

Planung und Finanzierung -
Elimination von Mikroverunreinigungen im
Abwasser

Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wasser, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Auftragnehmer

BG Ingenieure und Berater AG

Autoren

BG Ingenieure und Berater AG, Thomas Haltmeier und Vinitha Pazhepurackel

Begleitung

Begleitung BAFU: Michael Schärer

Expertengruppe: Christian Abegglen (VSA/ERZ), Michel Blunski (Gujer AG),
 Christian Fux (TBF + Partner AG), Peter Lehmann (Triform SA), Ruedi Moser (Hunziker Betatech AG),
 Michael Thomann (Holinger AG), Daniel Urfer (RWB SA), Fritz Wüthrich (Kuster + Hager AG)

Hinweis: Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

Version	-	a	b
Dokument	6592.14-RN017	6592.14-RN017a/Pkl/Hlt	6592.14-RN017b/Pkl/Hlt
Datum	28. Februar 2012	23. März 2012	2. April 2012
Bearbeitung	Vinitha Pazhepurackel	Vinitha Pazhepurackel	Vinitha Pazhepurackel
Visum	Thomas Haltmeier	Thomas Haltmeier	Thomas Haltmeier
Mitarbeit			
Verteiler			

© BG



Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser

Inhaltsverzeichnis	Seite
Abkürzungsverzeichnis	1
Definition der im Bericht verwendeten Begriffe	1
1. Einführung	2
2. Ziel	2
3. Massnahmen	3
4. Reinigungsziel und berücksichtigte Verfahren	4
4.1 Reinigungsziel	4
4.2 Berücksichtigte Verfahren	4
4.2.1 Ozonung	4
4.2.2 Behandlung mit Pulveraktivkohle	5
5. Kostenschätzung	6
5.1 Vorgehen zur Kostenschätzung	6
5.1.1 Ausbauszenario A	6
5.2 Resultate der Kostenschätzung	7
Anhang	8
A 1 Aktualisierung der Kostengrundlagen	9
A 1.1 Ziel	9
A 1.2 Vorgehen	9
A 1.2.1 Liste der Experten	9
A 1.2.2 Investitionskosten	9
A 1.2.3 Betriebskosten	10
A 1.3 Datengrundlagen für die Kostenkurven	11
A 1.4 Aktualisierte Kostenkurven	13
A 1.4.1 Aktualisierte Investitionskostenkurven	13
A 1.4.2 Aktualisierte Betriebskostenkurven	14



Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser

A 1.5	Annahmen für die Betriebskosten	15
A 2	Ausbauszenario B	16
A 3	Hochrechnung der Kosten	16
A 3.1	Datengrundlagen	16
A 3.2	Jahreskosten	16
A 3.2.1	Kalkulatorische Abschreibungskosten	16
A 3.2.2	Zinskosten	16
A 3.3	Annahmen für die Hochrechnung	17
A 3.3.1	Berücksichtigung einer bestehenden Sandfiltration	17
A 3.3.2	Verteilung der Verfahren	17
A 3.4	Resultate der Hochrechnung für Ausbauszenario B	19
A 3.5	Sensitivitätsanalyse der Kostenschätzung – Ausbauszenario A	19
A 4	Literatur	20

Abkürzungsverzeichnis

ARA	Abwasserreinigungsanlage(n)	GUS	Gesamte ungelöste Stoffe
BAFU	Bundesamt für Umwelt	Kx	Kategorie x
CHF	Schweizer Franken	O3	Ozon(ung)
E	Einwohner	PAK	Pulveraktivkohle
EW	Einwohnerwert	Spez.	Spezifisch
GSchV	Gewässerschutzverordnung		

Definition der im Bericht verwendeten Begriffe

Ausbauszenario	Konkrete Auswahl von ARA, welche für die Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser ausgebaut werden müssen. Siehe Kapitel 5.1.
Bioaktive Stufe	Der Ozonung nachgeschaltete Stufe zur Elimination biologisch abbaubarer Reaktionsprodukte.
Hochrechnung	Extrapolation der Kosten durch Multiplikation der mittleren spezifischen Kosten pro Einwohnerwert in Abhängigkeit der Anlagengrösse mit den Anlagengrössen (in EW).
Kostendaten	Kostenberechnungen für einzelne Anlagen, die als Basis für die Kostenkurven dienen.
Kostengrundlagen	Gesamtheit der ermittelten Kostenkurven.
Kostenkomponenten	Kostenbestandteile. Die Jahreskosten bestehen aus den Kostenkomponenten: Kalkulatorische Abschreibungen, Betriebskosten und Zinskosten.
Kostenkurve	Regressionskurve durch die vorhandenen Kostendaten, welche die spezifischen Kosten in Abhängigkeit der Anlagengrösse beschreibt.
Kostenpositionen	Teile der Kostenkomponenten (z.B. Betriebskosten), die einem bestimmten Zweck zugeordnet werden können. Siehe Anhang A 1.2.2 und A 1.2.3.
Kostenschätzung	Schätzung der Kosten für die Elimination der Mikroverunreinigungen im Abwasser für die ganze Schweiz.
Mikroverunreinigungen im Abwasser	Siehe Kapitel 1: Einführung. Dieser Begriff wird gleichbedeutend zu "organische Spurenstoffe im Abwasser" verwendet.
Organische Spurenstoffe im Abwasser	Dieser Begriff wird gleichbedeutend zu "Mikroverunreinigungen im Abwasser" verwendet. Siehe Kapitel 1: Einführung.
Ozonung	Siehe Kapitel 4.2.1: Ozonung.
Behandlung mit Pulveraktivkohle	Siehe Kapitel 4.2.2: Behandlung mit Pulveraktivkohle.

Hinweis: Die Begriffe "Mikroverunreinigungen im Abwasser" und "organische Spurenstoffe im Abwasser" werden in diesem Bericht gleichbedeutend verwendet.

1. Einführung

Bei Mikroverunreinigungen in den Gewässern handelt es sich um Rückstände von Bioziden (Herbizide, Fungizide), Medikamenten, Kosmetika und Reinigungsmitteln. Sie können bereits bei sehr geringen Konzentrationen schädliche Wirkungen auf die Umwelt entfalten.

