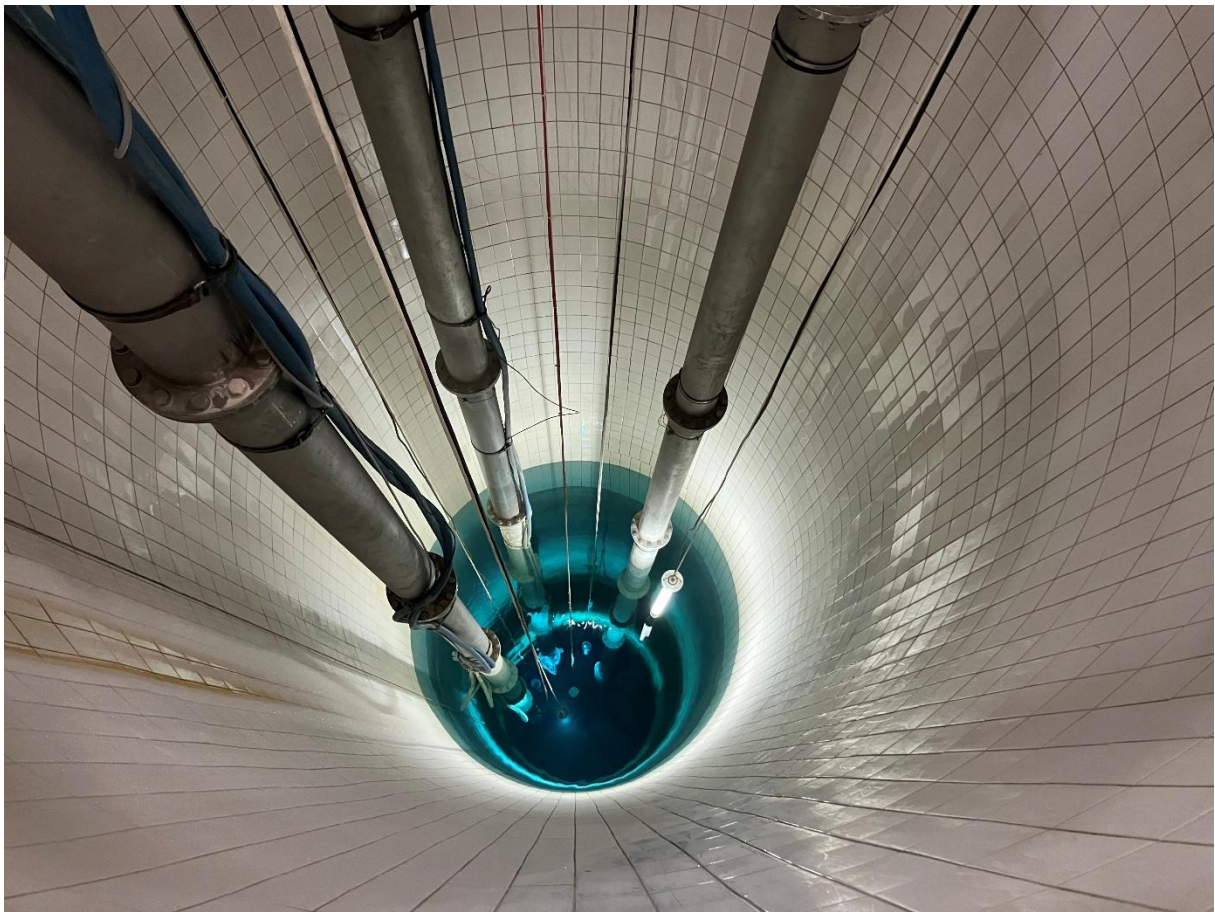


Amt für Umwelt Solothurn

Machbarkeitsstudie Trinkwasseraufbereitung für Chlorothaloni-Metaboliten



Datum: 28.11.2025

Auftraggeber: Amt für Umwelt Solothurn, Werkhofstrasse 5, 4509 Solothurn

Dokumentinformationen

Aqualon AG

Grammetstrasse 14, CH-4410 Liestal
+41 (0)61 515 12 50, info@aqualon.ch

Autor: Fabio Ammann

| Datum | Änderungen | Erstellt | Visiert | Verteiler (digital) |
|------------|----------------|----------|---------|---------------------|
| 20.10.2025 | Erstfassung | FAA | MAH | AfU Solothurn |
| 28.11.2025 | Finale Fassung | FAA | MAH | AfU Solothurn |
| | | | | |
| | | | | |

Projekt: P1074

Dateiname: P1074_BE_AfU_Solothrun_Trinkwasseraufbereitung CTM - Finale Fassung

Aqualon AG



Fabio Ammann
Projektleiter



Marc Huber
Mitglied der Geschäftsleitung

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Grundlagen | 4 |
| 1.1 | Ausgangslage | 4 |
| 1.2 | Grundlagen | 6 |
| 1.3 | Abkürzungsverzeichnis | 6 |
| 2 | Übersicht Wasserversorgungen | 7 |
| 2.1 | Zweckverband regionale Wasserversorgung Gäu | 7 |
| 2.1.1 | Qualitative und quantitative Rahmenbedingungen | 8 |
| 2.1.1.1 | CTM-Belastung im Rohwasser | 8 |
| 2.1.1.2 | DOC | 9 |
| 2.1.1.3 | Aufbereitungskapazität | 9 |
| 2.2 | Wasserversorgung Schnottwil | 10 |
| 2.2.1 | Qualitative und quantitative Rahmenbedingungen | 11 |
| 2.2.1.1 | CTM-Belastung im Rohwasser | 11 |
| 2.2.1.2 | DOC | 12 |
| 2.2.1.3 | Aufbereitungskapazität | 12 |
| 3 | Aufbereitungsverfahren zur Entfernung von Chlorothalonil-Metaboliten | 13 |
| 3.1 | Chlorothalonil-Metaboliten im Grund- und Trinkwasser | 13 |
| 3.2 | Aufbereitungsverfahren zur Entfernung von Spurenstoffen | 14 |
| 3.3 | Aufbereitungsziel | 14 |
| 3.4 | Adsorption an Aktivkohle | 15 |
| 3.4.1 | Granulierte Aktivkohle (GAK) | 15 |
| 3.4.2 | Pulverförmige Aktivkohle (PAK-UF) | 15 |
| 3.4.3 | Superfeine pulverförmige Aktivkohle (SPAK) | 17 |
| 3.4.4 | Anschwemmfiltration mit Keramikmembranen (ALCF-Verfahren) | 17 |
| 3.5 | Umkehrosmose | 18 |
| 3.6 | Risiken Aufbereitungsverfahren | 18 |
| 4 | Variantenstudie ZV Regionale Wasserversorgung Gäu | 20 |
| 4.1 | Festlegung der zu untersuchenden Varianten | 20 |
| 4.2 | Variante granulierte Aktivkohle | 21 |
| 4.2.1 | Verfahrensbeschreibung | 21 |
| 4.2.2 | Bauliche Umsetzung | 23 |
| 4.2.3 | Vor- und Nachteile | 24 |
| 4.2.4 | Kosten | 25 |
| 4.2.4.1 | Investitionskosten | 25 |
| 4.2.4.2 | Betriebskosten | 25 |
| 4.2.4.3 | Jahreskosten | 26 |
| 4.3 | PAK-UF | 27 |
| 4.3.1 | Verfahrensbeschreibung | 27 |
| 4.3.2 | Bauliche Umsetzung | 29 |
| 4.3.3 | Vor- und Nachteile | 30 |
| 4.3.4 | Kosten | 31 |
| 4.3.4.1 | Investitionskosten | 31 |
| 4.3.4.2 | Betriebskosten | 31 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.3.4.3 | Jahreskosten | 32 |
| 5 | Variantenstudie Wasserversorgung Schnottwil | 33 |
| 5.1 | Festlegung der zu untersuchenden Varianten | 33 |
| 5.2 | Variante granuliert Aktivkohle | 34 |
| 5.2.1 | Verfahrensbeschreibung | 34 |
| 5.2.2 | Bauliche Umsetzung | 36 |
| 5.2.3 | Vor- und Nachteile | 37 |
| 5.2.4 | Kosten | 38 |
| 5.2.4.1 | Investitionskosten | 38 |
| 5.2.4.2 | Betriebskosten | 39 |
| 5.2.4.3 | Jahreskosten | 39 |
| 5.3 | Variante Pulveraktivkohle | 40 |
| 5.3.1 | Verfahrensbeschreibung | 40 |
| 5.3.2 | Bauliche Umsetzung | 41 |
| 5.3.3 | Vor- und Nachteile | 42 |
| 5.3.4 | Kosten | 43 |
| 5.3.4.1 | Investitionskosten | 43 |
| 5.3.4.2 | Betriebskosten | 44 |
| 5.3.4.3 | Jahreskosten | 44 |
| 6 | Variantenvergleich | 45 |
| 6.1 | Schlussfolgerungen für den Vergleich von GAK und PAK-UF im Allgemeinen | 46 |
| 6.2 | Skalierung PAK | 47 |
| 7 | Terminplan Umsetzung | 48 |
| 8 | Fazit und weiteres Vorgehen | 49 |

1 Grundlagen

1.1 Ausgangslage

Im Kanton Solothurn sind verschiedene Grundwasserleiter, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden, mit Chlorothalonil-Metaboliten (CTM) belastet, siehe Abbildung 1. Gemäss der aktuellen Weisung des BLV beträgt die zugelassene Höchstkonzentration für CTM in Trinkwasser $0.1 \mu\text{g/l}$. Bei einer Überschreitung dieser Höchstkonzentrationen müssen Sofortmassnahmen eingeleitet werden. Reichen diese nicht aus, um den Höchstwert zu unterschreiten, müssen mittel- und langfristige Massnahmen ergriffen werden. Als solche denkbar sind das Mischen mit weniger stark belasteten Wässern aus einer anderen Quelle, das Stilllegen von Wasserfassungen, aber auch die Trinkwasseraufbereitung.

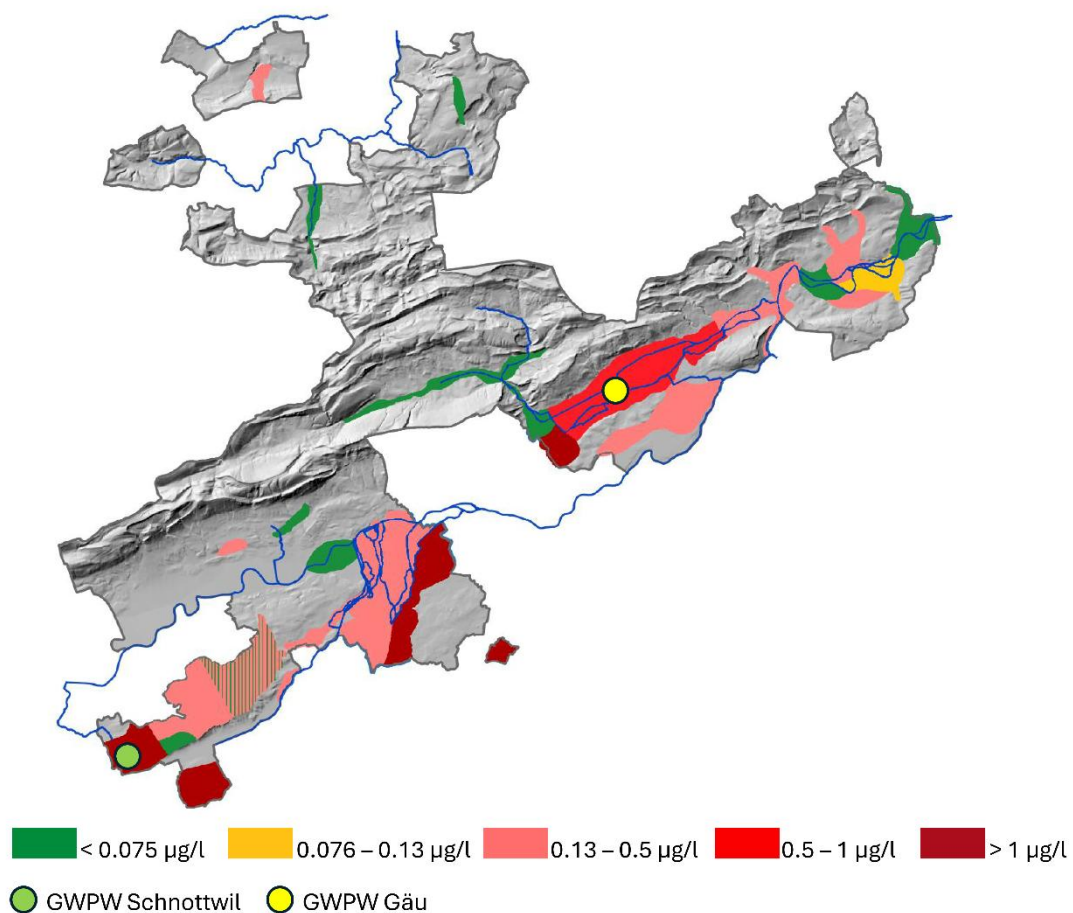


Abbildung 1: Belastung des Grundwassers der Kantons Solothurn mit dem Chlorothalonil-Metaboliten R471811, Stand 2025. Aus [6], modifiziert.

Prinzipiell möchte der Kanton Solothurn auf die Aufbereitung von Trinkwasser verzichten. Unter bestimmten Umständen kann diese Option allerdings interessant/notwendig werden, nämlich:

- Wenn die Anfangskonzentration im zu fassenden Wasser sehr hoch ist,
- wenn das Wasseralter sehr hoch ist,
- wenn die Wasserfassung von regionaler Bedeutung ist,
- wenn es keine verhältnis- und zweckmässigen Alternativen gibt.

Im Rahmen dieser Studie sollen für zwei Grundwasserfassungen, welche alle vier obigen Bedingungen erfüllen, die technische Machbarkeit und die finanzielle Tragbarkeit einer CTM-Entfernung eruiert werden. Die betrachteten Grundwasserfassungen sind:

- Grundwasserpumpwerk Neufeld in Neuendorf (Zweckverband Regionale Wasserversorgung Gäu)
- Grundwasserpumpwerk Sagiacker in Schnottwil (Wasserversorgung Schnottwil)

Diese Machbarkeitsstudie soll aufzeigen, welche Aufbereitungsverfahren unter der Berücksichtigung der relevanten Randbedingungen (CTM-Konzentrationen, Wassermatrix, Entsorgungsmöglichkeiten für die Aufbereitungsabwässer) für die jeweilige Wasserfassung geeignet sind.

Weiter sollen in dieser Studie Entscheidungsgrundlagen geschaffen werden, um einzuschätzen, welche Konsequenzen eine Trinkwasseraufbereitungsanlage für grosse (RWV Gäu) und kleine (WV Schnottwil) Wasserversorgungen in technischer, betrieblicher und finanzieller mit sich bringt.

1.2 Grundlagen

- [1] Chlorothalonil-Metaboliten: Eine Herausforderung für die Wasserversorgung, Fact Sheet, Eawag, Februar 2020
- [2] Weisung 2024/1: Anordnung von Massnahmen bei Höchstwertüberschreitungen von Chlorothalonil-Metaboliten im Trinkwasser, Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV, Mai 2024
- [3] Vergleichende Studie von Adsorptionsverfahren für die Behandlung von Chlorothalonil-Metaboliten, F. Bonvin et al, Internetplattform Aqua & Gas, November 2023
- [4] Erste Projektsitzung vom 25.04.2025 im AfU Solothurn
- [5] Zweite Projektsitzung vom 27.05.2025 im AfU Solothurn
- [6] Umgang mit Chlorothalonil-Rückständen im Grund- und Trinkwasser, Präsentation Orientierungsversammlung RWV Gäu, AfU Solothurn, November 2025

1.3 Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------|---|
| CEB | Chemikalien-unterstützte Rückspülung (chemically enhanced backwash) |
| CTM | Chlorothalonil-Metaboliten |
| DOC | Gelöster organischer Kohlenstoff (dissolved organic carbon) |
| GAK | granulierte Aktivkohle |
| GWPW | Grundwasserpumpwerk |
| PAK | Pulveraktivkohle |
| PFAS | Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen |
| RO | Umkehrosiose (reverse osmosis) |
| RWV | Regionale Wasserversorgung |
| SAK | Spektraler Absorptionskoeffizient |
| SPAK | Superfeine Pulveraktivkohle |
| TWA | Trinkwasseraufbereitungsanlage |
| UF | Ultrafiltration |
| UV | Ultraviolett-Desinfektion |
| WV | Wasserversorgung |

2 Übersicht Wasserversorgungen

2.1 Zweckverband regionale Wasserversorgung Gäu

Der Zweckverband regionale Wasserversorgung Gäu (RWV Gäu) betreibt in Neuendorf das Grundwasserpumpwerk (GWPW) Neufeld, von welchem aus die sieben Verbandsgemeinden Egerkingen, Oberbuchsiten, Neuendorf, Niederbuchsiten, Kestenholz, Wolfwil und Fulenbach mit Trinkwasser versorgt werden. Das Pumpwerk liegt westlich von Härkingen, am nördlichen Rand der Gemeinde Neuendorf, in einer topografisch weitgehend ebenen Landschaft des Mittellandes. Der Standort befindet sich südlich der Autobahn A1, inmitten von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Nördlich grenzt ein grösseres Gewerbe- und Industriegebiet an, während die nächstgelegenen Siedlungsgebiete von Neuendorf und Härkingen jeweils rund 500–800 m entfernt liegen. Rund um das Pumpwerk sind die gesetzlich festgelegten Schutzzonen ausgewiesen (siehe Abbildung 2).

