

Geiger

PFAS-Behandlung in der Praxis

Der Unterschied liegt im Detail

15.09.2026

Patrick Schuh

Leiter Leistungsbereich Verfahrenstechnik

Geiger Umwelt



1. Vorstellung Geiger Verfahrenstechnik
2. Einleitung
3. Referenzprojekte
4. PFAS-Behandlung in der Praxis
 - 4.1 Aktivkohle
 - 4.2 Adsorber
 - 4.3 Ionentauscher
 - 4.4 Fällung / Flockung
 - 4.5 Schaumfraktionierung
5. Anlagentechnik zur PFAS-Behandlung



Geiger

1. Vorstellung Geiger - Verfahrenstechnik



Geiger in Zahlen



4.000

engagierte Mitarbeiterinnen & Mitarbeiter nutzen Marktchancen professionell

100

Standorte in acht Ländern auf zwei Kontinenten

850 Mio.

Euro erwirtschaften wir pro Jahr & bleiben dabei langfristig eigenständig erfolgreich

100

unser Wissen und unsere Kraft für den Erfolg unserer Kunden

Jahre

1. Vorstellung Geiger Verfahrenstechnik

GEIGER

Unser Leistungsspektrum:

Bodenluft- und Abluftbehandlung



Produktionsabläufe in Industrie, Handwerk und Gewerbe führen zu Belastungen des Bodens und der Bodenluft durch eine breite Palette von Schadstoffen. Unser Leistungsspektrum in diesem Bereich beinhaltet beispielhaft die

- Entfernung von flüchtigen Schadstoffen (LHKW, BTEX) aus der Bodenluft oder aus Deponiekörpern
- Bewetterung von Baugruben
- Abluftbehandlung

Folgende Anlagenkomponenten können wir Ihnen anbieten:

- Aktivkohlefilter
- KatOx- Anlage
- Bewetterungsanlagen

Prozesswasserbehandlung

Bei der industriellen Produktion fallen Abwässer an, die aufgrund ihrer Belastungsgrade aufbereitet werden müssen. Effektive und effiziente Reinigungsmaßnahmen sind hier gefordert, um zum einen die Produktion und zum anderen den Umweltschutz nachhaltig sicher zu stellen. Gleiches gilt auch für die Erfassung und Aufbereitung von Deponiesickerwässern.

Zur Behandlung der vielfältigen Verunreinigungen bieten wir Ihnen folgende Verfahren an:

- Filtration
- Fällung / Flockung
- Membranverfahren
- Ionenaustausch
- Biologische Verfahren



Grundwassersanierung / Behandlung

Trotz vieler Schutzmaßnahmen werden biologische oder chemische Verunreinigungen im Grundwasser – bedingt durch Missbrauch, Fahrlässigkeit, Unfällen, meist aber in Form von Altlasten – zu Problemfällen. Auftretende Kontaminationen können u.A. sein:

- PFAS, MKW, LHKW, BTEX, PAK, BSB/CSB, Schwermetalle, Cyanide

Zur Behandlung der vielfältigen Verunreinigungen setzen wir folgende Verfahren ein:

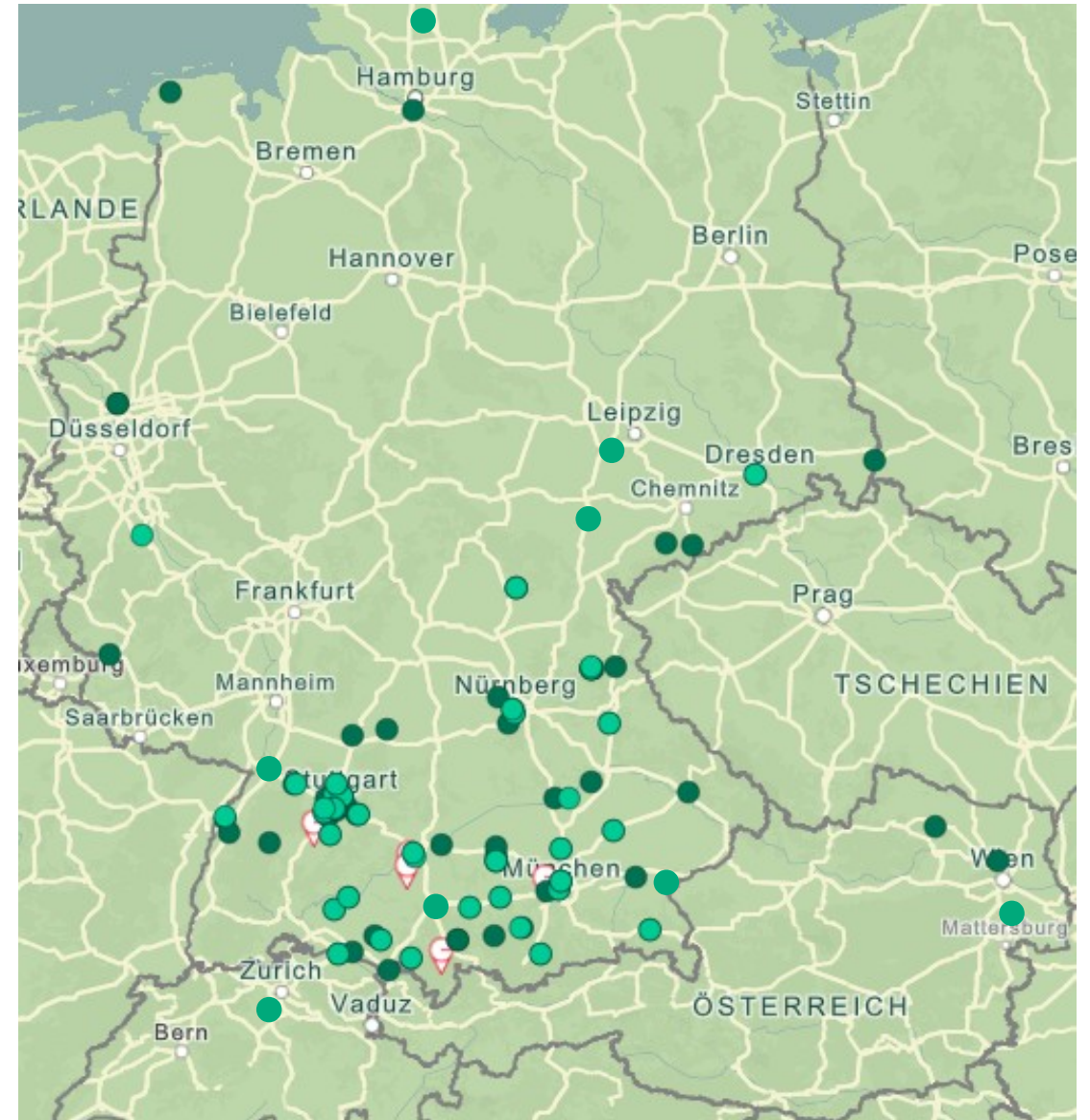
- Entfernung von Schwebstoffen & Sedimenten mit Absetzbecken oder Kiesfiltern
- Filtrationsverfahren
- Adsorption mit Aktivkohlefilter
- Ionentauscher
- Desorption / Strippung
- Reduktion / Oxidation / Neutralisation
- Biologische Verfahren
- Membranverfahren
- KatOx-Anlagen

1. Vorstellung Geiger Verfahrenstechnik

GEIGER

Verfahrenstechnik:

- Zugehörig zur Geiger Umwelt
- 16 Mitarbeiter
- Ca. 4.3 Mio.€ Umsatz 2025
- Produktion & Lager im Raum Ulm
- Projekte im DACH-Raum
- Teils in Kooperation mit Partnern



Geiger

2. Einleitung

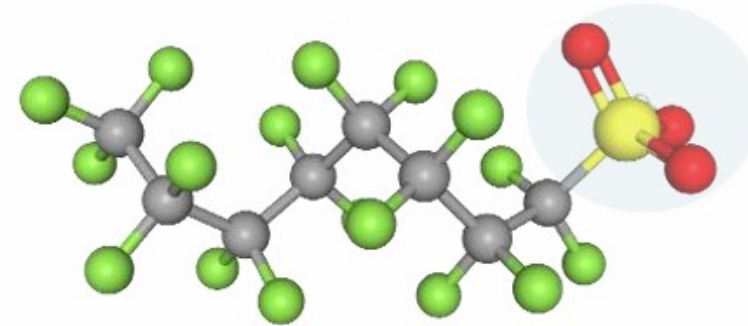


2. Einleitung

Was sind PFAS?

