



ABWASSERWERK ROSENBERGSAU (AWR)

ARA Rosenbergsau – Neubau EMV-Stufe

Ergänzungsstudie

Variantenprüfung μ GAK und Vergleich mit Ozonung

IMPRESSUM



Pöyry Schweiz AG

Herostrasse 12, Postfach
CH-8048 Zürich
Tel. 044 355 55 55
Fax 044 355 55 56

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

Luca Keller
Projektingenieur
luca.keller@poyry.com
Tel. direkt: +41 (0)76 356 20 91

Status	Version	Datum	Änderungen	Visum
Entwurf	0.0	21.01.2018	-	MRT, KEL
Abgabe	1.0	30.01.2018	Aktualisierung Zeitraum Abschreibungen, Strompreis, Layouts	MRT, KEL
Revision	2.0	19.02.2018	Korrektur Gewichtung Tab. 3-10	MRT, KEL

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

ZUSAMMENFASSUNG	5
1. EINLEITUNG	9
1.1 Ausgangslage.....	9
1.2 Projektbeschreibung.....	9
1.3 Zielsetzung	10
1.4 Projektperimeter	10
2. GRUNDLAGEN	11
2.1 Planungsgrundlagen.....	11
2.2 Gesetze, Verordnungen und Richtlinien	11
2.3 Dimensionierungsgrundlagen	12
2.4 Abklärung Verfahrenseignung Ozonung	13
2.4.1 Untersuchungen 2014	13
2.4.2 Erweiterung der Abklärungen 2018 / 2019.....	14
3. VARIANTENGEGENÜBERSTELLUNG.....	15
3.1 Ozonung mit Raumfiltration (Variante A).....	15
3.1.1 Verfahrenstechnik.....	15
3.1.2 Installationsmöglichkeiten und bauliche Massnahmen	16
3.1.3 Referenzen.....	17
3.1.4 Spezifische Vor- und Nachteile	17
3.2 CarboPlus® (Variante B)	18
3.2.1 Verfahrenstechnik.....	18
3.2.2 Installationsmöglichkeiten und bauliche Massnahmen	20
3.2.3 Referenzen.....	22
3.2.4 Spezifische Vor- und Nachteile	22
3.3 Ozonung + CarboPlus® (Variante C).....	23
3.3.1 Verfahrenstechnik.....	23
3.3.2 Installationsmöglichkeiten und bauliche Massnahmen	24
3.3.3 Referenzen.....	24
3.3.4 Spezifische Vor- und Nachteile	25
3.4 Integration und Platzbedarf	26
3.5 Betriebsaufwand.....	26
3.5.1 Variante A) Ozonung	27
3.5.2 Variante B) CarboPlus®	27
3.5.3 Variante C) Ozonung + CarboPlus®	28
3.6 Risikobetrachtung.....	29
3.6.1 Risikofaktor Kosten.....	29
3.6.2 Risikofaktor Planung.....	30
3.6.3 Zukunftssicherheit	30
3.6.4 Risikobewertung.....	30
4. KOSTEN.....	32
4.1 Investitionskosten	32
4.2 Betriebskosten.....	33

4.2.1	Wartungs- und Unterhaltskosten	33
4.2.2	Strom.....	33
4.2.3	Betriebsmittel.....	34
4.2.4	Übersicht Betriebskosten.....	35
4.3	Jahreskosten	36
4.3.1	Zins und Abschreibezeitraum	36
4.3.2	Bundesabgeltung.....	36
4.3.3	Übersicht Jahreskosten	36
5.	BEWERTUNG VARIANTEN.....	38
5.1	Vorgehen Nutzwertanalyse.....	38
5.2	Resultat Nutzwertanalyse	39
5.3	Sensitivität Nutzwertanalyse	40
6.	ABSCHLIESSENDE DISKUSSION	41
7.	EMPFEHLUNG, WEITERES VORGEHEN UND RAHMENTERMINPROGRAMM	44
8.	GLOSSAR	45
9.	ANHANG	46
9.1	Betriebsaufwände.....	46
9.2	Kosten	47

ZUSAMMENFASSUNG

Einleitung und Aufgabenstellung

Das Abwasserwerk Rosenbergsau (AWR) betreibt seit 1973 die Abwasserreinigungsanlage Rosenbergsau, welche eine Kapazität von 104'000 EW_{CSB} aufweist. Das Abwasserwerk Rosenbergsau gehört zu den 10 ARA im Kanton St. Gallen, welche um eine Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen erweitert werden müssen. Im Rahmen der Zukunftsstudie (2014) wurden verschiedene Verfahren für eine EMV-Stufe untersucht und im Rahmen einer Nutzwertanalyse bewertet. Seit dem haben sich die Technologien für die Eliminierung der organischen Spurenstoffe in der Schweiz, Deutschland und Frankreich weiterentwickelt.

Die langjährige Verfahrensplanerin Pöyry Schweiz AG wurde daher beauftragt, Abklärung zur Verfahrenseignung des sich neu am Markt etablierten CarboPlus®-Verfahrens mit mikrogranulierter Aktivkohle des Anlagebauers Saur/Stereau für die ARA Rosenbergsau zu unternehmen und dem bis dato vorgesehenen Eliminationsverfahren bestehend aus Ozonung und Raumfiltration gegenüberzustellen. Basierend auf den Erkenntnissen dieser vorliegenden Ergänzungsstudie, soll dem Abwasserwerk Rosenbergsau und seinen kompetenten Organen eine fundierte Basis für den Entscheid zur Technologiewahl für die Elimination von Mikroverunreinigungen erarbeitet werden. Die Studie soll die Auslösung der eigentlichen Projektierung der EMV-Stufe erlauben, so dass diese gemäss Grobterminplan des Masterplans des Abwasserwerks Rosenbergsau realisiert werden kann.

Verfahrenstechnische Auslegung

Gegenüber der Variantenstudie ändert sich die Dimensionierungswassermenge für die neue Verfahrensstufe. Neu sind gemäss VSA Vollstromanlagen zur Behandlung von Mikroverunreinigungen vorzusehen. Nur noch in begründeten Ausnahmefällen kann davon abgewichen werden. Die Dimensionierungswassermenge beträgt dementsprechend für die ARA Rosenbergsau wie für die übrigen Verfahrensstufen maximal 750 l/s.

Verfahrenseignung Ozon

Mit der Variantenstudie zur Elimination von Mikroverunreinigung 2014 wurden Abklärungen zur grundsätzlichen Verfahrenseignung Ozon unternommen. Durch die darauf durchgeführte Pilotierung (2015) wurden später detaillierte Aussagen zur effektiven Dimensionierung einer Ozonung gewonnen. Seit dem haben die Erfahrungen in der Planung von Ozonungsanlagen ebenfalls Eingang in eine Empfehlung des VSA (2017) zur Prüfung des zu behandelnden Abwassers gefunden. Die Einhaltung des Leitfadens dient auch den Bewilligungsbehörden zur Beurteilung der jeweiligen Projekte. Zur Komplettierung der Abklärungen wurden ab Herbst 2018 ergänzende Messungen lanciert.

Die aktualisierten Daten zu Bromid im ARA-Zulauf der ARA Rosenbergsau sind mit 255 µg/l im Median gegenüber denjenigen aus dem Jahr 2014 deutlich erhöht. Diese liegen nun oberhalb des empfohlenen Bereichs für eine Ozonung. Nach Vorgehen der VSA-Richtlinie werden Bromid-Werte zwischen 100 – 400 µg/l als „unklar“ eingestuft. Demnach sind weitere Abklärungen erforderlich, um auszuschliessen, dass durch die Behandlung mit Ozon neue problematische Stoffe gebildet werden. Das Messprogramm für die ARA Rosenbergsau ist für 2019 organisiert und die nächsten Analysen werden den Konzentrationsverlauf weiter dokumentieren. Es zeigt sich aber deutlich, dass die Abwasserzusammensetzung im stark gewerblich und industriell geprägten Einzugsgebiet der ARA Rosenbergsau laufend Veränderungen unterworfen ist, welche auch in Zukunft zu erwarten sind.

Verfahrens- und Variantenvergleich

In der vorliegenden Ergänzungsstudie werden die drei nachstehenden Varianten analysiert und gegeneinander verglichen:

- Variante A Ozonung O₃ mit Raumfiltration (bestgeeignete Variante der Studie aus 2014)
- Variante B Mikrogranulierte Aktivkohle CarboPlus® (μGAK)
- Variante C Verfahrenskombination Ozonung O₃ + CarboPlus®

Basierend auf System- und Anlage spezifischen Vor- und Nachteilen sowie einer Analyse der Betriebserfahrungen, der Prozess- und Anlagenflexibilität, des personellen Betriebsaufwands sowie der Investitions- und Betriebskosten mit resultierenden Jahreskosten bei Berücksichtigung von Amortisation und Kapitaldienst, können folgende Erkenntnisse gemacht werden:

Ozonung + Filtration (Variante A)

Eine alleinige Ozonung mit abschliessend biologisch aktivierter Raumfiltration kann aufgrund der in den letzten Jahren erfolgten Veränderungen in der Abwasserzusammensetzung nicht mehr empfohlen werden. Die gemessenen, erhöhten Bromid-Werte können zur Bildung von toxischen Nebenprodukten führen und ggf. sogar die geforderte Reinigungsleistung von >80% gefährden. Die Variante weist rechnerisch die geringsten Jahreskosten auf, wenngleich mit sehr geringem Abstand.

Mikrogranulierte Aktivkohle CarboPlus® (μGAK, Variante B)

Das jüngst auf dem Markt etablierte CarboPlus® Verfahren basiert auf der Adsorption von organischen Spurenstoffen an mikrogranulierte Aktivkohle (300 bis 800 μm). Das Verfahren besticht massgebend durch seine verfahrenstechnische Einfachheit, verbunden mit geringem personellen Betriebsaufwand, kleinstem Platzbedarf und niedrigsten Investitionskosten. Im Weiteren sind die zu erwartenden Betriebskosten nur unwesentlich höher als bei den anderen untersuchten Verfahren, so dass attraktive Jahreskosten resultieren. Das Verfahren lässt sich bei Bedarf zu einem späteren Zeitpunkt mit einer zusätzlichen Ozonung für eine weitergehende Betriebsoptimierung erweitern (Variante C).

Verfahrenskombination Ozonung + mikrogranulierte Aktivkohle CarboPlus® (O₃ + μGAK, Variante C)

Bei der Verfahrenskombination O₃ + μGAK kann mit tieferen Ozon-Dosen gearbeitet werden, was die Gefahr der Produktion von toxischen Nebenprodukten reduziert. Zudem kann die Aktivkohledosierung reduziert werden. Das System überzeugt durch seine hohe Betriebsflexibilität und die Möglichkeit, eine grosse Palette von organischen Schadstoffen zu behandeln. Kombiverfahren können in der Schweiz noch keine fundierten Betriebserkenntnisse aufweisen. Für die ARA Rosenbergsau muss mit dem höchsten personellen Betriebsaufwand sowie mit den höchsten Investitionskosten gerechnet werden. Die resultierenden Betriebskosten hingegen sind am geringsten, wenn auch nur geringfügig gegenüber den anderen Verfahren.

Die Beiträge vom Bund fallen mit dem Kombiverfahren geringer aus, da dieser nur die zur Erfüllung der gesetzlichen Auflage benötigten Investitionen bezuschusst. Sämtliche Investitionen, die vom Bauherrn und Betreiber zur weiteren Optimierung zusätzlich getätigt werden, sind nicht abgeltungsberechtigt.

Kostenvergleich

Die untersuchten Varianten weisen Investitionskosten zwischen CHF 10.6 Mio. (Variante B) und 12.8 Mio. (Variante C) auf womit Unterschiede von 20% vorliegen.

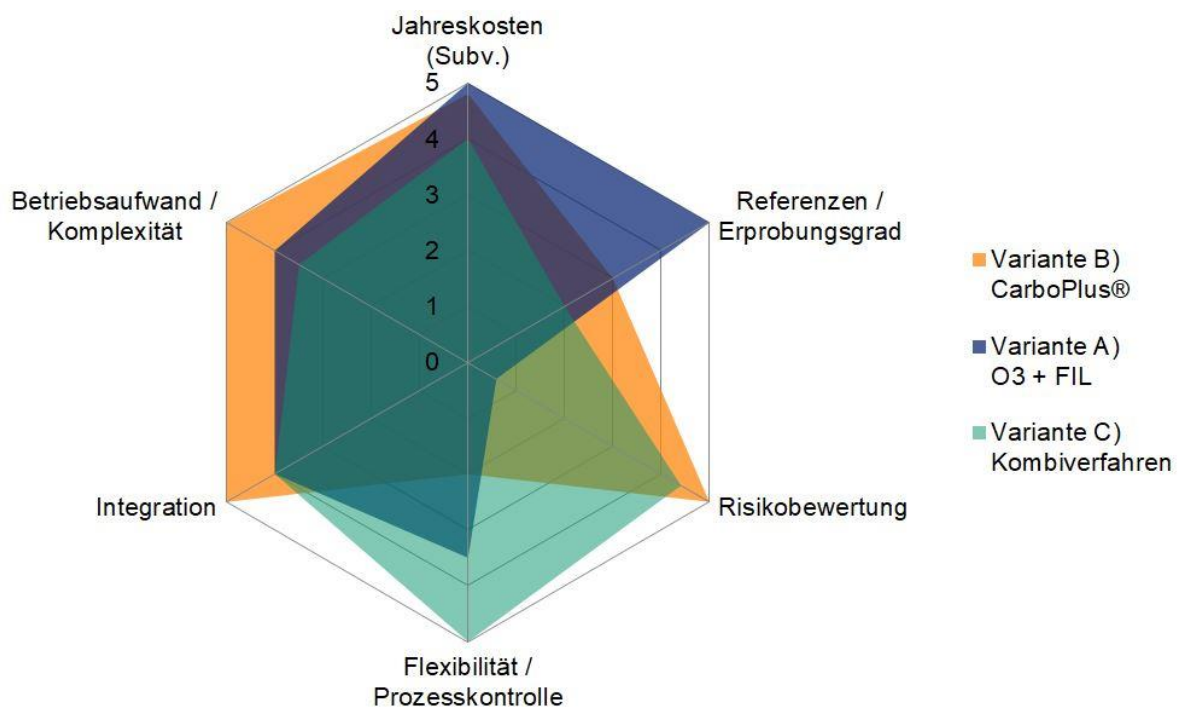
Die Betriebskosten liegen alle relativ nahe beieinander und können für die Projektierungsstufe Studie unter Berücksichtigung der Kostengenauigkeit als praktisch gleichwertig eingestuft werden. Die finanziellen Betriebsaufwendungen bewegen sich zwischen 338'000 und 366'000 CHF/a.

Die Beiträge vom Bund können mit 70% für die Varianten A und B angesetzt werden; hingegen ist für die Verfahrenskombination der Variante C mit einer geringeren Beteiligung von ca. 62% zu rechnen, da das BAFU weitergehende Investitionen nicht als anrechenbar beurteilt. Für alle drei Varianten liegen die Einwohner spezifischen Jahreskosten über den 9 CHF/E/a, die derzeit vom Bund zur Finanzierung der Massnahmen in der Schweiz von jedem Einwohner erhoben werden.

Kostenposition	Einheit	Variante A) O3 + FIL	Variante B) CarboPlus®	Variante C) Kombiverfahren
Investitionskosten	CHF	11'321'000	10'589'000	12'776'000
Betriebskosten	CHF/a	338'000	366'000	344'000
Kapitaldienst subventioniert	CHF/a	199'000	192'000	300'000
Jahreskosten	CHF/a	537'000	558'000	644'000

Nutzwertanalyse und bestgeeignete Technologie

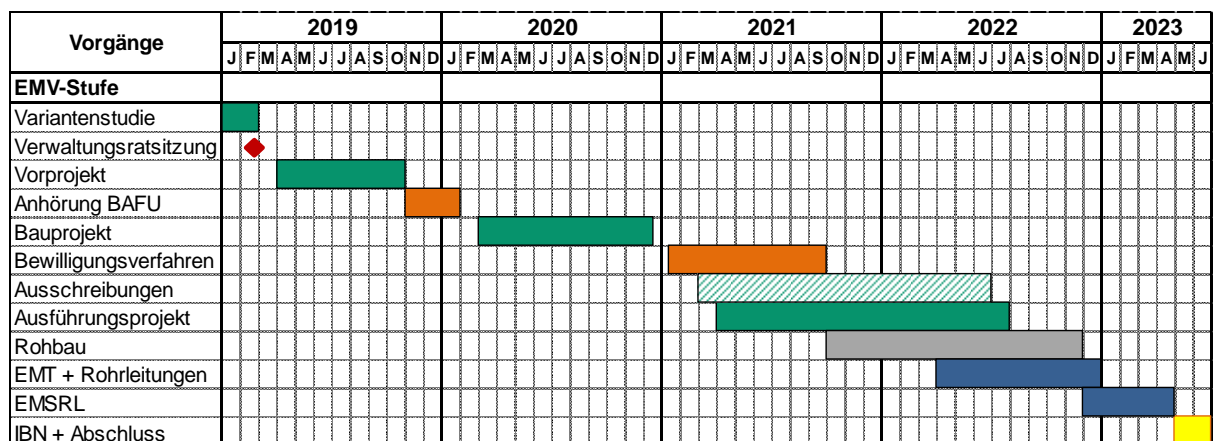
Die Nutzwertanalyse beurteilt und bewertet die drei untersuchten Varianten anhand der Kriterien Referenzen und Erprobungsgrad, Risiko, Flexibilität und Prozesskontrolle, Integration in den Anlagenbestand, Betriebsaufwand und Komplexität, sowie Jahreskosten. Gesamtheitlich, auf der Basis der durchgeführten Nutzwertanalyse betrachtet, erweist sich die Variante B CarboPlus® (µGAK) als bestgeeignet für die ARA Rosenbergsau.



Auf Basis der im Jahr 2014 durchgeführten Studie und Pilotierung einer Ozonung sowie der vorliegenden Ergänzungsstudie mit den Erkenntnissen der neusten Entwicklungen und Betriebserfahrungen der verschiedenen Technologien zur Elimination von Mikroverunreinigungen in der Schweiz, Deutschland und Frankreich kann dem Abwasserwerk Rosenbergsau eine umfassende und abschliessende Empfehlung für die EMV-Stufe gemacht werden.

Das Aktivkohle basierte Verfahren ohne Rückführung in die Abwasser- oder Schlammstrasse ist insbesondere in Hinblick auf die sich seit 2014 veränderte Abwassercharakteristik, bei welcher die Gefahr der Produktion von toxischen Nebenprodukten durch die Behandlung mit Ozon besteht, von grossem Vorteil.

Bei einem Entscheid des Verwaltungsrates des Abwasserwerks Rosenbergsau an seiner ordentlichen Sitzung vom Februar 2019 für die Auslösung der Projektierung der Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen nach dem CarboPlus® Verfahren, ist mit einem Zeitbedarf gemäss nachstehendem Grobterminplan zu rechnen:



1. EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage

Das Abwasserwerk Rosenbergsau (AWR) betreibt die Abwasserreinigungsanlage (ARA) Rosenbergsau, welche das Abwasser aus dem Verbandseinzugsgebiet der angeschlossenen Rheintaler Gemeinden sowie der Gewerbe und Industriebetriebe in der Region reinigt. Die Anlage weist nach dem grossen Ausbauprojekt 2002-2008 und der Leistungssteigerung der biologischen Reinigungsstufe im Jahr 2012 eine Kapazität von 104'000 EW_{CSB} auf. Das Abwasserwerk Rosenbergsau gehört zu den 10 ARA im Kanton St. Gallen, welche um eine Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen erweitert werden müssen.

Um die strategische Zukunft der ARA Rosenbergsau besser zu planen hat das Abwasserwerk Rosenbergsau zusammen mit der Pöyry Schweiz AG eine Zukunftsstudie, sowie einen Masterplan erstellt. Im Rahmen der Zukunftsstudie (2014) wurden verschiedene Verfahren für eine EMV-Stufe untersucht und im Rahmen einer Nutzwertanalyse bewertet. Die damals bestbewertete Verfahrenstechnologie „Ozonung + Raumfiltration“ wurde mittels Pilotierung und begleitenden Laboruntersuchungen auf ihre technische Anwendbarkeit und Effizienz getestet (2015).