Genutzt wird das Dünnern-Grundwasservorkommen, dieses ist von regionaler Bedeutung und die zweitgrösste Schottergrundwasserressource des Kantons. Das durchschnittliche Wasseralter beträgt 20 Jahre.



Abbildung 2: Standortübersicht RWV Gäu. Roter Punkt: GWPW Neufeld. Orange: Gemeindegrenze Neuendorf. Blaue Linien: Fliessgewässer Dünnern (oben) und Mittelgäubach (unten). Blaue Flächen: Grundwasserschutzzonen S1, S2, S3.

2.1.1 Qualitative und quantitative Rahmenbedingungen

Für die Auslegung einer Aufbereitungsanlage für CTM in Trinkwasser gibt es spezifische Rahmenbedingungen, welche bekannt sein müssen. Diese sind:

- Maximaler, mittlerer und minimaler Durchsatz (pro Zeiteinheit aufzubereitende Menge an Trinkwasser)
- Die Anfangskonzentration von CTM im Rohwasser
- Die Zielkonzentration von CTM im aufbereiteten Trinkwasser
- Die übrigen Wasserqualitätsparameter

Rohwasser ist nicht gleich Rohwasser, daher gilt: Je mehr Informationen über die chemische Zusammensetzung des zu behandelten Wassers zur Verfügung stehen, desto besser. Je nach Aufbereitungsverfahren sind andere Wasserqualitätsparameter relevant. Für die Adsorption an Aktivkohle ist zum Beispiel der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) von besonderer Bedeutung.

Aus obengenannten Gründen sollen im Folgenden besagte qualitative und quantitative Rahmenbedingungen für die WV Gäu (und die WV Schnottwil, siehe Kapitel 2.2.1) festgelegt werden.

2.1.1.1 CTM-Belastung im Rohwasser

Für das Rohwasser des GWPW Neufeld stehen Daten zu den Metaboliten R417888 und R471811 zur Verfügung. Insgesamt haben sechs Probenahmen im Zeitraum zwischen Oktober 2019 und November 2024 stattgefunden, siehe Abbildung 3. Zur Festlegung der Auslegungs-Ausgangskonzentration wurden die Ergebnisse der einzelnen Probenahmen durch die Aqualon AG zusammengetragen, aufbereitet, und anlässlich der zweiten Projektsitzung im Plenum vorgestellt [5].

Die Auslegungskonzentration des Metaboliten R471811 im Rohwasser wurde auf 1.1 µg/l festgelegt.

Ziel der Aufbereitung ist die Unterschreitung des Höchstwertes von 0.1 µg/l, die Konzentration muss also mindestens um den Faktor 11 reduziert werden.

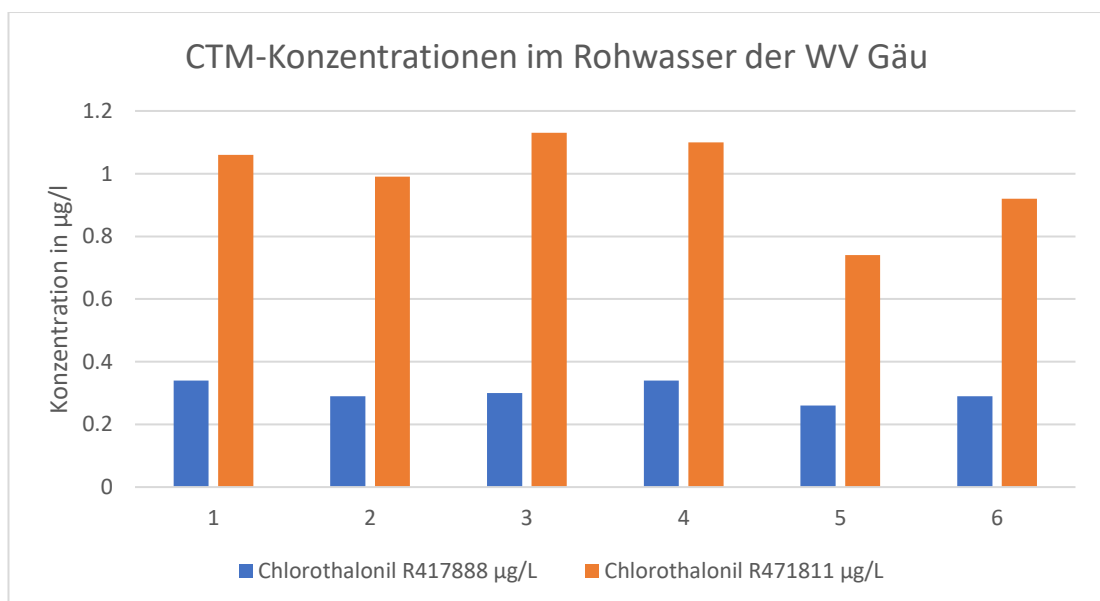


Abbildung 3: Ergebnisse der CTM-Analysen in chronologischer Reihenfolge. Probenahmedaten: Oktober 2019, Oktober 2020, April 2021, Mai 2023, Mai 2024 und November 2024.

2.1.1.2 DOC

Eine Übersicht über die restlichen chemischen Zusammensetzungsparameter des Rohwasser der RWV Gäu ist der Tabelle 1 zu entnehmen. Im Zusammenhang mit aktivkohlebasier-ten Aufbereitungsverfahren ist besonders dem DOC-Wert Beachtung zu schenken. Für die Auslegung der Aufbereitungsanlage wird von einer mittleren DOC-Konzentration des zu be-handelnden Wassers von 0.3 mg/l ausgegangen.

Tabelle 1: Chemische Wasserparameter des Rohwassers des GWPW Neufeld.

| Parameter | Einheit | Messungen | Minimum | Maximum | Durchschnitt |
|---------------------------|---------|-----------|---------|---------|--------------|
| CTM R417888 | µg/L | 6 | 0.26 | 0.34 | 0.30 |
| CTM R471811 | µg/L | 6 | 0.74 | 1.13 | 0.99 |
| DOC | mg/l | 4 | 0.23 | 0.47 | 0.31 |
| Elektrische Leitfähigkeit | µS/cm | 4 | 695 | 716 | 703 |
| Temperatur | °C | 4 | 10.8 | 11.2 | 11.0 |
| pH | - | 4 | 7.18 | 7.50 | 7.27 |
| Chlorid | mg/l | 5 | 15.3 | 16.1 | 15.8 |
| Calcium | mg/l | 4 | 127 | 129 | 128 |
| Natrium | mg/l | 4 | 6.30 | 6.70 | 6.48 |
| Nitrat | mg/l | 4 | 33.5 | 34.9 | 34.1 |
| Magnesium | mg/l | 4 | 8.90 | 9.70 | 9.28 |
| Kalium | mg/l | 4 | 1.40 | 1.50 | 1.45 |

2.1.1.3 Aufbereitungskapazität

Im Rahmen der ersten und der zweiten Projektsitzung wurde die anzustrebende Aufberei-tungskapazität diskutiert. Für die RWV Gäu einigte man sich auf folgende Rahmenbedingun-gen:

- Maximale Aufbereitungskapazität: 7'200 m³/Tag, 360 m³/h (Wasserproduktion 20 h pro Tag)
- Mittlerer täglicher Durchsatz: 3'500 m³/Tag

Diese Aufbereitungskapazitäten gelten unabhängig von der gewählten Technologie, also bei allen gewählten Varianten.

Die maximale Aufbereitungskapazität entspricht der Konzession für das GWPW Neufeld von 6000 l/min. Der angenommene mittlere täglich Durchsatz liegt leicht über der heute durch-schnittlich geförderten Wassermenge im GWPW Neufeld. Auf die Definition eines minima-len Durchsatzes wurde in dieser Planungsstufe verzichtet.

2.2 Wasserversorgung Schnottwil

Die Wasserversorgung Schnottwil betreibt die beiden Standorte Sagiacker (Grundwasserpumpwerk) und Aspiwäldli (Reservoir). Das Grundwasserpumpwerk liegt am südöstlichen Rand des Siedlungsgebiets von Schnottwil. Das Umfeld ist überwiegend landwirtschaftlich genutzt, mit Acker- und Wiesenflächen sowie vereinzelt Hofstellen. Die Lage ist gut erschlossen, abseits von grösseren Verkehrsachsen, und befindet sich innerhalb der festgelegten Grundwasserschutzzonen. Der genutzte Grundwasserkörper besteht aus einem Schottergrundwasserleiter, der im Molassesandstein eingebettet ist, das mittlere Wasseralter beträgt 25 Jahre.

Das Reservoir Aspiwäldli befindet sich im Wald östlich des Dorfkernes, rund 770 Meter entfernt und 64 Meter höher gelegen als das Grundwasserpumpwerk. Vom Reservoir gelangt das Wasser in das Versorgungsgebiet, welches aus einer Druckzone besteht und knapp 1'200 Einwohner umfasst. Im Reservoir bestehen die Möglichkeiten zum Fremdbezug von der Nachbargemeinde Biezwil, als auch die Weitergabe an Biezwil über das Stufenpumpwerk Aspiwäldli-Biezwil, welches Wasser vom Reservoir in das Versorgungsgebiet von Biezwil fördert.

Das Reservoir ist über das lokale Gemeindestrassennetz gut mit motorisiertem Individualverkehr erreichbar. Die Zufahrt erfolgt von Schnottwil her über asphaltierte Quartier- und Gemeindestrassen bis an den Waldrand. Der letzte Abschnitt führt über einen schmaleren, befestigten Waldweg bzw. Kiesweg direkt bis zum Reservoir.



Abbildung 4: Standortübersicht WV Schnottwil. Rote Punkte: GWPW Sagiacker (links) und Reservoir Aspiwäldli (rechts). Orange: Gemeindegrenze Schnottwil. Das Fliessgewässer Sagibach wird als blaue Linie dargestellt (gestrichelte rote Linie in den eingedolten Bereichen). Blaue Flächen: Grundwasserschutzzonen S1, S2, S3.

2.2.1 Qualitative und quantitative Rahmenbedingungen

2.2.1.1 CTM-Belastung im Rohwasser

Für das Rohwasser des GWPW Sagiacker in Schnottwil stehen Daten zu den Metaboliten R417888 und R471811 zur Verfügung. Insgesamt haben sieben Probenahmen im Zeitraum zwischen August 2019 und Mai 2025 stattgefunden, siehe Abbildung 5. Zur Festlegung der Auslegungs-Ausgangskonzentration wurden die Ergebnisse der einzelnen Probenahmen durch die Aqualon AG zusammengetragen, aufbereitet, und anlässlich der zweiten Projekt-sitzung im Plenum vorgestellt [5].

Die Auslegungskonzentration des Metaboliten R471811 im Rohwasser wurde auf 1.6 µg/l festgelegt.

Ziel der Aufbereitung ist die Unterschreitung des Höchstwertes von 0.1 µg/l, die Konzentration muss also zeitweise mindestens um den Faktor 16 reduziert werden.

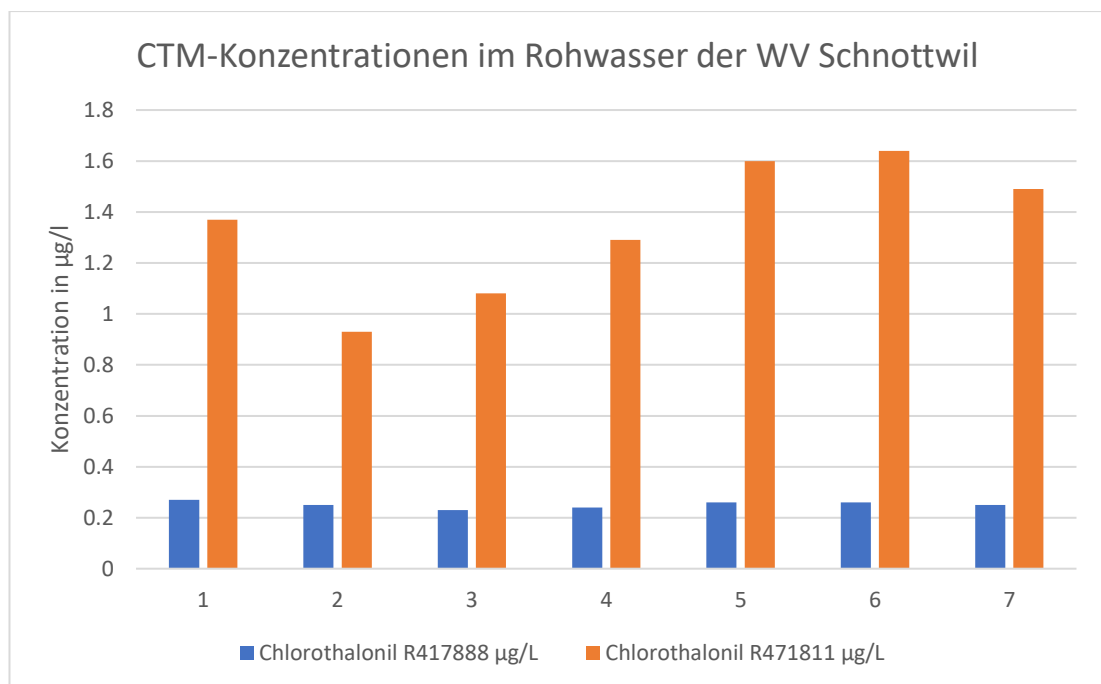


Abbildung 5: Ergebnisse der CTM-Analysen in chronologischer Reihenfolge. Probenahmedaten: August 2019, Januar 2020, Mai 2020, Mai 2021, Mai 2023, November 2024, Mai 2025.

2.2.1.2 DOC

Eine Übersicht über die restlichen chemischen Qualitätsparameter des Rohwassers der WV Schnottwil ist der Tabelle 2 zu entnehmen. Im Zusammenhang mit aktivkohlebasierten Aufbereitungsverfahren ist besonders dem DOC-Wert Beachtung zu schenken. Für die Auslegung der Aufbereitungsanlage wird von einer mittleren DOC-Konzentration des zu behandelnden Wassers von 0.3 mg/l ausgegangen.

Tabelle 2: Qualitative Wasserparameter GWPW Sagiacker, Probenahmezeitraum 2019 – 2024

| | Einheit | Messungen | Minimum | Maximum | Durchschnitt |
|---------------------------|---------|-----------|---------|---------|--------------|
| CTM R417888 | µg/L | 7 | 0.19 | 0.27 | 0.24 |
| CTM R471811 | µg/L | 7 | 0.93 | 1.60 | 1.26 |
| DOC | mg/l | 4 | 0.26 | 0.30 | 0.28 |
| Elektrische Leitfähigkeit | µS/cm | 4 | 627 | 650 | 637 |
| Temperatur | °C | 5 | 10.7 | 11.2 | 10.9 |
| pH | | 5 | 7.14 | 7.33 | 7.27 |
| Chlorid | mg/l | 5 | 8.40 | 9.10 | 8.75 |
| Calcium | mg/l | 4 | 89.6 | 92.6 | 90.8 |
| Natrium | mg/l | 4 | 4.70 | 5.20 | 4.85 |
| Nitrat | mg/l | 3 | 34.3 | 35.1 | 34.7 |
| Magnesium | mg/l | 4 | 24.9 | 26.9 | 25.9 |
| Kalium | mg/l | 4 | 1.10 | 1.30 | 1.18 |

2.2.1.3 Aufbereitungskapazität

Im Gegensatz zur RWV Gäu wurden für die WV Schnottwil technologie-/standortabhängig 2 unterschiedliche Aufbereitungskapazitäten festgelegt (siehe Kapitel 5):

Variante 1

- Maximale Aufbereitungskapazität: 360 m³/Tag, 18 m³/h (Wasserproduktion 20 h pro Tag)
- Mittlerer täglicher Durchsatz: 270 m³/Tag

Um die eigenen Wasserressourcen möglichst gut ausnutzen zu können und gleichzeitig die Investitionskosten zu minimieren, wird die Anlage nur leicht grösser als der heutige mittlere eigene Bedarf von ca. 250 m³/Tag ausgelegt. Die Anlage wird somit bei einem sehr hohen Ausnutzungsgrad gefahren. Die Differenz zwischen dem Spitzentagesbedarf und der Kapazität der Aufbereitung wird durch Fremdbezüge abgedeckt.

Variante 2

- Maximale Aufbereitungskapazität: 720 m³/Tag, 36 m³/h (Wasserproduktion 20 h pro Tag)
- Mittlerer täglicher Durchsatz: 270 m³/Tag

Die maximale Aufbereitungskapazität entspricht der Konzession für das GWPW Sagiacker. Der angenommene mittlere tägliche Durchsatz liegt leicht über dem aktuellen mittleren Bedarf von Schnottwil. Auf die Definition eines minimalen Durchsatzes wurde in dieser Planungsstufe verzichtet.