Geiger

- PFAS = Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen
- „Ewigkeitschemikalien“ – chemisch stabile, starke Kohlenstoff- Fluor - Bindungen
- Wasser-, Fett- und Schmutzabweisend
- Mobil im Grundwasser, kaum abbaubar
- Einige PFAS krebserregend, fortpflanzungsgefährdend und umweltschädlich



Kohlenstoff (grau), Schwefel (gelb), Sauerstoff (rot), Fluor (grün)

Hydrophiler Kopf: nichtionisch, kationisch, amphoter und **vorwiegend anionisch**

Hydrophober Schwanz: (teilweise) fluorierte, fettfreundliche Molekülkette

-> Wasser- und Fettlösliche Anteile

2. Einleitung

PFAS-Belastungen – wo treten sie auf?

- Aus Feuerlöschschäume (Flughäfen, Feuerwehrrübungsplätze – und Einsatzorte)
- Deponien/Altablagerungen
- Industrieflächen (Galvanik, Textil- und Papierindustrie)
- Klärschlamm/Kompost
- Grundwasser

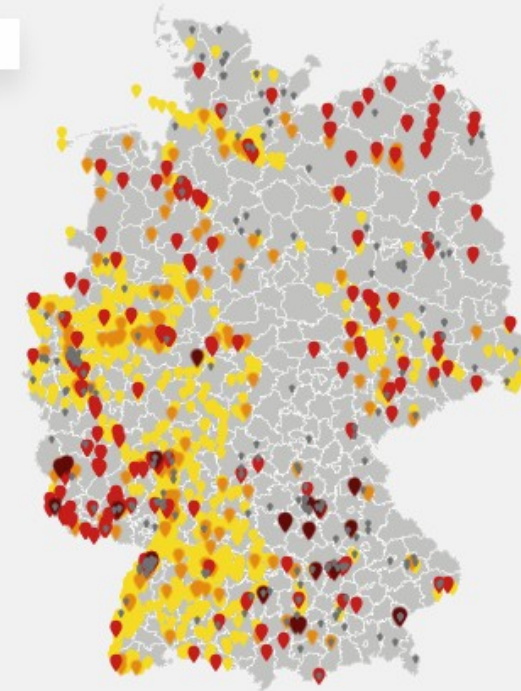
-> Behandlung von Grundwässern, Bauwässern, Deponiesickerwässern und Prozesswässern (z.B. Bodenwaschanlagen)

Nachgewiesene PFAS-Belastung

in Nanogramm pro Liter | Nanogramm pro Kilogramm

≤ 100 ≤ 1000 ≤ 100.000 > 100.000 unbekannt

Kreis



Geobasis-DE / BKG 2021 Quelle: NDR, WDR und Süddeutsche Zeitung

3. Referenzprojekte



3. Norddeutschland

November 2023 (Planung) bis – mind. 2031 (Betrieb)

Volumenstrom: 54 m³/h

Geiger

- Planung, Bau, Lieferung, Inbetriebnahme 3 Aufbereitungsanlagen an den Hotspots – je bis 6 m³/h
- 1 finale Aufbereitungsanlage – Gesamt-Volumenstrom inkl. Standort-Drainage 54 m³/h
- Mehrstufige Abreinigung mit Enteisung, Störstoffentfernung (OAK), Ionentauscher und Aktivkohle für PFAS



3. Oberbayern

Juni 2024 bis voraussichtlich Mitte 2027

Volumenstrom: 5,4 m³/h

- Planung, Bau, Lieferung und Betrieb
- Zielparameter: PFOS und Chrom VI
- Förderrate: ca. 5,4 m³/h
- Mehrstufige Abreinigung mit Beutelfilter (Vorfiltration), Opferaktivkohlefilter für DOC, 2 Aktivkohlefilter für PFOS und 2x Ionentauscher für Chrom VI

Geiger



3. Oberbayern

März 2026 bis Mai 2026

Volumenstrom: 36 m³/h

Geiger

- Pumpversuch mit 10l/s über 3 Monate.
- Abreinigung des Wassers über Absetzbecken und 2-stufigem Adsorptionsfilter (Bentonit-Basis)
- Pilottests mit Schaumfraktionierung und weiteren Adsorptionen
- Infiltrierung des gereinigten Wassers



3. Weitere Referenzen und Projekte in Planung

Projekte:

- Prozesswasserreinigung an Industriestandort in Bayern (PFAS, BTEX und DOC, 5m³/h, temporäre Anlage für 2 Monate)
- Abstromsicherung der Deponie / Deponiesickerwasser an einem Chemiestandort in Bayern (33m³/h, 3 Jahre)
- Bauwasserreinigung Flughafen Nürnberg (Feuerlöscheinsätze, 30m³/h, Anlage für 4 Monate)
- Prozesswasserreinigung der Geiger-Bodenwaschanlage in Memmingen (150m³/h Prozesswasser)
- Diverse Pumpversuche (0-20m³/h)
- Diverse Bauwasserreinigungen im städtischen Gebiet oder bei Baumaßnahmen an Flughäfen oder in Raffineriegebieten

Bisher genutzte Verfahren zur PFAS-Entfernung:

- Aktivkohle
- Adsorber
- Ionentauscher
- Fällung/Flockung
- Schaumfraktionierung

4. PFAS-Behandlung in der Praxis



4. PFAS-Behandlung – Grundlagen

Aktivkohle (AK)

Verfahren:

- Adsorption an poröser Kohlenstoffoberfläche (meist GAK)
- Wasser durchströmt die Kohle, PFAS lagern sich an
- Nach Sättigung: Austausch und Regeneration oder Entsorgung der Kohle



Vorteile

- Erprobtes, weit verbreitetes Verfahren
- Kombinierbar mit anderen Schadstoffen (z.B. MKW, BTEX)
- Einfache Anwendung, geringer Anlagenaufwand

Nachteile

- Schwächer bei kurzkettingen PFAS
- Entsorgungskosten der beladenen Kohle

4. PFAS-Behandlung – Grundlagen

Adsorber

Verfahren:

- Adsorption an speziell entwickelten Adsorber (z.B. Bentonit oder Aluminium). Teilweise überlagern sich Effekte des Ionentauschs.
- Adsorber durch chemische und physikalische Behandlung gezielt auf PFAS-Molekülstruktur abgestimmt
- Einsatz ähnlich wie Aktivkohle in Filterkolonnen
- Je nach Typ regenerierbar oder Einwegmaterial

Vorteile

- Meist besser wirksam bei kurzkettigen PFAS
- Höhere Kapazität, längere Standzeit als AK
- Weniger anfällig für Konkurrenzadsorption (Organik)

Nachteile

- Höhere Materialkosten
- Weniger etabliert als Aktivkohle -> Verfügbarkeit

4. PFAS-Behandlung – Grundlagen

Ionentauscher

Verfahren:

- Austausch von PFAS- Anionen gegen andere Ionen am Harz
- Meist Anionenaustauschharze (IX-Harze)
- Schnellere Kinetik als bei reinen Adsorptionsverfahren
- Mögliche Regeneration erzeugt konzentrierten PFAS-Reststrom
- Meist in Kombination mit Aktivkohle oder Adsorbern

Vorteile

- Sehr effektiv, auch bei kurzkettigen PFAS
- Kompakte Anlagen möglich

Nachteile

- Höhere Materialkosten
- Tlw. lange Lieferzeiten -> Verfügbarkeit
- Vorbehandlung meist nötig

4. PFAS-Behandlung – Grundlagen

Fällung / Flockung

Verfahren:

- Fäll-/Flockungsmittel binden PFAS an Partikel
- Ausfällung und Abtrennung als Schlamm -> Feststoffabtrennung
- Meist als Vorbehandlung eingesetzt
- Meist in Kombination mit Aktivkohle oder Adsorbern zum Polishing

Vorteile

- Kombinierbar mit bestehenden Wasseraufbereitungsprozessen
- Reduziert gleichzeitig Trübstoffe

Nachteile

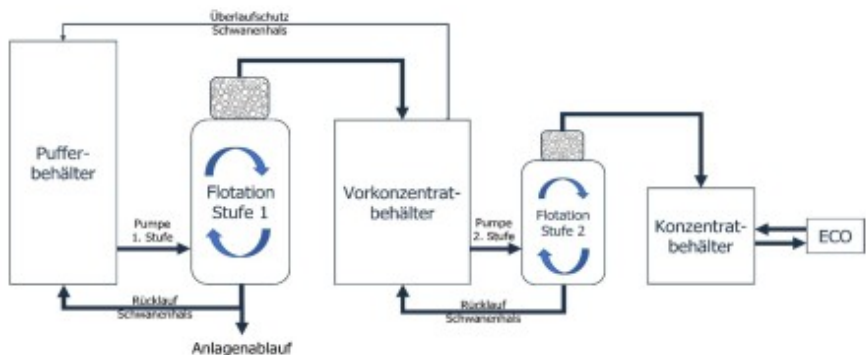
- Begrenzt wirksam bei kurzkettigen PFAS
- Zusätzlicher Schlamm zur Entsorgung + entsprechende Anlagentechnik

4. PFAS-Behandlung – Grundlagen

Schaumfraktionierung

Verfahren:

- PFAS reichern sich an Luftblasen-Grenzflächen an
- Lufteinperlung erzeugt PFAS-angereicherten Schaum (Konzentrat)
- Schaum wird mechanisch abgetragen
- Separate Behandlung / Entsorgung des Schaums
- Alternativ Zerstörung des Konzentrats durch elektrochemische Oxidation o.Ä.
- Meist in Kombination mit Aktivkohle oder Adsorbern zum Polishing



Bildquellen: ferroDECONT GmbH



Vorteile

- Entlastet Adsorberstufe oder AK erheblich
- Gut bei hohen PFAS-Konzentrationen, insbesondere bei langkettigen Komponenten
- Zerstörung der PFAS

Nachteile

- z.Z. wenig etabliert und wenig Erfahrung im großtechnischen Maßstab
- Schwächer bei kurzkettigen PFAS
- i.d.R. energieaufwändiger

4. PFAS-Behandlung – Mischkontaminationen

Herausforderungen:

- PFAS treten häufig gemeinsam mit anderen Schadstoffen oder Wasserinhaltsstoffen auf (z. B. MKW, BTEX, DOC, Eisen, Mangan, Schwermetalle)
- Begleitstoffe konkurrieren um Bindungsplätze an Aktivkohle, Adsorbens oder Ionentauscher oder Verblockung der Filter
- Folge: schnellere Sättigung, kürzere Standzeit der PFAS-Stufe

Lösung:

- Eisen oder Mangan wird vorab behandelt (Fällung/Filtration), um Verockerung zu vermeiden
- (Kies-)Filtration zur Schwebstoffabtrennung
- Opferaktivkohle als Schutzstufe – bindet organische Fracht vor der PFAS – Stufe
- Schwermetalle werden durch Anionenaustauscher entfernt
- Entscheidung fallweise – abhängig vom Schadstoffspektrum vor Ort und den örtlichen Gegebenheiten

4. PFAS-Behandlung – Mischkontaminationen

Fallbeispiel:

- Ausgangslage: Standort mit PFAS-Belastung im Grundwasser, zusätzlich hohe MKW-Fracht aus ehemaliger Tankstellennutzung
- Problem: MKW sättigt die PFAS-Adsorberstufe innerhalb weniger Wochen – unwirtschaftlich
- Maßnahme: Vorschaltung einer Opferaktivkohlestufe zur Abscheidung der MKW mit kostengünstigerer Aktivkohle
- Wirkung: PFAS-Stufe wird entlastet, Standzeit deutlich verlängert
- Ergebnis: Wirtschaftlicher Betrieb trotz Mischkontamination möglich



4. PFAS-Behandlung – Sickerwasser

Herausforderungen:

- Deponiesickerwasser ist eine komplexe Mischmatrix: PFAS, MKW, Schwermetalle, hohe CSB-/DOC-Fracht...
- Organische Begleitstoffe konkurrieren stark um Adsorptionsplätze
- Zulaufqualität schwankt saisonal und mit zunehmendem Deponiealter
- Eine reine PFAS-Stufe würde durch die Begleitstoffe schnell sättigen – unwirtschaftlich im Dauerbetrieb



4. PFAS-Behandlung – Sickerwasser

Lösung:

- mehrstufiges Verfahrenskonzept
- Kombination aus Vorbehandlung (z. B. Opferaktivkohle oder Fällung/Flockung) und PFAS-spezifischer Endstufe (Aktivkohle/Ionentauscher)
- Entlastet die PFAS-Stufe, verlängert deren Standzeit deutlich
- Macht den Betrieb auch bei schwankender Zulaufqualität wirtschaftlich
- Monobereich für PFAS-haltiges Material erleichtert Sickerwasserreinigung durch eingeschränkteres Schadstoffspektrum

5. Anlagentechnik zur PFAS-Behandlung



5. Anlagentechnik zur PFAS-Behandlung

Temporäre Anlagen

- Bei Bauarbeiten oder Sanierungsarbeiten fällt temporär kontaminiertes Wasser an (z. B. Grundwasserabsenkung, Aushub)
 - temporäre Situationen mit begrenztem
 - Zeithorizont
 - Platz auf der Baustelle meist begrenzt
- ➔ mobile, vorkonfigurierte Anlagentechnik (z. B. Festbettadsorber)
- schnell auf- und abbaubar
 - kurze Vorlaufzeit
 - kein aufwendiges Anlagendesign nötig
 - flexibel einsetzbar