Stoffeinträge in die Gewässer können bei der Herstellung, beim Inverkehrbringen, bei der Anwendung und Entsorgung der Stoffe durch Massnahmen an der Quelle reduziert werden. Zusätzlich schlägt das BAFU eine Optimierung von ausgewählten Kläranlagen durch technische Massnahmen (z.B. Ozonung, Behandlung mit Pulveraktivkohle (PAK)) vor.

Durch Massnahmen bei ausgewählten (rund 100 von 700) kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) soll der Eintrag von Mikroverunreinigungen in die Gewässer zum Schutze der Trinkwasserressourcen und der Wasserflora und -fauna verringert werden. Kleine und mittlere Fliessgewässer in dicht besiedelten Gebieten (z.B. Schweizerisches Mittelland) sind am stärksten betroffen.

2. Ziel

Die Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser auf den kommunalen ARA wurden im Bericht BAFU 2009¹ auf der Basis der Kostengrundlagen Hunziker 2008² erstmals geschätzt. Nun sollen die Kosten unter Einbezug neuerer Kostendaten und unter Berücksichtigung der neuen aktuell diskutierten Rahmenbedingungen und Ausbauszenarien aktualisiert werden. Wie bei der bestehenden Kostenschätzung werden die beiden am besten untersuchten Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser – die Ozonung und die Behandlung mit Pulveraktivkohle – berücksichtigt.

Die Kostenschätzung wird auf der Basis von zum Teil noch offenen gesetzlichen Vorgaben, sowie technischen und weiteren zeitlich veränderlichen Randbedingungen erarbeitet. Unter Berücksichtigung dieser Ausgangslage soll eine möglichst realistische Kostenschätzung erarbeitet werden, die nicht von Extremszenarien ausgeht.

Die Kostenschätzung dient als Grundlage zur Abschätzung der finanziellen Auswirkungen der Massnahmen zur Elimination der Mikroverunreinigungen im Abwasser bei ARA. Anhand der Kostenschätzung sollen die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen dargestellt werden können.

¹ BAFU 2009: Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Bewertung und Reduktion der Schadstoffbelastung aus der Siedlungsentwässerung. Umwelt-Wissen Nr. 0917. Bundesamt für Umwelt, Bern.

² Hunziker 2008: Massnahmen in ARA zur weitergehenden Elimination von Mikroverunreinigungen – Kostenstudie, Winterthur, Oktober 2008.

3. Massnahmen

Der Bund verpflichtet über die Einführung von Anforderungen an die Einleitung von kommunalem Abwasser in Gewässer bezüglich organischer Spurenstoffe in der GSchV ausgewählte ARA zum Ausbau. Dazu gehören

- **Kategorie 1 (K1):** ARA mit mehr als 80 000 angeschlossenen Einwohnern.
- **Kategorie 2 (K2):** ARA mit mehr als 24 000 angeschlossenen Einwohnern im Einzugsgebiet von Seen. Die Kantone können in begründeten Ausnahmefällen von einem Ausbau der ARA absehen, wenn der Nutzen für die Ökosysteme und die Trinkwasserversorgung vernachlässigbar klein ist.
- **Kategorie 3 (K3):** Bei Fliessgewässern mit einem Abwasseranteil von mehr als 10%, der nicht hinsichtlich organischer Spurenstoffe gereinigt ist, bestimmen die Kantone im Rahmen einer Planung im Einzugsgebiet, welche ARA ausgebaut werden müssen. Davon betroffen sind aus Gründen der Verhältnismässigkeit ARA mit mehr als 8 000 angeschlossenen Einwohnern, in begründeten Ausnahmefällen auch ARA mit 1 000 bis 8 000 angeschlossenen Einwohnern.

Aufgrund dieser Kriterien müssen rund 100 der 700 zentralen ARA der Schweiz Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser ergreifen. Die genaue Anzahl der betroffenen ARA hängt einerseits davon ab, wie die Kriterien auf die Gewässereinzugsgebiete angewendet werden und andererseits, wieviele begründete Ausnahme- und Spezialfälle geltend gemacht werden.

Hinweis: Die angeschlossenen Einwohner (E) werden zur Auswahl der ARA verwendet, um den häuslichen Anteil des Abwassers, auf welchen die Massnahmen ausgerichtet sind, zu gewichten. Als Basis für die Kostenschätzung werden demgegenüber die Einwohnerwerte (EW) verwendet, welche auch den industriell-gewerblichen Anteil enthalten und der Dimensionierungsgrösse entsprechen.

4. Reinigungsziel und berücksichtigte Verfahren

4.1 Reinigungsziel

Die auszubauenden ARA müssen voraussichtlich bezüglich der Mikroverunreinigungen im Abwasser eine Reinigungsleistung von 80% erreichen. Die bestehenden Anforderungen der GSchV werden nicht verschärft. Dies betrifft im Speziellen die Grenzwerte für die Nitrifikation (2 mg NH₄-N/l) und die gesamten ungelösten Stoffe (15 mg GUS/l).

Für die Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser wird von den betroffenen ARA eine stabile, ganzjährige Nitrifikation verlangt, um den Betrieb der weitergehenden Verfahrensstufen zu vereinfachen. Da diese Reinigungsleistung bei schwachen Vorflutern in der GSchV verlangt wird und bei grossen ARA diese Leistung zur Frachtreduktion von Stickstoffverbindungen Stand der Technik ist, berücksichtigt die Kostenschätzung alle Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser, nicht aber Massnahmen, die zum Ausbau auf eine stabile Nitrifikation vorgenommen werden.

4.2 Berücksichtigte Verfahren

Für die Kostenschätzung werden die beiden am besten untersuchten Verfahren – die Ozonung und die Behandlung mit Pulveraktivkohle (Ulmer-Verfahren) – berücksichtigt. Andere Verfahren, wie z.B. das platzsparende ActifloCarb-Verfahren oder die Behandlung mit granulierter Aktivkohle werden nicht betrachtet. Im Einzelfall anwendbare, alternative Verfahren mit höheren oder tieferen Kosten, werden nicht in die Kostenschätzung aufgenommen.

Wie sind die Kostenkurven zu lesen?