Mit Variante 2 könnte auch Wasser an die Nachbargemeinden abgegeben werden, welche zum Teil ebenfalls zu hohe CTM-Konzentrationen in ihrem Trinkwasser haben.

3 Aufbereitungsverfahren zur Entfernung von Chlorothalonil-Metaboliten

3.1 Chlorothalonil-Metaboliten im Grund- und Trinkwasser

Pflanzenschutzmittel (PSM) mit dem Wirkstoff Chlorothalonil wurden seit den 1970er-Jahren von der Schweizer Landwirtschaft eingesetzt. Die Metaboliten (Abbau- oder Transformationsprodukte) von Chlorothalonil werden heute in vielen von landwirtschaftlicher Nutzung beeinflussten Grundwässern nachgewiesen. Einen guten Überblick über die am häufigsten detektierten Chlorothalonil-Metaboliten (CTM) gibt das Factsheet der Eawag aus dem Jahre 2020 [1].

Die Vielzahl der Metaboliten lässt sich in zwei Gruppen einteilen, die Phenole und die Sulfonsäuren. Letztere treten im Grund- und in der Folge auch im Trinkwasser häufiger und in höheren Konzentrationen auf, als dies bei den Phenolen der Fall ist. Die zwei am häufigsten nachgewiesenen Metaboliten sind R471811 und R417888.

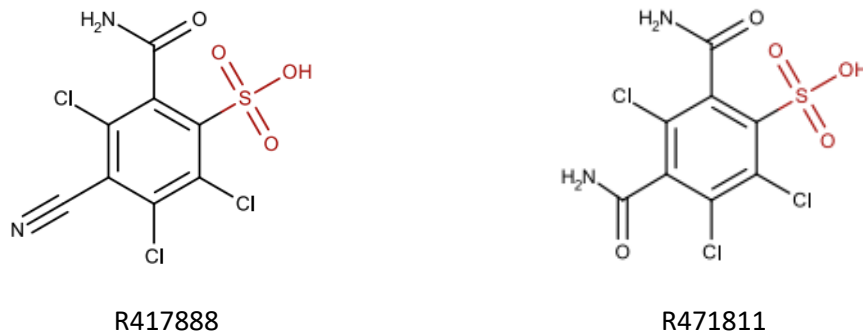


Abbildung 6: Chemische Struktur der zwei im Trinkwasser am häufigsten nachgewiesenen CTM

Diese Metaboliten sind sehr stabil und werden im Grundwasser nur äusserst langsam abgebaut.

3.2 Aufbereitungsverfahren zur Entfernung von Spurenstoffen

Es gibt hauptsächlich drei Grundprozesse, mit denen Spurenstoffe aus Wasser entfernt bzw. abgebaut werden können:

- Adsorption an ein geeignetes Material (z.B. granuliertes Aktivkohle)
- Oxidation (z.B. Ozon)
- Abtrennung mittels Filtration über eine dichte Membran (z.B. Umkehrosmose)

Da von den betrachteten Chlorothalonil-Metaboliten weder der Metabolit R471811 noch der Metabolit R417888 mittels Oxidation behandelt werden kann, wird die Oxidation im Folgenden nicht weiter betrachtet (siehe auch [1]).

Die verbleibenden Grundprozesse Adsorption und Filtration über eine dichte Membran werden in der Trinkwasseraufbereitung vor allem in der Form der Adsorption an Aktivkohle und der Anwendung der Umkehrosmose eingesetzt. In den Kapiteln 3.4 und 3.5 werden diese Verfahren kurz beschrieben.

3.3 Aufbereitungsziel

Gemäss der Weisung 2024/1 des BLV [2] muss der Höchstwert von 0.1 µg/l für relevante Pestizidmetaboliten für alle Metaboliten von Chlorothalonil (Einzelsubstanz) eingehalten werden. Dieser Wert muss gemäss Lebensmittelkontrolle Solothurn im Normalbetrieb (also auch am Spitzentag) ständig eingehalten werden. Es genügt ausdrücklich nicht, den Höchstwert im Jahresdurchschnitt zu unterschreiten. Ist aufgrund einer aussergewöhnlichen Situation die Versorgungssicherheit gefährdet, kann eine temporäre Überschreitung des Höchstwertes zur Aufrechterhaltung ebendieser allenfalls zulässig sein.

Die in den Kapiteln 2.1.1.3 und 2.2.1.3 definierten Aufbereitungskapazitäten tragen diesen Anforderungen Rechnung, in dem die Trinkwasseraufbereitungsanlagen grundsätzlich auf die Abdeckung des Spitzentagesbedarfs ausgelegt werden.

Während die beiden Metaboliten R471811 und R417888 im Umkehrosmose-Prozess in etwa gleich gut zurückgehalten werden, wird der Metabolit R417888 bei der Behandlung mit Aktivkohle deutlich besser entfernt [1]. Da R471811 im Grund- oder Trinkwasser in der Regel in höheren Konzentrationen auftritt als R417888 und letzterer in der Aufbereitung mindestens so gut wie R471811 entfernt wird, kann man sich bei der Auslegung der Aufbereitung auf R471811 konzentrieren. Wenn dieser Metabolit 0.1 µg/l unterschreitet, gilt dasselbe auch für R417888.

3.4 Adsorption an Aktivkohle

3.4.1 Granulierte Aktivkohle (GAK)

Das weltweit bei Weitem am häufigsten angewendete Aktivkohle-Verfahren in der Trinkwasseraufbereitung ist die Filtration über granulierte Aktivkohle (GAK). Bei diesem Verfahren dient GAK mit einer Korngrösse von ca. 0.5-3 mm als Filtermedium für einen Festbettfilter (Stahldruckbehälter oder Betonfilterzelle).

Das zu behandelnde Wasser durchströmt das Filterbett in der Regel von oben nach unten. Die Spurenstoffe adsorbieren an die GAK, so dass die Spurenstoffkonzentration im Filtrat wesentlich tiefer ist. Nach einer gewissen Zeit (in der Regel > 1 Jahr) ist die Aktivkohle mit den entsprechenden Spurenstoffen gesättigt und die Eliminationsleistung lässt nach. Die Aktivkohle muss ausgetauscht werden, bevor die definierte Zielkonzentration überschritten wird. Beim Anfall von GAK > ca. 10 m³ kann die Aktivkohle regeneriert werden, was sich positiv auf die Aufbereitungskosten und die Umweltbilanz auswirkt.

Die wichtigsten Vorteile der GAK im Vergleich zu anderen Aktivkohle-Verfahren sind:

- Keine Aufbereitungsstufe zur Abtrennung der Aktivkohle erforderlich
- Die entfernten Spurenstoffe werden definitiv aus der Umwelt entfernt und verbrannt
- Aktivkohle kann regeneriert werden

Bei schlecht adsorbierbaren Spurenstoffen kann aufgrund von Konkurrenz mit dem im Wasser gelösten organischen Kohlenstoff und anderen Spurenstoffen nur eine verhältnismässig geringe Beladung der GAK erreicht werden. Dies führt zu kurzen Standzeiten der GAK und einem häufigen Aktivkohle-Austausch. Ein Aktivkohle-Austausch ist betrieblich aufwendig, stellt ein Risiko für die Wasserqualität dar und ist kostenintensiv.

Da der im Fokus stehende Metabolit R471811 relativ schlecht an Aktivkohle adsorbiert, ist GAK für die Entfernung dieses Spurenstoffs nur eingeschränkt geeignet. Für solche gut wasserlöslichen Stoffe liefern in der Regel Aktivkohlen aus Steinkohle, welche typischerweise aus China oder den USA stammen, die besten Resultate. Mit spezieller Vorbehandlung bzw. nach einer oder mehreren Regenerationen können allerdings auch mit Aktivkohlen aus Kokosnussschalen (kleinerer CO₂-Fussabdruck) ähnlich gute Resultate erzielt werden.

Filtration über GAK ist das bevorzugte Verfahren für die Entfernung von Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS), insbesondere für langkettige Moleküle (PFOS, PFOA, PFHxS). PFAS werden bei der thermischen Regeneration von GAK vollständig zerstört.

Auch für die Entfernung des Pflanzenschutzmittels S-Metolachlor ist GAK gut geeignet. Für die Abbauprodukte von S-Metolachlor fehlen Grundlagenstudien zur Einschätzung geeigneter Aufbereitungsverfahren.

3.4.2 Pulverförmige Aktivkohle (PAK-UF)

Als Alternative zur GAK kann für die Entfernung von Spurenstoffen auch Pulveraktivkohle (Korndurchmesser zwischen 0.005 bis 0.1 mm) in Kombination mit einer Ultrafiltration verwendet werden. Dazu wird dem Rohwasser kontinuierlich frische Pulveraktivkohle (PAK) zudosiert, wobei ein Kontaktbecken eine definierte Kontaktzeit zwischen PAK und Wasser sicherstellt. Das Wasser aus dem Kontaktbecken wird mit Ultrafiltrationsmembranen gefiltert, um die PAK zurückzuhalten. Dieser zusätzliche Filtrationsschritt, welcher bei der GAK entfällt, ist der Preis, den man bei PAK für die höhere Adsorptionsleistung pro kg eingesetztes Adsorptionsmedium bezahlen muss.

Das Permeat der Ultrafiltration kann ohne weitere Behandlung als Trinkwasser verwendet werden. Die PAK wird an der Membran zurückgehalten, wo sie über die Zeit einen Filterkuchen aufbaut. Dieser wird durch Rückspülungen entfernt. Das rückgespülte PAK-Wasser-Gemisch kann in den Prozess zurückgeführt werden. Wie Eingangs erläutert, wird kontinuierlich neue PAK in das Kontaktbecken zudosiert. Um die Massenbilanz im System auszugleichen und die Menge an PAK konstant zu halten, wird das rückgespülte Wasser periodisch statt in das Kontaktbecken in die Entsorgung abgeleitet. Das Zusammenspiel aus kontinuierlicher Zudosierung und Rückspülung mit nachfolgender Entsorgung erbringt die gleiche Funktion wie der batchweise Kohletausch bei der GAK: Es stellt sicher, dass stets genügend «frische» Kohle im System ist, um bei einer definierten Eingangsbelastung einen Zielwert im ausbereiteten Wasser zu unterschreiten.

Ein wesentliches Betriebsthema bei der Ultrafiltration ist das sogenannte Fouling, also die Ablagerung von Schmutzstoffen, organischen Substanzen oder Mikroorganismen auf der Membranoberfläche. Diese Beläge führen zu einem steigenden Transmembrandruck und sinkender Permeabilität und müssen daher regelmässig entfernt werden. Die regulären hydraulischen Rückspülungen können einen Teil dieser Beläge entfernen, reichen jedoch nicht immer aus, der kontinuierlichen Belastung während des Filterbetriebes vollumfänglich entgegenzuwirken. Aus diesem Grund wird periodisch eine CEB-Reinigung durchgeführt. CEB steht für chemically enhanced backwash. Diese kombiniert die mechanische Reinigungswirkung durch die hydraulische Rückspülung mit der Reinigungswirkung durch beigemischte Chemikalien. Je nach Beschaffenheit der Verunreinigung (letztlich, des Rohwassers) kommen oxidative, saure oder alkalische Chemikalien zur Anwendung. Das rückgespülte Abwasser (samt Kohle) wird über die Kanalisation (gegebenenfalls nach einer vorangegangenen Neutralisation) aus dem System entfernt. Weiter muss ca. 1-2 pro Jahr ein Cleaning-in-Place (CIP) durchgeführt werden. Dies ist eine Intensivreinigung, bei der ebenfalls Chemikalien eingesetzt werden müssen.

Aus obengenannten Schilderungen wird klar, dass PAK im Vergleich zu GAK ein verfahrenstechnisch komplexerer Prozess darstellt. Für schlecht adsorbierbare Stoffe, wie beispielsweise CTM, bringt diese Komplexität aber einige Vorteile mit sich:

- Kein Betriebsunterbruch durch Aktivkohle-Austausch
- Flexibilität bzgl. Aktivkohledosierung
- Geringerer Warenumsatz im Vergleich zu GAK (aufgrund der grossen, gut zugänglichen Oberfläche adsorbiert PAK bei einmaligem Gebrauch eine vergleichbare Menge an Spurenstoffen wie GAK bei mehrmaliger Reaktivierung)
- Höhere Adsorptionskapazität pro Kilogramm eingesetztes Medium

In der Schweiz gibt es zurzeit mindestens 2 Wasseraufbereitungsanlagen von öffentlichen Trinkwasserversorgern, die PAK kontinuierlich einsetzen. Die verbrauchte PAK wird als Feststoff-Wasser-Gemisch in eine Kläranlage transportiert und dort entsorgt bzw. im Prozess eingesetzt. Im Gegensatz zur GAK ist damit nicht garantiert, dass die adsorbierten Spurenstoffe nicht wieder in die Umwelt freigesetzt werden. Zurzeit ist die Frage, ob es in der ARA zu einer Rücklösung der Spurenstoffe kommen kann, nicht abschliessend beantwortet.

Zusätzlich zur Entfernung von CTM kann PAK auch zur Entfernung von PFAS verwendet werden. Im Gegensatz zu GAK dürften mit PAK auch kurzkettige PFAS (z.B. PFBA) teilweise entfernt werden. Eine allfällige Rücklösung dieser problematischen Stoffgruppe in der ARA würde das Anwendungspotential für PAK-UF bzw. für den Entsorgungsweg ARA wahrscheinlich stark vermindern. Während Trifluoressigsäure (TFA) kann auch mit PAK nicht entfernt wird, dürfte PAK ein effektives Mittel für die Entfernung von S-Metolachlor sein.

Neben der Kombination von kommerziell erhältlicher PAK und Ultrafiltration mittels Polymermembranen gibt es noch Untervarianten des PAK-Einsatzes. In den Kapiteln 3.4.3 und 3.4.4 werden die Verfahren «superfeine Pulveraktivkohle» (SPAK) und die Verwendung von Keramikmembranen kurz vorgestellt.

3.4.3 Superfeine pulverförmige Aktivkohle (SPAK)

Der Verbrauch an Pulveraktivkohle hängt davon ab, wie viel zugängliche Oberfläche eine PAK zur Verfügung stellt und wie schnell die Anlagerung der Spurenstoff abläuft. Je feiner die Pulveraktivkohle ist, desto geringer sollte der PAK-Verbrauch deshalb sein. Bei der durch die Firma Membratec entwickelten Technologie wird zur Erzeugung superfeiner PAK (SPAK), granuliert Aktivkohle in einem Nassmahlverfahren vor Ort zu SPAK hergestellt.

Die 2025 in Betrieb gegangene Anlage der Seeländischen Wasserversorgung (SWG) in Worben setzt ein solches Verfahren ein. Da die eingesetzte Aktivkohle aus Schweizer Biomasse hergestellt wird, weist diese PAK im Vergleich zu PAK aus Steinkohle eine sehr gute CO₂-Bilanz auf.

Die Anlage der SWG ist gemäss unserem Wissen die erste grosstechnische Anlage, die in der Schweiz mit diesem Verfahren betrieben wird.

3.4.4 Anschwemmfiltration mit Keramikmembranen (ALCF-Verfahren)

An der Stelle von Polymermembranen können für den Rückhalt der PAK auch Keramikmembranen eingesetzt werden. Die Firma Aquafiltec bietet das sogenannte ALCF-Verfahren (Active-Cake-Layer-Filtration) an. Bei diesem Verfahren stehen die Membranelemente in einem Becken, in das die PAK zugegeben wird. Das zu behandelnde Wasser wird von einer Pumpe durch die Membran gesogen, so dass sich die PAK in Form einer dünnen Schicht an die Membran anlagert. Im Gegensatz zu Polymermembranen ist die Rückspülfrequenz bei diesem Verfahren wesentlich tiefer.

Gemäss unserem Wissenstand ist in der Schweiz bisher keine grosstechnische Anlage zur Elimination von Spurenstoffen in Betrieb.

3.5 Umkehrosmose

Die Umkehrosmose ist eine Art der Membranfiltration, bei der das zu behandelnde Wasser mit Druck durch eine dichte Membran gedrückt wird. Die Membran kann praktisch nur von Wassermolekülen passiert werden, so dass das Permeat die Qualität von demineralisiertem Wasser aufweist. Alle übrigen gelösten Wasserbestandteile werden zurückgehalten. Damit diese Bestandteile sich nicht auf der Membran ablagern, müssen sie mit einem kontinuierlichen Wasserstrom abgeführt werden. Dieser Wasserstrom wird als Konzentrat bezeichnet und beträgt zwischen 10 und 30 % des behandelten Wassers. Damit das Permeat als Trinkwasser abgegeben werden kann, muss es mit anderem Wasser gemischt oder künstlich remineralisiert werden. Die Umkehrosmose wird weltweit in sehr grossem Stil für die Entsalzung von Meerwasser eingesetzt.

Die Umkehrosmose ist grundsätzlich sehr gut geeignet, die Metaboliten R471811 und R417888 weitgehend zurückzuhalten. Die anfallende grosse Konzentratmenge muss in der Regel in ein Oberflächengewässer entsorgt werden. Damit werden die Spurenstoffe zwar aus dem Trinkwasser entfernt, über die Konzentratentsorgung aber wieder in die Umwelt freigesetzt.

