



VSA

Kostenstudie EMV-Kleinanlagen

Technischer Bericht

Projekt Nr. 1370.19
Winterthur, 4. Juli 2023

HUNZIKER **BETATECH**

EINFACH.
MEHR.
IDEEN.

Impressum:

Projektname: Kostenstudie EMV-Kleinanlagen

Teilprojekt:

Erstelldatum: 4. Juli 2023

Letzte Änderung:

Autor: Hunziker Betatech AG
Pflanzschulstrasse 17
8400 Winterthur

Tel. 052 234 50 50
E-Mail: info@hunziker-betatech.ch

Noah Joller
Koref. Alain Meyer, Thomas Hug

Datei: Q:\Projekte\1000-1300-1370\1370.19 Kosten MV Kleinanlagen\04 Berichte\1370.19 230704 Bericht Kostenstudie EMV Kleinanlagen.docx

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Ausgangslage	4
3	Grundlagen	4
4	Vorgehensweise	5
4.1	Auswahl ARA	5
4.2	Verfahrensvarianten	5
4.3	Auslegung der Verfahren und Annahmen	6
4.4	Kostenermittlung	7
5	Kosten	8
5.1	Investitionskosten	8
5.2	Kostenvergleich mit bisherigen Studien	9
5.3	Betriebskosten	11
6	Fazit	13
	Anhang	14
	A1 Detaillierte Verfahrensauslegung und Kostenermittlung	14
A 1.1	Varianten ARA 1	14
A 1.2	Varianten ARA 2	20
	A 2 Planskizzen und Situationspläne ARA 1	22
	A 3 Planskizzen und Situationspläne ARA 2	30

1 Zusammenfassung

Infolge der Motion 20.4262 «Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen» ist davon auszugehen, dass künftig vermehrt auch kleinere Kläranlagen (1'000 – 10'000 EW) eine zusätzliche Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen benötigen. Für diese Anlagegrösse ist die Datengrundlage von Referenzprojekten aus der Schweiz nicht vorhanden, Anhaltspunkte gibt es von Projekten aus Deutschland.

Diese Studie dient der Abschätzung von Investitions- und Betriebskosten für den Ausbau von kleinen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) in der Schweiz mit einer Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen (EMV-Stufe). Es wurden anhand von zwei Beispielkläranlagen verschiedene EMV-Verfahrensvarianten auf Stufe Vorprojekt ausgearbeitet. Zwei ARA mit einer Ausbaugrösse von 2040 E_{ang} (ARA 1) bzw. 6490 E_{ang} (ARA 2) wurden betrachtet.

Gängige Behandlungsverfahren mit Pulveraktivkohle, granulierter Aktivkohle, sowie Ozon wurden berücksichtigt. Eine modulare Bauweise in Standard-Industrietanks wurden einer konventionellen Bauweise gegenübergestellt.

Die Investitionskosten für eine EMV-Stufe auf der kleineren ARA 1 belaufen sich durchschnittlich auf 1260 CHF/E_{ang}. Diese Kosten liegen deutlich über der Kostenkurve aus einer Schweizer Machbarkeitsstudie aus dem Jahr 2017.

Die Investitionskosten auf der grösseren ARA 2 liegen durchschnittlich bei 605 CHF/E_{ang}. Diese liegen nahe an der Kostenkurve aus der Machbarkeitsstudie von 2017 und bestätigen dessen Ergebnisse.

Investitionskosten aus dieser Studie liegen allgemein höher als Referenzanlagen in Deutschland. Ursachen für diese Kostenunterschiede sind unterschiedliche Ausführungsstandards, Anforderungen an eine EMV-Stufe bzgl. Redundanzen und Reinigungsleistungen sowie Teuerung.

Die hohen Anforderungen in der Schweiz hinsichtlich der Wassermengenbehandlung bei Regenwetter ($Q_{dim} = \text{ca. } 2 \times Q_{TW,max}$) führen dazu, dass verfahrenstechnische Lösungen in modularer Bauweise (Standard-Industrietanks), grössere räumliche Dimensionen aufweisen als eine konventionelle Bauweise. Dies gilt insbesondere für Anlagen mit einer Kapazität von über 5000 E_{ang} und geht mit erhöhten Kosten einher. Jedoch ist für kleinere Anlagen mit weniger als 5000 E_{ang} die modulare Bauweise eine valable Alternative.

Zur Ermittlung von Investitionskosten im gesamtschweizerischen Kontext wird empfohlen, für Anlagen ab 5000 E_{ang} mit der Kostenkurve der Schweizer Machbarkeitsstudie (2017) zu rechnen. Für Anlagen kleiner als 5000 E_{ang} wird empfohlen, eine vertikal korrigierte Kostenkurve zu berücksichtigen. (Siehe Vorschlag auf Abbildung 1).

Die Betriebskosten für die Verfahrensvarianten auf der kleineren ARA 1 belaufen durchschnittlich auf 24 CHF/E_{ang}/a. Bei der grösseren ARA 2 auf 18 CHF/E_{ang}/a. Die Kosten für Betriebsmittel sind für Ozonverfahren tiefer als für Aktivkohle-Verfahren.

2 Ausgangslage

Infolge der Motion 20.4262 «Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen» werden durch das BAFU aktuell Grundlagen für zusätzliche Anforderungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen (EMV) erarbeitet. Diese Anforderungen beziehen sich unter anderem auf die Nachrüstung von kleinen Kläranlagen mit EMV-Stufen.

Um die Gesamtkosten von möglichen gesetzlichen Vorgaben in der Schweiz zu beurteilen, sind Kostenschätzungen für solche Nachrüstungen erforderlich. Speziell für kleine Kläranlagen mit einer Kapazität von 1'000 – 10'000 EW gibt es nur wenige Grundlagen. Die verfügbaren Daten beschränken sich auf Machbarkeitsstudien und teilweise realisierte GAK-Anlagen aus Deutschland.

Hunziker Betatech AG wurde beauftragt, Investitionskosten sowie Betriebskosten für EMV-Stufen im genannten Grössenbereich zu ermitteln. Diese Kostenstudie wurde in Zusammenarbeit mit der FHNW, BAFU und VSA erarbeitet.

3 Grundlagen

- [1] Projektbeschreibung von FHNW / VSA vom 02.09.2022
 - [2] Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA – Elimination von Mikroverunreinigungen (Entwurf), FHNW, 30. Juni 2022
 - [3] Betriebsdaten und Planunterlagen von zwei ARA
 - [4] VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» (2022). «Faktenblatt – Aktueller Stand PAK Dosierung in die Biologische Stufe». www.micropoll.ch
 - [5] VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» (2019). «Konsenspapier – Hinweise zur Planung und Auslegung von diskontinuierlich gespülten GAK-Filtern zur Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser». www.micropoll.ch
 - [6] VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» (2022). «Faktenblatt – Aktueller Stand Ozonung». www.micropoll.ch
 - [7] Richtofferten von verschiedenen Lieferanten / Anlagebauer
 - [8] VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“ (2018) «Definition und Standardisierung von Kennzahlen für Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen in ARA»
 - [9] VSA Energie in ARA, Leitfaden, Kapitel 8 «Vorgehen, Kennwerte und Arbeitsinstrumente»
-

4 Vorgehensweise

4.1 Auswahl ARA

Zwei repräsentative Abwasserreinigungsanlagen (ARA) in der Schweiz wurden im vorgegebenen Grössenbereich ausgewählt (Tabelle 1). Die gewählten ARA werden mit herkömmlichen Belebtschlammverfahren betrieben.

ARA mit konventionellen Belebtschlammverfahren sind grundsätzlich mit allen gängigen EMV-Verfahren kompatibel. Für die gewählten ARA standen zudem Betriebsdaten sowie Planunterlagen zur Verfügung. Die gewählten ARA eignen sich daher gut als Beispielanlagen zur Ermittlung von Investitions- und Betriebskosten von EMV-Stufen.

In dieser Studie wurde kommunales Abwasser als Grundlage verwendet, da Industrieabfluss bei kleinen ARA in der Regel eine untergeordnete Rolle spielt. Deswegen ist in diesem Kontext die Wassermenge Q_{dim} für die Auslegung und Kosten von EMV-Stufen entscheidend.

Tabelle 1: Charakterisierung von ARA 1 und ARA 2

	ARA 1	ARA 2
Q_{dim}	30 l/s	95 l/s
Q_{mittel}	4 l/s	28 l/s
$Q_{\text{TW,max}}$	14 l/s	39 l/s
Angeschlossene Einwohner E_{ang}^1	2040	6492

4.2 Verfahrensvarianten

Die Verfahrenswahl und die Bauweise von EMV-Stufen haben einen Einfluss auf die Kosten. Für beide ARA wurden absorptive und oxidative Eliminationsverfahren berücksichtigt (Pulveraktivkohle (PAK), granuliert Aktivkohle (GAK) und Ozonung). Modulare und konventionelle Bauweisen wurden berücksichtigt:

Tabelle 2: Betrachtete Verfahrensvarianten und Ausführung für ARA 1 und ARA 2

ARA 1	ARA 2
PAK-Dosierung in Biologie + Tuchfilter	GAK-Filtration in Standard-Industrietanks - GFK-Tanks - Stahltanks
GAK-Filtration in Standard-Industrietanks - Glasfaserverstärkte Kunststofftanks (GFK-Tanks) - Stahltanks	GAK-Filtration in Betonausführung
Ozonung + Sandfiltration in Standard-Industrietanks - Ozonreaktor in Stahltanks ○ Sandfilter in GFK-Tanks ○ Sandfilter in Stahltanks	Ozonung + Sandfiltration in Betonausführung

¹ Anhand der Dimensionierungswassermenge Q_{dim} gemäss Formel in FHNW-Bericht [2], Abbildung 16 ermittelt

4.3 Auslegung der Verfahren und Annahmen

In dieser Studie wurden folgende Annahmen zur Auslegung der Verfahren getroffen: Wenn diese Annahmen gleich sind, hängen die Kosten hauptsächlich von der Wahl des Verfahrens und der Art der Ausführung ab.

- Auf beiden ARA besteht genügend Platz für den freistehenden Bau von EMV-Anlagen. Mehrkosten für aufwändige, kompakte Bauweisen werden nicht berücksichtigt.
 - Auf beiden ARA-Arealen handelt es sich um unproblematischen Baugrund. Mehrkosten im Zusammenhang mit schwierigem Baugrund werden nicht berücksichtigt.
 - Hebewerke sind in allen Verfahrensvarianten zur Beschickung der EMV-Stufe erforderlich.
 - Generell werden alle wesentlichen Anlagenteile eingehaust geplant.
 - Die hydraulische Aufenthaltszeit in den Vorlagebecken der Hebewerke wird bei $Q_{TW,max}$ auf 20 min festgelegt.
 - Die Hebewerke werden redundant mit 3 Pumpen à $0.5 Q_{dim}$ ausgerüstet (totale Pumpkapazität: $1.5 \times Q_{dim}$)
 - Die Tuchfiltration wird redundant mit 2 Strassen à $0.75 Q_{dim}$ ausgelegt (totale Kapazität: $1.5 \times Q_{dim}$)
 - Die restlichen Filtrationsanlagen (GAK- und Sandfilter) werden so ausgelegt, dass bei (n-1) Filterzellen / Filterstrassen Q_{dim} behandelt werden kann, um einen ununterbrochenen Wasserfluss während Rückspülzyklen zu gewährleisten.
 - Für die Filteranlagen sind doppelt ausgeführte Spülwasserpumpen, Schlammwasserpumpen und Rückspülgebläse vorgesehen, um die Rückspülung der Filter jederzeit zu gewährleisten.
 - Für die Elimination von Spurenstoffen mittels GAK-Filtration wird vom VSA eine Aufenthaltszeit von 20 min empfohlen [5]. Allerdings werden GAK-Filter im Rahmen dieser Studie auf eine Kontaktzeit von 30 min bei Q_{dim} ausgelegt, um eine hohe Elimination von Diclofenac zu erreichen.
 - Ozonreaktoren wurden entsprechend der VSA-Empfehlung [6] auf eine Aufenthaltszeit von 13 min bei Q_{dim} ausgelegt.
 - Es wird auf beiden ARA von einer DOC-Konzentration von 0.6 mg / l im Zulauf der EMV-Stufen gerechnet.
 - Der VSA empfiehlt eine PAK-Dosierung von $2.5 - 3 \text{ mg PAK / mg DOC}$ [4]. In dieser Studie wurde zwecks einer hohen Diclofenac Elimination eine Dosierung von $3 \text{ mg PAK / mg DOC}$ gewählt.
 - Vom VSA wird eine Ozon-Dosiermenge von $0.4-0.7 \text{ mg O}_3 / \text{mg DOC}$ empfohlen [6]. Für diese Studie wurde eine Dosiermenge von $0.6 \text{ mg O}_3 / \text{mg DOC}$ gewählt.
 - Für alle Varianten werden Untergeschosse mit Vorlagebecken für Hebewerke, Pumpenkeller sowie Spül- und Schlammwasserbecken in Betonbauweise geplant.
-

4.4 Kostenermittlung

Die **Investitionskosten** wurden anhand von Richtofferten verschiedener Lieferanten und Anlagenbauer sowie Kostenfaktoren von ähnlichen Projekten ermittelt. Baukubaturen, Flächen, Rohrleitungslängen usw. wurden berücksichtigt und in die Berechnungen einbezogen. Eine detaillierte Darlegung zur Auslegung und Ermittlung der Investitionskosten ist im Anhang aufgeführt.

