste Stoffe zurück. Sie sind daher für Enthärtungen und Entsalzungen geeignet (Kainz et al., 2012).

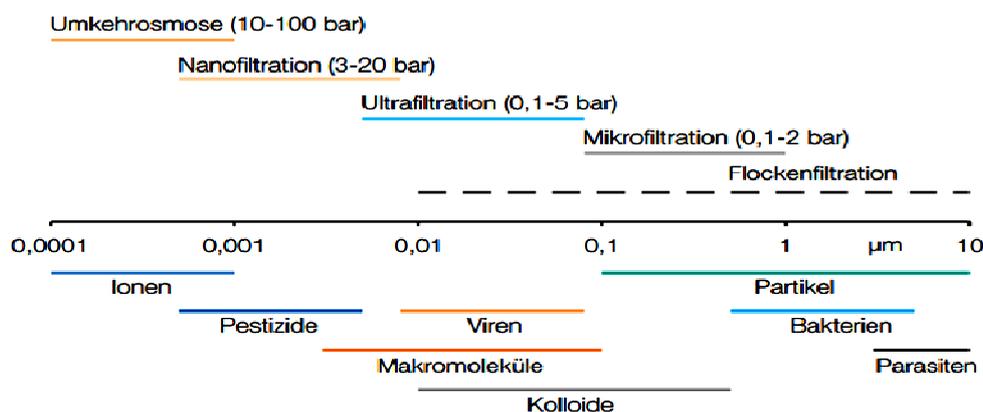


Abbildung 8: Schematische Darstellung: Trennverfahren und Wasserinhaltsstoffe (Lipp et al., 2008)

In der öffentlichen Trinkwasserversorgung werden Mikrofiltration und Ultrafiltration für die Aufbereitung von Oberflächen-, Karst- und Quellwasser sowie bei der Aufbereitung von Schlammwasser verwendet (Lipp et al., 2005).

### 2.2.10.1 Membran

Die Membran bildet das Kernstück der Membranfiltration und kommt in der Trinkwasseraufbereitung als Schlauch- oder Flachmembran zum Einsatz (Merkl, 2008). Neben dem Unterscheidungsmerkmal der Form, werden die Membrane auch nach ihrem Membranmaterial (z. B.: dichte Polymerschichten, Kermamik, etc.) und der Betriebsweise (Dead-End- und Cross-Flow-Modus) eingeteilt (Roeske, 2007). Mehrere einzelne Membranelemente stellen das funktionsfähige Membranmodul dar. Sind mehrere Module angeordnet, wird dies als Modulblock bezeichnet. Eine Membrananlage kann aus mehreren solcher Modulblöcke bestehen (Mutschmann et al., 2007).

Für ein einwandfreies Funktionieren der Anlage sind folgende Anforderungen an die Membrane notwendig nach Roeske (2007):

- Einheitliche und reproduzierbare Porenweite
- Hohe mechanische und chemische Beständigkeit der Membrane für eine möglichst lange Betriebsdauer
- Übersichtlicher Aufbau
- Einfache Wartung – gute Zugänglichkeit und Austauschbarkeit der Module
- Überprüfung der Filterwirksamkeit (Möglichkeit der Integritätsüberwachung)
- Spülbarkeit der Module
- Beherrschung von Biofouling
- Hydraulisch gleichmäßige Beschickung aller Module in allen Betriebsmodi

- *Be- und Entlüftungsmöglichkeiten*
- *Entleerungsmöglichkeit*

Neben der Membran sind Anlagenkomponenten wie Vorfilter (Schutz der Membrane), Pumpen, Tragwerke für Module, Zu- und Ableitungen, Spülwasserbehälter, Energieversorgung, Steuerungs- und Regelungseinrichtungen, Spülpumpen, Luftkompressor (bei luftgespülten Membranen) sowie Vorrichtungen zur Prüfung der Membranintegrität notwendig.

### **MF/UF Membrane:**

Für die MF und UF sind die Membrane porös und haben eine definierte Porengröße. Membrane aus Polyethersulfon und Polyvinylidenfluorid werden hierfür häufig verwendet. Diese sind mechanisch und chemisch beständiger als andere Werkstoffe. Dadurch werden das Foulingpotenzial und die Chemikaliengabe bei der Reinigung verringert.

### **NF/RO Membrane:**

Für die NF und RO sind die Membrane nicht porös und haben keine definierte Porengröße. Hierbei handelt es sich um homogene (dichte) Polymerschichten. Aufgrund der Struktur dieser homogenen Membrane ist ein Rückhalt von gelösten Stoffen möglich. Dabei ist die Abtrennung nicht nur auf dem Siebmechanismus zurückzuführen. Zusätzliche Wechselwirkungen zwischen den Wasserinhaltsstoffen und dem Membranmaterial (verursacht durch Oberflächenladung) spielen eine wesentliche Rolle. Die dichte Membran verlangt entsprechend höhere Drücke (Lipp et al., 2005).

#### 2.2.10.2 Betrieb

Es wird zwischen **Cross-Flow-Modus** und **Dead-End-Modus** unterschieden (siehe Abbildung 9). Beim Dead-End-Modus strömt das Zulaufwasser senkrecht auf die Membran und wird mittels Druck hindurchgepresst. In der Trinkwasseraufbereitung wird der Dead-End-Modus aufgrund des geringeren Energieaufwands bevorzugt eingesetzt. Erst bei stark trübstoffhaltigen Wässern wird der Cross-Flow-Modus erforderlich. Dabei fließt das Wasser über die Membran hinweg, während das Filtrat durch die Membran durchtritt. Es kann auch eine Rezirkulation eines Teilstromes erfolgen. Durch die Strömung wird der angesammelte Belag von der Membranoberfläche kontinuierlich entfernt (BAG, 2010).

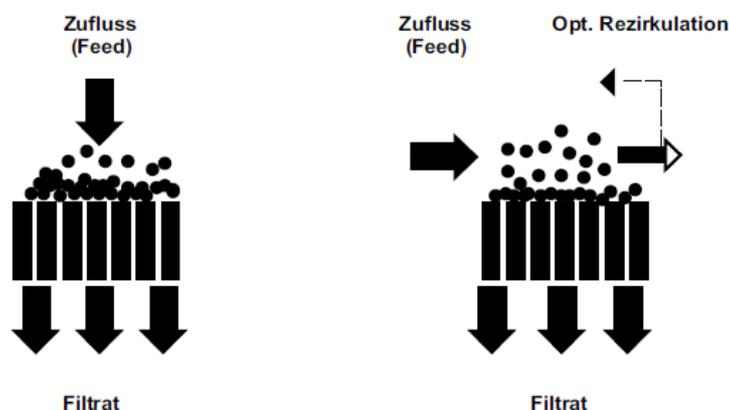


Abbildung 9: Betriebsarten von Membranverfahren: Dead-End-Modus (li) und Cross-Flow-Modus (re) (Mutschmann et al., 2007)

### 2.2.10.3 Problematik

Alle zurückgehaltenen Wasserinhaltsstoffe führen zur Belagsbildung an der Membranoberfläche. Damit wird der Widerstand beim Durchtritt des Wassers durch die Membran erhöht. Die Durchlässigkeit (Permeabilität) der Membran sinkt. Um die Filtration aufrecht zu erhalten muss ein höherer Druck aufgebracht werden. Dies wirkt sich auf die Energiekosten und den Spülwasserbedarf negativ aus. Eine regelmäßige Entfernung des Belags ist als zweckmäßiger anzusehen. Grundsätzlich gibt es drei Arten der Belagsbildung:

- **Scaling** (*Kristallisation*) ist der anorganische Belag auf einer Membran. Dieser entsteht durch eine Krustenbildung auf der Membranoberfläche. Scaling kommt insbesondere bei NF- und UO-Verfahren vor.
- **Fouling** (*Verblockung*) entsteht aufgrund von Ablagerungen (Kolloide, Schwebstoffe, Schwermetalloxidhydrate und gelöste Wasserinhaltsstoffe) auf der Membranoberfläche und vermindert die Durchlässigkeit des Wassers durch die Membran. Besonders organische Partikel beeinflussen die Permeabilität. Dabei sind kleinere Partikel problematischer als größere. Ist der Belag durch Spülung und Reinigung von der Membran zu entfernen und die Durchlässigkeit durch die Membran vollständig herstellbar, dann ist das Fouling reversible, anderenfalls irreversible.
- **Biofouling** sind ebenfalls Ablagerungen auf der Membran, jedoch sind diese mikrobiellen Ursprungs und schwerer zu entfernen – meist ist eine chemische Reinigung erforderlich. Weiter werden durch den Rückhalt von organischen Stoffen den Mikroorganismen Nährstoffe zur Verfügung gestellt, welche die Vermehrung fördern und zur Bildung von Biofilmen beitragen können.

### 2.2.10.4 Spülung und chemische Reinigung

Eine Spülung der Membran wird bei Erreichen eines vorgegebenen Differenzdruckes notwendig. Meist wird jedoch eine Spülung nach einem zeitlichen Intervall festgelegt, vor Erreichen des maximalen Differenzdruckes (präventive Spülung). Dies soll zur Verminderung von Fouling und Biofouling beitragen. Dabei kann die Spülung mit oder ohne Chemikalienzugabe erfolgen. Eine Spülung ohne Chemikalien erfolgt meist mit mehrfach höherem Wasserdurchfluss als bei der regulären Filtration und meist entgegen der Filtrationsrichtung. Eine Kombination mit Luft-Wasser-Gemisch als Spülung der Membran ist möglich. Die betroffene Membran muss außer Betrieb genommen werden. Eingesetzten Chemikalien bei chemischen Spülungen sind unter anderem bestimmte Säuren und Laugen, Chlorlösungen, Wasserstoffperoxid und Tenside. Erfolgt eine Reinigung mit Chlorlösungen so kann es zu Reaktionen des Chlors mit organischen Wasserinhaltsstoffen kommen, was wiederum zur Bildung von Reaktionsnebenprodukten wie Trihalogenmethanen (THM) im schlammhaltigen Spülwasser sowie im Erstfiltrat führen kann. Dies ist vor allem bei der Entsorgung des schlammhaltigen Wassers zu beachten. Die Intervalle der Spülung sowie der chemischen Reinigung sind vom Feststoffgehalt, der Beschaffenheit der Feststoffe des Rohwassers und der Verblockungsneigung der Membrane abhängig (Roeske, 2007).

Tabelle 7 zeigt übliche Spül- und Reinigungsintervalle. Mit steigendem Feststoffgehalt im Rohwasser steigt die Verblockungsneigung an, wodurch die Anzahl der Rückspülungen erhöht werden muss, um die Leistungsfähigkeit der Membran zu erhalten. Dies bringt auch einen steigenden Energieverbrauch sowie Filtratverlust mit sich. Bei stark trübstoffhaltigen Rohwasser können bis zu 4 Spülungen pro Stunde notwendig werden. Dies fordert einen Spülwasserverbrauch von 5 bis 15 % der Filtratmenge. Problematisch kann das vor allem in Gebieten mit knappem Wasserdargebot werden (BAG, 2010).

Tabelle 7: Übliche Spül- und Reinigungsintervalle (Lipp et al., 2005)

	MF	UF	NF	UO
Spülung mit Filtrat	stündlich	stündlich	keine	keine
Spülung mit Filtrat unter Zugabe von Chemikalien	keine	täglich	keine	keine
Chemische Reinigung	wöchentlich	monatlich	halbjährlich	halbjährlich

### 2.2.10.5 Leistungsfähigkeit

In Bezug auf die Leistungsfähigkeit ist zwischen MF/UF zur Partikelentfernung (organische und anorganische partikuläre Stoffe) und NF/UO zur Entfernung gelöster Stoffe (Salze, Huminstoffe, organische Mikroverunreinigungen) zu unterscheiden. Die Tabelle 8 zeigt die Aufbereitungswirksamkeit von Membranverfahren bezüglich der wichtigsten Wasserinhaltsstoffe. UF entfernt neben Partikeln auch Kolloide und Viren vollständig. Das Rückhaltevermögen für gelöste natürliche organische Inhaltsstoffe liegt bei UF zwischen 5 und 20 %. Um die gelösten organischen Wasserinhaltsstoffe mittels MF und UF zu entfernen, muss es vorbehandelt werden (z. B.: mit einer Flockung). Vorteile der UF-Anlagen gegenüber konventionellen Filtern sind vor allem der automatisierte Betrieb, modularer Aufbau und die Beherrschung von stark schwankenden Rohwasserqualitäten. Nachteilig sind jedoch die begrenzten Langzeit-Betriebserfahrungen mit UF-Anlagen, der regelmäßige Einsatz von Chemikalien sowie die dadurch verursachten chemikalienhaltigen Abwässer (Lipp et al., 2005).

Tabelle 8: Aufbereitungswirksamkeit von Membranverfahren (Lipp et al., 2005)

	MF	UF	NF	UO
Trübung	+++	+++	*	*
Partikel (1–100 µm)	+++	+++	*	*
E. coli	+++	+++	+++	+++
Coliforme Keime	+++	+++	+++	+++
Clostridium perfringens	+++	+++	+++	+++
MS2-Phagen	+	+++	+++	+++
Parasiten	+++	+++	+++	+++
Calcium, Magnesium	--	--	++	++
Natrium, Kalium	--	--	+	++
Sulfat	--	--	++	++
Chlorid	--	--	+	++
Nitrat	--	--	+	++
Pestizide	--	--	++	++
Huminstoffe	--	-	++	++

\* Vorbehandlung erforderlich  
 +++ vollständiger Rückhalt  
 ++ weitgehender Rückhalt  
 + eingeschränkter Rückhalt  
 -- geringer Rückhalt  
 - kein Rückhalt

Längere Standzeiten der Membrane könnten durch geringere Flächenbelastung [ $L/(m^2/h)$ ] erreicht werden. Dies bedeutet zwar, dass die Membranfläche größer und die Investitionskosten höher werden, jedoch kann dies langfristig in einem wirtschaftlichen Betrieb resultieren. Die geringe Flächenbelastung führt dazu, dass die Membranen weniger oft gespült werden müssen. Auch die Chemikaliengabe wird damit gesenkt (Lipp et al., 2005).

### 2.2.10.6 Vor- und Nachbehandlung

Je nach Rohwasserqualität kann eine geringfügige oder umfangreiche Vorbehandlung notwendig werden. Weiter ist auch die Durchflussmenge und Rückspülrate von der Qualität des Rohwassers abhängig. UF, NF und UO verlangen geringe Trübstoffgehalte im Zulaufwasser, daher ist das Ziel der Vorbehandlung die Trübstoffentfernung bzw. Partikelentfernung. Dies kann mittels Flockung erreicht werden. Eine Mikroflokkung durch Ozonung kann auch in Betracht gezogen werden, jedoch sind dabei die polymeren Membranen zu beachten, welche nicht resistent gegen Ozon sind. Eine Beimengung von pulverförmiger Aktivkohle vor dem Membranverfahren kann den DOC-Gehalt im Wasser reduzieren und so das Fouling begrenzen (BAG, 2010).

Jedes Vorbehandlungsverfahren bringt zusätzliche Investitions- und Betriebskosten mit sich und ist unbedingt auf die nachgeschalteten Membrane abzustimmen. Dazu sind die Herstellerangaben zu Stoffeigenschaften, Druckfestigkeiten und die Resistenz gegen Oxidationsmittel hilfreich (BAG, 2010).

Ein Membrandefekt ist nicht sofort erkennbar und dadurch eine mikrobielle Belastung des aufbereiteten Wassers nie ganz auszuschließen. Deshalb sind die Membrananlagen nicht als Desinfektionsverfahren zu sehen und eine Desinfektion sollte unbedingt folgen. Der Einsatz von UF- und MF-Anlagen trägt jedoch deutlich zur Senkung des Verbrauches an Desinfektionsmitteln bzw. an verbrauchter Energie bei UV-Desinfektion bei (Mutschmann et al., 2007).

### 2.2.10.7 Kontrolle der Wirksamkeit

Der Einsatz einer kontinuierlichen Trübungsmessung gibt nur eingeschränkt Auskunft über die Funktion einer Membrananlage. Im Allgemeinen weist bereits das vorbehandelte Zulaufwasser sowie das Filtrat geringe Trübungswerte auf. Um die Wirksamkeit der Membrananlage zu prüfen sind meist Partikelmessungen sowie Analysen hygienischer Parameter erforderlich. Der Differenzdruck sollte zur zusätzlichen Sicherheit kontinuierlich gemessen werden.

Integritätstests der Membrane:

- *Druckhalte- oder Diffusionstest*
- *Blasentest*
- *Wasserverdrängungstest*

Die Überprüfung der Integrität bzw. der Intaktheit ist bei nicht porösen Membranen (UO, NF) einfacher. Hier kann durch kontinuierliche Messung der elektrischen Leitfähigkeit im aufbereiteten Wasser die Wirksamkeit der Membrananlage überprüft werden (Mutschmann et al., 2007).

### 2.2.11 Adsorption

Unter dem Begriff *Sorption* ist allgemein die Anreicherung von Molekülen eines Stoffes aus einer molekulardispersen flüssigen oder gasförmigen Lösung an eine andere oder in eine andere Phase zu verstehen (Gimbel et al., 2004).

**Absorption** = Moleküle werden *in* einer Phase angereichert

**Adsorption** = Anreicherung *an* der Grenzfläche zwischen fester und fluider (flüssig oder gasförmig) Phase

Der Sorptionsvorgang basiert dabei auf Oberflächenkräften (elektrodynamische und elektrostatische Wechselwirkungen) und nicht auf chemischen Bindungen (Gimbel et al., 2004).

Durch Adsorption können gelöste organische und teils auch anorganische Stoffe aus dem Wasser entfernt werden. In der Trinkwasseraufbereitung wird größtenteils Aktivkohle (körnige oder pulverförmige aktivierte Kohle) als Adsorptionsmittel eingesetzt. Die besondere Adsorptionsfähigkeit der Aktivkohle liegt in der sehr großen (inneren) spezifischen Oberfläche von 500 bis 1500 m<sup>2</sup>/g begründet (Mutschmann et al., 2007).

Es gibt verschiedene Aktivkohleprodukte am Markt. Je nach Ausgangsstoff (z. B.: Steinkohle, Torf, Kokosnussschalen oder Holz) weisen diese stark unterschiedliche Eigenschaften auf. Die Wahl sollte auf das jeweilige Rohwasser abgestimmt werden und wird durch Versuche ermittelt (BAG, 2010).

Folgende Stoffe können laut Mutschmann et al. (2007) und Grohmann et al. (2011) mit einem Adsorptionsverfahren entfernt werden:

- Mineralöle
- Geruchs- und Geschmacksstoffe (*Entchlorung, Restozonung*)
- Kohlenwasserstoffe (*halogenierte und AOX*)
- Organische Chlorverbindungen
- Pflanzenschutzmittel (*Pestizide, Herbizide, usw.*)
- Höhermolekulare Stoffe wie Huminstoffe (*messbar als DOC*)

Der Wirkungsgrad der Adsorption ist im Wesentlichen von der Polarität der zu entfernenden Stoffe abhängig. Die Entfernung ist umso wirkungsvoller, je unpolarer die Störstoffe sind. Die Aktivkohle ist ein unpolarer Stoff. Das Wasser ist ein stark polarer Stoff. Organische Stoffe mit unpolaren Eigenschaften haben daher das Bestreben, sich aus dem polaren Wasser zu lösen und sich an die unpolare Aktivkohle anzulagern (Gimbel et al., 2004).

#### 2.2.11.1 Aktivkohle

Aktivkohle kommt als Filterschicht in Apparaturen (ähnlich wie Schnellfilter) zur Anwendung und weist Korngrößen von 1-3 mm auf (Gujer, 2007).

Die Aktivkohle ist teuer und soll nur der Entfernung von gelösten organischen und anorganischen Stoffen dienen. Daher ist eine gute vorangeschaltete Trübstoffentfernung eine sehr wichtige Voraussetzung für eine wirtschaftliche Adsorption mit Aktivkohle. Anderenfalls adsorbiert die Aktivkohle die größeren Trübstoffe zuerst und hat dann nur mehr eine geringe Adsorptionskapazität für die gelösten Stoffe (Merkl, 2008).

Die innere Oberfläche der Aktivkohle weist eine begrenzte Adsorptionskapazität auf. Ist diese erreicht, so muss die Aktivkohle thermisch regeneriert werden (Gujer, 2007).

Eine Verfahrenskombination der Aktivkohlefilter mit einer vorgeschalteten Ozonung ist nach Grombach et al. (2000) sinnvoll, da durch das Ozon große organische Moleküle teilweise aufgespalten werden und biologisch leichter abbaubar sind. Hochaktivierte regenerierbare Aktivkohlen sind für solche Aufgabenstellungen gut geeignet. Neben der Adsorption findet dann auch ein biologischer Abbau statt.

Die Kontaktzeit ist für die Reinigungswirkung maßgebend. Bei nicht beladenen Filtern ist diese zwischen 10 und 20 Minuten. Die Schichthöhe beträgt zwischen 1,5 und 4,0 m und die Filtergeschwindigkeit zwischen 4 und 22 m/h. Bei beladenen Filtern macht es durchaus Sinn, die Kontaktzeit zu verlängern, da somit eine weitere Kapazitätsausnutzung möglich ist (Grombach et al., 2000).

### 2.2.11.2 Pulverkohleeinsatz

Weltweit wird in der Trinkwasseraufbereitung pulverförmige Aktivkohle sehr oft eingesetzt (Grombach et al., 2000).

Pulverkohle hat aufgrund ihrer Mahlfineinheit ( $< 50 \mu\text{m}$ ) eine sehr große Oberfläche. Die Zugabe von Pulverkohle erfolgt meist beim Zulauf zu den Reaktionsbecken oder Filtern. Je nach Rohwasserqualität werden Mengen zwischen 5 und 50 g/m<sup>3</sup> zudosiert. Die Kontaktzeit liegt bei 10 bis 30 Minuten. Nach dieser Reaktionszeit der Pulverkohle mit den Wasserinhaltsstoffen muss eine nachgeschaltete Abtrennung erfolgen (z. B.: Sedimentation, Filtration, etc.) (Mutschmann et al., 2007).

Haupteinsatzgebiet der Pulverkohle ist die Entfernung von Geruchs- und Geschmacksstoffen sowie Pflanzenschutzmitteln. Die Pulverkohle ist einmalig einsetzbar. Prinzipiell ist eine Reaktivierung der Pulverkohle möglich, jedoch schwierig und wird daher nicht angewendet. Die anfallenden Schlammengen sind entsprechend hoch. Eine Weiterverwendung der beladenen Pulverkohle könnte in der Abwasserreinigung erfolgen (Mutschmann et al., 2007) (Merkl, 2008).

Vorteilhaft ist Pulverkohle vor allem dort, wo sie zeitweise (plötzlich auftretende Verschmutzung) benötigt wird, da eine leichte Anpassung an veränderte Wasserqualitäten möglich ist. Ein weiterer Vorteil sind die niedrigen Investitionskosten. Der größere Bedienungsaufwand und der zusätzliche Schlammfall sind als nachteilig zu erwähnen (Grombach et al., 2000).

### 2.2.11.3 Reaktivierung beladener Aktivkohle

Es gibt zwei Möglichkeiten der Reaktivierung von Aktivkohle, die thermische und die chemische Regeneration. In Trinkwasserbetrieben wird jedoch ausschließlich die thermische angewandt. Die chemische ist wegen der Toxizität der Lösungsmittel und ihrer Beseitigung problematisch. Die thermische Regeneration läuft in zwei Vorgängen ab (Grombach et al., 2000):

- *Desorption*: die meisten organischen Stoffe verlassen bei Temperaturen von 100 bis 300 °C die Oberfläche der Aktivkohle
- *Reaktivierung*: Bei einer Reaktion von Wasserdampf und der verbliebenden Beladung bei Temperaturen von 750 bis 800 °C werden alle adsorbierten Stoffe entfernt. Ein

Kohleverlust von 5 bis 15 % ist durchaus üblich, da zur vollständigen Entfernung der Beladung eine teilweise „Überaktivierung“ der Aktivkohle notwendig ist. Der Kohleverlust muss mit Frischkohle ausgeglichen werden.

### 2.2.12 Gasaustausch/Belüftung

Neben unerwünschten ungelösten und gelösten Wasserinhaltsstoffen gibt es auch unerwünschte gelöste Gase im Wasser. Diese können mittels Gasaustausch aus dem Wasser entfernt werden, indem die gelösten Gase aus der wässrigen in die gasförmige Phase durch apparative Maßnahmen überführt werden (Desorption). Es kann auch notwendig werden, erwünschte Gase in Wasser zu lösen (Absorption) (Veolia, 2010).

Unter Belüftung des Wassers ist ein Gasaustausch an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft gemeint und dient in erster Linie dem Eintrag von Sauerstoff (Merkl, 2008).

Anwendungsbeispiele sind nach Gimbel (2004) und Perfler (2011):

- *Sauerstoffanreicherung des Wassers: Oxidation von gelösten Verbindungen im Wasser (Enteisenung, Entmanganung)*
- *Eintrag von Desinfektionsmittel (Ozon, Chlorgas, Chlordioxid)*
- *Austrag von aggressiver Kohlensäure - Kohlenstoffdioxid (Entsäuerung)*
- *Austrag von flüchtigen Stoffen (z. B.: Schwefelwasserstoff, Methan, organische Verbindungen) und anderen geruchs- und geschmacksbildenden Stoffen*
- *Strippen (Ausgasen) von leichtflüchtigen, organischen Verbindungen (z. B.: Halogenkohlenwasserstoffe, aromatische Kohlenwasserstoffe)*

Sowohl der Eintrag ins Wasser als auch der Austrag aus dem Wasser eines gasförmigen Stoffes hängen von der Löslichkeit, dem Partialdruck sowie der Temperatur des Wassers ab (Merkl, 2008).

Grundsätzlich richtet sich die Wahl des Verfahrens nach dem auszutauschenden gasförmigen Stoff, der zu behandelnden Wassermenge, der Größe des Gasaustauschapparates und den Betriebsaufwendungen (Gimbel et al., 2004).

Je größer die Phasengrenzfläche ist, desto schneller läuft der Austauschprozess ab. Laut Perfler (2011) gibt es drei wesentliche Verfahrensvarianten:

- *Wassertropfen in Gasatmosphäre (Verdüsung)*
- *Gasblasen in Wasser (Inkabelüftung, Kerzenbegasung, Siebplattenbegasung)*
- *Wasserfilm in Gasatmosphäre (Füllkörperkolonnen, Wellbahnbelüftung, Kaskade)*

Die Verteilung des Wassers in feine Tröpfchen wird **Verdüsung** genannt. Das Wasser wird hierbei unter einem Vordruck zerstäubt und kommt damit mit der Luft in Berührung. Die Verdüsungskammern sind sehr groß und für Wartungsarbeiten schwer zugänglich. Eine ausreichende Luftzirkulation ist wesentlich bei diesem Verfahren (Merkl, 2008).

Unter **Verrieselung** ist die Bildung von feinen Wasserfilmen zu verstehen. Dieses Verfahren stellt die einfachste Art der Belüftung/Entsäuerung dar. Dabei wird das Wasser in 2 bis 3 m Höhe verteilt. Beim Herabfallen kommen die Wassertropfen mit der Luft in Berührung und nehmen so Sauerstoff auf. Für eine Enteisenung/Entmanganung musste das Verfahren der einfachen Verrieselung bzw. Verregnung weiterentwickelt werden. Die Verrieselung im Koks-

und Backsteinriesler gibt den mitwirkenden Bakterien Aufwuchsfläche für eine Ausflockung dieser Metalle. Diese Anlage ist jedoch sehr platzintensiv und aufwändig in der Reinigung. Weiterentwicklungen führten zu Rohrgitterkaskaden und Füllkörperkolonnen (Merkl, 2008).

### 2.2.13 Oxidation

Oxidation ist der Vorgang bei dem Sauerstoff verbraucht wird. Reduktion ist der Vorgang bei dem Sauerstoff aus einer Verbindung abgespalten wird. Diese ursprünglichen Definitionen beziehen sich auf das Element Sauerstoff. Es gibt jedoch viele Reaktionen, die sehr ähnlich ablaufen, an denen jedoch kein Sauerstoff beteiligt ist. Damit diese Reaktionen in gleicher Weise behandelt werden können, wird der Ausdruck Oxidation darüberhinaus verwendet. Unter Oxidation sind somit alle Vorgänge gemeint, bei denen einem Teilchen Elektronen entzogen werden (Oxidation = Elektronenabgabe). Das Gegenstück dazu stellt die Reduktion dar (Reduktion = Elektronenaufnahme). Die Oxidation und Reduktion verlaufen stets gekoppelt. Denn ein Teilchen kann Elektronen nur dann abgeben, wenn ein anderes Teilchen vorhanden ist, welches diese Elektronen aufnimmt. Diese Elektronenverschiebung wird auch als Redoxvorgang bezeichnet (Wilhelm, 2008).

Oxidationsverfahren kommen zur Anwendung bei:

- *Veränderung und Entfernung anorganischer Stoffe (Eisen, Mangan, Ammonium, etc.)*
- *Veränderung und Entfernung organischer Stoffe*
- *Desinfektion (siehe Punkt 2.2.16.3)*

In der Trinkwasseraufbereitung werden mit Hilfe der Oxidation organische und anorganische Stoffe so mineralisiert und umgewandelt, dass die dem Wasser entweder entzogen, durch biologische Abbau entfernt werden oder ihre Toxizität verlieren (BAG, 2010).

Verwendete Oxidationsmittel sind:

- *Chlor  $Cl_2$*
- *Ozon  $O_3$*
- *Chlordioxid  $ClO_2$*
- *Kaliumpermanganat  $KMnO_4$*
- *Wasserstoffperoxid  $H_2O_2$*

### 2.2.14 Neutralisation

Das Ziel der Neutralisation ist es den pH-Wert anzuheben bzw. die Calcitlösekapazität bis auf die zulässige Größe abzusenken. Dies geschieht mit der Zugabe von Alkalien ins Wasser (Kalk, Natronlauge, etc.) bzw. über den Kontakt des Wassers mit alkalischen Stoffen (Filtration über Kalkstein oder dolomitisches Material). Mit diesem Verfahren wird die freie überschüssige Kohlensäure gebunden, wobei das Ergebnis ähnlich dem des Gasaustausches ist (Mutschmann et al., 2007).

#### 2.2.14.1 Filtration über Kalkstein

Die Filtration über Kalkstein ( $CaCO_3$ ) stellt das älteste Entsäuerungsverfahren dar und ist dem natürlichen Vorgang im Bereich der im Jura und Devon entstandenen Kalklagerstätten nachempfunden. Dieser natürliche Vorgang erforderte lange Zeiträume; in der Wasseraufbereitung wird dies durch den Einsatz von Calciumcarbonat mit spezieller Oberflächenstruktur

und einer geringen Korngröße auf unter eine Stunde verkürzt. Vorteilhaft ist bei diesem Verfahren der geringe Betriebs- und Überwachungsaufwand zu nennen. Weiter ist auch eine Übersättigung des Wassers mit  $\text{CaCO}_3$  nicht möglich. Kalkstein benötigt längere Kontaktzeiten als halbgebrannter Dolomit. Poröser Kalkstein ist zwar reaktionsfähiger, wodurch die Kontaktzeiten deutlich kürzer sind, die Gefahr der Verkeimung ist jedoch höher. Dadurch wird eine anschließende Desinfektion nach diesem Verfahren notwendig (Mutschmann et al., 2007).

### 2.2.14.2 Filtration über dolomitische Materialien

Zum Einsatz kommt halbgebrannter Dolomit ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$ ). Da die erforderlichen Mengen an Filtermaterial geringer sind als bei Kalkstein, werden damit Baukosten gespart. Jedoch ist das Filtermaterial an sich teurer. Unter Umständen kann mit diesem Verfahren auch eine Enteisung/Entmanganung erfolgen (Mutschmann et al., 2007).

### 2.2.14.3 Zugabe von Alkalien

Um den pH-Wert anzuheben kommen vorrangig Kalkhydrat sowie Natronlauge in Frage. Der Kalk kann trocken (Pulver oder Brocken), aufgeschwemmt (Kalkmilch) oder gelöst (Kalkwasser) zudosiert werden. Bei der Zugabe von Natronlauge ist aufgrund der ätzenden Eigenschaft erhöhte Sorgfalt geboten. Die Natronlauge sollte vor der Zugabe ins Wasser verdünnt werden. Die Mischung mit dem Wasser soll schnell und intensiv erfolgen, da sonst der pH-Wert stark ansteigt und unlösliches Carbonat entsteht (Mutschmann et al., 2007).

### 2.2.15 Ionenaustausch

*Ionenaustauscher sind feste und unlösliche, hochmolekulare Polyelektrolyte, die ihre Ionen gegen Ionen gleicher Ladung aus dem umgebenden Medium austauschen können* (Merkl, 2008). Nach Erreichen eines Gleichgewichtszustandes hört der Austausch auf. Der Ionenaustauscher muss dann regeneriert werden. Dies geschieht im umgekehrten Weg, indem eine Regenerierlösung mit einer hohen Konzentration des Gegenions dem Ionenaustauscher zugegeben wird. Damit wird der Ionenaustauscher wieder in seine Anfangsform zurück geführt (Merkl, 2008).

Dieses Verfahren kommt, wegen der problematischen Beseitigung der Regenerierlösung nur in Einzelfällen zur Anwendung:

- *Entfernung von Calcium- und Magnesiumionen (Teilenthärtung, Teilentkarbonatisierung)*
- *Entfernung von Nitrat und Sulfat*
- *Entfernung von Huminstoffen*
- *Entfernung von Metallspuren*

Die Wasserenthärtung basiert dabei auf dem Austausch der Calcium- und Magnesiumionen gegen Natriumionen. Die ausgetauschten Ionen bleiben im aufbereiteten Wasser (BAG, 2010).

Zum Einsatz kommen saure Kationenaustauscherharze und basische Anionenaustauscherharze in starker und schwacher Form (Mutschmann et al., 2007).

Voraussetzungen für einen einwandfreien Ionenaustausch ist klares, also trübstofffreies Wasser. Trübstoffe würden die Zugänge ins Korninnere mechanisch blockieren. Auch ein mit Sauerstoff übersättigtes Wasser beeinträchtigt die Austauschkapazität (Merkl, 2008).

## 2.2.16 Desinfektion

### 2.2.16.1 Allgemeines

Die Desinfektion von Wasser ist die Maßnahme zur Abtötung bzw. Inaktivierung von Krankheitserregern und damit die Aufbereitung des Trinkwassers in mikrobiologischer Hinsicht (ÖLMB, 2007).

Eine Desinfektion des Trinkwassers erfolgt als letzter Verfahrensschritt einer Wasseraufbereitung und muss ein bakteriologisch einwandfreies und stabiles Wasser im Netz garantieren. Eine Wiederverkeimung bzw. Nachverkeimung, welche durch lange Verweilzeiten des Wassers im Versorgungssystem bzw. durch lange Rohrleitungsnetze entsteht, muss verhindert werden (Kainz et al., 2012).

Möglichkeiten der Abtötung/Inaktivierung der Krankheitserreger:

- Hitzeeintrag (Abkochen)
- Ultraviolette- (UV) oder  $\gamma$ -Strahlung
- Bakterizide Metalle (Silber, Kupfer)
- Starke Säuren und Basen
- Oberflächenaktive Stoffe
- Chemische Oxidationsmittel (Chlor, Ozon, Chlordioxid, etc.)

Silber kann zur Konservierung von Wasser genutzt werden (z. B.: auf Schiffen). Das Abkochen eignet sich für die zentrale Trinkwasserversorgung (großer Energieverbrauches für Kochen und Abkühlen) nicht und ist nur in Notfällen zu empfehlen (Gujer, 2007).

In Österreich sind laut ÖLMB (2007) folgende Verfahren zur zentralen Trinkwasserdesinfektion zugelassen:

- Chlorung mit Natrium-, Kalium-, Calcium- oder Magnesiumhypochlorit
- Chlorung mit Chlorgas
- Behandlung mit Chlordioxid
- Ozonung (Oxidation mit Ozon  $O_3$ )
- UV-Bestrahlung

Eine Abtötung bzw. Inaktivierung von Bakterien und Viren ist mit allen zulässigen Trinkwasserdesinfektionen erreichbar. Hingegen ist die Abtötung bzw. Inaktivierung von Parasiten nur mit einer Ozonung oder UV-Bestrahlung möglich (Roeske, 2007).

