



ABWASSERWERK ROSENBERGSAU

Abwasserreinigungsanlage (ARA) Rosenbergsau

Strategie Zukunft - Mikroverunreinigungsbehandlung

Variantenstudium, Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen

IMPRESSUM



Pöyry Schweiz AG

Hardturmstrasse 161, Postfach
CH-8037 Zürich
Tel. 044 355 55 55
Fax 044 355 55 56

A handwritten signature in blue ink that reads "T. Morgenthaler".

Thomas Morgenthaler
Mitglied der Geschäftsleitung
thomas.morgenthaler@poyry.com
Tel. direkt: +41 (0)76 356 22 79

A handwritten signature in black ink that reads "Samuel Huber".

Samuel Huber
Projektingenieur
samuel.huber@poyry.com
Tel. direkt: +41 (0)78 706 31 35

Status	Version	Datum	Änderungen	Visum
Entwurf	00	20.12.2013		HBS / MRT
Abgabe	01	17.07.2014	Anpassungen an veränderte gesetzliche Rahmenbedingungen, ökotoxikologische Untersuchungen	HBS / LKK / MRT

Copyright © Pöyry Schweiz AG

Sämtliche in diesem Bericht enthaltenen Informationen sind vertraulich und ausschliesslich für die Nutzung durch den Empfänger bestimmt. Der Empfänger kann die im Bericht enthaltenen Informationen an die Geschäftsleitung, Behörden, Mitarbeitende oder professionelle Berater weiterleiten, sofern er diese Personen über die Vertraulichkeit dieser Informationen unterrichtet.

Alle Rechte bleiben vorbehalten. Dieser Bericht ist urheberrechtlich geschützt. Eine teilweise oder vollständige Vervielfältigung ist nur mit schriftlicher Genehmigung von Pöyry zulässig.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	ZUSAMMENFASSUNG	5
2.	EINLEITUNG	7
2.1	Zielsetzung	8
2.2	Vorgehen	8
2.3	Zugehörige Dokumente	8
3.	GRUNDLAGEN	9
3.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	9
3.1.1	<i>Messkampagnen vom Amt für Umwelt und Energie des Kantons St. Gallen</i>	10
3.2	Einleitbedingungen	11
3.3	Überprüfung biologische Reinigung	12
3.3.1	<i>Abwassermenge und Frachtbelastung</i>	12
3.3.2	<i>Belebungsbecken und Nachklärung</i>	12
3.3.3	<i>Reinigungsleistung</i>	13
3.4	Dimensionierungsgrundlagen biologische Reinigung	13
3.5	Dimensionierungsgrundlagen Mikroverunreinigungen	14
3.5.1	<i>Festlegung der Abwassermenge</i>	14
3.5.2	<i>Zulaufkonzentrationen</i>	17
4.	VERFAHRENSTECHNIK ZUR BEHANDLUNG VON MIKROVERUNREINIGUNGEN	18
4.1	Überblick über Verfahren	19
4.1.1	<i>Adsorptive Verfahren</i>	19
4.1.2	<i>Oxidative Verfahren</i>	20
4.1.3	<i>Physikalische Verfahren</i>	21
4.1.4	<i>Biologische Verfahren</i>	21
4.1.5	<i>Kombiverfahren</i>	21
4.2	Nachbehandlungsstufe	22
4.2.1	<i>Raumfiltration</i>	22
4.2.2	<i>Flächenfiltration (Mikrosiebung und Tuchfilter)</i>	22
5.	VORAUSWAHL VARIANTEN	24
5.1	Bewertungskriterien	24
5.2	Verfahrensvarianten Behandlungsstufe Mikroverunreinigungen	24
5.3	Darstellung und Bewertung der Verfahren	25
5.4	Steckbriefe	25
5.5	Ergebnismatrix Behandlungsstufe Mikroverunreinigungen	38
5.6	Verfahrensauswahl für die Nutzwertanalyse	40
6.	DETAILANALYSE VARIANTEN	41
6.1	Beschreibung der Varianten	41
6.1.1	<i>PAK mit Lamellenabscheider und Raumfiltration (Variante 1)</i>	41
6.1.2	<i>PAK mit Raumfiltration (Variante 2)</i>	42
6.1.3	<i>Ozonung mit Raumfiltration (Variante 3)</i>	43
6.1.4	<i>Ozonung, Wirbelbett, Flächenfiltration (Variante 4)</i>	44

6.2	Kostenermittlung.....	45
6.2.1	<i>Investitionskosten</i>	45
6.2.2	<i>Betriebskosten</i>	46
6.2.3	<i>Jahreskosten</i>	47
6.3	Energieverbrauch	49
6.4	Metabolitbildung bei Ozonung	51
7.	BEURTEILUNG DER BEHANDELBARKEIT DES ABWASSERS MIT OZON.....	52
8.	DISKUSSION DER BESTVARIANTE	54
9.	EMPFEHLUNGEN UND WEITERES VORGEHEN	57
10.	GLOSSAR	58
11.	LITERATUR	60
11.1	Grundlagen Mikroverunreinigungen.....	60
11.2	Verfahren zur Behandlung von Mikroverunreinigungen	60
11.3	Kosten	60
11.4	Energie	60
12.	ANHANG	62
12.1	Kenndaten ARA Rosenbergsau.....	62
12.2	Einwohnerstatistik.....	64
12.3	Überprüfung biologische Reinigung.....	65
12.4	Verteilung der Zuflussmengen 2010, 2011, 2012.....	67
12.5	Dimensionierungszuflussmenge Teilstrombehandlung	69
12.5.1	<i>Berechnungsansatz nach VSA</i>	69
12.5.2	<i>Ammoniumansatz</i>	70
12.5.3	<i>Plausibilisierung der zu behandelnden Abwassermenge</i>	72
12.6	Dimensionierung Verfahrensvarianten.....	74
12.6.1	<i>Varianten mit PAK</i>	74
12.6.2	<i>Varianten mit Ozonung</i>	77
12.7	Einfluss der PAK Rückführung.....	79
12.7.1	<i>Belebungsbecken</i>	79
12.7.2	<i>Schlammfaulung</i>	79
12.8	Einfluss einer zusätzlichen Filtrationsstufe auf die Nachklärung	79
12.9	Messkampagnen Amt für Umwelt und Energie St. Gallen.....	80
12.9.1	<i>Messkampagne 2012 – Ergebnisse für die ARA Rosenbergsau</i>	82
12.10	Liegenschaften und Platzreserven.....	84
12.11	Details Investitionskostenrechnung.....	87
12.12	Details Betriebskostenrechnung	88
12.13	Groblayouts	92

1. ZUSAMMENFASSUNG

Ausgangslage und Zielsetzung

Mit der Revision von Gewässerschutzgesetz (GSchG) und Gewässerschutzverordnung (GSchV) wird ab voraussichtlich anfangs 2016 die Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasserwerk Rosenbergsau notwendig. In der vorliegenden Studie werden die erforderlichen Massnahmen evaluiert und die bestgeeigneten Lösungsvorschläge dargestellt. Die Erkenntnisse sollen dem Abwasserwerk Rosenbergsau und seinen Entscheidungsgremien als Steuerungsinstrument für eine gezielte Planung und Umsetzung aus technischer, finanzieller und organisatorischer Sicht dienen. Bei der Untersuchung und Evaluation der technischen Lösungsansätze sollen die aktuellsten Kenntnisse aus Forschung und Entwicklung sowie aus Pilotversuchen einfließen.

Als besondere Randbedingung hinsichtlich der Behandlung von Mikroverunreinigungen liegen in der ARA Rosenbergsau vor: Die biologische Stufe und Nachklärung sind gut ausgelastet; der Industrieanteil liegt sehr hoch (grösser 50%); Nitritablaufwerte liegen relativ hoch, teilweise kommt es zu Richtwertüberschreitungen; es liegen Messungen zu spezifische Mikroverunreinigungen vor (Messkampagnen Kanton St. Gallen, 2009, 2010 und 2012).

Variantenstudium, Nutzwertanalyse und Bestvariante

In einem zweistufigen Auswahlverfahren werden zunächst zwölf Verfahrensvarianten in Steckbriefen beschrieben und deren Machbarkeit sowie Vor- und Nachteile bezüglich der Behandlung von Mikroverunreinigungen aufgezeigt. Mittels Bewertung von sechs Kriterien werden in dieser Vorauswahl vier Verfahrensvarianten identifiziert, die in einer anschliessenden Nutzwertanalyse detaillierter untersucht werden (mit verfahrenstechnischem Beschrieb, Groblayouts und Kostenermittlung).

Aus der Nutzwertanalyse und in Bezug auf die Jahreskosten ergibt sich als Bestvariante die **Ozonung mit Raumfiltration**. Die besonderen Vorteile dieser Variante liegen darin, dass keine zu entsorgenden Stoffe anfallen, der Einfluss auf die biologische Reinigungsstufe und die Schlammbehandlung gering und der Platzbedarf relativ klein ist. Nachteilig hingegen sind der relativ hohe Energieverbrauch und die erhöhten Anforderungen an den Arbeitsschutz.

Mit dem aktuellen Wissensstand zur Ozonung von Abwasser zur Elimination von Mikroverunreinigungen kann die Unbedenklichkeit der Ozonung nicht abschliessend geklärt werden. Mittels zusätzlichen ökotoxikologischen Untersuchungen (Labortests) konnte allerdings gezeigt werden, dass keine bekannten, unerwünschten Nebenprodukte oder erhöhte Toxizität aus der Ozonbehandlung resultiert und dieses Behandlungsverfahren für die ARA Rosenbergsau weiterverfolgt werden kann.

Auslegungsmerkmale der Mikroverunreinigungsstufe

Die Dimensionierungswassermenge für die Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen beeinflusst die Grösse der neuen Bauwerke und Installationen und ist ein wesentlicher Faktor der zu erwartenden Investitions- und Jahreskosten. Um das Reinigungsziel für Mikroverunreinigungen (Elimination von mehr als 80%) möglichst wirtschaftlich zu erreichen, kann die Anlage auf Teilstrombehandlung ausgelegt werden. Dabei ist die Dimensionierungswassermenge kleiner als die maximal behandelbare Abwassermenge der biologischen Stufe. Bei Zulaufmengen über der maximalen Abwassermenge der Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen wird ein Teil des Abwassers über einen Bypass geführt. Da bei einer Beprobung bei Regenwetter die Einhaltung der geforderten Eliminationsleistung bei Teilstrombehandlung nicht sichergestellt werden kann, ist eine Vollstrombehandlung vorzuziehen.

Ob eine Vollstrom- oder Teilstrombehandlung im Vordergrund steht, ist abhängig von den gesetzlichen Rahmenbedingungen, insbesondere der Art der Probenahme (z. B. nur bei Trockenwetter oder unabhängig von Wetterbedingungen) und der Bestimmung der Eliminationsleistung (Beurteilung der

Eliminationsleistung der Einzelstoffe als Mittelwert je Probenahme oder als Jahresmittel, Wahl der Indikatorsubstanzen), aber auch davon, welche Investitionskosten von Kanton resp. Bund als subventionsberechtigt angesehen werden. Der Subventionsanteil soll bei 75 % der subventionsberechtigten Erstinvestitionen liegen.

Investitions- und Betriebskosten

Für die Bestvariante Ozonung mit Raumfiltration ergeben sich gemäss erster Kostenschätzung (Preisbasis 2. Quartal 2014, Genauigkeit $\pm 25\%$) Investitionskosten CHF von 11.3 Mio. Je nach Ausgestaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen und der Subventionsberechtigung der Kosten verbleibt ein Investitionskostenanteil für das AWR zwischen CHF 2.4 Mio. und 4.2 Mio.

Die Betriebskosten liegen bei CHF/a 360'000.-, die Jahreskosten zwischen CHF/a 510'000.- und 637'000.-.

Zur wirtschaftlichen Optimierung der Bestvariante ergeben sich diverse Möglichkeiten (Vorfiltration, Nachbehandlung mit GAK-Filter, Nachbehandlung mit Wirbelbett), deren Wirtschaftlichkeit mit Pilotversuchen geprüft werden kann.

Termine

Für die Bauausführung der vorgeschlagenen Bestvariante Ozonung mit Raumfiltration ist ungefähr mit 2 bis 3 Jahren Bau- und Installationszeit zu rechnen. Vorgängig ist eine Projektierungsphase von ca. 1.5 Jahren vorzusehen, so dass ab Projektierungsstart ein Zeitbedarf von 3.5 bis 4.5 Jahren bis zur Inbetriebnahme geplant werden sollte.

Weiteres Vorgehen

Neben der Entscheidung, ob und welche Optimierungsmöglichkeiten für die Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen im weiteren Projektverlauf geprüft werden sollen, empfiehlt sich mit dem vorliegenden Wissensstand, das weitere Vorgehen mit dem Amt für Umwelt und Energie (AfU) des Kantons St. Gallen zu besprechen. Wesentliche Diskussionspunkte sind dabei:

- die Ausgestaltungen des gesetzlichen Rahmens und die Definition der subventionsberechtigten Investitionen
- die Festlegung der Dimensionierungswassermengen und die Entscheidung betreffend Vollstrom- oder Teilstrombehandlung
- die Durchführung von Pilotversuchen zur Erhärtung von Grundlagen und zur Optimierung der weitergehenden Projektierung und späteren Realisierung, sowie der Investitionskosten.

2. EINLEITUNG

Mikroverunreinigungen sind ein Sammelbegriff für organische Spurenstoffe und Schwermetalle. Diese Mikroverunreinigungen stammen aus Bioziden und Pestiziden, Arzneimitteln, Kosmetika (z.B. Cremes mit Nanopartikeln, Zahnpasta), Reinigungsmittel, Flammenschutzmitteln, Korrosionsschutzmitteln etc. Produkte mit über 30'000 solcher Spurenstoffe sind in der Schweiz täglich in Gebrauch. Die Mikroverunreinigungen gelangen einerseits über die Siedlungswasserwirtschaft (Abläufe von ARA, Mischwasserentlastungen und undichte Kanalisationen) und andererseits über diffuse Quellen (z.B. durch Abschwemmung von landwirtschaftlichen Nutzflächen) in Gewässer und Böden.

Die Einträge von Mikroverunreinigungen sollten so weit wie möglich minimiert werden, da sie bereits in sehr tiefen Konzentrationen sowohl auf die aquatischen Lebewesen als auch auf den Menschen nachteilig einwirken. Die Erforschung der Einwirkungen von einzelnen Mikroverunreinigungen resp. deren kumulierte Wirkung (Cocktail-Wirkung) ist derzeit in vollem Gange. Bei den direkt betroffenen aquatischen Lebewesen wurde bereits beobachtet, dass insbesondere endokrine, also auf das Hormonsystem wirkende Stoffe, zu Veränderungen der Geschlechtsorgane führen. Andere Mikroverunreinigungen hemmen die Photosynthese von Algen (Herbizide), schädigen das Nervensystem von Wassertieren (Insektizide), verursachen Nierenschäden bei Fischen (Schmerzmittel Diclofenac), beeinträchtigen die Fortpflanzung von Wasserlebewesen (Flammenschutzmittel) und können Verhaltensstörungen oder Schädigungen des Immunsystems hervorrufen.

In wieweit die nachteiligen Effekte von Mikroverunreinigungen sich auf den Menschen direkt auswirken ist nicht abschliessend geklärt. Da allerdings viele Oberflächengewässer in Kontakt mit dem Grundwasser stehen und teilweise auch als Trinkwasser genutzt werden, ist auch im Hinblick auf die Gesundheit des Menschen ein möglichst geringer Eintrag von Mikroverunreinigungen anzustreben.

Auch der Bund hat diese Problematik wahrgenommen und ist zurzeit an der Bearbeitung eines Gesetzes, welches den Eintrag von Mikroverunreinigungen in die Gewässer um 50% reduzieren soll. Dies soll mit der Ausrüstung von ca. 100 der rund 700 öffentlichen Schweizer ARAs mit einer zusätzlichen Behandlungsstufe für die Entfernung von Mikroverunreinigungen umgesetzt werden. Die neue Gesetzgebung (Anpassung Gewässerschutzgesetz GSchG und Gewässerschutzverordnung GSchV) wird voraussichtlich anfangs 2016 in Kraft treten.

Mit einem Schreiben vom 27.06.2012 hat das Amt für Umwelt (AfU) St. Gallen das Abwasserwerk Rosenbergsau informiert, dass die ARA Rosenbergsau zu den Anlagen gehört, welche zukünftig mit einer Spurenstoffbehandlungsstufe ergänzt werden müssen. Um dieser zukünftigen Ausbaupflicht nachzukommen, hat das Abwasserwerk Rosenbergsau die Pöyry Schweiz AG beauftragt, die strategische Planung der Abwasserreinigung unter dem Gesichtspunkt der Auflage zur Elimination von Mikroverunreinigungen vorzunehmen.

2.1 Zielsetzung

Mit der Analyse der Abwasserreinigung des Abwasserwerks Rosenbergsau unter dem Aspekt der neuen Gewässerschutzverordnung soll die zukünftige Ausrichtung der ARA und deren Anpassungen zur gesetzeskonformen Behandlung der Abwässer aus dem Einzugsgebiet (Politische Gemeinden Au, Balgach, Berneck, Diepoldsau, Marbach, Oberegg, Rebstein, Reute und Widnau) untersucht werden. Dabei sollen die erforderlichen Massnahmen evaluiert und die bestgeeigneten Lösungsvorschläge ausgearbeitet werden. Die Erkenntnisse sollen dem Abwasserwerk Rosenbergsau und seinen Entscheidungsgremien als Steuerungsinstrument dienen, welches die Massnahmen und die notwendigen finanziellen Auswirkungen aufzeigen und eine gezielte Planung und Umsetzung aus technischer, finanzieller und organisatorischer Sicht empfehlen. Bei der Untersuchung und Evaluation der möglichen, technischen Lösungsansätze sollen die aktuellsten Kenntnisse aus Forschung und Entwicklung sowie aus Pilotversuchen einfließen.

2.2 Vorgehen

Um das für die Bedürfnisse der ARA Rosenbergsau am besten geeignete Verfahren für die Behandlung von Mikroverunreinigungen zu finden, wird in dieser Studie ein zweistufiges Auswahlverfahren verwendet. Zunächst werden zwölf Verfahrensvarianten in Steckbriefen beschrieben und deren Machbarkeit und Vor- und Nachteile bezüglich der Behandlung von Mikroverunreinigungen in der ARA Rosenbergsau aufgezeigt. Mittels Bewertung von 6 Kriterien werden in dieser Vorauswahl 4 Verfahrensvarianten identifiziert, die in einer anschliessenden Nutzwertanalyse detaillierter evaluiert werden (mit verfahrenstechnischem Beschrieb, Groblayouts und Kostenermittlung). Anhand der Ergebnisse der Nutzwertanalyse kann dann das bestgeeignete Verfahren gewählt werden (eventuell auch mehrere), das in weiteren Projektierungsphasen weiterverfolgt werden soll.

Folgende Randbedingung hinsichtlich der Behandlung von Mikroverunreinigungen liegen in der ARA Rosenbergsau vor:

- Die biologische Stufe und Nachklärung sind voll ausgelastet.
- Der Industrieanteil liegt sehr hoch (grösser 50%).
- Nitritablaufwerte liegen relativ hoch, teilweise kommt es zu Richtwertüberschreitungen.
- Es liegen Messungen zu spezifische Mikroverunreinigungen vor (Messkampagnen Kanton St. Gallen, 2009, 2010 und 2012).

2.3 Zugehörige Dokumente

- Schreiben vom 27.06.2012, Amt für Umwelt und Energie (AfU) St. Gallen
- Spurenstoffe im Abwasser - Suche nach relevanten Emissionsquellen (Messkampagne 2012)
- Mikroverunreinigungen im gereinigten Abwasser von kommunalen ARA (Messkampagne 2010)
- Mikroverunreinigungen im gereinigten Abwasser von kommunalen ARA (Messkampagnen 2009)

3. GRUNDLAGEN

3.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die neue Gesetzgebung bezüglich der Elimination von Mikroverunreinigungen (Anpassung Gewässerschutzgesetz GSchG und Gewässerschutzverordnung GSchV) soll voraussichtlich anfangs 2016 in Kraft treten. Für ARAs, die eines der folgenden Kriterien erfüllen, ist eine Erweiterung vorzusehen:

- Mehr als 80'000 angeschlossene Einwohner
- Mehr als 24'000 angeschlossene Einwohner und Ablauf in ein Einzugsgebiet mit Seen (Ausnahmen vom Kanton bestimmbar)
- Mehr als 8'000 angeschlossene Einwohner mit Vorflut, bei welcher das gereinigte Abwasser mehr als 10% des Abflusses beträgt (Kanton für Planung zuständig)
- Mehr als 1'000 angeschlossene Einwohner mit Standort in ökologisch sensiblen Gebieten oder an die für die Trinkwasserversorgung wichtigen Gewässern (Entscheid des Kantons)

Um eine verursachergerechte Finanzierung zu erzielen, sieht die GSchG folgende Regelung vor:

- Abgabenerhebung von max. 9.00 CHF/E/a ab 01.01.2016 für Einwohner, die an eine ARA angeschlossen sind (siehe Art. 60b GSchG)
- Subventionierung von 75 % der Erst-Investitionskosten aus Bundesfonds nach Anlageninbetriebnahme und Abschluss
- Inhaber von zentralen Abwasserreinigungsanlagen, die Massnahmen nach Artikel 61a GSchG getroffen und die entsprechende Schlussabrechnung über die getätigten Investitionen bis am 30. September eines Kalenderjahres eingereicht haben, sind ab dem nachfolgenden Kalenderjahr von der Abgabepflicht befreit.

Die oben angeführten Kriterien für ARAs, die eine Eliminationsstufe vorsehen sollen, werden in der GSchV geregelt. Es ist zu erwarten, dass in der GSchV (Stand Frühjahr 2014) folgende Anforderungen formuliert werden (überarbeiteter Entwurf der GSchV soll im Spätsommer 2014 publiziert werden):

- Es werden Kriterien festgelegt, welche ARAs eine Eliminationsstufe vorzusehen haben
- Die mittlere Eliminationsleistung der ausgewählten Indikatorsubstanzen muss 80% betragen (bezogen auf die Einzelbeprobung, kein Jahresmittel). Die Beprobungsdauer liegt bei 48 h (ggf. 72 h), um Regenwettereinflüsse mit Frachtschüssen zu reduzieren.
- Es werden 12 Indikatorsubstanzen festgelegt, von denen der Kanton im Minimum 5 auswählt.

Gegenüber dem GSchV-Entwurf vom 18.11.2009 wird eine Verschärfung des GUS-Ablaufwertes auf 5 mg/l und des Ammoniumwertes auf 1 mg NH₄-N/l nicht mehr vorgesehen.

Mit einem Schreiben vom 27.06.2012 hat das Amt für Umwelt (AfU) St. Gallen das Abwasserwerk Rosenbergsau informiert, dass die ARA Rosenbergsau zu den Anlagen gehört, welche zukünftig mit einer Spurenstoffbehandlungsstufe ergänzt werden müssen. Entscheidend für diese Auswahl ist das Kriterium, dass mehr als 24'000 Einwohner an die ARA angeschlossen sind, und dass die gereinigten Abwässer via Binnenkanal in den Bodensee abgeleitet werden.

3.1.1 Messkampagnen vom Amt für Umwelt und Energie des Kantons St. Gallen

Bereits 2009 und 2010 wurden bei fast allen Abläufen der ARA im Kanton St. Gallen und bei einigen Abläufen von ARA der Kantone Appenzell Ausserrhoden und Innerrhoden Messkampagnen durchgeführt, um die Konzentrationen an perfluorierten Tensiden (PFT), verschiedenen Pflanzenschutzmitteln und Bioziden zu messen. Je sieben mengenproportionale Proben wurden in der Woche vom 10. bis 16. August 2009 und in der Woche vom 25. bis 31. Mai 2010 mittels fest installierter Probennehmern entnommen. Von jedem der sieben Tage wurde das gleiche Volumen einer Probe zu einer Wochensammelprobe gemischt. Kurz vor Beginn der Messkampagne in 2009 fand ein grösseres Regenereignis statt. Auch 2010 fand in der Messwoche ein Regenereignis mit ähnlicher Intensität statt, welches jedoch länger andauerte. Regenereignisse tragen zu einer Verdünnung der Konzentration an Mikroverunreinigungen bei und in den Proben sind vermehrt Substanzen enthalten, welche nur bei Regen abgeschwemmt werden.

2009 wurde zusätzlich eine Kampagne im Februar durchgeführt, mit welcher in erster Linie relevante Punkteinleiter von perfluorierten Stoffen festgestellt werden sollten. Gemeinsam mit den betroffenen Industriebetrieben war es anschliessend möglich, gemessene problematische Einträge zu reduzieren.

Bei dieser Messkampagne 2009 wurden allerdings bei weitem nicht alle Industriebetriebe erfasst, die Mikroverunreinigungen einleiten (z.B. Textil- und metallverarbeitende Industrie und Stoffe aus Arzneimitteln).

2012 wurde eine weitere Messkampagne durchgeführt, um auch die 2009 nicht erfassten Stoffe zu messen. Bei dieser Messkampagne wurden die Abläufe der ARA auch auf Stoffe aus der textil- und metallverarbeitenden Industrie und Stoffe aus Arzneimitteln untersucht. In der Woche vom 14. bis 20. August 2012 wurden mittels der gleichen Probenahme wie in 2009/2010 den ARA-Abläufen Proben entnommen und untersucht. In dieser Woche fand auch ein Regenereignis mit bis knapp 40 mm/d statt.

Bei folgenden Stoffen wurde 2012 im Ablauf der ARA Rosenbergsau eine im Vergleich zu den anderen ARA im Kanton St. Gallen erhöhte Konzentration gemessen (grösser als 90 % Quantil): Cybutryn (Irgarol), Benzotriazol, Triethylphosphat, AOX (siehe auch **Tabelle 3-1**). Benzotriazol und auch Terbutryn lagen zudem über dem Beurteilungswert und Cybutryn (Irgarol) und Diclofenac sogar über dem 10-fachen Beurteilungswert. Der Beurteilungswert gibt eine Art Grenzwert für einen Stoff auf Grundlage von ökotoxikologischen Untersuchungen an.

Tabelle 3-1: Art und Herkunft der Stoffe, die in den Messkampagnen des Kanton St. Gallen in 2012 gegenüber des Beurteilungswertes resp. gegenüber des 90 % Quantils erhöhte Konzentrationen aufwiesen

Stoffart	Stoffgruppe bzw. Anwendung	Überschreitungen
AOX	Chemischer Summenparameter (Halogene)	Über 90 % Quantil
Benzotriazol	Korrosionsschutzmittel und Zusatz in Geschirrspülmitteln	Über BW, über 90 % Quantil
Cybutryn (Irgarol)	Algizid / Herbizid	Über 10-fachem BW, über 90 % Quantil
Diclofenac	Analgetikum (Arzneimittel)	Über 10-fachem BW
Terbutryn	Herbizid	Über BW
Triethylphosphat	Additiv (Industriechemikalie, v.a. bei der Kettensynthese und in der Kunststoffindustrie)	Über 90 % Quantil

Das Amt für Umwelt und Energie des Kantons St. Gallen sieht vor allem bei Cybutryn Handlungsbedarf. Vor Ergreifen von Massnahmen sollten zunächst weitere Abklärungen gemacht werden. Anschliessend müssen Vorkehrungen zur Reduktion der Mikroverunreinigung entweder durch Massnahmen an der Quelle oder durch Massnahmen bei der ARA Rosenbergsau getroffen werden.

Unter diesen Stoffen sind auch zwei der für die Änderung des Gewässerschutzgesetzes vorgeschlagenen Indikatorsubstanzen (**Tabelle 3-2**). Derzeit ist vorgesehen, dass es eine Stoffliste von rund 12 Substanzen geben wird, von denen mindestens 5 von den Vollzugsbehörden für die Überwachung der Reinigungsleistung bestimmt werden müssen.

Tabelle 3-2: Mögliche Indikatorsubstanzen, die in das geänderte Gewässerschutzgesetz eingehen

Stoffart	Anwendung
Atenolol	Betablocker
Benzotriazol	Korrosionsschutzmittel und Zusatz in Geschirrspülmitteln
Carbamazepin	Antiepileptikum
Clarithromycin	Antibiotikum
Diclofenac	Analgetikum (Arzneimittel)
Mecoprop	Pflanzenschutzmittel und Materialschutz
Metoprolol	Betablocker
Sulfamethoxazol	Antibiotikum
Venlafloxin	Antidepressivum

3.2 Einleitbedingungen

In **Tabelle 3-3** sind die heutige geltenden und provisorischen zukünftigen Grenzwerte zusammengestellt. Im Zuge der zukünftigen Behandlung von Mikroverunreinigungen könnten ggf. auch noch Verschärfungen der Einleitbedingungen für CSB_{tot} und GUS.

*Tabelle 3-3: Geltende Grenzwerte nach der Gewässerschutzverordnung (GSchV) und provisorische Grenzwerte in der Zukunft.**

Parameter	Heute geltende Grenzwerte		zukünftige Grenzwerte (provisorisch)	
	mg/l	%	mg/l	%
BSB ₅	15 ⁽¹⁾	93	15 ⁽¹⁾	93
CSB _{tot}	60	-	45	-
DOC	10	85	10	85
P _{tot}	0.3 ⁽¹⁾	95	0.3 ⁽¹⁾	95
GUS	15	-	(5) / 15 ⁽²⁾	-
NH ₄ ⁺ -N	2	90	2	90
NO ₂ ⁻ -N (Richtwert)	0.3	-	0.3	-
N _{tot}	-	-	-	-
AOX	0.08	-	0.08	-

Parameter	Heute geltende Grenzwerte		zukünftige Grenzwerte (provisorisch)	
	mg/l	%	mg/l	%
Mikroverunreinigungen	-	-	-	80 ⁽³⁾

⁽¹⁾ Werte gemäss internationaler Gewässerschutzkommission für den Bodensee (interkantonale Vereinbarung zum Schutz des Bodensees); Diese sind strenger als vom Kanton verfügt

⁽²⁾ Verschärfung der Abflusskonzentration für GUS auf 5 mg/l gemäss Entwurf GSchV 18.11.2009, nach Stand Frühjahr 2014 wird die Verschärfung des GUS-Wertes in der GSchV nicht mehr gefordert werden.

⁽³⁾ Details zum aktuellen Stand bezüglich gesetzlichen Vorgaben zu den Schadstoffen sind in Kapitel 3.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen genauer beschrieben

3.3 Überprüfung biologische Reinigung

3.3.1 Abwassermenge und Frachtbelastung

Die ARA Rosenbergsau wurde im ersten Halbjahr 2012 im Bereich der biologischen Reinigungsstufe angepasst zwecks Steigerung der Kapazität. Durch den Ausbau und die Produktionssteigerungen bei der Rauch AG war ab etwa Mitte 2012 mit zusätzlichen Schmutzstofffrachten zu rechnen.

Die Auswertung der Betriebsdaten des Jahres 2012 und des ersten Quartals 2013 zeigt einen Anstieg der Abwassermengen im Zulauf der ARA (siehe **Abbildung 12-1** im Anhang). Dieser ist höher als die von Rauch Trading AG zu erwartenden Abwassermengen und kann eher auf jahreszeitliche Zuflussschwankungen zurückgeführt werden.

Im selben Zeitraum zeigten sich verstärkte Frachtschwankungen bei den organischen Schmutzstoffen (CSB), insbesondere in der Anfangsphase der gesteigerten Produktion der Rauch Trading AG (siehe **Abbildung 12-2** und **Abbildung 12-3** im Anhang).

Durch die regelmässigen und teilweise deutlichen Überschreitungen der maximalen Schmutzfracht von 4'500 kg/d bereits vor der Produktionssteigerung fällt die Frachtzunahme weniger ausgeprägt aus, als sie hätte erwartet werden können. Die getrennte Auswertung des ersten und zweiten Halbjahres 2012 zeigt eine leichte Zunahme der CSB-Frachten von etwa 10%. Die Auswertungen sind in **Tabelle 12-2** im Anhang zusammengefasst.

3.3.2 Belebungsbecken und Nachklärung

Die Nachklärbecken stellen den „Flaschenhals“ der biologischen Reinigungsstufe dar. Sie sind aus heutiger Sicht knapp bemessen, insbesondere bezüglich der Feststoffbelastung und der geringen Beckentiefe von lediglich 2.5 m. Die Schlammvolumenindices (SVI) sind vor allem im Sommer sehr tief, im Winterhalbjahr erreichen sie allerdings erhöhte Werte von bis zu 160 ml/g.

Zusätzliche Belastungen der Nachklärung durch erhöhte Feststoffkonzentrationen in den Belebungsbecken (z.B. durch Rückführung oder Direkt dosierung von PAK) oder erhöhte hydraulische Belastungen (z.B. durch Spülwasser einer Filtration) können zu einer Überlastung der Nachklärung führen.

Wichtige Parameter der biologischen Stufe sind in **Tabelle 3-4** zusammengefasst.