Die **Betriebskosten** einer EMV-Anlage setzen sich im Wesentlichen aus den Kosten der eingesetzten Betriebsmittel sowie Stromkosten für den Betrieb der Hebewerke und Filtrationsanlagen zusammen. Bei einer Ozonung fallen zusätzlich Stromkosten für den Betrieb der Ozongeneratoren an. Zur Ermittlung der Betriebskosten wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die Betriebskosten wurden in allen Fällen mit Q_{mittel} gerechnet.
- Es wurde ein Strompreis von 0.27 CHF / kWh angenommen.
- Der Strombedarf für die Hebewerke wurde anhand der Fördermenge- und Höhe ermittelt (via Gesamtwirkungsgrad). Bei allen Verfahrensvarianten wurde aufgrund von Planskizzen eine Förderhöhe von 10m angenommen (Tuchfiltration ausgenommen). Bei der Tuchfiltration wurde eine Förderhöhe von 6m angenommen.
- Für PAK und GAK verfahren wurde der gleiche Kohleverbrauch angenommen. Die Kosten wurden mit einem Einheitspreis von 3.5 CHF / kg (PAK oder GAK) berechnet.
- Für die Verfahrensvariante PAK Dosierung + Tuchfilter wurde berücksichtigt, dass zusätzlicher Schlamm entsorgt werden muss. Dabei wurde angenommen, dass pro kg dosierte PAK, 1.5 kg zusätzlicher Schlamm produziert wird [8].
- Der Strombedarf für den Betrieb der Filteranlagen (Rückspülungen, Betrieb der Gebläse, etc.) wurde anhand des Faktors 4 kWh/ E_{ang} /a [9] berechnet. Bei der Verfahrensvariante PAK Dosierung + Tuchfilter (in Tabelle 5 mit * markiert) konnte der jährliche Strombedarf der Richtofferte entnommen werden.
- Der jährliche Ozonbedarf wurde anhand der DOC-Fracht und O_3 Dosiermenge analog zu den vorangehenden Auslegungen in Kapitel 4 berechnet.
- Zur Ozonerzeugung wurde ein Strombedarf von 10 Wh/g O_3 angenommen. Zudem wurde angenommen, dass 8.3 g O_2 /g O_3 benötigt werden.
- Für die Sauerstoffkosten wurde für ARA 1 mit einer PSA-Anlage (pressure swing adsorption) ein Kostenfaktor von 1 CHF / kg O_2 angenommen. Für ARA 2 mit der Flüssigsauerstofflagerung wurde ein Kostenfaktor von 0.2 CHF / kg O_2 angenommen.
- Personal- und Ersatzteilkosten (Wartung und Unterhalt) wurden berücksichtigt. Dazu wurden 1.5 % der durchschnittlichen Kosten für Ausrüstung + Bau der Verfahrensvarianten von ARA 1 bzw. ARA 2 berechnet.
- Zur Überwachung der Eliminationsleistung wurden pauschale Laborkosten berücksichtigt (6 Messungen pro Jahr à ca. 1600 CHF).

5 Kosten

5.1 Investitionskosten

Die Kostengenauigkeit beträgt +/- 20% mit Preisbasis Januar 2023. Im Folgenden sind die Investitionskosten für die verschiedenen Varianten auf den betrachteten ARA in Tabellen 3 und 4 dargestellt.

Für die kleinere ARA 1 belaufen sich die durchschnittlichen spezifischen Investitionskosten auf 1260 CHF/E_{ang}. Für die grössere ARA 2 belaufen sich diese auf 605 CHF/E_{ang}. Generell sind Skaleneffekte für grössere Anlagen zu beobachten (geringere spezifische Investitionskosten für grössere Anlagen). Unter den Verfahrensvarianten ergeben sich deutliche Unterschiede in den Investitionskosten. Kostenunterschiede sind auch zwischen Varianten in GFK- und Stahltanks sichtbar. Hierbei haben die Richtangebote der unterschiedlichen Lieferanten einen erheblichen Einfluss. GAK-Filtrationen fallen gegenüber Ozonanlagen in dieser Studie allgemein teurer aus. Aufgrund der hohen hydraulischen Aufenthaltszeit bei GAK-Verfahren, weisen diese einen hohen Platzbedarf auf, was sich wiederum auf höhere Bauvolumina auswirkt. Der Variantenvergleich für die grössere ARA 2 hat gezeigt: Varianten in Betonbauweise können allgemein kompakter gebaut werden als die modulare Anordnung von standard-Industrietanks. Die Bauweise in standard-Industrietanks erweist sich unter den angenommenen Bedingungen (Redundanz, minimale hydraulische Aufenthaltszeit, Einhausung, etc.) teurer als eine konventionelle Bauweise. Für die kleinere ARA 1 hat sich gezeigt, dass eine modulare Bauweise in standard-Industrietanks hinsichtlich des Platzbedarfs, eine Alternative darstellen kann (siehe Anhang).

Tabelle 3: Gerundete Investitionskosten der Verfahrensvarianten für ARA 1 (Preisbasis Januar 2023, exkl. MwSt.)

ARA 1	PAK in Biologie + Tuchfilter	GAK-Filter in GFK-Tanks	GAK-Filter in Stahltanks	Ozonung + Sandfilter in GFK-Tanks	Ozonung + Sandfilter in Stahltanks
Allgemeine Arbeiten (Baunebenkosten + Honorare + Spezialisten) (CHF)	349'700	706'200	460'400	637'600	579'900
Abbruch und Umgebungsarbeiten (CHF)	98'500	111'000	109'000	99'500	99'500
Bau + Ausrüstung EMV-Stufe (CHF)	940'290	2'353'800	1'372'500	2'090'770	1'860'000
EMSRL / HLK / Sanitär (CHF)	145'000	75'000 * ²	145'000	115'000 * ²	145'000
Reserven 10% (exkl. Bau + Ausrüstung) (CHF)	59'300	89'200	71'400	85'200	82'400
Total (CHF)	1'592'800	3'335'200	2'158'300	3'028'100	2'766'800
Spez. Investitionskosten (CHF/E _{ang})	780	1'630	1'060	1'480	1'360

² Diese EMSRL Position wurde geringer abgeschätzt, da EMSRL Kosten bereits in Richtofferte teilweise enthalten war

Tabelle 4: Gerundete Investitionskosten der Verfahrensvarianten für ARA 2 (Preisbasis Januar 2023, exkl. MwSt.)

ARA 2	GAK-Filter in GFK-Tanks	GAK-Filter in Stahltanks	GAK-Filter in Beton	Ozonung + Sandfilter in Beton
Allgemeine Arbeiten (Baunebenkosten + Honorare + Spezialisten) (CHF)	1'187'600	741'900	674'400	596'900
Abbruch und Umgebungsarbeiten (CHF)	115'000	115'000	150'000	160'000
Bau + Ausrüstung EMV-Stufe (CHF)	4'275'400	2'492'500	2'187'500	1'867'500
EMSRL / HLK / Sanitär (CHF)	105'000 * ³	195'000	195'000	195'000
Reserven (exkl. Bau + Ausrüstung) (CHF)	140'800	105'200	101'900	95'200
Total (CHF)	5'823'800	3'649'600	3'308'800	2'914'600
Spez. Investitionskosten (CHF/E _{ang})	900	560	510	450

5.2 Kostenvergleich mit bisherigen Studien

Im Entwurf des Berichts der FHNW [4] werden zwei spezifische Kostenkurven für Anlagen mit einer Grösse von 100 bis 10'000 E_{ang} präsentiert. Eine Kostenkurve stammt aus einer Schweizer Machbarkeitsstudie von 2017 und bezieht sich hauptsächlich auf grössere Anlagen. Zudem gibt es eine Kostenkurve für GAK-Anlagen aus Deutschland. In Abbildung 1 werden die spezifischen Investitionskosten für ARA 1 und ARA 2 dargestellt und mit den Kostenkurven verglichen.

Folgende Punkte sind bei der Beurteilung zu berücksichtigen:

- Die ermittelten spezifischen Investitionskosten liegen insbesondere bei der kleineren ARA 1 deutlich höher als die beiden Kostenkurven. Bei der grösseren ARA 2 stimmen die Kosten gut mit der gestrichelten Kurve (Schweizer Machbarkeitsstudie) überein.
- Zur Ermittlung von Investitionskosten im gesamtschweizerischen Kontext wird empfohlen, ab 5000 E_{ang} mit der Kostenkurve der Schweizer Machbarkeitsstudie zu rechnen. Für Anlagen kleiner als 5000 E_{ang} wird empfohlen, die vertikal verschobene, **rote Synthesekurve** zu berücksichtigen.
- Ausführungsstandard und Redundanzen entsprechen in dieser Studie dem CH-Standard. Ein Vergleich zu Projekten in Deutschland zeigt hier Unterschiede: Zum Beispiel wurde in dieser Studie ein Pumpensumpf mit redundanten, trocken aufgestellten Pumpen berücksichtigt. Im Gegensatz dazu wurde bei einem Projekt in Deutschland lediglich eine Tauchpumpe in den

³ Diese EMSRL Position wurde geringer abgeschätzt, da EMSRL Kosten bereits teilweise in Richtofferte enthalten war

Ablaufkanal für die Beschickung der EMV-Stufe gestellt. Insbesondere bei der kleinen ARA 1 fällt dies ins Gewicht.

- Um eine hohe Elimination von Diclofenac mittels GAK-Filtration zu erreichen, wurden die GAK-Filter auf eine Aufenthaltszeit von 30 min ausgelegt. Bisherige Anlagen in der Schweiz und auch in Deutschland sind eher auf 20-24 min ausgelegt.
- Teuerung: Die aktuelle Kostenschätzung basiert auf aktuellen Preisen (aktuelle Richtangebote, aktuelle Referenzprojekte oder hochgerechnete Erfahrungskosten). Über die letzten 2 Jahre liegt die Teuerung im Durchschnitt bei ~ 15%.
- Aufgrund des bestehenden Layouts war bei ARA 2 das Einbinden in die bestehende Anlage einfacher (weniger Umgebungsarbeiten, geringere Erschliessungsdistanzen)

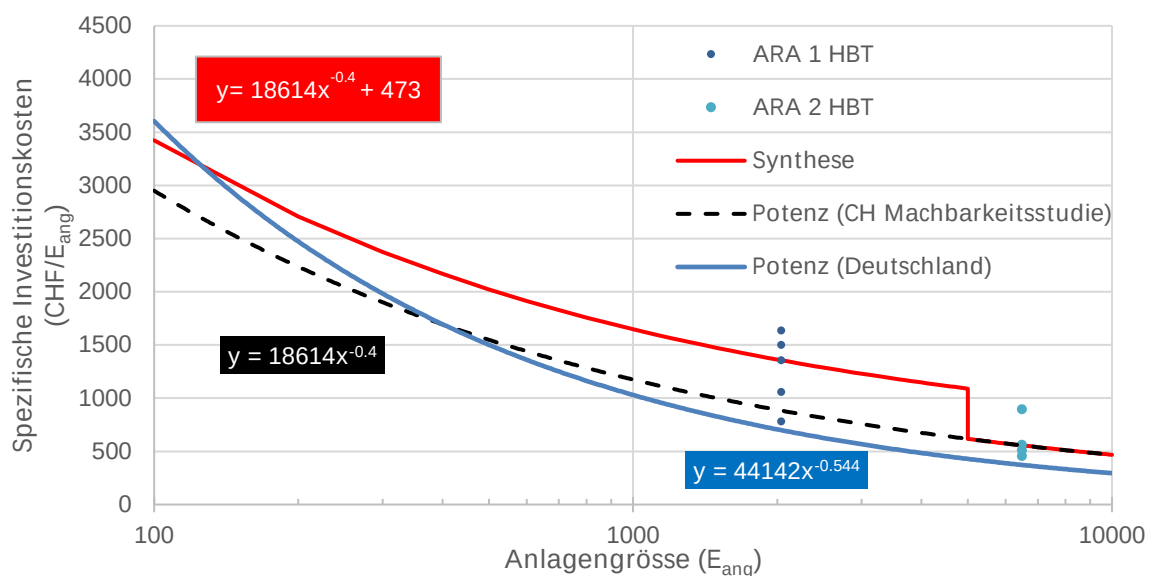


Abbildung 1: Vergleich der spezifischen Investitionskosten von ARA 1 (dunkelblaue Punkte) und ARA 2 (hellblaue Punkte) mit den Kurven der spezifischen Investitionskosten aus einer Schweizer Machbarkeitsstudie (2017) (schwarz gestrichelt) und realisierten GAK-Vergleichsanlagen in Deutschland (blau) (FHNW-Studie [2]).

5.3 Betriebskosten

Tabelle 5 und Tabelle 6 vergleichen die jährlichen Betriebskosten der betrachteten Verfahrensvarianten für ARA 1 bzw. ARA 2 auf einer Preisbasis von Januar 2023.

Die Betriebskosten für die Verfahrensvarianten auf der kleineren ARA 1 belaufen durchschnittlich auf 24 CHF/E_{ang}/a. Bei der grösseren ARA 2 auf 18 CHF/E_{ang}/a.

Es ist ersichtlich, dass die spezifischen Betriebskosten von ARA 1 allgemein höher sind als diejenigen von ARA 2, womit auch bei den Betriebskosten Skaleneffekte zu beobachten sind.

Betriebsmittelkosten für Verfahrensvarianten mit einer Ozonung fallen deutlich tiefer aus als für PAK oder GAK verfahren. Dies deckt sich mit der Erfahrung aus dem Betrieb von EMV-Anlagen in der Schweiz. Allerdings werden die Betriebskosten bei allen Verfahrensvarianten durch die Positionen «Labor» und «Wartung und Unterhalt» dominiert, welche für alle Verfahrensvarianten einer ARA gleich sind.

Tabelle 5: Gerundete Betriebskosten der Verfahrensvarianten für ARA 1

ARA 1	PAK in Biologie + Tuchfilter	GAK-Filter in GFK-Tanks	GAK-Filter in Stahltanks	Ozonung + Sandfilter in GFK-Tanks	Ozonung + Sandfilter in Stahltanks
PAK (CHF/a)	7'950				
Schlamm Entsorgung (CHF/a)	3'130				
GAK (CHF/a)		7'950	7'950		
Strom für O ₃ -Generatoren (CHF/a)				1'230	1'230
Sauerstoff (CHF/a)				3'780	3'780
Strom Hebewerk (CHF/a)	890	1'460	1'460	1'460	1'460
Strom Filtration (CHF/a)	160 ^{4*}	2'200	2'200	2'200	2'200
Labor Spurenstoff-Analyse (CHF/a)	10'000	10'000	10'000	10'000	10'000
Wartung- und Unterhalt inkl. Personal (CHF/a)	27'730	27'730	27'730	27'730	27'730
Total (CHF/a)	49'860	49'340	49'340	46'400	46'400
Spezifische Betriebskosten (CHF/E _{ang} /a)	24.4	24.2	24.2	22.75	22.75

⁴ Im Gegensatz zu den anderen Verfahrensvarianten, konnte der jährliche Strombedarf einer Richtofferte entnommen werden und wurde nicht anhand des Faktors von 4 kWh/E_{ang}/a [9] berechnet.

