

# **TRINKWASSERAUFBEREITUNGSANLAGEN FÜR HUMINSTOFFREICHE WÄSSER**

***„ABSCHÄTZUNG VON INVESTITIONS- UND BETRIEBSKOSTEN AM  
BEISPIEL DER WASSERAUFBEREITUNGSANLAGE  
HEIDENREICHSTEIN“***

Masterarbeit zum Erwerb des  
akademischen Titels Diplomingenieur der  
Studienrichtung Wirtschaftsingenieurwesen-Bauing.wiss.

**MARKUS RIESER**

Verfasst am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und  
Landschaftswasserbau der Technischen Universität Graz

Betreuer der Masterarbeit:  
Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ernst Peter Kauch

Mitbetreuender Assistent:  
Dipl.-Ing. Dr. techn. Jörg Kölbl

Graz, Mai 2009

## **ERKLÄRUNG**

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

Graz, Mai 2009

.....  
(Markus Rieser)

## **DANKSAGUNG**

In erster Linie gilt mein Dank meinen Eltern Maria und Peter Rieser, die mir mein Studium ermöglicht und mich über viele Jahre in jeglicher Art und Weise unterstützt haben.

Ein weiterer Dank geht an meine Oma Aloisia Rieser, die mir finanziell in jeder nur erdenklichen Art und Weise unter die Arme gegriffen hat.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Jörg Kölbl bedanken, der mir als Betreuer dieser Masterarbeit sehr hilfreich zur Seite gestanden ist und stets bemüht war, auf meine vielen Fragen Antworten zu finden. Seine Erfahrungen und Ratschläge waren für mich sehr wertvoll und haben wesentlich zur Verbesserung dieser Arbeit beigetragen.

Besonderer Dank geht an Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ernst Peter Kauch für die Begutachtung meiner Masterarbeit.

Herzlichst bedanken möchte ich mich bei Frau Mag. Ilma Moser für die Korrekturlesung meiner Arbeit.

Ein großes Anliegen ist es mir auch, mich bei meiner Freundin Tina Moser für ihren seelischen Beistand und ihre stets aufmunternden Worte in den vergangenen Jahren meines Studiums zu bedanken.

Abschließend möchte ich mich noch, um niemanden zu vergessen, bei all jenen bedanken, die direkt oder auch indirekt zur Entstehung dieser Masterarbeit beigetragen haben und mir durch ihre Unterstützung eine Hilfe waren.

## Kurzfassung

In einem Pilotprojekt in Heidenreichstein (nördliches Waldviertel, NÖ) für huminstoffreiche und von Oberflächenwasser beeinflusste Wässer werden Optimierungsmöglichkeiten an einer bestehenden Aufbereitungsanlage untersucht. Durch den Einsatz der Ultrafiltration (UF) soll eine zusätzliche Sicherheitsstufe im Aufbereitungsverfahren zur Verbesserung der hygienischen Sicherheit erprobt werden. Um das gewünschte Ziel und Ergebnis der Aufbereitung zu erreichen, werden während des gesamten Projektablaufs verschiedenste Versuchsanordnungen und Anlageneinstellungen untersucht. Die Versuchsanordnung, die den gewünschten Erfolg bringt, besteht aus: Verrieselung über Füllkörper, Flockungsmitteldosierung mittels Eisen-(III)-Chlorid, Flockenfiltration und Enteisung über Sandfilter I, Entmanganung über Sandfilter II, Entsäuerung über Sandfilter III, Ultrafiltration und Desinfektion mittels UV-Bestrahlung.

Der Hauptteil der Arbeit besteht aus einer Investitions- und Betriebskostenabschätzung für kleine und mittlere Aufbereitungsanlagen mit einer maximalen Auslegungswassermenge von 15 l/s, sowie einer Variantenuntersuchung für die Aufbereitungsanlage der Stadtgemeinde Heidenreichstein mit einer maximalen Auslegungswassermenge von 6 l/s. Die Abschätzung der Betriebskosten erfolgt größtenteils durch die tatsächlichen Projektdaten. Die Investitionskosten werden anhand von Kostenkurven, Referenzprojekten und persönlichen Informationen abgeschätzt. Als maßgebliche Kosten für den Investor (Stadtgemeinde Heidenreichstein) werden einerseits die Betriebskosten und andererseits die Kapitalkosten berechnet und als €/m<sup>3</sup> aufbereitetes Wasser dargestellt. Mittels Kostenbarwertmethode wird über einen Untersuchungszeitraum von 40 Jahren der Amortisationszeitpunkt der jeweiligen Variante bestimmt, um festzustellen, welche Auslegungswassermenge am wirtschaftlichsten ist bzw. auch aus versorgungstechnischer Sicht am besten ist. Den einzelnen Varianten wird die Variante 0 (100 % Fremdbezug = Schließen des Wasserwerkes) gegenübergestellt, um aufzeigen zu können, ab welchem Zeitpunkt (= Amortisationszeitpunkt) sich die Wiederinbetriebnahme der eigenen Wasseraufbereitung rentiert. Nach Vergleich aller Ergebnisse erscheint unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen, auch von (unternehmens-)politischen Gesichtspunkten, die Variante 2 mit einer Auslegungswassermenge von 4 l/s am einfachsten realisierbar und ist, sowohl aus wirtschaftlicher Sicht, wie auch hinsichtlich der Versorgungssicherheit, die attraktivste Lösung für die Stadtgemeinde Heidenreichstein.

## Abstract

In the pilot project of Heidenreichstein, which is situated in the northern part of Waldviertel, Lower Austria, some opportunities for optimization of the existing concentration plant for waters are tested. The waters in this part of the country are rich in humic substances and surface water. By using the ultrafiltration the next security level should be put to the test in order to improve the whole sanitary safety. For this purpose different test agreements and construction adjustments are examined. The most successful test arrangement consists of irrigation through support medium, dosage of flocculant in form of iron-III-chloride, flocculation filtration and de-ironing through sand filter I, demanganization through sand filter II, deacidification through sand filter III, ultrafiltration and disinfection through UV-irradiation.

The main part of this work concentrates on estimation of investment and operating costs for small and middle concentration plants with a maximum construction of water quantity of 15 l/s as well as variants checking for the concentration plant in Heidenreichstein with a maximum construction of water quantity from 6 l/s. The estimation of operating costs results from the real project data. The investment costs are evaluated by means of cost curves, reference projects and background information. The costs relevant for the investor (township Heidenreichstein) are on the one hand the operating costs and on the other hand the costs of capital. They are presented in €/m<sup>3</sup> of purified water. The cash method is used in order to find out the amortization point of the respective variant (the sample period: 40 years) so that the best solution for the volume of water in terms of technical supply and profitability can be found out. The variant 0 (100 % outsourcing = the water works will be closed) is opposed to some others. The point of amortization will be found out so one can say when the own water preparation is profitable again. After all results are compared and master conditions are considered, the variant 2 seems to be the most feasible and attractive solution for Heidenreichstein from the economical and technical point of view.

<b>1.</b>	<b>AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>ALLGEMEINE GRUNDLAGEN .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Trinkwasser .....</b>	<b>2</b>
2.1.1	Trinkwassergewinnung .....	2
<b>2.2</b>	<b>Trinkwasserverordnung (TWV).....</b>	<b>3</b>
2.2.1	Anforderungen .....	3
2.2.2	Eigenkontrolle .....	3
2.2.3	Überwachung.....	4
2.2.4	Parameter- und Indikatorparameterwerte.....	4
<b>2.3</b>	<b>Trinkwasseraufbereitung .....</b>	<b>6</b>
2.3.1	Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung.....	6
2.3.2	Technische Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung.....	7
2.3.3	Wirtschaftliche und betriebliche Aspekte .....	8
2.3.4	Grenzen der Wasseraufbereitungstechnik .....	9
2.3.5	Gründe für die Trinkwasseraufbereitung .....	9
2.3.6	Aufgabe der Trinkwasseraufbereitung .....	10
2.3.7	Verfahren der Trinkwasseraufbereitung .....	10
2.3.7.1	Physikalische Verfahren .....	12
2.3.7.1.1	Sieben .....	12
2.3.7.1.2	Rechen .....	13
2.3.7.1.3	Sedimentation.....	14
2.3.7.1.4	Flotation.....	15
2.3.7.1.5	Flockung .....	16
2.3.7.1.6	Gasaustausch / Belüftung.....	19
2.3.7.1.7	Filtration.....	20
2.3.7.1.8	Membranverfahren.....	23
2.3.7.1.9	Adsorption .....	24
2.3.7.1.10	Grundwasseranreicherung .....	24
2.3.7.2	Chemische Verfahren.....	25
2.3.7.2.1	Fällung.....	25
2.3.7.2.2	Oxidation .....	25
2.3.7.2.3	Neutralisation.....	26
2.3.7.2.4	Ionenaustausch .....	27
2.3.7.3	Biologische Verfahren .....	27
<b>3.</b>	<b>MEMBRANTECHNOLOGIE .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>Betriebsweise und Einleitung.....</b>	<b>30</b>
3.1.1	Dead-End-Betrieb .....	31

3.1.2	Cross-Flow-Betrieb .....	32
<b>3.2</b>	<b>Membranverfahren .....</b>	<b>33</b>
3.2.1	Mikrofiltration .....	34
3.2.1.1	Mikrofiltrationsmembranen .....	34
3.2.1.2	Betriebsbedingungen .....	34
3.2.2	Ultrafiltration .....	35
3.2.2.1	Technische Grundlagen .....	35
3.2.2.2	Ultrafiltrationsmembranen .....	36
3.2.3	Nanofiltration.....	37
3.2.3.1	Trennverhalten von Nanofiltrationsmembranen .....	37
3.2.4	Umkehrosmose.....	38
3.2.4.1	Trennverhalten von Umkehrosmosemembranen.....	38
3.2.5	Elektrodialyse .....	39
<b>4.</b>	<b>PILOTPROJEKT HEIDENREICHSTEIN.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>Aufbereitungskonzept.....</b>	<b>41</b>
4.1.1	Verrieselung über Füllkörper (Belüftung).....	43
4.1.2	Flockungsmitteldosierung (Eisen-(III)-Chlorid) .....	43
4.1.3	Flockenfiltration und Enteisenung über Sandfilter I .....	44
4.1.4	Entmanganung über Sandfilter II.....	45
4.1.5	Entsäuerung über Akdolitfilter (Sandfilter III).....	46
4.1.6	Ultrafiltration (UF) .....	47
4.1.7	Desinfektion (UV-Bestrahlung).....	51
<b>4.2</b>	<b>Wirkungsgrad der Aufbereitungsanlage.....</b>	<b>52</b>
<b>5.</b>	<b>ABSCHÄTZUNG VON INVESTITIONS- UND BETRIEBSKOSTEN.....</b>	<b>56</b>
<b>5.1</b>	<b>Allgemeine Gesamtkostenschätzung für kleine und mittlere Trinkwasseraufbereitungsanlagen.....</b>	<b>57</b>
5.1.1	Kapitalkosten .....	57
5.1.2	Betriebskosten .....	58
5.1.3	Variantenvergleich .....	59
<b>5.2</b>	<b>Gesamtkostenschätzung für die Trinkwasseraufbereitungsanlage in Heidenreichstein.....</b>	<b>60</b>
5.2.1	Kapitalkosten .....	61
5.2.2	Betriebskosten .....	62
5.2.3	Gesamtkosten am Beispiel der Variante 2 (4 l/s) .....	63
5.2.3.1	Berücksichtigte Kosten mit Förderung für Variante 2 (4 l/s) .....	64

5.2.3.1.1	Kapitalkosten .....	64
5.2.3.1.2	Betriebskosten .....	70
5.2.3.1.3	Gesamtkosten für Variante 2 (4 l/s).....	74
5.2.4	Variantenvergleich .....	75
<b>6.</b>	<b>KOSTENBARWERTMETHODE .....</b>	<b>77</b>
6.1.1	Allgemeines und Definition.....	77
6.1.2	Berechnung .....	77
6.1.3	Amortisationszeitpunkt für die Trinkwasseraufbereitungsanlage in Heidenreichstein .....	80
<b>7.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>89</b>
<b>8.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>91</b>
<b>9.</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>95</b>
<b>10.</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>97</b>
<b>ANHANG .....</b>		<b>98</b>
<b>A 1</b>	<b>Kostenberechnung für kleine und mittlere Trinkwasseraufbereitungsanlagen (4 Varianten).....</b>	<b>99</b>
<b>A 2</b>	<b>Kostenberechnung für Heidenreichstein (3 Varianten).....</b>	<b>103</b>
A 2.1	Kostenberechnung ohne Förderung (tabellarisch).....	103
A 2.1.1	Kostenbarwertberechnung ohne Förderung (tabellarisch) .....	110
A 2.2	Kostenberechnung mit Förderung (tabellarisch) .....	113
A 2.2.1	Kostenbarwertberechnung mit Förderung (tabellarisch).....	120

## Abkürzungsverzeichnis

BGBI.	Bundesgesetzblatt
CKW	Chlorkohlenwasserstoffe
Da	Dalton = Maß für die Abscheidefähigkeit einer Membran
DOC	dissolved organic carbon (gelöster organischer Kohlenstoff)
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches
Flux	Filtratmenge je Stunde bezogen auf die Membranfläche
LMG	Lebensmittelgesetz
LMSVG	Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz
ÖVGW	Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach
SAK	Spektraler Absorptionskoeffizient
TOC	total organic carbon (gesamter organischer Kohlenstoff)
TWV	Trinkwasserverordnung
UF	Ultrafiltration
UVT	UV-Transmission
WVU	Wasserversorgungsunternehmen

## 1. AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

Die Zahl der Trinkwasseraufbereitungsanlagen mittels Membranfiltration ist in den vergangenen Jahren weltweit stark angestiegen und für die Zukunft ist zu erwarten, dass Membrananlagen unterschiedlicher Technologie noch stärker an Bedeutung gewinnen werden. Diese Art der Trinkwasseraufbereitung kommt in Österreich noch kaum zum Einsatz, was darauf zurückzuführen ist, dass die Wasserqualität hier zu Lande im Allgemeinen von bester Qualität ist. Dennoch gibt es auch hier Anwendungsmöglichkeiten, die zum Teil allerdings noch näher untersucht werden müssen.

Diese Masterarbeit beschäftigt sich unter anderem mit Untersuchungen, welche im Rahmen eines Pilotprojektes im Waldviertel (Stadtgemeinde Heidenreichstein) durch das Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau (TU Graz), das Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz des Departments für Wasser-Atmosphäre-Umwelt (BOKU Wien) sowie das Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik (Universität der Bundeswehr München) durchgeführt werden. In der Masterarbeit wird ein Teilbereich dieses Projektes, nämlich die Abschätzung der Höhe der Investitions- und Betriebskosten für die Versuchsanlage in Heidenreichstein, näher untersucht.

In diesem Pilotversuch in Heidenreichstein geht es um eine Verbesserung der hygienischen Sicherheit durch Optimierungen an einer bestehenden Aufbereitungsanlage, da die Wässer im Waldviertel durch niedrigen pH-Wert, hohen Eisen- und Mangangehalt, hohe Oxidierbarkeit, hohen SAK (Spektraler Absorptionskoeffizient) und hohen Huminstoffgehalt gekennzeichnet sind. Zudem kommt es häufig zu Beeinflussungen durch Oberflächenwässer, was immer wieder hohe mikrobiologische Belastungen nach sich zieht. Bisher kam als gängiges Desinfektionsverfahren eine Chlordioxid-Dosierung zum Einsatz, wobei aber die Gefahr besteht, dass sich aus den Huminstoffen Substrate für Nach- bzw. Wiederverkeimungen im Rohrnetz bilden. Von der Behördenseite wurde bereits auf dieses Risiko hingewiesen. Für Aufbereitungsanlagen solcher von Oberflächenwasser beeinflussten Wässer soll durch den Einsatz der Ultrafiltration (UF) eine zusätzliche Sicherheitsstufe im Aufbereitungsverfahren zur Verbesserung der hygienischen Sicherheit untersucht werden. Filtration ist das einzig wirksame Verfahren zur Abtrennung von Parasiten (KRAUSE S., 2009). Ebenso wird eine technische und betriebswirtschaftliche Analyse hinsichtlich der Anwendbarkeit des Verfahrens der Ultrafiltration an kleinen Wasseraufbereitungsanlagen vorgenommen.

Ziel dieser Arbeit ist eine Abschätzung der Höhe der Investitions- und Betriebskosten in Abhängigkeit von der Anlagengröße. Weiters erfolgt das Beschreiben und Recherchieren verschiedener Membrananlagen (Mikro-, Ultra- und Nanofiltration, Umkehrosmose bzw. Elektrodialyse), deren Einsatzbereiche (Elimination gewisser Stoffe) und erforderlichen Rahmenbedingungen (z.B. Rohwasserqualität).

## **2. ALLGEMEINE GRUNDLAGEN**

Die folgenden Kapitel sollen einen allgemeinen Überblick über das Trinkwasser, dessen Aufbereitung (welche Verfahren dienen welchem Anwendungszweck) und die rechtlichen Aspekte (Trinkwasserverordnung - TWV) geben.

### **2.1 Trinkwasser**

Unter Trinkwasser versteht man Süßwasser mit einem so hohen Grad an Reinheit, dass es für den menschlichen Gebrauch, insbesondere zum Trinken und zur Zubereitung von Speisen, geeignet ist. Zudem müssen technische Anforderungen (keine Aggressivität gegen Rohrleitungen, Vermeidung von Ablagerungen) gewährleistet sein. Im Trinkwasser dürfen keine krankheitsverursachenden (pathogenen) Mikroorganismen enthalten sein. Ebenso sollte eine Mindestkonzentration an Mineralstoffen enthalten sein. Die häufigsten in Wasser gelöst enthaltenen Mineralstoffe sind Kalzium-, Magnesium-, Karbonat-, Hydrogenkarbonat- und Sulfat-Ionen. Deren Konzentrationen werden summarisch als Härtegrad des Wassers angegeben (Internet: WIKIPEDIA, Trinkwasser, 2008).

#### **2.1.1 Trinkwassergewinnung**

In Mitteleuropa wird Trinkwasser zumeist aus Grundwasser gewonnen. Dies erfolgt mittels Quellen (Orte an denen Grundwasser natürlich austritt) oder Brunnen. Eine andere Möglichkeit der Trinkwassergewinnung, die weltweit überwiegend verwendet wird ist die Verwendung von Oberflächenwasser. Hier wird das Wasser direkt aus Gewässern entnommen oder als Uferfiltrat (Brauch- oder Trinkwasser aus Brunnen in Gewässernähe) zu Trinkwasser aufbereitet.

Um in wasserarmen Küstenländern an Trinkwasser zu gelangen, müssen in Extremfällen auch energieintensive Meerwasserentsalzungsanlagen zur Trinkwasseraufbereitung zum Einsatz kommen (Internet: WIKIPEDIA, Trinkwasser, 2008).

Folgende Anforderungen werden an einwandfreies Trinkwasser gestellt:

- nicht gesundheitsschädigend
- geschmacklich neutral
- frei von Krankheitserregern
- farblos, geruchlos
- geringer Gehalt an gelösten Stoffen (mit Ausnahme der Wasserhärte)

## **2.2 Trinkwasserverordnung (TWV)**

BGBl. II - ausgegeben am 21. August 2001 - Nr. 304: Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TWV) regelt die Qualitätsanforderungen, die an das Wasser für den menschlichen Gebrauch gestellt werden, mit der Ausnahme von Mineralwässern (TWV, 2001).

Das österreichische Lebensmittelgesetz (LMG) 1975, fester Bestandteil der TWV, wurde 2006 durch das neue Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz (LMSVG) abgelöst.

### **2.2.1 Anforderungen**

Es muss darauf geachtet werden, dass „*Wasser für den menschlichen Gebrauch*“ für den Verzehr und die Verwendung geeignet sein muss, ohne die menschliche Gesundheit zu gefährden. Es muss also frei sein von Parasiten, Mikroorganismen und Stoffen jedweder Art, die die menschliche Gesundheit gefährden können. Die definierten Anforderungen an das Wasser müssen den Mindestanforderungen (denen in Anhang I Teile A und B der TWV, sowie denen in Anhang I Teil C der TWV) entsprechen. Die einwandfreie Qualität muss auch an sämtlichen Entnahmestellen eines Verteilungsnetzes gewährleistet sein.

Diese Verordnung wird wirksam bei Wasser, das in Flaschen oder in andere Behälter gefüllt in Umlauf gebracht wird, am Punkt der Abfüllung. Hingegen greift diese Verordnung bei Lebensmittelbetrieben an der Stelle der Verwendung des Wassers im Betrieb bzw. bei Wasser aus Tankfahrzeugen an der Entnahmestelle am Tankfahrzeug (TWV, 2001).

### **2.2.2 Eigenkontrolle**

Laut § 5 der TWV hat der Betreiber einer Wasserversorgungsanlage

1. die Wasserversorgungsanlage dem Stand der Technik zu errichten und in ordnungsgemäßem Zustand zu halten, sodass eine negative Beeinflussung des Wassers abgehalten werden kann. Deshalb sind solche Anlagen von fachlich geschulten Personen zu errichten und es müssen stets Aufzeichnungen über Wartungsarbeiten, Planungsunterlagen und Baupläne geführt werden.

2. Wasseruntersuchungen von hierzu berechtigten Personen durchführen zu lassen.

3. die Proben bei

a) Wasserversorgungsanlagen  $\leq 10 \text{ m}^3$  Wasser pro Tag (siehe Anhang II Teil B der TWV; Anmerkung 2) an Stellen entnehmen zu lassen, die eine Beurteilung der Wasserqualität an den in § 4 genannten Stellen ermöglichen.

b) Wasserversorgungsanlagen  $> 10 \text{ m}^3$  Wasser pro Tag (siehe Anhang II Teil B der TWV; Anmerkung 2) von der zuständigen Behörde an den festgelegten Probenentnahmestellen entnehmen zu lassen.

4. Gutachten und Befunde von den (gemäß Anhang II der TWV) durchgeführten Untersuchungen eilends an die zuständige Behörde weiterzuleiten und aufgrund von Kontrollen fünf Jahre lang aufzubewahren. Ausgenommen davon sind Gutachten und Befunde der Vollanalyse, die zehn Jahre aufzubewahren sind.

5. bei Untersuchungen (gemäß den Z 2 und 3 der TWV), wo die Nichteinhaltung der mikrobiologischen Anforderungen (gemäß Anhang I Teil A der TWV) festgestellt wurde

- a) Maßnahmen zu treffen, um die einwandfreie Wasserqualität wiederherzustellen
- b) die zuständige Behörde zu informieren
- c) die betroffenen Verbraucher davon in Kenntnis zu setzen, damit etwaige Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden können.

### **2.2.3 Überwachung**

Laut § 7 der TWV hat die zuständige Behörde für jede Wasserversorgungsanlage, die > 10 m<sup>3</sup> Wasser pro Tag liefert Probenahmestellen festzulegen. Die Behörde kann auch den Untersuchungsumfang einer Standarduntersuchung (Anhang II Teil A Z 2.1 der TWV) für solche Anlagen ausdehnen. Sie kann auch den Untersuchungsumfang und die Häufigkeit der Untersuchungen selbst festlegen und erforderlichenfalls erhöhen (z.B. für Pestizide). Weiters können die Untersuchungen folgender Parameter von geschulten Organen selbst durchgeführt werden. Zu diesen Parametern gehören (TWV, 2001):

- a) Aussehen
- b) Geruch
- c) Geschmack
- d) Temperatur
- e) pH - Wert
- f) Leitfähigkeit
- g) Nitrit
- h) Messungen im Zusammenhang mit Desinfektionsmaßnahmen (z.B. Ozon, Chlordioxid, Chlor, UV-Durchlässigkeit)

### **2.2.4 Parameter- und Indikatorparameterwerte**

**Parameterwerte** (zulässige Höchstkonzentrationen, Grenzwerte) sind die oberen Begrenzungen der Gehalte von Mikroorganismen und Inhaltsstoffen, die nicht überschritten werden dürfen. Natürliche Gehalte sind, auch wenn sie weit unter ihren Parametern liegen, durch geeignete Maßnahmen vor unerwünschten Veränderungen zu schützen. Wenn die Parameter eingehalten werden, ist nach derzeitigem Wissensstand zu erwarten, dass keine gesundheitsschädlichen Auswirkungen, auch bei lebenslangem Genuss des Wassers, auftreten (HABERL R., 2008a).

In der TWV wird unterschieden zwischen mikrobiologische und chemische Parameter. Für *mikrobiologische Parameter* gelten für nicht desinfiziertes Wasser folgende Werte (TWV, 2001):

- Escherichia coli 0 (Koloniezahl / 100 ml Wasserprobe)
- coliforme Bakterien 0 (Koloniezahl / 100 ml Wasserprobe)
- Enterokokken 0 (Koloniezahl / 100 ml Wasserprobe)
- Pseudomonas aeruginosa 0 (Koloniezahl / 100 ml Wasserprobe)
- Clostridium perfringens 0 (Koloniezahl / 100 ml Wasserprobe)

Folgende Werte (einige Beispiele) gelten für *chemische Parameter* (TWV, 2001):

- Blei 10 µg/l
- Chrom 50 µg/l
- Kupfer 2,0 mg/l
- Nitrat 50 mg/l
- Nitrit 0,1 mg/l
- Quecksilber 1,0 µg/l

**Indikatorparameter** (Richtzahlen) stellen Gehalte an Mikroorganismen und Inhaltsstoffen sowie Strahlenaktivitäten dar, bei deren Überschreitung zu prüfen ist, ob bzw. welche Maßnahmen erforderlich sind. Natürliche Gehalte sind durch geeignete Maßnahmen vor unerwünschten Veränderungen zu schützen, auch wenn sie weit unter ihren Indikatorparametern liegen (HABERL R., 2008a). In der TWV wird unterschieden zwischen chemischen, physikalischen und mikrobiologischen Indikatorparametern. Im Folgenden werden einige Werte von *chemischen* und *physikalischen Indikatorparametern* angegeben (TWV, 2001):

- Ammonium 0,50 mg/l
- Chlorid 200 mg/l
- Eisen 0,20 mg/l
- Leitfähigkeit 2500 µS cm<sup>-1</sup> bei 20 °C
- Temperatur 25 °C

Folgende Werte gelten für *mikrobiologische Indikatorparameter* für desinfiziertes Wasser (TWV, 2001):

- KBE 22 (koloniebildende Einheiten bei 22 °C Bebrütungstemperatur) 10 (Koloniezahl / ml Wasserprobe)
- KBE 37 (koloniebildende Einheiten bei 37 °C Bebrütungstemperatur) 10 (Koloniezahl / ml Wasserprobe)

Wenn die Indikatorparameter überschritten werden ist die Ursache zu prüfen und festzustellen, ob bzw. welche Maßnahmen erforderlich sind, um die einwandfreie Wasserqualität aufrechtzuerhalten (TWV, 2001).

## **2.3 Trinkwasseraufbereitung**

„Trinkwasseraufbereitung“ ist der fachliche Oberbegriff für die Gesamtheit der Maßnahmen zur Verbesserung der Trinkwasserbeschaffenheit. Trinkwasseraufbereitung ist die in verschiedenen Prozessen ablaufende Behandlung des Rohwassers mit physikalischen, chemischen und biologischen Wirkungsmechanismen, um seine Beschaffenheit dem jeweiligen Verwendungszweck, nämlich dem als Trinkwasser, anzupassen. Dabei ist es nicht Zweck der Trinkwasseraufbereitung, die Wasserabnehmer mit bestimmten Medikamenten (z.B. Fluor) zu versorgen oder das Wasser so zu verändern, dass es für bestimmte technische Anwendungen geeigneter wird (z.B. weitgehendste Enthärtung), sondern lediglich, dass es den Anforderungen an ein gutes Trinkwasser genügt. Zur Trinkwasseraufbereitung zählen u. a. die Filtration, die Oxidation (z.B. Enteisung, Entmanganung), die Entsäuerung, die zentrale Enthärtung, die Sedimentation und die Entkeimung, um nur einige zu nennen (Internet: WASSERLEXIKON, Trinkwasseraufbereitung, 2008).

### **2.3.1 Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung**

Für die Trinkwasserversorgung gelten jene Vorkommen als bestes Rohwasser (unbehandeltes Wasser), die aus physikalischer, chemischer und hygienischer Hinsicht keinerlei Aufbereitung benötigen, damit die gesetzlichen Bestimmungen erfüllt werden. Manche Regionen erfordern aufgrund geogener Verhältnisse eine Aufbereitung der Rohwässer aus gebrauchstechnischen und gesundheitlichen Gründen. Beispiele dafür wären Oberflächenwässer mit organischen und anorganischen Schwebstoffen, kalzitlösende Quellwässer und reduzierte eisen- und manganhaltige Grundwässer (GIMBEL R. et al., 2004).

Die Erkenntnisse in den letzten Jahrzehnten über die mikrobiologischen und die vom Menschen verursachten Rohwasserbelastungen mit Spurenstoffen und Hauptkomponenten sowie über den höheren Gehalt bei klassischen Inhaltsstoffen wie der Gesamthärte oder den Salzen waren sehr prägend für die Trinkwasseraufbereitung. Besonders hervorzuheben sind auch die Qualitätsprobleme der Grundwässer, da die Grundwässer die wichtigste, oft dezentral genutzte Ressource der Trinkwasserversorgung sind (GIMBEL R. et al., 2004). Um diese Qualitätsprobleme durch eindringende Schadstoffe in den Grundwasserleiter zu verhindern, werden Schutzgebiete angeordnet. Diese werden nach den Grundwasserströmungsverhältnissen abgegrenzt und in Schutzzonen eingeteilt (KAINZ H. et al., 2007). Dabei ist zu erwähnen, dass in Heidenreichstein in der Nähe des Brunnens kein Schutzgebiet angeordnet ist.

Geeignete Verfahren laut GIMBEL R. et al. (2004) müssen

- sich möglichst automatisieren lassen,
- betriebssicher und leicht zu steuern sein,
- für große Produktionsströme geeignet sein,
- auch größere Durchsatzschwankungen erlauben und
- im Dauerbetrieb einsetzbar sein.

Ein wesentlicher Punkt in der Verfahrensauswahl sind die Kosten. Es dürfen nur solche Anlagenteile, Betriebsmittel und Apparate eingesetzt werden, die nicht zu teuer sind. Weiters ist zu erwähnen, dass für die Aufbereitung nur jene Materialien und Betriebsmittel (z.B. Chemikalienzusätze) eingesetzt werden können, die gesetzlich zugelassen sind und keine Verunreinigungen des Wassers zulassen (HABERL R., 2008a).

### **2.3.2 Technische Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung**

Laut GIMBEL R. et al. (2004) befindet sich die heutige Trinkwasseraufbereitung in einem komplexen Spannungsfeld von technischen, wirtschaftlichen, umweltschützerischen und auch sozialen Ansprüchen der unterschiedlichen Akteure, nämlich der Wasserversorger, Kunden, Gesetzgeber und Interessensverbände. Zu unterschätzen ist dieses Umfeld vor allem nicht für den Aufbereitungstechniker und –ingenieur.

Hier nun einige Anforderungen aus technischer Sicht laut GIMBEL R. et al. (2004):

- Nutzung natürlicher Aufbereitungsverfahren wie etwa
  - die Uferfiltration
  - die Grundwasseranreicherung
  - und die biologischen Filterstufen.Damit können viele Qualitätsprobleme vermieden werden.
  
- Umweltfreundliche, ressourcenschonende Aufbereitung durch
  - energetisch optimierte Aufbereitung, da die Energieherstellung mit Umweltfolgen verbunden ist
  - minimierte Dosierung von Stoffen, damit Rückstände bestmöglich vermieden werden
  - Verwertung unvermeidbarer Rückstände im Wirtschaftskreislauf oder im Werk selbst
  - Integration von natürlichen Aufbereitungsstufen in die Landschaft unter Berücksichtigung des Naturschutzes.
  
- Konstante Produktqualität
  - gilt für alle Oberflächengewässer auch bei sehr kurzzeitigen Qualitätsveränderungen
  - beherrschbar durch mehrstufige Aufbereitungsanlagen (Multibarrieren-Prinzip)
  - mit Bodenpassagen als Vor- oder Endstufen.

Natürlich spielt hier der Ressourcenschutz eine wesentliche Rolle.

### **2.3.3 Wirtschaftliche und betriebliche Aspekte**

Bedeutende Entscheidungs- und Einflussgrößen für die Wasseraufbereitungsverfahren sind die wirtschaftlichen Gesichtspunkte, besonders dann, wenn technische Alternativen denkbar sind. Ein Vergleich zwischen verschiedenen Aufbereitungsanlagen mit gleichartiger Technologie ist schwieriger, da eine Reihe von Faktoren Einfluss auf die Berechnung oder Schätzung haben (GIMBEL R. et al., 2004).

Dazu einige Beispiele für solche Einflussfaktoren:

- Variierende Kosten für Chemikalien und Energie und durch zusätzlichen Bedarf an Gasen oder Wasser
- Unterschiedliche Rohwasserqualitäten und damit verschiedene Betriebsbedingungen (z.B. Durchbruchverhalten aufgrund unterschiedlicher Adsorbierbarkeit bei Aktivkohlefiltern)
- Größe und Anzahl von Nebenanlagen für die Wasseraufbereitung (Zwischenspeicher, Rohwasserzufuhr, mehrstufige Schlammbehandlung, Aktivkohle-reaktivierung vor Ort etc.)
- Unterschiede im Grade der Auslastung und in der Anlagenkapazität (z.B. Vorhalten von Spitzenkapazität für wenige Wochen im Jahr)
- Neue Randfaktoren und laufende Entwicklungen können die Kosten für die Aufbereitung einerseits verbilligen und andererseits kann es zu einer Erhöhung der Gesamtkosten durch neue Anlagenteile kommen.

Es kann jedoch festgestellt werden, dass die gesamten Wasseraufbereitungskosten bei typischen Verfahren (z.B. Enteisenung, Entmanganung, Entsäuerung) immer unter  $0,5 \text{ €/m}^3$ , oft aber auch deutlich unter  $0,2 \text{ €/m}^3$  liegen. Damit machen die Trinkwasseraufbereitungskosten für den Verbraucher nur einen kleineren Anteil aus. Wenn aber aufwendige Techniken wie Teilentsalzung, Nitratentfernung, Entkarbonisierung nötig sind, trifft dies nicht mehr unbedingt zu.

Bei den betrieblichen Aspekten in der Wasseraufbereitung sind unter anderem der Personalaufwand zur Betreuung der Systeme und der Anlagenteile, bei schwankender Rohwasserqualität die Stabilität von den Aufbereitungsprozessen und die Einhaltung der Grenz- und Richtwerte sicherzustellen. Besonders bei kleinen Anlagen gehen die Personalkosten überproportional hoch ein. Ein großer Vorteil ist die heutige automatische und halbautomatische Betriebsauslegung der Grundverfahren, wodurch ein sicheres betriebliches Führen möglich ist (vor allem bei Grundwässern, Uferfiltraten und angereicherten Grundwässern mit relativ geringen Qualitätsschwankungen). Schwierigkeiten bieten z.B. die Flockungsverfahren bei Oberflächenwässern, da sich aufgrund schneller Qualitätsänderungen die optimalen Betriebsbedingungen (pH-Wert, Flockungsmittel- und Hilfsmitteldosis) bisher oft nur über vor Ort durchgeführte Flockungstests finden lassen (GIMBEL R. et al., 2004).

### **2.3.4 Grenzen der Wasseraufbereitungstechnik**

Gimbel R. et al. (2004) sagt, dass es mit geeigneten Verfahrensstufen möglich ist, aus noch so schlechtem Rohwasser ein einwandfreies Trinkwasser herzustellen (z.B. inklusive Vollentsalzung mit Umkehrosmose und Aufhärtung). Aber ob das gereinigte Wasser dem Leitbild eines „natürlich reinen“ Trinkwassers entspricht sei dahingestellt. Eigentlich ist bei jedem Aufbereitungsverfahren festzustellen, dass es Wirksamkeits- und Einsatzgrenzen gibt oder dass bestimmte Rohwasserbelastungen mit den einzelnen Verfahren nur mäßig bis gut beherrschbar sind. Dazu einige Beispiele laut GIMBEL R. et al. (2004):

- Aufbereitungskosten
- Zufuhr von Spuren- und Zusatzstoffen und Bildung von Nebenprodukten
- Betriebssicherheit bei kleinen Aufbereitungsanlagen
- Stoff- und prozessbedingte Grenzen für die Wirkungsgrade der Reinigung, z.B.
  - Desinfektion
  - Partikelabtrennung
  - biologischer Abbau
  - Adsorption organischer Stoffe
- Zeitweilige oder dauerhafte überhöhte Rohwasserbelastungen
  - Hochwassertrübungen
  - Nitratbelastung des Grundwassers
  - Eutrophierung stehender Gewässer (Anreicherung mit Pflanzennährstoffen)
  - Chemikalienunfälle z.B. mit Arsen

In der als besonders wichtig erachteten Partikelabtrennung wurde in den letzten Jahren mit dem konventionellen Verfahren der Flockung, der Flockenabtrennung und optimierter Schnellfiltration eine bis zu über 99 %-ige Wirksamkeit bei Teilchen über 1 µm erreicht. Dennoch dürfte es kaum möglich sein alle Partikel damit zu entfernen. Eine adsorptive Entfernung der gelösten organischen Stoffe mittels Aktivkohle ist grundsätzlich an deren Eigenschaften gekoppelt (GIMBEL R. et al., 2004).

### **2.3.5 Gründe für die Trinkwasseraufbereitung**

In Österreich gibt es sehr günstige Verhältnisse bei der Trinkwasserversorgung. Eine weitgehende Trinkwasseraufbereitung, wie in anderen Ländern, ist deshalb selten zu finden. Bei uns steht in erster Linie Grundwasser zur Verfügung, das nur den einen oder anderen Aufbereitungsschritt verlangt oder überhaupt nicht behandelt werden muss. Es kann aber durchaus vorkommen, dass in naher Zukunft auch bei uns mehr zentrale Aufbereitungsanlagen erforderlich werden (KAINZ H., 2008).

Laut KAINZ H. (2008) gibt es für die Trinkwasseraufbereitung mögliche Gründe:

- Bestimmte Inhaltsstoffe wie Kryptosporidien. Das sind einzellige Parasiten, die z.B. von beweideten Flächen stammen und sie sind auch durch übliche Aufbereitungsschritte kaum entfernbar.
- Neue Erkenntnisse zur Toxizität und damit neue Grenzwerte.
- Niedrigere Standards für den Schutz von Wasservorkommen und damit Verschlechterung der Wasserqualität. Prinzipiell gibt es nur in Deutschland und Österreich die Forderung, dass Grundwasser Trinkwasserqualität haben muss, wobei es aber in Deutschland auch Bestrebungen der Angleichung an die übrige EU gibt. Die EU - Wasserrahmenrichtlinie verlangt dies nämlich nicht.
- In vielen Ländern ist eine vorsorgende bzw. vorbeugende Aufbereitung üblich, wenn nicht sogar Vorschrift. Um auftretende Kontaminationen unschädlich zu machen und Nach- bzw. Wiederverkeimung zu verhindern wird das Wasser gechlort.

### **2.3.6 Aufgabe der Trinkwasseraufbereitung**

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

- unter eine vorgegebene Konzentration zu verringern (akut toxische Stoffe),
- möglichst vollständig zu entfernen (z.B. Schadstoffe und Kumulationsgifte),
- möglichst weitgehend zuzugeben (also bis zur Sättigung),
- auf vorgegebene Konzentrationen genau einzustellen (z.B. die Bestandteile des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts, also je nach den vorliegenden Konzentrationen Stoffe zuzusetzen oder zu entnehmen).

### **2.3.7 Verfahren der Trinkwasseraufbereitung**

In den nachfolgenden Kapiteln wird näher auf die einzelnen Verfahren der Trinkwasseraufbereitung eingegangen. Es wird unterschieden zwischen

- physikalischem Verfahren
- chemischem Verfahren und
- biologischem Verfahren.

Dazu gibt **Tabelle 1** eine Übersicht zu den einzelnen Aufbereitungsverfahren und Beispiele für ihre Anwendung.

**Tabelle 1: Übersicht zu den Verfahren der Trinkwasseraufbereitung und Beispiele für ihre Anwendung (aus MUTSCHMANN J. et al., 2007)**

<b>AUFBEREITUNGSVERFAHREN</b>	<b>ANWENDUNGSBEISPIELE</b>
<b>Vorreinigung</b> Rechen, Siebe, auch Mikrosiebe	<b>Grobstoffentfernung bei Oberflächenwasser</b> Blätter, Äste, auch Algen, Plankton
<b>Flockung / Fällung</b> Dosieranlagen für Al- und Fe-Salze, Kalk, Polymere, Misch- und Rührreinrichtungen; eventuell. Schwebebett; eventuell Flockenrückführung	<b>Agglomeration von (kolloidalen und feinsuspendierten) Wasserinhaltsstoffen</b> Überführung echt gelöster Stoffe in die ungelöste (absetzbare) Form (z.B. bei Enthärtung; eventuell Enteisung)
<b>Sedimentation</b> Absetzbecken, Lamellenseparatoren, Pulsatoren u. a.	<b>Entfernung von hohen Konzentrationen an absetzbaren Stoffen</b> zumeist nach vorausgegangener Flockung / Fällung
<b>Gas austausch (Belüftung)</b> z.B. durch Wellbahn-, Kaskaden- und Flachbodenbelüfter, früher auch Verdünger; auch Füllkörperkolonnen; auch nur (Druck-) Luft eintrag bei Oxidatoren	<b>Eintrag von Sauerstoff, Austrag von freiem CO<sub>2</sub></b> (physikalische Entsäuerung; auch Austrag von leichtflüchtigen CKW, Methan, H <sub>2</sub> S, Radon)
<b>Oxidation / Desinfektion</b> Zugabe von Ozon, KMnO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> zur Oxidation Zugabe von Chlor, Chlorverbindungen, Chlordioxid, Ozon zur Desinfektion, UV-Strahlung zur Desinfektion	<b>Veränderung (Oxidation) von anorganischen und organischen Wasserinhaltsstoffen</b> z.B. Arsen; Eisen, Mangan, Ammonium u. a.; auch Entfärbung, Abtötung / Inaktivierung von Mikroorganismen im Trinkwasser (mit oder ohne Depotwirkung) bzw. Desinfektion von Anlagenteilen
<b>Filtration</b> Schnellfilter als offene oder geschlossene (Druck-)Filter; Langsamfilter; Sonderfall: Feinfiltersysteme / Mechanisch wirkende Filter	<b>Partikel- / Trübstoffabtrennung</b> Enteisung und Entmanganung; Flockungsfiltration
<b>Membranverfahren</b> Ultra- und Mikrofiltration, auch Nanofilter, Umkehrosmose und Elektrodialyse	<b>Partikel- / Trübstoff- und Keimentfernung</b> je nach Trenngrenze auch Moleküle und Ionen
<b>Adsorption</b> Aktivkohlefilter; Dosierung pulverförmiger Aktivkohle; spezielle Adsorptionsfilter	<b>Entfernung von (zumeist organischen) Spurenstoffen wie CKW und Pflanzenschutzmitteln;</b> Entfernung von Geruch, Geschmack, Restozon; auch Dekontaminierung
<b>Chemische „Neutralisation“</b> Filtration über Kalkstein oder halbgebrannte Dolomite; Zugabe von Kalk/NaOH	<b>Chemische Entsäuerung / pH-Einstellung / Verringerung Calcitlösekapazität auch teils Aufhärtung</b>
<b>Biologische Denitrifikation</b> Festbettreaktoren, auch fluidisierte Reaktoren; immer Substratzugabe / PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> Zugabe	<b>Reduzierung zu hoher Nitratkonzentrationen</b>
<b>Ionenaustausch</b> Kationen-/ Anionen-/ Mischbettaustauscher/Carix- Verfahren	<b>Enthärtung, Entsalzung;</b> Nitrat-, Sulfat- und Chloridreduzierung; auch Entfernung von Schwermetallen und Radionukliden; auch im häuslichen Bereich
<b>Zugabe von Inhibitoren</b> Dosieranlagen für Phosphate/Silikate	<b>Korrosionsschutz, Härtestabilisierung;</b> auch im häuslichen Bereich
<b>Grundwasseranreicherung</b>	<b>Verbesserung des Oberflächenwassers</b> durch Bodenpassage; Erhöhung des aus dem Untergrund gewinnbaren Wassers durch Anreicherung (Versickerung von Oberflächenwasser)

### 2.3.7.1 Physikalische Verfahren

Abhängig von der Partikelgröße eignen sich physikalische Verfahren zur Abtrennung von Partikeln und Kolloiden aus dem Wasser (HABERL R., 2008a). Weiters kann der Wirkungsgrad der Aufbereitung durch Zugabe von Flockungchemikalien gesteigert werden.

#### 2.3.7.1.1 Sieben

Dieses Verfahren dient zur Entfernung von überwiegend grob dispersen Inhaltsstoffen durch engmaschige Siebgewebe, deren Maschenweite (meist 2-3 mm) kleiner als die zu entfernenden Inhaltsstoffe ist (KAINZ H., 2008).

Damit weitere Schritte für die Aufbereitung (z.B. Flockenfiltration) aufgrund von Schwebstoffen nicht beeinträchtigt werden, sollen Siebe diese Schwebstoffe, die bei Oberflächengewässern vorkommen, welche den Feinrechen passieren können, entfernen.

Um Feinsande, Insekten o. ä. zurückhalten zu können werden Makrosiebe eingesetzt, deren Maschenweite > 0,3 mm ist. Diese Art der Siebung wird aber bei der Trinkwasseraufbereitung kaum eingesetzt. Häufiger kommen Mikrosiebe zum Einsatz. Sie besitzen eine Maschenweite < 100 µm und werden z.B. für die Entfernung von Plankton verwendet (HABERL R., 2008a). Folgend zeigen zwei Tabellen die Filternetzwerke und die Filtergeschwindigkeiten von Sieben auf (**Tabelle 2** und **Tabelle 3**). In **Abbildung 1** ist eine Siebmaschine dargestellt, die Schwimmstoffe zurückhalten kann, die gerade noch nicht sichtbar sind.

**Tabelle 2: Siebe – Filternetzwerke (aus HABERL R., 2008a)**

Filtertyp	Maschenwerkstoff	Maschenweite in mm
Lochbleche	Stahl, meist rostfrei	1 bis 20
Trommelsiebe	Stahl (Gewebe), rostfrei eventuell Messing	10 <sup>-2</sup> bis 1
Anschwemmfilter	Textil und Diatomeensand	10 <sup>-3</sup> bis 10 <sup>-2</sup>

**Tabelle 3: Siebe – Filtergeschwindigkeit (aus HABERL R., 2008a)**

Filtertyp	Durchsatzgeschwindigkeit
Lochbleche	20 bis 200 m h <sup>-1</sup>
Trommelsiebe	10 bis 100 m h <sup>-1</sup>
Anschwemmfilter	1 bis 10 m h <sup>-1</sup>

Filtergeschwindigkeiten (Flächenbelastung m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)

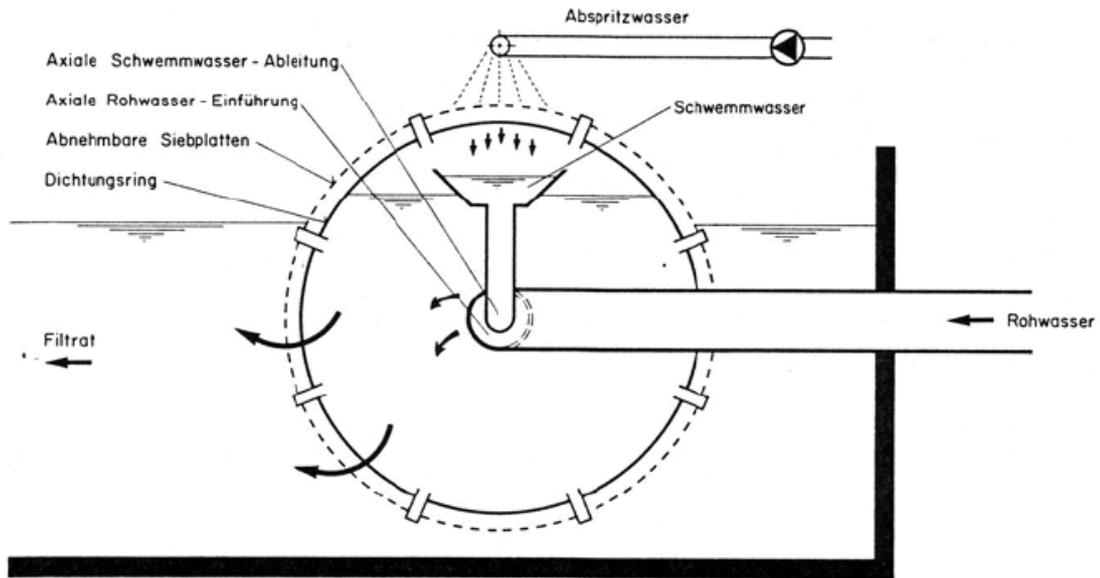


Abbildung 1: Siebmaschine mit Abspritzvorrichtung (aus GROMBACH P. et al., 2000)

### 2.3.7.1.2 Rechen

Rechen dienen als Vorreinigungsstufe bei der Entnahme von Trinkwasser aus Oberflächengewässer.

Es wird unterschieden zwischen:

- Feinrechen, Durchgangsweite 0,3 – 1 cm
- Mittelrechen, Durchgangsweite 1 – 3 cm
- Grobrechen, Durchgangsweite 3 – 10 cm

In Seen und Trinkwassertalsperren erfolgt die Trinkwasserentnahme in großer Tiefe mittels Saugkörbe bzw. Feinrechen. Um mögliche Verunreinigungen vom Rechen fernzuhalten, wird die Eintrittsfläche abwärts bis maximal senkrecht zur Fließrichtung des Gewässers angeordnet.