Tabelle 3-4: Wichtige Parameter (Schlammalter SA, Trockensubstanz TS und Schlammvolumenindex SVI) der biologischen Stufe in 2010

Parameter	Einheit	2010
SA	d	15 – 16
TS	g/l	3.2 (2.5 – 4.5)
SVI	ml/g _{TSS}	80 (60 – 150)

3.3.3 Reinigungsleistung

Die ARA Rosenbergsau hat im Betriebsjahr 2012 trotz etappierter Umrüstungsmassnahmen in der biologischen Reinigungsstufe die gesetzlichen Anforderungen an die Einleitung von gereinigtem Abwasser in den Binnenkanal gut erfüllt. Sowohl die Grenzwerte als auch die Reinigungsleistungen konnten gesetzeskonform eingehalten werden. Die verzeichneten Grenzwertüberschreitungen ergaben sich weitestgehend während der Umrüstungsphase.

Tendenziell kritisch ist weiterhin die ausreichende Stabilität der Nitrifikation und die damit verbundenen erhöhten Nitrit-Ablaufwerte (13 Grenzwertüberschreitungen in 2012, siehe **Tabelle 3-8**). Dazu kommen relativ hohe GUS-Ablaufwerte (teilweise Grenzwertüberschreitungen, 2 in 2012). Diese Situation verschärft sich tendenziell durch erhöhte organische Frachten.

Die zulässige Anzahl Grenzwertüberschreitungen bei Nitrit und GUS beträgt jeweils 14. Die Anzahl Überschreitungen bei Nitrit ist nur knapp tolerierbar. Falls eine Verschärfung der GUS Ablaufkonzentration vorgesehen würde (zum jetzigen Wissensstand eher nicht), muss in der Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen zwingend eine Filtrationsstufe vorgesehen werden. Auch ohne strengere Einleitbedingungen für GUS kann eine Filtration sinnvoll sein, um die teilweise erhöhten Feststoffablaufwerte zu reduzieren.

Diese Umstände werden bei der Wahl der Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen bedeutend und müssen zwingend berücksichtigt werden.

3.4 Dimensionierungsgrundlagen biologische Reinigung

Der Dimensionierungshorizont 2025 und die relevanten Auslegungsdaten wie im Bauprojekt 2001 bzw. 2012 festgelegt, bleiben weiterhin unverändert. Der Vergleich der Rohabwasserfrachten der Jahre 2010 bis 2012 und der Auslegungskapazität 2025 verdeutlicht, dass die biologische Reinigungsstufe gut ausgelastet ist (**Tabelle 3-5** und **Tabelle 3-6**).

Tabelle 3-5: Hydraulische Auslegung der biologischen Stufe (Q_{RW}) und maximale Förderleistung der fünf Zulaufhebwerke inklusive Entlastung und Regenbeckenzulauf ($Q_{ARA,max}$) entsprechend Bauprojekt 2001 bzw. 2012

Parameter	Einheit	Wert
$Q_{TW,max}$	l/s	375
Q_{RW}	l/s	750
$Q_{ARA,max}$ (Schneckenpumpen 1-5)	l/s	2'330

Tabelle 3-6: Gemessene Werte im Rohabwasser (90%-Quantilwerte) bei Trockenwetter für 2010, 2011* und 2012 und Auslegungskapazität für 2025 gemäss technischem Bericht Bauprojekt 31.01.2012; EMC = Event Mean Concentration = 90%-Quantilwert der jeweiligen Fracht / 90%-Quantilwert der Abwassermenge. * 2011 nur 1. Halbjahr ausgewertet

90%-Zulaufwerte ARA (Rohabwasser)	Einheit	2010	2011*	2012	2025
Q _{TW}	m ³ /d	21'350	21'885	20'113	24'914
BSB ₅	kg/d	5'124	6'731	5'888	5'980
EMC	mg/l	240	308	293	280
CSB _{tot}	kg/d	10'883	13'734	11'345	12'700
EMC	mg/l	510	628	564	595
NH ₄ -N	kg/d	349	392	349	408
EMC	mg/l	16	18	17	19
NO ₃ -N	kg/d	26	29.9	13	21
EMC	mg/l	1.2	1.4	0.6	1.0

3.5 Dimensionierungsgrundlagen Mikroverunreinigungen

Relevante Einflussgrössen für die erreichbaren Gesamteliminationsleistung sind die Elimination in der biologischen Reinigungsstufe (>10 – 20 %) und die Elimination in der Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen (>80 – 90 %). Bei Teilstrombehandlung ist zusätzlich die Frachtverteilung relevant (z.B. Reduktion der Konzentration bei erhöhten Zuflussmengen).

3.5.1 Festlegung der Abwassermenge

Die Dimensionierungswassermenge für die Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen beeinflusst die Grösse der neuen Bauwerke und Installationen und ist ein wesentlicher Faktor der zu erwartenden Investitions- und Betriebskosten. Um das Reinigungsziel für Mikroverunreinigungen (Elimination von mehr als 80 %) möglichst wirtschaftlich zu erreichen, soll die Anlage nur auf die dafür notwendige, maximal behandelbare Abwassermenge ausgelegt werden.

Grundsätzlich ist eine Vollstrom- und eine Teilstrombehandlung möglich. Bei Vollstrombehandlung wird die Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen so gross dimensioniert, dass die maximal behandelbare Abwassermenge der biologischen Stufe vollständig behandelt werden kann. Bei Teilstrombehandlung ist die Dimensionierungswassermenge kleiner als die maximal behandelbare Abwassermenge der biologischen Stufe. Bei Zulaufmengen über der maximalen Abwassermenge der Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen wird ein Teil des Abwassers über einen Bypass geführt.

Da in der GSchV voraussichtlich die Eliminationsleistung auf die Einzelprobe (kein Jahresmittelwert) bezogen wird, ist diese auch bei Regenwetterbedingungen einzuhalten. Dadurch ist im Einzelfall zu prüfen, ob mit einer Teilstrombehandlung die geforderten Ziele erreicht werden können.

Im Folgenden werden beide Möglichkeiten Vollstrom- bzw. Teilstrombehandlung für die ARA Rosenbergau aufgezeigt:

Tabelle 3-7: Massgebende Zuflussmengen für die Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen bei Vollstrom- und Teilstrombehandlung; Der mittlere Trockenwetterzufluss wurde empirisch bestimmt (Summe der 20% und 50%-Quantilwerte der Mischwetterzuflüsse geteilt durch 2).

Parameter	Kürzel	Vollstrom		Teilstrom	
		l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h
Minimaler Trockenwetterzufluss	Q _{TW,min}	80		80	
Maximaler Trockenwetterzufluss	Q _{TW,max}	290		290	
Mittlere Zuflussmenge Trockenwetter	Q _{TW,Mittel}	200	720	200	720
Maximale Zuflussmenge MV-Stufe	Q _{MV,max}	750	2'700	400	1'440

Vollstrombehandlung

Die Zuflussmenge für Vollstrombehandlung beträgt **Q = 750 l/s** entsprechend der hydraulischen Auslegung der biologischen Reinigungsstufe. Es wird die gesamte in der biologischen Stufe behandelte Wassermenge auch in der Stufe für Mikroverunreinigungen behandelt.

Teilstrombehandlung

Bei der Teilstrombehandlung ist derzeit in Diskussion die 1.5- bis 2-fache Menge des mittleren Trockenwetteranfalls als Dimensionierungsmenge festzulegen (heutiger Zustand biologische Reinigungsstufe: $Q_{RW} = 3.9 \cdot Q_{TW,mittel}$). Für die ARA Rosenbergsau wird für die Teilstrombehandlung ein Dimensionierungszufluss von **Q = 400 l/s** vorgeschlagen.

In Anbetracht der im Entwurf GSchV 18.11.2009 angegebenen Verschärfung der Abflusskonzentration für gesamt ungelöste Stoffe (GUS < 5 mg/l) ist für die Filtration eine Vollstrombehandlung berücksichtigt (worst case mit maximalem Platzbedarf). Der Dimensionierungszufluss von 400 l/s (2 Q_{TW,Mittel}) wurde auf Basis der Analyse der ARA Daten ermittelt. Dabei waren die folgenden fünf Aspekte massgebend:

- Die mittlere Zuflussmenge bei Trockenwetter (Q_{TW,Mittel}) ist eine wichtige Bezugsgrösse für die Dimensionierung und lag in der ARA Rosenbergsau bei 191 l/s in 2010 resp. 193 l/s in 2012 (**Abbildung 3-1**). Um eine gewisse Zunahme der Abwassermenge zu berücksichtigen wurde der Wert auf 200 l/s aufgerundet.
- Der Quantilwert der täglichen mittleren Abwassermenge liegt für den Dimensionierungszufluss über 80% (**Abbildung 3-1**). Das bedeutet, dass in mehr als 80 % der Zeit die vollständige Abwassermenge behandelt wird.
- Mit zunehmendem Zufluss nimmt die Ammoniumkonzentration ab. Ab 400 l/s ist diese Abnahme allerdings nur noch geringfügig, die Ammoniumkonzentrationen im Zulauf zur ARA sind bei Zuflussmengen über 400 l/s um Faktor 3 und mehr verdünnt (siehe **Abbildung 3-2**). Damit wird nur noch ein sehr kleiner Teil der Fracht der Mikroverunreinigungen zusätzlich behandelt, wenn der Dimensionierungszufluss erhöht wird.
- Die Modellrechnung der erreichbaren Frachtreduktion (Ammoniumansatz nach VSA) ergibt für den gewählten Dimensionierungszufluss Werte über 80% (**Abbildung 3-3**).
- Der maximale tägliche Zufluss bei Trockenwetter Q_{TW,max} liegt mit ca. 290 l/s deutlich unter dem Dimensionierungszufluss für Teilstrombehandlung (400 l/s), sodass sichergestellt ist, dass die gesamte Abwassermenge bei Trockenwetter behandelt wird. Bei der Behandlung von lediglich 1.5 Q_{TW,Mittel} (300 l/s) besteht die Gefahr von häufiger Bypassnutzung um die Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen bei Trockenwetter.

Weitere Details zur Bestimmung der Dimensionierungszuflussmenge für Teilstrombehandlung sind in Anhang 12.5 zusammengestellt.

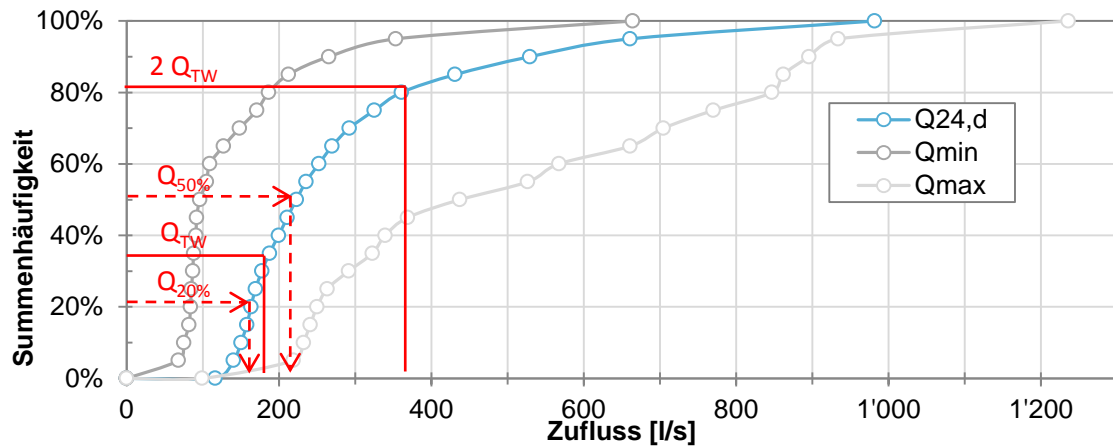


Abbildung 3-1: Summenhäufigkeiten der minimalen, mittleren und maximalen Mischwetterzuflüsse im Betriebsjahr 2012 mit grafischer Erläuterung des empirisch bestimmten Trockenwetteranfalls

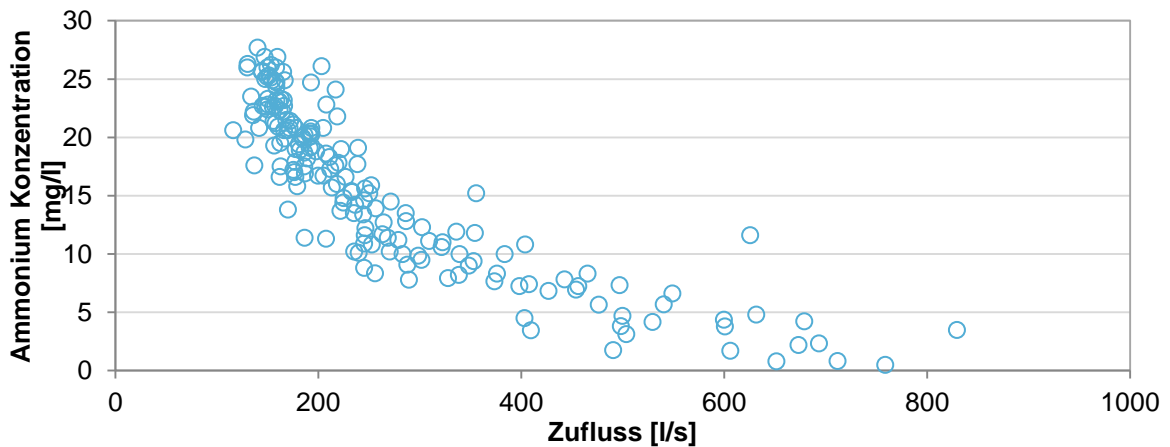


Abbildung 3-2: Ammoniumkonzentration im Zulauf zur ARA in Abhängigkeit der Zuflussmenge (Betriebsdaten 2012)

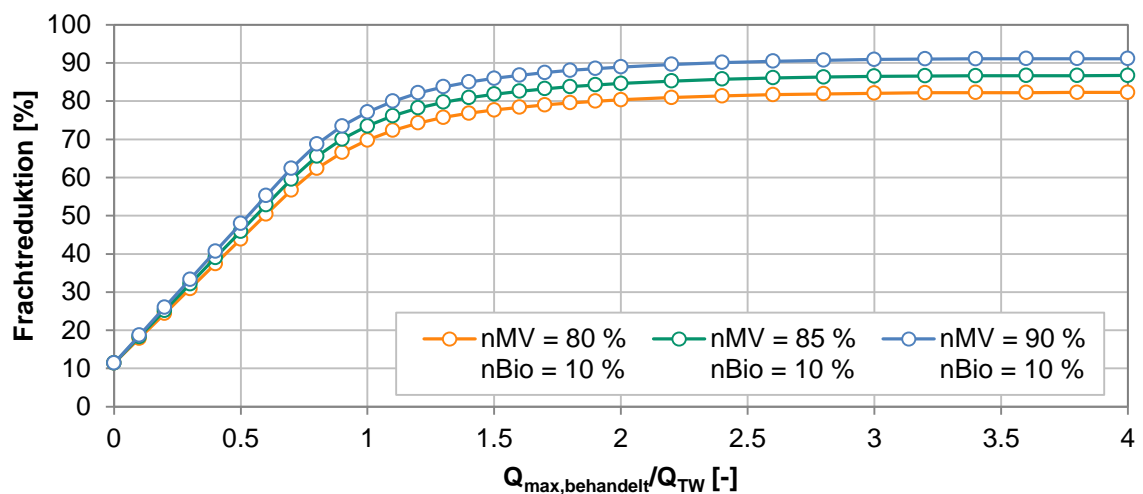


Abbildung 3-3: Frachtreduktion bei verschiedenen maximale behandelbaren Zuflussmengen zur Mikroverunreinigungsbehandlungsstufe und bei 10 % Eliminationsleistung der Biologie (η_{Bio}) und bei unterschiedlichen Eliminationsleistungen der Mikroverunreinigungsbehandlungsstufe (η_{MV})

3.5.2 Zulaufkonzentrationen

Die Zulaufkonzentrationen zur Mikroverunreinigungsstufe entsprechen den Konzentrationen im Ablauf Nachklärung (**Tabelle 3-8**). Für die Auslegung der Mikroverunreinigungsstufe sind besonders die Konzentrationen von DOC und Nitrit relevant, da sie den Verbrauch von Ozon bzw. die Hintergrundbelastung von Aktivkohle beeinflussen.

Tabelle 3-8: Messwerte (Mischwetter) im Ablauf der ARA im Betriebsjahr 2012 und die Anzahl an Grenzwertüberschreitungen

Parameter	Mittelwert	50%-Quantil	85%-Quantil	90%-Quantil	Grenzwertüberschreitungen
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
BSB ₅	1.3	0.6	2.50	3.10	1
CSB _{tot}	24	23	32	34	0
DOC	6.5	6.4	8.1	8.7	2
P _{tot}	0.17	0.15	0.23	0.26	7
GUS	6.1	6.0	8.0	10.0	2
NH ₄ ⁺ -N	0.31	0.04	0.45	0.9	3
NO₂⁻-N	0.14	0.07	0.23	0.28	13
N _{tot}	11.4	11.4	15.3	16.6	

4. VERFAHRENSTECHNIK ZUR BEHANDLUNG VON MIKROVERUNREINIGUNGEN

In diesem Kapitel werden die nach heutigem Kenntnisstand zur Elimination von Mikroverunreinigungen geeigneten Verfahren vorgestellt. Zusätzliche nachgeschaltete Reinigungsstufen (Filtration) werden ebenfalls beschrieben.

Mikroverunreinigungen im Abwasser lassen sich mit verschiedenen Verfahren entfernen (z.B. Aktivkohleverfahren) oder durch Umwandlung unschädlich machen (z.B. Ozonung). Einige dieser Verfahren werden bereits grosstechnisch angewendet. Für andere Verfahren sind vor einer grosstechnischen Anwendung noch weitere Forschungsergebnisse abzuwarten.

Mikroverunreinigungen können aus dem Abwasser durch mikrobiellen Abbau, Adsorption, chemische Oxidation und physikalische Prozesse eliminiert werden. Die Effektivität der Elimination hängt dabei insbesondere von der Art der zu behandelnden Stoffe ab. Einige Mikroverunreinigungen werden bereits in der konventionellen biologischen Reinigungsstufe abgebaut. Die in der biologischen Reinigungsstufe erreichbare Eliminationsleistung für Mikroverunreinigungen liegt allerdings bei vielen Stoffen deutlich unter den geforderten 80%, so dass eine zusätzliche Behandlungsstufe erforderlich wird.

Nach dem BAFU Bericht „Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser“ lässt sich die Eignung eines Verfahrens zur Elimination von Mikroverunreinigungen anhand der folgenden vier Kriterien beschreiben:

- Breitbandwirkung
- Abfälle / Nebenprodukte
- Anwendbarkeit
- Kosten / Nutzen

Wichtige Parameter, welche die Effektivität der Behandlung von Mikroverunreinigungen beeinflussen, sind insbesondere gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) und Nitrit (NO_2^-). In wieweit die Feststoffkonzentration (GUS) die Effektivität der Verfahren beeinflusst, ist nicht eindeutig geklärt. Tendenziell reduziert sich durch eine zusätzliche Filtration vor der Ozonung die notwendige Ozondosis.

Nach dem heutigen Stand der Technik stehen vor allem zwei Behandlungsverfahren zur weitergehenden Behandlung von Mikroverunreinigungen im Vordergrund: Pulveraktivkohle und Ozonung. Beide Verfahren haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Grundsätzlich ist bei beiden Verfahren eine Kontaktzeit notwendig (grösser bei Aktivkohle als bei Ozonung). Nach der Ozonung sollte eine biologisch aktive Stufe folgen. Dieser biologische Abbau kann ebenfalls in einem Schönungsteich nach dem Ablauf der ARA stattfinden. Auch für die Behandlung mit Pulveraktivkohle ist eine Filtration vorzusehen, um die Feinfraktion der Kohle zu entfernen.

Des Weiteren können Kombinationen verschiedener Verfahren für eine gesteigerte Elimination der Mikroverunreinigungen zum Einsatz kommen (z.B. Ozonung mit nachgeschalteter granulierter Aktivkohle GAK).

Die verschiedenen Verfahren weisen teilweise unterschiedlich gute Eliminationsleistungen für unterschiedliche Mikroverunreinigungen auf. Vor der Wahl eines Verfahrens sollte daher evaluiert werden, welche Mikroverunreinigungen auf einer ARA besonders problematisch sind (siehe Messkampagnen des AFU, Kapitel 17).

4.1 Überblick über Verfahren

Die Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen lassen sich aufgrund ihres Wirkmechanismus grundsätzlich in vier Klassen einteilen, welche in den folgenden Kapiteln beschrieben werden.

4.1.1 Adsorptive Verfahren

Ein typischer Adsorber ist die Aktivkohle mit einer sehr grossen spezifischen Oberfläche ($> 1'000 \text{ m}^2/\text{g}$), an welcher sich Stoffe aus dem Abwasser anlagern. Hierbei wird zwischen Pulveraktivkohle (PAK) und granulierter Aktivkohle (GAK) unterschieden. PAK wird dem Abwasser zugegeben und muss anschliessend wieder entfernt werden. GAK wird in ein Filterbett eingebaut, sodass die Aktivkohle fixiert ist und keine zusätzliche Feststoffabscheidung notwendig ist.

Die Korngrössen von PAK liegen im Mikrometerbereich. Bei der Verwendung von PAK ist mit einer grösseren Abnutzung der Leitungen, Pumpen etc. durch erhöhte Abrasion zu rechnen. Die PAK wird nach ihrer Verwendung entsorgt, da deren Aufbereitung (noch) nicht wirtschaftlich ist. Der Einsatz von PAK ist dann besonders gut geeignet, wenn in der ARA für die Entsorgung bereits eine Klärschlammverbrennung installiert ist. Dadurch entfallen Transportwege und der Heizwert des Klärschlammes erhöht sich (in der Grössenordnung von 8 bis 15 %).

Die beste Abscheideleistung für PAK ergab sich in Forschungsprojekten mittels Tuchfiltration. Andere Arten der Abscheidung sind (in aufsteigender Reihenfolge der Leistungsfähigkeit): Sedimentation < Lamellenabscheider < Mikrosieb < Tuchfilter. Sedimentation und Lamellenabscheider haben sich auf grosstechnischen Anlagen allerdings bewährt und sollten im Hinblick auf den Energieverbrauch dem Mikrosieb vorgezogen werden. Sowohl Sedimentation als auch Lamellenabscheider entfernen die PAK nicht vollständig, weshalb zusätzlich noch eine weitere Stufe zur Abtrennung der Restbestandteile benötigt wird („Polizeifilter“ für Entfärbung). Ein Nachteil der PAK Verfahren stellt der höhere Anfall an zu entsorgendem Material dar.

Die Korngrössen von GAK liegen im Millimeter-Bereich. GAK kann durch Erhitzen oder mittels Lösungsmitteln regeneriert und wieder verwendet werden. Die GAK-Filtration weist ähnliche Eigenschaften bzgl. Spurenstoffelimination auf wie die Anthrazitfiltration (**Kapitel 4.2.1**). Allerdings besitzt die GAK-Filtration ein höheres Adsorptionsvermögen, das mit der Aktivierung der Kohle verbunden ist. Die höhere Bioaktivität des GAK-Filters bringt eine bessere Eliminationsleistung von Mikroverunreinigungen als mit Sandfilter (**Kapitel 4.2.1**). Es wird jedoch vermutet, dass sich diese Adsorptionskraft durch Porenauffüllung mit organischen Stoffen nach kurzer Betriebszeit erschöpft. Deswegen ist die Eliminationsleistung des GAK Filters im längeren Betrieb ähnlich gut wie die des Anthrazitfilters.

Problematisch sind die geringen Standzeiten des GAK-Filters, welche das Verfahren (noch) nicht wirtschaftlich interessant machen. Zusätzliche Studien sind notwendig, um eine breite Anwendung dieses Verfahrens in ARA zu ermöglichen. Eine weitere Möglichkeit zur Anwendung von GAK ist die Kombination dieses Verfahrens mit Ozonung. Diese Anwendungsmöglichkeit wird in den Steckbriefen vorgestellt.

Ein grosser Vorteil der Verwendung von Aktivkohle ist, dass schädliche Stoffe vollständig aus dem Abwasser entfernt statt nur umgewandelt werden (wie bspw. bei oxidativen Verfahren). Zudem werden nicht nur Mikroverunreinigungen entfernt sondern auch der DOC-Gehalt wird reduziert. Nach einer Behandlung mit Aktivkohle ist das Abwasser farb- und beinahe vollständig geruchlos. In der Trinkwasseraufbereitung beweisen sich die Aktivkohleverfahren als eine zuverlässige Reinigungsstufe.

Im Gegensatz zu den oxidativen Verfahren findet allerdings keine Hygienisierung (Entkeimung) des Abwassers statt. Der Einsatz von Verfahren mit Aktivkohle verbraucht auf der ARA wenig Energie, die graue Energie für Herstellung, Transport und Entsorgung ist jedoch relativ hoch (**Kapitel 6.3**).

4.1.2 Oxidative Verfahren

Bei oxidativen Verfahren werden Stoffe nicht aus dem Abwasser entfernt sondern mithilfe eines Oxidationsmittels oxidiert und dadurch soweit verändert, dass sie ihre umweltschädliche Wirkung verlieren oder reduzieren.

Ozon

Ozon (O_3) besitzt ein hohes Oxidierungspotential, das die komplexen Kohlenstoffgerüste von Mikroverunreinigungen in einfachere Stoffe umwandeln kann. Es kann allerdings vorkommen, dass diese Reaktionsprodukte toxischer sind als deren Muttermolekül. Deshalb wird empfohlen, einer Ozonung einen biologisch aktivierten Sandfilter nachzuschalten, in dem solche toxischen Nebenprodukte biologisch abgebaut werden. Mikrosiebung oder Membranfiltration sind hier ungeeignet, da sie nicht wie der Sandfilter bioaktiv sind.

Vorteile der Ozonung sind, dass das Verfahren bereits langjährig in der Trinkwasseraufbereitung eingesetzt wird, dass kaum Abfallstoffe produziert werden und dass aufgrund der Oxidierungseigenschaften mit der Ozonung auch eine Reduktion der Keimzahl im Abwasser stattfindet. Durch die Ozonung liegt die Gesamtreduktion von Keimen bei 90-99 %. Aufgrund des Biofilms in der nachgeschalteten biologisch aktiven Filtrationsstufe nehmen die Keime wieder zu, wodurch die Gesamtreduktion nach dieser Stufe bei ca. 90 % liegt. Bei Verfärbungs-, Geruchs- und Schaumproblemen kann sich durch Ozonung eine Verbesserung ergeben.

Auf der anderen Seite ist Ozon ein korrosives und gefährliches Gas, das einen sorgfältigen Betrieb verlangt (Schutz des Personals) und zu zusätzlichem Betriebs- und Unterhaltsaufwand führt. Darüber hinaus führt die Ozonproduktion vor Ort zu einem höheren Energieverbrauch. Auch wenn gefährliche Zwischenprodukte in einer nachgeschalteten Behandlungsstufe beseitigt werden können, darf diese Problematik nicht vernachlässigt werden. Die Beurteilung der Notwendigkeit einer Nachbehandlungsstufe bei der Ozonung ist allerdings noch nicht abgeschlossen. Im Durchschnitt ist die Ökotoxizität von ozoniertem Wasser nämlich geringer als die von nicht mit Ozon behandeltem Abwasser.

Gerade bei Abwässern mit einer speziellen Belastung aus Industrie- oder Gewerbeabwasser gibt es erst wenige Erkenntnisse über die Wirkung einer Ozonung. Es muss im Einzelfall geprüft werden, ob problematische Nebenprodukte durch die Ozonung solcher Abwässer entstehen.

Gute Voraussetzungen für die Anwendung der Ozonung sind geringe DOC- und Nitritkonzentrationen im Ablauf der biologischen Reinigungsstufe.

Ferrat

Ferrat ($Fe(VI)O_4^{2-}$) besitzt ein hohes Oxidierungspotential, das die Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser erlaubt. Es wirkt in einer ähnlichen Weise wie Ozon (Abbau der Spurenstoffe durch Oxidierung sowie Hygienisierung), sodass sich ähnliche Fragestellungen im Hinblick auf toxische Nebenprodukte stellen wie bei Ozonung. Andererseits wirkt Ferrat als Fällmittel, da es während des Oxidationsprozesses zu $Fe(III)$ reduziert wird. Dadurch wird der Verbrauch an dosierten Fällmitteln reduziert.

Es gibt bisher noch keine grosstechnischen Anwendungen von Ferrat. Die bisherigen Untersuchungen im Labor- und Pilotmassstab ergaben, dass die Eliminationsleistung von Ferrat mit zunehmenden

der Ferrat-Dosis und mit abnehmenden Konzentrationen von DOC und anorganischen Substanzen zunimmt.

Eine grosse Herausforderung ist die Empfindlichkeit von Ferrat gegenüber Feuchtigkeit (Abnahme der Oxidierungskraft). Dies schliesst eine Lieferung von Ferrat in Lösung aus und bedingt luftdichte Lagerung und Transport des Ferratpulvers, was sehr anspruchsvoll ist. Daher bleibt die Herstellung vor Ort die zurzeit favorisierte Lösung.

4.1.3 Physikalische Verfahren

Zu den physikalisch(-chemischen) Verfahren gehören Mikrofiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration und Umkehrosmose. Bezüglich Mikroverunreinigungen sind durch Mikro- und Ultrafiltration jedoch keine signifikanten Verbesserungen zu erreichen, weshalb „dichte“ Membranen (Nanofiltration und Umkehrosmose mit Porengrössen von $< 2 \text{ nm}$) verwendet werden. Die Nanofiltration wird bisher z.B. für die Trinkwasseraufbereitung und in der Industrie und die Umkehrosmose z.B. für die Meerwasserentsalzung eingesetzt.

Das Funktionsprinzip dichter Membranen beruht neben der Stoffgrösse auch auf elektrostatischen Wechselwirkungen an der Membranoberfläche. Damit die Membran für Wasser durchlässig ist, durchfliesst das Abwasser diese unter Druck. Die Druckerhöhungspumpe stellt den dabei wichtigsten Energieverbraucher (50 – 75%) eines Verfahrens mit dichter Membran dar. Das von der Membran zurückgehaltene Retentat muss weiter behandelt bzw. entsorgt werden. Nach dem heutigen Stand der Technik fallen 10 – 25% des behandelten Abwassers als Retentat an.

4.1.4 Biologische Verfahren

Bei diesen Verfahren sind Bakterien verantwortlich für den Abbau von Mikroverunreinigungen. Biologische Verfahren sind bereits auf allen ARAs vorhanden und können Mikroverunreinigungen nicht in ausreichendem Mass eliminieren. Beobachtete Eliminationsleistungen in der biologischen Reinigungsstufe liegen je nach Stoff bei 10-40%. Massgebend hierfür ist ein ausreichendes Schlammalter. Ein Anstieg der Eliminationsleistung ist bei Schlammaltern um 12 bis 15 Tage erkennbar, darunter ist die Leistung reduziert.

4.1.5 Kombiverfahren

Unterschiedliche Verfahren können kombiniert werden und sich dabei in ihren Eigenschaften ergänzen. Beispielsweise werden Stoffe, welche von Aktivkohle nicht adsorbiert werden, durch das Ozon oxidiert und toxische Nebenprodukte, welche bei der Ozonung entstehen, werden durch die Aktivkohle zurückgehalten. Beispiele für solche Kombinationen sind:

- Oxidatives + adsorptives Verfahren: Ozonung + GAK
- Adsorptives + biologisches Verfahren: BAC (engl.: *biological activated carbon filtration*)

Der Filter mit biologischer Aktivkohle (BAC) stellt hierbei das bei der Ozonung notwendige nachgeschaltete biologische Verfahren dar. Dieser Filter ist vereinfacht gesagt ein belüfteter GAK Filter ohne Rückspülung, bei dem die Aktivkohle nicht ausgetauscht wird. Damit der Filter nicht verstopft wird, wird der Filterüberstand einmal pro Woche gerührt und dieses Wasser dann abgezogen. Forschungsergebnisse zeigen eine sehr gute Elimination von Mikroverunreinigungen durch solche Filter. Auch dieses Verfahren setzt eine gute Vorreinigung des Wassers voraus.

Ein BAC-Filter scheint eine vielversprechende Möglichkeit für die Entfernung von Mikroverunreinigungen zu sein. Vor einer grosstechnischen Anwendung sind jedoch weitere Forschungsergebnisse abzuwarten.

4.2 Nachbehandlungsstufe

Verfahren mit Ozonung und PAK benötigen eine Nachbehandlungsstufe, bevor das gereinigte Wasser in das Gewässer eingeleitet werden kann. In den folgenden Kapiteln werden verschiedene Varianten von Nachbehandlungsverfahren kurz vorgestellt.

4.2.1 Raumfiltration

Die Raumfiltration wird seit Jahrzehnten als Behandlungsverfahren für Abwasser eingesetzt. Die Reinigung resultiert hauptsächlich aus der Abtrennung der Feststoffe, die zwischen den Filterkörnern aufgehalten werden. Zudem werden organische Stoffe durch die Bioaktivität der angesiedelten Organismen abgebaut, weshalb Raumfilter eine geeignete Nachbehandlung bei Ozonung ist. Trotzdem wird vermutet, dass Anthrazit- und GAK-Filtration eine bessere biologische Eliminationsleistung der Spurenstoffe aufweisen. Somit eignet sich der Sandfilter eher als Nachbehandlungsstufe vom PAK-Verfahren, um die beladenen Kohlenpartikel vom Wasser abzuscheiden. Es findet zudem ein Abbau von organischen Stoffen durch biologische Aktivität statt.