In der Zwischenzeit haben sich die Technologien für die Eliminierung der organischen Spurenstoffe weiterentwickelt und durch die Realisierung erster Anlagen konnten weitergehende verfahrenstechnische und betriebliche Erkenntnisse gewonnen werden. So existiert heute eine Technologie mit mikrogrogranulierte Aktivkohle (μGAK) am Markt (System CarboPlus® der Firma Saur/Stereau), welche sich für die ARA Rosenbergsau als sehr interessant erweisen könnte. Aus diesem Grund hat das Abwasserwerk Rosenbergsau eine ergänzende Studie bezüglich der Technologie mit μGAK für die ARA Rosenbergsau ausgelöst.

1.2 Projektbeschreibung

Das CarboPlus®-Verfahren basiert auf der Adsorption von Mikroverunreinigungen an granulierte Aktivkohle (Körnung: 300 – 800 μm), welche in einem Reaktor in einem Schwebebett gehalten wird. Die mit Schadstoffen beladene Kohle wird laufend aus dem System entfernt und durch frische Kohle ersetzt. Durch die gezielte Entnahme direkt im Reaktor, ohne Rückführung in die Abwasserstrasse, kommt es zu keiner Belastung der restlichen Abwasserprozesse und der Schlammbehandlung – wie dies bei allen Verfahren mit Pulveraktivkohle geschieht – was für die ARA Rosenbergsau von zentraler Bedeutung ist. Ein weiterer Unterschied zur Pulveraktivkohle ist die mögliche Wiederaufbereitung bzw. Aufbereitung der μGAK, was einen mehrfachen Einsatz ermöglicht.

Das mechanisch biologisch gereinigte Abwasser aus dem Ablauf der Nachklärung muss in einer neuen 4. Reinigungsstufe mittels dem μGAK Verfahren (CarboPlus®) derart gereinigt werden, dass die gesetzlich geforderte Elimination bezüglich Mikroverunreinigungen von ≥80% sicher erzielt werden kann. Das neue Verfahren wurde in den letzten Jahren ausgiebig pilotiert (u.a. STEP de Penthaz und ARA Wildegg, AG) und aufgrund der positiven Resultate erstmalig in der Westschweiz auf der STEP de Penthaz (VD) grosstechnisch realisiert.

Das Abwasserwerk Rosenbergsau hat die langjährige Verfahrensplanerin Pöyry Schweiz AG beauftragt, Abklärung zur Verfahrenseignung des CarboPlus®-Verfahrens für die ARA Rosenbergsau zu unternehmen. Das bis dato vorgesehene Eliminationsverfahren bestehend aus Ozonung mit abschliessender Raumfiltration soll dem CarboPlus®-Verfahren gegenüber gestellt und unter Berücksichtigung der neusten Erkenntnisse bewertet werden.

Die Erkenntnisse sollen die bisherige strategische Studie mit Variantenvergleich komplettieren, so dass der Verwaltungsrat des Abwasserwerks Rosenbergsau abschliessend die bestgeeignete und weiter zu verfolgende Verfahrenstechnik zur Elimination von Mikroverunreinigungen festlegen und die konkrete weitere Planung veranlassen kann.

1.3 Zielsetzung

Mit der „Variantenprüfung μ GAK und Vergleich mit Ozonung“ verfolgt der AWR nachstehende Zielsetzungen:

- Prüfung und Abklärung der Eignung der Technologie μ GAK für die ARA Rosenbergsau
- Vergleich der Variante μ GAK mit der Variante Ozonung + Raumfiltration und aufzeigen, resp. bewerten von Vor- und Nachteilen
- Aufzeigen von Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten aufgrund einer Kostenschätzung mit Genauigkeit $\pm 25\%$
- Abschliessende Klarheit über die bestgeeignete Verfahrenstechnik zur Elimination von Mikroverunreinigungen für die weitere Projektierung und Realisierung

1.4 Projektperimeter

Der Projektperimeter umfasst die neu zu erstellende EMV-Stufe, sowie deren Schnittstellen zur biologischen Reinigungsstufe und Schlammbehandlung. Die neu zu erstellenden Räumlichkeiten zum Betrieb der EMV-Stufe sollen vom bestehenden Maschinenhaus MH4 via Werkleitungsgang erschlossen werden.

2. GRUNDLAGEN

2.1 Planungsgrundlagen

Folgende Grundlagen wurden für die vorliegende Studie berücksichtigt:

- Geschäftsberichte ARA Rosenbergsau 2015 bis 2017
- ARA Rosenbergsau, Strategie Zukunft, Variantenstudium Behandlungsstufe für Mikroverunreinigungen 17.07.2014
- ARA Rosenbergsau, Strategie Zukunft, Bericht zur Pilotierung Ozonung, Pöyry Schweiz AG 30.09.2015
- ARA Rosenbergsau, Masterplan: Zustandsanalyse und Massnahmenplan, Pöyry Schweiz AG, 28.10.2015

2.2 Gesetze, Verordnungen und Richtlinien

Folgende Grundlagen wurden für die vorliegende Studie berücksichtigt:

- Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung. VSA, 28.03.2017. Glattbrugg.
- Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG), 24.01.1991 (Stand am 01.01.2017)
- Gewässerschutzverordnung (GSchV), 28.10.1998 (Stand am 01.05.2017)
- Zu behandelnde Abwassermenge und Redundanz von Reinigungsstufen zur Entfernung von Mikroverunreinigungen. VSA, 2015. Glattbrugg.
- Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasseranlagen; Finanzierung von Massnahmen. BAFU, 03.06.2016.

2.3 Dimensionierungsgrundlagen

Die in Tabelle 2-1 zusammengestellten massgebenden Dimensionierungsgrundlagen setzten sich zusammen aus Angaben, welche in der Zukunftsstudie 2015 erarbeitet wurden sowie Messwerten aus den letzten drei Jahren. Hierzu bildeten die Jahresberichte des AWR 2015 bis 2017 die Grundlage.

Grundsätzlich sind gemäss Empfehlung des VSA zur Elimination von Mikroverunreinigungen Anlagen zu planen, die eine Vollstrombehandlung ermöglichen¹. Unter gewissen Aspekten kann von einer Vollstrombehandlung abgesehen werden. Für die ARA Rosenbergsau liegt jedoch keine ungewöhnlich hohe hydraulische Kapazität vor, welche zu einer Benachteiligung durch den Bau einer Vollstromanlage führen würde. Zur Realisierung einer Vollstrombehandlung wird die zukünftige EMV-Stufe ebenfalls auf die hydraulische Kapazität von 750 l/s ausgelegt. Bis zum Prognosehorizont 2030 ist nicht davon auszugehen, dass diese hydraulische Kapazität überschritten wird.

Zur Betriebskostenermittlung ist insbesondere der mittlere Zulauf zur EMV-Stufe relevant. Hierzu wird der Prognosewert 2030 von 301 l/s zugrunde gelegt.

Die für die Verfahren der EMV-Stufe relevanten Ablaufwerte des DOC und Nitrit liegen mit 7.3 mgDOC/l resp. 0.19 mgNO₂-N/l in einer typischen Grössenordnung. Die DOC-Ablaufwerte haben sich in den letzten Jahren aufgrund geänderter Betriebsweisen leicht erhöht. Die verbesserte Kontrolle der GUS-Ablaufwerte über die Nachklärbecken geht dabei leicht auf Kosten der DOC-Werte.

Tabelle 2-1: Für die EMV-Stufe relevante Dimensionierungswerte ARA Rosenbergsau

Parameter	Einheit	Wert
Biologische Ausbaugrösse	EW _{CSB}	104'000
Angeschlossene Einwohner 2030	E	47'000
Q _{TW}	l/s	200
Q _{RW}	l/s	750
Q _{ARA,mittel,24h} Prognose 2030	m ³ /d	26'000
	l/s	301
DOC (2015-17)	mg/l	7.3
NO ₂ -N (2015-17)	mg/l	0.19

¹ VSA 2015. Zu behandelnde Abwassermenge und Redundanz von Reinigungsstufen zur Entfernung von Mikroverunreinigungen. Glattbrugg.

2.4 Abklärung Verfahrenseignung Ozonung

Mit der Variantenstudie zur Elimination von Mikroverunreinigung 2014 wurden Abklärungen zur grundsätzlichen Verfahrenseignung unternommen. Durch die darauf durchgeführte Pilotierung wurden knapp ein Jahr später detaillierte Aussagen zur effektiven Dimensionierung einer Ozonung gewonnen. Mit in Kraft treten der revidierten GSchV per 01.01.2016 haben diverse ARA's mit der Planung ihrer EMV-Stufen begonnen. Die Erkenntnisse aus der Umsetzung der ersten Ozonungsanlagen hat auch der Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) aufgenommen und eine Empfehlung zur Verfahrensabklärung Ozon herausgegeben (März 2017). Diese sieht grundsätzlich folgende Abklärungen vor:

1. Betrachtung des Einzugsgebiets
2. Untersuchungen im Zulauf zur geplanten Ozonung
3. Chemische Untersuchungen zur Ozonung
4. Toxikologische Untersuchungen / Biotests

2.4.1 Untersuchungen 2014

Im Rahmen der Abklärungen 2014 wurden massgebende Zulauf-Parameter zur geplanten Ozonung, sowie mögliche Oxidationsnebenprodukte (Bromid/Bromat und Nitrosamine) erstmals durch die *Envilab AG* für die ARA Rosenbergsau untersucht.

Bromid

Im Zulauf lagen die damals aufgenommenen Bromid-Werte im Mittel der 10 Tages-Sammelproben mit 80 µg/l noch unterhalb des unauffälligen Bereichs von < 100 µg/l gemäss Leitfaden des VSA. Gemäss Empfehlung des Kantons Zürich eignet sich eine Ozonung bei ARA's mit < 50 µg/L Bromid im Ablauf der biologischen Stufe.

Bromat- / Nitrosamin-Bildung

Die Bildung von Bromat- und Nitrosaminen wurde anhand einer Mischprobe (7x 24h-Sammelprobe) bestimmt. Bei der Dosierung von 0.5 gO₃/gDOC wurde die Bromat-Konzentration auf 16 µg/l bestimmt. Für eine Dosierung von 1.0 gO₃/gDOC entstanden 75 µg/l BrO₃⁻. Der vom Ökotoxzentrum vorgeschlagene Indikator (EQS-Wert: Environmental Quality Standard) von 50 µg/l für Oberflächengewässer wird damit deutlich überschritten. Die Umwandlungsrate von Bromid zu Bromat lag bei 48%. Die Probe wies jedoch untypisch hohe DOC-Werte von 15.8 mg/l auf (2.5-fach höher als üblich). Da die Untersuchung zudem nur einfach durchgeführt wurde, ist die Aussagekraft limitiert.

Gemäss Empfehlung des VSA liegt für Abwässer mit Bromidkonzentrationen < 100 µg/l die Bromat-Bildung bei verwendeten Ozondosen von 0.5 - 0.7 mg O₃/mgDOC im tiefen einstelligen µg/l-Bereich. Dabei werden ca. 10-15% des Bromids zu Bromat umgewandelt. Während der Pilotierung konnte die optimale Ozondosierung auf 0.5 - 0.7 gO₃/gDOC bestimmt werden. Damit sollte die Bromatbildung eher unterhalb des EQS-Werts zuliegen kommen.

Die Untersuchung von Nitrosaminen wurde mit einem nicht genügend hoch aufgelösten Messbereich durchgeführt. Es konnte jedoch eine Nitrosaminbildung für NDMA (*N-Nitroso-dimethylamin*) beobachtet werden. Der bestimmte Wert fällt im Vergleich zu heutigen Referenzwerten deutlich höher aus. Es ist unklar, ob dies auf den unpassenden Messgenauigkeit oder sonstige Fehler rückführbar

ist. Grundsätzlich sollten diese Analysen am Zulauf zur geplanten Ozonung über einen Zeitraum von mindestens 3 Monate erfolgen.

Toxizität

Die in der Regel zum Abschluss der Eignungsprüfung durchgeführten Toxizitätstests (Punkt 4 der Abklärungen) waren für das ozonisierte Abwasser der ARA Rosenbergsau grundsätzlich unauffällig. Es konnte im unbehandelten Abwasser jedoch eine hohe Herbizidität festgestellt werden, welche durch die Ozonung stark reduziert wurde.

Da zum Zeitpunkt der Durchführung noch keine Richtlinien zur Verfügung standen, wurden vom beauftragten Labor nicht alle empfohlenen Tests der Punkte 2 und 3 durchgeführt. So wurden im Zulauf zur geplanten Ozonung Schwermetalle, die Ozonzehrung / OH-Radikalausbeute und der Spurenstoffabbau nicht durch die Envilab AG bestimmt. Die Ermittlung der Ozonzehrung und Radikalausbeute wird typischerweise zur Bestimmung der Dosierung und damit der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens durchgeführt. Da die Dosierung für eine ausreichende Abbauleistung für relevante Spurenstoffe mit den Pilotierungsversuchen nachgewiesen werden konnten, sind Spurenstoffabbau Ozonzehrung nicht mehr zwingend im Labor zu wiederholen.

2.4.2 Erweiterung der Abklärungen 2018 / 2019

Messprogramm

Durch die durchgeführten Abklärungen und die Pilotierung ist bereits ein Teil der Verfahrensabklärung Ozon gemäss Empfehlung VSA durchgeführt worden. Aufgrund der relativ hohen Bromid-Werte im Zulauf, des kurzen Betrachtungshorizontes sowie der hohen Werte zur Bromat- und Nitrosaminbildung werden derzeit folgende zusätzlichen Messungen durchgeführt:

- Chrom (VI) und Gesamt-Chrom
- Bromid im Zulauf zur geplanten Ozonung (Betrachtung des Gesamtjahres)
- Bromat-Bildung bei Ozondosen 0.50, 0.75 und 1.00 gO₃/gDOC

Provisorische Daten

Die aktualisierten Daten der derzeitigen Kampagne zu Bromid im Zulauf (vgl. Tabelle 2-2), zeigen deutlich erhöhte Werte, welche oberhalb des empfohlenen Bereichs für eine Ozonung liegen. Nach VSA-Richtlinie werden Bromid-Werte zwischen 100 – 400 µg/l als „unklar“ eingestuft. Demnach sind weitere Abklärungen erforderlich bzw. in diesem Fall die nächsten Analysen abzuwarten, um eine definitive Aussage treffen zu können. Anhand der Messwerte zeigt sich, dass innerhalb der letzten 4 Jahre eine Änderung der Einleitung stattgefunden haben muss.

Tabelle 2-2: Angaben zur erweiterten Messkampagne Bromid im Zulauf zur geplanten EMV-Stufe 2018 (Stand Ende Januar 2019)

Parameter	Einheit	Wert
Mittelwert	µg/l	231
Median	µg/l	255
Anzahl	n	14
Standard-Abweichung	µg/l	63

3. VARIANTENGEGENÜBERSTELLUNG

3.1 Ozonung mit Raumfiltration (Variante A)

3.1.1 Verfahrenstechnik

Die Ozonung wird zweisträssig auf den Bemessungszufluss von 750 l/s ausgelegt. Die minimale hydraulische Aufenthaltszeit im Ozonungsreaktor wird gemäss den aktuellen Erfahrungen auf 15 Minuten festgelegt. Dadurch wird sichergestellt, dass auch bei Regenwetter genügend Zeit zur Reaktion des Ozons zur Verfügung steht und dieses nicht zur biologischen Nachbehandlung (Raumfiltration) gelangt. Die Reaktoren weisen typischerweise 6 Kompartimente je Strasse auf, wobei zwei Kompartimente mit Diffusoren zur Einbringung des Ozons ausgestattet sind. Ozonhaltiges Abgas aus dem Reaktor wird einer Restozonvernichtungsanlage zugeführt, wobei Ozon mittels Katalysatoren in molekularen Sauerstoff umgewandelt und wieder in die Umgebungsluft abgegeben wird.

Die wesentlichen Betriebsmittel der Ozonung sind Sauerstoff sowie der zur Ozonproduktion benötigte Strom. Das Ozon wird mittels Ozongeneratoren aus Flüssigsauerstoff direkt vor dem Eintrag erzeugt. Der Ozon- und damit Sauerstoffbedarf ist hauptsächlich abhängig von der im Zulauf zur EMV-Stufe befindlichen DOC- und Nitrit-Konzentration, nach der sich die Ozondosierung in der Regel richtet (vgl. Tabelle 2-1).

Um den gesetzlich geforderten 80%-Abbau von Spurenstoffen über die gesamte ARA zu erreichen, wurde bisher mit einer spezifischen Ozondosis von 0.6 – 0.8 mg O₃/mg DOC gerechnet². Durch die Bemühungen, diese mit geeigneten Betriebs- und Regelstrategien weiter zu optimieren, zeigt sich in diversen Ergebnissen, dass Dosierungskonzentrationen im Bereich von 0.4 – 0.7 mg O₃/mg DOC realisierbar sind. So betreibt die ARA Neugut Dübendorf ihre Anlage mit Ozondosen von <0.5 mg O₃/g DOC³. Dabei kann ebenfalls das Risiko der Bildung von Oxidationsnebenprodukten gesenkt werden. Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit wird eine mittlere Ozondosis von 0.6 mg O₃/g DOC zugrunde gelegt.

Tabelle 3-1: Berechnung des Ozon- und Sauerstoffbedarfs für die ARA Rosenbergsau bei mittlerem prognostiziertem Zulauf und DOC- und Nitrit-Werten 2015/17

Parameter	Einheit	Wert
mittlerer Zulauf	l/s	301
spez. O ₃ -Bedarf	g O ₃ /g NO ₂ -N	3.43
mittlere spez. O ₃ -Dosis	g O ₃ /g DOC	0.60
mittlere Ozondosis	g O ₃ /m ³	5.0
mittlere Produktionskapazität	kg O ₃ /h	5.5
mittlerer Sauerstoffbedarf	kg O ₂ /h	54.6
mittlerer Sauerstoffbedarf	kg O ₂ /d	1311
Lagerung		
Sauerstofftanks	n	1
Dichte Sauerstoff	kg/l	1.4
Stapeldauer	d	60
Volumen O ₂ -Tank	m ³	55

² Barjenbruch, M.; Firk, W. (2014): „Möglichkeiten der Elimination von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen“. Korrespondenz Abwasser, Abfall. 61. Jahrgang, Nr. 10, S. 861 – 875.

³ Hubaux, N.; Schachtler, M. (2016): „Mehrstufiger Ozon-Eintrag – LOD-Konzept“. Aqua & Gas N°11.

3.1.2 Installationsmöglichkeiten und bauliche Massnahmen

Zur Sicherstellung einer ausreichenden Aufenthaltszeit von 15 min in den Ozonierungsreaktoren ist ein Gesamtnutzvolumen von 675 m³ erforderlich. Die Dimensionen der benötigten Reaktorbecken für den Bemessungszufluss sind in Tabelle 3-2 aufgeführt. Die maximale Aufenthaltszeit bei heutigem Trockenwetterzufluss (200 l/s) beträgt rund eine Stunde. Im Mittel werden 37 min mit dem Prognosezufluss (301 l/s) erreicht. Zur Sicherstellung der Verfahrenssicherheit und zur optimalen Betriebsführung sind grundsätzlich zwei Ozon-Reaktoren zu empfehlen. Damit lassen sich Spreizungen der Zuflüsse- und Dosiermengen deutlich flexibler abdecken. Die Festlegung der Anzahl Strassen ist Bestandteil der Planung im Vorprojekt.

Als Wassertiefe sind mindestens 5.5 m vorzusehen, 6 m sind üblich. In der derzeitigen konzeptuellen Planung wird davon ausgegangen, dass die Sohle des Reaktors auf gleicher Tiefe zu liegen kommt, wie die übrigen Becken der ARA. So wird ein grösserer Kontakt mit dem Grundwasser weitestgehend vermieden. Daraus ergibt sich die Objekthöhe und die hydraulische Situation. Das Wasser muss ab Nachklärung mit einem Pumpwerk rund 4 m gehoben werden.