Um einen freien Durchfluss des Querschnittes des Rechens zu gewährleisten, muss dieser Querschnitt gleich dem Querschnitt des normalen Zulaufgerinnes sein. Daher ist eine Aufweitung unerlässlich. Damit es in der Rechenanlage nicht zu Sandablagerungen kommen kann, darf die Fließgeschwindigkeit nicht zu klein sein ( $> 0,5 \text{ m/s}$ ). Der Druckhöhenverlust beträgt meist etwa  $0,05 - 0,15 \text{ m}$  (HABERL R., 2008a). Folgend beschreiben zwei Tabellen die Filternetzwerke und die Filtergeschwindigkeiten von Rechen (**Tabelle 4** und **Tabelle 5**). In **Abbildung 2** ist ein Rechen dargestellt, der zur Gewinnung von Oberflächenwasser eingesetzt wird.

Tabelle 4: Rechen – Filternetzwerke (aus HABERL R., 2008a)

Filtertyp	Maschenwerkstoff	Maschenweite mm
Grobrechen	Stahl	200 bis 500
Feinrechen	Stahl, eventuell rostfrei	20 bis 200

Tabelle 5: Rechen – Filtergeschwindigkeit (aus HABERL R., 2008a)

Filtertyp	Durchsatzgeschwindigkeit
Grobrechen	100 bis 3000 m h <sup>-1</sup>
Feinrechen	50 bis 300 m h <sup>-1</sup>

Filtergeschwindigkeiten (Flächenbelastung m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)

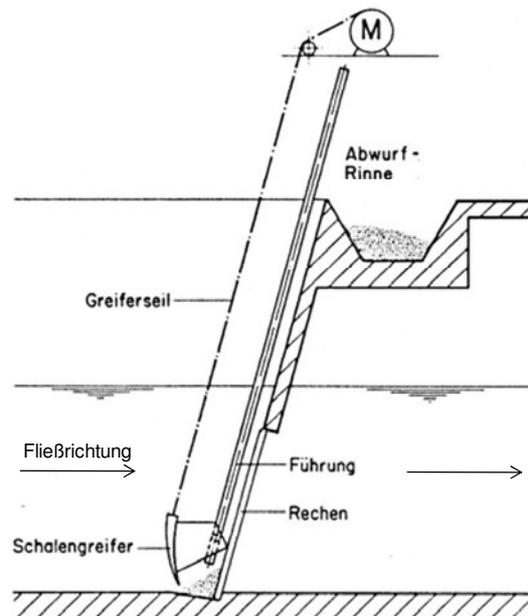


Abbildung 2: Rechen mit Rechenreinigungsmaschine (aus GROMBACH P. et al., 2000)

### 2.3.7.1.3 Sedimentation

Laut GIMBEL R. et al. (2004) ist die Sedimentation ein wichtiges Verfahren, um das Wasser von suspendierten Stoffen zu reinigen. Dieses Verfahren beruht darauf, dass in einem Zweiphasengemisch der dispergierte Stoff auf Grund seiner höheren Dichte unter dem Einfluss der Gravitationskraft absinkt und deshalb abgetrennt wird (**Abbildung 3**). Aus den sehr geringen Absetzgeschwindigkeiten kleiner Teilchen ergibt sich eine praktische Begrenzung der Sedimentation. Die Sedimentation ist für das Abscheiden von Stoffen, die einen kleineren Durchmesser als ca. 1–10 µm haben, nicht geeignet.

In der Trinkwasseraufbereitung kommt die Sedimentation als Vorreinigungsstufe (Sandfang) zur Anwendung, wobei eine Ausweitung der Reinigungsstufe bei zu großer Feststoffbelastung für Raumfilter durchaus möglich wäre. Diese Art der Reinigung kommt vor allem bei sandführenden Quellen und bei der Flusswasserentnahme zum Einsatz. Probleme bereiten Wasserinhaltsstoffe in feinsuspendierter oder kolloidaler Form, die aber durch Zugabe von Flockungsmittel behoben werden können. Nur dadurch kann eine qualitativ ausreichende und wirtschaftliche Abtrennung erfolgen, da es ansonsten zu unwirtschaftlichen langen Aufenthaltszeiten in den Sedimentationsanlagen kommen kann (HABERL R., 2008a).

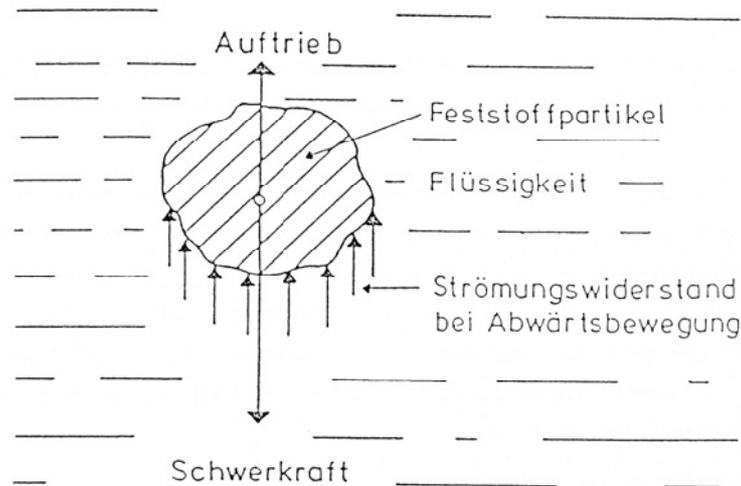


Abbildung 3: Prinzip der Sedimentation (aus HABERL R., 2008a)

#### 2.3.7.1.4 Flotation

Die Bewegung eines Wasserinhaltsstoffes nach oben unter dem Einwirken einer überwiegenden Auftriebskraft („Aufschwimmen“) wird als Flotation bezeichnet (**Abbildung 4**). Durch das Einbringen von Luftblasen, die an den suspendierten Teilchen hängen bleiben, wird verfahrenstechnisch die wirkende Auftriebskraft vergrößert. Dadurch wird die Aufstiegsgeschwindigkeit der Flocken oder Teilchen vergrößert, das wiederum ein schnelleres Abscheiden der suspendierten Stoffe an der Wasseroberfläche ermöglicht (GIMBEL R. et al., 2004).

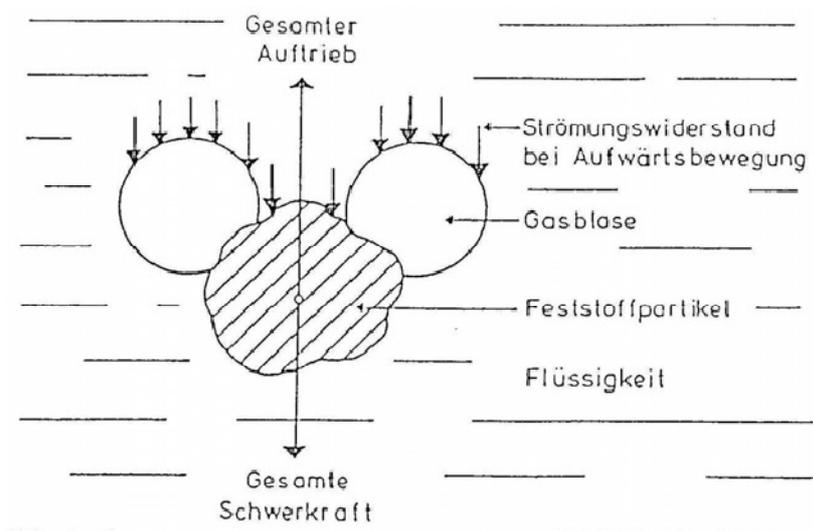


Abbildung 4: Prinzip der Flotation (aus HABERL R., 2008a)

Laut HABERL R. (2008a) kommt die Flotation heutzutage in der Trinkwasseraufbereitung nur sehr selten zum Einsatz, obwohl dieses Verfahren, besonders bei Wasser, das ohnedies belüftet werden muss, Vorteile bringt. Hauptsächlich wird dieses Verfahren in der Abscheidung von Algen und in der Schlammwasserentsorgung von Absetz- und Filteranlagen eingesetzt.

Zur Herabsetzung der Dichte der festen Phase wird ein Flotationsmittel angewendet, das sich an die Partikel anlagert, weil Partikel mit geringerer Dichte als Wasser, wie z.B. Öltröpfchen, im Rohwasser selten vorkommen. Hierzu dienen kleine Luftbläschen von ca.  $5 \text{ bis } 20 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$  Größe. Je größer die Blasen, desto größer ist die Steiggeschwindigkeit, aber je kleiner die Blasen, desto besser ist die Anlagerung und die Trennwirkung.

Es gibt vier Arten von Flotationsverfahren (GIMBEL R. et al., 2004):

- Luftblasen durch Dispergierung
- Elektroflotation
- Vakuumflotation
- Druckentspannungsflotation
  - Vollstromverfahren
  - Teilstromverfahren
  - Recycle-Verfahren

#### 2.3.7.1.5 Flockung

Diesem Kapitel wird mehr Umfang gewidmet, da dieses Verfahren in Kombination mit anderen Verfahren zur Wasseraufbereitung in der Gemeinde Heidenreichstein eingesetzt wird, um die Trübstoffe aus dem Wasser zu entfernen.

Die künstliche Erzeugung von Flocken nennt man Flockung (GROMBACH P. et al., 2000). Die Flockung ist ein Prozess der Entstabilisierung und/oder Vergrößerung von vorwiegend kolloid dispersen Wasserinhaltsstoffen (Koagulation von Stoffen) bis zu makroskopischen Ausmaßen. Dies alles erfolgt durch Einsatz von geeigneten Flockungsmitteln, wie z.B. Polyelektrolyten. Aufgrund dieser Flockungsmittel ist eine physikalische Abtrennung aus dem Wasser möglich (KAINZ H., 2008).

Um bei der Flockung an ein Ziel zu gelangen, müssen mehrere Einzelvorgänge, die aber mehr oder weniger gleitend ineinander übergehen, erfolgen (**Tabelle 6**). Es gibt hierbei zwei Schritte, die zu unterscheiden sind, nämlich die *Entstabilisierungsphase* und die *Teilchenwachstumsphase* (GROMBACH P. et al., 2000):

- Die *Entstabilisierungsphase* beginnt mit der Einmischung von Fremdionen (Flockungsmitteln). Diese sind dafür geeignet, die dispergierten Teilchen zu entladen und zu entstabilisieren. Das Ergebnis, das damit erzielt wird, ist ein aggregationsfähiger Zustand der Teilchen.
- In der *Wachstumsphase* (Aggregation) erfolgt ein Transport der entstabilisierten Partikel zueinander, wobei sie sich zu größeren Agglomeraten vereinigen. Die Partikel lagern sich an den Flocken, die durch die Hydrolyse der Flockungsmittel entstehen, an und werden dann durch Sedimentation, Flotation und Filtration aus dem aufzubereitenden Wasser abgeschieden. Als Flockungsmittel werden häufig Salze höherwertiger Ionen (z.B. Eisen-(III)-Salze oder Aluminiumsalze) verwendet, da diese die Eigenschaft besitzen, die Wirksamkeit mit der Ladung exponentiell zunehmen zu lassen.

Im Folgenden beschreibt GIMBEL R. et al. (2004) die Ziele der Flockung, wie auch die Begriffe und Definitionen, die im engen Zusammenhang mit der Flockung stehen.

Ziele der Flockung:

- Weitgehende Entfernung suspendierter und kolloidaler Verunreinigungen (Erzeugung trübstofffreier Wässer).
- Entfernung von Phosphaten und anorganischen Spurenelementen.
- Teilentfernung der gelösten organischen Stoffe (DOC), insbesondere färbender Huminstoffe.
- Weitergehende Entfernung der zugesetzten Flockungsmittel bei Minimierung der Aufsalzung und des Schlammanfalls.

Begriffe und Definitionen:

- **Flockung:**  
Vorgänge, bei denen sichtbare Flocken auftreten, ohne Aussagen zum Mechanismus der Flockung.
- **Koagulation:**
  1. Flockungsmechanismus, bei der eine Zusammenlagerung der Teilchen stattfinden kann, aufgrund der Aufhebung der elektrischen Abstoßungskräfte zwischen diesen.
  2. Technisch gesehen ist sie die Anfangsphase der Flockung nach der Mischung und vor dem Einsatz der Flockungshilfsmittel.
- **Flokkulation:**
  1. Flockungsmechanismus, der aufgrund der Vernetzung von Teilchen durch langkettige Moleküle (Polymere) hervorgeht.
  2. Technisch gesehen ist sie die Bildungsphase großer Flocken mittels Flockungshilfsmittel.
- **Entstabilisierung:**  
Das ist der Vorgang, der feinverteilte, stabil dispergierte Feststoffe in einen flockungsfähigen Zustand bringt (z.B. Anlagerung von Flockungsmitteln).
- **Transportvorgänge:**  
Bringen die Teilchen gegenseitig in Kontakt, die in Folge zur Flockenbildung aufgrund der Haftung führen kann. Man kann zwischen dem „perikinetischen“ Teilchentransport durch thermische Bewegung (Brownsche Molekularbewegung) und dem „orthokinetischen“ Transportprozess durch Strömung (unterschiedliche Geschwindigkeit der Teilchen) unterscheiden. Die Transportvorgänge sind in der Regel der langsamste und geschwindigkeitsbestimmende Schritt.

- **Flockungschemikalien:**

*Flockungsmittel* sind primär verantwortlich für die Entstabilisierung. In der Wasseraufbereitung kommen hauptsächlich die Aluminium- und Eisen-(III)-salze zum Einsatz.

*Flockungshilfsmittel* sind zumeist hochmolekulare organische Stoffe (Polymere, Polyelektrolyte), die der verbesserten Flockenbildung dienen.

*Sonstige Zusatzstoffe* sind die Flockung beeinflussende Stoffe wie Luft und Ozon. Weiters dienen sie der Flockenbeschwerung und der pH-Einstellung.

- **Fällung:**

Ausscheidung von schwerlöslichen Stoffen aus Lösungen, wobei amorphe oder kristalline, voluminöse und gelartige Erzeugnisse entstehen können.

- **Mitfällung:**

Ausfallen der voluminösen Oxidhydrate des Aluminium- und Eisen-(III)-ions. Dabei werden disperse Feststoffe eingeschlossen und gelöste Stoffe adsorbiert, gleichzeitig fallen Fällungs- und Flockungsoptimum zusammen.

**Tabelle 6: Verfahrensschritte der Flockung (aus MUTSCHMANN J. et al., 2007)**

Verfahrensschritt		Hinweise zur Realisierung
Speichern, Ansetzen und Lösen des Flockungsmittels		Je nach Handelsform des Flockungsmittels, siehe DVGW-Merkblatt W 622
Flockung	1. Dosierung und Mischung	Schnelle homogene Verteilung des Flockungsmittels erforderlich, zumeist hohe Turbulenz zweckmäßig (Rührer, Rohrvermischung, statische Mischer)
	2. Entstabilisierung	Meist gleichzeitig mit der Mischung und in dem gleichen Anlagenteil ablaufend
	3. Aggregation zu Mikroflocken	Brown'sche Molekularbewegung, Einfluss durch Rühren kaum möglich
	4. Aggregation zu Makroflocken	Vergrößerung der Flocken bei verringertem Energieeintrag ( <b>Tabelle 7</b> ). Eventuell Flockungshilfsmittelzugabe 0,1–1 g/m <sup>3</sup> (siehe auch DVGW-Arbeitsblatt W 219). Optimierung je nach Abtrennverfahren
Abtrennen der vorhandenen Flocken		z.B. durch Sedimentation

**Tabelle 7: Anlagen zur Flockenbildung (aus MUTSCHMANN J. et al., 2007)**

Grundtyp	Details
Rührbecken	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verweilzeiten von 2 bis 30 min</li> <li>– Schergefälle von 100 bis 10 s</li> <li>– zwei und mehr Becken in Reihe mit fallendem Schergefälle</li> <li>– Anpassung an Durchsatz und Rohrwasser</li> </ul>
Statische Systeme	<ul style="list-style-type: none"> <li>– durchströmte Kammern mit hydraulisch wirksamen Einbauten</li> <li>– durchflussabhängige Systeme</li> <li>– Fließgeschwindigkeiten 0,1–0,2 m/s</li> <li>– einfacher Bau</li> </ul>
Rohre	<ul style="list-style-type: none"> <li>– schnelle Flockenbildung bei Rohrlängen von mehr als 20 m</li> <li>– Begrenzung des Durchsatzes nach unten und oben</li> </ul>
Schlamm-schwebeschicht	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kombination mit Sedimentation</li> <li>– aufwärts strömendes Wasser</li> <li>– Flockenbildung in der Schwebeschicht</li> <li>– lange Anfahrzeiten</li> </ul>

#### 2.3.7.1.6 Gasaustausch / Belüftung

Durch Gasaustausch sollen unerwünschte Gase aus dem Wasser entfernt und/oder Sauerstoff eingebracht werden. Der Austrag des Gases zielt primär auf die Entfernung der aggressiven Kohlensäure ab (MUTSCHMANN J. et al., 2007).

Dieses Verfahren wird laut GIMBEL R. et al. (2004) sowohl als einzelner Verfahrensschritt als auch als Verfahrensstufe von aufeinanderfolgenden Aufbereitungsprozessen bei der Trinkwasseraufbereitung eingesetzt.

Wie auch im Wasserwerk der Stadtgemeinde Heidenreichstein, wo diese Verfahrensstufe als Vorstufe für die jeweiligen aufeinanderfolgenden Aufbereitungsschritte dient, um einerseits den Sauerstoffgehalt des Rohwassers und andererseits den pH-Wert anzuheben. In Heidenreichstein erfolgt dies mittels Verrieselung über Füllkörper (**Kapitel 4.1.1**).

Beispiele für derartige Verfahren sind (GIMBEL R. et al., 2004):

- die Kohlendioxid-Ausgasung zur Entsäuerung von Wasser
- das Ausgasen von flüchtigen Stoffen, wie z.B. Methan, Schwefelwasserstoff oder höhermolekularen, organischen Verbindungen
- das Ausstrippen organischer, leichtflüchtiger Verbindungen, wie z.B. aromatischer Kohlenwasserstoffe, Halogenkohlenwasserstoffe oder Schädlingsbekämpfungs- und Pflanzenbehandlungsmittel

Welches Verfahren jetzt zur Anwendung kommt, richtet sich in erster Linie nach dem auszutauschenden gasförmigen Stoff zwischen den beiden Phasen Luft und Wasser, nach der zu behandelnden Wassermenge, der daraus resultierenden Größe der Gasaustauschapparate und den erforderlichen Betriebsaufwendungen.

Bei der Trinkwasseraufbereitung wird prinzipiell unterschieden zwischen Gasaustausch, bei dem sowohl Gase von der Umgebungsluft in das Wasser als auch aus dem Wasser in die Umgebungsluft eingetragen werden bzw. dem einseitigen Vorgang, bei dem nur Gase in das Wasser eingetragen werden. Bezeichnet wird dies auch als offene bzw. geschlossene Belüftung des Wassers (GIMBEL R. et al., 2004).

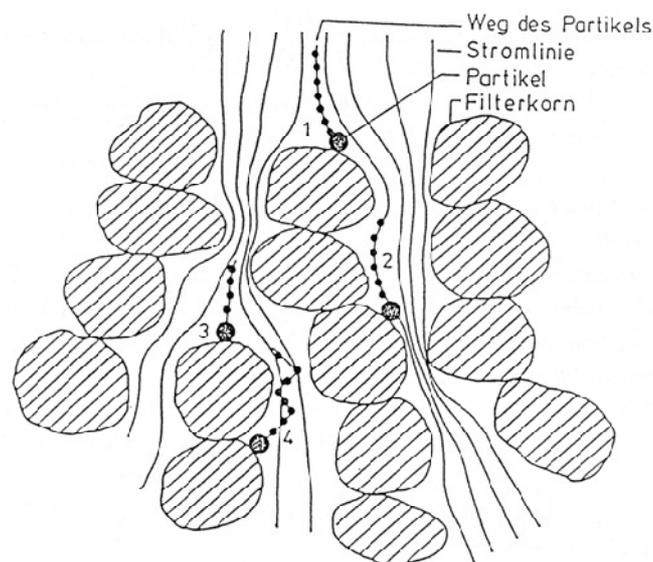
Laut HABERL R. (2008a) gibt es grundsätzlich drei Verfahrensvarianten, um den Gasaustausch bzw. die Belüftung vollziehen zu können:

- Wassertropfen in Gasatmosphäre (Verdüsung) → großer Raumbedarf
- Wasserfilm in Gasatmosphäre (Wellbahnbelüftung, Füllkörperkolonnen)
- Gasblasen im Wasser (z.B. Kerzenbegasung, Inka-Belüftung, Siebplattenbegasung)

#### 2.3.7.1.7 Filtration

Filtration ist der Begriff für die Entfernung von gelösten, kolloid dispersen sowie grob dispersen Inhaltsstoffen durch Adsorption, Absieben und Absetzen in einem porösen Filterbett. Ein Beispiel wäre eine Adsorption von Fe II an mit Fe-Oxidhydraten belegtem Kies. Es können daneben noch biologische und chemische (z.B. Fällung) Vorgänge laufen (KAINZ H., 2008).

In der Wasseraufbereitung werden Filter häufig eingesetzt (MUTSCHMANN J. et al., 2007). Ein Filter besteht aus einem Filtermedium (dieses muss nach bestimmter Zeit ergänzt, verworfen oder von seiner Beladung befreit werden), einem Filterbehälter und den für den Betrieb notwendigen Einrichtungen wie z.B. Pumpe, Kompressor und Steuereinheit (HABERL R., 2008b). **Abbildung 5** soll den Wirkungsmechanismus eines Partikels durch das Filtermedium aufzeigen.



**Abbildung 5: Wirkungsmechanismen bei der physikalischen Filtration (aus HABERL R., 2008b)**

Da die Anforderungen laut MUTSCHMANN J. et al. (2007) an eine gute Partikelentfernung vor einer Desinfektionsstufe gestiegen sind, ist der optimierte Filterbetrieb besonders wichtig geworden. Meistens werden in der Trinkwasseraufbereitung Raumfilter eingesetzt, bei denen die „Durchlassweite“ des Filterbettes größer ist als der Durchmesser der zu entfernenden Wasserinhaltsstoffe. Es kann und soll damit die Rückhaltung nicht vorrangig durch Absieben erfolgen, sondern es müssen andere Filtrationsmechanismen je nach Wasserbeschaffenheit, Filtermaterial und sonstige Betriebsbedingungen, gegeben sein.

Diese Raumfilter werden unterschieden nach:

- dem Schichtaufbau – Einschichtfilter, Mehrschichtfilter,
- dem Druck – offene Filter und geschlossene (Druck-)Filter
- der Rückspülung – rückspülbare und nicht rückspülbare Filter
- der Fließrichtung – Abstromfilter, Aufstromfilter
- der Filtergeschwindigkeit – Langsamfilter, Schnellfilter
- der Wasserspiegelhöhenlage – Nassfilter mit Überstau des Filterbettes, Trockenfilter
- der Betriebsweise – Ein- und Mehrstufenfilter.

Weitere Unterscheidungen sind üblich und auch möglich. Heute werden meist Schnellfilter gemäß DIN 19 605 angewendet. Es werden bei der Filtration von Oberflächenwasser bzw. der Flocken- und Flockungsfiltration zunehmend offene oder geschlossene Schnellfilter mit mehreren unterschiedlichen Filterschichten eingesetzt. Der Grund dafür ist, dass sie eine bessere Raumnutzung haben und so längere Laufzeiten bzw. höhere Filtergeschwindigkeiten ( $v_F = Q/A_F$ ) ermöglichen (MUTSCHMANN J. et al., 2007).

Der Unterschied zwischen Flockenfiltration und Flockungsfiltration besteht darin, dass bei der Flockenfiltration die Flockenbildung auf dem Weg zum Filter und im Überstau erfolgt. Um eine gute Durchmischung der Flockungsmittel bei der Flockenfiltration zu erreichen werden statische Mischer mit Injektionslanze vor dem Filter angeordnet. Hingegen erfolgt die Flockenbildung bei der Flockungsfiltration im Filtermedium (KÖLBL J. et al., 2009a). Die **Tabelle 8** gibt einen Überblick über die gebräuchlichsten Filtermaterialien.

Tabelle 8: Filtermaterial (aus GROMBACH P. et al., 2000)

Material	Anwendungsbereich (Hauptanwendung)	Dichte des Kornmaterials kg m <sup>-3</sup>	Schüttgutedichte kg m <sup>-3</sup>			Körnungen mm			DIN	**
			min	üblich	max	min	üblich	max		
Fluss-Sand	div.	2000/2700	2000			0,5/2,0	1,0/2,0	2,0/3,15	19 623	2
Filtersand	SiO <sub>2</sub>	2500/2670	1700		2300	0,6/0,8	0,6/1,25	0,7/1,25	19 623	1,4
Bimskies	SiO <sub>2</sub>	1 180	400		600	1,0/1,6	1,6/2,5	2,0/3,15	19 623	1,2
Lavakies	SiO <sub>2</sub>	2 000	900		1600	2,0/3,15	3,15/5,6	5,6/8,0	19 623	1,2
Glas	SiO <sub>2</sub>	2200	-				-		-	1,0
Kunststoff	Styropor	20	5		15		1,0/2,0		-	1,0
Dolomit	CaCO <sub>3</sub> / MgO	2 700	1400		2200	0,5/1,2	2,0/4,5	4,0/7,0	19 621	1,2
Jurakalk	CaCO <sub>3</sub>	2 700	1300		2300	0,5/1,2	2,0/4,5	4,0/7,0	-	1,2
Anthrazit	C-C-	2000/2200	1700		1700	1,25/1,8	1,6/2,5	2,0/3,15	-	1,2
Aktivkohle	C <sub>x</sub>	1000/2000	290/350		>500	0,5/1,6	1,6/2,5	2,5/4	19 603	1,0
Kationenaus- taucher*	Entsalzung	1000/1200	500		500		1,6/2,5		402	1,0
Anionenaus- taucher**	Nitratreduktion	1000/1200	500		500		1,6/2,5		403	1,0

\* Inonenaustauscher sind in manchen Staaten für die Trinkwasser-Aufbereitung nicht zugelassen. \*\* Ungleichförmigkeitsgrad

Bei folgenden Aufgabenstellungen bzw. Verfahrenstechniken werden Filteranlagen eingesetzt (DEPISCH D., 2008):

- a) **Enteisenung:** Darunter versteht man die Entfernung von Eisenionen aus dem Rohwasser. Der Eisengehalt liegt bei sauerstoffarmen Tiefbrunnenwässern allgemein überwiegend in gelöster Form vor. Bei der Enteisenung von Rohwasser gliedern sich die Verfahrensschritte in: Enteisenungsfilter als Sand-/Kiesfilter oder Mehrschichtfilter, Zugabe von Oxidationsmitteln zur Verbesserung der Oxidation (in Ausnahmefällen), Drucklüftungseinrichtungen.
- b) **Entmanganung:** Dies ist der Begriff für die Entfernung von Manganionen. Ähnlich der Enteisenungsanlage wird auch die Entmanganung aufgebaut, jedoch ist es in der Regel erforderlich, stärkere Oxidationsmittel einzusetzen. Häufig wird übersehen, dass eine pH-Wert-Anhebung, die zum Beispiel durch den Einsatz von dolomitischem Material als Oberdeckenschicht in den Entmanganungsfiltern eingesetzt werden kann, erforderlich ist. Eine Aufteilung der Verfahrensstufen ist dann sinnvoll und notwendig, wenn Eisen und Mangan in größeren Mengen vorliegen.
- c) **Entsäuerung:** Es handelt sich bei der Entsäuerung von Brunnenwasser um einen Vorgang, der wegen der geologischen Gegebenheiten in der Natur nicht stattfinden konnte und in einen Filterbehälter verlagert wird. Dieser Filterbehälter wird mit gekörntem Kalziumkarbonat oder halbgebranntem Dolomit gefüllt. Ein Gleichgewichts-pH-Wert stellt sich bei der Durchströmung dieses vorgelegten Filtermaterials ein. Dies geschieht allerdings unter Bildung von Karbonathärte, was bedeutet, dass die Rohwasserhärte ansteigt.
- d) **Aktivkohlefiltration:** Aktivkohlefilter kommen meistens als letzte Verfahrensstufe in Betracht und werden vor allem zur Schönung von Trinkwasser eingesetzt, was nötig ist, wenn Geruchs- und Geschmacksstoffe oder eine geringe farbliche Beeinträchtigung beseitigt werden sollen.

#### 2.3.7.1.8 *Membranverfahren*

Membranverfahren kommen bei der Trinkwasseraufbereitung zur Entfernung von Trübstoffen und Mikroorganismen zum Einsatz. Dabei durchfließt Rohwasser die Membran und die Wasserinhaltsstoffe, die größer sind als die Porenweite der Membran, werden zurückgehalten und das gereinigte Wasser (Permeat, Filtrat) geht durch die Membran hindurch. Bei den Membranverfahren wird zwischen Mikrofiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration, Umkehrosmose und Elektrodialyse, die im **Kapitel 3** näher beschrieben werden, unterschieden.

#### 2.3.7.1.9 Adsorption

Unter Adsorption versteht man eine Anlagerung von Dämpfen, Gasen oder in Flüssigkeiten gelösten Stoffen an feste Oberflächen, mit oder ohne chemische Bindung. In der Wasseraufbereitung wird darunter praktisch vorrangig die Entfernung von organischen und teils auch anorganischen Spurenstoffen aus dem Wasser durch Adsorption an körnige oder pulverförmige Aktivkohle verstanden (HABERL R., 2008a). Ihre Ursache hat die besondere Leistungsfähigkeit der Aktivkohle bezüglich der Adsorption in der sehr großen (inneren) spezifischen Oberfläche. Die Verwendung erfolgt laut MUTSCHMANN J. et al. (2007) zur Entfernung von

- Pflanzenschutzmitteln
- Kohlenwasserstoffen
- Geruchs- und Geschmacksstoffen einschließlich Entchlorung und Restozonentfernung
- organischen Chlorverbindungen
- höhermolekularen Stoffen wie Huminsäuren.

Die Adsorption wird seltener zur Eliminierung von anorganischen Stoffen wie toxischen Metallen oder Radionukleiden verwendet. Vor der Adsorptionsstufe ist eine gute Vorreinigung des Wassers Voraussetzung, da sonst die Wirksamkeit der Aktivkohle bezüglich Spurenstoffentfernung durch Belegung mit Trübstoffen bzw. konkurrierender Adsorption anderer Wasserinhaltsstoffe deutlich zurückgeht (MUTSCHMANN J. et al., 2007).

Im Bereich der Wassertechnik wird zum größten Teil Aktivkohle als Adsorptionsmittel eingesetzt (GIMBEL R. et al., 2004).

#### 2.3.7.1.10 Grundwasseranreicherung

Heute wird die Grundwasseranreicherung ebenfalls als komplex wirkendes Aufbereitungsverfahren angesehen, mit dem folgende Wirkungen verbunden sein können (MUTSCHMANN J. et al., 2007):

- bei ausreichender Verweildauer Angleichung an die Grundwassertemperatur
- Sorption von Stoffen an der sich an der Wasser/Boden-Kontaktzone anreichenden Biomasse und Schwebstoffen
- mechanische Zurückhaltung von partikulären Substanzen (Algen, Bakterien, Viren, Schwebstoffen) an der Wasser/Boden-Kontaktzone
- Ionenaustausch an den humiden Bestandteilen und Schluffbestandteilen des Untergrundes
- biologischer Abbau von Nährstoffen durch Aufbau von Algenbiomasse sowie von organischen Verbindungen, bei deren Zersetzung durch Bakterien
- biologische Prozesse bei der Untergrundpassage
- Flockung und Fällung in der Folge der sich durch Anreicherung von organischen Stoffen und biologischen Prozessen verändernden Bedingungen (pH-Wert, O<sub>2</sub>-Haushalt, Redoxpotential).

Um eine Beeinträchtigung des Grundwassers und andere negative Auswirkungen zu vermeiden und wirtschaftliche Sickerleistungen zu erreichen, ist eine Vorreinigung des Oberflächenwassers vor der Versickerung, häufig durch Sedimentation, Flockung und Filtration erforderlich. Das wieder gewonnene Wasser muss, oft durch Aktivkohlefiltration und Desinfektion, weiter aufbereitet werden (MUTSCHMANN J. et al., 2007).

### **2.3.7.2 Chemische Verfahren**

Bei chemischen Wasseraufbereitungsverfahren wird durch Chemikaliengabe oder durch Filtrieren über chemisch aktive Substanzen die Zusammensetzung des Wassers verändert (WILHELM S., 2008). Der wesentliche Unterschied zum physikalischen Verfahren besteht darin, dass beim chemischen Verfahren die Moleküle aufgespalten und verändert werden. Zu den chemischen Verfahren gehören

- Fällung
- Oxidation
- Neutralisation
- Ionenaustausch

#### *2.3.7.2.1 Fällung*

Dies ist der Begriff für eine durch Chemikaliengabe erreichte Überführung echt gelöster Substanzen aus dem Wasser in eine schwer lösliche abscheidbare Form. Es entsteht dabei eine neue chemische Verbindung, wie zum Beispiel bei Soda, Kalkmilch und Fe- und Al-Salze (KAINZ H., 2008). Bei der Wasseraufbereitung werden Fällungs- und Flockungsvorgänge durch die gleichen Zusätze häufig nebeneinander ausgelöst, weshalb eine strenge Unterscheidung oft nicht möglich ist (HABERL R., 2008b).

#### *2.3.7.2.2 Oxidation*

Grundwasser, das aus großen Tiefen gewonnen oder aus abgedeckten Grundwasserleitern gefördert wird, muss oft oxidiert werden (GROMBACH P. et al., 2000). WILHELM S. (2008) spricht dann von einer Oxidation bei chemischen Aufbereitungsverfahren, wenn gelöste Eisen- und Manganverbindungen zu ungelösten und damit abfiltrierbaren Verbindungen oxidiert werden, wie z.B. in Heidenreichstein. Diese oxidierten Eisen- und Manganverbindungen lagern sich im Sandfilter ab und werden dann durch Rückspülung aus dem Filter wieder entfernt.

Laut MUTSCHMANN J. et al. (2007) kommt diese Art der Aufbereitung häufig zur Anwendung bei

- Veränderung und Entfernung anorganischer Stoffe, z.B. Mangan, Eisen, Arsen, Ammonium,
- Veränderung und Entfernung organischer Stoffe (z.B. Huminstoffe),
- Desinfektion mittels Chlor und Chlorverbindungen und Ozon.

Ozon hat ein sehr hohes Oxidationsvermögen und hat eine sehr starke Wirkung auf Viren und Bakterien und teilweise auch auf Parasiten sowie organische und anorganische Wasserinhaltsstoffe. Die Ozonung ist auch geeignet zur Entfärbung huminstoffhaltiger Wässer und zur Zerstörung von Geschmacks- und Geruchsstoffen. Nachteilig ist aber der hohe Energieaufwand für die Ozonerzeugung einschließlich der Luftbehandlung (MUTSCHMANN J. et al., 2008).

Damit organische Spurenstoffe oxidiert werden können, müssen starke Oxidationsmittel verwendet werden, wie z.B. Ozon und Wasserstoffperoxid. Eine sehr hohe Oxidationskraft wird neu entwickelten und sich teilweise noch in Entwicklung befindlichen Kombinationsverfahren von Wasserstoffperoxid, Ozon, und UV-Bestrahlung zugeschrieben. Die besondere Wirkung beruht auf der Bildung freier Radikale (GROMBACH P. et al., 2000).

#### 2.3.7.2.3 *Neutralisation*

Unter Neutralisation versteht man die Zugabe von Alkalien (Kalk, Natronlauge u. a.) in das Wasser bzw. der Kontakt des Wassers mit alkalischen Stoffen mit dem Ziel, den pH-Wert anzuheben, wie er von der Trinkwasserverordnung vorgegeben wird. Dabei erfolgt eine Bindung der freien überschüssigen Kohlensäure, wobei das Ergebnis ähnlich dem des Gasaustausches ist.

Je nachdem, welche Alkalien gerade eingesetzt werden, kann es durchaus vorkommen, dass der Sättigungs-pH-Wert überschritten wird und es zu störendem Kalkausfall kommen kann. Ist dies der Fall, muss vor der Reinwasserabgabe unter Umständen ein Verschneiden mit Wasser niedrigerem pH-Wertes oder Säurezugabe erfolgen. Es gibt drei Möglichkeiten die Neutralisation durchzuführen (MUTSCHMANN J. et al., 2008):

- a) Filtration über Kalkstein
- b) Filtration über dolomitische Materialien
- c) Zugabe von Alkalien

ad a) Die Filtration über Kalkstein ( $\text{CaCO}_3$ ) ist eines der ältesten Entsäuerungsverfahren. Folgende Materialien wie etwa feinkristalliner Jurakalk, dichter feinkristalliner devonischer Massenkalk sowie ein poröser Kalkstein (z.B. Muschelkalk) stehen diesem Verfahren zur Verfügung. Es laufen dabei folgende Reaktionen ab, nämlich Lösung des Kalksteins und anschließend Bindung der Kohlensäure bei Bildung von Hydrogenkarbonat. Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass eine Übersättigung des Wassers mit  $\text{CaCO}_3$  nicht eintreten kann. Dazu kommt, dass das Material wesentlich billiger ist, als halbgebrannter Dolomit. Jedoch gibt es auch Nachteile, wie beispielsweise eine doppelt so hohe Verbrauchsmenge und lange Kontaktzeiten. Die Anwendung ist bei weichen Wässern mit nicht zu hohem Gehalt an freier  $\text{CO}_2$  wirtschaftlich.

ad b) Hergestellt wird das Filtermaterial als halbgebrannter Dolomit. Die Reaktionszeit ist erheblich kürzer als bei Jurakalk. An Baukosten kann gespart werden, da die erforderlichen Mengen an Filtermaterial kleiner sind. Das Filtermaterial ist jedoch teurer. Filter mit dolomitischem Filtermaterial müssen mindestens einmal wöchentlich rückgespült werden, um die Verbackung zu verhindern und Ablagerungen zu entfernen.

ad c) Zur pH-Anhebung kommen vorrangig Kalkhydrat  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sowie Natronlauge  $\text{NaOH}$  und eventuell Soda  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  in Frage.

#### 2.3.7.2.4 Ionenaustausch

Unter dem Begriff Ionenaustausch versteht man einen Austausch einer äquivalenten Menge anderer Ionen gleichen Ladungsvorzeichens mit Hilfe spezifischer Kunstharze, wie z.B. eine Salzzuführung im Geschirrspüler, damit das Spülwasser über den Ionentauscher enthärtet werden kann (KAINZ H., 2008).

Beim Ionenaustausch spalten sich elektrisch neutrale Moleküle der im Wasser gelösten Salze in elektrisch geladene Teilchen, die Ionen auf. Es gibt Ionen mit positiver Ladung (= Kationen) und Ionen mit negativer Ladung (= Anionen). Nur Ionen mit gleicher Ladung können ausgetauscht werden. Je nach Aufbereitungszweck werden Kationenaustauscher oder Anionenaustauscher einzeln oder kombiniert eingesetzt. Vor dem Ionenaustausch ist es besonders wichtig, alle Stoffe, die den Austauscher verschmutzen, (z.B. Schwebstoffe, organische Substanzen, Eisen etc.) restlos zu entfernen.

Angewendet wird das Verfahren des Ionenaustausches für die Nitrateliminierung und eventuell für die Sulfatreduzierung sowie für die Entfernung von Schwermetallen oder bestimmten Radionukliden sowie für die Enthärtung des Wassers und die Entsalzung. Auch Huminstoffe können entfernt werden. Es gibt vier Grundarten des Ionenaustausches, nämlich die Enthärtung durch Neutralaustausch, die Vollentsalzung und Entkieselung, das Carix-Verfahren (Mischbetaustauscher) sowie die Enthärtung und die Entkarbonisierung (MUTSCHMANN J. et al., 2007).

#### 2.3.7.3 Biologische Verfahren

Bei verschiedenen Trinkwasseraufbereitungsverfahren ist, unter bestimmten Randbedingungen, eine Mitwirkung oder sogar Dominanz von biologischen Vorgängen möglich (z.B. bei der Enteisung und Entmanganung in Filtern). Die Nitratentfernung durch Denitrifikation und die Ammoniumentfernung in Trockenfiltern erfolgen vorrangig bzw. ausschließlich biologisch. Da mit biologischen Verfahren eine naturnahe Schadstoffeliminierung, weitgehend ohne Chemikalieneinsatz und bei geringem Energieeinsatz und teilweise verringertem Abwasser- und Schlammanfall, möglich sein kann, sind diese prinzipiell wünschenswert. Es darf jedoch nicht übersehen werden, dass die Anwendung der Biologie bei der Trinkwasseraufbereitung auch zukünftig nur begrenzt möglich sein wird, da das zur Trinkwasserversorgung genutzte Rohwasser nur geringe Nährstoffmengen enthält, die eine zusätzliche Zugabe erforderlich machen (MUTSCHMANN J. et al., 2007).

### 3. Membrantechnologie

Die Anwendung von Membranen in der Trinkwasseraufbereitung ist in den letzten Jahren weltweit stark angestiegen. Im Jahr 2006 wurden bereits täglich ca. 9 Mio. m<sup>3</sup> Trinkwasser mittels Membranfiltration aufbereitet. Auslöser für diese Entwicklung waren eine Verbesserung der Membranen selbst und eine Kostenverringerung der Membrantechnologie.

In der Trinkwasseraufbereitung kommen hauptsächlich Mikro- und Ultrafiltration zur Entfernung von Trübstoffen und Mikroorganismen zum Einsatz (**Abbildung 6**). Weiters wird die Membrantechnik bei Meerwasserentsalzungsanlagen (Umkehrosmose), aber auch bei der Aufbereitung von Rückspülwässern in konventionellen Oberflächenwasseraufbereitungen angewendet (WERDERITSCH M., 2008).

GROMBACH P. et al. (2000) unterscheidet bei den Membranverfahren zwischen Membranfiltration, welche nochmals in Mikrofiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration und Umkehrosmose unterteilt ist, und zwischen der Elektrodialyse. Unter erhöhtem Druck wird bei dem Membranfiltrationsverfahren bevorzugt das Lösemittel durch die Membran gepresst, während bei der Elektrodialyse die elektrische Potentialdifferenz einer angelegten elektrischen Gleichspannung den Transport von Ionen durch die Membranen bewirkt (z.B. Nitratentfernung).

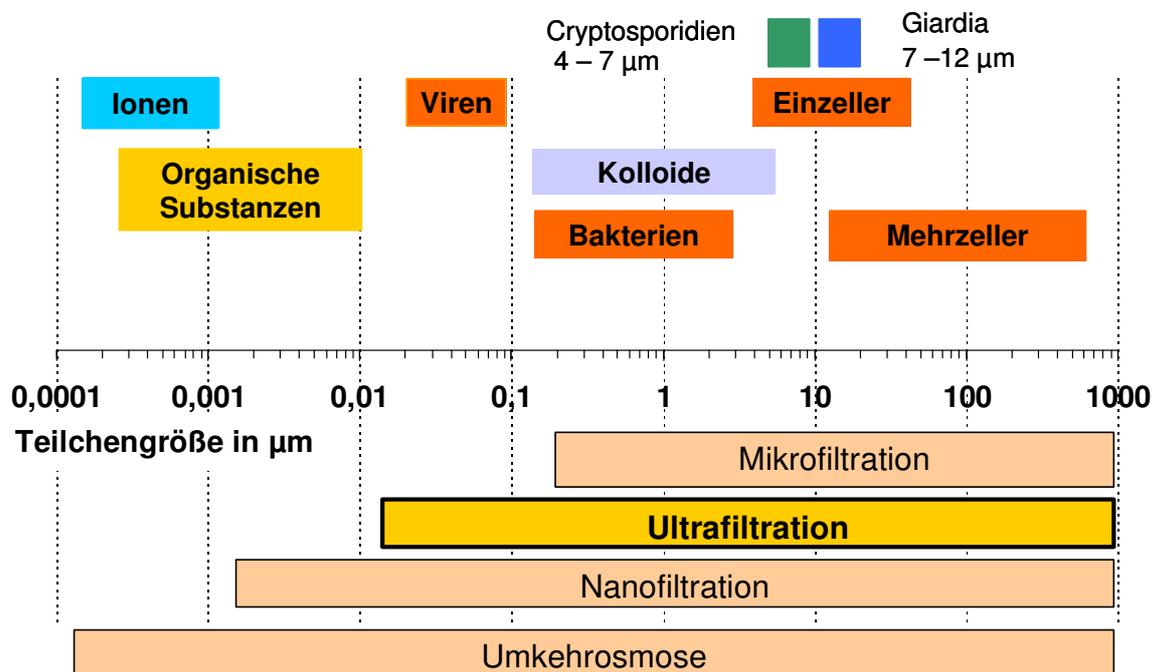
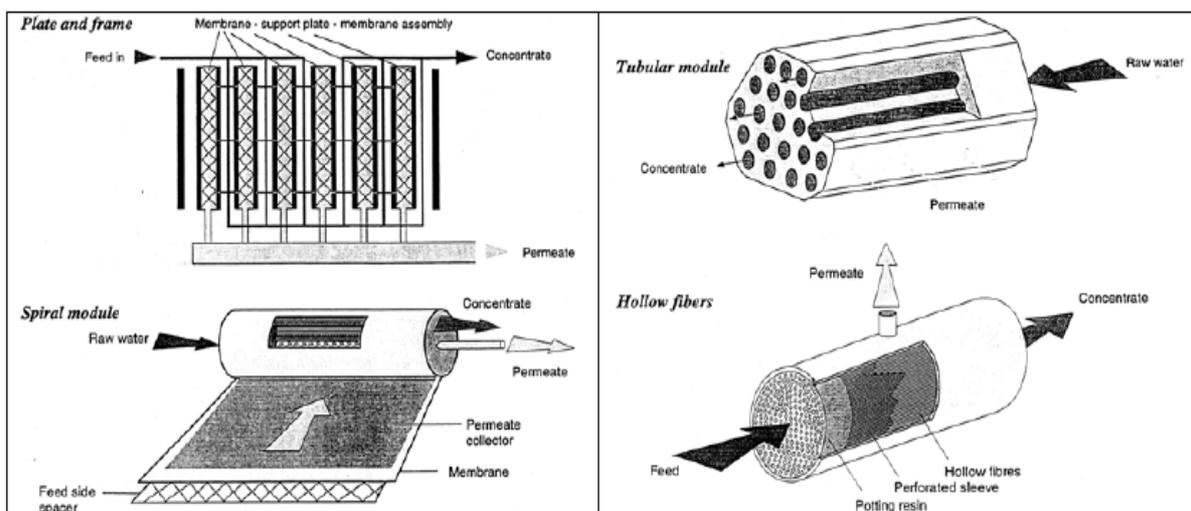


Abbildung 6: Übersicht über Trennverfahren und Wasserinhaltsstoffe (aus KRAUSE S., 2009)

Membranfiltration kann eine Desinfektion nicht ersetzen, da es als Filtrationsverfahren und nicht als Desinfektionsverfahren zählt.

In der Trinkwasseraufbereitung werden Membranverfahren etwa seit den 60iger Jahren zur Entsalzung von Brack- und Meerwasser dort eingesetzt, wo das vorhandene Süßwasser zur Deckung des Trinkwasserbedarfs nicht ausreicht (GROMBACH P. et al., 2000). Membranen sind Flächenfilter, aber sie haben viel kleinere Porenweiten als Siebe oder Filter. Angeboten werden die Membranen kommerziell als kompakte, einfach zu installierende Einheiten (Module). Laut HABERL R. (2008b) werden hierbei 4 Arten unterschieden (**Abbildung 7**):

- **tabular**: röhrenförmige Membranen, Innendurchmesser 6 bis 40 mm, 3 bis 150 Röhren in zylindrischem Gehäuse zusammengefasst
- **hollow fibre**: Hohlfasern (Durchmesser etwa 0,5 bis 2 mm) werden zu mehreren Tausend bis Millionen in einem zylindrischen Gehäuse zusammengefasst
- **spiral wound**: „aufgewickelte Flachmembran“ in zylindrischem Gehäuse
- **Flachmembran (plate and frame)**: flache Membranen und Rahmen aufgezogen.



**Abbildung 7: Schematische Darstellung der 4 Modularten (aus HABERL R., 2008b)**

Gefertigt werden können die Membranen aus organischen Polymeren oder anorganischen Materialien wie beispielsweise Keramik. Die Membranen können auch zu unterschiedlichsten Membranelementen (Wickel-, Platten-, Kissen-, Rohr-, Holzfaserelement) zusammengefügt sein. Unter dem Membranmodul versteht man die anschlussfertige funktionsfähige Einheit, die aus einem oder mehreren Membranelementen besteht. Es können mehrere Module zu einem Modulblock angeordnet werden. Es ist möglich, dass eine Membrananlage aus mehreren Blöcken besteht (MUTSCHMANN J. et al., 2007).

### 3.1 Betriebsweise und Einleitung

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Betriebsarten von Membranen: Dead-End oder Cross-Flow. Das Rohwasser wird auch als „*Feed*“ bezeichnet. Das Reinwasser (Filtrat) wird auch als „*Permeat*“ bezeichnet.

#### Kenngrößen der Membrantechnik:

**Flux** oder Flächenbelastung [ $l/m^2 \cdot h$ ]:

Filtratmenge je Stunde bezogen auf die Membranfläche

**TMP** transmembraner Druck [bar]:

Druckunterschied zwischen Rohwasser und Reinwasser

**Permeabilität** [ $l/m^2 \cdot h \cdot bar$ ]:

Filtratmenge je Quadratmeter Membranfläche bei einer Druckdifferenz von einem Bar.

**Ausbeute** [%]:

Ins Netz abgegebene Filtratmenge bezogen auf die eingesetzte Rohwassermenge.

Liegt laut KRAUSE S. (2009) die Membran auf der Innenseite der Faser, so wird das aufzubereitende Wasser in das Innere der Fasern gedrückt und das Reinwasser an der Faseraußenseite abgeleitet. Firmen wie Aquasource, INGE, X-Flow bringen diese Modulsysteme auf den Markt. **Abbildung 8** zeigt die Betriebsweise bei innen liegender Membran.