Für die Entfernung von Spurenstoffen (neben CTM auch andere Pflanzenschutzmittel und deren Metabolite sowie PFAS inkl. TFA) weist das Verfahren der Umkehrosmose neben der Problematik der Remineralisierung auch aus umweltpolitischer Sicht gewichtige Nachteile auf:

- geringe Wassereffizienz
- hoher Energiebedarf
- Spurenstoffe werden nicht aus der Umwelt entfernt (zusätzliche Freisetzung von Spurenstoffen bei Verwendung eines Antiscalant)

Wenn die Problematik der Konzentratentsorgung gelöst werden kann (z.B. grosser Vorfluter) und genügend Wasser für die Mischung des Permeats zur Verfügung steht, kann eine Umkehrosmose-Anlage andererseits verhältnismässig kompakt (geringe Gebäudegrösse erforderlich) und günstig realisiert werden.

3.6 Risiken Aufbereitungsverfahren

Der Einsatz eines mehrstufigen Aufbereitungsverfahrens führt in Abhängigkeit des gewählten Verfahrens zwangsläufig zu höheren Gestehungskosten. Auch der Energieverbrauch und damit verbunden der CO₂-Fussabdruck pro m³ produziertem Wasser steigen an. Neben diesen offensichtlichen Nachteilen bringt ein Aufbereitungsverfahren auch verschiedene Risiken mit sich:

- Risiken Trinkwasserverunreinigung
 - Häufige Eingriffe im Rahmen Betrieb, Wartung und Unterhalt (z.B. Wechsel Aktivkohle)
 - Fehlmanipulationen aufgrund Anlagenkomplexität (z.B. Fehldosierung Chemikalien)
 - Verunreinigung der angelieferten Aufbereitungsstoffe (Aktivkohle)
- Risiken Gewässerverunreinigung
 - Unsachgemässer Umgang mit Aufbereitungsabwässern
- Risiken Arbeitssicherheit

- Die Verwendung von Chemikalien und Aktivkohle, insbesondere Pulveraktivkohle, erhöhen auch die Risiken bzgl. Arbeitssicherheit

Da die gesundheitlichen Risiken der CTM gemäss der bisherigen Kommunikation des BLV und der kantonalen Kontrollinstanzen relativ begrenzt sind, ist es aus unserer Sicht umso wichtiger, dass man sich bewusst ist, dass auch der Betrieb einer Aufbereitungsanlagen mit gewissen Risiken für die Trinkwasserqualität oder die Umwelt verbunden ist.

Um die Risiken der geplanten Aufbereitungsanlage zu minimieren, wurde bewusst darauf verzichtet, improvisierte temporäre Lösungen, welche den Stand der Technik nicht einhalten, in Betracht zu ziehen (Anlagen ohne Einhausung, ohne Redundanz, ohne Automatisierung, etc.). Alle Varianten haben folgende Randbedingungen einzuhalten:

- Die Anlagen sind eingehaust und voll automatisiert
- Die SVGW-Richtlinien und die Anforderungen an den Arbeitsschutz werden eingehalten
- Fokus der Studie liegt auf der Reduktion von CTM. Bei den geprüften Methoden wurde die Wirksamkeit zur Reduktion von Nitrat im Grundwasser nicht vorausgesetzt.

4 Variantenstudie ZV Regionale Wasserversorgung Gäu

4.1 Festlegung der zu untersuchenden Varianten

Als erster Schritt wurde für das GWPW Neufeld im Rahmen einer Grobevaluation die Einsetzbarkeit der im Kapitel 3 aufgeführten Haupttechnologien (GAK, PAK-UF, Umkehrosrose) geprüft.

Für die im Vergleich zum Aufbereitungsziel von $< 0.1 \mu\text{g/l}$ verhältnismässig hohe Rohwasser-Konzentration des Metaboliten R471811 von $> 1 \mu\text{g/l}$, erschienen die für ihre gute Eliminationsleistung bekannte Technologien PAK-UF und Umkehrosrose besonders vielversprechend. Die Umkehrosrose würde zudem auch die Nitratkonzentration im Trinkwasser reduzieren.

Das für den Einsatz einer Umkehrosrose erforderliche, relativ unbelastete Mischwasser könnte durch den Bau einer Transportleitung von Oensingen beschafft werden. Mit der Dünnern ist auch ein Vorfluter mit einem ausreichend grossen Abfluss vorhanden, in dem das entstehende Konzentrat eingeleitet werden kann. Falls die Umkehrosrose bei einer tiefen Ausbeute betrieben wird, kann allenfalls auch auf den Einsatz eines Antiscalant verzichtet werden. Auch wenn im Falle des GWPW Neufelds, die Randbedingungen für den Einsatz einer Umkehrosrose relativ günstig sind, wurde im Projektteam aus folgenden Gründen beschlossen, diese Variante nicht weiterzuverfolgen:

- CTM werden nicht aus der Umwelt entfernt
- Geringe Wassereffizienz
- Hoher Energiebedarf
- Leitung aus Oensingen muss zwingend erstellt werden (WV Gäu kann aber nicht als 2. Standbein für Oensingen dienen, wenn die Anlage in Betrieb ist)
- Bewilligungstechnisch und umweltpolitisch herausfordernd

Als Alternative zur Variante PAK-UF wurde somit anstelle der Umkehrosrose die Filtration über granulierte Aktivkohle gewählt. Der Herausforderung der hohen Rohwasserkonzentration wird mit einem 2-stufigen Verfahren begegnet. Somit wurden für die RWV Gäu folgende Varianten untersucht:

- Aufbereitung mittels granulierter Aktivkohle (GAK)
- Aufbereitung mittels Pulveraktivkohle und nachfolgender Ultrafiltration (PAK-UF)

Für beide Varianten wurde ein Standort neben dem bestehenden Grundwasserpumpwerk Neufeld vorgesehen.

4.2 Variante granuliert Aktivkohle

4.2.1 Verfahrensbeschreibung

Die verfahrenstechnische Ausrüstung dieser Variante ist aus dem Fließschema in Abbildung 7 ersichtlich. Das Wasser aus dem GWPW gelangt über eine neu zu erstellende Leitung in das Gebäude der Trinkwasseraufbereitung. Das Gebäude ist mit einem Grundriss von ca. 12 mal 29 Meter raumgreifend und erstreckt sich über drei Geschosse (Keller, Erdgeschoss, Obergeschoss).

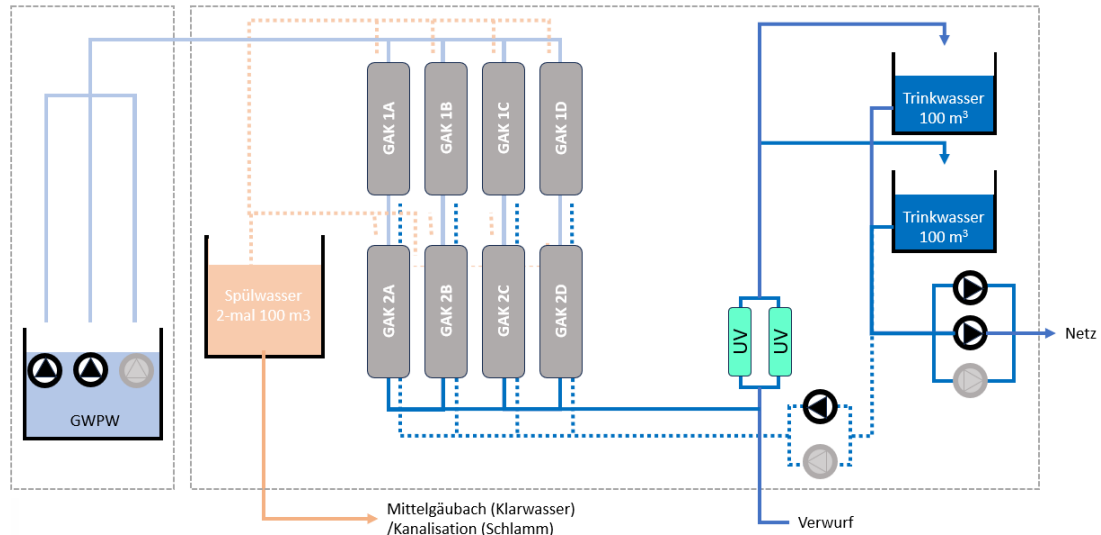


Abbildung 7: Fließschema für die Trinkwasseraufbereitung mittels GAK am Standort GWPW Neufeld. Hellblaue durchgezogene Linien und Flächen: Rohwasser. Dunkelblaue durchgezogene Linien und Flächen: Aufbereitetes Trinkwasser. Dunkelblaue gestrichelte Linien: Trinkwasser, welches zur Rückspülung der GAK-Behälter verwendet wird (vor der Rückspülung). Ockerfarbene gestrichelte Linien und Flächen: Schmutziges Rückspülwasser. Redundante, nicht laufende Pumpen sind ausgegraut dargestellt.

Der Keller wird durch die Wasservorhaltung eingenommen und beheimatet die Reinwasserbecken (2 mal 100 m³), die Schwemmwasserbecken (2 mal 100 m³) ein Zwischenbecken für den Verwurf (ca. 50 m³, in Abbildung 7 nicht dargestellt) sowie den Pumpenkeller mit den benötigten Pumpen, Verrohrungen und Armaturen. Die Becken sind allesamt in Stahlbeton ausgeführt. Insgesamt müssen bei dieser Variante 450 m³ Beckenvolumen bereitgestellt werden.

Die Druckbehälter für die eigentliche GAK-Filtration sind im Erdgeschoss beheimatet. Es handelt sich um 8 Behälter mit einem Durchmesser von 3.0m und einer Höhe von 6.5 m, jeder Filter fasst 18 m³ granuliert Aktivkohle. Da die CTM-Konzentration um den Faktor 11 (siehe Kapitel 2.1.1.1) reduziert werden muss, werden die Behälter seriell betrieben. Die acht Filter sind in vier Paaren angeordnet (1. Stufe und 2. Stufe), wobei die Reihenfolge der Beschickung im laufenden Prozess gewechselt werden kann. Die Kohle im Filter, der als erstes angefahren wird, sieht unbehandeltes Rohwasser mit der höchsten CTM-Konzentration, entsprechend «schnell» wird diese gesättigt. Eine Reduktion der CTM-Konzentration um den Faktor 11 in nur einem Schritt liesse sich bewältigen, ginge aber mit kurzen Standzeiten und entsprechend häufigen Kohlewechsell einher. Nachdem die Aktivkohle des ersten Filters ausgetauscht wurde, wird die Reihenfolge gewechselt. Der Filter, der bisher die 2. Stufe bildete und entsprechend schwach belastet wurde, wird nun als erstes angefahren. Die frische Kohle im bisher ersten Filter dient nun als zweite Stufe (Polizeistufe), welche eventuell die erste Stufe passierende CTM bindet. Dadurch kann die Kohle vor der Regeneration voll

ausgenutzt werden, was die Standzeit verlängert, die Betriebskosten senkt und das Erreichen der Aufbereitungsziele garantiert.

Die Auslegung der Aktivkohlefiltration beruht im Wesentlichen auf den im Laufe der letzten Jahre in der SVGW-Zeitschrift Aqua & Gas publizierten Ergebnissen zu verschiedenen Pilotversuchen, insbesondere auch [3]. Auf Basis dieser Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass bei einer einstufigen Behandlung mit 1 kg GAK 25-50 m³ Wasser behandelt werden können (spezifischer Durchsatz). Angesichts der Rohwasser-Konzentration > 1 µg/l für R471811 und um auf der sicheren Seite zu liegen, wurde für die Auslegung der Aktivkohlefiltration beim GWPW Neufeld konservativ ein spezifischer Durchsatz von max. 25 m³/kg gewählt. Als zusätzliche Sicherheitsmassnahme wurde die Filtration wie oben beschrieben 2-stufig dimensioniert (dadurch werden mit 1 kg GAK effektiv 2 x 25 m³ Wasser behandelt). Die Anlage wurde so ausgelegt, dass der GAK-Austausch pro Filterdruckbehälter nicht häufiger als einmal pro Jahr erfolgen muss. Wenn bei jedem Aktivkohlaustausch die Aktivkohle der Hälfte der Filterbehälter regeneriert wird, erfolgt ein Aktivkohleaustausch maximal alle 6 Monate.

Auch für die Berechnung der Kosten der Regenerierung der Aktivkohle wurde von einem theoretischen spezifischen Wasserdurchsatz von 25 m³/kg (1-stufige Anlage) ausgegangen.



Abbildung 8: Beispiel eines Filterbehälters aus Edelstahl (Aktivkohlefiltration des Wasserwerks Rauental in Rastatt D)

4.2.2 Bauliche Umsetzung

Aus obigen Erläuterungen geht hervor, dass sich die Trinkwasseraufbereitung nicht in den bestehenden Räumlichkeiten des GWPW Neufeld realisieren lässt, sondern dass dazu der Neubau eines kompletten Gebäudes notwendig sein wird. Glücklicherweise ist das GWPW Neufeld gut gelegen, so dass theoretisch kein Mangel an nahegelegenen Baugrund besteht. Überlegungen zum exakten Standort (Besitzverhältnisse, Grundwasserschutzzonen, Servitute, etc.) wurden im Rahmen dieser Studie nicht angestellt, aus Abbildung 9 geht aber hervor, dass es sowohl auf der Reservefläche (Grundwasserschutzzone S2), welche bereits dem Zweckverband regionale Wasserversorgung Gäu gehört, als auch auf den angrenzenden Grundstücken ausreichend freie Fläche zur Verfügung hat. Der guten Flächenverfügbarkeit steht jedoch die bewilligungstechnische Herausforderung gegenüber (Landwirtschaftszone, Juraschutzzone).

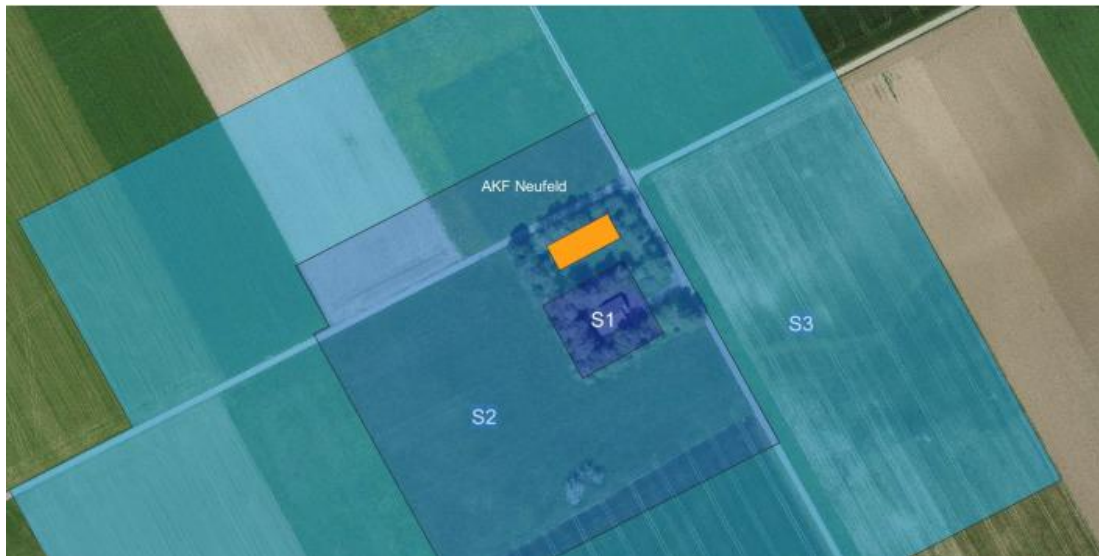


Abbildung 9: Übersicht der theoretisch zur Verfügung stehenden Flächen für den Bau der Trinkwasseraufbereitungsanlage. Orange: Ein möglicher Standort innerhalb der Grundwasserschutzzone S2.

Zur elektrischen Anbindung des neuen Gebäudes wird dieses mit einem Traforaum ausgestattet, welcher zusätzlich die Funktion des Trafos im bestehenden GWPW übernehmen wird (dieser ist in die Jahre gekommen). Da die Netzeinspeisung ab der Aufbereitungsanlage erfolgt und die bestehenden Pumpen im GWPW durch kleinere ersetzt werden müssen, macht es mehr Sinn, die Trafostation im Aufbereitungsgebäude, dem Gebäude mit der höheren Leistungsaufnahme, zu realisieren.

Die Ableitung des anfallenden Abwassers kann ebenfalls einfach gelöst werden. Zwei Arten von Abwasser fallen beim Betrieb der Trinkwasseraufbereitung an: Klarwasser (rund 1'700 m³/Jahr) und mit Kohleschlamm belastetes Wasser (rund 2'000 m³/Jahr). Abklärungen mit der ARA Gäu in Gunzgen haben ergeben, dass das belastete Wasser in die Kanalisation eingeleitet werden darf. Zu diesem Zweck wird die bestehende, 40 Jahre alte Kanalisationsleitung erneuert. Das Klarwasser kann in den Mittelgäubach abgeleitet werden. Dazu wird eine neue Leitung erstellt (Bemühungen hinsichtlich einer Einleitbewilligung wurden im Rahmen der Studie allerdings keine gemacht).