Es wird davon ausgegangen, dass die beiden ausgewählten Verfahren Ozonung mit bioaktiver Stufe, Pulveraktivkohle mit Sandfiltration, bei einer Kostengenauigkeit von +/- 25%, eine repräsentative Kostenschätzung für eine gesamtschweizerische Betrachtung ergeben. Die Kostangaben in diesem Bericht dienen der Hochrechnung der gesamtschweizerischen Kosten zur Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser. Im Einzelfall mit speziellen Randbedingungen und einer alternativen Verfahrenswahl, können die Kosten einer Detailprojektierung von den Kosten einer Berechnung aus den vorliegenden Kostenkurven abweichen. Für die Betrachtung einer ARA im Einzelfall können die Angaben jedoch als grobe Vorgabe bei der Verwendung der aufgeführten Standardverfahren verwendet werden.

4.2.1 Ozonung

Bei der Ozonung werden Mikroverunreinigungen mittels der starken oxidativen Wirkung des Ozons in Reaktionsprodukte umgewandelt. In einem Kontaktbecken wird Ozon zum biologisch behandelten Abwasser zudosiert. Im Abluftstrom wird das nicht vollständig reagierte Ozon mit einem Restozonvernichter entfernt. Im Abwasserstrom wird genügend Aufenthaltszeit vorgesehen werden, damit das gelöste Restozon zu Sauerstoff zerfallen kann.

Im Abwasserstrom nach der Ozonung wird ein Teil der Reaktionsprodukte biologisch abbaubar sein und soll vor der Einleitung in ein Gewässer mit einer bioaktiven Stufe aus dem Abwasser entfernt werden.

Die erwartete Konzentration an biologisch abbaubaren Reaktionsprodukten nach der Ozonung wird in einem tiefen Bereich liegen und bei einem biologischen Abbau nur unwesentlich zu einer Erhöhung der GUS-Konzentration beitragen – eine zusätzliche Sandfiltration ist daher nicht zwingend erforderlich.

Bioaktive Stufe

Für die Kostenrechnung wird für die bioaktive Stufe ein einfaches, kompaktes Biofilmverfahren ohne Rückspülung oder GUS-Abtrennung berücksichtigt, welches ohne zusätzliches Pumpwerk in den Abwasserstrom eingefügt werden kann (z.B. Wirbelbett, Lamellen). Die Investitionskosten für eine solche Stufe werden auf die Hälfte der Kosten geschätzt, welche für eine Sandfiltration anfallen. Auch für die Betriebskosten einer solchen Anlage wird ein gegenüber der Sandfiltration reduzierter Ansatz gewählt.

Die verfahrenstechnische Auslegung (Biofilmoberfläche, hydraulische Aufenthaltszeit) einer solchen bioaktiven Stufe ist noch nicht definiert und muss noch in Versuchen festgelegt werden. Zielvorgabe ist jedoch ein Verfahren mit einem tieferen Energieeinsatz und einer geringeren Komplexität (Betriebsaufwand) im Vergleich zu einer Sandfiltration. Bei ARA, für welche zur Einhaltung von tiefen GUS-Werten eine Sandfiltration vorgeschrieben ist, kann diese als bioaktive Stufe verwendet werden. Für die Kostenschätzung wird davon ausgegangen, dass wenn nicht bereits eine Sandfiltration vorhanden ist, eine günstigere bioaktive Stufe gebaut wird.

4.2.2 Behandlung mit Pulveraktivkohle

Bei der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser durch die Behandlung mit Pulveraktivkohle werden die Mikroverunreinigungen durch Adsorption an die Aktivkohle gebunden. Durch das Abtrennen und die anschließende Verbrennung der Aktivkohle werden die Mikroverunreinigungen entfernt.

Bei der Behandlung mit Pulveraktivkohle bedarf es einer Filtration, um die Aktivkohle wieder aus dem System zu entfernen. Dabei kommen verschiedene Filtersysteme in Frage. Für die Kostenschätzung wird davon ausgegangen, dass das Ulmer-Verfahren mit Verwendung einer Sandfiltration zur Anwendung kommt.

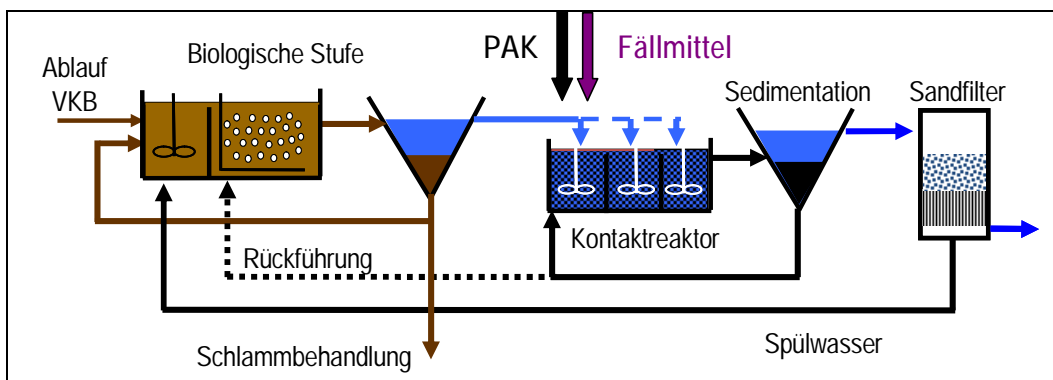


Abbildung 1: Schema Ulmer-Verfahren.

5. Kostenschätzung

Die Kostenschätzung wird auf der Grundlage des aktuellen (in diesem Bericht beschriebenen) Kenntnisstands erarbeitet. Bei massgebender Änderung der Rahmenbedingungen muss die Kostenschätzung entsprechend angepasst werden.

5.1 Vorgehen zur Kostenschätzung

Die Kostenschätzung für die Massnahmen zur Elimination der Mikroverunreinigungen im Abwasser erfolgt in drei Schritten:

Schritt 1: Aktualisierung der Kostengrundlagen

Die bestehenden Kostenkurven (spezifische Kosten pro Einwohnerwert in Abhängigkeit der Anlagegrösse) aus dem Bericht Hunziker 2008, wurden mit der Unterstützung einer Expertengruppe anhand zusätzlicher vorhandener Kostendaten aktualisiert. Die Aktualisierung der Kostengrundlagen ist im Anhang unter A 1 genauer beschrieben.