Krankheitserreger können auch an Partikeln gebunden vorliegen. Dadurch sind sie vor der Einwirkung eines Desinfektionsmittels geschützt. Für die Desinfektion als letzten Verfahrensschritt wird deshalb ein weitgehend trübstofffreies ( $< 1$  NTU) Wasser gefordert (Roeske, 2007).

### 2.2.16.2 Wichtige Begriffe

#### **Desinfektionsnebenprodukte (DNP):**

Dies sind organische und anorganische Produkte (Chlorat, Chlorit, Bromat), welche bei der Desinfektion des Wassers mit Chlor, Hypochlorit, Chlordioxid oder Ozon als Reaktionsnebenprodukte entstehen. Vor allem sind die halogenierten organischen Verbindungen wesentlich (THM, halogenierte Essigsäure, halogenierte Acetonitrile und Chlorpikrin). Weiter werden auch adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX) sowie nicht halogenierte Oxidationsprodukte gebildet. Diese Reaktionsnebenprodukte werden von der Art und Konzentration der anorganischen und organischen Wasserinhaltsstoffe bestimmt. Daher muss die Wahl des Desinfektionsmittels auf die Wasserinhaltsstoffe bedacht nehmen (Roeske, 2007).

#### **Wiederverkeimungspotenzial:**

Wiederverkeimungspotenzial stellt die Neigung des Trinkwassers zur Wiederverkeimung bzw. Nachverkeimung dar. Trinkwasser kann auch nach einer erfolgreichen Desinfektion durch lange Verweilzeiten im Speicher oder im Rohrnetz wieder/nach verkeimen. Dies wird vor allem durch das gewählte Desinfektionsverfahren, von den Wasserinhaltsstoffen, von der Wassertemperatur und vom Zustand des Rohrnetzes und des Wasserspeichers beeinflusst. Weitere Einflussfaktoren, die die Neigung zur Wiederverkeimung bzw. Nachverkeimung erhöhen, sind insbesondere ein hohes Nährstoffangebot (Stickstoff-, Phosphor- und Schwefelverbindungen, abbaubare organische Stoffe) (Roeske, 2007).

#### **Desinfektionskapazität:**

Desinfektionskapazität bzw. Depotwirkung beschreibt, wie lang ein Desinfektionsmittel noch nach Abschluss der Desinfektion seine desinfizierende Wirkung beibehält. Die Depotwirkung ist besonders im Verteilernetz wichtig und ist abhängig vom eingesetzten Desinfektionsmittel, von der Dosiermenge und vom Restgehalt des Desinfektionsmittels vor der Einspeisung ins Rohrnetz. Chlorungsverfahren haben eine Depotwirkung, wobei Chlordioxid im Vergleich zum Chlor eine bessere Depotwirkung aufweist. Eine Desinfektion mit UV-Strahlung oder Ozon erzielt keine Depotwirkung und weist damit ein hohes Wiederverkeimungspotenzial auf (Roeske, 2007). In diesem Fall kann eine nachgeschaltete Sicherheitschlorung notwendig werden (Merkl, 2008).

### 2.2.16.3 Desinfektion mit Chlorungs- und Oxidationsmittel

#### **Chlorung:**

Die Desinfektion mit Hypochloritlösungen (Natrium-, Kalium-, Calcium- oder Magnesiumhypochlorit) oder Chlorgas wird als Chlorung bezeichnet. Es ist das am häufigsten verwendete Desinfektionsverfahren.

Bei normalen Temperaturen und normalen Druck ist Chlor  $\text{Cl}_2$  ein gelbgrünes, giftiges, stechend riechendes Gas. Es ist schwerer als Luft und sinkt daher rasch zu Boden, kann sich also auch in Vertiefungen ansammeln. Indem Chlorgas unter Druck gesetzt und abgekühlt wird, wird es in eine orangegelbe Flüssigkeit umgewandelt. In den Handel kommt Chlor in Stahlflaschen abgefüllt. Dabei ist ein Teil des Chlors in flüssigem und ein Teil in gasförmigem Zustand. Die Löslichkeit des Chlorgases in Wasser ist gut und hängt von der Temperatur des Wassers und vom Druck des Chlorgases ab (Roeske, 2007).

Die heute gängigen Chlorgasdosieranlagen arbeiten nach dem Vakuumprinzip. Damit liegt in der gesamten Installation (von Chlorgasflasche bis zur Injektoreinführung) ein Unterdruck vor. Im Falle eines Defekts der Anlage kann kein Chlorgas austreten. Dies stellt ein Höchstmaß an Sicherheit dar (Roeske, 2007).

Das eingebrachte Chlor darf nach einer Reaktionszeit von mindestens 30 Minuten eine Restkonzentration an freiem Chlor  $0,3 \text{ mg/L Cl}_2$  nicht unterschreiten und  $0,5 \text{ mg/L Cl}_2$  nicht überschreiten. Die zulässige Höchstkonzentration an freiem Chlor ist, vor Einspeisung ins Netz, mit  $0,3 \text{ mg/L Cl}_2$  beschränkt. Bei einer Chlorung von huminstoffhaltigen Wässern ist besonders auf die Bildung von Nebenprodukten zu achten (leichtflüchtige halogenierte Kohlenstoffwasserstoffe). Bei Ammoniumgehalten über  $0,2 \text{ mg/L NH}_4$  im Wasser stellt die Chlorung aufgrund der möglichen Bildung von Nitrit kein geeignetes Verfahren dar (ÖLMB, 2007).

Die Desinfektionswirkung einer Chlorung ist stark vom pH-Wert abhängig und nimmt mit steigendem pH-Wert stark ab. Ab einem pH-Wert von über 8,5 ist die Desinfektionswirkung von Chlor nicht mehr vorhanden (Roeske, 2007).

### **Vorteile:**

- *Chlorgas kann gelagert werden*
- *Einfach und billig*
- *Längere Wirksamkeit (Depotwirkung) und somit Schutz für Verteilernetz*

### **Nachteile:**

- *Reagiert mit organischen Stoffen im Wasser und kann dabei krebserzeugende Substanzen bilden*
- *pH-Wert abhängig (mit steigendem pH-Wert nimmt die Desinfektionswirkung ab)*

### **Behandlung mit Chlordioxid:**

Chlordioxid  $\text{ClO}_2$  ist ein Oxidations- und Desinfektionsmittel. Es ist ein stechend riechendes, gelbes Gas. Aufgrund seiner Explosionsgefahr kann Chlordioxid in konzentrierter Form weder als Gas noch als konzentrierte wässrige Lösung gelagert und transportiert werden. Daher muss es am Ort der Verwendung hergestellt werden (Roeske, 2007).

Ausgangsstoff für die Herstellung ist Natriumchlorit (Wilhelm, 2008).

Ein wesentlicher Unterschied zum Desinfektionsmittel Chlor ist die Tatsache, dass Chlordioxid keine Reaktion mit Ammonium oder Ammoniumverbindungen eingeht. Weiter ist die Desinfektion mit Chlordioxid nicht vom pH-Wert des Wassers abhängig. In pH-Wert-Bereichen zwischen 6 und 9 bleibt die Desinfektionswirkung gleich (Roeske, 2007).

Chlordioxid ist sehr beständig und weist damit eine hohe Depotwirkung auf, welche über eine längere Zeit aufrechterhalten werden kann und einer Wiederverkeimung des Wassers wirksam begegnet. Vorteilhaft ist dies vor allem bei ausgedehnten Rohrnetzen.

Bei einer maximalen Dosiermenge von  $0,4 \text{ mg/L ClO}_2$  entstehen zwar Reaktionsnebenprodukte, jedoch sind diese unbedenklich (Roeske, 2007). Nach einer Kontaktzeit von etwa 15 bis 20 Minuten soll eine Restkonzentration von  $0,05 \text{ mg/L}$  nachweisbar sein (Wilhelm, 2008).

Die Desinfektionswirkung von Chlordioxid ist bei gleicher Zugabe besser als die von Chlor. Eine unvollständige Oxidation von Chlordioxid und Huminstoffen kann zu einer gelblichen

Verfärbung des Wassers führen. Dies kann durch eine abgestimmte Dosierung oder durch eine Voroxidation vermieden werden (BAG, 2010).

**Vorteile:**

- *Wenig unerwünschte Nebenprodukte, keine Bildung von Trihalogenmethanen*
- *Höhere Depotwirkung als Chlor*
- *Gewährleistet Schutz auch bei langen Rohrnetzen*

**Nachteile:**

- *Herstellung an Ort der Verwendung*

**Ozon:**

Ozon O<sub>3</sub> ist ein farbloses, stechend riechendes, äußerst giftiges und instabiles Gas. In stärkeren Konzentrationen ist es bläulich. Es ist ein starkes Oxidationsmittel und ein wirksames Desinfektionsmittel. Durch großen Energieaufwand wird es vor Ort, durch stille elektrische Entladung aus getrockneter Luft oder reinem Sauerstoff erzeugt. Es wird eher in großen Aufbereitungsanlagen eingesetzt (Roeske, 2007).

Die Ozonung kann nicht als Desinfektion im Sinne des letzten Verfahrensschritts gesehen werden. Das starke Oxidationsmittel bildet Sauerstoffradikale, welche auf den Menschen stark toxisch wirken. Daher ist die nach ÖLMB (2007) zulässige Höchstkonzentration im aufbereiteten Wasser mit 0,05 mg/L O<sub>3</sub> beschränkt. Um dies zu gewährleisten, muss nach einer Ozonung ein weiterer Aufbereitungsschritt (z. B.: Sandfilter, Aktivkohle) nachgeschaltet werden. Hierbei wird das Restozon wieder in Sauerstoff umgewandelt. Auch das Restozon in der Abluft muss berücksichtigt und behandelt werden. Durch Katalysatoren oder thermische Behandlung kann es vernichtet werden. Es ist auch zu beachten, dass gasförmiges Ozon mit organischen Materialien (Aktivkohle, Fette, Gummi, etc.) zu Explosionen führen kann (BAG, 2010).

Ozon baut organische Wasserinhaltsstoffe ab, wobei die Oxidierbarkeit bzw. der DOC-Gehalt vermindert wird. An organischen Inhaltsstoffen können auch Metalle, wie Eisen und Mangan komplex gebunden vorliegen. Hier zerstört Ozon diese Komplexe und ist daher für die Enteisung und Entmanganung sehr vorteilhaft. Es eignet sich auch für die Entfärbung huminstoffhaltiger Wässer, sowie zur Zerstörung von Geruchs- und Geschmacksstoffen (Mutschmann et al., 2007).

Die Zugabemenge des Ozons zur Trinkwasseraufbereitung wird experimentell ermittelt. Es kann jedoch mit ca. 1 bis 2 mg Ozon pro Ausgangs-DOC gearbeitet werden. Erfahrungsgemäß führen höhere Mengen zu keiner wesentlichen Verbesserung der Qualität des Wassers (Gimbel et al., 2004).

Stark schwankende Wasserqualitäten führen zu Problemen in der genauen Dosierung des Ozons. Deshalb wird die Zudosierung über die Restozonkonzentration am Auslauf des Reaktors gesteuert (BAG, 2010).

Das Ozon kann durch unterschiedliche Eintragungssysteme ins Wasser eingebracht werden. Diese beeinflussen die Effektivität der Ozonung wesentlich. Als Eintragungssysteme werden Injektor-Verfahren, Diffusoren oder statische Mischer verwendet (BAG, 2010).

**Vorteile:**

- *Geringe Mengen von unerwünschten Nebenprodukten*
- *Oxidativer Abbau von organischen Belastungsstoffen*
- *Inaktivierung von Parasiten möglich*
- *Keine Reaktion mit Ammonium oder Ammoniak*

**Nachteile:**

- *Ozon zerfällt schnell und bietet damit keinen langanhaltenden Schutz im Verteilernetz (keine Depotwirkung)*
- *Erhöhte Bildung von biologisch abbaubaren Stoffen, was die Nachverkeimung im Netz fördert. Daher ist nach einer Ozonung eine biologisch arbeitende Filterstufe erforderlich.*
- *Erhöhte Bildung von Bromat bei bromidhaltigen Wässern (eine Begrenzung der Bromatbildung ist durch Absenken des pH-Wertes, der Ozonkonzentration und der Reaktionszeit möglich)*
- *Hohe Kosten – aufgrund des Energieverbrauches bei der Herstellung des Ozons*

2.2.16.4 Desinfektion mit UV-Bestrahlung

Eine weitere Art der Desinfektion ist mittels „chemiefreier“ Ultraviolett-Bestrahlung möglich. Diese physikalische Desinfektion bewirkt eine Abtötung bzw. Inaktivierung von Keimen, ohne dabei Geschmack und mineralische Zusammensetzung zu verändern. Die UV-Desinfektion setzt jedoch voraus, dass das Wasser einen niedrigen Gehalt an Trübstoffen ( $< 1$  NTU; besser  $< 0,3$  NTU) hat und eine gute UV-Durchlässigkeit (geringer Gehalt an Huminstoffen) gegeben ist. Damit es zu keinen störenden Ablagerungen in der Bestrahlungskammer kommt, sind Eisen- ( $< 0,03$  mg/L) sowie Mangan-Gehalte ( $< 0,02$  mg/L) einzuhalten (Roeske, 2007).

Die Funktionsweise ist einfach. Das Wasser durchfließt eine Strahlerkammer, unterzieht sich für einige Sekunden einer intensiven UV-Bestrahlung (265 nm Wellenlänge) und steht ohne nachfolgende Reaktionszeit als Trinkwasser zur Verfügung (Gujer, 2007). Dabei führen die UV-Strahlen zu einer Veränderung des Erbgutes der Mikroorganismen, was wiederum zum Verlust der Vermehrungsfähigkeit führt. Mikroorganismen, die zusammengelagert oder an Partikeln gebunden sind, sind schwieriger abzutöten bzw. zu inaktivieren als einzeln vorliegende Mikroorganismen. Sie sind durch die Partikel geschützt. Das Wasser muss daher möglichst klar und frei von Partikeln sein. Die desinfizierende Wirkung wird nur am Ort der Bestrahlung entfaltet. Hier ist eine Wiederverkeimung im Netz eher möglich als bei chemischen Desinfektionsmitteln, welche eine Depotwirkung aufweisen (Roeske, 2007).

Die UV-Desinfektionsanlage kann aufgrund des geringen Platzbedarfs problemlos nachträglich eingebaut werden. Die Anlage ist sowohl für Kleinanlagen als auch für Großanlagen der zentralen Wasserversorgung und Industrie geeignet. Bei qualitativ hochwertigem Grund- oder Quellwasser ist eine UV-Desinfektion als alleiniges Aufbereitungsverfahren ausreichend (BAG, 2010).

Durch die Strahleralterung und durch Ablagerungen an den Strahlerhüllrohren kommt es zu einer stetigen Minderung der Strahlungsintensität. Es ist daher auf eine regelmäßige Reinigung und eine zeitgerechte Auswechslung der einzelnen Elemente zu achten (BAG, 2010).

Roeske (2007) empfiehlt bei allen UV-Anlagen eine nachgeschaltete Dosieranlage für chemische Desinfektionsmittel. Damit im Falle einer technischen Störung oder einer Verschlechterung der Wasserqualität eine Gegenmaßnahme schnell eingeleitet werden kann.

**Vorteile:**

- *Keine Nebenprodukte*
- *Problemloser nachträglicher Einbau möglich*

**Nachteile:**

- *Kein nachhaltiger Schutz – Wiederverkeimungspotenzial im Netz*

### 2.2.17 Kontrolle des Wirkungsgrades einer Aufbereitungsanlage

Der Einsatz von Betriebsmessgeräten wird zur kontinuierlichen Messung folgender wichtiger Parameter eingesetzt und empfohlen (Roeske, 2007):

- *Temperatur: Beeinflusst Aufbereitungs- und Desinfektionsprozesse wie Flockung und biologisch wirkende Filter*
- *pH-Wert: Zur Kontrolle der Aufbereitungs- und Desinfektionsverfahren, gibt Angaben zum Korrosionsverhalten von Wasser*
- *Trübung: Die ästhetische Qualität des Wassers ist bis 5 NTU gegeben. Für die Effektivität der Desinfektion ist jedoch < 1 NTU anzustreben, denn höhere Trübstoffgehalte schützen die Mikroorganismen vor der Desinfektion und können somit auch ein Bakterienwachstum positiv beeinflussen.*
- *Chlor (freies Chlor, gebundenes Chlor, Gesamtchlor)*
- *Chlordioxid*
- *Redox-Spannung: Dient zur Kontrolle der Desinfektion.*
- *Ozon: Die Messung des Restgehaltes an Ozon im Wasser dient der kontinuierlichen Überwachung und kann zur Steuerung der Ozonzugabe genutzt werden. Ein Restozongehalt von < 0,05 mg/L darf bei Einspeisung des Trinkwassers ins Rohrnetz nicht überschritten werden*
- *UV-Adsorption: Die SAK-Messung kann zur Steuerung der Zugabe von Flockungsmitteln und Pulver-Aktivkohle genutzt werden. Der SAK 254 ist ein Summenparameter für den Gehalt an gelösten organischen Stoffen. Es existieren Korrelationen zwischen SAK 254 und TOC.*
- *Ammonium*

Die Überwachung dieser Parameter dient vor allem der Kontrolle, Steuerung und Regelung von Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen und zur Überprüfung der Roh- und Trinkwasserqualität. Die kontinuierliche Überwachung ist sehr vorteilhaft, denn Änderungen, Schwankungen und Extremwerte können damit möglichst zeitnah erfasst werden.

Weitere wichtige Parameter sind TOC, DOC, Eisen und Mangan. Eine Online-Messung dieser Parameter ist unüblich, jedoch gibt es Entwicklungen, die auch ein kontinuierliches Messen dieser Parameter erlauben würden.

## 2.3 Trinkwasserspeicherung

### 2.3.1 Aufgabe und Art

Die Aufgabe der Wasserversorgungsunternehmen ist es, zu jedem Zeitpunkt eine ausreichende Menge an Trink- und Nutzwasser zur Verfügung zu stellen. Der Wasserverbrauch ist nicht konstant, sondern schwankt je nach Tages- und Jahreszeit beträchtlich. Daher ist die Speicherung von Trinkwasser notwendig und dient als:

- *Mengenspeicher: Ausgleich zwischen Wasserdargebot und Wasserbedarf*
- *Druckspeicher: Erzielung eines möglichst gleichmäßigen Vorsorgedrucks*

Weiter hat die Wasserspeicherung die Aufgabe, Verbrauchsspitzen abzudecken und einen Vorrat zur Überdeckung von Betriebsstörungen sowie zur Brandbekämpfung bereitzuhalten (Merkl, 2008).

Die Speicherung von Trinkwasser ist je nach Beschaffenheit für mehrere Tage (maximal 1 bis 2 Wochen) ohne Aufbereitung vor Einspeisung ins Rohrnetz, möglich. Jedoch sind kurze Verweilzeiten deutlich günstiger als lange. Aus Qualitätsgründen erfolgt die Speicherung von Trinkwasser stets in geschlossenen Behältern, wie:

- *Hochbehälter*
- *Wasserturm*
- *Tiefbehälter*
- *Kavernen*
- *Druckkessel*

### 2.3.2 Anforderungen

Die wichtigste bautechnische Anforderung an Wasserspeicher ist neben der Standsicherheit die Dichtigkeit. Die sorgsame Ausgestaltung der Wasserbehälter muss stets auf die Bedeutung und den Wert des Lebensmittels Wasser bedacht sein. Das Wasser ist vor Verunreinigungen oder sonstigen nachteiligen Veränderungen in mikrobiologischer und chemisch-physikalischer Hinsicht zu schützen (Grombach et al., 2000).

Die Innenflächen der Wasserbehälter müssen so glatt und porenfrei wie möglich sein. Damit wird ein Bakterienwachstum vermieden und auch eine Reinigung ist leichter möglich (Merkl, 2008).

Die Wasserbehälter müssen leicht zugänglich sein. Die für einen einwandfreien Betrieb notwendigen Messungen müssen ohne besondere Vorbereitungen und ohne Verschmutzungen des Wassers durchführbar sein. Eine durchgehende Versorgung muss auch während Reinigungs- und Instandhaltungsarbeiten gewährleistet werden. Daher sollte der Wasserbehälter in mehrere Wasserkammern unterteilt sein. Dabei müssen die einzelnen Kammern entleert werden können (Grombach et al., 2000).

Das gespeicherte Wasser kann vor allem durch Erwärmung, Abkühlung, Tauwasserbildung und zugeführte Luft negativ beeinflusst werden. Daher ist eine entsprechende Wärmedämmung, insbesondere bei Behälterdecke außen vorzusehen. Ein dauernder Einfall von Tageslicht in den Wasserkammern ist zu vermeiden, da sich sonst Algen- und Biofilme auf der Wasseroberfläche bilden können. Eine künstliche Belichtung ist jedenfalls zu ermöglichen.

Um eine Tauwasserbildung zu vermeiden, ist es wichtig die eingeströmte Luft der Wassertemperatur anzugleichen. Dem Austausch der Luft kommt große Bedeutung zu (Merkl, 2008).

### **2.3.3 Be- und Entlüftung**

Die Luft in den Wasserbehältern besitzt eine hohe Innenfeuchte. Daher kann sich stets Tauwasser bilden. Negative Beeinflussungen der Wasserbeschaffenheit kann durch eine richtig funktionierende Be- und Entlüftung sichergestellt werden (Mutschmann et al., 2007).

#### **2.3.3.1 Wasserkammer**

Um den von der Wasserspiegelbewegung erzwungenen Luftaustausch selbsttätig zu ermöglichen, sind Lüftungsöffnungen in den Wasserkammern notwendig. Diese dürfen nicht direkt über der freien Wasseroberfläche angeordnet sein. Die früher üblichen Dunsthüte oder Dunstkamine, welche direkt auf die Behälterdecke gesetzt worden sind, sind aus hygienischen Gründen unbedingt zu vermeiden; bestehende müssen umgebaut werden. Das Eindringen von Staub, Blättern, Flüssigkeiten, Insekten oder anderen Ungeziefern muss verhindert werden. Dazu können Siebe, Filter, Gitter, Jalousien und andere Einrichtungen eingebaut werden. Diese müssen stets kontrollierbar und dementsprechend leicht zugänglich sein (Mutschmann et al., 2007).

Die Lüftungsöffnungen sollen so angelegt sein, dass sich die zugeführte Luft vor Eintritt in die Wasserkammer möglichst der Temperatur des Wassers anpassen kann. Es kommen auch geschlossene Lüftungsführungen zum Einsatz. Diese sind je nach Verschmutzungsgrad der zugeführten Luft auszurichten. Zum Einsatz kommen neben einfachen Luftfiltern, Luftfilter mit katalytisch wirkendem Filtermaterial auch Aktivkohlefilter (Merkl, 2008).

### **2.3.4 Wassererneuerung**

Die rechtzeitige und gleichmäßige Wassererneuerung ist wohl die wichtigste hygienische Forderung, um eine Geschmacksbeeinträchtigung und Keimvermehrung durch stagnierendes Wasser im Behälter zu vermeiden. Dies bedeutet, dass jedes Wasserteilchen möglichst gleich lange im Behälter verweilen soll, jedoch nicht zu lange. Weiter dürfen keine toten Ecken mit liegenden oder stehenden Wasserwalzen vorhanden sein (Mutschmann et al., 2007).

Die beste Wassererneuerung des Wassers wäre, wenn der Behälter jeden Tag einmal ganz gefüllt und ganz entleert werden würde. Dieser Betriebszustand erfüllt jedoch nicht die Aufgabe der Wasserspeicherung, denn diese dient in erster Linie als Mengenspeicher und Druckspeicher. Um diese Aufgabe zu erfüllen, verlangt der Betrieb, dass der Behälter möglichst voll ist (Mutschmann et al., 2007).

Der Zulauf und die Entnahme sollen genügend weit voneinander entfernt sein (oben/unten, gegenüberliegend). Der Zulauf kann entweder über dem Wasserspiegel oder an der Sohle, also unter Wasser erfolgen. Dies ist davon abhängig ob das Wasser belüftet werden soll oder nicht. Entscheidungshilfen dafür sind der Sättigungsindex und der Sauerstoffgehalt des Wassers. Der Zulauf muss in jedem Fall genügend Turbulenz im Wasser herbeiführen. Damit kann mit einfachen Mitteln eine ausreichende Wassererneuerung im Behälter erreicht werden.

### 2.3.5 Kontrolle, Reinigung und Desinfektion

Im Betriebshandbuch (Behälterbuch) sind Anweisungen und Berichte über Kontrollen und Instandhaltungsarbeiten festzuhalten.

Die Kontrolle der Behälter ist stets von fachkundigen Personen durchzuführen. Neben der Begutachtung des baulichen Zustandes ist auch der hygienische Zustand der Behälter zu bewerten. Kontrolliert werden die Decken-, Wand-, Boden- und Fugenflächen auf:

- *Geruchsbildung*
- *Belagsbildung*
- *Bewuchsbildung*

Weiter ist auf jede Art von Ablagerung und auf Vorhandensein von tierischen Organismen zu achten.

Im Allgemeinen ist eine mechanische Reinigung einer chemischen Reinigung vorzuziehen. Die mechanische erfolgt dabei mit Schrubbern, Schwämmen, Bürsten und intensivem Abspritzen mit Trinkwasser. Eine chemische Reinigung ist immer kritisch zu hinterfragen. Die Reinigungsmittel sind auf Basis organischer und anorganischer Säuren mit Zusätzen und haben eine desinfizierende Wirkung. Hauptsächlich werden solche Reinigungsmittel zur Entfernung von Eisen-, Mangan- oder Kalkablagerungen verwendet. Chemische Reinigungen haben Vorteile, indem sie ein besseres optisches Erscheinungsbild der Wasserkammern mit deutlich weniger Personal erreichen können. Jedoch sind Angriffe von zementgebundenen Flächen, Betonoberflächen oder metallischen Behälterbaustoffen durch saure Reinigungsmittel als nachteilig zu sehen. Eine verbleibende Menge an chemischen Reinigungsmitteln kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Dies kann negative Wirkungen auf das Trinkwasser haben (Keimzahlerhöhung). Neue Reinigungsmittel, die nicht auf Basis von Säuren hergestellt sind, sind für die Reinigung von Behälter besser geeignet. Diese neutralen Reinigungsmittel entfalten im neutralen pH-Wert Bereich über Reduktionsmittel ihre Reinigungswirkung. Jedoch muss eine abschließende Desinfektion erfolgen (mit Wasserstoffperoxid oder Chlor). Das anfallende Restwasser der Reinigung und Desinfektion ist ordnungsgemäß zu behandeln und abzuleiten (Mutschmann et al., 2007).

## 3 CHARAKTERISTIKA VON KARST UND KARSTWASSER

### 3.1 Karst

Es gibt Karstsysteme aus verschiedenen Gesteinsarten (Kalkstein, Dolomit, Gips, Konglomerat), aus unterschiedlichen geologischen Zeitabschnitten und in allen Höhenlagen. Daher ist auch die landschaftliche wie hydrogeologische Vielfalt sehr groß. Es gibt beispielsweise Karstlandschaften mit eindrucksvollen Karrenfeldern und großen Höhlen, aber auch welche, die weniger ausgeprägte Karstformen zeigen und die oft durch Boden und Vegetation bedeckt sind. Bei einigen Gebieten lassen sich auch Übergänge zwischen verkarsteten, geklüfteten und porösen Karbonatgesteinen beobachten (Glodschneider et al., 2004).

#### 3.1.1 Begriff Karst

Ursprünglich ist Karst der deutsche Begriff für eine Landschaft im Hinterland von Triest gewesen. Diese Landschaft ist im slowenischen als *Kras* und im kroatischen als *Krš* bezeichnet worden, was zu Deutsch *steiniger Boden* heißt. Der Begriff Karst wandelte sich Mitte des 19. Jahrhunderts von einer lokalen Bezeichnung zum internationalen Fachausdruck.

#### 3.1.2 Karstmorphologie

*„Karst ist jeder Landschaftstyp, in dem infolge der Klüftigkeit und Löslichkeit des Gesteins ein Teil oder die Gesamtheit der Wässer aus Niederschlägen und/oder Oberflächengerinnen (Rinnsale, Bäche, Flüsse) unterirdisch abfließen und in dem kennzeichnende, vorwiegend der Korrosion zu verdankende oberirdische und unterirdische Landschaftsformen (Karstformen, Karsterscheinungen) auftreten können“ (ÖWAV, 2007).*

Verkarstungsfähige Gesteine sind:

- *Karbonatgesteine wie Kalke und Dolomite*
- *Evaporite (Salzgesteine) wie Gips, Steinsalz, etc.*
- *Festgesteine mit wasserlöslichen Komponenten wie Konglomerate, Brekzien, Kalksandsteine, Mergel und Metamorphite*
- *Lockersedimente mit wasserlöslichen Komponenten*

Kommt derartiges Gestein mit Wasser in Berührung, kommt es zur Verkarstung und in weiterer Folge zur Bildung von komplexen unterirdischen Karstentwässerungs- und Höhlensystemen. Dabei ist unter Verkarstung die Summe aller Vorgänge der Korrosion und Erosion an der Oberfläche sowie im Untergrund zu verstehen. Der Vorgang der Korrosion ist dabei die sukzessive Auflösung von Gesteinen (ÖWAV, 2007).

Es sind zwei Formen der Verkarstung zu unterscheiden:

- **Teilverkarstung:** *Oberflächenabfluss vorhanden, wird durch die Verkarstung jedoch ständig vermindert*
- **Vollverkarstung:** *kein Oberflächenabfluss vorhanden, es kommt ausschließlich zu einer unterirdischen Entwässerung*

Weiter wird unterschieden in:

- **Felskarst** (*nackter Karst, Kahlkarst*): Ohne zusammenhängende Vegetationsdecke (z. B.: Kalkhochalpen)
- **Grünkarst**: Mit Karstheide oder Karstwald (z. B.: Kalkvoralpen)
- **Bedeckter Karst**: Über dem verkarstungsfähigen Gestein lagert eine Überdeckung aus nicht verkarstungsfähigem Gestein, wodurch das unmittelbare Eindringen der Wässer verhindert wird. Eine Wasserzirkulation kann dennoch durch seitlichen Zufluss in den Karst gegeben sein.

Die Entwicklung des Karstes und damit das Erscheinungsbild der Karstlandschaft hängen von vielen Faktoren und deren Zusammenspiel ab. Die wesentlichsten klimabedingten Faktoren sind das Angebot an Niederschlägen, deren jahreszeitliche Verteilung sowie die Intensität einzelner Niederschlagsereignisse. Für die Verkarstung entscheidend ist dabei jener Anteil des Niederschlags, der nach Verdunstung in das Karstsystem abfließen und dort gesteinslösend und abtragend wirksam werden kann. Dieser wirksame Anteil des Niederschlags ist wesentlich von der Boden- und Vegetationsbedeckung abhängig. Daher beeinflussen jegliche Änderungen der Boden- und Vegetationsbedeckung die Karstentwicklung und können die Qualität sowie die Quantität des Karstwassers beeinträchtigen. Derartige Veränderungen können schnell hervorgerufen werden, beispielsweise durch forstliche Maßnahmen (Kahlhieb des Karstwaldes und anschließende Bodenerosion), durch ackerbauliche oder almwirtschaftliche Nutzung oder durch Geländekorrekturen (für Skipisten, etc.). Auch beeinflusst die Versiegelung großer Flächen (z. B.: durch Haus-, Straßen- und Wegebau oder Parkplätze) die Abflussverhältnisse in Karstgebieten (ÖWAV, 2007).

Die charakteristischen Karstformen entstehen durch Lösungsvorgänge, welche durch die Kohlensäure im einsickernden Wasser verursacht werden. Zu den oberirdischen Karstformen zählen Karren (Rinnen), Karstspalten, Karstschlote, Karstgassen, Dolinen (trichterförmige Senken), Uvala, Poljen, Karstrandebenen, Mogoten und Cockpits im Kegelkarst (Pfeffer, 1978).

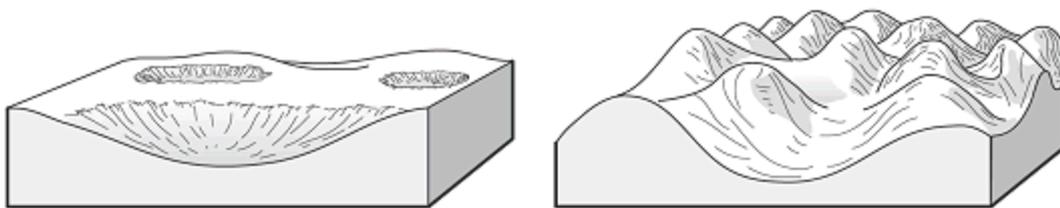


Abbildung 10: Unterschied zwischen Dolinen (li) und Kegelkarst (re) aus Pfeffer (1978)

Unter der Karstoberfläche können sich durch die Lösungsvorgänge Höhlen und Flussläufe bilden. Das Wasser sucht sich dann den Weg durch das Innere des Gebirges in Richtung Austritt (Quelle). Die großen und komplexen Hohlräume der Karstgebirge können große Wassermengen enthalten. Dies spielt für die Trinkwasserversorgung eine wichtige Rolle (Lichtenecker et al., 2011).

#### 3.1.3 Karstgebiete in Österreich

Das österreichische Bundesgebiet besteht aus ca. 22 % Karbonatgesteinen. Vorsichtigen Schätzungen zufolge sollen 15 % des Bundesgebietes verkarstet sein. Die einzelnen Karbonatgebiete liegen recht unterschiedlich, überwiegend jedoch in den alpinen Nördlichen und Südlichen Kalkalpen, siehe Abbildung 11 (Kralik, 2001).

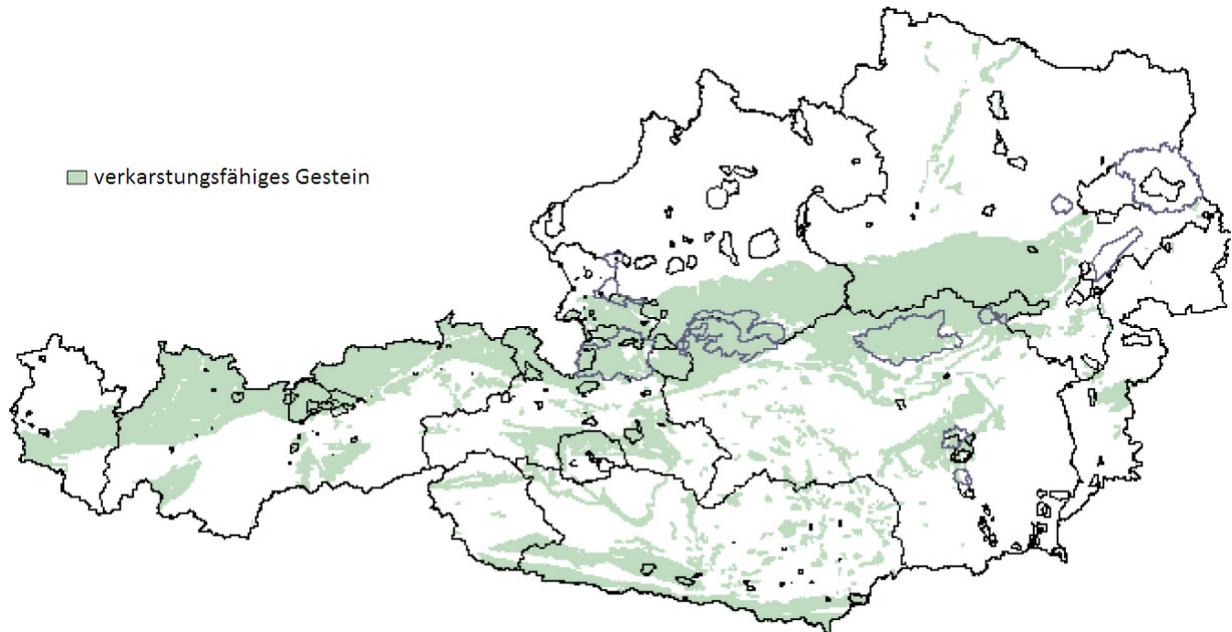


Abbildung 11: Verkarstungsfähiges Gestein in Österreich modifiziert nach (Kralik, 2001)

#### 3.1.4 Sonstige Karstgebiete

Die erste Weltkarte über die Verteilung von Karbonatgesteinen erschien von *Ford & Williams* im Jahr 1989. Die zweite Version erschien im Jahr 2006 ebenfalls von *Williams & Ford*. Die dritte und aktuelle Version (siehe Anhang B) baute wesentlich auf den Erkenntnissen von *Williams & Ford* (2006) auf und ist von *Paul Williams* und *Yin Ting Fong* überarbeitet worden. Demzufolge bestehen 13,2 % der Erdoberfläche (exkl. Antarktis, Grönland und Island) aus Karbonatgesteinen. In Europa sind 21,8 % der Landoberfläche aus Karbonatgestein (siehe Karte im Anhang B) (UoA, 2013).