Die Ozonreaktoren müssen aus Sicherheitsgründen abgedeckt sein, weshalb das Betriebsgebäude die Reaktoren sowie die notwendigen Aggregaten wie Ozongeneratoren, Lüftungszentrale und Restozonvernichtung vollständig umfassen muss. Als einzige Komponenten werden der Sauerstofftank mit zugehörigem Verdampfer ausserhalb des Ozonungsgebäudes errichtet. Für die Sauerstoffanlieferung werden üblicherweise mehrjährige Lieferverträge abgeschlossen. Der Sauerstofftank wird gemietet und vom Lieferanten gewartet und unterhalten. Soll Sauerstoff für 60 Tage vorgehalten werden, ist ein Tankvolumen von ca. 55 m³ erforderlich (vgl. Tabelle 3-1).

Ein Dispositionsplan für das Gebäude und die Anlagenintegration liegt mit Plan Nr. 01 bei. Ein hydraulisches Profil wird mit Plan Nr. 02 gegeben.

Tabelle 3-2: Dimensionen für die Reaktorbecken der Ozonung auf der ARA Rosenbergsau

Parameter	Einheit	Wert
Beckenvolumen total	m ³	675
Minimale Aufenthaltszeit (750 l/s)	min	15
Mittlere Aufenthaltszeit (301 l/s)	min	37
Aufenthaltszeit TW (200 l/s)	min	56
Anzahl paralleler Becken	-	2
Nutztiefe	m	6
Verhältnis Länge / Breite	-	5
Nutzlänge Becken (ca.)	m	17.0
Nutzbreite Becken (ca.)	m	3.3

Zusätzlich zur Ozonung ist die biologische Nachbehandlung in Form eines Sand- bzw. Raumfilters zu erstellen. Die Dimensionierung richtet sich nach einer maximal zulässigen Filtergeschwindigkeit beim Dimensionierungszufluss. Die Eckdaten der Auslegung können der Tabelle 3-3 entnommen werden. Die Dimensionierung unterscheidet sich nicht von derjenigen 2014.

Tabelle 3-3: Auslegung Raumfiltration für die biologische Nachbehandlung nach einer Ozonung

Parameter	Einheit	Wert
Dimensionierungszufluss	l/s	750
Filtergeschwindigkeit	m/h	12.5
Filterfläche erforderlich	m ²	216
Filterzellen	-	6
Breite Filterzelle	m	4
Länge Filterzelle	m	9

3.1.3 Referenzen

In der Schweiz stehen bisher drei ARA mit Ozonung in Betrieb (Dübendorf, Reinach-Oberwynental, Werdhölzli Zürich) und in Deutschland drei Weitere. Mit der ARA Zürich-Werdhölzli hat die grösste Anlage den regulären Betrieb 2018 aufgenommen. Derzeit befinden sich weitere 12 Anlagen in der Planung oder im Bau, darunter Anlagen in der Grössenordnung von Rosenbergsau, wie beispielsweise Kloten-Opfikon. Aus dem Betrieb der ARA Neugut, Dübendorf stehen mit dem Betrieb seit 2014 langjährige Betriebserfahrungen zur Verfügung.

3.1.4 Spezifische Vor- und Nachteile

Die sich für die ARA Rosenbergsau mit einer Ozonung ergebenden Vor- und Nachteile sind in Tabelle 3-4 aufgelistet.

Tabelle 3-4: Vor- und Nachteile einer Ozonung mit Raumfiltration auf der ARA Rosenbergsau

Vorteile	Nachteile
+ Diverse Referenzprojekte in der Schweiz mit guten Betriebserfahrungen	– Erforderliche Sicherheitsvorkehrungen, Arbeitssicherheit
+ Desinfektion und Entkeimung des Abwassers	– Keine definitive Entfernung der Spurenstoffe aus dem Abwasser
+ Variable Dosierung entsprechend den Erfordernissen und damit optimales Reagieren auf die aktuelle Belastung	– Möglichkeit der Bildung von toxischen Nebenprodukten
+ Keine zusätzlichen Entsorgungskosten	– Hoher Energiebedarf durch grösseres Hebewerk, Lüftung und Ozonproduktion
+ Dämpfung von Nitrit- und Ammoniumspitzen durch deren Oxidation	– Bewilligungsfähigkeit aufgrund hoher Bromidkonzentrationen für Rosenbergsau unklar
+ Verbesserung von Geruch, Verfärbungen und Schaumbildung	–

3.2 CarboPlus® (Variante B)

3.2.1 Verfahrenstechnik

Allgemein

Beim CarboPlus®-Verfahren wird das zu reinigende Abwasser von unten in mehrere Reaktoren gepumpt, wodurch ein Aktivkohlebett aus μ GAK in Schwebelage gehalten wird, dass die Adsorption von MV übernimmt. Das fluidisierte Kohle-Bett wird kontinuierlich durch frische Kohle ergänzt, während zeitgleich Kohle entnommen wird. Durch die Wahl einer geeigneten Korngrösse (μ GAK, 300 – 800 μ m) und Filtergeschwindigkeit wird das Bett innerhalb einer definierten Zone gehalten. Das gereinigte Abwasser fliesst über Ablaufrinnen an der Oberseite des Reaktors in einen Ablaufkanal, ohne dass dabei μ GAK ausgetragen wird. Die Separation erfolgt infolge der Dichte der verwendeten Kohle allein durch Schwerkraft, wodurch keine zusätzliche Einheit zur Abtrennung der Aktivkohle erforderlich ist. Zudem wird ein Rückhalt von ungelösten Stoffen und Partikeln (GUS) erreicht, welche sich im μ GAK-Bett akkumulieren. Grundsätzlich ist auf der ARA Rosenbergsau wegen der gesetzlichen Einleitbedingungen (GUS ≤ 15 mg/l) keine weitergehende Feststoffelimination notwendig. Mit der Verwendung von μ GAK, welche ein ca. 10 mal grösseres Volumen als herkömmliche Pulveraktivkohle aufweist, kann auf zusätzliche Chemikalien zur Koagulation und Flockung verzichtet werden. Es wird Kohle mit einem Durchmesser von ca. 0.5 mm eingesetzt (PAK < 0.05 mm).

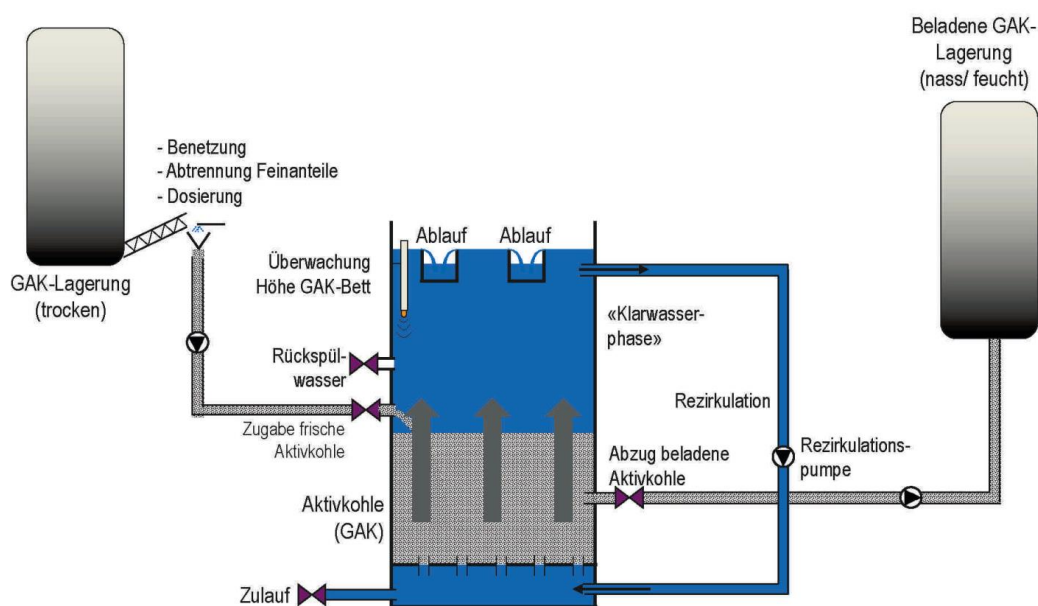


Abbildung 3-1: Allgemeines Verfahrensschema GAK im Wirbelbett (Aqua & Gas N°11, 2017)

Auslegungsgrösse

Analog zur Auslegung einer Filtration erfolgt die Bestimmung der erforderlichen CarboPlus®-Fläche anhand einer vorgegebenen maximalen Filtergeschwindigkeit. Das Verfahren wird im Bereich von 7 – 20 m/h eingesetzt. Für die Auslegung bei der Dimensionierungswassermenge von 750 l/s für die ARA Rosenbergsau wird eine maximale Geschwindigkeit von 15 m/h zugrunde gelegt. Um das μ GAK-Bett auch bei tiefen Zuläufen (< 7 m/h) zur Anlage in Schwebelage zu halten, wird in diesem Fall gereinigtes Abwasser aus dem Ablauf der CarboPlus®-Anlage rezirkuliert.

Dosierung

Um einen Abbau von >80% der Spurenstoffen über die gesamte ARA zu erreichen, wurde in der Pilotierung auf der STEP de Penthaz eine optimale Dosierung von 13-15 g μ GAK/m³ bzw. ca. 2 g μ GAK/gDOC ermittelt. Dabei wurden zwei unterschiedliche Kohlen⁴ erfolgreich während 1.5 Jahren getestet. Für die ARA Rosenbergsau ergibt sich mit einem mittleren DOC von 7.3 mg/l und 26'000 m³ Abwasser am Tag ein jährlicher μ GAK-Bedarf von ca. 140 Tonnen für den Prognosezustand. Dies entspricht etwa 8 Transportfahrten pro Jahr. Die Zusammenstellung kann Tabelle 3-5 entnommen werden.

Die Dosierung der Kohle erfolgt täglich als Charge aus einem Silo. Vorgängig ist diese von Feinteilen zu befreien und wird dazu in einem Vorbehandlungsreaktor gespült, bevor die Charge in den eigentlichen Reaktor zur Elimination der MV gelangt. Durch die chargenweise Dosierung ist die Waagen- und Dosiertechnik im Vergleich zu einer PAK-Anlage wesentlich einfacher.

Durch die durchschnittliche Aufenthaltszeit der μ GAK im Reaktor von 100 Tagen besteht eine grosse Flexibilität bei der Dosierung der μ GAK. Das System weist durch die vorhandene Masse eine entsprechende Pufferwirkung gegenüber stossartigen Belastungen oder Fehldosierungen auf. Auch eine technische Störung kann so ausgeglichen werden.

Tabelle 3-5: Berechnung des μ GAK-Bedarfs und -Lagervolumens für die ARA Rosenbergsau bei mittlerem prognostiziertem Zulauf und DOC-Werten 2015/17

Parameter	Einheit	Wert
DOC	g DOC/m ³	7.3
mittlere spez. μ GAK-Dosierung	g μ GAK/g DOC	2.0
mittlerer Zulauf	m ³ /d	26'000
Bedarf	g μ GAK/m ³	14.6
	kg/d	381
	t/a	139
Lagerung Frischkohle		
Frischkohle Silos μ GAK	n	2
Lagerdichte μ GAK	kg/m ³	300
Stapeldauer	d	60
Vorhaltevolumen minimal	m ³	76
Volumen je Silo	m ³	60
Höhe	m	8.0
Durchmesser	m	3.1
Transporte (à 60 m ³ , 300 kg/m ³)		8

GUS, GAK-Schlupf, Spülungen

Das μ GAK-Bett wirkt filtrierend auf Feststoffe, weshalb es zur Akkumulation der ungelösten Stoffe (GUS) im Kohlebett kommt. Feine GUS-Flocken kompaktieren sich beim Aufstieg durch Kohlebett und reichern sich zwischen Klarwasserzone und Kohlebett an. Dies ist für den Betrieb und die Effektivität der Behandlungsstufe ein kritischer Faktor, da Feststoffe die Ausdehnung bzw. Expansion des Kohlebetts und damit die Betriebsstabilität beeinflussen. Die Expansion des Kohlebetts lässt sich über Radarmessungen überwachen. Wird ein bestimmtes Expansions-Verhältnis überschritten, wird automatisch ein Spülvorgang mit erhöhter Strömungsgeschwindigkeit (ca. 30 m/h) für wenige Minu-

⁴ Chemviron Cycle Carb 305, Norit GAC 3040 AW

ten ausgelöst. Optional bzw. alternativ zu der von Saur/Stereau eingesetzten Spülung, schlägt JS Umwelttechnik AG als Lizenznehmer des Verfahrens in der Deutschschweiz, einen Schlammabzug direkt auf Höhe des Schlammbetts vor. Im Gegensatz zur Spülung, die analog zur der eines Sandfilter erfolgt, werden dabei die GUS-Konglomerate nicht zerstört und es ist kein Schlammwasserabzug nötig. Die Anzahl der regulären Spülungen kann dadurch reduziert werden.

Die Spülung kann durch das Einblasen von Luft unterstützt werden. Luftspülungen waren während der Pilotierung auf der STEP de Penthaz nur einmal pro Monat notwendig. Im derzeitigen Betrieb der Anlage wird die Luftspülung ebenfalls einmal pro Monat präventiv eingesetzt, wobei davon ausgegangen wird, dass der Einsatz zukünftig noch seltener nötig wird.

Obwohl das Kohlebett eine filtrierende Wirkung aufweist, ist die Leistungsfähigkeit zur Abtrennung von Feststoffen im Vergleich zu einer klassischen Filtration deutlich geringer. Damit ist vor allem ein übermässiger Abtrieb von GUS aus den NKB zu vermeiden, um die Ablaufwerte bzgl. GUS einhalten zu können.

Die Kohleschlupf bzw. die Verluste aus dem System können basierend auf den Versuchen als sehr gering eingeschätzt werden. Der Kohle-Schlupf während den Versuchen betrug zwischen 1 bis 5% der dosierten Kohle und betrugen absolut 0.48 mg/l im Maximum. Die zur Zeit diskutierten Anforderung der Bewilligungsbehörden und VSA sehen einen Kohlerückhalt von 95% bzw. eine Ablaufkonzentration von < 0.5 mg/l vor. Weiter wird zusätzlich evaluiert ob eine Anforderung an die Trübung im Ablauf von < 1 FTU (*Formazine Turbidity Unit*, analog zu NTU) gestellt werden soll.

3.2.2 Installationsmöglichkeiten und bauliche Massnahmen

Die erforderliche Reaktor-Fläche lässt sich über eine flexible Anzahl Reaktoren mit unterschiedlichen Abmessungen realisieren. Bisher wird vom Systemlieferanten Saur/Stereau von Reaktorgrössen von bis zu 8 m Breite / Länge ausgegangen. Für die STEP de Delémont sind beispielsweise CarboPlus®-Reaktoren mit Abmessungen von 6.5 x 6.5 m vorgesehen. In Penthaz messen die beiden jeweiligen Reaktoren 3.5 x 3.5 m. Zur Darstellung des Platzbedarfs werden für die ARA Rosenbergsau 4 Reaktoren à jeweils 6.8 x 6.8 m vorgesehen. Die Herleitung der Auslegungsgrösse der Reaktoren kann Tabelle 3-6 entnommen werden.

Tabelle 3-6: Auslegung Reaktorgrössen CarboPlus® für ARA Rosenbergsau

Parameter	Einheit	Wert
Dimensionierungsabfluss	l/s	750
	m ³ /h	2'700
Filtergeschwindigkeit	m/h	15
Filterfläche erforderlich	m ²	180
Breite Filterzelle	m	6.8
Länge Filterzelle	m	6.8
Höhe WSp.	m	5.0
Volumen	m ³	1'131
Filterzellen	-	4

Die Reaktoren operieren im normalen Betrieb mit einer Wasserspiegelhöhe von ca. 5 m, die hydraulischen Verluste liegen bei gesamthaft bei ca. 0.5 bis 1.0 m. Zur Einbindung in den hydraulischen Längsschnitt der ARA Rosenbergsau ist zwingend ein Hebwerk nötig. Die für die Machbarkeitsstudie angenommenen Höhenlagen können Plan Nr. 04 entnommen werden.

Das Verfahren inklusive Peripherie setzt sich insgesamt aus folgenden Komponenten zusammen:

- Pumpwerk
- Reaktorbecken mit Ablauf- / Sammelrinnen und Rezirkulationssystem
- Lagersilos mit Austragsförderer (frische Kohle)
- Kohlewäscher inkl. Eintragsdüse
- Spülluftgebläse
- Austragspumpen
- Lagersilos oder Muldenbahnhof für gebrauchte Kohle

Die Lagerung der frischen μ GAK erfolgt in ein bis zwei Silos. Für eine ausreichende Redundanzen und Betriebsflexibilität werden zwei unabhängige Silos mit zugehörigem Austragssystem vorgesehen. Dies erlaubt auch die Verwendung von zwei unterschiedlichen Kohletypen. Die Abmessungen können Tabelle 3-5 entnommen werden.

Das aus dem μ GAK-Bett abgezogene Kohle-Wasser-Gemisch wird zu Sickermulden oder Lagersilos gepumpt, in welchen sich die μ GAK selbstständig vom Wasser trennt. Das Wasser läuft am Boden der Mulde ab. Vom Lagerort kann die μ GAK wiederum in ein Silofahrzeug eingespült werden. Für die Studie wurde die Variante mit Lagersilos gewählt. Alle Elemente lassen sich in ein einzelnes Gebäude integrieren, wie die Abbildungen auf der folgenden Seite zeigen. Das Verfahren präsentiert sich somit sehr kompakt und lässt sich am Standort der ARA Rosenbergsau gut in den Bestand integrieren. Ein mögliches Layout zur Eingliederung des System am Standort der ARA Rosenbergsau ist mit Plan Nr. 03 gegeben.



Abbildung 3-2: Gesamtanlage CarboPlus[®] STEP de Penthaz mit Sickermulde zur Lagerung gebrauchter μ GAK



Abbildung 3-3: Hebwerk, Reaktorbeschickung, Pumpen zum μ GAK Abzug sowie Gebläse lassen sich kompakt installieren (STEP Penthaz, VD)

3.2.3 Referenzen

Als bisher einzige Anlage in der Schweiz steht die STEP de Penthaz (15'000 EW) mit dem CarboPlus®-Verfahren seit Ende 2018 in Betrieb und befindet sich derzeit in der Endabnahme (Leistungstest). Der ARA-Betriebsleiter und Vertreter der Pöyry Schweiz AG konnten die Anlage besichtigen und die entsprechenden Betriebserfahrungen vor Ort abholen.

Als weitere Anlagen befindet sich die STEP de Delémont (Jura) in der Projektierung. Auf der ARA Langmatt (Lenzburg, AG) wurde ein Kombiverfahren mit Ozon und GAK im Wirbelbett (O_3 + μ GAK) für drei Monate pilotiert.

3.2.4 Spezifische Vor- und Nachteile

Die sich für die ARA Rosenbergsau mit CarboPlus® ergebenden Vor- und Nachteile sind in Tabelle 3-7 aufgelistet.

Tabelle 3-7: Vor- und Nachteile des CarboPlus®-Verfahrens für die ARA Rosenbergsau

Vorteile	Nachteile
+ Kompakte Bauweise	– μ GAK benötigt eine höhere Dosierung als Pulveraktivkohle
+ Kohle kann reaktiviert werden	– Lieferanten- / Systemabhängigkeit
+ Einfacher Prozess – ein Betriebsmittel	– Langjährig Betriebserfahrungen fehlen im Abwasserbereich (jedoch im Trinkwasserbereich vorhanden)
+ Gleichmässige Leistung der adsorptiven Stufe durch kontinuierliche Regeneration - Dosierung ist an Belastung anpassbar	– System reagiert eher langsam / träge auf Änderungen der Kohle-Dosierung – schnelle Regelvorgänge sind damit nicht möglich
+ Keine Sicherheitstechnischen Massnahmen benötigt	– Patentiertes System und eingeschränkter Wettbewerb für maschinentechnische Ausrüstung
+ NH_4-N / NO_2-N werden biologisch abgebaut anstatt oxidiert	–
+ Pufferwirkung der im System befindlichen Aktivkohle	–
+ Geringer Betriebsaufwand	–

3.3 Ozonung + CarboPlus® (Variante C)

3.3.1 Verfahrenstechnik

Allgemein

Bei Verfahrenskombinationen wird der Ozonung in der Regel ein Filtration mit granulierter Aktivkohle nachgeschaltet (GAK). Als Alternative zum unabhängigen Einsatz der Verfahren Ozonung (Variante A und μ GAK im Wirbelbett (CarboPlus®, Variante B) lassen sich die beiden Varianten zu einem Kombi-Verfahren zusammensetzen. Auf die Ozonung des Abwassers erfolgt in einer zweiten Stufe die Behandlung in den CarboPlus®-Reaktoren mit μ GAK.