Als Filtermedium kommen Sand und/oder Anthrazit (Kohle) zum Einsatz. Die Rückhalteleistung von Sand und Anthrazitfiltern ist ähnlich. Die Adsorption von organischen Stoffen ist in Anthrazitfiltern geringer. In Experimenten wurde allerdings beobachtet, dass eine Anthrazitfiltration eine bessere biologische Abbauleistung aufweist als eine Sandfiltration.

Diese Nachbehandlung ist sowohl für Ozonung (Abbau von Nebenprodukten) als auch für PAK-Verfahren (Rückhalt der PAK) geeignet.

4.2.2 Flächenfiltration (Mikrosiebung und Tuchfilter)

Die Mikrosiebung ist ein Trommel- resp. Scheibenfilter, die typischerweise aus Nylon oder Polyester bestehen. Die meist verwendete Maschenweite beträgt 10 µm, bei welchen GUS-Ablaufwerte unter 5 mg/l resultieren. Die Reinigung erfolgt prinzipiell physikalisch, auch wenn die Filterschicht auf den Sieben eine geringe biologische Aktivität aufweist (die Reinigungsleistung ist kurz vor einer Filterreinigung maximal).

Tuchfiltrationen werden als Trommelfilter oder als Scheibenfilter ausgeführt. Trommelfilter werden nur für kleine Wassermengen verwendet, also bis zu einer Filterfläche von 10 m². Für Abwassermengen wie von der ARA Rosenbergsau würde eine Scheibenfilteranlage installiert werden. Das Abwasser durchfließt das Tuchfiltermaterial (z.B. Polstoff), auf dem die Feststoffe zurückgehalten werden. Je mehr Feststoffe vom Filtertuch zurückgehalten werden, desto grösser wird der hydraulische Widerstand der Filteranlage. Wird der Widerstand zu gross, wird der Filter gereinigt, indem sich die Scheibenfilter langsam drehen und die abgelagerten Feststoffe über eine Absaugeinrichtung entfernt werden. Bei dem von Mecana patentierten Verfahren werden Polstoffe eingesetzt. Das Spezielle an diesen Polfasern ist, dass sie während der Filtrationsphase flach liegen und somit eine dichte und sehr abscheidewirksame Schicht bilden, und dass sie sich während des Absaugvorgangs kurzzeitig aufrichten, so dass die zurückgehaltenen Feststoffe leicht ausgetragen werden können.

Beide Filtrationsverfahren zeichnen sich durch geringen Platzbedarf und geringe hydraulische Verlusthöhen aus (im Vergleich zu Raumfiltrationen). Allerdings besitzen sie praktisch keine biologische Aktivität, sodass eine zusätzliche biologische Behandlungsstufe notwendig wird (z.B. Wirbelbett) nicht als Nachbehandlungsstufe einer Ozonbehandlung einsetzbar sind.

5. VORAUSWAHL VARIANTEN

5.1 Bewertungskriterien

Für die Behandlungsstufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen wurden 6 Kriterien gewählt.

Tabelle 5-1: Kriterien für die Verfahren zur Behandlung von Mikroverunreinigungen

Kriterium	Erläuterung
Platzbedarf	Wie gross ist der Platzbedarf (weniger ist besser)?
Integration	Wie gut lässt sich das Verfahren in die bestehende Anlage integrieren (räumlich und verfahrenstechnisch)?
Innovation/Risiko	Inwieweit ist das Verfahren innovativ und birgt damit auf Grund von fehlender Erfahrung Risiken?
Investitionskosten	Wie sind die Investitionskosten für die Erstellung der Anlage qualitativ im Vergleich zu anderen Verfahrensvarianten?
Betriebskosten Energie	Wie sind die laufenden Betriebskosten für Energie qualitativ im Vergleich zu anderen Verfahrensvarianten (z.B. Strom)?
Betriebskosten Verbrauchsmittel	Wie sind die laufenden Betriebskosten für Verbrauchsmittel qualitativ im Vergleich zu anderen Verfahrensvarianten (z.B. Pulveraktivkohle)?

5.2 Verfahrensvarianten Behandlungsstufe Mikroverunreinigungen

Folgende 12 Verfahrensvarianten wurden evaluiert.

Tabelle 5-2: Varianten von Verfahren zur Behandlung von Mikroverunreinigungen

Variante	Verfahren	Erläuterung
1.0	PAK mit Sedimentation und Raumfiltration	Ulmer Verfahren
1.1	PAK mit Lamellenabscheider und Raumfiltration	
1.2	PAK mit verbesserter Sedimentation und Raumfiltration	z.B. ActifloCarb®
1.3	PAK Direkt dosierung	In biologische Stufe
1.4	PAK mit Membran	Ohne Sedimentation
1.5	PAK mit Raumfiltration	Ohne Sedimentation
2.0	GAK-Filter	
3.0	Ozonung mit Raumfiltration	
3.1	Ozonung, Wirbelbett, Flächenfiltration	
4.0	Kombiverfahren (Ozonung mit GAK-Filter)	
5.0	Dichte Membran	Nanofiltration, RO-Membran
6.0	Ferrat mit Filtration	

5.3 Darstellung und Bewertung der Verfahren

In einheitlichen Steckbriefen werden die wichtigsten Informationen zu jeder Variante prägnant aufgeführt. Die grafische Darstellung der Bewertungen und ein Verfahrensschema erlauben einen einfachen Variantenvergleich.

Die grafische Darstellung der Verfahrensbewertungen ist so zu interpretieren, dass eine grosse durch den Graphen umschriebene Fläche ein gutes Bewertungsergebnis bedeutet. Dabei fallen die Gewichtungen der Kriterien noch nicht ins Gewicht.

Die Verfahrensschemas zeigen die wichtigsten Prozessschritte der Verfahren. In schwarz sind bestehende, weiterzuverwendende Anlagenteile bezeichnet, in rot solche die neu erstellt werden.

5.4 Steckbriefe

Im Folgenden sind die Verfahrensvarianten für die Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen in einseitigen Steckbriefen beschrieben und bewertet.

PAK mit Sedimentation und Raumfiltration

Beschreibung In einem dreistufigen Verfahren wird das Abwasser in einem Kontaktreaktor mit der PAK für 20-30 min gemischt und durchfliesst anschliessend ein Sedimentationsbecken, in welchem die PAK abgeschieden wird. Zur Entfernung der Feinfraktion ist eine Raumfiltration nachgeschaltet, die auch biologisch aktiv ist (Abbau von Ammonium- und Nitritspitzen). Das Verfahren ist sehr erprobt und wird als Ulmer Verfahren bezeichnet.

Besonderheiten Zur optimalen Sedimentation sollten Fällungs-/Flockungsmittel eingesetzt werden. Zur besseren Beladung der PAK sollte diese in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt werden. Die Belebtschlammkonzentration und die zu entsorgende Schlammmenge werden dadurch erhöht (erste Erfahrungen auf anderen Anlagen haben eine Zunahme in der Grössenordnung von 5-20 % gezeigt).

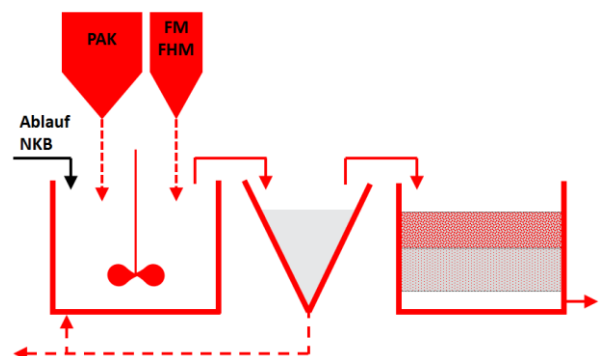
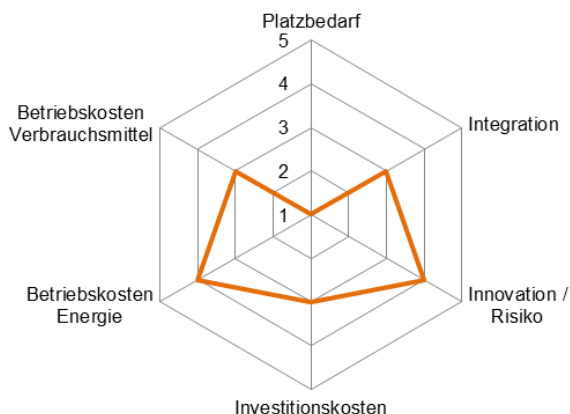
Notwendige Anpassungen PAK-Lagerung und Dosierung, Kontaktreaktoren, Sedimentationsbecken zur PAK-Abtrennung, Raumfiltration, Chemikalienlagerung und -dosierung, Rezirkulation in biologische Stufe und Vorklärung

Vorteile

- + Tolerant gegenüber Feststoffgehalt
- + Zusätzliche DOC-Reduktion
- + Stoffe werden aus dem Wasser eliminiert; Wasser wird geruch- und farblos

Nachteile

- Grosser Platzbedarf
- Erhöhung der Belebtschlammkonzentration bei Rückführung in Biologie und der zu entsorgenden Schlammmenge
- höhere Abnutzung der Leitungen, Pumpen etc. durch erhöhte Abrasion



Fazit Dieses Verfahren zählt zu den bewährtesten Verfahren mit langjährigen Erfahrungen. Da der Platzbedarf insbesondere für die Sedimentationsbecken gross ist, sollte dem Verfahren mit Lamellenabscheider der Vorzug gegeben werden.

Informationen/Quellen Grosstechnische (Pilot-)anlagen: Albstadt-Ebingen (D) dauerhaft seit 1996, Albstadt-Lautlingen (D) dauerhaft seit 1997, Böblingen-Sindelfingen (D) dauerhaft seit 2011 (mit Rezirkulation in Denitrifikation), Hechingen (D) 1999, Kressbronn-Langenargen (D) dauerhaft seit 2011, Mannheim (D) dauerhafte Teilstrombehandlung (Ausbau in Planung) seit 2010 (mit Rezirkulation in Biologie), Stockacher Aach (D) 2011 dauerhaft, Schwerte (D) dauerhaft mit Rückführung in Biologie und ohne Filter und bei Bedarf in Kombination mit Ozonung; ARA Bachwis in Herisau grosstechnisch geplanter Betrieb ab 2015; Kläranlage Steinhäule (Ulm (D))

PAK mit Lamellenabscheider und Raumfiltration

Beschreibung

In einem dreistufigen Verfahren wird das Abwasser in einem Kontaktreaktor mit der PAK gemischt und durchfliesst anschliessend ein Sedimentationsbecken mit Lamellenabscheider, in welchem die PAK abgeschieden wird. Das Verfahren entspricht grundsätzlich dem Ulmer-Verfahren (PAK mit Sedimentation), mit dem Unterschied dass der Platzbedarf der Sedimentation durch Einbau von Lamellenabscheidern reduziert wird. Zur Entfernung der Feinfraktion ist eine Raumfiltration nachgeschaltet, die auch biologisch aktiv ist (Abbau von Ammonium- und Nitritspitzen).

Besonderheiten

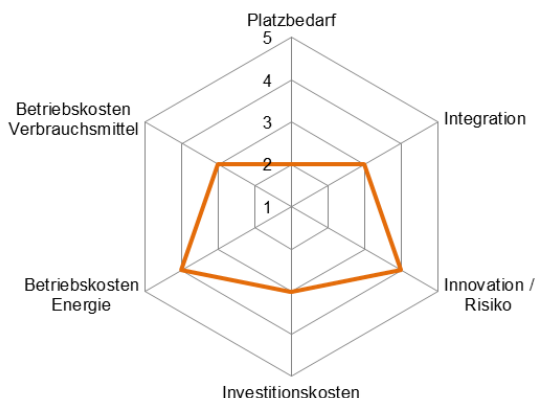
Zur besseren Beladung der PAK kann diese in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt werden (entsprechend dem klassischen Ulmer Verfahren). Die Belebtschlammkonzentration und die zu entsorgende Schlammmenge werden dadurch erhöht (erste Erfahrungen auf anderen Anlagen haben eine Zunahme in der Grössenordnung von 5-20 % gezeigt). Die Lamellenabscheider sind betrieblich etwas aufwendiger als klassische Sedimentationsbecken.

Notwendige Anpassungen

PAK-Lagerung und Dosierung, Kontaktreaktoren, Sedimentationsbecken mit Lamellenabscheider zur PAK-Abtrennung, Raumfiltration, Chemikalienlagerung und -dosierung, Rezirkulation in biologische Stufe und Vorklärung

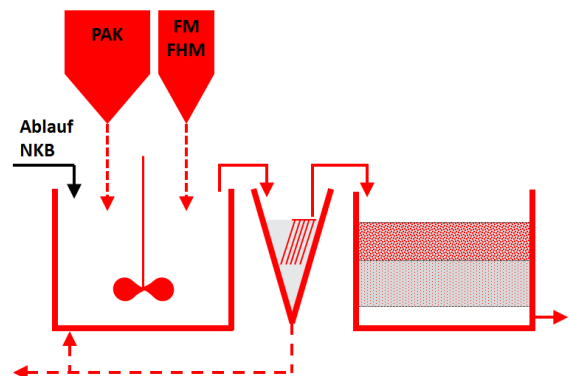
Vorteile

- + Erprobtes Verfahren
- + Zusätzliche DOC-Reduktion
- + Stoffe werden aus dem Wasser eliminiert; Wasser wird geruch- und farblos
- + Ammonium- und Nitritspitzen werden abgebaut



Nachteile

- Relativ grosser Platzbedarf
- Erhöhung der Belebtschlammkonzentration und der zu entsorgenden Schlammmenge bei Rückführung PAK in Biologie
- höhere Abnutzung der Leitungen, Pumpen etc. durch erhöhte Abrasion



Fazit

Dieses Verfahren zählt zu den bewährtesten Verfahren mit langjährigen Erfahrungen (Ulmer Verfahren). Durch Einsatz des Lamellenabscheiders kann der Platzbedarf reduziert werden und das Verfahren sinnvoll in die ARA Rosenbergsau integriert werden.

Informationen/Quellen

Grosstechnische Anlagen: ARA Stockach (D)

PAK mit verbesserter Sedimentation und Filtration

Beschreibung

Dieses vierstufige Verfahren wird nach der biologischen Reinigung angewendet. In einem Kontaktbecken wird dem Abwasser PAK, im anschliessenden Koagulationsbecken Fällmittel und im Flockungsbecken Mikrosand zugegeben. Zur Abtrennung der Feststoffe ist ein Lamellenabscheider nachgeschaltet. Der Schlamm aus dem Sedimentationsbecken wird rezirkuliert. Um auch die Feinfraktion der PAK abzutrennen, wird das Abwasser vor der Einleitung ins Gewässer filtriert (mittels Flächen- oder Raumfiltration).

Besonderheiten

Zur besseren Beladung der PAK kann diese in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt werden. Dadurch werden die Belebtschlammkonzentration und die zu entsorgende Schlammmenge erhöht (erste Erfahrungen auf anderen Anlagen haben eine Zunahme in der Grössenordnung von 5-20 %). Diverse Hersteller bieten Verfahren mit verbesserter Sedimentation an. Beim ActifloCarb Verfahren werden durch Mikrosandzugabe die Flockenbildung und Sedimentation verbessert. Mittels Hydrozyklon wird der Mikrosand aus dem Schlamm zurückgewonnen und rezirkuliert.

Notwendige Anpassungen

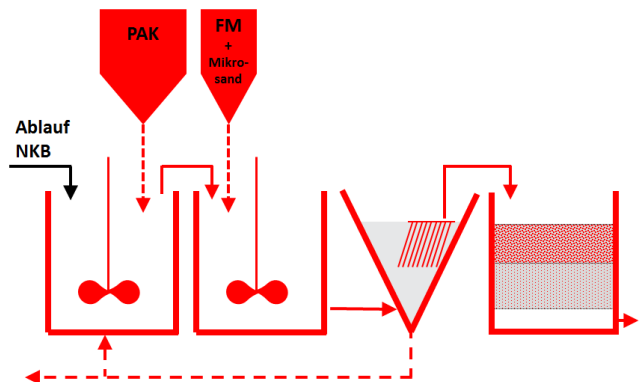
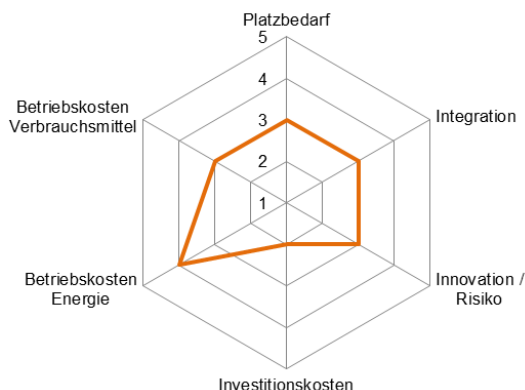
PAK-Lagerung und Dosierung, Kontaktreaktor, Koagulationsbecken, Flockungsbecken, Lamellenabscheider im Sedimentationsbecken, Hydrozyklon, Raumfiltration; Je nach Wahl der Verfahrensvariante Installation einer Rezirkulation, Chemikalienlagerung und -dosierung, Rezirkulation in biologische Stufe und Vorklärung

Vorteile

- + gute Reinigungsleistung
- + Stoffe werden aus dem Wasser eliminiert; Wasser wird geruch- und farblos
- + Zusätzliche DOC-Reduktion

Nachteile

- Erhöhter Einsatz von Fäll- und Flockungsmitteln und Mikrosand
- Höherer Energieverbrauch durch Umwälzung, Rückzirkulation
- höhere Abnutzung der Leitungen, Pumpen etc. durch erhöhte Abrasion



Fazit

Dieses Verfahren zeichnet sich durch reduzierten Platzbedarf gegenüber dem Ulmer Verfahren (PAK mit Sedimentation/Lamellenabscheider und Filtration) aus. Dafür sind die Betriebskosten erhöht (Energie und Betriebsmittel).

Informationen/Quellen

Anlagen sind patentgeschützt, beispielsweise ActifloCarb von Veolia; ActifloCarb Pilotversuch ($Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$) ARA Schöna in Friesenham (Zug); Erfahrungen in Trinkwasserbehandlung

PAK Direktdosierung und Raumfiltration

Beschreibung

Bei diesem Aktivkohleverfahren wird die PAK direkt in die biologische Stufe dosiert. Dadurch resultiert voraussichtlich eine erhöhte PAK-Dosierung im Vergleich zu PAK-Verfahren. Die PAK sedimentiert grösstenteils in den Nachklärbecken, wo sie mit dem Überschussschlamm entnommen resp. mittels Rücklaufschlamm rezirkuliert wird. Die nach der Nachklärung im Abwasser verbleibende Feinfraktion der PAK wird mittels Raumfiltration zurückgehalten, die biologische aktiv ist (Abbau von Ammonium- und Nitritspitzen).

Besonderheiten

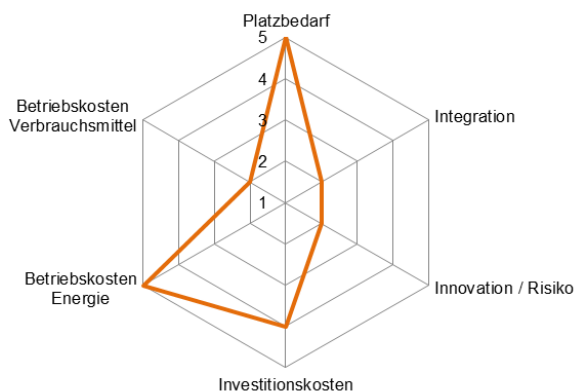
Für die Direktdosierung ist lediglich eine Lagerungs- und Dosiermöglichkeit für die PAK notwendig. Die PAK-Dosierung kann direkt in die Belebungsbecken oder in den Zu- oder Ablauf derselben erfolgen. Die Rückführung der PAK in biologische Stufe erfolgt mittels bestehender Rücklaufschlammförderung. Die Belebtschlammkonzentration und die zu entsorgende Schlammmenge nehmen zu (in der Grössenordnung von 10-20 %).

Notwendige Anpassungen

PAK-Lagerung und Dosierung, Raumfiltration

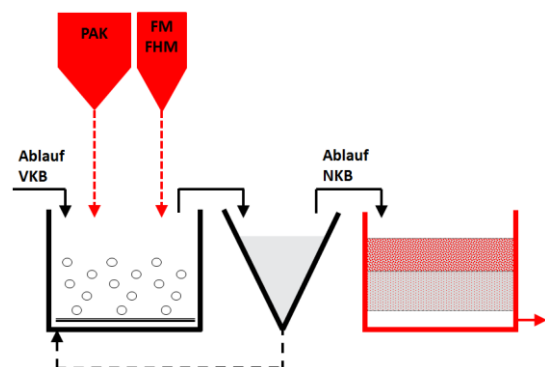
Vorteile

- + Geringe Investitionskosten
- + Geringer Platzbedarf
- + Zusätzliche DOC-Reduktion
- + Stoffe werden aus dem Wasser eliminiert; Wasser wird geruch- und farblos
- + Ammonium- und Nitritspitzen werden abgebaut



Nachteile

- Höhere PAK-Dosierung notwendig
- Reduktion der Behandlungskapazität der biologischen Stufe
- erhöhte Belastung des Nachklärbeckens
- höhere Abnutzung der Leitungen, Pumpen etc. durch erhöhte Abrasion



Fazit

Für die ARA Rosenbergsau ist die Direktdosierung in die Biologie dahingehend wenig interessant, dass die bereits stark ausgenutzte Kapazität der biologischen Stufe reduziert wird und der PAK-Verbrauch höher ist. Da Platzreserven auf dem ARA Gelände bestehen, stehen andere Verfahren im Vordergrund.

Informationen/Quellen

Forschungsprojekt „PAK-Dosierung in die Belebung“ auf der ARA Flos in Wetzikon; halbertechnisches Pilotprojekt der Eawag

PAK mit Membran

Beschreibung

In einem Kontaktreaktor werden PAK und Abwasser vermischt. Die Entfernung der beladenen PAK aus dem Abwasser erfolgt mit einer Membran (Ultrafiltration oder Mikrofiltration). Die Membranfiltration kann mit Druckrohrmembranen (cross flow: von innen nach aussen durchströmt mit regelmässiger Rückspülung) oder getauchten Membranen ausgeführt werden.

Besonderheiten

Bei dieser Anwendungsmöglichkeit von PAK ist keine zusätzliche (biologisch aktive) Filtration zur Membranfiltration notwendig. Membrananlagen weisen einen erhöhten betrieblichen Aufwand, und erhöhten Chemikalieneinsatz und Energiebedarf auf. Die Betriebskosten hängen stark von den Standzeiten der Membranen ab. Zur besseren Beladung der PAK kann diese in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt werden. Die Belebtschlammkonzentration und die zu entsorgende Schlammmenge nehmen dadurch zu (in der Grössenordnung von 5-20 %).

Notwendige Anpassungen

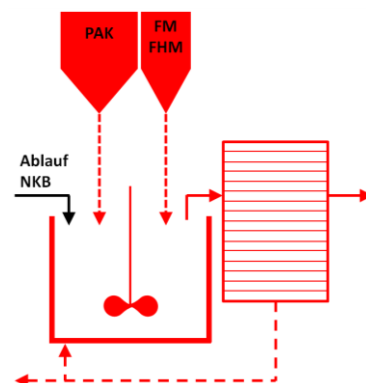
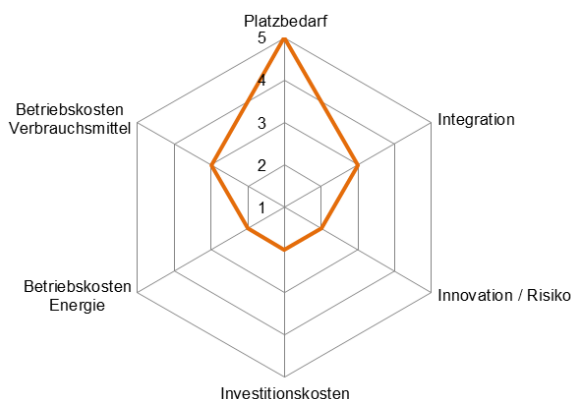
Pumpwerk, PAK-Lagerung und Dosierung, Kontaktbecken, Membrananlage, Chemikalienlagerung und -dosierung, Rückführung des Rückspülwassers in die biologische Stufe bzw. die Vorklärung

Vorteile

- + Sehr hohe Ablaufqualität des Wassers hinsichtlich Feststoffen; Rückhalt von Bakterien, z.T. auch von Viren
- + Stoffe werden aus dem Wasser eliminiert; Wasser geruch- und farblos
- + Zusätzliche DOC-Reduktion
- + Sehr kompakt

Nachteile

- Zusätzlicher Energiebedarf für Druckerhöhung und erhöhter Chemikalieneinsatz
- Standzeiten der Membranen unbekannt
- Keine biologisch aktive Stufe zur Reduktion von Ammonium- und Nitritspitzen
- Erhöhung der Belebtschlammkonzentration bei Rückführung in Biologie und der zu entsorgenden
- höhere Abnutzung der Leitungen, Pumpen etc. durch erhöhte Abrasion



Fazit

Zurzeit sind Membranverfahren noch relativ teuer (wobei die Kosten sinken). Es bestehen wenige Betriebserfahrungen in der Anwendung mit PAK und Membranstandzeiten sind unbekannt. In Kombination mit den zu erwartenden höheren Energieverbräuchen und erhöhten Betriebskosten ist das Verfahren für die ARA Rosenbergsau nicht ideal.

Informationen/Quellen

Wabag, AIB und Dolder AG

Grosstechnischer Versuch ARA Vidy (Lausanne) für ein Jahr; Forschungsprojekt „Aquapure“ der Fachhochschulen Nordwestschweiz,

PAK mit Raumfiltration

Beschreibung Die PAK wird in einem Kontaktbecken mit dem Abwasser vermischt (reduzierte Grösse im Vergleich zu Ulmer Verfahren). Die Abscheidung der PAK erfolgt mittels Raumfiltration, die biologische aktiv ist (Abbau von Ammonium- und Nitritspitzen). Die Kontaktzeit der PAK wird durch das Rückspülintervall der Raumfiltration bestimmt. Die Raumfiltration ist für den zusätzlichen Feststoffanfall entsprechend grösser ausgelegt.

Besonderheiten Für den Rückhalt im Filter ist die Partikelgrösse entscheidend. Die Flockengrösse wird durch die Art der Einmischung der Aktivkohle und die Fäll- und Flockungsmitteldosierung bestimmt. Durch Rückführung des Filterspülwassers in die biologische Stufe kann die Kontaktzeit weiter verlängert und die PAK somit optimal genutzt werden. Die Belebtschlammkonzentration (bei Rückführung in die Biologie) und die zu entsorgende Schlammmenge nehmen zu (in der Grössenordnung von 5-20 %).

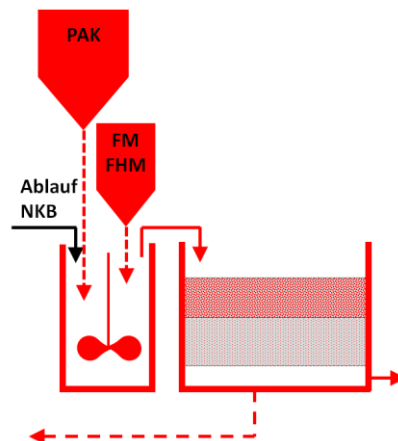
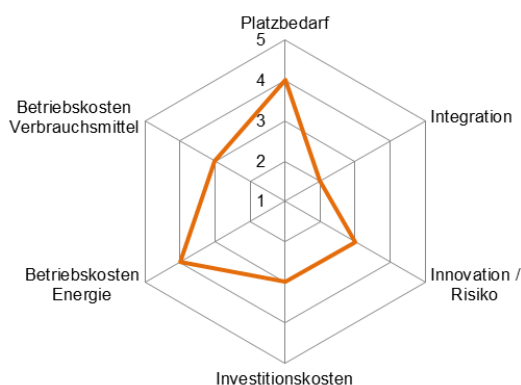
Notwendige Anpassungen Pumpwerk, PAK-Lagerung und Dosierung, Kontaktbecken, Raumfilter, Chemikalienlagerung und -dosierung, Rückführung des Rückspülwassers in die biologische Stufe bzw. die Vorklärung

Vorteile

- + Relativ geringer Platzbedarf
- + Stoffe werden aus dem Wasser eliminiert; Wasser weitgehend geruch- und farblos
- + Ammonium- und Nitritspitzen werden abgebaut
- + Zusätzliche DOC-Reduktion

Nachteile

- Limitierte Betriebserfahrungen
- Erhöhung der Belebtschlammkonzentration und zu entsorgenden Schlammmenge (Zunahme um 5-20 %)
- höhere Abnutzung der Leitungen, Pumpen etc. durch erhöhte Abrasion



Fazit Dieses Verfahren ist eine vielversprechende Alternative zum Ulmer Verfahren (PAK mit Sedimentation und Raumfiltration), da mit dem Verzicht auf ein Sedimentationsbecken viel Platz eingespart werden kann. Trotz der noch geringen Betriebserfahrungen sollte dieses Verfahren für die ARA Rosenbergsau in Betracht gezogen werden.

Informationen/Quellen Pilotprojekte: Kloten-Opfikon (2 Monate), Wuppertal-Buchenhofen (D) (PAK Dosierung direkt in den Zulauf zur Filtration)

GAK-Filtration

Beschreibung

Die granulierten Aktivkohle kann in einen Sandfilter integriert (Sandmenge wird entsprechend reduziert) oder als reiner GAK Filter erstellt werden. Die Filtration erfolgt nach der biologischen Reinigungsstufe und wird regelmässig zurückgespült. Nach Vollständiger Beladung der GAK wird diese ausgetauscht. Die beladene GAK kann durch Erhitzen oder mit Lösungsmitteln regeneriert werden (üblicherweise extern).

Besonderheiten

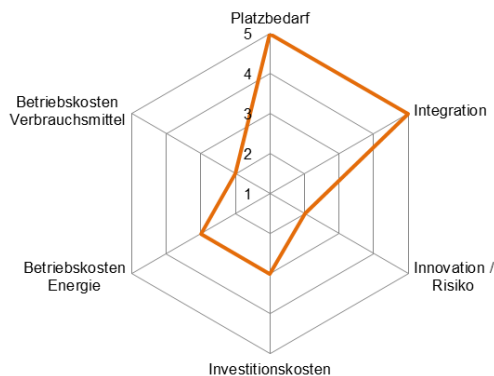
Bereits ab ca. 1'200 Bettvolumen kam es in Pilotversuchen zu deutlichem Rückgang der Adsorptionskapazität. Bisher erreichte e Standzeit von GAK-Filtern werden zwischen rund 4'000 und 9'000 Bettvolumen angegeben. Wirtschaftlich interessant wäre dieses Verfahren bei Standzeiten grösser. 10'000 Bettvolumen. Hohe Feststoffbeladungen (aus dem Ablauf Nachklärung) reduzieren die Leistungsfähigkeit der GAK-Filtration.

Notwendige Anpassungen

Pumpwerk, GAK-Filtration, Rückführung Rückspülwasser in Vorklärung

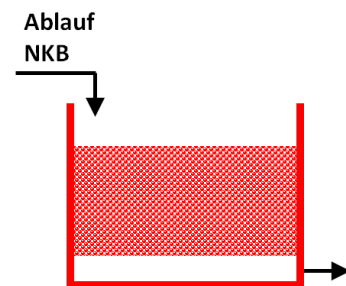
Vorteile

- + Geringer Platzbedarf
- + Geringer Einfluss auf andere ARA-Bereiche (kein zusätzlicher Schlammanfall)
- + Geringer Bedarf an Verbrauchsmitteln durch GAK Regeneration
- + Stoffe werden aus dem Wasser entfernt; Wasser wird geruch- und farblos



Nachteile

- Derzeit sind die Standzeiten der GAK Filter sehr kurz, hohe Kosten für GAK-Austausch entstehen
- Wenig praktische Erfahrung mit halb- und grosstechnischen Anlagen



Fazit

Derzeit liegen zu wenige Erfahrungen für den Einsatz von GAK zur Behandlung von Mikroverunreinigungen vor, um es empfehlen zu können. Besonders kritisch ist die Standzeit des Filtermediums, dessen Austausch die Kosten des Verfahrens bestimmt.

Informationen/Quellen

Grosstechnische Pilotprojekte: Obere Lutter (Gütersloh, D), Düren-Merken (D), Lage (D) dauerhaft seit 2012; diverse halbtechnische Anlagen in den Niederlanden; Laboruntersuchungen Eawag; Studie aus NRW (D) im Rahmen des Projekts MIKROFLOCK

Ozonung mit Raumfiltration

Beschreibung

Die Ozonung findet nach der Biologie in einem geschlossenen Kontaktreaktor statt. Hierbei werden Verunreinigungen durch das Oxidationsmittel Ozon umgewandelt (oxidiert), damit sie ihre umweltschädliche Wirkung verlieren. Zur Reduktion von unerwünschten Metaboliten wird das ozonierte Abwasser mit einer biologisch aktiven Stufe nachbehandelt (hier: Raumfiltration).

