

AIEE COSSONAY-PENTHALAZ- PENTHAZ-DAILLENS-BETTENS

STEP de Penthaz

*Ausbau für die Elimination von
Spurenstoffen*

Elimination von Spurenstoffen durch mikrogranulierte Aktivkohle (μ GAK oder GAK im Wirbelbett): Pilotversuche auf der STEP de Penthaz

Deutsche Kurzfassung des Zwischenberichts vom
13.02.2017

Dübendorf, Juni 2017



Dieses Projekt ist dank der direkten Zusammenarbeit folgender Partner entstanden:

- Triform SA (Projektleitung, Probenahmen, Anlagen Betrieb): Raphaël Casazza, Marie Horisberger, Peter Lehmann, Guillaume Clair, Moritz Brennecke
- AIEE Cossonay-Penthalaz-Penthaz-Daillens-Bettens (Bauherr): René Devantay, René Nicolet, Philippe GerhardSTEP de Penthaz (Betrieb und Unterhalt der Pilotanlage): Pascal Golay, François Failletaz
- DGE (Analytik Mikroverunreinigungen): Philippe Vioget, Claude-Alain Jaquerod, Caroline Villard-le-Bocey, Cécile Plagellat
- SAUR/Stereau (Beratung): Yves Coquet, Frédéric Gueguen, Albert Lüthi, Frédéric Colas
- BAFU: Sébastien Lehmann, Aline Meier
- Eawag (UV-Palette und Beratung): Adriano Joss
- EPFL (Analytik und Beratung): Christof Holliger, Patrick Osterwalder
- VSA Plattform Mikroverunreinigungen: Hanspeter Zöllig, Pascal Wunderlin, Julie Grelot

Diese deutsche Kurzfassung des original in Französisch publizierten Zwischenberichts [1] wurde durch Hanspeter Zöllig, Adriano Joss, Marie Horisberger und Raphaël Casazza verfasst.

ZUSAMMENFASSUNG

Die erste Versuchsreihe der Pilotierung auf der STEP de Penthaz hat gezeigt, dass ein aufwärts durchströmtes μGAK-Wirbelbett die geforderte Elimination von Mikroverunreinigungen gemäss den Anforderungen der revidierten Gewässerschutzverordnung, bei vergleichbarem Einsatz von Aktivkohle wie in PAK- oder statischen GAK-Systemen, erbringen kann. Dies gelang unter den folgenden Betriebsbedingungen:

- Aufwärts durchströmtes μGAK-Wirbelbett (Körnung von 200 bis 900 μm, Aktivkohlekonzentration im expandierten Wirbelbett: etwa 270 g/L)
- Fließgeschwindigkeit des Abwasser durch das μGAK-Wirbelbett: 7 bis 20 m/h
- Tägliche Aktivkohledosierung von 15 mg/L, Entnahme der beladenen Kohle ein bis zwei Mal pro Woche

Neben der Gewährleistung einer genügenden MV-Elimination (>80% der 12 Leitsubstanzen) konnten folgende Ergebnisse gesichert werden:

- Der Betrieb des μGAK-Pilotreaktors war einfach und stellte keine nennenswerte Mehrbelastung des Betriebspersonals dar.
- Der Verlust an sedimentierbarer Aktivkohle im Ablauf des Reaktors war gering (0.25% der eingesetzten μGAK).
- Die Messung des SAK 254 in Zu- und Ablauf der Pilotanlage ermöglichte eine Überwachung der MV-Eliminationsleistung in Echtzeit.

Inhalt

| | |
|---|----|
| ZUSAMMENFASSUNG..... | 3 |
| 1 EINFÜHRUNG UND STAND DES WISSENS | 4 |
| 2 TERMINOLOGIEN UND RELEVANTE DEFINITIONEN..... | 4 |
| 3 UNTERSUCHUNGEN AUF DER STEP DE PENTHAZ..... | 5 |
| 4 BETRIEB DES μGAK-WIRBELBETTS..... | 7 |
| 5 RESULTATE UND DISKUSSION..... | 8 |
| 5.1 Elimination der 12 Leitsubstanzen..... | 8 |
| 5.2 Verbrauch von Aktivkohle..... | 12 |
| 5.3 Suspendierte Stoffe (GUS) und μGAK-Wirbelbett | 13 |
| 5.4 Weitere betriebliche Aspekte..... | 14 |
| 6 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK..... | 15 |
| 7 LITERATURHINWEISE..... | 16 |