Die Kombination erlaubt die Optimierung der einzelnen Stufen und die Nutzung der Vorteile der jeweiligen Verfahrenstechnik. Dadurch werden Stoffe, welche von der Aktivkohle nicht oder schlechter adsorbiert werden, durch das Ozon oxidiert. Toxische Nebenprodukte, die bei der Ozonung entstehen, können durch die Aktivkohle zurückgehalten werden. Schwer abbaubare Stoffe wie z.B. Metoprolol, welche durch geringe Ozondosen kaum transformierbar sind, können so dennoch zuverlässig eliminiert bzw. aufgefangen werden.

Auslegungsgrösse

Die Ozonungsstufe kann bei einer Verfahrenskombination mit einer geringeren Ozondosierung betrieben werden. Damit ist es grundsätzlich auch möglich die Reaktoren auf eine kleinere Aufenthaltszeit ausulegen. Die minimale Aufenthaltszeit bei der Dimensionierungswassermenge (750 l/s) kann von 15 auf 10 min reduziert werden.

Die nachfolgende adsorptive Stufe wird basierend auf einer maximal zulässigen Filtergeschwindigkeit ausgelegt. Diese verbleibt bei 15 m/h, weshalb die CarboPlus®-Stufe gleich gross wie in Variante B ausfällt. Durch den geringeren Bedarf an Kohle können die Silogrössen reduziert werden.

Dosierung

Der derzeitige Kenntnisstand zeigt, dass die Ozonungsstufe bei einer Verfahrenskombination mit einer etwa halb so grossen O_3 -Dosiermenge betrieben werden kann, womit 0.3 gO₂/gDOC angesetzt werden. Durch die Ozonung werden organische Substanzen transformiert und biologisch besser verfügbar. Dadurch ist ein erhöhter biologischer Abbau im Aktivkohlebett möglich, ohne dass dabei die Beladungskapazität der GAK negativ beeinflusst wird. Zusätzlich trägt die Ozonung genügend Sauerstoff ein, um die Bakterien eines Biofilms zu versorgen. GAK-Filter, die einer Ozonung nachgeschaltet sind, werden daher häufig als biologische Filter (BAK, *biologisch aktivierte Kohle*) betrieben. Dies ist durch die analoge Wirkungsweise der Verfahrenskombination in der Trinkwasseraufbereitung bekannt. Hierbei wird die Aktivkohle nicht oder nur in sehr geringem Masse ausgetauscht bzw. regeneriert.

In der nachfolgende μ GAK-Stufe kann daher ebenfalls mit einer deutlich geringeren Dosierung und einer längeren Verweilzeit der Kohle in den Reaktoren gerechnet werden. Versuche auf der ARA Wildeggen über 3 Monate ergaben eine ausreichende Eliminationsleistung ohne Austausch der Kohle. Dabei wird die sich auf der μ GAK bildende Biofilmwirkung genutzt, um einen Abbau der Spaltungsprodukte aus der Ozonung zu erzielen. Weitere Studienresultate dieser Pilotierung liegen noch nicht vor. Weitere Daten oder Versuche zu CarboPlus®-Anlagen nach einer Abwasserozonung sind nicht bekannt, respektive nicht publiziert.

Um eine kontinuierliche Adsorptionsleistung in Kombination mit dem biologischen Abbau zu gewährleisten, wird im Rahmen dieser Studie von einem μGAK -Bedarf von 0.5 gGAK/gDOC ausgegangen. Dies entspricht 25% der gewöhnlich eingesetzten Dosierung (Variante B).

Vergleich zur regulären GAK-Filtern

Versuche zur Ozonung mit nachgeschalteten GAK-Filtern wurden an verschiedensten Orten durchgeführt und die Verfahrenskombination befindet sich in der Schweiz auf der ARA Altenrhein (SG) ARA Glarnerland (GL) in der grosstechnischen Umsetzung. Die Entscheidung zugunsten des Kombiverfahrens hatte mehrere Gründe, darunter die grösseren betrieblichen Spielräume (Optimierungspotential), langfristig kleinere Betriebskosten oder die höhere Leistungsfähigkeit bei der EMV-Elimination, aber auch komplexe Abwassercharakteristik infolge hohem Industrieanteil im Falle der ARA Glarnerland.

Die Prognose der Standzeiten bzw. durchsetzbaren Bettvolumina ($\text{BV m}^3/\text{m}^3$) ist auch für reguläre GAK-Filter zur Elimination von MV immer noch Gegenstand der Forschung, wobei es eine grosse Bandbreite zwischen den unterschiedlichen Grossanlagen und Pilotversuchen gibt. Die Standzeiten können stark abhängig vom jeweiligen Abwasser sein, wobei insbesondere die organische Hintergrundmatrix, gemessen als DOC, entscheidend für den GAK-Bedarf ist. Wie die Standzeit nachgeschalteter GAK-Filter durch die Ozonung verändert wird, ist aus diesem Grund noch schwieriger vorherzusagen. Derzeit wird davon ausgegangen, dass sich die Standzeit bzw. die durchsetzbaren Bettvolumina in einer Verfahrenskombination mit Ozon stark erhöhen. Auf der ARA Bülach wurden die GAK-Filter bis 80'000 BV betrieben, was einer Vervielfachung üblicher Werte gleichkommt. Die detaillierten Auswertungen laufen zur Zeit.

GAK-Filter werden in der Regel durch ihre Leerbettkontaktzeit (EBCT) charakterisiert. Das Kohle-Wirbelbett des CarboPlus®-Verfahrens lässt sich hingegen nicht über diesen verfahrenstechnischen Kennwert beschreiben, weshalb ein direkter Vergleich oder ein Übertragbarkeit der Erkenntnisse nur bedingt möglich ist. Aus den aufgeführten Gründen ist damit die Vorhersage der Dosierung der nachgeschalteten CarboPlus®-Stufe nur approximativ möglich. Die gewählten $0.5 \text{ g}\mu\text{GAK/gDOC}$ stellen damit einen Kompromiss dar.

3.3.2 Installationsmöglichkeiten und bauliche Massnahmen

Die Ausgestaltung der beiden Verfahrensstufen erfolgt analog zu den Varianten A und B. Für die Grösse der Ozonungsreaktoren kann aufgrund der geringeren Dosierung eine verringerte Aufenthaltszeit von 10min und damit reduzierte Reaktorgrösse realisiert werden. Aufgrund der massgebenden Filtergeschwindigkeit für die CarboPlus®-Stufe ändern sich die Abmessungen hier gegenüber der Variante B nicht.

Die hydraulische Einbindung erfolgt ebenfalls analog zur Variante A. Die grössere Wassertiefe der Ozonreaktoren von ca. 6 m ist hierbei massgebend. Für die Kombi-Variante wird aufgrund des geringeren μGAK -Bedarfs jeweils nur ein Silo für frische und gebrauchte Kohle berücksichtigt. Zudem sind die Redundanzen im Dosiersystem für die μGAK weniger zwingend als bei einem einstufigen Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen

3.3.3 Referenzen

Eine Anlage mit Ozonung und nachgeschaltetem CarboPlus®-Verfahren existiert in der Abwasserbehandlung grosstechnisch noch nicht. Da das Verfahren ursprünglich für die Trinkwasseraufbereitung entwickelt wurde, ist die Kombination dort etabliert und anzutreffen.

3.3.4 Spezifische Vor- und Nachteile

Die sich für die ARA Rosenbergsau mit Verfahrenskombination ergebenden Vor- und Nachteile sind in Tabelle 3-8 aufgelistet.

Tabelle 3-8: Vor- und Nachteile der Kombination Ozon und CarboPlus® für die ARA Rosenbergsau

Vorteile	Nachteile
+ Möglichkeit zur Optimierung des Systems und Erzielung tiefer Betriebskosten	– Grössere Anzahl Aggregate und erhöhte Komplexität
+ Hohe Flexibilität bezüglich Dosiermengen und Steuerung	– Höherer Überwachungs- und Optimierungsbedarf – höhere Betriebsaufwände
+ Gleichmässige Leistung der adsorptiven Stufe durch kontinuierliche Regeneration	– Zulaufsituation muss weiter beobachtet werden (Bildung Nebenprodukte)
+ Bildung toxischer Nebenprodukte durch tiefe Ozondosierungen deutlich reduziert	– Geringerer Anteil subventionierter Investitionskosten
+ Behandlung einer grösseren Palette von organischen Spurenstoffen	– Patentiertes System und eingeschränkter Wettbewerb für maschinentechnische Ausrüstung

3.4 Integration und Platzbedarf

Für alle vorgestellten Varianten gilt, dass sie die bestehende Abwassereinigungsstrassen nicht beeinflussen. Für alle Varianten wird ein Zwischenpumpwerk notwendig, um geeignete Wassertiefen für die Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen sicherstellen zu können. Der bestehende Ablaufkanal der Nachklärbecken wird dabei als Zulauf für die EMV-Stufe verwendet. Hierzu wird dieser mit einem Gegengefälle ausgestattet, sodass die Fliessrichtung neu entgegengesetzt Richtung Norden ist. Für die hydraulischen Schnitte (Plan Nr. 02, 04) wurde die Bodenplatte der bestehenden Nachklärung als realistische Bautiefe der Reaktoren angenommen.

Zur Erschliessung der Betriebs- und Maschinenräume der EMV-Stufe wird jeweils ein Werkleitungsgang vom Maschinenhaus MH4 in der Disposition berücksichtigt. Zusätzlich umfassen alle Varianten Platzreserven für eine neue Brauchwasserdruckanlage, die ihr Wasser zukünftig im Ablauf der EMV-Stufe fassen wird.

Die Darstellung mit Abmessungen gemäss den Situationsplänen Nr. 01, 03, 05 erlaubt eine grobe Gegenüberstellung des Platzbedarfes der unterschiedlichen Varianten (Tabelle 3-9). Bezüglich den Integrationsmöglichkeiten bestehen aufgrund der grosszügigen Platzreserven im Norden der ARA Rosenbergsau nur geringe Einschränkungen. Als kleinste Variante präsentiert sich das CarboPlus®-Verfahren (Variante B). Mit nur geringfügig mehr Platz muss für die Ozonung (Variante A) gegenüber der Verfahrenskombination (Variante C) geplant werden. Dies kann auf die geringfügig kleineren Ozonreaktoren und quadratische Ausführung der CarboPlus®-Reaktoren zurück geführt werden.

Tabelle 3-9: Platzbedarf der Varianten nach Groblayouts

Variante	Platzbedarf (m ²)
A) Ozonung	1025 m ²
B) CarboPlus®	790 m ²
C) Ozonung + CarboPlus®	1010 m ²

3.5 Betriebsaufwand

Jede zusätzliche Verfahrensstufe führt zu einem zusätzlichen Betriebsaufwand in Form von anfallenden Arbeiten (in Personalstunden). Wie gross der Aufwand für die geprüften Varianten zur EMV ausfällt, lässt sich aus den Erfahrungen auf anderen Anlagen abschätzen.

Für alle betrachteten Varianten lassen sich folgende Arbeiten identifizieren:

- Probenahmen EMV
- Organisation Lieferungen und Ersatz Betriebsmittel (Sauerstoff, µGAK)
- Steuerung, Optimierung Dosierung
- Kontrollgänge
- Wartung und Unterhalt der Anlagen und Installationen

3.5.1 Variante A) Ozonung

Die Variante A Ozonung mit zugehöriger Raumfiltration besteht aus einer höheren Anzahl an Aggregaten als das System CarboPlus®. Zudem muss ein höherer sicherheitstechnischer Aufwand eingeplant werden. Aufgrund der korrosiven Wirkung des Ozons müssen Ozonreaktor und Restozonvernichter besonders kontrolliert werden. Der Ozonreaktor sollte jährlich entleert und gereinigt werden, was einem Aufwand von etwa drei Arbeitstagen entspricht. Die Bereitstellung und Lieferung von flüssigem Sauerstoff kann hingegen automatisiert durch den Lieferanten erfolgen, welcher in der Regel auch den entsprechenden Tank vermietet. Dadurch fallen hierbei praktisch keine Aufwände an. Für die Ozonerzeuger selber, sind in der Regel Serviceverträge abzuschliessen, weshalb auch hier keine direkte Wartung anfällt.

Die Steuerung der Ozonung erfolgt in der Regel nach zu- und ablaufseitigem DOC, was eine entsprechende Mess- und Steuerungstechnik bedingt. Dazu kommen die Wartungs- und Kalibrationsaufwände für unterschiedliche Sonden (Restozon Abluft, DOC Zulauf). Gemäss Erfahrungen auf der ARA Regensdorf wurden ca. vier Stunden pro Woche eingeplant.

Der Betriebsleiter der ARA Neugut (Max Schachtler) sieht hingegen nur sehr geringe extra Aufwände für sein Betriebspersonal. Der einstrassige Ozonungsreaktor wird dort lediglich einmal pro Jahr für eine Woche zu Kontrollen zwecken ausser Betrieb genommen. Zeitgleich werden die Wartungsarbeiten an den Ozongeneratoren durch ein Serviceteam des Lieferanten durchgeführt. Gesteuert wird die Dosierung durch SAK₂₅₄-Sonden (UV-Absorbanz) im Zu- und Ablauf. Diese werden durch eine Phosphorsäuredosierung automatisch gereinigt und erzeugen somit ebenfalls nur minimalen Wartungsaufwand. Nach zugespitzter, mit Vorsicht zu geniessender Aussage des Betreibers, ist der Aufwand auf der ARA Neugut für den Betrieb der EMV-Stufe in etwa so hoch, wie für eine gewöhnliche Fällmittelanlage.

Insgesamt werden für die Ozonungsstufe in dieser Studie 240 h/a angesetzt.

3.5.2 Variante B) CarboPlus®

Bei der Varianten B CarboPlus® wird das Betriebsmittel mikrogranulierte Kohle in der Regel von einer Spedition per Silofahrzeug geliefert und in die Lagersilos eingespült. Gebrauchte GAK kann anschliessend analog aufgenommen und zur Aufbereitung bzw. Regeneration abtransportiert werden. Der Aufwand ist demnach im Wesentlichen abhängig von der Anzahl Lieferungen. Personal der ARA sollte insbesondere zum Start und Abschluss der Befüllvorgänge anwesenden sein und entsprechende Proben des Materials nehmen, um die Qualität der Lieferung überwachen zu können.

Aufgrund der hohen Pufferwirkung des CarboPlus®-Systems ist eine weniger präzise Steuerung der Dosierung sowie Überwachung der Regelvorgänge erforderlich. Dies vereinfacht das System und die damit verbundenen Aufgaben zur Kalibration von Sensoren und Dosiereinrichtungen. Es wird davon ausgegangen, dass es zeitweise nötig wird, die CarboPlus®-Reaktoren ausser Betrieb zu nehmen und zu reinigen. Entsprechende grosstechnische Betriebserfahrung liegen hierbei aufgrund der Referenzsituation noch nicht vor. Am ehesten vergleichen lassen sich die Betriebsaufwände der CarboPlus®-Stufe mit einer klassischen Flockungsfiltration.

Insgesamt werden für die CarboPlus®-Stufe in dieser Studie 180 h/a angesetzt.

3.5.3 Variante C) Ozonung + CarboPlus®

Die Variante C Ozonung + CarboPlus® als Kombination der beiden anderen Varianten weist entsprechend die Summe der Aufwände der beiden Alternativen auf (420 h/a). Inwiefern sich Synergieeffekte durch den gemeinsamen Betrieb einstellen ist zu diesem Zeitpunkt nicht beurteilbar, weshalb solche nicht berücksichtigt werden können.

Abbildung 3-4 verdeutlicht, dass die Aufwände für das Betriebspersonal mit der CarboPlus®-Variante voraussichtlich am kleinsten und in der Verfahrenskombination am grössten sind. Eine tabellarische Aufstellung über die berücksichtigten Arbeiten kann Anhang 9.1 entnommen werden.

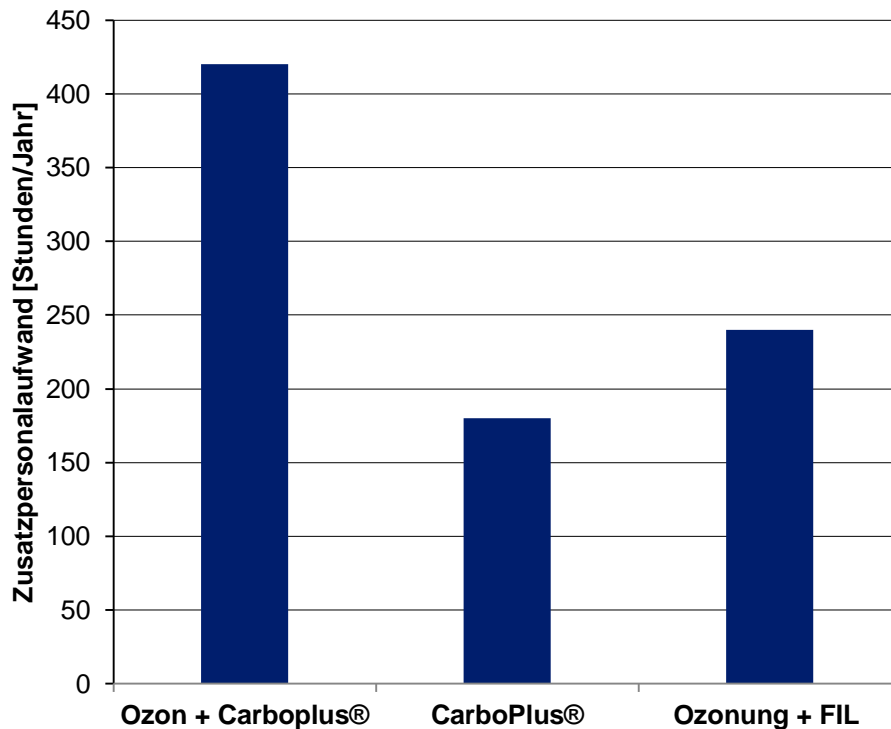





Abbildung 3-4: Voraussichtlicher Betriebsaufwand für EMV-Stufe nach Varianten

3.6 Risikobetrachtung

Als Risiken für die Entscheidung wurden nicht vorhersehbare Veränderungen der Ausgangslage betrachtet. Für die drei betrachteten Varianten wurden die massgebenden Risiken der Kategorien *Kosten*, *Planung* und *Zukunftssicherheit* bestimmt. Beurteilt wurde daraufhin die Risikowahrscheinlichkeit, die Grösse der Auswirkung sowie das Potential möglicher Gegenmassnahmen.

Zur Bestimmung des Gesamtrisikos einer Variante, wurden Punkte entsprechend der jeweiligen Bewertung vergeben und diese mit der Gewichtung der Risikokategorie verrechnet. Die Gewichtung wurde für die ARA Rosenbergsau schwerpunktmässig auf die Verfahrens- und Zukunftssicherheit gelegt. Die Definitionen der Risiken und die Bewertung sind nachfolgend in Tabelle 3-10 erläutert.