Besonderheiten

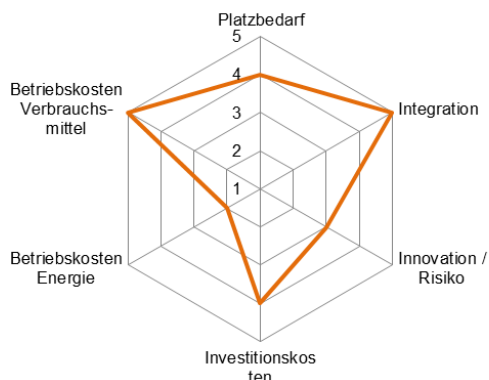
Das Ozon wird vor Ort aus Sauerstoff erzeugt, der als Flüssigsauerstoff angeliefert oder vor Ort aus Luftsauerstoff gewonnen wird. Mit der Ozonung findet eine partielle Desinfektion des Wassers statt. Bei der Ozonung werden Mikroverunreinigungen umgewandelt, sodass diese umgewandelt, nicht aber entfernt werden und toxische Metabolite entstehen können. Die Steuerung bzw. Regelung der Ozondosierung kann bspw. über die DOC Konzentration oder Ozonkonzentration im Wasser erfolgen und ist mit zusätzlichem Betriebsaufwand verbunden.

Notwendige Anpassungen

Pumpwerk, Sauerstofftankanlage, Ozongenerator, Ozoneintragsystem, geschlossener Kontaktreaktor, Restozonvernichter für die Abluft des Ozonungsreaktors, Raumfiltration, Prozessüberwachung (Online-Messungen etc.), Sicherheits-schulung des Personals

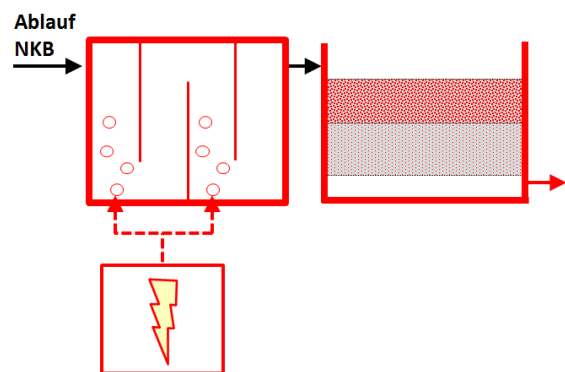
Vorteile

- + Geringer Platzbedarf
- + Relativ geringe Investitionskosten
- + Geringer Einfluss auf andere ARA-Bereiche
- + Es fallen keine zu entsorgenden Stoffe an
- + Verbesserung von Geruch, Verfärbung und Schaumbildung zu erwarten
- + Nitrit- und Ammoniumspitzen werden abgebaut (durch Ozonung und Raumfiltration)



Nachteile

- Mikroverunreinigungen werden umgewandelt, nicht entfernt (toxische Metabolite können entstehen)
- Hoher Energieverbrauch in ARA
- Erhöhte Anforderungen an den Arbeitsschutz
- Höherer Aufwand für Wartung und Kalibration der Messgeräte (für DOC und gelöstes Ozon)



Fazit

Die Vorteile der Ozonung liegen im geringen Platzbedarf und dem geringeren Betriebsmitteleinsatz. Es fallen keine zu entsorgenden Stoffe an. Dagegen ist der Energieverbrauch in ARA erhöht und die Problematik der Metabolite noch ungeklärt. Für die ARA Rosenbergsau ist das Verfahren insbesondere dahingehend sehr interessant, dass es keine Auswirkungen auf die biologische Reinigungsstufe hat.

Informationen/Quellen

Grosstechnische Pilotprojekte: Bad Sassendorf (D) dauerhaft, Berlin-Ruhleben (D) (halbtechnisch), Lausanne 14 Monate, Regensdorf 16 Monate, Schwerte (D) dauerhaft, Sophia-Antipolis (F), Fino Mornasco (I) dauerhaft seit 1995, Robecco sul Naciglio (I) dauerhaft, Indianapolis (USA) dauerhaft; ARA Neugut (Dübendorf, ZH) grosstechnische Anlage derzeit im Bau; diverse halbtechnische Projekte in Deutschland, Österreich, Spanien, Australien

Kombiverfahren (Ozonung + GAK)

Beschreibung

Bei diesem kombinierten Verfahren wird das Abwasser nach der Biologie ozoniert und anschliessend über eine GAK-Filtration geführt. Ziel der Kombination ist es die Vorteile von Ozonung und GAK zu kombinieren. Untersuchungen zeigen, dass GAK mit vorgeschalteter Ozonung besser Ergebnisse bei der Entfernung von Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser liefert.

Besonderheiten

Schon durch eine niedrig dosierte vorgeschaltete Ozonung wird der biologische Abbau im GAK Filter erhöht, einerseits durch die Erhöhung des Sauerstoffgehalts, andererseits durch die bessere biologische Abbaubarkeit der während der Ozonung entstehenden Nebenprodukte. Es ergeben sich längere Standzeiten des GAK Filters. Alternativ wäre auch die Option einer biologisch aktivierten Aktivkohle-Filtration (BAC-filtration = biological activated carbon filtration) interessant, bei welcher der Filter belüftet und nicht rückgespült wird, weshalb die GAK weniger häufig ausgetauscht werden müsste. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob mit der Kombination von Ozonung und PAK Betriebskosten eingespart werden können und die Eliminationsleistung für unterschiedliche Mikroverunreinigungen gesteigert wird.

Notwendige Anpassungen

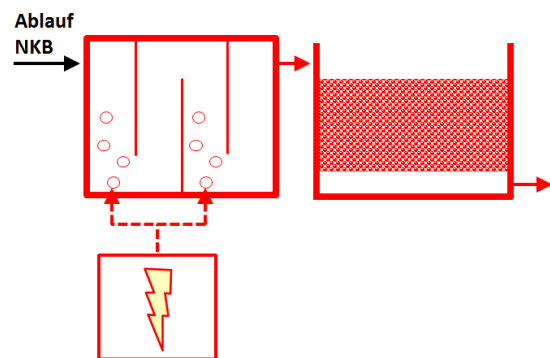
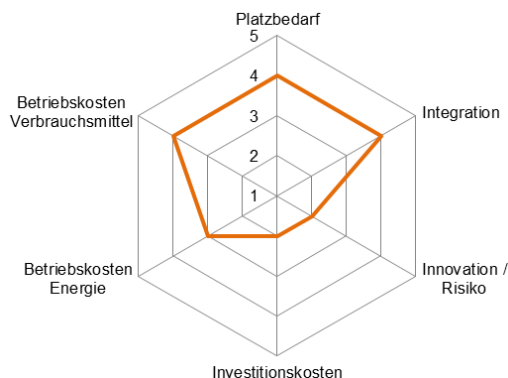
Ozonungsreaktor, Ozongenerator mit Sauerstofftankanlage für die Produktion von Ozon (alternativ Produktion von Ozon mit getrockneter Luft; Lagerung von Ozon aufgrund dessen Instabilität nicht möglich), Restozonvernichter. für die Abluft des Ozonungsreaktor, Sicherheitsschulung des Personals, GAK Filtration mit Rückspülung, Prozesssteuerung und -überwachung (Online-Messungen etc.)

Vorteile

- + Längere Standzeiten des GAK Filter aufgrund der Vorreinigung durch Ozon
- + Kombination von Ozonung und PAK kann Eliminationsleistung erhöhen
- + Nitrit- und Ammoniumspitzen werden abgebaut (durch Ozonung und PAK)

Nachteile

- Höherer Betriebsaufwand, da sowohl Ozon als auch GAK für den Betrieb benötigt werden
- Es liegen noch kaum grosstechnische Versuchsergebnisse vor



Fazit

Die Kombination aus Ozonung und GAK wird als ein vielversprechendes Verfahren gesehen. Derzeit liegen zu wenige Erfahrungen für den Einsatz zur Behandlung von Mikroverunreinigungen vor, um es empfehlen zu können. Weitere Untersuchungen erfolgen ab nächstem Jahr in der ARA Neugut

Informationen/Quellen

Waldbröl (D) halbtechnisch für Spitalabwasser, ARA Neugut (Dübendorf, ZH) ab 2014 Pilotversuch geplant, Advanced Water Management Centre (AWMC) (Queensland, Australien) grosstechnische Anlage seit 2006

Ozonung, Wirbelbett, Flächenfiltration

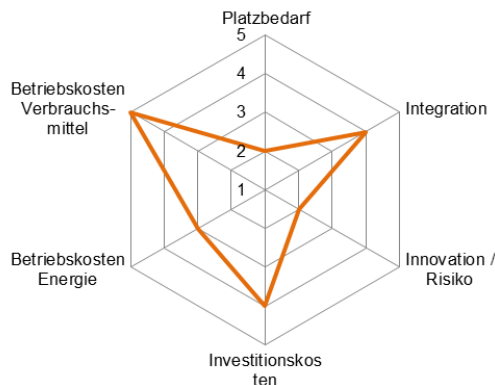
Beschreibung Das Abwasser wird zunächst in einem Kontaktreaktor mit Ozon behandelt. Als biologisch aktive Nachbehandlung schliesst sich ein Wirbelbett. Zur Reduktion der Feststoffe ist eine Flächenfiltration (Tuchfiltration oder Mikrosiebung) nachgeschaltet.

Besonderheiten Es sind verschiedene Filtrationssysteme einsetzbar (Tuchfiltration, Mikrosiebung, grundsätzlich auch Raumfiltration). Zur Optimierung des Ozonverbrauchs wäre eine Varianten mit vorgeschalteter Filtration denkbar. Dadurch erhöht sich allerdings der Feststoffgehalt im Ablauf des Wirbelbetts durch den Abbau von organischen Stoffen.

Notwendige Anpassungen Pumpwerk, Sauerstofftankanlage, Ozongenerator, Ozoneintragsystem, geschlossener Kontaktreaktor, Restozonvernichter für die Ablauf des Ozonungsreaktors, Wirbelbett mit Prozessluftversorgung, Flächenfiltration, Sicherheitsschulung des Personals

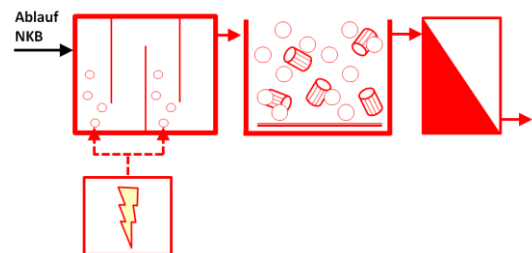
Vorteile

- + Relativ geringer Platzbedarf
- + Geringe Investitionskosten
- + Geringer Einfluss auf andere ARA-Bereiche
- + Es fallen keine zu entsorgenden Stoffe an
- + Verbesserung von Geruch, Verfärbung und Schaumbildung zu erwarten
- + Nitrit- und Ammoniumspitzen werden abgebaut (durch Ozonung und Wirbelbett)



Nachteile

- Mikroverunreinigungen werden umgewandelt, nicht entfernt (toxische Metabolite können entstehen)
- Hoher Energieverbrauch in ARA
- Erhöhte Anforderungen an den Arbeitsschutz
- Höherer Aufwand für Wartung und Kalibration der Messgeräte (für DOC und gelöstes Ozon)
- Wenige Erfahrungen für Nachbehandlung mittels Wirbelbett



Fazit Die Vorteile der Ozonung liegen im geringen Platzbedarf und dem geringeren Betriebsmitteleinsatz. Es fallen keine zu entsorgenden Stoffe an. Dagegen ist der Energieverbrauch in ARA erhöht und die Problematik der Metabolite noch ungeklärt. Für die ARA Rosenbergsau ist das Verfahren insbesondere dahingehend sehr interessant, dass es keine Auswirkungen auf die biologische Reinigungsstufe hat.

Informationen/Quellen ARA Duisburg-Schwerte (D) seit 2011 Erweiterung auf zweite Strasse in Planung, ARA Neugut (Dübendorf, ZH) ab 2014 Pilotversuche geplant

Dichte Membranen

Beschreibung

Zu den dichten Membranen zählen Nanofiltration und Umkehrosmose. Damit das Abwasser die richtige Qualität für die dichte Membran hat, ist eine Vorfiltration notwendig (Mikro- oder Ultrafiltration) und je nach Wasserqualität die Zugabe von Chemikalien, um eine Belagerung der Membran (Fouling) zu verhindern bzw. das Wasser nachzubehandeln (z.B. pH-Korrektur). Zur Überwindung des Membranwiderstands sind hohe Drücke von > 3 bar notwendig. Das in der Membran zurückgehaltene Retentat (ca. 10-25% der behandelten Wassermenge) muss behandelt bzw. entsorgt werden.

Besonderheiten

Die Ablaufqualität des gefilterten Wassers ist sehr hoch (Rückhalt von Bakterien, Viren und Salzen). Das Verfahren ist sehr energieintensiv, der grösste Energieverbraucher sind die Druckerhöhungspumpen (DEP) mit 50-75 % des Energieverbrauchs. Die Problematik der Behandlung bzw. Entsorgung des Retentats ist noch ungelöst.

Notwendige Anpassungen

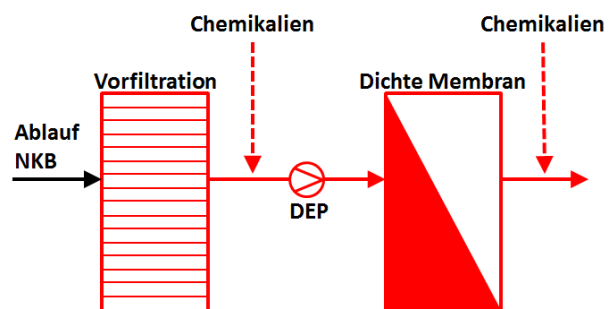
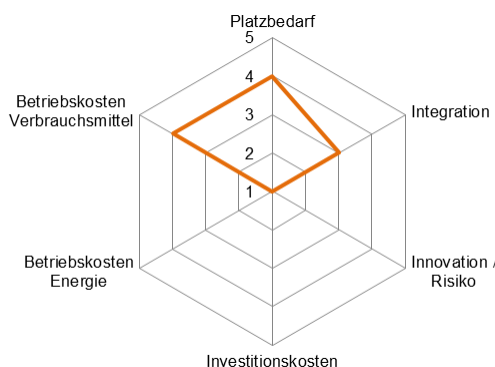
Vorfiltration (z.B. Ultrafiltration), Druckerhöhungspumpe (DEP), dichte Membran (Wickel- oder Kapillarmodul), evtl. Erweiterung des Lagerplatzes für Chemikalien, Nachbehandlungsstufe für Retentat

Vorteile

- + Sehr hohe Ablaufqualität (nahe Trinkwasser)
- + Kompaktes Verfahren

Nachteile

- Hohe Kosten (Membranmodule) und hoher Energieverbrauch
- Nachbehandlung/Entsorgung des anfallenden Retentats ungeklärt
- Aufwändige Vorreinigung



Fazit

Dieses Verfahren ist für die Elimination von Mikroverunreinigungen aufgrund der hohen Kosten, dem hohem Energieverbrauch und den notwendigen Zusatzinstallationen und Verbrauchsmitteln relativ uninteressant. Noch ungelöst ist die Frage, wie das Retentat entsorgt wird.

Informationen/Quellen

Eawag Pilotanlage; MistraPharma (Spanien) Laboruntersuchungen

Ferrat mit Sedimentation und Raumfiltration

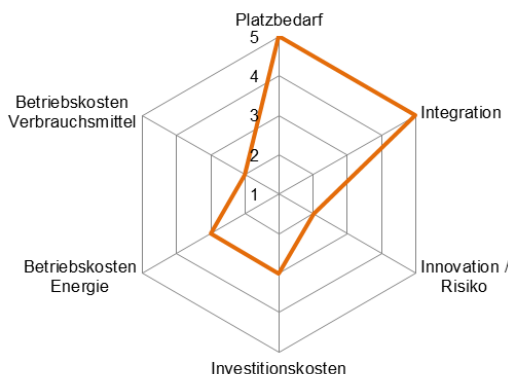
Beschreibung Ferrat wird in die biologische Stufe oder deren Ablauf dosiert. Bei Direktdosierung wird allerdings eine deutlich höhere Dosiermenge Ferrat benötigt. Hierbei wirkt Ferrat sowohl als Oxidierungs- als auch als Fällmittel. Bei der Reaktion von Ferrat mit den Mikroverunreinigungen entsteht ein eisenhaltiger Schlamm, welcher abgetrennt und in die Biologie zurückgeführt werden kann. Nach aktuellem Kenntnisstand werden keine toxischen Nebenprodukte wie bei der Ozonung gebildet. Dennoch sollte zuletzt eine Stufe mit biologischer Aktivität geschaltet werden.

Besonderheiten Da Ferrat auch als Fällmittel wirkt, kann der Verbrauch von zusätzlichen Fällmitteln reduziert werden. Ausserdem können eventuell bereits vorhandene Einrichtungen zur Eisendosierung auch für die Dosierung von Ferrat genutzt. Zwar liegt Oxidierungskraft höher als für Ozon, dafür ist Ferrat weitaus weniger stabil (kurze Zerfallszeit im Wasser). Bei einer optimalen Steuerung (Dosierung und Verweilzeit) der Ferrat-Anwendung ist die Eliminationsleistung für Mikroverunreinigungen mit diesem Verfahren ähnlich hoch wie bei der Ozonung. Die Kosten pro kg Ferrat liegen noch deutlich höher als die pro kg O_3 . Durch den hohen Laugeanteil in der Ferratlösung ist eine pH-Korrektur notwendig.

Notwendige Anpassungen Ferrat-Generator (elektrochemisch), Dosieranlage, Reaktionsbecken, Sedimentation, Raumfiltration, Neutralisationsanlage

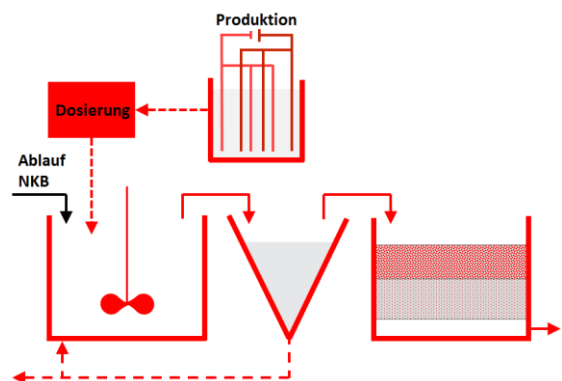
Vorteile

- + Fällmittelverbrauch wird deutlich reduziert
- + Die zu entsorgende Schlammmenge erhöht sich nicht
- + Nitrit- und Ammoniumspitzen werden abgebaut (durch Ozonung und Wirbelbett)



Nachteile

- Kaum grosstechnische Anwendungen
- Lagerung und Transport von Ferrat kaum möglich
- Produktion vor Ort noch sehr teuer



Fazit Das Verfahren ist noch im Forschungsstadium, weist aber ein hohes Potenzial auf. Heute limitieren die Kosten der Ferratherstellung und der hohe Laugeanteil der Ferratlösung eine wirtschaftliche grosstechnische Anwendung.

Informationen/Quellen Pilotversuch ARA Aviron in Vevey

5.5 Ergebnismatrix Behandlungsstufe Mikroverunreinigungen

In Tabelle 5-3 und Abbildung 5-1 sind alle Verfahren mit den jeweiligen Bewertungen aufgeführt. Es ergibt sich eine Rangfolge der Varianten aufgrund der Bewertungspunkte. Zusätzlich wurde eine Gewichtung der Kriterien festgelegt, die auf die Bedürfnisse der ARA Rosenbergsau ausgerichtet ist. So ergeben sich eine ungewichtete und eine gewichtete Bewertung.

Tabelle 5-3: Übersicht über die Bewertung der einzelnen Kriterien aller Verfahren und die ungewichteten und gewichteten Bewertungsergebnisse

Variante	Verfahren	Platzbedarf	Integration	Innovation / Risiko	Investitionskosten	Betriebskosten Energie	Betriebskosten Verbrauchsmittel	Ungewichtete Bewertung	Gewichtete Bewertung
Gewichtung [%]		10	15	30	15	15	15		100
1.0	PAK mit Sedimentation und Raumfiltration	1	3	4	3	4	3	3.0	3.3
1.1	PAK mit Lamellenabscheider und Raumfiltration	2	3	4	3	4	3	3.2	3.4
1.2	PAK mit verbesserter Sedimentation und Filtration	3	3	3	2	4	3	3.0	3.0
1.3	PAK Direkt dosierung Biologie mit Raumfiltration	5	2	2	4	5	2	3.3	3.1
1.4	PAK mit Membran	5	3	2	2	2	3	2.8	2.6
1.5	PAK mit Raumfiltration	4	2	3	3	4	3	3.2	3.1
2.0	GAK-Filtration	5	5	2	3	3	2	3.3	3.1
3.0	Ozonung mit Raumfiltration	4	5	3	4	2	5	3.8	3.7
3.1	Ozonung, Wirbelbett, Flächenfiltration	2	4	2	4	3	5	3.3	3.2
4.0	Kombiverfahren (Ozonung mit GAK-Filter)	4	4	2	2	3	4	3.2	3.0
5.0	Dichte Membran	4	3	1	1	1	4	2.3	2.1
6.0	Ferrat mit Filtration	5	5	2	3	3	2	3.3	3.1

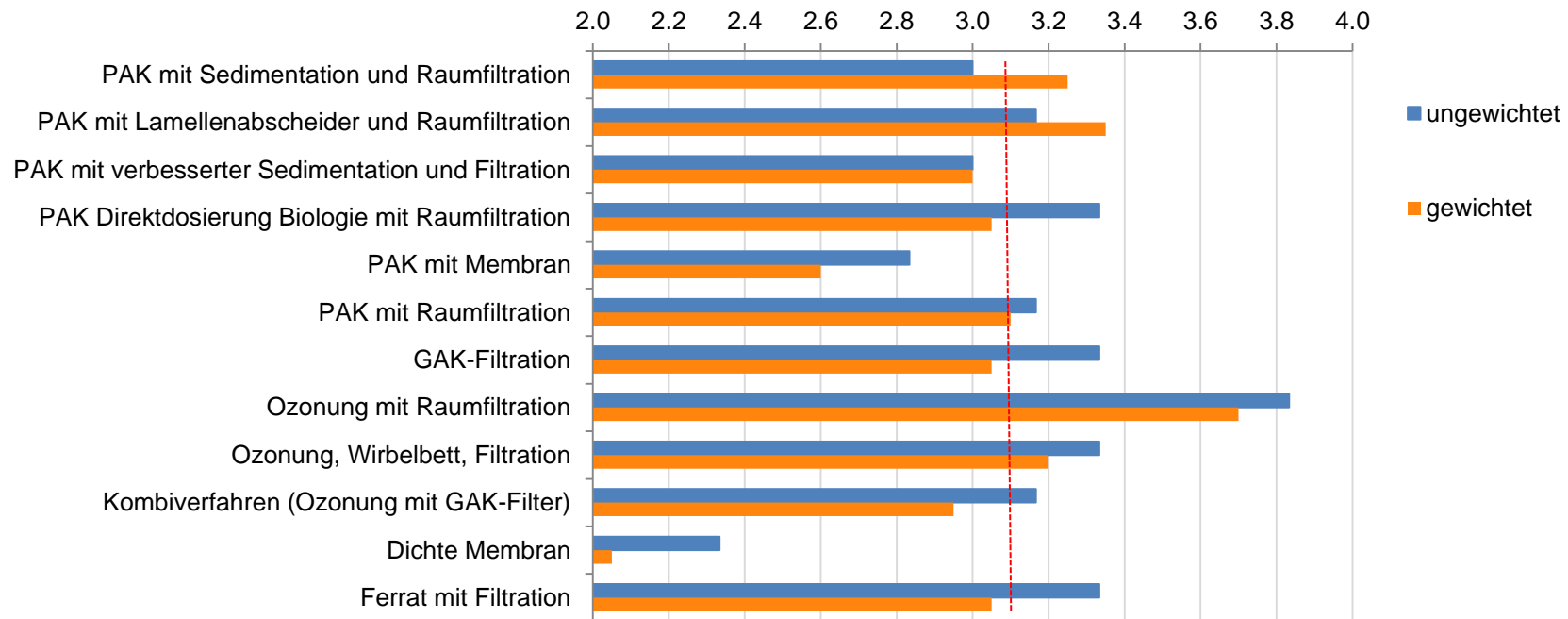


Abbildung 5-1: Grafische Darstellung der ungewichteten und gewichteten Bewertungsergebnisse der Bewertung aller Verfahren (Bewertungsskala 1-5)

5.6 Verfahrensauswahl für die Nutzwertanalyse

Die folgenden vier Verfahren wurden auf Grundlage der gewichteten Bewertung für die Detailanalyse ausgewählt (siehe Tabelle 5-3):

- (1) PAK mit Lamellenabscheider und Raumfiltration**
- (2) PAK mit Raumfiltration**
- (3) Ozonung mit Raumfiltration**
- (4) Ozonung, Wirbelbett, Flächenfiltration**

Die gewichtete Bewertung dieser Varianten liegt bei 3.1 Bewertungspunkten oder darüber. Drei Varianten weisen ebenfalls hohe Bewertungen auf, wurden allerdings aus folgenden Gründen nicht ausgewählt:

Die Variante PAK mit Sedimentation und Raumfiltration (Variante 1.0; Ulmer Verfahren) wurde nicht als separate Variante untersucht, da sie Variante (1) PAK mit Lamellenabscheider und Raumfiltration sehr ähnlich ist, diese aber beim Platzbedarf Vorteile bietet.

Ebenfalls hoch bewertet wurde die Variante PAK Direktdosierung Biologie mit Raumfiltration (Variante 1.3). Diese wird allerdings deshalb nicht für die ARA Rosenbergsau empfohlen, da die Feststoffkonzentration in der biologischen Reinigungsstufe um etwa 10-20% zunimmt und die biologische Behandlungskapazität der ARA reduziert wird (siehe auch **Tabelle 12-14**). Dies geschieht in ähnlichem Umfang bei vollständiger Rückführung der PAK aus der nachgeschalteten PAK Behandlung (Varianten (1) PAK mit Lamellenabscheider und Raumfiltration und (2) PAK mit Raumfiltration). Allerdings ist bei den nachgeschalteten PAK-Varianten die Rückführung in die biologische Reinigungsstufe nicht zwingend erforderlich und kann alternativ in die Vorklärung erfolgen, wo ein Grossteil der PAK mit dem Primärschlamm abgeschieden werden kann.

Die GAK-Filtration (Variante 2.0) schneidet mit den gewählten Kriterien ebenfalls gut ab. Da derzeit zu wenige Erfahrungen für den Einsatz von GAK zur Behandlung von Mikroverunreinigungen vorliegen und die Problematik der Standzeit des Filtermediums offen bleibt, kann das Verfahren derzeit (noch) nicht empfohlen werden und wird daher nicht weiter untersucht.

6. DETAILANALYSE VARIANTEN

Die vier Verfahren, die auf Grund der Vorevaluation gewählt wurden, werden im Folgenden eingehender beschrieben. Auf dem jeweiligen Groblayout sind die wichtigsten Verfahrensstufen dargestellt (in **Anhang 0**). Weitergehende Informationen zur Dimensionierung der einzelnen Verfahren sind dem **Anhang 12.6** zu entnehmen.

6.1 Beschreibung der Varianten

Alle vier Varianten können auf dem bestehenden Areal der ARA realisiert werden (Liegenschaft 107). Je nach Variante wird der derzeit verpachtete Bereich der Liegenschaft 107 ganz oder teilweise belegt. Bei der Erarbeitung der Groblayouts wurden die geplante Kadaversammelstelle und Reserveflächen für eine eventuelle eigene Faulschlammentwässerung mit separater Faulwasserbehandlung berücksichtigt. In der weiteren Planung sollte die Faulwasserbehandlung berücksichtigt werden und wenn möglich und sinnvoll in die Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen integriert werden, um eine möglichst einheitliche und klare Erscheinung der ARA zu erreichen und Betriebsabläufe zu optimieren.

Das Maschinenhaus der Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen ist mittels Werkleitungskanal ab dem bestehenden Maschinenhaus 4 erschlossen.

Der bestehende Ablaufkanal der Nachklärbecken wird als Zulauf für die Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen verwendet. Hierzu wird dieser mit einem Gegengefälle ausgestattet, sodass die Fliessrichtung neu entgegengesetzt Richtung Norden ist.

Bei allen Varianten wird ein Zwischenpumpwerk notwendig, um zu hohe Freiborde der Becken zu vermeiden und den heutigen Hochwasserschutz der Anlage nicht zu kompromittieren. Gemäss den Angaben in Kapitel 3.5.1 wird für die Varianten eine Teilstrombehandlung für die Spurenstoffelimination berücksichtigt, während die Raumfiltration/ Nachbehandlungsstufe für den Vollstrom ausgelegt ist. Im Pumpwerk wird das Wasser aufgeteilt: Bis zum Dimensionierungszufluss ($Q_{MV,max} = 400 \text{ l/s}$) wird die gesamte Wassermenge der Behandlung mit PAK bzw. Ozon zugeführt. Die Abwassermengen über dem Dimensionierungszufluss werden über einen Bypass an der Behandlungsstufe vorbeigeführt.

Vor der Filtration werden die Teilströme zusammengeführt und der gesamte Wasserstrom wird abschliessend filtriert. So ist sichergestellt, dass die ARA Rosenbergsau bei etwaig erhöhten Anforderung an die GUS-Ablaufkonzentration diese sicher einhalten kann.

6.1.1 PAK mit Lamellenabscheider und Raumfiltration (Variante 1)

Nach dem Pumpwerk wird das Abwasser in einem Kontaktreaktor mit der PAK gemischt und durchfließt anschliessend ein Sedimentationsbecken mit Lamellenabscheider, in welchem die PAK gravitär abgeschieden wird. Zur Entfernung der Feinfraktion ist eine Raumfiltration nachgeschaltet, welche biologisch aktiviert ist (Abbau von Ammonium- und Nitritspitzen). Bis auf den PAK-Lagertank sind alle Anlagenteile und Becken redundant ausgeführt.

In das Maschinenhaus sind neben dem Pumpwerk PAK-Lagertank und –Dosierung (mit Wasserstrahlpumpen, alternativ mit Suspensionsvorlage und Schlauchquetschpumpe), Chemikalienlager und -dosierung (Fäll- und Flockungshilfsmittel), Rezirkulationspumpen und die EMSR-Installationen integriert. Die PAK-Lagerung wird als Hochtank realisiert, der über das Betriebsgebäude hinausragt (Tankhöhe PAK insgesamt ca. 18 m).

Der Überschussschlamm aus dem PAK-Kontaktbecken wird in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt. Um bei hoher Belastung der Biologie bzw. Nachklärung (hohe Feststoffkonzentration) betrieblich flexibel reagieren zu können, ist zusätzlich die Möglichkeit vorgesehen, den Überschussschlamm in die Vorklärung rückzuführen. Das Rückspülwasser der Raumfiltration wird in die Vorklärung rückgeführt (alternativ wäre eine separate Voreindickung möglich).

Die PAK-Dosierung kann nach der Zuflussmenge oder der DOC- bzw. TOC-Konzentration gesteuert werden.

Vorteile

- Erprobtes Verfahren mit langjähriger Betriebserfahrungen
- Stoffe werden aus dem Wasser eliminiert und Wasser wird geruch- und farblos
- Reduzierte Fällmitteldosierung in biologischer Reinigungsstufe
- Reduktion des CSB und DOC

Nachteile

- Relativ grosser Platzbedarf
- Erhöhung der Belebtschlammkonzentration und der zu entsorgenden Schlammmenge bei Rückführung PAK in Biologie
- Kreislaufführung von feinem, schlecht absetzbarem Schlamm zwischen Biologie und Filtration potentiell möglich
- Höhere Abnutzung der Leitungen, Pumpen etc. durch erhöhte Abrasion
- Keine Entkeimung des gereinigten Abwassers

6.1.2 PAK mit Raumfiltration (Variante 2)

Diese Variante unterscheidet sich darin von Variante 1, dass auf ein Sedimentationsbecken verzichtet wird und die PAK nach den Kontaktbecken direkt in der Raumfiltration abgeschieden wird. Die Kontaktbecken können kleiner ausgeführt werden, da die PAK vor der Filterrückspülung über längere Zeit im Raumfilter verbleibt. Die Raumfiltration ist bei dieser Variante grösser ausgelegt, um die zusätzliche Feststoffbelastung zu bewältigen.

Nach dem Pumpwerk wird das Abwasser in einem Kontaktreaktor mit der PAK gemischt. Zur Entfernung der Feinfraktion der PAK ist eine Raumfiltration nachgeschaltet, die auch biologisch aktiv ist (Abbau von Ammonium- und Nitritspitzen). Bis auf den PAK-Lagertank sind alle Anlagenteile und Becken redundant bzw. zweistrassig ausgeführt.

In das Maschinenhaus sind PAK-Lagertank und –Dosierung (mit Wasserstrahlpumpen, alternativ mit Suspensionsvorlage und Schlauchquetschpumpe), Chemikalienlager und -dosierung (Fäll- und Flockungshilfsmittel), Rezirkulationspumpen und die EMSR-Installationen integriert. Die PAK-Lagerung wird als Hochtank realisiert, der über das Betriebsgebäude hinausragt (Tankhöhe PAK insgesamt ca. 18 m).