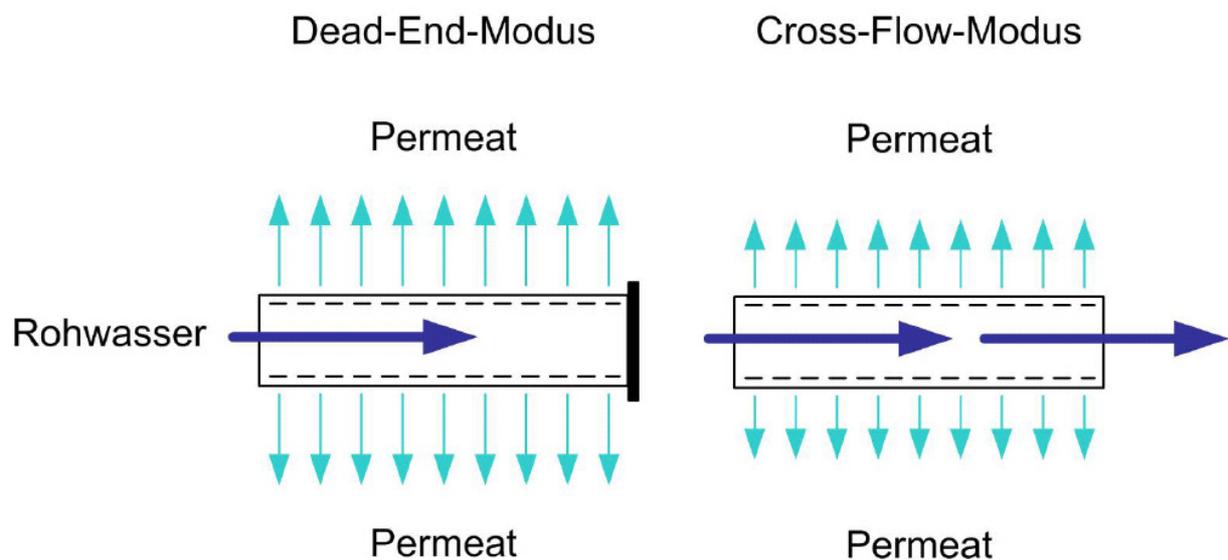
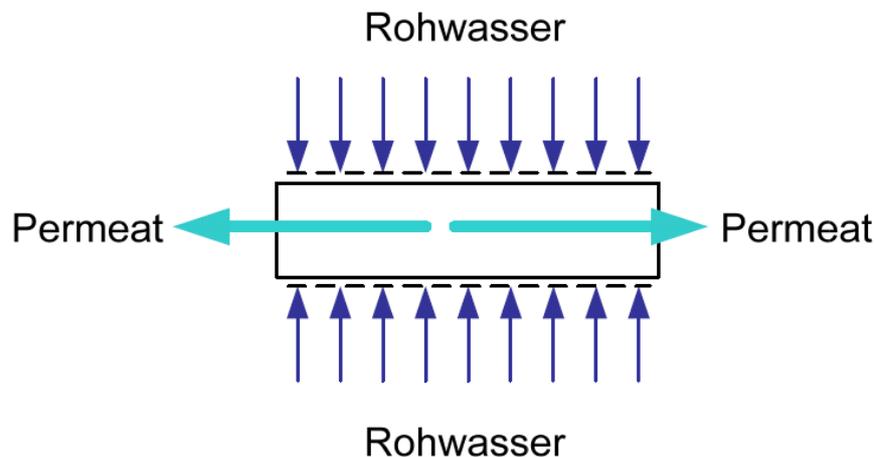


Abbildung 8: Betriebsweise – Membran innen liegend (aus KRAUSE S., 2008)

Liegt laut KRAUSE S. (2009) die Membran dagegen auf der Außenseite der Faser, kann das Rohwasser von außen durch die Membran gedrückt werden, wie beispielsweise Produkte der Firma Pall bzw. das Reinwasser an der Innenseite der Faser abgesaugt werden, wie beispielsweise Module der Firma Zenon. **Abbildung 9** zeigt die Betriebsweise bei außen liegender Membran.



**Abbildung 9: Betriebsweise – Membran außen liegend (aus KRAUSE S., 2008)**

### **3.1.1 Dead-End-Betrieb**

Hier wird die Membran von dem zu filtrierendem Medium orthogonal durchströmt (ähnlich einem Kaffeefilter). Auf der Membran lagern sich die zurückgehaltenen Teilchen ab. Die Deckschicht, welche dadurch entsteht, bildet einen zeitlich anwachsenden Strömungswiderstand, wobei es zu einer Abnahme des Permeatflusses durch die Membran kommt (**Abbildung 10**). Die auf der Membran abgelagerte Deckschicht muss nach einem Filtrationsintervall gespült werden, damit der Permeatfluss nicht völlig zum Erliegen kommt. Typischerweise ist der Dead-End-Betrieb also ein diskontinuierlicher Prozess. Die Permeatflussabnahme wird daher häufig durch eine Regelung des Feeddruckes (zwischen 0,5 und 2,5 bar bei Ultrafiltration und Mikrofiltration) kompensiert. Wenn der Feeddruck einen Maximalwert erreicht, dann setzt die Modulspülung ein. Der Vorteil des Dead-End-Betriebs ist sein geringer spezifischer Energiebedarf, denn abgesehen von der Energie für die Modulspülungen, wird die Energie zur Druckerhöhung im Feed benötigt. Durch den geringen Energiebedarf (0,1 - 0,5 kWh/m<sup>3</sup> Permeat), sowie durch die Entwicklung preisgünstiger Module kann die Dead-End-Filtration beispielsweise für die Entkeimung von Trinkwasser eingesetzt werden. Ein sehr geringer Feststoffgehalt der zu filtrierenden Suspension ist die Voraussetzung, dass ein Dead-End-Betrieb funktioniert (MELIN T. et al., 2007).

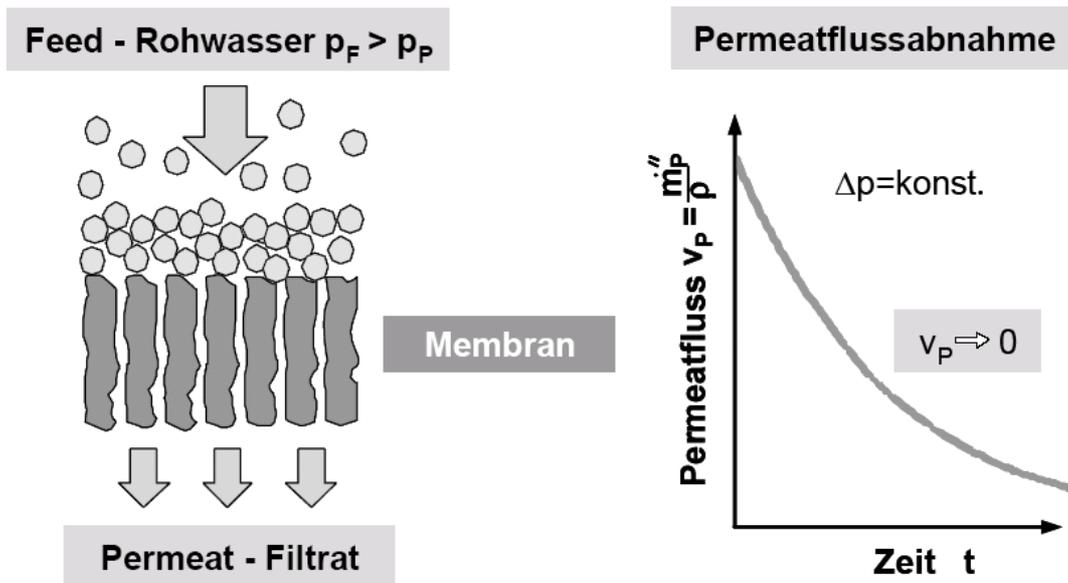


Abbildung 10: Schematische Darstellung des Dead-End-Betriebs (aus MELIN T. et al., 2007)

### 3.1.2 Cross-Flow-Betrieb

Die dynamische Filtration oder Cross-Flow-Filtration (Querstromfiltration) realisiert im Gegensatz zum Dead-End-Betrieb eine membranparallele Überströmung der Membran auf der Feedseite. Hierbei lagern sich in der Regel Partikel als Deckschicht auf der Membran ab. Es ist daher die Aufgabe der Membranüberströmung die Deckschichtbildung auf der Membran zu kontrollieren (**Abbildung 11**). Nur durch frei werdende Scherkräfte aufgrund der Überströmung an der Membranoberfläche können die abgelagerten Partikel aus der Deckschicht in die Kernströmung zurückgeführt werden (MELIN T. et al., 2007).

Es gibt zwei Fälle von Deckschichtbildungen, die zu unterscheiden sind, nämlich die

- reversible Deckschichtbildung und die
- irreversible Deckschichtbildung.

Von einer reversiblen Deckschichtbildung spricht man, wenn der teilweise Abtrag der Deckschicht durch höhere Strömungsgeschwindigkeiten möglich ist. Weiters stehen das Mitreißen und die Ablagerung der Partikel im Gleichgewicht, sodass sich eine konstante Deckschichtdicke und damit ein stationärer Permeatfluss einstellen können.

Hingegen sinkt bei der irreversiblen Deckschichtbildung der Permeatfluss, aufgrund der Strukturänderungen der Deckschicht durch Einlagerung von feinen Partikeln in den zwischen größeren Partikeln gebildeten Hohlräumen, stetig ab. Um dem entgegenwirken zu können, fordern diese Systeme, wie auch der Dead-End-Betrieb, eine periodische Abtragung der Deckschicht, z.B. durch Permeatrückspülung (MELIN T. et al., 2007). Der Nachteil des Cross-Flow-Betriebs ist der hohe Energiebedarf von ca. 3 – 4 kWh/m<sup>3</sup>, der für die Membranüberströmung notwendig ist (BEFORTH H., 2009).

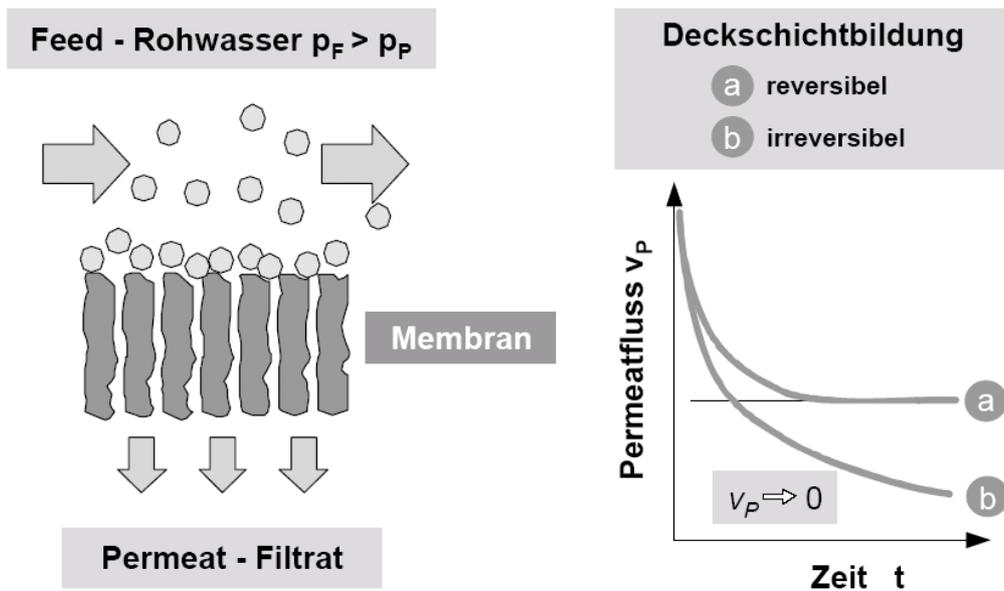


Abbildung 11: Schematische Darstellung des Cross-Flow-Betriebs (aus MELIN T. et al., 2007)

### 3.2 Membranverfahren

Im Folgenden werden die einzelnen Membranverfahren, wie Mikrofiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration, Umkehrosmose und Elektrodialyse näher beschrieben, wobei der Schwerpunkt dieses Kapitels in der Ultrafiltration liegt, da dieser Aufbereitungsschritt auch in Heidenreichstein angewendet wurde. **Abbildung 12** zeigt die wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Membranfiltrationen bezüglich der abzutrennenden Wasserinhaltsstoffe und der Druckdifferenzen.

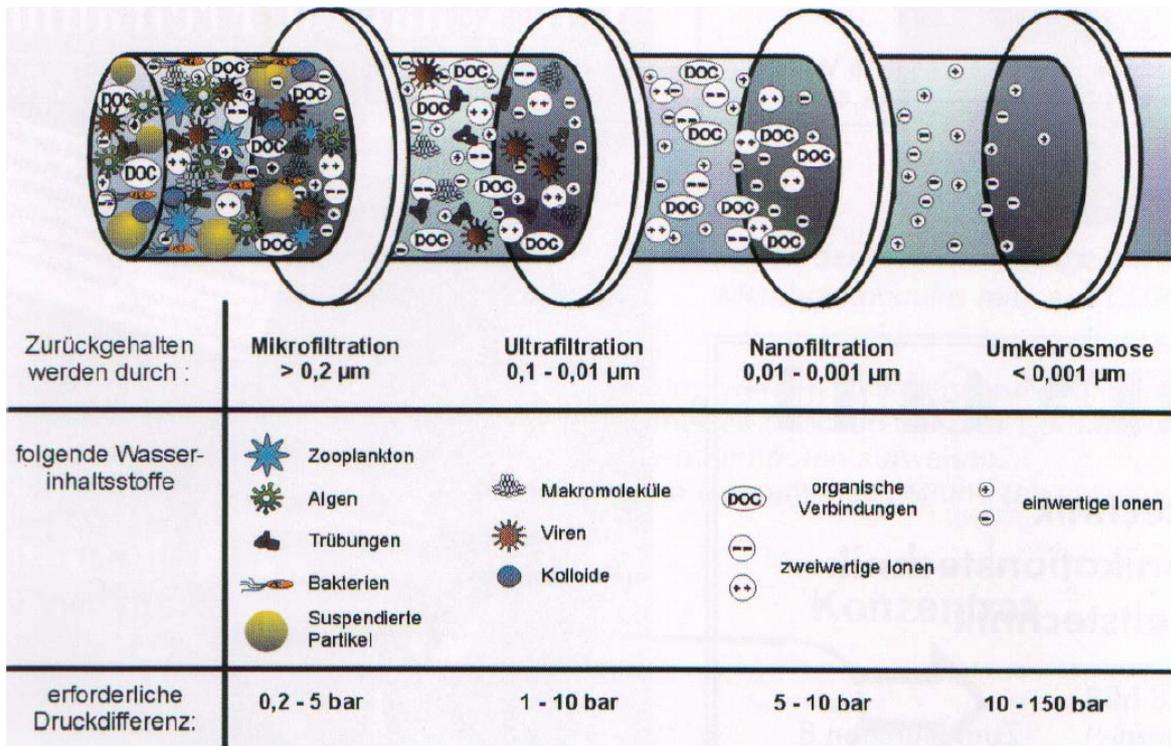


Abbildung 12: Druckdifferenzen und Rückhaltevermögen von Membranfiltrationen (aus WERDERITSCH M., 2008)

### **3.2.1 Mikrofiltration**

Laut FRIEDLE M. (2002) ist die Mikrofiltration das älteste der unter einem Druckgradienten ablaufenden Trennverfahren mit Membranen. Unter Mikrofiltrationsmembranen versteht man poröse symmetrische Membranen, bei denen die Porenweite im Membrankörper nur geringfügig variiert. Der hydraulische Widerstand der Membran kann wegen der großen Porosität meist vernachlässigt werden. Die angewendeten Drücke liegen üblicherweise zwischen 0,5 und 2 bar. Nur in seltenen Fällen liegen sie bei 5 bar. Die Mikrofiltration wird in der Trinkwasseraufbereitung zur Abtrennung von Trübstoffen und bakteriellen Verunreinigungen eingesetzt. In der Trinkwasseraufbereitung werden aus Sicherheitsgründen meist Ultrafiltrationsverfahren bevorzugt, da Viren bei der Mikrofiltration nur teilweise zurückgehalten werden. Die Mikrofiltration kommt auch als Vorstufe zur Ultrafiltration, Nanofiltration oder Umkehrosmose zur Anwendung.

#### **3.2.1.1 Mikrofiltrationsmembranen**

Meist werden Membranen mit einem Porendurchmesser zwischen 0,05 µm und 10 µm verwendet (FRIEDLE M., 2002). Durch die Angabe des nominalen Porendurchmessers werden Mikrofiltrationsmembranen charakterisiert. Der nominale Porendurchmesser entspricht dem Durchmesser eines charakteristischen Partikels. Es werden dafür normalerweise Partikel ausgewählt, die durch die Membran zu 95 bzw. 98 % zurückgehalten werden. Aufgrund der Porengröße ist der spezifische Strömungswiderstand von Mikrofiltrationsmembranen relativ gering. Viele Mikrofiltrationsmembranen weisen eine symmetrische Struktur auf. Werkstoffe für Mikrofiltrationsmembranen, die häufig verwendet werden, sind unter anderem Polypropylen und PTFE, Polyamid und Zelluloseester (MELIN T. et al., 2007).

#### **3.2.1.2 Betriebsbedingungen**

Normalerweise dient der Einsatz der Mikrofiltration in der Trinkwasseraufbereitung dazu, dass partikuläre Wasserinhaltsstoffe entfernt werden. Aus diesem Grund ist bei diesem Verfahren eine Deckschichtbildung unvermeidlich. Der Prozess soll so gestaltet sein, dass bei kontrollierter Deckschichtbildung ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist, deshalb wird in bestimmten Intervallen die Anlage, etwa 15 - 90 Sekunden lang, rückgespült. Eine Möglichkeit ist die Rückspülung mittels Filtrat oder Zugabe von Chemikalien wie z.B. NaOCl, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Durch die Dosierung von Chemikalien kann der Anlagenbetrieb deutlich verbessert werden. Die Permeabilität sinkt mit der Zeit langsam, weshalb eine intensive Reinigung mittels Chemikalien, wie Zitronensäure, chlorhaltigem Reiniger oder ähnlichem, notwendig ist. Die Anlage muss für mehrere Stunden außer Betrieb genommen werden, um Reinigungen durchzuführen. Die Dauer für diese chemischen Spülungen kann nur empirisch mit Hilfe von Pilotanlagen ermittelt werden. Die Zyklendauer dieser Spülungen kann zwischen 2 Wochen und bis über ein Jahr dauern.

Eine weitere Möglichkeit den Anlagenbetrieb zu verbessern ist die Dosierung geeigneter Zusatzstoffe in den Zulauf einer Anlage. Dies kann, je nach Aufbereitungsziel, beispielsweise Flockungsmittel oder Pulverkohle sein. Eine sehr gut durchlässige und leicht entfernbare Deckschicht konnte zum Beispiel durch die Dosierung von Kaliumpermanganat zur Oxidation des gelösten Mangans mit dem sich bildenden Braunstein erzeugt werden (GIMBEL R. et al., 2004).

### 3.2.2 Ultrafiltration

In den letzten 20 Jahren hat das Ultrafiltrationsverfahren international an Bedeutung gewonnen, weil man mit Ultrafiltrationsmembranen einen sicheren Rückhalt von Trübstoffen und Mikroorganismen ermöglichen kann. Aufgrund der weiten Verbreitung und des Wettbewerbes sind die Membrankosten stark gesunken. Deshalb ist dieses Verfahren nun auch für kleine Versorgungsunternehmen wirtschaftlich und sicher einsetzbar geworden (KRAUSE S., 2009).

Dieses Verfahren der Wasseraufbereitung kommt in Heidenreichstein zur Anwendung.

#### 3.2.2.1 Technische Grundlagen

Laut KRAUSE S. (2009) gehört das Ultrafiltrationsverfahren in die Gruppe der Membranverfahren. Es werden jene Partikel mechanisch abgetrennt, die größer sind als die Poren der Membran. Die Membrane bestehen aus synthetischen Polymeren, dessen Poren einen Durchmesser von ca.  $0,01\ \mu\text{m}$  haben. Deshalb können Bakterien, Parasiten und auch Trübstoffe in diesem Größenbereich zurückgehalten werden. Die sich an der Außen- oder Innenseite sogenannter Hohlfasern befindlichen Membrane haben eine Schichtdicke von wenigen Mikrometern und eine Länge von bis zu zwei Metern. Diese Hohlfasern werden in Modulen zusammengefasst (zu mehreren hundert bis tausend Stück). **Abbildung 13** zeigt den Modulaufbau anhand eines Beispiels der Fa. Inge (Deutschland).



Abbildung 13: Modulaufbau (Beispiel Fa. Inge) (aus KRAUSE S., 2009)

Während des Filtrationsintervalls, welcher eine Dauer von 30 bis 120 Minuten haben kann, werden die Trübstoffe auf der Oberfläche der Membran abgeschieden. Wird die Filtrationsrichtung umgekehrt, werden diese Stoffe wieder ausgetragen. Diese Rückspülung dauert ca. 30 bis 60 Sekunden.

Während der Filtration wird eine sogenannte Flächenbelastung von 60 bis 100 l/m<sup>2</sup>h gewählt. Dies bedeutet, dass mit einem Modul mit einer Membranfläche von 50 m<sup>2</sup> je Stunde zwischen 3.000 und 5.000 Liter Reinwasser erzeugt werden können. Der Druck, der hierbei erforderlich ist, das Wasser durch die Membran zu pressen, liegt zwischen ca. 0,2 und 1,0 bar und ist daher stark von der Membranbeschaffenheit sowie von der Rohwasserqualität abhängig.

Für die Rückspülung muss die Flächenbelastung auf mindestens 200 l/m<sup>2</sup>h erhöht werden, um größere Scherkräfte für die Membranreinigung aufzubringen. Von großer Bedeutung ist hierbei, dass die abgeschiedenen Trübstoffe vollständig aus dem Modul entfernt werden und nicht nur abgelöst werden. Aus der Rückspüldauer und der Flächenbelastung resultiert ein Spülwasserverbrauch von < 1 bis 5 %.

Dem Rückspülwasser können in Abständen Chemikalien zugesetzt werden, um die Membrandurchlässigkeit vollständig wieder herzustellen, da die Reinigung der Membran ohne Chemikalienzugabe in der Regel nicht gelingt. Als Chemikalien kommen Salzsäure, Schwefelsäure und Natronlauge zur Anwendung. Auch Chlorbleichlauge kann zur Reinigung verwendet werden.

Da die Membrandurchlässigkeit von Zeit zu Zeit abnimmt sind intensive chemische Reinigungen unerlässlich, um die Membrandurchlässigkeit wiederherzustellen.

Ultrafiltrationsmembrane können über mehrere Jahre genutzt werden und die Garantie für die Membrannutzungsdauer liegt normalerweise bei 5 Jahren, teilweise auch bei 10 Jahren (KRAUSE S., 2009).

### **3.2.2.2 Ultrafiltrationsmembranen**

Da die Partikelabmessungen, der von der Ultrafiltration separierten Stoffe, meist unbekannt sind, wählt man als charakteristische Größe das Molekulargewicht der zurückgehaltenen Komponenten aus.

Die Bestimmung der Porengrößenverteilung ist sehr aufwendig und daher werden die Membranen dahin charakterisiert, ab welcher Grenze 90 % oder 95 % der Moleküle einer bestimmten Molmasse zurückgehalten werden (molecular weight cut-off). Wenn die molekulare Trenngrenze bestimmt wird, ist es wichtig, dass keine Deckschichtbildung auf der Membran stattfindet. Die molekulare Trenngrenze gilt nicht als absolutes Maß für die Trenneigenschaft der betrachteten Membran, da stets stoffspezifische Wechselwirkungen zwischen Membran und zurückgehaltener Komponente und Einflüsse der Molekülstruktur auftreten. Typische molekulare Trenngrenzen für Ultrafiltrationsmembranen liegen zwischen ca. 1.000 und ca. 100.000 Da = 0,01 - 0,02 µm (MELIN T. et al., 2007).

### **3.2.3 Nanofiltration**

Die Nanofiltration liegt zwischen der Umkehrosmose und der Ultrafiltration im Hinblick auf die Abtrennung organischer Komponenten aus wässrigen Lösungen (MELIN T. et al., 2007). Bei der Nanofiltration beruht die Rückhaltung der Wasserinhaltsstoffe nicht nur auf der Siebwirkung, sondern auch auf Abstoßungseffekten der geladenen Membran (MUTSCHMANN J. et al., 2007).

Laut FRIEDLE M. (2002) wird die Nanofiltration seit ca. 17 Jahren eingesetzt und ist das jüngste druckbetriebene Membranverfahren. Die abtrennbare Molekülgröße liegt zwischen 0,01 – 0,001 µm. Gute Rückhalte für organische Moleküle - welche einen Durchmesser von einem Nanometer (= 0,001 µm) besitzen - werden mit Molgewichten größer 200 – 300 g/mol erreicht. Daher auch der Name Nanofiltration. Bei einer Größe des Porendurchmessers von 0,001 µm können zweiwertige Ionen bis zu 99 % aber auch einwertige Ionen bis zu ca. 90 % zurückgehalten werden.

Dieses Verfahren ist für eine Vielzahl von Trennaufgaben geeignet, wie zum Beispiel für die Enthärtung von Trinkwasser und für die Abtrennung organischer Verunreinigungen (Insektizide, Pestizide) in der Trinkwasseraufbereitung. Zusätzlich wird dieses Verfahren für die Filtration von Säuren und Laugen und zur Entsalzung von organischen Wertstoffen angewendet (Pharmazeutische Industrie).

Die Spiralwickelkonfiguration ist jene, die bei Wasseraufbereitungsanwendungen bevorzugt eingesetzt wird. Ihre kompakte Bauweise mit hoher Packungsdichte ermöglicht die Behandlung großer Volumenströme auf kleinem Raum. Eine hohe Qualität der Feedlösungen in Bezug auf die Feststoffbelastung bzw. eine entsprechend aufwendige Vorfiltration ist Voraussetzung für den Einsatz von Spiralwickелеlementen (Internet: FUMATECH GMBH, Nanofiltration, 2009).

#### **3.2.3.1 Trennverhalten von Nanofiltrationsmembranen**

Typisch für die Nanofiltrationsmembranen sind laut GIMBEL R. et al. (2004) die sehr starke Abhängigkeit der Rückhaltung der einwertigen Ionen von deren Zulaufkonzentration und die weit geringere Rückhaltung dieser Ionen im Vergleich zu mehrwertigen Ionen. Elektrostatische Wechselwirkungen zwischen der meist negativ geladenen Nanofiltrationsmembran und den Anionen sind wohl dafür verantwortlich. Wenn man aber die Salzkonzentration erhöht, so führt dies zu einer besseren Abschirmung der Oberflächenladungen der Membran. Dadurch kommt es zu einer geringeren Abstoßung der Anionen und dadurch nimmt die Salzurückhaltung mit steigender Salzkonzentration ab.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Nanofiltration dann interessant, wenn beispielsweise gleichzeitig eine Enthärtung oder Entsulfatisierung und eine Entfernung organischer Störstoffe möglich wäre. Die DOC-Elimination beträgt in der Regel über 90 %.

### 3.2.4 Umkehrosmose

Das Prinzip ist, dass das zulaufende Rohwasser mit 5 – 100 bar gegen eine nur für das annähernd reine Wasser und für gelöste Gase durchlässige (semipermeable) Membran gedrückt wird. Letzteres fällt an der Niederdruckseite als Permeat an, während es zu einem Konzentrat der zu entfernenden Wasserinhaltsstoffe kommen kann (MUTSCHMANN J. et al., 2007).

Weil der osmotische Druckunterschied zwischen Konzentrat und Permeat, verursacht durch den großen Unterschied in der Konzentration gelöster Stoffe, überwunden werden muss, ist ein hoher Druck nötig.

Eine Vorbehandlung soll Ablagerungen auf den Membranen („*Scaling*“ = Ablagerungen durch Ausfällungen im Konzentrat und „*Fouling*“ = Verblockung der Poren durch Partikel und biologischem Wachstum) verhindern. Um *Scaling* zu verhindern wird einerseits der pH-Wert abgesenkt (Säuredosierung) und andererseits werden *Scaling*-Inhibitoren (Polyphosphate) zugegeben. Abhängig von der Rohwasserqualität werden Membranverfahren wie Mikrofiltration und Ultrafiltration, eine Flockenfiltration und/oder Desinfektionsmaßnahmen gegen Biofouling vorgeschaltet, um das *Fouling* einzuschränken. Werden Desinfektionsmittel eingesetzt, ist darauf zu achten, dass sie gegenüber dem Membranwerkstoff verträglich sind. Wöchentlich bis jährlich wird die Membran mit Reinigungsmitteln gespült, um entstandene Ablagerungen zu entfernen.

Wird das aufbereitete Wasser als Trinkwasser verwendet, ist eine Nachbehandlung unumgänglich, wie beispielsweise das Verschneiden mit Rohwasser zur Aufsalzung und pH-Wert-Einstellung (HABERL R., 2008b).

#### 3.2.4.1 Trennverhalten von Umkehrosmosemembranen

Umkehrosmosemembranen weisen eine hohe Rückhaltung für Salze auf (meist über 95 %) und sind Entsalzungsmembranen. Die Membranhersteller bieten je nach Anwendungszweck Membranen für die Meerwasserentsalzung mit Rückhaltungen größer 99,5 % an. Hingegen reicht bei der Brackwasserentsalzung schon eine Rückhaltung um 98 % aus. Weitere Faktoren für die Rückhaltung sind Temperatur, Salzkonzentration und pH-Wert. Die meisten Membranen zeigen folgendes Verhaltensmuster (GIMBEL R. et al., 2004):

- Gelöste Gase permeieren relativ gut wie beispielsweise CO<sub>2</sub>.
- Je höher die Wertigkeit der Ionen, desto besser ihre Rückhaltung.
- Für organische Stoffe nimmt das Rückhaltevermögen einer Membran mit steigender Molmasse der Stoffe zu.
- Das Rückhaltevermögen einer Membran für Isomere steigt mit zunehmender Verzweigung der Isomere an.
- Das Rückhaltevermögen einer Membran für Stoffe, deren Dissoziationsgrad im Wasser vom pH-Wert abhängt, ist ebenfalls eine Funktion des pH-Werts und der Ladung der Membran.

Bei Umkehrosmosemembranen ist die Nitratrückhaltung kleiner als die Gesamtsalzurückhaltung. Weshalb der Einsatz der Umkehrosmose zur Nitratentfernung nur dann sinnvoll ist, wenn gleichzeitig eine Enthärtung bzw. eine Entsalzung durchgeführt wird. So wird ein Teilstrom des Rohwassers weitgehend entsalzt und danach mit Rohwasser verschnitten (GIMBEL R. et al., 2004).

### **3.2.5 Elektrodialyse**

Laut MUTSCHMANN J. et al. (2007) besteht eine Elektrodialyseanlage aus zahlreichen Kammern, deren Wandungen von Membranen gebildet werden, die abwechselnd jeweils nur an- oder kationendurchlässig sind. Außerdem befinden sich in den beiden Endkammern Elektroden. Wird eine elektrische Gleichspannung angelegt, wandern von den im Zulaufwasser gelösten Salzen die Anionen, wie beispielsweise Cl in Richtung Anode, die Kationen wie beispielsweise Na<sup>+</sup> zur Kathode. Wegen der Sperrwirkung von jeder zweiten Membran kommt es somit zu einer Aufkonzentrierung (z.B. von NaCl) in jeder zweiten Zelle, während beispielsweise das entsalzte Reinwasser aus den übrigen Zellen abläuft. Der Abwasseranfall beträgt im Vergleich mit der Umkehrosmose mit etwa 2 % des Zulaufwassers nur ca. 1/10. Wie auch bei der Umkehrosmose kann es bei dieser Art der Filtration auch zu Ausfällungen von Ca-Verbindungen und durch kolloidale Wasserinhaltsstoffe zu störenden Blockierungen der Membranen kommen. Um dem entgegenzuwirken, werden Gegenmaßnahmen, wie Vorbehandlung des Wassers sowie zeitweise Polumkehr und Elektrodenspülungen, getroffen. In der Regel werden sowohl bei der Elektrodialyse als auch bei der Umkehrosmose alle gelösten Salze gleichmäßig zurückgehalten.

Die Elektrodialyse wird in der Trinkwasseraufbereitung vorwiegend zur Entsalzung von Brackwasser und daneben auch zur Nitratentfernung und zur Enthärtung eingesetzt (GROMBACH P. et al., 2000).

## 4. Pilotprojekt Heidenreichstein

Die Wassergewinnungsanlage der Stadtgemeinde Heidenreichstein wurde in den 1970er Jahren errichtet. Diese besteht aus zwei Horizontalfilterbrunnen, welche *Uferfiltrat* des nahe gelegenen Romaubaches fördern. Am Anfang wurden bis zu 25 l/s gefördert (hoher Bedarfs der Textilindustrie), später wurde die Konsensmenge jedoch auf 10 l/s reduziert (KÖLBL J., 2009).

*Uferfiltrat* ist Brauch- oder Trinkwasser, das aus Brunnen in unmittelbarer Nähe, von Bächen, Flüssen oder Seen gewonnen wird. Das geförderte Wasser besteht daher zu einem überwiegenden Anteil aus diesen Oberflächengewässern (Internet: WIKIPEDIA, Uferfiltrat, 2009).

Aufgrund der Geologie weisen die Wässer im Waldviertel einen hohen Eisen- und Mangangehalt auf. Zudem kommt es häufig zu Beeinflussungen durch Oberflächenwässer, was immer wieder hohe mikrobiologische Belastungen nach sich zieht. Dabei ist zu erwähnen, dass kein Schutzgebiet angeordnet ist und, dass im Einzugsgebiet des Brunnens eine intensive landwirtschaftliche Nutzung erfolgt. Das Waldviertel ist ja berühmt für seine Karpfen und deshalb ist es auch nicht unbedeutend, dass viele Fischzuchtbetriebe den Fischwasserablauf in den Romaubach einleiten. Hinzu kommt noch eine Kläranlage (~ 500 EW) bachaufwärts, die ebenfalls den Ablauf in den Romaubach einleitet (**Abbildung 14**).

Im Jahr 2002 wurden aufgrund eines Hochwassers die Brunnen verschlammt. Ab dem Frühjahr 2006 wurde die Wassergewinnung eingestellt und der Wasserbedarf der Stadtgemeinde Heidenreichstein zur Gänze über Fremdbezug abgedeckt (KÖLBL J., 2009).

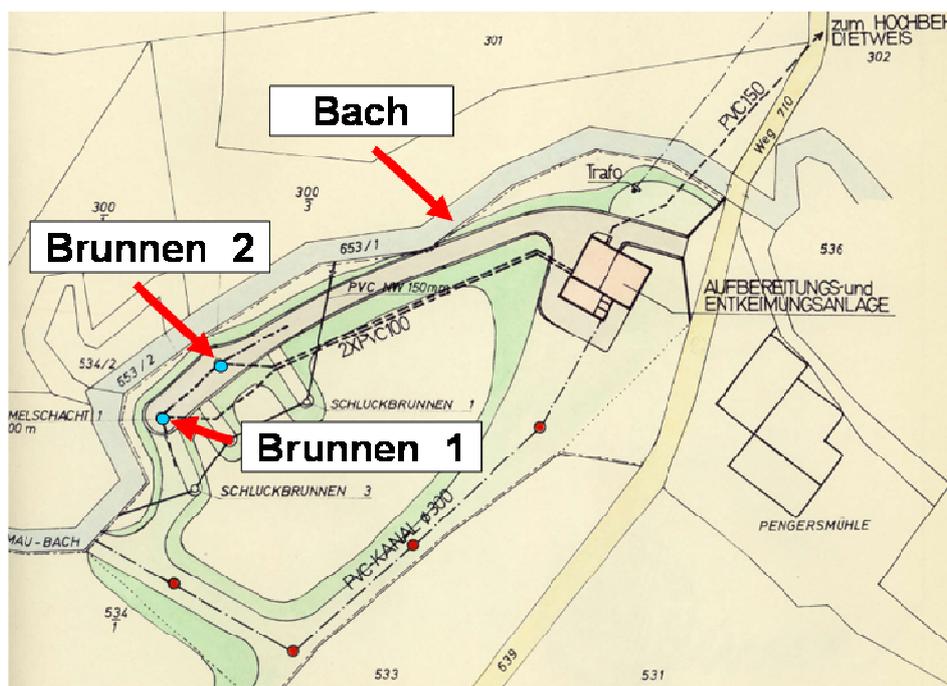


Abbildung 14: Übersichtslageplan (aus KÖLBL J et al., 2009b)

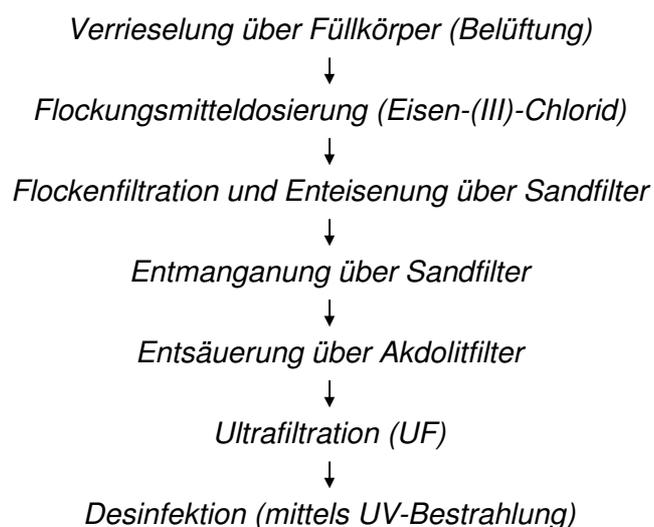
Da eine weitgehende Keimentfernung angestrebt wird, hat man sich für die Ultrafiltration (UF) in Kombination mit anderen Aufbereitungsmechanismen entschieden. Erfahrungen haben gezeigt, dass mittels Flockung und Ultrafiltration unter günstigen Voraussetzungen ein Wirkungsgrad von 60 % bis 70 % bei der Huminstoffentfernung erreicht werden kann (KÖLBL J. et al., 2007).

#### 4.1 Aufbereitungskonzept

Mit dem Ziel eine Ultrafiltrationsanlage stabil betreiben zu können ergeben sich besondere Anforderungen an die vorhergehende Aufbereitung. Bevor das Wasser nämlich der Ultrafiltration zugeführt wird, muss die Trübung sowie der TOC-Gehalt (total organic carbon) weitgehend verringert werden und die Enteisenung und Entmanganung des aufzubereitenden Wassers vollständig abgeschlossen sein, um die Membranfiltration nicht zu beeinträchtigen. Ist dies nicht der Fall, werden aufwendige Reinigungsschritte notwendig und die Lebensdauer der Membranen kann sich aufgrund der höheren Belastung verringern.

Daher erfolgte vor Beginn des UF-Pilotversuches eine Optimierung der Enteisenungs- bzw. Entmanganungsanlage, aufgrund der teilweise eingeschränkten Funktionstüchtigkeit in der Vergangenheit. Zeitweise kam es zum Durchschlagen höherer Eisen- und Mangangehalte, v.a. bei wechselnden Verhältnissen der Rohwasserqualität.

Um das gewünschte Ziel und Ergebnis zu erreichen, wurden während des gesamten Projektablaufs verschiedenste Versuchsanordnungen und Anlageneinstellungen untersucht, wobei die im Anschluss beschriebene Versuchsanordnung den besten Erfolg brachte (**Abbildung 15**). Es ist auch möglich, als Alternative, die Ultrafiltration vor der Entsäuerung durchzuführen (KÖLBL J. et al., 2009b).



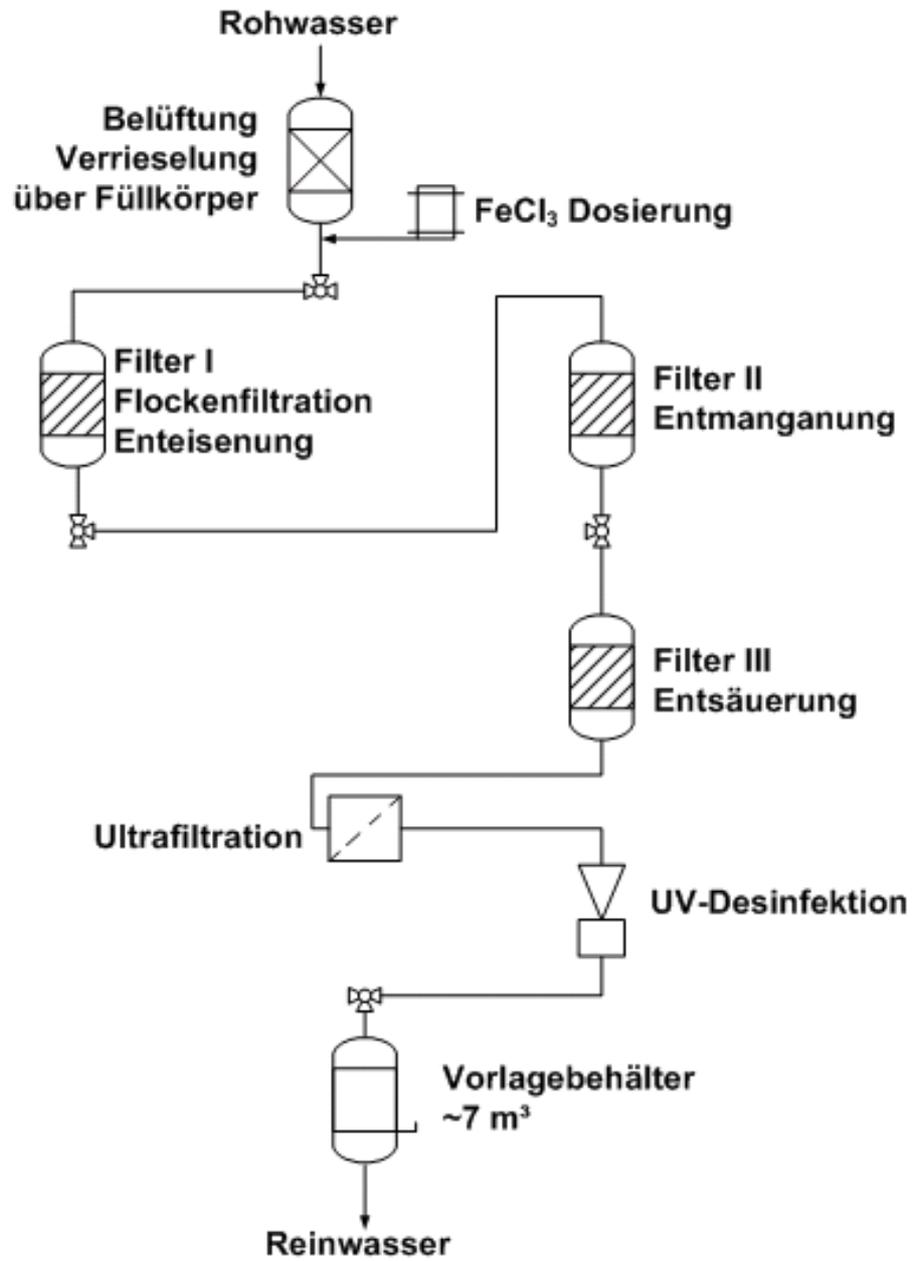


Abbildung 15: Schema Versuchsanordnung (aus KÖLBL J. et al., 2009b)

#### **4.1.1 Verrieselung über Füllkörper (Belüftung)**

Hierbei sind Füllkörper, auch Raschigringe genannt, (z.B. aus Kunststoff oder Keramik der Größe 40 x 40 mm in einem geschlossenen Reaktionsbehälter (**Abbildung 16**) in regelmäßiger oder unregelmäßiger Schüttung auf einem Tragrost angeordnet. Das Wasser wird von oben herab auf diese Füllkörper gleichmäßig verteilt und fließt rieselförmig an und in diesem nach unten (MUTSCHMANN J. et al., 2007).

Die Verrieselung über Füllkörper dient als Vorbereitungsstufe für die nachfolgenden Aufbereitungsschritte, um einerseits das Rohwasser mit Sauerstoff anzureichern und andererseits den pH-Wert anzuheben. Weiters erfolgt hier die Oxidation von Eisen und Mangan. Nachdem das Wasser durchlüftet und durchwirbelt wurde, gelangt es in einen Zwischenbehälter, der unter dem Riesler angeordnet ist.



**Abbildung 16: Riesler + Gebläse**

#### **4.1.2 Flockungsmitteldosierung (Eisen-(III)-Chlorid)**

In der Versuchsanlage in Heidenreichstein wurde als Flockungsmittel Eisen-(III)-Chlorid ( $\text{FeCl}_3$ ) eingesetzt. Die erforderlichen Dosiermengen, der erreichbare Wirkungsgrad und der optimale pH-Wert sind stark von der Beschaffenheit des Rohwassers abhängig. Deshalb müssen die Dosiermengen in Vorversuchen abgeschätzt und an der großtechnischen Anlage optimiert und danach ausgerichtet werden. Die höchsten Wirkungsgrade wurden in Heidenreichstein bei einer Dosierkonzentration von 20 mg/l Fe erreicht. Allerdings kann sich diese erforderliche Dosiermenge durch Schwankung der Rohwasserqualität ändern. Eventuell kann durch eine Änderung der Flockungsmethode, z.B. KSU-Reaktor statt der Dosierung in Leitungen und Abtrennung über Flockenfiltration, der Wirkungsgrad der Effizienz verbessert werden. Die Flockungsmitteldosierung erfolgt nach der Verrieselung des Rohwassers, aber

noch vor dem Filter I, in dem die Flockenfiltration und Enteisenung über Sandfilter erfolgt (KÖLBL J. et al., 2009b).

Das Eisen-(III)-Chlorid (**Abbildung 17**) ist flüssig, rotbraun, geruchlos, ätzend und hat eine Dichte bei 20°C von 1,42 g/cm<sup>3</sup>. Durch eine gezielte Verdünnung mit Wasser kann sowohl die Viskosität gesenkt als auch die Kristallisation verhindert werden (ab ca. - 35°C mögliche Kristallisation). Deshalb bestehen für den Betrieb im Winter keinerlei Einschränkungen. FeCl<sub>3</sub> kann mittels Eisenbahnwaggon/Container oder mit einem Straßentankzug ausgeliefert werden (DONAU CHEMIE AG, 2008).



**Abbildung 17: Container mit FeCl<sub>3</sub>**

### **4.1.3 Flockenfiltration und Enteisenung über Sandfilter I**

Die Flockenfiltration und Enteisenung erfolgt im Sandfilter I (**Abbildung 18**). Das Ziel der Flockung ist es, die gelösten oder kolloidalen Inhaltsstoffe des Wassers (Trübstoffe) in Flocken einzubinden, damit sie dann durch Filtration oder Sedimentation aus dem aufzubereitenden Wasser entfernt werden können. Die Huminstoffentfernung gilt als oberstes Ziel, da die Huminstoffe die UV-Durchlässigkeit einschränken und so eine Desinfektion mittels UV-Bestrahlung unmöglich machen. (KÖLBL J. et al., 2009b). Aber auch der UF-Betrieb bedarf einer vorherigen Aufbereitung mittels Flockenfiltration, um den reibungslosen Filtrationsablauf zu gewährleisten.

Das mit FeCl<sub>3</sub> versetzte Wasser gelangt von oben in den Filterkessel, der einen Durchmesser von 180 cm und eine Höhe von 250 cm aufweist. Im Kessel befindet sich ein Filtermaterial mit einer Gesamtschichthöhe von 180 cm, das vom Wasser durchströmt wird. Dabei werden die gelösten Inhaltsstoffe, die in den Flocken eingebunden werden, durch das Filtermaterial zurückgehalten. Der Aufbau des Filtermaterials wird, wie folgt, von oben nach unten beschrieben:

Hydro-Anthrasit H (Körnung I, 0,6-1,6 mm)	75 cm
Filterkies I (Körnung 0,4-0,8 mm)	75 cm
Stützkies (2-3,2 mm)	10 cm
Stützkies (3-5,6 mm)	10 cm
Stützkies (5-8 mm)	10 cm

Der Sandfilter I wird täglich mit einer Spülwassermenge von 90 m<sup>3</sup>/h (Spülgeschwindigkeit  $\approx$  35 m/h) rückgespült, um die im Filter abgeschiedenen Partikel bzw. Flocken zu entfernen. Das ergibt bei einer täglich durchschnittlichen Spülzeit von 15 min. ca. 25 m<sup>3</sup>/d Spülwassermenge. Folgender Spülzyklus wird angewendet:

mit Wasser:	5 min.
mit Luft:	10-15 min.
mit Wasser:	7-10 min.



Abbildung 18: Sandfilter I (Flockenfiltration und Enteisung)

#### 4.1.4 Entmanganung über Sandfilter II

Die Entmanganung in Filtern gehört zu den biologischen Aufbereitungsverfahren (**Kapitel 2.3.7.3**). Nach der Flockenfiltration und Enteisung über Sandfilter I gelangt das Wasser in den Sandfilter II (**Abbildung 19**), wo das Wasser einer (Rest-)entmanganung unterzogen wird. Das Prinzip gleicht dem der Enteisung, nur das hier wesentliche Unterschiede im Aufbau und der Zusammensetzung des Filtermaterials vorliegen. Die Gesamtschichthöhe beträgt 200 cm und der Aufbau des Filtermaterials wird wie folgt von oben nach unten beschrieben:

Hydrokarbonat (Körnung 1,8-2,5 mm)	70 cm
Hydrolit – Mangan I (Körnung 1-3 mm)	100 cm
Stützkies (3-2 mm)	10 cm
Stützkies (3-5,6 mm)	10 cm
Stützkies (5-8 mm)	10 cm

Alle 14 Tage wird Filter II mit einer Spülwassermenge von  $\approx 25 \text{ m}^3/\text{d}$  rückgespült, um die Verunreinigungen (abgeschiedene Partikel bzw. Flocken) zu entfernen. Das ergibt einen täglichen durchschnittlichen Spülwasserbedarf von ca.  $2 \text{ m}^3/\text{d}$ .