Tabelle 6: Gerundete Betriebskosten der Verfahrensvarianten für ARA 2

ARA 2	GAK-Filter in GFK-Tanks	GAK-Filter in Stahltanks	GAK-Filter in Beton	Ozonung + Sandfilter in Beton
GAK (CHF/a)	55'630	55'630	55'630	
Strom O ₃ -Generatoren (CHF/a)				8'580
Sauerstoff (CHF/a)				5'300
Strom Hebewerk (CHF/a)	10'250	10'250	10'250	10'250
Strom Filtration (CHF/a)	7'010	7'010	7'010	7'010
Labor Spurenstoff-Analysen (CHF/a)	10'000	10'000	10'000	10'000
Wartung- und Unterhalt inkl. Personal (CHF/a)	43'170	43'170	43'170	43'170
Total (CHF/a)	126'060	126'060	126'060	84'310
Spezifische Betriebskosten (CHF/E _{ang} /a)	19.4	19.4	19.4	13



6 Fazit

Aus dieser Kostenstudie gehen folgende Aspekte hervor:

- Die Investitionskosten für die Verfahrensvarianten auf der **kleineren ARA 1** belaufen sich durchschnittlich auf **1260 CHF/Eang**. Diese Kosten liegen somit deutlich über bei den Schätzungen aus der Schweizer Machbarkeitsstudie (2017).
- Die Investitionskosten für die Verfahrensvarianten auf der **grösseren ARA 2** belaufen sich durchschnittlich auf **605 CHF/Eang**. Dieser Durchschnitt liegt nahe bei der Kostenkurve aus der Schweizer Machbarkeitsstudie (2017) und bestätigen dessen Ergebnisse.
- Die **Verfahrenswahl** hat grossen Einfluss auf die Investitionskosten. Unterschiedliche Ausführungen mit unterschiedlichen **Materialien** und Richtangebote **verschiedener Lieferanten** führen zu **Preisunterschieden**.
- Aufgrund von **unterschiedlichen** örtlichen **Gegebenheiten** werden **verschiedene** Anlagenbetreiber kostengünstigere oder kostspieligere **Verfahrensvarianten umsetzen**. Kostensteigernde Faktoren wie begrenzter Platz oder ungünstige Baugrundverhältnisse können die Investitionskosten zudem erhöhen.
- Zur Ermittlung von **Investitionskosten im gesamtschweizerischen Kontext** wird empfohlen, für Anlagen ab 5000 E_{ang} mit der Kostenkurve der Schweizer Machbarkeitsstudie (2017) zu rechnen. Für Anlagen kleiner als 5000 E_{ang} wird empfohlen, eine **vertikal korrigierte Kostenkurve** zu berücksichtigen.
- Investitionskosten aus dieser Studie liegen allgemein deutlich **höher als** Referenzanlagen in **Deutschland**. Ursachen für diese Kostenunterschiede sind unterschiedliche **Ausführungsstandards, Anforderungen** an eine EMV-Stufe bzgl. **Redundanzen und Reinigungsleistungen** sowie **Teuerung**
- Die in der **Schweiz hohen Anforderungen** an die zu behandelnde **Wassermenge bei Regenwetter** ($Q_{dim} = \text{ca. } 2 \times Q_{TW,max}$) führen dazu, dass Verfahrenstechnische Lösungen insbesondere in modularer Bauweise (standard-Industrietanks) **grössere räumliche Dimensionen** aufweisen als eine konventionelle Bauweise (besonders für Anlagen > 5000 E_{ang}). Dies geht mit **höheren Kosten** einher. Für kleine Anlagen unter 5000 E_{ang} stellt die modulare Bauweise allerdings eine valable Alternative dar.
- Die **Betriebskosten** für die Verfahrensvarianten auf der kleineren ARA 1 belaufen sich durchschnittlich auf **24 CHF /Eang/a**. Bei der grösseren ARA 2 auf **18 CHF/Eang/a**.
- Die **Betriebskosten** werden von **Wartungs- und Unterhaltskosten, Personalkosten und Laborkosten dominiert**. Betriebsmittelkosten spielen eine untergeordnete Rolle. Verfahrensvarianten mit einer **Ozonung** sind bezüglich den jährlichen Betriebsmittelkosten **günstiger** als **PAK** oder **GAK-Verfahren**.

Anhang

A1 Detaillierte Verfahrensauslegung und Kostenermittlung

Zur Ermittlung der Kosten wurden die Verfahren zuerst anhand der zuvor genannten Annahmen dimensioniert. Auf der Grundlage dieser Auslegung wurden Richtangebote für die Ausrüstung der verschiedenen Prozesse bei verschiedenen Firmen/Lieferanten eingeholt. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Unternehmen, die im Rahmen dieser Studie Richtangebote für verschiedene Anlagenkomponenten abgegeben haben.

Tabelle 7: Anlagenteile, für welche Richtangebote bei Unternehmen eingeholt wurden

Anlagenteile	Unternehmen
Tuchfilter + Ausrüstung	U1
PAK Lagerung- und Dosieranlage in Technikcontainer	U2
Filter inklusive Ausrüstung in Standard-Industrietanks (Material: GFK)	U3
Filter inklusive Ausrüstung in Standard-Industrietanks (Material: Stahl)	U4
Ozon Reaktionstanks in Standard Industrietank inkl. Ausrüstung + Ozongeneratoren in Technikcontainer	U5
Ausrüstung Betonfilter	U6

Zusätzlich wurden von den Lieferanten grobe Layouts sowie bauseitige Anforderungen angefragt. Auf der Grundlage dieser Informationen konnte Hunziker Betatech die gesamte Anlage auslegen. Dazu wurden Planskizzen erstellt, um Baukubaturen für Beton/Stahlbau, Rohrlängen und Flächen für Vorplätze/Zufahrten etc. abschätzen zu können. Durch Multiplikation mit spezifischen Kostenfaktoren (Erfahrungswerte von Hunziker Betatech, inklusive der Berücksichtigung der Teuerung bis Januar 2023) konnten die Baukosten geschätzt werden (Kostengenauigkeit +/- 20%).

Die Systemgrenzen zur Kostenermittlung durch Hunziker Betatech bzw. externe Lieferanten sind in den Verfahrensschemata in den folgenden Abschnitten definiert. Im Folgenden werden die einzelnen Verfahrensvarianten sowie Ermittlung der Investitions- und jährlichen Betriebskosten detailliert beschrieben.

A 1.1 Varianten ARA 1

A 1.1.1 PAK-Dosierung in Biologie + Tuchfilter

Verfahren

Bei diesem Verfahren wird die PAK in die Biologie dosiert und die Spurenstoffe an der Oberfläche der PAK absorbiert. Die PAK mit den absorbierten Spurenstoffen werden mit dem Überschussschlamm aus dem System entfernt. Um PAK-Schlupf in den Vorfluter zu verhindern, werden nach der Nachklärung Tuchfilter in separaten Betonbecken installiert. Für die Beschickung der Tuchfilter ist ein Hebewerk erforderlich. Die Tuchfilteranlage ist mit Saugpumpen für die Abreinigung ausgestattet. Das Schlammwasser wird in die Vorklärung der Kläranlage zurückgeführt und damit der bestehenden Schlammbehandlung der Kläranlage zugeführt. Abbildung 2 zeigt das Verfahrensschema dieser

Verfahrensvariante im Detail. Das Verfahren wurde analog zu den Ausführungen in Kapitel 4 dimensioniert.

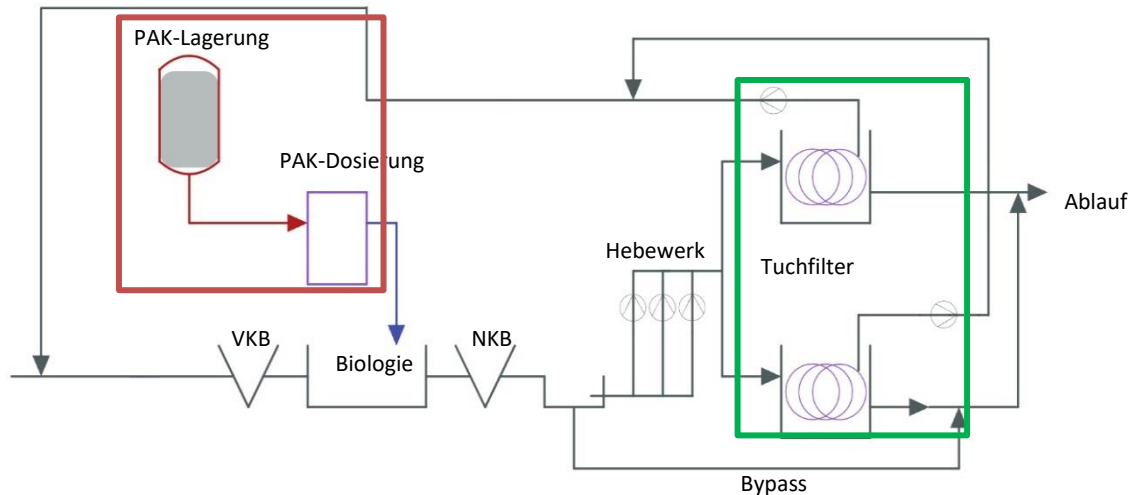


Abbildung 2: Verfahrensschema der PAK Dosierung + Tuchfiltration. Der rote und grüne Rahmen illustrieren die Systemgrenzen für die Richtoffertenanfragen für die Ausrüstungen der entsprechenden Anlagenteile.

Abbildung 3 zeigt den PAK-Bedarf für $Q_{\min}$, Q_{mittel} und $Q_{\max}$ in einer kumulierten Verteilung. Um den PAK-Bedarf in 90 % der Fälle decken zu können, wurde die Dosieranlage daher für einen Bereich von 0,1 kg PAK/h – 1 kg PAK/h ausgelegt. Diese geringe Dosiermenge ermöglicht die Installation einer kompakten Dosieranlage (Containerlösung) auf dem Gelände der Kläranlage mit PAK-Wechselsilos. Der gesetzliche GUS-Grenzwert für die Einleitung in Vorfluter für die ARA 1 beträgt 15 mg/l. Bei Q_{dim} (30 l/s) und einer maximalen GUS-Konzentration von 15 mg GUS / l sollen die Tuchfilter auf eine maximale GUS-Fracht von: $30 \text{ l/s} \cdot 15 \text{ mg GUS / l} = 450 \text{ mg GUS / s} = 1.62 \text{ kg GUS / h}$ ausgelegt sein.

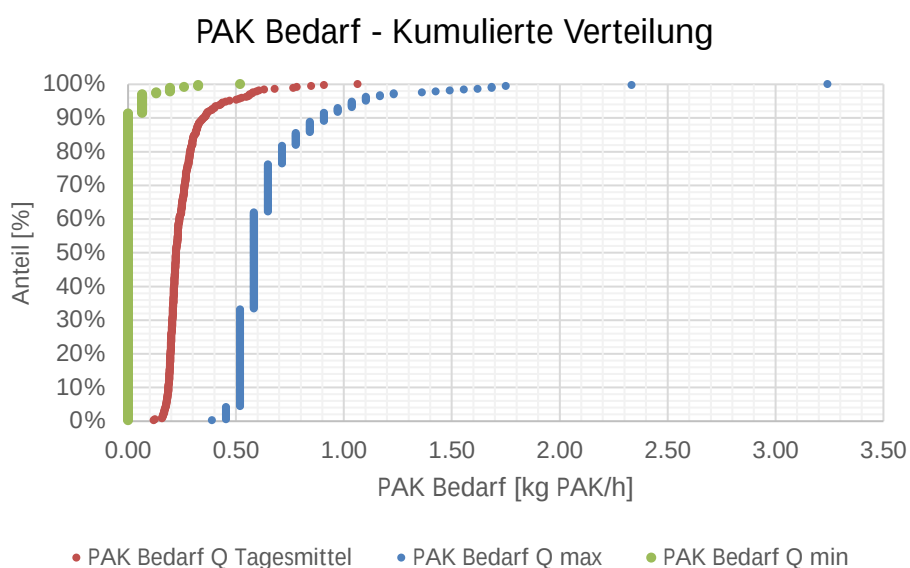


Abbildung 3: Kumulierte Verteilung des PAK-Bedarfs von ARA 1 anhand von $Q_{\min}$, Q_{mittel} und $Q_{\max}$

Kostenermittlung

Um die Kosten des PAK-Verfahrens zu ermitteln, wurde eine Richtofferte für die PAK-Lagerung und Dosieranlage sowie Tuchfilterausrüstung eingeholt. Den Anbietern wurden die oben aufgeführten Dimensionierungsanforderungen sowie Systemgrenzen angegeben (Rot für PAK Lagerungs- und Dosieranlage und Grün für Tuchfilter + Ausrüstung). Auf der Grundlage dieser Richtofferten wurden Planskizzen angefertigt, um analog zum beschriebenen Vorgehen in Baukosten abzuleiten. Abbildung 8 zeigt Grundrisse des Erd- und Untergeschoss sowie einen der Tuchfilteranlage. Eine Gesamtübersicht der Anlage inklusive Verbindungsrohrleitungen sind in einem Situationsplan in Abbildung 9 dargestellt. Anhand dieser Situationspläne wurden Längen für Rohrleitungen sowie Einfriedungen abgeleitet.

A 1.1.2 GAK-Filtration in Standard-Industrietanks

Verfahren

Bei der GAK-Filtration werden Spurenstoffe an der Oberfläche der Aktivkohle absorbiert, die in granulierter Form mit einem Filterbett vorliegt. Die GAK-Filter werden mittels eines Hebewerks mit Wasser aus der Nachklärung beschickt. Da GUS im Wasser das GAK-Filterbett verstopfen können, müssen die GAK-Filter analog einem Sandfilter regelmäßig mit Wasser und Luft rückgespült werden. Das dabei anfallende Schlammwasser wird über ein Schlammwasserbecken zurück in das Vorklärbecken und somit der Schlammbehandlung der Kläranlage geleitet. Das Verfahren ist schematisch in Abbildung 4 dargestellt. Das Verfahren wurde analog zu den vorherigen Ausführungen in dimensioniert.