Schritt 2: Definition des Ausbauszenarios

Die in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) vorgesehenen Kategorien der auszubauenden ARA (siehe Kapitel 3), werden konkretisiert (= Ausbauszenario).

Schritt 3: Hochrechnung der Kosten

Für das Ausbauszenario werden die Kosten mit Hilfe der aktualisierten Kostengrundlagen ermittelt. Die Annahmen für die Hochrechnung, wie z.B. die Wahl des Verfahrens, werden so realistisch wie möglich festgelegt. Für die Sensitivitätsanalyse werden extremere Rahmenbedingungen berücksichtigt. Die Hochrechnung der Kosten ist im Anhang unter A 3 genauer beschrieben.

5.1.1 Ausbauszenario A

Für die Kostenschätzung können verschiedene Ausbauszenarien definiert werden, indem die Kategorien der auszubauenden ARA konkretisiert werden. Für das Ausbauszenario A, welches für die vorliegende Kostenschätzung als Grundlage dient, sind die Kategorien (K1 – K4) wie folgt definiert:

- K1: ARA mit mehr als 80 000 angeschlossenen Einwohnern;
- K2: Anlagen mit mehr als 24 000 angeschlossenen Einwohnern im Einzugsgebiet von Seen;
- K3: Anlagen mit mehr als 8 000 angeschlossenen Einwohnern und einem Abwasseranteil von mehr als 10%, der nicht hinsichtlich organischer Spurenstoffe gereinigt ist; *Ausnahmefälle*: Anlagen mit einem Abwasseranteil von mehr als 10%, der nicht hinsichtlich organischer Spurenstoffe gereinigt ist, werden nur dann ausgebaut, wenn die damit ökologisch aufgewertete Fliesstrecke mindestens 500 m beträgt.
- K4 *Ausnahmefälle*: Stattdessen werden Anlagen mit mehr als 2 000 angeschlossenen Einwohnern an Vorflutern mit einem Abwasseranteil von mehr als 10% ausgebaut, wenn die damit ökologisch aufgewertete Fliesstrecke mehr als 10 km beträgt.

Ergänzend werden die Kosten für ein Ausbauszenario B geschätzt, welches keine Ausnahmefälle berücksichtigt. Die entsprechenden Resultate befinden sich im Anhang A 3.4.

5.2 Resultate der Kostenschätzung

Die Kostenschätzung für das Ausbauszenario A berechnet mit den aktualisierten Kostenkurven (siehe Anhang A 1.4) und der vorgeschlagenen Verteilung der Verfahren (siehe Anhang A 3.3.1) ergibt *Investitionskosten von rund 1.1 Mrd. CHF* und *Jahreskosten von rund 130 Mio. CHF jährlich* für die Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser. Die Kostengenauigkeit beträgt $\pm 25\%$.

Die Verteilung der Kosten auf die auszubauenden ARA-Kategorien und auf die Komponenten der Jahreskosten, bestehend aus kalkulatorischen Abschreibungen, Betriebs- und Zinskosten, wird für eine bessere Übersicht ausgewiesen (siehe Tabelle 1).

Als Sensitivitätsanalyse werden auch die Kosten für das Ausbauszenario A dargestellt, wenn alle ARA sich für das teurere (PAK) oder das günstigere (Ozonung) Verfahren entscheiden würden (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Zusammenstellung der Resultate der Kostenschätzung.

	Einheit	Total	K(ategorie) 1	K2	K3	K4
Anz. betroffene ARA		123	13	21	69	20
Ang. Einwohner	(Mio. E)	4.4	2.2	0.7	1.4	0.1
Investitionskosten	(CHF)	1 119 000 000	291 000 000	235 000 000	523 000 000	70 000 000
Kalkulatorische Abschreibungen (33 Jahre)	(CHF/a)	34 000 000	9 000 000	7 000 000	16 000 000	2 000 000
Betriebskosten	(CHF/a)	76 000 000	28 000 000	16 000 000	29 000 000	3 000 000
Zinskosten	(CHF/a)	22 000 000	6 000 000	5 000 000	10 000 000	1 000 000
Jahreskosten	(CHF/a)	133 000 000	43 000 000	28 000 000	56 000 000	6 000 000
<i>Jahreskosten_PAK¹</i>	<i>(CHF/a)</i>	<i>171 000 000</i>	<i>55 000 000</i>	<i>37 000 000</i>	<i>72 000 000</i>	<i>8 000 000</i>
<i>Jahreskosten_O3²</i>	<i>(CHF/a)</i>	<i>87 000 000</i>	<i>24 000 000</i>	<i>19 000 000</i>	<i>40 000 000</i>	<i>5 000 000</i>

¹ Jahreskosten, wenn zur Behandlung von Mikroverunreinigungen nur Pulveraktivkohle verwendet wird.

² Jahreskosten, wenn zur Behandlung von Mikroverunreinigungen nur die Ozonung verwendet wird.



Anhang

A 1 Aktualisierung der Kostengrundlagen

A 1.1 Ziel

Die bestehenden Kostenkurven zur Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser vom Bericht Hunziker 2008³ sollen unter Einbezug von neuen Kostendaten aktualisiert werden.

A 1.2 Vorgehen

- **Bildung einer Expertengruppe:** Die Aktualisierung der Kostenkurven wird durch eine Expertengruppe begleitet, die aus Vertretern verschiedener Schweizer Ingenieurunternehmen im Abwasserbereich besteht (Liste der Experten siehe A 1.2.1).
- **Zusammentragen von Kostendaten:** Die Kostendaten der bestehenden Kostenkurven werden als Grundlage weiterverwendet. Die Experten ergänzen diese mit Kostendaten aus weiteren Projekten.
- **Festlegen der Rahmenbedingungen:** Die Expertengruppe legt die Rahmenbedingungen für die zu aktualisierenden Kostenkurven fest (z.B. Kostenpositionen, die in den Investitionskosten berücksichtigt werden).
- **Aktualisierung der Kostenkurven:** Die neuen und bestehenden Kostendaten werden gemäss den festgelegten Rahmenbedingungen aufbereitet. Die Kostenkurven werden aktualisiert.