Abbildung 19: Sandfilter II (Entmanganung)

#### 4.1.5 Entsäuerung über Akdolitfilter (Sandfilter III)

Nachdem das Wasser der Enteisung und Entmanganung unterzogen wurde kommt als letzter Schritt der Sandfiltrationen die Entsäuerung im Sandfilter III (**Abbildung 20**). Die Gesamtschichthöhe in Filter III beträgt 200 cm und als Filtermaterial kommt Hydrokarbonat und Stützkies in drei unterschiedlichen Korngrößen zum Einsatz. Aufgrund des Hydrokarbonates wird die im Wasser enthaltene Kohlensäure herausgelöst, was zur Folge hat, dass der pH-Wert von ca. 6,0 auf ca. 7,0 steigt. Mit der Zeit muss natürlich das Filtermaterial, speziell das Hydrokarbonat, ausgetauscht bzw. ersetzt werden, da die Kohlensäure im Wasser dieses Filtermaterial auflöst.

Hydrokarbonat (Körnung 1,6-2,5 mm)	170 cm
Stützkies (3-2 mm)	10 cm
Stützkies (3-5,6 mm)	10 cm
Stützkies (5-8 mm)	10 cm

Alle 14 Tage wird Filter III mit einer Spülwassermenge von  $\approx 25 \text{ m}^3/\text{d}$  rückgespült, um die Verunreinigungen (abgeschiedene Partikel bzw. Flocken) zu entfernen. Das ergibt einen täglichen durchschnittlichen Spülwasserbedarf von ca.  $1 \text{ m}^3/\text{d}$ .



Abbildung 20: Sandfilter III (Entsäuerung) + Vorlagebehälter

#### 4.1.6 Ultrafiltration (UF)

Die Ultrafiltration erfolgte in Heidenreichstein mit der UF-Versuchsanlage der Universität der Bundeswehr München. Das Hauptstück dieser Anlage ist das Dizzer 5000plus Modul (**Abbildung 23**) von der Firma INGE (Deutschland). Der Porendurchmesser liegt ca. bei  $0,01 \mu\text{m}$  und die Fläche der Membran (**Abbildung 22**) beträgt  $45 \text{ m}^2$ . Die Membran besteht aus Polyethersulfon (PES). Daraus ergibt sich bei einem Bemessungsflux von  $100 \text{ l}/(\text{m}^2\text{h})$  eine aufbereitete Wassermenge von ca.  $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$ . In der Regel fällt  $< 10 \%$  Spülwasser an, bei einem Spülintervall von 30–120 Minuten. Die UF-Anlage wird bei einer einzelnen Spülung mit  $250 \text{ l}$  Spülwasser rückgespült, in einem Intervall von ca. 1 Minute. Je nach Rohwasserbeschaffenheit erfolgt während der Spülung über zwei Dosierpumpen die Zugabe von Chemikalien, wie z.B. Salzsäure, Natronlauge oder Natriumhypochlorit. Die Anlage (**Abbildung 21**) hat folgende Abmessungen (KRAUSE S., 2007):

- Höhe: 205 cm bei Transport, 230 cm im Betrieb
- Breite: 76 cm
- Länge: 230 cm

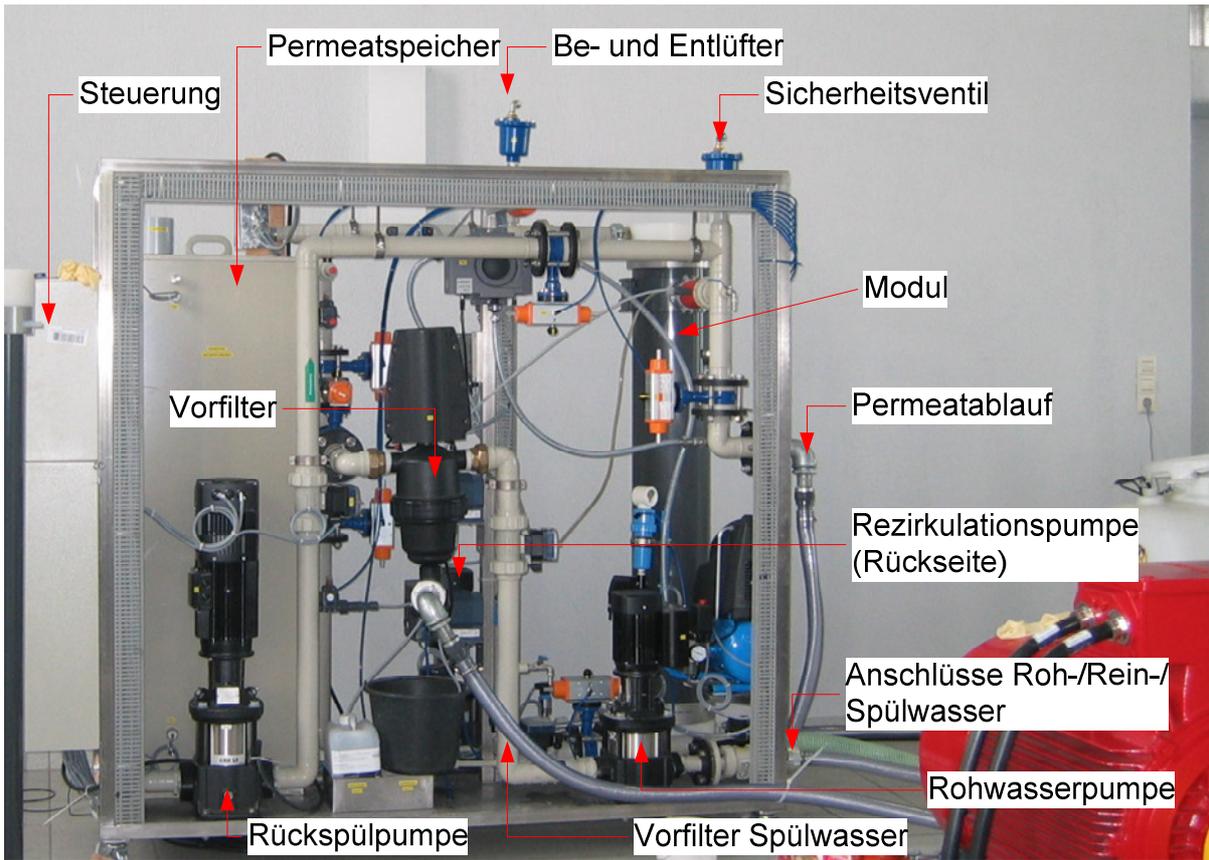


Abbildung 21: Ultrafiltration - Pilotanlage in Heidenreichstein (aus KRAUSE S., 2007)



Abbildung 23: Dizzer 5000plus Modul (Fa. INGE WATERTechnologies, 2009)

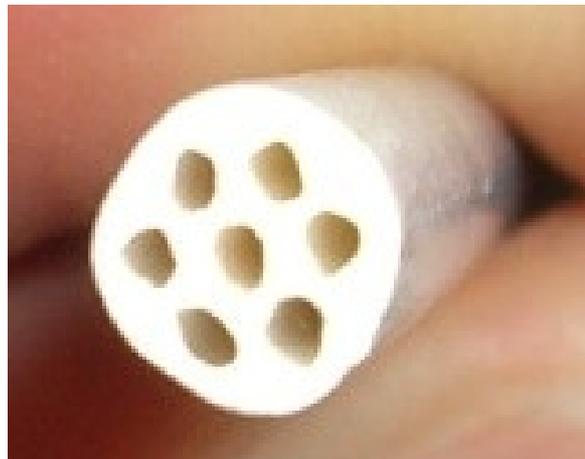
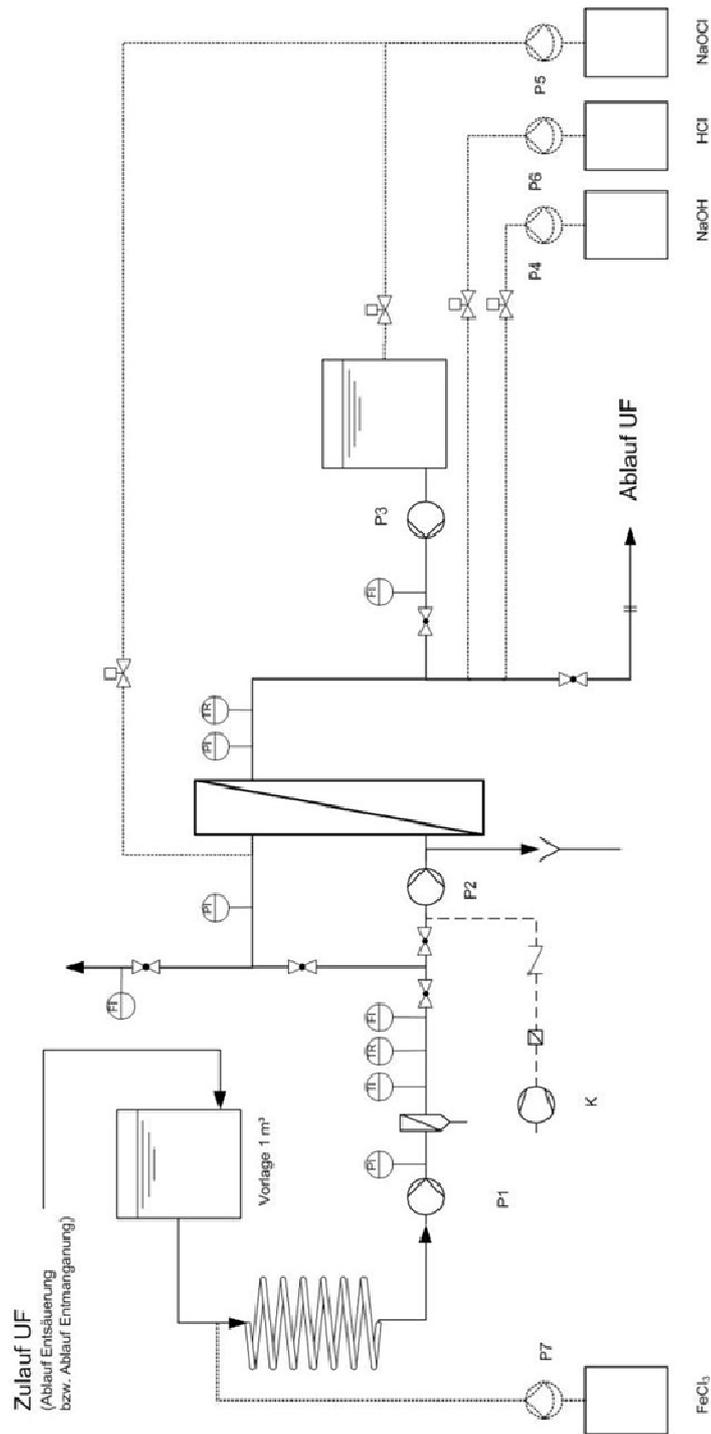


Abbildung 22: Membran

Die Anlage wird vollautomatisch mit konstantem Durchsatz betrieben. Unabhängig vom Druckanstieg erfolgt die Rückspülung mit Reinwasser, die zeitlich gesteuert wird. Alle erforderlichen Meßdaten, wie Drücke, Durchsätze, Roh- und Reinwassertrübung sowie Rohwassertemperatur werden laufend erfasst und aufgezeichnet. Die Anlage wird im Dead-End-Modus betrieben, was zu bedeuten hat, dass das gesamte zugeführte Rohwasser als Reinwasser die Membran durchströmt. Hingegen wurde der Cross-Flow-Modus (= membranparallele Überströmung der Membran) nur für Reinigungszwecke aktiviert.

Mit der Pumpe P1 wird das Rohwasser befördert (**Abbildung 24**), wobei bei der Rückspülung eine Minute lang die Pumpe P2 zugeschaltet wird. Die Pumpe P3 hat den Zweck, die Rückspülung der Membran mit Wasser aus dem Permeatspeicher zu gewährleisten. Die Rohwasserzuführung am Modulkopf und Modulfuß erfolgt abwechslungsweise. Um die Kapillaren vor Verstopfungen zu schützen wird zwischen Pumpe P1 und Membran ein Vorfilter mit einer Maschenweite von 200 µm zwischengeschaltet. Chemikalien wie NaOCl (Natriumhypochlorit) und NaOH (Natriumhydroxid) werden zur Reinigung über die Pumpen P4 und P5 zugeführt. Weiter im System integriert ist ein Kompressor K zwecks Luftzuführung, um die Integrität der Membran zu kontrollieren und, um die Betätigung der pneumatischen Ventile zu bewerkstelligen (KÖLBL J. et al., 2009b).



**Abbildung 24: Aufbau der UF-Versuchsanlage (aus KÖLBL J. et al., 2009b)**

Aufgrund der hohen Huminstoffgehalte der Waldviertler Wässer kommt es sehr schnell zu einer Reduzierung der Permeabilität (Durchlässigkeit) der Membranen der Ultrafiltrationsanlage. Deshalb müssen die davorliegenden Aufbereitungsstufen den gewünschten Erfolg erzielen und die Trüb- und Huminstoffe zum größten Teil entfernen. Die Ultrafiltration stellt als Filtrationsverfahren kein Desinfektionsverfahren dar, deshalb ist es auch Stand der Technik nach der Ultrafiltration eine Sicherheitsdesinfektion z.B. mittels UV-Bestrahlung durchzuführen (KÖLBL J., 2009).

#### 4.1.7 Desinfektion (UV-Bestrahlung)

Als letzter Aufbereitungsschritt erfolgt eine Desinfektion mittels UV-Bestrahlung. Die eingesetzte Anlage der Typenreihe Spektron der Firma Wedeco (**Abbildung 25**) ist eine längsangeströmte Einstrahleranlage mit kreisförmigem Querschnitt mit einem Amalgam-Niederdruck-Strahler (Övgw, 2007).

Beim Prinzip der UV-Desinfektion werden Mikroorganismen (Bakterien, Viren, Parasiten) einer UV-Strahlung ausgesetzt, die dabei die UV-Photonen absorbieren, weshalb eine photochemische Reaktion ausgelöst wird. Wird dabei eine ausreichend hohe UV-Fluenz (= Dosis) und ein geeigneter Wellenlängenbereich (240–280 nm) angewendet, führen die Schädigungen in den Mikroorganismen zum Verlust ihrer Vermehrungsfähigkeit (Zelltod). Damit stellen diese keine Gefährdung menschlicher Gesundheit mehr dar. Die Vorteile bestehen in der sehr kurzen Reaktionszeit und der sehr guten Wirksamkeit gegenüber Dauerformen von Parasiten. Es kommen keine zusätzlichen Chemikalien zur Anwendung und bei korrekter Anwendung kann es zu keiner Veränderung der Wasserinhaltsstoffe kommen (SOMMER R., 2006).

**Tabelle 9: Vergleich der Desinfektionsverfahren UV, Chlor und Chlordioxid (aus WEDECO ADVANCED WATER, 2007)**

Typ	Einsatz in organisch belasteten Wässern (Huminstoffe)	Pathogene Bakterien	Viren	Cryptosporidien	mögl. schädliche Nebenprodukte
UV-Desinfektion mit Niederdruck	++	++	+	++	keine
Chlor	-	+	+	-	THM, AOX, Chlorit
Chlordioxid	--	++	+	+	Chlorit (THM)

++ = sehr wirksam      + = wirksam      - = kaum wirksam      -- = nicht einsetzbar



**Abbildung 25: UV-Desinfektionsanlage**

## 4.2 Wirkungsgrad der Aufbereitungsanlage

Um die Wirkungsweise der Anlage zu überprüfen, wurden ab September 2007 regelmäßig Untersuchungen des Rohwassers und der Abläufe der jeweiligen Aufbereitungsstufen, wie Riesler, Filter I, Filter II, Filter III, fallweise UF-Anlage durchgeführt, wobei folgende Parameter erhoben wurden (KÖLBL J. et al., 2009b):

- Eisengehalt
- Mangangehalt
- Temperatur
- pH-Wert
- Leitfähigkeit
- Redox-Potential
- Sauerstoffgehalt
- Transmission

Ausgehend von Eisengehalten zwischen 0,92 und 1,75 mg/l und Mangangehalten zwischen 0,65 und 1,52 mg/l im Rohwasser werden in den Abläufen der jeweiligen Aufbereitungsstufen Werte in den unten angeführten Bereichen erreicht (**Tabelle 10**).

**Tabelle 10: Eisen- und Mangangehalte in den Abläufen der jeweiligen Aufbereitungsstufen (aus KÖLBL J. et al., 2009b)**

		Abläufe der Aufbereitungsstufen				
		Riesler	Filter I	Filter II	Filter III	UF-Anlage
<b>Eisen</b>	von	0,65 mg/l	<0,01 mg/l	<0,01 mg/l	<0,01 mg/l	<0,01 mg/l
	bis	6,48 mg/l	2,50 mg/l	0,98 mg/l	0,65 mg/l	0,05 mg/l
<b>Mangan</b>	von	0,58 mg/l	0,03 mg/l	0,01 mg/l	0,01 mg/l	<0,01 mg/l
	bis	1,92 mg/l	1,86 mg/l	1,12 mg/l	0,22 mg/l	0,03 mg/l

**Tabelle 11** zeigt die entsprechenden Bereiche für die Elimination von Eisen und Mangan in den jeweiligen Aufbereitungsstufen.

**Tabelle 11: Elimination von Eisen und Mangan bezogen auf den Rohwasserwert in den Abläufen der jeweiligen Aufbereitungsstufen in Prozent (aus KÖLBL J. et al., 2009b)**

		Abläufe der Aufbereitungsstufen				
		Riesler	Filter I	Filter II	Filter III	UF-Anlage
<b>Eisen</b>	von	10,1 %	33,9 %	1,1 %	0,0 %	18,8 %
	bis	48,8 %	54,3 %	9,5 %	14,7 %	22,0 %
<b>Mangan</b>	von	0,0 %	0,8 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
	bis	30,9 %	84,9 %	91,2 %	11,5 %	3,6 %

**Abbildung 26** zeigt die Entwicklung der Eisengehalte im Rohwasser und in den Abläufen der einzelnen Aufbereitungsstufen im Zeitraum von Ende September 2007 bis Mitte Dezember 2008. Während der Eisengehalt im Rohwasser zu Beginn des Projektes bis Ende Februar 2008 stets unter 2 mg/l lag, kam es ab diesem Zeitpunkt zu einem deutlichen Anstieg des Eisengehaltes von ca. 11 mg/l. Nach dem Tausch des Filtermaterials und der entsprechenden Einarbeitungszeit und Zudosierung eines Flockungsmittels (Eisen –(III)-Chlorid), gelang es den Eisengehalt nachhaltig unter 0,01 mg/l abzusenken. Aufgrund der Restgehalte des verwendeten Flockungsmittels ergaben sich die hohen Eisengehalte in den Abläufen der Filter I und II am 21.02., 28.02. und 05.03.2008.

**Abbildung 27** zeigt die Eisenelimination in den Abläufen der einzelnen Aufbereitungsstufen bezogen auf den Eisengehalt im Rohwasser in Prozent.

**Abbildung 28** zeigt die Entwicklung der Mangangehalte im Rohwasser und in den Abläufen der einzelnen Aufbereitungsstufen im Zeitraum von Ende September 2007 bis Mitte März 2008. Der im Rohwasser vorhandene Mangangehalt wird durch die bestehende Aufbereitungsanlage seit Anfang November 2007 auf ein ausreichendes Maß reduziert.

**Abbildung 29** zeigt die Manganelimination in den Abläufen der einzelnen Aufbereitungsstufen bezogen auf den Mangangehalt im Rohwasser in Prozent. Während die Reduktion des Mangangehaltes im Zeitraum von Ende September 2007 bis Ende November 2007 hauptsächlich im Filter II stattfand, verlagerte sich diese ab Anfang Dezember 2007 in den Filter I.



**Abbildung 26:** Entwicklung der Eisengehalte in den einzelnen Aufbereitungsstufen (aus KÖLBL J. et al., 2009b)

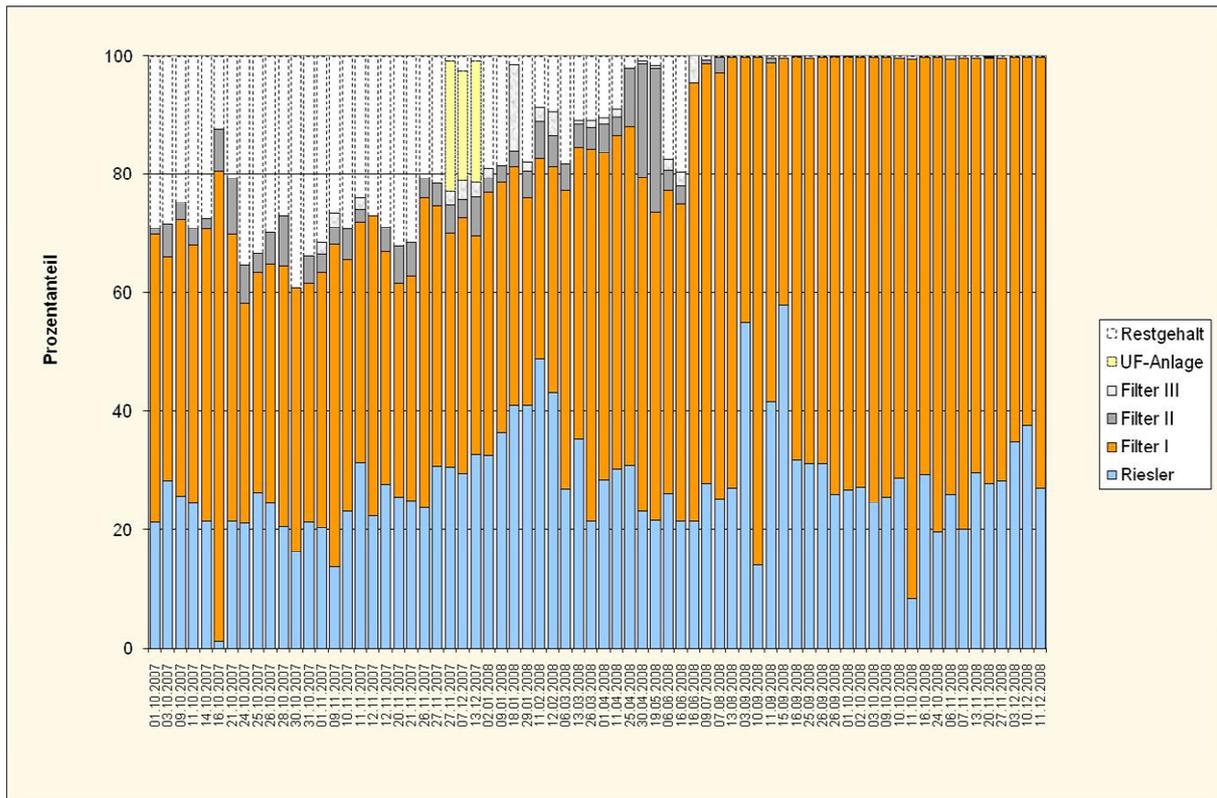


Abbildung 27: Eisenelimination, Prozentanteile der einzelnen Aufbereitungsstufen (aus KÖLBL J. et al., 2009b)

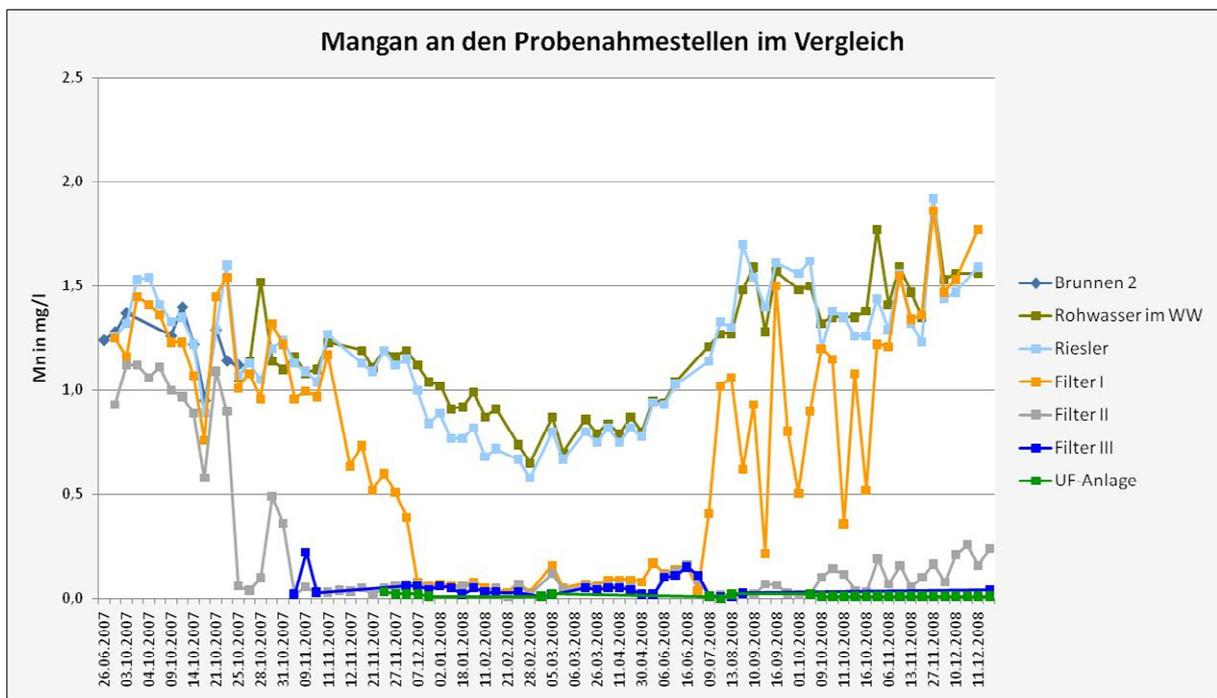
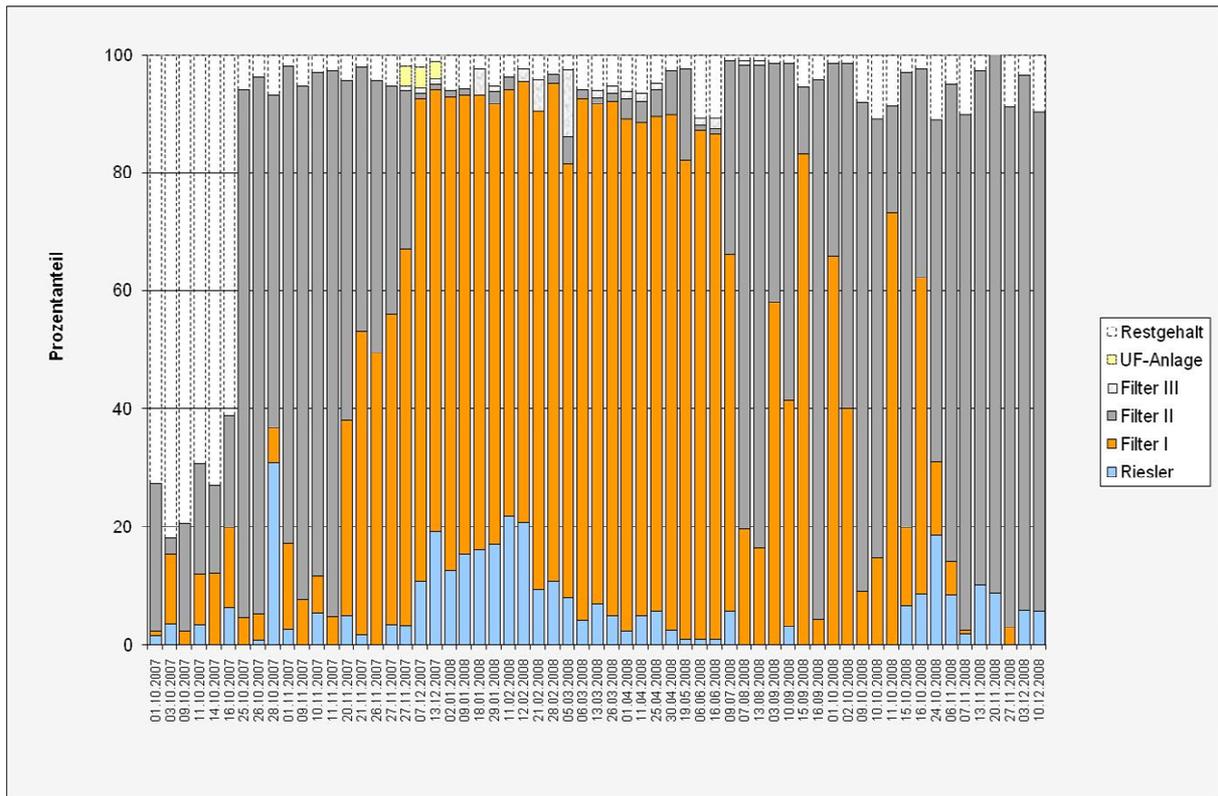


Abbildung 28: Entwicklung der Mangangehalte in den einzelnen Aufbereitungsstufen (aus KÖLBL J. et al., 2009b)



**Abbildung 29: Manganelimination, Prozentanteile der einzelnen Aufbereitungsstufen (aus KÖLBL J. et al., 2009b)**

## 5. Abschätzung von Investitions- und Betriebskosten

In den nachfolgenden Kapiteln wird die Investitions- und Betriebskostenabschätzung für kleine und mittlere Aufbereitungsanlagen unterschiedlicher Größe bis zu einer maximalen Auslegungswassermenge von 15 l/s durchgeführt. Für das Pilotprojekt in der Stadtgemeinde Heidenreichstein werden drei Varianten mit 2 l/s, 4 l/s und mit einer maximalen Auslegungswassermenge von 6 l/s untersucht.

Die Abschätzung der Betriebskosten erfolgt anhand von tatsächlichen Projektdaten und Kostenschätzungen und wird je nach Auslegungswassermenge einfach hochgerechnet und umgelegt. Für die Investitionskostenabschätzung werden folgende Quellen verwendet:

- Kostenkurven von Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Kiril Atanassoff-Kardjalieff (2000) zu konventionellen Aufbereitungsanlagen (Enteisungs-, Entmanganungs- und Entsäuerungsanlagen), welche vom Land NÖ zur Verfügung gestellt wurden (Anm.: da diese Aufstellungen aus dem Jahr 2000 stammen, wurden die Kosten auf das heutige Niveau aufgezinnt).
- Vier Referenzprojekte verschiedener Aufbereitungsanlagen aus dem Zeitraum 1999 bis 2008, welche vom Land NÖ und vom Bund gefördert wurden (E-Mail von HR Dipl.-Ing. Walter Braun vom 5.1.2009).
- Vergleichskosten von Ultrafiltrationsanlagen in Bayern, welche von Dr.-Ing. Steffen Krause zur Verfügung gestellt wurden (2009).
- Persönliche Information (telefonisch eingeholt durch Dipl.-Ing. Dr. techn. Jörg Kölbl) der Firma Donauchemie zu Kosten für Eisen-(III)-Chlorid Tanks (2009).
- Persönliche Information (eingeholt durch Dipl.-Ing. Dr. techn. Jörg Kölbl) der Kaiser & Mach ZT-GmbH zu Kosten für Tiefbehälter (2009).
- Förderrichtlinien des Landes Niederösterreich (2009).

Weiters werden die Kosten je Auslegungswassermenge mittels Barwertmethode verglichen, um die im Betrachtungszeitraum von 40 Jahren anfallenden Kosten sowie den Amortisationszeitpunkt abschätzen zu können.

**Anmerkung:** *Aufgrund der Tatsache, dass ein Großteil der Kosten auf Basis von Erfahrungswerten geschätzt wurde, sind die dargestellten Wirtschaftlichkeitsdaten mit entsprechender Vorsicht zu interpretieren. Die tatsächlichen Ausführungs- und Betriebskosten können von dieser Kostenschätzung abweichen.*

## 5.1 Allgemeine Gesamtkostenschätzung für kleine und mittlere Trinkwasseraufbereitungsanlagen

Im ersten Teil dieser Arbeit wird eine Investitions- und Betriebskostenabschätzung von kleinen und mittleren Trinkwasseraufbereitungsanlagen vorgenommen. Die Abschätzung der Betriebskosten erfolgt anhand des Pilotprojektes in Heidenreichstein und wird einfach den jeweiligen erforderlichen Betriebsbedingungen angepasst. Diese allgemeine Gesamtkostenabschätzung ist allgemein gültig, v.a. für kleine und mittlere Trinkwasseraufbereitungsanlagen und beinhaltet keine Förderungen, sowie keine (Sonder-)bauwerke.

Für die Investitionskostenabschätzung (**Tabelle 12**) wird folgender Ansatz gewählt, wobei für die Adaptierung des Betriebsgebäudes, die Brunnensanierung, den Tiefbehälter und die Fernwirktechnik aufgrund generell unterschiedlicher Anforderungen und örtlicher Gegebenheiten an verschiedenen Standorten keine Schätzung der Investitionskosten abgegeben werden kann:

**Tabelle 12: Investitionskosten für kleine und mittlere Trinkwasseraufbereitungsanlagen**

Investitionskosten allgemein	Erstinvestitionskosten (€)			
	Var 1 (2 l/s)	Var 2 (4 l/s)	Var 3 (6 l/s)	Var 4 (15 l/s)
Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht	30.000	40.000	50.000	90.000
Adaptierung Betriebsgebäude	nicht berücksichtigt			
Brunnen - Sanierung/Neubau	nicht berücksichtigt			
Eisen-(III)-Chlorid-Tank	20.000	20.000	20.000	30.000
Konventionelle Filter	180.000	200.000	230.000	500.000
UF-Anlage	64.000	105.000	132.000	270.000
UV-Anlage	30.000	30.000	40.000	60.000
Tiefbehälter	nicht berücksichtigt			
Fernwirktechnik	nicht berücksichtigt			
<b>Gesamt</b>	<b>324.000</b>	<b>395.000</b>	<b>472.000</b>	<b>950.000</b>

### 5.1.1 Kapitalkosten

**Tabelle 13** gibt eine Übersicht über die Abschreibungskosten und die kalkulatorischen Zinsen für die unterschiedlichen Anlagenteile. Genaue tabellarische Berechnungen, die mittels MS Excel© durchgeführt wurden, sind im **Anhang** unter **A 1** ersichtlich.

**Tabelle 13: Kapitalkostenübersicht für kleine und mittlere Trinkwasseraufbereitungsanlagen**

Kapitalkosten allgemein	Abschreibungskosten und kalkulatorische Zinsen (€/m <sup>3</sup> )			
	Var 1 (2 l/s)	Var 2 (4 l/s)	Var 3 (6 l/s)	Var 4 (15 l/s)
Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht	0,036	0,024	0,020	0,014
Eisen-(III)-Chlorid-Tank	0,037	0,018	0,012	0,007
Konventionelle Filter	0,214	0,119	0,091	0,079
UF-Anlage	0,145	0,120	0,104	0,078
UV-Anlage	0,063	0,032	0,027	0,016
<b>Gesamt</b>	<b>0,496</b>	<b>0,313</b>	<b>0,255</b>	<b>0,194</b>

Wie bei den Betriebskosten sind auch die Kapitalkosten der Kleinanlage (Variante 1 mit einer Auslegungswassermenge von 2 l/s) überproportional hoch im Vergleich zu den Kosten aller übrigen Varianten. So betragen die Kapitalkosten der Variante 1 mehr als das Doppelte der Variante 4. Und Variante 3 ist ca. um die Hälfte günstiger als Variante 1.

Die Kapitalkosten der konventionellen Filter (inkl. aller erforderlichen Pumpen, Steuerungen etc.) dominieren nur in der Variante 1 mit ca. 43 %. In der Variante 2 sind die Kapitalkosten für die konventionellen Filter gleich hoch wie jene von der UF-Anlage, nämlich ca. 38 %. Hingegen nehmen die Kapitalkosten der UF-Anlage in Variante 3 den größten Anteil ein, nämlich ca. 41 %. In Variante 4 nehmen diese zuvor genannten Kostenstellen ungefähr den gleichen Anteil ein, je ca. 40 %.

Die im **Kapitel 5.2.3.1** angeführten Kostenansätze der Variante 2 (4 l/s) sind adäquat umlegbar auf die Variante 1 (2 l/s), Variante 2 (4 l/s), Variante 3 (6 l/s) und Variante 4 (15 l/s) für kleine und mittlere Trinkwasseraufbereitungsanlagen, mit dem wesentlichen Unterschied, dass hier keine Förderung berücksichtigt wurde, d.h. Investitionskosten = Investitionsbedarf. Auch werden Investitionskosten, wie Adaptierung des Betriebsgebäudes, der Brunnensanierung, des Tiefbehälters und der Fernwirktechnik nicht berücksichtigt.

### 5.1.2 Betriebskosten

**Tabelle 14** gibt eine Übersicht über die Betriebskosten der einzelnen Varianten, je m<sup>3</sup> aufbereitetes Wasser. Genaue tabellarische Berechnungen, die mittels MS Excel© durchgeführt werden, sind im **Anhang** unter **A 1** ersichtlich.

**Tabelle 14: Betriebskostenübersicht für kleine und mittlere Trinkwasseraufbereitungsanlagen**

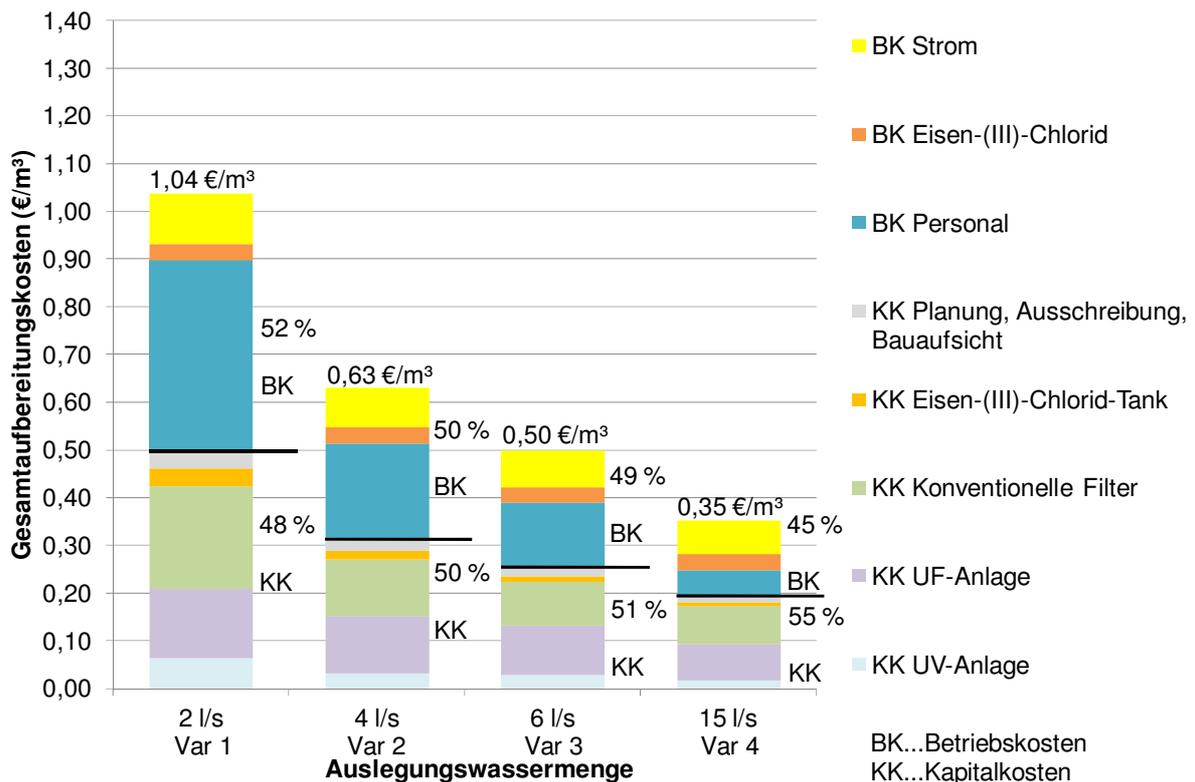
Betriebskosten allgemein	Var 1 (2 l/s) (€/m <sup>3</sup> )	Var 2 (4 l/s) (€/m <sup>3</sup> )	Var 3 (6 l/s) (€/m <sup>3</sup> )	Var 4 (15 l/s) (€/m <sup>3</sup> )
Betriebsgebäude - Heizung, Licht	0,031	0,016	0,010	0,007
Brunnen - Pumpe	0,008	0,008	0,008	0,008
Gebläse Riesler	0,010	0,005	0,003	0,003
WW - Rohwasserpumpe	0,008	0,008	0,008	0,008
Chemikalien: Eisen-(III)-Chlorid	0,033	0,033	0,033	0,033
Rückspülen - Pumpe	0,002	0,002	0,002	0,002
Rückspülen - Kompressor	0,0014	0,0007	0,0005	0,0006
UF-Anlage	0,015	0,015	0,015	0,015
UV-Anlage	0,004	0,002	0,002	0,001
Pumpe zu HB	0,028	0,028	0,028	0,028
Personalkosten	0,402	0,201	0,134	0,054
<b>Gesamt</b>	<b>0,542</b>	<b>0,317</b>	<b>0,243</b>	<b>0,158</b>

In der **Tabelle 14** ist erkennbar, dass die Personalkosten den größten Teil der Betriebskosten einnehmen (74 % bei Variante 1, 63 % bei Variante 2, 55 % bei Variante 3 und 34 % bei Variante 4). Der Aufwand für den Betrieb und die Instandhaltung der gesamten Aufbereitungsanlage wird insgesamt mit 2,5 h pro Tag angenommen. Die restlichen Betriebskosten bewegen sich zwischen 0,14 €/m<sup>3</sup> bei Variante 1, 0,12 €/m<sup>3</sup> bei Variante 2, 0,11 €/m<sup>3</sup> bei Variante 3 und 0,10 €/m<sup>3</sup> bei

Variante 4. In Summe nehmen die Betriebskosten der Variante 4 nicht einmal ein Drittel der Variante 1 ein.

### 5.1.3 Variantenvergleich

Die Ergebnisse dieser Gesamtkostenschätzung je Auslegungswassermenge sind in **Abbildung 30** ersichtlich. Die Berechnungen der einzelnen Kostenfaktoren, die als Grundlage der Gesamtkostenschätzung für vier Auslegungswassermengen (2 l/s, 4 l/s, 6 l/s und 15 l/s) dienen, erfolgt tabellarisch mittels MS Excel© (**Anhang A 1**).



**Abbildung 30: Allgemeine Gesamtkostenübersicht (4 Varianten)**

Wie in der obigen Abbildung ersichtlich, ist das Verhältnis der Kapital- und Betriebskosten bei allen Varianten ziemlich ausgewogen. Nur Variante 4 hat einen geringfügig höheren Kapitalkostenanteil und somit einen etwas geringeren Betriebskostenanteil als alle übrigen Varianten.

## 5.2 Gesamtkostenschätzung für die Trinkwasseraufbereitungsanlage in Heidenreichstein

In diesem Kapitel geht es um die Abschätzung der Investitions- und Betriebskosten anhand des Pilotprojektes im Waldviertel (Stadtgemeinde Heidenreichstein). Die für die Kostenschätzung notwendigen Projektdaten ergeben sich aus den einzelnen Aufbereitungsschritten, den Kennwerten der jeweiligen Pumpen und Anlagen, sowie Erfahrungswerten bzw. aus Versuchsergebnissen. Die Abschätzung der Betriebskosten erfolgt anhand von tatsächlichen Projektdaten des Pilotprojektes bzw. die Investitionskosten von einzelnen Quellen, die im **Kapitel 5** angeführt werden.

Der Kostenvergleich wird anhand der Kostenbarwertmethode (**Kapitel 6**) für die folgenden drei unterschiedlichen Auslegungswassermengen berechnet, um die im Betrachtungszeitraum von 40 Jahren anfallenden Kosten sowie den Amortisationszeitpunkt abschätzen zu können:

- Variante 1: Auslegungswassermenge 2 l/s
- Variante 2: Auslegungswassermenge 4 l/s
- Variante 3: Auslegungswassermenge 6 l/s

Die Membranersatz- und Strahlerersatzkosten werden als Reinvestitionskosten berücksichtigt.

Für die Kostenschätzung werden zwei Fälle untersucht:

- **Kostenschätzung ohne Förderung**
- **Kostenschätzung mit Förderung**

Für diesen Fall wird mit einem angenommenen Fördersatz von 40 % der förderfähigen Investitionskosten auf Basis der Förderrichtlinien des Landes NÖ gerechnet (Internet: ÖFFENTLICHE WASSERVERSORGUNGSANLAGEN – FÖRDERUNG NÖ, 2009).

Für die Investitionskostenabschätzung wird folgender Ansatz gewählt (**Tabelle 15**):

**Tabelle 15: Investitionskosten für Pilotprojekt Heidenreichstein**

Investitionskosten Anlage Heidenreichstein	Erstinvestitionskosten (€)		
	Var 1 (2 l/s)	Var 2 (4 l/s)	Var 3 (6 l/s)
Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht	30.000	40.000	50.000
Adaptierung Betriebsgebäude	20.000	20.000	20.000
Brunnen 2 - Sanierung/Neubau	15.000	15.000	30.000
Eisen-(III)-Chlorid-Tank	20.000	20.000	20.000
Konventionelle Filter	180.000	200.000	230.000
UF-Anlage	64.000	105.000	132.000
UV-Anlage	30.000	30.000	40.000
Tiefbehälter (50 m <sup>3</sup> )	150.000	150.000	150.000
Fernwirktechnik	20.000	20.000	20.000
<b>Gesamt</b>	<b>529.000</b>	<b>600.000</b>	<b>692.000</b>

### 5.2.1 Kapitalkosten

Bei der nicht geförderten Anlage entstehen höhere Kapitalkosten als bei der geförderten Anlage, da sich der angenommene Fördersatz von 40 % wesentlich in der Berechnung niederschlägt.

**Tabelle 16** und **Tabelle 17** geben eine Übersicht über die Abschreibungskosten und die kalkulatorischen Zinsen für die unterschiedlichen Anlagenteile. Genaue tabellarische Berechnungen, die mittels MS Excel© durchgeführt werden, sind im **Anhang** unter **A 2.1** und **A 2.2** ersichtlich.

**Tabelle 16: Kapitalkostenübersicht für Pilotprojekt Heidenreichstein (ohne Förderung)**

Kapitalkosten Anlage Heidenreichstein	Abschreibungskosten und kalkulatorische Zinsen (€/m <sup>3</sup> )		
	Var 1 (2 l/s)	Var 2 (4 l/s)	Var 3 (6 l/s)
Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht	0,036	0,024	0,020
Adaptierung Betriebsgebäude	0,024	0,012	0,008
Brunnen 2 - Sanierung/Neubau	0,018	0,009	0,012
Eisen-(III)-Chlorid-Tank	0,037	0,018	0,012
Konventionelle Filter	0,214	0,119	0,091
UF-Anlage	0,145	0,120	0,104
UV-Anlage	0,063	0,032	0,027
Tiefbehälter (50 m <sup>3</sup> )	0,178	0,089	0,059
Fernwirktechnik	0,037	0,018	0,012
<b>Gesamt</b>	<b>0,753</b>	<b>0,441</b>	<b>0,346</b>

**Tabelle 17: Kapitalkostenübersicht für Pilotprojekt Heidenreichstein (mit Förderung)**

Kapitalkosten Anlage Heidenreichstein	Abschreibungskosten und kalkulatorische Zinsen (€/m <sup>3</sup> )		
	Var 1 (2 l/s)	Var 2 (4 l/s)	Var 3 (6 l/s)
Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht	0,021	0,014	0,012
Adaptierung Betriebsgebäude	0,014	0,007	0,005
Brunnen 2 - Sanierung/Neubau	0,011	0,005	0,007
Eisen-(III)-Chlorid-Tank	0,022	0,011	0,007
Konventionelle Filter	0,128	0,071	0,055
UF-Anlage	0,096	0,079	0,070
UV-Anlage	0,041	0,021	0,017
Tiefbehälter (50 m <sup>3</sup> )	0,107	0,054	0,036
Fernwirktechnik	0,022	0,011	0,007
<b>Gesamt</b>	<b>0,463</b>	<b>0,273</b>	<b>0,216</b>

Wie bei den Betriebskosten, sind auch die Kapitalkosten der Kleinstanlage (Variante 1 mit einer Auslegungswassermenge von 2 l/s) überproportional hoch und betragen mehr als das Doppelte (bezogen auf einen Kubikmeter) als jene von Variante 3 (6 l/s).

Bei Variante 1 nehmen die konventionellen Filter den größten Kostenanteil ein, nämlich jeweils 28 %, egal ob eine Anlage gefördert wird oder nicht. Den größten Anteil bei Variante 3 machen die Kosten der UF-Anlage (inkl. aller erforderlichen Pumpen, Steuerungen etc.) aus, nämlich 30 % bei einer Anlage ohne Förderung und

32 % bei einer Anlage mit Förderung. Ein weiterer größerer Kostenfaktor der Anlage in Heidenreichstein ist der Tiefbehälter mit durchschnittlich 20 % der Kapitalkosten.

### 5.2.2 Betriebskosten

Trinkwasseraufbereitungsanlagen, die nicht gefördert werden und jene die gefördert werden, haben unabhängig voneinander keinerlei Auswirkungen auf die Höhe der Betriebskosten, da die Förderungen ja nur in den Kapitalkostenverlauf (**Kapitel 5.2.1**) eingreifen.

**Tabelle 18** gibt eine Übersicht über die Betriebskosten der einzelnen Varianten je m<sup>3</sup> aufbereitetes Wasser. Genaue tabellarische Berechnungen, die mittels MS Excel© durchgeführt werden, sind im **Anhang** unter **A 2.1** und **A 2.2** ersichtlich.