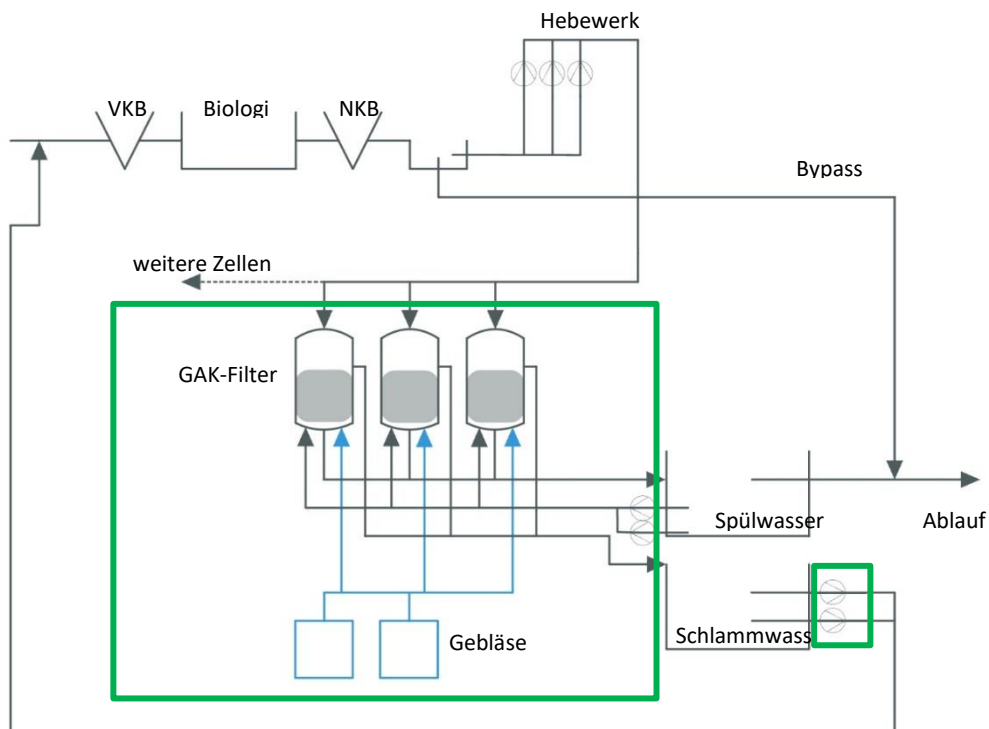


Abbildung 4: Verfahrensschema GAK Filtration. Die grün markierten Bereiche definieren die Systemgrenze für die Richtoffertenanfrage.

Kostenermittlung

Um die Kosten der GAK-Filtration in Standard-Industrietanks zu ermitteln, wurden zwei Richtofferten von Anbietern solcher Filtersysteme in Standardtanks eingeholt. Die Aufenthaltszeit von 30 min und das Kriterium n-1 bei Q_{dim} wurden angegeben. Die genaue Auslegung des Filtersystems (Anzahl der Zellen, Tankdurchmesser, Filterbetthöhe, etc.) wurde den Auftragnehmern überlassen.

Die Systemgrenze für die Auslegung der Filtration wurde für die Anbieter ab Ablauf Hebewerk definiert (grüner Rahmen in Abbildung 4), damit beide Richtofferten vergleichbar sind. Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen Planskizzen und einen Situationsplan der GAK Filteranlage nach Layout von U3. Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen analog Planskizzen für das Anlagenlayout anhand von Unternehmer U4. Im Richtangebot von U4 wurden mehr Standardtanks mit einem flacheren GAK Filterbett und jeweils zwei Filter in Serie angeboten. Da in der Variante U3 in einem Spülzyklus zwei Filter rückgespült werden müssen, fielen die Volumina der Spül- und Schlammwasserbecken insgesamt grösser aus. Tabelle 8 vergleicht die Auslegungen der Unternehmen U3 und U4. Anhand der Planskizzen wurden Flächen, Kubaturen, Längen ermittelt, um Baukosten mit spezifischen Kostenfaktoren zu Betonbau, Stahlbau, Rohrleitungen, etc. zu berechnen.

Tabelle 8: Vergleich der Auslegungen der GAK-Filter in Standard-Industrietanks von U3 und U4

Anlagenteil	Auslegung U3	Auslegung U4
Anzahl GAK Tanks	4	8 (serieller Betrieb von 2 Zellen in einer Strasse = 4 Strassen)
Material GAK Tanks	Stahl (beschichtet)	GFK
Tankdurchmesser	2.8 m	2.2 m
GAK-Filterbetthöhe	3 m	2.3 m
Spül- und Schlammwasserbeckenvolumen	35 m ³	70 m ³

A 1.1.3 Ozonung + Sandfiltration in Standard-Industrietanks

Verfahren

Bei der Ozonung werden Spurenstoffe in einem Kontaktreaktor (in dieser Variante in Form von Standard-Industrietanks) zu biologisch abbaubaren Reaktionsprodukten oxidiert. Nach dem Ozon Kontaktreaktor wird das behandelte Wasser über einen biologisch aktiven Sandfilter geleitet, wo die Reaktionsprodukte der Ozonung abgebaut werden. Die Sandfilter werden analog zur GAK Filtration ebenfalls regelmässig rückgespült und daher werden neben den Filterzellen in standard-Industrietanks ebenfalls Spül- und Schlammwasserbecken mit entsprechender Ausrüstung benötigt (Spülwasserpumpen, Schlammwasserpumpen, Gebläse, etc). Das Verfahren ist schematisch in Abbildung 5 dargestellt. Das Verfahren wurde analog zu den vorherigen Ausführungen dimensioniert. Die Aufstellung der Ozongeneratoren wurde für diese Verfahrensvariante in einem Technikcontainer vorgesehen.

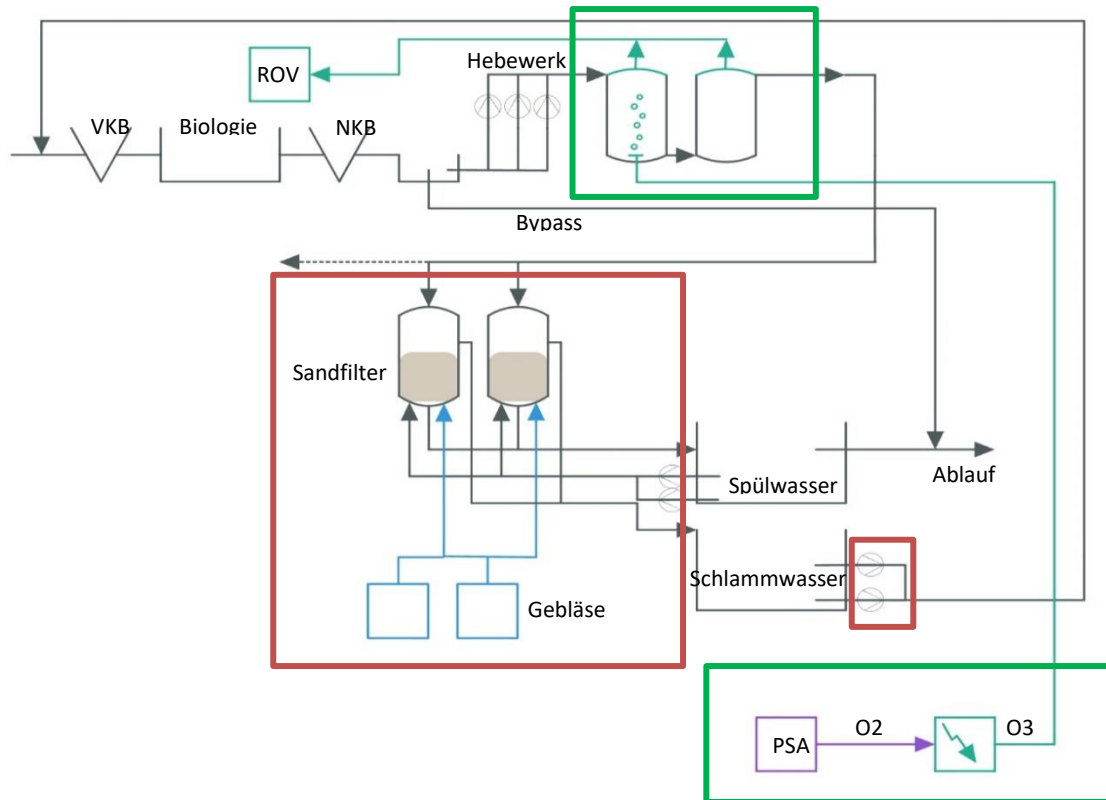


Abbildung 5: Verfahrensschema für Ozonung + Sandfilter. Die grün und Rot markierten Bereiche definieren die Systemgrenzen für die Richtoffertenanfragen.

Abbildung 6 zeigt den aus den genannten Annahmen resultierenden O₃-Bedarf für $Q_{\min}$, Q_{mittel} und $Q_{\max}$ in einer kumulierten Verteilung. Die Ozongeneratoren wurden für den häufigsten Betriebsbereich von 0.04-0.07 kg O₃ / h ausgelegt. Zudem müssen die Ozongeneratoren für eine minimale und maximale Menge von 0.02 – 0.2 kg O₃ / h ausgelegt sein. Aufgrund der kleinen erforderlichen Ozonmenge, wurde als Sauerstoffquelle eine Pressure Swing Adsorption (PSA) Lösung im Technik-Container vorgesehen (PSA = Methode zur Anreicherung von O₂ aus Umgebungsluft). Daher wird keine Lagerung von Flüssigsauerstoff auf dem ARA-Gelände nötig.

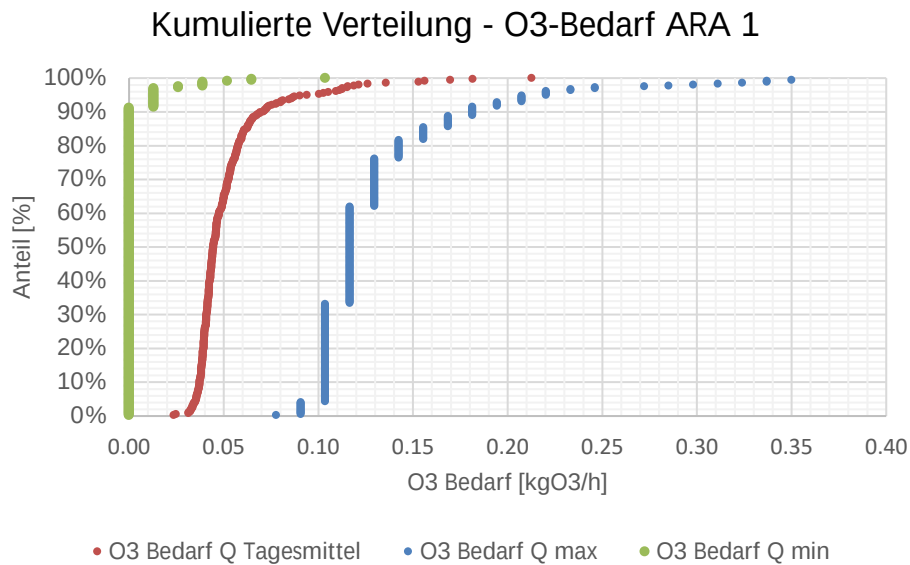


Abbildung 6: Kumulierte Verteilung des O₃-Bedarfs von ARA 1 anhand von Q_{min}, Q_{mittel} und Q_{max}

Kostenermittlung

Zur Kostenermittlung der Ozonanlage wurden für die rot, bzw. grün markierten Bereiche in Abbildung 5 Richtofferten eingeholt. Für den Ozongenerator in Aufstellung in einem standard-Technikcontainer sowie Kontaktreaktor in Standard-Industrietank wurde eine Richtofferte bei U5 angefragt. Für die Sandfiltration wurden bei U3 und U4 Lösungen in Standard-Industrietanks analog zu den GAK Filtrationsanlagen angefragt.

Abbildung 14 und Abbildung 15 zeigen Planskizzen der Ozon- und Sandfiltrationsanlage. Das Layout der Sand-Filtrationsanlage welches bei U3 und U4 eingeholt wurde, fiel sehr ähnlich aus, weshalb im Anhang nur eine Planskizze dargestellt ist. Die Anlagen unterscheiden sich bei der Filtergrösse und Dimensionierung der Spül- und Schlammwasserbecken, was Unterschiedliche Baukubaturen zur Folge hat. Tabelle 9 vergleicht die Auslegung der Sandfilter von U3 und U4.

Tabelle 9: Vergleich der Auslegungen der Sandfilter in Standard-Industrietanks von U3 und U4 für die Sandfiltration auf der ARA 1

Anlagenteil	Auslegung U3	Auslegung U4
Anzahl Sandfiltertanks	4	4
Material Sandfiltertanks	Stahl (Beschichtet)	GFK
Tankdurchmesser	2.5 m	2.2 m
Filterbetthöhe	1.5 m	2 m
Spül- und Schlammwasserbeckenvolumen	33 m ³	36 m ³

A 1.2 Varianten ARA 2

A 1.2.1 GAK-Filtration in Standard-Industrietanks

Diese Verfahrensvariante wurde analog zur GAK-Filtration in Standard-Industrietanks auf ARA 1 ausgelegt. Es wurden Richtofferten inkl. Groblayouts bei U3 und U4 eingeholt und Planskizzen und Situationspläne erstellt (Abbildung 16 und Abbildung 17). Das Layout welches bei U3 und U4 eingeholt wurde, fiel sehr ähnlich aus, weshalb im Anhang nur eine Planskizze für die Variante von U4 dargestellt ist. Die Anlagen unterscheiden sich wiederum bei der Filtergrösse und Dimensionierung der Spül- und Schlammwasserbecken, was unterschiedliche Baukubaturen zur Folge hat. Tabelle 10 vergleicht die Auslegung der GAK Filter von U3 und U4.