Langlaufanlagen

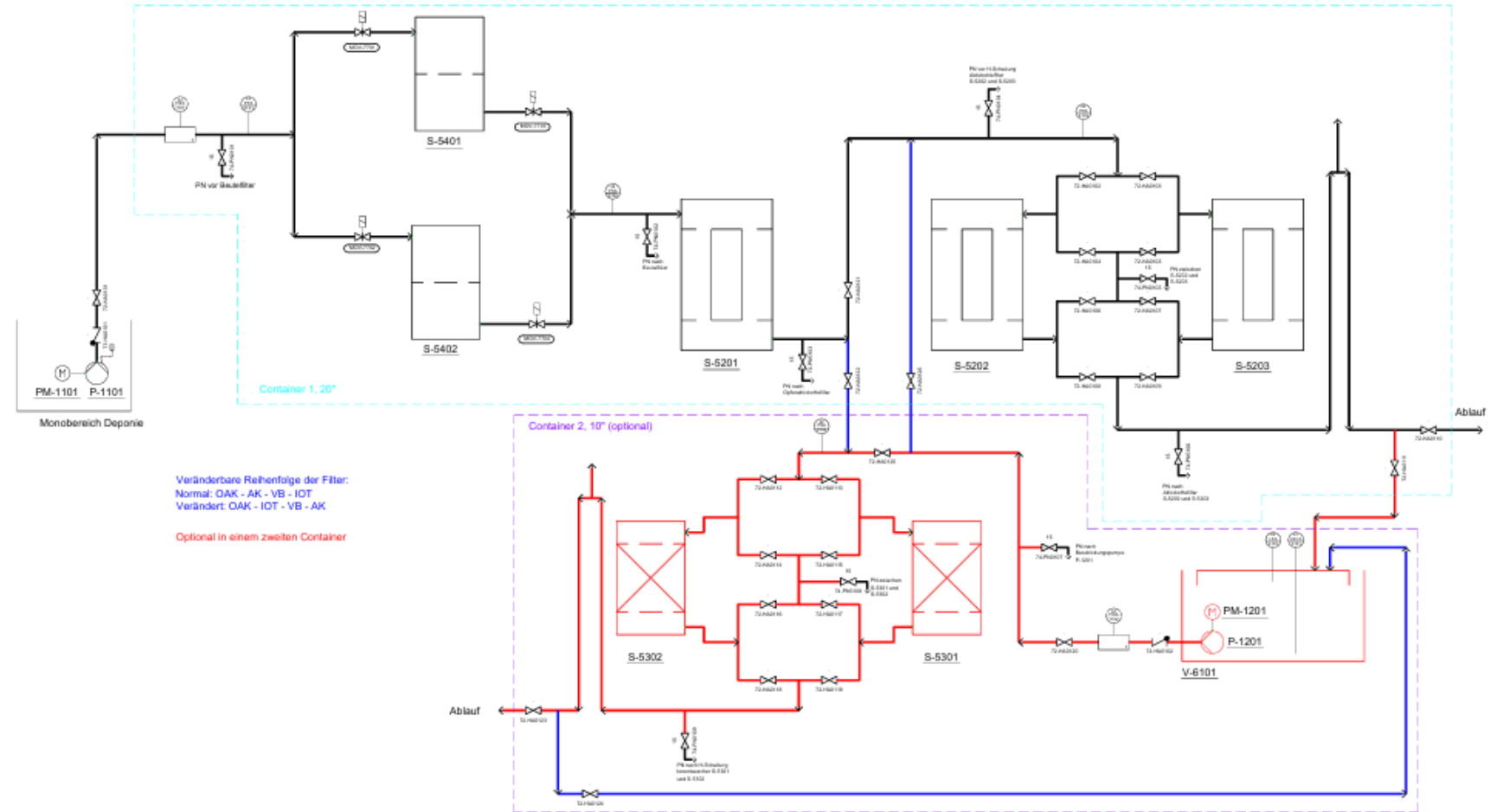
- mehrjährige Sanierungsfälle mit konstantem oder hohem Wasseraufkommen, Abstromsicherungen
- ➔ stationäre, spezieller auf den Standort ausgelegte Anlage, möglichst nach vorheriger Pilotierung
- optimierte Auslegung senkt Betriebskosten über die Laufzeit
 - höhere Planungssicherheit

5. Verfahrensschema einer kompakten und mobilen Behandlungsanlage

GEIGER

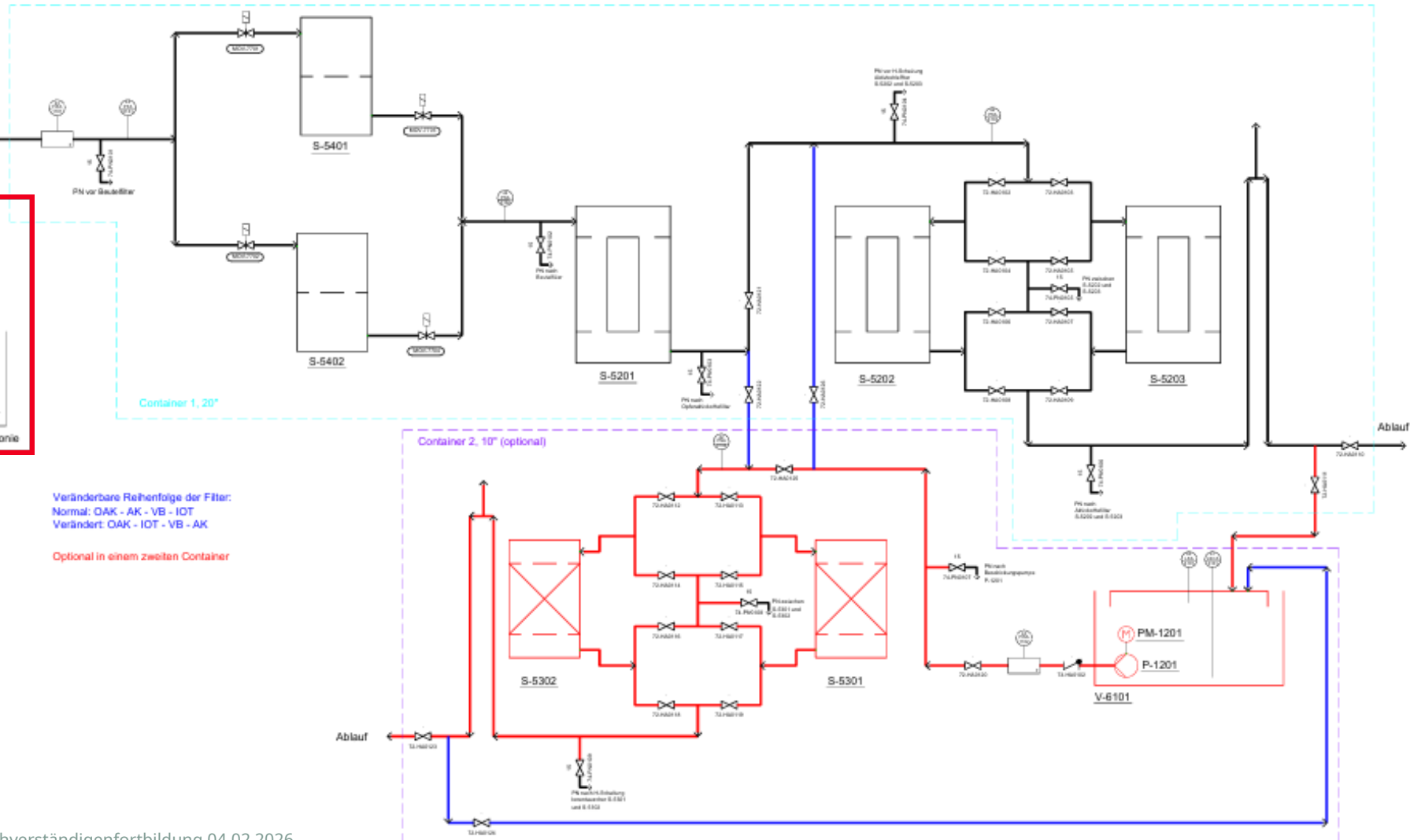
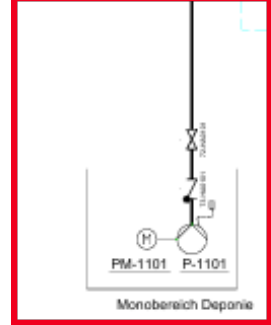
Anwendung für:

- Pilotierungen
- Kleinere Sanierungen
- Sickerwasserreinigung (von Monobereichen)