Karstformen und Karsthöhlen können sehr eindrucksvoll sein und haben die Menschen schon seit jeher angezogen. In Kroatien beispielsweise die *Plitvicer Seen* mit ihren Karst-Wasserfällen. In Österreich das Dachsteinmassiv, mit seinem 92 km langen Labyrinth der Hirlatzhöhle bei Hallstatt. *Vrelo Buna* in Bosnien und Herzegowina. Im chinesischen Guilin die beeindruckende Turmkarst-Landschaft. Der südchinesische Karst, Pinnacle-Karst. Die tropische Kegelkarst-Landschaft (Chocolate Hills) auf der Insel Bohol, Philippinen. Um an dieser Stelle nur einige Beispiele zu nennen.

## 3.2 Karstwasser

Unter *Karstwasser* wird die Gesamtheit unterirdischen Wassers in verkarstetem Gestein verstanden (ÖWAV, 2007). Ein verkarsteter Gesteinskörper kann in den Hohlräumen Grundwasser speichern und weiterleiten, daher die Bezeichnung *Karstgrundwasser* oder *Karstaquifer*. Karstgrundwasser gehört weltweit zu den wichtigsten Süßwasserressourcen. Etwa 25 % der Weltbevölkerung beziehen ihr Trinkwasser aus dem Karst (Glodschneider et al., 2004).

### 3.2.1 Unterirdische Wasserwege

Die Karstwasserbewegung erfolgt in einem sehr komplexen, dreidimensionalen System von unregelmäßig zusammenhängenden Hohlraumgebilden unterschiedlicher Gestalt, Größe und Wasserwegsamkeit. Daher unterscheidet sich die Bewegung im Karstgrundwasser wesentlich von jener im Porengrundwasser und kann sehr schwer erfasst werden (ÖWAV, 2007). Die Karstwasserbewegung ist daher eher als Summe zahlreicher Einzelbewegungen zu sehen und nicht als homogene Bewegung eines einzelnen Wasserkörpers (Steinkellner, 1998). Eine vollständige Kenntnis über den tatsächlichen Verlauf der unterirdischen Wasserwege kann nicht erreicht werden. Eine Abschätzung ist jedoch durch Markierungsversuche mit künstlich eingebrachten Markierungsstoffen (Tracer) möglich (ÖWAV, 2007).

Grundsätzlich ist zwischen folgenden Zonen zu unterscheiden (siehe Tabelle 9):

Tabelle 9: Gliederung von Karstwasser nach (ÖWAV, 2007)

<b>KARSTWASSER</b>	Ungesättigte (vadose) Zone	
	Semiphreatische (Übergangs-) Zone	
	Gesättigte (phreatische) Zone	<b>= KARSTGRUNDWASSER = KARSTWASSERKÖRPER</b>

### 3.2.2 Karstquellen

Der Austritt von Karstwasser erfolgt meist direkt aus dem verkarsteten Gestein in Form von Karstquellen unterschiedlicher Ergiebigkeit. Die eindringenden Wässer werden je nach Aufbau des Karstkörpers und der hydrologischen Bedingungen kürzer oder länger gespeichert. Das Karstquellwasser besteht somit aus Teilen jüngerer und älterer Karstwässer. Wobei die jüngeren Komponenten jene Niederschlags- oder Oberflächenwässer darstellen, die nach kurzer Zeit wirksam werden. Die älteren Komponenten kommen aus tieferen Bereichen des Karstwasserkörpers (Karstgrundwasser) oder auch aus Teilsystemen die längere Zeit inaktiv waren. Üblicherweise führen Karstquellen in Zeiten starker Infiltration (wie zur Schneeschmelze) eher jüngeres Wasser. In infiltrationsfreien Zeiten (wie im Hochwinter) besteht das Karstquellwasser überwiegend aus älterem Wasser (ÖWAV, 2007).

Die Schüttungsschwankungen bei Karstquellen sind abhängig von der Jahreszeit. Durch Schneeschmelze oder starke Regenereignisse kann die Maximalschüttung um ein vielfaches höher als im Hochwinter oder in den sommerlichen Trockenperioden sein. Viele Karstquellen reagieren meist innerhalb kurzer Zeit (einige Stunden) auf solche Ereignisse mit einem ausgeprägten Schüttungsanstieg (ÖWAV, 2007).

Es gibt aber auch Karstquellen die sehr ausgeglichene Schüttungsgänge aufweisen. Dies sind beispielsweise Gebiete mit einem hohen Anteil an feinklüftigen Dolomiten. Quellen im Dolomitgebirge weisen meist viel geringere Schüttungsschwankungen und Abflussmengen als Quellen im Kalkgebirge auf (ÖWAV, 2007).

#### **3.2.3 Karstwasserbeschaffenheit**

Karstwasser unterliegt nicht nur Schwankungen der Ergiebigkeit, sondern auch teils starken Schwankungen der physikalisch-chemischen und mikrobiologischen Beschaffenheit. Schwankungen der Beschaffenheit (Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Trübe, etc.) sind dabei umso größer, je größer und ausgeprägter die Schüttungsschwankungen der Karstquelle sind. Alpine Karstwässer sind aufgrund ihrer relativ geringen Verweilzeit relativ kühl (5-10 °C) und haben nur einen geringen Anteil an gelösten Stoffen. Damit ist auch die geringe Leitfähigkeit (180-520  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) dieser Wässer begründet (ÖWAV, 2007).

Durch die großen Schwankungen der Schüttung weisen Karstquellen auch eine zeitweise oder ständige Schwebstofffracht (Trübung) auf. Denn größere Schüttungen bedeuten auch höhere Fließgeschwindigkeiten und diese bringen wiederum eine Erhöhung der Schleppkraft mit sich. Daher kommt es zur Ausspülung von Böden oder Feinsedimenten aus unterirdischen Hohlräumen. Ein weiterer Grund des Schwebstoffeintrages kann die Zufuhr schwebstoffbelasteter Oberflächenwässer mit unzureichender natürlicher Filtration sein. Weiter ist mit einem starken Anstieg der Quellschüttung bei Karstwasservorkommen auch sehr häufig ein sprunghafter Anstieg der mikrobiellen Belastung zu beobachten (ÖWAV, 2007).

Verschiedene Untersuchungen zeigten den Zusammenhang zwischen Keimzahlen (KBE) und Boden- und Vegetationsdecke (Kahl- oder Grünkarst). Bei Quellen deren Einzugsgebiet ganz oder teilweise im Grünkarst liegt, kommt es üblicherweise nach Starkregen oder während der Schneeschmelze zum Anstieg der Keimzahlen. Weitere Untersuchungen zeigten, dass Dolomitkarstkörper geringere Keimzahlen als Kalkgebiete aufweisen. Zudem zeigen Karstquellwässer aus gemischten Einzugsgebieten (Kahl- und Grünkarst) geringere Gesamtkoloniezahlen als Karstquellwässer aus reinen Grünkarstgebieten. Bei Grünkarstgebieten schwemmt somit ein Teil des Niederschlags Bodenkeime in das Karstwasser. Bei Kahlkarstgebieten versickert hingegen der Niederschlag im Fels ohne Keime aufzunehmen. Ein anderer Ansatz, wie es zum Keimeintrag im Karstwasser kommt, ist die Betrachtung der Biofilmbildung auf subterranean Oberflächen und Sedimenten, welche beispielsweise bei Hochwasser aufgeschwemmt werden (Kralik, 2001).

Beobachtungen an Quellen des Nationalpark Kalkalpen zeigten Zusammenhänge zwischen Keimbildungszahlen und der UV-Adsorption (254 nm). Mit Beprobungen konnte eine quell-spezifische lineare bis exponentielle Beziehung zwischen der UV-Adsorption und den Koloniebildenden Einheiten aufgestellt werden (Steinkellner, 1998).

#### **3.2.4 Verletzlichkeit und Empfindlichkeit**

Karstgrundwasser ist in hohem Maß verletzlich (vulnerabel) gegenüber Schadstoffeinträgen. Meist ist die Deckschicht der Karstgrundwassereinzugsgebiete unzureichend ausgebildet, wodurch das einsickernde Niederschlagswasser keine nennenswerte Reinigung erfährt. Auch offene Spalten und Schächte stellen Gefahrenpunkte dar. Daneben trägt auch die Ausprägung der Karstmorphologie einen wesentlichen Faktor zur Vulnerabilität bei. Karstformen wie Dolinen und Schwinden stellen punktuelle Infiltrationsmöglichkeiten dar, die eine

sehr rasche Infiltration von Oberflächenwasser erlauben. Durch diese hohe Durchlässigkeit von solchen Karststrukturen kann eine erhebliche Gefährdung der Wasserqualität ausgehen. Der Schutz des Karstgrundwassers ist gerade in den Einzugsgebieten besonders wichtig (Kralik, 2001).

Eine merkbare Beeinträchtigung der Wasserqualität im Karst kann je nach hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnissen früher oder später eintreten. So kann ein im Einzugsgebiet erfolgter Schadstoffeintrag (für Versuchszwecke meist Farbstoffe) innerhalb weniger Stunden, erst nach einigen Monaten oder sogar erst nach einigen Jahren bei der Quelle wahrnehmbar sein. Qualitative Beeinträchtigungen, die plötzlich auftreten, können unter Umständen auf eine kurzfristige Schadstoffeintrags im Einzugsgebiet zurückzuführen sein, welche bereits Monate davor erfolgt ist. Die Verunreinigung kann dann sogar viele Jahre andauern. Dies bedeutet, dass bei Feststellung einer Beeinträchtigung des Karstquellwassers meist jede Sanierungsmaßnahme im Einzugsgebiet zu spät kommt. Zudem sind Ort und Ursache des Schadstoffeintrags schwer feststellbar (Bauer, 2013).

Ein geringfügig erhöhter DOC-Wert kann auf häusliche Abwässer sowie touristische Einrichtungen hinweisen (Kralik, 2001).

Karstwasservorkommen können auch besonders durch Straßen- und Tunnelbau qualitativ beeinträchtigt werden. In Österreich sind die Karstgebiete mit einem beachtlichen Netz von Forstwegen, Güter- und Zufahrtswegen durchzogen. Dabei wird eine entsprechende Behandlung und Entsorgung der anfallenden Straßen- und Oberflächenwässer oft vernachlässigt. Ein Schutz von Karstwasservorkommen vor qualitativen Beeinträchtigungen kann nur durch die Verhinderung von Schadstoffeinträgen im gesamten Infiltrationsgebiet gewährleistet werden (ÖWAV, 2007).

#### **3.2.5 Probleme**

Das Karstwasser kann eine sehr hohe Qualität aufweisen und manchmal sogar ohne jegliche Aufbereitung verwendet werden. Jedoch ist es empfindlich und kann dementsprechend leicht durch Schadstoffeintrag beeinträchtigt werden. Die Bedrohungen sind sehr vielfältig und werden im Folgenden beschrieben (Kralik, 2001).

Kralik (2001) weist dazu auch auf den Nationalen Umweltplan (1995) hin und listet die Hauptprobleme des Karst-Karbonatgrundwassers auf:

- *Fehlende Karstverbreitungskarten*
- *Mangelnde Kenntnis von Einzugsgebieten von Karstgrundwässern*
- *Verletzung von Bodendeckschichten*
- *„Wilde“ Deponien und Altstandorte*
- *Schadstoffeintrag durch Luft und Niederschlag*
- *Übererschließung durch Tourismus, Verkehr und Gewerbe*
- *Fehlende Leit- und Richtlinie zum Schutz von Karstlandschaften*

Der letzte Punkt ist bereits 2007 vom ÖWAV im Regelblatt 201 mit dem Titel „Praktische Anleitung für die Nutzung und den Schutz von Karstwasservorkommen“ erarbeitet worden.

Im Nachfolgenden werden die wesentlichen Probleme von Karbonat-Karstwassergebieten genannt. Diese sind mittels Fragebogen vom österreichischen Umweltbundesamt im Jahre 2001 erhoben worden. Es wurden 63 verwertbare Fragebögen retourniert. Diese sind von

Institutionen oder Personen, die sich aus praktischen und wissenschaftlichen Gründen mit Karstwasser befassen, ausgefüllt worden (Kralik, 2001).

#### **Verschmutzungsverursacher – negative Beeinflussung von Karstwasservorkommen:**

- *Massentourismus (Hotels, Parkplätze, Autostraßen, Seilbahnen, Wandertourismus, Abwasserbeseitigung)*
- *Landwirtschaft (im Einzugsgebiet, Tierhaltung, unsachgemäße Düngung, Pestizide, im voralpinen Karst)*
- *Intensive Alm-(Vieh)wirtschaft (Wege, Steige, Erosionsrinnen, Vegetationsschädigung durch Überweidung)*

#### **Schadstoffe:**

- *Bakteriologisch/Hygienische Belastung (Abwasser- und Fäkalkeime, Trübung behindert Entkeimung, Coli Bakterien, Weidevieh, Wildtiere, Fäkalien)*
- *Mineralöle + Treibstoffe (von Schutzhütten, Seilbahnen, Pistengeräten und Generatoren, Straßen)*
- *Nitrat*
- *Trübungen (z. B.: nach Forststraßenbau, Feststoffe aus ausgewaschenen Böden, Erosion durch Starkregenereignisse, org. Substanzen)*

#### **Konsequenzen einer qualitativen Beeinträchtigung:**

- *Errichtung einer kosten- und betriebsaufwendigen Aufbereitungsanlage (bei Trübung: Flockung mit Filtration, Desinfektion, Erhöhung des Wasserpreises)*
- *Gefährdung des Trinkwassers*
- *Laufende Vorsorgeentkeimung (UV- und Ozonaufbereitung)*
- *Erfordernis einer Ausleitung bei bestehender Trinkwassernutzung*
- *Ausweisung von Schongebieten*
- *Kurzfristiges Aufsuchen einer alternativen Wasserversorgung (Notversorgung)*

#### **Konsequenzen einer quantitativen Beeinträchtigung:**

- *Aufsuchen einer Alternativlösung*
- *Vegetationsschäden und Verödung (überhöhte Wassernutzung und zu dichte Verbauung, hohe Verdunstung, wenig Grundwasserneubildung)*
- *Versorgungsengpässe durch Trockenperioden*
- *Verbundleitungen mit Nachbargemeinden*
- *Ausweisung von Schongebieten mit Beschränkungen*

Ein interessanter Ansatz zur Elimination von Schadstoffen ist vor allem bei Neuerrichtungen und Erweiterungen von Trinkwassergewinnungsanlagen jener, die Wasserentnahme so einzurichten, dass das Karstwasser eine entsprechende Länge in einem Porengrundwasserleiter passieren kann (Kralik, 2001).

### 3.2.6 Karstwasser in Österreich

Karstwässer in den alpinen und voralpinen Lagen stellen durch die regional bedingten relativ hohen Niederschlagsraten eine wertvolle Trinkwasserressource dar. In Österreich tragen diese Wässer, welche meist aus Quellen austreten, ca. 50 % zur Trinkwasserversorgung bei. Die Großstadt Wien sowie andere Städte wie Innsbruck und Villach decken ihren täglichen Wasserverbrauch zum überwiegenden Teil mit Karstwasser ab. Darüber hinaus besitzen Gebiete wie die Dachstein-Gruppe und das Tote Gebirge ein großes Potenzial hinsichtlich weiterer Erschließungen (Kralik, 2001). Abbildung 12 zeigt Grundwasserkörper unterteilt in Poren-, Kluft- und Karstgrundwasser.

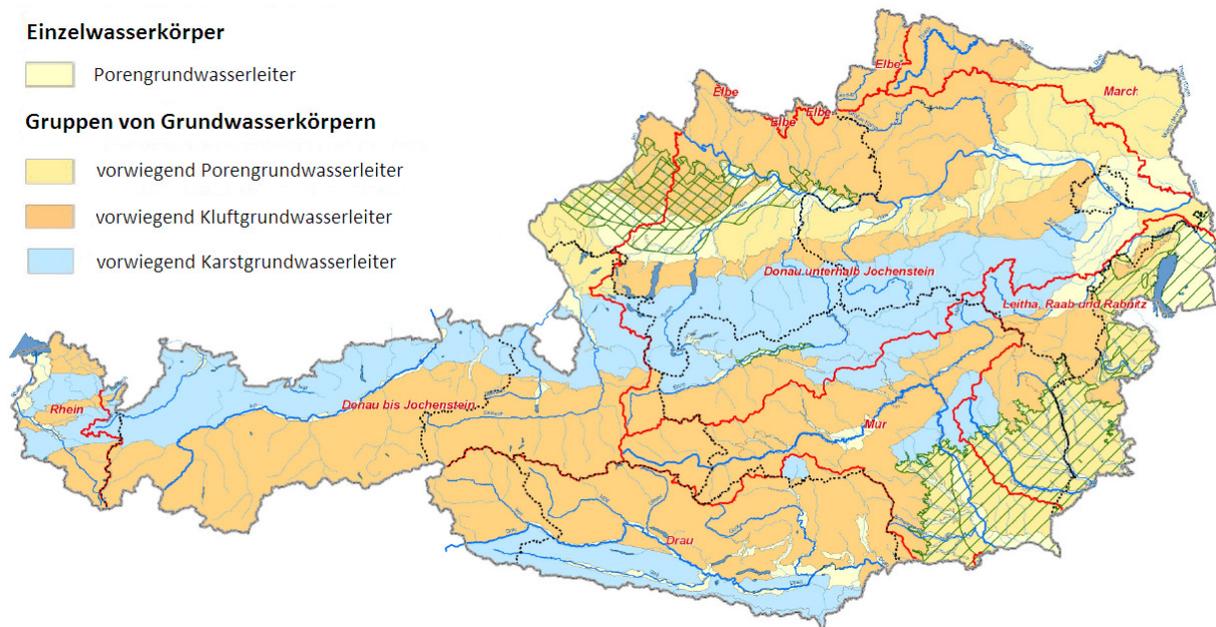


Abbildung 12: Einteilung von Grundwasserkörpern in Österreich modifiziert nach (BMLFUW, 2013)

#### 3.2.6.1 Wasserschongebiete

In Österreich decken sich viele verordnete Wasserschongebiete mit Gebieten des verkarsungsfähigen Gesteins. Die flächenmäßig größten und wichtigsten österreichischen Wasserschongebiete sind:

- Wasservorkommen im Schneeberg-, Rax- und Schneealpengebiet
- Wasservorkommen im Hochschwabgebiet
- Grundwasservorkommen im südlichen Salzburger Becken und im unteren Lammertal sowie die Karstwasservorräte des Tennengebirges, des Hagengebirges und Hoher Göll
- Wasservorkommen im Toten Gebirge
- Wasservorkommen im Sarnstein, Sandling und Loser

## 3.2.6.2 Wien

Die Stadt Wien bezieht ihr Trinkwasser aus den niederösterreichisch-steirischen Kalkhochalpen. Der Trinkwasserbedarf für 1,76 Millionen Einwohner wird fast zur Gänze aus Quellwasser aus den Gebieten Hochschwab, Schneealpe, Rax und Schneeberg gedeckt. Dieses Gebiet ist aus Kalk- und Dolomitgestein aufgebaut und stellt somit ein Karstgebiet dar. Das einsickernde Regenwasser durchwandert in unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten rund 1300 Höhenmeter das Karstgebirge. Das an den Quellen austretende Wasser ist dann zwischen einem und 20 Jahren alt. Viele einzelne Quellen werden zu Quellgruppen zusammengefasst. Die I. Hochquellenleitung ist 150 km lang und die II. Hochquellenleitung ist 180 km lang. Das Wasser fließt im freien Gefälle, sodass keine Pumpen für den Transport benötigt werden. Das Wiener Rohrnetz (Abbildung 13) ist über 3000 km lang, weitere 800 km Anschlussleitungen sind vorhanden. Das Trinkwasser wird bei 15 Messstationen hinsichtlich Qualität (Trübung, SAK 254 – Indikator für organische Belastung) und Quantität überprüft. Qualitativ nicht entsprechende Wässer werden sofort ausgeleitet (Wien, 2013).



Abbildung 13: Wasserversorgung der Stadt Wien (Wien, 2013)

Das gewonnene Karstquellwasser kann grundsätzlich ohne Aufbereitung verwendet werden. Aus Gründen der hygienischen Sicherheit wird an den Endpunkten der Hochquellenleitung, vor Einspeisung ins Wiener Rohrnetz, eine Chlorung des Wassers durchgeführt. Die Dosierung erfolgt jedoch in sehr kleinen Mengen, sodass Geschmack und Geruch nicht beeinträchtigt werden. Das Wiener Wasser ist als weich/mittelhart einzustufen, die Härte variiert zwischen 6 und 11 °dH (Wien, 2013).

Das Einzugsgebiet des Karstwassers ist vorwiegend der Trinkwasserversorgung gewidmet und als Schongebiet ausgewiesen. Landwirtschaft, Besiedelung und Tourismus sind untergeordnet und unterliegen strikten quellschützerischen Rahmenbedingungen (Wien, 2013).

Die Abteilung Wiener Wasser beteiligt sich oft an Forschungsprojekten. So ist bereits das gesamte Einzugsgebiet des Karstwassers detailliert untersucht worden. Damit wurden Gefahrenpunkte und ihre Vulnerabilität erhoben und kartiert. Weiters wurde mit dem EU-Forschungsprojekt KATER (Karst Water Research Programme) I und II ein Entscheidungshilfesystem (DSS - Decision Support System) entwickelt. Dieses System dient der Entscheidungsfindung in den Bereichen Raumplanung, Wasser- und Umweltschutz. Dabei werden

räumliche Daten und Messdaten, Metadaten und GIS-Applikationen als Grundlagen verwendet (Wien, 2013).

#### 3.2.6.3 Salzburg

Die Stadt Salzburg deckt ihren Wasserbedarf aus verschiedenen Wasservorkommen ab. Zu 90 % kommt das Wasser aus dem Grundwasserwerk Glanegg und dem Grundwasserwerk St. Leonhard, sowie über eine Wasserschiene (Notversorgung zwischen Salzburg und Hallein). Die restlichen 10 % des Wasserbedarfs werden mit Quellwasser aus acht Quellen und Quellgruppen versorgt. Insgesamt werden etwa 155.000 Einwohner über ein 530 km langes Rohrnetz sowie 315 km Anschlussleitungen bedient (WW, 2013).

Der Untersberg stellte für die Stadt Salzburg bis Anfang 1980 den Hauptwasserspender dar. Da dieser Berg in einem Karstgebiet liegt und die 1875 gefasste Fürstenbrunnquelle qualitative Probleme aufwies, wird seit Ende der 90er Jahre das Wasser der Fürstenbrunnquelle einer Versickerungsanlage zur Grundwasseranreicherung Glanegg zugeführt. Nach dieser Grundwasserpassage kann im Grundwasserwerk Glanegg einwandfreies Trinkwasser gewonnen werden. Der Transport vom Ursprung des Wassers bis zum Verbraucher bedarf einige wenige Stunden. Dabei ist das Wasser ständig in Bewegung und bleibt in kühler und dunkler Umgebung. Das Wasser weist von Natur aus eine sehr gute Qualität auf und muss weder aufbereitet noch desinfiziert werden.

Das Quellwasser hingegen, mit dem 10 % des Wasserbedarfs gedeckt werden, entspricht nicht den qualitativen Standards. Je nach lokaler Wasserqualität werden die Quellen entweder direkt einer UV-Desinfektion unterzogen oder nach einer Flockungsfiltration zur UV-Desinfektion geleitet. Als Vorsorge haben sowohl alle Brunnen als auch alle Quellen eine stromunabhängige Chlorgasanlage. Damit ist sogar im Notfall eine Versorgung mit einwandfreiem Trinkwasser gewährleistet.

Das Wasser wird im eigenen Labor – akkreditierte Prüf- und Überwachungsstelle – hinsichtlich der Qualität überprüft. Dabei werden jeden Monat die aktuellen Analysen auf der Homepage der Salzburg AG veröffentlicht.

#### 3.2.6.4 Villach

Der Wasserbedarf für die Stadt Villach wird aus zwei großen Wasservorkommen gedeckt, einerseits dem Quellgebiet Obere Fellach (Union- und Thomasquelle) und andererseits aus dem Grundwasserfeld Urlaken. Der Hausberg Dobratsch stellt dabei den wichtigsten Wasserspeicher dar. Zu 80 % kommt das Trinkwasser aus dem Karststock des Dobratsch. Die Wasserverteilung erfolgt über ein etwa 315 km langes Rohrnetz, sowie rund 170 km Anschlussleitungen und versorgt knapp 59.000 Einwohner. Das Wasser aus dem Grundwasserfeld Urlaken weist eine sehr gute Qualität auf und bedarf keiner Aufbereitung. Das Quellgebiet Obere Fellach entspringt aus dem Karstgestein und wird einer vorsorglichen UV-Desinfektion unterzogen bevor es ins Netz eingespeist wird. Die UV-Anlage wurde als eine der ersten in Europa im Jahr 1992 mit einer Durchsatzleistung von 500 L/s errichtet. Davor wurde das Wasser mit Chlordioxid behandelt (WW, 2013).

#### **Union- und Thomasquelle:**

Schüttung Unionquelle: 220 – 400 L/s

Schüttung Thomasquelle: 50 – 150 L/s

Die beiden Quellen befinden sich in etwa 200 m Entfernung zueinander. Die Unionquelle wird ständig zur Trinkwasserversorgung von Villach herangezogen und wird mittels UV Bestrahlung desinfiziert. Die Thomasquelle ist zwar gefasst und könnte gegebenenfalls zur vorhandenen UV-Anlage geleitet werden, wird aber nicht zur Trinkwasserversorgung genutzt und dient lediglich einer eventuellen Notwasserversorgung (Weiß, 2013).

#### **Trinkwasserspeicherung:**

Das Wasserwerk bewirtschaftet 14 Behälter mit einem Gesamtvolumen von ca. 23.000 m<sup>3</sup>. Der Behälter Obere Fellach wird kontinuierlich befüllt. Die UV-Desinfektion ist vor dem Hochbehälterzulauf situiert und läuft dabei im Dauerbetrieb. Bei geringem Wasserverbrauch wird das Wasser über den Überlauf des Hochbehälters abgeleitet. Da die Quellaustritte höher liegen, wird das Wasser ohne Pumpen in den Hochbehälter Obere Fellach gefördert. Der HB Obere Fellach ist als Spiralbehälter ausgeführt worden. Der große Vorteil dieses Behältertyps ist die günstige Durchströmung (Weiß, 2013).

#### **Überwachung der Trinkwasserqualität:**

Das Rohwasser wird routinemäßig gemäß TWV überprüft. Unabhängig von den gesetzlich vorgeschriebenen Untersuchungsparameter wird das Wasser laufend auf weitere Qualitätsparameter überprüft (z. B.: Screeningtest auf Pestizide). Eine mikrobiologische Eigenkontrolle wird wöchentlich durchgeführt. Die Wiederverkeimungstendenz wird vierteljährlich an verschiedenen Stellen im Versorgungsnetz von der BOKU Wien erhoben. Aufgrund dieser Analysen wird unter anderem auch der Spülplan des Rohrnetzes festgelegt. Wodurch eine Wiederverkeimung im Rohrnetz ausgeschlossen werden kann (Weiß, 2013).

Kontinuierlich im Minutentakt wird die Schüttung, Temperatur, Trübung vor und nach der UV-Anlage, der Zufluss in den Hochbehälter Obere Fellach, die UV-Durchlässigkeit, die Bestrahlungsstärke sowie die elektrische Leitfähigkeit des Rohwassers gemessen und gespeichert. Dabei ist ein Zusammenhang zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Trübung zu beobachten. Fällt die Leitfähigkeit, steigt die Trübung, erreicht die Leitfähigkeit ihr Minimum, hat die Trübung ihr Maximum, steigt die Leitfähigkeit an sinkt die Trübung ab (Weiß, 2013).

Wie es für Karstquellen charakteristisch ist, sind die Maxima der Trübungswerte während der Schneeschmelzen oder Starkregenereignissen zu beobachten. Das Rohwasser der Unionquelle wies im Beobachtungszeitraum der letzten Jahre mehrmals erhöhte Trübungswerte auf. In diesem Fall wird das gesamte gefasste Quellwasser ausgeleitet und für die Trinkwasserversorgung nicht herangezogen (Weiß, 2013).

Ob das Wasser der Unionquelle zur Trinkwasserversorgung verwendet werden kann oder ausgeleitet werden muss, wird anhand von Parametern wie der Trübung, der UV-Durchlässigkeit, der Bestrahlungsstärke sowie von Mikrobiologischen Parametern bestimmt. Im Falle von qualitätsbedingter bzw. vorbeugender Ausleitungen der Unionquelle kann auf eine Ersatzwasserversorgung mit Porengrundwasser zurückgegriffen werden. Dabei kann Wasser aus dem Brunnen St. Magdalen und dem Brunnen Urlaken bezogen werden. Gründe für die Ausleitung können neben bakteriologischen Belastungen, erhöhter Trübung auch eine Färbung infolge von Huminstoffen sein (Weiß, 2013).

#### **Einzugsgebiet:**

Diverse Forschungsarbeiten zu den Einzugsgebieten der Karstquellen dienen der Erkundung des Infiltrationsgebietes. Damit sollen Probleme, Gefahrenpunkte und mögliche negative Auswirkungen möglichst zielführend verhindert werden. Ergebnisse vergangener Forschungsprojekte waren ausschlaggebend, dass die Einzugsgebiete der Union- und Thomasquelle zum Wasserschongebiet erklärt wurden (Karsthydrologische Untersuchungen 1989). Die Ausweisung erfolgte mit der Wasserschongebietsverordnung 1998, welche den Dobratsch zum Schongebiet erklärte (WW, 2013). Am Dobratsch befand sich zu dieser Zeit ein Schigebiet. Erstmals in Europa wurde zum Zweck des Schutzes eines Einzugsgebietes von Trinkwasserquellen ein bestehendes Schigebiet in einen Naturpark umgewandelt. Dazu wurden die Lifte abgebaut und die Pisten rekultiviert. Die sanfte Nutzung des Naturparks Dobratsch gewährleistet nun eine nachhaltige Sicherung der Trinkwasserqualität (Weiß, 2013).

#### 3.2.6.5 Innsbruck

Das Wasserwerk Innsbruck fördert Wasser aus 12 Quellen und 2 Brunnen in ein rund 300 km langes Rohrnetz mit knapp 135 km Anschlussleitungen für etwa 130.000 Einwohner mit einer Gesamthärte zwischen 6 und 7 °dH.

Die Mühlauer Quelle stellt dabei das zentrale Standbein der Innsbrucker Wasserversorgung mit Schüttungen zwischen 750 und 2000 L/s abhängig von der Jahreszeit dar. Die weiteren 11 Quellen verfügen je nach Jahreszeit in Summe über ein Schüttungsvermögen von 120 bis 220 L/s. Die 2 Brunnen befinden sich im Grundwasserfeld Höttinger Au und haben eine Gesamt-Konsensmenge von 150 L/s. Die Brunnen sind von großer Bedeutung für die Notversorgung und die Ersatzversorgung.

Die Mühlauer Quelle ist zwar eine Karstquelle, jedoch ist sie eher mit einer Kluffgrundwasserquelle vergleichbar. Das Einzugsgebiet der Quelle weist nur eine sehr geringe Verkarsung auf. Daher reagiert das Quellwasser auf Starkregen oder Schneeschmelze nicht so empfindlich wie dies sonst bei Karstquellen üblich ist. Die Wässer der Mühlauer Quelle verweilen mehrere Jahre in den verschiedenen geologischen Schichten des Gebirges. Dadurch kann das einsickernde Regenwasser gründlich gereinigt werden. Dies ist auch für die hervorragende Qualität des Quellwassers maßgebend. Auch die niedrige Wassertemperatur von 5 °C trägt dazu bei, dass Bakterien- und Keimwachstum schwer möglich ist. Somit kann das Quellwasser ohne jegliche Aufbereitung direkt zum Verbraucher geleitet werden.

Auch die Wässer der 2 Brunnen haben einwandfreie Qualität und kommen ohne Aufbereitung aus.

Das gesamte Wasserrohrnetz wird jährlich gespült und gereinigt. Dieses kurze Intervall ist im Allgemeinen unüblich. Diese Vorsichtsmaßnahme soll eine Qualitätsminderung des Trinkwassers verhindern.

## 4 WASSERVERSORGUNG WEIZ

### 4.1 Geschichtliche Entwicklung

#### 4.1.1 Wasserversorgung Weiz - Chronik

- 1894 Beginn der kommunalen Wasserversorgung Weizberg
- 1895 Kollaudierungsbescheid
- 1925 Der wesentliche Ausbau erfolgte in diesem Jahr und beinhaltete den Bau einer Wasserleitung, der Quelfassung mit Pumpstation und den Bau des Gegenbehälters sowie eine Ergänzung des Ortsnetzes. Weiter wurde die Baumühlquelle mit einer bewilligten Wasserentnahme von 20 L/s zur Wasserversorgung herangezogen.
- 1941 Die Raasquelle wurde mit einer bewilligten Entnahme von 3 L/s zur Wasserversorgung erschlossen. Dies stellt die zentrale Wasserversorgung für die Ortschaft Raas mit Überleitung in das städtische Wasserversorgungsnetz dar.
- 1946 Errichtung eines Gegenhochbehälters am Weizberg mit einem Inhalt von 300 m<sup>3</sup>.
- 1959 Die Wasserentnahme der Baumühlquelle wurde auf 45 L/s erhöht.
- 1961 Bewilligung zur Erweiterung der Wasserversorgung unter anderem zum Ausbau des Pumpwerkes und zum Bau von zwei Hochbehältern mit einem Speichervolumen von jeweils 1000 m<sup>3</sup>. Weiter wurde die Filter- und Ozonanlage zur Trinkwasseraufbereitung des Quellwassers der Baumühlquelle bewilligt.
- 1968 Der Ausbau der Wasserversorgung sowie der Bau der Aufbereitungsanlage dauerte von 1968 bis 1971.
- 1972 Die Paarquellen (= Boarquellen) wurden erschlossen. Eine Wasserentnahme von 10 L/s wurde durch das Amt der steiermärkischen Landesregierung bewilligt. Weiter wurde eine Verbindungsleitung von den Paarquellen zur Baumühlquelle hergestellt.
- 1973 Das Versorgungsnetz wurde weiter ausgedehnt und so kam es zur Erhöhung der Wasserentnahme aus der Baumühlquelle auf 111 L/s.
- 1979 Die Wasseraufbereitungsanlage wurde erweitert.
- 1985 Der Hochbehälter am Göttelsberg mit einem Inhalt von 6000 m<sup>3</sup> wurde fertiggestellt.
- 1987 Die Wasserversorgungsanlage wurde erweitert. Es wurden Transportleitungen sowie das Ortsnetz ausgebaut. Es erfolgte auch eine Erweiterung des Kiesfilters und der Aufbereitungsanlage am Sturmberg.
- 2000 Konsensmenge der Baumühlquelle und Paarquelle wurde auf 121 L/s (Baumühlquelle 101 L/s und Paarquelle 20 L/s) genehmigt. Ein Umbau der Paarquelle (UV-Desinfektion und Drucksteigerung) erfolgte.
- 2002 Eine neue Festlegung des Wasseruntersuchungsprogrammes wurde festgelegt.
- 2007 Quelfassung der Kreuzwirtquelle
- 2012 Planungen zur Erneuerung der Aufbereitungsanlage starten

### 4.1.2 Bevölkerungsentwicklung

Mit der Besiedlung eines Gebiets kommt es zwangsläufig zu anthropogenen Belastungen. Es fallen vermehrt häusliche Abwässer an. Die landwirtschaftliche Nutzung der Flächen steigt. Industrie und Gewerbe siedeln sich an. In Abbildung 14 ist ersichtlich, dass zwischen den Jahren 1939 und 1961 in Weiz ein markanter Anstieg der Bevölkerung stattgefunden hat. Dies ist darauf zurückzuführen, dass während des zweiten Weltkriegs ein Bahnhof in Weiz errichtet worden ist und sich Weiz damit zum attraktiven Unternehmerstandort entwickelte. Die Bevölkerung wuchs innerhalb von 22 Jahren um 70 % von 4755 Einwohnern auf 8146 Einwohner.