Tabelle 10: Vergleich der Auslegungen der GAK-Filter in Standard-Industrietanks von U3 und U4 für die auf der ARA 2

Anlagenteil	Auslegung U3	Auslegung U4
Anzahl Sandfiltertanks	10 (Parallelbetrieb)	14 (serieller Betrieb von 2 Zellen in einer Strasse = 7 Strassen)
Material Sandfiltertanks	Stahl	GFK
Tankdurchmesser	2.8 m	2.8 m
Filterbetthöhe	3 m	2.3 m
Spül- und Schlammwasserbeckenvolumen	35 m ³	100 m ³

A 1.2.2 GAK-Filtration in Betonausführung

Dieses Verfahren wurde analog zu den bereits beschriebenen GAK-Filtrationen dimensioniert, wobei die komplette Anlage in Betonbauweise vorgesehen ist (wie es bereits bei einigen EMV-Anlagen umgesetzt wurde). Die Ausrüstung der Filter (Düsenböden, Gebläse, Pumpen, Schützen, etc.) wurde bei U6 angefragt. Für die Richtoffertanfrage wurde die Systemgrenze in Abbildung 4 verwendet. Anhand der im Richtangebot enthaltenen Layouts wurden analog zu den restlichen Varianten Planskizzen und Situationspläne erstellt und Kosten abgeleitet (Abbildung 18 und Abbildung 19).

A 1.2.3 Ozonung + Sandfiltration in Betonausführung

Dieses Verfahren wurde analog zur Ozonung auf ARA 1 ausgelegt, wobei die Anlage in Betonbauweise vorgesehen ist (analog zu bereits umgesetzten Anlagen). Der Ozonbedarf wurde in einer kumulierten Verteilung anhand von $Q_{\min}$, Q_{mittel} und $Q_{\max}$ ermittelt (Abbildung 7). Anhand der Ergebnisse wurden die Ozongeneratoren auf einen häufigen Betriebsbereich von 0.2 - 0.6 kg O₃ / h, einem Minimalbedarf von 0.1 kg O₃ / h und einen Maximalbedarf von 1.2 kg O₃ / h ausgelegt. U5 hat die O₃ Generatoren ebenfalls in einem Standard-Technikcontainer vorgesehen. Aufgrund des erhöhten Sauerstoffbedarfs auf der ARA 2 wurde von U5 eine Lagerung von Flüssigsauerstoff (LOX) auf dem ARA-Gelände vorgeschlagen. Die Kosten eines Sauerstofftanks wurden in den Investitionskosten nicht berücksichtigt, da derartige Tanks auf ARA erfahrungsgemäss über entsprechende Unternehmen gemietet werden (diese Kosten werden in den Betriebskosten (Kapitel 6.2) berücksichtigt). Die Ausrüstungskosten und Layouts der Sandfilter in Betonbauweise wurden bei U6 eingeholt. Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen die Planskizzen und Situationsplan der Verfahrensvariante.

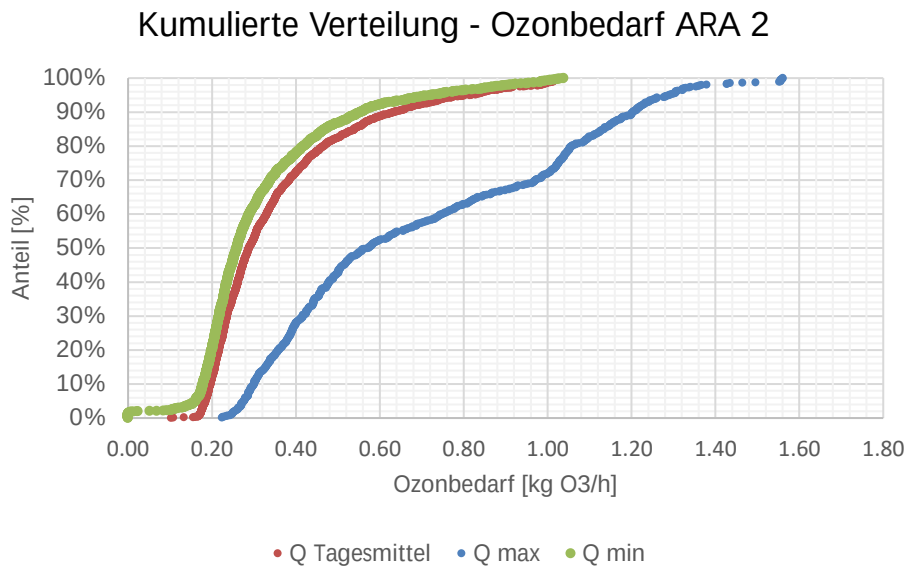


Abbildung 7: Kumulierte Verteilung des O₃-Bedarfs von ARA 2 anhand von Q_{min}, Q_{mittel} und Q_{max}

A 2 Planskizzen und Situationspläne ARA 1

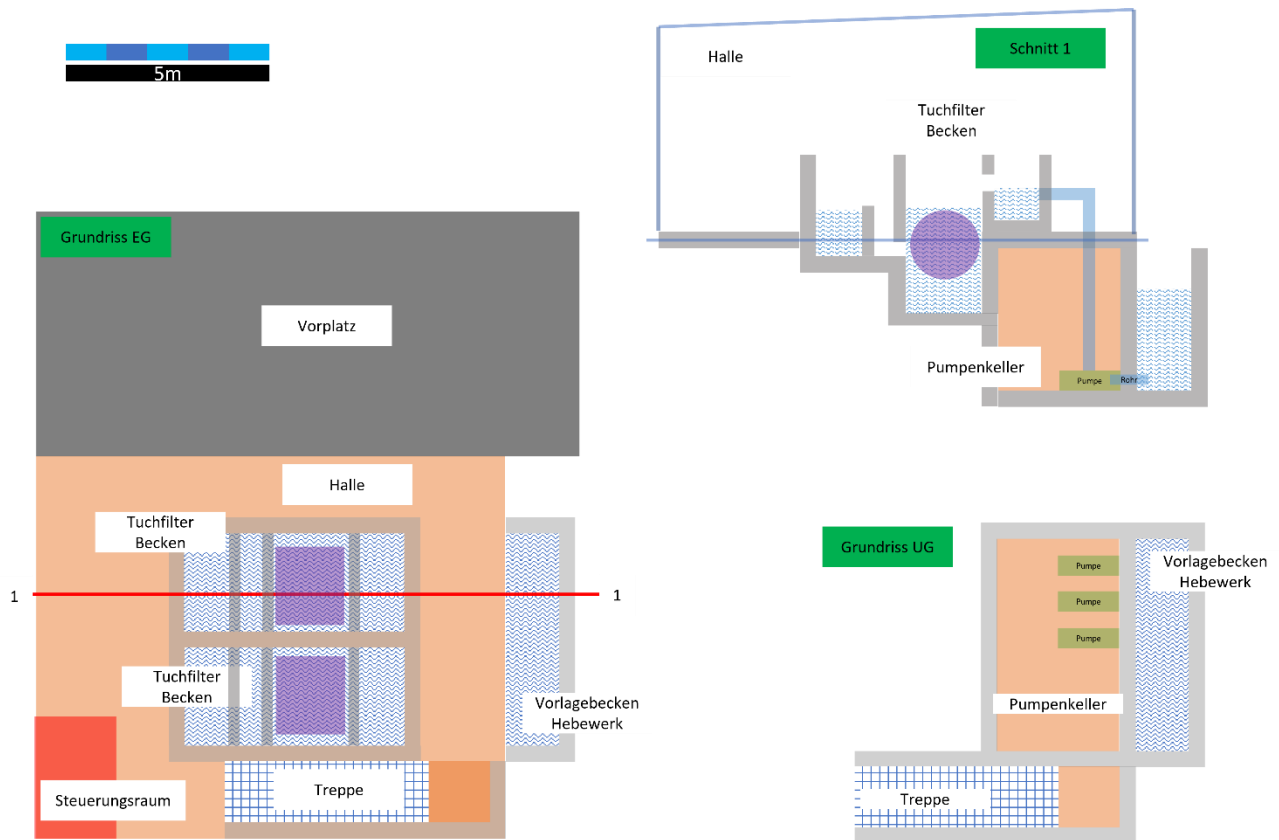


Abbildung 8: Planskizze für Erdgeschoss, Untergeschoss und Schnitt der Verfahrensvariante PAK Dosierung + Tuchfilter gemäss Auslegung von U1

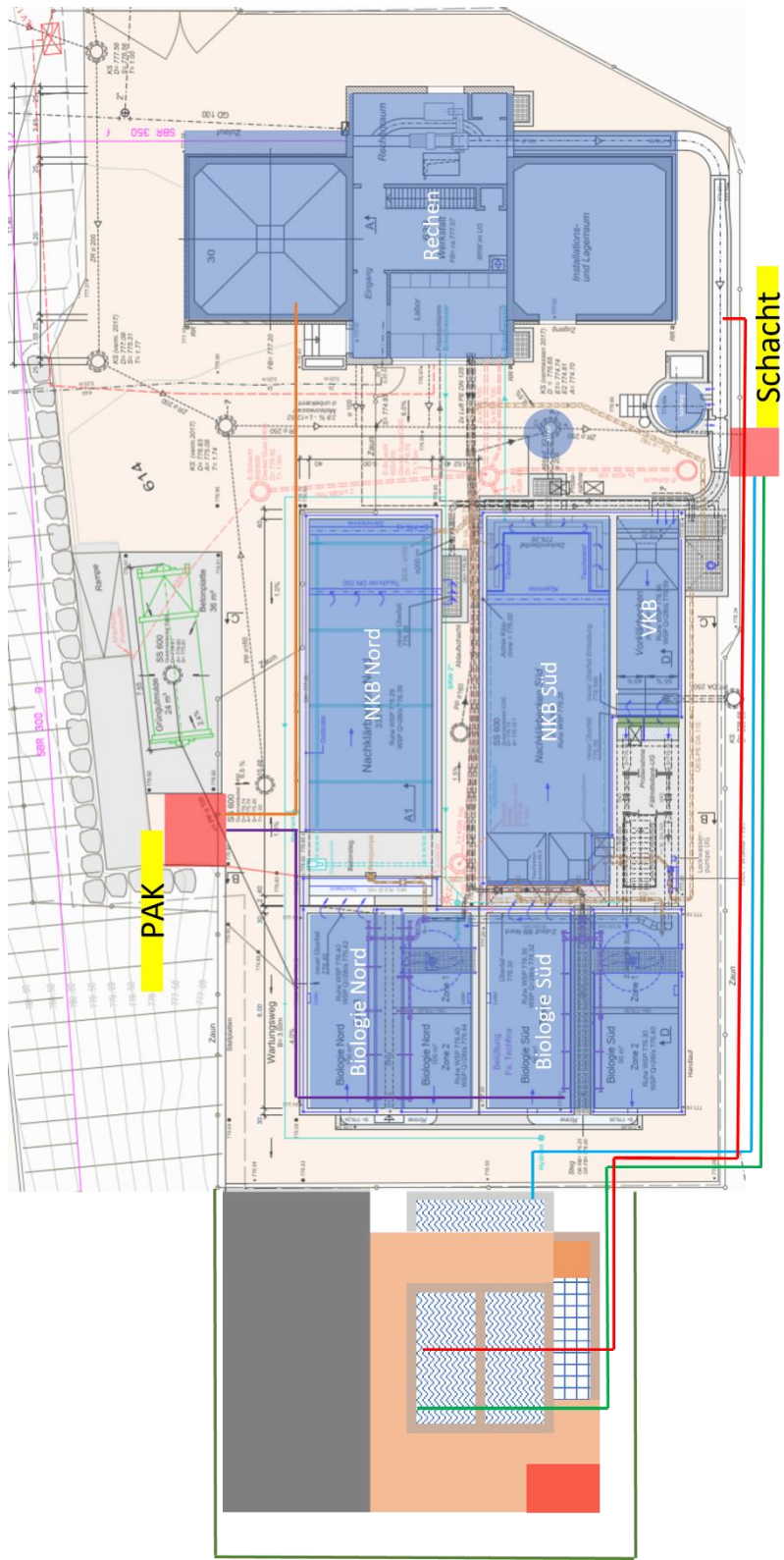


Abbildung 9: Situationsplan inkl. Rohrleitungen und Einfriedungen der Verfahrensvariante PAK Dosierung + Tuchfilter auf ARA 1