Tabelle 3-10: Definitions- und Bewertungsschema zur Risikobewertung

Risikofaktor	Definition	Gewichtung
Kosten	Risiko, dass sich Kosten gegenüber dem heutigen Informationsstand bzw. der heutigen Ausgangslage verändern.	30%
Planung	Risiko, dass im weiteren Planungsprozess wesentlich Änderung auftreten durch zum jetzigen Zeitpunkt ungeklärte Fragestellungen	30%
Zukunftssicherheit	Risiko, dass das eingesetzte Verfahren zukünftigen Ansprüchen nicht mehr genügt, dass zu geringe Adaptionsmöglichkeiten an geänderte Bedingungen (Umweltschutz, Leitsubstanzen, etc.) bestehen	40%
Codierung	Definition	Punkte
	Unwahrscheinliches Eintreten, geringe Auswirkungen, einfache Risikokompensation / Gegenmassnahmen	0
	Eintreten möglich, gewisse Auswirkungen, aufwendigere Massnahmen zur Risikominimierung	1
	Hohe Wahrscheinlichkeit des Eintretens, grosse Auswirkungen, kaum Massnahmen zur Risikominimierung	2

3.6.1 Risikofaktor Kosten

Die langfristigen Kosten von EMV-Projekten sind unter Berücksichtigung der Bundessubventionen massgeblich durch den Betriebsmittelbedarf geprägt. Eine genaue Kenntnis über die erforderliche Dosierung ist der Schlüssel zur Ermittlung der zukünftigen Betriebskosten. Dafür sind ausreichend Grundlagen und Daten aus Messungen, Vergleichsanlagen oder Versuchen mit dem spezifischen Abwasser erforderlich. Je weniger Daten vorliegen, desto grösser wird die Unsicherheit bezgl. der Kostengenauigkeit. Für die ARA Rosenbergsau liegen vergleichsweise viele Daten zur stofflichen Belastung vor, was die Sicherheit zur Bestimmung von Dosiermengen erhöht.

Eine gute Kenntnis über das Verhalten der analysierten Verfahren erhöht die Kostensicherheit ebenfalls. Verfahren mit grösserer Betriebserfahrung, wie die Ozonung sind hier im Vorteil.

3.6.2 Risikofaktor Planung

Für den Planungsprozess kann als wesentliches Risiko die ungeklärte Situation bezüglich der Verfahrenseignung Ozon festgestellt werden. Die Werte unterlagen zwischen den beiden Messkampagnen einer grossen Änderung und liegen nun in einem „unklaren“ Bereich (vgl. Kap. 2.4). Aus diesem Grund sind hier weitere Erkenntnisse aus den laufenden Untersuchungen erforderlich. Ebenfalls wird bei der Ozonung deutlich, dass Veränderungen im Einzugsgebiet schwierig vorhersehbar sind und deutliche Auswirkungen haben können.

Dies trifft für die Verfahrenskombination in geringerem Masse zu, da hier die Ozondosierung um 50% reduziert wird und sich die Gefahr der Bildung toxischer Nebenprodukte damit wesentlich reduziert⁵. Da Kombinationsverfahren derzeit noch selten sind, ist die korrekte Bewertung und das tatsächliche Optimierungspotential von Verfahrenskombinationen grundsätzlich schwieriger zu bewerten. Die möglichen Schnittstellen und die grössere Anzahl an Aggregaten erhöhen den Planungsaufwand.

Vor der Realisierung einer ersten CarboPlus®-Anlage bestanden in der Schweiz keine Erfahrungen bei Planern und Betreibern zur grosstechnischen Umsetzung. Der Grossteil des Know-Hows ist patentiert und liegt beim Vertreiber Saur/Stereau. Damit ist es für unabhängige Instanzen schwieriger in der Planung direkt von anderen Projekten profitieren zu können.

3.6.3 Zukunftssicherheit

Bei einer Veränderung der Abwassersituation durch veränderte Einleiter, Industrieansiedlung oder Umstellung von Betriebs- und Produktionsprozessen können bei der Ozonung neue toxische Nebenprodukte auftreten. Die adsorptiven aktivkohlebasierten Verfahren werden dahingehend durch solche Effekte kaum beeinflusst. Die möglichen Folgen beim Ozonungsverfahren könnten bis zu einer Änderung des angewendeten Verfahrens zur EMV reichen. In weniger kritischen Fällen reicht eine Anpassung der Ozon-Dosierung oder Massnahmen an der Quelle des Emittenten. Bezüglich der Zukunftssicherheit ergeben sich hier jedoch deutliche Risiken für die reine Ozonung.

CarboPlus® weist durch seine adsorptiven Eigenschaften und die grosse Pufferwirkung eine hohe Betriebsstabilität auf. Falsche Dosierungen oder Versagen von Dosieraggregaten werden verfahrensbedingt gedämpft und wirken sich nicht direkt auf die Ablaufwerte aus. Die Eliminationsleistung kann durch Änderung der μ GAK und höhere Austauschraten vergrössert werden. Die Steuerung lässt aber eine weniger effektive Reaktion auf Belastungsschwankungen zu. Damit ist das Verfahren in diesem Hinblick limitierter als die Ozonung bzw. die Verfahrenskombination.

Auf eine Änderung der Belastungssituation kann mit der Verfahrenskombination aus Ozon und CarboPlus® am flexibelsten reagiert werden. Entweder wird die Ozondosis oder die μ GAK-Zugabe angepasst. Es können unterschiedlichste Dosierprogramme und Aktivkohlen genutzt werden, wodurch vielfältige Möglichkeiten zur Optimierung und Adaptierung gegeben sind. Zusätzlich bildet das Kombiverfahren ein zweistufiges Barriersystem und erhöht die Sicherheit der EMV-Stufe in Bezug auf die Reinigungsleistung.

3.6.4 Risikobewertung

In Tabelle 3-11 ist die Bewertung bezüglich der unterschiedlichen Risikofaktoren zusammenfassend dargestellt. Werden die Risiken summiert und gewichtet, ergibt sich für das Gesamtrisiko das Bild in Abbildung 3-5. Die Variante A weist das grösste Gesamtrisiko auf. Dies lässt sich hauptsächlich auf die Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung im Einzugsgebiet und der Bildung toxischer Neben-

⁵ F. Soltermann et al., 2016. Bromatbildung bei der Ozonung – Einschätzung der zukünftigen Situation. Aqua & Gas N°10.

produkte bei einer alleinigen Ozonung zurückführen. Bezüglich Kostenrisiko liegen die Varianten B und C gleich auf. Das kleinste Risiko nach der definierten Bewertungsmethodik bietet sich durch geringere Planungsrisiken bei der CarboPlus®-Variante B. Die Zukunftssicherheit ist durch die vielfältigen Optimierungsmöglichkeiten mit der Verfahrenskombination leicht höher.

Tabelle 3-11: Identifikation von Risiken für die Wahl des Verfahrens und mögliche Konsequenzen

Risikobewertung	Risikokategorie		
	Kosten	Planung	Zukunftssicherheit
Ozon + FIL	<i>Dosierung DOC / NO2-Werte viele Referenzanlagen</i>	<i>ungeklärte Situation bzgl. Verfahrenseignung</i>	<i>Neue toxische Nebenprodukte, neue Industrie-Verfahren</i>
Wahrscheinlichkeit	●	●	●
Auswirkungen	●	●	●
Massnahmen	●	●	●
CarboPlus®	<i>Preis μGAK, Systempreis</i>	<i>Abhängigkeit zu Lieferanten</i>	<i>geringe direkte Regulierungsmöglichkeiten</i>
Wahrscheinlichkeit	●	●	●
Auswirkungen	●	●	●
Massnahmen	●	●	●
Ozon + CarboPlus®	<i>Dosiermenge Ozon und μGAK</i>	<i>Kombination noch nicht umgesetzt. Verfahrenseignung ?</i>	<i>Viele Optimierungs-+ Steuermöglichkeiten</i>
Wahrscheinlichkeit	●	●	●
Auswirkungen	●	●	●
Massnahmen	●	●	●

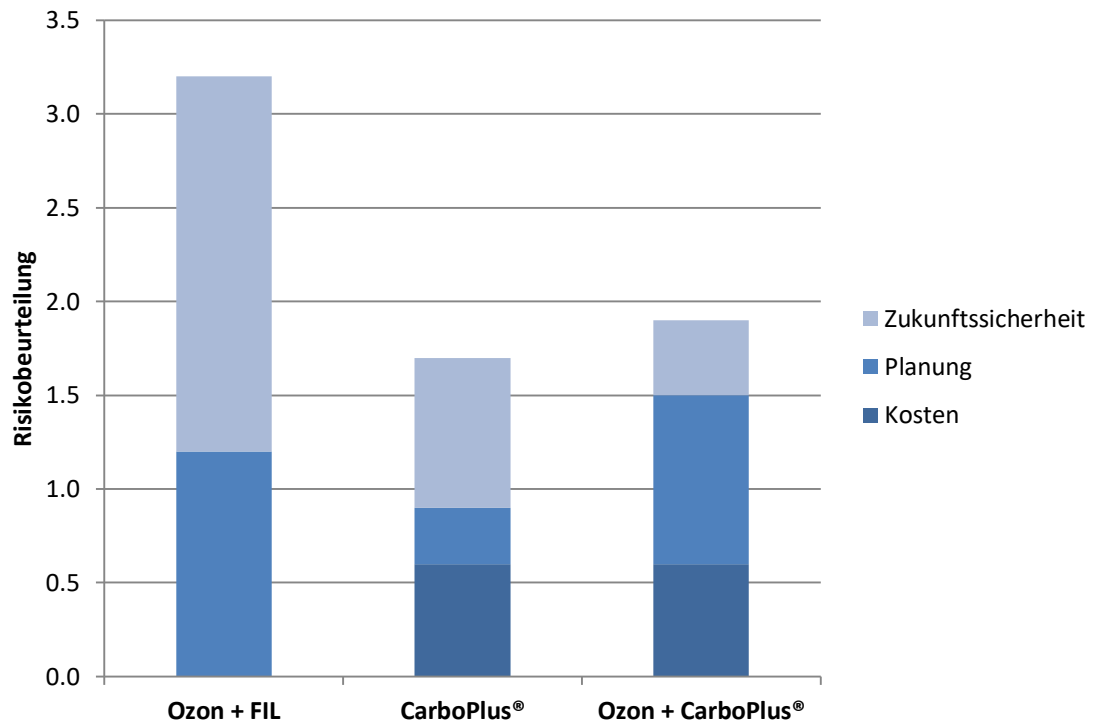


Abbildung 3-5: Gesamtrisikobeurteilung der Varianten für die ARA Rosenbergsau

4. KOSTEN

Für alle Varianten wurden Investitions-, Betriebs- und daraus Jahreskosten auf Basis von Planskizzen, Richtangeboten und Erfahrungswerten anderer Projekte ermittelt. Die Kosten weisen entsprechend der Projektierungstiefe eine Genauigkeit von $\pm 25\%$ auf. Preisbasis bildet das vierte Quartal 2018.

Die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit für die drei Varianten richtet sich nach der Empfehlung der VSA für *Investitionsvergleichsrechnungen in der Abwasserentsorgung* (2017). Aufgrund der unten gelisteten Rahmenbedingungen des Variantenvergleichs, kann eine statische Kostenvergleichsrechnung durchgeführt werden. Es müssen grundsätzlich weder dynamisch noch zeitlich unterschiedlich verteilte Kosten und Erträge abgebildet werden. Dies erlaubt das Resultat als durchschnittliche Kosten resp. Ausgaben in einer Periode darzustellen.

- Nutzungsdauer: Für jede Variante gleich
- Investitionskosten: Für jede Variante individuell ermittelt
- Investitionszeitpunkt: Für jede Variante gleich
- Betriebskosten: Für jede Variante individuell ermittelt aber gleichbleibend pro Jahr

Für einwohner- und abwasserspezifische Angaben werden die Prognosewerte für 2030 verwendet:

- Einwohner: 47'000 E
- Abwassermenge: 26'000 m³/d (Mittelwert)

4.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten wurden nach Baukostenplan (BKP) ermittelt. In Tabelle 4-1 sind die Investitionskosten für die Hauptpositionen Bau, elektromechanischer Teil (EMT + HLKS), Elektro-, Mess-, Steuer-, Regel- und Leittechnik (EMSRL) und technische Arbeiten zusammengestellt. Die Kosten basieren dabei auf Ausmassberechnungen, Vergleichspreisen sowie Richtpreisangeboten aktueller, vergleichbarer Kläranlagenprojekten unter Berücksichtigung der lokalspezifischen Aspekte und Rahmenbedingungen.

Tabelle 4-1: Investitionskosten inkl. Planerleistungen für die Varianten Ozonung, CarboPlus® und Ozonung mit CarboPlus® exkl. MwSt., bei Kostengenauigkeit $\pm 25\%$, Preisbasis viertes Quartal 2018

Kostenposition	Einheit	Variante A) O3 + FIL	Variante B) CarboPlus®	Variante C) Kombiverfahren
Bau	CHF	5'409'000	4'680'000	5'341'000
EMT inkl. HLKS	CHF	3'574'000	3'637'000	4'653'000
EMSRL	CHF	1'113'000	1'093'000	1'413'000
Techn. Arbeiten	CHF	1'225'000	1'179'000	1'369'000
Investitionskosten gesamt	CHF	11'321'000	10'589'000	12'776'000
Investitionskosten pro Einwohner	CHF/E	241	225	272

4.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten der neuen EMV-Stufe werden unter Annahme der mittleren prognostizierten Abwassermenge von 301 l/s für das Jahr 2030 berechnet (vgl. Tabelle 2-1). In der Betriebskostenrechnung werden die nachfolgenden Kostenpositionen berücksichtigt:

- Personalaufwand
- Wartungs- und Unterhaltsarbeiten
- Betriebsmittel (Reinsauerstoff, μ GAK)
- Strom- und Energiekosten

4.2.1 Wartungs- und Unterhaltskosten

Die Wartungs- und Unterhaltskosten für die EMV-Stufe werden in Abhängigkeit der Investitionskosten berechnet. Dabei gelten folgende etablierte Annahmen:

- Bau 0.3% der Investitionssumme Bau
- Maschinelle Ausrüstung (EMT): 1.5% der Investitionskosten der entsprechenden Ausrüstung
- EMSRL: 2% der Investitionskosten der EMSRL-Technik

Es werden nur jene Bausummen berücksichtigt, die tatsächlich zu Wartungs- und Unterhaltskosten führen können. Dies sind die Bausummen abzüglich technischer Arbeiten, Demontagen, Erdarbeiten, Wasserhaltungen und Gerüste. Bei den Positionen EMT inkl. HLKS und EMSRL werden jeweils anteilig die technischen Arbeiten abgezogen, um die relevanten Beträge für die Wartungs- und Unterhaltskosten zu bestimmen. Die entsprechenden Kostenpositionen sind in Anhang 9.2 in Tabelle 9-3 gelistet.

4.2.2 Strom

Der Strombedarf wurde ausgehend vom Bedarf der Einzelaggregate bzw. Komponenten hergeleitet und in Tabelle 4-2 zusammengefasst.

Für alle Varianten ist ein Hebwerk erforderlich. Die Ozonung weist tiefere Reaktoren auf, weshalb die Förderhöhe des Hebwerks gegenüber der CarboPlus® Variante erhöht ist. Der grösste Strombedarf fällt bei der Ozonung für die Ozonerzeugung aus Reinsauerstoff an. Pro kg produziertem Ozon werden ca. 14.5 kWh an elektrischer Energie benötigt. Auch der Betrieb der biologischen Nachbehandlung auf der Raumfiltration ist nicht zu vernachlässigen. Ebenfalls berücksichtigt ist der Energiebedarf der gebäudetechnischen Raumlüftung, welche für die Ozonung aus Sicherheitsgründen wesentlich aufwändiger ausfällt. Eine Ozonung würde den jährlichen Strombedarf der ARA Rosenbergsau gegenüber dem Mittel von 2015-17 um ca. 45% erhöhen. Der Strombedarf der ARA Rosenbergsau lag in den letzten drei Jahren gemäss Jahresberichten inkl. Hebwerk bei ca. 2.1 Mio. kWh/a. Der neu bestimmte Wert für den Energiebedarf der Ozonung + Filtration liegt aufgrund der grösseren Abwassermenge höher als in der Studie 2014.

Für den Strombedarf der CarboPlus® Variante B werden der Strombedarf für Dosierung, Spülungen (Luft / Wasser / Schlammwasser) und die Rezirkulation bei geringen Zuläufen berücksichtigt. Aufgrund der geringen hydraulischen Verluste des Materials und des geringeren Feststoffrückhalts, liegt der Energiebedarf des Systems selber (ohne Hebwerk) unter demjenigen einer gewöhnlichen

Raumfiltration. Durch die Verfahrenskombination der Variante C lässt sich eine Reduktion des Strombedarfs gegenüber Variante A von ca. 30% erreichen.

Tabelle 4-2: Strombedarf der unterschiedlichen Varianten zur EMV-Elimination auf der ARA Rosenbergsau in kWh/a

Variante	Variante A) O3 + FIL	Variante B) Carboplus®	Variante C) Kombiverfahren
Pumpwerk	171'000	123'000	171'000
MV-Elimination	694'000	59'000	450'900
Lüftung	13'000	-	10'000
Raumfiltration	68'000	-	-
Summe	946'000	182'000	631'900
Erhöhung ARA-Bedarf	45%	9%	30%
Bedarf pro m3 Abwasser [Wh/m3]	100	19	67

4.2.3 Betriebsmittel

Die wichtigsten Betriebsmittel der Varianten sowie die angesetzten Einheitspreise dieser werden zusammenfassend in Tabelle 4-3 aufgeführt.

Tabelle 4-3: Zusammenstellung hauptsächlicher Betriebsmittel der Varianten sowie zugehörige Einheitspreise

Betriebsmittel		Variante A) O3 + FIL	Variante B) CarboPlus®	Variante C) Kombiverfahren	Preis (CHF)
Sauerstoff	to/a	479	0	270	220
µGAK	to/a	0	139	35	1'700
Strom	kWh/a	946'000	182'000	631'900	0.13
Personal	h/a	240	180	420	60

In der Variantenstudie von 2014 wurde von 60 Stellenprozenten als Personalbedarf für den Betrieb der Ozonungsvarianten ausgegangen. Demgegenüber kann unter Rücksprache mit Betreibern von Anlagen zur Elimination von Mikroverunreinigungen heute von einem deutlich geringen Aufwand ausgegangen werden. Die zu erwartenden Betriebsaufwände wurden in Kapitel 3.5 hergeleitet. Es wird ein Stundenansatz von 60 CHF/h zugrunde gelegt.

4.2.4 Übersicht Betriebskosten

Die Betriebskostenrechnung zeigt in Tabelle 4-4, dass die Unterschiede zwischen den Varianten in einem engen Bereich liegen. Die Differenzen bewegen sich innerhalb der Unschärfe der Studie. Anhand Abbildung 4-1 ist ersichtlich, dass der grösste Teil der Betriebskosten der Variante Ozonung auf den Strombedarf rückführbar ist. Die Betriebskosten der CarboPlus®-Variante hingegen werden durch die Kosten für µGAK getrieben. Das Kombinationsverfahren weist die tiefsten Aufwendungen bezüglich des direkten Einsatzes von Betriebsmitteln (Strom / O₂ / µGAK) auf. Durch die höheren Investitionen sind die Kosten für Reparaturen und Unterhalt hier jedoch am höchsten, zudem muss mehr Zeit für das Personal eingeplant werden.