A 1.2.1 Liste der Experten

Die Expertengruppe setzt sich wie folgt zusammen:

- Christian Abegglen (VSA/ERZ)
- Michel Blunschli (Gujer AG)
- Christian Fux (TBF + Partner AG)
- Peter Lehmann (Triform SA)
- Ruedi Moser (Hunziker Betatech AG)
- Michael Thomann (Holinger AG)
- Daniel Urfer (RWB SA)
- Fritz Wüthrich (Kuster + Hager AG)

A 1.2.2 Investitionskosten

Die Investitionskosten enthalten die folgenden Kostenpositionen:

- Allgemeinkosten / Honorare / Reserven
- Umgebungsarbeiten
- Bauten
- Mechanische Ausrüstung
- Elektroanlagen / Automatisierungs- und Steuerungstechnik
- Heizung, Lüftung, Klima, Sanitär

³ Hunziker 2008: Massnahmen in ARA zur weitergehenden Elimination von Mikroverunreinigungen, Kostenstudie. Studie im Auftrag des BAFU. Winterthur, Oktober 2008.

A 1.2.3 Betriebskosten

Für die Ermittlung der Betriebskosten werden die nachfolgend aufgeführten Kostenpositionen berücksichtigt. Kostenpositionen, die nur für die Behandlung mit Pulveraktivkohle benötigt werden sind mit ^{PAK} markiert:

- Elektrische Energie
- Personal
- Wartung / Unterhalt (Material und Fremdfirmen)
- Analytik
- Betriebsmittel (Pulveraktivkohle, Sauerstoff, Flockungs- und Fällmittel)
- ^{PAK}Schlammentsorgung (Anteil PAK)

A 1.3 Datengrundlagen für die Kostenkurven

Tabelle 2: Verwendete Datengrundlage für die Erstellung der aktualisierten Kostenkurven - Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser mittels PAK-Behandlung.

Datenquelle	PAK mit neuer Filtration						PAK mit bestehender Filtration					
	Investitionskosten		Bemerkungen	Betriebskosten		Bemerkungen	Investitionskosten		Betriebskosten		Bemerkungen	
	erh. ¹	ver. ²		erh. ¹	ver. ²		erh. ¹	ver. ²	erh. ¹	ver. ²		
Hunziker 08 – ARA Untersee	ü	ü	Keine Änderungen vorgenommen (=k.Ä.)	ü	ü	Personalkosten angepasst, Analytikskosten ergänzt	ü	ü	k.Ä.	ü	ü	Personalkosten angepasst, Analytikskosten ergänzt. Variable Kosten auf Dosiermenge 15 g/m3 angepasst.
Hunziker 08 – ARA Aadorf	ü	ü		ü	ü		ü	ü		ü		
Hunziker 08 – ARA Furt	ü	ü		ü	ü		ü	ü		ü		
Hunziker 08 – ARA Au	ü	ü		ü	ü		ü	ü		ü		
Hunziker 08 – ARA Luzern	ü	ü		ü	ü		ü	ü		ü		
Hunziker 08 – ARA Werdhölzli	ü	ü		ü	ü		ü	ü		ü		
Kuster + Hager	-	-		-	-		ü	ü		ü	ü	
Triform	ü	ü	k.Ä.	ü	ü	Wert konnte nicht korrigiert werden	-	-		-	-	
TBF	-	-		-	-		-	-		-	-	
Holinger 1	-	-		-	-		-	-		-	-	
Holinger 2	-	-		-	-		ü	ü	Allgemeinkosten / Honorare / Reserven ergänzt	ü	ü	Personalkosten angepasst, Analytikskosten ergänzt. Variable Kosten auf Dosiermenge 15 g/m3 angepasst.
Holinger 3	ü	ü	k.Ä.	ü	ü	Personalkosten angepasst, Analytikskosten ergänzt	ü	ü		ü	ü	
Holinger 4	ü	ü	k.Ä.	ü	ü		ü	ü		ü	ü	
Holinger 5	ü	ü	k.Ä.	ü	ü		ü	ü		ü	ü	

¹ erh.: erhalten

² ver.: verwendet



Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser

Tabelle 3: Verwendete Datengrundlage für die Erstellung der neuen Kostenkurven - Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser mittels Ozonung.

Datenquelle	Ozonung mit neuer Filtration						Ozonung mit bestehender bioaktiven Stufe					
	Investitionskosten			Betriebskosten			Investitionskosten			Betriebskosten		
	erh. ¹	ver. ²	Bemerkungen	erh. ¹	ver. ²	Bemerkungen	erh. ¹	ver. ²	Bemerkungen	erh. ¹	ver. ²	Bemerkungen
Hunziker 08 – ARA Untersee	Ü	Ü	Keine Änderungen vorgenommen (=k.Ä.)	Ü	Ü	Personalkosten angepasst, Analytikskosten ergänzt	Ü	Ü	k.Ä.	Ü	Ü	Personalkosten angepasst, Analytikskosten und Kosten für Serviceverträge ergänzt
Hunziker 08 – ARA Aadorf	Ü	Ü		Ü	Ü		Ü	Ü				
Hunziker 08 – ARA Furt	Ü	Ü		Ü	Ü		Ü	Ü				
Hunziker 08 – ARA Au	Ü	Ü		Ü	Ü		Ü	Ü				
Hunziker 08 – ARA Luzern	Ü	Ü		Ü	Ü		Ü	Ü				
Hunziker 08 – ARA Werdhölzli	Ü	Ü		Ü	Ü		Ü	Ü				
Kuster + Hager	-	-		-	-		-	-		Ü	Ü	
Triform	Ü	Ü	k.Ä.	Ü	ü	Wert konnte nicht korrigiert werden	-	-		-	-	
TBF	-	-		-	-		Ü	Ü	k.Ä.	-	-	
Holinger 1	-	-		-	-		Ü	Ü	Allgemeinkosten / Honorare / Reserven ergänzt	-	-	
Holinger 2	-	-		-	-		Ü	Ü		Ü	Ü	Personalkosten angepasst, Analytikskosten und Kosten für Serviceverträge ergänzt
Holinger 3	Ü	Ü	k.Ä.	-	-		Ü	Ü		Ü	Ü	
Holinger 4	Ü	Ü	k.Ä.	-	-		Ü	Ü		Ü	Ü	
Holinger 5	Ü	Ü	k.Ä.	-	-		Ü	Ü		Ü	Ü	