**Tabelle 18: Betriebskostenübersicht für Pilotprojekt Heidenreichstein (ohne / mit Förderung)**

Betriebskosten Anlage Heidenreichstein	Var 1 (2 l/s) (€/m <sup>3</sup> )	Var 2 (4 l/s) (€/m <sup>3</sup> )	Var 3 (6 l/s) (€/m <sup>3</sup> )
Betriebsgebäude - Heizung, Licht	0,031	0,016	0,010
Brunnen 2 - Pumpe	0,008	0,008	0,008
Gebläse Riesler	0,010	0,005	0,003
WW - Rohwasserpumpe	0,008	0,008	0,008
Chemikalien: Eisen-(III)-Chlorid	0,033	0,033	0,033
Rückspülen - Pumpe	0,0015	0,0015	0,0015
Rückspülen - Kompressor	0,0014	0,0007	0,0005
UF-Anlage	0,015	0,015	0,015
UV-Anlage	0,004	0,002	0,002
Pumpe zu HB	0,028	0,028	0,028
Personalkosten	0,402	0,201	0,134
<b>Gesamt</b>	<b>0,542</b>	<b>0,317</b>	<b>0,243</b>

Die Personalkosten nehmen den größten Teil der Betriebskosten ein (74 % bei Variante 1, 63 % bei Variante 2 und 55 % bei Variante 3). Der Aufwand für den Betrieb und die Instandhaltung wird insgesamt mit 2,5 h pro Tag angenommen. Die restlichen Betriebskosten bewegen sich zwischen 0,14 €/m<sup>3</sup> bei Variante 1, 0,12 €/m<sup>3</sup> bei Variante 2 und 0,11 €/m<sup>3</sup> bei Variante 3.

In Summe sind die Betriebskosten der Variante 1 mehr als doppelt so hoch wie bei Variante 3.

### 5.2.3 Gesamtkosten am Beispiel der Variante 2 (4 l/s)

Im Folgenden werden die zu erwartenden Kosten anhand der Variante 2 mit einer Auslegungswassermenge 4 l/s = 14,40 m<sup>3</sup>/h = 345,60 m<sup>3</sup>/d analysiert und dokumentiert, um die tabellarische Kostenberechnung im **Anhang** unter **A 2.1** und **A 2.2** einfacher nachvollziehen zu können. Die Kosten werden immer in €/m<sup>3</sup> angegeben, um schlussendlich auf die gesamten Aufbereitungskosten je Auslegungswassermenge zu kommen. Es wird mit einem Strompreis von 0,15 €/kWh gerechnet.

**Tabelle 19** und **Tabelle 20** geben eine Übersicht über den Kostenvergleich der Kapital- und Betriebskosten der Variante 2 (4 l/s) ohne und mit 40 %-iger Förderung.

**Tabelle 19: Kapitalkostenübersicht am Beispiel der Variante 2 (4 l/s)**

Kapitalkosten (€/m <sup>3</sup> ) Anlage Heidenreichstein	ohne Förderung	mit Förderung
	Variante 2 (4 l/s)	
Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht	0,024	0,014
Adaptierung Betriebsgebäude	0,012	0,007
Brunnen 2 - Sanierung/Neubau	0,009	0,005
Eisen-(III)-Chlorid-Tank	0,018	0,011
Konventionelle Filter	0,119	0,071
UF-Anlage	0,120	0,079
UV-Anlage	0,032	0,021
Tiefbehälter (50 m <sup>3</sup> )	0,089	0,054
Fernwirktechnik	0,018	0,011
<b>Gesamt</b>	<b>0,441</b>	<b>0,273</b>

**Tabelle 20: Betriebskostenübersicht am Beispiel der Variante 2 (4 l/s)**

Betriebskosten (€/m <sup>3</sup> ) Anlage Heidenreichstein	ohne / mit Förderung
	Variante 2 (4 l/s)
Betriebsgebäude - Heizung, Licht	0,016
Brunnen 2 - Pumpe	0,008
Gebälse Riesler	0,005
WW - Rohwasserpumpe	0,008
Chemikalien: Eisen-(III)-Chlorid	0,033
Rückspülen - Pumpe	0,0015
Rückspülen - Kompressor	0,0007
UF-Anlage	0,015
UV-Anlage	0,002
Pumpe zu HB	0,028
Personalkosten	0,201
<b>Gesamt</b>	<b>0,317</b>

Die im **Kapitel 5.2.3.1** angeführten berücksichtigten Kostenansätze gelten auch für alle drei Varianten ohne Förderung (Investitionskosten = Investitionsbedarf).

### 5.2.3.1 Berücksichtigte Kosten mit Förderung für Variante 2 (4 l/s)

Die anhand der Variante 2 angeführten Kostenansätze dienen der Veranschaulichung der Herleitung der Kosten. Das Prinzip der Kostenansätze ist adäquat umlegbar auf die Varianten 1 (2 l/s) und 3 (6 l/s), welche allerdings nicht im Detail beschrieben werden. Die tabellarischen Ergebnisse zu allen drei Varianten sind im **Anhang** unter **A 2.2** je nach Auslegungswassermenge aufgelistet.

Im Folgenden werden die Investitionskosten anhand von einzelnen Quellen (**Kapitel 5**) und die Betriebskosten anhand von tatsächlichen Projektdaten abgeschätzt.

#### 5.2.3.1.1 Kapitalkosten

- **Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht**

Hierbei wird mit einer Auslegungswassermenge von ca. 126.000 m<sup>3</sup>/a gerechnet. Bei geschätzten Planungskosten von 40.000 € und bei einer Förderung von 40 % ergibt sich ein Investitionsbedarf von 24.000 €. Dieser Betrag wird mit einem Zinssatz von 5 % p.a. verzinst und man erhält 1.200 €/a  $\approx$  0,010 €/m<sup>3</sup> an Zinsen. Die Abschreibungsdauer beträgt 40 Jahre, wobei sich Abschreibungskosten in der Höhe von 600 €/a  $\approx$  0,005 €/m<sup>3</sup> ergeben. In Summe ergeben sich Planungskosten in der Höhe von 0,014 €/m<sup>3</sup>.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,40 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d = 345,6 m <sup>3</sup> /d * 365 d/a = 126.144 m <sup>3</sup> /a $\approx$ 126.000 m <sup>3</sup> /a
Förderung	= 40.000 € * 40 % = 16.000 €
Investitionsbedarf	= 40.000 € - 16.000 € = 24.000 €
Zinsen	= 24.000 € * 5 % p.a. = 1.200 €/a = 1.200 €/a / 126.144 m <sup>3</sup> /a = 0,0095 $\approx$ 0,010 €/m <sup>3</sup>
Abschreibungskosten	= 24.000 € / 40 a = 600 €/a = 24.000 € / 126.144 m <sup>3</sup> /a / 40 a = 0,0048 $\approx$ 0,005 €/m <sup>3</sup>
Kapitalkosten	= Zinsen + Abschreibung = 0,0095 €/m <sup>3</sup> + 0,0048 €/m <sup>3</sup> = <b>0,014 €/m<sup>3</sup></b>

- **Adaptierung Betriebsgebäude**

Die Investitionskosten für das Betriebsgebäude werden auf 20.000 € geschätzt, wobei davon 40 % gefördert werden. Daraus ergibt sich ein Investitionsbedarf von 12.000 €. Dieser Investitionsbedarf wird jährlich mit 5 % verzinst, wodurch Zinsen von 600 €/a anfallen. Aufgrund dieser Zinshöhe und bei einer Auslegungswassermenge von ca. 126.000 m<sup>3</sup>/a ergeben sich Zinsen in der Höhe von 0,005 €/m<sup>3</sup>. Die Abschreibung erfolgt über einen Zeitraum von 40 Jahren mit einer Höhe von 300 €/a = 0,002 €/m<sup>3</sup>. Rechnet man nun die Zinsen und die Abschreibungskosten pro m<sup>3</sup> zusammen, so erhält man die Kosten des Betriebsgebäudes in der Höhe von 0,007 €/m<sup>3</sup>.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d = 345,6 m <sup>3</sup> /d * 365 d/a = 126.144 m <sup>3</sup> /a ≈ 126.000 m <sup>3</sup> /a
Förderung	= 20.000 € * 40 % = 8.000 €
Investitionsbedarf	= 20.000 € - 8.000 € = 12.000 €
Zinsen	= 12.000 € * 5 % p.a. = 600 €/a = 600 €/a / 126.144 m <sup>3</sup> /a = 0,005 €/m <sup>3</sup>
Abschreibungskosten	= 12.000 € / 40 a = 300 €/a = 12.000 € / 126.144 m <sup>3</sup> /a / 40 a = 0,002 €/m <sup>3</sup>
Kapitalkosten	= Zinsen + Abschreibung = 0,005 €/m <sup>3</sup> + 0,002 €/m <sup>3</sup> = <b>0,007 €/m<sup>3</sup></b>

#### • Brunnen 2 – Sanierung/Neubau

Die Kosten für die Sanierung des Brunnens bzw. für einen Neubau werden auf ca. 15.000 € geschätzt. Bei einer Förderung von 40 % des Investitionskapitals beläuft sich der Investitionsbedarf des Brunnens auf 9.000 €. Dieser Investitionsbedarf wird jährlich mit 5 % verzinst, wodurch Zinsen von 450 €/a anfallen. Aufgrund dieser Zinshöhe und bei einer Auslegungswassermenge von ca. 126.000 m<sup>3</sup>/a ergeben sich Zinsen in der Höhe von rund 0,004 €/m<sup>3</sup>. Die Abschreibung erfolgt über einen Zeitraum von 40 Jahren mit einer Höhe von 225 €/a ≈ 0,002 €/m<sup>3</sup>. Die Summe der Sanierungs- und Neubaukosten des Brunnens (= 0,005 €/m<sup>3</sup>) wird aus den Zinsen und den Abschreibungskosten gebildet.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d = 345,6 m <sup>3</sup> /d * 365 d/a = 126.144 m <sup>3</sup> /a ≈ 126.000 m <sup>3</sup> /a
Förderung	= 15.000 € * 40 % = 6.000 €
Investitionsbedarf	= 15.000 € - 6.000 € = 9.000 €
Zinsen	= 9.000 € * 5 % p.a. = 450 €/a = 450 €/a / 126.144 m <sup>3</sup> /a = 0,0036 ≈ 0,004 €/m <sup>3</sup>
Abschreibungskosten	= 9.000 € / 40 a = 225 €/a = 9.000 € / 126.144 m <sup>3</sup> /a / 40 a = 0,0018 ≈ 0,002 €/m <sup>3</sup>
Kapitalkosten	= Zinsen + Abschreibung = 0,0036 €/m <sup>3</sup> + 0,0018 €/m <sup>3</sup> = <b>0,005 €/m<sup>3</sup></b>

### • Eisen-(III)-Chlorid - Tank

Bezüglich Auslieferungsmöglichkeiten wurden drei Varianten näher betrachtet, nämlich

- **Variante 1:** kleine Container (1 m<sup>3</sup>), Kosten für Eisen-(III)-Chlorid: 480 €/1,2 t
- **Variante 2:** 10–12 m<sup>3</sup> Container, Kosten für Container ca. 20.000 € (Abschreibung auf 15 Jahre), Kosten für Eisen-(III)-Chlorid: 230 €/t
- **Variante 3:** 20 m<sup>3</sup> Container, Kosten für Container ca. 30.000 € (Abschreibung auf 15 Jahre), Kosten für Eisen-(III)-Chlorid: 175 €/t

In unserem Fall wurde als günstigste Variante die Variante 2 gewählt, wobei, wie bereits oben erwähnt, mit Investitionskosten in der Höhe von 20.000 € gerechnet wurde. Bei einer Förderung von 40 % ergibt das einen Investitionsbedarf von 12.000 €. Dieser Investitionsbedarf wird jährlich mit 5 % verzinst, wodurch Zinsen von 600 €/a anfallen. Aufgrund dieser Zinshöhe und bei einer Auslegungswassermenge von ca. 126.000 m<sup>3</sup>/a ergeben sich Zinsen in der Höhe von 0,005 €/m<sup>3</sup>. Die Abschreibung erfolgt über einen Zeitraum von 15 Jahren mit einer Höhe von 800 €/a = 0,006 €/m<sup>3</sup>. Die Tankkosten (= 0,011 €/m<sup>3</sup>) errechnen sich nun aus den Zinsen und den Abschreibungskosten.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d = 345,6 m <sup>3</sup> /d * 365 d/a = 126.144 m <sup>3</sup> /a ≈ 126.000 m <sup>3</sup> /a
Förderung	= 20.000 € * 40 % = 8.000 €
Investitionsbedarf	= 20.000 € - 8.000 € = 12.000 €
Zinsen	= 12.000 € * 5 % p.a. = 600 €/a = 600 €/a / 126.144 m <sup>3</sup> /a = 0,005 €/m <sup>3</sup>
Abschreibungskosten	= 12.000 € / 15 a = 800 €/a = 12.000 € / 126.144 m <sup>3</sup> /a / 15 a = 0,006 €/m <sup>3</sup>
Kapitalkosten	= Zinsen + Abschreibung = 0,005 €/m <sup>3</sup> + 0,006 €/m <sup>3</sup> = <b>0,011 €/m<sup>3</sup></b>

### • Konventionelle Filter

Unter diese Kostenstelle fallen 3 neue Sandfilter (für Flockenfiltration und Enteisung, Entmanganung, Entsäuerung), Pumpen, Kompressor und Steuereinheiten. Hierbei wird mit einer Auslegungswassermenge von ca. 126.000 m<sup>3</sup>/a gerechnet. Bei geschätzten Investitionskosten von 200.000 € und bei einer Förderung von 80.000 € ergibt sich ein Investitionsbedarf von 120.000 €. Dieser Betrag wird mit einem Zinssatz von 5 % p.a. verzinst und man erhält 6.000 €/a Zinsen ≈ 0,048 €/m<sup>3</sup>. Die Abschreibungsdauer beträgt 40 Jahre. Daraus ergeben sich Abschreibungskosten in der Höhe von 3.000 €/a ≈ 0,024 €/m<sup>3</sup>. In Summe ergeben sich Kosten für den Filter in der Höhe von 0,071 €/m<sup>3</sup>.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d = 345,6 m <sup>3</sup> /d * 365 d/a = 126.144 m <sup>3</sup> /a ≈ 126.000 m <sup>3</sup> /a
Förderung	= 200.000 € * 40 % = 80.000 €
Investitionsbedarf	= 200.000 € - 80.000 € = 120.000 €
Zinsen	= 120.000 € * 5 % p.a. = 6.000 €/a = 6.000 €/a / 126.144 m <sup>3</sup> /a = 0,0476 ≈ 0,048 €/m <sup>3</sup>
Abschreibungskosten	= 120.000 € / 40 a = 3.000 €/a = 120.000 € / 126.144 m <sup>3</sup> /a / 40 a = 0,0238 ≈ 0,024 €/m <sup>3</sup>
Kapitalkosten	= Zinsen + Abschreibung = 0,0476 €/m <sup>3</sup> + 0,0238 €/m <sup>3</sup> = <b>0,071 €/m<sup>3</sup></b>

#### • UF-Anlage

Bei einer Förderung von 40 % des Investitionskapitals (= 105.000 €) beläuft sich der Investitionsbedarf der UF-Anlage auf 63.000 €. Dieser Investitionsbedarf wird jährlich mit 5 % verzinst, wodurch Zinsen in der Höhe von 3.150 €/a anfallen. Aufgrund dieser Zinshöhe und bei einer Auslegungswassermenge von ca. 120.000 m<sup>3</sup>/a ergeben sich Zinsen in der Höhe von 0,026 €/m<sup>3</sup>. Die Abschreibung erfolgt über einen Zeitraum von 15 Jahren mit einer Höhe von 4200 €/a. Bei einem Durchfluss von 4 l/s benötigt man fünf Module, die Kosten von 2.500 €/Stk. verursachen. Die angenommene Modulstandzeit beträgt sechs Jahre. Der Membranersatz in der Höhe von 0,017 €/m<sup>3</sup> errechnet sich nun aus der Anzahl der benötigten Module, der Modulkosten pro Stück, der Modulstandzeit und der Auslegungswassermenge pro Jahr. In Summe errechnen sich die Kosten der UF-Anlage aus den Zinsen, den Abschreibungskosten und dem Membranersatz, in der Höhe von 0,079 €/m<sup>3</sup>.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d = 345,6 m <sup>3</sup> /d * 365 d/a * 95 % = 119.837 m <sup>3</sup> /a = 119.837 m <sup>3</sup> /a ≈ 120.000 m <sup>3</sup> /a
Förderung	= 105.000 € * 40 % = 42.000 €
Investitionsbedarf	= 105.000 € - 42.000 € = 63.000 €
Zinsen	= 63.000 € * 5 % p.a. = 3.150 €/a = 3.150 €/a / 119.837 m <sup>3</sup> /a = 0,026 €/m <sup>3</sup>
Abschreibungskosten	= 63.000 € / 15 a = 4.200 €/a = 63.000 € / 119.837 m <sup>3</sup> /a / 15 a = 0,035 €/m <sup>3</sup>
Membranersatz	= 5 Stk. * 2.500 €/Stk. / 6 a / 119.837 m <sup>3</sup> /a = 0,017 €/m <sup>3</sup>
Kapitalkosten	= Zinsen + Abschreibung + Membranersatz = 0,026 €/m <sup>3</sup> + 0,035 €/m <sup>3</sup> + 0,017 €/m <sup>3</sup> = <b>0,079 €/m<sup>3</sup></b>

- **UV-Anlage**

Bei einer Förderung von 40 % des Investitionskapitals (= 30.000 €) beläuft sich der Investitionsbedarf der UV-Anlage auf 18.000 €. Dieser Investitionsbedarf wird jährlich mit 5 % verzinst, wodurch Zinsen von 900 €/a anfallen. Aufgrund dieser Zinshöhe und bei einer Auslegungswassermenge von ca. 126.000 m<sup>3</sup>/a ergeben sich Zinsen in der Höhe von 0,007 €/m<sup>3</sup>. Die Abschreibung der Anlage erfolgt über einen Zeitraum von 15 Jahren mit einer Höhe von 1.200 €/a = 0,010 €/m<sup>3</sup>. Die Kosten für Ersatzstrahler belaufen sich auf 500 €/a = 0,004 €/m<sup>3</sup>. In Summe ergeben sich Kosten für die UV-Anlage in der Höhe von 0,021 €/m<sup>3</sup>.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d = 345,6 m <sup>3</sup> /d * 365 d/a = 126.144 m <sup>3</sup> /a ≈ 126.000 m <sup>3</sup> /a
Förderung	= 30.000 € * 40 % = 12.000 €
Investitionsbedarf	= 30.000 € - 12.000 € = 18.000 €
Zinsen	= 18.000 € * 5 % p.a. = 900 €/a = 900 €/a / 126.144 m <sup>3</sup> /a = 0,007 €/m <sup>3</sup>
Abschreibungskosten	= 18.000 € / 15 a = 1.200 €/a = 18.000 € / 126.144 m <sup>3</sup> /a / 15 a = 0,010 €/m <sup>3</sup>
Ersatzstrahlerkosten	= 500 €/a / 126.144 m <sup>3</sup> /a = 0,004 €/m <sup>3</sup>
Kapitalkosten	= Zinsen + Abschreibung + Ersatzstrahler = 0,007 €/m <sup>3</sup> + 0,010 €/m <sup>3</sup> + 0,004 €/m <sup>3</sup> = <b>0,021 €/m<sup>3</sup></b>

- **Tiefbehälter (50 m<sup>3</sup>)**

Die geschätzten Investitionskosten für den Tiefbehälter belaufen sich auf 150.000 €, wobei davon 40 % gefördert werden. Daraus ergibt sich ein Investitionsbedarf von 90.000 €. Dieser Investitionsbedarf wird jährlich mit 5 % verzinst, wodurch Zinsen von 4.500 €/a anfallen. Aufgrund dieser Zinshöhe und bei einer Auslegungswassermenge von ca. 126.000 m<sup>3</sup>/a ergeben sich Zinsen in der Höhe von 0,036 €/m<sup>3</sup>. Die Abschreibung erfolgt über einen Zeitraum von 40 Jahren mit einer Höhe von 2.250 €/a = 0,018 €/m<sup>3</sup>. Rechnet man nun die Zinsen und die Abschreibungskosten pro m<sup>3</sup> zusammen, so erhält man Kosten für den Tiefbehälter in der Höhe von 0,054 €/m<sup>3</sup>.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d = 345,6 m <sup>3</sup> /d * 365 d/a = 126.144 m <sup>3</sup> /a ≈ 126.000 m <sup>3</sup> /a
Förderung	= 150.000 € * 40 % = 60.000 €
Investitionsbedarf	= 150.000 € - 60.000 € = 90.000 €
Zinsen	= 90.000 € * 5 % p.a. = 4.500 €/a = 4.500 €/a / 126.144 m <sup>3</sup> /a = 0,036 €/m <sup>3</sup>
Abschreibungskosten	= 90.000 € / 40 a = 2.250 €/a = 90.000 € / 126.144 m <sup>3</sup> /a / 40 a = 0,018 €/m <sup>3</sup>
Kapitalkosten	= Zinsen + Abschreibung = 0,036 €/m <sup>3</sup> + 0,018 €/m <sup>3</sup> = <b>0,054 €/m<sup>3</sup></b>

#### • Fernwirktechnik

Die geschätzten Investitionskosten für die Fernwirktechnik belaufen sich auf 20.000 €, wobei 40 % davon gefördert werden. Daraus ergibt sich ein Investitionsbedarf von 12.000 €. Dieser Investitionsbedarf wird jährlich mit 5 % verzinst, wodurch Zinsen von 600 €/a = 0,005 €/m<sup>3</sup> anfallen. Die Abschreibung erfolgt über einen Zeitraum von 15 Jahren mit einer Höhe von 800 €/a = 0,006 €/m<sup>3</sup>. Rechnet man nun die Zinsen und die Abschreibungskosten pro m<sup>3</sup> zusammen, so erhält man Kosten für die Fernwirktechnik in der Höhe von 0,011 €/m<sup>3</sup>.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d = 345,6 m <sup>3</sup> /d * 365 d/a = 126.144 m <sup>3</sup> /a ≈ 126.000 m <sup>3</sup> /a
Förderung	= 20.000 € * 40 % = 8.000 €
Investitionsbedarf	= 20.000 € - 8.000 € = 12.000 €
Zinsen	= 12.000 € * 5 % p.a. = 600 €/a = 600 €/a / 126.144 m <sup>3</sup> /a = 0,005 €/m <sup>3</sup>
Abschreibungskosten	= 12.000 € / 15 a = 800 €/a = 12.000 € / 126.144 m <sup>3</sup> /a / 15 a = 0,006 €/m <sup>3</sup>
Kapitalkosten	= Zinsen + Abschreibung = 0,005 €/m <sup>3</sup> + 0,006 €/m <sup>3</sup> = <b>0,011 €/m<sup>3</sup></b>

### 5.2.3.1.2 Betriebskosten

#### • Betriebsgebäude - Heizung, Licht

Die Heizung des Betriebsgebäudes läuft durchschnittlich 12 h/d mit einer Leistung von 3 kW, was einen Energieverbrauch von 36 kWh/d = 0,104 kWh/m<sup>3</sup> ergibt. Multipliziert man nun den Energieverbrauch pro m<sup>3</sup> mit dem Strompreis (= 0,15 €/m<sup>3</sup>) ergeben sich daraus Stromkosten in der Höhe von 0,016 €/m<sup>3</sup>.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d
Energie	= 3 kW * 12 h/d = 36 kWh/d = 36 kWh/d / 345,6 m <sup>3</sup> /d = 0,104 kWh/m <sup>3</sup>
Stromkosten	= 0,104 kWh/m <sup>3</sup> * 0,15 €/kWh = <b>0,016 €/m<sup>3</sup></b>

#### • Brunnen 2 - Pumpe

Aufgrund der Ausbeute der UF-Anlage von ca. 95 % und der Ausbeute der Sandfilter von ca. 85 % ergibt sich eine Auslegungswassermenge von 428 m<sup>3</sup>/d. Der Betrieb der Pumpe wird mit 14 h/d angesetzt, wobei das eine geförderte Wassermenge von 30,6 m<sup>3</sup>/h = 8,5 l/s ergibt. Bei einer geschätzten Förderhöhe von 10,5 m, einer Durchflussmenge von 8,5 l/s, einem Faktor von 102 und einem Wirkungsgrad der Pumpe von 0,7 ergibt das eine Leistung von 1,25 kW. Wenn man nun die Leistung mit den täglichen Betriebsstunden der Pumpe multipliziert, erhält man die Energie (≈ 17,5 kWh/d), die pro Tag benötigt wird, um die Pumpe zu betreiben. Die Stromkosten der Brunnen 2 - Pumpe (= 0,008 €/m<sup>3</sup>) für die aufzubereitende Wassermenge der Variante 2 (4 l/s) ergeben sich nun aus der Multiplikation der Energie, die pro m<sup>3</sup> benötigt wird (= 0,041 kWh/m<sup>3</sup>), mit dem Strompreis von 0,15 €/kWh, dividiert durch die UF-Ausbeute (95 %) und durch die Sandfilter-Ausbeute (85 %).

Auslegungswassermenge	= 345,6 m <sup>3</sup> /d / 95 % / 85 % = 428 m <sup>3</sup> /d = 428 m <sup>3</sup> /d / 14 h/d = 30,6 m <sup>3</sup> /h = 30,6 m <sup>3</sup> /h / 3,6 = 8,5 l/s
Pumpenleistung	= 8,5 l/s * 10,5 m / (102 * 0,7) = 1,25 kW
Energie	= 1,25 kW * 14 h/d = 17,48 kWh/d ≈ 17,5 kWh/d = 17,48 kWh/d / 428 m <sup>3</sup> /d = 0,041 kWh/m <sup>3</sup>
Stromkosten	= 0,041 kWh/m <sup>3</sup> * 0,15 €/kWh = 0,006 €/m <sup>3</sup> = 0,006 €/m <sup>3</sup> / 95 % / 85 % = <b>0,008 €/m<sup>3</sup></b>

- **Gebläse Riesler**

Das Gebläse läuft 24 h/d mit einer Leistung von 0,5 kW, was einen Energieverbrauch von 12 kWh/d = 0,035 kWh/m<sup>3</sup> ergibt. Daraus ergeben sich Stromkosten in der Höhe von 0,005 €/m<sup>3</sup>.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d
Energie	= 0,5 kW * 24 h/d = 12 kWh/d = 12 kWh/d / 345,6 m <sup>3</sup> /d = 0,035 kWh/m <sup>3</sup>
Stromkosten	= 0,035 kWh/m <sup>3</sup> * 0,15 €/kWh = <b>0,005 €/m<sup>3</sup></b>

- **WW – Rohwasserpumpe**

Die Auslegungswassermenge von 428 m<sup>3</sup>/d der Rohwasserpumpe ist stark abhängig von der Ausbeute der UF-Anlage (95 %) und von der Ausbeute der Sandfilter (85 %). Der Betrieb der Pumpe wird mit 23 h/d angesetzt, wobei das eine geförderte Wassermenge von 18,6 m<sup>3</sup>/h = 5,2 l/s ergibt. Bei einer geschätzten Förderhöhe von 10,5 m, einer Durchflussmenge von 5,2 l/s, einem Faktor von 102 und einem Wirkungsgrad der Pumpe von 0,7 ergibt das eine Leistung von ca. 0,8 kW. Der tägliche Energieverbrauch (≈ 17,5 kWh/d) berechnet sich nun, wenn man die Leistung mit dem täglichen Betrieb der Pumpe multipliziert. Umgerechnet auf m<sup>3</sup> ergibt das 0,041 kWh/m<sup>3</sup>. Folgend multipliziert man den Energiebedarf pro m<sup>3</sup> mit dem Strompreis und dividiert dann das Produkt durch die UF-Ausbeute (95 %) und durch die Sandfilter-Ausbeute (85 %), um auf die Stromkosten der Pumpe (= 0,008 €/m<sup>3</sup>) für die aufzubereitende Wassermenge der Variante 2 (4 l/s) zu kommen.

Auslegungswassermenge	= 345,6 m <sup>3</sup> /d / 95 % / 85 % = 428 m <sup>3</sup> /d = 428 m <sup>3</sup> /d / 23 h/d = 18,6 m <sup>3</sup> /h = 18,6 m <sup>3</sup> /h / 3,6 = 5,2 l/s
Pumpenleistung	= 5,2 l/s * 10,5 m / (102 * 0,7) = 0,76 kW ≈ 0,8 kW
Energie	= 0,76 kW * 23 h/d = 17,48 kWh/d ≈ 17,5 kWh/d = 17,48 kWh/d / 428 m <sup>3</sup> /d = 0,041 kWh/m <sup>3</sup>
Stromkosten	= 0,041 kWh/m <sup>3</sup> * 0,15 €/kWh = 0,006 €/m <sup>3</sup> = 0,006 €/m <sup>3</sup> / 95 % / 85 % = <b>0,008 €/m<sup>3</sup></b>

- **Chemikalien: Eisen-(III)-Chlorid**

Eisen-(III)-Chlorid hat eine Dichte von 1,42 kg/l. Das ergibt bei einem Gewicht von 1.000 kg/t ca. 704 l/t. Dividiert man nun den Mengenpreis exkl. USt. durch die erforderliche Menge pro Tonne, erhält man den Preis den ein Liter Eisen-(III)-Chlorid (= 0,33 €/l) bei dieser Mengenabnahme kosten würde. Die Berechnung erfolgt mit einer angenommenen Dosiermenge von 20 mg/l Fe, wobei bei einer Auslegungswassermenge von 2 l/s pro Stunde 735 ml zugeführt werden. Im Fall der Variante 2 (Q = 4 l/s) ergibt das eine Dosiermenge von 1.470 ml/h ≈ 35 l/d = 0,1 l/m<sup>3</sup>. Multipliziert man die Dosiermenge, die pro Tag benötigt wird mit dem Literpreis,

erhält man die Eisen-(III)-Chlorid Kosten von ca. 11,5 €/d. Das ergibt bei dieser Dosierungsmenge Kosten in der Höhe von 0,033 €/m

Menge	= 1000 kg/t / 1,42 kg/l = 704,23 l/t ≈ 704 l/t
Preis pro Liter	= 230 €/t / 704,23 l/t = 0,33 €/l
Dosierung	= 735 ml/h * 4 l/s / 2 l/s = 1.470 ml/h = 1.470 ml/h * 24 h/d / 1000 ml/l = 35,28 l/d ≈ 35 l/d = 1.470 ml/h / 14,4 m <sup>3</sup> /h / 1000 ml/l = 0,1 l/m <sup>3</sup>
Chemikalienkosten	= 35,28 l/d * 0,33 €/l = 11,52 €/d ≈ 11,5 €/d = 0,1 l/m <sup>3</sup> * 0,33 €/l = <b>0,033 €/m<sup>3</sup></b>

#### • Rückspülen – Pumpe

Das Rückspülen erfolgt mit einer Spülwassermenge von 90 m<sup>3</sup>/h = 25 l/s. Bei einer geschätzten Förderhöhe von 10 m, einer Durchflussmenge von 25 l/s, einem Faktor von 102 und einem Wirkungsgrad der Pumpe von 0,7 ergibt das eine Leistung von 3,5 kW. Die Rückspülpumpe läuft 1 h/d mit einer Leistung von 3,5 kW, was einen Energieverbrauch von 3,5 kWh/d = 0,010 kWh/m<sup>3</sup> ergibt. Daraus ergeben sich Stromkosten in der Höhe von 0,0015 €/m<sup>3</sup>.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d
Spülwassermenge	= 90 m <sup>3</sup> /h / 3,6 = 25 l/s
Pumpenleistung	= 25 l/s * 10 m / (102 * 0,7) = 3,5 kW
Energie	= 3,5 kW * 1 h/d = 3,5 kWh/d = 3,5 kWh/d / 345,6 m <sup>3</sup> /d = 0,010 kWh/m <sup>3</sup>
Stromkosten	= 0,010 kWh/m <sup>3</sup> * 0,15 €/kWh = <b>0,0015 €/m<sup>3</sup></b>

#### • Rückspülen – Kompressor

Täglich wird 15 min. und alle 14 Tage 30 min. rückgespült. Das ergibt eine durchschnittliche Rückspülzeit pro Tag von ca. 17 min. = 0,3 h/d. Wird nun diese tägliche Rückspülzeit mit der Kompressorleistung von 5,5 kW multipliziert, so ergibt das einen Energieverbrauch von 1,65 kWh/d = 0,005 kWh/m<sup>3</sup>. Daraus ergeben sich Stromkosten in der Höhe von 0,0007 €/m<sup>3</sup>.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d
Rückspülzeit	= 15 min./d * 14 d + 30 min. = 240 min. = 240 min. / 14 d = 17,14 min./d ≈ 17 min./d = 17,14 min./d / 60 min./h = 0,3 h/d
Energie	= 5,5 kW * 0,3 h/d = 1,65 kWh/d = 1,65 kWh/d / 345,6 m <sup>3</sup> /d = 0,005 kWh/m <sup>3</sup>
Stromkosten	= 0,005 kWh/m <sup>3</sup> * 0,15 €/kWh = <b>0,0007 €/m<sup>3</sup></b>

- **UF-Anlage**

Auf Basis einer angenommenen Ausbeute der UF-Anlage von 95 % ergibt sich eine Auslegungswassermenge von ca. 120.000 m<sup>3</sup>/a. Bei allen drei Varianten wird der Energieaufwand der UF-Anlage mit 0,1 kWh/m<sup>3</sup> angegeben. Im Fall der Variante 2 ergibt das einen täglichen Energieverbrauch von ca. 33 kWh/d. Multipliziert man nun den Energieaufwand pro m<sup>3</sup> mit dem Strompreis so erhält man Stromkosten in der Höhe von 0,015 €/m<sup>3</sup>.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d = 345,6 m <sup>3</sup> /d * 365 d/a * 95 % = 119.837 m <sup>3</sup> /a = 119.837 m <sup>3</sup> /a ≈ 120.000 m <sup>3</sup> /a
Energie	= 119.837 m <sup>3</sup> /a * 0,1 kWh/m <sup>3</sup> / 365 d/a ≈ 33 kWh/d
Stromkosten	= 0,1 kWh/m <sup>3</sup> * 0,15 €/kWh = <b>0,015 €/m<sup>3</sup></b>

- **UV-Anlage**

Um auf die jeweils geeignete Strahlerleistung (W) zu kommen, muss als erstes der UVT (UV-Transmission) - Wert in % bestimmt werden. In unserem Fall liegt dieser Wert bei 43 %. Aus der Durchflusstabelle (z.B. der Typenreihe Spektron für ÖNORM zertifizierte Durchflüsse der Firma Wedeco) kann man so den Anlagentyp, bezogen auf den Auslegungsdurchfluss in m<sup>3</sup>/h, bestimmen. Bei einer Auslegung von 4 l/s (= 14,4 m<sup>3</sup>/h) ergibt das den Anlagentyp Spektron 15. Mit diesem Typennamen geht man nun in die Tabelle mit den technischen Daten (z.B. der Typenreihe Spektron) und kann so unter UV Strahler die Strahlertype (= WLR20) und die Strahlerleistung von 210 W = 0,21 kW ablesen.

Bei einem täglichen Betrieb der UV-Anlage von 24 h und bei einer Leistung von 0,21 kW, die (z.B. aus Datentabelle der Typenreihe Spektron) abgelesen wurde, ergibt das einen Energiebedarf von 5 kWh/d = 0,015 kWh/m<sup>3</sup>. Multipliziert man den Energiebedarf, der pro m<sup>3</sup> benötigt wird, mit dem Strompreis, so erhält man Stromkosten in der Höhe von 0,002 €/m<sup>3</sup>.

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d
Energie	= 0,21 kW * 24 h/d = 5,04 kWh/d ≈ 5 kWh/d = 5,04 kWh/d / 345,6 m <sup>3</sup> /d = 0,015 kWh/m <sup>3</sup>
Stromkosten	= 0,015 kWh/m <sup>3</sup> * 0,15 €/kWh = <b>0,002 €/m<sup>3</sup></b>

- **Pumpe zu HB**

Der Betrieb der Pumpe wird mit 16 h/d angesetzt, damit ergibt sich eine Q<sub>Fördermenge</sub> von 21,6 m<sup>3</sup>/h = 6 l/s. Bei einer geschätzten Förderhöhe von 47,5 m, einer Durchflussmenge von 6 l/s, einem Faktor von 102 und einem Wirkungsgrad der Pumpe von 0,7 ergibt das eine Leistung von 4 kW. Wenn man nun die Leistung mit dem täglichen Betrieb der Pumpe multipliziert erhält man die Energie (= 63,87 kWh/d ≈

64 kWh/d), die pro Tag benötigt wird, um die Pumpe zu betreiben. Die Stromkosten der Pumpe (= 0,028 €/m<sup>3</sup>) ergeben sich aus der Multiplikation der Energie, die pro m<sup>3</sup> benötigt wird (= 0,185 kWh/m<sup>3</sup>), mit dem Strompreis von 0,15 €/kWh.

Auslegungswassermenge	= 345,6 m <sup>3</sup> /d / 16 h/d = 21,6 m <sup>3</sup> /h = 21,6 m <sup>3</sup> /h / 3,6 = 6 l/s
Pumpenleistung	= 6 l/s * 47,5 m / (102 * 0,7) = 4 kW
Energie	= 4 kW * 16 h/d = 63,87 kWh/d ≈ 64 kWh/d = 63,87 kWh/d / 345,6 m <sup>3</sup> /d = 0,185 kWh/m <sup>3</sup>
Stromkosten	= 0,185 kWh/m <sup>3</sup> * 0,15 €/kWh = <b>0,028 €/m<sup>3</sup></b>

#### • Personalkosten

Es wird mit einer jährlichen Arbeitszeit von 1.620 h (= 52 Wo – 5 Wo Urlaub – Feiertage – Krankenstand) gerechnet, wobei Personalkosten in der Höhe von 45.000 € anfallen. Das ergibt einen Stundenlohn von 27,78 € ≈ 28 €. Der Aufwand für die UF-Anlage wird mit 0,5 h/d beziffert und der Aufwand für den Betrieb inklusive der Instandhaltung der gesamten Aufbereitungsanlage wird auf 2 h/d geschätzt. Das ergibt Kosten für den Aufwand in der Höhe von ca. 14 €/d für die UF-Anlage und ca. 56 €/d für die restliche Anlage. Addiert man nun die Aufwandskosten für die UF-Anlage und für die Instandhaltung der restlichen Anlage und dividiert man die Summe dieser Kosten durch die Auslegungswassermenge, so erhält man die Gesamtkosten des Personals pro m<sup>3</sup> Aufbereitung (= 0,2 €/m<sup>3</sup>).

Auslegungswassermenge	= 4 l/s * 3,6 = 14,4 m <sup>3</sup> /h = 14,4 m <sup>3</sup> /h * 24 h/d = 345,6 m <sup>3</sup> /d
Kosten pro Stunde	= 45.000 €/a / 1.620 h/a = 27,78 €/h ≈ 28 €/h
Kosten UF-Anlage	= 0,5 h/d * 27,78 €/h = 13,89 €/d ≈ 14 €/d
Kosten Betrieb + Instandhaltung	= 2 h/d * 27,78 €/h = 55,56 €/d ≈ 56 €/d
Personalkosten	= (13,89 €/d + 55,56 €/d) / 345,6 m <sup>3</sup> /d = <b>0,2 €/m<sup>3</sup></b>

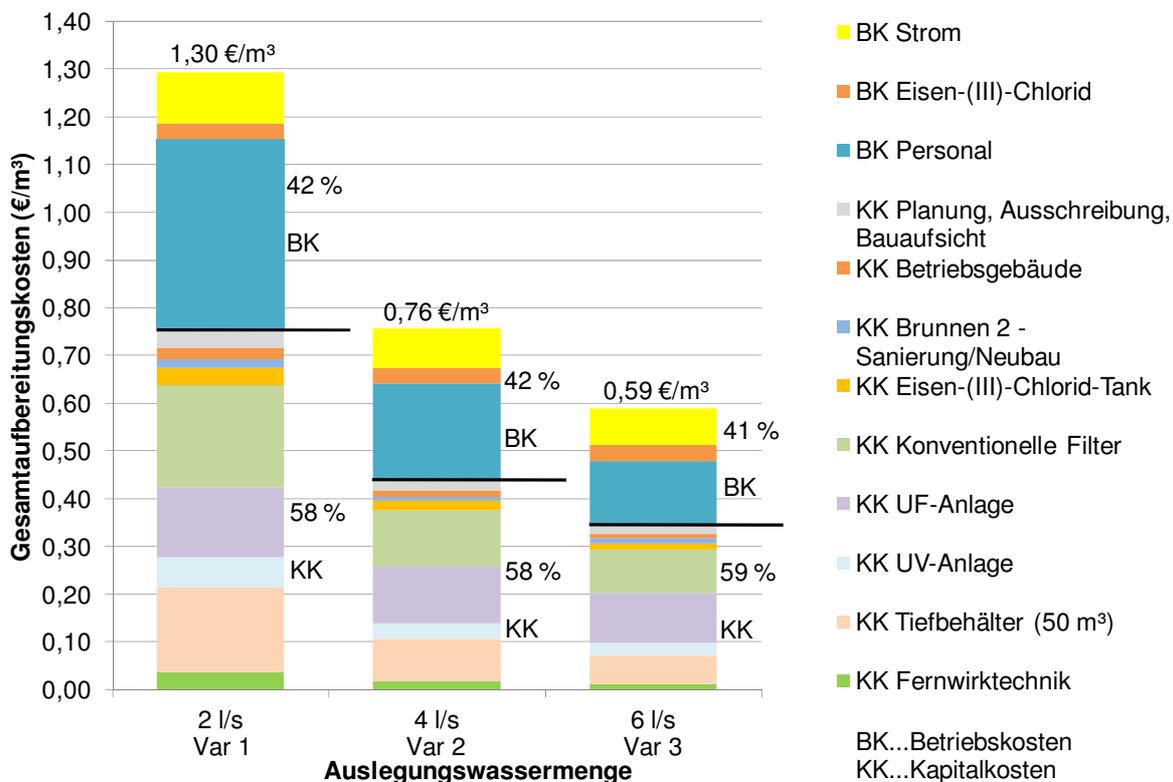
#### 5.2.3.1.3 Gesamtkosten für Variante 2 (4 l/s)

Wenn man jetzt alle Energiepositionen der einzelnen Anlagen zusammenzählt, erhält man in Summe einen Gesamtenergieverbrauch von ca. 190 kWh/d = 0,54 kWh/m<sup>3</sup>, die für Variante 2 relevant und erforderlich sind.

Als nächsten Schritt werden die Kosten der einzelnen Positionen aufgegliedert und zusammengerechnet, um aufzuzeigen, wie hoch die Gesamtkosten (= 0,591 €/m<sup>3</sup>) für Variante 2 (4 l/s) sind. Die Gesamtkosten der Variante 2 (4 l/s) beinhalten die Betriebskosten und die Kapitalkosten. Davon entfallen 46 % der Gesamtkosten auf die Kapitalkosten (= **0,273 €/m<sup>3</sup> ≈ 0,27 €/m<sup>3</sup>**) und 54 % auf die Betriebskosten (= **0,317 €/m<sup>3</sup> ≈ 0,32 €/m<sup>3</sup>**).

## 5.2.4 Variantenvergleich

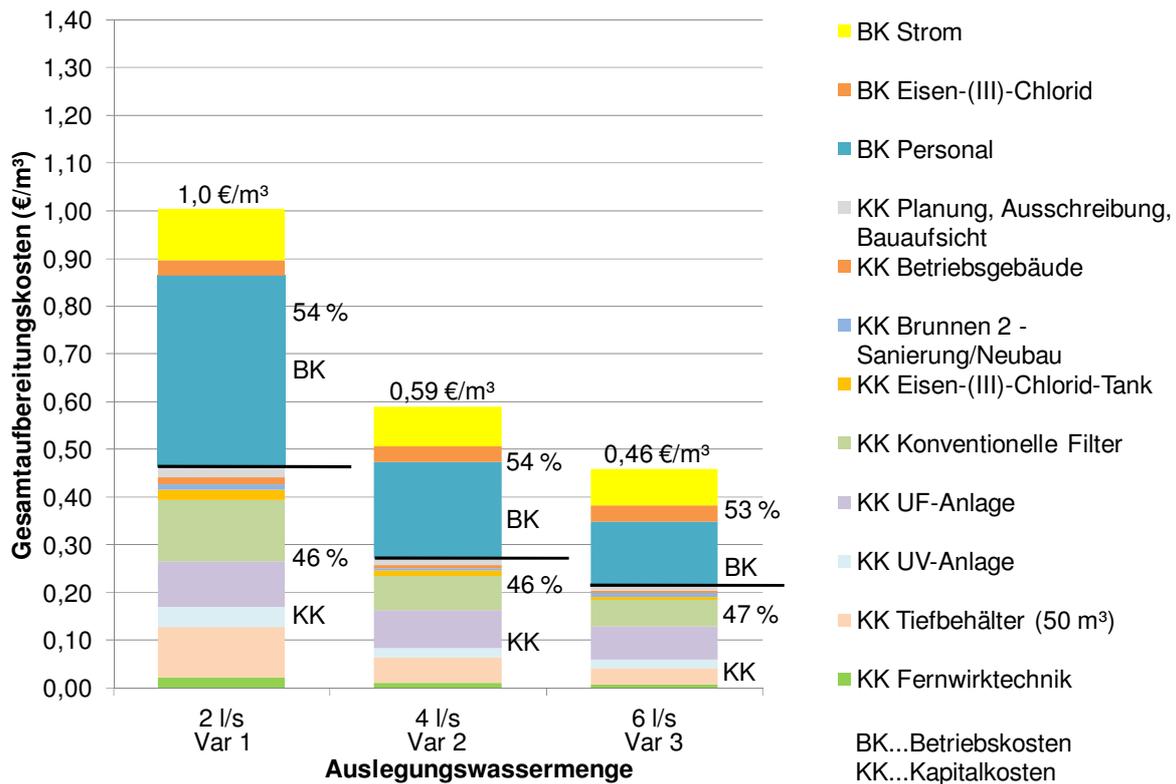
Die Gesamtaufbereitungskosten sind sehr stark von der Auslegungswassermenge abhängig. In **Abbildung 31** und **Abbildung 32** ist ersichtlich, inwiefern die Kostendaten jeder einzelnen Variante, bezogen auf die Gesamtkosten, aufgeteilt sind. Um die Unterscheidung der Kostenaufstellung leichter nachvollziehen zu können, werden die jeweils ausgerechneten Kostendaten, die auch mit der Kostenberechnung in Tabellenform übereinstimmen, farblich hinterlegt (**Anhang A 2.1** und **A 2.2**). Dabei ist deutlich zu erkennen, dass die Personalkosten, egal ob eine Anlage gefördert oder nicht gefördert wird, einen wesentlichen Bestandteil in der Kostenaufstellung ausmachen.



**Abbildung 31: Gesamtkostenübersicht ohne Förderung (3 Varianten)**

Die Personalkosten nehmen bei Variante 1 ungefähr ca. 3/4 an Betriebskosten ein. Hingegen nimmt dieser Kostenanteil bei Variante 2 ca. 2/3 der Betriebskosten ein bzw. bei Variante 3 nur mehr noch ungefähr die Hälfte. In der obigen Abbildung ist weiters ersichtlich, dass die Stromkosten je Auslegungswassermenge durchschnittlich ca. 11 % ausmachen.

Den größten Brocken der Kapitalkosten nehmen bei Variante 1 die konventionellen Filter mit 16 % ein. Bei Variante 2 sind diese Kostenanteile gleich groß, wie jene der UF-Anlage, nämlich 16 %. Mit 18 % sind die Kapitalkosten der UF-Anlage der Variante 3 am höchsten.



**Abbildung 32: Gesamtkostenübersicht mit Förderung (3 Varianten)**

Wie bereits eingehend erwähnt, sind die Personalkosten die größten Kostenfaktoren einer Aufbereitungsanlage. Unter Berücksichtigung von Fördermitteln nehmen die Personalkosten bei Variante 1 ca. 40 %, bei Variante 2 ca. 34 % und bei Variante 3 ca. 29 % ein. Aus der Kostengegenüberstellung ist weiters erkennbar, dass die Stromkosten je Auslegungswassermenge durchschnittlich ca. 14 % ausmachen.

Bei den Kapitalkosten machen bei Variante 1 die konventionellen Filter am meisten aus, nämlich 13 %. Bei Variante 2 sind die Kostenanteile aus konventionellen Filtern und UF-Anlage nahezu gleich. Mit 15 % sind die Kapitalkosten der UF-Anlage der Variante 3 am höchsten.

Ohne Berücksichtigung von Förderungen steigt der Anteil der Kapitalkosten um ca. 12 % gegenüber den Kapitalkosten der Kostenschätzung mit Förderung, nach oben. Hingegen sinkt der Anteil an Betriebskosten um diese 12 %.

## 6. Kostenbarwertmethode

### 6.1.1 Allgemeines und Definition

Laut KAINZ H. et al. (2008) ist der Kostenbarwert jener fiktive, einmalige Betrag, den man zu einem bestimmten Zeitpunkt hinlegen müsste, damit die bis dahin angefallenen

- Investitionskosten inklusive Soll-Zinsen und
- Betriebskosten sowie die
- künftig anfallenden Reinvestitions- und Betriebskosten, vermindert um die Habenzinsen, abgedeckt sind.

Den Barwert erhält man durch Auf- bzw. Abzinsen künftiger Zahlungen. Er hängt demnach entscheidend von der Höhe des Zinssatzes ab. Je höher der Zinssatz, desto geringer ist der Barwert. Er ist das eigentliche Kriterium bei Finanzierungsentscheidungen. Diese Methode zählt zur dynamischen Investitionsrechnung (LECHNER H., 2007).

Von großer Bedeutung ist der Bezugszeitpunkt. Hierbei ist zu unterscheiden ob Zahlungen bereits getätigt wurden, wie etwa Investitionskosten, Betriebskosten und Sollzinsen, oder künftig anfallen, wie etwa Reinvestitionskosten, Betriebskosten und Habenzinsen.