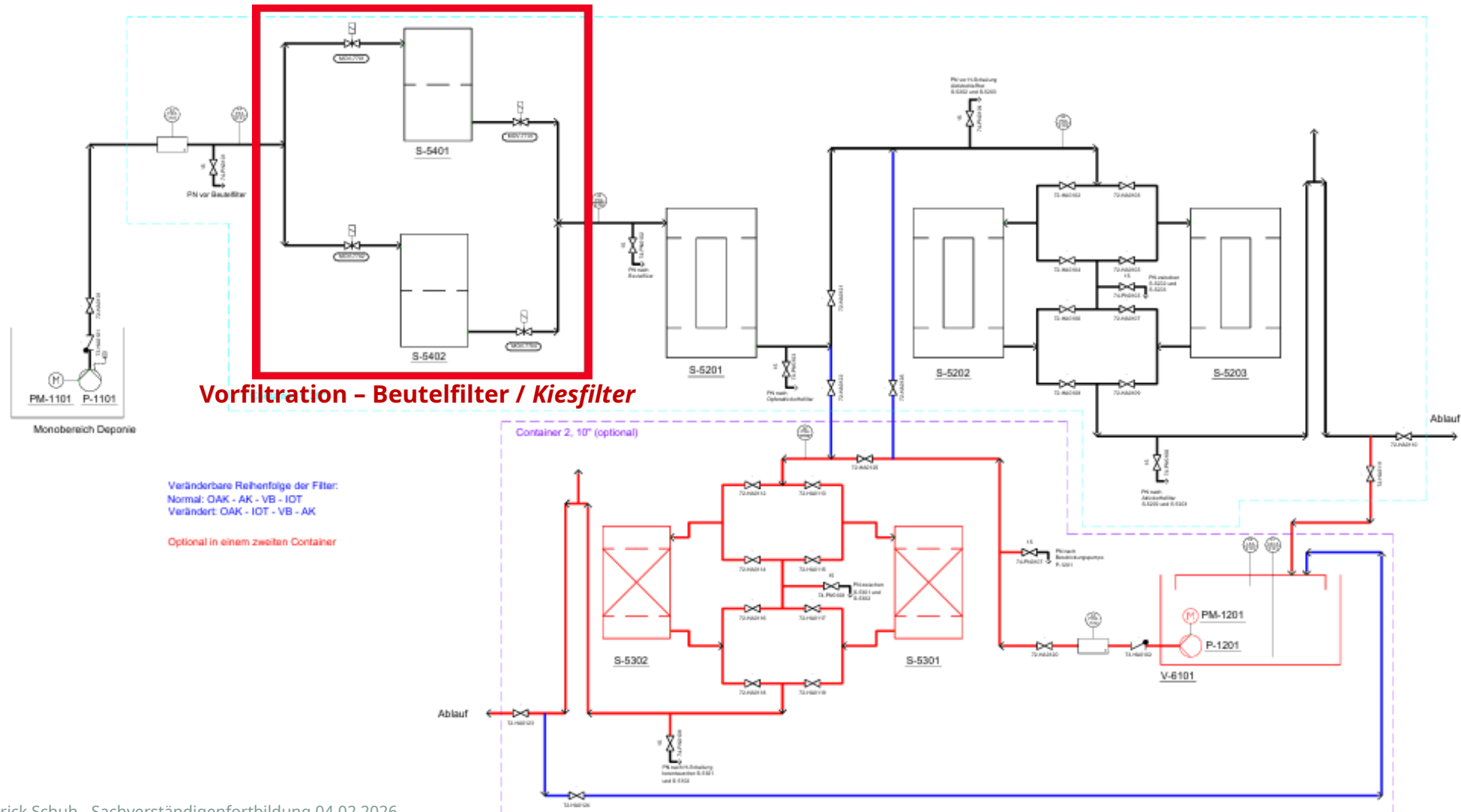


5. Verfahrensschema einer kompakten und mobilen Behandlungsanlage

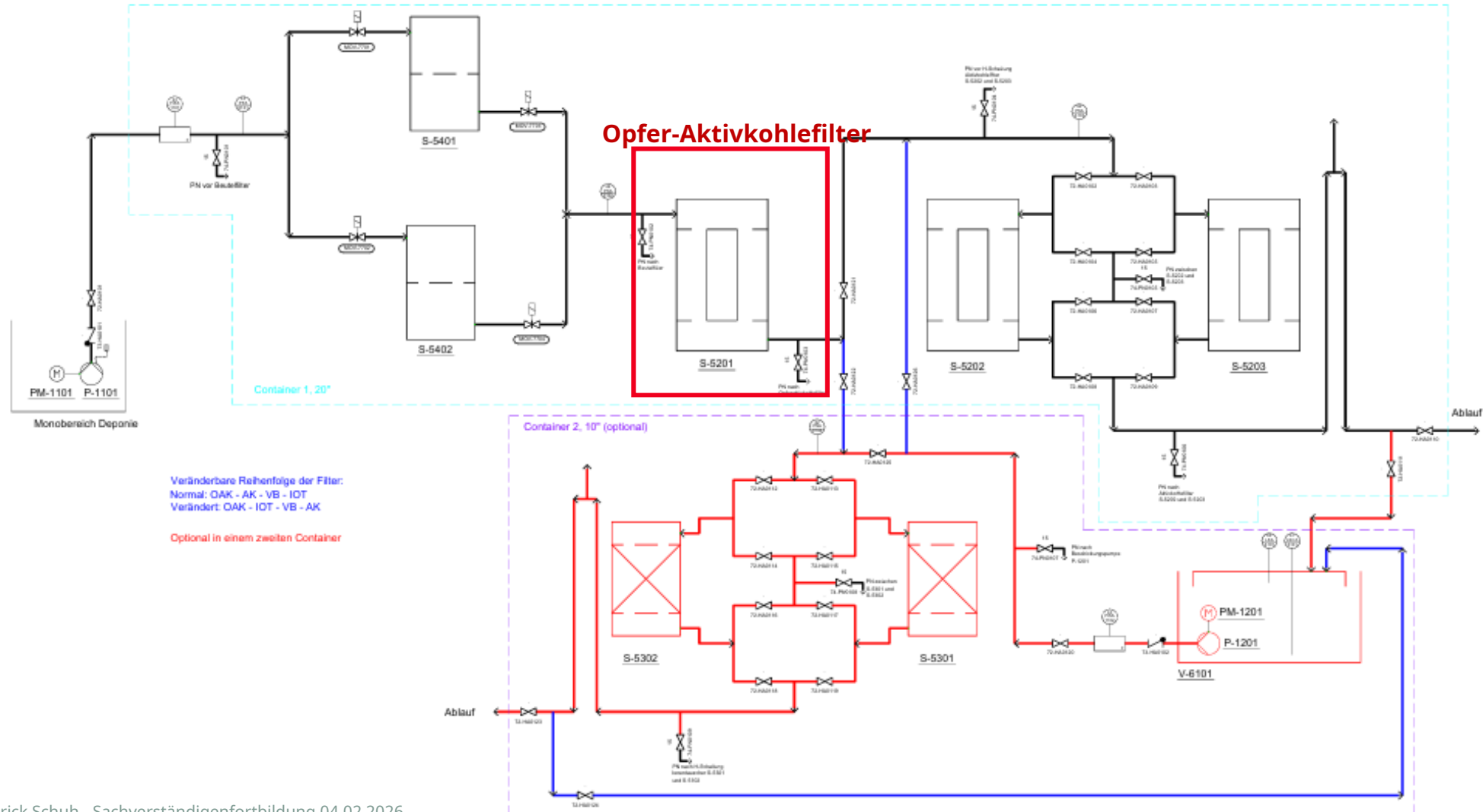
Wasserförderung



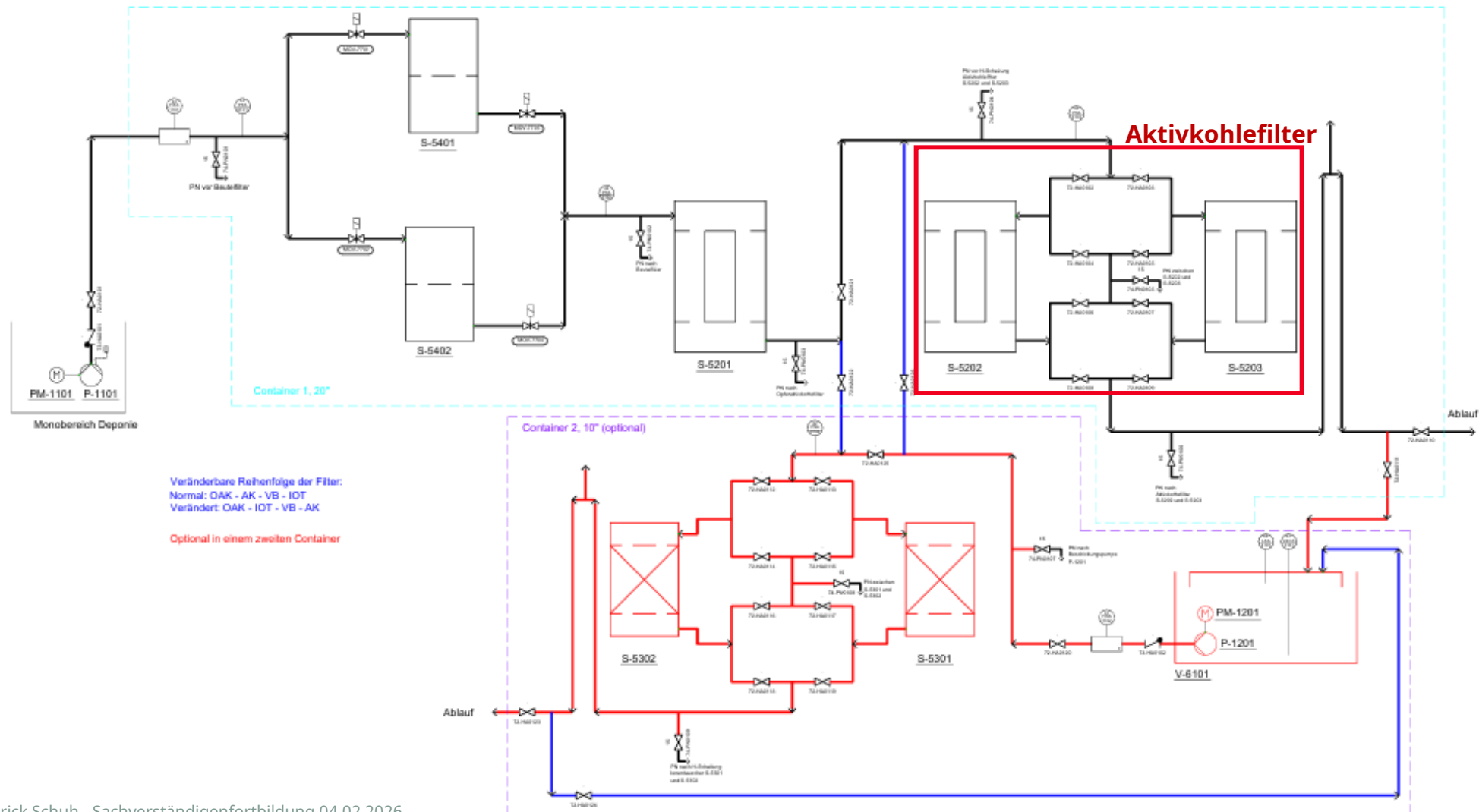
5. Verfahrensschema einer kompakten und mobilen Behandlungsanlage



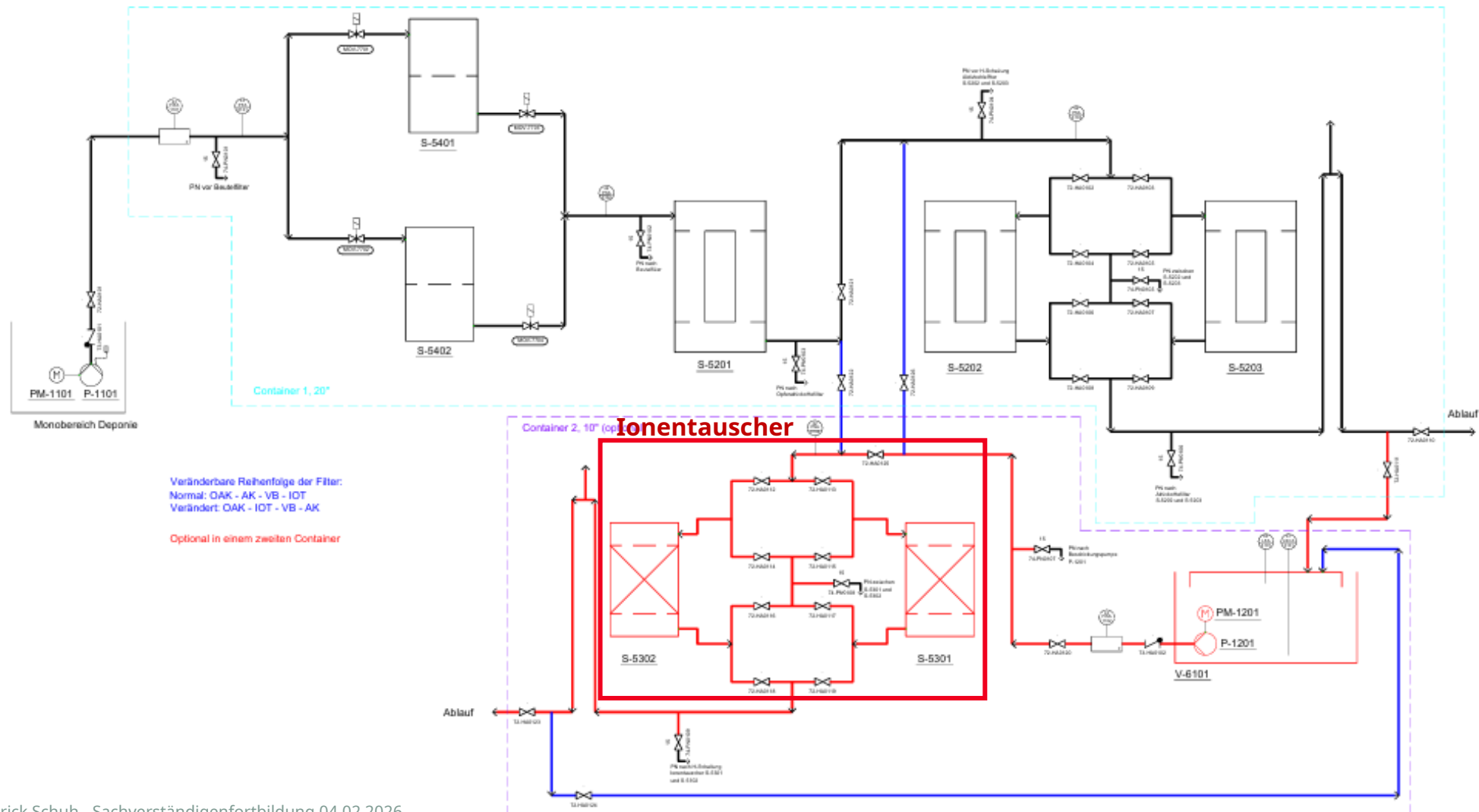
5. Verfahrensschema einer kompakten und mobilen Behandlungsanlage



5. Verfahrensschema einer kompakten und mobilen Behandlungsanlage



5. Verfahrensschema einer kompakten und mobilen Behandlungsanlage



5. Pilotanlagen

- Langlaufanlagen sind auf Jahre ausgelegt – Fehlplanung wird teuer
- PFAS-Verhalten am realen Standort ist aus Laborwerten allein kaum verlässlich vorhersagbar
- Zulaufqualität, Konkurrenzstoffe und PFAS-Zusammensetzung schwanken standortspezifisch
- Überdimensionierung kostet unnötig, Unterdimensionierung gefährdet die Reinigungsleistung



5. Pilotanlagen

Pilotanlage ist die Lösung!