4.2.3 Vor- und Nachteile

Auf Grund der hohen CTM-Anfangsbelastung im Grundwasser muss die GAK-Behandlung zweistufig ausgelegt werden. Verbunden mit den für diesen Standort notwendigen Durchlässen erwachsen daraus signifikante Nachteile:

- Um die Standzeit der Medien ausnützen zu können, muss eine Stufenrochade vorgesehen werden. Dies macht die Verrohrung aufwändig (Leitungsmeter, Armaturen).
- Es werden grosse Mengen Filtermedium benötigt. Entsprechend raumgreifend werden die Druckbehälter und damit auch das Gebäude.
- Der Kohlewechsel wird mannstundenintensiv.
- Für den massiven Materialumschlag müssen bei der Projektierung entsprechende Logistikfreiflächen berücksichtigt werden.
- Es müssen grosse Wasserrückhaltevolumina bereitgestellt werden.
- Ein Filterbehälter mit Aktivkohle darf nicht für längere Zeit ausser Betrieb genommen werden, da aufgrund der Sauerstoffzehrung im Filterbett das Risiko der Nitritbildung besteht. Eine GAK-Anlage muss deshalb möglichst kontinuierlich betrieben werden.

Trotzdem gehen aus der Kombination von Standort und Technologie Chancen hervor, weshalb entschieden wurde, diese Variante als Alternative zur PAK-UF-Lösung auszuarbeiten. Diese sind unter anderem:

- Im Gegensatz zur PAK-UF handelt es sich um ein etabliertes Verfahren, welches Verfahrenstechnisch einfach zu beherrschen ist.
- Materialumschlag ist nicht gleich Materialverbrauch. Die GAK-Lösung von Gäu befindet sich in einer Grössenordnung, in der sich die Reaktivierung der Kohle und die damit verbundene Logistik gut finanziell darstellen lässt.
- Durch die Mehrstrassigkeit geht der periodische Kohlenwechsel nicht mit einem Betriebsunterbruch einher.
- Durch die Mehrstrassigkeit kann der Kohletausch gestaffelt werden, was sich senkend auf die bereitzustellenden Rückhaltevolumina auswirkt.
- Der Prozess am Ende der Standzeit ist definiert und etabliert. Mit der Regeneration ist ein Rückeintritt der CTM von der Kohle in die Umwelt technisch verunmöglicht. Dies ist ein grosser Vorteil gegenüber der PAK-Lösung, bei der nach heutigem Stand des Wissens ein Rückeintritt in die Umwelt nicht ausgeschlossen werden kann.

4.2.4 Kosten

4.2.4.1 Investitionskosten

Die Investitionskostenschätzung für die Trinkwasseraufbereitung mittels granulierter Aktivkohle am Standort Neufeld ist der Tabelle 3 zu entnehmen. Die Erstbefüllung mit GAK wurde nicht eingerechnet, da die GAK-Kosten in die Betriebskosten einfließen. So ist auch die Vergleichbarkeit mit PAK-UF sichergestellt.

Tabelle 3: Investitionskostenschätzung \pm 30 % für die Variante GAK am Standort Neufeld.

| Position | Kosten [CHF] |
|--|--------------------|
| Rohbau | 1'000'000.- |
| Baugrube | 200'000.- |
| Innenausbau | 660'000.- |
| Gebäudehülle | 260'000.- |
| Umgebung (inkl. Werkleitungen) | 270'000.- |
| Abwasser- und Sauberwasserpumpleitung | 280'000.- |
| Subtotal Bau | 2'670'000.- |
| Verfahrenstechnik | 2'400'000.- |
| Gebäudetechnik (inkl. Trafo und PV-Anlage) | 550'000.- |
| Anpassungen GWPW Neufeld | 140'000.- |
| Subtotal Bau und Ausrüstung | 5'760'000.- |
| Unvorhergesehenes (25%) | 1'440'000.- |
| Honorare und Baunebenkosten (18%) | 1'300'000.- |
| Projektkosten, exkl. MwSt. | 8'500'000.- |
| MwSt. 8.1%, gerundet | 690'000.- |
| Total Projektkosten inkl. MwSt. | 9'190'000.- |

4.2.4.2 Betriebskosten

Die Betriebskostenschätzung für die Trinkwasseraufbereitung mittels GAK am Standort Neufeld ist der Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Betriebskostenschätzung für die Variante GAK am Standort GWPW Neufeld

| Position | Einheit | Wert pro Jahr | Einheitspreis (CHF) | Kosten pro Jahr (CHF) |
|---|----------------|---------------|---------------------|-----------------------|
| GAK(-Reaktivierung) | t | 68 | 2'000 | 137'000 |
| Zusätzlicher Stromverbrauch | kWh | 100'000 | 0.2 | 20'000 |
| Abwassergebühren | m ³ | 2'000 | 2.4 | 4'800 |
| Personalaufwand | Tage | 50 | 1'000 | 50'000 |
| Wartung und Unterhalt Bau | % | 0.5 | 4'260'000 | 21'300 |
| Wartung und Unterhalt Verfahrenstechnik | % | 1 | 4'930'000 | 49'300 |
| Kosten total pro Jahr | | | | 282'400 |
| Total pro m³ | | | | 0.22 |

4.2.4.3 Jahreskosten

Die Jahreskostenschätzung für die Trinkwasseraufbereitung mittels granulierter Aktivkohle am Standort Neufeld ist der Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Jahreskostenschätzung für die Variante GAK am Standort GWPW Neufeld. Für die Berechnung der Jahreskosten wurden folgende Rahmenbedingungen angenommen: Abschreibedauer 33 Jahre, kalkulatorischer Zinssatz 1.5 %.

| Position | Einheit | Betrag |
|---|--------------------------|----------------|
| Investitionskosten (inkl. MwSt.) | CHF | 9'190'000 |
| Nutzungsdauer | Jahre | 33 |
| Jährliche Kapitalkosten ohne Verzinsung | CHF/Jahr | 278'000 |
| Durchschnittliche jährliche Zinskosten | CHF/Jahr | 78'000 |
| Kapitalkosten total | CHF/Jahr | 356'000 |
| Betriebskosten total | CHF/Jahr | 282'400 |
| Jahreskosten total | CHF/Jahr | 638'400 |
| Kosten total pro m³ | CHF/m³ | 0.50 |

4.3 PAK-UF

4.3.1 Verfahrensbeschreibung

Die verfahrenstechnische Ausrüstung dieser Variante ist aus dem Fließschema in Abbildung 10 ersichtlich. Das Wasser aus dem GWPW gelangt über eine neu zu erstellende Leitung in das Gebäude der Trinkwasseraufbereitung. Das Gebäude ist mit einem Grundriss von ca. 16.5 mal 17.5 Meter raumgreifend, aber deutlich kleiner als in der vorangegangenen Variante und erstreckt sich über zwei (statt wie vorangegangen 3) Geschosse (Keller, Erdgeschoss).

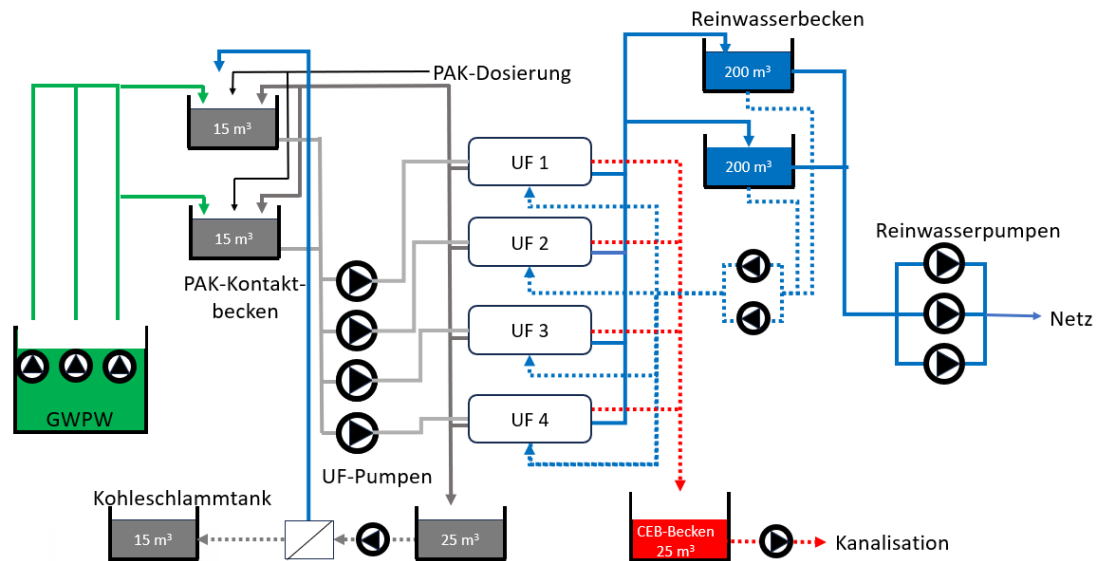


Abbildung 10: Fließschema für die Trinkwasseraufbereitung mittels PAK-UF am Standort GWPW Neufeld. Grüne Linien und Flächen: Rohwasser aus dem GWPW Neufeld. Graue Linien und Flächen: Wasser/PAK-Gemisch (vor Ultrafiltration und nach Rückspülung). Dunkelblaue Linien und Flächen: Reinwasser. Dunkelblaue gestrichelte Linien: Reinwasser, welches zur Rückspülung eingesetzt wird. Rote gestrichelte Linien: Rückspülwasser nach CEB-Reinigung.

Der Keller wird durch die Wasservorhaltung eingenommen und beheimatet die Reinwasserbecken (2 mal 60 m³), die Kontaktbecken (2 mal 15 m³) ein Rückspülbecken (15 m³) und ein Becken zum Auffangen des CEB-Rückspülwassers (24 m³), die erforderlichen Pumpen, Rohrleitungen und Armaturen sowie die Anlage zur Abtrennung der PAK vom Reinwasser. Die Becken sind allesamt in Stahlbeton ausgeführt. Insgesamt müssen bei dieser Variante knapp 190 m³ Rückhaltevolumen bereitgestellt werden, das ist weniger als die Hälfte dessen, was bei der GAK-Variante benötigt wird.

Das Erdgeschoss beheimatet die Racks für die Ultrafiltration (z.B. 4 Racks mit je ca. 15 Modulen), die Anlage zur Dosierung der PAK sowie eine allfällige Nassmahlung im Falle der Dosierung von SPAK, Lagerräumlichkeiten sowie die Betriebswarte. Ausserhalb des Gebäudes muss Platz für das Kohlesilo (ca. 20 m³) und einen Schlammfangbehälter, in dem die verbrauchte PAK gelagert werden kann, vorgehalten werden.

Im Folgenden soll der Prozess in Abbildung 10 durchgespielt und die zugrundeliegenden Überlegungen erläutert werden.

Das Rohwasser aus dem GWPW Neufeld gelangt über eine neu zu erstellende Leitung in die Räumlichkeiten der Trinkwasseraufbereitung. Die aktuell im GWPW verbauten Pumpen müssen durch Pumpen mit einer geringeren Förderhöhe ersetzt werden.

Das CTM-belastete Grundwasser gelangt in die beiden Kontaktbecken, wo es während einer definierten Kontaktzeit mit der PAK in Berührung gebracht wird (unter kontinuierlicher Zugabe von PAK).

Durch die Ultrafiltrationspumpen wird das PAK-Wasser-Gemisch zu den Ultrafiltrationsracks gefördert und da in Permeat und Retentat aufgetrennt. Das Permeat, also Reinwasser, wird in die Reinwasserbecken gepumpt, wo es vorgehalten und anschliessend durch die Reinwasserpumpen in das Netz eingespeist wird. Das Retentat, also ein PAK-Wasser-Gemisch, gelangt während des normalen Betriebes zurück in die Kontaktbecken. Da PAK, genau wie GAK, eine begrenzte Aufnahmekapazität und damit eine definierte, endliche Standzeit hat, muss auch die PAK im Prozess erneuert werden. Dies geschieht durch die kontinuierliche Zudosierung von PAK in die Kontaktbecken. Die verbrauchte PAK wird periodisch aus dem Prozess entfernt. Dies wird dadurch erreicht, dass bei z.B. jeder vierten Rückspülung das Retentat nicht zurück in die Kontaktbecken, sondern in die Spülabwasseraufbereitungsanlage geschickt wird. Dort wird die PAK aus dem PAK-Wasser-Gemisch abgetrennt und anschliessend in einem Kunststofftank für den Abtransport zwischengelagert. Das Wasser wird zurück in den Prozess geführt. Wie die für die Entsorgung erforderliche Abtrennung der PAK im Detail am besten erfolgen soll, ist noch unklar. Es kommen verschiedene Prozesse in Frage (Absetzbecken, zweite Membrananlage, alternative Arten von Filtration, etc.).

Wie bei kontinuierlichen Filtrationsvorgängen üblich, muss auch in diesem Prozess rückgespült werden. Man unterscheidet zwischen einer «normalen», periodisch wiederkehrenden Rückspülung und einer täglichen CEB-Rückspülung (siehe Kapitel 3.4.3). Bei beiden wird Reinwasser verwendet, welche durch die Rückspülpumpen von den Reinwasserbecken zu den Ultrafiltrationsracks gepumpt wird. Bei einer CEB-Rückspülung wird das Wasser in das CEB-Auffangbecken geleitet und ab da, gegebenenfalls nach einer chemischen Neutralisation, in die Kanalisation eingeleitet.

Der Pulveraktivkohleverbrauch der Anlage wird auf Basis der im Laufe der letzten Jahre in der SVGW-Zeitschrift Aqua & Gas publizierten Ergebnisse von Pilotversuchen (z.B. [3]) und Angaben der Firma Membratec auf ca. 6-8 mg PAK pro Liter behandeltes Wasser geschätzt.

4.3.2 Bauliche Umsetzung

Wie im Falle der GAK-Variante ist auch diese Lösung zu gross, um in den Räumlichkeiten des GWPW Neufeld untergebracht werden zu können. Auf Ausführungen betreffend die potentielle Lage des neuen Gebäudes kann an dieser Stelle verzichtet werden, es gelten die gleichen Überlegungen wie bei der GAK-Variante (siehe Kapitel 4.2.2.). Auch die elektrische Erschliessung und die Einbindung in die Kanalisation können bei dieser Variante aus der GAK-Variante übernommen werden. Da bei dieser Variante nur eine Art von Abwasser (Einleitung in die Kanalisation) anfällt, kann auf eine Leitung zum Mittelgäubach verzichtet werden.



Abbildung 11: Ultrafiltration der SPAK-UF-Anlage der Seeländischen Wasserversorgung in Worben (Quelle Membratec)

4.3.3 Vor- und Nachteile

Für den Standort Gäu, mit seiner hohen CTM-Anfangskonzentration und den erforderlichen hohen Durchsätzen bietet PAK, insbesondere in der Untervariante mit superfeiner Aktivkohle, entscheidende Chancen. Diese sind:

- Es gibt einen kontinuierlichen Anfall kleiner Schwemmwassermengen, keine punktuellen Spitzenlasten, wie die bei GAK der Fall ist.
- Durch die kontinuierliche PAK-Dosierung besteht eine hohe Flexibilität. Während der Lebenszeit der Anlage kann der Prozess an die Entwicklung der CTM-Anfangskonzentration im Rohwasser angepasst werden.
- Kein Betriebsunterbruch durch Kohlewechsel nötig, es gibt einen stabilen, kontinuierlichen Prozess.
- Der zeitweise Stillstand der Anlage ist weniger problematisch als bei GAK, da das Risiko der Nitrit-Bildung in den PAK-Kontaktbecken deutlich tiefer sein dürfte als bei den GAK-Filterbehältern
- Im eingefahrenen Prozess ist das Verfahren wenig mannstundenintensiv.

PAK ist ein neueres Verfahren als GAK und entsprechend weniger etabliert. Dies trifft in gesteigertem Masse auf SPAK vor, was ein paar gewichtige Nachteile mit sich bringt:

- Es handelt sich um ein neues Verfahren mit Pioniercharakter, dies geht mit einer gesteigerten Havarieanfälligkeit einher. Des Weiteren bestehen für die Abtrennung und Entsorgung der verbrauchten PAK noch keine etablierte Praxis.
- Verbrauchte PAK muss in wässriger Lösung per Schlammcontainer oder Tankwagen entsorgt werden (logistischer Aufwand)
- Verfahren lässt sich nur unter Einsatz von Chemikalien realisieren.
- Komplexes Verfahren, ein hohes technisches Verständnis ist für den Betreiber unabdingbar.
- Am Ende der Standzeit kann PAK nicht mehr reaktiviert werden und muss der Entsorgung zugeführt werden. Je nach gewähltem Verfahren kann ein Rückeintritt von CTM vom Medium in die Umwelt nach jetzigem Stand des Wissens nicht ausgeschlossen werden.