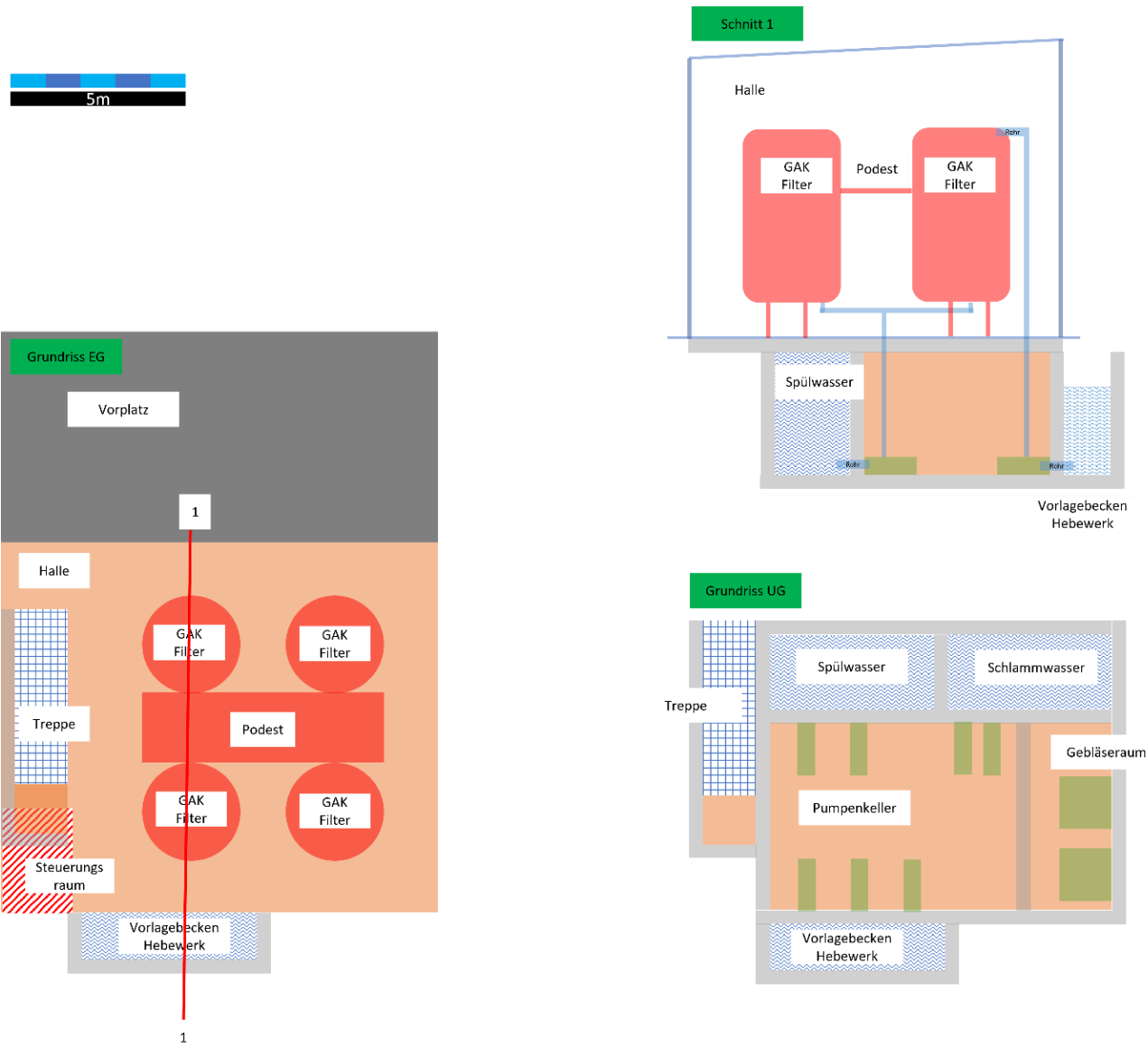


Abbildung 10: Planskizze für Erdgeschoss, Untergeschoss und Schnitt der Verfahrensvariante GAK Filtration in standard Industrietanks gemäss Auslegung von U3



Abbildung 11: Situationsplan inkl. Rohrleitungen und Einfriedungen der Verfahrensvariante GAK Filter in Stahltanks auf ARA 1

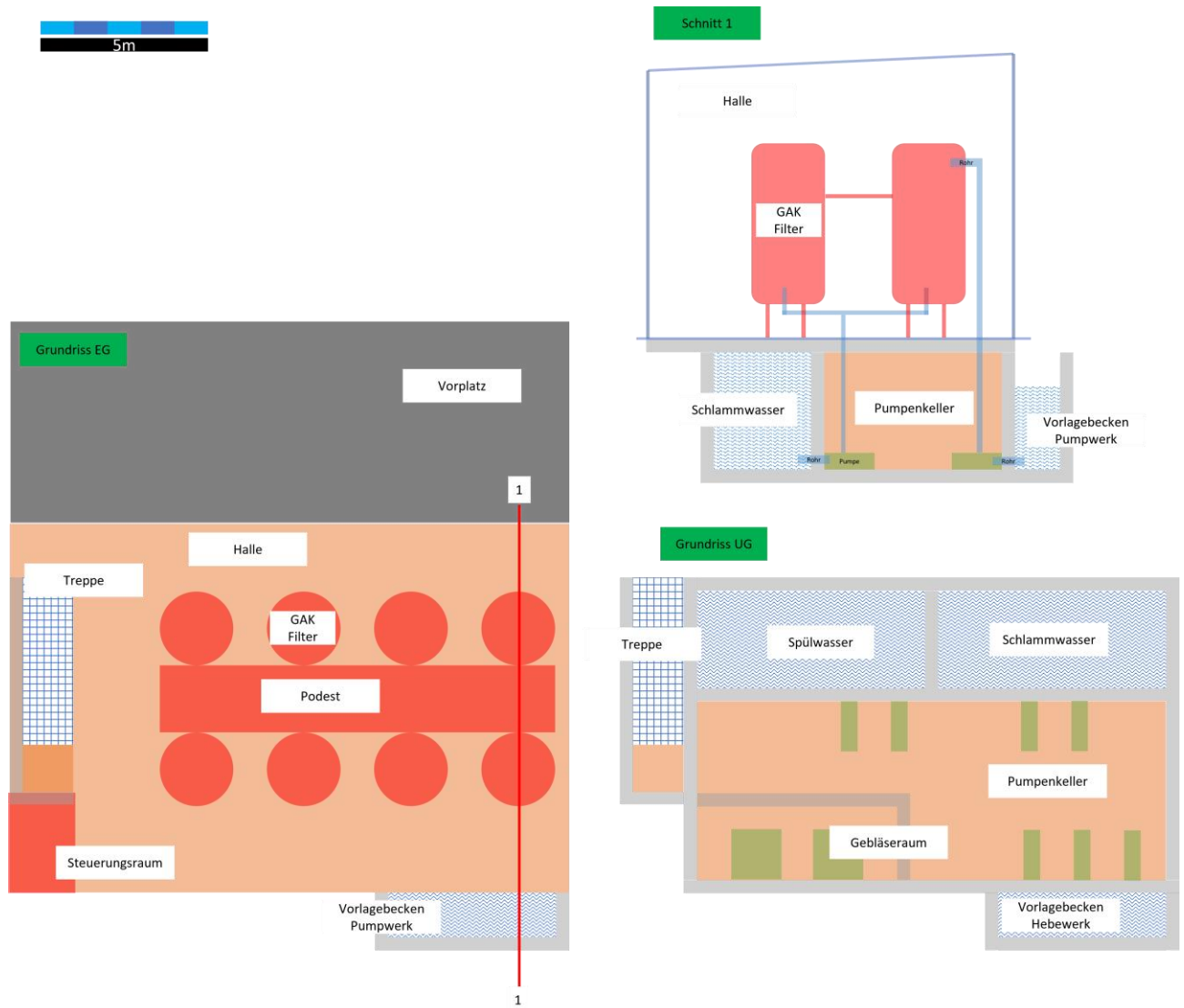


Abbildung 12: Planskizze für Erdgeschoss, Untergeschoss und Schnitt der Verfahrensvariante GAK-Filtration in standard Industrietanks gemäss Auslegung von U4

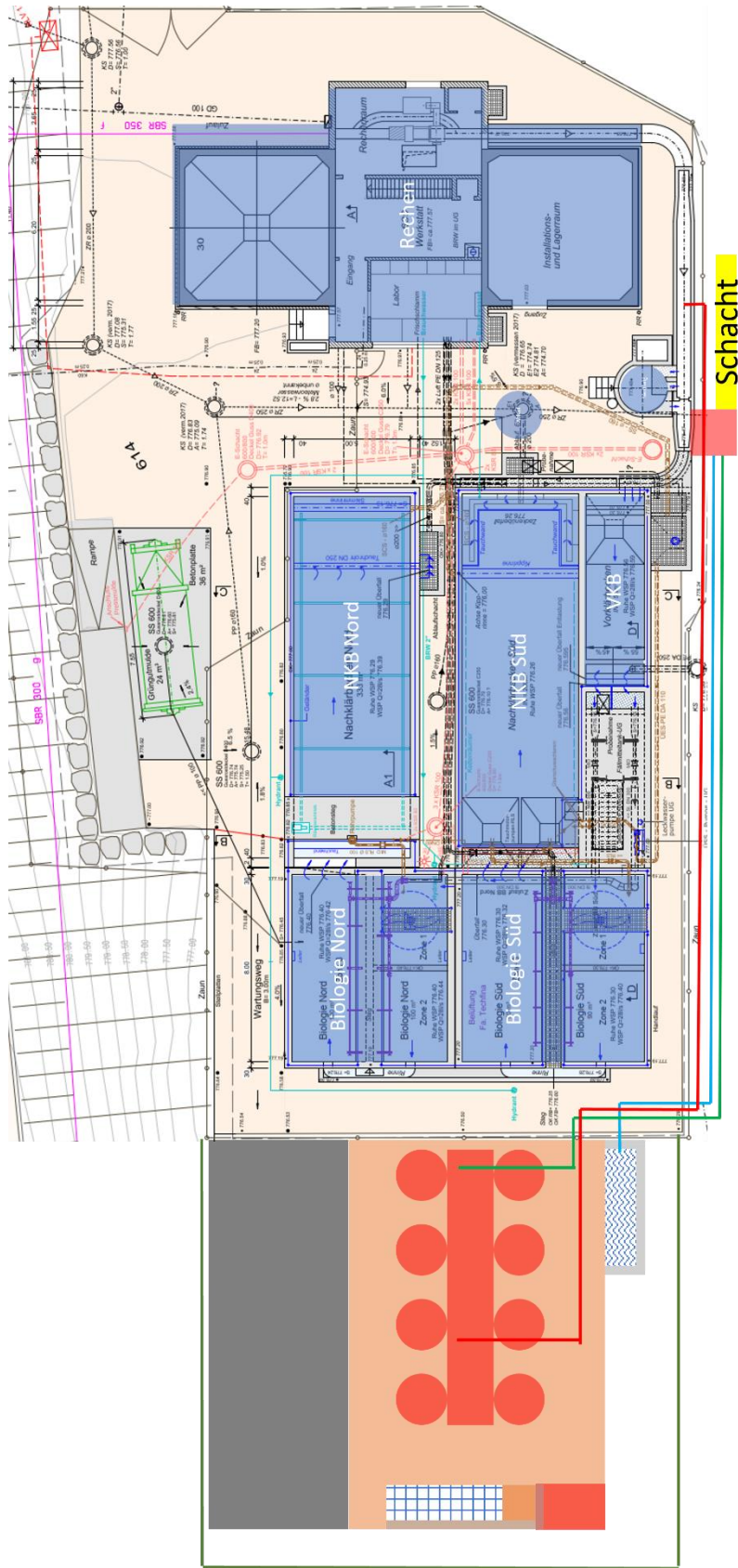


Abbildung 13: Situationsplan inkl. Rohrleitungen und Einfriedungen der Verfahrensvariante GAK Filter in GFK-Tanks auf ARA1

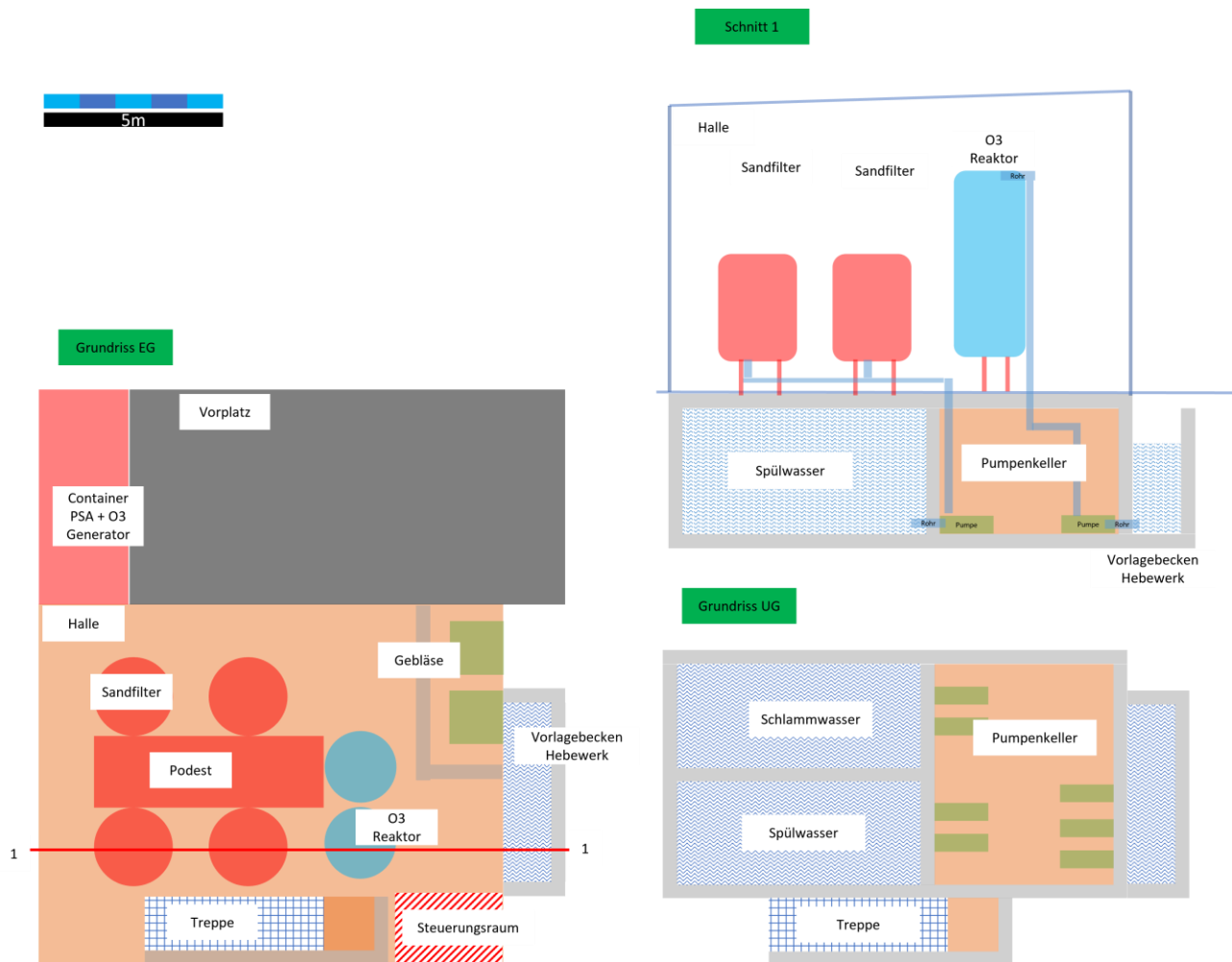


Abbildung 14: Planskizze für Erdgeschoss, Untergeschoss und Schnitt der Verfahrensvariante Ozonung + Sandfiltration in Standard-Industrietanks gemäss Auslegung von U3 (Filter) und U5 (O3 Reaktortanks)