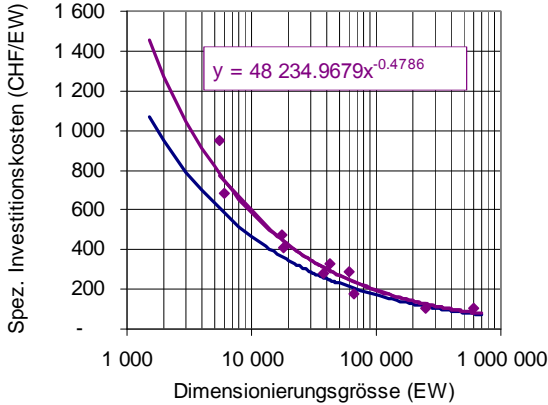
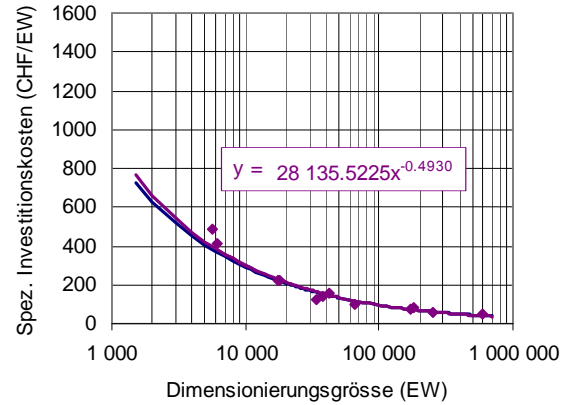
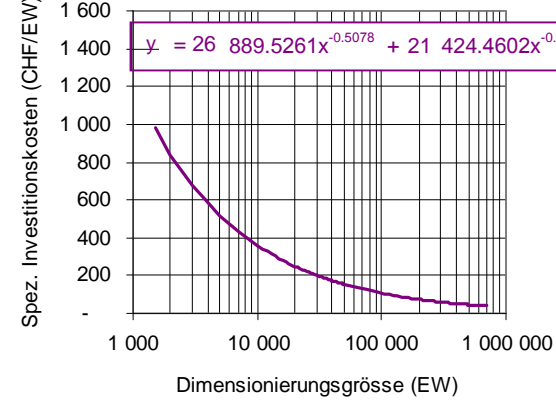
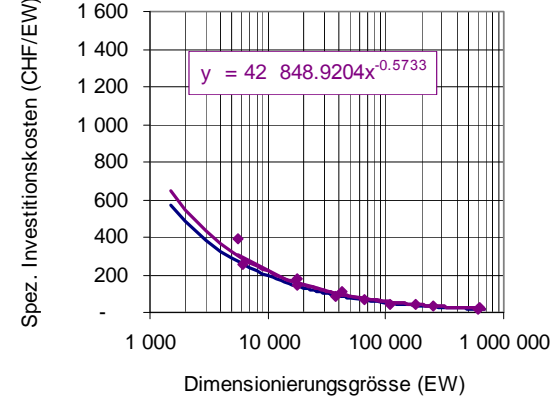
¹ erh.: erhalten
² ver.: verwendet

A 1.4 Aktualisierte Kostenkurven

Die Kostenkurven werden aktualisiert, indem neue Regressionskurven durch die angepassten bestehenden und die neuen Datenpunkte gelegt werden.

Bei den spezifischen Kostenangaben pro Einwohnerwert in Abhängigkeit der Anlagengrösse handelt es sich um mittlere Kosten. Diese Kurven lassen sich somit nur beschränkt für die Kostenermittlung von Anlagen im Einzelfall verwenden.

A 1.4.1 Aktualisierte Investitionskostenkurven

PAK mit neuer Filtration	PAK mit bestehender Filtration
	
<p>Abbildung 2: <i>Violett:</i> Aktualisierte Kostenkurve und verwendete Kostendaten - Investitionskosten PAK mit neuer Filtration. <i>Blau:</i> Kostenkurve Hunziker 2008</p>	<p>Abbildung 3: <i>Violett:</i> Aktualisierte Kostenkurve und verwendete Kostendaten - Investitionskosten PAK mit bestehender Filtration. <i>Blau:</i> Kostenkurve Hunziker 2008</p>
Ozonung mit neuer bioaktiven Stufe	Ozonung mit bestehender Filtration
	
<p>Abbildung 4: <i>Violett:</i> Aktualisierte Kostenkurve und verwendete Kostendaten - Investitionskosten Ozonung mit neuer bioaktiven Stufe.</p>	<p>Abbildung 5: <i>Violett:</i> Aktualisierte Kostenkurve und verwendete Kostendaten - Investitionskosten Ozonung mit bestehender Filtration. <i>Blau:</i> Kostenkurve Hunziker 2008</p>

A 1.4.2 Aktualisierte Betriebskostenkurven

PAK mit neuer Filtration	PAK mit bestehender Filtration
<p>Abbildung 6: <i>Violett:</i> Aktualisierte Kostenkurve und verwendete Kostendaten - Betriebskosten PAK mit neuer Filtration. <i>Blau:</i> Nicht verwendeter Kostenpunkt.</p>	<p>Abbildung 7: <i>Violett:</i> Aktualisierte Kostenkurve und verwendete Kostendaten - Betriebskosten PAK mit bestehender Filtration.</p>
Ozonung mit neuer bioaktiven Stufe	Ozonung mit bestehender Filtration
<p>Abbildung 8: <i>Violett:</i> Aktualisierte Kostenkurve und verwendete Kostendaten - Betriebskosten Ozonung mit neuer bioaktiven Stufe.</p>	<p>Abbildung 9: <i>Violett:</i> Aktualisierte Kostenkurve und verwendete Kostendaten - Betriebskosten Ozonung mit bestehender Filtration.</p>

A 1.5 Annahmen für die Betriebskosten

Um die Betriebskosten verschiedener Anlagen miteinander vergleichen zu können, wurden mit der Expertengruppe nachfolgend aufgeführte Annahmen getroffen.

Hinweis: Die spezifischen Kosten werden pro Einwohnerwert (EW) und nicht pro angeschlossenen Einwohner (E) angegeben, da die zusätzliche Stufe zur Elimination der Mikroverunreinigungen im Abwasser für das gesamte Abwasser (inkl. Industrieanteil) ausgelegt werden muss (Investitionskosten) und auch die Betriebskosten abhängig von der tatsächlichen Belastung sind. Mit der Bezugsgrösse Einwohnerwert (EW) wird die Vergleichbarkeit mit den Kennzahlen VSA gewährleistet.