*Der Bezugszeitpunkt ist jener Punkt, an dem die jeweiligen Kosten auf- bzw. abgezinst werden. Im Prinzip ist es gleichgültig, wann dieser Zeitpunkt angesetzt wird. Meist wird er mit Beginn der Investitionsphase, oder auch mit der Fertigstellung des Bauwerkes angesetzt (KAINZ H. et al., 2008).*

Dazu stellt sich immer wieder die Frage, wie weit wird in die Zukunft geblickt und wie hoch ist die Lebensdauer eines Objektes bzw. einer Anlage. Man spricht auch vom Untersuchungszeitraum. Hinzu kommen noch die Zunahme der Betriebskosten (Inflation), die Kostensteigerung bei Reinvestitionskosten und die eventuell anfallenden Zinsen (KAINZ H. et al., 2008).

### 6.1.2 Berechnung

Es ist zu unterscheiden zwischen Einzahlungen vor und nach dem Bezugszeitpunkt. Wobei vor dem Bezugszeitpunkt Kosten aufgezinst und Kosten nach dem Bezugszeitpunkt abgezinst werden. Im Folgenden werden die einzelnen Möglichkeiten für die Bartwertberechnung aufgezeigt (**Abbildung 33**; **Abbildung 34**; **Abbildung 35**; **Abbildung 36**):

- Kostenbarwert von Einzelzahlungen vor dem Bezugszeitpunkt (n Jahre)

$$KBW = IK_n * (1+i)^n$$

KBW	Kostenbarwert
IK <sub>n</sub>	Investitionskosten
i	Zinssatz
n	Jahre

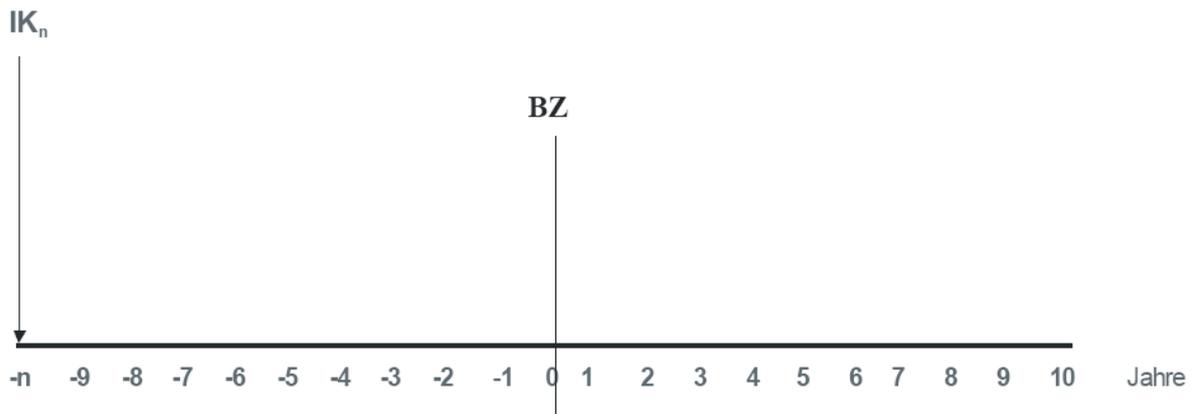


Abbildung 33: Kostenbarwert von Einzelzahlungen vor dem Bezugszeitpunkt (aus KAINZ H. et al., 2008)

- Kostenbarwert von laufenden Zahlungen vor dem Bezugszeitpunkt (n Jahre)

$$KBW = LK_1 * \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

KBW	Kostenbarwert
LK <sub>1</sub>	Laufende Kosten
i	Zinssatz
n	Jahre



Abbildung 34: Kostenbarwert von laufenden Zahlungen vor dem Bezugszeitpunkt (aus KAINZ H. et al., 2008)

- Kostenbarwert von Einzelzahlungen nach dem Bezugszeitpunkt (n Jahre)

$$KBW = RIK_n * \frac{1}{(1+i)^n}$$

KBW	Kostenbarwert
RIK <sub>n</sub>	Reinvestitionskosten
i	Zinssatz
n	Jahre



Abbildung 35: Kostenbarwert von Einzelzahlungen nach dem Bezugszeitpunkt (aus KAINZ H. et al., 2008)

- Kostenbarwert von laufenden Zahlungen nach dem Bezugszeitpunkt (n Jahre)

$$KBW = LK * \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n}$$

KBW	Kostenbarwert
LK	laufende Kosten
i	Zinssatz
n	Jahre

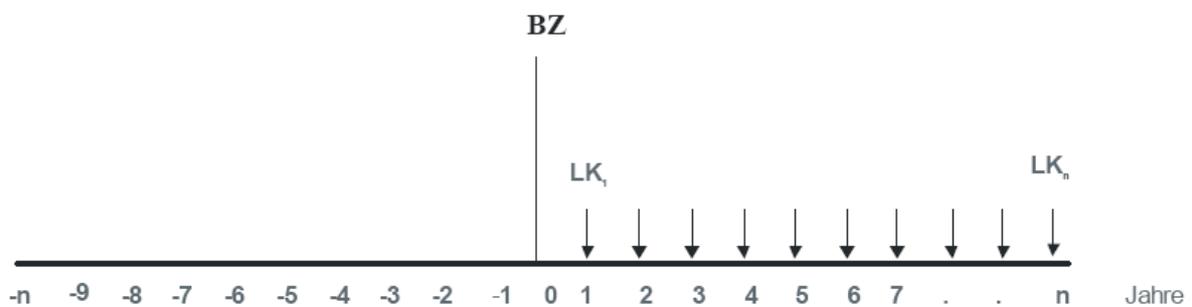


Abbildung 36: Kostenbarwert von laufenden Zahlungen nach dem Bezugszeitpunkt (aus KAINZ H. et al., 2008)

### **6.1.3 Amortisationszeitpunkt für die Trinkwasseraufbereitungsanlage in Heidenreichstein**

Die Kostenbarwerte der einzelnen Varianten werden der derzeitigen Situation der Stadtgemeinde Heidenreichstein mit 100 % Fremdbezug (Variante 0) gegenübergestellt. Daraus kann für jede Variante die Amortisierungsdauer abgeschätzt werden. Mittels Kostenbarwertmethode (**Kapitel 6**) wird über einen Zeitraum von 40 Jahren (üblich für solche Anlagen) der Amortisationszeitpunkt der jeweiligen Variante bestimmt, um festzustellen, welche der Auslegungswassermengen für die Zukunft am wirtschaftlichsten ist. Den einzelnen Varianten wird die Variante 0 (100 % Fremdbezug = Schließen des Wasserwerkes) gegenübergestellt, um aufzeigen zu können, ab welchem Zeitpunkt sich die Wiederinbetriebnahme der eigenen Wasseraufbereitung rentiert.

- **Variante 0**

Dies bedeutet, dass der gesamte Wasserbedarf (= 160.000 m<sup>3</sup>/a) der Stadtgemeinde Heidenreichstein durch Fremdbezug abgedeckt wird (100 % Fremdbezug = Schließen des Wasserwerkes).

- **Variante 1 (2 l/s)**

**ohne Förderung**

Die Gesamtaufbereitungskosten für die Variante 1 (2 l/s) betragen rund 1,3 €/m<sup>3</sup>. Diese Variante ist also nicht wirtschaftlich, da die derzeitigen Kosten für den Fremdbezug unter dieser Summe liegen. Der Kostenbarwertvergleich der Variante 1 mit der Variante 0 (100 % Fremdbezug) zeigt, dass sich diese Variante im Betrachtungszeitraum von 40 Jahren nicht amortisiert (**Abbildung 37**).

**mit Förderung**

Die Gesamtaufbereitungskosten für die Variante 1 (2 l/s) betragen rund 1,0 €/m<sup>3</sup>. Diese Kosten gleichen sich fast mit den derzeitigen Fremdbezugskosten von 1,09 €/m<sup>3</sup>. Der Kostenbarwertvergleich der Variante 1 mit der Variante 0 (100 % Fremdwasserbezug) zeigt, dass sich diese Variante erst nach 34 Jahren amortisiert. Über einem Betrachtungszeitraum von 40 Jahren ist mit einem Kostenvorteil von ca. 40.000 € im Vergleich zu einem 100 %-igen Fremdbezug zu rechnen (**Abbildung 38**). Daher erscheint diese Variante selbst unter Berücksichtigung von Förderungen aufgrund der hohen Aufbereitungskosten und einem natürlich vorhandenen Investitionsrisiko als nicht sinnvoll.

- **Variante 2 (4 l/s)**

- **ohne Förderung**

- Bei der Variante 2 (Auslegungswassermenge 4 l/s) entstehen Kosten von ca. 0,76 €/m<sup>3</sup>. Diese Kosten liegen unter dem Niveau der derzeitigen Kosten für den Fremdbezug. Aus dem Kostenbarwertvergleich mit der Variante 0 ergibt sich eine Amortisationsdauer von 8 Jahren. Über den Betrachtungszeitraum von 40 Jahren ist mit einem Kostenvorteil für die Stadtgemeinde Heidenreichstein von ca. 1,5 Mio. € im Vergleich zu einem 100 %-igen Fremdbezug zu rechnen (**Abbildung 39**).

- **mit Förderung**

- Unter Berücksichtigung einer 40 %-igen Förderung von Investitionen entstehen bei der Variante 2 (4 l/s) Kosten für Aufbereitung von ca. 0,59 €/m<sup>3</sup>, d.h. diese Kosten liegen unter dem Niveau der derzeitigen Kosten für den Fremdbezug. Da diese Anlage rund 126.000 m<sup>3</sup>/a aufbereitet, müssen rund 34.000 m<sup>3</sup>/a zugekauft werden, um den Bedarf von 160.000 m<sup>3</sup>/a abdecken zu können. Bei einem kalkulatorischen Zinssatz von 2 % für die Betriebs- und Fremdbezugskosten und 5 % bei den Investitions- und Reinvestitionskosten stellt sich der Amortisationszeitpunkt nach 4 Jahren ein, d.h. ab diesem Zeitpunkt rentiert sich diese Anlage. Über einen Betrachtungszeitraum von 40 Jahren ist mit einem Kostenvorteil von ca. 1,7 Mio. € im Vergleich zu einem 100 %-igen Fremdbezug zu rechnen (**Abbildung 40**).

- **Variante 3 (6 l/s)**

- **ohne Förderung**

- Die Variante 3 (6 l/s) ist mit ca. 0,59 €/m<sup>3</sup> zwar die kostengünstigste (Amortisationsdauer 5 Jahre), jedoch erscheint die Umsetzung dieser Variante nicht realistisch. Allerdings hat Variante 3 über den Betrachtungszeitraum von 40 Jahren einen Kostenvorteil von ca. 2,8 Mio. € im Vergleich zur Variante 0 (**Abbildung 41**).

- **mit Förderung**

- Bei Variante 3 (6 l/s) müsste kein Wasser über Fremdbezug zugekauft werden, da diese Aufbereitungsanlage mehr als den erforderlichen Bedarf von 160.000 m<sup>3</sup>/a erzeugt. Bei einem Verkauf der überschüssigen aufbereiteten Wassermenge von ca. 29.000 m<sup>3</sup>/a um z.B. 0,7 €/m<sup>3</sup> würde sich der Amortisationszeitpunkt schon nach 3 Jahren einstellen, was zur Folge hat, dass diese Variante am kostengünstigsten erscheint. Jedoch erscheint die Umsetzung dieser Variante aus „(unternehmens-)politischen“ Gründen schwierig. Einerseits müsste Wasser an eine Nachbargemeinde verkauft werden, andererseits besteht ein Mindestbezugsabkommen mit dem derzeitigen Fernversorger, welches wahrscheinlich nicht sofort gelöst werden kann. Eine vollständige Lösung des Abkommens mit dem derzeitigen Fernversorger erscheint auch aus Gründen der Versorgungs-

sicherheit (Möglichkeit einer 100 %-igen Notwasserversorgung) nicht sinnvoll. Jedoch hat die Variante 3 über den Betrachtungszeitraum von 40 Jahren einen Kostenvorteil von ca. 3,0 Mio. € im Vergleich zu einem 100 %-igen Fremdbezug der Variante 0 (**Abbildung 42**).

Der Wasserbedarf der Stadtgemeinde Heidenreichstein liegt derzeit bei etwa 160.000 m<sup>3</sup>/a und daraus ist ersichtlich, dass sich die Variante 1 (2 l/s) nicht rentiert, weil die Aufbereitungskosten einfach zu hoch sind.

Die Variante 3 mit einer Auslegungswassermenge von 6 l/s geht davon aus, dass nicht nur der gesamte Bedarf der Stadtgemeinde Heidenreichstein (ca. 5 l/s) abgedeckt wird, sondern auch noch ca. 30.000 m<sup>3</sup>/Jahr an eine benachbarte Gemeinde verkauft werden. Die Varianten 1 und 2 sehen vor, dass weiterhin eine gewisse Menge an Fremdbezug erfolgt.

Nach dem Vergleich der Varianten untereinander, erscheint die Variante 2 mit einer Auslegungswassermenge von 4 l/s aus wirtschaftlicher Sicht am einfachsten durchführbar, da einerseits eine Mindestabnahmemenge in Form von Fremdbezug gefordert wird und andererseits ein Großteil des Bedarfs der Stadtgemeinde Heidenreichstein abdeckt wird.

Die detaillierten Berechnungen der Kostenbarwertmethode werden tabellarisch mittels MS Excel© gemacht und sind im **Anhang** unter **A 2.1.1** und **A 2.2.1** ersichtlich.

Abbildung 37: Kostenbarwertverlauf ohne Förderung – Variante 1 (2 l/s)

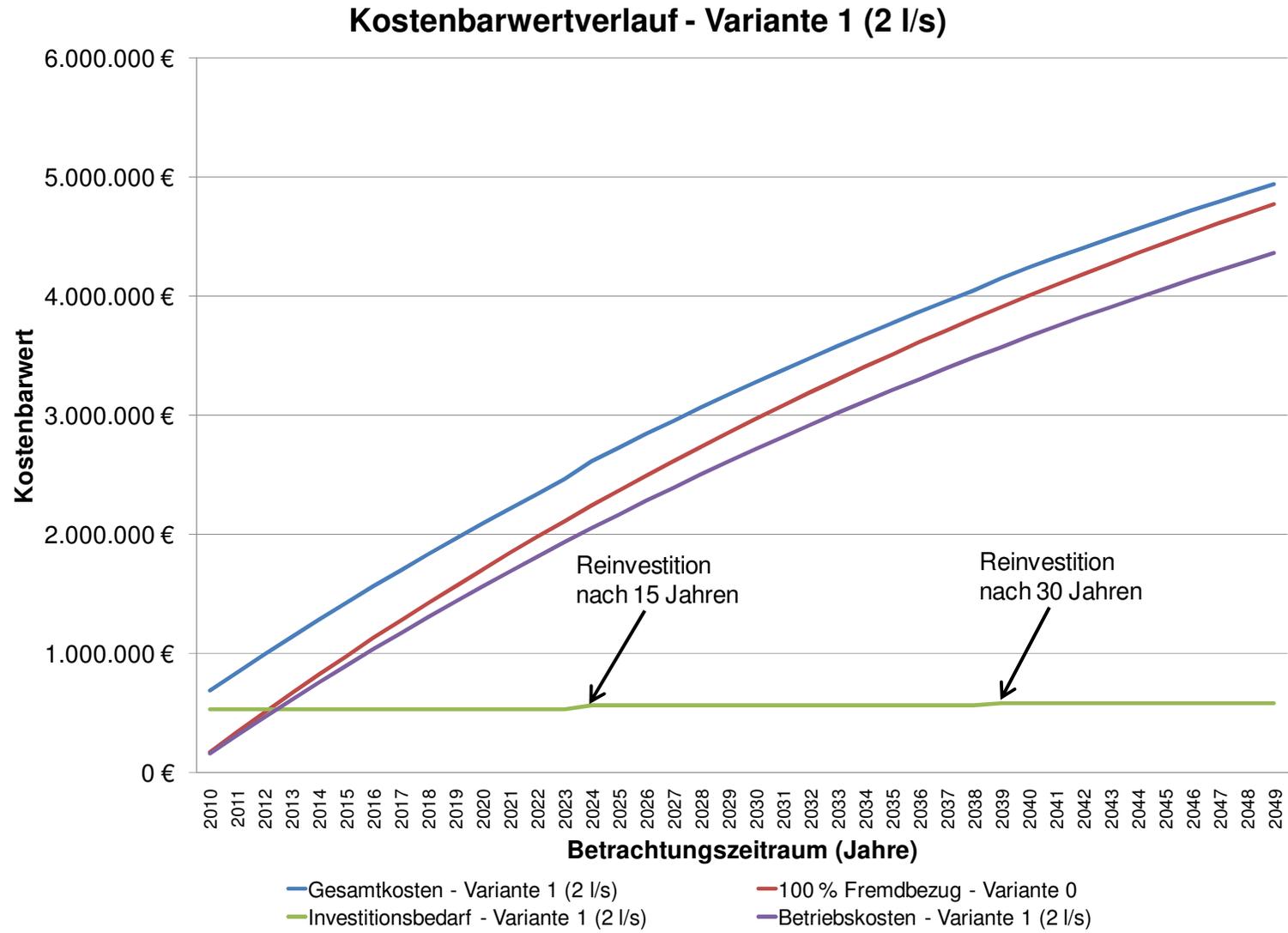


Abbildung 38: Kostenbarwertverlauf mit Förderung – Variante 1 (2 l/s)

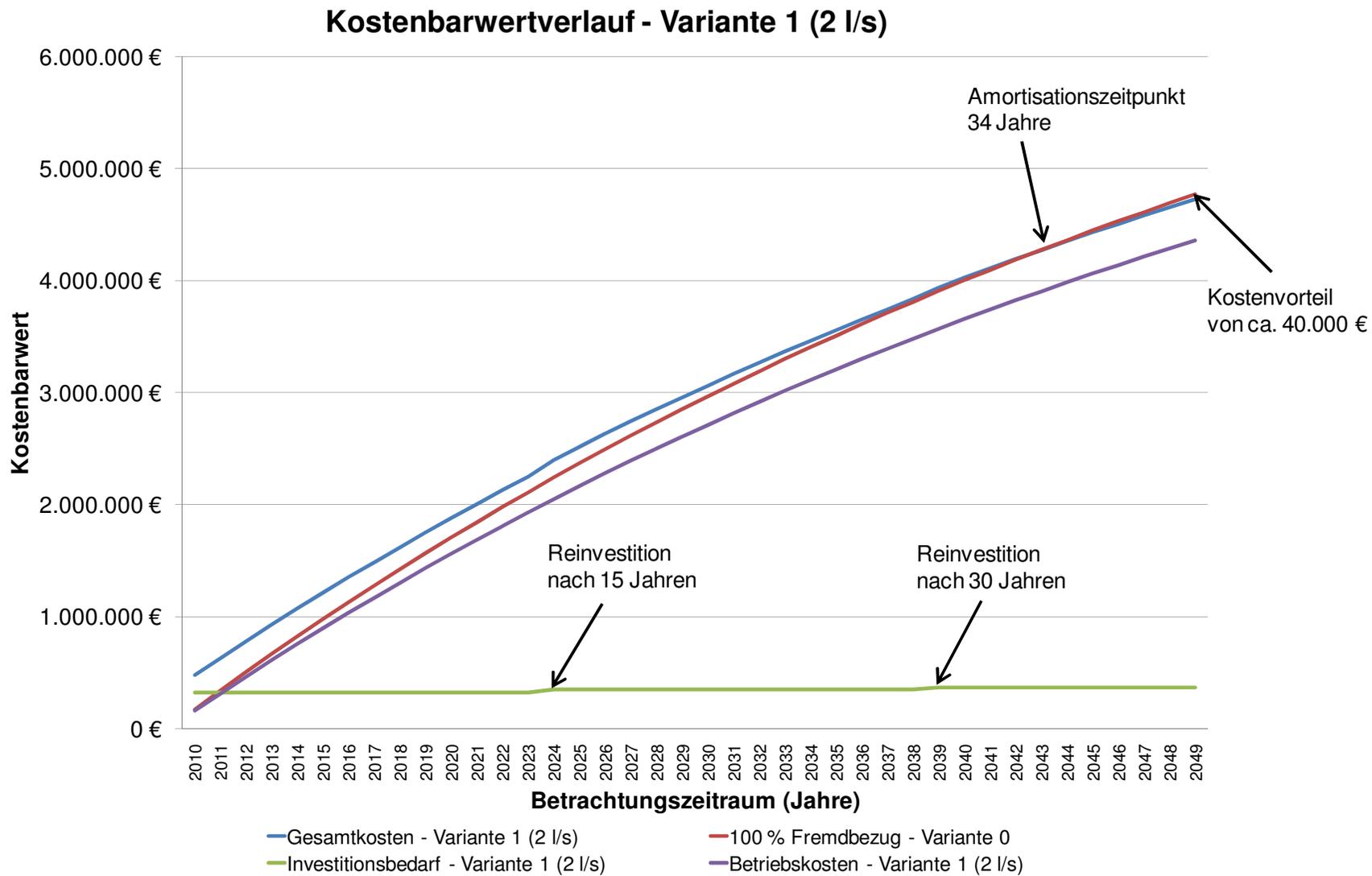


Abbildung 39: Kostenbarwertverlauf ohne Förderung – Variante 2 (4 l/s)

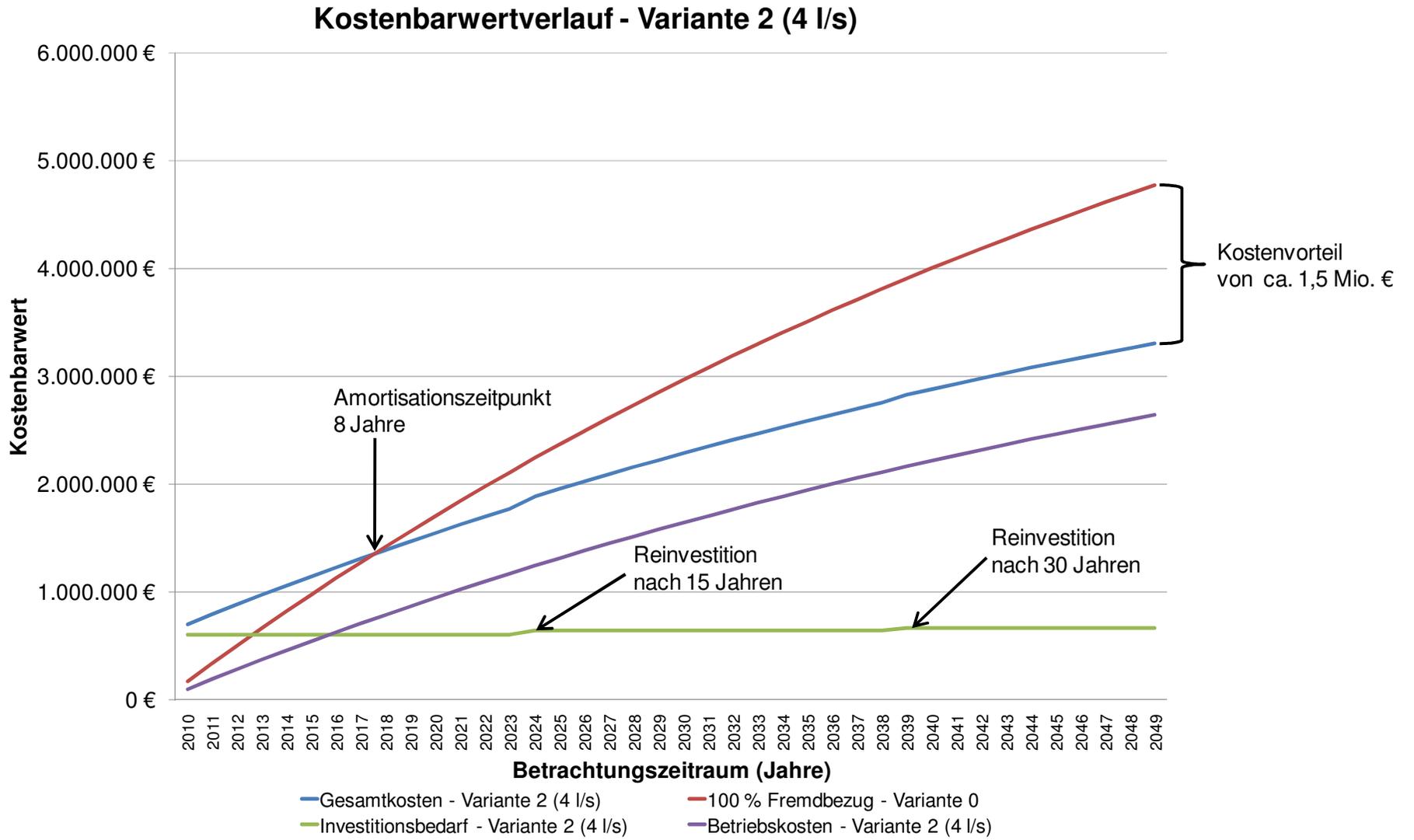


Abbildung 40: Kostenbarwertverlauf mit Förderung – Variante 2 (4 l/s)

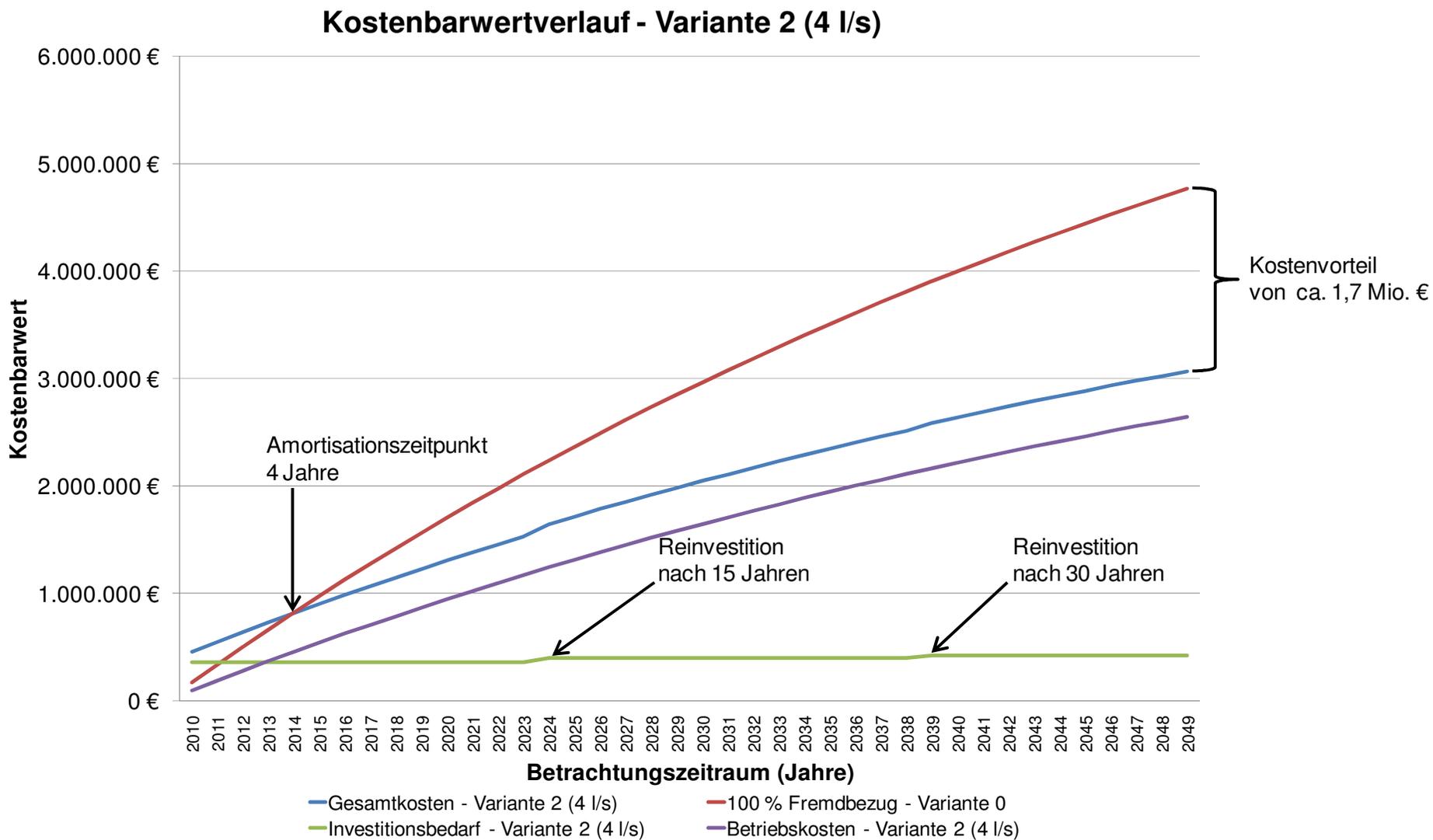


Abbildung 41 : Kostenbarwertverlauf ohne Förderung – Variante 3 (6 l/s)

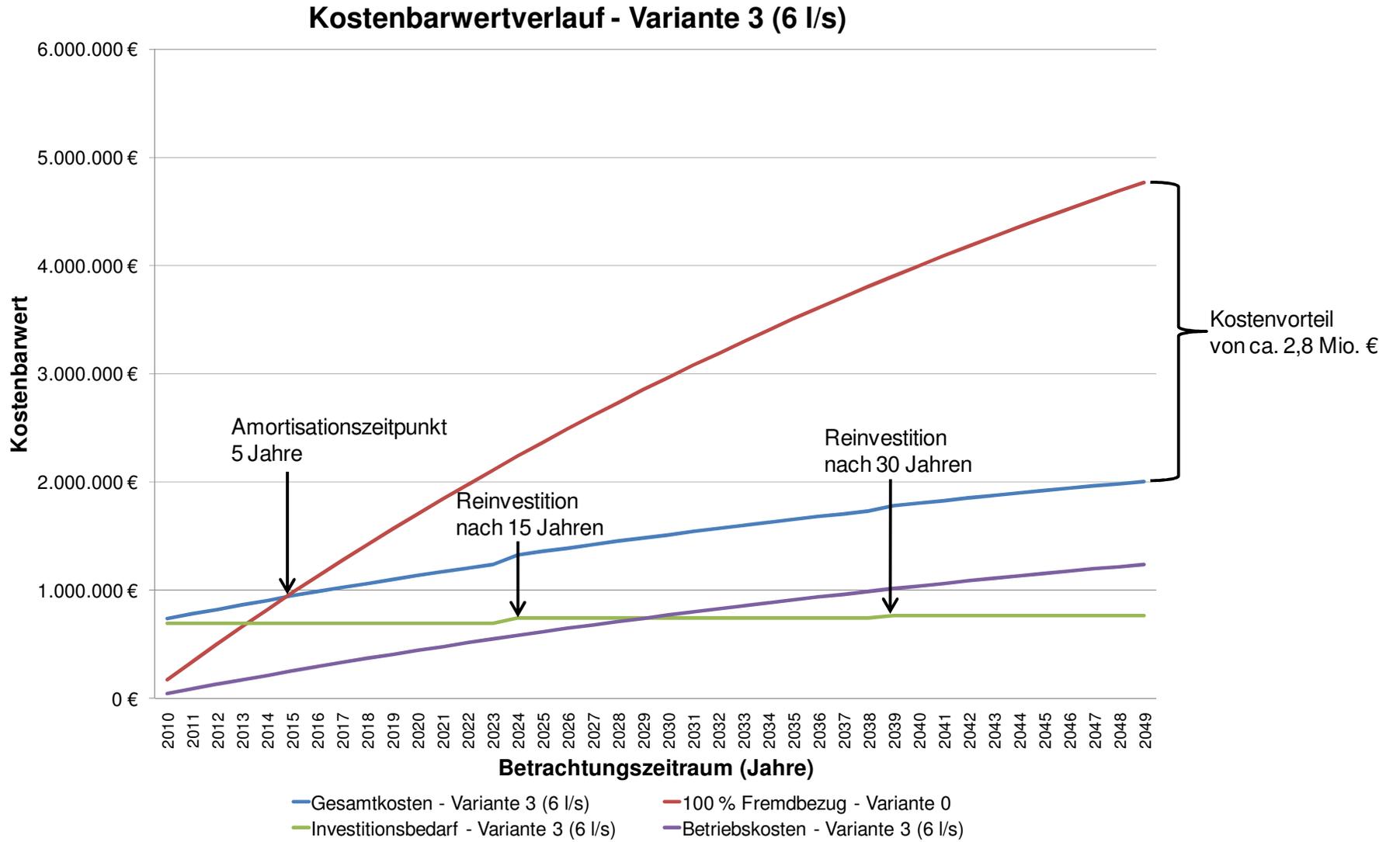
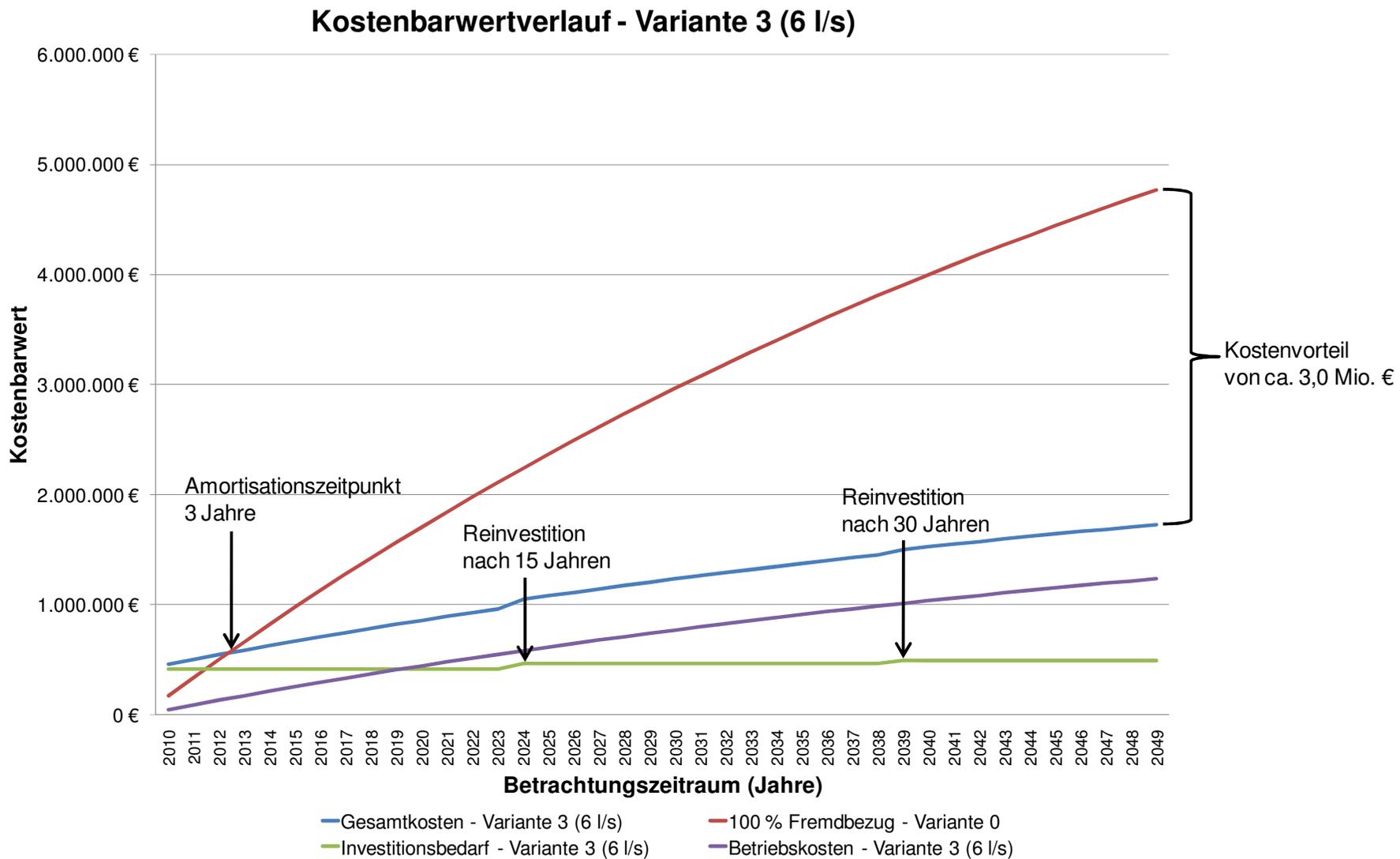


Abbildung 42: Kostenbarwertverlauf mit Förderung – Variante 3 (6 l/s)



## 7. Zusammenfassung

Der erste Teil dieser Masterarbeit beschäftigte sich mit den allgemeinen Grundlagen, wie Trinkwasserversorgung und –gewinnung, den Anforderungen der Trinkwasserverordnung und der Trinkwasseraufbereitung. Dabei wurde auf die Anforderungen, die an Trinkwasser gestellt werden, eingegangen. Das Trinkwasser darf nicht gesundheitsschädigend, muss frei von Krankheitserregern, geschmacklich neutral, farb- und geruchlos sein. Aus der Trinkwasserverordnung wurden nur die wichtigsten Punkte beschrieben, wie der Geltungsbereich dieser Verordnung und die gesetzlichen Anforderungen, die an das Trinkwasser gestellt werden. Zwei wesentliche Punkte dieser Verordnung, auf die noch näher eingegangen wurde, sind die Eigenkontrolle des Betreibers einer Wasserversorgungsanlage und die Überwachung durch die Behörde.

Im Kapitel über die Trinkwasseraufbereitung wurden die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen erläutert, aber auch die einzelnen Verfahren der Aufbereitung, gegliedert nach Verfahrensart, beschrieben. Die Untergliederung erfolgte in physikalische, chemische und biologische Verfahren.

Weiters wurde Literaturrecherche über Membrantechnologie betrieben, um die einzelnen Membranverfahren näher zu beschreiben. Es wurde beschrieben, wann welches Verfahren zur Anwendung kommt und welche besonderen Anforderungen an diese Verfahren gestellt werden.

Der zweite Teil der Masterarbeit beschäftigte sich mit Untersuchungen zur Aufbereitung für huminstoffreiche Wässer im Rahmen eines Pilotprojektes im Waldviertel, welche von den Universitäten TU Graz, BOKU Wien und Universität der Bundeswehr München durchgeführt wurden. Um die hygienische Sicherheit in der Aufbereitung von huminstoffreichen und von Oberflächenwasser beeinflussten Wässern zu verbessern, wurde die Ultrafiltration (UF) als zusätzliche Sicherheitsstufe im Aufbereitungsverfahren eingesetzt. Nachdem verschiedenste Anlageneinstellungen und Versuchsanordnungen getestet wurden, hatte man sich für jene Versuchsanordnung entschieden, die den gewünschten Erfolg brachte. Diese Anordnung bestand aus: Verrieselung über Füllkörper, Flockungsmitteldosierung mittels Eisen(III)-Chlorid, Flockenfiltration und Enteisenung über Sandfilter I, Entmanganung über Sandfilter II, Entsäuerung über Sandfilter III, Ultrafiltration und Desinfektion mittels UV-Strahlung. Eine zusätzliche Sicherheitsstufe mittels UV-Strahlung war deshalb notwendig, da die Ultrafiltration ein Filtrationsverfahren, aber kein Desinfektionsverfahren ist.

Der Hauptteil dieser Masterarbeit beinhaltet eine Investitions- und Betriebskostenabschätzung für kleine und mittlere Aufbereitungsanlagen einerseits und andererseits für das Pilotprojekt der Stadtgemeinde Heidenreichstein. Die Abschätzung der Betriebskosten erfolgte größtenteils anhand von tatsächlichen Projektdaten und die Investitionskosten anhand von Kostenkurven, Referenzprojekten und persönlichen Informationen. Ziel war es nämlich, die Berechnung jeder einzelnen Auslegungs-

wassermenge (2 l/s, 4 l/s, 6 l/s und 15 l/s) so durchzuführen, dass das jeweilige Ergebnis der Kostenschätzung immer in €/m<sup>3</sup> angegeben wurde, um schlussendlich auf die gesamten Aufbereitungskosten je Auslegungswassermenge zu kommen.

Die allgemeine Kostenabschätzung gilt für alle kleinen und mittleren Trinkwasseraufbereitungsanlagen, jedoch wurden keine Förderungen und keine Investitionskosten für (Sonder-)bauwerke wie Betriebsgebäude, Tiefbehälter, Fernwirktechnik und Brunnen berücksichtigt. Aus dem Variantenvergleich wurde ersichtlich, dass die Kapital- und Betriebskosten bei einer kleinen Auslegungswassermenge von 2 l/s überproportional hoch, gegenüber den restlichen Auslegungswassermengen (4 l/s, 6 l/s und 15 l/s) sind.

Mittels Kostenbarwertmethode wurde für die Anlage in Heidenreichstein über einen Zeitraum von 40 Jahren der Amortisationszeitpunkt der jeweiligen Variante bestimmt, um festzustellen, welche der Auslegungswassermengen für die Zukunft am rentabelsten ist. Den einzelnen Varianten wurde die Variante 0 (100 % Fremdbezug = Schließen des Wasserwerkes) gegenübergestellt, um aufzeigen zu können, ab welchem Zeitpunkt sich die Wiederinbetriebnahme der eigenen Wasseraufbereitung rentiert. Nachdem alle Ergebnisse miteinander verglichen und analysiert wurden, erscheint unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen, auch von (unternehmens-)politischen Gesichtspunkten, die Variante 2 mit einer Auslegungswassermenge von 4 l/s am einfachsten realisierbar und ist auch aus wirtschaftlicher Sicht eine attraktive Lösung für die Stadtgemeinde Heidenreichstein. Ebenso bietet diese Variante eine bestmögliche Optimierung der Versorgungssicherheit, da ein Großteil des Bedarfs der Stadtgemeinde Heidenreichstein mit den 4 l/s abgedeckt werden kann. In Spitzenbedarfszeiten kann Wasser in Form von Fremdbezug zugekauft werden. Damit wird auch die Mindestabnahmemenge erfüllt. Sollte es zu einer längeren Betriebsstörung im Wasserwerk Heidenreichstein kommen, kann der gesamte Bedarf über Fremdbezug (wie bisher) abgedeckt werden. Umgekehrt kann durch die großzügige Hochbehälterdimensionierung auch ein mehrtägiger Ausfall des Fremdbezuges überbrückt werden.

Unter den Rahmenbedingungen des Pilotprojektes in Heidenreichstein sind die Kosten der Ultrafiltrationsanlage in der Größenordnung von ca. 10 – 15 Cent/m<sup>3</sup> je nach Auslegungswassermenge meines Erachtens durchaus vertretbar. Durch den Einsatz der Membrantechnik werden gesundheitsschädigende Stoffe wie z.B. Bakterien, Viren sowie Trübstoffe zuverlässig zurückgehalten und damit die hygienische Sicherheit im Aufbereitungsverfahren erhöht.

Insbesondere bei kleinen und mittleren Anlagengrößen kann bei einem allfälligen Versagen der vorangehenden Aufbereitungsschritte durch den Einsatz einer nachgeschalteten Membranfiltration trotzdem Betriebssicherheit gewährleistet werden.

## 8. Literaturverzeichnis

### Literatur:

- BEFORTH H. (2009): Fa. Norit X-Flow, persönliche Information per E-Mail vom 07.03.2009.
- DEPISCH D. (2008): Lehrveranstaltung: Wasser- und Abfallbehandlung, Skriptum am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, TU Graz.
- DONAU CHEMIE AG (2008): Produktmerkblatt / Sicherheitsdatenblatt gemäß 2001/58/EG, Handelsname: Donau Klar classic, A-1030 Wien.
- FRIEDLE M. (2002): Aktuelle Entwicklungen in der Wasserversorgung, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 167, 16. Trinkwasserkolloquium, Kommissionsverlag Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München 2002. ISBN 3-486-26530-X
- GIMBEL R., JEKEL M. & R. LIEßFELD (2004): Wasseraufbereitung – Grundlagen und Verfahren, Herausgeber: DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., Lehr- und Handbuch Wasserversorgung Bd. 6, Oldenbourg Industrieverlag GmbH München Wien. ISBN 3-486-26365-X
- GROMBACH P., HABERER K., MERKL G. & E. U. TRÜEB (2000): Handbuch der Wasserversorgungstechnik, 3., völlig überarbeitete Auflage, Oldenbourg Industrieverlag GmbH München Wien. ISBN 3-486-26394-3
- HABERL R. (2008a): Industrierwasserwirtschaft, Skriptum am Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, BOKU Wien.
- HABERL R. (2008b): VU Siedlungswasserbau und Gewässerschutz, Teil A: Wasserversorgung, Skriptum am Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, BOKU Wien.
- KAINZ H. (2008): Lehrveranstaltung: Wasser- und Abfallbehandlung, Skriptum am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, TU Graz.
- KAINZ H. & G. GRUBER (2008): Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft, Skriptum am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, TU Graz.
- KAINZ H. & E. P. KAUCH (2007): Siedlungswasserbau und Abfallwirtschaft, 3., überarbeitete Auflage, Manz Verlag Schulbuch GmbH, Wien 2007. ISBN 978-3-7068-3063-8

- KÖLBL J. (2009): Optimierungsmöglichkeiten an bestehenden Wasseraufbereitungsanlagen für huminstoffreiche Wässer unter Verwendung der Ultrafiltration.- Tagungsband Symposium Wasserversorgung 2009, ÖVGW, Wien.
- KÖLBL J., KAINZ H., HABERL R., ZIBUSCHKA F., LINDNER G., GÜNTHERT F. W. & S. KRAUSE (2007): Optimierung bestehender Aufbereitungsanlagen für huminstoffreiche Wässer im Waldviertel.- Projektantrag für den Pilotversuch in der Stadtgemeinde Heidenreichstein, TU Graz, BOKU Wien, Universität der Bundeswehr München, Graz, Wien, München.
- KÖLBL J., KRAUSE S., ZIBUSCHKA F., LINDNER G., GÜNTHERT F. W., KAINZ H. & R. HABERL (2009a): Broschüre zum Themenbereich „Filteraufbau und –betrieb“ beim Verfahren der Flockenfiltration.- Broschüre im Auftrag der niederösterreichischen Landesregierung, TU Graz, BOKU Wien, Universität der Bundeswehr München, Graz, Wien, München.
- KÖLBL J., KRAUSE S., ZIBUSCHKA F., LINDNER G., GÜNTHERT F. W., KAINZ H. & R. HABERL (2009b): Optimierung bestehender Aufbereitungsanlagen für huminstoffreiche Wässer im Waldviertel.- Ergebnisbericht, TU Graz, BOKU Wien, Universität der Bundeswehr München, Graz, Wien, München.
- KRAUSE S. (2007): Daten zur Ultrafiltrationsanlage.- unveröffentlichte Information zur UF-Anlage der Universität der Bundeswehr München.
- KRAUSE S. (2008): Ultrafiltration zur Trinkwasseraufbereitung – vom Pilotversuch zur großtechnischen Anwendung.- Folien zur Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Institut für Wasserwesen, Universität der Bundeswehr München.
- KRAUSE S. (2009): Einsatzmöglichkeiten und mehrjährige Erfahrungen mit Ultrafiltration in Bayern.- Tagungsband Symposium Wasserversorgung 2009, ÖVGW, Wien.
- LECHNER H. (2007): Projektentwicklung.- Skriptenreihe am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, TU-Graz.
- MELIN T. & R. RAUTENBACH (2007): Membranverfahren; Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung, 3., aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007. ISBN 3-540-00071-2, ISBN 978-3-540-34327-1
- MUTSCHMANN J. & F. STIMMELMAYER (2007): Taschenbuch der Wasserversorgung, 14., vollständig überarbeitete Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2007. ISBN 978-3-8348-0012-1
- ÖVGW (2007): ÖVGW-Zertifikat über die Verleihung des Rechtes zur Führung der ÖVGW-Qualitätsmarke Wasser, Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach, A-1015 Wien.
- SOMMER R. (2006): Anforderungen an die UV-Desinfektion von Trinkwasser, Praxisseminar Wasser & Hygiene, Klinisches Institut für Hygiene und Medizinische Mikrobiologie, Medizinische Universität Wien.