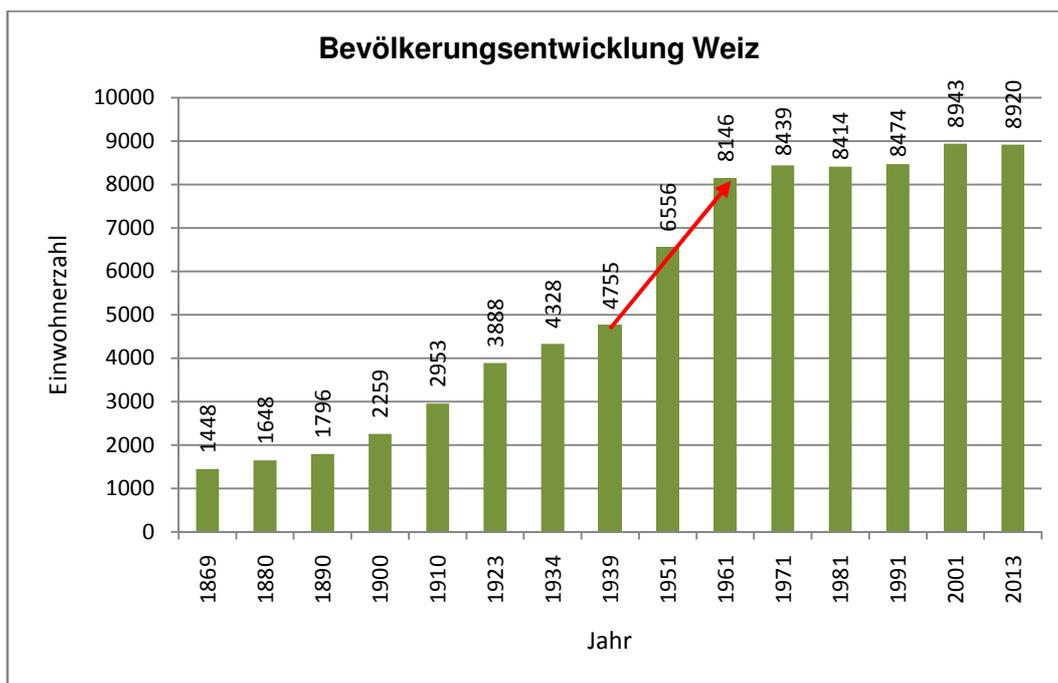


Abbildung 14: Bevölkerungsentwicklung Weiz von 1869 bis 2013 nach (Weiz, 2013)

Hand in Hand mit dem Anstieg der Bevölkerung stieg der Bedarf an Trink- und Nutzwasser. Zu dieser Zeit war das Einzugsgebiet der Quellen zur Gänze unerforscht, weshalb es auch keine Ausweisung eines Schutz- und Schongebietes gab. Streusiedlungen entstanden. Das Wasser der Baumühlquelle wurde durch Besiedlung und landwirtschaftliche Nutzung beeinträchtigt. Das lässt darauf schließen, dass bereits vor 1961 Planungen für eine Aufbereitung des Trinkwassers stattgefunden haben, also genau in der Zeit, in der die Bevölkerung stark wuchs. 1961 bewilligte das Amt der steiermärkischen Landesregierung die geplante Filter- und Ozonanlage zur Trinkwasseraufbereitung. Der Bau erfolgte in den Jahren 1968 bis 1971.

## 4.2 Allgemeine Beschreibung

### 4.2.1 Versorgungsgebiet

Die Wasserversorgung der Stadtgemeinde Weiz versorgt derzeit ca. 40.000 Einwohner, wovon ca. 10.000 Einwohner im Kerngebiet ansässig sind. Das erweiterte Gebiet umfasst ab Unterfladnitz Teile des Wasserverbandes Oberes Raabtal (WOR). Bei Normalbetrieb wird auch laufend Wasser ins Netz des Wasserverbandes Grenzland Südost (GSO) eingespeist.

Kern-Versorgungsgebiet:

- *Stadtgebiet Weiz*
- *Gemeinde Naas (Siedlung Sturmberg, Siedlung Klammstraße)*
- *Gemeinde Thannhausen (Dorf Raas, Teile Oberfladnitz, Teile Niederlandscha)*
- *Gemeinde Mortantsch (Teilgebiet Götzenbichl)*
- *WOR (bis Unterfladnitz)*

Erweitertes Versorgungsgebiet:

- *WOR (ab Unterfladnitz)*
- *Wassereinspeisung GSO*

### 4.2.2 Trinkwasserherkunft

Im Weizer Bergland, einer sehr niederschlagsreichen Gegend gibt es viele Karstquellen. Die Hauptwasserspender für die Wasserversorgung Weiz sind:

- **Baumühlquelle:** *Karstquelle in der Gemeinde Naas mit einer maximalen Wasserentnahme von 101 L/s.*
- **Paarquellen:** *Karstquellen (3 Quelfassungen) in der Gemeinde Naas mit einer maximalen Wasserentnahme von 20 L/s.*
- **Raasquelle** (Raas, Thannhausen): *Maximale Entnahme ist 3 L/s.*
- **Kreuzwirtquelle** (Weizklamm, Kreuzwirt): *Wurde 2007 gefasst, wird jedoch noch nicht für die Trinkwasserversorgung genutzt.*

### 4.2.3 Wasserspeicherung

Zur Speicherung sind für das Versorgungsgebiet Weiz und Umgebung sechs große und zwei kleinere Hochbehälter vorhanden. Weitere zwei kleine Hochbehälter befinden sich in der Gemeinde Raas und werden ausschließlich von Raasquellwasser gespeist (siehe Abbildung 15 – Übersichtskarte). Die Hochbehälter werden in der Regel jährlich gereinigt. Dabei gilt für alle Hochbehälter, dass die Zu- und Abflussrohre derart angeordnet sind, dass eine gute Zirkulation des Wassers erreicht wird.

#### 4.2.3.1 Hochbehälter Sturmberg

Am Sturmberg in der Gemeinde Naas, wo sich auch die Aufbereitungsanlage des Wassers der Baumühlquelle befindet, sind zwei Rundbehälter zu je 1000 m<sup>3</sup> Speichervolumen und zwei Rechteckbehälter mit je 2300 m<sup>3</sup> vorhanden. Die Rundbehälter sind zwischen 1968 und 1971 errichtet worden. Die Rechteckbehälter sind im Jahr 1974 gebaut worden. Die Behälter werden ausschließlich mit aufbereitetem Wasser der Baumühlquelle gespeist.

### 4.2.3.2 Hochbehälter Göttelsberg

Die Wasserspeicherung Göttelsberg befindet sich außerhalb des Stadtgebiets von Weiz. Hierbei sind zwei Rechteckbehälter mit je 3000 m<sup>3</sup> Inhalt in den Jahren von 1983 und 1985 errichtet worden. Dieser Behälter stellt einen Durchlaufbehälter dar und wird von der Zubringerleitung (Sturmberg-Klammstraße-Kreuzung Roseggergasse) gespeist. Von hier wird das Wasser im Leitungsnetz in Teile der Gemeinde Mortantsch und in die Stadt Weiz verteilt. Zum Schutz der Befüllung mit trübstoffhaltigem Wasser hat die Füllleitung zum HB Göttelsberg einen automatischen Schieber eingebaut.

### 4.2.3.3 Hochbehälter Marburgerstraße

Ein Hochbehälter mit zwei Kammern mit je 45 m<sup>3</sup> ist 1996 erbaut worden. Dabei ist immer nur eine Kammer in Betrieb. Je nach Bedarf (Wasserqualität) wird zwischen den Kammern gewechselt.

### 4.2.3.4 Hochbehälter Raas

#### **HB Raas**

Der Hochbehälter mit einem Speichervolumen von 40 m<sup>3</sup> ist ausschließlich für die Wasserversorgung der Ortschaft Raas verantwortlich und wird mit Quellwasser aus der Raasquelle befüllt.

#### **HB Raas für Weizberg**

Dieser Hochbehälter befindet sich in der Gemeinde Raas und hat ein Fassungsvermögen von 48 m<sup>3</sup>. Dieser speichert Wasser der Raasquelle und ist mit dem Rohrnetz der Stadt Weiz verbunden.

### 4.2.3.5 Hochbehälter Weizberg

Dieser Hochbehälter war der erste der für die öffentliche Wasserversorgung errichtet wurde. Er wurde im Jahre 1946 errichtet und hat ein Speichervolumen von 300 m<sup>3</sup>.

## **4.2.4 Wasserverteilung**

Zwischen den Zubringerleitungen der Paar- und Baumühlquelle besteht eine Verbindungsleitung (siehe Abbildung 15). Die Verbraucher erhalten somit ein Gemisch aus UV-desinfiziertem Paarquellwasser und aufbereitetem Quellwasser der Baumühlquelle.

Das gesamte Wasserleitungsnetz ist rund 65 km lang und ist mit Rohren der Dimensionen DN 50 bis DN 400 ausgelegt. Das Rohrmaterial besteht in erster Linie aus Grauguss, Guss und in kleineren Mengen aus Stahl und Kunststoff. Die Hauptleitungen werden jährlich gespült, die Endleitungen je nach Erfordernis.

#### 4.2.5 Übersichtskarte

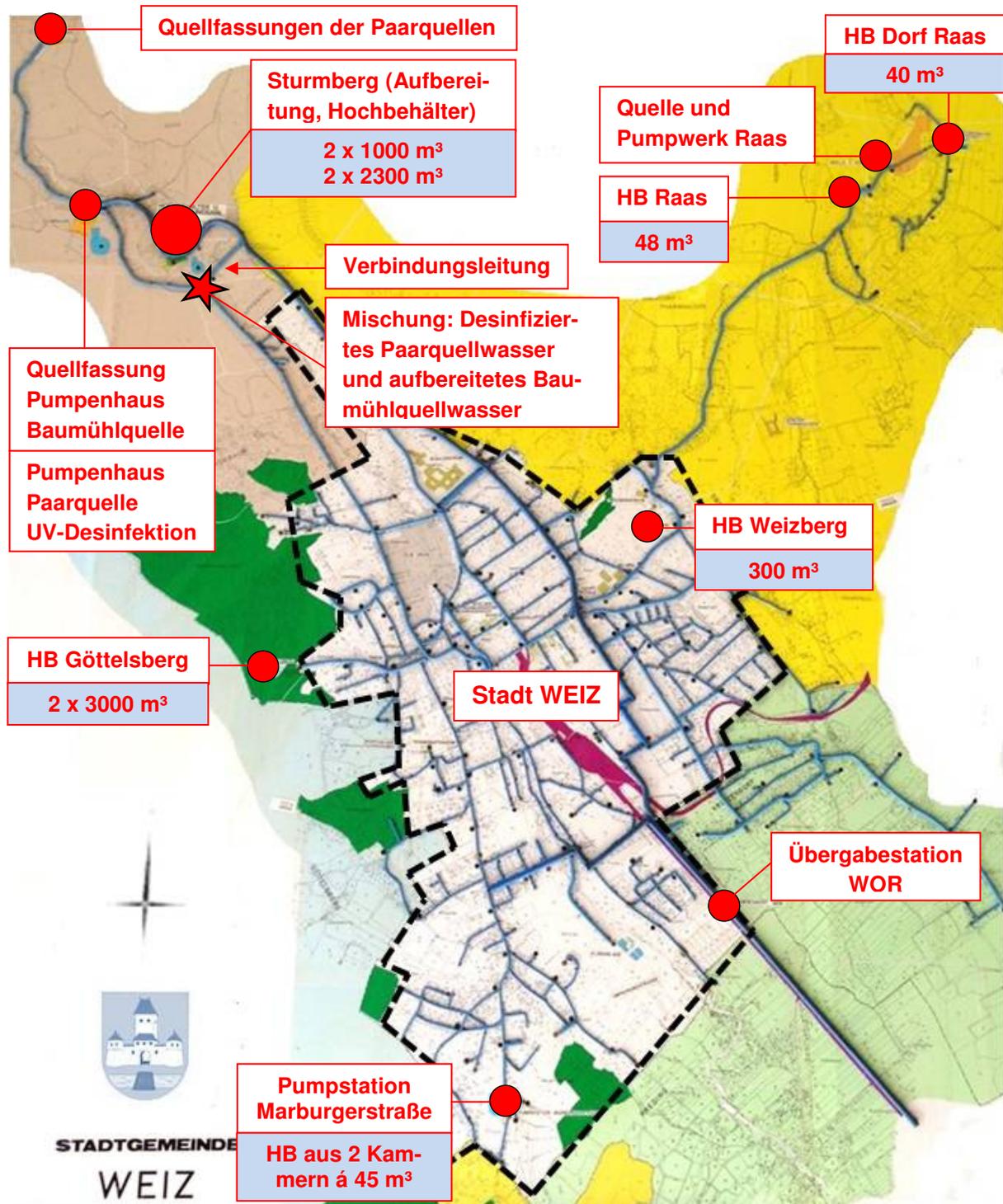


Abbildung 15: Übersichtskarte Wasserversorgung Weiz (Weiz, 2013)

### 4.3 Paarquellen

Die Paarquellen liegen in der Gemeinde Naas, direkt an der B64 Rechberg Straße und sind seit 1972 in Betrieb. Dabei werden drei Karstquellen mit einer Konsensmenge von 20 L/s gefasst. Von den Quelfassungen führt eine Verbindungsleitung zum Pumpenhaus Paarquelle an der B64 bei km 17,3, siehe Abbildung 16. Dieses Pumpenhaus grenzt direkt an das Pumpenhaus der Baumühlquelle. Dort wird das qualitativ gute Rohwasser der Paarquellen über eine Drucksteigerung und eine UV-Desinfektion ohne Zwischenbehälter direkt ins Netz gefördert, siehe Abbildung 16 und Abbildung 17.



Abbildung 16: Pumpenhaus Paarquelle (li) und UV-Desinfektionsanlage (re) (Weiz, 2013)



Abbildung 17: UV-Desinfektion mit Pumpen und Zu- und Ablaufleitung (Fotos: Gruber, 2013)

#### 4.3.1 Wasserbeschaffenheit

Die Rohwasserqualität, beispielsweise in den Jahren 2011 und 2012 überschritt bei den vierteljährlichen Routineuntersuchungen zwei Mal mikrobiologische Indikatorparameter, die jedoch nach der UV-Bestrahlung nicht mehr nachweisbar waren.

Tabelle 10: Durchschnittswerte gebildet aus Werten der vierteljährlichen Routineuntersuchungen aus den Jahren 2011 und 2012

	Temperatur [°C]	Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]	pH-Wert [pH-Einheiten]
Vor UV-Desinfektion	9,9	375	7,49
Nach UV-Desinfektion	9,8	379	7,55

#### 4.4 Baumühlquelle

Die Baumühlquelle ist eine Karstquelle und wird seit 1925 betrieben. Die bewilligte Wassere ntnahme stieg dabei von anfänglichen 20 L/s über 45 L/s auf 111 L/s. Die derzeitige Konsensmenge ist mit 101 L/s festgelegt. Das Pumpwerk der Baumühlquelle befindet sich unmittelbar bei der Quellfassung (Abbildung 18). Dort sind zwei größere Pumpenaggregate mit je 50 L/s und zwei kleinere Pumpenaggregate mit je 25 L/s Nennförderleistung installiert. Von diesem Pumpenhaus an der B64 Rechberg Straße bei km 17,2 wird das gewonnene Quellwasser über eine Pumpleitung DN 250 zur Aufbereitungs- und Hochbehälteranlage am Sturmberg je nach Wasserstand in den Behältern diskontinuierlich gepumpt (Abbildung 19). Am Sturmberg wird das Rohwasser der Baumühlquelle aufbereitet und fließt dann über zwei Zubringerleitungen dem Ortsnetz Weiz zu. Dabei kommt es zu einer Mischung der aufbereiteten Wässer der Baumühl- und Paarquelle. Ein Überlauf der Baumühlquelle befindet sich auf der gegenüber liegenden Straßenseite des Pumpenhauses und fließt in den Weizbach (Abbildung 18).



Abbildung 18: Pumpenhaus der Baumühlquelle (li) und Überlauf (re) (Fotos: Sulzbacher, 2013)



Abbildung 19: Leitungen im Pumpenhaus Baumühlquelle (Fotos: Weiz, 2012)

#### 4.4.1 Aufbereitungsanlage

Das Rohwasser der Baumühlquelle entspricht nicht den Anforderungen an ein einwandfreies hygienisch stabiles Wasser. Daher wird von der Wasserrechtsbehörde eine permanente Aufbereitung (Entkeimung) vorgeschrieben. Die derzeitige Aufbereitungsanlage besteht aus drei Anlagen zur Ozonung mit nachgeschalteten Entgasungskammern sowie fünf Quarzsandfiltern (Abbildung 20 und Abbildung 21). Die Aufbereitungsanlage befindet sich am Sturmberg in der Gemeinde Naas.

Die erste Ozon- und Filteranlage für eine Durchsatzleistung von 50 L/s wurde zwischen 1968 und 1971 errichtet. Der Ausbau erfolgte kurze Zeit danach, im Jahr 1974 wurden weitere zwei Filteranlagen und eine Ozonanlage für 50 L/s errichtet. Um 1990 wurde die letzte Ozonanlage mit zwei Filteranlagen für je 50 L/s errichtet.

Die Menge des zugegebenen Ozons ist vom Hersteller festgelegt worden und soll sicher stellen, dass immer eine Zugabe von 0,20 mg/L erreicht wird. Damit wird eine ausreichende Oxidation gewährleistet. Der Restozongehalt darf 0,05 mg/L bei Abgabe ins Rohrnetz nicht übersteigen.



Abbildung 20: Ozonung außer Betrieb (li) und Ozonung in Betrieb (re) (Fotos: Gruber, 2013)



Abbildung 21: Quarzsandfilter nach Ozonung (Foto: Gruber, 2013)

Die Filteranlagen werden wöchentlich rückgespült. Sind höhere Trübungen im Wasser vorhanden so werden die Filter je nach Erfordernis rückgespült.

#### 4.4.2 Wasserbeschaffenheit

Die Rohwasserqualität der Baumühlquelle wies bereits vor den 1970er Jahren mikrobiologische Verunreinigungen auf, daher kam es auch zur strikten Auflage der Wasserrechtsbehörde zur permanenten Entkeimung. Folglich wurde eine Aufbereitungsanlage errichtet. Regelmäßige Untersuchungen, wie sie die TWV verlangt, werden seit 2001 durchgeführt. Es erfolgt eine kontinuierliche Messung der Trübung.

##### 4.4.2.1 Allgemeine Wasserbeschaffenheit

Tabelle 11 zeigt die minimalen/maximalen Werte und Durchschnittswerte der Temperatur, elektrischen Leitfähigkeit sowie des pH-Wertes von den Jahren 2001 bis 2012. Dabei standen 42 routinemäßige Untersuchungen des Rohwassers und 44 routinemäßige Untersuchungen des aufbereiteten Wassers zur Verfügung.

Der TOC des Rohwassers wurde dabei sieben Mal erhoben, der niedrigste Wert von 0,91 mg/L ist im Juni 2008 und der höchste Wert von 4,4 mg/L ist im März 2009 festgestellt worden. Der TOC des aufbereiteten Wassers wurde ebenso sieben Mal gemessen, jedoch nicht zeitgleich mit dem TOC des Rohwassers. Dabei ist der niedrigste Wert von 0,82 mg/L im Juni 2007 und der höchste im September 2009 mit 3,0 mg/L festgestellt worden.

Tabelle 11: Eigenschaften des Rohwassers und des aufbereiteten Wassers der Baumühlquelle in den Jahren 2001 bis 2012

	Temperatur [°C]			Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]			pH-Wert [pH-Einheiten]		
	MIN	MAX	MITTEL	MIN	MAX	MITTEL	MIN	MAX	MITTEL
Rohwasser	7,9	11,2	9,9	328	410	374,8	7,3	8,13	7,68
Aufbereitetes Wasser	6,8	12,2	10,09	331	420	375,7	7,4	8,46	7,77

##### 4.4.2.2 Trübung Rohwasser

Es sind zwei unterschiedliche Trübungen zu unterscheiden:

- Rot-Braune Trübung: Dabei kann die Ozonmenge von 0,20 mg/L nicht erreicht werden. Das Wasser wird in diesem Fall bereits bei einer Trübung von 6-7 NTU ausgeleitet und gelangt nicht zur Aufbereitung.
- Schlammfärbige Trübung: Dabei kann das Wasser bis zu einer Trübung von 20 NTU zur Aufbereitungsanlage gefördert werden. Die Ozonmenge von 0,20 mg/L wird erreicht. Die Problematik bei der Ozonung von solchen Wässern ist die Gefahr der Nachverkeimung in den Hochbehältern.

Die Abbildung 22 zeigt den Überlauf der Baumühlquelle. Das linke Bild zeigt dabei ein sehr trübstoffhaltiges Rohwasser der Baumühlquelle, ein Resultat eines Starkniederschlagsereignisses im August 2013. Das rechte Bild zeigt Rohwasser, welches nahezu trübstofffrei ist.



Abbildung 22: Überlauf der Baumühlquelle, Trübung über 190 NTU (li) und Trübung ca. 1,5 NTU (re)  
(Fotos: Kavazovic, 2013)

Die Tabelle 12 zeigt die Trübungswerte des Rohwassers der Baumühlquelle zwischen März 2005 und August 2013. Trübungen über 1 NTU sind im Allgemeinen ohne Aufbereitung nicht als Trinkwasser zugelassen, jedoch kann Wasser mit einer Trübe unter 5 NTU ohne große Probleme aufbereitet werden. Aufwändigere Verfahren bzw. mehrstufige Verfahren werden hingegen ab 5 NTU benötigt.

Tabelle 12: Trübungswerte des Rohwassers der Baumühlquelle, März 2005 bis August 2013

Jahr	< 5 NTU		5-10 NTU		10-20 NTU		20-50 NTU		> 50 NTU		ΣTage
	Tage	%	Tage	%	Tage	%	Tage	%	Tage	%	
<b>Ab 03.2005</b>	255	83,3	15	4,9	9	2,9	5	1,6	22	7,2	306
<b>2006</b>	286	78,4	6	0,8	5	1,4	3	0,8	6	1,6	365
<b>2007</b>	345	94,5	10	2,7	1	0,3	3	0,8	6	1,6	365
<b>2008</b>	353	96,4	7	1,9	2	0,5	0	0,0	4	1,1	366
<b>2009</b>	307	84,1	14	3,8	14	3,8	11	3,0	19	5,2	365
<b>2010</b>	340	93,2	2	0,5	4	1,1	9	2,5	10	2,7	365
<b>2011</b>	350	95,9	2	0,5	0	0,0	4	1,1	9	2,5	365
<b>2012</b>	324	88,5	18	4,9	10	2,7	2	0,5	12	3,3	366
<b>Bis 08.2013</b>	201	82,7	22	5,8	7	2,9	6	2,5	7	2,9	243
<b>Durchschnitt</b>	307	88,6	11	3,3	6	1,7	5	1,4	11	3,1	

Die derzeitige Aufbereitungsanlage am Sturmberg (Ozonung mit nachgeschalteter Sandfiltration) kann je nach Art der Trübung Wasser bis 20 NTU aufbereiten. Alle Wässer über 20 NTU mussten bisher ausnahmslos ausgeleitet werden und standen für die Trinkwasserversorgung nicht zur Verfügung. Durchschnittlich war dies an 16 Tagen im Jahr der Fall.

In solchen Fällen wird das Versorgungsgebiet auf das Kerngebiet beschränkt und kann mit dem gespeicherten Wasser und des Paarquellenwassers, abhängig vom aktuellen Wasserverbrauch mehrere Tage versorgt werden. Das erweiterte Gebiet bezieht dann Wasser aus der WOR und der GSO.

Das Wasser der Baumühlquelle ist für die Region von sehr großer Bedeutung und soll nach Möglichkeit auch bei stärkerer Trübung genützt werden können. In naher Zukunft soll dafür ein Umbau der Aufbereitungsanlage stattfinden, einerseits weil die derzeitige Ozonung ein sehr energieintensives Verfahren darstellt und modernisiert werden soll, andererseits soll die neue Aufbereitung die Versorgungssicherheit erhöhen und die Anzahl der erforderlichen Ausleitungen maximal reduzieren.

Eine grafische Auswertung der Trübungen verteilt auf die Jahre 2005 bis 2013 ist in Abbildung 23 dargestellt. Die Darstellung in Originalgröße ist dem Anhang C zu entnehmen. Dabei ist zu erkennen, dass es in den vergangenen Jahren meist in den Sommermonaten zu erhöhten Werten kam. Im Jahr 2013 hat sich dies etwas verlagert, da es hier bereits im März, April und Mai zu erhöhten Trübungswerten kam. Die Sommermonate Juni, Juli und fast auch der ganze August wiesen keine erhöhte Trübung auf.

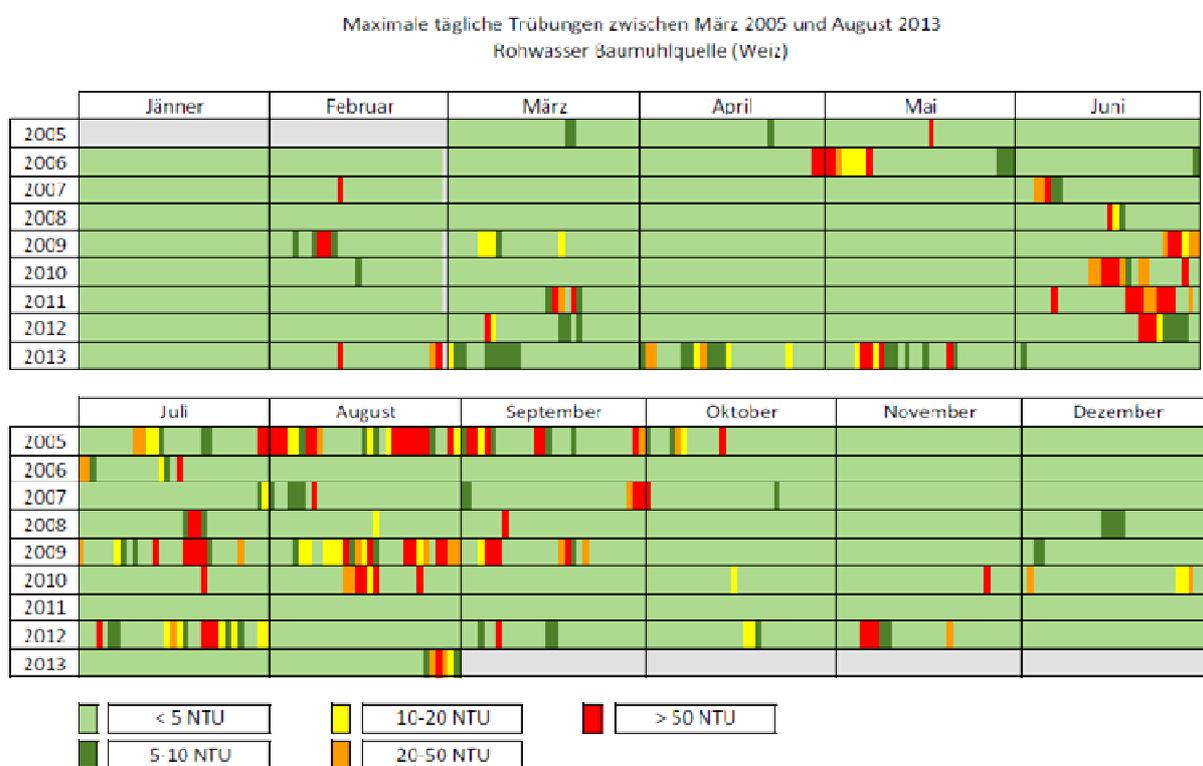


Abbildung 23: Grafische Auswertung - Maximale tägliche Trübungen (März 2005 - August 2013)

### 4.4.2.3 Mikrobiologische Beschaffenheit

Mit erhöhter Trübung steigt auch die Gefahr der mikrobiellen Belastung des Wassers, einerseits weil die Partikel im Wasser den Mikroorganismen Schutz bieten und andererseits weil mehr organische Nährstoffe vorhanden sind, die ein Wachstum bzw. Überleben der Mikroorganismen ermöglichen.

Vierteljährlich bei jeder Routineuntersuchung wird auch die mikrobiologische Beschaffenheit des Wassers geprüft.

Die mikrobiologische Beschaffenheit des Weizer Wassers wurde im Februar 2011 von der Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien untersucht. Dabei wurden die bis dahin durchgeführten mikrobiologischen Untersuchungen zusammengefasst und interpretiert. Es wurde ein erhöhtes Verkeimungspotenzial festgestellt, wodurch es in der Wasserverteilung zu erhöhten Koloniezahlen im Trinkwasser kommen kann. Grundsätzlich ist zu erwähnen, dass zwar auch Wässer mit erhöhter Verkeimungstendenz verteilbar sind, jedoch nur solange die routinemäßigen Befunde nicht auffällig sind. Bei auffälligen Befunden sind Optimierungen hinsichtlich Aufbereitung, Desinfektion und Betrieb erforderlich (BOKU, 2011).

Die erhöhte Verkeimungstendenz rührt einerseits daher, dass das Rohwasser selbst mikrobiell belastet ist und andererseits daher, dass die Ozonung keine Depotwirkung (siehe 2.2.16) im Netz aufweist. Ein anderer Ansatzpunkt könnte die diskontinuierliche Wasserförderung sein. In den Behältern sollte immer eine ausreichende Wassererneuerung stattfinden, sowie genügend Turbulenz eingebracht werden. Dies ist dadurch erreichbar, dass es immer einen Zufluss in die Hochbehälter gibt. Durch den diskontinuierlichen Betrieb ist dies jedoch nicht immer gegeben. Sind die Hochbehälter gefüllt, so werden die Pumpen erst wieder eingeschaltet, wenn ein bestimmter Wassertiefstand erreicht wird.

### 4.5 Wasserschutz

Der Schutz der Einzugsgebiete des Wassers ist für eine nachhaltige qualitativ gute Wasserversorgung von großer Bedeutung. Porengrundwässer lassen sich leichter erfassen und können daher besser geschützt werden. Karstwässer dagegen sind teils unerforscht, die Einzugsgebiete nicht detailliert bekannt und Gefahrenpunkte nicht kartiert. Die Einzugsgebiete können nur mit aufwändigen und über mehrere Monate oder Jahre gehenden Untersuchungen abgeschätzt werden. Oft sind die bei Markierungsversuchen (Tracerversuchen) festgestellten Einzugsgebiete bereits besiedelt oder werden landwirtschaftlich genutzt. Solche Markierungsversuche wurden für das Weizer Bergland Anfang der 1990er Jahre von *Dr. Peter Hacker* durchgeführt. Neuere Untersuchungen, welche vor allem das Einzugsgebiet der Baumühlquelle feststellen sollen, sind vom Joanneum Research abgeschlossen worden – die Auswertung ist noch ausständig.

#### 4.5.1 Karsthydrologische Untersuchungen

Karsthydrologische Untersuchungen dienen der wasserwirtschaftlichen Planung, Raumordnung und Gesetzgebung. Kenntnisse über Kapazität und Ausdehnung des Karstaquifers, Grenzen des Quelleinzugsgebietes, Fließgeschwindigkeiten, hydraulische Verbindungen, Gefahrenpunkte, etc. sollen dabei gewonnen werden.

Nachfolgend werden einige wichtige Erkenntnisse aus dem Bericht zu den Karsthydrologischen Untersuchungen im Weizer Bergland aus dem Jahr 1991 zusammengefasst (Hacker, 1991):

Das Weizer Bergland ist zu einem großen Teil aus Karbonatgesteinen aufgebautes Mittelgebirge. Die hohe chemische Reinheit der Kalke begünstigt dabei eine intensive Verkarstung. Der Weizer Karst ist aufgrund der vorhandenen Vegetationsdecke ein grüner Karst. Charakteristisch sind auch das Fehlen von Oberflächengerinnen auf den Plateaus und das Auftreten weniger, aber größerer Quellen an der Basis des Karstmassives. Vorwiegend kommen in diesem Gebiet Quellen entweder als Schichtstauquellen (Kalkschiefer) oder in Vorflutniveau als Überlaufquellen vor.

Der orografisch tiefste Punkt der Schöckelkalkmulde liegt bei 483 m ü. A. und befindet sich nördlich der Stadt Weiz. Dort befindet sich auch die Baumühlquelle - die größte Quelle des gesamten Weizer Berglandes. Der Quellaustritt lag ursprünglich in einem Quellteich zwischen Straße und Mühlgang. Die Fassungsarbeiten im Jahre 1924 legten einen 30 bis 60 cm breiten und 8 m tiefen Karstschlauch frei.

Da die Baumühlquelle eine hohe Schüttung und Schüttungsschwankungen aufweist, bei Hochwasserabfluss zu Trübungen neigt und die Quelle relativ schnell nach starken Niederschlagsereignissen anspringt, ist darauf zu schließen, dass die Baumühlquelle ihre Wässer über seicht gelegene Hohlräume bezieht. Während der Untersuchungsarbeiten 1974/1975 wurden auch mikrobiologische Untersuchungen der Quellwässer vorgenommen und sowohl Gesamtkoloniezahlen als auch coliforme Keime festgestellt. Dies deutet darauf hin, dass die für die Eliminierung der pathogenen Organismen notwendige mechanische Filtrationswirkung und der Sauerstoffmangel nicht vorhanden sind. Die festgestellten Keime in der Baumühlquelle, haben ihren Ursprung nicht im Vorfluter, sondern auf den Höhen von Sattelberg und Patschaberg bzw. von den Siedlungen (landwirtschaftliche Betriebe, Einfami-

lienhäuser) im oder nahe des Einzugsgebietes. Als potenzielle Gefahren sind auch „wilde“ Deponien zu berücksichtigen.

Bei der Abschätzung der Verweilzeiten der Wässer wurde festgestellt, dass alle Quellwässer durch rezente Niederschläge wesentlich beeinflusst werden, was eine Mischung rezenter Wässer mit älteren Wässern nach sich zieht. Die Quellwässer bestehen überwiegend aus Wässern mit einer Verweilzeit von Wochen/Monaten und mit einem kleinen Teil von bis zu zwei Jahren. Das Wasser im Karstkörper wird in maximal zwei Jahren vollkommen ausgetauscht, was auf ein geringes Retentionsvermögen deutet.

Im Weizer Bergland sind die Karstwässer niederminalisiert, weisen sehr wenig Natrium und Kalium auf, Calcium und Magnesium überwiegen. Auch die relativ niedrigen Gesamthärten (mittelhart) und die geringe Mineralisation lassen darauf schließen, dass Niederschlagswässer rasch in die Tiefe dringen, den Karst schnell durchströmen und nach kurzer Zeit den Quellaustritt erreichen. Die Trübung der Quellwässer wird nicht nur durch organisches Material bewirkt, sondern auch von eingeschwemmten Partikeln (hoher Quarzanteil). Es wird auch vermutet, dass feinklastische Sedimente in den Karsthohlräumen vorhanden sind.

Bei den Markierungsversuchen wurde festgestellt, dass im Bereich des Patschabergs eine radiale Entwässerung besteht. Als Ergebnis der Markierungsversuche wurde das Einzugsgebiet der Baumühlquelle im Sattelberg, Patschaberg und der Zetz festgestellt.

Es wird auch angenommen, dass das Karstsystem in Stockwerke eingeteilt ist. Bei leichten Niederschlägen werden die tieferen Stockwerke alimentiert und das Wasser hat eine längere Verweilzeit. Die seichten Stockwerke, die vor allem bei starken Niederschlägen gefüllt werden und innerhalb kurzer Zeit zum Quellaustritt gelangen, weisen geringe Verweilzeiten auf.