Tabelle 4: Annahmen zur Ermittlung der Betriebskosten bei der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser mittels PAK-Behandlung.

	PAK			
	mit neuer Filtration		mit bestehender Filtration	
	Personal-kosten	Analytik-kosten	Personal-kosten	Analytik-kosten
	(CHF/a)	(CHF/a)	(CHF/a)	(CHF/a)
≤ 30 000 EW	50 000	5 000	25 000	5 000
30 000 – 100 000 EW	120 000	5 000	60 000	5 000
100 000 – 300 000 EW	200 000	10 000	100 000	10 000
300 000 – 700 000 EW	400 000	10 000	200 000	10 000

Tabelle 5: Annahmen zur Ermittlung der Betriebskosten bei der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser mittels Ozonung.

	Ozonung					
	mit neuer bioaktiven Stufe			mit bestehender Filtration		
	Personal-kosten	Analytik-kosten	Service-verträge	Personal-kosten	Analytik-kosten	Service-verträge
	(CHF/a)	(CHF/a)	(CHF/a)	(CHF/a)	(CHF/a)	(CHF/a)
≤ 30 000 EW	40 000	5 000	5 000	30 000	5 000	5 000
30 000 – 100 000 EW	90 000	5 000	5 000	70 000	5 000	5 000
100 000 – 300 000 EW	130 000	10 000	10 000	100 000	10 000	10 000
300 000 – 700 000 EW	260 000	10 000	10 000	200 000	10 000	10 000

A 2 Ausbauszenario B

Zusätzlich zum Ausbauszenario A werden die Kosten für das Ausbauszenario B ermittelt. Die Kategorien 1 und 2 der auszubauenden ARA sind mit denjenigen vom Ausbauszenario A identisch. Im Gegensatz zum Ausbauszenario A fallen bei der Kategorie 3 die Ausnahmefälle und die gesamte Kategorie 4 weg.

- K1: ARA mit mehr als 80 000 angeschlossenen Einwohnern;
- K2: Anlagen mit mehr als 24 000 angeschlossenen Einwohnern im Einzugsgebiet von Seen;
- K3: Anlagen mit mehr als 8 000 angeschlossenen Einwohnern und einem Abwasseranteil von mehr als 10%, der nicht hinsichtlich organischer Spurenstoffe gereinigt ist.

A 3 Hochrechnung der Kosten

A 3.1 Datengrundlagen

Als Datengrundlage für die Dimensionierungsgrösse der Anlagen werden die Daten des Berichts VSA/KI 2011: "Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung" verwendet.

A 3.2 Jahreskosten

Die Jahreskosten ergeben sich aus der Summe der jährlichen Betriebskosten, den kalkulatorischen Abschreibungskosten und den Zinskosten.

A 3.2.1 Kalkulatorische Abschreibungskosten

Zur Berechnung der kalkulatorischen Abschreibungskosten wird gemäss "Definition und Standardisierung von Kennzahlen für die Abwasserentsorgung – Empfehlung" (VSA, 2006) von einer mittleren Lebensdauer der Anlagen von 33 Jahren ausgegangen.

A 3.2.2 Zinskosten

Die Zinskosten werden auf der Basis des Vorschlags im Bericht VSA 2006 ($\text{Zinskosten} = 4\% \times \text{Restbuchwert}$) gerechnet. Für eine grobe Abschätzung wird angenommen, dass im Mittel jährlich auf die Hälfte der Investitionskosten ein Zinssatz von 4% zu zahlen ist.

A 3.3 Annahmen für die Hochrechnung

A 3.3.1 Berücksichtigung einer bestehenden Sandfiltration

Es wird angenommen, dass Anlagen, die bereits heute eine Sandfiltration besitzen, diese für die Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser mittels Ozonung (als bioaktive Stufe) oder der Behandlung mit PAK (zur PAK-Abtrennung) verwenden können. Allfällige nötige Anpassungen der Filtration werden für die Hochrechnung nicht berücksichtigt, da angenommen wird, dass diese Kosten im Genauigkeitsbereich der Kostenschätzung liegen.

A 3.3.2 Verteilung der Verfahren

Für die Hochrechnung der Kosten auf die ganze Schweiz werden folgende Annahmen getroffen.

Hinweis: Die Kostenkurven in der nachfolgenden Tabelle sind wie folgt zu lesen:

$$y \text{ (Kosten in CHF)} = a \cdot x \text{ (=Anlagengrösse o. -belastung in EW)}^{-b}$$

- a, b: Koeffizienten

Tabelle 6: Übersicht der Verteilung der Verfahren für die Hochrechnung.

Standard = Basisszenario für die Kostenhochrechnung	ARA > 80 000 ang. Einwohner (E)	ARA < 80 000 E
	PAK O ₃	PAK O ₃
	67% 33%	50% 50%
	Bestehende Filter werden berücksichtigt.	Annahme: 25% der Anlagen haben bereits eine Filtration.
	Auslastung 100% = EW _{dim}	Auslastung 100% = EW _{dim}
	Kosten mit neuem Filter: Investitionskosten $y = 32\,156.6x^{-0.48} + 8\,963.2x^{-0.51} + 7\,141.5x^{-0.57}$ Betriebskosten $y = 119.6x^{-0.22} + 122.5x^{-0.35}$ Kosten mit bestehendem Filter: Investitionskosten $y = 18\,757.0x^{-0.49} + 14\,283.0x^{-0.57}$ Betriebskosten $y = 91.6x^{-0.22} + 93.2x^{-0.36}$	Gemittelte Kostenkurve: Investitionskosten $y = 18\,088.1x^{-0.48} + 3\,516.9x^{-0.49} + 10\,083.6x^{-0.51} + 13\,390.3x^{-0.57}$ Betriebskosten $y = 67.3x^{-0.22} + 17.2x^{-0.22} + 137.8x^{-0.35} + 35.0x^{-0.36}$