- TWV (2001): Trinkwasserverordnung; Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, ausgegeben am 21. August 2001, Teil II, 304. Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TWV).
- WEDECO ADVANCED WATER (2007): Treatment ITT Corporation, UV-Desinfektionsanlagen, Typenreihe Spektron, D-32051 Herford.
- WERDERITSCH M. (2008): Membrantechnologie – Was können die WVU davon erwarten?- Vorträge Symposium Wasserversorgung 2008, ÖVGW, Wien.
- WILHELM S. (2008): Wasseraufbereitung; Chemie und chemische Verfahrenstechnik, 7., aktualisierte und ergänzte Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008. ISBN 978-3-540-25163-7

## Internetquellen:

Fa. INGE WATERTechnologies

In: <http://www.inge.ag/index.php?section=dizzer5000&pic=produkte> (Stand 03.03.2009)

FUMATECH GMBH: Nanofiltration

In: <http://www.fumatech.com/Startseite/Membrantechnologie/Membranverfahren/Nanofiltration/> (Stand 09.04.2009)

ÖFFENTLICHE WASSERVERSORGUNGSANLAGEN – FÖRDERUNG NÖ

In: [http://www.noe.gv.at/Umwelt/Wasser/Wasserversorgung/Wasserversorgung\\_Oeffentliche\\_Anlagen\\_Foerderung.wai.html](http://www.noe.gv.at/Umwelt/Wasser/Wasserversorgung/Wasserversorgung_Oeffentliche_Anlagen_Foerderung.wai.html) (Stand 09.04.2009)

WASSERLEXIKON: Trinkwasseraufbereitung

In: <http://wasser-lexikon.schlicht-gruppe.de/search.php?key=Trinkwasseraufbereitung> (Stand 18.11.2008)

WIKIPEDIA – Freie Enzyklopädie: Trinkwasser

In: <http://de.wikipedia.org/wiki/Trinkwasser>, (Stand 18.11.2008)

WIKIPEDIA – Freie Enzyklopädie: Uferfiltrat

In: <http://de.wikipedia.org/wiki/Uferfiltrat>, (Stand 30.03.2009)

## 9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Siebmaschine mit Abspritzvorrichtung (aus GROMBACH P. et al., 2000) .....	13
Abbildung 2: Rechen mit Rechenreinigungsmaschine (aus GROMBACH P. et al., 2000) .....	14
Abbildung 3: Prinzip der Sedimentation (aus HABERL R., 2008a).....	15
Abbildung 4: Prinzip der Flotation (aus HABERL R., 2008a).....	15
Abbildung 5: Wirkungsmechanismen bei der physikalischen Filtration (aus HABERL R., 2008b) .....	20
Abbildung 6: Übersicht über Trennverfahren und Wasserinhaltsstoffe (aus KRAUSE S., 2009) .....	28
Abbildung 7: Schematische Darstellung der 4 Modularten (aus HABERL R., 2008b).....	29
Abbildung 8: Betriebsweise – Membran innen liegend (aus KRAUSE S., 2008) .....	30
Abbildung 9: Betriebsweise – Membran außen liegend (aus KRAUSE S., 2008) .....	31
Abbildung 10: Schematische Darstellung des Dead-End-Betriebs (aus MELIN T. et al., 2007) .....	32
Abbildung 11: Schematische Darstellung des Cross-Flow-Betriebs (aus MELIN T. et al., 2007) .....	33
Abbildung 12: Druckdifferenzen und Rückhaltevermögen von Membranfiltrationen (aus WERDERITSCH M., 2008) .....	33
Abbildung 13: Modulaufbau (Beispiel Fa. Inge) (aus KRAUSE S., 2009) .....	35
Abbildung 14: Übersichtslageplan (aus KÖLBL J et al., 2009b).....	40
Abbildung 15: Schema Versuchsanordnung (aus KÖLBL J. et al., 2009b) .....	42
Abbildung 16: Riesler + Gebläse .....	43
Abbildung 17: Container mit FeCl <sub>3</sub> .....	44
Abbildung 18: Sandfilter I (Flockenfiltration und Enteisung) .....	45
Abbildung 19: Sandfilter II (Entmanganung) .....	46
Abbildung 20: Sandfilter III (Entsäuerung) + Vorlagebehälter .....	47
Abbildung 21: Ultrafiltration - Pilotanlage in Heidenreichstein (aus KRAUSE S., 2007).....	48
Abbildung 22: Membran .....	48
Abbildung 23: Dizzer 5000plus Modul (Fa. INGE WATERTechnologies, 2009) .....	48
Abbildung 24: Aufbau der UF-Versuchsanlage (aus KÖLBL J. et al., 2009b) .....	50
Abbildung 25: UV-Desinfektionsanlage .....	51
Abbildung 26: Entwicklung der Eisengehalte in den einzelnen Aufbereitungsstufen (aus KÖLBL J. et al., 2009b).....	53
Abbildung 27: Eisenelimination, Prozentanteile der einzelnen Aufbereitungsstufen (aus KÖLBL J. et al., 2009b).....	54
Abbildung 28: Entwicklung der Mangangehalte in den einzelnen Aufbereitungsstufen (aus KÖLBL J. et al., 2009b).....	54
Abbildung 29: Manganelimination, Prozentanteile der einzelnen Aufbereitungsstufen (aus KÖLBL J. et al., 2009b).....	55
Abbildung 30: Allgemeine Gesamtkostenübersicht (4 Varianten) .....	59
Abbildung 31: Gesamtkostenübersicht ohne Förderung (3 Varianten).....	75
Abbildung 32: Gesamtkostenübersicht mit Förderung (3 Varianten) .....	76
Abbildung 33: Kostenbarwert von Einzelzahlungen vor dem Bezugszeitpunkt (aus KAINZ H. et al., 2008) .....	78

Abbildung 34: Kostenbarwert von laufenden Zahlungen vor dem Bezugszeitpunkt (aus KAINZ H. et al., 2008) .....	78
Abbildung 35: Kostenbarwert von Einzelzahlungen nach dem Bezugszeitpunkt (aus KAINZ H. et al., 2008) .....	79
Abbildung 36: Kostenbarwert von laufenden Zahlungen nach dem Bezugszeitpunkt (aus KAINZ H. et al., 2008) .....	79
Abbildung 37: Kostenbarwertverlauf ohne Förderung – Variante 1 (2 l/s) .....	83
Abbildung 38: Kostenbarwertverlauf mit Förderung – Variante 1 (2 l/s) .....	84
Abbildung 39: Kostenbarwertverlauf ohne Förderung – Variante 2 (4 l/s) .....	85
Abbildung 40: Kostenbarwertverlauf mit Förderung – Variante 2 (4 l/s) .....	86
Abbildung 41: Kostenbarwertverlauf ohne Förderung – Variante 3 (6 l/s) .....	87
Abbildung 42: Kostenbarwertverlauf mit Förderung – Variante 3 (6 l/s) .....	88

## 10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht zu den Verfahren der Trinkwasseraufbereitung und Beispiele für ihre Anwendung (aus MUTSCHMANN J. et al., 2007) .....	11
Tabelle 2: Siebe – Filternetzwerke (aus HABERL R., 2008a) .....	12
Tabelle 3: Siebe – Filtergeschwindigkeit (aus HABERL R., 2008a).....	12
Tabelle 4: Rechen – Filternetzwerke (aus HABERL R., 2008a) .....	13
Tabelle 5: Rechen – Filtergeschwindigkeit (aus HABERL R., 2008a) .....	14
Tabelle 6: Verfahrensschritte der Flockung (aus MUTSCHMANN J. et al., 2007) .....	18
Tabelle 7: Anlagen zur Flockenbildung (aus MUTSCHMANN J. et al., 2007).....	19
Tabelle 8: Filtermaterial (aus GROMBACH P. et al., 2000).....	22
Tabelle 9: Vergleich der Desinfektionsverfahren UV, Chlor und Chlordioxid (aus WEDECO ADVANCED WATER, 2007) .....	51
Tabelle 10: Eisen- und Mangangehalte in den Abläufen der jeweiligen Aufbereitungsstufen (aus KÖLBL J. et al., 2009b).....	52
Tabelle 11: Elimination von Eisen und Mangan bezogen auf den Rohwasserwert in den Abläufen der jeweiligen Aufbereitungsstufen in Prozent (aus KÖLBL J. et al., 2009b) .....	52
Tabelle 12: Investitionskosten für kleine und mittlere Trinkwasseraufbereitungsanlagen.....	57
Tabelle 13: Kapitalkostenübersicht für kleine und mittlere Trinkwasseraufbereitungsanlagen.....	57
Tabelle 14: Betriebskostenübersicht für kleine und mittlere Trinkwasseraufbereitungsanlagen.....	58
Tabelle 15: Investitionskosten für Pilotprojekt Heidenreichstein.....	60
Tabelle 16: Kapitalkostenübersicht für Pilotprojekt Heidenreichstein (ohne Förderung).....	61
Tabelle 17: Kapitalkostenübersicht für Pilotprojekt Heidenreichstein (mit Förderung).....	61
Tabelle 18: Betriebskostenübersicht für Pilotprojekt Heidenreichstein (ohne / mit Förderung).....	62
Tabelle 19: Kapitalkostenübersicht am Beispiel der Variante 2 (4 l/s).....	63
Tabelle 20: Betriebskostenübersicht am Beispiel der Variante 2 (4 l/s).....	63
Tabelle 21: Kostenberechnung für 4 Varianten.....	99
Tabelle 22: Kostenberechnung ohne Förderung für 3 Varianten.....	103
Tabelle 23: Kostenbarwertberechnung ohne Förderung – Variante 1 (2 l/s) .....	110
Tabelle 24: Kostenbarwertberechnung ohne Förderung – Variante 2 (4 l/s) .....	111
Tabelle 25: Kostenbarwertberechnung ohne Förderung – Variante 3 (6 l/s) .....	112
Tabelle 26: Kostenberechnung mit Förderung für 3 Varianten.....	113
Tabelle 27: Kostenbarwertberechnung mit Förderung – Variante 1 (2 l/s) .....	120
Tabelle 28: Kostenbarwertberechnung mit Förderung – Variante 2 (4 l/s) .....	121
Tabelle 29: Kostenbarwertberechnung mit Förderung – Variante 3 (6 l/s) .....	122

# Anhang

Die nachfolgenden Tabellen wurden mittels MS Excel© erstellt.

A 1	Kostenberechnung für kleine und mittlere Trinkwasseraufbereitungsanlagen (4 Varianten).....	99
A 2	Kostenberechnung für Heidenreichstein (3 Varianten).....	103
A 2.1	<i>Kostenberechnung ohne Förderung (tabellarisch).....</i>	103
A 2.1.1	<i>Kostenbarwertberechnung ohne Förderung (tabellarisch).....</i>	110
A 2.2	<i>Kostenberechnung mit Förderung (tabellarisch).....</i>	113
A 2.2.1	<i>Kostenbarwertberechnung mit Förderung (tabellarisch).....</i>	120

# A 1 Kostenberechnung für kleine und mittlere Trinkwasser- aufbereitungsanlagen (4 Varianten)

Tabelle 21 : Kostenberechnung für 4 Varianten

angenommene Förderhöhe	0%	VAR 1			VAR 2			VAR 3			VAR 4		
		Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
		Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]		
		0,15			0,15			0,15			0,15		
<b>Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht</b>  Investitionskosten Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht [€] Fördererung [€] Investitionsbedarf [€] Zinssatz [%/a] Zinsen [€/a] Zinsen [€/m³]  Abschreibung [a] Abschreibungskosten pro Jahr [€/a] Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]  <b>Kapitalkosten [€/m³]</b>	0%	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
		63.072			126.144			189.216			473.040		
		30.000			40.000			50.000			90.000		
		0			0			0			0		
		30.000			40.000			50.000			90.000		
		5%			5%			5%			5%		
		1.500			2.000			2.500			4.500		
		0,024			0,016			0,013			0,010		
		40			40			40			40		
	750			1.000			1.250			2.250			
	0,012			0,008			0,007			0,005			
	0,036			0,024			0,020			0,014			
<b>Betriebsgebäude - Heizung, Licht</b>  Leistung [kW] Betrieb pro Tag [h/d] Energie pro Tag [kWh/d] Energie pro m³ [kWh/m³] <b>Stromkosten [€/m³]</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
		3,00			3,00			3,00			5,00		
		12,00			12,00			12,00			12,00		
		36,00			36,00			36,00			60,00		
		0,208			0,104			0,069			0,046		
		0,031			0,016			0,010			0,007		
<b>Brunnen - Pumpe</b>  Ausbeute UF-Anlage Ausbeute Sandfilter  Leistung [kW] Betrieb pro Tag [h/d] Energie pro Tag [kWh/d] Energie pro m³ [kWh/m³] <b>Stromkosten [€/m³ aufber. Wasser]</b>	95%	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
	85%	4,2	15,3	214,0	8,5	30,6	428,0	12,7	45,9	642,0	31,8	114,6	1605,0
		0,62			1,25			1,87			4,68		
		14,00			14,00			14,00			14,00		
		8,74			17,48			26,22			65,56		
		0,041			0,041			0,041			0,041		
		0,008			0,008			0,008			0,008		
<b>Gebläse Riesler</b>  Leistung [kW] Betrieb pro Tag [h/d] Energie pro Tag [kWh/d] Energie pro m³ [kWh/m³] <b>Stromkosten [€/m³]</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
		0,50			0,50			0,50			1,00		
		24,00			24,00			24,00			24,00		
		12,00			12,00			12,00			24,00		
		0,069			0,035			0,023			0,019		
		0,010			0,005			0,003			0,003		
<b>WW - Rohwasserpumpe</b>  Ausbeute UF-Anlage Ausbeute Sandfilter  Leistung [kW] Betrieb pro Tag [h/d] Energie pro Tag [kWh/d] Energie pro m³ [kWh/m³] <b>Stromkosten [€/m³ aufber. Wasser]</b>	95%	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
	85%	2,6	9,3	214,0	5,2	18,6	428,0	7,8	27,9	642,0	19,4	69,8	1605,0
		0,38			0,76			1,14			2,85		
		23,00			23,00			23,00			23,00		
		8,74			17,48			26,22			65,56		
		0,041			0,041			0,041			0,041		
		0,008			0,008			0,008			0,008		

		VAR 1			VAR 2			VAR 3			VAR 4					
		Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]			
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	6,0	21,6	518,4			
Strompreis [€/kWh]		0,15			Strompreis [€/kWh]			0,15			Strompreis [€/kWh]			0,15		
		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]			
<b>Chemikalien: Eisen-(III)-Chlorid + Tank</b>		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0			
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]		63.072			126.144			189.216			473.040					
Investitionskosten Tank [€]		20.000			20.000			20.000			30.000					
Förderung [€]	0%	0			0			0			0					
Investitionsbedarf [€]		20.000			20.000			20.000			30.000					
Zinssatz [%/a]		5%			5%			5%			5%					
Zinsen [€/a]		1.000,00			1.000,00			1.000,00			1.500,00					
Zinsen [€/m³]		0,016			0,008			0,005			0,003					
Abschreibung Tank [a]		15			15			15			15					
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		1.333,33			1.333,33			1.333,33			2.000,00					
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]		0,021			0,011			0,007			0,004					
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>		<b>0,037</b>			<b>0,018</b>			<b>0,012</b>			<b>0,007</b>					
Menge Eisen-(III)-Chlorid [l/t]		704,23			704,23			704,23			704,23					
Mengenpreis exkl. USt [€/t]		230,00			230,00			230,00			230,00					
Preis pro Liter [€/l]		0,33			0,33			0,33			0,33					
Dosierung [ml/h]		735,00			1.470,00			2.205,00			5.512,50					
Dosierung [l/d]		17,64			35,28			52,92			132,30					
Kosten pro Tag [€/d]		5,76			11,52			17,28			43,21					
Dosierung [l/m³]		0,102			0,102			0,102			0,102					
Kosten pro m³ [€/m³]		0,033			0,033			0,033			0,033					
<b>Betriebskosten [€/m³]</b>		<b>0,033</b>			<b>0,033</b>			<b>0,033</b>			<b>0,033</b>					
<b>Konventionelle Filter</b>		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0			
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]		63.072			126.144			189.216			473.040					
Investitionskosten Filter [€]		180.000			200.000			230.000			500.000					
Förderung [€]	0%	0			0			0			0					
Investitionsbedarf [€]		180.000			200.000			230.000			500.000					
Zinssatz [%/a]		5%			5%			5%			5%					
Zinsen [€/a]		9.000,00			10.000,00			11.500,00			25.000,00					
Zinsen [€/m³]		0,143			0,079			0,061			0,053					
Abschreibung [a]		40			40			40			40					
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		4.500,00			5.000,00			5.750,00			12.500,00					
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]		0,071			0,040			0,030			0,026					
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>		<b>0,214</b>			<b>0,119</b>			<b>0,091</b>			<b>0,079</b>					
<b>Rückspülen - Pumpe</b>		25	90		25	90		25	90		25	90				
Leistung [kW]		3,50			3,50			3,50			3,50					
Betrieb pro Tag [h/d]		0,50			1,00			1,50			1,50					
Energie pro Tag [kWh/d]		1,75			3,50			5,25			5,25					
Energie pro m³ [kWh/m³]		0,010			0,010			0,010			0,010					
<b>Stromkosten [€/m³]</b>		<b>0,0015</b>			<b>0,0015</b>			<b>0,0015</b>			<b>0,0015</b>					

Tabelle 21 (Fortsetzung): Kostenberechnung für 4 Varianten (Teil 2)

		VAR 1			VAR 2			VAR 3			VAR 4			
		Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	6,0	21,6	518,4	
		Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]			
		0,15			0,15			0,15			0,15			
Rückspülen - Kompressor	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]		
	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0		
Leistung [kW]	5,50			5,50			5,50			5,50				
Betrieb pro Tag [h/d]	0,30			0,30			0,30			1,00				
Energie pro Tag [kWh/d]	1,65			1,65			1,65			5,50				
Energie pro m³ [kWh/m³]	0,010			0,005			0,003			0,004				
<b>Stromkosten [€/m³]</b>	<b>0,0014</b>			<b>0,0007</b>			<b>0,0005</b>			<b>0,0006</b>				
UF-Anlage	Ausbeute UF-Anlage	95%	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
			2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	59.918			119.837			179.755			449.388				
Energie pro Tag [kWh/d]	16,42			32,83			49,25			123,12				
Energie pro m³ [kWh/m³]	0,10			0,10			0,10			0,10				
<b>Stromkosten [€/m³]</b>	<b>0,015</b>			<b>0,015</b>			<b>0,015</b>			<b>0,015</b>				
Investitionskosten UF-Anlage [€]	64.000			105.000			132.000			270.000				
Förderung [€]	0			0			0			0				
Investitionsbedarf [€]	64.000			105.000			132.000			270.000				
Zinssatz [%/a]	5%			5%			5%			5%				
Zinsen [€/a]	3.200,00			5.250,00			6.600,00			13.500,00				
Zinsen [€/m³]	0,053			0,044			0,037			0,030				
Abschreibung [a]	15			15			15			15				
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]	4.266,67			7.000,00			8.800,00			18.000,00				
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]	0,071			0,058			0,049			0,040				
Modulanzahl [Stk.]	3			5			8			8				
Modulpreis [€/Stk.]	2.500			2.500			2.500			2.500				
Modulstandzeit [a]	6			6			6			6				
Membranersatz [€/m³]	0,021			0,017			0,019			0,007				
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>	<b>0,145</b>			<b>0,120</b>			<b>0,104</b>			<b>0,078</b>				
UV-Anlage	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]		
	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0		
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	63.072			126.144			189.216			473.040				
Leistung [kW]	0,21			0,21			0,33			0,33				
Betrieb pro Tag [h/d]	24,00			24,00			24,00			24,00				
Energie pro Tag [kWh/d]	5,04			5,04			7,92			7,92				
Energie pro m³ [kWh/m³]	0,029			0,015			0,015			0,006				
<b>Stromkosten [€/m³]</b>	<b>0,004</b>			<b>0,002</b>			<b>0,002</b>			<b>0,001</b>				
Investitionskosten UV-Anlage [€]	30.000			30.000			40.000			60.000				
Förderung [€]	0			0			0			0				
Investitionsbedarf [€]	30.000			30.000			40.000			60.000				
Zinssatz [%/a]	5%			5%			5%			5%				
Zinsen [€/a]	1.500,00			1.500,00			2.000,00			3.000,00				
Zinsen [€/m³]	0,024			0,012			0,011			0,006				
Abschreibung [a]	15			15			15			15				
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]	2.000,00			2.000,00			2.666,67			4.000,00				
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]	0,032			0,016			0,014			0,008				
Ersatzstrahlerkosten pro Jahr [€/a]	500,00			500,00			500,00			500,00				
Ersatzstrahlerkosten pro m³ [€/m³]	0,008			0,004			0,003			0,001				
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>	<b>0,063</b>			<b>0,032</b>			<b>0,027</b>			<b>0,016</b>				

Tabelle 21 (Fortsetzung): Kostenberechnung für 4 Varianten (Teil 3)

Tabelle 21 (Fortsetzung): Kostenberechnung für 4 Varianten (Teil 4)

	VAR 1			VAR 2			VAR 3			VAR 4		
	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]
	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	6,0	21,6	518,4
	Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15		
<b>Pumpe zu HB</b>	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
	3,0	10,8	172,8	6,0	21,6	345,6	9,0	32,4	518,4	22,5	81,0	1296,0
Leistung [kW]	2,00			3,99			5,99			14,97		
Betrieb pro Tag [h/d]	16,00			16,00			16,00			16,00		
Energie pro Tag [kWh/d]	31,93			63,87			95,80			239,50		
Energie pro m³ [kWh/m³]	0,185			0,185			0,185			0,185		
<b>Stromkosten [€/m³]</b>	<b>0,028</b>			<b>0,028</b>			<b>0,028</b>			<b>0,028</b>		
<b>Personalkosten</b>	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
Jahreskosten [€/a]	45.000,00			45.000,00			45.000,00			45.000,00		
Jahresarbeitszeit [h/a]	1.620,00			1.620,00			1.620,00			1.620,00		
Kosten pro Stunde [€/h]	27,78			27,78			27,78			27,78		
Aufwand UF-Anlage [h/d]	0,50			0,50			0,50			0,50		
Kosten UF-Anlage [€/d]	13,89			13,89			13,89			13,89		
Aufwand Betrieb + Instandhaltung [h/d]	2,00			2,00			2,00			2,00		
Kosten Betrieb + Instandhaltung [€/d]	55,56			55,56			55,56			55,56		
<b>Betriebskosten [€/m³]</b>	<b>0,402</b>			<b>0,201</b>			<b>0,134</b>			<b>0,054</b>		
Summe Energie pro Tag [kWh/d]	122,27			189,86			260,32			596,41		
Summe Energie pro m³ [kWh/m³]	0,693			0,535			0,488			0,452		

Kostenzusammenstellung		VAR 1	VAR 2	VAR 3	VAR 4
Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]		2	4	6	15
Kosten je m³					
Stromkosten [€/m³]		0,107	0,083	0,076	0,071
Chemikalien: Eisen-(III)-Chlorid [€/m³]	BK	0,033	0,033	0,033	0,033
Personalkosten [€/m³]		0,402	0,201	0,134	0,054
Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht [€/m³]		0,036	0,024	0,020	0,014
Eisen-(III)-Chlorid-Tank [€/m³]		0,037	0,018	0,012	0,007
Konventionelle Filter [€/m³]	KK	0,214	0,119	0,091	0,079
UF-Anlage [€/m³]		0,145	0,120	0,104	0,078
UV-Anlage [€/m³]		0,063	0,032	0,027	0,016
<b>GESAMTSUMME [€/m³]</b>		<b>1,038</b>	<b>0,630</b>	<b>0,498</b>	<b>0,352</b>
Betriebskosten.....BK [€/m³]		0,542	0,317	0,243	0,158
Kapitalkosten.....KK [€/m³]		0,496	0,313	0,255	0,194
		52%	50%	49%	45%
		48%	50%	51%	55%

<b>Betriebskosten</b> (Strom + Personal + Eisen-(III)-Chlorid) [€]	53.845	59.695	65.703	94.211
<b>Investitionsbedarf</b> (ohne Förderung) [€]	324.000	395.000	472.000	950.000
<b>RIK = 50 % der IK</b> (UF + UV + Tank) [€]	57.000	77.500	96.000	180.000

## A 2 Kostenberechnung für Heidenreichstein (3 Varianten)

### A 2.1 Kostenberechnung ohne Förderung (tabellarisch)

Tabelle 22: Kostenberechnung ohne Förderung für 3 Varianten

angenommene Förderhöhe	0%	VAR 1			VAR 2			VAR 3			
		Q [l/s] 2,0	Q [m³/h] 7,2	Q [m³/d] 172,8	Q [l/s] 4,0	Q [m³/h] 14,4	Q [m³/d] 345,6	Q [l/s] 6,0	Q [m³/h] 21,6	Q [m³/d] 518,4	
		Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15			
<b>Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht</b>	0%	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 2,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 7,2	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 172,8	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 4,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 14,4	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 345,6	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 6,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 21,6	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 518,4	
		Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	63.072			126.144			189.216		
		Investitionskosten Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht [€]	30.000			40.000			50.000		
		Förderung [€]	0			0			0		
		Investitionsbedarf [€]	30.000			40.000			50.000		
		Zinssatz [%/a]	5%			5%			5%		
		Zinsen [€/a]	1.500			2.000			2.500		
		Zinsen [€/m³]	0,024			0,016			0,013		
		Abschreibung [a]	40			40			40		
		Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]	750			1.000			1.250		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]	0,012			0,008			0,007				
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>	<b>0,036</b>			<b>0,024</b>			<b>0,020</b>				
<b>Betriebsgebäude</b>	0%	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 2,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 7,2	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 172,8	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 4,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 14,4	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 345,6	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 6,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 21,6	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 518,4	
		Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	63.072			126.144			189.216		
		Investitionskosten Betriebsgebäude [€]	20.000			20.000			20.000		
		Förderung [€]	0			0			0		
		Investitionsbedarf [€]	20.000			20.000			20.000		
		Zinssatz [%/a]	5%			5%			5%		
		Zinsen [€/a]	1.000			1.000			1.000		
		Zinsen [€/m³]	0,016			0,008			0,005		
		Abschreibung [a]	40			40			40		
		Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]	500			500			500		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]	0,008			0,004			0,003				
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>	<b>0,024</b>			<b>0,012</b>			<b>0,008</b>				
<b>Betriebsgebäude - Heizung, Licht</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 2,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 7,2	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 172,8	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 4,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 14,4	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 345,6	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 6,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 21,6	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 518,4	
		Leistung [kW]	3,0			3,0			3,0		
		Betrieb pro Tag [h/d]	12,0			12,0			12,0		
		Energie pro Tag [kWh/d]	36,0			36,0			36,0		
		Energie pro m³ [kWh/m³]	0,208			0,104			0,069		
		<b>Stromkosten [€/m³]</b>	<b>0,031</b>			<b>0,016</b>			<b>0,010</b>		

Tabelle 22 (Fortsetzung): Kostenberechnung ohne Förderung für 3 Varianten (Teil 2)

		VAR 1			VAR 2			VAR 3		
		Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
		Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15		
<b>Brunnen 2 - Sanierung/Neubau</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 2,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 7,2	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 172,8	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 4,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 14,4	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 345,6	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 6,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 21,6	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 518,4
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]		63.072			126.144			189.216		
Investitionskosten Brunnen 2 [€]		15.000			15.000			30.000		
Förderung [€]	0%	0			0			0		
Investitionsbedarf [€]		15.000			15.000			30.000		
Zinssatz [%/a]		5%			5%			5%		
Zinsen [€/a]		750			750			1.500		
Zinsen [€/m³]		0,012			0,006			0,008		
Abschreibung [a]		40			40			40		
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		375			375			750		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]		0,006			0,003			0,004		
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>		<b>0,018</b>			<b>0,009</b>			<b>0,012</b>		
<b>Brunnen 2 - Pumpe</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 4,2	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 15,3	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 214,0	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 8,5	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 30,6	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 428,0	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 12,7	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 45,9	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 642,0
Ausbeute UF-Anlage	95%									
Ausbeute Sandfilter	85%									
Leistung [kW]		0,62			1,25			1,87		
Betrieb pro Tag [h/d]		14,0			14,0			14,0		
Energie pro Tag [kWh/d]		8,74			17,48			26,22		
Energie pro m³ [kWh/m³]		0,041			0,041			0,041		
<b>Stromkosten [€/m³ aufber. Wasser]</b>		<b>0,008</b>			<b>0,008</b>			<b>0,008</b>		
<b>Gebläse Riesler</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 2,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 7,2	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 172,8	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 4,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 14,4	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 345,6	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 6,0	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 21,6	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 518,4
Leistung [kW]		0,5			0,5			0,5		
Betrieb pro Tag [h/d]		24,0			24,0			24,0		
Energie pro Tag [kWh/d]		12,00			12,00			12,00		
Energie pro m³ [kWh/m³]		0,069			0,035			0,023		
<b>Stromkosten [€/m³]</b>		<b>0,010</b>			<b>0,005</b>			<b>0,003</b>		
<b>WW - Rohwasserpumpe</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 2,6	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 9,3	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 214,0	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 5,2	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 18,6	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 428,0	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s] 7,8	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h] 27,9	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d] 642,0
Ausbeute UF-Anlage	95%									
Ausbeute Sandfilter	85%									
Leistung [kW]		0,38			0,76			1,14		
Betrieb pro Tag [h/d]		23,0			23,0			23,0		
Energie pro Tag [kWh/d]		8,74			17,48			26,22		
Energie pro m³ [kWh/m³]		0,041			0,041			0,041		
<b>Stromkosten [€/m³ aufber. Wasser]</b>		<b>0,008</b>			<b>0,008</b>			<b>0,008</b>		

Tabelle 22 (Fortsetzung): Kostenberechnung ohne Förderung für 3 Varianten (Teil 3)

		VAR 1			VAR 2			VAR 3		
		Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
		Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15		
<b>Chemikalien: Eisen-(III)-Chlorid + Tank</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
	0%									
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]		63.072			126.144			189.216		
Investitionskosten Tank [€]		20.000			20.000			20.000		
Förderung [€]		0			0			0		
Investitionsbedarf [€]		20.000			20.000			20.000		
Zinssatz [%/a]		5%			5%			5%		
Zinsen [€/a]		1.000			1.000			1.000		
Zinsen [€/m³]		0,016			0,008			0,005		
Abschreibung Tank [a]		15			15			15		
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		1.333			1.333			1.333		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]		0,021			0,011			0,007		
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>		<b>0,037</b>			<b>0,018</b>			<b>0,012</b>		
Menge Eisen-(III)-Chlorid [l/t]		704,23			704,23			704,23		
Mengenpreis exkl. USt [€/t]		230			230			230		
Preis pro Liter [€/l]		0,33			0,33			0,33		
Dosierung [ml/h]		735			1.470			2.205		
Dosierung [l/d]		17,64			35,28			52,92		
Kosten pro Tag [€/d]		5,76			11,52			17,28		
Dosierung [l/m³]		0,102			0,102			0,102		
Kosten pro m³ [€/m³]		0,033			0,033			0,033		
<b>Betriebskosten [€/m³]</b>		<b>0,033</b>			<b>0,033</b>			<b>0,033</b>		
<b>Konventionelle Filter</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
	0%									
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]		63.072			126.144			189.216		
Investitionskosten Filter [€]		180.000			200.000			230.000		
Förderung [€]		0			0			0		
Investitionsbedarf [€]		180.000			200.000			230.000		
Zinssatz [%/a]		5%			5%			5%		
Zinsen [€/a]		9.000			10.000			11.500		
Zinsen [€/m³]		0,143			0,079			0,061		
Abschreibung [a]		40			40			40		
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		4.500			5.000			5.750		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]		0,071			0,040			0,030		
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>		<b>0,214</b>			<b>0,119</b>			<b>0,091</b>		

Tabelle 22 (Fortsetzung): Kostenberechnung ohne Förderung für 3 Varianten (Teil 4)

		VAR 1			VAR 2			VAR 3		
		Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
		Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]		
		0,15			0,15			0,15		
<b>Rückspülen - Pumpe</b>	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	25			25			25		
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	90			90			90		
	Leistung [kW]		3,5			3,5			3,5	
	Betrieb pro Tag [h/d]		0,5			1,0			1,5	
	Energie pro Tag [kWh/d]		1,75			3,50			5,25	
	Energie pro m³ [kWh/m³]		0,010			0,010			0,010	
	<b>Stromkosten [€/m³]</b>		<b>0,0015</b>		<b>0,0015</b>			<b>0,0015</b>		
<b>Rückspülen - Kompressor</b>	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	2,0			4,0			6,0		
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	7,2			14,4			21,6		
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	172,8			345,6			518,4		
	Leistung [kW]		5,5			5,5			5,5	
	Betrieb pro Tag [h/d]		0,3			0,3			0,3	
	Energie pro Tag [kWh/d]		1,65			1,65			1,65	
Energie pro m³ [kWh/m³]		0,010			0,005			0,003		
	<b>Stromkosten [€/m³]</b>		<b>0,0014</b>		<b>0,0007</b>			<b>0,0005</b>		
<b>UF-Anlage</b>	Ausbeute UF-Anlage	95%								
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]		59.918			119.837			179.755	
	Energie pro Tag [kWh/d]		16,42			32,83			49,25	
	Energie pro m³ [kWh/m³]		0,10			0,10			0,10	
		<b>Stromkosten [€/m³]</b>		<b>0,015</b>		<b>0,015</b>			<b>0,015</b>	
	Investitionskosten UF-Anlage [€]		64.000			105.000			132.000	
	Förderung [€]	0%	0			0			0	
	Investitionsbedarf [€]		64.000			105.000			132.000	
	Zinssatz [%/a]		5%			5%			5%	
	Zinsen [€/a]		3.200			5.250			6.600	
	Zinsen [€/m³]		0,053			0,044			0,037	
	Abschreibung [a]		15			15			15	
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		4.267			7.000			8.800		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]		0,071			0,058			0,049		
Modulanzahl [Stk.]		3			5			8		
Modulpreis [€/Stk.]		2.500			2.500			2.500		
Modulstandzeit [a]		6			6			6		
Membranersatz [€/m³]		0,021			0,017			0,019		
	<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>		<b>0,145</b>		<b>0,120</b>			<b>0,104</b>		

Tabelle 22 (Fortsetzung): Kostenberechnung ohne Förderung für 3 Varianten (Teil 5)

		VAR 1			VAR 2			VAR 3		
		Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
Strompreis [€/kWh]		0,15			Strompreis [€/kWh]			0,15		
Strompreis [€/kWh]		0,15			Strompreis [€/kWh]			0,15		
<b>UV-Anlage</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	63.072			126.144			189.216		
	Leistung [kW]	0,21			0,21			0,33		
	Betrieb pro Tag [h/d]	24,0			24,0			24,0		
	Energie pro Tag [kWh/d]	5,04			5,04			7,92		
	Energie pro m³ [kWh/m³]	0,029			0,015			0,015		
	<b>Stromkosten [€/m³]</b>	<b>0,004</b>			<b>0,002</b>			<b>0,002</b>		
	Investitionskosten UV-Anlage [€]	30.000			30.000			40.000		
	Förderung [€]	0			0			0		
	Investitionsbedarf [€]	30.000			30.000			40.000		
	Zinssatz [%/a]	5%			5%			5%		
	Zinsen [€/a]	1.500			1.500			2.000		
	Zinsen [€/m³]	0,024			0,012			0,011		
	Abschreibung [a]	15			15			15		
	Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]	2.000			2.000			2.667		
	Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]	0,032			0,016			0,014		
	Ersatzstrahlerkosten pro Jahr [€/a]	500			500			500		
	Ersatzstrahlerkosten pro m³ [€/m³]	0,008			0,004			0,003		
	<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>	<b>0,063</b>			<b>0,032</b>			<b>0,027</b>		
<b>Tiefbehälter (50 m³)</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	63.072			126.144			189.216		
	Investitionskosten Tiefbehälter [€]	150.000			150.000			150.000		
	Förderung [€]	0			0			0		
	Investitionsbedarf [€]	150.000			150.000			150.000		
	Zinssatz [%/a]	5%			5%			5%		
	Zinsen [€/a]	7.500			7.500			7.500		
	Zinsen [€/m³]	0,119			0,059			0,040		
	Abschreibung [a]	40			40			40		
	Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]	3.750			3.750			3.750		
	Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]	0,059			0,030			0,020		
	<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>	<b>0,178</b>			<b>0,089</b>			<b>0,059</b>		

Tabelle 22 (Fortsetzung): Kostenberechnung ohne Förderung für 3 Varianten (Teil 6)

		VAR 1			VAR 2			VAR 3		
		Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
		Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]		
		0,15			0,15			0,15		
<b>Pumpe zu HB</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		3,0	10,8	172,8	6,0	21,6	345,6	9,0	32,4	518,4
	Leistung [kW]	2,0			4,0			6,0		
	Betrieb pro Tag [h/d]	16,0			16,0			16,0		
	Energie pro Tag [kWh/d]	31,93			63,87			95,80		
	Energie pro m³ [kWh/m³]	0,185			0,185			0,185		
	<b>Stromkosten [€/m³]</b>	<b>0,028</b>			<b>0,028</b>			<b>0,028</b>		
<b>Fernwirktechnik</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	63.072			126.144			189.216		
	Investitionskosten Fernwirktechnik [€]	20.000			20.000			20.000		
	Förderung [€]	0			0			0		
	Investitionsbedarf [€]	20.000			20.000			20.000		
	Zinssatz [%/a]	5%			5%			5%		
	Zinsen [€/a]	1.000			1.000			1.000		
	Zinsen [€/m³]	0,016			0,008			0,005		
	Abschreibung [a]	15			15			15		
	Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]	1.333			1.333			1.333		
	Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]	0,021			0,011			0,007		
	<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>	<b>0,037</b>			<b>0,018</b>			<b>0,012</b>		
<b>Personalkosten</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
	Jahreskosten [€/a]	45.000			45.000			45.000		
	Jahresarbeitszeit [h/a]	1.620			1.620			1.620		
	Kosten pro Stunde [€/h]	27,78			27,78			27,78		
	Aufwand UF-Anlage [h/d]	0,5			0,5			0,5		
	Kosten UF-Anlage [€/d]	13,89			13,89			13,89		
	Aufwand Betrieb + Instandhaltung [h/d]	2,0			2,0			2,0		
	Kosten Betrieb + Instandhaltung [€/d]	55,56			55,56			55,56		
	<b>Betriebskosten [€/m³]</b>	<b>0,402</b>			<b>0,201</b>			<b>0,134</b>		
	Summe Energie pro Tag [kWh/d]	122,27			189,86			260,32		
	Summe Energie pro m³ [kWh/m³]	0,693			0,535			0,488		

Tabelle 22 (Fortsetzung): Kostenberechnung ohne Förderung für 3 Varianten (Teil 7)

Kostenzusammenstellung		VAR 1	VAR 2	VAR 3
$Q_{\text{Auslegung}} \text{ [l/s]}$		2	4	6
Kosten je m <sup>3</sup>				
Stromkosten [€/m <sup>3</sup> ]	BK	0,107	0,083	0,076
Chemikalien: Eisen-(III)-Chlorid [€/m <sup>3</sup> ]		0,033	0,033	0,033
Personalkosten [€/m <sup>3</sup> ]		0,402	0,201	0,134
Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht [€/m <sup>3</sup> ]	KK	0,036	0,024	0,020
Betriebsgebäude [€/m <sup>3</sup> ]		0,024	0,012	0,008
Brunnen 2 - Sanierung/Neubau [€/m <sup>3</sup> ]		0,018	0,009	0,012
Eisen-(III)-Chlorid-Tank [€/m <sup>3</sup> ]		0,037	0,018	0,012
Konventionelle Filter [€/m <sup>3</sup> ]		0,214	0,119	0,091
UF-Anlage [€/m <sup>3</sup> ]		0,145	0,120	0,104
UV-Anlage [€/m <sup>3</sup> ]		0,063	0,032	0,027
Tiefbehälter (50 m <sup>3</sup> ) [€/m <sup>3</sup> ]		0,178	0,089	0,059
Fernwirktechnik [€/m <sup>3</sup> ]		0,037	0,018	0,012
<b>GESAMTSUMME [€/m<sup>3</sup>]</b>			<b>1,295</b>	<b>0,758</b>
Betriebskosten.....BK [€/m <sup>3</sup> ]		0,542    42%	0,317    42%	0,243    41%
Kapitalkosten.....KK [€/m <sup>3</sup> ]		0,753    58%	0,441    58%	0,346    59%
<b>Betriebskosten</b> (Strom + Personal + Eisen-(III)-Chlorid) [€]		53.845	59.695	65.703
<b>Investitionsbedarf</b> (ohne Förderung) [€]		529.000	600.000	692.000
<b>RIK = 50 % der IK</b> (UF + UV + Tank + Fernwirktechnik) [€]		67.000	87.500	106.000

**A 2.1.1 Kostenbarwertberechnung ohne Förderung (tabellarisch)**

**Tabelle 23: Kostenbarwertberechnung ohne Förderung – Variante 1 (2 I/s)**

	kalk. Zinssatz	Jahre	Variante 1						Variante 0			Kapitalwert
			Barwert BK	Barwert Fremdbezug Restmenge	Summe Barwert BK	IB / RIK	Barwert IB / RIK	Summe Barwert IB / RIK	GK	Barwert 100 % Fremdbezug	Summe Barwert 100 % Fremdbezug	
			2%	2%		5%				2%		
<b>VARIANTE 1 (2 I/s)</b>		<b>Bezugsjahr 2009</b>	0	105.652 €	0,00 €	529.000 €	529.000 €	529.000 €	529.000 €	0,00 €	170.980 €	-514.388 €
		2010	1	52.789 €	103.580 €	156.369 €	0 €	529.000 €	685.369 €	170.980 €	170.980 €	-500.063 €
		2011	2	51.754 €	101.549 €	309.671 €	0 €	529.000 €	838.671 €	167.628 €	338.608 €	-486.019 €
		2012	3	50.739 €	99.558 €	459.968 €	0 €	529.000 €	988.968 €	164.341 €	502.949 €	-472.250 €
		2013	4	49.744 €	97.606 €	607.318 €	0 €	529.000 €	1.136.318 €	161.119 €	664.068 €	-458.751 €
Jährliche BK - 2009 [€/a]	53.845	2014	5	48.769 €	95.692 €	751.778 €	0 €	529.000 €	1.280.778 €	157.959 €	822.027 €	-445.517 €
		2015	6	47.812 €	93.816 €	893.406 €	0 €	529.000 €	1.422.406 €	154.862 €	976.890 €	-432.542 €
Investitionsbedarf [€]	529.000	2016	7	46.875 €	91.976 €	1.032.257 €	0 €	529.000 €	1.561.257 €	151.826 €	1.128.715 €	-419.822 €
		2017	8	45.956 €	90.173 €	1.168.386 €	0 €	529.000 €	1.697.386 €	148.849 €	1.277.564 €	-407.351 €
Reinvestitionskosten [€]	67.000	2018	9	45.055 €	88.404 €	1.301.845 €	0 €	529.000 €	1.830.845 €	145.930 €	1.423.494 €	-395.124 €
		2019	10	44.171 €	86.671 €	1.432.687 €	0 €	529.000 €	1.961.687 €	143.069 €	1.566.563 €	-383.138 €
Bedarf [m³/a]	160.000	2020	11	43.305 €	84.972 €	1.560.964 €	0 €	529.000 €	2.089.964 €	140.263 €	1.706.826 €	-371.386 €
		2021	12	42.456 €	83.306 €	1.686.726 €	0 €	529.000 €	2.215.726 €	137.513 €	1.844.340 €	-359.865 €
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	63.072	2022	13	41.624 €	81.672 €	1.810.021 €	0 €	529.000 €	2.339.021 €	134.817 €	1.979.156 €	-348.569 €
		2023	14	40.807 €	80.071 €	1.930.899 €	0 €	529.000 €	2.459.899 €	132.173 €	2.111.330 €	-369.724 €
Q <sub>Fremdbezug</sub> [m³/a]	96.928	2024	15	40.007 €	78.501 €	2.049.407 €	67.000 €	32.228 €	561.228 €	2.610.635 €	2.240.912 €	-358.867 €
		2025	16	39.223 €	76.961 €	2.165.591 €	0 €	561.228 €	2.726.820 €	2.492.502 €	2.367.953 €	-348.223 €
Kosten <sub>Fremdbezug</sub> [€/m³]	1,09	2026	17	38.454 €	75.452 €	2.279.498 €	0 €	561.228 €	2.840.726 €	2.295.398 €	2.492.502 €	-337.788 €
		2027	18	37.700 €	73.973 €	2.391.170 €	0 €	561.228 €	2.952.398 €	2.119.714 €	2.614.610 €	-327.558 €
Kosten <sub>Fremdbezug</sub> [€/a]	105.652	2028	19	36.961 €	72.522 €	2.500.653 €	0 €	561.228 €	3.061.881 €	2.008.964 €	2.734.324 €	-317.528 €
		2029	20	36.236 €	71.100 €	2.607.990 €	0 €	561.228 €	3.169.218 €	1.859.964 €	2.851.690 €	-307.695 €
100 % Fremdbezug [€/a]	174.400	2030	21	35.525 €	69.706 €	2.713.221 €	0 €	561.228 €	3.274.449 €	1.719.156 €	2.966.755 €	-298.054 €
		2031	22	34.829 €	68.340 €	2.816.390 €	0 €	561.228 €	3.377.618 €	1.584.340 €	3.079.564 €	-288.603 €
Amortisationsdauer	> 40	2032	23	34.146 €	67.000 €	2.917.535 €	0 €	561.228 €	3.478.763 €	1.459.826 €	3.190.160 €	-279.337 €
		2033	24	33.476 €	65.686 €	3.016.697 €	0 €	561.228 €	3.577.925 €	1.334.341 €	3.298.589 €	-270.252 €
BK.....Betriebskosten		2034	25	32.820 €	64.398 €	3.113.915 €	0 €	561.228 €	3.675.143 €	1.221.826 €	3.404.891 €	-261.346 €
IB.....Investitionsbedarf		2035	26	32.176 €	63.135 €	3.209.226 €	0 €	561.228 €	3.770.455 €	1.114.341 €	3.509.109 €	-252.614 €
RIK.....Reinvestitionskosten		2036	27	31.545 €	61.897 €	3.302.669 €	0 €	561.228 €	3.863.897 €	1.013.826 €	3.611.283 €	-244.054 €
GK.....Gesamtkosten		2037	28	30.927 €	60.684 €	3.394.280 €	0 €	561.228 €	3.955.508 €	919.341 €	3.711.454 €	-235.661 €
		2038	29	30.321 €	59.494 €	3.484.094 €	0 €	561.228 €	4.045.322 €	828.826 €	3.809.661 €	-242.936 €
ohne Förderung		2039	30	29.726 €	58.327 €	3.572.147 €	67.000 €	15.502 €	576.730 €	738.341 €	3.905.942 €	-234.869 €
		2040	31	29.143 €	57.183 €	3.658.474 €	0 €	576.730 €	4.235.204 €	653.826 €	4.000.335 €	-229.960 €
		2041	32	28.572 €	56.062 €	3.743.107 €	0 €	576.730 €	4.319.838 €	578.341 €	4.092.878 €	-219.207 €
		2042	33	28.011 €	54.963 €	3.826.082 €	0 €	576.730 €	4.402.812 €	508.826 €	4.183.605 €	-211.605 €
		2043	34	27.462 €	53.885 €	3.907.429 €	0 €	576.730 €	4.484.160 €	443.341 €	4.272.554 €	-204.153 €
		2044	35	26.924 €	52.829 €	3.987.182 €	0 €	576.730 €	4.563.912 €	383.826 €	4.359.759 €	-196.847 €
		2045	36	26.396 €	51.793 €	4.065.371 €	0 €	576.730 €	4.642.101 €	324.341 €	4.445.254 €	-189.684 €
		2046	37	25.878 €	50.777 €	4.142.026 €	0 €	576.730 €	4.718.757 €	264.826 €	4.529.073 €	-182.661 €
		2047	38	25.371 €	49.782 €	4.217.179 €	0 €	576.730 €	4.793.909 €	205.341 €	4.611.248 €	-175.776 €
		2048	39	24.873 €	48.806 €	4.290.858 €	0 €	576.730 €	4.867.588 €	145.826 €	4.691.811 €	-169.027 €
		2049	40	24.386 €	47.849 €	4.363.092 €	0 €	576.730 €	4.939.822 €	86.341 €	4.770.796 €	