Oberflächenwässer von den west- und nordexponierten Hängen des Stroß alimentieren den Karstwasserkörper über Schwinden. Auf diesem Weg gelangt vermutlich feinklastisches Verwitterungsmaterial in die Karsthohlräume. Der Haselbach im Weizer Bergland leitet über Schwinden ständig Wasser in den Karstkörper ein.

Das Einzugsgebiet der Paarquelle (= Boarquelle) wird in dem Bereich der Dolomit- und Kalkschiefer des Hirschkogels vermutet.

##### 4.5.1.1 Flächennutzung

Die Flächen im Einzugsgebiet und damit im Wasserschongebiet sollten möglichst ungenutzt bleiben, der Wasserschutz sollte dabei oberste Priorität haben. Die Ausweisung des Wasserschongebietes Weizer Bergland erfolgte erst spät, das Gebiet war bereits anthropogen beansprucht und vorbelastet (Straßen, Verkehr, Besiedelung – häusliche Abwässer). Es stellt sich die Frage, ob ein nachträglicher Schutz des Wassers in einem derartigen Risiko-Einzugsgebiet überhaupt möglich ist, ohne dabei in bestehende Rechte einzugreifen. Die Flächennutzung in diesem Mittelgebirge ist durch Verkehr, Besiedelung, Bergbaubetriebe und land- und forstwirtschaftliche Nutzung geprägt.

Der anthropogene Druck im Weizer Bergland, einem Mittelgebirge, ist als sehr hoch einzustufen. Im Vergleich dazu der Hochschwab, ein Hochgebirgskarst, welcher ebenfalls zur Trinkwasserversorgung genutzt wird, der jedoch keinen bzw. wenig anthropogen belastet ist.

## 4.5.2 Wasserschutzgebiete

Sowohl das ausgewiesene Schutzgebiet der Quelfassung der Baumühlquelle als auch der Paarquellen befindet sich nicht auf Grundstücken der Stadtgemeinde Weiz, sondern ist in Privatbesitz.

## 4.5.3 Wasserschongebiet Weizer Bergland

### 4.5.3.1 Allgemeines

Seit 1988 hat sich das Land Steiermark gemeinsam mit der Stadt Weiz um die Ausweisung eines Wasserschongebietes im Weizer Bergland bemüht. Dazu wurden Untersuchungen des Karstgebietes sowie Markierungsversuche zur Bestimmung des Einzugsgebietes von Dr. Hacker unternommen. 1994 wurde der erste Verordnungsentwurf für die Ausweisung eines Schongebietes von Vertretern des Landes Steiermark vorgestellt. Die Umsetzung dauerte jedoch sehr lange. Erst 2009 wurde das Wasserschongebiet im Weizer Bergland verordnet. Das Schongebiet ist in zwei Zonen eingeteilt (siehe Abbildung 24). Die Zone 1 stellt die hydrogeologisch besonders sensible Zone dar. In der weniger sensiblen, dennoch nicht vernachlässigbaren Zone 2 sind erhöhte wasserrechtliche Bewilligungspflichten vorgesehen. Die Landwirtschaft wird durch die Schongebietsverordnung nicht berührt, heißt es in einer Pressemitteilung von *LR Wegscheider* im Jahr 2009.

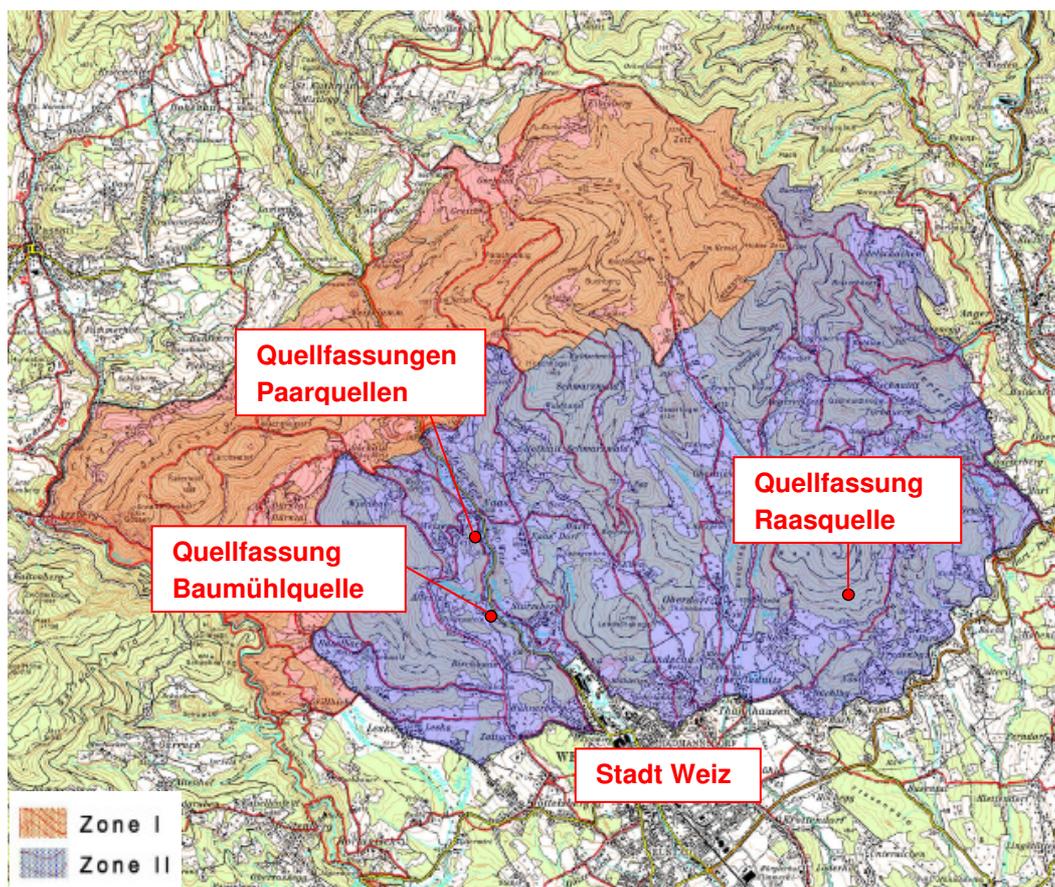


Abbildung 24: Wasserschongebiet Weizer Bergland, Zone I und Zone II (Stmk, 2013)

#### 4.5.3.2 Diskurs

Die Verordnung über das Wasserschongebiet im Weizer Bergland und die Einteilung in zwei Zonen sorgte für viel Diskussionsstoff. Unter anderem hat die Firma Marko, ein Steinbruch-Unternehmen in Weiz, das Büro Geoteam beauftragt, den Sachverhalt der Ausweisung des Schongebietes näher zu betrachten. Die Firma Marko wollte nämlich am Wolfsattel (Zone 1) ihr Unternehmen erweitern. Dazu unternahm die Firma bereits erste Erkundungsbohrungen und eine Umweltverträglichkeitsprüfung war im Gange. 2009 folgte dann die Ausweisung des Schongebietes, darunter auch der Wolfsattel. In dem Gutachten betrachtet das Büro Geoteam die Untersuchungen von Dr. Hacker und die Ausweisung des Schongebietes auf Widersprüche. Im Folgenden werden einige interessante Absätze des Gutachtens vom Büro Geoteam zitiert:

*„Offensichtlich besteht trotz zehnjähriger, abgeschlossener Untersuchungen von Dr. HACKER noch ein Erkundungsbedarf, zumindest was das genaue Einzugsgebiet der Baumühlquelle und dessen Schutz betrifft. Sollte auch das Gebiet des Garracher Waldes im Einzugsgebiet der Quellen liegen, müsste eine Integration in das Schongebiet erfolgen.“*

*„Es stellt sich die Frage, warum das "Zährgebiet", also das Areal rund um die Quellaustritte nicht entsprechend geschützt ist. In diesem Fall müsste die B64 Rechbergbundesstraße im Bereich der Baumühlquelle gesperrt oder verlegt werden.“*

*„Die Gefährdung durch den erheblichen Verkehr und die Straßenerhaltung, die von Dr. HACKER in seinem Gutachten dargelegt wurde, wird in der Schongebietsverordnung nicht ausreichend berücksichtigt. Dr. HACKER stuft den erheblichen Verkehr und die Straßenerhaltung im Infiltrationsgebiet als potentielle Gefahr ein. Die anfallenden Straßen- und Oberflächenwässer sollten dem Stand der Technik entsprechend behandelt und entsorgt werden. Weiters weist er auf die in der Straßenerhaltung eingesetzten Auftaumittel, Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel hin.“*

*„Somit wären Siedlungs- und Verkehrseinschränkungen, die Entsorgung der Straßenwässer und auch Straßensperren in der Zone 1 die konsequente Ausführung des angestrebten Grundwasserschutzes im Weizer Bergland.“*

*„Als mit dem Gedanken des Grundwasserschutzes unvereinbar wird auch die Überbauung der Fassung der Baumühlquelle durch die Bundesstraße gesehen. Auch die Paar- und die Kreuzwirtquelle befinden sich unmittelbar neben der Bundesstraße, was den angestrebten Grundwasserschutz im Fall von Verkehrsunfällen nicht gewährleistet. Zumindest für die mittelbaren Quellfassungsbereiche sollten entsprechende Schutzgebiete existieren.“*

*„Generell ist eine Differenzierung des Schongebietes in die Zonen I und II nach den hydrogeologischen Verhältnissen und den Gutachten von Dr. HACKER nicht eindeutig möglich und wird auch nicht erläutert. Dr. HACKER stellt mehrmals fest, dass auch die Schutzzone 2 aufgrund von infiltrierenden Oberflächenwässern ein Einzugsgebiet der Quellen darstellt, wo es zum Eintrag von Verunreinigungen kommt.“*

*„Die Auflagen und die Differenzierung in zwei Zonen zeigen, dass die Verordnung ihren Schwerpunkt im Schutz vor Rohstoffentnahmen, Steinbrüchen und Bergbauvorhaben hat. Bedauerlicher Weise wurden gleichwertige Einschränkung bzw. Verbote für den Autoverkehr auf den Haupt- und Nebenstraßen des Weizer Berglandes sowie eine Sammlung und Entsorgung der Straßenwässer in der Verordnung nicht berücksichtigt.“*

## 5 FELDVERSUCH: Automatischer Rückspülfilter

### 5.1 Allgemeines

Für die Erprobung eines Filtersystems ist es zweckmäßig, die Funktionsfähigkeit des Filters bei unterschiedlichen Wasserqualitäten und Randbedingungen zu testen. Damit können wertvolle Erfahrungen gesammelt werden. Vor allem Wasser aus Karstquellen bietet sich hierfür besonders an. Karstquellwasser wird mehr oder weniger stark durch Niederschläge beeinflusst, wodurch mit teils starken Schwankungen der Rohwasserqualität zu rechnen ist. Die Baumühlquelle im Weizer Bergland stellt eine empfindliche Karstquelle dar. Das Wasserwerk Weiz ermöglichte der Firma Hawle dankenswerterweise den Feldversuch mit einem automatischen Rückspülfilter. Im Weiteren werden das Produkt, der Versuchsaufbau, die Betriebseinstellungen und der Untersuchungsumfang dieses Feldversuches beschrieben.

### 5.2 Produktbeschreibung HAWLE-OPTIFIL

Das patentierte Filtersystem Optifil wird von der Firma Lenzing hergestellt und von der Firma Hawle vertrieben.

#### 5.2.1 Allgemeines

*„Der HAWLE-OPTIFIL ist ein vollautomatisches Filtersystem, das nach dem Prinzip der Oberflächen-, Tiefen- oder Kuchenfiltration arbeitet“ (Hawle, 2013).*

Mit der Tiefenfiltration ist hier das rein physikalische Zurückhalten von Partikeln im Inneren eines Vlieses gemeint, also nicht die Tiefenfiltration im eigentlichen Sinn (siehe Kapitel 2.2.9). Zum Einsatz kommen neben dem Edelstahlvlies (Tiefenfiltration) auch Edelstahlgewebe (Oberflächen- und kuchenbildende Filtration) (siehe dazu Abbildung 25). Bei Erreichen einer bestimmten Belegung des Filtermaterials, welche durch eine Messung des Differenzdruckes ermittelt wird, wird eine automatische Rückspülung ausgelöst. Die Filtration wird dabei nicht unterbrochen (Hawle, 2013).



Abbildung 25: Hawle Optifil, Edelstahlvlies (li) und Edelstahlgewebe (re) Hawle (2013)



### 5.3 Versuchsaufbau in Weiz

Die Funktionsfähigkeit des automatischen Rückspülfilters Optifil in Weiz ist mit einem Optifil der kleinsten Baugröße (Serie 050-0200) untersucht worden. Die Filterfläche beträgt  $1,4 \text{ dm}^2$ . Eine maximale Durchflussrate ist mit  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $5,6 \text{ l/s}$ ) beschränkt. Für eine kuchenbildende Filtration ist die maximale Durchflussrate mit  $4,8 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $1,3 \text{ l/s}$ ) begrenzt (Hawle, 2013).

#### 5.3.1 Installation

Die vollständige Installation des Versuchsaufbaues des Hawle Optifils erfolgte am 18.03.2013 im Pumpenhaus der Baumühlquelle an der B64 Rechberg Straße bei km 17,2.

Mittels Bypassleitung wird ein Teilstrom des Rohwassers der Baumühlquelle direkt aus der Zulaufleitung zur Hochbehälter- und Aufbereitungsanlage am Sturmberg entnommen. In der Bypassleitung ist ein Probenahmehahn installiert worden, welcher eine manuelle Entnahme einer Wasserprobe (Rohwasser) ermöglicht. Weiters ist zur Messung des Durchflusses im Bypass nach dem Entnahmehahn ein Durchflussmesser (MID) installiert worden (siehe Abbildung 28). Das Rohwasser wird in dem im Bypass installierten HAWLE-OPTIFIL filtriert, das dabei anfallende Konzentrat über eine Schlauchleitung in den Kanal ausgeleitet (siehe Abbildung 29).

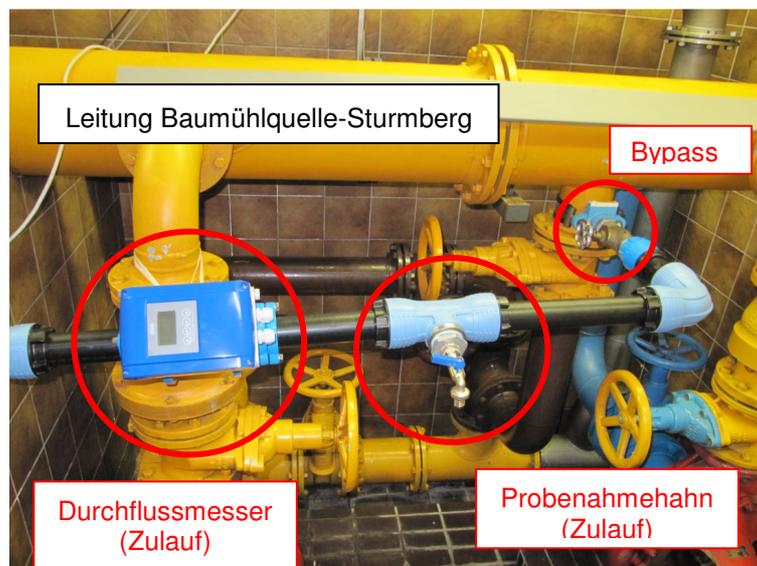


Abbildung 28: Versuchsaufbau - Optifil im Bypass (zulaufseitig)



Abbildung 29: Versuchsaufbau - Optifil im Bypass mit Konzentratablauf

Für eine bessere Funktionsfähigkeit des Filters und für eine leichtere Abreinigung wurde ein Ausgleichsbehälter angebracht (siehe Abbildung 30).



Abbildung 30: Versuchsaufbau - Optifil im Bypass mit Ausgleichsbehälter

Direkt nach dem Filter ist ein weiterer Probenahmehahn für eine manuelle Probeentnahme des Filtrats angebracht worden (siehe Abbildung 31). Das filtrierte Wasser fließt durch einen 2. MID-Durchflussmesser (Ablauf) und durch eine Trübungsmessung. Die Anzeige dieser Trübungsmessung befindet sich im Vorraum des Pumpenhauses der Baumühlquelle. Als letztes Element im Bypass ist ein Druckhalteventil installiert. Danach wird das Wasser in den Kanal geleitet (siehe Abbildung 31). Zusätzlich erfolgt standardmäßig auch eine stationäre Trübungsmessung des Zulaufes des Rohwassers direkt in der Pumpleitung zum HB Sturmberg. Diese befindet sich im hinteren Bereich des Pumpenhauses der Baumühlquelle.

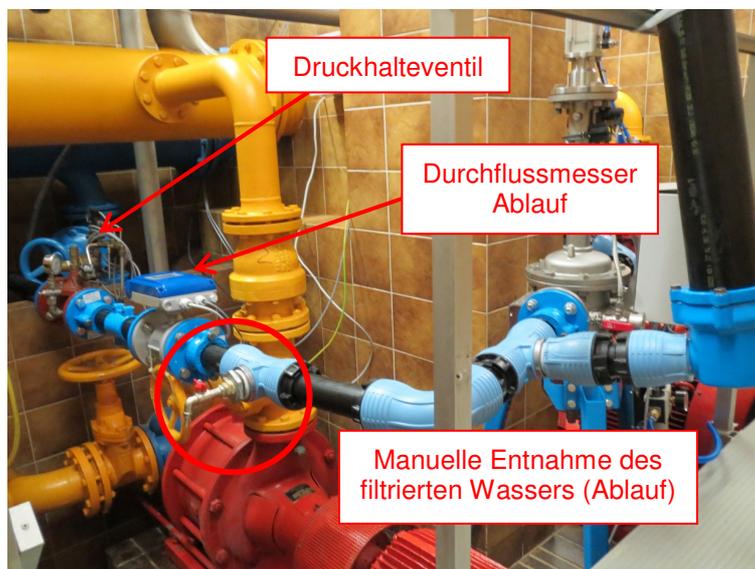


Abbildung 31: Versuchsaufbau - Optifil im Bypass (ablaufseitig)

Für eine leichtere Probeentnahme wurde am 31.05.2013 bei den beiden Probenahmestellen jeweils ein 2-Wege Verteiler montiert (siehe Abbildung 32 und Abbildung 33). Diese ermöglichen vor jeder Probenahme ein Abrinnen von Wasser ohne zusätzlichen Aufwand, da auf der einen Seite ein Schlauch befestigt ist, welcher das Wasser direkt in den Kanal ausleitet und auf der anderen Seite eine einfache Probeentnahme ermöglicht.



Abbildung 32: Nachträglicher Einbau 2-Wege Verteiler - Probenahmeahn Zulauf



Abbildung 33: Nachträglicher Einbau 2-Wege Verteiler - Probenahmeahn Ablauf

## 5.3.2 Betriebseinstellungen

### 5.3.2.1 Erste Betriebseinstellung

#### 18.03.2013 - 18.06.2013:

Durchfluss:	1,4 l/s
Filterfläche:	1,4 dm <sup>2</sup>
Filtergewebe:	10 µm
Differenzdruck:	0,5 bar - automatische Rückspülung wird ausgelöst
Differenzdruck Max:	3,5 bar
Differenzdruck Limit:	2,5 bar
Effektive Rückspülzeit:	3 sec

Der HAWLE-*OPTIFIL* ist mit dieser ersten Betriebseinstellung seit 18.03.2013 betrieben worden. Bei einer ersten Auslesung der MID Daten am 14.05.2013 ist festgestellt worden, dass der Optifil vom 26.04.2013 bis 14.05.2013 keinen Durchfluss hatte.

Der Betrieb der Förderpumpen in Weiz läuft diskontinuierlich ab. Die Pumpen fördern das Wasser der Baumühlquelle zum Sturmberg. Dort durchläuft das Wasser zurzeit eine Ozonung und passiert dann einen Sandfilter bevor es in die Hochbehälter am Sturmberg gelangt. Die Pumpen werden bei einem Wasserstand von 4,90 m in den Hochbehältern automatisch ausgeschaltet. Sinkt das Wasser in den Hochbehältern auf eine Höhe von 4,50 m ab, so werden die Pumpen automatisch eingeschaltet. Die Pumpen werden also je nach Wasserverbrauch, etwa zweimal täglich ein- und ausgeschaltet.

Der HAWLE-*OPTIFIL* reagierte empfindlich auf diesen diskontinuierlichen Betrieb der Pumpen, welcher bei der Wasserversorgungsanlage in Weiz den derzeitigen Normalbetrieb darstellt. Der Grund für den störanfälligen Betrieb des Optifils war demnach in der Abhängigkeit vom Betrieb der Förderpumpen zu suchen. Beim Anfahren der Pumpen wird ein abrupter Druckstoß auf den Optifil erzeugt, der aufgrund der Grenzeinstellungen eine Störung des Optifil hervor rief, welche durch ein Reset des Optifils aufgehoben werden kann. Das Reset kann jedoch nur manuell vor Ort ausgelöst werden. Damit lässt sich auch der Stillstand zwischen 26.04.2013 und 14.05.2013 erklären, da in dieser Zeit beim Optifil in Weiz kein Reset durchgeführt worden ist.

Bei Probenahmen mit diesen Betriebseinstellungen wurde stets darauf geachtet, dass mindestens ein bis zwei Stunden im Vorhinein die Pumpen eingeschaltet worden sind und durch einen Reset der Filter einwandfrei betrieben worden ist.

### 5.3.2.2 Zweite Betriebseinstellung

#### 18.06.2013 - 02.09.2013:

Durchfluss:	1,4 l/s
Filterfläche:	1,4 dm <sup>2</sup>
Filtergewebe:	5 µm
Differenzdruck:	0,5 bar - automatische Rückspülung wird ausgelöst
Differenzdruck Max:	6,0 bar
Differenzdruck Limit:	3,5 bar
Effektive Rückspülzeit:	1,6 sec

Mit diesen Betriebseinstellungen hatte der Optifil bezüglich diskontinuierlichen Pumpenbetriebs keine Probleme. Ein manueller Reset war zu keinem Zeitpunkt erforderlich.

## 5.4 Untersuchungen

### 5.4.1 Allgemeines

Die Beprobung erfolgte nicht nach einem vorher definierten Zeitintervall, sondern sollte abhängig von der Trübung stattfinden. Es sollten möglichst viele unterschiedliche Wasserqualitäten mit unterschiedlichen Betriebseinstellung des Optifils beprobt werden.

Vorversuche fanden im Zeitraum vom Versuchsaufbau am 18.03.2013 bis 23.05.2013 statt. Diese dienten vor allem der Beseitigung von Fehlerquellen bei den Probenahmen sowie der Abstimmung des diskontinuierlichen Pumpenbetriebs mit dem Betrieb des Optifils. Diese Proben werden im Weiteren nicht berücksichtigt.

Die Proben wurden wie folgt bezeichnet:

PN 7 - V (10:38) Probenahme vor Optifil (Rohwasser) um 10:38

PN 7 - N (10:40) Probenahme nach Optifil (Filtrat) um 10:40

PN 7 - Konz (10:50) Probenahme des Rückspülwassers (Konzentrat, Reject) um 10:50

PN i - Probenahme, mit fortlaufender Nummerierung i

Es sei angemerkt, dass die Probennahmen immer nur von einer Person durchgeführt worden sind, wodurch eine zeitgleiche Beprobung des Rohwassers und des Filtrats nicht möglich war. Insgesamt wurden 10 Ereignisse beprobt und ausgewertet.

### 5.4.2 Probenahmen

In der folgenden Tabelle 13 sind die Trübungswerte für das Jahr 2013 vom Jänner bis August zusammengestellt. Es ist zu erkennen, dass es während der Sommermonate Juni und Juli nur an einem Tag zu Trübungen über 5 NTU gekommen ist. Betrachtet man die vergangenen Jahre, war das eher eine Ausnahme. Auch der Mai stellt eine Ausnahme dar, denn im diesjährigen Mai gab es an elf Tagen Überschreitungen. In den vergangenen sechs Jahren gab es im Monat Mai nicht einen Tag mit Überschreitungen von 5 NTU (siehe dazu auch Abbildung 23). Beprobungen vom Rohwasser, Filtrat und Konzentrat fanden im Zeitraum vom 24.05.2013 bis einschließlich 02.09.2013 statt.

Tabelle 13: Übersicht Trübungen des Rohwassers der Baumühlquelle im Jahr 2013

<b>2013</b>	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Summe
<5 NTU	31	25	22	18	20	29	31	25	201
5-10 NTU	-	-	8	6	5	1	-	2	22
10-20 NTU	-	-	1	3	2	-	-	1	7
20-50 NTU	-	1	-	3	-	-	-	2	6
> 50 NTU	-	2	-	-	4	-	-	1	7
<b>Summe</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>42</b>

Die folgenden Grafiken zeigen die maximalen Trübungswerte im Untersuchungszeitraum. Dabei sind die Tage der Probenahmen rot hervorgehoben.

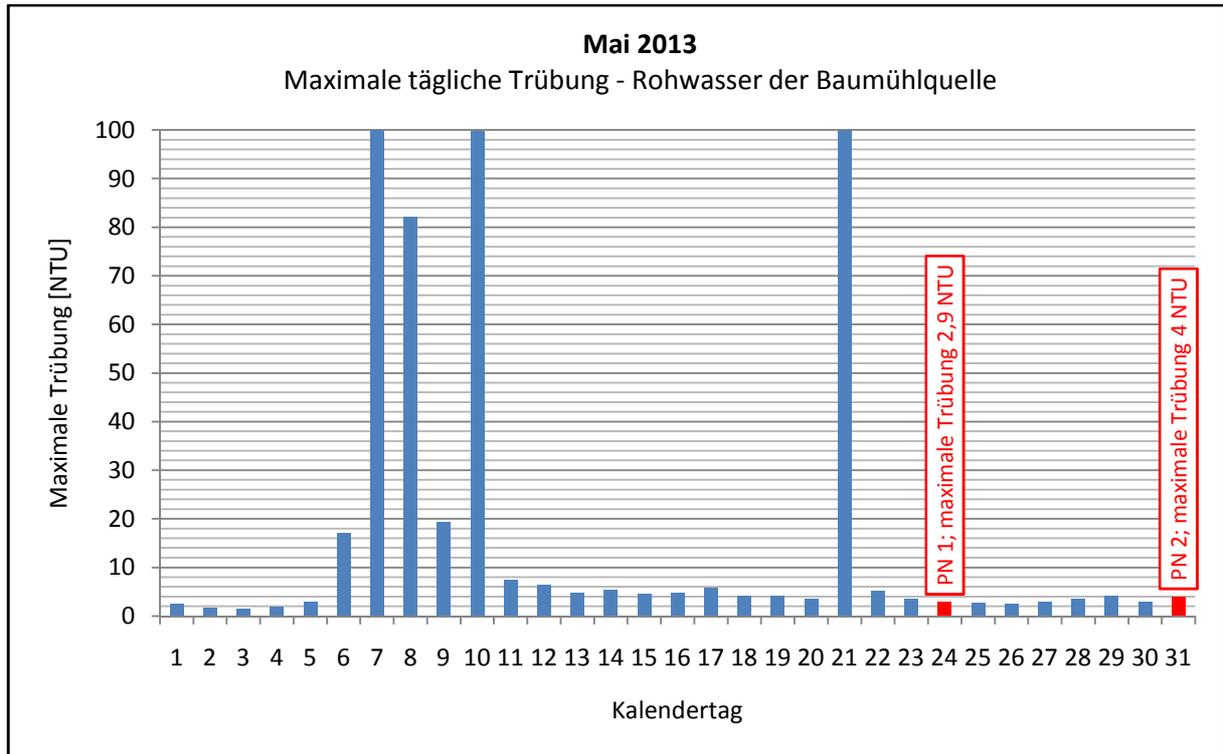


Abbildung 34: Maximale Trübung - Baumühlquelle Rohwasser, Mai 2013

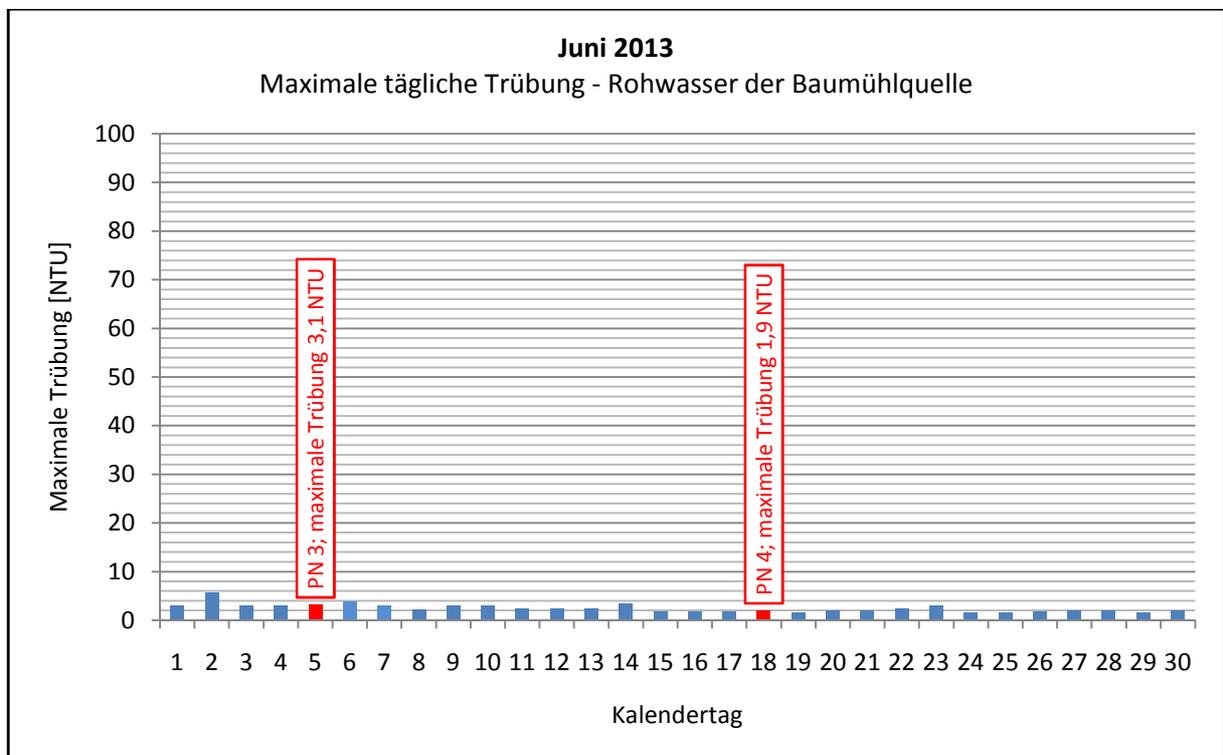


Abbildung 35: Maximale Trübung - Baumühlquelle Rohwasser, Juni 2013

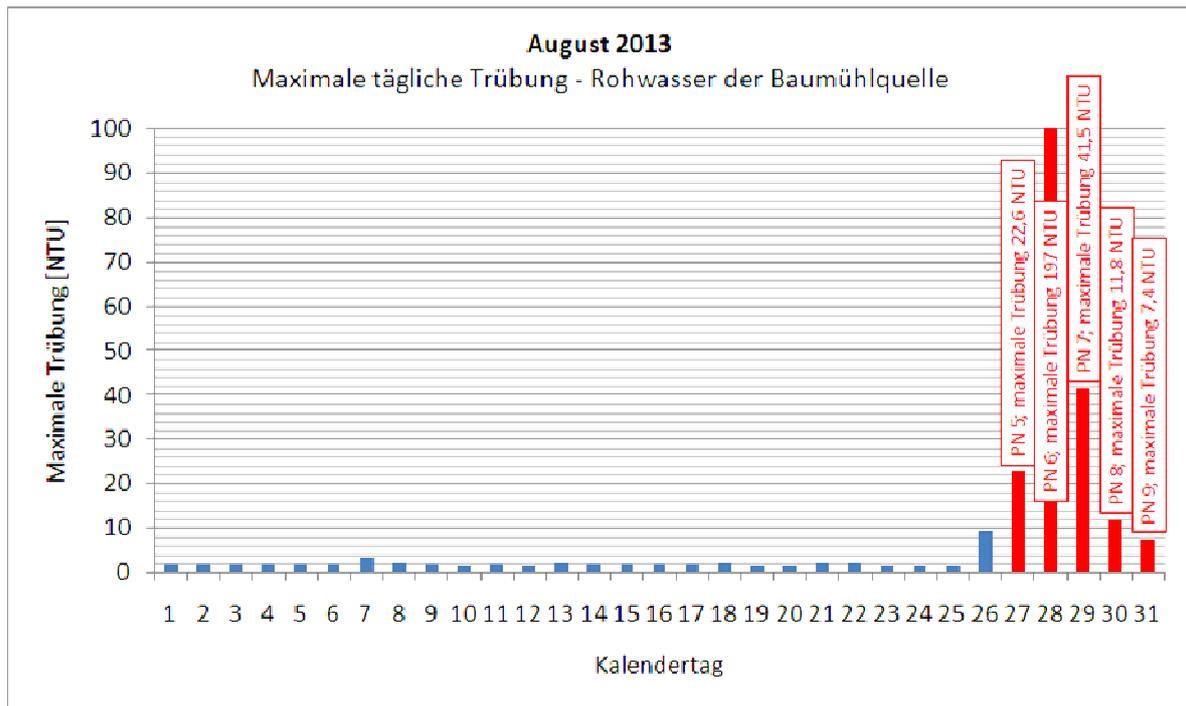


Abbildung 36: Maximale Trübung - Baumühlquelle Rohwasser, August 2013

Eine weitere Probenahme PN 10 erfolgte am 2. September 2013, die Trübung während der Probenahme lag bei 2,5 NTU.

### 5.4.3 Analysen

Es wurden Analysen sowohl vom Labor des Institutes Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau an der TU Graz als auch von der Firma Hawle selbst vorgenommen. In Tabelle 14 sind die analysierten Parameter aufgelistet.

Tabelle 14: Analysenübersicht

TU Graz	Firma Hawle
TOC als NPOC [mg/L] nach ÖN EN 1484	Partikelmessung
DOC als NPOC [mg/L] nach ÖN EN 1484	
AFS [mg/L] nach DIN 38409-H2	
SAK 436 [1/m]	
SAK 254 [1/m]	

Die Partikelmessung wurde von der Firma Hawle mit einem tragbaren Partikelmessgerät PAMAS S4031 GO durchgeführt. Ein installierter volumetrischer Partikelsensor PAMAS HCB-LD-25/23 zählt dabei Partikel in einem Messbereich von 1 bis 200 µm bei einer Durchflussrate von 10 ml/min. Die maximal messbare Partikelkonzentration beträgt 120.000 Partikel/ml.

Die Partikelmessungen wurden für jede Probe drei Mal wiederholt und ein Mittelwert gebildet.

## 5.4.4 Analysenergebnisse

### 5.4.4.1 Abfiltrierbare Stoffe (AFS)

Abfiltrierbare Stoffe sind alle ungelösten Stoffe  $> 0,45 \mu\text{m}$  die im Wasser vorkommen können. Diese Stoffe beeinflussen die Trübung wesentlich. Der Zusammenhang zwischen Trübung und AFS ist auch in der folgenden Abbildung 37 ersichtlich.

Die PN 1 bis PN 4 weisen geringe Trübungen auf, jedoch ist der AFS-Wert der PN 1 deutlich höher. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es drei Tage vor der PN 1 ein extremes Trübungereignis von über 100 NTU gab. Der AFS-Gehalt bei der PN 1 ist also eine Nachwirkung des Ereignisses am 21.05.2013 (siehe Abbildung 34).

Weiter ist zu erkennen, dass bei den untersuchten Proben das Filtrat stets einen geringeren Gehalt an AFS aufweist als das Rohwasser vor dem Filter.

Die ermittelten AFS-Abscheideraten lagen bei den 10 untersuchten Ereignissen zwischen 0 und 73 %.