- Kleinmaßstäbliche Testanlage direkt am Standort, über mehrere Wochen/Monate betrieben
- Realer Zulauf statt Laborwasser – erfasst tatsächliche Standortbedingungen
- Belastbare Auslegungsdaten statt Annahmen – reduziert das technische Risiko
- Deckt Standzeit, Verfahrenswahl und Betriebskosten vor der Großinvestition auf
- Schafft Planungssicherheit gegenüber Behörden, Kunden und Investoren
- Vermeidet teure Nachbesserungen an der fertigen Großanlage

Projektbeispiel →



5. Pilotanlage – Norddeutschland

November 2023 (Planung) bis – mind. 2031 (Betrieb)

Volumenstrom: 54 m³/h

Geiger

- Planung, Bau, Lieferung, Inbetriebnahme 3 Aufbereitungsanlagen an den Hotspots – je bis 6 m³/h
- 1 finale Aufbereitungsanlage – Gesamt-Volumenstrom inkl. Standort-Dränage 54 m³/h
- Mehrstufige Abreinigung mit Enteisung, Störstoffentfernung (OAK), Ionentauscher und Aktivkohle für PFAS



5. Pilotanlage – Norddeutschland

Grundlagen des Projekts und Aufgabenstellung:

- Flächendeckende PFAS-Belastung im oberflächennahen GWL
- Errichtung von 3 + 1 Grundwasserreinigungsanlagen
- Beauftragung Gesamtprojekt inkl. Pilotierung im November 2023
- Vor der Errichtung der Hauptanlage: ab Januar 2024 Pilotanlage (1m³/h)

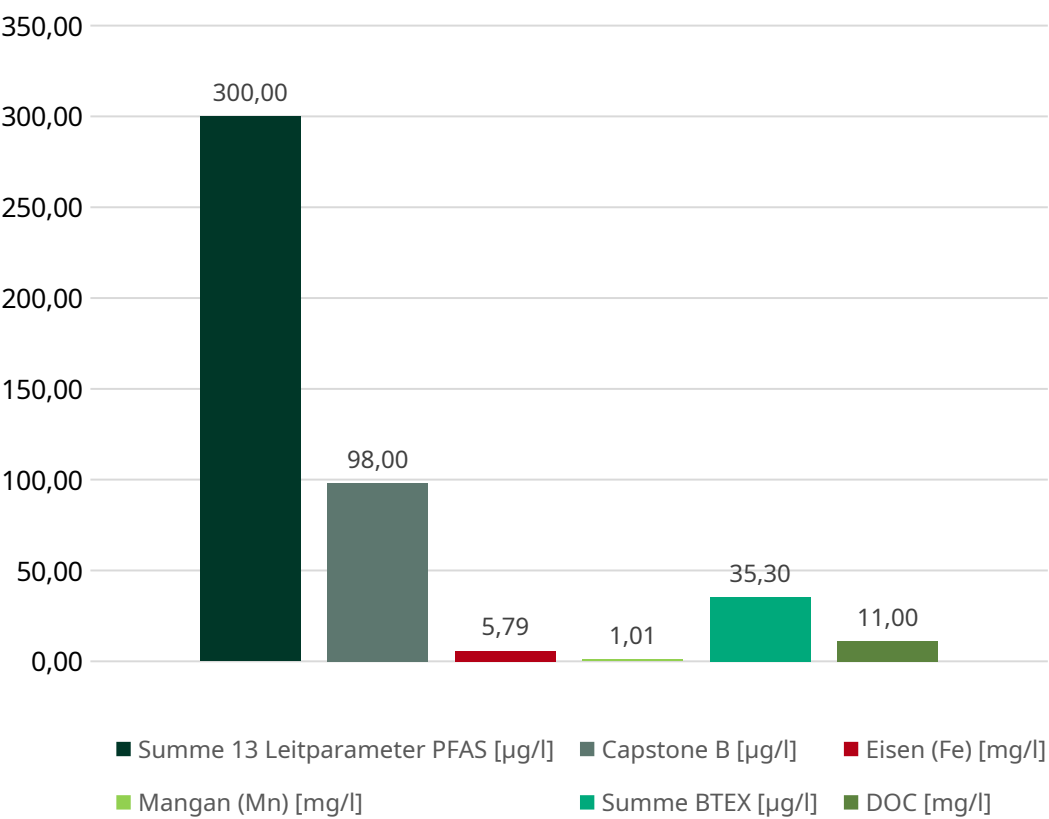
Grundlagen des Projekts und Aufgabenstellung:

- Eine geeignete Grundlage schaffen, um die finale Konfiguration für die vier Hauptanlagen zu identifizieren
- Verschiedene Einstellmöglichkeiten der einzelnen Prozesseinheiten zu testen
- Basierend auf diesen Erkenntnissen sollte dann eine detaillierte Auslegung vorgenommen werden
- Verfahren: Fällung/Flockung, Enteisenung, Aktivkohlefiltration, Ionentauscher, Adsorber