Tabelle 4-4: Aufstellung Betriebskosten für die Varianten Ozonung mit Filtration, CarboPlus® und Ozonung + CarboPlus®

Position	Einheit	Variante A) O3 + FIL	Variante B) CarboPlus®	Variante C) Kombiverfahren
Personal	CHF/a	14'000	11'000	25'000
Reparatur und Unterhalt	CHF/a	88'000	87'000	110'000
Betriebsmittel	CHF/a	113'000	244'000	127'000
Strom	CHF/a	123'000	24'000	82'000
Betriebskosten gesamt	CHF/a	338'000	366'000	344'000
Abwasserspez.	Rp/m3	3.6	3.9	3.6
Einwohnerspez.	CHF/a/E	7.2	7.8	7.3

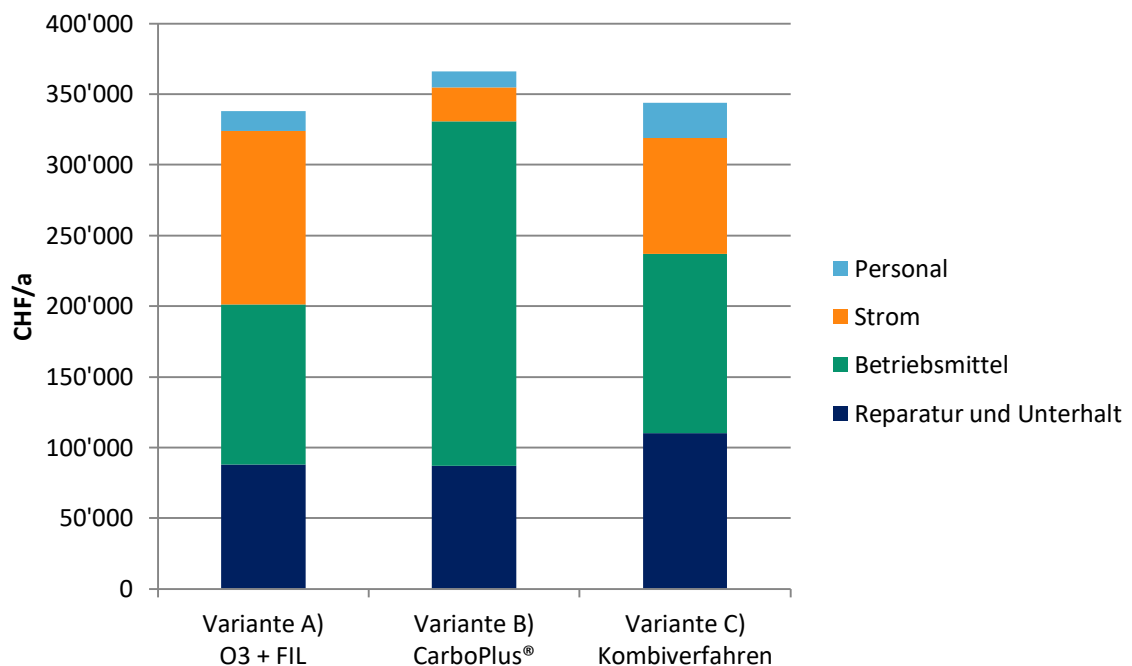


Abbildung 4-1: Darstellung der absoluten Betriebskosten der Varianten für die ARA Rosenbergsau

4.3 Jahreskosten

4.3.1 Zins und Abschreibezeitraum

Die Berechnung der Amortisationskosten basiert auf einem tiefen Kapitalzins von 1.0% wie er derzeit gemäss Geschäftsbericht des AWR angesetzt wird. Die Zeiträume für die Abschreibungen werden nach Vorgabe des AWR wie folgt angesetzt:

- Bau: 35 Jahre
- Maschinelle Ausrüstung: 15 Jahre
- EMSRL-Technik: 8 Jahre

4.3.2 Bundesabgeltung

Der Bund subventioniert Projekte zur EMV insgesamt mit 75% nach Gewässerschutzverordnung (GSchV). Jedoch sind nicht alle anfallenden Investitionskosten abgeltungsberechtigt. Für das Projekt werden zum jetzigen Stand anrechenbare Kostenelemente von insgesamt 70% zugrunde gelegt, da beispielsweise Demontagen, Öffentlichkeitsarbeit, Infrastrukturräume, Provisorien sowie Anpassung an bestehenden Anlageteilen nicht abgeltungsberechtigte Kosten sind. Technische Arbeiten werden vollständig anerkannt und abgegolten.

Aufwendungen, die durch Massnahmen entstehen, die über die Anforderung einer 80%-Elimination von Spurenstoffen hinausgehen, werden nicht subventioniert. Verfahrenskombinationen weisen meist eine höhere Gesamtleistungsfähigkeit, aber auch höhere Investitionskosten auf als Standard-Verfahren. Somit werden Investitionskosten für Kombinationsverfahren in der Regel in geringem Umfang als abgeltungsberechtigt eingestuft. Zusammen mit den zuständigen Behörden muss für Verfahrenskombinationen ein entsprechender Kostenschlüssel vereinbart werden. Es ist üblich, dass die anfallenden Mehrkosten gegenüber einem Standard-Verfahren vom Betreiber selber getragen und die abgeltungsberechtigten Kosten des entsprechenden Standard-Verfahrens zu 75% angerechnet werden.

Für die Variante C Ozon + CarboPlus® wurde in dieser Studie die gleiche Abgeltungssumme wie für Variante A angesetzt. Dadurch reduziert sich der Subventionsanteil bezogen auf die Investitionskosten von 70 auf 62%. Die Ozonung + Raumfiltration (Variante A) kann aufgrund der Vielzahl der Referenzen zur EMV als Standard-Verfahren gesehen werden.

4.3.3 Übersicht Jahreskosten

Die zusammenfassende Jahreskostenrechnung ist in Tabelle 4-5 gegeben. Mit und ohne Berücksichtigung der Bundessubventionen stellt die Variante A Ozonung + Raumfiltration die günstigste Variante bezüglich Jahreskosten dar. Der Unterschied gegenüber Variante B CarboPlus® ist jedoch klein. Unter Berücksichtigung der Bundesbeiträge schiebt sich insbesondere Variante C näher zu den beiden anderen Varianten, jedoch ohne dass sich Rangfolge bezüglich der Kosten ändert.

In Abbildung 4-2 wird deutlich, wie stark die Subventionen die Kosten beeinflussen. Die Jahreskosten sind anschliessend wesentlich durch die laufenden Betriebskosten beeinflusst. Unter Einbezug der Unsicherheiten der Studie, können alle drei Varianten aus Sicht der Jahreskosten mehr oder weniger als gleichwertig betrachtet werden. Die detaillierte Jahreskostenrechnung kann Tabelle 9-4 im Anhang 9.2 entnommen werden.

Tabelle 4-5: Zusammenfassung Jahreskostenrechnung für untersuchte Varianten

Kostenposition	Einheit	Variante A) O3 + FIL	Variante B) CarboPlus®	Variante C) Kombiverfahren
Kapitaldienst	CHF/a	662'000	639'000	791'000
Kapitaldienst mit Subventionen	CHF/a	199'000	192'000	300'000
Betriebskosten gesamt	CHF/a	338'000	366'000	344'000
Jahreskosten (subv.)	CHF/a	537'000	558'000	644'000
Abwasserspez.	Rp/m3	5.7	5.9	6.8
Einwohnerspez.	CHF/EW/a	11.4	11.9	13.7

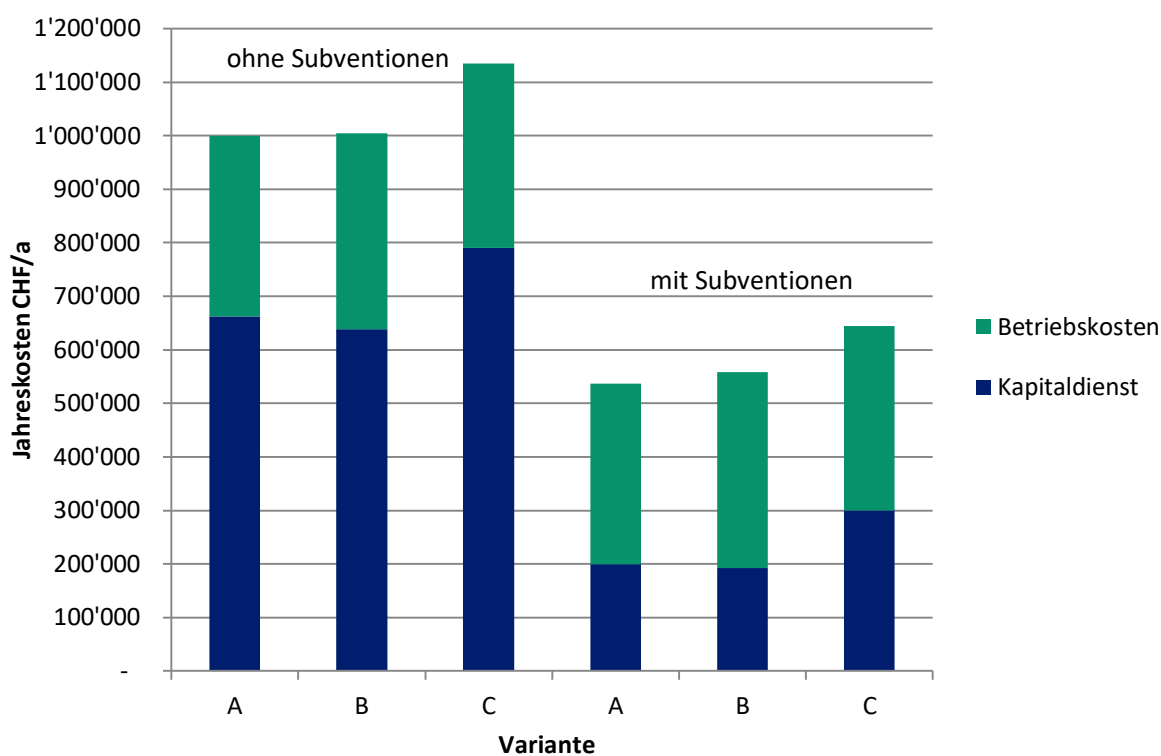


Abbildung 4-2: Jahreskosten der Varianten, mit und ohne Bundessubventionen

5. BEWERTUNG VARIANTEN

5.1 Vorgehen Nutzwertanalyse

Zur abschliessenden Beurteilung der unterschiedlichen Varianten zur Spurenstoffelimination auf der ARA Rosenbergsau wird eine Nutzwertanalyse durchgeführt. Dazu werden die in Tabelle 5-1 definierten Kriterien zugrunde gelegt. Jedes Kriterium wird für jede Variante mit 0 bis 5 Punkten bewertet. Für die meisten Kriterien ist aufgrund der vorangegangenen Analysen eine quantitative Beurteilung möglich. Punkte werden anhand einer Steigung in Abweichung vom Bestwert mathematisch vergeben. Die Gewichtung der Kriterien basiert auf einer bewährten Verteilung vergleichbarer Projekte und wurde mit dem Betrieb abgestimmt.

Tabelle 5-1: Kriterien für Nutzwertanalyse ARA Rosenbergsau

Kriterium	Beschreibung	Gewichtung
Jahreskosten (subventioniert)	Jahreskosten unter Berücksichtigung der Subventionen des Bundes. Dadurch stehen die Betriebskosten, die durch den Betriebsmitteleinsatz geprägt sind, im Vordergrund. <i>Bewertung anhand effektiv ermittelter Kosten Kap. 4.3</i>	25%
Risikobewertung	Massgebliche Risiken aus den Kategorien Kosten, Planung, Verfahrenstechnik. Bewertung der Risiken anhand Wahrscheinlichkeit, Auswirkungen und Massnahmen die dagegen ergriffen werden können. <i>Bewertung anhand Beurteilung Gesamtrisiko (vgl. Kap. 3.6)</i>	15%
Referenzen / Erprobungsgrad	Anzahl grosstechnischer Anlagen in Betrieb mit dem zugehörigen Betriebserfahrung, auf welche bei Bedarf zurückgegriffen werden kann. <i>Bewertung gem. Referenzen und Erfahrung Verfahrensingénieur</i>	10%
Integration	Eingliederung des Verfahrens mit Anschlüssen und. Peripherie in die bestehende ARA-Infrastruktur, Schnittstellen und baulicher Aufwand sowie Platzbedarf. <i>Bewertung anhand effektivem baulichem Aufwand vgl. Kap 3.4</i>	10%
Betriebsaufwand / Komplexität	Arbeitsstunden für Service, Kontrollen, Einstellungen, Reinigung sowie Bestellungen. Erforderliche Kenntnisse und Knowhow zur Steuerung und Kontrolle der Anlage und Dosierung. Umfasst auch Sicherheitsaspekte. Abhängigkeit von externen Lieferanten bezüglich der eingesetzten Komponente und Systeme. <i>Bewertung gem. Betriebsaufwand Kap. 3.5 und Erfahrung Verfahrensingénieur</i>	20%
Flexibilität / Prozesskontrolle	Möglichkeiten für Anpassungen, Optimierungen und Erweiterungen am System. Möglichkeiten zur Steuerung des Prozesses und Beeinflussung der Eliminationsleistung an sich ändernde Bedingungen. <i>Beurteilung gem. Erfahrung Verfahrensingénieur</i>	20%

5.2 Resultat Nutzwertanalyse

Das Resultat der Bewertung ist in Tabelle 5-2 und mit Abbildung 5-1 dargestellt. Anhand der definierten Kriterien und Gewichtungen ergibt sich, dass Variante B CarboPlus® unter den gegebenen Rahmenbedingungen das für die ARA Rosenbergsau am besten geeignete Verfahren darstellt. Abbildung 5-1 zeigt visuell die jeweiligen Stärken der Varianten.

Die Ozonung ist der CarboPlus®-Variante nur hinsichtlich Referenzen deutlich überlegen und schliesst wegen der Risikoeinschätzung (Bildung toxischer Nebenprodukte) schlecht ab. Die Verfahrenskombination (Variante C) zeigt die grössten Stärken in der Betriebsflexibilität und der Risikobewertung auf. Die Variante CarboPlus® dominiert in den Bereichen Integration, Komplexität / Betriebsaufwand und in der Risikobetrachtung.

Tabelle 5-2: Punkteverteilung Nutzwertanalyse

Nr.	Kriterium	Gewichtung	Variante A) O3 + FIL	Variante B) CarboPlus®	Variante C) Kombiverfahren
1	Jahreskosten (Subv.)	25	5.0	4.8	4.0
2	Referenzen / Erprobungsgrad	10	5.0	3.0	2.0
3	Risikobewertung	15	0.6	5.0	4.4
4	Flexibilität / Prozesskontrolle	20	3.5	2.0	5.0
5	Integration	10	4.0	5.0	4.0
6	Betriebsaufwand / Komplexität	20	4.0	5.0	3.5
ungewichtete Bewertung			3.7	4.1	3.8
gewichtete Bewertung		100	3.7	4.2	4.0

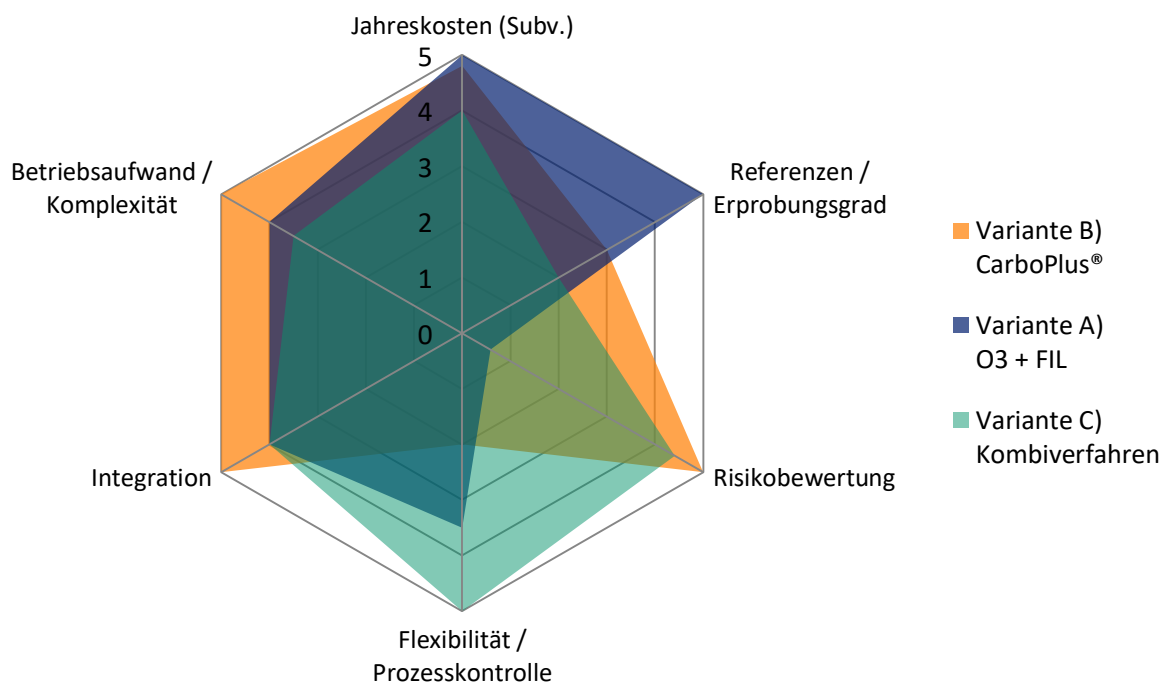


Abbildung 5-1: Punkteverteilung Nutzwertanalyse (ungewichtet) für Varianten A Ozon + Filtration, B CarboPlus® und C Ozonung + CarboPlus®

5.3 Sensitivität Nutzwertanalyse

Die Varianten B und C liegen nach der gewichteten Nutzwertanalyse sehr nahe beieinander, weshalb es sich lohnt, die wesentlichen Unterschiede hervorzuheben. Das Resultat der gewichteten Nutzwertanalyse kann zu einem Gleichstand zwischen den Varianten B CarboPlus® und C der Verfahrenskombination verändert werden, wenn folgenden Annahmen / Veränderungen getroffen werden:

- Gleiche Punktezahl für subventionierte Jahreskosten
- Gleiche Bewertung des Erprobungsgrades / Referenzen

Tiefere Jahreskosten für die Verfahrenskombination entstehen nur durch wesentlich tiefere Betriebskosten. Dies kann eintreten, wenn sich der Betriebsmittelbedarf durch höhere Dosierungen bzw. DOC-Ablaufwerte in einen Bereich verschiebt, in dem die Verfahrenskombination deutlich effizienter ist. Der Kapitaleinsatz sowie die Unterhaltskosten durch die höheren Investitionen, werden jedoch immer höher als für die Variante B CarboPlus® liegen.

Für eine geringere Bewertung der Referenzsituation der Variante C spricht, dass es bisher noch keine publizierten Betriebserfahrungen von grosstechnischen Anlagen mit Kombinationsverfahren gibt und dass die geplanten Anlagen mit Verfahrenskombination bisher auf reguläre GAK-Filter setzten. Zum Verhalten der Standzeit regulärer GAK nach Ozonungen sind praktisch keine belastbaren Zahlen vorhanden. Das μ GAK-Verfahren besitzt in der Westschweiz immerhin eine grosstechnische Referenz in Betrieb.

Für alle weiteren betrachteten Punkte gilt: Ein zweistufiges Verfahren ist per se intensiver an Aggregaten, wodurch sich die Komplexitäten und die benötigten Flächen sowie der Personalaufwand erhöhen.

6. ABSCHLIESSENDE DISKUSSION

Die drei Varianten Ozonung (A), CarboPlus® (B) und die Kombination der beiden Verfahren (C) wurden nach dem derzeitigen Kenntnisstand zur Elimination von Mikroverunreinigungen eingehend analysiert und bewertet. Basierend auf einer gewichteten Nutzwertanalyse wurde das CarboPlus®-Verfahren (B) mit geringem Vorsprung vor der Verfahrenskombination aus Ozonung + CarboPlus® (C) zum derzeitigen Zeitpunkt als Bestvariante ermittelt. Im Folgenden werden nochmals die wesentlichen Punkte zur Begründung hervorgehoben.

Verfahrenseignung

Die im Zuge der ersten Verfahrensevaluation durchgeführten Versuche und Pilotierung 2014/15 waren infolge der weiteren Technologieentwicklung und der zusätzlichen Beobachtung und Beprobung des Abwassers aus dem Einzugsgebiet der ARA Rosenbergsau nicht abschliessend. Im Winter 2018 wurde aus diesem Grund eine ergänzende Messkampagne lanciert. Die ersten Resultate zeigen insbesondere eine Verschlechterung der stofflichen Situation bezüglich Bromid gegenüber den Ergebnissen 2014. Das Abwasser der ARA Rosenbergsau muss angelehnt an den Leitfaden der VSA zur Eignung einer Ozonung als unklar eingestuft werden. Aus diesem Grund sind die weiteren Ergebnisse der Untersuchungen abzuwarten, bevor eine endgültige Einschätzung des Abwassers getroffen werden kann. Zum derzeitigen Zeitpunkt ist von einer Ozonung als alleinige Verfahrensstufe abzuraten. Zukünftige Veränderungen im Einzugsgebiet können Einfluss auf die Effektivität (Stabilität des Ozons bzw. der OH-Radikale) der Ozonung nehmen und die Wirtschaftlichkeit dieser Technologie verschlechtern.

In der Verfahrenskombination aus Ozonung + μ GAK, die mit tieferen Ozondosen operiert, ist die Problematik der Bildung von toxischen Nebenprodukten wesentlich kleiner. Dennoch muss auch hier die Abwasserzusammensetzung beobachtet werden. Aus diesem Grund besteht auch für diese Variante ein Restrisiko in der Planung.