1 EINFÜHRUNG UND STAND DES WISSENS

In einem Reaktor mit μGAK im Wirbelbett werden, genau wie bei Systemen mit granulierter Aktivkohle in statischen Filtern (GAK, 0.5 bis 2.5 mm) Mikroverunreinigungen (MV) durch deren Adsorption an der sehr hohen spezifischen Oberfläche (800 bis 1200 m²/g) der Kohle aus dem Abwasser entfernt. Im Gegensatz zur Anwendungen mit Pulveraktivkohle (PAK, 20 bis 50 μm), wird erwartet, dass bei der granulierten Aktivkohle ein Teil der Elimination der Mikroverunreinigung durch biologischen Abbau erfolgt. Wegen der günstigen Körnung (200 bis 900 μm) kann μGAK im Wirbelbett in einem aufwärts durchströmten Reaktor eingesetzt werden. Ähnlich wie bei GAK-Filtern kann die μGAK regeneriert werden, was Energie und Kosten spart.

Die beladene μGAK kann während des Betriebs abgezogen und durch neue Kohle ersetzt werden. Es kann ein mittleres Kohlealter bis zu 100 Tagen erreicht werden. Die neu eingebrachte Kohle muss vorgängig vom Feinkohleanteil befreit werden, was üblicherweise durch Waschen der Kohle in der Dosiereinheit geschieht. Im Gegensatz zu Systemen mit PAK ist keine Dosierung von Fäll- respektive Flockungshilfsmittel nötig. Es ist wichtig, die Fliessgeschwindigkeit des Abwassers in einem Bereich zwischen 7 und 20 m/h zu halten um das Aktivkohlebett in Schwebelage zu halten aber gleichzeitig keine Kohlekörner im Ablauf zu verlieren. Mit Fliessgeschwindigkeiten im genannten Bereich, gibt es eine klare Abtrennung vom Aktivkohlebett vom gereinigten Überstand. Deswegen ist keine zusätzliche Abtrennung der Kohle im Ablauf mittels Sandfiltration oder anderen Verfahren nötig. Das Verfahren wird bereits im Vollmassstab in der Trinkwasseraufbereitung eingesetzt.

2 TERMINOLOGIEN UND RELEVANTE DEFINITIONEN

Für das vorhandene System eines aufwärts durchströmten μGAK-Wirbelbetts (Abbildung 1) ist die Einführung der folgenden Begriffe hilfreich:

- **AK:** Aktivkohle
- **v_f:** Die Filtergeschwindigkeit (v_f) berechnet sich aus dem Durchfluss (Q) und der Oberfläche des Filters (A) als: $v_f = Q/A$
- **Benetzung und Waschen der μGAK:** Vor der Dosierung wird die μGAK in einer separaten Installation (Abbildung 2, B und C) benetzt und mit einer ähnlichen Fliessgeschwindigkeit wie im Reaktor gewaschen um Feinanteile der Kohle zu entfernen. Das Spülwasser wird dem Zulauf der ARA zugeführt.
- **Höhe des Aktivkohlebetts in Ruhe (h_r):** Die Höhe des Aktivkohlebetts in Ruhe wird erreicht, wenn die Fliessgeschwindigkeit im Reaktor null ist und die Kohlekörner vollständig abgesetzt sind.
- **Höhe des Aktivkohlebetts bei Expansion (h_e):** Die Höhe des Aktivkohlebetts bei Expansion ergibt sich bei Fliessgeschwindigkeiten grösser null (ungefähr > 7 m/h), wenn die Kohlekörner in Schwebelage sind.
- **SAK 254:** Spektraler Adsorptionskoeffizient bei einer spezifischen Wellenlänge von 254 nm.
- **μGAK:** Aufgrund der etwas feineren Körnung der Kohle im Vergleich zu einer GAK im statischen Filter verwendet die Firma Stereau in Ihrem auf der STEP de Penthaz zum Einsatz kommenden CarboPlus Verfahren den Begriff μGAK für die eingesetzte Kohle. In diesem Bericht wird dieser Begriff zwecks Konsistenz mit dem französischen Zwischenbericht [1] und anderen Dokumenten des Projekts ebenfalls verwendet. „μGAK“ kann aber im Wesentlichen als GAK mit spezieller Korngrößenverteilung betrachtet werden.