		Jahre	Variante 2						Variante 0			Kapitalwert	
			Barwert BK	Barwert Fremdbezug Restmenge	Summe Barwert BK	IB / RIK	Barwert IB / RIK	Summe Barwert IB / RIK	GK	Barwert 100 % Fremdbezug	Summe Barwert 100 % Fremdbezug		
			kalk. Zinssatz	2%	2%	5%				2%			
			Bezugsjahr 2009	0			600.000 €	600.000 €	600.000 €	600.000 €	0,00 €		170.980 €
<b>VARIANTE 2 (4 I/s)</b>													
Jährliche BK - 2009 [€/a]	59.695	2010	1	58.524 €	36.179 €	94.704 €		0 €	600.000 €	694.704 €	170.980 €	170.980 €	-523.723 €
Investitionsbedarf [€]	600.000	2011	2	57.377 €	35.470 €	187.551 €		0 €	600.000 €	787.551 €	167.628 €	338.608 €	-448.942 €
Reinvestitionskosten [€]	87.500	2012	3	56.252 €	34.775 €	278.577 €		0 €	600.000 €	878.577 €	164.341 €	502.949 €	-375.628 €
Bedarf [m³/a]	160.000	2013	4	55.149 €	34.093 €	367.819 €		0 €	600.000 €	967.819 €	161.119 €	664.068 €	-303.751 €
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	126.144	2014	5	54.067 €	33.424 €	455.310 €		0 €	600.000 €	1.055.310 €	157.959 €	822.027 €	-233.283 €
Q <sub>Fremdbezug</sub> [m³/a]	33.856	2015	6	53.007 €	32.769 €	541.086 €		0 €	600.000 €	1.141.086 €	154.862 €	976.890 €	-164.197 €
Kosten <sub>Fremdbezug</sub> [€/m³]	1,09	2016	7	51.968 €	32.126 €	625.181 €		0 €	600.000 €	1.225.181 €	151.826 €	1.128.715 €	-96.465 €
Kosten <sub>Fremdbezug</sub> [€/a]	36.903	2017	8	50.949 €	31.496 €	707.626 €		0 €	600.000 €	1.307.626 €	148.849 €	1.277.564 €	-30.062 €
100 % Fremdbezug [€/a]	174.400	2018	9	49.950 €	30.879 €	788.455 €		0 €	600.000 €	1.388.455 €	145.930 €	1.423.494 €	35.039 €
Amortisationsdauer	8	2019	10	48.971 €	30.273 €	867.699 €		0 €	600.000 €	1.467.699 €	143.069 €	1.566.563 €	98.864 €
BK.....Betriebskosten		2020	11	48.010 €	29.680 €	945.389 €		0 €	600.000 €	1.545.389 €	140.263 €	1.706.826 €	161.437 €
IB.....Investitionsbedarf		2021	12	47.069 €	29.098 €	1.021.556 €		0 €	600.000 €	1.621.556 €	137.513 €	1.844.340 €	222.784 €
RIK.....Reinvestitionskosten		2022	13	46.146 €	28.527 €	1.096.229 €		0 €	600.000 €	1.696.229 €	134.817 €	1.979.156 €	282.927 €
GK.....Gesamtkosten		2023	14	45.241 €	27.968 €	1.169.438 €		0 €	600.000 €	1.769.438 €	132.173 €	2.111.330 €	341.892 €
ohne Förderung		2024	15	44.354 €	27.420 €	1.241.212 €	87.500 €	42.089 €	642.089 €	1.883.301 €	129.582 €	2.240.912 €	357.611 €
		2025	16	43.484 €	26.882 €	1.311.578 €		0 €	642.089 €	1.953.667 €	127.041 €	2.367.953 €	414.285 €
		2026	17	42.632 €	26.355 €	1.380.565 €		0 €	642.089 €	2.022.654 €	124.550 €	2.492.502 €	469.849 €
		2027	18	41.796 €	25.838 €	1.448.199 €		0 €	642.089 €	2.090.288 €	122.108 €	2.614.610 €	524.323 €
		2028	19	40.976 €	25.331 €	1.514.506 €		0 €	642.089 €	2.156.595 €	119.714 €	2.734.324 €	577.728 €
		2029	20	40.173 €	24.835 €	1.579.514 €		0 €	642.089 €	2.221.603 €	117.366 €	2.851.690 €	630.087 €
		2030	21	39.385 €	24.348 €	1.643.247 €		0 €	642.089 €	2.285.336 €	115.065 €	2.966.755 €	681.419 €
		2031	22	38.613 €	23.870 €	1.705.730 €		0 €	642.089 €	2.347.819 €	112.809 €	3.079.564 €	731.744 €
		2032	23	37.856 €	23.402 €	1.766.988 €		0 €	642.089 €	2.409.077 €	110.597 €	3.190.160 €	781.083 €
		2033	24	37.114 €	22.943 €	1.827.045 €		0 €	642.089 €	2.469.134 €	108.428 €	3.298.589 €	829.454 €
		2034	25	36.386 €	22.494 €	1.885.925 €		0 €	642.089 €	2.528.014 €	106.302 €	3.404.891 €	876.877 €
		2035	26	35.672 €	22.052 €	1.943.650 €		0 €	642.089 €	2.585.739 €	104.218 €	3.509.109 €	923.370 €
		2036	27	34.973 €	21.620 €	2.000.243 €		0 €	642.089 €	2.642.332 €	102.174 €	3.611.283 €	968.951 €
		2037	28	34.287 €	21.196 €	2.055.726 €		0 €	642.089 €	2.697.815 €	100.171 €	3.711.454 €	1.013.639 €
		2038	29	33.615 €	20.781 €	2.110.121 €		0 €	642.089 €	2.752.210 €	98.207 €	3.809.661 €	1.057.450 €
		2039	30	32.956 €	20.373 €	2.163.450 €	87.500 €	20.246 €	662.335 €	2.825.785 €	96.281 €	3.905.942 €	1.080.157 €
		2040	31	32.310 €	19.974 €	2.215.734 €		0 €	662.335 €	2.878.068 €	94.393 €	4.000.335 €	1.122.267 €
		2041	32	31.676 €	19.582 €	2.266.992 €		0 €	662.335 €	2.929.326 €	92.542 €	4.092.878 €	1.163.551 €
		2042	33	31.055 €	19.198 €	2.317.245 €		0 €	662.335 €	2.979.579 €	90.728 €	4.183.605 €	1.204.026 €
		2043	34	30.446 €	18.822 €	2.366.512 €		0 €	662.335 €	3.028.847 €	88.949 €	4.272.554 €	1.243.708 €
		2044	35	29.849 €	18.453 €	2.414.814 €		0 €	662.335 €	3.077.148 €	87.205 €	4.359.759 €	1.282.611 €
		2045	36	29.264 €	18.091 €	2.462.168 €		0 €	662.335 €	3.124.503 €	85.495 €	4.445.254 €	1.320.751 €
		2046	37	28.690 €	17.736 €	2.508.594 €		0 €	662.335 €	3.170.929 €	83.819 €	4.529.073 €	1.358.144 €
		2047	38	28.127 €	17.388 €	2.554.110 €		0 €	662.335 €	3.216.445 €	82.175 €	4.611.248 €	1.394.803 €
		2048	39	27.576 €	17.047 €	2.598.733 €		0 €	662.335 €	3.261.068 €	80.564 €	4.691.811 €	1.430.744 €
		2049	40	27.035 €	16.713 €	2.642.482 €		0 €	662.335 €	3.304.816 €	78.984 €	4.770.796 €	1.465.980 €

Tabelle 24: Kostenbarwertberechnung ohne Förderung – Variante 2 (4 I/s)

	kalk. Zinssatz	Jahre	Variante 3						Variante 0		Kapitalwert	
			Barwert BK	Barwert Verkauf Restmenge	Summe Barwert BK	IB / RIK	Barwert IB / RIK	Summe Barwert IB / RIK	GK	Barwert 100 % Fremdbezug		Summe Barwert 100 % Fremdbezug
			2%	2%		5%				2%		
<b>VARIANTE 3 (6 l/s)</b>		<b>Bezugsjahr 2009</b>	0	20.451 €	0,00 €	692.000 €	692.000 €	692.000 €	692.000 €	0,00 €		
		2010	1	64.415 €	20.050 €	44.364 €	0 €	692.000 €	736.364 €	170.980 €	170.980 €	-565.384 €
		2011	2	63.151 €	19.657 €	87.859 €	0 €	692.000 €	779.859 €	167.628 €	338.608 €	-441.251 €
		2012	3	61.913 €	19.272 €	130.500 €	0 €	692.000 €	822.500 €	164.341 €	502.949 €	-319.551 €
Jährliche BK - 2009 [€/a]	65.703	2013	4	60.699 €	18.894 €	172.306 €	0 €	692.000 €	864.306 €	161.119 €	664.068 €	-200.238 €
Investitionsbedarf [€]	692.000	2014	5	59.509 €	18.523 €	213.292 €	0 €	692.000 €	905.292 €	157.959 €	822.027 €	-83.264 €
Reinvestitionskosten [€]	106.000	2015	6	58.342 €	18.160 €	253.474 €	0 €	692.000 €	945.474 €	154.862 €	976.890 €	31.416 €
Bedarf [m³/a]	160.000	2016	7	57.198 €	17.804 €	292.868 €	0 €	692.000 €	984.868 €	151.826 €	1.128.715 €	143.847 €
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	189.216	2017	8	56.077 €	17.455 €	331.490 €	0 €	692.000 €	1.023.490 €	148.849 €	1.277.564 €	254.074 €
Q <sub>Verkauf</sub> [m³/a]	29.216	2018	9	54.977 €	17.113 €	369.354 €	0 €	692.000 €	1.061.354 €	145.930 €	1.423.494 €	362.140 €
Kosten <sub>Fremdbezug</sub> [€/m³]	1,09	2019	10	53.899 €	16.777 €	406.476 €	0 €	692.000 €	1.098.476 €	143.069 €	1.566.563 €	468.086 €
Tarif <sub>Verkauf</sub> [€/a]	0,70	2020	11	52.842 €	16.448 €	442.871 €	106.000 €	692.000 €	1.134.871 €	140.263 €	1.706.826 €	571.956 €
Kosten <sub>Fremdbezug</sub> [€/a]	0	2021	12	51.806 €	16.126 €	478.551 €	0 €	692.000 €	1.170.551 €	137.513 €	1.844.340 €	673.788 €
Einnahmen <sub>Verkauf</sub> [€/a]	20.451	2022	13	50.790 €	15.809 €	513.532 €	0 €	692.000 €	1.205.532 €	134.817 €	1.979.156 €	773.624 €
100 % Fremdbezug [€/a]	174.400	2023	14	49.795 €	15.499 €	547.827 €	0 €	692.000 €	1.239.827 €	132.173 €	2.111.330 €	871.502 €
Amortisationsdauer	5	2024	15	48.818 €	15.196 €	581.450 €	106.000 €	742.988 €	1.324.438 €	129.582 €	2.240.912 €	916.474 €
BK.....Betriebskosten		2025	16	47.861 €	14.898 €	614.413 €	0 €	742.988 €	1.357.401 €	127.041 €	2.367.953 €	1.010.551 €
IB.....Investitionsbedarf		2026	17	46.922 €	14.605 €	646.730 €	0 €	742.988 €	1.389.718 €	124.550 €	2.492.502 €	1.102.784 €
RIK.....Reinvestitionskosten		2027	18	46.002 €	14.319 €	678.414 €	0 €	742.988 €	1.421.401 €	122.108 €	2.614.610 €	1.193.209 €
GK.....Gesamtkosten		2028	19	45.100 €	14.038 €	709.476 €	0 €	742.988 €	1.452.464 €	119.714 €	2.734.324 €	1.281.860 €
ohne Förderung		2029	20	44.216 €	13.763 €	739.929 €	0 €	742.988 €	1.482.917 €	117.366 €	2.851.690 €	1.368.773 €
		2030	21	43.349 €	13.493 €	769.785 €	0 €	742.988 €	1.512.772 €	115.065 €	2.966.755 €	1.453.982 €
		2031	22	42.499 €	13.229 €	799.055 €	0 €	742.988 €	1.542.043 €	112.809 €	3.079.564 €	1.537.521 €
		2032	23	41.666 €	12.969 €	827.752 €	0 €	742.988 €	1.570.740 €	110.597 €	3.190.160 €	1.619.421 €
		2033	24	40.849 €	12.715 €	855.886 €	0 €	742.988 €	1.598.873 €	108.428 €	3.298.589 €	1.699.715 €
		2034	25	40.048 €	12.466 €	883.468 €	0 €	742.988 €	1.626.456 €	106.302 €	3.404.891 €	1.778.435 €
		2035	26	39.263 €	12.221 €	910.509 €	0 €	742.988 €	1.653.497 €	104.218 €	3.509.109 €	1.855.611 €
		2036	27	38.493 €	11.982 €	937.021 €	0 €	742.988 €	1.680.008 €	102.174 €	3.611.283 €	1.931.275 €
		2037	28	37.738 €	11.747 €	963.012 €	0 €	742.988 €	1.706.000 €	100.171 €	3.711.454 €	2.005.454 €
		2038	29	36.998 €	11.516 €	988.494 €	0 €	742.988 €	1.731.481 €	98.207 €	3.809.661 €	2.078.179 €
		2039	30	36.273 €	11.291 €	1.013.476 €	106.000 €	767.514 €	1.780.990 €	96.281 €	3.905.942 €	2.124.952 €
		2040	31	35.561 €	11.069 €	1.037.968 €	0 €	767.514 €	1.805.482 €	94.393 €	4.000.335 €	2.194.853 €
		2041	32	34.864 €	10.852 €	1.061.980 €	0 €	767.514 €	1.829.494 €	92.542 €	4.092.878 €	2.263.384 €
		2042	33	34.180 €	10.639 €	1.085.521 €	0 €	767.514 €	1.853.035 €	90.728 €	4.183.605 €	2.330.570 €
		2043	34	33.510 €	10.431 €	1.108.601 €	0 €	767.514 €	1.876.115 €	88.949 €	4.272.554 €	2.396.440 €
		2044	35	32.853 €	10.226 €	1.131.228 €	0 €	767.514 €	1.898.742 €	87.205 €	4.359.759 €	2.461.017 €
		2045	36	32.209 €	10.026 €	1.153.411 €	0 €	767.514 €	1.920.925 €	85.495 €	4.445.254 €	2.524.329 €
		2046	37	31.577 €	9.829 €	1.175.160 €	0 €	767.514 €	1.942.674 €	83.819 €	4.529.073 €	2.586.399 €
		2047	38	30.958 €	9.636 €	1.196.482 €	0 €	767.514 €	1.963.996 €	82.175 €	4.611.248 €	2.647.252 €
		2048	39	30.351 €	9.447 €	1.217.386 €	0 €	767.514 €	1.984.899 €	80.564 €	4.691.811 €	2.706.912 €
		2049	40	29.756 €	9.262 €	1.237.880 €	0 €	767.514 €	2.005.393 €	78.984 €	4.770.796 €	2.765.402 €

Tabelle 25: Kostenbarwertberechnung ohne Förderung – Variante 3 (6 l/s)

## A.2.2 Kostenberechnung mit Förderung (tabellarisch)

Tabelle 26: Kostenberechnung mit Förderung für 3 Varianten

angenommene Förderhöhe	40%	VAR 1			VAR 2			VAR 3		
		Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
		Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]		
		0,15			0,15			0,15		
<b>Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
	40%	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]			Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]			Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]		
		63.072			126.144			189.216		
Investitionskosten Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht [€]		30.000			40.000			50.000		
Förderung [€]		12.000			16.000			20.000		
Investitionsbedarf [€]		18.000			24.000			30.000		
Zinssatz [%/a]		5%			5%			5%		
Zinsen [€/a]		900			1.200			1.500		
Zinsen [€/m³]		0,014			0,010			0,008		
Abschreibung [a]		40			40			40		
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		450			600			750		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]		0,007			0,005			0,004		
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>		<b>0,021</b>			<b>0,014</b>			<b>0,012</b>		
<b>Betriebsgebäude</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
	40%	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]			Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]			Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]		
		63.072			126.144			189.216		
Investitionskosten Betriebsgebäude [€]		20.000			20.000			20.000		
Förderung [€]		8.000			8.000			8.000		
Investitionsbedarf [€]		12.000			12.000			12.000		
Zinssatz [%/a]		5%			5%			5%		
Zinsen [€/a]		600			600			600		
Zinsen [€/m³]		0,010			0,005			0,003		
Abschreibung [a]		40			40			40		
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		300			300			300		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]		0,005			0,002			0,002		
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>		<b>0,014</b>			<b>0,007</b>			<b>0,005</b>		
<b>Betriebsgebäude - Heizung, Licht</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
Leistung [kW]		3,0			3,0			3,0		
Betrieb pro Tag [h/d]		12,0			12,0			12,0		
Energie pro Tag [kWh/d]		36,0			36,0			36,0		
Energie pro m³ [kWh/m³]		0,208			0,104			0,069		
<b>Stromkosten [€/m³]</b>		<b>0,031</b>			<b>0,016</b>			<b>0,010</b>		

		VAR 1			VAR 2			VAR 3			
		Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	
		Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15			
<b>Brunnen 2 - Sanierung/Neubau</b>	40%	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
		Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	63.072			126.144			189.216		
		Investitionskosten Brunnen 2 [€]	15.000			15.000			30.000		
		Förderung [€]	6.000			6.000			12.000		
		Investitionsbedarf [€]	9.000			9.000			18.000		
		Zinssatz [%/a]	5%			5%			5%		
		Zinsen [€/a]	450			450			900		
		Zinsen [€/m³]	0,007			0,004			0,005		
		Abschreibung [a]	40			40			40		
		Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]	225			225			450		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]	0,004			0,002			0,002				
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>		0,011			0,005			0,007			
<b>Brunnen 2 - Pumpe</b>	95% 85%	Ausbeute UF-Anlage	4,2	15,3	214,0	8,5	30,6	428,0	12,7	45,9	642,0
		Ausbeute Sandfilter									
		Leistung [kW]	0,62			1,25			1,87		
		Betrieb pro Tag [h/d]	14,0			14,0			14,0		
		Energie pro Tag [kWh/d]	8,74			17,48			26,22		
		Energie pro m³ [kWh/m³]	0,041			0,041			0,041		
		<b>Stromkosten [€/m³ aufber. Wasser]</b>	0,008			0,008			0,008		
<b>Gebläse Riesler</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
		Leistung [kW]	0,5			0,5			0,5		
		Betrieb pro Tag [h/d]	24,0			24,0			24,0		
		Energie pro Tag [kWh/d]	12,00			12,00			12,00		
		Energie pro m³ [kWh/m³]	0,069			0,035			0,023		
		<b>Stromkosten [€/m³]</b>	0,010			0,005			0,003		
		<b>WW - Rohwasserpumpe</b>	95% 85%	Ausbeute UF-Anlage	2,6	9,3	214,0	5,2	18,6	428,0	7,8
Ausbeute Sandfilter											
Leistung [kW]	0,38			0,76			1,14				
Betrieb pro Tag [h/d]	23,0			23,0			23,0				
Energie pro Tag [kWh/d]	8,74			17,48			26,22				
Energie pro m³ [kWh/m³]	0,041			0,041			0,041				
<b>Stromkosten [€/m³ aufber. Wasser]</b>	0,008			0,008			0,008				

Tabelle 26 (Fortsetzung) : Kostenberechnung mit Förderung für 3 Varianten (Teil 2)

		VAR 1			VAR 2			VAR 3		
		Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
		Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]		
		0,15			0,15			0,15		
Eisen-(III)-Chlorid + Tank	40%	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]		63.072			126.144			189.216		
Investitionskosten Tank [€]		20.000			20.000			20.000		
Förderung [€]		8.000			8.000			8.000		
Investitionsbedarf [€]		12.000			12.000			12.000		
Zinssatz [%/a]		5%			5%			5%		
Zinsen [€/a]		600			600			600		
Zinsen [€/m³]		0,010			0,005			0,003		
Abschreibung Tank [a]		15			15			15		
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		800			800			800		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]		0,013			0,006			0,004		
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>		<b>0,022</b>			<b>0,011</b>			<b>0,007</b>		
Menge Eisen-(III)-Chlorid [l/t]		704,23			704,23			704,23		
Mengenpreis exkl. USt [€/t]		230			230			230		
Preis pro Liter [€/l]		0,33			0,33			0,33		
Dosierung [ml/h]		735			1.470			2.205		
Dosierung [l/d]		17,64			35,28			52,92		
Kosten pro Tag [€/d]		5,76			11,52			17,28		
Dosierung [l/m³]		0,102			0,102			0,102		
Kosten pro m³ [€/m³]		0,033			0,033			0,033		
<b>Betriebskosten [€/m³]</b>		<b>0,033</b>			<b>0,033</b>			<b>0,033</b>		
<b>Konventionelle Filter</b>		Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]		63.072			126.144			189.216		
Investitionskosten Filter [€]		180.000			200.000			230.000		
Förderung [€]		72.000			80.000			92.000		
Investitionsbedarf [€]		108.000			120.000			138.000		
Zinssatz [%/a]		5%			5%			5%		
Zinsen [€/a]		5.400			6.000			6.900		
Zinsen [€/m³]		0,086			0,0476			0,036		
Abschreibung [a]		40			40			40		
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		2.700			3.000			3.450		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]		0,043			0,0238			0,018		
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>		<b>0,128</b>			<b>0,071</b>			<b>0,055</b>		

Tabelle 26 (Fortsetzung) : Kostenberechnung mit Förderung für 3 Varianten (Teil 3)

		VAR 1			VAR 2			VAR 3			
		Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	
		Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]			
		0,15			0,15			0,15			
<b>Rückspülen - Pumpe</b>	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	25			25			25			
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	90			90			90			
	Leistung [kW]	3,5			3,5			3,5			
	Betrieb pro Tag [h/d]	0,5			1,0			1,5			
	Energie pro Tag [kWh/d]	1,75			3,50			5,25			
	Energie pro m³ [kWh/m³]	0,010			0,010			0,010			
<b>Stromkosten [€/m³]</b>		<b>0,0015</b>			<b>0,0015</b>			<b>0,0015</b>			
<b>Rückspülen - Kompressor</b>	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	2,0			4,0			6,0			
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	7,2			14,4			21,6			
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	172,8			345,6			518,4			
	Leistung [kW]	5,5			5,5			5,5			
	Betrieb pro Tag [h/d]	0,3			0,3			0,3			
	Energie pro Tag [kWh/d]	1,65			1,65			1,65			
Energie pro m³ [kWh/m³]	0,010			0,005			0,003				
<b>Stromkosten [€/m³]</b>		<b>0,0014</b>			<b>0,0007</b>			<b>0,0005</b>			
<b>UF-Anlage</b>	Ausbeute UF-Anlage	95%									
	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	2,0			4,0			6,0			
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	7,2			14,4			21,6			
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	172,8			345,6			518,4			
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	59.918			119.837			179.755			
	Energie pro Tag [kWh/d]	16,42			32,83			49,25			
	Energie pro m³ [kWh/m³]	0,10			0,10			0,10			
	<b>Stromkosten [€/m³]</b>		<b>0,015</b>			<b>0,015</b>			<b>0,015</b>		
	Investitionskosten UF-Anlage [€]	40%	64.000			105.000			132.000		
	Förderung [€]		25.600			42.000			52.800		
Investitionsbedarf [€]		38.400			63.000			79.200			
Zinssatz [%/a]		5%			5%			5%			
Zinsen [€/a]		1.920			3.150			3.960			
Zinsen [€/m³]		0,032			0,026			0,022			
Abschreibung [a]		15			15			15			
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		2.560			4.200			5.280			
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]		0,043			0,035			0,029			
Modulanzahl [Stk.]		3			5			8			
Modulpreis [€/Stk.]		2.500			2.500			2.500			
Modulstandzeit [a]		6			6			6			
Membranersatz [€/m³]		0,021			0,017			0,019			
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>		<b>0,096</b>			<b>0,079</b>			<b>0,070</b>			

Tabelle 26 (Fortsetzung) : Kostenberechnung mit Förderung für 3 Varianten (Teil 4)

		VAR 1			VAR 2			VAR 3		
		Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]
		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
		Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15		
<b>UV-Anlage</b>	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	63.072			126.144			189.216		
	Leistung [kW]	0,21			0,21			0,33		
	Betrieb pro Tag [h/d]	24,0			24,0			24,0		
	Energie pro Tag [kWh/d]	5,04			5,04			7,92		
	Energie pro m³ [kWh/m³]	0,029			0,015			0,015		
	<b>Stromkosten [€/m³]</b>	<b>0,004</b>			<b>0,002</b>			<b>0,002</b>		
	Investitionskosten UV-Anlage [€]	30.000			30.000			40.000		
	Förderung [€]	12.000			12.000			16.000		
	Investitionsbedarf [€]	18.000			18.000			24.000		
	Zinssatz [%/a]	5%			5%			5%		
	Zinsen [€/a]	900			900			1.200		
	Zinsen [€/m³]	0,014			0,007			0,006		
	Abschreibung [a]	15			15			15		
	Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]	1.200			1.200			1.600		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]	0,019			0,010			0,008			
Ersatzstrahlerkosten pro Jahr [€/a]	500			500			500			
Ersatzstrahlerkosten pro m³ [€/m³]	0,008			0,004			0,003			
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>	<b>0,041</b>			<b>0,021</b>			<b>0,017</b>			
<b>Tiefbehälter (50 m³)</b>	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	63.072			126.144			189.216		
	Investitionskosten Tiefbehälter [€]	150.000			150.000			150.000		
	Förderung [€]	60.000			60.000			60.000		
	Investitionsbedarf [€]	90.000			90.000			90.000		
	Zinssatz [%/a]	5%			5%			5%		
	Zinsen [€/a]	4.500			4.500			4.500		
	Zinsen [€/m³]	0,071			0,036			0,024		
	Abschreibung [a]	40			40			40		
	Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]	2.250			2.250			2.250		
	Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]	0,036			0,018			0,012		
	<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>	<b>0,107</b>			<b>0,054</b>			<b>0,036</b>		

Tabelle 26 (Fortsetzung) : Kostenberechnung mit Förderung für 3 Varianten (Teil 5)

Tabelle 26 (Fortsetzung) : Kostenberechnung mit Förderung für 3 Varianten (Teil 6)

	VAR 1			VAR 2			VAR 3		
	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]
	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
	Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15			Strompreis [€/kWh] 0,15		
<b>Pumpe zu HB</b>	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
	3,0	10,8	172,8	6,0	21,6	345,6	9,0	32,4	518,4
Leistung [kW]	2,0			4,0			6,0		
Betrieb pro Tag [h/d]	16,0			16,0			16,0		
Energie pro Tag [kWh/d]	31,93			63,87			95,80		
Energie pro m³ [kWh/m³]	0,185			0,185			0,185		
<b>Stromkosten [€/m³]</b>	<b>0,028</b>			<b>0,028</b>			<b>0,028</b>		
<b>Fernwirktechnik</b>	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	63.072			126.144			189.216		
Investitionskosten Fernwirktechnik [€]	20.000			20.000			20.000		
Förderung [€] 40%	8.000			8.000			8.000		
Investitionsbedarf [€]	12.000			12.000			12.000		
Zinssatz [%/a]	5%			5%			5%		
Zinsen [€/a]	600			600			600		
Zinsen [€/m³]	0,010			0,005			0,003		
Abschreibung [a]	15			15			15		
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]	800			800			800		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]	0,013			0,006			0,004		
<b>Kapitalkosten [€/m³]</b>	<b>0,022</b>			<b>0,011</b>			<b>0,007</b>		
<b>Personalkosten</b>	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]	Q <sub>Auslegung</sub> [l/s]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/h]	Q <sub>Auslegung</sub> [m³/d]
	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4
Jahreskosten [€/a]	45.000			45.000			45.000		
Jahresarbeitszeit [h/a]	1.620			1.620			1.620		
Kosten pro Stunde [€/h]	27,78			27,78			27,78		
Aufwand UF-Anlage [h/d]	0,5			0,5			0,5		
Kosten UF-Anlage [€/d]	13,89			13,89			13,89		
Aufwand Betrieb + Instandhaltung [h/d]	2,0			2,0			2,0		
Kosten Betrieb + Instandhaltung [€/d]	55,56			55,56			55,56		
<b>Betriebskosten [€/m³]</b>	<b>0,402</b>			<b>0,201</b>			<b>0,134</b>		
Summe Energie pro Tag [kWh/d]	122,27			189,86			260,32		
Summe Energie pro m³ [kWh/m³]	0,693			0,535			0,488		

Tabelle 26 (Fortsetzung) : Kostenberechnung mit Förderung für 3 Varianten (Teil 7)

Kostenzusammenstellung		VAR 1		VAR 2		VAR 3	
<b>Q<sub>Auslegung</sub> [l/s]</b>		<b>2</b>		<b>4</b>		<b>6</b>	
<b>Kosten je m<sup>3</sup></b>							
Stromkosten [€/m <sup>3</sup> ]	BK	0,107		0,083		0,076	
Chemikalien: Eisen-(III)-Chlorid [€/m <sup>3</sup> ]		0,033		0,033		0,033	
Personalkosten [€/m <sup>3</sup> ]		0,402		0,201		0,134	
Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht [€/m <sup>3</sup> ]	KK	0,021		0,014		0,012	
Betriebsgebäude [€/m <sup>3</sup> ]		0,014		0,007		0,005	
Brunnen 2 - Sanierung/Neubau [€/m <sup>3</sup> ]		0,011		0,005		0,007	
Eisen-(III)-Chlorid-Tank [€/m <sup>3</sup> ]		0,022		0,011		0,007	
Konventionelle Filter [€/m <sup>3</sup> ]		0,128		0,071		0,055	
UF-Anlage [€/m <sup>3</sup> ]		0,096		0,079		0,070	
UV-Anlage [€/m <sup>3</sup> ]		0,041		0,021		0,017	
Tiefbehälter (50 m <sup>3</sup> ) [€/m <sup>3</sup> ]		0,107		0,054		0,036	
Fernwirktechnik [€/m <sup>3</sup> ]		0,022		0,011		0,007	
<b>GESAMTSUMME [€/m<sup>3</sup>]</b>			<b>1,005</b>		<b>0,591</b>		<b>0,460</b>
Betriebskosten.....BK [€/m <sup>3</sup> ]		0,542	54%	0,317	54%	0,243	53%
Kapitalkosten.....KK [€/m <sup>3</sup> ]		0,463	46%	0,273	46%	0,216	47%
<b>Betriebskosten</b> (Strom + Personal + Eisen-(III)-Chlorid) [€]		53.845		59.695		65.703	
<b>Investitionsbedarf</b> (abzüglich Förderung) [€]		317.400		360.000		415.200	
<b>RIK = 50 % der IK</b> (UF + UV + Tank + Fernwirktechnik) [€]		67.000		87.500		106.000	

### A 2.2.1 Kostenbarwertberechnung mit Förderung (tabellarisch)

Tabelle 27 : Kostenbarwertberechnung mit Förderung – Variante 1 (2 I/s)

		Jahre	Variante 1						Variante 0		Kapitalwert		
			Barwert BK	Barwert Fremdbezug Restmenge	Summe Barwert BK	IB / RIK	Barwert IB / RIK	Summe Barwert IB / RIK	GK	Barwert 100 % Fremdbezug		Summe Barwert 100 % Fremdbezug	
			kalk. Zinssatz	2%	2%	5%				2%			
<b>VARIANTE 1 (2 I/s)</b>		<b>Bezugsjahr 2009</b>	0	105.652 €	0,00 €	317.400 €	317.400 €	317.400 €	317.400 €	0,00 €	170.980 €	-302.788 €	
		2010	1	52.789 €	103.580 €	156.369 €	0 €	317.400 €	473.769 €	170.980 €	170.980 €	-302.788 €	
		2011	2	51.754 €	101.549 €	309.671 €	0 €	317.400 €	627.071 €	167.628 €	338.608 €	-288.463 €	
		2012	3	50.739 €	99.558 €	459.968 €	0 €	317.400 €	777.368 €	164.341 €	502.949 €	-274.419 €	
Jährliche BK - 2009 [€/a]	53.845	2013	4	49.744 €	97.606 €	607.318 €	0 €	317.400 €	924.718 €	161.119 €	664.068 €	-260.650 €	
		2014	5	48.769 €	95.692 €	751.778 €	0 €	317.400 €	1.069.178 €	157.959 €	822.027 €	-247.151 €	
Investitionsbedarf [€]	317.400	2015	6	47.812 €	93.816 €	893.406 €	0 €	317.400 €	1.210.806 €	154.862 €	976.890 €	-233.917 €	
		2016	7	46.875 €	91.976 €	1.032.257 €	0 €	317.400 €	1.349.657 €	151.826 €	1.128.715 €	-220.942 €	
Reinvestitionskosten [€]	67.000	2017	8	45.956 €	90.173 €	1.168.386 €	0 €	317.400 €	1.485.786 €	148.849 €	1.277.564 €	-208.222 €	
		2018	9	45.055 €	88.404 €	1.301.845 €	0 €	317.400 €	1.619.245 €	145.930 €	1.423.494 €	-195.751 €	
Bedarf [m³/a]	160.000	2019	10	44.171 €	86.671 €	1.432.687 €	0 €	317.400 €	1.750.087 €	143.069 €	1.566.563 €	-183.524 €	
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	63.072	2020	11	43.305 €	84.972 €	1.560.964 €	0 €	317.400 €	1.878.364 €	140.263 €	1.706.826 €	-171.538 €	
		2021	12	42.456 €	83.306 €	1.686.726 €	0 €	317.400 €	2.004.126 €	137.513 €	1.844.340 €	-159.786 €	
Q <sub>Fremdbezug</sub> [m³/a]	96.928	2022	13	41.624 €	81.672 €	1.810.021 €	0 €	317.400 €	2.127.421 €	134.817 €	1.979.156 €	-148.265 €	
		2023	14	40.807 €	80.071 €	1.930.899 €	0 €	317.400 €	2.248.299 €	132.173 €	2.111.330 €	-136.969 €	
Kosten <sub>Fremdbezug</sub> [€/m³]	1,09	2024	15	40.007 €	78.501 €	2.049.407 €	67.000 €	32.228 €	349.628 €	2.399.035 €	2.240.912 €	-158.124 €	
		2025	16	39.223 €	76.961 €	2.165.591 €	0 €	0 €	349.628 €	2.515.220 €	127.041 €	2.367.953 €	-147.267 €
Kosten <sub>Fremdbezug</sub> [€/a]	105.652	2026	17	38.454 €	75.452 €	2.279.498 €	0 €	0 €	349.628 €	2.629.126 €	124.550 €	2.492.502 €	-136.623 €
		2027	18	37.700 €	73.973 €	2.391.170 €	0 €	0 €	349.628 €	2.740.798 €	122.108 €	2.614.610 €	-126.188 €
100 % Fremdbezug [€/a]	174.400	2028	19	36.961 €	72.522 €	2.500.653 €	0 €	0 €	349.628 €	2.850.281 €	119.714 €	2.734.324 €	-115.958 €
		2029	20	36.236 €	71.100 €	2.607.990 €	0 €	0 €	349.628 €	2.957.618 €	117.366 €	2.851.690 €	-105.928 €
Amortisationsdauer	34	2030	21	35.525 €	69.706 €	2.713.221 €	0 €	0 €	349.628 €	3.062.849 €	115.065 €	2.966.755 €	-96.095 €
		2031	22	34.829 €	68.340 €	2.816.390 €	0 €	0 €	349.628 €	3.166.018 €	112.809 €	3.079.564 €	-86.454 €
BK.....Betriebskosten		2032	23	34.146 €	67.000 €	2.917.535 €	0 €	0 €	349.628 €	3.267.163 €	110.597 €	3.190.160 €	-77.003 €
IB.....Investitionsbedarf		2033	24	33.476 €	65.686 €	3.016.697 €	0 €	0 €	349.628 €	3.366.325 €	108.428 €	3.298.589 €	-67.737 €
RIK.....Reinvestitionskosten		2034	25	32.820 €	64.398 €	3.113.915 €	0 €	0 €	349.628 €	3.463.543 €	106.302 €	3.404.891 €	-58.652 €
GK.....Gesamtkosten		2035	26	32.176 €	63.135 €	3.209.226 €	0 €	0 €	349.628 €	3.558.855 €	104.218 €	3.509.109 €	-49.746 €
mit Förderung		2036	27	31.545 €	61.897 €	3.302.669 €	0 €	0 €	349.628 €	3.652.297 €	102.174 €	3.611.283 €	-41.014 €
		2037	28	30.927 €	60.684 €	3.394.280 €	0 €	0 €	349.628 €	3.743.908 €	100.171 €	3.711.454 €	-32.454 €
		2038	29	30.321 €	59.494 €	3.484.094 €	0 €	0 €	349.628 €	3.833.722 €	98.207 €	3.809.661 €	-24.061 €
		2039	30	29.726 €	58.327 €	3.572.147 €	67.000 €	15.502 €	365.130 €	3.937.277 €	96.281 €	3.905.942 €	-31.336 €
		2040	31	29.143 €	57.183 €	3.658.474 €	0 €	0 €	365.130 €	4.023.604 €	94.393 €	4.000.335 €	-23.269 €
		2041	32	28.572 €	56.062 €	3.743.107 €	0 €	0 €	365.130 €	4.108.238 €	92.542 €	4.092.878 €	-15.360 €
		2042	33	28.011 €	54.963 €	3.826.082 €	0 €	0 €	365.130 €	4.191.212 €	90.728 €	4.183.605 €	-7.607 €
		2043	34	27.462 €	53.885 €	3.907.429 €	0 €	0 €	365.130 €	4.272.560 €	88.949 €	4.272.554 €	-5 €
		2044	35	26.924 €	52.829 €	3.987.182 €	0 €	0 €	365.130 €	4.352.312 €	87.205 €	4.359.759 €	7.447 €
		2045	36	26.396 €	51.793 €	4.065.371 €	0 €	0 €	365.130 €	4.430.501 €	85.495 €	4.445.254 €	14.753 €
		2046	37	25.878 €	50.777 €	4.142.026 €	0 €	0 €	365.130 €	4.507.157 €	83.819 €	4.529.073 €	21.916 €
		2047	38	25.371 €	49.782 €	4.217.179 €	0 €	0 €	365.130 €	4.582.309 €	82.175 €	4.611.248 €	28.939 €
		2048	39	24.873 €	48.806 €	4.290.858 €	0 €	0 €	365.130 €	4.655.988 €	80.564 €	4.691.811 €	35.824 €
		2049	40	24.386 €	47.849 €	4.363.092 €	0 €	0 €	365.130 €	4.728.222 €	78.984 €	4.770.796 €	42.573 €

		Jahre	Variante 2						Variante 0			Kapitalwert
			Barwert BK	Barwert Fremdbezug Restmenge	Summe Barwert BK	IB / RIK	Barwert IB / RIK	Summe Barwert IB / RIK	GK	Barwert 100 % Fremdbezug	Summe Barwert 100 % Fremdbezug	
			kalk. Zinssatz	2%	2%	5%				2%		
<b>VARIANTE 2 (4 l/s)</b>		<b>Bezugsjahr 2009</b>	0	36.903 €	0,00 €	360.000 €	360.000 €	360.000 €	360.000 €	0,00 €		
		2010	1	58.524 €	36.179 €	94.704 €	0 €	360.000 €	454.704 €	170.980 €	170.980 €	-283.723 €
		2011	2	57.377 €	35.470 €	187.551 €	0 €	360.000 €	547.551 €	167.628 €	338.608 €	-208.942 €
		2012	3	56.252 €	34.775 €	278.577 €	0 €	360.000 €	638.577 €	164.341 €	502.949 €	-135.628 €
		2013	4	55.149 €	34.093 €	367.819 €	0 €	360.000 €	727.819 €	161.119 €	664.068 €	-63.751 €
Jährliche BK - 2009 [€/a]	59.695	2014	5	54.067 €	33.424 €	455.310 €	0 €	360.000 €	815.310 €	157.959 €	822.027 €	6.717 €
Investitionsbedarf [€]	360.000	2015	6	53.007 €	32.769 €	541.086 €	0 €	360.000 €	901.086 €	154.862 €	976.890 €	75.803 €
Reinvestitionskosten [€]	87.500	2016	7	51.968 €	32.126 €	625.181 €	0 €	360.000 €	985.181 €	151.826 €	1.128.715 €	143.535 €
Bedarf [m³/a]	160.000	2017	8	50.949 €	31.496 €	707.626 €	0 €	360.000 €	1.067.626 €	148.849 €	1.277.564 €	209.938 €
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	126.144	2018	9	49.950 €	30.879 €	788.455 €	0 €	360.000 €	1.148.455 €	145.930 €	1.423.494 €	275.039 €
Q <sub>Fremdbezug</sub> [m³/a]	33.856	2019	10	48.971 €	30.273 €	867.699 €	0 €	360.000 €	1.227.699 €	143.069 €	1.566.563 €	338.864 €
Kosten <sub>Fremdbezug</sub> [€/m³]	1,09	2020	11	48.010 €	29.680 €	945.389 €	0 €	360.000 €	1.305.389 €	140.263 €	1.706.826 €	401.437 €
Kosten <sub>Fremdbezug</sub> [€/a]	36.903	2021	12	47.069 €	29.098 €	1.021.556 €	0 €	360.000 €	1.381.556 €	137.513 €	1.844.340 €	462.784 €
100 % Fremdbezug [€/a]	174.400	2022	13	46.146 €	28.527 €	1.096.229 €	0 €	360.000 €	1.456.229 €	134.817 €	1.979.156 €	522.927 €
Amortisationsdauer	4	2023	14	45.241 €	27.968 €	1.169.438 €	0 €	360.000 €	1.529.438 €	132.173 €	2.111.330 €	581.892 €
BK.....Betriebskosten		2024	15	44.354 €	27.420 €	1.241.212 €	87.500 €	42.089 €	1.643.301 €	129.582 €	2.240.912 €	597.611 €
IB.....Investitionsbedarf		2025	16	43.484 €	26.882 €	1.311.578 €	0 €	402.089 €	1.713.667 €	127.041 €	2.367.953 €	654.285 €
RIK.....Reinvestitionskosten		2026	17	42.632 €	26.355 €	1.380.565 €	0 €	402.089 €	1.782.654 €	124.550 €	2.492.502 €	709.849 €
GK.....Gesamtkosten		2027	18	41.796 €	25.838 €	1.448.199 €	0 €	402.089 €	1.850.288 €	122.108 €	2.614.610 €	764.323 €
mit Förderung		2028	19	40.976 €	25.331 €	1.514.506 €	0 €	402.089 €	1.916.595 €	119.714 €	2.734.324 €	817.728 €
		2029	20	40.173 €	24.835 €	1.579.514 €	0 €	402.089 €	1.981.603 €	117.366 €	2.851.690 €	870.087 €
		2030	21	39.385 €	24.348 €	1.643.247 €	0 €	402.089 €	2.045.336 €	115.065 €	2.966.755 €	921.419 €
		2031	22	38.613 €	23.870 €	1.705.730 €	0 €	402.089 €	2.107.819 €	112.809 €	3.079.564 €	971.744 €
		2032	23	37.856 €	23.402 €	1.766.988 €	0 €	402.089 €	2.169.077 €	110.597 €	3.190.160 €	1.021.083 €
		2033	24	37.114 €	22.943 €	1.827.045 €	0 €	402.089 €	2.229.134 €	108.428 €	3.298.589 €	1.069.454 €
		2034	25	36.386 €	22.494 €	1.885.925 €	0 €	402.089 €	2.288.014 €	106.302 €	3.404.891 €	1.116.877 €
		2035	26	35.672 €	22.052 €	1.943.650 €	0 €	402.089 €	2.345.739 €	104.218 €	3.509.109 €	1.163.370 €
		2036	27	34.973 €	21.620 €	2.000.243 €	0 €	402.089 €	2.402.332 €	102.174 €	3.611.283 €	1.208.951 €
		2037	28	34.287 €	21.196 €	2.055.726 €	0 €	402.089 €	2.457.815 €	100.171 €	3.711.454 €	1.253.639 €
		2038	29	33.615 €	20.781 €	2.110.121 €	0 €	402.089 €	2.512.210 €	98.207 €	3.809.661 €	1.297.450 €
		2039	30	32.956 €	20.373 €	2.163.450 €	87.500 €	20.246 €	2.585.785 €	96.281 €	3.905.942 €	1.320.157 €
		2040	31	32.310 €	19.974 €	2.215.734 €	0 €	422.335 €	2.638.068 €	94.393 €	4.000.335 €	1.362.267 €
		2041	32	31.676 €	19.582 €	2.266.992 €	0 €	422.335 €	2.689.326 €	92.542 €	4.092.878 €	1.403.551 €
		2042	33	31.055 €	19.198 €	2.317.245 €	0 €	422.335 €	2.739.579 €	90.728 €	4.183.605 €	1.444.026 €
		2043	34	30.446 €	18.822 €	2.366.512 €	0 €	422.335 €	2.788.847 €	88.949 €	4.272.554 €	1.483.708 €
		2044	35	29.849 €	18.453 €	2.414.814 €	0 €	422.335 €	2.837.148 €	87.205 €	4.359.759 €	1.522.611 €
		2045	36	29.264 €	18.091 €	2.462.168 €	0 €	422.335 €	2.884.503 €	85.495 €	4.445.254 €	1.560.751 €
		2046	37	28.690 €	17.736 €	2.508.594 €	0 €	422.335 €	2.930.929 €	83.819 €	4.529.073 €	1.598.144 €
		2047	38	28.127 €	17.388 €	2.554.110 €	0 €	422.335 €	2.976.445 €	82.175 €	4.611.248 €	1.634.803 €
		2048	39	27.576 €	17.047 €	2.598.733 €	0 €	422.335 €	3.021.068 €	80.564 €	4.691.811 €	1.670.744 €
		2049	40	27.035 €	16.713 €	2.642.482 €	0 €	422.335 €	3.064.816 €	78.984 €	4.770.796 €	1.705.980 €

Tabelle 28: Kostenbarwertberechnung mit Förderung – Variante 2 (4 l/s)

Tabelle 29: Kostenbarwertberechnung mit Förderung – Variante 3 (6 l/s)

		Jahre	Variante 3						Variante 0		Kapitalwert	
			Barwert BK	Barwert Verkauf Restmenge	Summe Barwert BK	IB / RIK	Barwert IB / RIK	Summe Barwert IB / RIK	GK	Barwert 100 % Fremdbezug		Summe Barwert 100 % Fremdbezug
			kalk. Zinssatz	2%	2%	5%			2%			
<b>VARIANTE 3 (6 l/s)</b>												
	<b>Bezugsjahr 2009</b>	0		20.451 €	0,00 €	415.200 €	415.200 €	415.200 €	415.200 €	0,00 €	170.980 €	-288.584 €
	2010	1	64.415 €	20.050 €	44.364 €		0 €	415.200 €	459.564 €	170.980 €		
	2011	2	63.151 €	19.657 €	87.859 €		0 €	415.200 €	503.059 €	167.628 €	338.608 €	-164.451 €
	2012	3	61.913 €	19.272 €	130.500 €		0 €	415.200 €	545.700 €	164.341 €	502.949 €	-42.751 €
Jährliche BK - 2009 [€/a]	65.703	4	60.699 €	18.894 €	172.306 €		0 €	415.200 €	587.506 €	161.119 €	664.068 €	76.562 €
Investitionsbedarf [€]	415.200	5	59.509 €	18.523 €	213.292 €		0 €	415.200 €	628.492 €	157.959 €	822.027 €	193.536 €
Reinvestitionskosten [€]	106.000	6	58.342 €	18.160 €	253.474 €		0 €	415.200 €	668.674 €	154.862 €	976.890 €	308.216 €
Bedarf [m³/a]	160.000	7	57.198 €	17.804 €	292.868 €		0 €	415.200 €	708.068 €	151.826 €	1.128.715 €	420.647 €
Q <sub>Auslegung</sub> [m³/a]	189.216	8	56.077 €	17.455 €	331.490 €		0 €	415.200 €	746.690 €	148.849 €	1.277.564 €	530.874 €
Q <sub>Verkauf</sub> [m³/a]	29.216	9	54.977 €	17.113 €	369.354 €		0 €	415.200 €	784.554 €	145.930 €	1.423.494 €	638.940 €
Kosten <sub>Fremdbezug</sub> [€/m³]	1,09	10	53.899 €	16.777 €	406.476 €		0 €	415.200 €	821.676 €	143.069 €	1.566.563 €	744.886 €
Tarif <sub>Verkauf</sub> [€/a]	0,70	11	52.842 €	16.448 €	442.871 €	106.000 €	50.988 €	415.200 €	858.071 €	140.263 €	1.706.826 €	848.756 €
Kosten <sub>Fremdbezug</sub> [€/a]	0	12	51.806 €	16.126 €	478.551 €		0 €	415.200 €	893.751 €	137.513 €	1.844.340 €	950.588 €
Einnahmen <sub>Verkauf</sub> [€/a]	20.451	13	50.790 €	15.809 €	513.532 €		0 €	415.200 €	928.732 €	134.817 €	1.979.156 €	1.050.424 €
100 % Fremdbezug [€/a]	174.400	14	49.795 €	15.499 €	547.827 €		0 €	415.200 €	963.027 €	132.173 €	2.111.330 €	1.148.302 €
Amortisationsdauer	3	15	48.818 €	15.196 €	581.450 €		50.988 €	466.188 €	1.047.638 €	129.582 €	2.240.912 €	1.193.274 €
BK.....Betriebskosten		16	47.861 €	14.898 €	614.413 €		0 €	466.188 €	1.080.601 €	127.041 €	2.367.953 €	1.287.351 €
IB.....Investitionsbedarf		17	46.922 €	14.605 €	646.730 €		0 €	466.188 €	1.112.918 €	124.550 €	2.492.502 €	1.379.584 €
RIK.....Reinvestitionskosten		18	46.002 €	14.319 €	678.414 €		0 €	466.188 €	1.144.601 €	122.108 €	2.614.610 €	1.470.009 €
GK.....Gesamtkosten		19	45.100 €	14.038 €	709.476 €		0 €	466.188 €	1.175.664 €	119.714 €	2.734.324 €	1.558.660 €
mit Förderung		20	44.216 €	13.763 €	739.929 €		0 €	466.188 €	1.206.117 €	117.366 €	2.851.690 €	1.645.573 €
		21	43.349 €	13.493 €	769.785 €		0 €	466.188 €	1.235.972 €	115.065 €	2.966.755 €	1.730.782 €
		22	42.499 €	13.229 €	799.055 €		0 €	466.188 €	1.265.243 €	112.809 €	3.079.564 €	1.814.321 €
		23	41.666 €	12.969 €	827.752 €		0 €	466.188 €	1.293.940 €	110.597 €	3.190.160 €	1.896.221 €
		24	40.849 €	12.715 €	855.886 €		0 €	466.188 €	1.322.073 €	108.428 €	3.298.589 €	1.976.515 €
		25	40.048 €	12.466 €	883.468 €		0 €	466.188 €	1.349.656 €	106.302 €	3.404.891 €	2.055.235 €
		26	39.263 €	12.221 €	910.509 €		0 €	466.188 €	1.376.697 €	104.218 €	3.509.109 €	2.132.411 €
		27	38.493 €	11.982 €	937.021 €		0 €	466.188 €	1.403.208 €	102.174 €	3.611.283 €	2.208.075 €
		28	37.738 €	11.747 €	963.012 €		0 €	466.188 €	1.429.200 €	100.171 €	3.711.454 €	2.282.254 €
		29	36.998 €	11.516 €	988.494 €		0 €	466.188 €	1.454.681 €	98.207 €	3.809.661 €	2.354.979 €
		30	36.273 €	11.291 €	1.013.476 €	106.000 €	24.526 €	490.714 €	1.504.190 €	96.281 €	3.905.942 €	2.401.752 €
		31	35.561 €	11.069 €	1.037.968 €		0 €	490.714 €	1.528.682 €	94.393 €	4.000.335 €	2.471.653 €
		32	34.864 €	10.852 €	1.061.980 €		0 €	490.714 €	1.552.694 €	92.542 €	4.092.878 €	2.540.184 €
		33	34.180 €	10.639 €	1.085.521 €		0 €	490.714 €	1.576.235 €	90.728 €	4.183.605 €	2.607.370 €
		34	33.510 €	10.431 €	1.108.601 €		0 €	490.714 €	1.599.315 €	88.949 €	4.272.554 €	2.673.240 €
		35	32.853 €	10.226 €	1.131.228 €		0 €	490.714 €	1.621.942 €	87.205 €	4.359.759 €	2.737.817 €
		36	32.209 €	10.026 €	1.153.411 €		0 €	490.714 €	1.644.125 €	85.495 €	4.445.254 €	2.801.129 €
		37	31.577 €	9.829 €	1.175.160 €		0 €	490.714 €	1.665.874 €	83.819 €	4.529.073 €	2.863.199 €
		38	30.958 €	9.636 €	1.196.482 €		0 €	490.714 €	1.687.196 €	82.175 €	4.611.248 €	2.924.052 €
		39	30.351 €	9.447 €	1.217.386 €		0 €	490.714 €	1.708.099 €	80.564 €	4.691.811 €	2.983.712 €
		40	29.756 €	9.262 €	1.237.880 €		0 €	490.714 €	1.728.593 €	78.984 €	4.770.796 €	3.042.202 €