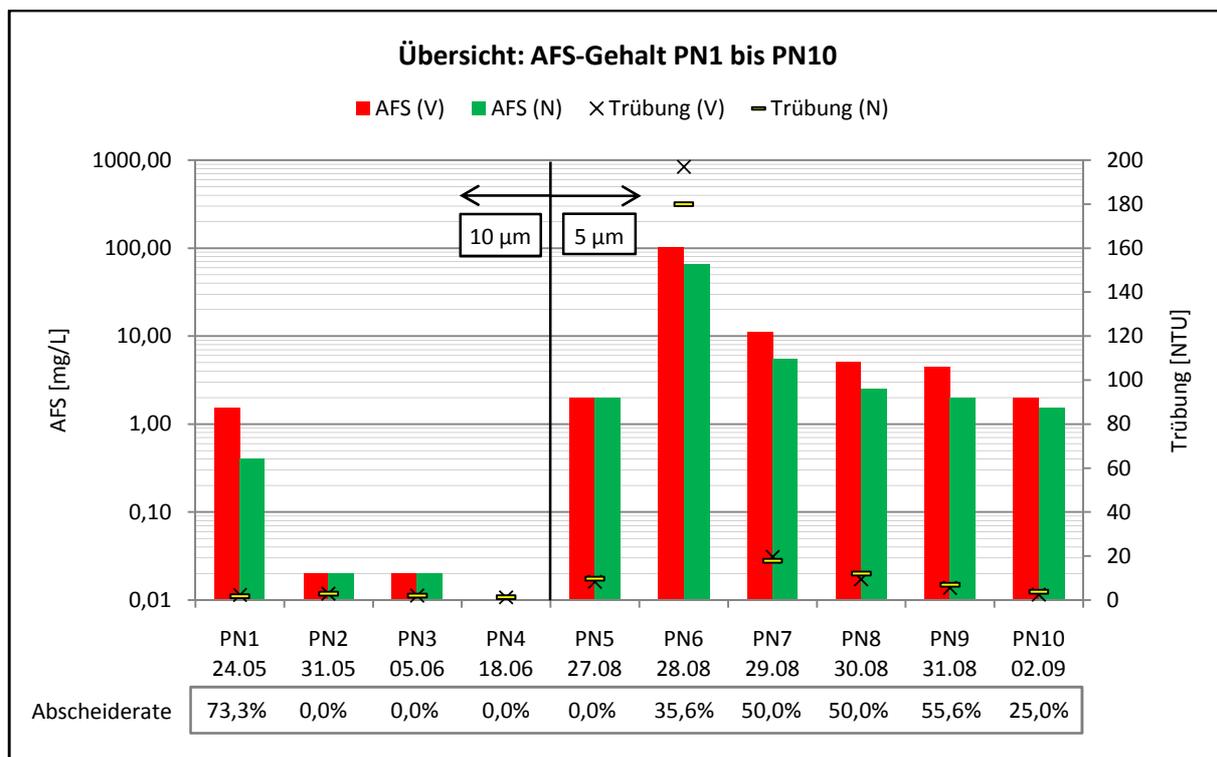


Abbildung 37: Übersicht: Gehalt an Abfiltrierbare Stoffe (AFS) für PN 1 bis PN 10

5.4.4.2 TOC-Gehalt

Der TOC (total organic carbon) ist ein Summenparameter und gibt die Menge an vorhandenen gelösten und ungelösten organischen Kohlenstoffverbindungen an (Grohmann et al., 2011). Der TOC erfasst den gesamten organisch gebundenen Kohlenstoff, definiert jedoch nicht die Art und Menge der einzelnen organischen Verbindungen (Höll, 2010).

In der Trinkwasserverordnung ist der TOC als Indikatorparameter ohne Wertgrenze angegeben, jedoch mit dem Hinweis „ohne anormale Veränderung“. Meistens weisen erhöhte Werte auf eine verstärkte Vermehrung von Mikroorganismen und bei Desinfektionsverfahren auf unerwünschte Nebenprodukte hin (Mutschmann et al., 2007).

In der Abbildung 38 sind die TOC-Werte für alle Probenahmen dargestellt. Der maximale Wert lag bei 3,8 mg/L und der minimale bei 0,6 mg/L. Eine Korrelation zwischen Trübung und TOC ist nicht erkennbar. Auch ist keine wesentliche Reduktion durch den Filter beobachtbar.

Die ermittelten TOC-Abscheideraten lagen bei den 10 untersuchten Ereignissen zwischen -4,7 und 28,6 %. Negative Abscheideraten können nicht wirklich schlüssig erklärt werden, sind aber wahrscheinlich auf die, zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführten Probenahmen zurückzuführen.

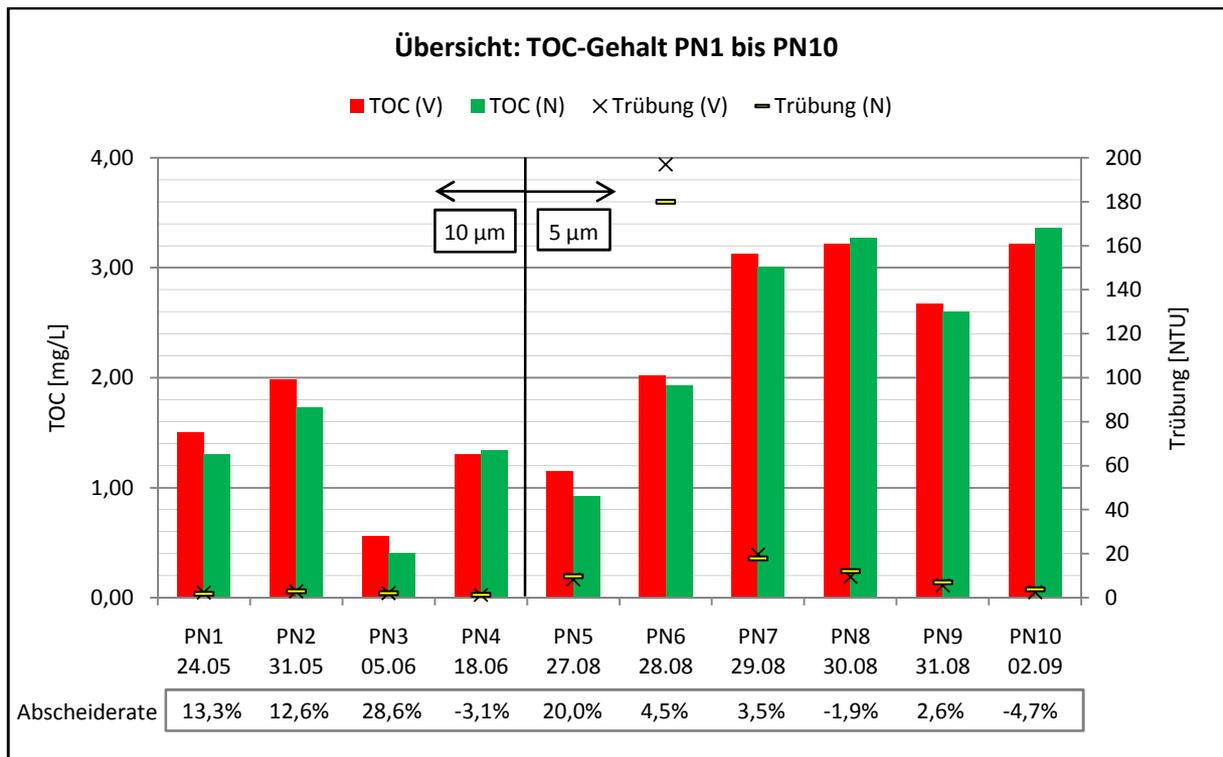


Abbildung 38: Übersicht: Gehalt an TOC für PN 1 bis PN 10

5.4.4.3 DOC-Gehalt

Der DOC (dissolved organic carbon) ist der Anteil an gelösten organischen Kohlenstoff. Das Wasser wird vor der Analyse durch eine Membran (Ausschlussgrenze > 0,45 µm) filtriert und das filtrierte Wasser auf DOC untersucht. Der DOC umfasst Stoffe wie Humin- und Fulvinsäuren, Fette, Proteine, Kohlenhydrate und weitere Stoffe mit unbekannter chemischer Struktur, welche meist Abbau- und Stoffwechselprodukte sind. Organisch gelöste Stoffe sind für die Verfärbung des Wassers maßgebend. Hohe DOC-Gehalte resultieren meist aus Moorböden, Feuchtgebieten, Wäldern, Gebieten mit starkem Algenwachstum und anderen (BAG, 2010).

Abbildung 39 zeigt die DOC-Gehalte der Probenahmen. Der DOC-Gehalt im Rohwasser beträgt dabei durchschnittlich 79 % des TOC-Gehaltes, im Filtrat sind es durchschnittlich 86 %.

Die ermittelten DOC-Abscheideraten lagen bei den 10 untersuchten Ereignissen zwischen - 50,5 und 20,6 %. Negative Abscheideraten können nicht wirklich schlüssig erklärt werden, sind aber wahrscheinlich auf, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführten Probenahmen zurückzuführen.

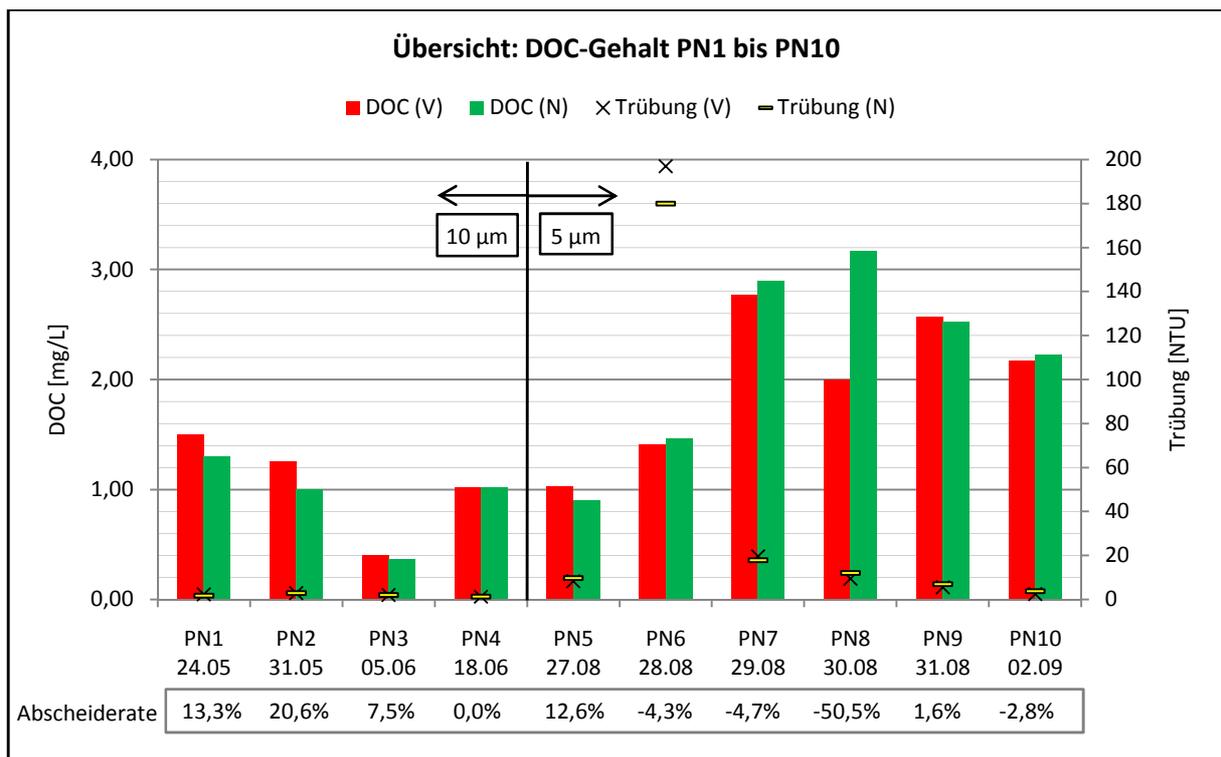


Abbildung 39: Übersicht: Gehalt an gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) für PN1 bis PN10

## 5.4.4.4 SAK 254

Der Spektrale Absorptionskoeffizient (SAK) bei 254 nm ist ein Indikator für organische Belastungen des Wassers. In der Abbildung 40 ist zwar kein direkter Zusammenhang zwischen Trübung und SAK 254 ersichtlich, jedoch ist zu erkennen, dass das Maximum des SAK 254 bei den zeitlich relativ nahe aufeinanderfolgenden Ereignissen PN5 – PN10 zeitlich verschoben auftritt. In diesem Fall ist das Maximum des SAK 254 zwei Tage nach dem Maximum der Trübung aufgetreten, die Trübung ist an jenem Tag bereits unter 10 NTU gefallen.

Bei den untersuchten Proben erfolgt durch den Filter bei 50 % der Proben eine geringfügige Reduktion. Die Abscheideraten lagen zwischen -31,4 und 23,1 %. Negative Abscheideraten können nicht wirklich schlüssig erklärt werden, sind aber wahrscheinlich auf die, zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführten Probennahmen zurückzuführen.

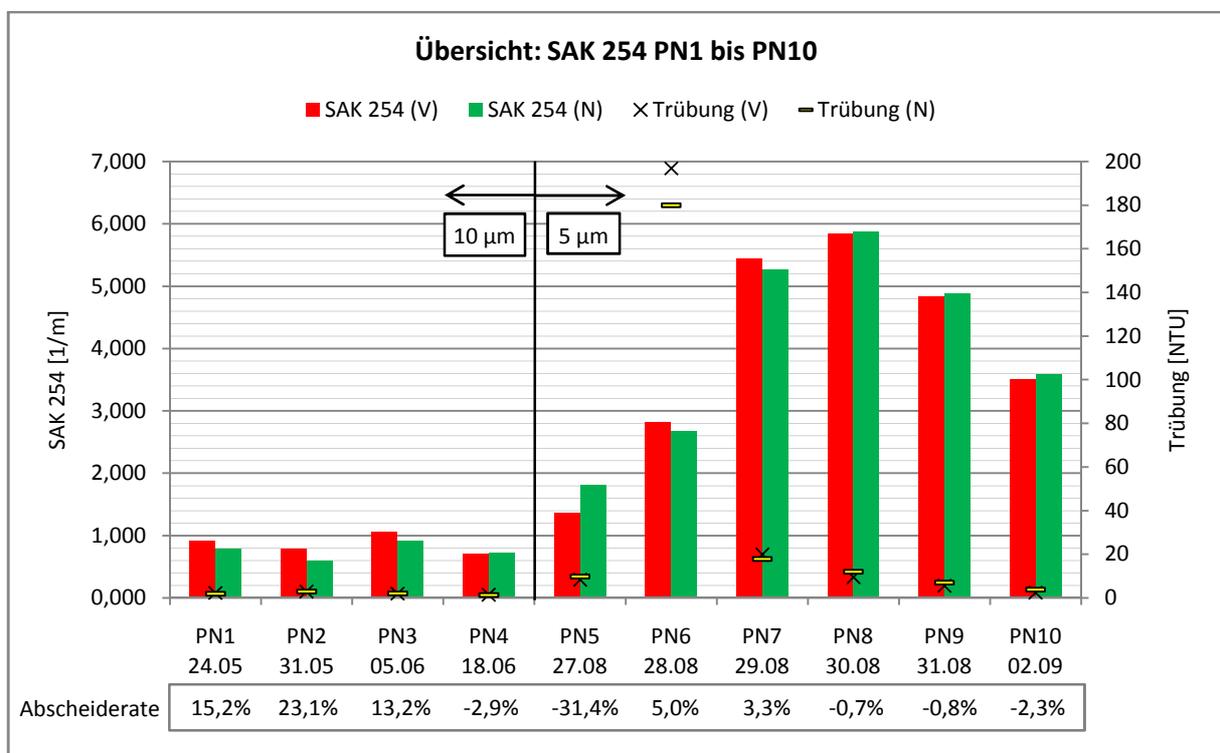


Abbildung 40: Übersicht: Spektraler Absorptionskoeffizient bei 254 nm für PN1 bis PN10

5.4.4.5 SAK 436

Der SAK 436 stellt die Färbung des Wassers und damit alle Stoffe  $< 0,45 \mu\text{m}$  dar. Dieser Wert ist in der TWV mit  $0,5 \text{ m}^{-1}$  begrenzt.

In der Abbildung 41 ist lediglich ersichtlich, dass bei den zeitlich nahe aufeinanderfolgenden Ereignissen PN5 – PN10 nach einem Trübungsereignis der SAK 436 über mehrere Tage nahezu konstant blieb. In diesem Fall wird der SAK 436 erst am vierten Tag etwas reduziert.

Bei den untersuchten Proben erfolgt durch den Filter keine Reduktion. Die Abscheideraten lagen meist im negativen Bereich. Negative Abscheideraten können nicht wirklich schlüssig erklärt werden, sind aber wahrscheinlich auf die, zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführten Probennahmen zurückzuführen.

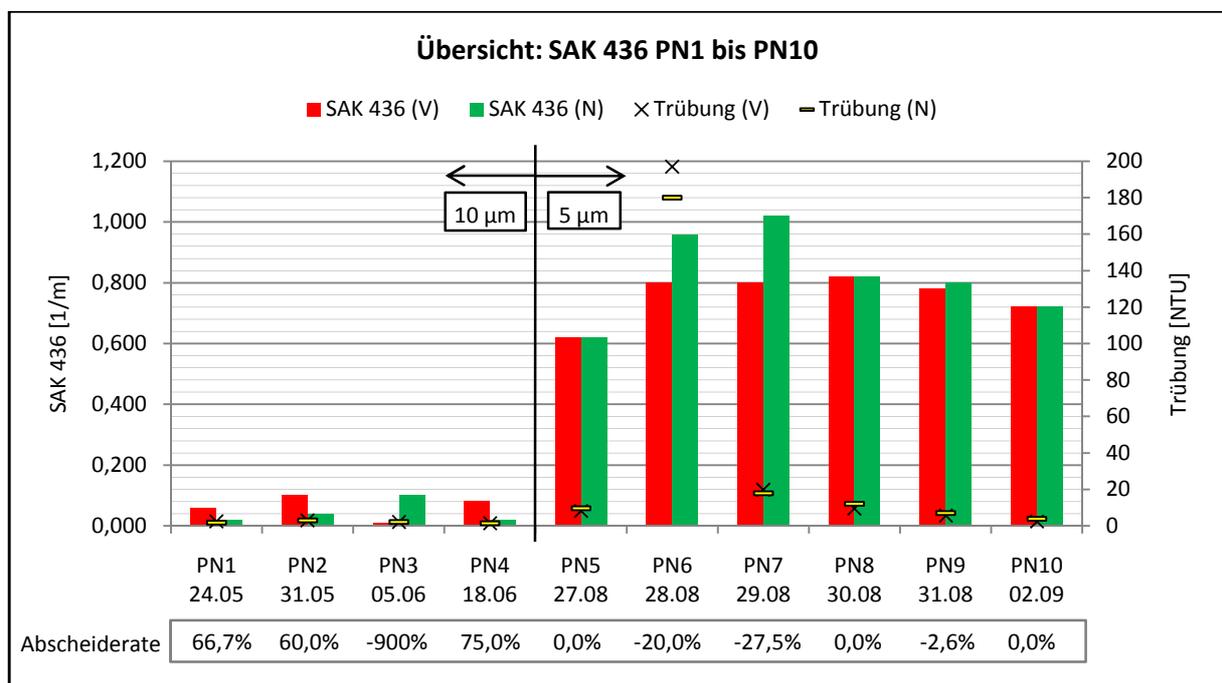


Abbildung 41: Übersicht: Spektraler Absorptionskoeffizient bei 436 nm für PN 1 bis PN10

5.4.4.6 Partikelmessung

Exemplarisch ist hier in Abbildung 42 für die PN3 ein Vergleich der gemessenen Partikelanzahl im Rohwasser zur gemessenen Partikelanzahl im Filtrat dargestellt. Abbildung 43 zeigt die Partikelverteilung im Konzentrat. Für alle anderen Probenahmen können die Ergebnisse im Anhang E entnommen werden.

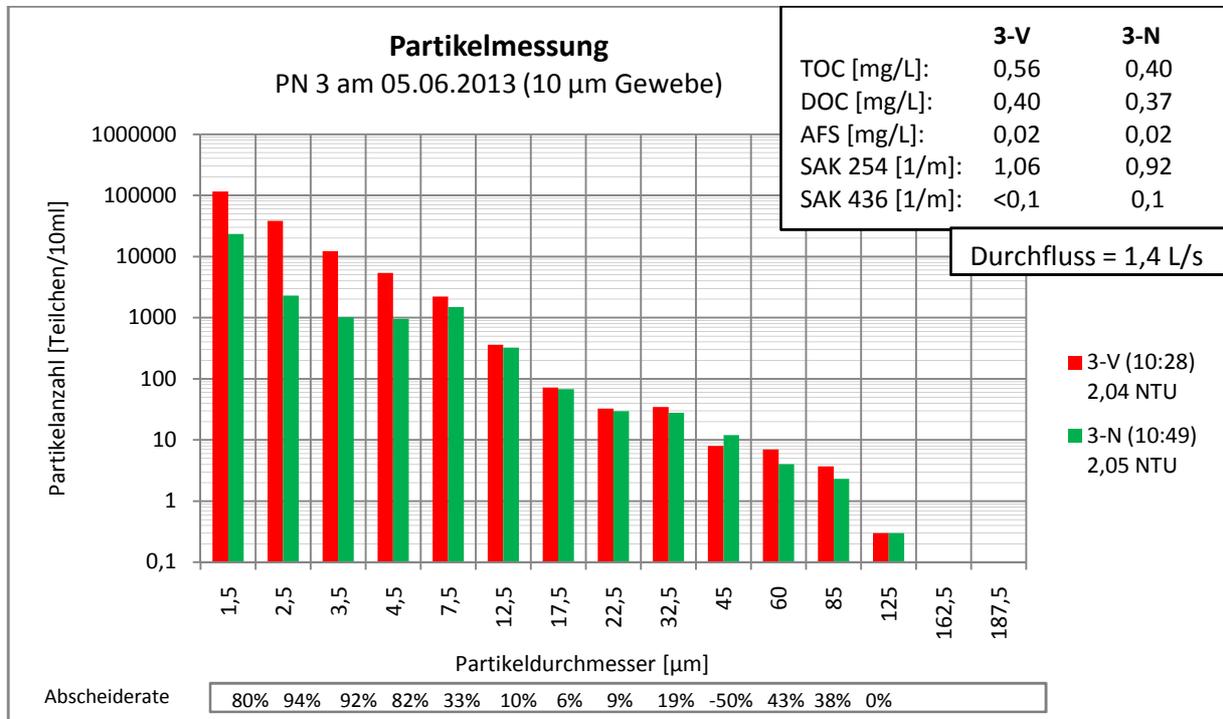


Abbildung 42: Partikelanzahl PN 3 am 05.06.2013, Rohwasser und Filtrat

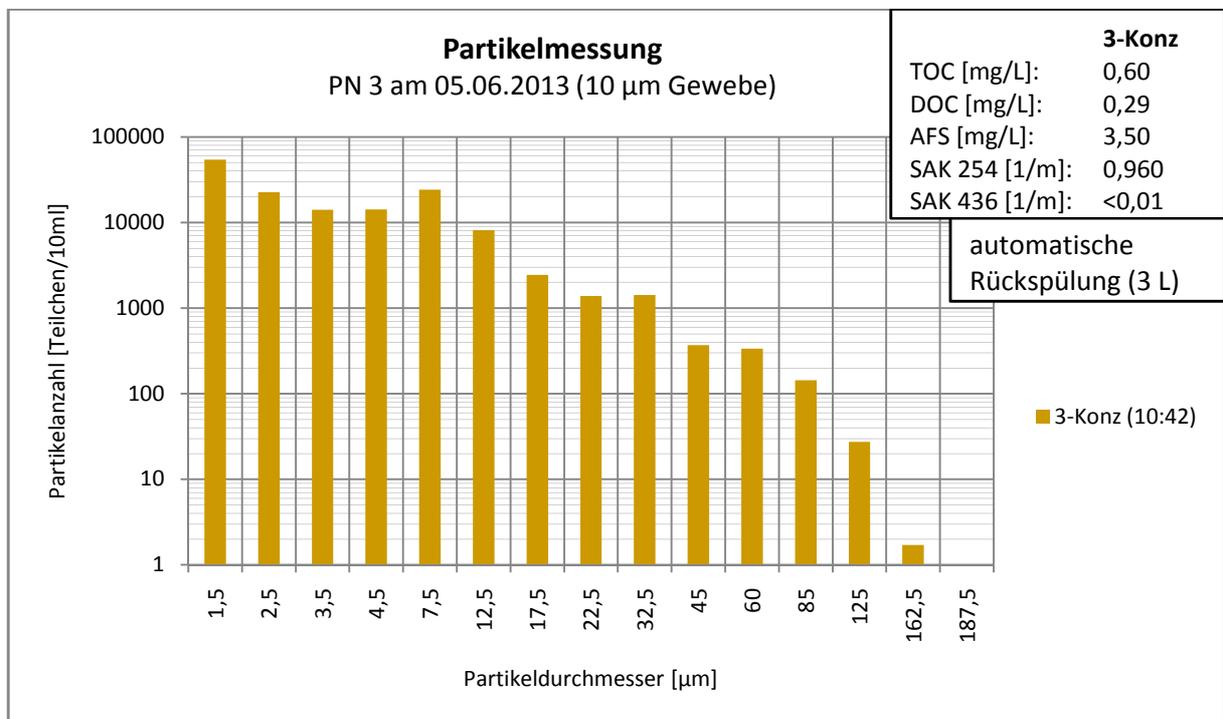


Abbildung 43: Partikelanzahl PN 3 am 05.06.2013, Konzentrat bzw. Reject

In der Abbildung 42 sind auch die dazugehörigen Abscheideraten dargestellt. Eine Zusammenstellung der Abscheideraten der unterschiedlichen gemessenen Partikeldurchmesser für alle Probenahmen ist in Tabelle 15 dargestellt. Eine negative Abscheiderate bedeutet, dass es zu einer Zunahme der Partikel im Filtrat gekommen ist. Partikelmessungen können durch Abschattungseffekte verfälscht werden. Vor allem wenn sehr viele kleine Partikel im Wasser vorhanden sind, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass zwei kleine Partikel als ein größeres Partikel wahrgenommen werden, an. Weiters verfälschen auch Luftbläschen unterschiedlicher Größe die Partikelmessung, denn auch Luftbläschen werden als Partikel wahrgenommen. Durch den Vorgang der Filtration können Luftbläschen ins Filtrat eingetragen worden sein.

Auffällig ist bei den Partikelauswertungen des Filtrates, dass dabei offensichtlich auch Partikeln gemessen werden, welche größer sind als die beiden verwendeten Filtermaterialien mit 10 und 5 µm Maschenweite. Dies kann mit den bereits erwähnten Abschattungseffekten von mehreren kleineren Partikeln erklärt werden, welche bei der Detektion als ein größeres Partikel missinterpretiert werden können.

Auffallend sind auch die relativ hohen Abscheideraten bei Partikel, die kleiner sind als die Maschenweite der jeweiligen Filtermaterialien.

Tabelle 15: Partikelmessung Abscheideraten für die unterschiedlichen Partikeldurchmesser

Partikel- durch- messer [µm]	10 µm Gewebe				5 µm Gewebe					
	PN1	PN2	PN3	PN4	PN5	PN6	PN7	PN8	PN9	PN10
	24.05	31.05	05.06	18.06	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	02.09
	Abscheide- rate [%]									
1,5	40,88	51,39	79,89	54,93	8,04	-9,35	59,04	-50,28	26,25	57,03
2,5	28,70	41,34	94,02	90,40	29,92	-9,78	45,32	-43,45	57,65	61,77
3,5	35,16	34,16	91,68	93,58	52,35	-9,91	29,23	4,14	72,59	62,49
4,5	40,74	11,70	82,25	94,28	71,30	-8,29	19,59	47,62	79,35	61,86
7,5	53,69	-73,04	32,74	88,08	87,99	4,02	17,15	69,88	81,45	71,39
12,5	54,68	-157,58	9,55	62,15	89,09	40,76	28,04	57,96	70,20	78,18
17,5	21,21	-164,84	6,36	42,86	80,98	68,21	32,47	53,76	54,26	78,74
22,5	-16,88	-79,81	9,17	63,78	80,99	71,83	30,53	53,61	54,64	77,03
32,5	-155,81	-75,00	19,31	55,84	66,25	70,20	52,56	49,58	41,73	68,70
45	-233,33	38,05	-50,00	73,79	73,00	67,24	48,91	26,00	-15,87	66,67
60	-328,57	-10,00	42,86	63,49	59,65	75,35	53,76	61,43	24,53	70,09
85	-900,00	-228,57	37,84	100,00	-85,71	79,37	100,00	57,14	23,08	78,72
125	-	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	-100,00	100,00	-
162,5	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
187,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bei der Partikelmessung bzw. Partikelzählung werden nur Teilchen > 1 µm erfasst, wohingegen bei der labortechnischen AFS-Bestimmung auch Partikeln bis 0,45 µm miterfasst werden. Anhand der Anzahl der Partikel und des dazugehörigen Partikeldurchmessers lässt sich eine grobe Abschätzung auf die abfiltrierbaren Stoffe (AFS) durchführen. Für die Abschätzung wurde als Partikelform eine Kugel mit einer Dichte von 2000 kg/m<sup>3</sup> (nasser Sand) angenommen. In der Tabelle 16 sind die analysierten Werte der abfiltrierbaren Stoffe und die jeweilige Abschätzung aus der Partikelmessung für jede Probenahme gegenüber gestellt.

Tabelle 16: Gegenüberstellung analysierte AFS und abgeschätzte AFS

	Rohwasser (siehe Abbildung 44)			Filtrat (siehe Abbildung 45)			Konzentrat bzw. Rejekt (siehe Abbildung 46)		
	AFS	Abschätzung	-	AFS	Abschätzung	-	AFS	Abschätzung	-
	[mg/L]	[mg/L]	[%]	[mg/L]	[mg/L]	[%]	[mg/L]	[mg/L]	[%]
<b>PN1</b>	1,50	0,56	37%	0,40	0,52	129%			
<b>PN2</b>	0,02	0,83	4150%	0,02	1,25	6253%	5,20	110,67	2128%
<b>PN3</b>	0,02	1,12	5603%	0,01	0,75	7468%	3,50	37,84	1081%
<b>PN4</b>	0,01	0,99	9893%	0,01	0,35	3533%	2,06	31,89	1548%
<b>PN5</b>	2,00	1,98	99%	2,00	0,51	26%	100,00	87,24	87%
<b>PN6</b>	101,00	60,90	60%	65,00	46,68	72%	205,00	136,65	67%
<b>PN7</b>	11,00	2,43	22%	5,50	1,44	26%	196,00	157,22	80%
<b>PN8</b>	5,00	0,72	14%	2,50	0,52	21%	107,00	110,87	104%
<b>PN9</b>	4,50	1,17	26%	2,00	0,55	28%	86,00	74,42	87%
<b>PN10</b>	2,00	2,16	108%	1,50	0,57	38%	105,00	66,93	64%

AFS sind alle ungelösten Stoffe > 0,45 µm, die Partikelmessung erfasst jedoch erst Partikel mit einem Partikeldurchmesser > 1 µm. Daher fehlt der Masseanteil zwischen 0,45 und 1 µm in der Abschätzung.

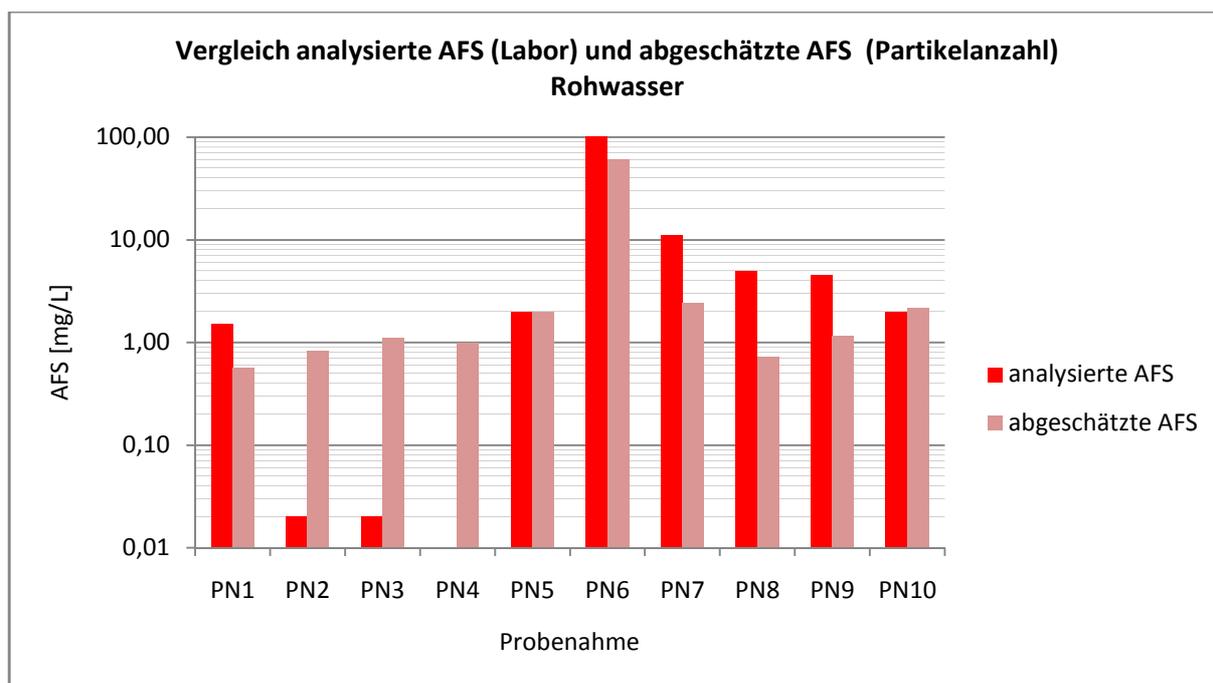


Abbildung 44: Vergleich analysierte und abgeschätzte AFS, Rohwasser

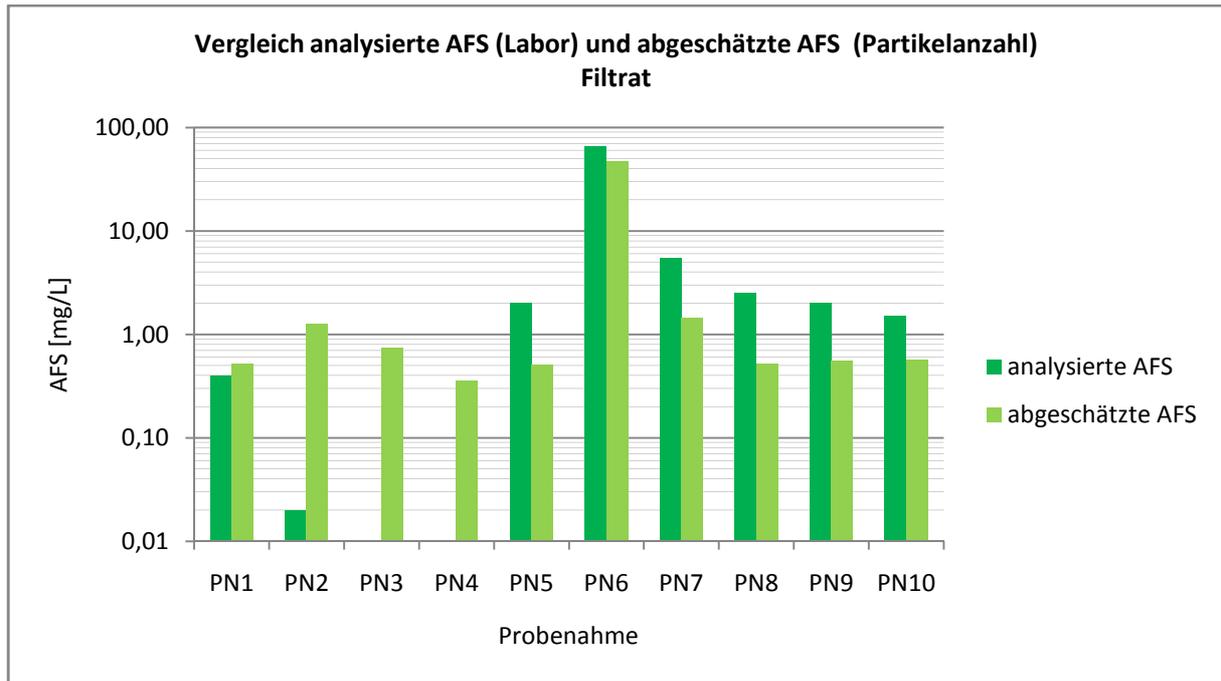


Abbildung 45: Vergleich analysierte und abgeschätzte AFS, Filtrat

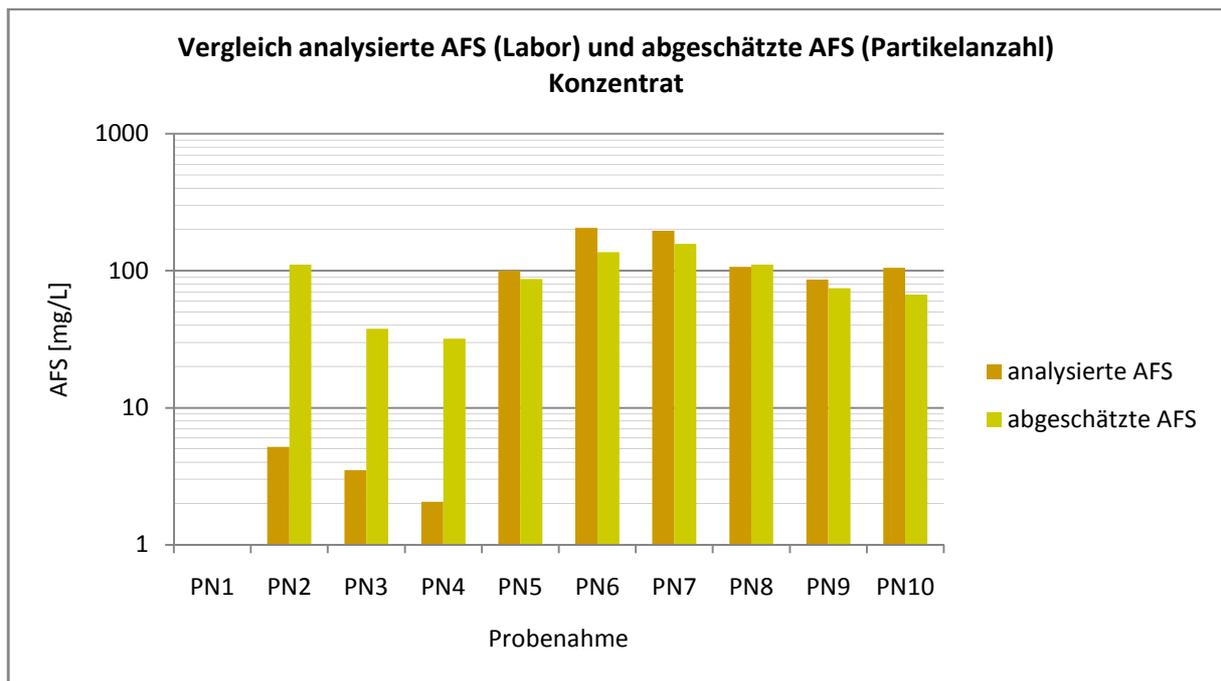


Abbildung 46: Vergleich analysierte und abgeschätzte AFS, Konzentrat

Abbildung 47 zeigt die Größenverteilung der Partikel für alle zehn Probenahmen. Die größte Trübung mit 197 NTU trat bei PN 6 auf. Dabei nahm die Anzahl der Partikel mit einem Durchmesser von 1,5 µm nur geringfügig zu. Eine starke Zunahme ist bei Partikeln der Größe 7,5 µm beobachtbar.