4.3.4 Kosten

4.3.4.1 Investitionskosten

Die Investitionskostenschätzung für die Trinkwasseraufbereitung mittels PAK-UF am Standort Neufeld sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Investitionskostenschätzung $\pm 30\%$ für die Variante PAK-UF am Standort Neufeld

| Position | Kosten [CHF] |
|--|--------------------|
| Rohbau | 660'000.- |
| Baugrube | 180'000.- |
| Innenausbau | 220'000.- |
| Gebäudehülle | 144'000.- |
| Umgebung (inkl. Werkleitungen) | 160'000.- |
| Abwasserleitung | 260'000.- |
| Subtotal Bau | 1'620'000.- |
| Verfahrenstechnik | 2'410'000.- |
| Gebäudetechnik | 480'000.- |
| Anpassungen GWPW Neufeld | 140'000.- |
| Subtotal Bau und Ausrüstung | 4'650'000.- |
| Unvorhergesehenes (25%) | 1'160'000.- |
| Honorare und Baunebenkosten (18%) | 1'050'000.- |
| Projektkosten, exkl. MwSt. | 6'860'000.- |
| MwSt. 8.1%, gerundet | 560'000.- |
| Total Projektkosten inkl. MwSt. | 7'420'000.- |

4.3.4.2 Betriebskosten

Die Betriebskostenschätzung für die Trinkwasseraufbereitung mittels PAK-UF am Standort Neufeld sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Betriebskosteschätzung für die Variante PAK-UF am Standort Neufeld

| Position | Einheit | Wert pro Jahr | Einheitspreis (CHF) | Kosten pro Jahr (CHF) |
|---|---------|---------------|---------------------|-----------------------|
| Pulveraktivkohle | - | - | 31'400 | 45'000 |
| Strom | - | - | 49'000 | 49'000 |
| Ersatz Membranen | - | - | 11'200 | 11'200 |
| Abwasserentsorgung | - | - | 26'000 | 26'000 |
| Chemikalien | - | - | 1'000 | 1'000 |
| Wartungsverträge | - | - | 12'000 | 12'000 |
| Personal | - | - | 40'000 | 40'000 |
| Wartung und Unterhalt Bau | % | 0.5 | 3'830'000 | 19'150 |
| Wartung und Unterhalt Verfahrenstechnik | % | 1 | 3'030'000 | 30'300 |
| Kosten total pro Jahr | - | - | | 233'650 |
| Total pro m³ | - | - | | 0.18 |

4.3.4.3 Jahreskosten

Die Jahreskostenschätzung für die Trinkwasseraufbereitung mittels PAK-UF am Standort Neufeld ist der Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: Jahreskostenschätzung für die Variante PAK-UF am Standort Neufeld. Für die Berechnung der Jahreskosten wurden folgende Rahmenbedingungen angenommen: Abschreibedauer 33 Jahre, kalkulatorischer Zinssatz 1.5 %.

| Position | Einheit | Betrag |
|---|-----------------|----------------|
| Investitionskosten (inkl. MwSt.) | CHF | 6'860'000 |
| Nutzungsdauer | Jahre | 33 |
| Jährliche Kapitalkosten ohne Verzinsung | CHF/Jahr | 208'000 |
| Durchschnittliche jährliche Zinskosten | CHF/Jahr | 57'000 |
| Kapitalkosten total | CHF/Jahr | 265'000 |
| Betriebskosten total | CHF/Jahr | 233'650 |
| Jahreskosten total | CHF/Jahr | 498'650 |
| Kosten total pro m3 | CHF/m3 | 0.39 |

5 Variantenstudie Wasserversorgung Schnottwil

5.1 Festlegung der zu untersuchenden Varianten

Wie bei der RWV Gäu wurde als erster Schritt für das GWPW Sagiacker im Rahmen einer Grobevaluation die Einsetzbarkeit der im Kapitel 3 aufgeführten Haupttechnologien (GAK, PAK-UF, Umkehrosmose) geprüft. Zusätzlich wurde auch der optimale Standort der Aufbereitungsanlage evaluiert. Da das geförderte Grundwasser über eine eigene Pumpleitung ins Reservoir gefördert wird, bestehen bzgl. Positionierung der Aufbereitungsanlage deutlich mehr Freiheitsgrade als bei der RWV Gäu.

Für die im Vergleich zum Aufbereitungsziel von $< 0.1 \mu\text{g/l}$ verhältnismässig hohe Rohwasser-Konzentration des Metaboliten R471811 von $> 1.6 \mu\text{g/l}$, erschienen die für ihre gute Eliminationsleistung bekannte Technologien PAK-UF und Umkehrosmose besonders vielversprechend. Die Umkehrosmose würde zudem auch die Nitratkonzentration im Trinkwasser reduzieren.

Eine Umkehrosmose müsste in unmittelbarer Nähe des Reservoirs Aspiwäldli angeordnet werden, da von einem Transport des korrosiven Permeats in der bestehenden Gussleitung abgeraten wird. Im Reservoir bestünde auch die Möglichkeit, das für den Einsatz einer Umkehrosmose erforderliche relativ unbelastete Mischwasser via bestehende Leitung von der Gemeinde Biezwil zu beziehen. Mangels geeignetem Vorfluter müsste das Konzentrat voraussichtlich in die Kanalisation eingeleitet werden, was im Falle von Schnottwil aufgrund der geringen Grösse der Anlage und der Verwendung eines Antiscalant ausnahmsweise bewilligungsfähig sein könnte. Auch wenn im Falle Schnottwil die Randbedingungen so sind, dass der Einsatz einer Umkehrosmose grundsätzlich denkbar ist, wurde im Projektteam aus folgenden Gründen beschlossen, diese Variante nicht weiterzuverfolgen:

- CTM werden nicht aus der Umwelt entfernt
- Geringe Wassereffizienz
- Hoher Energiebedarf
- Belastung Kanalisation mit relativ sauberem Wasser
- Bewilligungstechnisch und umweltpolitisch herausfordernd

Als Alternative zur Variante PAK-UF wurde anstelle der Umkehrosmose deshalb die Filtration über granulierte Aktivkohle gewählt. Der Herausforderung der hohen Rohwasserkonzentration wird mit einem 2-stufigen Verfahren begegnet. Somit wurden für die WV Schnottwil folgende Varianten untersucht:

- Aufbereitung mittels granulierter Aktivkohle (GAK) in der Nähe des GWPW Sagiackers (Zufahrt für Silowagen mit GAK möglich)
- Aufbereitung mittels Pulveraktivkohle und nachfolgender Ultrafiltration (PAK-UF) neben dem Reservoir Aspiwäldli (aufgrund der Nähe zum Reservoir kann auf ein Reinwasserbecken und eine Druckerhöhungspumpwerk verzichtet werden)

5.2 Variante granuliert Aktivkohle

5.2.1 Verfahrensbeschreibung

Im Gegensatz zur RWV Gäu wurden für Schnottwil zwei unterschiedliche Aufbereitungsziele definiert, siehe Kapitel 2.1.1. Das GAK-Verfahren entspricht dem Aufbereitungsziel Variante 2: maximale Aufbereitungskapazität 720 m³/Tag, mittlerer täglicher Durchsatz 270 m³/Tag, Jahresproduktion 98'550 m³.

Die verfahrenstechnische Ausrüstung dieser Variante ist aus dem Fließschema in Abbildung 12 zu entnehmen. Die Trinkwasseraufbereitung wird am Standort Sagiacker, in unmittelbarer Nähe zum bestehenden Pumpwerk, errichtet. Da das GWPW nicht mehr direkt ins Reservoir, sondern in die TWA fördern soll, müssen die vorhandenen Pumpen (inklusive Schaltschrank) durch zwei neue, FU-gesteuerte Tauchpumpen (je 10 l/s bei ca. 12 Meter Wassersäule) ersetzt werden. Die Pumpen fördern direkt in den ersten von zwei seriell geschalteten GAK-Behältern, ein Zwischenbecken wird nicht benötigt. Die GAK-Behälter haben eine Bauhöhe von 6.5 Metern (Zylinderhöhe: 4 Meter), der Durchmesser beträgt 2 Meter. Bezüglich der seriellen Schaltung der Behälter und ihrem rotierenden Einsatz als erste/zweite Stufe gelten die gleichen Überlegungen wie bei der GAK-Variante für die RWV Gäu, siehe Abschnitt 4.2.1. Nach der Passage der beiden GAK-Stufen gelangt das Wasser in das Filtratbecken. Ab hier wird es entweder von den Pumpen des Rückspülpumpwerkes für die Rückspülung gefasst oder aber, von den Reinwasserpumpen durch eine UV-Behandlung und anschliessend in das Reservoir Aspiwäldli geführt.

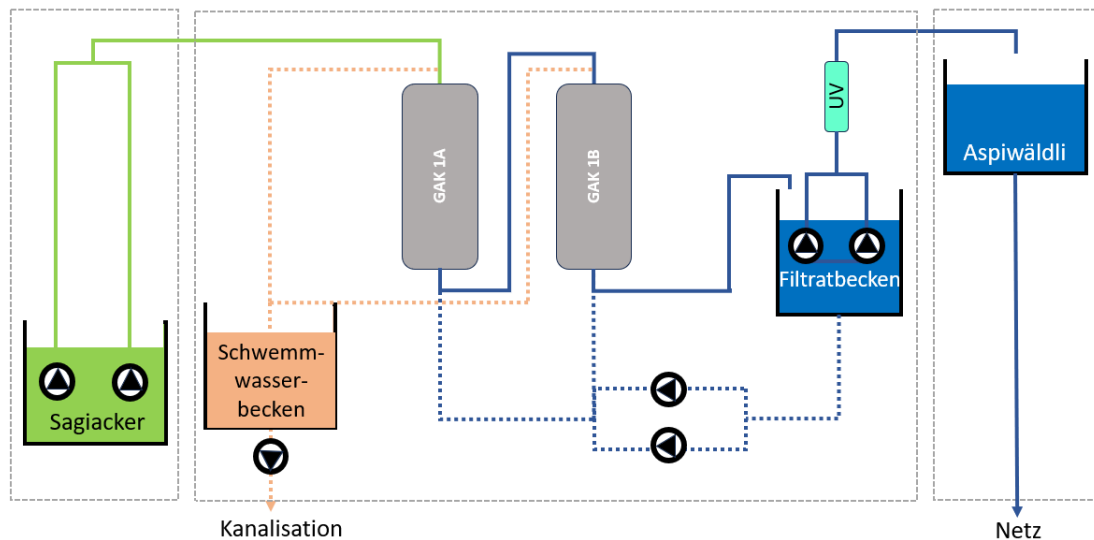


Abbildung 12: Fließschema für die Trinkwasseraufbereitung mittels GAK am Standort Sagiacker. Grüne Linien und Flächen: Rohwasser. Dunkelblaue durchgezogene Linien und Flächen: Aufbereitetes Reinwasser (Trinkwasser, nach Passage UV). Dunkelblaue gestrichelte Linien: Reinwasser, welches zur Rückspülung der GAK-Behälter verwendet wird (vor der Rückspülung). Ockerfarbene Linien und Flächen: Schmutziges Rückspülwasser.

Analog der Aktivkohlefiltration für die RWV Gäu beruht die Auslegung im Wesentlichen auf den im Laufe der letzten Jahre in der SVGW-Zeitschrift Aqua & Gas publizierten Ergebnissen zu verschiedenen Pilotversuchen, insbesondere auch [3]. Auch wenn in Schnottwil die Rohwasser-Konzentration von R471811 noch höher ist als bei der RWV Gäu, wurde für das GWPW Sagiacker derselbe maximale spezifische Durchsatz von 25 m³ Wasser pro kg GAK gewählt. Als zusätzliche Sicherheitsmassnahme wurde die Filtration wie oben beschrieben ebenfalls 2-stufig dimensioniert.

Die Anlage wurde so ausgelegt, dass der GAK-Austausch pro Filterdruckbehälter nicht häufiger als einmal pro zwei Jahr erfolgen muss. Wenn bei jedem Aktivkohlaustausch jeweils die Aktivkohle eines von zwei Filterbehältern ausgetauscht wird, erfolgt ein Aktivkohleaus-tausch maximal einmal pro Jahr.

Auch für die Berechnung der Kosten der Regenerierung der Aktivkohle wurde von einem theoretischen Wasserdurchsatz von 25 m³/kg (1-stufige Anlage) ausgegangen.

5.2.2 Bauliche Umsetzung

Überlegungen zum exakten Standort für die TWA wurden im Rahmen dieser Studie keine angestellt. Eine Übersicht über die räumlichen Gegebenheiten vor Ort liefert Abbildung 13.

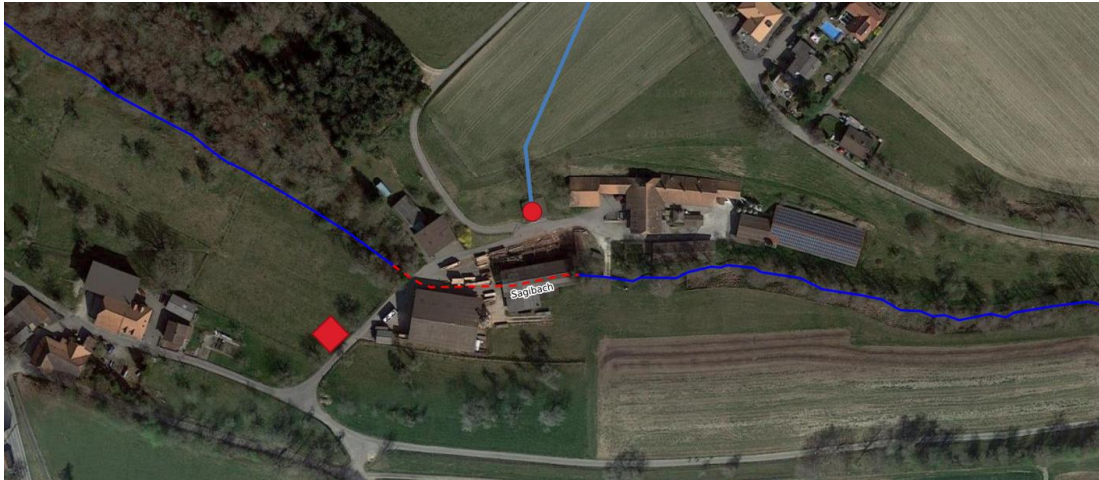


Abbildung 13: Übersicht Standort Sagiacker. Roter Punkt: PW Sagiacker. Rotes Quadrat: Ein möglicher Standort für die TWA. Hellblaue Line: Transportleitung PW Sagiacker -> Res. Aspiwäldli. Dunkelblaue Linie (Sagibach). Rote, gestrichelte Linie: Sagibach, eingedohlt.

Der gesamte Bereich nördlich des Sagibachs ist nur bedingt geeignet. Unmittelbar neben und vor dem PW Sagiacker ist der Platz sehr begrenzt (Kohleanlieferung), hinter dem PW weist der Boden erhebliche Gefälle auf (35 % - 50 %). Südlich des Sagibachs, im linken Teil der Abbildung 13, befindet sich das Grundstück 202. Dieser Bereich eignet sich aus mehreren Gründen:

- Neigung gering, < 18 %
- Ausserhalb der Grundwasserschutzzonen, die nördlich an den Sagibach angrenzen
- Nähe zum Sagibach für die Einleitung von Verwurfswasser

Auf Grund der Höhe der GAK-Behälter muss das Gebäude zweigeschossig ausgeführt werden, siehe Abbildung 14. Der Keller umfasst die betonierten Becken für das Schwemmwasser (grosszügig dimensioniert → GAK-Umschlag), das Reinwasser, sowie den Pumpenkeller und das Treppenhaus.

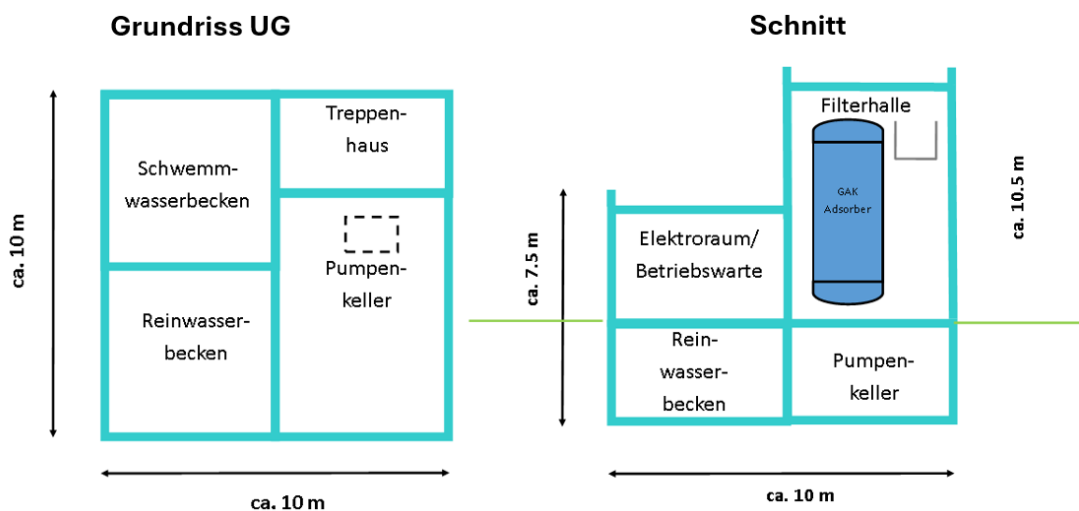


Abbildung 14: Grundriss (links) und Schnitt (rechts) des zu errichtenden Gebäudes.