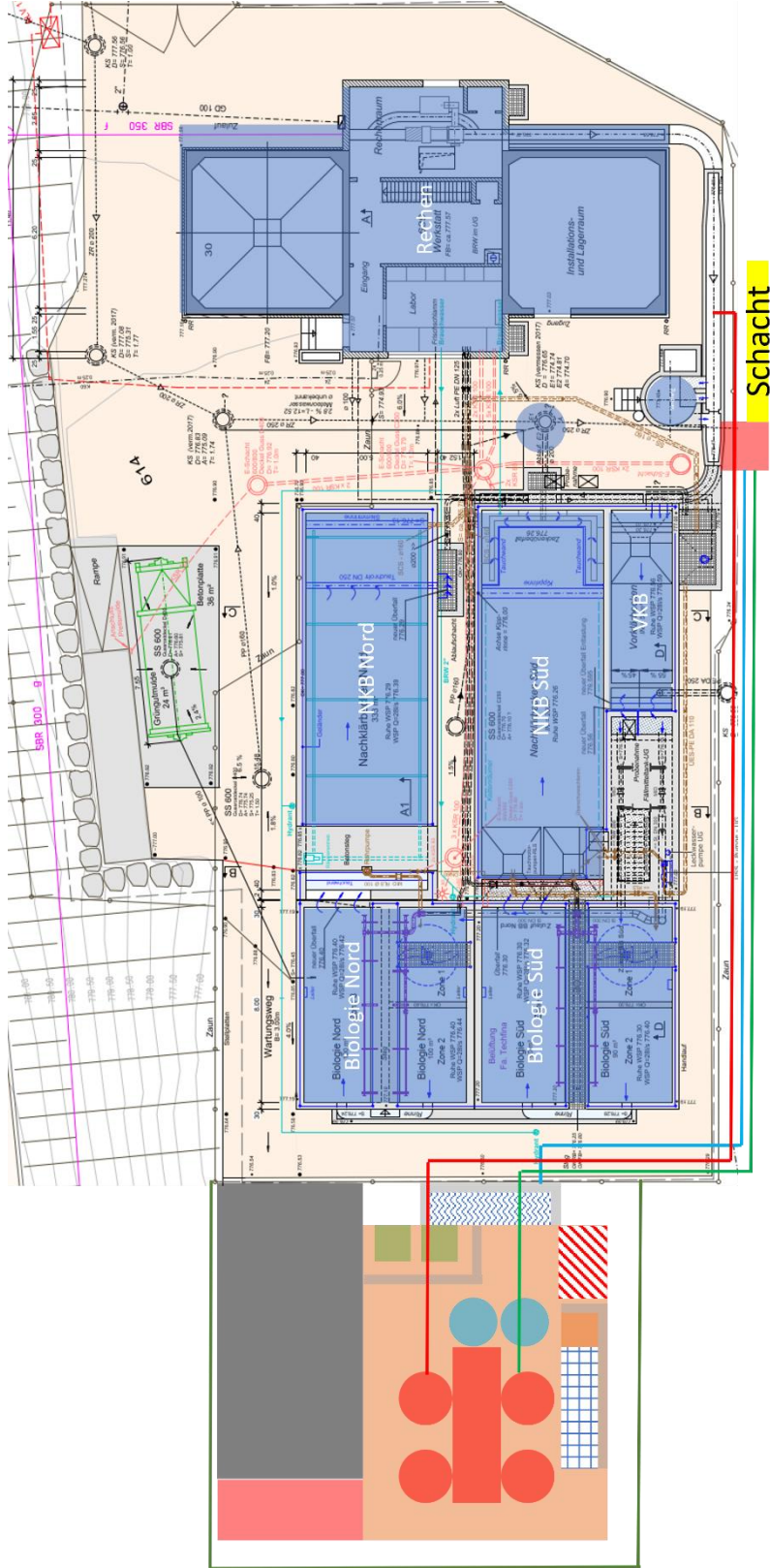


Abbildung 15: Situationsplan inkl. Rohrleitungen und Einfriedungen der Verfahrensvariante Ozonung + Sandfilter in Standard-Industrietanks auf ARA 1

A 3 Planskizzen und Situationspläne ARA 2

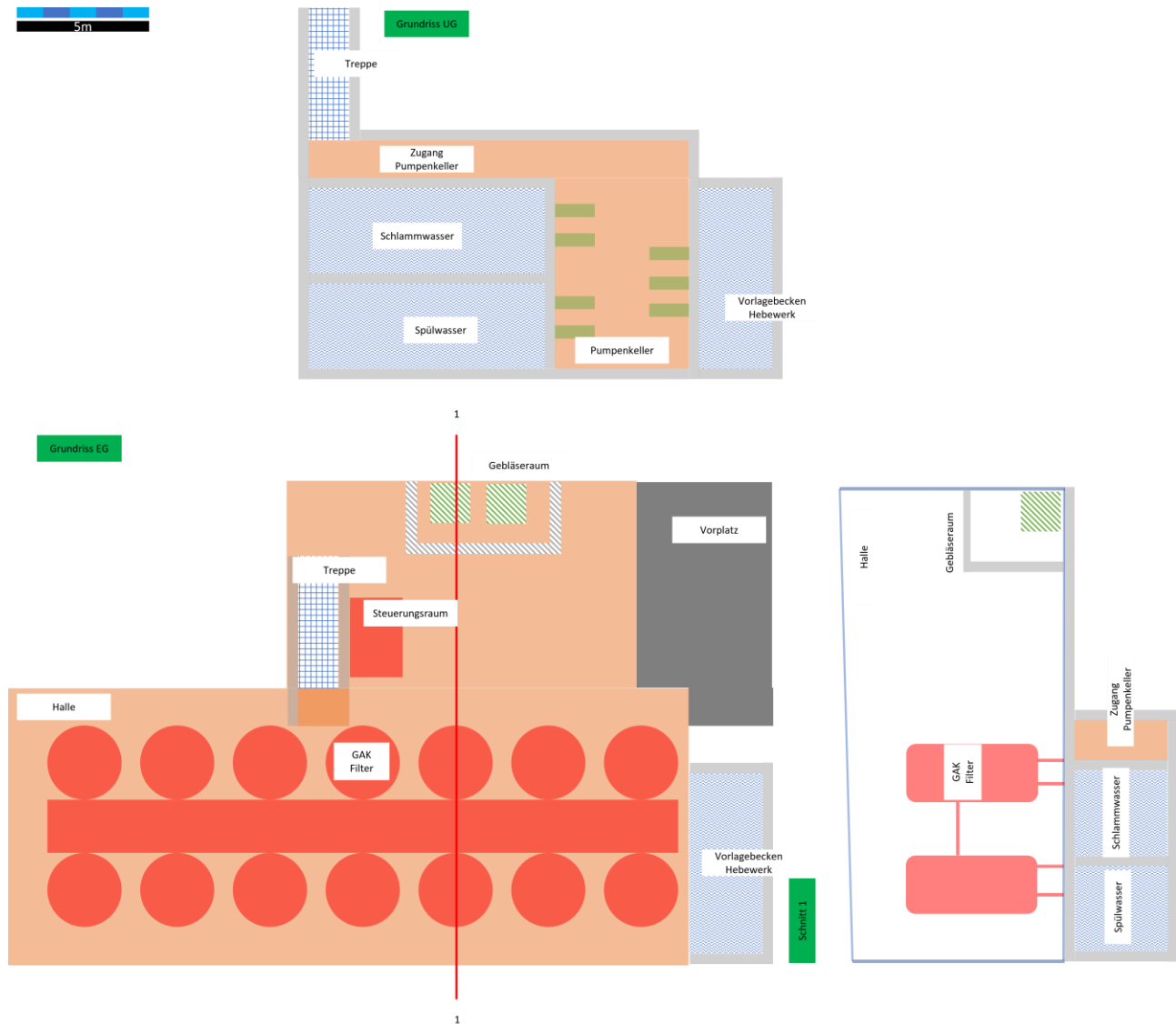


Abbildung 16: Planskizze für Erdgeschoss, Untergeschoss und Schnitt der Verfahrensvariante GAK-Filtration in standard Industrietanks gemäss Auslegung von U4 für ARA 2

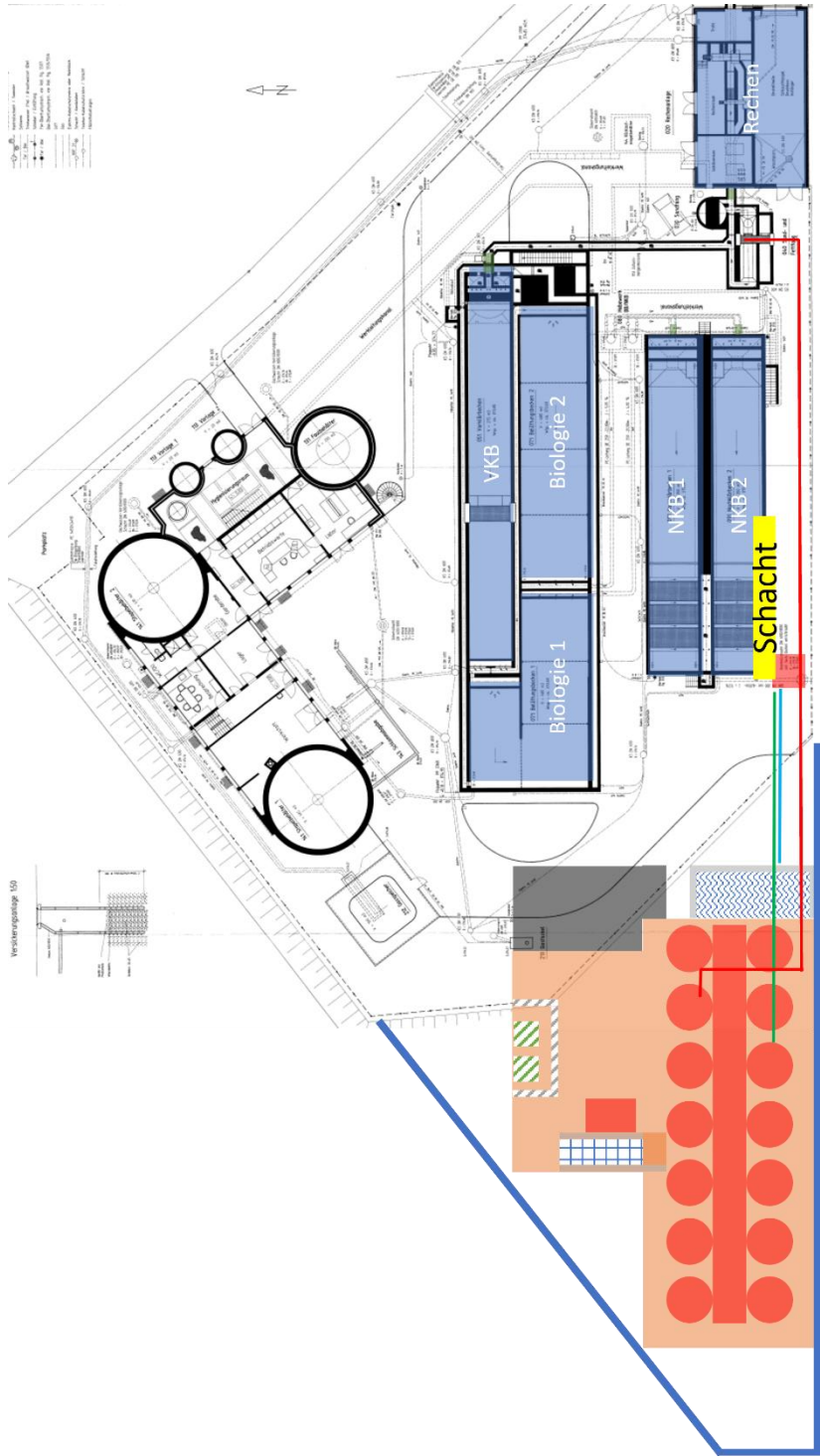


Abbildung 17: Situationsplan inkl. Rohrleitungen und Einfriedungen der Verfahrensvariante GAK Filtration in GFK Tanks auf ARA 2