Wirtschaftlichkeit

Die tiefsten Betriebskosten werden unter derzeitigen Voraussetzungen mit der Ozonung (Variante A) erreicht. Diese liegen ca. 8% unterhalb der Betriebskosten der CarboPlus®-Variante (B). Die Verfahrenskombination (Variante C) liegt bezüglich der Betriebskosten nur geringfügig über der Ozonung (Variante A). Über die Dosierung besteht in der Verfahrenskombination, insbesondere was den μ GAK-Bedarf betrifft, jedoch eine höhere Unsicherheit.

Die spezifischen Jahreskosten übertreffen für alle drei Varianten die 9 CHF/E/a die derzeit vom Bund zur Finanzierung der Massnahmen erhoben werden. Die erwarteten jährlichen Kosten der Varianten A Ozonung und Variante B Carboplus® liegen unter den Annahmen dieser Studie auf vergleichbarer Höhe. Mit höheren Kosten ist aufgrund des höheren Investitionsbedarfs für die Verfahrenskombination (C) zu rechnen.

Bestvariante

Ohne die klare Einschätzung bezüglich der Verfahrenseignung gemäss Kapitel 2.4 hat der Variantenentscheid hauptsächlich zwischen CarboPlus® (Variante B) und Ozonung + CarboPlus® (Variante C) zu erfolgen.

Die Verfahrenskombination besticht durch die höchste Flexibilität. Die Möglichkeiten zur Optimierung und Anpassung sind damit in grossem Masse gegeben. Im Umkehrschluss zieht das aber auch höheren Aufwände im Betrieb nach sich. Es müssen zwei Systeme und mind. zwei Betriebsmittel gemanagt und aufeinander abgestimmt werden. Dazu gehören die Bewirtschaftung und Abstimmung von Liefer- und Serviceverträgen. Der marginal grössere Platzbedarf fällt hingegen kaum ins Gewicht.

Für das CarboPlus®-Verfahren (Variante B) besteht eine Lieferantenabhängigkeit (*Saur/Stereau*). Insgesamt reagiert das System mit dem µGAK-Schwebebett zudem langsamer auf Regelvorgänge als Ozon- oder PAK-Verfahren. Diese Nachteile der CarboPlus®-Variante wirken weniger stark, wenn man berücksichtigt, dass der Lieferant eine funktionierende Variante zu installieren hat (Verfahrensgarantie) und dass sich das Verfahren durch eine hohe Pufferwirkung auszeichnet. Die Einfachheit des CarboPlus®-Prozesses ermöglicht einen Betrieb mit geringem regelungstechnischem Aufwand und geringem Personaleinsatz.

Als klarer Vorteil im Vergleich mit den anderen beiden Varianten wird gewertet, dass die Abwasserzusammensetzung und deren Prüfung und Überwachung im Rahmen der Verfahrensabklärung deutlich in den Hintergrund tritt. Überraschungen durch auftretende Nebenprodukte sind ausgeschlossen. Dies gibt dem Planungsprozess und dem späteren Betrieb grösstmögliche Sicherheit. Zusätzlich dürften sich die Abklärungen mit Kanton (AWE) und Bund (BAFU) verkürzen.

Auch bei einer Verfahrenskombination wird die Gefährdung durch Nebenprodukte kleiner, jedoch muss während dem fortlaufenden Betrieb eine Abstimmung und Optimierung des Systems erfolgen, um dem sachgemässen Gewässerschutz langfristig Rechnung zu tragen. Der geringere Abgeltungsanteil der Kombi-Verfahren beim Bund macht deutlich, dass die grösseren Möglichkeiten, welche den Betreibern mit dieser Lösung an die Hand gegeben werden, nicht zwingend zur Erfüllung der Aufgabe Elimination von EMV nötig ist und dieser Zusatz-Nutzen entsprechend aus den eigenen finanziellen Mitteln zu bezahlen ist.

Aufgrund der Berücksichtigung der verschiedenen Kriterien und Faktoren in der Nutzwertanalyse wird dem Abwasserwerk Rosenbergsau das µGAK-Verfahren (CarboPlus®, Variante B) empfohlen, welches sich insbesondere durch seine Einfachheit und Verfahrenssicherheit gegenüber den anderen Verfahren / Technologien durchsetzen kann. Das Kombiverfahren Ozonung + µGAK (Variante C) wird lediglich dann empfehlenswert, wenn auf höchste Betriebsflexibilität und die Möglichkeit einer weitergehenden Betriebsmittelloptimierung besonders Wert gelegt wird. Nur dann wären der erhöhte Personalaufwand und die deutlich höheren Jahreskosten begründbar zu rechtfertigen.

Zukünftige Entwicklungen

Die beiden Varianten B und C würden mit der CarboPlus®-Stufe als letzte Verfahrensstufe der ARA ähnliche Ablaufwerte bezüglich GUS aufweisen. Inwiefern die Ablaufwerte durch den Betrieb der CarboPlus®-Stufe als BAK mit grösserem Biofilm (in Variante C) Einfluss auf die GUS-Werte hat, lässt sich noch nicht vorhersagen. Werden durch das Amt für Wasser und Energie (AWE) wiedererwartet die Einleitbedingungen künftig verschärft, so ist der EMV-Stufe gegeben falls eine Filtrationseinheit (Tuch-, Trommelfilter, Mikrosiebung) vorzuschalten. Durch eine Reduktion der zulaufenden Feststoffe verringert sich der Bedarf einer Ozonung. Für die CarboPlus®-Stufe gibt es keine Verände-

rung bezüglich der Betriebsmittel für den Fall einer vorgeschalteten Filtration. Es können jedoch längere Rückspülintervalle und damit eine verbesserte Betriebsstabilität erreicht werden.

Zum derzeitigen Zeitpunkt ist nicht mit einer Verschärfung der Einleitbedingungen zu rechnen, weshalb die skizzierten Massnahmen nicht berücksichtigt werden müssen. Der Kohle-Schlupf liegt in einer vernachlässigbaren Grössenordnung ($<0.3\%$), weshalb eine zusätzliche Abtrennung ebenfalls nicht erforderlich ist.

Wird aufgrund der zukünftigen Entwicklungen (Einzugsgebiet, Kohlemarkt) oder veränderter Bedürfnisse zu einem späteren Zeitpunkt dennoch eine Ozonung gewünscht, so kann diese dem CarboPlus[®] vorgeschaltet werden. Dazu müssen in der Planung mögliche Platzreserven und die hydraulische Verfahrensführung berücksichtigt werden. Die Erweiterung würde nicht mehr unter die Subventionierung fallen, könnte dann aber sehr gezielt auf die Bedürfnisse des Betriebs zugeschnitten werden. Mit der Entscheidung für ein adsorptives Verfahren wird der heutigen Situation Rechnung getragen ohne Hindernisse für die Zukunft zu stellen.

7. EMPFEHLUNG, WEITERES VORGEHEN UND RAHMENTERMINPROGRAMM

Auf der Basis der im Jahr 2014 durchgeführten Studie mit anschliessender Pilotierung einer Ozonung und der vorliegenden Ergänzungsstudie mit den Erkenntnissen der neuesten Entwicklungen und Betriebserfahrungen der Technologien für die Elimination von Mikroverunreinigungen in der Schweiz und Deutschland kann dem Abwasserwerk Rosenbergsau eine umfassende und abschliessende Empfehlung für die EMV-Stufe abgegeben werden.

Die Nutzwertanalyse hat ergeben, dass die Behandlung mit mikrogranulierter Aktivkohle aus verfahrenstechnischer, betrieblicher und wirtschaftlicher Sicht die bestgeeignete Verfahrenstechnik darstellt. Das μ GAK-Verfahren (CarboPlus®) besteht neben der technischen und betrieblichen Einfachheit und geringer Prozesskomplexität auch durch eine kompakte Anordnung und Einbindung in die bestehende Anlage. Zudem sind die Investitionskosten am niedrigsten und die betrieblichen Kosten ebenfalls gering. Das Aktivkohle basierte Verfahren ist insbesondere von Vorteil in Hinblick auf die sich seit 2014 veränderte Abwasserzusammensetzung, bei welcher die Gefahr von toxischen Nebenprodukten durch die Behandlung mit Ozon zugenommen hat.

Mit der Studie und der Empfehlung aus verfahrenstechnischer, betrieblicher und wirtschaftlicher Sicht hat das Abwasserwerk Rosenbergsau und seine Entscheidungsgremien eine Grundlage vorliegen, die es erlaubt über die weitere Vorgehensweise und die Variantenentscheidung zu beschliessen.

Trotz eines Entscheids zugunsten eines aktivkohlebasierten Verfahrens, sollte die Situation bezüglich der Zusammensetzung des Abwassers weiter im Blick behalten werden. Gegebenenfalls können relevante Einleiter von Vorläufersubstanzen von Oxidationsnebenprodukten im Einzugsgebiet identifiziert werden. Die Laboruntersuchungen zur Ozonung von verschiedenen Abwasserproben sind jedoch nicht mehr zwingend durchzuführen.

Bei einem Entscheid des Verwaltungsrates des Abwasserwerks Rosenbergsau für den Start der Projektierung der Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen am 21.02.2019 ist mit nachstehendem Grobterminplan zu rechnen:

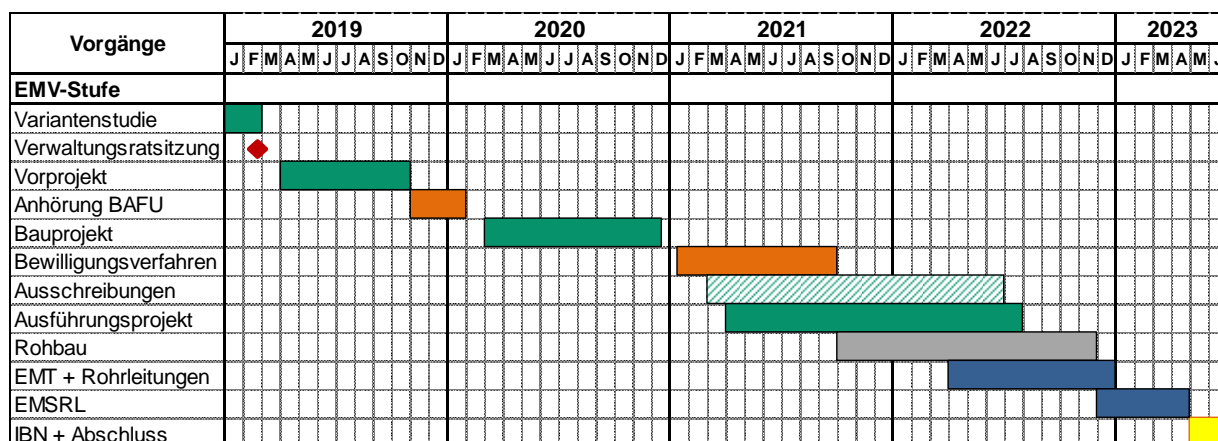


Abbildung 7-1: Rahmenterminprogramm für die Projektierung und Realisierung der EMV-Stufe AWR

8. GLOSSAR

Abkürzung	Erklärung
ARA	Abwasserreinigungsanlage
AWE	Amt für Wasser und Energie, Kanton St. Gallen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BKP	Baukostenplan
BV	Bettvolumina [m^3/m^3]
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff (<i>dissolved organic carbon</i>)
E	Einwohner
EBCT	Empty Bed Contact Time (= Leerbett-Kontaktzeit)
EMSRL	Elektro-, Mess-, Steuer-, Regel- und Leittechnik
EMT	Elektromechanischer Teil (= Maschinentechnik + Rohrleitungen)
EMV	Elimination Mikroverunreinigungen
EW	Einwohnerwert (= Einwohner + Einwohnergleichwert)
GAK	Granulierte Aktivkohle
GSchG	Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer
GSchV	Gewässerschutzverordnung
GUS	Gesamte ungelöste Stoffe
HLKS	Heizung, Lüftung, Kälte, Sanitär
IBN	Inbetriebnahme
kWh	Kilowattstunden
LKW	Lastkraftwagen
m.ü.M.	Meter über Meer
MV	Mikroverunreinigungen
MwSt	Mehrwertsteuer
n	Anzahl
$\text{NH}_3\text{-N}$	Ammoniak
$\text{NH}_4\text{-N}$	Ammoniumstickstoff
NKB	Nachklärbecken
$\text{NO}_2\text{-N}$	Nitrit-Stickstoff
O_2	Sauerstoff
O_3	Ozon
OK	Oberkante
PAK	Pulveraktivkohle
P_{tot}	Gesamt-Phosphor
Q	Wasser oder Schlammmenge in [l/s], [m^3/h] oder [m^3/d]
Q_{DIM}	Hydraulische Auslegungsgrösse ARA
Q_{F}	Fremdwasser-Zulauf
Q_{S}	Schmutzwasser-Zulauf
Q_{TW}	Trockenwetterabfluss
RF	Raumfiltration
RLS	Rücklaufschlamm
TKN	Total Kjeldahl Stickstoff
TS	Trockensubstanzgehalt in [g/l] oder [%]
ÜSS	Überschussschlamm
V	Volumen
VKB	Vorklärbecken
VSA	Verband Schweizerischer Abwasserfachleute

9. ANHANG

9.1 Betriebsaufwände

Tabelle 9-1: Aufwände zum Betrieb der Ozonung + Raumfiltration (Variante A)

Ozonung + Raumfiltration			
Aufgabe	Aufwand	Einheit	Bemerkung
Kontrollgang, Unterhalt, Kalibration von Sonden	12	h/Monat	3 h/Woche
Kontrolle Ozonreaktor und Restozonvernichter	2	h/Monat	0.5h/Woche
Bestellung und Annahme der Betriebsmittel	0	h/Monat	automatisiert
Mechanischer Unterhalt (Pumpen, Motoren, ...)	2	h/Monat	Filter / PW
Mechanischer Unterhalt (Pumpen, Motoren, ...) der Sandfiltration	2	h/Monat	Sandfiltration
Entleerung und Reingung des Ozon-Reaktors	2	h/Monat	3 Tage / a
total	240	h/a	

Tabelle 9-2: Aufwände zum Betrieb des CarboPlus®-Verfahrens (Variante B)

µGAK / CarboPlus®			
Aufgabe	Aufwand	Einheit	Bemerkung
Entleerung und Reingung der Reaktoren	2.8	h/Monat	2 Reaktor pro Jahr à 2d
Kontrolle, Überwachung, Probenahme	8	h/Monat	2 h/Woche
Lieferung / Befüllung	4	h/Monat	4-5h pro Lieferung
total	180	h/a	

Der Betriebsaufwand der Verfahrenskombination Ozonung + CarboPlus® (Variante C) entspricht den kombinierten Arbeiten der Variante A und B.

9.2 Kosten

Tabelle 9-3: Investitionskosten als Grundlage zur Bestimmung des Kapitalsdienstes sowie Wartung und Unterhalt

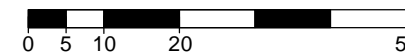
Bausummen für Kapitalsdienst	Einheit	Variante A) O3 + FIL	Variante B) CarboPlus®	Variante C) O3 + CarboPlus®
Bau	CHF	5'989'000	5'183'000	5'894'500
EMT inkl. HLKS	CHF	4'066'000	4'157'000	5'278'500
EMSRL	CHF	1'266'000	1'249'000	1'603'000
Total Bausummen für Kapital- dienst	CHF	11'321'000	10'589'000	12'776'000
Bausummen für Wartung und Unterhalt	Einheit			
Bau	CHF	3'984'000	3'458'000	3'912'000
EMT inkl. HLKS	CHF	3'574'000	3'637'000	4'653'000
EMSRL	CHF	1'113'000	1'093'000	1'413'000
Total Bausumme für War- tung/Unterhalt	CHF	8'671'000	8'188'000	9'978'000

Tabelle 9-4: Detaillierte Jahreskostenrechnung

Variante A) Ozonung + FIL				Variante B) CarboPlus®		Variante C) Ozonung + CarboPlus®	
Kostenart	Einheitspreis	Menge/Jahr	Jahreskosten	Menge/Jahr	Jahreskosten	Menge/Jahr	Jahreskosten
1. Personalkosten							
1 Betriebspersonal inkl. Sozialleistungen	CHF/h	h	240	h	180	h	420
2. Reparatur und Unterhalt							
Bau	0.3%	CHF 3984'000	12'000	CHF 3458'000	10'400	CHF 3912'000	11'700
EMT	1.5%	CHF 3574'000	53'600	CHF 3637'000	54'600	CHF 4'653'000	69'800
EMSRL	2.0%	CHF 1'113'000	22'300	CHF 1'093'000	21'900	CHF 1'413'000	28'300
Total Reparatur und Unterhalt		8'671'000	87'900	8'188'000	86'900	9'978'000	109'800
3. Stromverbrauch/-produktion							
	CHF/kWh	kWh/a	946'000	kWh/a	182'000	kWh/a	631'900
4. Betriebsmittel							
Sauerstoff	CHF/to	to/a	479	to/a	0	to/a	270
µGAK (inkl. Lieferung)	CHF/to	to/a	0	to/a	139	to/a	35
Analytik Spurenstoffe / Überwachung	CHF/Probe	n	10	n	10	n	10
Total Betriebsmittel			113'300				126'500
TOTAL BETRIEBSKOSTEN			338'600				343'600
Kapitaldienst / Abschreibungen ohne Bundessubventionen							
Gesamtinvestitionssumme			CHF	11'321'000	CHF	10'589'000	CHF 12'776'000
35 Jahre Bau	Zins	1.0%					
15 Jahre EMT	Annuität	3.4%	203'648	CHF 5'989'000	176'241	CHF 5'894'500	200'435
8 Jahre EMSRL	Annuität	7.2%	293'255	CHF 4'066'000	299'819	CHF 5'278'500	380'705
Mittl. Annuität	Annuität	13.1%	165'454	CHF 1'266'000	163'232	CHF 1'603'000	209'497
			5.85%		6.04%	6.19%	
TOTAL KAPITALDIENST OHNE SUBVENTION			662'400		639'300		790'600
Kapitaldienst / Abschreibungen mit Bundessubventionen							
Gesamtinvestitionssumme			CHF	11'321'000	CHF	10'589'000	CHF 12'776'000
Subventionierte Summe			CHF 7'924'700	CHF 7'412'300		7'924'700	
Subventionsanteil (Mittel über Gesamtprojekt)			%	70%		70%	62%
35 Jahre Bau	Zins	1.0%					
15 Jahre EMT	Annuität	3.4%	61'094	CHF 1'796'700	52'872	CHF 2'238'258	76'109
8 Jahre EMSRL	Annuität	7.2%	87'977	CHF 1'219'800	89'946	CHF 2'004'351	144'561
Mittl. Annuität	Annuität	13.1%	49'636	CHF 379'800	48'970	CHF 608'691	79'550
			5.85%		6.04%	6.19%	
TOTAL KAPITALDIENST SUBVENTIONIERT			198'700		191'800		300'200