Der Überschussschlamm aus der Filtration wird in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt. Dies ist bei dieser Variante umso wichtiger, da die Aufenthaltszeit im Kontaktbecken bzw. in der Raumfiltration deutlich geringer ist als bei Variante 1 mit Rücklaufschlamm von der Sedimentation in das Kontaktbecken. Dennoch ist es prinzipiell möglich bei hoher Belastung der Biologie bzw. Nachklärung (hohe Feststoffkonzentration) das Spülwasser in die Vorklärung rückzuführen.

Die PAK-Dosierung kann nach der Zuflussmenge oder der DOC- bzw. TOC-Konzentration gesteuert werden.

Vorteile

- Reduzierter Platzbedarf gegenüber PAK mit Sedimentation
- Stoffe werden aus dem Wasser eliminiert und Wasser wird geruch- und farblos
- Reduzierte Fällmitteldosierung in biologischer Reinigungsstufe
- Reduktion des CSB und DOC

Nachteile

- Erfahrungen mit Pilotanlagen noch limitiert (Pilotbetrieb kleiner 3 Monate)
- Erhöhung der Belebtschlammkonzentration und der zu entsorgenden Schlammmenge bei Rückführung PAK in Biologie
- Kreislaufführung von feinem, schlecht absetzbarem Schlamm zwischen Biologie und Filtration potentiell möglich
- Höhere Abnutzung der Leitungen, Pumpen etc. durch erhöhte Abrasion
- Keine Entkeimung des gereinigten Abwassers

6.1.3 Ozonung mit Raumfiltration (Variante 3)

Nach dem Pumpwerk wird das Abwasser in einem geschlossenen Kontaktreaktor mit Ozon in Kontakt gebracht. Dieser besteht aus ca. 6 Kompartimenten (je Strasse) von denen zwei mit Diffusoren ausgestattet sind, über die das Ozongas im Gegenstromverfahren eingebracht wird. In den weiteren Reaktionskompartimenten tritt das Ozon aus der Gas- in die Flüssigphase über und oxidiert die Mikroverunreinigungen. Ozonhaltiges Abgas aus dem Reaktor wird einer Restozonvernichtungsanlage zugeführt. Bei der Restozonvernichtung wird Ozon mittels Katalysatoren in molekularen Sauerstoff umgewandelt und wieder in die Umgebungsluft abgegeben. Dabei ist gewährleistet, dass eine O_3 -Konzentration im Abgas von ≤ 0.1 ppm nicht überschritten wird.

Das Ozon wird mittels Ozongeneratoren aus Flüssigsauerstoff direkt vor dem Eintrag erzeugt. Zum Abbau von potentiell toxischen Nebenprodukten ist eine Raumfiltration nachgeschaltet, die auch biologisch aktiv ist (Abbau von Ammonium- und Nitritspitzen).

In das Maschinenhaus sind der Ozongenerator mit Kühlanlage, der Restozonvernichter und die EMSR-Installationen integriert. Der Ozongenerator und der Restozonvernichter können jeweils wahlweise mit ein oder zwei Geräten realisiert werden. Die Kontaktreaktoren mit Eintragssystem werden zweistrassig ausgeführt. Die Sauerstofflagerung wird als Hochtank realisiert, der frei aufgestellt ist (Tankhöhe Sauerstoff insgesamt ca. 12 m).

Es sind keine Rezirkulationen in die biologische Reinigungsstufe notwendig. Das Rückspülwasser der Raumfiltration wird in die Vorklärung geführt.

Für die Sauerstoffanlieferung werden üblicherweise mehrjährige Lieferverträge abgeschlossen. Der Sauerstofftank wird gemietet und vom Lieferanten gewartet und unterhalten. Alternativ zur Anlieferung von Flüssigsauerstoff wäre die Sauerstoffproduktion vor Ort aus Luft möglich. Tendenziell führt diese zu Mehrkosten gegenüber der Sauerstoffanlieferung. Für den Umgang mit Ozon sind besondere Sicherheitsanforderungen zu beachten.

Die Ozon-Dosierung kann nach der DOC- bzw. TOC-Konzentration oder der Konzentration an gelöstem Ozon geregelt werden.

Vorteile

- Es fallen keine zu entsorgenden Stoffe an
- Der Einfluss auf die biologische Reinigungsstufe und die Schlammbehandlung ist gering (nur Rückspülwasser der Filtration)
- Verbesserung von Geruch, Verfärbung und Schaumbildung zu erwarten
- Entkeimung des gereinigten Abwassers (Badewasserqualität)

Nachteile

- Mikroverunreinigungen werden umgewandelt, nicht entfernt (toxische Metabolite können entstehen)
- Hoher Energieverbrauch in ARA
- Erhöhte Anforderungen an den Arbeitsschutz
- Höherer Aufwand für Wartung und Kalibration der Messgeräte

6.1.4 Ozonung, Wirbelbett, Flächenfiltration (Variante 4)

Nach dem Pumpwerk wird das Abwasser in einem geschlossenen Kontaktreaktor mit Ozon in Kontakt gebracht. Dieser besteht aus ca. 6 Kompartimenten (je Strasse) von denen zwei mit Diffusoren ausgestattet sind (Kontaktkompartimente), über die das Ozongas im Gegenstromverfahren eingebracht wird. In den weiteren Reaktionskompartimenten tritt das Ozon aus der Gas- in die Flüssigphase über und oxidiert die Mikroverunreinigungen. Das Restozon in der Abluft wird mittels Restozonvernichter katalytisch entfernt. Das Ozon wird mittels Ozongeneratoren aus Flüssigsauerstoff direkt vor dem Eintrag erzeugt.

Zum Abbau von Nebenprodukten, die toxisch sein können, ist ein Wirbelbett (klassisches Wirbelbett ohne Rezirkulation) nachgeschaltet, das biologisch aktiviert ist (Abbau von Ammonium- und Nitritspitzen). Zur Reduktion der GUS-Konzentrationen ist eine Flächenfiltration (Tuchfiltration oder Mikro-siebung) nachgeschaltet.

In das Maschinenhaus sind der Ozongenerator mit Kühlanlage, der Restozonvernichter und die EMSR-Installationen integriert. Der Ozongenerator und der Restozonvernichter können jeweils wahlweise mit ein oder zwei Geräten realisiert werden. Die Kontaktreaktoren mit Eintragssystem werden zweistrassig ausgeführt. Die Sauerstofflagerung wird als Hochtank realisiert, der frei aufgestellt ist (Tankhöhe Sauerstoff insgesamt ca. 12 m).

Es sind keine Rezirkulationen in die biologische Reinigungsstufe notwendig. Das Rückspülwasser der Flächenfiltration (deutlich geringere Spülwassermengen als für die Raumfiltration) wird in die Vorklärung geführt.

Für die Sauerstoffanlieferung werden üblicherweise mehrjährige Lieferverträge abgeschlossen. Der Sauerstofftank wird gemietet und vom Lieferanten gewartet und unterhalten. Alternativ zur Anlieferung von Flüssigsauerstoff wäre die Sauerstoffproduktion vor Ort aus Luft möglich. Tendenziell führt diese zu Mehrkosten gegenüber der Sauerstoffanlieferung. Für den Umgang mit Ozon sind besondere Sicherheitsanforderungen zu beachten.

Die Ozon-Dosierung kann nach der DOC- bzw. TOC-Konzentration oder der Konzentration an gelöstem Ozon geregelt werden.

Alternativ könnte die Variante mit vorgeschalteter Flächenfiltration realisiert werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass durch eine Feststoffabtrennung vor der Ozonung der Ozonverbrauch bei gleicher Eliminationsleistung reduziert werden kann. Genauer abgeklärt werden müsste allerdings, ob in diesem Fall die GUS-Ablaufkonzentrationen sicher eingehalten werden könnten.

Vor weiteren Planungsschritten für diese Variante sollten Laboruntersuchungen mit Abwasserproben erfolgen, um die prinzipielle Eignung der Ozonbehandlung festzustellen, resp. zur Identifikation von potentiell toxischen Zwischenprodukten.

Vorteile

- Es fallen keine zu entsorgenden Stoffe an
- Der Einfluss auf die biologische Reinigungsstufe und die Schlammbehandlung ist sehr gering (nur Rückspülwasser der Filtration)
- Geringster Flächenbedarf
- Verbesserung von Geruch, Verfärbung und Schaumbildung zu erwarten
- Reduzierte Pumphöhe
- Entkeimung des gereinigten Abwassers (Badewasserqualität)

Nachteile

- Mikroverunreinigungen werden umgewandelt, nicht entfernt (toxische Metabolite können entstehen)
- Hoher Energieverbrauch in ARA
- Erfahrungen mit Pilotanlagen für Wirbelbett-nachbehandlung noch limitiert
- Nur ein Teilstrom wird mit der biologisch aktiven Stufe behandelt
- Erhöhte Anforderungen an den Arbeitsschutz
- Höherer Aufwand für Wartung und Kalibration der Messgeräte

6.2 Kostenermittlung

Für die vier Varianten wurden Kostenkalkulationen durchgeführt. Dabei wurden Investitionskosten und Betriebskosten sowie die resultierenden Jahreskosten bestimmt. Die Kosten wurden mit einer Genauigkeit von $\pm 25\%$ ermittelt, inkl. Kosten für Technische Arbeiten und Nebenkosten, exkl. Mehrwertsteuer.

6.2.1 Investitionskosten

Ausmass und Preisstellung

Die Kostenermittlung basiert auf Planmaterial 1:500, Richtangeboten und Vergleichspreisen aktueller, vergleichbarer Kläranlageprojekten. Preisbasis bildet dabei das 2. Quartal 2014.

Baulicher Teil

Die Kosten der Baumeisterarbeiten basieren auf Ausmassberechnungen mit entsprechenden Einheitspreisen.

Die Einheitspreise der Arbeiten von Bauhandwerkern basieren auf Arbeiten von ausgeführten Kläranlagen, sowie auf Angaben von Handwerkern.

Maschinelle und betriebstechnische Einrichtungen

Für die wichtigsten Ausrüstungen (PAK Anlage, Ozonanlage, Filtrationen) liegen Unternehmer-Richtpreisofferten vor. Für die übrigen Maschinen und Ausrüstungen wurden die entsprechenden Einheitspreise von anderen, kürzlich ausgeführten Kläranlagen übernommen.

EMSRL-Einrichtungen

Die Ermittlung der Kosten erfolgte anhand von Erfahrungswerten sowie Vergleichsverhältnissen zu Bau- und Maschinen-Investitionskosten.

Technische Arbeiten

Die Kalkulation der technischen Arbeiten basiert auf den Ordnungen SIA 103 (Leistungen und Honorare der Bauingenieure und Bauingenieurinnen) und SIA 108 (Leistungen und Honorare der Maschinen- und der Elektroingenieure sowie der Fachingenieure für Gebäudeinstallationen).

Subventionsbeiträge

Derzeit ist davon auszugehen, dass die Erstinvestitionskosten mit 75 % aus Abwasserfonds subventioniert werden, sofern das Projekt frühzeitig umgesetzt wird.

In den Erstellungskosten sind sämtliche Leistungen enthalten, welche für die Varianten zum Zeitpunkt der Projekterstellung bekannt waren und unter den vorgegebenen Rahmenbedingungen und Ansprüchen des Betriebes notwendig sind. Ausgenommen davon sind Kosten wie:

- Kosten für Energie und Wasser während der Bauzeit
- Beckenleerungen und -reinigungen
- Vorfinanzierung
- Bauzinsen
- Aufwand ARA Rosenbergsau und Betriebspersonal
- Entschädigungen Dritter
(z.B. Geologe, Altlastenspezialist, Korrosionsschutzspezialist, Geometer)
- Zusätzliche Betonuntersuchungen

In **Tabelle 6-1** sind die wichtigsten Positionen der Investitionskosten zusammengestellt. Die detaillierten Kostenzusammenstellungen für alle Varianten sind in **Anhang 12.11** zu finden.

Tabelle 6-1: Investitionskosten inkl. Planerleistungen exkl. MwSt.

Kostenposition	Einheit	PAK mit Lammellen und Raumfiltration	PAK, Raumfiltration	Ozonung mit Raumfiltration	Ozonung, Wirbelbett, Filtration
Bau	CHF	6'381'000	5'431'000	4'764'000	4'304'000
EMT	CHF	4'661'000	4'127'000	4'066'000	3'862'000
EMSRL	CHF	1'375'000	1'267'000	1'266'000	1'152'000
Technische Arbeiten	CHF	1'490'000	1'335'000	1'225'000	1'114'000
Investitionskosten	CHF	13'907'000	12'160'000	11'321'000	10'432'000

6.2.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten sind im folgenden Kapitel aufgeführt (**Tabelle 6-3**). Details zur Betriebskostenrechnung für die vier Varianten sind in **Anhang 12.12 ab Seite 88** aufgeführt.

Die Einheitspreise der verschiedenen Kostenstellen der Betriebskosten basieren auf heutigen Effektivkosten (2012), aktuellen Preisangaben von Lieferfirmen und Werken sowie auf Werten vergleichbarer Projekte unter Berücksichtigung von massgebender Teuerung.

Personalbedarf:

Für den Betrieb und Unterhalt der Mikroverunreinigungsstufe sind für die beiden PAK-Varianten 80 Stellenprozente und für die Ozonungsvarianten 60 Stellenprozente als Vollzeitstellen eingerechnet.

Die Personalkosten für eine 100 Prozent Betriebsstelle wurde mit 100'000 CHF angesetzt.

Allgemeiner Betriebsaufwand:

Zum allgemeinen Betriebsaufwand zählen:

- Bürobedarf und Büroeinrichtungen (Sachwerte)

- allgemeine Verwaltungskosten
- Versicherungen für Sachwerte (Haftpflicht, Elementarschaden)
- Labor (Sachwerte)
- Reinigung der Anlagen, Gebäudereinigung, Reinigungsmittel
- Winterdienst

Reparatur und Unterhalt:

Für Reparatur- und Unterhaltskosten werden die Prozentanteile wie folgt eingesetzt:

- 1.5% der Investitionskosten der elektromechanischen Ausrüstungen und der Installationen (für Neuinstallationen)
- 0.3% der Investitionskosten des Bauwerks (für Neubauten)
- 0.5% der Investitionskosten der EMSRL-Anlagen

Energie:

Die Energieverbräuche (Elektrizität) wurden auf Grundlage von eigenen Berechnungen, Herstellerangaben und Literaturwerten mit approximativen Berechnungen bestimmt.

Details zu den Bestimmungen der Energieverbräuche siehe **Kapitel 6.3**.

Betriebsmittel:

Die Kosten für PAK und Sauerstoff (Anlieferung Flüssigsauerstoff) wurden bei mehreren Lieferanten angefragt. Für Fällmittel ist der Einheitspreis pro kg Metall (Eisen) angegeben.

Entsorgung:

Für die Entsorgung des zusätzlich anfallenden Schlammes bei den PAK Varianten wurden die Preise entsprechend der Jahreskostenabrechnung 2012 verwendet.

6.2.3 Jahreskosten

Die Jahreskosten setzen sich aus den Betriebs- und Kapitalkosten zusammen. Die jährlich anfallenden Kapitalkosten wurden mit der Annuitätenmethode bestimmt.

Die ermittelten spezifischen Jahreskosten stimmen grössenordnungsmässig gut mit Literaturangaben überein. Für die PAK-Varianten ergeben sich Kosten von 33 bis 36 CHF/E/a bzw. 13 bis 14 CHF/EW/a, für die Ozonungsvarianten von 10 bis 11 CHF/E/a bzw. 26 bis 28 CHF/E/a. Für Anlagen dieser Grössenordnung ergeben sich nach dem Kostenmodell von Holinger und Hunziker für PAK 35 CHF/EW/a und für Ozonung 20 CHF/EW/a.

Abschreibung

Die verwendeten Zeiträume für die Abschreibung der verschiedenen Investitionsobjekte (Bauwerke, Elektromechanische Teile (EMT), Elektro-, Mess-, Steuerungs-, Regel- und Leittechnik (EMSRL)) sind in **Tabelle 6-2** zusammengestellt.

Annuitäten

Der Kapitaleinsatz wurde mit der Annuitätenmethode bestimmt. Dabei wurde ein Zinssatz von 2.0% angesetzt.

Tabelle 6-2: Zeiträume für die Abschreibung, Annuität (Zinssatz 2%) und jährliche prozentuale Aufwendungen für Wartung und Unterhalt

Kostenposition	Abschreibungszeit- raum	Annuität	Unterhalt und War- tung
	Jahre	%/a	%/a
Investitionen Bau	30	4.5	0.3
Investitionen EMT	15	7.8	1.5
Investitionen EMSRL	10	11.1	0.5

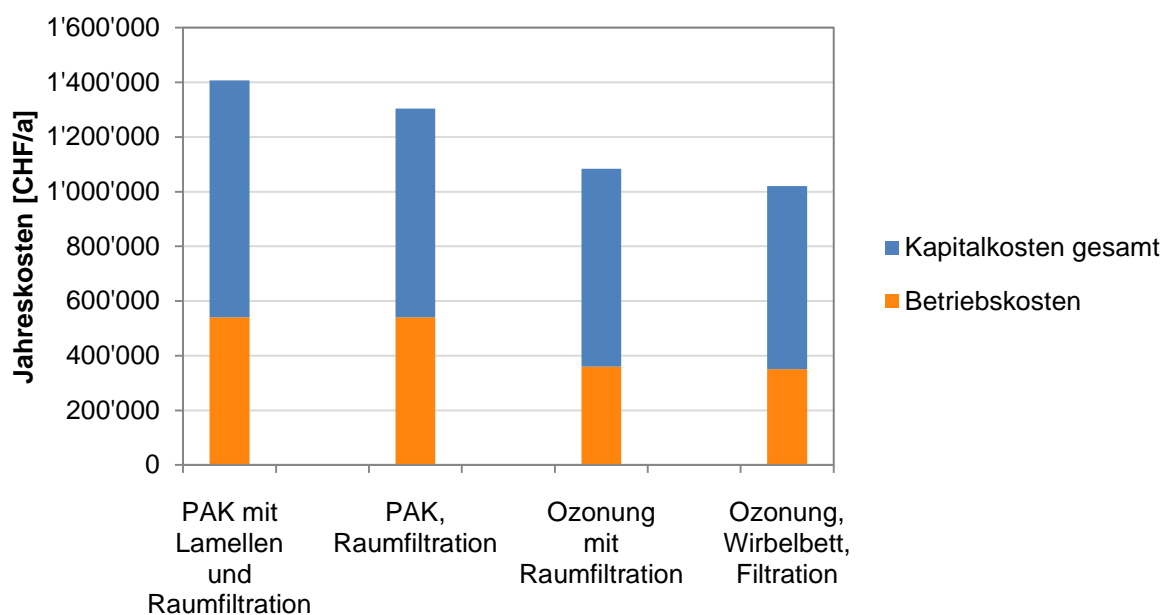


Abbildung 6-1: Investitions- und Betriebskosten der vier Varianten zur Entfernung von Mikroverunreinigungen

Tabelle 6-3: Jahreskosten inkl. Planerleistungen exkl. MwSt.; Die spezifische Kosten wurden mit folgenden Werten bestimmt: 39'246 E, 101'000 EW, 6'307'200 m³/a.

Kostenposition	Einheit	PAK mit Lamellen und Raum- filtration	PAK, Raumfiltra- tion	Ozonung mit Raum- filtration	Ozonung, Wirbelbett, Filtration
Betriebskosten	CHF/a	540'000	540'000	360'000	350'000
Kapitalkosten gesamt	CHF/a	867'000	764'000	724'000	671'000
Jahreskosten gesamt	CHF/a	1'407'000	1'304'000	1'084'000	1'021'000
Jahreskosten spezifisch	CHF/E/a	35.9	33.2	27.6	26.0
	CHF/EW/a	13.9	12.9	10.7	10.1
	CHF/m ³	0.22	0.21	0.17	0.16

6.3 Energieverbrauch

Im Betrieb wird bei den Ozonungsverfahren deutlich mehr Strom (elektrische Energie) benötigt als bei den PAK-Verfahren. Die Stromverbräuche der einzelnen Verfahrensstufen und Gesamtstromverbräuche der Verfahrensvarianten sind in **Tabelle 6-4** und **Tabelle 6-5** dargestellt.

Tabelle 6-4: Stromverbräuche der einzelnen Verfahrensstufen

Parameter	Einheit	Stromverbrauch
Ozonierung	kWh/m ³	0.100
PAK Verfahren	kWh/m ³	0.010
Wirbelbett	kWh/m ³	0.020
Raumfiltration	kWh/m ³	0.020
Flächenfiltration	kWh/m ³	0.001
Hebewerk	kWh/m ³	0.020
Rührwerke/Lamellen	kWh/m ³	0.005

Tabelle 6-5: Ermittelte Gesamtstromverbräuche der Varianten bezogen auf die behandelte Abwassermenge bei 200 l/s (6'307'200 m³/a) und Jahresverbräuche

Parameter	Einheit	Stromverbrauch
Variante 1	kWh/m ³	0.06
PAK mit Lamellenabscheider und Raumfilter	kWh/a	378'000
Variante 2	kWh/m ³	0.06
PAK mit Raumfilter	kWh/a	347'000
Variante 3	kWh/m ³	0.14
Ozonung mit Raumfilter	kWh/a	883'000
Variante 4	kWh/m ³	0.13
Ozonung, Wirbelbett, Flächenfiltration	kWh/a	826'000

Neben dem Stromverbrauch im Betrieb ist die Primärenergie (Energie für Produktion, Transport und zur Erzeugung der elektrischen Energie) bei der Wahl eines Verfahrens nicht vernachlässigt werden. In **Tabelle 6-6** und **Abbildung 6-2** sind Primär- und Sekundärenergie von Ozonung resp. PAK dargestellt. Zum Vergleich sind auch Primär- und Sekundärenergieverbrauch der gesamten ARA Rosenbergsau dargestellt. PAK hat einen sehr hohen Primärenergieverbrauch, da die Herstellung von PAK sehr energieintensiv ist. Ozon hingegen braucht auf der ARA viel Energie, da das Ozon vor Ort hergestellt wird. Um den Stromverbrauch für die Herstellung von Ozon zu reduzieren können beispielsweise Solarzellen auf der Ozonungsanlage installiert werden oder der bei der Herstellung von Ozon entstehende Wasserstoff (H₂) kann zur Energierückgewinnung genutzt werden, indem dieser bspw. in einem Wasserstoffmotor verbrannt wird.

Der gesamte Energieverbrauch der ARA stellt sich in dieser Abbildung nur durch den Strombezug von den Technischen Betrieben der Gemeinde Au und die Eigenstromproduktion zusammen. Primärenergien zur Herstellung von Flockungsmitteln oder anderen Betriebsmitteln wurden nicht berücksichtigt.

Tabelle 6-6: Vergleich von Primär- und Sekundärenergieverbrauch von Ozon und PAK bei einer Dosierung von 6 resp. 13 mg/l und einem mittleren Abfluss von 200 l/s (6'307'200 m³/a)

Parameter	Einheit	Primärenergie	Sekundärenergie	Faktor Primär/ Sekundär
Ozon				
Herstellung O ₃ (Stromverbrauch auf der ARA)	kWh/m ³	0.48	0.14	
Herstellung O ₂ (Stromverbrauch ausserhalb der ARA)	kWh/m ³	0.07	0	
Gesamt	kWh/m ³	0.55	0.14	
	kWh/a	3'466'000	883'000	3.9
PAK				
Anwendung PAK (Stromverbrauch auf der ARA)	kWh/m ³	0.21	0.06	
Herstellung PAK (Stromverbrauch ausserhalb der ARA)	kWh/m ³	0.40	0	
Gesamt	kWh/m ³	0.60	0.06	
	kWh/a	3'811'000	378'000	10.1
Gesamte ARA				
Stromverbrauch ARA (Eigenproduktion)	kWh/m ³	0.07	0.20	0.4
Strombezug ARA	kWh/m ³	0.34	0.10	3.4
Gesamter Stromverbrauch ARA	kWh/m ³	0.42	0.30	1.4
	kWh/a	2'628'000	1'902'000	1.4

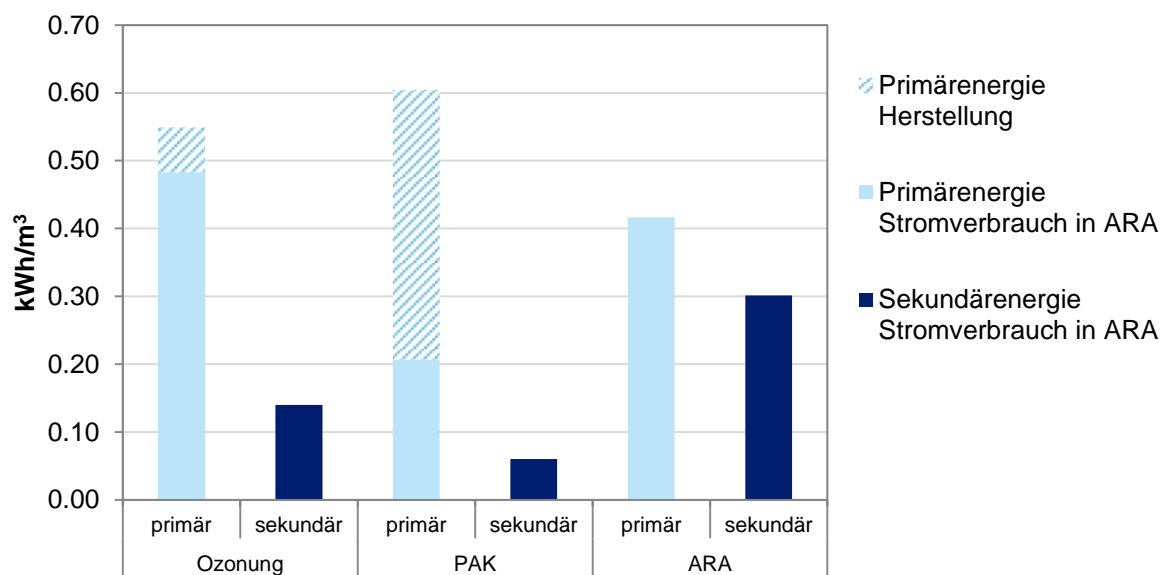


Abbildung 6-2: Vergleich von Primär- und Sekundärenergie von Verfahren mit PAK und mit Ozon und die Primär- und Sekundärenergie der gesamten ARA im Jahr 2012

6.4 Metabolitbildung bei Ozonung

Bei der Ozonung werden Mikroverunreinigungen nicht aus dem Abwasser entfernt sondern umgewandelt. Diese Oxidationsprodukte sind in der Regel nicht toxisch und können meistens besser biologisch abgebaut werden als ihre Muttermoleküle. Allerdings kann es auch vorkommen, dass das Oxidationsprodukt toxischer ist als sein Muttermolekül. Bekannte Beispiele hierfür sind die Bildung von Bromat und Nitrosaminen.

Bromat wird aus Bromid gebildet und gilt als potenziell krebserregend. Der ökotoxikologische Richtwert für Bromat in Gewässern beträgt 3 mg/l, für Trinkwasser beträgt der Grenzwert 10 µg/l. Bei stark Bromid-haltigem Abwasser müsste die Ozondosis entsprechend limitiert werden.

Aus einigen organischen Aminen können durch die Ozonung krebserregende **Nitrosamine** gebildet werden. Allerdings gibt es bisher keine Grenzwerte für Nitrosamine. Laut der Environmental Protection Agency (EPA, USA) erkrankt einer von einer Million Menschen bei einer lebenslangen Exposition mit 0.7 µg/l Nitrosodimethylamin (NDMA) im Trinkwasser.

In bisherigen Studien konnten allerdings mit einem nachgeschalteten Sandfilter beinahe alle toxischen Nebenprodukte abgebaut werden. Die Problematik bleibt allerdings auf Grund der Vielzahl und Komplexität der Metabolite nicht abschliessend geklärt.

7. BEURTEILUNG DER BEHANDELBARKEIT DES ABWASSERS MIT OZON

Aufgrund der Detailanalyse in Kapitel 6 ist für die ARA Rosenbergsau die Elimination der Spurenstoffe mit Ozonung und Raumfiltration vordergründig und sehr interessant. Um Aussagen bezüglich der oben aufgeführten Problematik der Metabolitenbildung treffen zu können (resp. wie die Ökotoxizität abnimmt oder auch ansteigt), wurden Untersuchungen mit dem biologisch gereinigten Abwasser der ARA Rosenbergsau durchgeführt. Die Abwasserbeprobung erfolgte analog zu den vom Kanton durchgeführten Untersuchungen aus den Jahren 2009, 2010 und 2012 (Wochensammelprobe). Die Analysen erfolgten durch das Labor Envilab AG, Zofingen. Die Probenahmen erfolgten 31.03.-06.04.2014 (Oxidationsnebenprodukte) und 21.04.-27.04.2014 (Ökotoxikologische Tests).

Hierbei sind folgende Oxidationsnebenprodukte untersucht und ökotoxikologische Tests durchgeführt worden:

- Oxidationsnebenprodukte: Bromid / Bromat, Nitrosamine
- Ökotoxikologische Tests: Ames Test, Algen Test, Daphnien Test, Fischeitest

Die Bromidkonzentrationen im Ablauf der biologischen Reinigungsstufe lagen zwischen 40 und 120 µg/l. Im Vergleich zu den im Jahr 2012 im Kanton St. Gallen erhobenen Daten liegen diese Konzentrationen im Mittelfeld und sind nicht auffällig (Bandbreite Kanton 70 bis 750 µg/l).

Nach der Ozonung sind folgende Bromatkonzentrationen im Abwasser der ARA Rosenbergsau ermittelt worden:

- 16 µg Bromat/l bei einer Ozondosierung von 0.5 mg O₃/mg DOC
- 75 µg Bromat/l bei einer Ozondosierung von 1.0 mg O₃/mg DOC)

Für Oberflächengewässer gibt es für Bromat keine gesetzlichen Anforderungen, der Grenzwert für Trinkwasser (10 µg/l) wird überschritten. Jedoch zeigen die Ergebnisse aus den Pilotversuchen (u.a. ARA Regensdorf), dass Bromat in der nachgeschalteten (biologisch aktiven) Sandfiltration wieder abgebaut wird und deutlich tiefere Werte im ARA Auslauf zu erwarten sind.

Bei den Nitrosaminen wurden in allen untersuchten Proben, inkl. der unbehandelten Abwasserproben, Spuren von NDMA gefunden. Von den anderen untersuchten Nitrosaminen waren keine oberhalb der Bestimmungsgrenze. Die Dimethylnitrosamin (NDMA) Konzentrationen lagen zwischen 0.2 µg/L (unbehandeltes Abwasser) und 0.3 µg/l (ozoniertes Abwasser). Für NDMA gibt es keine gesetzlichen Grenzwerte und eine eindeutige Bewertung kann aktuell aufgrund der relativ geringen Konzentration nicht gemacht werden. Die Daten zeigen aber, dass die Grössenordnungen der Konzentration vor und nach der Ozonung ähnlich sind, und dass eine höhere Ozondosis (1.0 mg O₃/mg DOC) keine messbare Zunahme der Konzentration im Vergleich zur tieferen Dosis (0.5 mg O₃/mg DOC) bringt.

Die ökotoxikologischen Untersuchungen ergaben keinen Hinweis auf die Bildung einer zusätzlichen Toxizität durch die Ozonung. Beim kombinierten Algentest wies die Diuronäquivalent Konzentration der unbehandelte Probe eine überdurchschnittlich hohe herbizide Wirkung (401 ng/l) auf, die jedoch nach der Ozonung markant auf knapp 11 ng/l reduziert werden konnte (Abnahme um Faktor 40). Die unspezifische Toxizität nahm beim Algentest um Faktor 3 ab. Die anderen Tests zeigten keine signifikanten Auswirkungen gegenüber der nicht behandelten Probe.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse bezüglich Oxidationsnebenprodukte und Toxizität schliessen die Ozonung zur weitergehenden Behandlung nicht aus. Somit kann die Ozonung zur Elimination von Spurenstoffen weiterverfolgt werden.

8. DISKUSSION DER BESTVARIANTE

Aus der Nutzwertanalyse und in Bezug auf die Jahreskosten geht die Variante Ozonung mit Raumfiltration als Bestvariante hervor. Die spezifischen Vorteile sind im **Kapitel 6 Detailanalyse Varianten** aufgeführt.

Die Variante kann optimiert werden, in Abhängigkeit der gesetzlichen Vorgaben. Wenn der GUS-Grenzwert nicht verschärft wird, ist prinzipiell keine Behandlung des Vollstroms in der Raumfiltration erforderlich. Eine biologische Nachbehandlung des ozonierten Teilstrom ist ausreichend. Wenn allerdings die Beurteilung der Reinigungsleistung je Probenahme erfolgt (unabhängig von den Wetterbedingungen und Zuflussmengen), so kann mit einer Teilstrombehandlung nicht sichergestellt werden, dass die geforderte Eliminationsleistung erreicht wird.

Der Ozonreaktor kann für Teilstrom ausgelegt werden und trotzdem auch bei höheren Zuflussmengen und kürzerer Aufenthaltszeit die gesamte Abwassermenge behandeln (Ozonung soll in dieser Form im Klärwerk Werdhölzli umgesetzt werden, "Zürcher Modell"). In diesem Fall ist allerdings eine Filtrationsstufe auch für den Vollstrom erforderlich. Hierbei stellt sich die Frage der Subventionsberechtigung der Differenzinvestitionen für die Auslegung auf Vollstrom und Teilstrom, die mit dem Kanton bzw. BAFU zu klären ist.