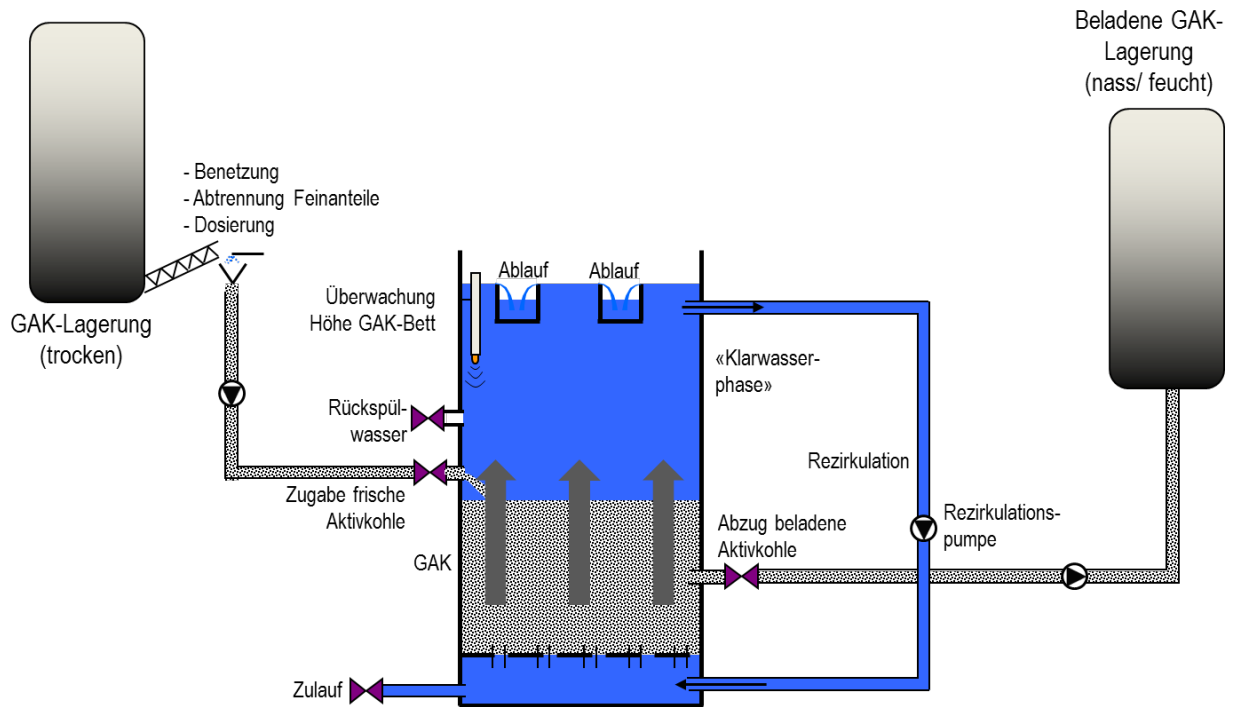


Abbildung 1: Verfahrensschema des CarboPlus®-Verfahrens das auf der STEP de Penthaz eingesetzt wird.

3 UNTERSUCHUNGEN AUF DER STEP DE PENTHAZ

Die STEP de Penthaz behandelt das Abwasser von 9'500 angeschlossenen Einwohnern (im Mittel 2'500 m³/d) und wurde für 15'000 Einwohnergleichwerte dimensioniert. Seit dem Ausbau 2015 verfügt die Wasserstrasse über eine mechanische Reinigung, eine Belebung mit Nitrifikation und partieller Denitrifikation sowie eine Phosphorfällung. Als Eigenheit ist die Membranfiltration (10 µm) nach der Nachklärung zu nennen.