ARA Rosenbergsau 104'000 EW_{CSB}

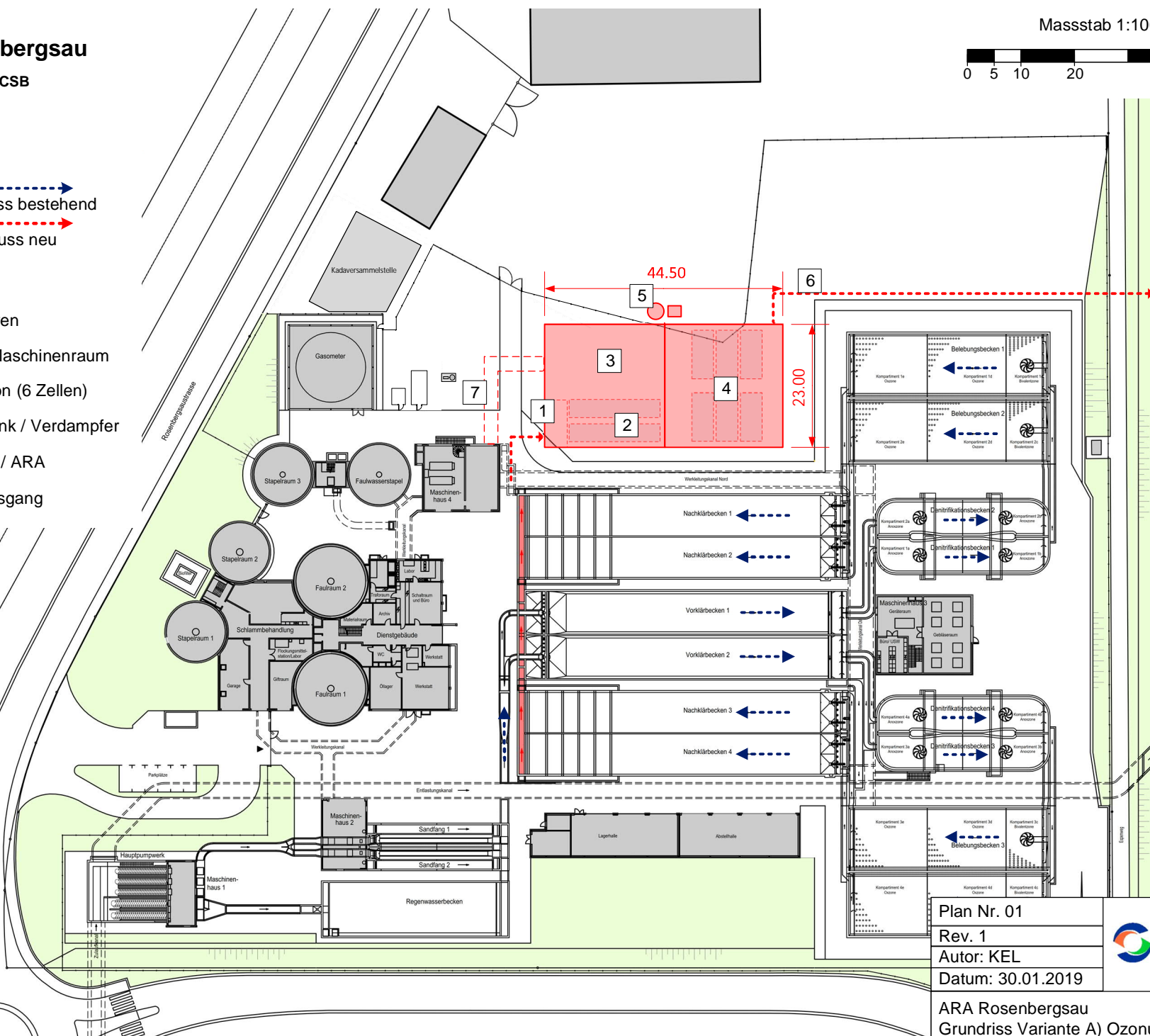
Masstab 1:1000



Legende:

- > Abwasserfluss bestehend
- > Abwasserfluss neu

- 1 Pumpwerk
- 2 Ozonreaktoren
- 3 Betriebs- / Maschinenraum
- 4 Raumfiltration (6 Zellen)
- 5 Sauerstofftank / Verdampfer
- 6 Ablauf EMV / ARA
- 7 Werkleitungsgang



Plan Nr. 01

Rev. 1

Autor: KEL

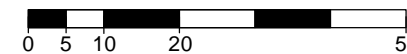
Datum: 30.01.2019



ARA Rosenbergsau
Grundriss Variante A) Ozonung + Sandfilter
115002447

ARA Rosenbergsau 104'000 EW_{CSB}

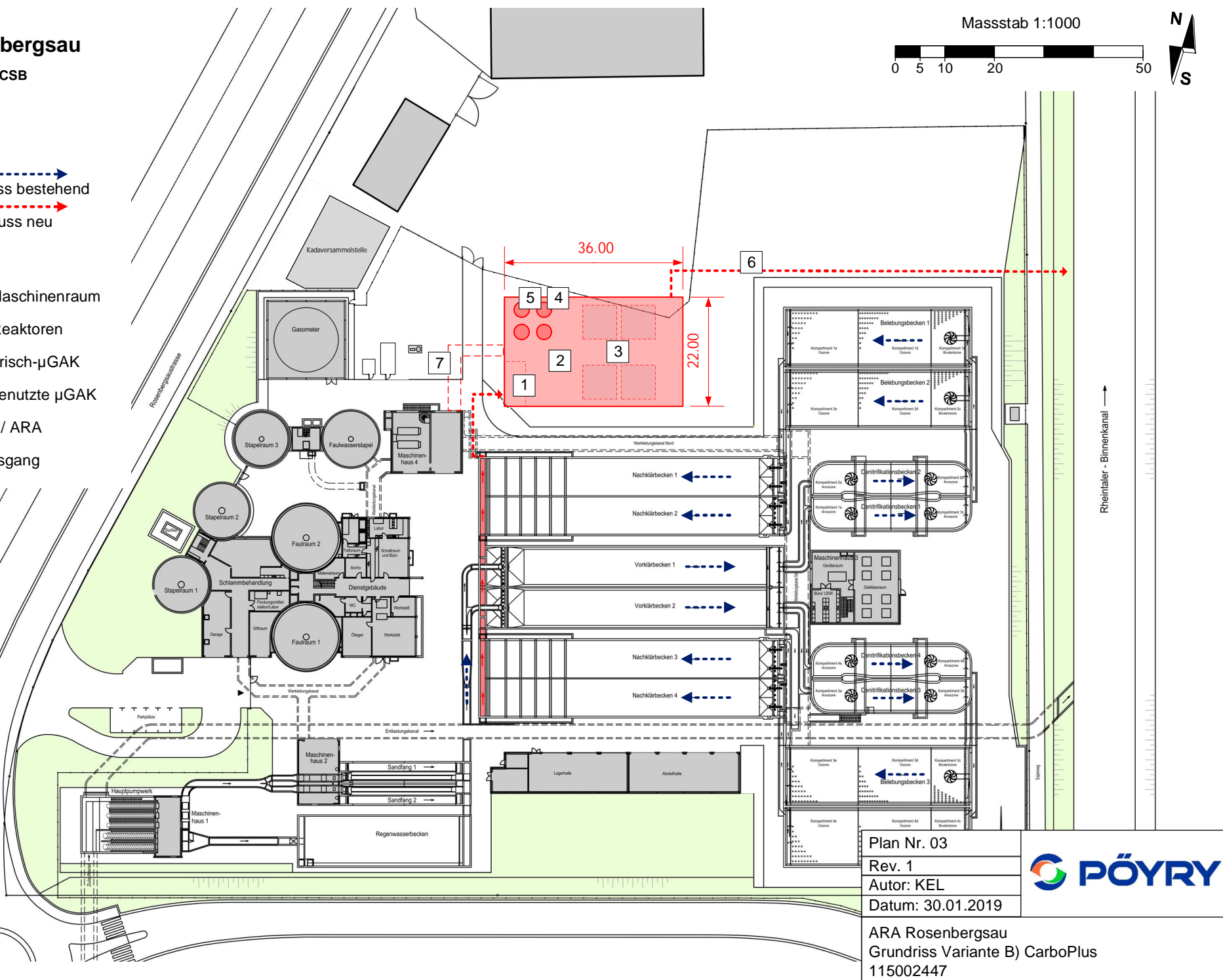
Masstab 1:1000



Legende:

Abwasserfluss bestehend
Abwasserfluss neu

- 1 Pumpwerk
- 2 Betriebs- / Maschinenraum
- 3 Carbopius-Reaktoren
- 4 Lagersilos Frisch-μGAK
- 5 Lagersilos benutzte μGAK
- 6 Ablauf EMV / ARA
- 7 Werkleitungsgang



Plan Nr. 03

Rev. 1

Autor: KEL

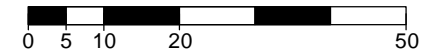
Datum: 30.01.2019



ARA Rosenbergsau
Grundriss Variante B) CarboPlus
115002447

ARA Rosenbergsau 104'000 EW_{CSB}

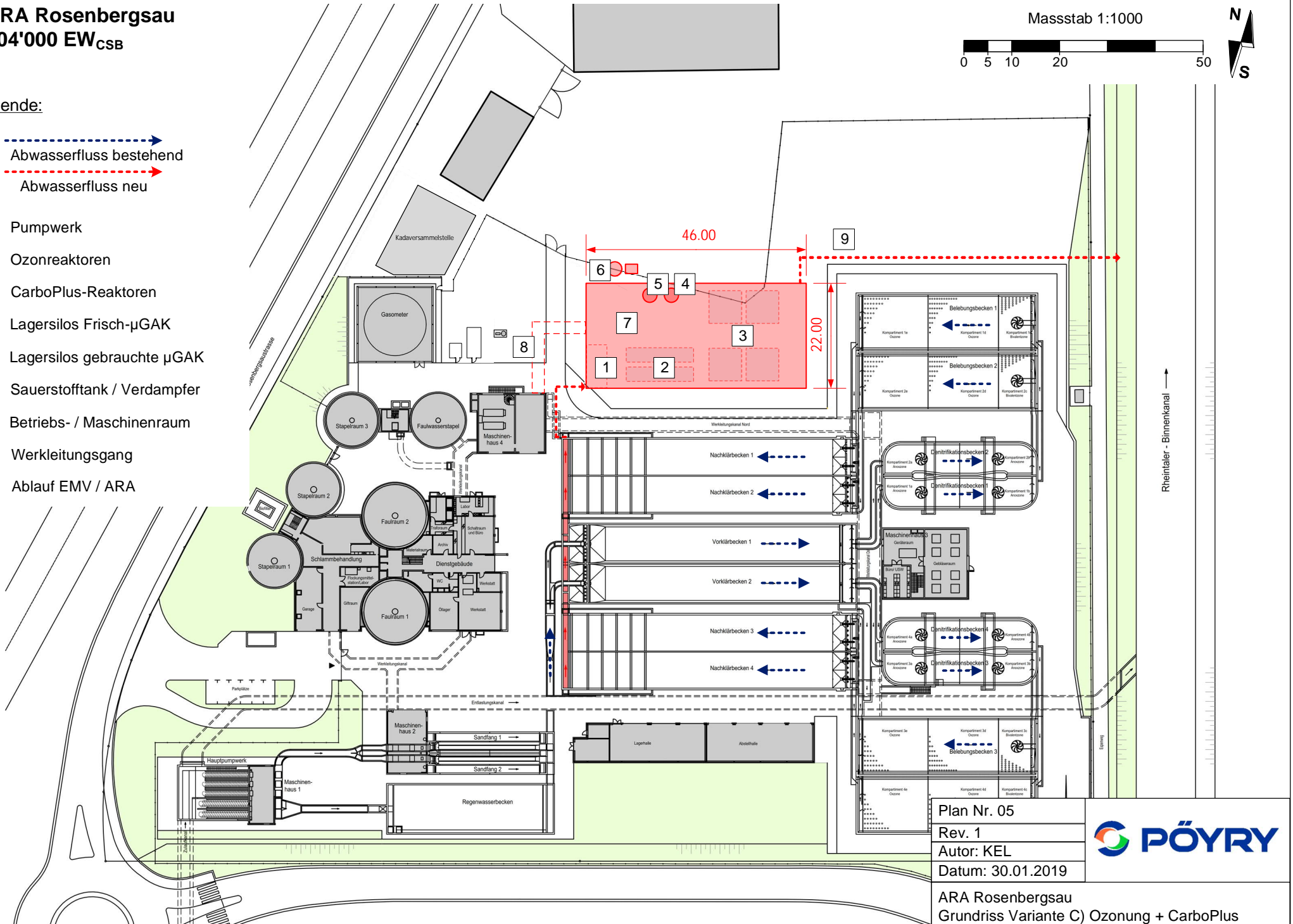
Masstab 1:1000



Legende:

Abwasserfluss bestehend
Abwasserfluss neu

- 1 Pumpwerk
- 2 Ozonreaktoren
- 3 CarboPlus-Reaktoren
- 4 Lagersilos Frisch-μGAK
- 5 Lagersilos gebrauchte μGAK
- 6 Sauerstofftank / Verdampfer
- 7 Betriebs- / Maschinenraum
- 8 Werkleitungsgang
- 9 Ablauf EMV / ARA



Plan Nr. 05

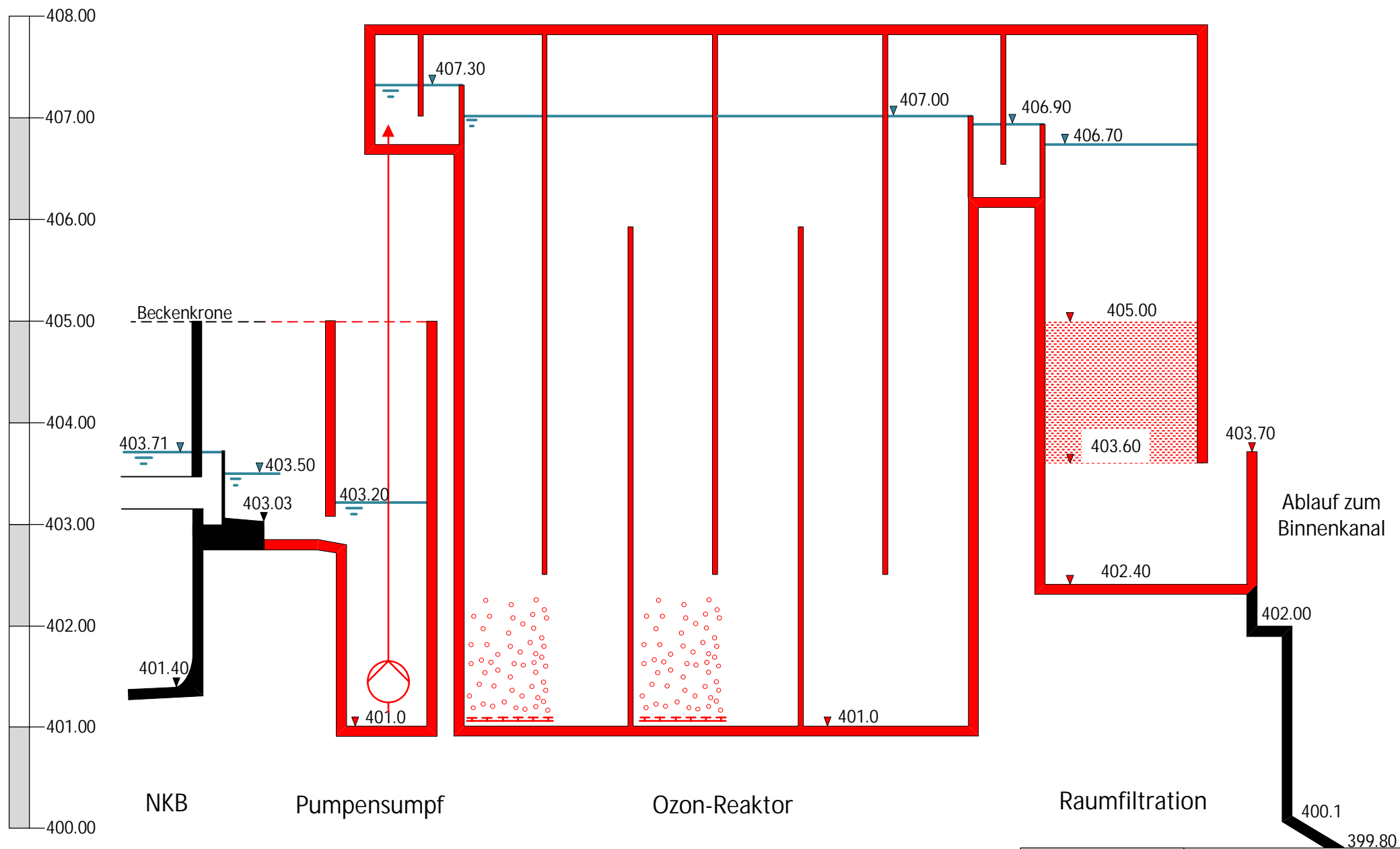
Rev. 1


Autor: KEL

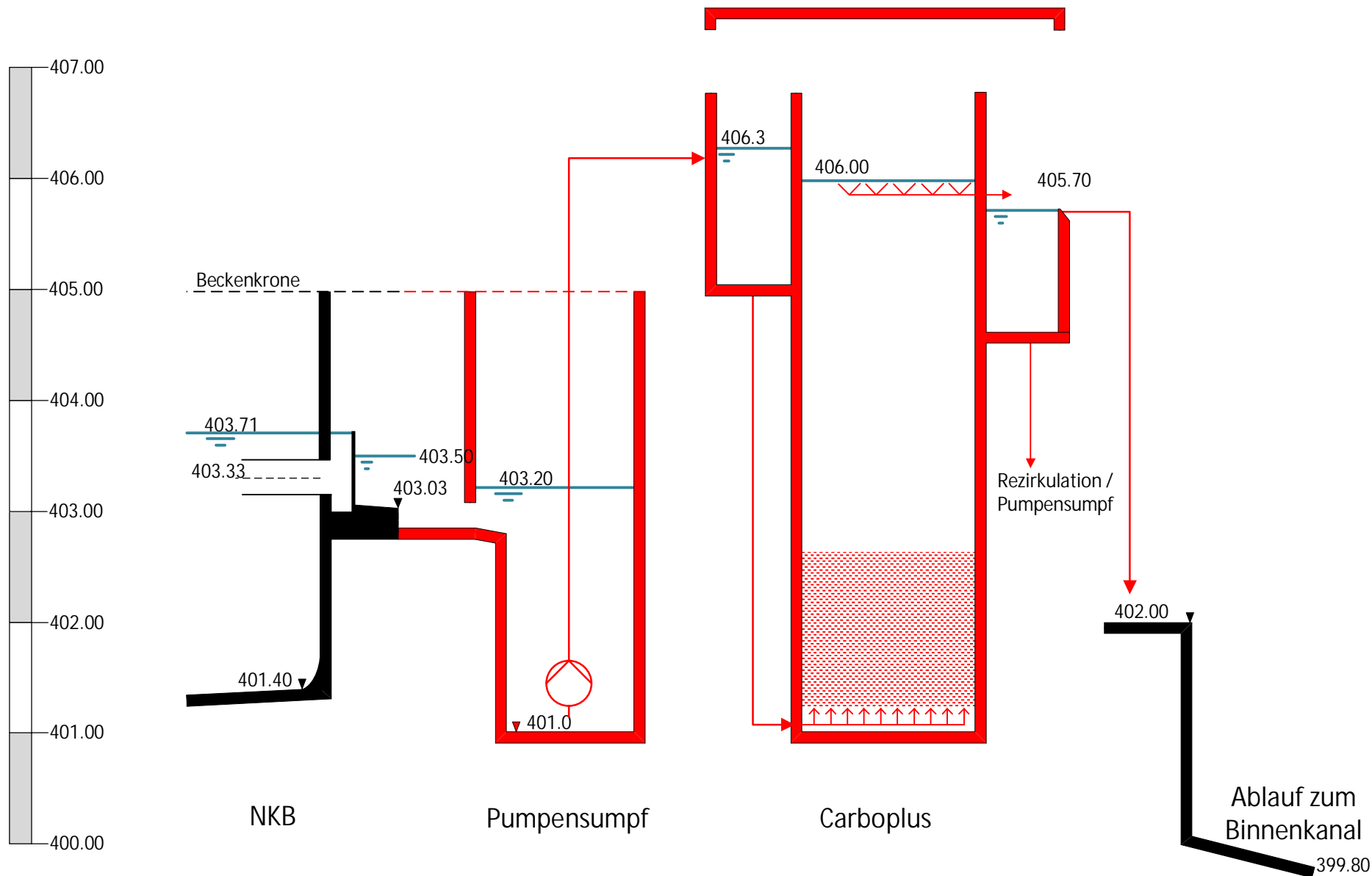
Datum: 30.01.2019




ARA Rosenbergsau
Grundriss Variante C) Ozonung + CarboPlus
115002447



Plan Nr. 02	 PÖYRY
Rev. 1	
Autor: KEL	
Datum: 30.01.2019	
ARA Rosenbergsau Höhenprofil Variante A) Ozonung + Sandfilter 115002447	



Plan Nr. 04	
Rev. 1	
Autor: KEL	
Datum: 30.01.2019	
ARA Rosenbergsau Höhenprofil Variante B) Carboplus 115002447	