Pulveraktivkohle	ARA > 80 000 E PAK 100%	ARA < 80 000 E PAK 100%
	Bestehende Filter werden berücksichtigt.	Annahme: 25% der Anlagen haben bereits eine Filtration.
	Auslastung 100% = EW_{dim}	Auslastung 100% = EW_{dim}
	Kosten mit neuem Filter: Investitionskosten $y = 48\,235.0x^{-0.48}$ Betriebskosten $y = 179.4x^{-0.22}$	Gemittelte Kostenkurve: Investitionskosten $y = 36\,176.2x^{-0.48} + 7\,033.9x^{-0.49}$ Betriebskosten $y = 134.6x^{-0.22} + 34.4x^{-0.22}$
	Kosten mit bestehendem Filter: Investitionskosten $y = 28\,135.5x^{-0.49}$ Betriebskosten $y = 137.5x^{-0.22}$	
Ozonung	ARA > 80 000 E O ₃ 100%	ARA < 80 000 E O ₃ 100%
	Bestehende Filter werden berücksichtigt.	Annahme: 25% der Anlagen haben bereits eine Filtration.
	Auslastung 100% = EW_{dim}	Auslastung 100% = EW_{dim}
	Kosten mit neuer bioaktiven Stufe Investitionskosten $y = 26\,889.5x^{-0.51} + 21\,424.5x^{-0.57}$ Betriebskosten $y = 367.6x^{-0.35}$	Gemittelte Kostenkurve Investitionskosten $y = 36\,176.2x^{-0.48} + 6\,932.1x^{-0.49}$ Betriebskosten $y = 275.7x^{-0.35} + 69.9x^{-0.36}$
	Kosten mit bestehendem Filter Investitionskosten $y = 27\,728.5x^{-0.49}$ Betriebskosten $y = 279.6x^{-0.36}$	

Bei den grossen ARA (> 80 000 E) ist bei rund 40% der Anlagen eine Filtration vorhanden.

A 3.4 Resultate der Hochrechnung für Ausbauszenario B

Die Kostenschätzung für das Ausbauszenario B berechnet mit den aktualisierten Kostengrundlagen (siehe Anhang A 1.4) und der vorgeschlagenen Verteilung der Verfahren (siehe Anhang A 3.3.1) ergibt etwas tiefere aber in der Grössenordnung vergleichbare Kosten wie beim Ausbauszenario A. Die Investitionskosten betragen rund 1.1 Mrd. CHF und die Jahreskosten rund 130 Mio. CHF jährlich. Die Kostengenauigkeit beträgt $\pm 25\%$.

Die Verteilung der Kosten auf die Kategorien und auf die Komponenten der Jahreskosten wird für eine bessere Übersicht ausgewiesen. Als Sensitivitätsanalyse werden auch die Kosten für das Ausbauszenario B dargestellt, wenn alle ARA sich für das teurere (PAK) oder das günstigere (Ozonung) Verfahren entscheiden würden (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Zusammenstellung der Resultate der Hochrechnung für das Ausbauszenario B.

	Einheit	Total	K(ategorie) 1	K2	K3
Anz. betroffene ARA		108	13	21	75
Ang. Einwohner	(Mio. E)	4.4	2.2	0.7	1.5
Investitionskosten	(CHF)	1 085 000 000	291 000 000	235 000 000	560 000 000
Kalk. Abschreibungen (33 Jahre)	(CHF/a)	33 000 000	9 000 000	7 000 000	17 000 000
Betriebskosten	(CHF/a)	77 000 000	30 000 000	16 000 000	31 000 000
Zinskosten	(CHF/a)	22 000 000	6 000 000	5 000 000	11 000 000
Jahreskosten	(CHF/a)	131 000 000	44 000 000	28 000 000	59 000 000
Jahreskosten_PAK ¹	(CHF/a)	168 000 000	55 000 000	37 000 000	77 000 000
Jahreskosten_O3 ²	(CHF/a)	84 000 000	24 000 000	19 000 000	42 000 000

¹ Jahreskosten, wenn zur Behandlung von Mikroverunreinigungen nur Pulveraktivkohle verwendet wird.

² Jahreskosten, wenn zur Behandlung von Mikroverunreinigungen nur die Ozonung verwendet wird

A 3.5 Sensitivitätsanalyse der Kostenschätzung – Ausbauszenario A

Für die Sensitivitätsanalyse des Ausbauszenarios A werden der Einfluss der mittleren Lebensdauer und des Zinssatzes bestimmt, indem diese Grössen variiert werden. Die Jahreskosten werden dazu in einem Fall für eine mittlere Lebensdauer von 25 statt 33 Jahren und im anderen Fall für einen Zinssatz von 2.5% statt 4% ermittelt.

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass eine deutliche Änderung der mittleren Lebensdauer oder des Zinssatzes einen geringen Einfluss auf die Jahreskosten hat, der sich im Genauigkeitsbereich der Kostenschätzungen bewegt.

Tabelle 8: Zusammenstellung der Resultate der Sensitivitätsanalyse des Ausbauszenarios A.

	Einheit	Total	K(kriterium) 1	K2	K3	K4
Jahreskosten	(CHF/a)	129 000 000	43 000 000	26 000 000	53 000 000	6 000 000
Jahreskosten_25J ³	(CHF/a)	140 000 000	46 000 000	29 000 000	58 000 000	7 000 000
Jahreskosten_2.5% ⁴	(CHF/a)	120 000 000	41 000 000	25 000 000	49 000 000	5 000 000

³ Jahreskosten, wenn die mittlere Lebensdauer der Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser 25 Jahre beträgt.

⁴ Jahreskosten, wenn zur Schätzung der Zinskosten ein Zinssatz von 2.5% verwendet wird.

A 4 Literatur

BAFU 2009: Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Bewertung und Reduktion der Schadstoffbelastung aus der Siedlungsentwässerung. Umwelt-Wissen Nr. 0917. Bundesamt für Umwelt, Bern, 2009..

Hunziker 2008: Massnahmen in ARA zur weitergehenden Elimination von Mikroverunreinigungen – Kostenstudie, Winterthur, Oktober 2008.

VSA/FES 2006: Definition und Standardisierung von Kennzahlen für die Abwasserentsorgung – Empfehlung, Zürich, Bern, September 2006.

VSA/KI 2011: Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung, Erhebung 2010, Bern, 2011.