Um einen Überblick über die entstehenden Kosten bei verschiedenen Dimensionierungswassermengen und subventionsberechtigten Investitionskosten zu erhalten, sind in Tabelle 8-1 die Jahreskosten für die folgenden Auslegungsfälle für Ozonungsreaktor/ Raumfiltration zusammengestellt:

- Vollstrom/Vollstrom (wie berücksichtigt in Detailanalyse Varianten) mit Subvention der gesamten Erstinvestitionen
- Vollstrom/Vollstrom (wie berücksichtigt in Detailanalyse Varianten) jedoch mit Verminderung des Subventionsanteils bei der Raumfiltration auf die zweifachen Trockenwettermenge von 400 l/s)
- Teilstrom/Teilstrom (wie berücksichtigt in Detailanalyse Varianten) mit Subvention der gesamten Erstinvestitionen

Am günstigsten ist die Lösung Teilstrom/Teilstrom mit CHF/a 510'000, allerdings ist die Einhaltung der Eliminationsleistung bei Regenwetter nicht sichergestellt. Nur etwa 6 % teurer (CHF/a 541'000) kommt die Lösung Vollstrom/Vollstrom bei Subvention der Gesamtinvestition. Falls nur die Investitionskosten für die Teilstrombehandlung als subventionsberechtigt angesehen werden, steigen die Jahreskosten um etwa 25 % auf CHF/a 673'000.

In Bezug auf die Investitionskosten ergibt sich ein ähnliches Bild, wobei der vom AWR zu tragende Restbetrag nach Abzug der Subventionen bei der vollsubventionierten Vollstrom/Vollstrom Lösung mit Mio. CHF 2.8 um etwa 20 % höher liegt, bei der teilsubventionierten Vollstrom/Vollstrom-Lösung mit Mio. CHF 4.2 gar bei knapp 80 % mehr, jeweils im Vergleich zur vollsubventionierten Teilstrom/Teilstrom Lösung mit Investitionskosten in Höhe von Mio. CHF 2.3 (Tabelle 8-2).

Tabelle 8-1: Zusammenstellung der Jahreskosten der Bestvariante Ozonung mit Raumfiltration bei unterschiedlichen Dimensionierungswassermengen und subventionsberechtigten Investitionskosten;

Kostenposition	Einheit	Ozonung mit Raumfiltration			
		Vollstrom/Vollstrom ohne Subvention	Vollstrom/Vollstrom Subvention der Gesamtinvestition	Vollstrom/Vollstrom Teilsubvention	Teilstrom/Teilstrom Subvention der Gesamtinvestition
Betriebskosten	CHF/a	360'000	360'000	360'000	360'000
verbleibende Kapitalkosten	CHF/a	724'000	181'000	277'000	150'000
Jahreskosten	CHF/a	1'084'000	541'000	637'000	510'000
Jahreskosten spezifisch	CHF/E/a	27.6	13.8	16.2	13.0
	CHF/EW/a	10.7	5.4	6.3	5.0
	CHF/m ³	0.17	0.09	0.10	0.08

Tabelle 8-2: Zusammenstellung der Investitionskosten und des Restbetrags bei unterschiedlichen Dimensionierungswassermengen und subventionsberechtigten Investitionskosten für die Bestvariante Ozonung mit Raumfiltration; Der Subventionsbeitrag soll 75 % der subventionsberechtigten Investitionskosten betragen.

Kostenposition	Einheit	Ozonung mit Raumfiltration		
		Vollstrom/Vollstrom Subvention der Gesamtinvestition	Vollstrom/Vollstrom Teilsubvention	Teilstrom/Teilstrom Subvention der Gesamtinvestition
Investitionskosten gesamt	CHF	11'321'000	11'321'000	9'468'000
Subventionen	CHF	8'491'000	7'101'000	7'101'000
Restbetrag	CHF	2'830'000	4'220'000	2'367'000

Es gibt weiterhin die folgenden Optimierungsmöglichkeiten für die Bestvariante:

1. Zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit der Ozonung kann eine Vorfiltration geprüft werden (zum Beispiel Mikrosiebung oder Tuchfiltration), mit der eine Reduktion des Festgehalts im Ablauf Nachklärung erreicht werden kann (eventuell in Kombination mit Fällung/Flockung). Der Betriebskostenanteil von Strom- und Sauerstoffverbrauch liegt bei über 50 %, sodass eine Reduktion der Ozondosierung von zum Beispiel 20 % in einer Reduktion der Jahreskosten von ca. 40'000 CHF resultiert. Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit einer Vorfiltration sollten Pilotversuche durchgeführt werden.
2. Eine weitere Optimierungsmöglichkeit stellt die Kombination von Ozonung mit einem GAK-Filter dar (vergleiche Variante 4.0 Kombiverfahren (Ozonung mit GAK-Filter) in Kapitel 5 Vorauswahl Varianten). Dabei würde die Raumfiltration als GAK-Filter ausgeführt, der sowohl die Funktion einer biologisch aktiven Nachbehandlung erfüllt als auch Adsorptionskapazitäten aufweist. Hierdurch kann zum Einen die Ozondosis reduziert werden, zum anderen ergibt sich eine verbesser-

te Breitbandwirkung, da oxidative (Ozon) und adsorptive (Aktivkohle) Eliminationsmechanismen von Mikroverunreinigungen kombiniert sind. Ob diese Verfahrenskombination wirtschaftlich ist, sollten ebenfalls mit Pilotversuchen geprüft werden.

3. Anstelle der Biofiltration kann ein Wirbelbett als biologisch aktive Nachbehandlungsstufe eingesetzt werden (vergleiche Variante Ozonung, Wirbelbett, Flächenfiltration in Kapitel 6.1.4 Ozonung, Wirbelbett, Flächenfiltration (Variante 4)). Diese Variante ist besonders wirtschaftlich, wenn keine verschärften GUS-Ablaufkonzentrationen vorgeschrieben werden. Der besondere Vorteil dieser Variante liegt darin, dass das Wirbelbett ähnlich wie der Ozonungsreaktor über seine Auslegung für Teilstrombehandlung hydraulisch belastet werden kann, wobei sich trotz reduzierter Aufenthaltszeit eine zufriedenstellende Reinigungsleistung ergibt. Dadurch kann eine Vollstrombehandlung mit dem Platzbedarf einer Teilstrombehandlung realisiert werden. Da zur Nachbehandlung mit Wirbelbett derzeit praktisch keine Untersuchungsergebnisse vorliegen, sollte ein Pilotversuch durchgeführt werden, falls diese Variante weiterverfolgt werden soll.

9. EMPFEHLUNGEN UND WEITERES VORGEHEN

Im vorliegenden Bericht wurde eine Variantenstudie für die zukünftige Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen in der ARA Rosenbergsau durchgeführt. In einer Vorauswahl wurden 12 Verfahrensvarianten untersucht, in der anschliessenden Detailanalyse 4 Verfahrensvarianten. Aus der Nutzwertanalyse und in Bezug auf die Jahreskosten ergibt sich als Bestvariante Ozonung mit Raumfiltration.

Mit dem aktuellen Wissensstand zur Ozonung von Abwasser zur Elimination von Mikroverunreinigungen kann die Unbedenklichkeit der Ozonung nicht abschliessend geklärt werden. Mittels ökotoxikologischen Untersuchungen konnte allerdings gezeigt werden, dass keine bekannten, unerwünschten Nebenprodukte oder erhöhte Toxizität aus der Ozonbehandlung resultiert und dieses Behandlungsverfahren weiterverfolgt werden kann.

Ob eine Vollstrom- oder Teilstrombehandlung im Vordergrund steht, ist in Abhängigkeit von den gesetzlichen Rahmenbedingungen, insbesondere der Art der Probenahme (z.B. nur bei Trockenwetter oder unabhängig von Wetterbedingungen) und der Bestimmung der Eliminationsleistung (Beurteilung der Eliminationsleistung der Einzelstoffe als Mittelwert je Probenahme oder als Jahresmittel), aber auch davon, welche subventionsberechtigten Investitionskosten von Kanton bzw. Bund unterstützt werden, zu betrachten.

Da bei einer Beprobung bei Regenwetter die Einhaltung der geforderten Eliminationsleistung bei Teilstrombehandlung nicht zwingend sichergestellt werden kann, ist eine Vollstrombehandlung vorzuziehen. Ob in diesem Fall die gesamten Erstinvestitionen subventioniert werden, ist mit dem Kanton bzw. Bund zu erörtern.

Zur wirtschaftlichen Optimierung der Bestvariante ergeben sich diverse Möglichkeiten (Vorfiltration, Nachbehandlung mit GAK-Filter, Nachbehandlung mit Wirbelbett), deren Wirtschaftlichkeit mit Pilotversuchen geprüft werden sollte.

Neben der Entscheidung, ob und welche Optimierungsmöglichkeiten für die Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen im weiteren Projektverlauf geprüft werden sollen, sollte der Kontakt mit dem Kanton gesucht werden, um die Ausgestaltungen des gesetzlichen Rahmens und der Subventionszahlungen zu diskutieren.

10. GLOSSAR

Abkürzung	Erklärung
ALK	Alkalinität in [mg CaCO ₃ /l] oder [mmol/l]
AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
ARA	Abwasserreinigungsanlage
BB	Belebtschlammbecken
BSB ₅	Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
CSB _{gel}	Chemischer Sauerstoffbedarf, gelöst
CSB _{tot}	Chemischer Sauerstoffbedarf, total
DOC	Dissolved Organic Carbon = gelöster organischer Kohlenstoff
E	Einwohner
EG	Einwohnergleichwert (von Gewerbe- und Industrieleitungen)
EMT	Elektromechanische Technik (Maschinentechnik, Ausrüstung)
EMSR(L)	Elektro-, Mess-, Steuer-, Regel-, (Leit-)technik
EW	Einwohnerwert (= E + EG)
GAK	Granulierte Aktivkohle
GSchG	Gewässerschutzgesetz
GSchV	Gewässerschutzverordnung
GUS	Gesamt ungelöste Stoffe
MLSS	Mixed liquor suspended solids = Feststoffgehalt im gemischten Reaktor
MV	Mikroverunreinigungen
MW	Mischwetter (=Trockenwetter + Regenwetter)
N _{tot} = N _{gesamt}	Stickstoff total
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff
NH ₃ -N	Ammoniak-Stickstoff
NO ₂ -N	Nitrit-Stickstoff
O ₂	Sauerstoff
O ₃	Ozon
P	Phosphor
PAK	Pulveraktivkohle
Q	Wasser oder Schlammmenge in [l/s] oder [m ³ /h] oder [m ³ /d]
Q _{FW}	Faulwassermenge in [l/s] oder [m ³ /d]
RW	Regenwetter
SA	Schlammalter
T	Temperatur in [°C]
TKN	Totaler Kjeldahl Stickstoff in [mg/l] oder [kg/d]
TS	Trockensubstanzgehalt in [g/l] oder [%]
TW	Trockenwetter
USG	Umweltschutzgesetz
ÜSS	Überschussschlamm
V _{BB}	Volumen des Belebtschlammbeckens in [m ³]
VKB	Vorklärbecken
VSA	Verband Schweizerischer Abwasserfachleute

Abkürzung	Erklärung
VVS	Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen
VWF	Verordnung über den Schutz der Gewässer vor wassergefährdenden Stoffen
X%-Wert	Wert, welcher in X% der Fälle erreicht oder unterschritten wird (Perzentilwert)

11. LITERATUR

11.1 Grundlagen Mikroverunreinigungen

- Abegglen C., Siegrist H. 2012: Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1214: 210 S.
- Schweiz spezifische Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser (2011)
- Liste der Prioritären Stoffe der EU (Richtlinie 2008/105/EWG, wird periodisch aktualisiert)

11.2 Verfahren zur Behandlung von Mikroverunreinigungen

- Prof. Dr. Willi Gujer, 2007, 3. Auflage: Siedlungswasserwirtschaft. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- <http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716/11215/index.html?lang=de>, 07.11.2013
- Amt für Umwelt und Energie des Kantons St. Gallen. (2013). *Spurenstoffe im Abwasser – Suche nach relevanten Emissionsquellen, Ergebnisse der Messkampagne 2012*
- Ergänzende Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf der ARA Neugut, EA-WAG, 2012
- Biofiltration of wastewater treatment plant effluent: Effective removal of pharmaceuticals and personal care products and reduction of toxicity, Reungoat et al., 2011
- Evaluation of the role of adsorption and biodegradation of micropollutants during biological activated carbon filtration, Rattier et al., 2013
- Biofiltration of wastewater treatment plant effluent: Effective removal of pharmaceuticals and personal care products and reduction of toxicity, Reungoat et al., 2011
- Micro Screening in Wastewater Treatment – An Overview, M. Ljunggren, 2006

11.3 Kosten

- Günthert und Rödel: Abschlussbericht "Bewertung vorhandener Technologien für die Elimination anthropogener Spurenstoffe auf kommunalen Kläranlagen"; 07/2003; Universität der Bundeswehr München; Institut für Wasserwesen - Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik; Univ.-Prof. Dr.-Ing. F.W. Günthert und Dipl.-Ing. S. Rödel.
- Holinger und Hunziker: Entwurf Schlussbericht "Dimensionierung, Redundanz, Anforderungen", 2013

11.4 Energie

- F.-W. Bolle und J. Pinnekamp: „Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen – Phase 1“, FiW an der RWTH Aachen, Dezember 2011

-
- Siegrist, H.; Ort, C.; Abegglen, C.; Zimmermann, S.; von Gunten, U.; Koepke, S.; Krauss, M.; Hollender, J.; Escher, B.; Bramaz, N.; Schöneberger, R.; Suter, M.; Rentsch, D.; Bocker, S.; Gansner, E.; Koch, M.; Schärer, M. (2009): Full-scale ozonation at WWTP Regensdorf for micropollutant removal. AOP5 Conference, 2 April, Berlin

12. ANHANG

12.1 Kenndaten ARA Rosenbergsau

Belebungsbecken anoxisch

– Anzahl Strassen	Stk.		4
– Beckenlänge netto	m		32.00
– Beckenbreite netto	m		6.68
– Kote Beckenkrone	m ü.M.		405.00
– Kote Beckensohle	m ü.M.	401.05 –	401.15
– Kote Ruhewasserspiegel	m ü.M.		404.18
– Kote max. Wasserspiegel (QRW)	m ü.M.		404.29
– Wassertiefe Ruhewasser	m		3.03 – 3.13
		je Strasse	total
– Oberfläche netto	m ²	204	816
– Inhalt netto bei Ruhewasserspiegel	m ³	631	2'524

Belebungsbecken aerob

– Anzahl Strassen	Stk.		4
– Beckenlänge netto	m		38.05
– Beckenbreite netto	m		11.40
– Kote Beckenkrone	m ü.M.		405.00
– Kote Beckensohle	m ü.M.	399.97 –	400.01
– Kote Ruhewasserspiegel	m ü.M.		404.03
– Kote max. Wasserspiegel (QRW)	m ü.M.		404.09
– Wassertiefe Ruhewasser	m		4.02 – 4.06
		je Strasse	total
– Oberfläche netto	m ²	433	1'732
– Inhalt netto bei Ruhewasserspiegel:			
– Bivalentzone a	m ³	369	1'476
– Aerobzone b	m ³	687.5	2'750
– Aerobzone c	m ³	687.5	2'750
– Total	m ³	1'744	6'976

Nachklärbecken

– Anzahl Strassen	Stk.		4
– Beckentyp		längsdurchströmt mit Kettenräumer	
– Beckenlänge netto	m		55.00
– Beckenbreite netto	m		7.50
– Kote Beckenkrone	m ü.M.		405.00
– Kote Beckensohle	m ü.M.	401.20 –	401.40
– Kote Ruhewasserspiegel	m ü.M.		403.72
– Kote max. Wasserspiegel (Q _{RW})	m ü.M.		403.79

– Wassertiefe Ruhewasser	m		2.32 – 2.52
		je Strasse	total
– Oberfläche netto	m ²	412.60	1'650
– Inhalt netto bei Ruhewasserspiegel	m ³	1'031	4'124

12.2 Einwohnerstatistik

Tabelle 12-1: Einwohnerstatistik per Ende 2012 im Einzugsgebiet der ARA Rosenbergsau

Gemeinde	Bevölkerung per 31.12.2012	Entwicklung 2002 - 2012	Entwicklung 2011 - 2012
	-	%	%
Au	7'097	7.0	0.2
Balgach	4'530	12.5	0.8
Berneck	3'763	10.8	2.1
Diepoldsau	5'957	15.0	1.8
Marbach	2'074	16.1	0.8
Oberegg (AI)	1'896	5.6	0.2
Resbstein	4'390	6.5	1.2
Reute (AR)	675	-6.1	5.8
Widnau	8'864	15.8	0.2
Total	39'246		

12.3 Überprüfung biologische Reinigung

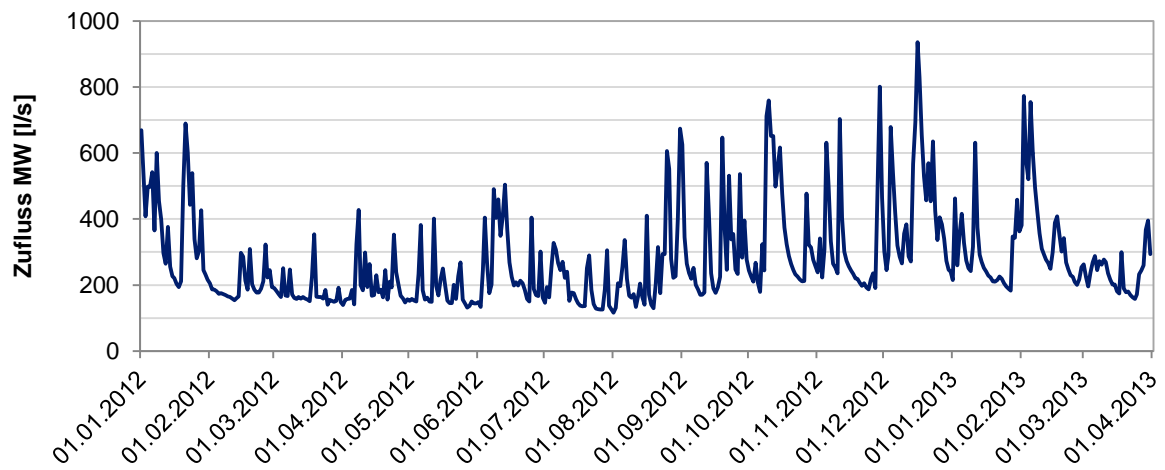


Abbildung 12-1: Zuflussmenge zur ARA Rosenbergsau von Januar 2012 bis März 2013

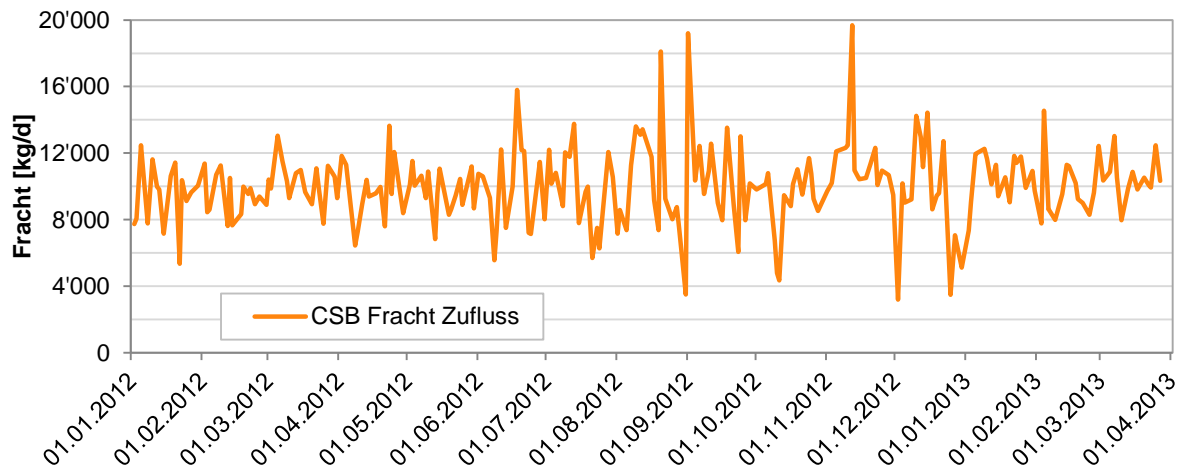


Abbildung 12-2: CSB-Frachten im Rohabwasser der ARA Rosenbergsau von Januar 2012 bis März 2013

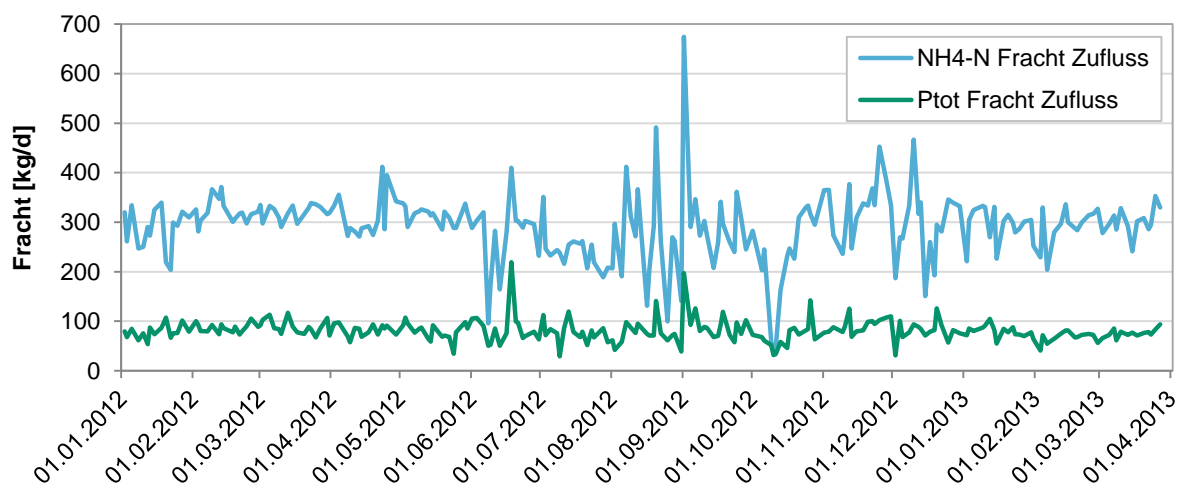


Abbildung 12-3: $\text{NH}_4\text{-N}$ - und P_{tot} -Frachten im Rohabwasser der ARA Rosenbergsau von Januar 2012 bis März 2013

Tabelle 12-2: Auswertung Betriebsdaten 1. Halbjahr 2012 Zufluss ARA Rosenbergsau, Trockenwetter

Parameter	Mittelwert		50%-Quantil		85%-Quantil		90%-Quantil	
	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d
BSB ₅	344	4'884	369	5'050	338	5'428	327	5'436
CSB _{tot}	701	9'945	734	10'037	695	11'175	678	11'257
P _{tot}	2.91	89.6	2.80	90.2	2.83	98.2	2.93	101.1
NH ₄ ⁺ -N	23.1	328	24.7	337	21.6	347	21.2	353
N _{tot}	38.8	551	38.4	525	36.0	578	35.3	586

Tabelle 12-3: Auswertung Betriebsdaten 2. Halbjahr 2012 Zufluss ARA Rosenbergsau, Trockenwetter

Parameter	Mittelwert		50%-Quantil		85%-Quantil		90%-Quantil	
	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d
BSB ₅	332	5'557	335	5'553	304	6'270	304	6'417
CSB _{tot}	659	11'018	648	10'736	587	12'123	589	12'448
P _{tot}	4.95	82.7	4.97	82.4	4.40	91.0	4.34	91.7
NH ₄ ⁺ -N	18.3	306	18.5	306	15.8	327	15.7	332
N _{tot}	33.2	554	33.9	561	28.3	584	27.9	589

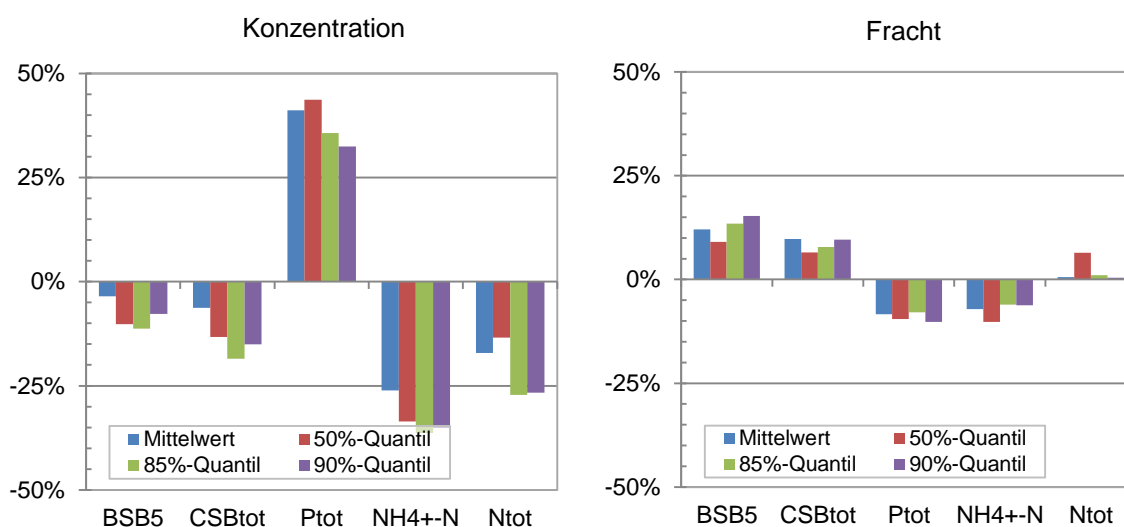


Abbildung 12-4: Zu-/Abnahme von Konzentration (links) und Fracht (rechts) im 2. Halbjahr 2012 (verglichen mit 1. Halbjahr 2012), Trockenwetter

12.4 Verteilung der Zuflussmengen 2010, 2011, 2012

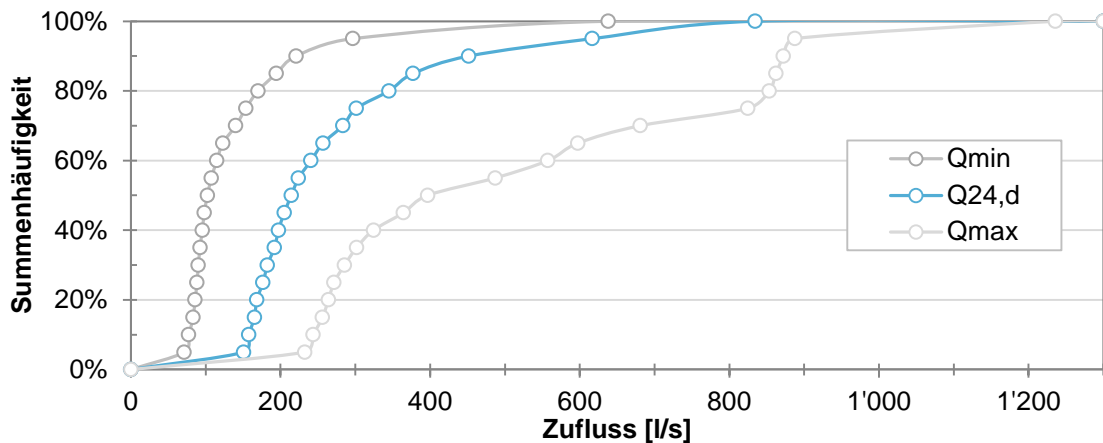


Abbildung 12-5: Summenhäufigkeiten der minimalen, mittleren und maximalen Mischwetterzuflüsse im Betriebsjahr 2010

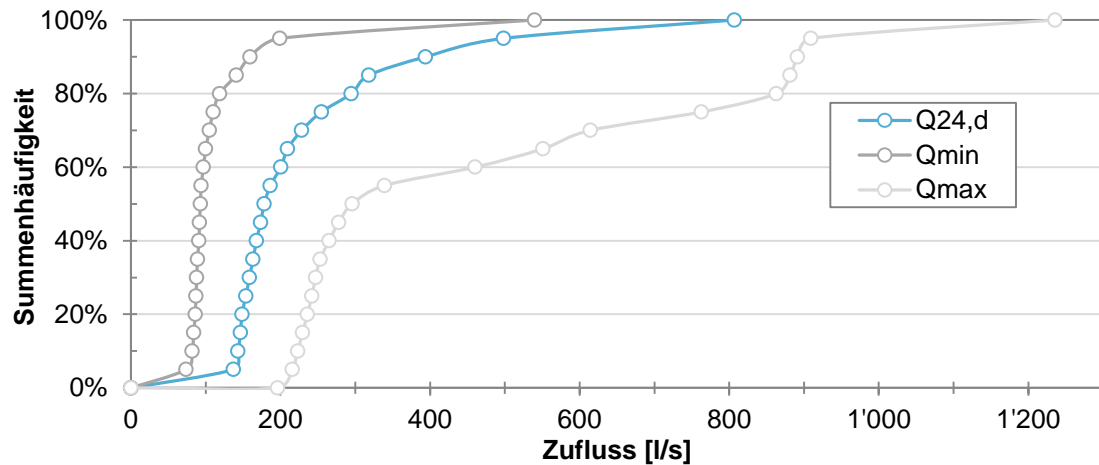


Abbildung 12-6: Summenhäufigkeiten der minimalen, mittleren und maximalen Mischwetterzuflüsse im Betriebsjahr 2011

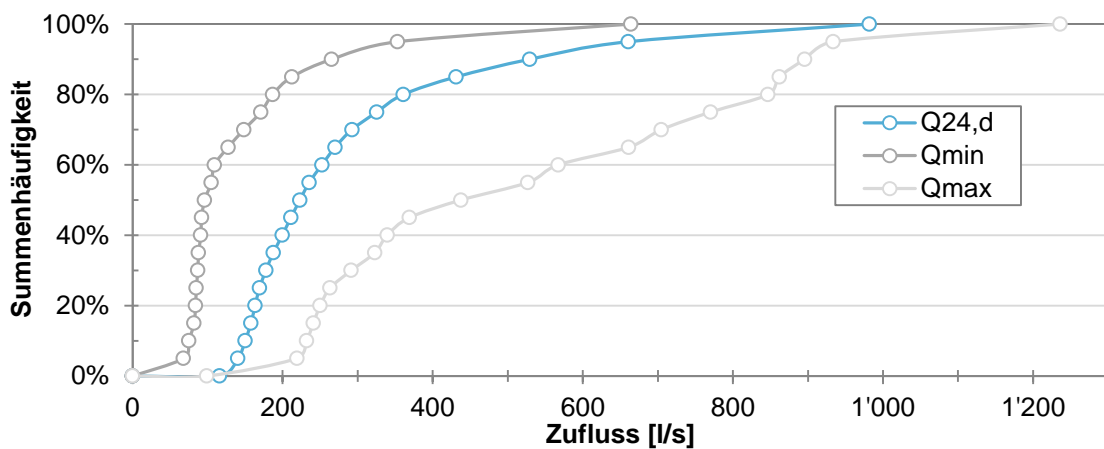


Abbildung 12-7: Summenhäufigkeiten der minimalen, mittleren und maximalen Mischwetterzuflüsse im Betriebsjahr 2012

Tabelle 12-4: Minimaler und maximaler Tages trockenwetteranfall $Q_{TW,min}$ und $Q_{TW,max}$

Parameter	Einheit	Auswertung 2010- 2012
$Q_{TW,min}$	l/s	90 (80 - 120)
$Q_{TW,max}$	l/s	260 (230 - 320)

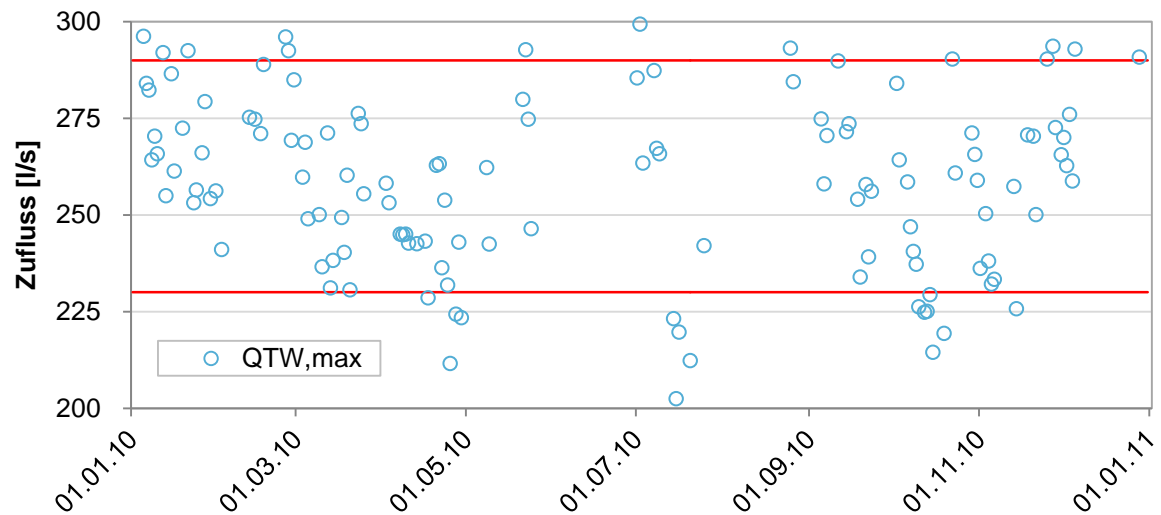


Abbildung 12-8: Maximale tägliche Abflussmengen $Q_{TW,max}$ in 2010

12.5 Dimensionierungszuflussmenge Teilstrombehandlung

Derzeit werden verschiedene Verfahren zur Dimensionierung der Zuflussmenge für die Teilstrombehandlung diskutiert. Eine Übersicht über die Ergebnisse der unterschiedlichen Dimensionierungsansätze ist in Tabelle 12-5 dargestellt.