Für die Ableitung des Abwassers wurde der Bau einer neuen Abwasserleitung vorgesehen, die im Gebiet nordöstlich der Brunnmatt ans Kanalisationsnetz angeschlossen wird.

5.2.3 Vor- und Nachteile

Auf Grund der hohen CTM-Anfangsbelastung im Grundwasser muss die GAK-Behandlung zweistufig ausgelegt werden. Verbunden mit den für diesen Standort notwendigen Durchsätzen erwachsen daraus signifikante Nachteile:

- Um die Standzeit der Medien ausnützen zu können, muss eine Stufenrochade vorgesehen werden. Dies macht die Verrohrung aufwändig (Leitungsmeter, Armaturen).
- Der Kohlewechsel wird mannstundenintensiv, was insbesondere bei einer kleinen WV wie Schnottwil schwerwiegend sein kann.
- Auf Grund der kleinen GAK-Menge kann diese nach Austausch nicht reaktiviert werden →Einsparpotential kann bei dieser Auslegung nicht abgeschöpft werden.
- Einstrassige Auslegung →Kohlewechsel geht mit Betriebsunterbruch einher

Trotzdem gehen aus der Kombination von Standort und Technologie Chancen hervor, weshalb entschieden wurde, diese Variante als Alternative zur PAK-UF-Lösung auszuarbeiten. Diese sind unter anderem:

- Im Gegensatz zur PAK-UF handelt es sich um ein etabliertes Verfahren, welches verfahrenstechnisch einfach zu beherrschen ist.
- Der Prozess am Ende der Standzeit ist definiert und etabliert. Mit der Standard-Entsorgung (Verbrennung oder Regeneration für andere Nutzung) ist ein Rückeintritt der CTM von der Kohle in die Umwelt technisch verunmöglicht. Dies ist ein grosser Vorteil gegenüber der PAK-Lösung, bei der nach heutigem Stand des Wissens ein Rückeintritt in die Umwelt nicht ausgeschlossen werden kann.

5.2.4 Kosten

5.2.4.1 Investitionskosten

Die Investitionskostenschätzung für die Variante GAK am Standort Sagiacker sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Investitionskostenschätzung $\pm 30\%$ für die Variante GAK am Standort Sagiacker. Die Erstbefüllung mit GAK wurde nicht eingerechnet, da die Kosten in die Betriebskosten einfließen. So ist auch die Vergleichbarkeit mit PAK-UF sichergestellt.

| Position | Kosten [CHF] |
|--|--------------------|
| Rohbau | 270'000.- |
| Baugrube | 60'000.- |
| Innenausbau | 260'000.- |
| Gebäudehülle | 80'000.- |
| Umgebung (inkl. Werkleitungen) | 170'000.- |
| Abwasserleitung | 170'000.- |
| Subtotal Bau | 1'010'000.- |
| Verfahrenstechnik | 750'000.- |
| Gebäudetechnik (inkl. PV-Anlage) | 180'000.- |
| Anpassungen PW Sagiacker | 50'000.- |
| Subtotal Bau und Ausrüstung | 1'990'000.- |
| Unvorhergesehenes (25%) | 500'000.- |
| Honorare und Baunebenkosten (18%) | 450'000.- |
| Projektkosten, exkl. MwSt. | 2'940'000.- |
| MwSt. 8.1%, gerundet | 240'000.- |
| Total Projektkosten inkl. MwSt. | 3'180'000.- |

5.2.4.2 Betriebskosten

Die Betriebskostenschätzung für die Variante GAK am Standort Sagiacker sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Betriebskostenschätzung für die Variante GAK am Standort Sagiacker.

| Position | Einheit | Wert pro Jahr | Einheitspreis (CHF) | Kosten pro Jahr (CHF) |
|---|----------------|---------------|---------------------|-----------------------|
| GAK-Ersatz (inkl. Entsorgung) | t | 8 | 4'000 | 30'400 |
| Zusätzlicher Stromverbrauch | kWh | 17'000 | 0.2 | 3'400 |
| Abwassergebühren | m ³ | 250 | 2.6 | 650 |
| Personalaufwand | Tage | 17 | 1'000 | 17'000 |
| Wartung und Unterhalt Bau | % | 0.5 | 1'610'000 | 8'050 |
| Wartung und Unterhalt Verfahrenstechnik | % | 1 | 1'570'000 | 15'700 |
| Kosten total pro Jahr | | | | 75'200 |
| Total pro m³ | | | | 0.41 |

5.2.4.3 Jahreskosten

Die Jahreskostenschätzung für die Trinkwasseraufbereitung mittels GAK am Standort Sagiacker sind in Tabelle 11 ersichtlich.

Tabelle 11: Jahreskostenschätzung für die Variante GAK am Standort Sagiacker. Für die Berechnung der Jahreskosten wurden folgende Rahmenbedingungen angenommen: Abschreibedauer 33 Jahre, kalkulatorischer Zinssatz 1.5 %.

| Position | Einheit | Total |
|---|--------------------------|----------------|
| Investitionskosten | CHF | 3'180'000 |
| Nutzungsdauer | Jahre | 33 |
| Jährliche Kapitalkosten ohne Verzinsung | CHF/Jahr | 97'000 |
| Durchschnittliche jährliche Zinskosten | CHF/Jahr | 26'000 |
| Kapitalkosten total | CHF/Jahr | 123'000 |
| Betriebskosten total | CHF/Jahr | 55'940 |
| Jahreskosten total | CHF/Jahr | 178'940 |
| Kosten total pro m³ | CHF/m³ | 1.82 |

5.3 Variante Pulveraktivkohle

5.3.1 Verfahrensbeschreibung

Im Gegensatz zur RWV Gäu wurden für Schnottwil zwei unterschiedliche Aufbereitungsziele definiert, siehe Kapitel 2.1.1. Das PAK-Verfahren entspricht dem Aufbereitungsziel Variante 1: maximale Aufbereitungskapazität 360 m³/Tag, mittlerer täglicher Durchsatz 270 m³/Tag, Jahresproduktion 98'550 m³.

Die verfahrenstechnische Ausrüstung dieser Variante ist aus dem Fließschema in Abbildung 15 ersichtlich. Das PW Sagiacker fördert das Wasser über die bestehende Transportleitung direkt in das PAK-Kontaktbecken in den Räumlichkeiten der Trinkwasseraufbereitung. Im Gegensatz zur GAK-Variante bedarf es hierzu keiner Anpassungen im PW Sagiacker, die bestehende Infrastruktur, inklusive der vorhandenen Pumpen, kann genutzt werden, wie sie ist (aus Gründen des Alters und des Zustands der Anlage ist eine Erneuerung jedoch empfehlenswert).

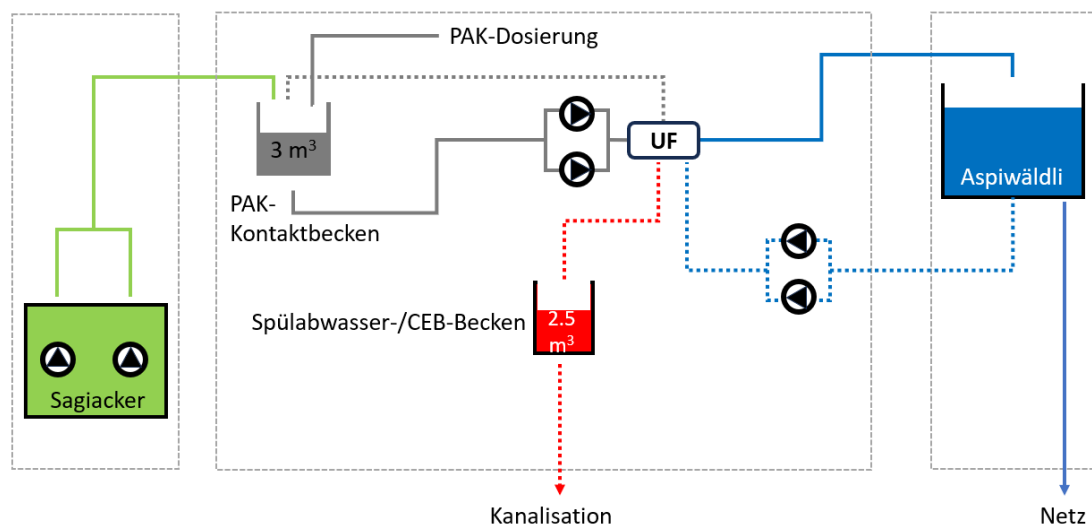


Abbildung 15: Fließschema für die Trinkwasseraufbereitung mittels PAK-UF am Standort Aspiwäldli. Grüne Linien und Flächen: Rohwasser aus dem PW Sagiacker. Graue Linien und Flächen: Wasser/PAK-Gemisch (vor Ultrafiltration und nach Rückspülung). Dunkelblaue Linien und Flächen: Trinkwasser (gestrichelte Linien, wenn zur Rückspülung der UF eingesetzt). Rote Linien und Flächen: CEB-Wasser / Spülabwasser.

Im Kontaktbecken gelangt das Wasser in Kontakt mit der PAK, welche zu diesem Zwecke kontinuierlich zudosiert wird. Nach einer definierten Kontaktzeit wird das Wasser durch die Ultrafiltrationspumpen gefasst und durch das Ultrafiltrationsmodul in Permeat und Retentat aufgetrennt. Das Permeat fließt direkt ab Ultrafiltration, ohne zusätzlichen Pumpschritt, über eine neu zu errichtende Leitung in das Reservoir. Das Retentat wird zurück in das Kontaktbecken und somit in den Prozess geführt.

Wie in den vorangegangenen Varianten muss auch bei dieser regelmässig eine Rückspülung durchgeführt werden. Zu diesem Zweck wird Trinkwasser aus dem Reservoir verwendet. Im Regelfall wird das rückgespülte PAK/Wasser-Gemisch zurück in das PAK-Kontaktbecken geführt, nimmt also wieder am regulären Filtrationsprozess teil. Periodisch wird ein Teil des PAK/Wasser-Gemisches abgezogen und in die Kanalisation eingeleitet. Aufgrund der relativ kleinen Wassermenge würde eine separate Abtrennung und Entsorgung der PAK überproportionale Zusatzkosten verursachen. Einmal täglich findet eine CEB-Reinigung der Filtermembranen statt. Das in diesem Vorgang anfallende Wasser muss aus dem System entfernt werden und wird im CEB-Becken zwischengelagert. Nach erfolgter Neutralisation kann das Wasser in die Kanalisation eingeleitet werden.

Der Pulveraktivkohleverbrauch der Anlage wird auf Basis der im Laufe der letzten Jahre in der SVGW-Zeitschrift Aqua & Gas publizierten Ergebnisse von Pilotversuchen (z.B. [3]) auf ca. 10 mg PAK pro Liter behandeltes Wasser geschätzt. Im Gegensatz zur Anlage der RWV Gäu erfolgt die Anlieferung der PAK aufgrund der wesentlich geringeren Mengen nicht im Silowagen sondern in der Form von Big-Bags. Die erforderliche Big-Bag-Entleerungsstation bringt den Nachteil mit sich, dass beim PAK-Umschlag der Austritt von Kohlestaub voraussichtlich nicht vollständig vermieden werden kann.

5.3.2 Bauliche Umsetzung

Die Trinkwasseraufbereitung am Standort Aspiwäldli wird in unmittelbarer Nähe des Reservoirs erreicht. Es handelt sich um ein eingeschossiges Gebäude mit einer Grundfläche von ca. 5 mal 12 Meter und damit um das kompakteste Gebäude unter allen geprüften Varianten. Obwohl sich bei einem Gebäude dieser Grösse eine Ausführung als Leichtbauhalle anbietet, wurde an dieser Stelle ob der langen Standzeit und des anspruchsvollen Standortes im Wald eine Ausführung in Beton vorgesehen.



Abbildung 16: Übersicht Leitungsführung. Roter Punkt: Standort Aspiwäldli. Blaue Linie: Zuleitung Rohwasser vom PW Sagiacker zum Reservoir Aspiwäldli. Rote gestrichelte Linie: Neu zu erstellende Abwasserleitung zur Entsorgung des anfallenden CEB-Wassers. Violette Linie: Bestehende Abwasserleitungen (gestrichelt = Privatbesitz). Zur Einleitung des CEB-Abwassers in die Kanalisation muss eine etwa 400 Meter lange Einbindung an das Abwassernetz erstellt werden, siehe Abbildung 16. Da pro Tag lediglich ca. 4 m³ Abwasser in die Kanalisation eingeleitet werden müssen, kann die Leitung entsprechend klein projektiert werden.

5.3.3 Vor- und Nachteile

- Vor dem Hintergrund der schlechten Erschliessung des Standortes und der beengten Platzverhältnisse vor Ort stellt der sehr geringe Warenumsatz dieser Variante für den Betrieb einen grossen Vorteil dar.
- Das Rückspülwasser kann in den Prozess zurückgeschickt werden. Dadurch fällt nur eine geringe Menge an CEB-Abwasser / Spülwasser an, was die Entsorgung baulich vereinfacht.
- Kontinuierliche Abgabe kleiner Abwassermengen, keine punktuellen Spitzenlasten.
- Das Reservoir fungiert als Sammelbehälter für das aufbereitete Wasser. Das Rückspülwasser wird ebenfalls aus dem Reservoir bezogen, nach dem Rückspülen wird das PAK-Wasser-Gemisch in den normalen Aufbereitungsprozess eingespeist. Dadurch kommt diese Variante mit verschwindend geringen Rückhaltevolumina aus. Dadurch ist sie in Bau und Betrieb günstig und platzsparend.
- Durch die kontinuierliche PAK-Dosierung besteht eine hohe Flexibilität. Während der Lebenszeit der Anlage kann der Prozess an die Entwicklung der CTM-Anfangskonzentration im Rohwasser angepasst werden.
- Im eingefahrenen Prozess ist der Betrieb nicht sehr mannstundenintensiv.

Im Gegensatz zur Variante in Gäu käme in Schnottwil nur PAK, nicht SPAK zum Einsatz. Prinzipiell bringt die Technologie aber die gleichen Nachteile mit sich, wie sie in Kapitel 4.3.3 geschildert wurden. Da sich die beiden Varianten in Punkto Skalierung um ein Vielfaches unterscheiden, fallen die nachfolgenden Punkte von Standort zu Standort unterschiedlich ins Gewicht.

- Es handelt sich um ein neues Verfahren mit Pioniercharakter, dies geht mit einer gesteigerten Havarieanfälligkeit einher.
- Verfahren lässt sich nur unter Einsatz von Chemikalien realisieren.
- Komplexes Verfahren, ein hohes technisches Verständnis ist für den Betreiber unabdingbar.
- Am Ende der Standzeit kann PAK nicht mehr reaktiviert werden und muss der Entsorgung zugeführt werden. Je nach gewähltem Verfahren kann ein Rückeintritt von CTM vom Medium in die Umwelt nach jetzigem Stand des Wissens nicht ausgeschlossen werden. (Entsorgung in Kanalisation, andere Entsorgung bei so kleinen Menge aufwendig)

5.3.4 Kosten

5.3.4.1 Investitionskosten

Die Investitionskostenschätzung für die Trinkwasseraufbereitung mittels PAK-UF am Standort Aspiwäldli sind in Tabelle 12 ersichtlich.

Tabelle 12: Investitionskostenschätzung $\pm 30\%$ für die Variante PAK-UF am Standort Aspiwäldli

| Position | Kosten [CHF] |
|--|--------------------|
| Rohbau | 140'000.- |
| Baugrube | 60'000.- |
| Innenausbau | 30'000.- |
| Gebäudehülle | 76'000.- |
| Umgebung (inkl. Werkleitungen) | 50'000.- |
| Abwasserleitung | 110'000.- |
| Subtotal Bau | 470'000.- |
| Verfahrenstechnik | 470'000.- |
| Gebäudetechnik | 90'000.- |
| Subtotal Bau und Ausrüstung | 1'030'000.- |
| Unvorhergesehenes (25%) | 260'000.- |
| Honorare und Baunebenkosten (18%) | 230'000.- |
| Projektkosten, exkl. MwSt. | 1'520'000.- |
| MwSt. 8.1%, gerundet | 120'000.- |
| Total Projektkosten inkl. MwSt. | 1'640'000.- |

5.3.4.2 Betriebskosten

Die Betriebskostenschätzung für die Trinkwasseraufbereitung mittels PAK-UF am Standort Aspiwäldli sind in Tabelle 13 ersichtlich.

Tabelle 13: Betriebskostenschätzung für die Variante PAK-UF am Standort Aspiwäldli

| Position | Einheit | Wert pro Jahr | Einheitspreis (CHF) | Kosten pro Jahr (CHF) |
|---|---------|---------------|---------------------|-----------------------|
| Pulveraktivkohle | - | - | 6'000 | 6'000 |
| Strom | - | - | 5'200 | 5'200 |
| Ersatz Membranen | - | - | 1'000 | 1'000 |
| Abwasserentsorgung | - | - | 2'000 | 2'000 |
| Chemikalien | - | - | 300 | 300 |
| Wartungsverträge | - | - | 5'000 | 5'000 |
| Personal | - | - | 10'000 | 10'000 |
| Wartung und Unterhalt Bau | % | 0.5 | 1'070'000 | 5'350 |
| Wartung und Unterhalt Verfahrenstechnik | % | 1 | 560'000 | 5'600 |
| Kosten total pro Jahr | - | - | | 40'450 |
| Total pro m³ | - | - | | 0.37 |

5.3.4.3 Jahreskosten

Die Jahreskostenschätzung für die Trinkwasseraufbereitung mittels PAK am Standort Aspiwäldli sind in Tabelle 14 ersichtlich.