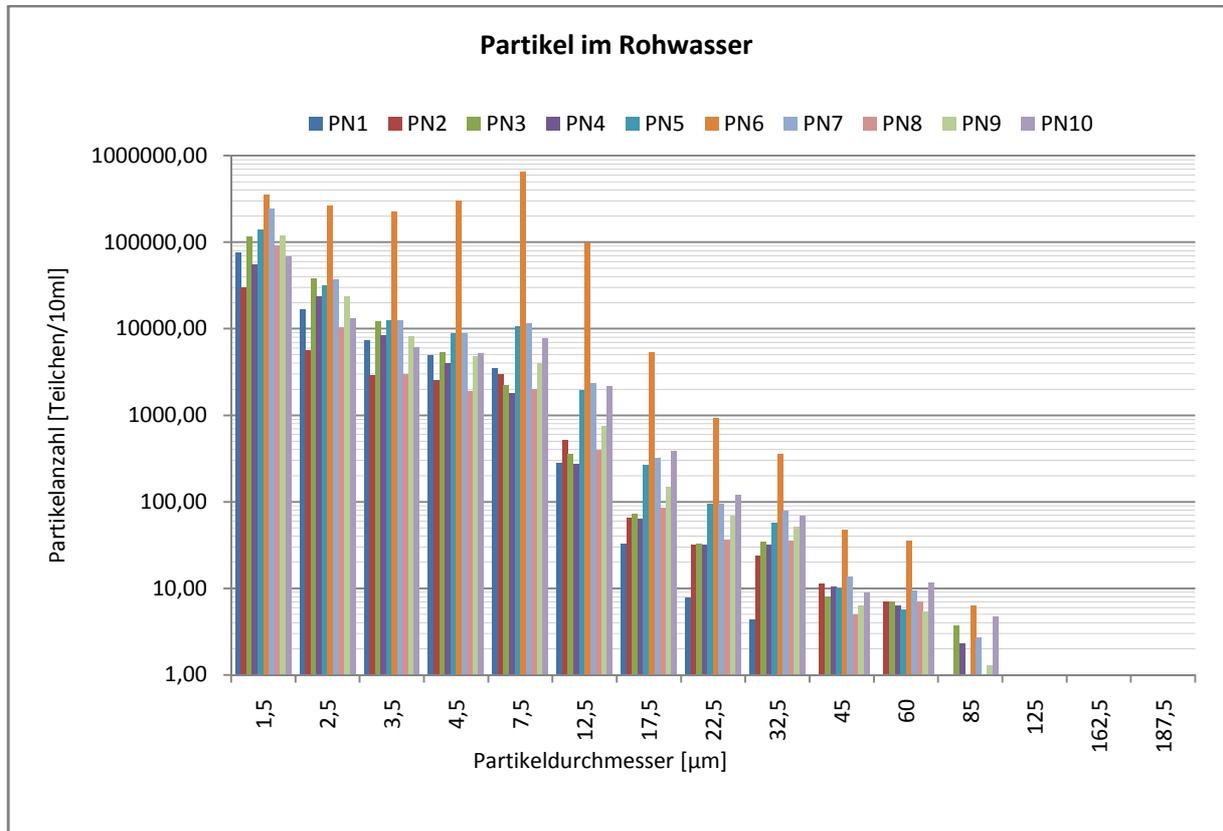


Abbildung 47: Partikelanzahl Rohwasser

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Österreich bezieht bereits zu 50 % Trinkwasser aus Kluft- und Karstgrundwassergebieten, weiteres Erschließungspotenzial ist vorhanden.

Einige österreichische Regionen (z. B. Weiz) sind zu 100 % vom sensiblen Karstquellwasser abhängig. Die Thematik der Trinkwasseraufbereitung bei Karstquellen spielt bereits jetzt eine große Rolle und wird in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen.

### 6.1 Trinkwasseraufbereitung bei Karstquellen

Kein Wasser gleicht dem anderen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Rohwasserqualität (Temperatur, pH-Wert, Trübung, Färbung, Inhaltsstoffe) das Aufbereitungsverfahren bestimmt. Daher kann eine Aufbereitungsanlage nicht nur theoretisch vom Schreibtisch aus geplant werden, sondern es sollten stets auch Versuche mit Pilotanlagen durchgeführt werden. Die Zeiträume können sich von einigen Monaten bis zu einigen Jahren erstrecken. Vor allem bei Karstwässern, die stark schwankende Rohwasserqualitäten aufweisen, ist es sinnvoll, unterschiedliche Szenarien zu untersuchen.

Die Schwankungen der Rohwasserqualitäten bei Karstquellen rühren daher, dass Karstquellen mehr oder weniger stark auf Niederschlagsereignisse oder Schneeschmelzen reagieren. Die Problematik bei Karstwässern ist zumeist die der erhöhten Trübungen, Färbungen und mikrobiellen Belastungen. Qualitätsbedingte Ausleitungen des Wassers sind die Folge. Jeder Trinkwasserversorger muss daher trotz Aufbereitung für solche Fälle auch auf eine Ersatzwasserversorgung zurückgreifen können. Je nach Möglichkeit der Ersatzversorgung wird die Aufbereitung des Karstquellwassers errichtet bzw. betrieben. Besteht die Möglichkeit hochwertiges Porengrundwasser zu nutzen, kann die Aufbereitung des Karstquellwassers sehr einfach gehalten werden und es wird bei gering erhöhten Trübungen ausgeleitet werden. Besteht diese Möglichkeit nicht, so muss auch teilweise stark trübstoffhaltiges Wasser zur Trinkwasserversorgung verwendet werden, wodurch eine deutlich aufwändigere Aufbereitung erforderlich ist.

Da mikrobielle Belastungen ein dominierendes Problem darstellen, muss zumindest eine Desinfektion des Karstquellwassers erfolgen. Je nach ausgewähltem Desinfektionsverfahren und der dafür erforderlichen Wasserqualität muss eine vorangeschaltete Entfernung von Trübstoffen und teils auch Farbstoffen gewährleistet werden. Trübstoffe müssen deswegen entfernt werden, da Mikroorganismen an den Trübstoffen anhaften können und sich somit einer Desinfektion entziehen können. Durch ein entsprechendes Nährstoffangebot, also organische Stoffe, können Mikroorganismen überleben und auch weiter wachsen bzw. sich vermehren.

Karstquellwasser neigt auch zu Nachverkeimungen im Netz, was in regelmäßigen Abständen zu untersuchen ist. Gegebenenfalls können Spülpläne danach ausgerichtet werden. Um einer Nachverkeimung vorzubeugen, wird bei langen Rohrnetzen ein Desinfektionsverfahren mit Depotwirkung unabdingbar sein.

Eine Aufbereitungsanlage bei Karstquellen besteht abhängig von der Rohwasserqualität entweder nur aus einer Desinfektion oder aus einem Verfahren zur Entfernung von Trübstoffen und einer nachgeschalteten Desinfektion. Eventuell kann das Verfahren zur Entfernung von Trübstoffen auch in mehrere Verfahrensschritte unterteilt werden, sodass zuerst grobe

Partikel aus dem Wasser entfernt werden, dann feinere Partikel und eventuell auch Farbstoffe. Soll eine UV-Desinfektion verwendet werden, so sind die vorhandenen Farbstoffe im Wasser maßgebend und weitgehend zu entfernen, um eine Desinfektionswirkung zu erzielen.

Auch wenn die Aufbereitung von Karstquellwasser im Allgemeinen unkompliziert klingt und nur aus zwei wesentlichen Verfahrensschritten besteht, stellt sie zumeist eine große Herausforderung dar, denn die Verfahren müssen mit qualitativ und quantitativ stark schwankenden Rohwässern zurechtkommen können. Auch die Entfernung von kleinen Partikel und der Färbung (organische Belastungen) sind dabei eine große Herausforderung. Je nach vorhandenen Randbedingungen ist die Aufbereitung zu wählen. Pilotanlagen und Feldversuche sind zur Entscheidungsfindung zumeist notwendig. Die Pilotanlage sollte dabei so gut wie möglich den Betriebsbedingungen der Wasserversorgungsanlage ähneln, denn danach kann das Pilotprojekt großtechnisch leichter umgesetzt werden. Eine sorgfältige und fachmännische Planung ist nicht nur für die Aufbereitungsanlage selbst von großer Bedeutung. Bereits in der Phase der Pilotierung ist die Planung und Koordination sowie die Zuweisung von Zuständigkeiten von hoher Wichtigkeit und maßgebend für den Erfolg.

Grundsätzlich sollte jedoch nach dem Vorsorgeprinzip gehandelt werden. Ein Schutz des Wassers sollte dabei bereits im Einzugsgebiet und nicht erst eine Aufbereitung kurz vor der Konsumation erfolgen. Mit dem Schutz des Einzugsgebietes und der Beseitigung von Kontaminationsquellen können die hohen Kosten einer Wasseraufbereitung verringert werden.

### **6.2 Wasserversorgung Weiz**

Die Wasserversorgung in Weiz stellt eine komplexe Situation dar. Das Weizer Bergland ist ein Mittelgebirge, ein grüner Karst mit dünner Vegetationsschicht und eine Gegend mit vielen starken Niederschlagsereignissen. Es ist besiedelt sowie land- und forstwirtschaftlich genutzt. Viele bestehende Höfe, häusliche Kläranlagen, Industrie- und Gewerbegebiete sind vorhanden. Auch ein Steinbruch-Unternehmen ist ansässig. Ein Netz von Straßen und Wegen durchzieht das Weizer Bergland. Vermutet wird auch, dass es einige wilde Deponien gibt. Demnach ist es ein sehr empfindliches Gebiet mit einer starken anthropogenen Beeinträchtigung. Ein Wasserschongebiet wurde erst 2009 verordnet. Die direkten Schutzgebiete der zur Trinkwasserversorgung wichtigsten Quellen (Baumühl- und Paarquelle), befinden sich in Besitz von Privatpersonen. Die Quellfassungen selbst liegen unmittelbar an der B64 Rechberg Straße. Das Einzugsgebiet der Baumühlquelle ist mittlerweile als Schongebiet ausgewiesen, jedoch noch umstritten. Eindeutige Kenntnisse über die Grenzen des Einzugsgebietes sind nicht bekannt. Gefahrenpunkte wie beispielsweise Dolinen, Schwinden, zugeschüttete Deponien sowie oberirdische Bäche, die das Karstwasser alimentieren, sind nicht erhoben worden. In diesem Bereich ist noch Handlungsbedarf, das Einzugsgebiet sollte eindeutig definiert und eine Vulnerabilitätskarte erstellt werden. Ein nachträglicher Schutz wird schwer, da meist in vorhandene Rechte eingegriffen werden muss. Dies wird jedoch unumgänglich werden, um in Zukunft das Wasser nicht noch weiter zu beeinträchtigen.

Das Wasser aus einem sehr empfindlichen und anthropogen belasteten Karst wird zur Trinkwasserversorgung von rund 40.000 Einwohnern herangezogen. Die Baumühlquelle stellt dabei die wichtigste und auch empfindlichste Quelle dar. Sie reagiert sehr schnell auf Starkniederschlagsereignisse aber auch auf Schneeschmelzen. Dies zeigt sich durch einen starken Anstieg der Schüttung, der Trübung sowie der Färbung. Wobei die Färbung nach

einem Trübungsereignis mehrere Tage konstant hoch bleibt. Auch die mikrobiologische Beschaffenheit des Wassers ist nicht durchgehend einwandfrei. Das Wasser muss permanent aufbereitet werden. Die derzeitige Aufbereitung (Ozonung) aber auch das Pumpwerk sind sehr energieintensiv und in die Jahre gekommen. Daher sind auch Pläne zur Modernisierung der vorhandenen Aufbereitungsanlage im Gange.

Die Trübungen in vergangener Zeit (ausgewertet wurde der Zeitraum 2005 – 2013) überschritten im Durchschnitt an 30 Tagen pro Jahr die 5 NTU Grenze. Dabei waren 16 Tage sogar über 20 NTU und mit dem jetzigen Aufbereitungsverfahren der Ozonung nicht mehr handhabbar. Im Durchschnitt kommt es an 11 Tagen pro Jahr zu extremen Ereignissen, wo die Trübung auf über 50 NTU ansteigt. Stark trübstoffhaltiges Wasser muss dann auf jeden Fall ausgeleitet werden und steht der Trinkwasserversorgung nicht zur Verfügung.

In Zukunft und mit einer neuen Aufbereitungsanlage, sollen jene Tage reduziert werden, an denen das Wasser der Baumühlquelle ausgeleitet werden muss. Damit wird die Versorgungssicherheit erhöht werden.

### **6.3 Feldversuch: Automatischer Rückspülfilter**

Mit einem Feldversuch zur Erprobung der Funktionsfähigkeit eines Filtersystems bei unterschiedlichen Karstwasserqualitäten konnten wichtige Erkenntnisse und Erfahrungen für zukünftige Versuchsaufbauten gesammelt werden. Der Feldversuch wurde mit Karstquellwasser der Baumühlquelle in Weiz durchgeführt.

Insgesamt wurden zehn Ereignisse im Zeitraum vom 24.05.2013 bis 02.09.2013 mit zwei unterschiedlichen Filtermaterialien (Edelstahlgewebe mit 10 µm und 5 µm Maschenweite) beprobt und ausgewertet. Dabei konnten die Auswirkungen eines starken Niederschlagsereignisses vom 28.08.2013 untersucht werden. Es erfolgte stets eine Beprobung des Rohwassers der Baumühlquelle, des Filtrats nach dem Optifil und des Konzentrates (Rückspülwasser, Reject). Die Beprobung wurde immer nur von einer Person durchgeführt, wodurch eine zeitgleiche Beprobung des Rohwassers und des Filtrats nicht möglich war.

Parameter, wie AFS, TOC, DOC, SAK 254 und SAK 436 wurden labortechnisch analysiert. Weiters wurden Partikelmessungen mit einem mobilen Partikelzählgerät durchgeführt. Mit diesen Parametern war eine Auswertung möglich (Vergleich Rohwasser und Filtrat, Abscheideraten, Rohwasserzusammensetzung, etc.).

Anhand dieser Analyseergebnisse ist zu beobachten, dass das Filtersystem Optifil die Menge an abfiltrierbaren Stoffen stets reduziert und damit durchgehend positive Abscheideraten aufweist. Eine Senkung des TOC und DOC war nur teilweise beobachtbar. Bei den Parametern TOC, DOC, SAK 254 und SAK 436 waren immer wieder negative Abscheideraten zu beobachten. Diese können nicht wirklich schlüssig erklärt werden, sind aber wahrscheinlich auf die, zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführten Probennahmen zurückzuführen.

Auffällig ist bei den Partikelauswertungen des Filtrates, dass dabei offensichtlich auch Partikeln gemessen werden, welche größer sind als die beiden verwendeten Edelstahlgewebe mit 10 und 5 µm Maschenweite. Dies kann mit den Abschattungseffekten von mehreren kleineren Partikeln erklärt werden, welche bei der Detektion als ein größeres Partikel missinterpretiert werden können.

Auffallend ist auch die relativ hohe Abscheiderate der Partikel, die kleiner sind als die Maschenweite der jeweiligen Filtermaterialien.

Eine der wichtigsten Erkenntnisse aus diesem Feldversuch ist, dass der Versuchsaufbau stets abgekoppelt vom (diskontinuierlichen) Normalbetrieb des Wasserwerkes betrieben werden sollte. Dies bedeutet, dass eine eigene und unabhängige Wasserförderung zum Filtersystem angestrebt werden sollte.

Auffällig und nicht wirklich aufgeklärt werden konnten die sehr oft beobachtbaren Differenzen bei den beiden installierten On-line-Trübungssonden, welche sehr oft im Rohwasser niedrigere NTU-Werte zeigten als im Filtrat nach dem Filter. Eine mögliche Erklärung könnten die durch die Filtration eingebrachten Luftbläschen im Filtrat sein, denn Luftbläschen werden von den Trübungssonden als Partikel wahrgenommen, wodurch die Trübungswerte verfälscht werden können. Eine Abhilfe könnten durchsichtige Rohre beim Versuchsaufbau sein, wodurch eine schnelle visuelle Kontrolle auf etwaige Luftbläschen möglich wäre. Eventuell sollten auch noch andere alternative Einbauorte der Trübungssonden getestet werden, welche vielleicht stabilere und vergleichbarere Messbedingungen gewährleisten würden.

## Literaturverzeichnis

- AGES. 2011.** Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit: Enterokokken. [Online] 2011. [Zitat vom: 15. 07 2013.] <http://www.ages.at/ages/gesundheit/mensch/enterokokken/>.
- BAG. 2010.** *Anerkannte Aufbereitungsverfahren für Trinkwasser*. Bern : Bundesamt für Gesundheit - Schweiz, 2010. BAG-Publikationsnummer: VS 08.10 1200 d 400 f 100i 40EXT1011.
- Bauer, F. 2013.** Karstwasser als Trinkwasser - Gefährdung und Schutz. *www.landesmuseum.at*. [Online] 2013. [Zitat vom: 13. 08 2013.] [http://www.landesmuseum.at/pdf\\_frei\\_remote/Hoehle\\_035\\_0105-0108.pdf](http://www.landesmuseum.at/pdf_frei_remote/Hoehle_035_0105-0108.pdf).
- BMLFUW. 2013.** Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. *www.lebensministerium.at*. [Online] 2013. [Zitat vom: 01. 06 2013.] <http://www.lebensministerium.at/wasser>.
- BOKU, Wien. 2011.** *Interpretation der mikrobiologischen Daten aus den Jahren 2001 und Zusammenfassung der Ergebnisse der bisher durchgeführten mikrobiologischen Untersuchungen*. Wien : Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz, 2011.
- DVGW. 1997.** *Kontinuierliche Trübungsmessung im Wasserwerk*. s.l. : DVGW, 1997.
- **1987.** *Merkblatt W 217: Die Flockung in der Wasseraufbereitung - Grundlagen*. Bonn : Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser GmbH, 1987.
- **2013.** *www.dvgw.de. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches*. [Online] 2013. [Zitat vom: 17. 07 2013.] <http://www.dvgw.de/wasser/recht-trinkwasserverordnung/trinkwasserverordnung/anlage-3>.
- Fettig, Joachim und Steinert, Claudia. 2013.** Hochschule Ostwestfalen-Lippe. [Online] 2013. [Zitat vom: 20. 03 2013.] [http://www.hs-owl.de/fb8/fileadmin/download\\_verzeichnis/wassertechnologie/Huminstoffe.pdf](http://www.hs-owl.de/fb8/fileadmin/download_verzeichnis/wassertechnologie/Huminstoffe.pdf).
- Gimbel, R., Jekel, M. und Leißfeld, R. 2004.** *Wasseraufbereitung: Grundlagen und Verfahren*. München : Oldenbourg Industrieverlag GmbH, 2004. ISBN 3-486-26365-X.
- Glodschneider, N. und Göppert, N. 2004.** Hydrogeologie der alpinen Karstlandschaften Vorarlbergs, S.41-62. *Vorarlberger Naturschau*. 2004, 15.
- Grambow, Martin. 2012.** *Nachhaltige Wasserbewirtschaftung*. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2012. ISBN 978-3-8348-2275-8 (eBook).
- Grohmann, N. Andreas, et al. 2011.** *Wasser: Chemie, Mikrobiologie und Nachhaltige Nutzung*. Berlin : De Gruyter, 2011. ISBN 978-3-11-021308-9.
- Grombach, P., et al. 2000.** *Handbuch der Wasserversorgungstechnik*. München : Oldenbourg Industrieverlag GmbH, 2000. ISBN 3-486-26394-3.
- Gujer, Willi. 2007.** *Siedlungswasserwirtschaft. 3. Auflage*. Berlin : Springer Verlag, 2007. ISBN-13 978-3-540-34329-5.

- Hacker, P. 1991.** *Karsthydrologische Untersuchungen im Weizer Bergland*. Graz : Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion; Fachabteilung IIIa - Wasserwirtschaft, 1991. Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung, Band 71.
- Hawle. 2013.** Broschüre: Hawle Optifil, das automatische Rückspülfilter. Vöcklabruck : E. Hawle Armaturenwerke GmbH, 2013.
- Höll, Karl. 2010.** *Wasser: Nutzung im Kreislauf: Hygiene, Analyse und Bewertung*. Berlin, New York : Walter de Gruyter & Co. KG, 2010. ISBN 10.1515/9783110226782.
- Kainz, Harald, et al. 2012.** *Siedlungswasserbau und Abfallwirtschaft*. Wien : Manz Verlag, 2012. ISBN 978-3-7068-4267-9.
- Kölle, Walter. 2010.** *Wasseranalysen - richtig beurteilt: Grundlagen, Parameter, Wassertypen, Inhaltsstoffe, Grenzwerte nach Trinkwasserverordnung und EU-Trinkwasserrichtlinie*. 3. Auflage. Weinheim : Wiley-VCH, 2010. ISBN-13: 978-3-527-32522-1.
- Kralik, M. 2001.** *Strategie zum Schutz der Karstwassergebiete in Österreich (BE-189)*. Wien : Umweltbundesamt GmbH, Eigenvervielfältigung, 2001. ISBN 3-85457-585-8.
- Lichtenecker, A. und G., Plattner. 2011.** *Wasser:Lebens:Räume; Gletscher, Karst und Bergwälder*. s.l. : Naturfreunde Internationale. Im Rahmen des Projektes Wasser:Wege von Naturfreunden und Österreichischer Bundesforste AG, 2011.
- Lipp, P. und Baldauf, G. 2008.** Stand der Membrantechnik in der Trinkwasseraufbereitung in Deutschland. *Fachzeitschrift DVGW energie/wasser-praxis*. 2008, 4.
- Lipp, P., Baldauf, G. und Kühn, W. 2005.** Membranfiltrationsverfahren in der Trinkwasseraufbereitung - Leistung und Grenzen. *GWF Wasser Abwasser*. 2005, 146 (13).
- LMSVG. 2006.** *Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz*. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, BGBl. I Nr. 13/2006 : Nationalrat, 20. Jänner, 2006.
- LUB. 2013.** Landwirtschaftliche Umweltberatung Steiermark. [Online] 2013. [Zitat vom: 30. Jänner 2013.] <http://www.lub.at/Wasser/body.htm>.
- Merkel, G. 2008.** *Technik der Wasserversorgung*. München : Oldenbourg Industrieverlag GmbH, 2008. ISBN 978-3-8356-3082-6.
- Mutschmann, Johann und Stimmelmayer, Fritz. 2007.** *Taschenbuch der Wasserversorgung*. Wiesbaden : Vieweg Verlag, 2007. ISBN 978-3-8348-0012-1.
- OekoFair. 2013.** [www.oeko-fair.de](http://www.oeko-fair.de). [Online] Die Verbraucher Initiative e.V., 2013. [Zitat vom: 30. 05 2013.] <http://www.oeko-fair.de/ressourcen-bewahren/wasser/wie-viel-wasser-wir-tatsaechlich-verbrauchen/was-ist-virtuelles-wasser>.
- ÖLMB. 2007.** *Österreichisches Lebensmittelbuch IV. Auflage - Codexkapitel B1 Trinkwasser*. BMGFJ-75210/0009-IV/B/7/2007 vom 15.6.2007; Änderung BMG-75210/0006-II/B/13/2011 vom 16.8.2011 : Bundesministerium für Gesundheit, 2007.
- ÖVGW. 2013.** Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach. [Online] 2013. [Zitat vom: 11. Jänner 2013.] <http://www.ovgw.at/wasser/themen>.
- **2004.** *Richtlinie W 72: Schutz- und Schongebiete*. Wien : Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach, 2004.

- ÖWAV. 2007.** *ÖWAV Regelblatt 201.* Wien : Selbstverlag des Österreichischen Wasser- und Abwasserwirtschaftsbandes, 2007.
- Perfler, R. 2011.** *VU Technologien der Trinkwasserversorgung, Grundlagen der Trinkwasserversorgung und Aufbereitung.* Wien : Boku Wien: Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz, 2011.
- Pfeffer, K.-H. 1978.** *Karstmorphologie, Erträge der Forschung Band 79.* Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1978.
- Roeske, Wolfgang. 2007.** *Trinkwasserdesinfektion.* 2. Auflage. München : Oldenbourg Industieverlag, 2007. ISBN 978-3-8356-3119-9.
- SIWI. 2012.** Stockholm International Water Institute. *SIWI.* [Online] 2012. [Zitat vom: 12. 05 2013.] <http://www.sivi.org/prizes/stockholmwaterprize/laureates/professor-john-anthony-allan-great-britain/>.
- Steinkellner, M. 1998.** *Auswirkung von Niederschlagsereignissen und der Schneeschmelze auf Karstquellen (Wiener Mitteilungen).* Wien : Institut für Wasserversorgung, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien, 1998.
- Stmk, Land. 2013.** Wasserwirtschaft Land Steiermark. [Online] 2013. [Zitat vom: 25. 08 2013.] [http://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/10000274\\_4580893/8634b237/Waizer%20Bergland.pdf](http://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/10000274_4580893/8634b237/Waizer%20Bergland.pdf).
- TWV. 2001.** *Trinkwasserverordnung, Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.* Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich BGBl. II Nr.304/2001, letzte Änderung: BGBl. II Nr. 359/2012 : Bundesminister für soziale Sicherheit und Generationen am 21. August, 2001.
- UBA. 2013.** Umweltbundesamt. [Online] Umweltbundesamt GmbH, 2013. [Zitat vom: 08. Jänner 2013.] <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/wasser/trinkwasser>.
- UN. 2013.** United Nations Department of Economic and Social Affairs . [Online] 2013. [Zitat vom: 09. 03 2013.] [http://www.un.org/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](http://www.un.org/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml).
- UNESCO. 2013.** [www.unesco.de](http://www.unesco.de). [Online] 2013. [Zitat vom: 30. 05 2013.] <http://www.unesco.de/wassertag.html>.
- UoA. 2013.** The University of Auckland, New Zealand. [Online] 2013. [Zitat vom: 17. 08 2013.] [http://web.env.auckland.ac.nz/our\\_research/karst/](http://web.env.auckland.ac.nz/our_research/karst/).
- Veolia, Water. 2010.** *Veolia Handbuch Wasser.* Essen : Vulkan-Verlag GmbH, 2010. ISBN 978-3-8027-2539-5.
- Weiß, P. 2013.** *Wasserwerk der Stadt Villach, Persönliches Gespräch.* Graz, 05. 09. 2013.
- Weiz. 2013.** Stadt Weiz. [www.weiz.at](http://www.weiz.at). [Online] 2013. [Zitat vom: 24. 08 2013.] <http://www.weiz.at/?menueid=617&contentid=768&mainid=716&LNG=>.
- Wien, Magistrat der Stadt. 2013.** Stadt Wien, Wiener Wasser. [www.wien.gv.at](http://www.wien.gv.at). [Online] 2013. [Zitat vom: 20. 08 2013.] <http://www.wien.gv.at/wienwasser/versorgung/weg/>.
- Wilhelm, S. 2008.** *Wasseraufbereitung, Chemie und chemische Verfahrenstechnik.* Berlin : Springer Verlag, 2008. ISBN 978-3-540-25163-7.

**WRG. 1959.** *Wasserrechtsgesetz 1959.* Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich BGBl. Nr. 215/1959, letzte Änderung: BGBl. Nr. 14/2011 : Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 1959.

**WW. 2013.** Österreichische Wasserwerke. *www.wasserwerk.at.* [Online] 2013. [Zitat vom: 20. 08 2013.] <http://www.wasserwerk.at/home/wasserwerke>.

**ZVBWV. 2013.** Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung. [Online] 2013. [Zitat vom: 07. 06 2013.] <http://www.zvbwv.de/index.php?id=22>.

## Anhang A – Inhaltsstoffe nach Art

Wesentliche Unterscheidung zwischen anorganischen und organischen Substanzen ist der Kohlenstoff. Organische Verbindungen basieren auf dem Element Kohlenstoff, anorganische hingegen sind kohlenstofffrei (mit wenigen Ausnahmen).

### **A.1. Anorganische Stoffe, Haupt und Nebenbestandteile**

Unter Anorganischen Stoffen, welche im Trinkwasser vorkommen können, sind vor allem Erdalkalimetalle, Alkalimetalle, Übergangsmetalle, Halbmetalle, Metalle und Schwermetalle zu verstehen.

Die Erdalkalimetalle umfassen Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium, Barium und Radium. Lediglich die zweiwertigen Kationen (positiv geladene Ionen) Calcium und Magnesium sind für die Beurteilung der Wasserqualität von Bedeutung. Diese zwei Hauptinhaltsstoffe stellen die Härte des Wassers dar, dazu siehe Punkt 2.1.5.10 (Merkl, 2008).

**Calcium** ist mengenmäßig der wichtigste Wasserinhaltsstoff. Es tritt gebirgsbildend als Kalk (Calciumcarbonat) und Dolomit (Calcium-Magnesiumcarbonat) auf. Calcium ist auch in sehr vielen Silicaten und Tonmineralien enthalten. Im Meerwasser sind Konzentrationen von etwa 410 mg/L vorzufinden (Kölle, 2010).

**Magnesium** kann entweder in Form von Mineralien (Karbonaten, Silikaten, Chloriden, Sulfaten) oder auch als gelöstes  $Mg^{2+}$  vorkommen. Es ist ein für den menschlichen Organismus wichtiges Metall. Hohe Konzentrationen können jedoch zu Durchfall und geschmacklichen Beeinträchtigungen des Trinkwassers führen (BAG, 2010).

**Natrium** ist im Rohwasser nur in geringen Konzentrationen vorhanden. Anthropogene Belastungen wie durch Tausalz, Abwasser aus Siedlungen und Industrie können zu einer Erhöhung des Natriumgehaltes im Grund- und Oberflächenwasser führen. Ab ca. 200 mg/L ist Natrium im Wasser geschmacklich bemerkbar. Eine erhebliche Erhöhung der Natriumkonzentration wird durch Ionenaustauschverfahren ausgelöst (BAG, 2010).

**Kalium** gehört zur Stoffgruppe der Alkalimetalle und kommt in unbelastetem Rohwasser aus der Verwitterung von Kaliumglimmer, Kalifeldspat oder Kaliumsalzen. Die Konzentrationen sind jedoch eher gering. Durch anthropogene Verschmutzungen, wie durch Düngemittel oder Deponiesickerwässer kann Kalium ins Grundwasser eingetragen werden (BAG, 2010).

**Eisen und Mangan** weisen viele Gemeinsamkeiten auf und treten daher auch häufig gemeinsam in natürlichen Wässern auf. In ihrer reduzierten Form sind Eisen und Mangan zweiwertig und wasserlöslich. In der oxidierten Form sind sie unlöslich, dabei erreicht das Eisen die dreiwertige Oxidationsstufe und das Mangan die vierwertige. Die Entfernung beider Metalle erfordert ähnliche Verfahren, daher kann die Enteisung und Entmanganung oft in einem einzigen Aufbereitungsschritt durchgeführt werden (Kölle, 2010).

Bei geringem Sauerstoffgehalt ist gelöstes Eisen im Wasser (Tiefenwässer) vorhanden, ist hingegen ausreichend Sauerstoff vorhanden oxidiert Eisen zu unlöslichen Verbindungen, wird trüb und setzt gelbbraune Flocken ab. Der Geschmack des Wassers wird dadurch tintig und unangenehm. Weiter macht eisenhaltiges Wasser die Wäsche fleckig und ist für einige Gewerbebetriebe ungeeignet. Eine Enteisung ist ab einem Gehalt von 0,05 mg/L empfohlen. Indem sich Eisen an organische Stoffe wie Huminsäure, Moorwässer bindet, wird die Enteisung erschwert (Mutschmann et al., 2007).

**Stickstoffverbindungen** im Wasser sind meist Folgen tierischer und menschlicher Verunreinigungen oder übermäßiger Düngung. Diese Stickstoffe oxidieren stufenweise und zwar von Ammonium über Nitrit zu Nitrat. Gesundheitlich gefährlich sind die Nitrate, diese können bei Säuglingen zu Blausucht und bei Erwachsenen zu Problemen im Verdauungstrakt führen (Kainz et al., 2012).

## **A.2. Anorganische Stoffe, Spurenstoffe**

**Aluminium** ist ein Leichtmetall und das häufigste Metall der Erdkruste. Es kommt in der Natur meist in Form von Aluminosilikaten oder Oxiden (Bauxit, Basalt, Granit, etc.) vor. Aluminium wird erst unter sauren Bodenbedingungen gelöst und gelangt somit ins Grundwasser. Für den Menschen ist das Element Aluminium in hohen Konzentrationen gefährlich. Es hemmt auch die Aufnahme von Magnesium und Eisen. In der Wasseraufbereitung stellt Aluminium ein gängiges Flockungsmittel dar, was wiederum die Konzentration im Wasser erhöhen kann (BAG, 2010).