Tabelle 12-5: Unterschiedliche Ansätze zur Bestimmung der Dimensionierungswassermenge für die Teilstrombehandlung nach VSA und Metzger angewendet auf die Betriebsdaten der Jahre 2010, 2011 und 2012 ; Der mittlere Trockenwetteranfall wurde empirisch bestimmt (Summe der 20% und 50%-Quantilwerte der Mischwetterzuflüsse geteilt durch 2).

Paramteter	Einheit	2010	2011	2012	gewählter Wert
VSA Ansatz					400
Q _{TW,mittel,empirisch}	l/s	191	163	193	
2 Q _{TW,mittel,empirisch}	l/s	383	327	386	
1.5 Q _{TW,mittel,empirisch}	l/s	287	245	289	
Q _{RW} /Q _{TW,mittel,empirisch}	-	3.9	4.6	3.9	
Metzger Ansatz					
Q _{80%}	l/s	345	295	361	
Q _{90%}	l/s	452	394	529	

12.5.1 Berechnungsansatz nach VSA

Der empirische mittlere Trockenwetteranfall kann gut mit folgender Formel angenähert werden:

$$Q_{TW, \text{mittel, emp.}} = 0.5 * (Q_{20\%} + Q_{50\%})$$

Dimensioniert wird eine ARA i.d.R. auf $Q_{TW, \text{Spitze}}$ was $1.5 * Q_{TW}$ entspricht. Der Regenwetteranfall wird dann folgendermassen berechnet: $Q_{RW} = 2 * Q_{TW, \text{Spitze}} = 3 * Q_{TW}$.

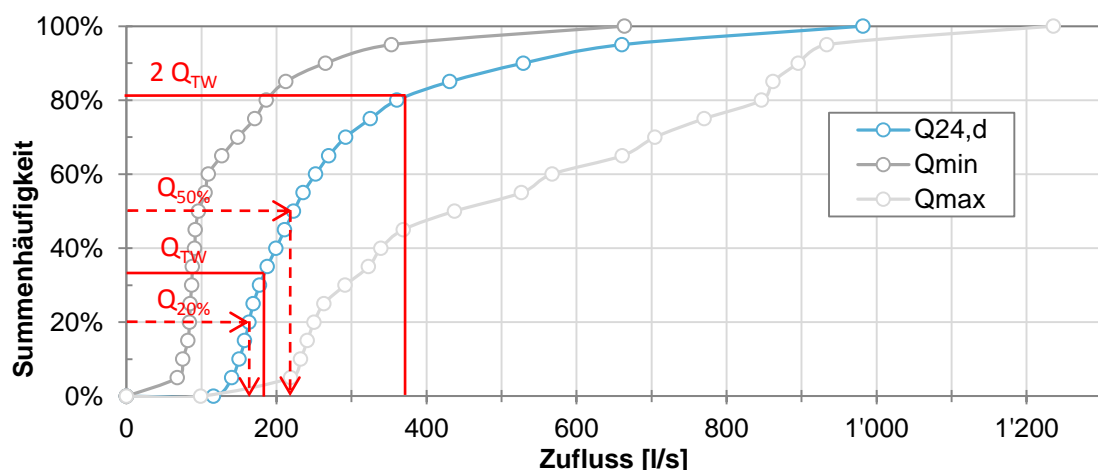


Abbildung 12-9: Summenhäufigkeiten der minimalen, mittleren und maximalen Mischwetterzuflüsse im Betriebsjahr 2012

12.5.2 Ammoniumansatz

Die Ammoniumkonzentrationen im Zulauf zur ARA sind bei Zuflussmengen über 400 l/s um Faktor 3 und mehr verdünnt.

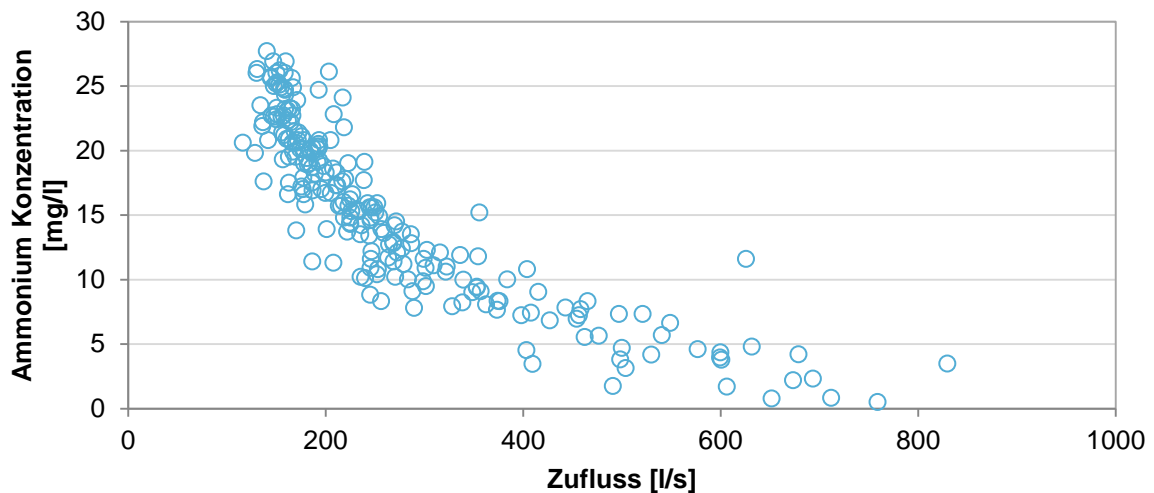


Abbildung 12-10: Ammoniumkonzentrationen im Zulauf zur ARA in Abhängigkeit der Zuflussmenge

In **Abbildung 12-11** und **Abbildung 12-12** wurde mittels Ammoniumansatz nach VSA die Frachtreduktion bei unterschiedlichen Q_{\max} zur Mikroverunreinigungsbehandlungsstufe und bei unterschiedlichen Eliminationsleistungen dieser Stufe und der Biologie. Beim Ammoniumansatz geht man davon aus, dass sich die Ammoniumfracht im Zulauf ähnlich wie die Fracht an Mikroverunreinigungen verhält. Dadurch können mit den von der ARA gemessenen realen Werten Abschätzungen zur Frachtreduktion von Mikroverunreinigungen gemacht werden. **Abbildung 12-11** und **Abbildung 12-12** zeigen ebenfalls, dass ab einer Dimensionierungszuflussmenge von $1.5 \cdot Q_{TW}$ eine Frachtreduktion von 80 % erreicht wird. Einzig bei einer Eliminationsleistung der Biologie von 10 % und der Mikroverunreinigungsbehandlungsstufe von 80 % werden die 80 % Gesamtelimination auch mit den für Rosenbergsau gewählten $2 \cdot Q_{TW} = 400$ l/s nicht erreicht. Dass in der Biologie aber konstant nur 10 % Mikroverunreinigungen entfernt werden, ist relativ unwahrscheinlich. Allerdings muss auch hier berücksichtigt werden, dass die Eliminationsleistung um 3 – 4 % unterschätzt wird, da die Frachten täglich gemessen werden und somit Tagesspitzen abgeschnitten werden.

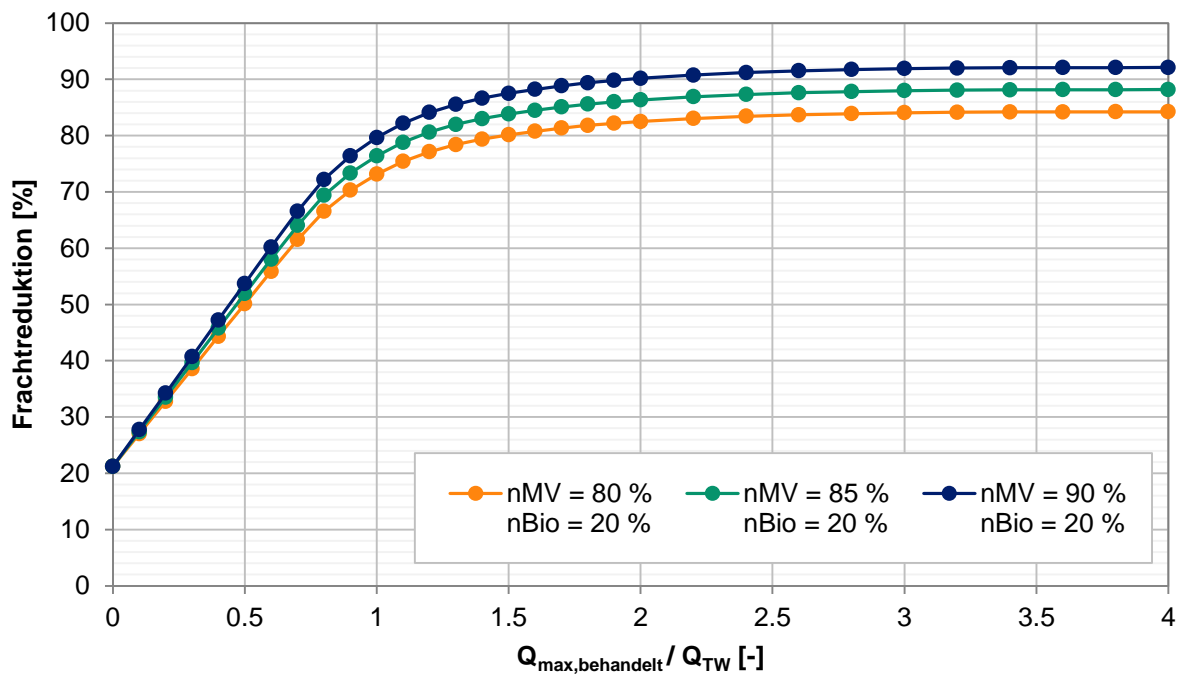


Abbildung 12-11: Frachtreduktion bei verschiedenen maximale behandelbaren Zuflussmengen zur Mikroverunreinigungsbehandlungsstufe und bei 20 % Eliminationsleistung der Biologie (η_{Bio}) und bei unterschiedlichen Eliminationsleistungen der Mikroverunreinigungsbehandlungsstufe (η_{MV})

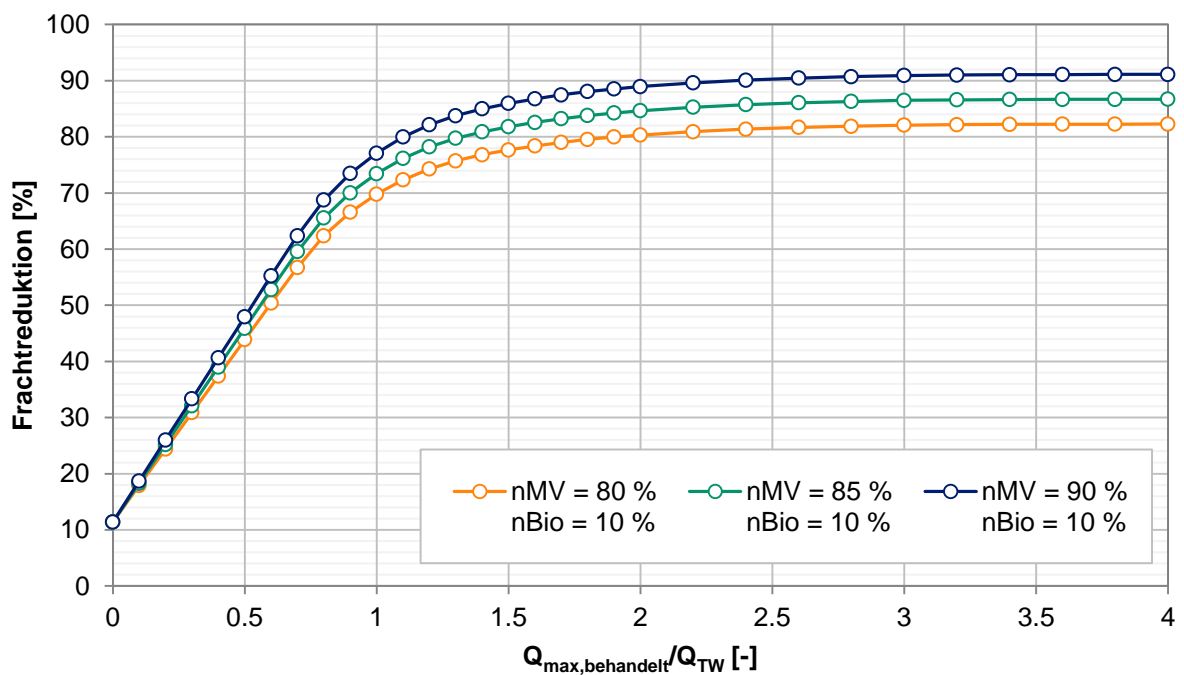


Abbildung 12-12: Frachtreduktion bei verschiedenen maximale behandelbaren Zuflussmengen zur Mikroverunreinigungsbehandlungsstufe und bei 10 % Eliminationsleistung der Biologie (η_{Bio}) und bei unterschiedlichen Eliminationsleistungen der Mikroverunreinigungsbehandlungsstufe (η_{MV})

12.5.3 Plausibilisierung der zu behandelnden Abwassermenge

Um zu prüfen, ob die über die Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen geleitete Abwassermenge ausreicht, um die voraussichtlich geforderte Elimination für Mikroverunreinigungen von mindestens 80 % zu erreichen, werden im Folgenden vier verschiedene Szenarien betrachtet.

- Szenario 1: In der Biologie werden **10 %** und in der anschliessenden Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen **85 %** der Mikroverunreinigungen eliminiert.
- Szenario 2: In der Biologie werden **20 %** und in der anschliessenden Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen **85 %** der Mikroverunreinigungen eliminiert.
- Szenario 3: In der Biologie werden **10 %** und in der anschliessenden Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen **80 %** der Mikroverunreinigungen eliminiert.
- Szenario 4: In der Biologie werden **20 %** und in der anschliessenden Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen **80 %** der Mikroverunreinigungen eliminiert.

Es ist davon auszugehen, dass sich die Konzentration der Mikroverunreinigungen ähnlich wie die von Ammonium verhält (es handelt sich jeweils um gelöste Stoffe). Das heisst beim maximal gewählten Durchfluss durch die Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen von 400 l/s kann bzgl. des mittleren Trockenwetteranfalls von einer 3-fachen Verdünnung der Konzentration an Mikroverunreinigungen ausgegangen werden (vergleiche Verdünnung Ammonium in **Abbildung 12-10**).

Mit diesen Annahmen ergeben sich für die verschiedenen Szenarien die in **Tabelle 12-6** dargestellten behandelten Abwassermengen (in % der Jahresabwassermenge), mit der eine Elimination von Mikroverunreinigungen von mindestens 80 % erreicht wird. Je nach angenommener Eliminationsleistung in der biologischen Reinigungsstufe und der Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen liegt dieser zwischen 65% und 92%.

Tabelle 12-6: Modellberechnung zur Bestimmung der erforderlichen behandelten Abwassermenge in der Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen

Parameter	Einheit	1	2	3	4
<i>Biologische Reinigungsstufe</i>					
behandelte Abwassermenge	%	100	100	100	100
behandelte Fracht mind.	%	100	100	100	100
Elimination mind.	%	10	20	10	20
<i>Behandlungsstufe Mikroverunreinigungen</i>					
behandelte Abwassermenge	%	74.7	64.9	91.8	81.4
behandelte Fracht mind.	%	91.6	88.3	97.3	93.8
Elimination mind.	%	85	85	80	80
<i>Gesamt</i>					
Elimination mind.	%	80.0	80.0	80.0	80.0

In **Abbildung 12-13** ist neben den Summenhäufigkeiten der täglichen Zuflussmengen die maximal behandelbare Abwassermenge in der Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen ($f_{MV,max}$, in %) dargestellt. Es ist erkennbar, dass bei einem Dimensionierungszufluss von 400 l/s weniger als 90 % der Jahresabwassermenge behandelt wird.

Vergleicht man dieses Ergebnis mit **Tabelle 12-6**, kann der Schluss gezogen werden, dass beim gewählten Dimensionierungszufluss für die Szenarien 1, 2 und 4 eine genügend hohe Eliminations-

leistung von Mikroverunreinigungen erreicht wird. Diese Grafik entspricht aber nicht der Wirklichkeit, da es sich bei den Werten um Tageswerte handelt. Tagesspitzen werden dadurch abgeschnitten, weshalb man davon ausgehen kann, dass bei 400 l/s weniger als 90 % behandelt werden. Da jedoch für die Szenarien 1, 2 und 4 weit unter 90 % der gesamten Zuflussmenge behandelt werden müssen, scheint ein Dimensionierungszufluss von 400 l/s genügend hoch zu sein.

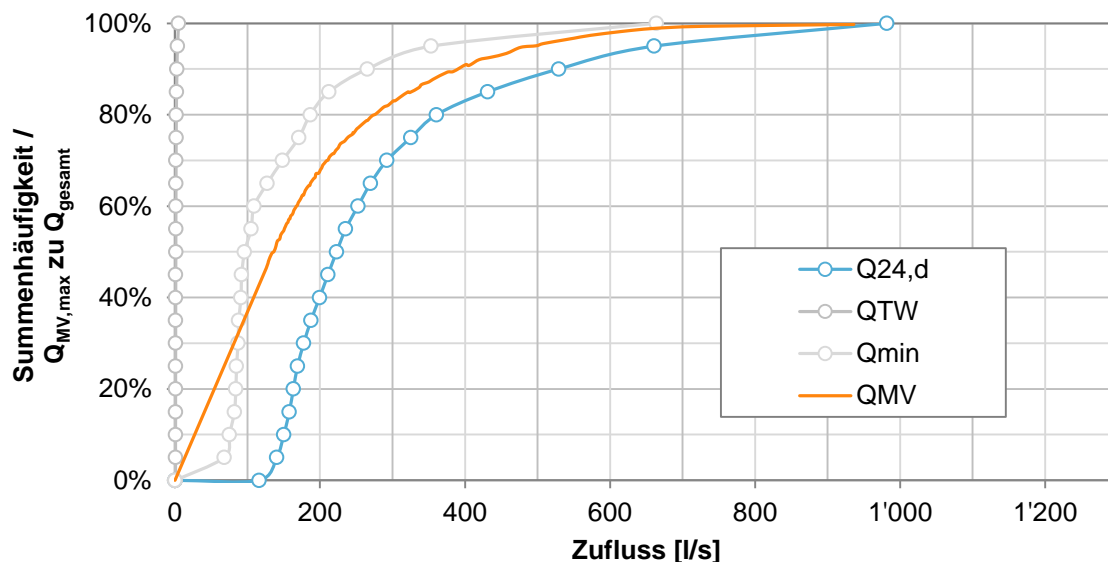


Abbildung 12-13: Summenhäufigkeiten der minimalen, mittleren und maximalen Mischwetterzuflüsse im Betriebsjahr 2012 und Anteil an maximal behandeltem Abwasser durch die Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen bei entsprechendem Dimensionierungszufluss zu dieser Stufe ($f_{MV,max}$)

12.6 Dimensionierung Verfahrensvarianten

12.6.1 Varianten mit PAK

Tabelle 12-7: Dosierung und Lagerung PAK

Parameter	Einheit	gewählter Wert	typische Werte
Dosierung			
Anzahl Dosierstationen	-	2	
mittlere PAK-Dosierung	mg/l	13	10-20
mittlerer PAK-Bedarf	kg/d	225	
maximale PAK-Dosierung	mg/l	20	10-20
maximaler PAK-Bedarf	kg/d	778	
Länge Dosierleitungen	m	30	
Lagerung			
Anzahl Silos	-	1	
Schüttdichte PAK (bei Befüllung)	kg/m ³	200	300-600
Vorratszeit	d	60	
Silovolumen für Befüllung	m ³	70	> 70
Reservevolumen	m ³	20	
Silovolumen gesamt gewählt	m ³	120	
Menge pro Anlieferung	t	16	
Anzahl Anlieferung	1/a	6	

Tabelle 12-8: Variante 1 PAK mit Lamellenabscheider und Raumfiltration (zum Vergleich ist die Grösse eines konventionellen Sedimentationsbeckens angegeben)

Parameter	Einheit	gewählter Wert	typische Werte
Kontaktreaktor PAK			
Q_{\max}	l/s	400	
Anzahl Kontaktreaktoren	-	2	
Hydraulische Aufenthaltszeit	min	30	20-30
Beckenvolumen	m^3	810	
Beckentiefe	m	4-5	
PAK Konzentration in Reaktor	g/l	3	2-3
PAK Aufenthaltszeit	d	3	2-4
Rezirkulation	-	$0.5 Q_{zu}$	$0.5-1 Q_{zu}$
ÜSS-Förderung max.	l/s	25	
Koagulation / Flockung			
Aufenthaltszeit	min	20	10 - 20
Beckenvolumen	m^3	540	
Wassertiefe	m	5	
Sedimentationsbecken mit Lamellenabscheider			
Flächenbeschickung maximal	m/h	10	10
Aufenthaltszeit	h	0.5	
Lamellenfläche projiziert	m^2	165	
Beckenvolumen	m^3	1'000	
Wassertiefe	m	5	
Sedimentationsbecken konventionell			
Flächenbeschickung maximal	m/h	2	1.5 - 2
Aufenthaltszeit	h	2.0	1.5 - 2
Beckenvolumen	m^3	3'200	
Wassertiefe	m	4	

Tabelle 12-9: Raumfiltration für Variante 1 PAK mit Sedimentation und Raumfiltration und Variante 3 Ozonung mit Raumfiltration

Parameter	Einheit	gewählter Wert	typische Werte
Raumfiltration			
Q_{\max}	l/s	750	
Anzahl Filterzellen	-	6	
Filtergeschwindigkeit maximal	m/h	12.5	≤ 15
Filterfläche	m^2	216	
Höhe Filtermedium	m	1.8	
Rückspülintervall	h	24	24
Rückspülwassermenge maximal	l/s	50	40-60

Tabelle 12-10: Variante 2 PAK mit Raumfiltration

Parameter	Einheit	gewählter Wert	typische Werte
Kontaktreaktor PAK			
Q_{\max}	l/s	400	
Anzahl Kontaktreaktoren	-	2	
Aufenthaltszeit	min	10	
Beckenvolumen	m^3	270	
Wassertiefe	m	4	
Koagulation / Flockung			
Anzahl Kontaktreaktoren	-	2	
Aufenthaltszeit	min	10	
Beckenvolumen	m^3	270	
Wassertiefe	m	4	
Raumfiltration			
Anzahl Filterzellen	-	8	
Feststoffbelastung maximal	$kg/m^3/d$	3.1	2.5
Filtergeschwindigkeit maximal	m/h	9.4	≤ 12
Filterfläche	m^2	288	
Anzahl Schichten	-	2	1-2
Höhe Filtermedium	m	1.8	
Rückspülintervall	h	24	12-24
Aufenthaltszeit PAK im Filter	h	12	
Rückspülwassermenge maximal	l/s	50	40-60

12.6.2 Varianten mit Ozonung

Tabelle 12-11: Ozonung (bei Variante 3 Ozonung mit Raumfiltration und Variante 4 Ozonung, Wirbelbett, Flächenfiltration)

Parameter	Einheit	gewählter Wert	typische Werte
Kontaktreaktor Ozon			
Anzahl Kontaktreaktoren	-	2	1-2
Anzahl Kompartimente	-	6	
Kontaktzeit	min	20	20-30
Volumen	m ³	540	
Wassertiefe	m	5	'5-6
Dosierung			
Anzahl O ₃ -Generatoren	-	1-2	
DOC-Konzentration	mg DOC	6.5	6.5-8.7
O ₃ -Dosierung nach DOC	mgO ₃ /mgDOC	0.8	0.6-1.0
	mg/l	5.2	
NO ₂ -N-Konzentration	mg NO ₂ -N	0.2	0-0.3
O ₃ -Dosierung nach NO ₂ -N	mgO ₃ /mgNO ₂ -N	3.4	
	mg/l	0.7	
O ₃ -Dosierung gewählt	mg/l	6	3-10
mittlerer O ₃ -Bedarf	kg/d	104	
	kg/h	4.3	
maximaler O ₃ -Bedarf	kg/d	207	
	kg/h	9	
Länge Leitungen Eintragssystem	m	40	
Anzahl Kompartimente mit Eintragssystem	-	2	
O₂-Lagerung			
Anzahl Tanks	-	1	
Dichte O ₂ (flüssig)	kg/m ³	1'130	
mittlerer O ₂ -Bedarf	gO ₂ /gO ₃	12	10-15
	kgO ₂ /d	1'244	
	m ³ O ₂ /d	1.1	
Silovolumen gewählt	m ³	50	30-50
Menge pro Anlieferung	t	20	
Anzahl Anlieferung	1/a	23	

Tabelle 12-12: Flächenfiltration (Tuchfiltration)

Parameter	Einheit	gewählter Wert	typische Werte
Q_{\max}	l/s	750	
Anzahl Filterzellen	-	4	
Filterfläche	m^2	300	
Filtergeschwindigkeit maximal	m/h	9	≤ 10
Feststoffbeladung maximal	$kg/m^2/h$	0.14	
Rückspülwassermenge maximal	l/s	12	

Tabelle 12-13: Wirbelbett

Parameter	Einheit	gewählter Wert	typische Werte
Q_{\max}	l/s	400	
Anzahl Becken	-	2	
Volumen	m^3	800	
Wassertiefe	m	5	
Hydraulische Aufenthaltszeit	min	30	≤ 10
Erforderliche Luftmenge	$Nm^3/m^3/h$	1	1 – 2.5
	Nm^3/h	600	400-800

12.7 Einfluss der PAK Rückführung

12.7.1 Belebungsbecken

Durch Rückführung der PAK in die biologische Reinigungsstufe wird der Feststoffgehalt um ca. 10-20% erhöht.

Tabelle 12-14: Abschätzung der Erhöhung des Feststoffgehalts in der biologischen Reinigungsstufe durch die Rückführung der PAK

Parameter	Einheit	gewählter Wert
Schlammalter biologische Reinigungsstufe	<i>d</i>	13
PAK Dosierung (bei 15 mg/l)	<i>kg/d</i>	259
PAK Menge in biologischer Reinigungsstufe	<i>kg</i>	3'370
Erhöhung Feststoffgehalt	<i>g/l</i>	0.35

12.7.2 Schlammfäulung

Frischschlammanfall von ca. 120 m³/d ergibt eine Aufenthaltszeit von 25 Tagen in der mesophilen Fäulung (Volumen Faulräume 2 x 1'500 m³). Bei einer prognostizierten Zunahme der Frischschlammmenge von 20 % reduziert sich diese auf 20 Tage, was noch ausreichend ist.

12.8 Einfluss einer zusätzlichen Filtrationsstufe auf die Nachklärung

Für eine Filtration ergeben sich zusätzliche Spülwassermengen, die bei Rückführung in die biologische Reinigungsstufe die Nachklärung zusätzlich belasten. Bei einem Spülwasseranfall von ca. 45-55 l/s liegt die zusätzliche hydraulische Belastung der Nachklärung unter 10%.

12.9 Messkampagnen Amt für Umwelt und Energie St. Gallen

In **Tabelle 12-15** ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Messkampagnen von 2009, 2010 und 2012 aufgeführt. **Tabelle 12-16** zeigt 2009/2010 gemessene Frachten, welche 2012 nicht analysiert wurden.

2012 wurden ausserdem die Ergebnisse der verschiedenen ARA verglichen. Dazu sind in **Kapitel 12.9.1** alle im Ablauf der ARA Rosenbergsau gemessenen Stoffe, die über dem 90 % und über dem 50 % Quantil liegen, aufgelistet.

Als Beurteilungswerte (BW) wurden publizierte PNEC-Werte (predicted no effect concentration: Konzentrationsschwelle eines Stoffes, unterhalb der nach dem heutigen Kenntnisstand kein Schadeffekt auf das aquatische Ökosystem erwartet wird), oder CQK-Werte (Chronisches Qualitätskriterium, wie PNEC-Wert) angewendet.

Die Beurteilung basiert somit in beiden Fällen auf einer lang andauernden Einwirkung (chronisch). Um die ARA-Abläufe vergleichen zu können, wurde eine 10-fache Verdünnung des gereinigten Abwassers im Bachwasser angenommen (BW10).

Die Konzentrationen wurden folgendermassen klassiert (μg Wirkstoff/l):

< BW	$\geq \text{BW} - < 10 \text{ BW}$	$\geq 10 \text{ BW}$
------	------------------------------------	----------------------

Die Frachten wurden wie folgt in Klassen eingeteilt (g Wirkstoff/d):

< 1	> 1 – 10	>10 – 100	>100
-----	----------	-----------	------

Tabelle 12-15: Ergebnisse der Messkampagne 2009/2010 und 2012 des Amtes für Umwelt und Energie St. Gallen; Die Messungen wurden im Ablauf ARA vorgenommen; Grün umrandet sind sechs der neun meist diskutierten Indikatorstoffe. * Wert aus der Gewässerschutzverordnung für ARA Ablauf

Parameter	2009	2010	2012	BW 2012	BW 2010
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Konzentrationen Ablauf ARA					
AOX			54	80*	
Atenolol			0.29	150	
Azithromycin			0.10	0.09	
Benzotriazol			10	30	
Bisphenol A (BPA)			0.13	1.5	
Carbamazepin			0.4	0.5	
Carbendazim	0.11	0.14	0.04	0.34	0.15
Cybutryn	0	0	0.10	0.0023	0.0019
Diazinon	0.08	0.03		0.015	0.01
Diclofenac			0.9	0.05	
Dimethylamin			1.1	40	
Diuron	0	0.07	0.07	0.2	0.2
MCPP (Mecoprop)	0.34	0.4		18	18
Mefenaminsäure			0.24	4	
Metoprolol			0.08	64	
Naproxen			0.24	1.7	
Perfluoroctansulfonat (PFOS)	0.095	-		-	25
PFOA	0	0.01		k.A.	k.A.
Pirimicarb	0	0.03		-	1.7
Propiconazol	0	0.03		3.7	5.1
Terbutryn	0.02	0.03	0.02	0.17	0.17
Triclosan	0	0.37		0.05	0.05
Triethylphosphat			0.71	632	
Trimethoprim			0.09	60	
Tris-(2-chlorethyl)-phosphat/ TCEP			0.26	65	
Tris-(2-chlorpropyl)-phosphat/ TCPP			1.9	-	
4-Methyl-1H-benzotriazol			1.3	75	
5-Methyl-1H-benzotriazol			1.3	75	

Tabelle 12-16: Ergebnisse der Messkampagne 2009/2010 des Amtes für Umwelt und Energie St. Gallen; Die Messungen wurden im Ablauf ARA vorgenommen.