Tabelle 14: Jahreskostenschätzung für die Variante PAK am Standort Aspiwäldli. Für die Berechnung der Jahreskosten wurden folgende Rahmenbedingungen angenommen: Abschreibedauer 33 Jahre, kalkulatorischer Zinssatz 1.5 %.

| Position | Einheit | Betrag |
|---|--------------------------|----------------|
| Investitionskosten (inkl. MwSt.) | CHF | 1'640'000 |
| Nutzungsdauer | Jahre | 33 |
| Jährliche Kapitalkosten ohne Verzinsung | CHF/Jahr | 50'000 |
| Durchschnittliche jährliche Zinskosten | CHF/Jahr | 14'000 |
| Kapitalkosten total | CHF/Jahr | 64'000 |
| Betriebskosten total | CHF/Jahr | 40'500 |
| Jahreskosten total | CHF/Jahr | 104'500 |
| Kosten total pro m³ | CHF/m³ | 1.06 |

6 Variantenvergleich

Die Tabelle 15 gibt einen Überblick über die Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten für alle Varianten und Standorte. Aus rein finanzieller Perspektive ist PAK für die betrachteten Wasserversorgungen mit Sicherheit die attraktivere Technologie. Sowohl hinsichtlich der Investitionskosten als auch hinsichtlich der Betriebskosten (letztendlich, der Kosten pro m³) stellt PAK für beide Standorte die kosteneffizientere Alternative dar.

Tabelle 15: Kostenübersicht über alle Varianten und Standorte. Für die Berechnung des Jahreskosten wurden folgende Rahmenbedingungen angenommen: Abschreibedauer Gebäude: 33 Jahre. Abschreibedauer Ausrüstung: 15 Jahre. Kalkulatorischer Zinssatz: 1.5 %.

| RWV Gäu | | | | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|----------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------|--------------------|
| Variante | Investitionskosten | | Betriebskosten | | Kapitalkosten | | Jahreskosten | |
| | | | absolut | pro m ³ | absolut | pro m ³ | absolut | pro m ³ |
| GAK | CHF | 9'190'000 | CHF 282'400 | CHF 0.22 | CHF 356'000 | CHF 0.28 | CHF 638'400 | CHF 0.50 |
| PAK-UF | CHF | 7'420'000 | CHF 233'650 | CHF 0.18 | CHF 265'000 | CHF 0.21 | CHF 498'650 | CHF 0.39 |
| WV Schnottwil | | | | | | | | |
| Variante | Investitionskosten | | Betriebskosten | | Kapitalkosten | | Jahreskosten | |
| | | | absolut | pro m ³ | absolut | pro m ³ | absolut | pro m ³ |
| GAK | CHF | 3'180'000 | CHF 55'940 | CHF 0.57 | CHF 123'000 | CHF 1.25 | CHF 178'940 | CHF 1.82 |
| PAK-UF | CHF | 1'640'000 | CHF 40'500 | CHF 0.41 | CHF 64'000 | CHF 0.65 | CHF 104'500 | CHF 1.06 |

Bei grossen Anlagen wie der RWV Gäu können dank der grossen Jahresmengen mit beiden Technologien Kubikmeterpreise deutlich unter einem Franken realisiert werden. Die Jahreskosten pro Kubikmeter bei GAK sind im Falle der RWV Gäu um den Faktor 1.3 grösser, als dies bei PAK-UF der Fall ist. Daher ist, aus finanzieller Perspektive, im Falle der RWV Gäu PAK-UF der Vorzug zu geben.

Bei den sehr unterschiedlichen Randbedingungen (max. Aufbereitungskapazität, Standort), welche in Schnottwil für die beiden Varianten gewählt wurden, sind die spezifischen Kosten pro m³ bei GAK um den Faktor 1.7 grösser, als dies bei PAK der Fall ist. Die Kostenunterschiede zwischen den Varianten sind somit so gross, dass aus finanzieller Sicht nur PAK-UF in Frage kommen kann. Im Falle von Schnottwil zweigen diese Kostenunterschiede die Spannweite möglicher Gestehungskosten bei sehr kleinen Aufbereitungsanlagen auf, können aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen aber keinesfalls als typisch für den Kostenunterschied zwischen GAK und PAK-UF betrachtet werden.

Neben den günstigeren Kosten bietet PAK-UF auch weitere wichtige Vorteile:

- Kontinuierlicher Betrieb (kein aufwendiger Kohlewechsel)
- Flexibilität bzgl. Anpassung an Änderungen in der Rohwasserqualität und bzgl. Betriebsunterbrüchen

Unter Berücksichtigung der Kostenunterschiede sowie der weiteren Vorteile empfehlen wir beiden Wasserversorgern die Technologie PAK-UF, falls die Option Wasseraufbereitung weiterverfolgt werden soll.

Die grösste Herausforderung bei PAK-UF Anlagen sehen wir beim Betriebspersonal, insbesondere bei kleinen Anlagen. PAK-UF ist komplexes Verfahren und setzt ein hohes technisches Verständnis voraus. Die Erfahrung mit bestehenden Anlagen hat gezeigt, dass vor allem die Abdeckung des Pickett-Dienstes für solch komplexe Anlagen eine Herausforderung darstellen kann.

6.1 Schlussfolgerungen für den Vergleich von GAK und PAK-UF im Allgemeinen

Der Vergleich der insgesamt 4 Varianten für GAK und PAK-UF hat gezeigt, dass bei den relativ kurzen Standzeiten die Beschaffung der benötigten GAK wesentlich teurer ist als die Beschaffung der benötigten PAK. Selbst wenn die GAK bis 10 Mal regeneriert wird und somit pro kg GAK eine ähnliche oder grössere Wassermenge behandelt werden kann als pro kg PAK, bleibt die GAK aus nachvollziehbaren Gründen teurer. Für jede Regeneration muss mit Transporten über mehrere hundert Kilometer gerechnet werden.

Das Gebäudevolumen und damit die Investitionskosten für das Gebäude waren bei den untersuchten Varianten für GAK aus folgenden Gründen höher:

- Die im Verhältnis zu PAK-UF pro Rückspülung grösseren Wassermengen führten zur grösseren Beckenvolumen
- Die 2-stufige Anordnung der Aktivkohlefiltration führt dazu, dass im Vergleich zu einem 1-stufigen Verfahren mehr Druckfilter mit einem insgesamt grösseren GAK-Volumen im Gebäude untergebracht werden mussten

Bei CTM-Konzentrationen $< 0.5 \mu\text{g/l}$ dürfe eine 1-stufige GAK-Filtration ausreichend sein. Entsprechend wird in diesem Fall das Gebäude wesentlich kompakter und günstiger. Zumindest bei grösseren Anlagen dürften die Gestehungskosten pro m^3 behandeltes Wasser für GAK und PAK-UF in diesem Fall wesentlich näher beieinander liegen.

Da es für die Entsorgung der PAK noch keine bewährte Praxis gibt, sind die Entsorgungskosten noch nicht bekannt. In der vorliegenden Studie wurde davon ausgegangen, dass die verbrauchte PAK im Falle der RWV Gäu in einer ARA wiederverwendet werden kann und deshalb keine grösseren Kosten anfallen. Dies setzt voraus, dass eine ARA PAK verwendet und sie in der angelieferten Form im Prozess einsetzen kann.

Zum heutigen Zeitpunkt ist es unklar, ob die an PAK adsorbierten CTM in der ARA wieder desorbieren und allenfalls in den Vorfluter freigesetzt werden. Falls dem so wäre und dies als nicht akzeptable eingestuft wird, könnten sich die Entsorgungskosten für PAK als massiv höher als angenommen herausstellen.

6.2 Skalierung PAK

Wie in Kapitel 6 ausgeführt, hat die jährlich aufbereitete Wassermenge einen grossen Einfluss auf die Kosten pro m³. Aus diesem Grund wurde vom Auftraggeber und den an der Studie beteiligten Wasserversorgungen der Wunsch geäussert, für die beiden PAK-Varianten die Skalierungseffekte aufzuzeigen. Die Tabelle 16 gibt Aufschluss über die Leistungen der ursprünglichen und der skalierten Anlagen, welche beispielhaft jeweils die doppelte maximale Aufbereitungskapazität aufweisen. Unter der Annahme, dass diese Anlagen dazu genutzt werden, möglichst viele Einwohner aus den umliegenden Gemeinden mit einwandfreiem Trinkwasser zu versorgen, wurde auch der mittlere Durchsatz, bzw. die Jahresproduktion, verdoppelt.

Tabelle 16: Leistungsübersicht der ursprünglichen und skalierten PAK-Varianten. Die Jahresproduktionen sind aus Übersichtsgründen auf 1000er gerundet.

| | Gäu | Gäu skaliert | Schnottwil | Schnottwil skaliert |
|--|-----------|--------------|------------|---------------------|
| maximaler täglicher Durchsatz: [m ³ /Tag] | 7'200 | 14'400 | 360 | 720 |
| mittlerer Täglicher Durchsatz [m ³ /Tag]: | 3'500 | 7'500 | 270 | 540 |
| Jahresproduktion [m ³]: | 1'278'000 | 2'738'000 | 99'000 | 197'000 |

In Abhängigkeit der konzessionierten Menge und des Grades der Vernetzung des jeweiligen Pumpwerkes (Anzahl der erreichbaren Käufer) kann die TWA theoretisch beliebig skaliert werden. Solche Überlegungen hinsichtlich des Preises pro Kubikmeter ergeben im regionalen Kontext durchaus Sinn. Die Auswirkungen der Auslegungen auf die jeweiligen Kubikmeterpreise sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Einfluss der unterschiedlichen Jahresproduktionen auf den Kubikmeterpreis.

| RWV Gäu | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------|-----------|----------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------|--------------------|
| Variante | Investitionskosten | | Betriebskosten | | Kapitalkosten | | Jahreskosten | |
| | | | absolut | pro m ³ | absolut | pro m ³ | absolut | pro m ³ |
| PAK-UF | CHF | 7'420'000 | CHF 233'650 | CHF 0.18 | CHF 265'000 | CHF 0.21 | CHF 498'650 | CHF 0.39 |
| PAK-UF skaliert | CHF | 9'580'000 | CHF 401'525 | CHF 0.14 | CHF 370'000 | CHF 0.14 | CHF 771'525 | CHF 0.28 |
| WV Schnottwil | | | | | | | | |
| Variante | Investitionskosten | | Betriebskosten | | Kapitalkosten | | Jahreskosten | |
| | | | absolut | pro m ³ | absolut | pro m ³ | absolut | pro m ³ |
| PAK-UF | CHF | 1'640'000 | CHF 40'500 | CHF 0.41 | CHF 64'000 | CHF 0.65 | CHF 104'500 | CHF 1.06 |
| PAK-UF skaliert | CHF | 1'920'000 | CHF 64'570 | CHF 0.33 | CHF 74'000 | CHF 0.38 | CHF 138'570 | CHF 0.70 |

Erwartungsgemäss sind bei beiden WV die Kosten pro Kubikmeter gesunken. Obwohl bei beiden eine Verdoppelung der Jahresmenge angesetzt wurde, sind die prozentualen Einflüsse auf die Kosten nicht identisch. Bei der WV Schnottwil konnte eine Kostenreduktion (Preis pro Kubikmeter) von 21 % realisiert werden, bei der RWV Gäu sind es lediglich 14 %.

7 Terminplan Umsetzung

In Abbildung 17 ist ein möglicher Terminplan für die Umsetzung einer Wasseraufbereitungsanlage aufgezeigt. Der Terminplan beruht auf der Annahme, dass die ausstehenden Bundesverwaltungsgerichtsentscheide bzgl. CTM bis Q2 2026 eintreffen. Die Planungs- und Bauzeiten wurden anhand der Projekte für die RWV Gäu abgeschätzt. Für die kleinere Anlage von Schnottwil kann mit einer etwas verkürzten Bauphase gerechnet werden.

| Projektphase / Meilenstein | 2027 | | | | 2028 | | | | 2029 | | | | 2030 | | | | 2031 | | | | 2032 | | | | 2033 | | | |
|----------------------------------|------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
| Erstellen Teil-GWP | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Genehmigung Teil-GWP | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Optional: Labor- / Pilotversuche | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Erstellen Bauprojekt | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Genehmigung Baukredit | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Baubewillungsverfahren | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ausschreibungen | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| Ausführungsprojekt | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| Baustart | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bauphase | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| Inbetriebnahme | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Erste Trinkwasserabgabe ins Netz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Abbildung 17: Möglicher Terminplan für die Umsetzung einer Wasseraufbereitung

Vom Zeitpunkt des Entscheids, dass eine Aufbereitungsanlage geplant werden soll, bis zur ersten Abgabe von Trinkwasser muss mit einer Zeitdauer von mindestens 5 Jahre gerechnet werden. Dies gilt zumindest, wenn nach den üblichen Abläufen verfahren werden soll und keine Beschleunigungsmassnahmen ergriffen werden. Allfällige Schwierigkeiten beim Einholen der Baubewilligung, beim Landerwerb oder in Zusammenhang mit Ausschreibungen könnten das Projekt zusätzlich um weitere Jahre verzögern.

Um eine möglichst gute Grundlage für die Auslegung der Aufbereitungsanlage zu haben, empfiehlt es sich, Pilot- oder zumindest Laborversuche mit dem zu behandelnden Wasser durchzuführen. Um nicht zusätzlich Zeit zu verlieren, können diese Versuche zum Beispiel parallel zur Genehmigung des Teil-GWP durchgeführt werden.

8 Fazit und weiteres Vorgehen

Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass CTM aus Grundwasser entfernt werden können, auch wenn der Höchstwert um mehr als einen Faktor 10 überschritten ist. Bei einem Wasserbedarf in der Grössenordnung der RWV Gäu kann eine solche Aufbereitung betrieben werden, ohne dass im Vergleich zum aktuellen Wasserpreis unverhältnismässige Mehrkosten pro m³ entstehen. Voraussetzung dafür ist, dass die Anlage über mindestens 25-40 Jahre betrieben wird. Bei sehr kleinen Anlagen sind die Kosten pro m³ wesentlich höher, aber nicht so hoch, dass man eine Aufbereitungsanlage als Lösungsoption kategorisch ausschliessen könnte.

Bei Konzentrationen des Metaboliten R471811 > 0.5 - 1 µg/l erscheint das PAK-UF-Verfahren klar als kostengünstigstes Verfahren. Abgesehen von den Kosten weist dieses Verfahren gegenüber GAK auch weitere Vorteile auf wie minimaler Umschlag von Aktivkohle und hohe Flexibilität im Betrieb auf. Verschiedene Untervarianten des Verfahrens wie SPAK-UF (Membratec) oder das Anschwemmfiltration (ALCF von Aquafiltec) sind erfolgsversprechend aber noch wenig erprobt. Es gibt somit mehrere Schweizer Anlagenbauer, welche die eine oder andere Variante des PAK-UF-Verfahrens liefern können. Der Wettbewerb zwischen den Anbietern ist somit gewährleistet.

In Anbetracht der Umsetzungsdauer von mindestens 5 Jahren ist es wichtig zu klären, ob die Aufbereitung ab der Inbetriebnahme noch genügend lang benötigt wird. Wird entschieden eine Aufbereitung zu realisieren, erscheint es uns zentral, dass die Umsetzung in einer Art und Weise erfolgt, welche die Trinkwassersicherheit insgesamt nicht verschlechtert.

Die vorliegende Studie bietet den Wasserversorgungen RWV Gäu und WV Schnottwil die Gelegenheit, die Variante Wasseraufbereitung mit anderen Lösungsmöglichkeiten zu vergleichen und gegebenenfalls als Option in die lokale und/oder regionale Wasserversorgungsplanung aufzunehmen, bis das Bundesverwaltungsgericht über die Einstufung de CTM als relevante Metaboliten entschieden hat.

Eine Unsicherheit bei der Verwendung von PAK-UF ist die Entsorgung der verbrauchten PAK. Im Falle der WV Gäu wird in wenigen Kilometern Entfernung vom GWPW Neufeld die ARA Falkenstein erneuert. Als 4. Stufe zur Entfernung von Mikroverunreinigungen wird ein PAK-Verfahren eingesetzt. In der bestehenden Planung ist keine Annahme von PAK in wässriger Form vorgesehen. Falls die Chance einer lokalen Wiederverwertung von PAK genutzt werden soll, muss dieses Anliegen sehr zeitnah ins Projekt eingebracht werden. Die Umbauarbeiten habe bereits begonnen.

Obwohl jedes Grundwasser grundsätzlich einzigartig ist, kann die vorliegende Studie auch für andere Wasserversorgungen im Kanton Solothurn, welche von der CTM-Problematik betroffen sind, einen Hinweis bzgl. der Möglichkeiten der Aufbereitung und der damit verbundenen Kosten geben.