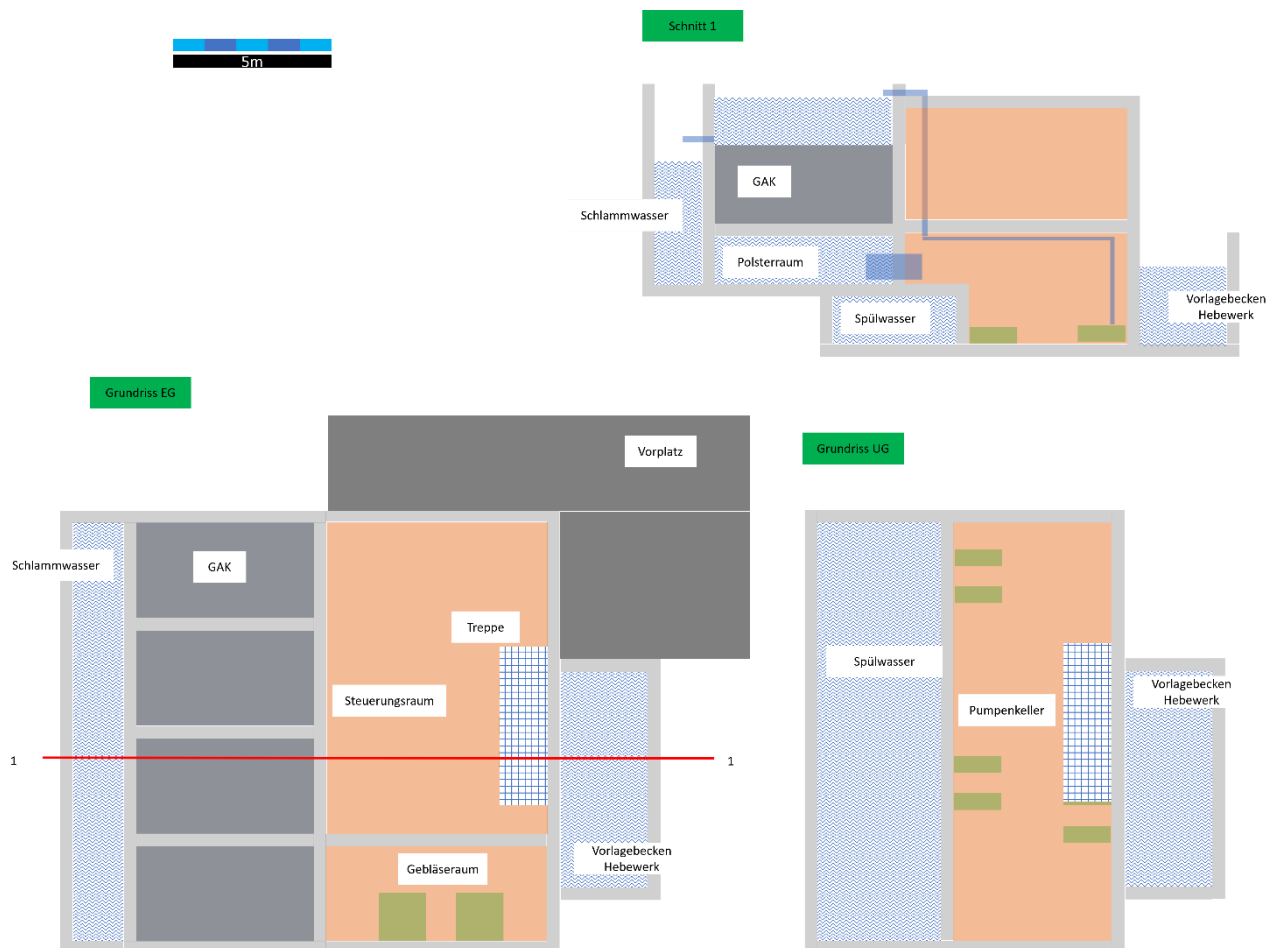


Abbildung 18: Planskizze für Erdgeschoss, Untergeschoss und Schnitt der Verfahrensvariante GAK-Filtration in Betonausführung gemäss Auslegung von U6 für ARA 2

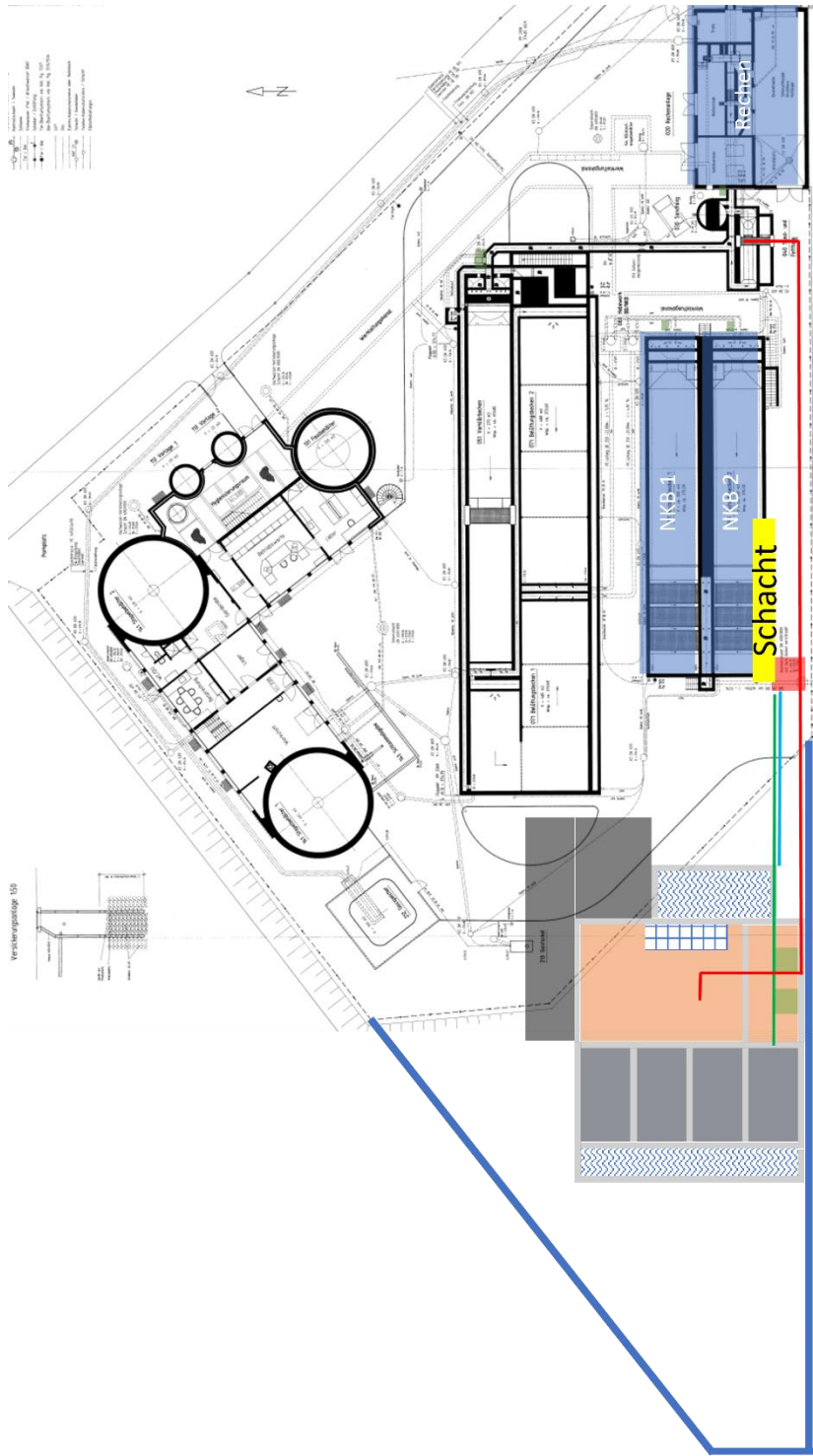


Abbildung 19: Situationsplan inkl. Rohrleitungen und Einfriedungen der Verfahrensvariante GAK Filtration in Betonbauweise auf ARA 2

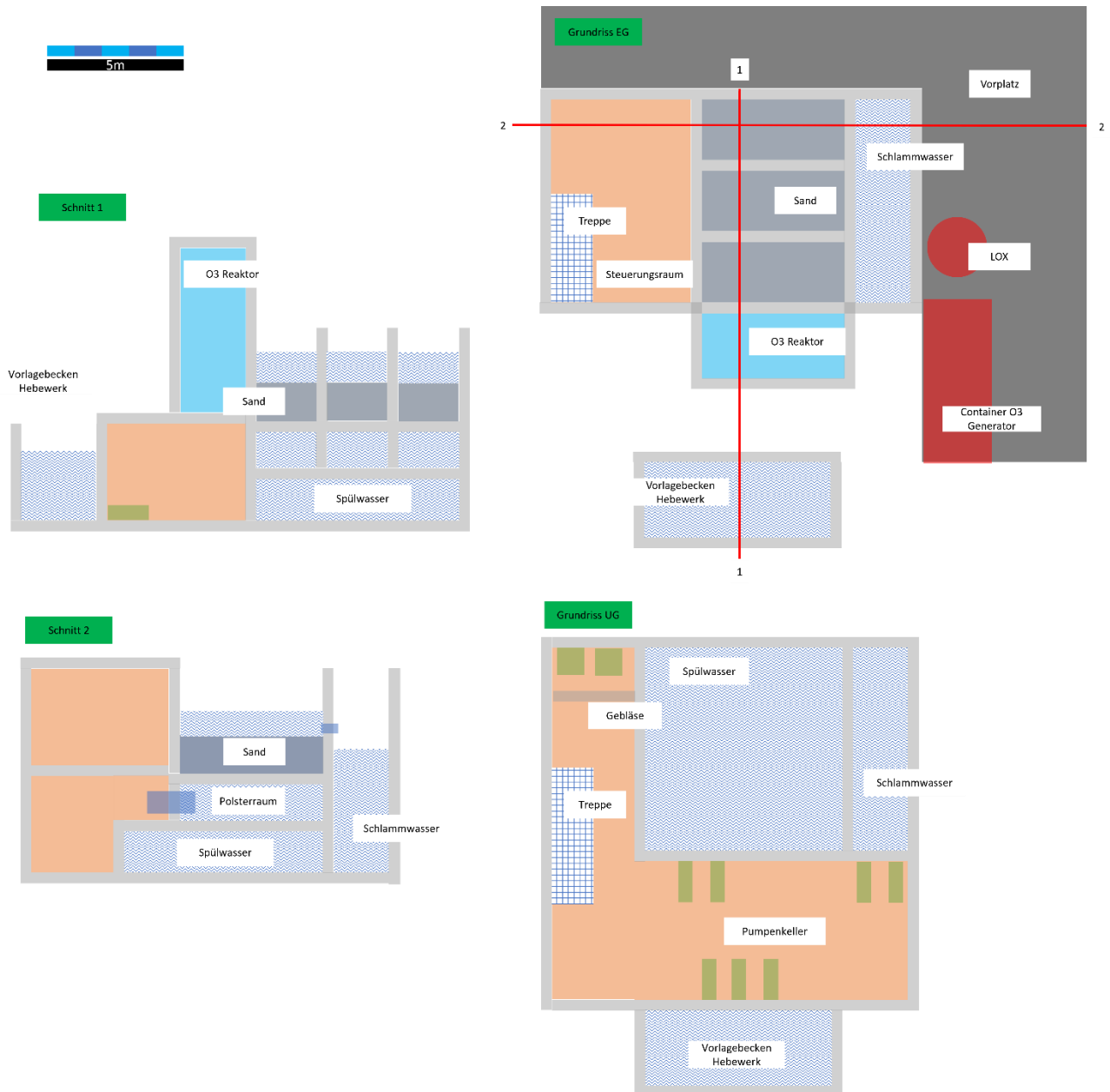


Abbildung 20: Planskizze für Erdgeschoss, Untergeschoss und Schnitte der Verfahrensvariante Ozonung + Sandfiltration in Betonausführung gemäss Auslegung von U5 und U6 für ARA 2

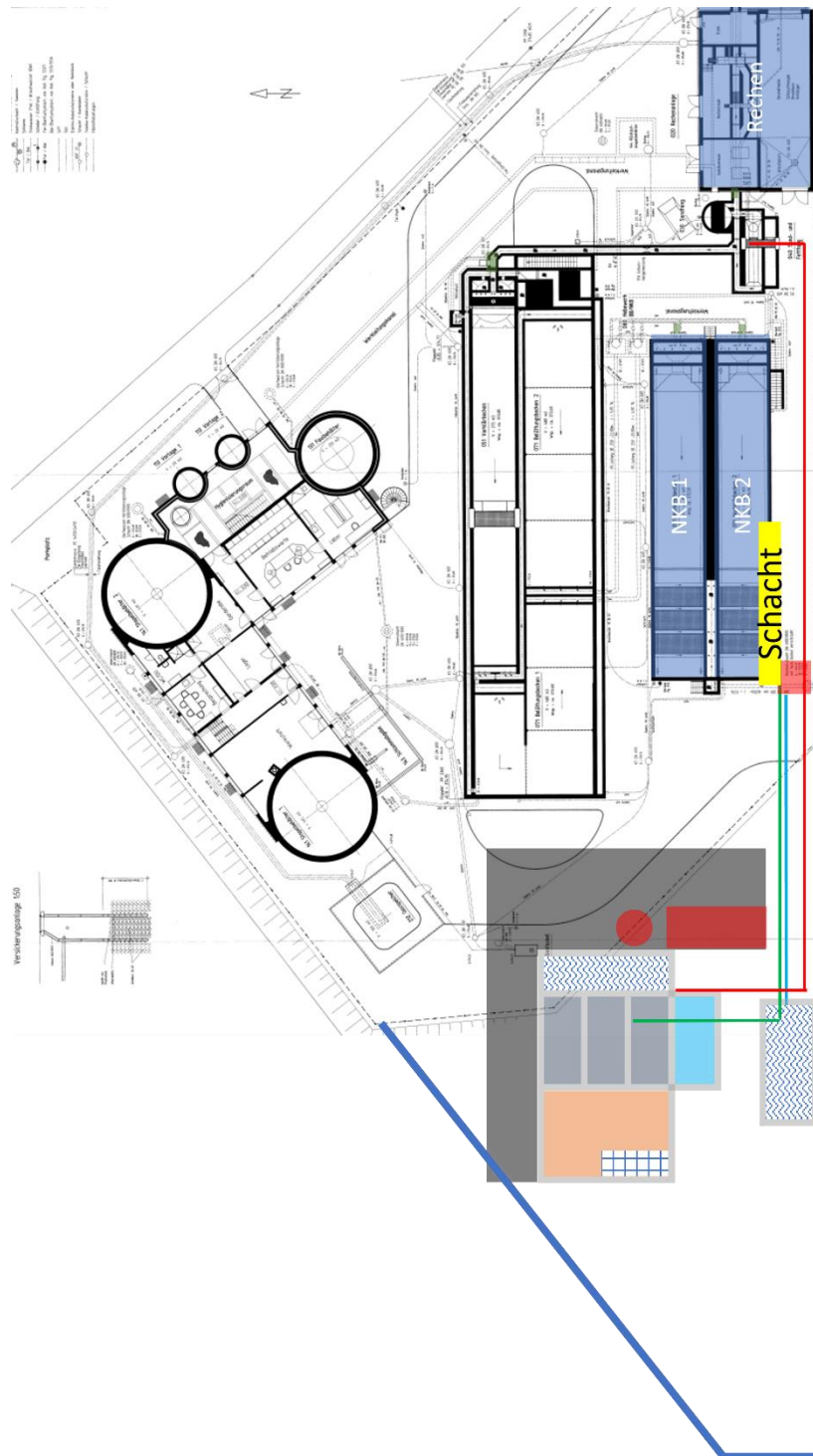


Abbildung 21: Situationsplan inkl. Rohrleitungen und Einfriedungen der Verfahrensvariante Ozonung + Sandfiltration in Betonbauweise auf ARA 2