Parameter	2009	2010
-----------	------	------

	g/d	g/d
Tagesfracht ARA Ablauf		
Perfluorooctansulfonat (PFOS)	1.46	-
Carbendazim	2.7	4.2
Cybutryn	0	0
Diazinon	2.0	0.9
Dimethoat	0	0.8
Diuron	0	2.2
MCPP (Mecoprop)	8.5	14
PFOA	0	0.3
Pirimicarb	0	0.9
Propiconazol	0	0.8
Terbutryn	0.50	1
Triclosan	0	12

12.9.1 Messkampagne 2012 – Ergebnisse für die ARA Rosenbergsau

Bei folgenden Stoffen lag der Messwert in der ARA Rosenbergsau über dem 90%-Quantil der Messwerte aller ARA:

- **Cybutryn**
- **Benzotriazol**
- **Triethylphosphat**
- **AOX**

Bei folgenden Stoffen liegt der Messwert in der ARA Rosenbergsau über dem 50%-Quantil (Median) der Messwerte aller ARA:

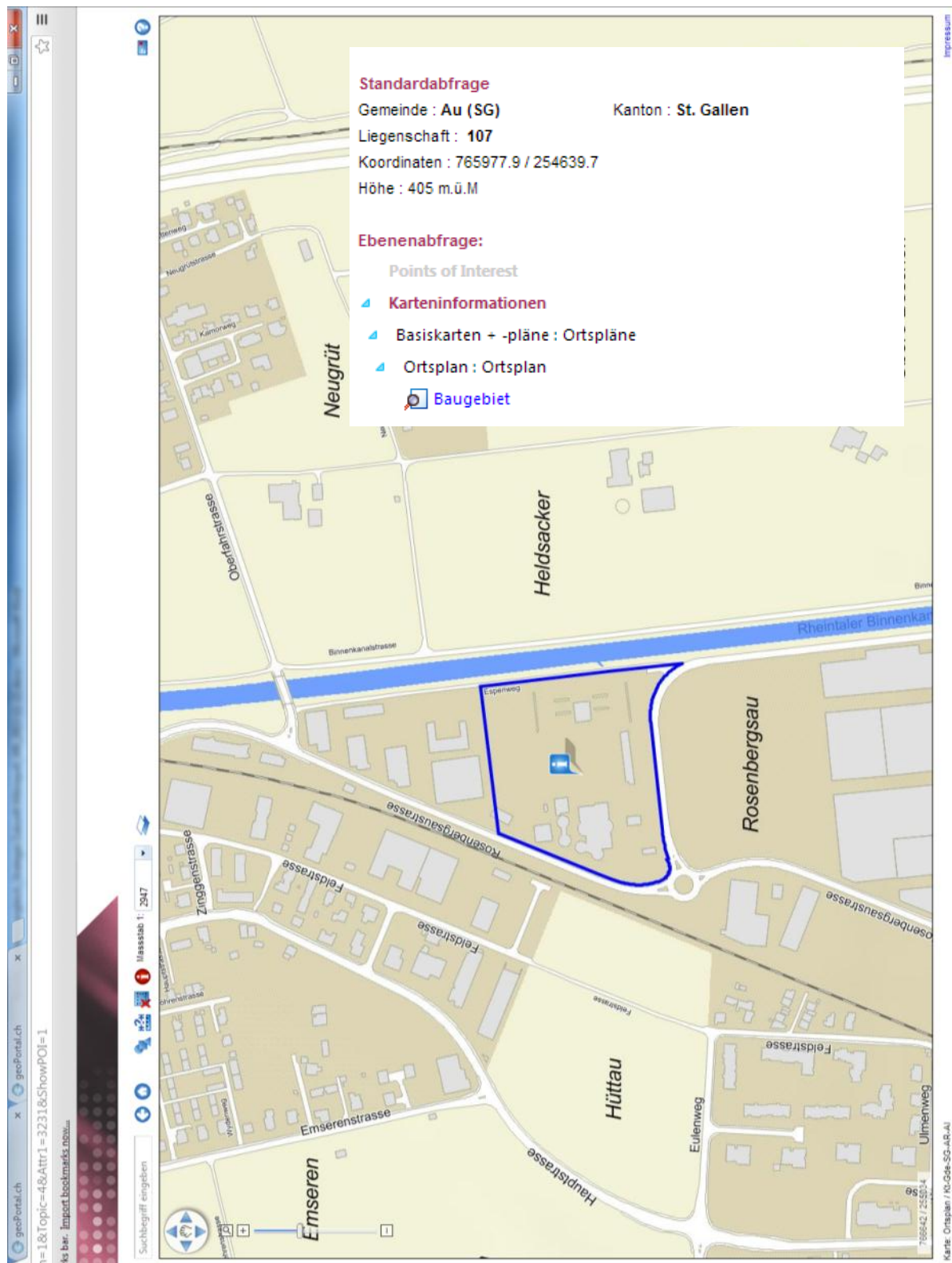
- Carbendazim
- 5-Methyl-1H-benzotriazol
- Dimethylamin
- Tris-(2-chlorethyl)-phosphat / TCEP
- Tris-(2-chlorpropyl)-phosphat / TCPP
- Bisphenol A (BPA)
- Mefenaminsäure
- Naproxen
- Fluorid
- Triethyl phosphate

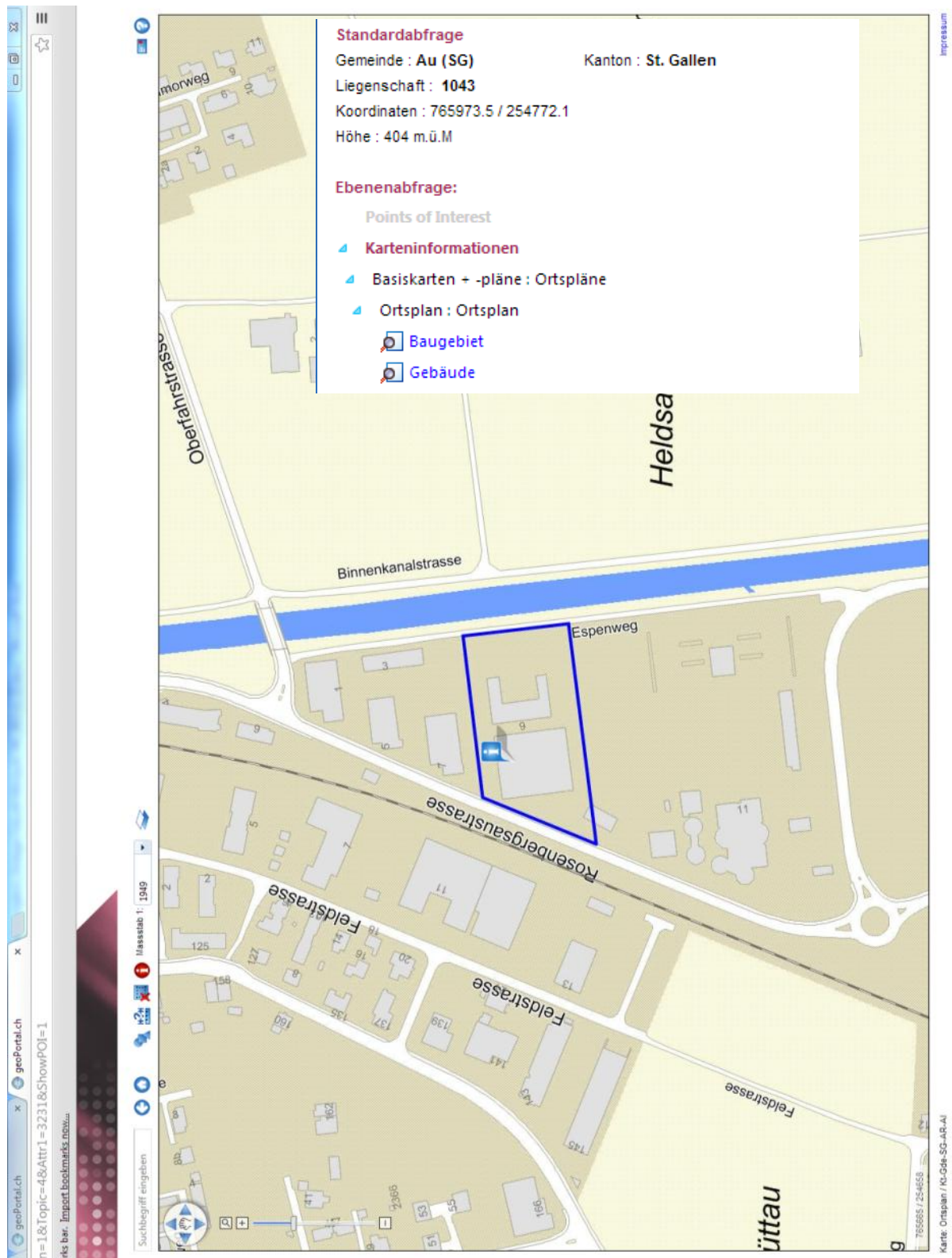
-
- 2H-Benzotriazole, 2-methyl-
 - 1,3-Dimethylbutyl butyrate
 - Formamide, N,N-dibutyl-
 - 1H-Benzotriazole
 - 2,2,2-Trichloro-1-phenylethanol
 - Diethyltoluamide
 - Benzenesulfonamide, N-butyl-

12.10 Liegenschaften und Platzreserven



Abbildung 12-14: Auf dem ARA-Gelände (Liegenschaft 107) verfügbare Platzreserven





12.11 Details Investitionskostenrechnung

Im Folgenden ist die detaillierte Zusammenstellung der einzelnen Kosten der Varianten zu finden:

Abwasserwerk Rosenbergsau, Variantenstudie Mikroverunreinigungen

Kostenschätzung +/- 25% exkl. MWST inkl. Technische Arbeiten und Nebenkosten

BKP			VARIANTE 1 PAK + Sedimentation mit Lamellen + Raumfiltration	VARIANTE 2 PAK + Raumfiltration	VARIANTE 3 Ozonung + Raumfiltration	VARIANTE 4 Wirbelbett + Filtration +Filtration
Nr.						
111	Rodungen		5'000	5'000	5'000	5'000
112	Abbrüche		20'000	20'000	20'000	20'000
113	Demontagen		20'000	20'000	20'000	20'000
122	Provisorien		50'000	50'000	50'000	50'000
136	Kosten für Energie, Wasser		10'000	10'000	10'000	10'000
172	Baugrubenabschlüsse		35'000	35'000	35'000	35'000
175	Grundwasserabdichtung		165'000	154'000	126'000	130'000
176	Wasserhaltung		98'000	95'000	90'000	95'000
177	Baugrundverbesserungen		523'000	405'000	340'000	320'000
201.0	Baustelleneinrichtung Aushub		38'000	38'000	38'000	38'000
201.1	Baugrubenaushub		446'000	386'000	374'000	552'000
211.0	Baustelleneinrichtung Rohbau		339'000	301'000	260'000	226'000
211.4	Kanalisationen im Gebäude		50'000	50'000	40'000	40'000
211.5	Ortbetonbau		2'602'000	2'324'000	1'986'000	1'701'000
211.6	Maurerarbeiten		582'000	494'000	450'000	384'000
215.1	Gerüste Handwerker		9'000	9'000	8'000	6'000
215.2	Stahlbau		400'000	284'000	254'000	
215.5	Aeussere Bekleidungen		108'000	108'000	88'000	78'000
221.4	Fenster in Metall		11'000	11'000	8'000	6'000
221.6	Aussentüren, Tore aus Metall		36'000	36'000	21'000	21'000
224.1	Flachdacharbeiten		73'000	73'000	51'000	36'000
225.4	Brandabschottungen		20'000	20'000	20'000	20'000
23	EMSR-Technik		1'200'000	1'100'000	1'100'000	1'000'000
243	Wärmeverteilung		35'000	35'000	33'000	33'000
244	Lüftungsanlagen		85'000	85'000	85'000	85'000
251	Sanitäranlagen		50'000	50'000	45'000	35'000
267	Krananlagen		60'000	60'000	60'000	50'000
272.2	Schlosserkonstruktionen		435'000	223'000	179'000	213'000
273	Innentüren aus Holz		28'000	28'000	18'000	18'000
275	Schliessanlagen		5000	5000	5000	5000
281.1	Fugenlose Bodenbeläge		139'000	138'000	114'000	94'000
281.8	Doppelboden		13'000	13'000	13'000	13'000
282.4	Plattenarbeiten		18'000	18'000		
285.1	Innere Malerarbeiten		61'000	59'000	51'000	37'000
287.1	Baureinigung Baumeister		20'000	20'000	20'000	20'000
287.2	Baureinigung Gebäude		30'000	30'000	25'000	25'000
401.2	Übergangs- und Foundationsschicht		41'000	41'000	41'000	41'000
401.3	Abschlüsse und Pflästerungen		13'000	13'000	13'000	13'000
401.4	Belagsarbeiten		51'000	51'000	51'000	51'000
401.5	Kanalisation/Entwässerung		350'000	274'000	338'000	339'000
403	Gärtnerarbeiten		30'000	30'000	30'000	30'000
404	Zäune		40'000	40'000	40'000	40'000
511	Bewilligungen, Baugesp. , Inserate		30'000	30'000	30'000	30'000
531	Versicherungen		15'000	15'000	15'000	15'000
559	Bauherrenleistungen		50'000	50'000	50'000	50'000
568	Baureklame		10'000	10'000	10'000	10'000
569	Wintermassnahmen		30'000	30'000	30'000	30'000
592	Technische Arbeiten + Nebenkosten		1'490'000	1'335'000	1'225'000	1'114'000
596	Spezialisten		50'000	50'000	50'000	50'000
711	Pumpen, Pumpwerke		243'000	165'000	165'000	105'000
715	Belebungsbeckenausrüstung					675'000
716	Nachklärbeckenausrüstung		383'000			
717	Filtration		1'600'000	1'891'000	1'600'000	833'000
718	Phosphatfällung		109'000	109'000		
719	Installationen Ozonung				1'000'000	1'000'000
721	PAK-Dosierung		400'000	400'000		
722	Flockungsmitteldosierung		104'000	104'000		
738	Rührwerke		120'000	120'000		
753	Brauchwasserdruckerhöhungsanlage		50'000	50'000	50'000	50'000
754	Druckluftanlage					
761	Verfahrensleitungen		840'000	530'000	510'000	370'000
762	Absperr- & Verteilorgane		24'000	16'000	16'000	150'000
951	Beschilderung		10'000	10'000	10'000	10'000
952	ARA-Beschriftung		5'000	5'000	5'000	5'000
	Total, inkl. Techn. Arbeiten + NK		13'907'000	12'161'000	11'321'000	10'432'000
	Total ohne Tech. Arbeiten + NK		12'417'000	10'826'000	10'096'000	9'318'000

12.12 Details Betriebskostenrechnung

Im Folgenden ist die detaillierte Zusammenstellung der einzelnen Kosten der Varianten zu finden.

Tabelle 12-17: Approximative Betriebskosten für **Variante 1** PAK mit Lamellenabscheider und Raumfiltration; PAK Dosierung 13 mg/l; mittlerer Jahresabwasseranfall 200 l/s; Anzahl angeschlossene Einwohner per Ende 2012, Einwohnergleichwerte bezogen auf CSB-Fracht im Rohabwasser 2012; Die spezifische Kosten wurden mit folgenden Werten bestimmt: 39'246 E, 101'000 EW, 6'307'200 m³/a.

Variante 1: PAK, Sedimentation mit Lamellen, Raumfilter						
Kostenstelle	Einheitspreis		Menge		Kosten	
Personalkosten					CHF	80'000
Betrieb und Verwaltung	CHF	100'000	%	80	CHF	80'000
Allgemeiner Betriebsaufwand					CHF	10'000
Büro, Labor, Winterdienst etc.					CHF	10'000
Reparatur und Unterhalt					CHF	84'000
Bau	CHF	5'323'000	%	0.3	CHF	15'969
EMT (elektromechanischer Teil)	CHF	4'113'000	%	1.5	CHF	61'695
EMSRL-Technik	CHF	1'213'000	%	0.5	CHF	6'065
Energie					CHF	45'000
Strom	CHF/kWh	0.12	kWh/a	378'000	CHF	45'400
Betriebsmittel					CHF	278'000
PAK	CHF/kg	2.50	t/a	82	CHF	204'984
Fällmittel	CHF/kg	6.50	t/a	10	CHF	65'100
Flockungshilfsmittel	CHF/kg	7.50	t/a	1.0	CHF	7'500
Entsorgung					CHF	40'000
Schlammmenge (PAK-Verbrauch)	CHF/t TS	500	t ^t PAK/a	82	CHF	40'000
Diverses und Rundung					CHF	5'000
Betriebskosten gesamt					CHF	540'000
<i>Betriebskosten spezifisch</i>			<i>E</i>	39'246	CHF/E/a	13.8
			<i>EW</i>	101'000	CHF/EW/a	5.3
			<i>m³/a</i>	6'307'200	CHF/m ³	0.09

Tabelle 12-18: Approximative Betriebskosten für **Variante 2** PAK mit Lamellenabscheider und Raumfiltration; PAK Dosierung 13 mg/l; mittlerer Jahresabwasseranfall 200 l/s; Anzahl angeschlossene Einwohner per Ende 2012, Einwohnergleichwerte bezogen auf CSB-Fracht im Rohabwasser 2012; Die spezifische Kosten wurden mit folgenden Werten bestimmt: 39'246 E, 101'000 EW, 6'307'200 m³/a.

Variante 2: PAK mit Raumfilter						
Kostenstelle	Einheitspreis		Menge		Kosten	
Personalkosten					CHF	80'000
Betrieb und Verwaltung	CHF	100'000	%	80	CHF	80'000
Allgemeiner Betriebsaufwand					CHF	10'000
Büro, Labor, Winterdienst etc.					CHF	10'000
Reparatur und Unterhalt					CHF	84'000
Bau	CHF	4'539'000	%	0.3	CHF	15'969
EMT (elektromechanischer Teil)	CHF	3'625'000	%	1.5	CHF	61'695
EMSRL-Technik	CHF	1'113'000	%	0.5	CHF	6'065
Energie					CHF	45'000
Strom	CHF/kWh	0.12	kWh/a	347'000	CHF	45'400
Betriebsmittel					CHF	278'000
PAK	CHF/kg	2.50	t/a	82	CHF	204'984
Fällmittel	CHF/kg	6.50	t/a	10	CHF	65'100
Flockungshilfsmittel	CHF/kg	7.50	t/a	1.0	CHF	7'500
Entsorgung					CHF	40'000
Schlammmenge (PAK-Verbrauch)	CHF/t TS	500	t PAK/a	82	CHF	40'000
<i>Diverses und Rundung</i>					CHF	5'000
Betriebskosten gesamt					CHF	540'000
<i>Betriebskosten spezifisch</i>			E	39'246	CHF/E/a	13.8
			EW	101'000	CHF/EW/a	5.3
			m ³ /a	6'307'200	CHF/m ³	0.09

Tabelle 12-19: Approximative Betriebskosten für **Variante 3** Ozonung mit Raumfiltration; Ozon Dosierung 6 mg/l; mittlerer Jahresabwasseranfall 200 l/s; Anzahl angeschlossene Einwohner per Ende 2012, Einwohnergleichwerte bezogen auf CSB-Fracht im Rohabwasser 2012; Die spezifische Kosten wurden mit folgenden Werten bestimmt: 39'246 E, 101'000 EW, 6'307'200 m³/a.

Variante 3: Ozonung mit Raumfilter						
Kostenstelle	Einheitspreis		Menge		Kosten	
Personalkosten					CHF	60'000
Betrieb und Verwaltung	CHF	100'000	%	60	CHF	60'000
Allgemeiner Betriebsaufwand					CHF	10'000
Büro, Labor, Winterdienst etc.					CHF	10'000
Reparatur und Unterhalt					CHF	71'000
Bau	CHF	3'984'000	%	0.3	CHF	11'952
EMT (elektromechanischer Teil)	CHF	3'574'000	%	1.5	CHF	53'610
EMSRL-Technik	CHF	1'113'000	%	0.5	CHF	5'565
Energie					CHF	106'000
Strom	CHF/kWh	0.12	kWh/a	883'000	CHF	106'000
Betriebsmittel					CHF	100'000
Sauerstoff	CHF/kg	0.22	kg/a	454'060	CHF	99'893
Lieferung und Lagerung O₂					CHF	10'000
Miete O ₂ -Tank	CHF/a	7000			CHF	7'000
Anlieferung O ₂	CHF	140	Anzahl/a	23	CHF	3'200
Diverses und Rundung					CHF	5'000
Betriebskosten gesamt					CHF	360'000
			E	39'246	CHF/E/a	9.2
			EW	101'000	CHF/EW/a	3.6
			m ³ /a	6'307'200	CHF/m ³	0.06

Tabelle 12-20: Approximative Betriebskosten für **Variante 4** Ozonung mit Wirbelbett und Flächenfiltration; Ozon Dosierung 6 mg/l; mittlerer Jahresabwasseranfall 200 l/s; Anzahl angeschlossene Einwohner per Ende 2012, Einwohnergleichwerte bezogen auf CSB-Fracht im Rohabwasser 2012; Die spezifische Kosten wurden mit folgenden Werten bestimmt: 39'246 E, 101'000 EW, 6'307'200 m³/a.

Variante 4: Ozonung, Wirbelbett, Flächenfiltration						
Kostenstelle	Einheitspreis		Menge		Kosten	
Personalkosten					CHF	60'000
Betrieb und Verwaltung	CHF	100'000	%	60	CHF	60'000
Allgemeiner Betriebsaufwand					CHF	10'000
Büro, Labor, Winterdienst etc.					CHF	10'000
Reparatur und Unterhalt					CHF	66'000
Bau	CHF	3'357'000	%	0.3	CHF	10'071
EMT (elektromechanischer Teil)	CHF	3'396'000	%	1.5	CHF	50'940
EMSRL-Technik	CHF	1'013'000	%	0.5	CHF	5'065
Energie					CHF	99'000
Strom	CHF/kWh	0.12	kWh/a	826'000	CHF	99'100
Betriebsmittel					CHF	100'000
Betriebsmittel	CHF/kg	0.22	kg/a	454'060	CHF	99'893
Lieferung und Lagerung O₂					CHF	10'000
Miete O ₂ -Tank	CHF/a	7000			CHF	7'000
Anlieferung O ₂	CHF	150	Anzahl/a	23	CHF	3'400
<i>Diverses und Rundung</i>					CHF	5'000
Betriebskosten gesamt					CHF	350'000
			E	39'246	CHF/E/a	8.9
			EW	101'000	CHF/EW/a	3.5
			m ³ /a	6'307'200	CHF/m ³	0.06

12.13 Groblayouts

Im Folgenden sind die Groblayouts für die vier auf Grundlage der Vorauswahl definierten Verfahren zu finden:

- **Variante 1: PAK mit Lamellenabscheider und Raumfiltration**
- **Variante 2: PAK mit Raumfiltration**
- **Variante 3: Ozonung mit Raumfiltration**
- **Variante 4: Ozonung, Wirbelbett, Flächenfiltration**

Abwasserwerk Rosenbergsau
Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen
Variante 1
PAK mit Lamellenabscheider und Raumfiltration
Übersichtsplan

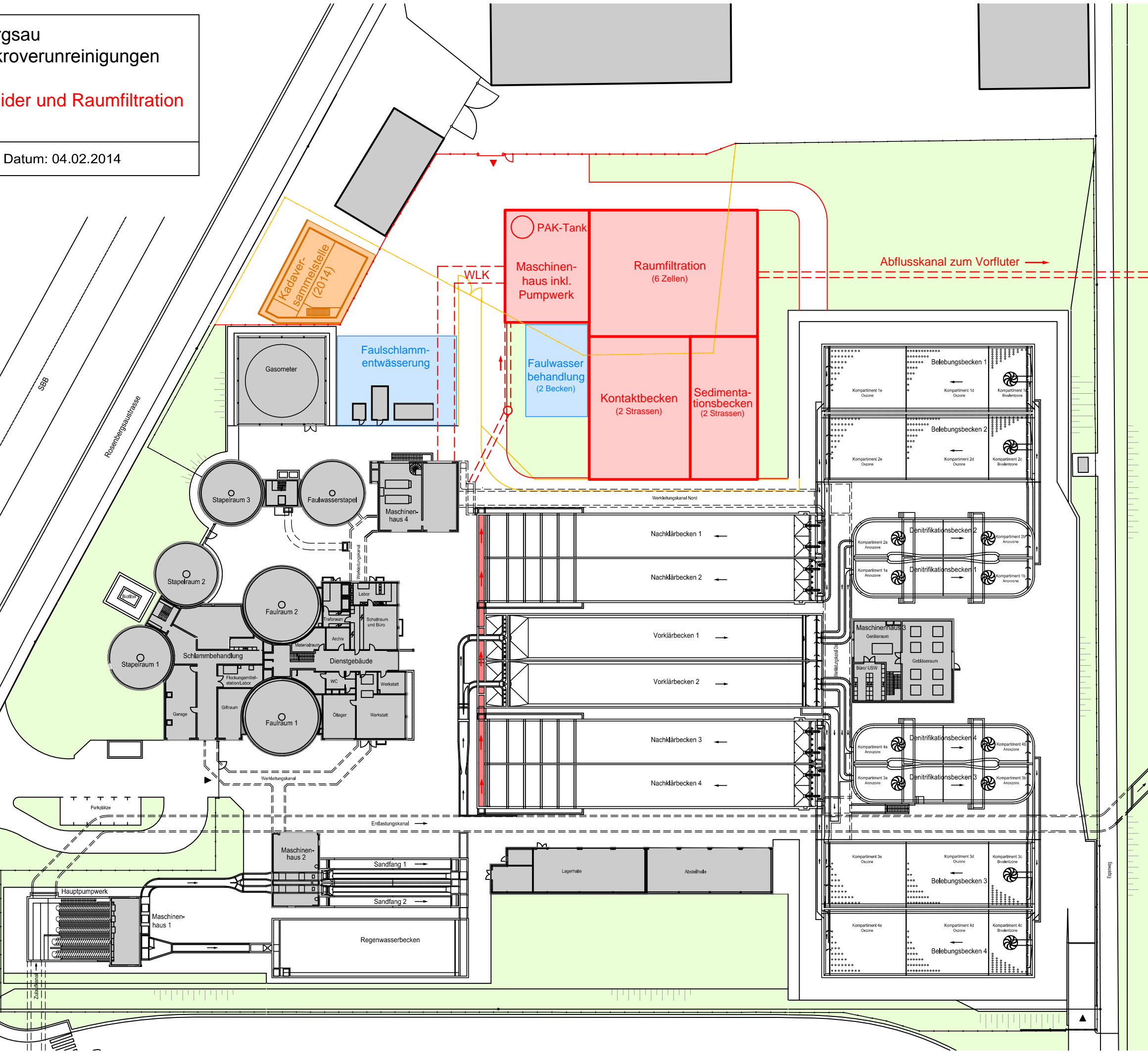


Datum: 04.02.2014

Legende

- bestehende Objekte
- neue Objekte
- Abbruch
- Reservefläche

0 25m



Rheintaler - Binnenkanal

Abwasserwerk Rosenbergsau
Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen
Variante 2
PAK mit Raumfiltration
Übersichtsplan

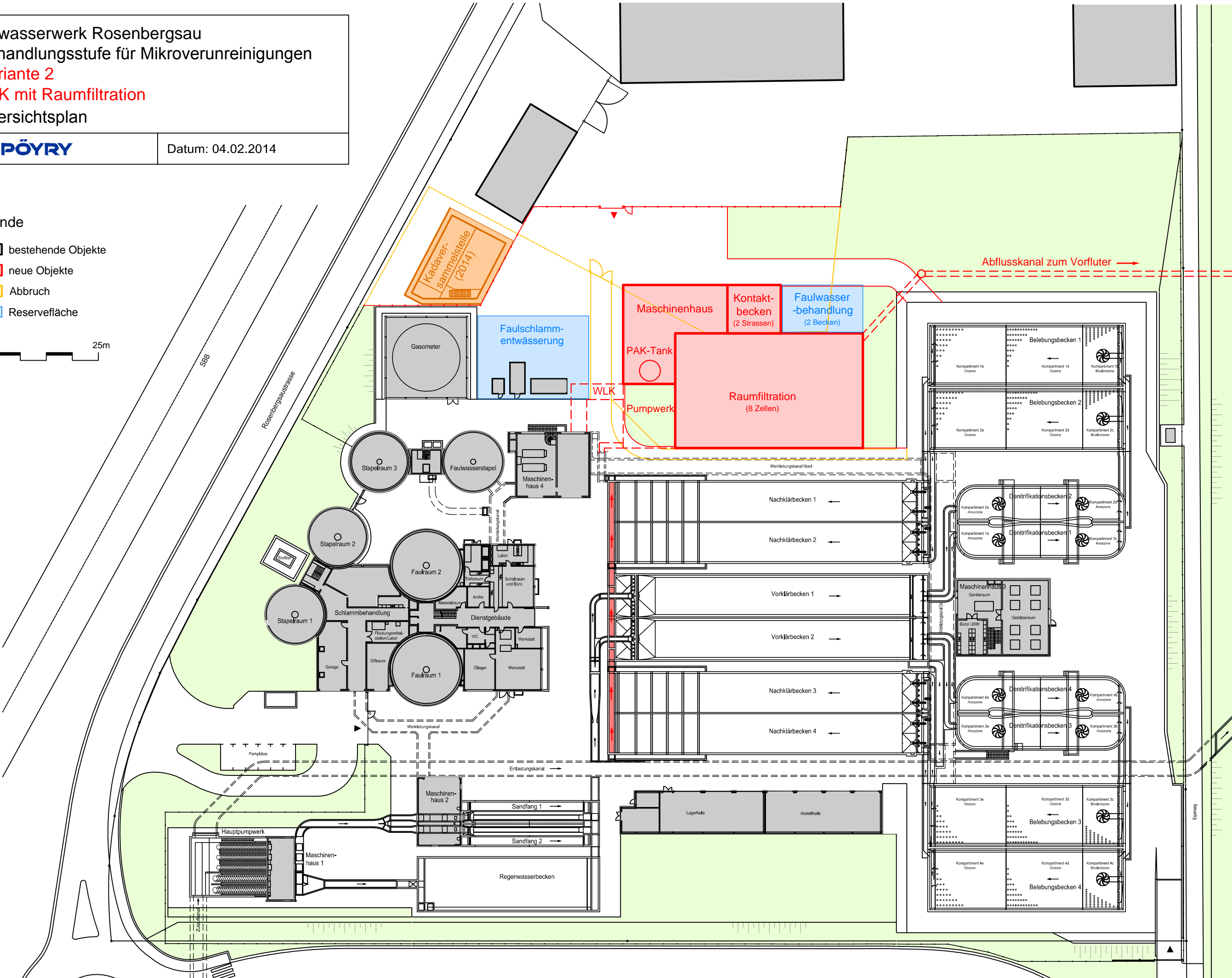


Datum: 04.02.2014

Legende

- bestehende Objekte
- neue Objekte
- Abbruch
- Reservefläche

0 25m



Abwasserwerk Rosenbergsau
Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen
Variante 3
Ozonung mit Raumfiltration
Übersichtsplan

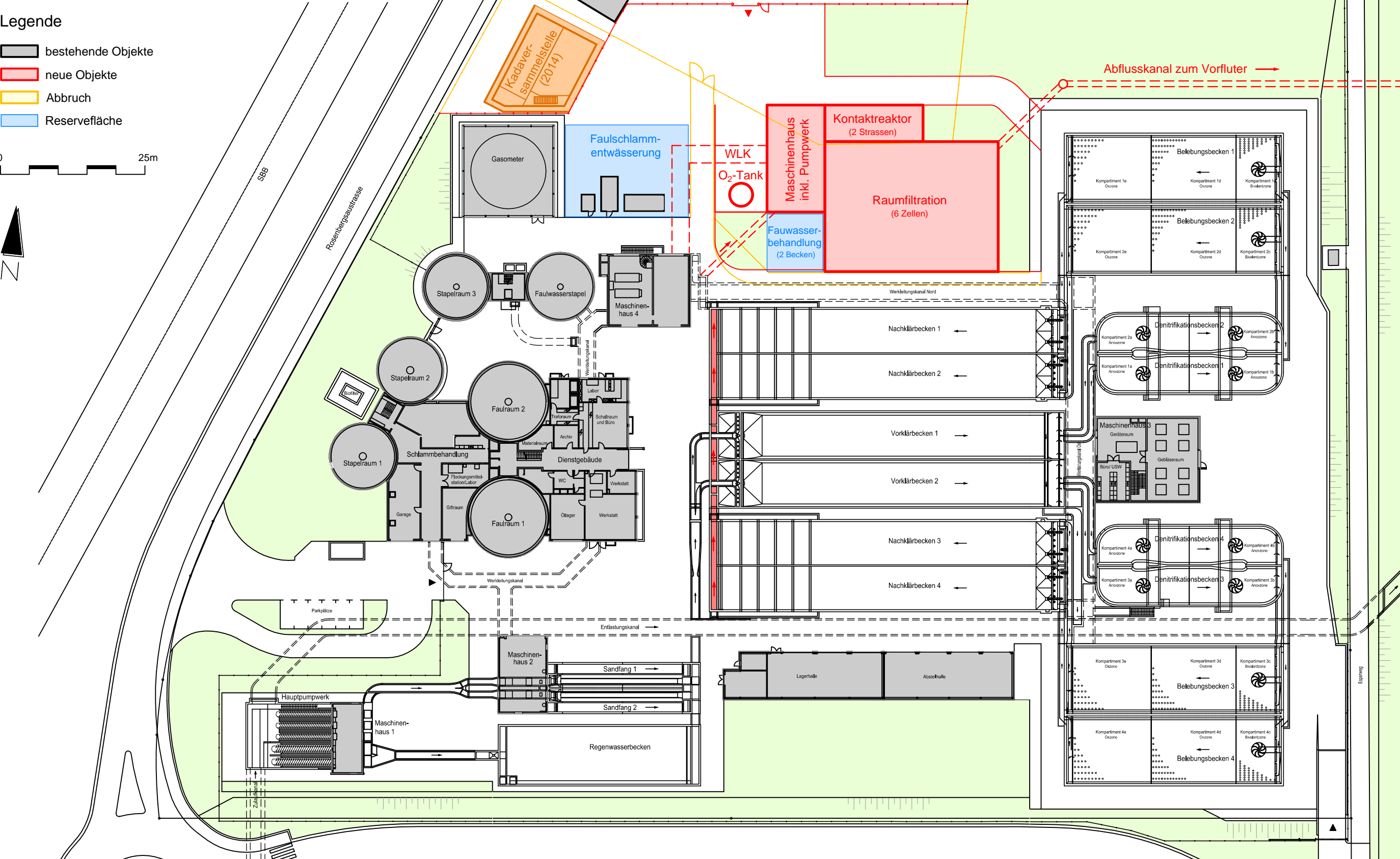


Datum: 04.02.2014

Legende

- bestehende Objekte
- neue Objekte
- Abbruch
- Reservefläche

0 25m



Rheintaler - Binnenkanal

Abwasserwerk Rosenbergsau
Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen
Variante 4
Ozonung, Wirbelbett, Flächenfiltration
Übersichtsplan



Datum: 04.02.2014

Legende

- bestehende Objekte
- neue Objekte
- Abbruch
- Reservefläche

0 25m