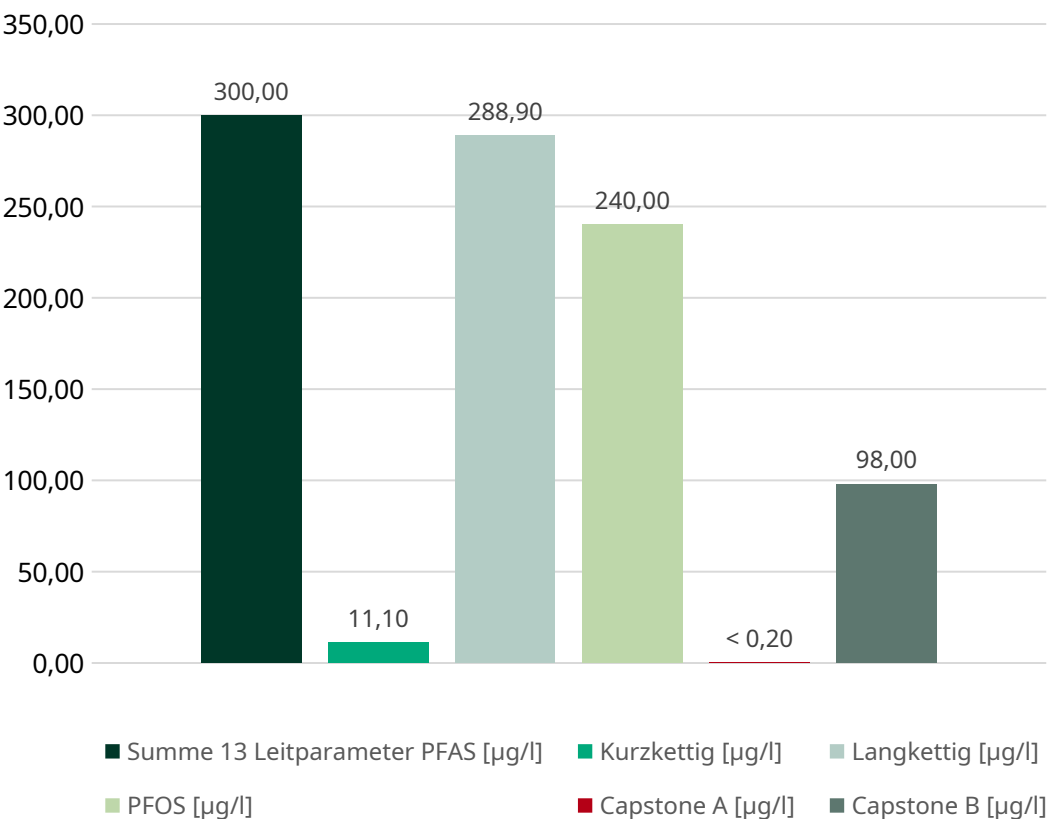
5. Pilotanlage – Norddeutschland

Analytik Brunnen

Gesamt Analytik



PFAS-Analytik



5. Pilotanlage – Norddeutschland

Ergebnisse aus 4 Monaten Pilotanlage und Auswirkung auf die Hauptanlagen

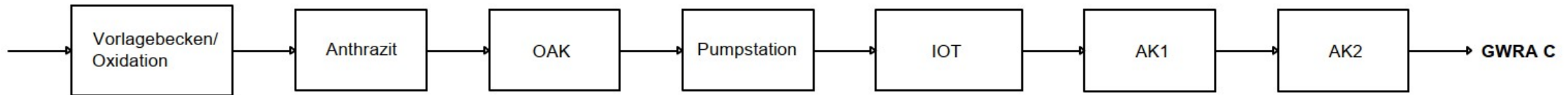
- Stabiler Anlagenbetrieb mit Fällung/Flockung nicht möglich und Gefahr der Überdosierung
 - Hauptanlagen: Eine Anwendung von Dosiermittel soll nicht stattfinden
- Gehalt an BTEX und DOC beeinträchtigt die Adsorptionskapazität der Aktivkohlefilter für PFAS
 - Hauptanlagen: Der Adsorptionsstrecke soll ein **Opferaktivkohlefilter** vorgeschaltet werden
- Adsorber auf Bentonitbasis hat sich als gutes Material zur Vorbehandlung erwiesen
 - Hauptanlagen: Adsorber ist aufgrund von Wirtschaftlichkeit gegenüber dem Ionentauscherharz zu bevorzugen und soll an einer der Anlagen im Realmaßstab getestet werden
- Die Pilotversuche haben gezeigt, dass eine Kontaktzeit von 45 min nicht ausreichend ist
 - Hauptanlagen: In allen Aktivkohlefiltern ist eine **Kontaktzeit von 60min** anzustreben
- Die Pilot- und Laborversuche haben gezeigt, dass eine zweistufige Aktivkohlefiltration nicht ausreicht
 - Hauptanlagen: Ionentauscher sollen bei den kleinen Anlagen vorgeschaltet werden und an der Anlage C soll eine Behandlung durch dreistufige Aktivkohlefiltration erfolgen

5. Pilotanlage – Norddeutschland

Blockfließbild Anlage A nach Pilotierung

GeIGer

$$Q_{\text{nenn}} = 6\text{m}^3/\text{h}$$



Standzeit bei Q_{nenn}

Ionentauscherharz: 222 Tage

Aktivkohle: 229 Tage

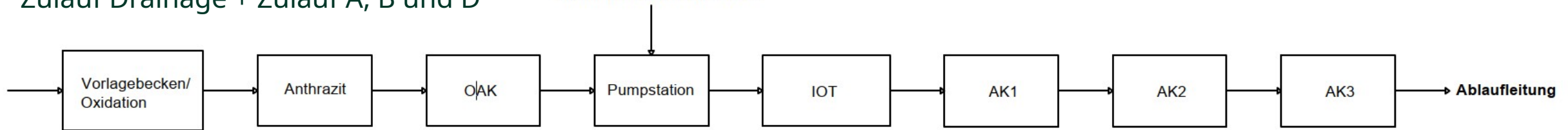
5. Pilotanlage – Norddeutschland

Blockfließbild Anlage C nach Pilotierung

$$Q_{\text{nenn}} = 54\text{m}^3/\text{h}$$

Zulauf Drainage + Zulauf A, B und D

Zulauf von GWRA A, B und D



Standzeit bei Q_{nenn}

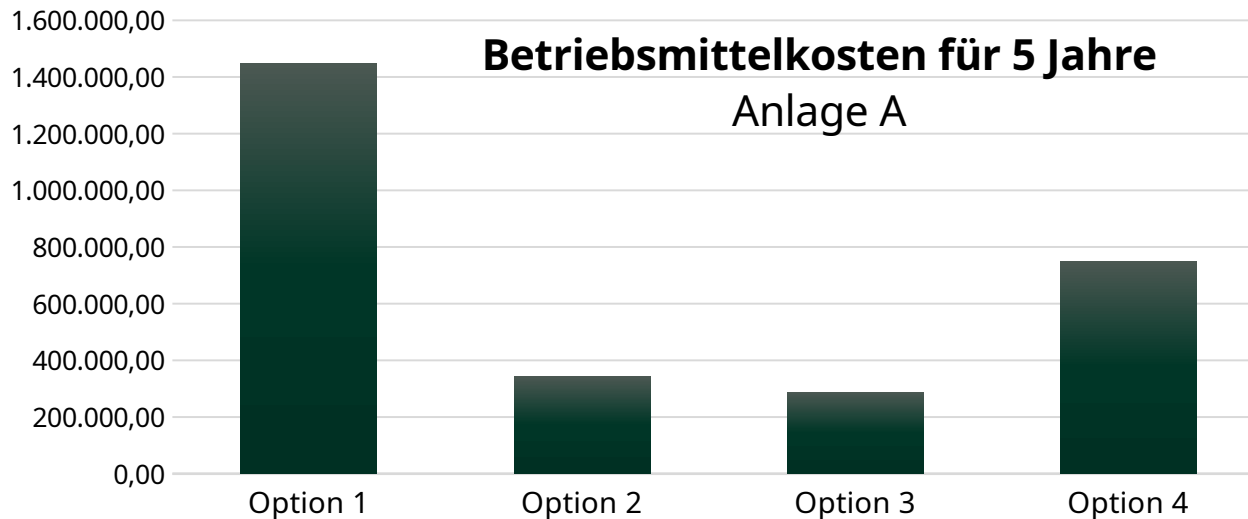
Ionentauscherharz: 239 Tage

Aktivkohle: 583 Tage

5. Pilotanlage – Norddeutschland

	Betriebsmittelkosten [€/5a]
Option 1: Fällungsmitteldosierung	1.449.134,08
Option 2: Ionentauscher und Aktivkohle	343.759,56
Option 3: Alternatives Adsorptionsmittel und Aktivkohle	287.811,80
Option 4: Aktivkohle	749.834,88

- In dem Großprojekt werden umfangreiche Erfahrungen gesammelt, die nicht nur zur Optimierung des aktuellen Projekts beitragen, sondern auch wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Vorhaben liefern sollen



5. Pilotanlage – Norddeutschland

Vorprüfung mittels Labor & Pilotversuchen empfehlenswert:

- Laborversuch $\neq$ Pilotversuch
- Labor = allgemeine Erkenntnisse
- Pilotierung = standortspezifische Erkenntnisse

Laborversuche / Technikumsversuche im IBC-Maßstab:

- Eingrenzung der Versuche in der Pilotanlage
- Bessere Ausnutzung der Pilotanlagenzeit
- Bessere Konzipierung der Pilotanlage

Lessons Learned & Best Practice:

- Einzelversuche Verfahrensstufen (Einfluss Flockung)
- Erst später Gesamtprozess prüfen
- Mehr Zeit einplanen (falls möglich)

Ansprechpartner

GeIGer

Patrick Schuh
Leitung Verfahrenstechnik
+49 89 8950800-37
+49 170 5451102
Patrick.Schuh@geigergruppe.de



Ricarda Wendel
Vertrieb & Geschäftsentwicklung
+49 7032 89483-70
+49 151 61270036
Ricarda.Wendel@geigergruppe.de



Geiger