**Arsen** kommt im Wasser in drei- und fünfwertiger Oxidationsstufe vor. As-(III) ist dabei problematischer, da es mobiler, toxischer und schwerer zu entfernen ist. Die Konzentration im Rohwasser stammt aus Lösungsprozessen im Grundwasserleiter. In Tiefengrundwässern ist durch die vorherrschenden Bedingungen Arsen in seiner fünfwertigen Form zu finden. Seit 2003 ist in Österreich ein deutlich niedrigerer Wert von 10 µg/L vorgeschrieben. Vor 2003 war der Grenzwert bei 50 µg/L (BAG, 2010) (Merkl, 2008) (TWV, 2001).

**Blei** ist ein Schwermetall und kommt in der Natur als Bleisulfid am häufigsten vor. Blei gilt als toxisch für viele Lebewesen. Im menschlichen Körper kann sich Blei anreichern und zu chronischen Giftwirkungen führen. Daher werden Bleirohre in der Trinkwasserversorgung nicht mehr eingebaut (Merkl, 2008).

**Bor** ist für die Wasserwirtschaft insbesondere wichtig, da in der Waschmittelindustrie Preborate als Bleimittel verwendet werden. Durch den Waschprozess gelangen die Borate ins Abwasser. In hohen Konzentrationen ist Bor gesundheitsschädlich (Kölle, 2010) (BAG, 2010).

**Cadmium** ist als sehr giftig für Mensch und Umwelt einzustufen und kommt in der Erdrinde selten vor. Es kann durch die Metallindustrie oder in Pestiziden und phosphathaltigen Mineräldüngern in die Umwelt gelangen (BAG, 2010).

**Chrom** ist ein lebenswichtiges Spurenelement und ist wegen seiner Unlöslichkeit harmlos. Chromsäure und Chromat (6-wertiges Chrom) sind hingegen schädlich. Chromsäure wirkt ätzend, Chromat ist sehr gut löslich und toxisch. Chrom wird in der Eisen- und Stahlveredelungsindustrie sowie Gerbereien verwendet. Chromverunreinigungen resultieren aus einer unsachgemäßen Entsorgung dieser Betriebsabwässer sowie Altlasten (BAG, 2010) (Merkl, 2008).

**Kupfer** ist zwar für den Menschen ein wichtiges Spurenelement und ist auch für den Erwachsenen eher gering toxisch, jedoch kann für Säuglinge, Kinder und Jugendlichen eine erhöhte Menge eine Gefahr darstellen. Die stabilste Form des Kupfers im Wasser ist das Cu(II). Durch Altlasten im Einzugsgebiet kann eine erhöhte Kupferkonzentration im Rohwasser auftreten. Sind im Verteilernetz Leitungen aus Kupfer verwendet worden, so kann bei stehendem Wasser und tiefen pH-Werten die Kupferkonzentration im Wasser stark ansteigen. Der Geschmack des Wassers verändert sich ab rund 2,5 mg/L und wird bitter (BAG, 2010).

**Nickel und Cobalt** weisen viele Gemeinsamkeiten auf und kommen auch oft gemeinsam in der Natur vor. Nickel kommt meist zweiwertig in gemischten Erzen (Sulfiden, Arseniden) vor. Es ist gut wasserlöslich in Verbindungen wie Nickelchlorid oder Nickelcarbonat. Nickel kann bei Hautkontakt Allergien auslösen, dies ist der Hauptgrund weshalb die TWV einen Grenzwert definiert (Vorsorgecharakter). Cobalt besitzt keine toxischen Wirkungen und wird daher auch in der Wasserversorgung nicht beachtet (Kölle, 2010) (BAG, 2010).

**Quecksilber** ist als einziges Metall unter normalen Bedingungen flüssig. Es wird durch Prozesse der Kohleverbrennung, Zementproduktion, Chlorherstellung oder der Goldgewinnung in die Umwelt eingetragen. Sowohl Quecksilber als auch Quecksilbergase sind für den Menschen problematisch und können über Wasser oder Nahrung aufgenommen werden. Methylquecksilber, welches von bestimmten Bakterien in belastetem Wasser produziert werden kann ist besonders problematisch. Es wirkt toxisch auf das Nervensystem und kann bei Säuglingen zu Entwicklungsstörungen führen (BAG, 2010).

**Selen** ist für den menschlichen Körper essentiell, jedoch sind erhöhte Werte als giftig einzustufen. Es kommt als Spurenbestandteil in Sulfiden vor und bei der Aufarbeitung von sulfidischen Erzen fällt es als Nebenprodukt an (Kölle, 2010).

### **A.3. Organische Stoffe**

Organische Stoffe im Trinkwasser beeinflussen den Geruch und Geschmack und fördern das Wachstum von Mikroorganismen (Gujer, 2007). Ein Eintrag organischer Stoffe ins Trinkwasser kann entweder natürlichen Ursprungs (Stoffwechselprozesse, biologischer Abbau, etc.) oder anthropogen bedingt (Abwasser, Industrie, Landwirtschaft, etc.) sein (BAG, 2010).

Aufgrund der sehr hohen Strukturvielfalt organischer Stoffe, ist eine Bestimmung der Einzelstoffe nur mit sehr hohem Aufwand verbunden. Für viele Zwecke ist daher eine Bestimmung der Gesamtkonzentration ausreichend. Hierbei werden ungelöste und gelöste organische Stoffe summarisch erfasst (Grohmann et al., 2011).

Die wichtigsten organischen Einzelstoffe im Trinkwasser sind:

- **Acrylamid** entsteht im Wasser durch den Einsatz von Polyacrylamiden als Flockungsmittel. Es ist krebserregend und mit gängigen Aufbereitungsverfahren aus dem Wasser nicht entfernbar. Daher ist die Konzentration im Reinwasser abhängig von der Dosierung des Flockungsmittels und damit auch zu kontrollieren (BAG, 2010).
- **Cyanid**: Als Anion der Blausäure kommen Cyanide in der Natur in Obstkernen oder auch in Bittermandeln vor. Technisch hergestelltes Cyanid wird vor allem in der Metallgewinnung und -Verarbeitung, für Kunstharze und als Pflanzenschutzmittel eingesetzt. Erhöhte Konzentrationen weisen auf industrielle Verschmutzung hin. Cyanid ist toxisch und kann zu einem Stillstand der Zellatmung kommen, jedoch können nicht tödliche Mengen im Körper entgiftet werden (Merkl, 2008).

- *Halogene:*

**Brom** kommt natürlicherweise in Salzen als Bromid vor. Bromat entsteht bei der Ozonierung von bromidhaltigen Wässern. Bromat gilt als krebserregend und ist daher im Trinkwasser unerwünscht. Bromat ist schwer aus dem Wasser entfernbar, daher sollte die Bildung von Bromat über eine kontrollierte Oxidation begrenzt werden. Bromorganische Verbindungen können auch bei der Chlorung gebildet werden. In der TWV sind explizit Bromoform, Dibromochlormethan und Bromdicklormethan erwähnt (BAG, 2010).

**Chlor** kommt in der Umwelt aufgrund seiner Reaktivität meist als Anion (Chlorid) vor. Chlorid ist im Rohwasser meist geogenen Ursprungs, sehr gut löslich, nicht toxisch und für den menschlichen Organismus wichtig. Erhöhte Konzentrationen von Chlorid im Wasser werden meist durch Abschwemmungen (Tausalz), Abwassereinleitungen und landwirtschaftlicher Düngungen verursacht. Chloridwerte über 200 mg/L sind geschmacklich auffallend (Salzgeschmack) und können korrosiv zerstörend auf Beton, Mörtel und metallische Werkstoffe (bereits ab 100 mg/L) wirken. Soll der Chloridgehalt im Wasser gesenkt werden, so sind aufwendige Entsalzungsanlagen notwendig. Bei erhöhten geogen verursachten Werten ist eine Mischung mit Rohwässern aus unterschiedlichen Fassungen denkbar. Chlor als Gas oder in gelöster Form (Hypochlorit) kommt als Desinfektionsmittel bei der Trinkwasseraufbereitung zum Einsatz (BAG, 2010) (Merkl, 2008) (Mutschmann et al., 2007).

- **Fluor** tritt in der Umwelt hauptsächlich als Fluorid in Form von Verbindungen in verschiedenen Mineralien auf. Fluor ist einerseits wesentliches Element für den Zahnschmelz andererseits kann es bei erhöhten Werten (> 2-4 mg/L) zu fleckigen Zahnschmelz und Störungen des Knochengewebes (Fluorose) kommen. Die Grenze zwischen nützlicher und schädlicher Menge an Fluor im Trinkwasser ist sehr eng. Tödlich kann Fluor erst bei Mengen von 70-140 mg/kg Körpergewicht wirken. Fluor und seine Verbindungen werden unter Anderem in Pestiziden, Fungiziden, Zahnpasten sowie Lacken verwendet (Merkl, 2008).

Folgende Summenparameter werden zur Kontrolle und Bewertung von Verfahren der Wasseraufbereitung herangezogen.

- **TOC** (Total Organic Carbon): Totaler Organischer Kohlenstoff [mg/L C]

Die vorhandenen gelösten und ungelösten organischen Stoffe werden vollständig oxidiert und das dabei entstandene Kohlenstoffdioxid wird mittels Infrarotspektrometer erfasst (Grohmann et al., 2011).

In der Trinkwasserverordnung ist der TOC als Indikatorparameter ohne Wertgrenze angegeben, jedoch mit dem Hinweis „ohne anormale Veränderung“. Meistens weisen erhöhte Werte auf eine verstärkte Vermehrung von Mikroorganismen und bei Desinfektionsverfahren auf unerwünschte Nebenprodukte hin (Mutschmann et al., 2007).

Der TOC erfasst den gesamten organisch gebundenen Kohlenstoff, definiert jedoch nicht die Art und Menge der einzelnen organischen Verbindungen (Höll, 2010).

- **DOC** (Dissolved Organic Carbon): Gelöster Organischer Kohlenstoff [mg/L C]  
Das Wasser wird über eine Membran (Ausschlussgrenze > 0,45 µm) filtriert und das filtrierte Wasser auf DOC untersucht. Danach wird der DOC wie der TOC bestimmt (Grohmann et al., 2011).  
Der DOC umfasst Stoffe wie Humin- und Fulvinsäuren, Fette, Proteine, Kohlenhydrate und weitere Stoffe mit unbekannter chemischer Struktur, welche meist Abba- und Stoffwechselprodukte sind. Organisch gelöste Stoffe sind für die Verfärbung des Wassers maßgebend. Hohe DOC-Gehalte resultieren meist aus Moorböden, Feuchtgebieten, Wäldern, Gebieten mit starkem Algenwachstum und anderen (BAG, 2010).
- **AOC** (*Assimilable Organic Carbon*): *Assimilierbarer Organischer Kohlenstoff*  
Der AOC ist eine Fraktion des DOC und ist die Haupt-Nahrungsquelle für Mikroorganismen im Wasser. Dadurch beeinflusst er die mikrobiologische Stabilität des aufbereiteten Wassers wesentlich und ist damit direkter Indikator für die Wiederverkeimung von Wasser (BAG, 2010).
- **POC** (*Particulate Organic Carbon*): *Partikuläre Organische Kohlenstoff*  
Die Differenz zwischen TOC-DOC wird als POC bezeichnet (Gujer, 2007).
- **SAK**: *Spektraler Absorptions-Koeffizient [m<sup>-1</sup>]*  
Der SAK kann als Orientierungshilfe für eine Verunreinigung des Wassers durch gelöste organische Stoffe sein.
- **AOX**: *Adsorbierbare Organisch gebundene Halogene*  
Stellt als Summenparameter die an Aktivkohle adsorbierbaren organischen Chlor-, Brom- und Iodverbindungen dar. Es werden toxische als auch unschädliche Belastungen summarisch erfasst und damit kann keine toxikologische Bedeutung getroffen werden. Anthropogen beeinflusste Einträge stammen aus industriellen Abwässern, Altlasten und halogenhaltiger Pestizide (BAG, 2010).

### **Huminstoffe:**

Huminstoffe sind organische Moleküle uneinheitlicher Struktur und bestehen aus den Hauptkomponenten Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff sowie Stickstoff und Schwefel. Sie sind die organischen Restprodukte einer unvollständigen Mineralisierung von Biomasse durch mikrobiellen Abbau. Die mikrobielle Aktivität und damit der Abbau von Biomasse ist in erster Linie abhängig vom vorherrschenden Klima. Bei niedrigen Temperaturen ist der mikrobielle Abbau geringer als der Anfall von organischen Stoffen, daher sind Huminstoffe in kälteren Regionen (Wälder der Nordhalbkugel, arktische Tundra) öfters vorzufinden als in warmen Gebieten. Huminstoffe sind zwar gesundheitlich unbedenklich, bringen jedoch eine Reihe von negativen Sekundärwirkungen mit sich. Je nach Huminstoffgehalt kann eine gelb-braune Färbung des Wassers auftreten, welche ein ästhetisches Problem darstellt und von den Verbrauchern als unreines Wasser empfunden wird. Bei Aufbereitungs- und Desinfektionsverfahren spielen Huminstoffe eine große Rolle, insbesondere weil unerwünschte Nebenprodukte anfallen. Huminstoffe können mit zahlreichen Schwermetallen komplexe Bindungen eingehen oder durch ihre sorptive Eigenschaft hydrophobe organische Substanzen an sich binden. Der Chemiker Egil Gjessing bezeichnet die Huminstoffe daher auch als „Staubsauger“ im aquatischen Bereich. Zwar sind Huminstoffe unbedenklich, sie werden jedoch durch Anlagerungen und Einbindungen von bedenklichen Substanzen zu problematischen Stoffen im Wasser (Fettig et al., 2013).

#### **A.4. Mikrobiologische Stoffe**

Die mikrobiologischen Prozesse sind sehr vielfältig. Das Grundwasser bietet diversen Kleinlebewesen nur begrenzte Existenzmöglichkeiten, abhängig von ihrer Anpassungsfähigkeit. Vorwiegend kommen Bakterien, die organische Inhaltstoffe, aber auch Nitrate und Sulfate zersetzen können, im Rohwasser vor. Ein biologisch stabiles Wasser bzw. ein Wasser mit einem geringen Wiederverkeimungspotential ist jenes, welches im Versorgungsnetz keine Vermehrung von Mikroorganismen erlaubt, sprich keine Nährstoffe für Mikroorganismen bietet (Höll, 2010).

Nachfolgend sind die wichtigsten mikrobiologischen Parameter und Indikatorparameter beschrieben.

##### **Escherichia Coli:**

Das Bakterium *Escherichia Coli* ist im menschlichen Darm in hoher Konzentration vorhanden und unterstützt die Verdauung. Es ist ein ungefährliches Bakterium und wird mittels Fäkalien ausgeschieden. Ist dieses Bakterium jedoch in Trinkwasser vorhanden so deutet es daraufhin, dass das Wasser kürzlich mit Fäkalien verunreinigt worden ist und andere krankheitserregende (pathogene) Keime im Trinkwasser vorhanden sein können (Gujer, 2007).

##### **Enterokokken:**

Enterokokken stellen einen Teil der normalen Dickdarmflora (griech. Enteron = Darm) des Menschen und anderen Säugetieren sowie von Vögeln dar. Enterokokken sind kugelförmige Bakterien (Kokken). Das Vorkommen dieser Bakterien im Wasser gibt den Hinweis auf eine Verschmutzung mit Fäkalien und deuten gleich wie das Bakterium *Escherichia Coli* auf eine mögliche Kontamination des Wassers mit anderen Krankheitskeimen (AGES, 2011).

##### ***Pseudomonas aeruginosa*:**

*P. aeruginosa* ist ein Krankenhauskeim, welcher überall vorkommen kann. Er kann in Oberflächengewässern, Grundwasser und Böden auftreten. Typische Standorte dieses stabförmigen Bakteriums sind Grenzflächen zwischen Wasser und Luft, wie Wasserhähne, Duschköpfe, Waschbecken sowie Sand- und Aktivkohlefilter. Die Anzahl von *P. aeruginosa* im Trinkwasser ist eher gering, jedoch bei Vorhandensein von kleinsten Spuren von organischen Substanzen kann sich dieses Bakterium schnell in Trinkwasser vermehren. Ideale Bedingungen herrschen bei Temperaturen von 15 °C bis 30 °C (Roeske, 2007).

##### **KBE**

Die Anzahl von Mikroorganismen in einer Wasserprobe, welche auf bestimmten Nährböden wachsen und dabei Kolonien bilden wird als Koloniezahl bezeichnet. Diese wird in sogenannten Kolonie-bildenden Einheiten angegeben. Dabei gibt es zwei unterschiedliche Bebrütungstemperaturen. Bei Temperaturen von 22 °C werden die typischen Umweltbakterien und bei Bebrütungstemperaturen von 37 °C werden die hygienisch relevanten Arten erfasst. Anfangs diente die Koloniezahl als Funktionskontrolle von Langsamsandfiltern, mittlerweile wird die Koloniezahl als wichtiger Indikator für eine mögliche Wiederverkeimung im Trinkwassernetz herangezogen. Da die Koloniezahl von dem Nährmedium wesentlich abhängt, ist bei der Bestimmung der KBE immer die Angabe des verwendeten Nährmediums notwendig. Erst dann kann eine fachgerechte Interpretation der Ergebnisse erfolgen (Grohmann et al., 2011).

### **Coliforme Bakterien**

Zu den coliformen Bakterien zählen unterschiedliche Gattungen unter anderem auch *Escherchia Coli*, welche auch die einzige Gattung ist, der ein fäkaler Ursprung eindeutig zugeschrieben werden kann. Alle anderen Gattungen kommen auch in der Umwelt vor. Daher sind die coliformen Bakterien nur eingeschränkt als Indikator für fäkale Verunreinigungen heranzuziehen. Das Vorkommen dieser Bakterien jedoch zeigt allgemeine Mängel in der Aufbereitung und im Leitungsnetz an. Eine Vermehrung der coliformen Bakterien kann auch im Trinkwasserleitungsnetz bei genügend Nährstoffen und Temperaturen über 15 °C vorkommen (Grohmann et al., 2011).

### ***Clostridium perfringens***

Die Vertreter der Gattung *Clostridium* sind sporenbildende Anaerobier und reduzieren Sulfat. Die Effektivität von Desinfektionsverfahren gegen widerstandsfähigen Krankheitserregern (z.B.: Cryptosporidien) kann mithilfe von Clostridien kontrolliert werden. Weiters können Clostridien aufgrund ihrer Umweltresistenz lang zurückliegende Verunreinigungen anzeigen. Clostridien kommen im Boden und Sedimenten von nährstoffreichen Seen und Flüssen vor. Das Bakterium *Clostridium perfringens* kann beim Menschen als Krankheitserreger wirksam werden und Wundinfektionen sowie Nahrungsmittelvergiftungen auslösen (Grohmann et al., 2011).

### **A.5. Gase**

**Sauerstoff** ist das wichtigste Oxidationsmittel im Wasser. Seine Konzentration bestimmt welche Art von Leben im Wasser vorherrscht. Sauerstoff lässt sich nur schlecht im Wasser lösen und ist stark abhängig von der Temperatur des Wassers und vom Luftdruck (Gujer, 2007).

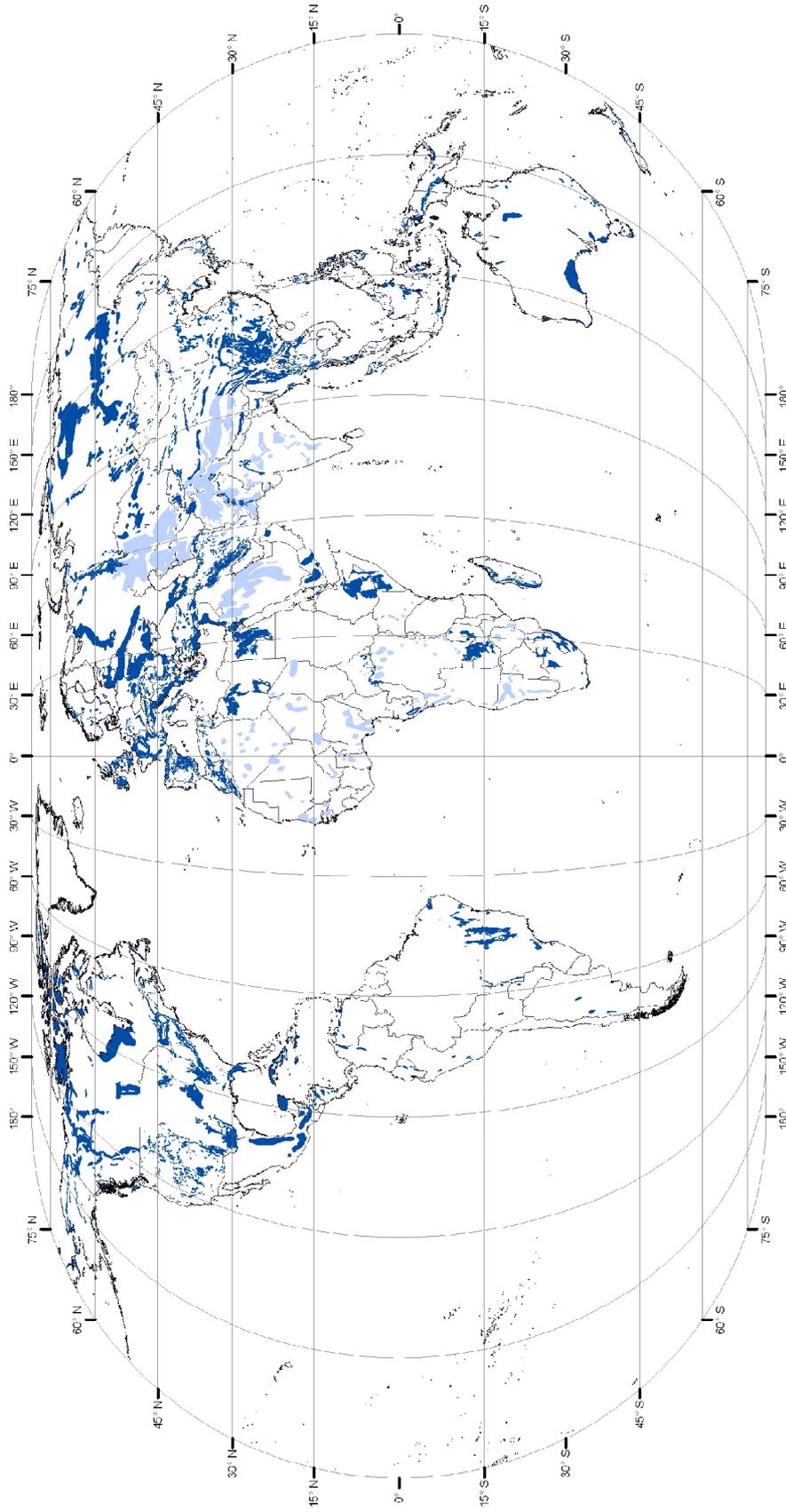
**Kohlenstoffdioxid** kommt in der Atmosphäre und der Bodenluft vor, wird durch Verwitterung herausgelöst und gelangt ins Wasser, dort liegt es dann als Kohlensäure vor. Weiter kann Kohlenstoffdioxid durch Abbau organischer Stoffe entstehen. Die Löslichkeit von Calciumcarbonat wird stark von der Konzentration an freier Kohlensäure bestimmt, jedoch auch von der Temperatur. Es ist sinnvoll die zulässige Calcitlösekapazität nicht zu überschreiten und den geforderten pH-Wert nicht zu unterschreiten. Treten unzulässige Abweichungen auf, so ist eine Entsäuerung des Wassers notwendig (Mutschmann et al., 2007).

### **A.6. Radioaktive Stoffe**

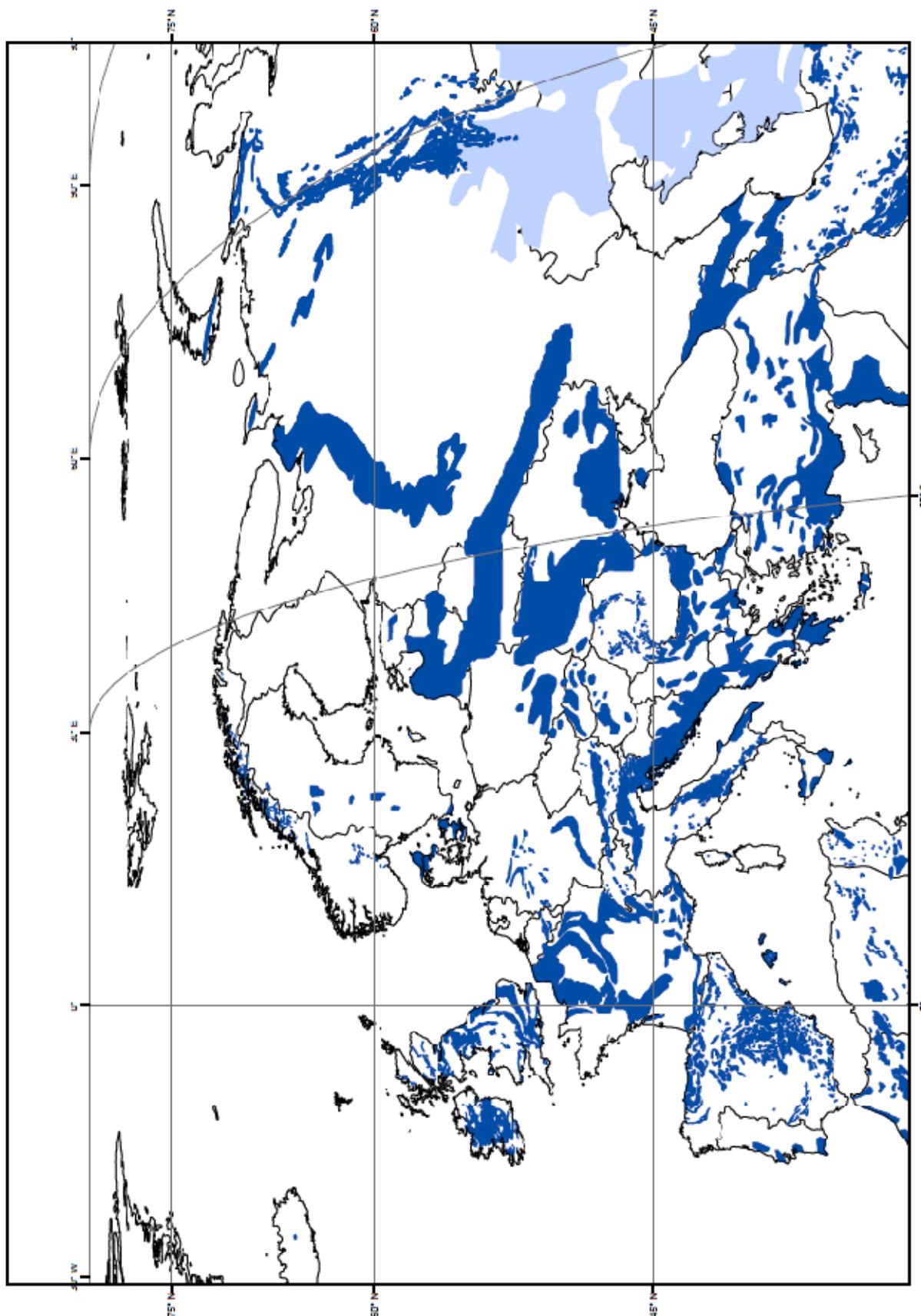
Das radioaktive **Uran** kommt in der Erdkruste ganz natürlich vor und kann Konzentrationen von wenigen µg/L bis zu 500 µg/L aufweisen. Durch Auswaschungsprozesse kann es ins Grundwasser gelangen. Die Gefahr einer erhöhten Urankonzentration ist nicht nur die Radioaktivität, vielmehr kommt die Gefahr des Urans im Trinkwasser aufgrund seiner Nierentoxizität. Das Edelgas **Radon** kann auch natürlicherweise im Wasser vorkommen, vor allem in granitischen Gebieten. Die Radionuklide **Tritium** und **Kohlenstoff14** entstehen in höheren Schichten der Atmosphäre und können durch den Niederschlag in den Wasserkreislauf gelangen (Merkl, 2008).

## Anhang B – Karstgebiete

Welt (Download der Karte: University of Auckland (UoA, 2013))

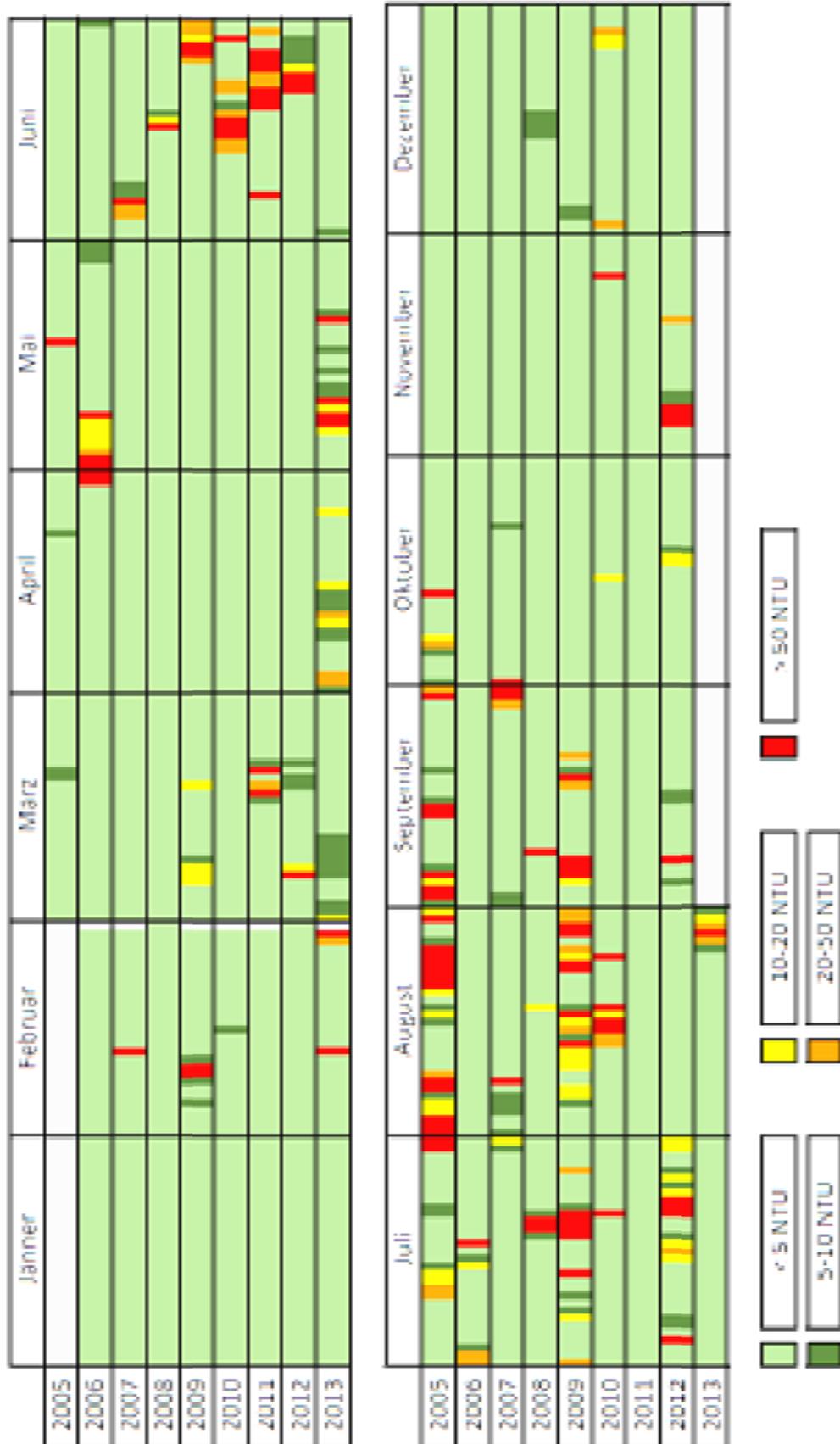


Europa (Download der Karte: University of Auckland (UoA, 2013))

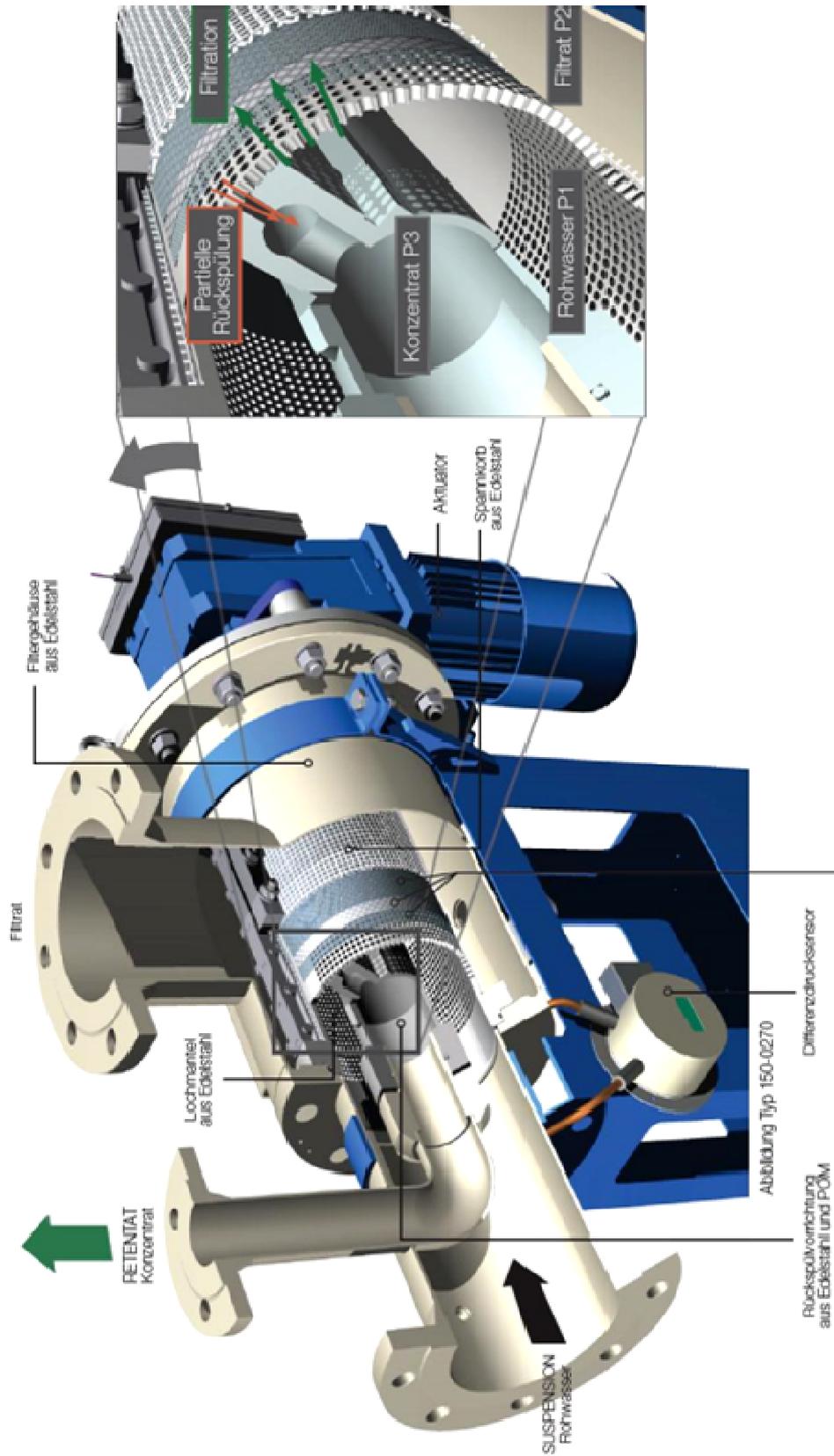


## Anhang C – Trübung Rohwasser Baumühlquelle

Maximale tägliche Trübungen zwischen März 2005 und August 2013  
Rohwasser Baumühlquelle (Weiz)



## Anhang D – Aufbau Hawle Optifi



# Anhang E – Partikelmessung