Die Abwasserzusammensetzung im Zu- und Ablauf der STEP de Penthaz können Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Von der Direction Générale de l'Environnement des Kantons Waadt auf der STEP de Penthaz gemessene Werte von Standardparametern von September 2015 bis September 2016 (13 Werte).

| | BSB₅ | CSB_{total} | P_{tot} | N-NH₄ | DOC | GUS |
|-------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|------------|------------|
| | [mg O ₂ /L] | [mg O ₂ /L] | [mg P/L] | [mg N/L] | [mg C/L] | [mg/L] |
| Einleitbedingung | < 15 | < 45 | < 0.50 | < 2.00 | < 10 | 15 |
| ARA Zulauf | 163 ± 59 | 388 ± 167 | 5.31 ± 2.04 | 24.17 ± 5.93 | - | - |
| ARA Ablauf | 2 ± 1 | 17 ± 5 | 0.36 ± 0.24 | 1.46 ± 3.84 | 6 ± 1 | 4 ± 3 |

Die Ziele der Pilotversuche auf der STEP de Penthaz sind:

1. Die Eignung eines aufwärts durchströmten μGAK-Wirbelbetts für die Elimination von Mikroverunreinigungen (MV) zu prüfen.
2. Anhaltspunkte für die Dimensionierung und den Betrieb eines μGAK-Wirbelbetts zu bekommen.
3. Die Konkurrenzfähigkeit des μGAK-Wirbelbetts gegenüber anderen Verfahren zur Elimination von MV unter Beweis zu stellen.
4. Die Ergebnisse der Untersuchungen der interessierten Fachgemeinschaft zugänglich zu machen.

Um diese Ziele zu erreichen wurde ein zylindrischer Pilotreaktor aufgebaut (Abbildung 2), der ca. 1% des realen Abwasseranfalls der STEP de Penthaz behandelt und die in Tabelle 2 beschriebenen technischen Spezifikationen aufweist. Zudem wurde eine technische Begleitgruppe für das Projekt zusammengestellt (siehe Seite 2 dieses Dokuments).



Abbildung 2: A: Pilotreaktor für ein µGAK-Wirbelbett auf der STEP de Penthaz. B & C: Separate Installation für die Benetzung und das Waschen der µGAK vor deren Dosierung in den Reaktor.

Tabelle 2: Technische Spezifikationen des Pilotreaktors für ein µGAK-Wirbelbett auf der STEP de Penthaz.

| Parameter | Wert | Einheit |
|---|------|---------|
| Durchmesser | 350 | mm |
| Totale Reaktorhöhe | 4.12 | m |
| Höhe des Kiesbetts auf dem Reaktorgrund | 0.2 | m |

Das Projekt wird in zwei Versuchsreihen durchgeführt. Die erste dieser Versuchsreihen ist Gegenstand dieses Berichts und wird im folgenden Kapitel kurz beschrieben. Die Ergebnisse aus der zweiten Versuchsreihe werden mit dem Schlussbericht veröffentlicht.

4 BETRIEB DES µGAK-WIRBELBETTS

Die erste Versuchsreihe wurde bei einer konstanten Filtergeschwindigkeit von 15 m/h durchgeführt und beinhaltete folgende Versuchsphasen:

1. **Einfahren der Pilotanlage:** Über 90 Tage wurde das µGAK-Wirbelbett aufgebaut indem konstant mit $12 \text{ g/m}^3_{\text{Abwasser}}$ dosiert und keine Kohle abgezogen wurde bis der Zielwert von 60 kg Aktivkohle im System erreicht war.
2. **Konstante AK-Dosierung $12 \text{ g/m}^3_{\text{Abwasser}}$:** Zwischen dem 90-igsten und dem 125-igsten Betriebstag wurde versucht die AK-Masse im System konstant zu halten (60 kg) indem bei einer Dosierung von $12 \text{ g/m}^3_{\text{Abwasser}}$ ca. zwei Mal wöchentlich Kohle aus dem Reaktor abgezogen wurde.
3. **Erhöhte AK-Dosierung $15 \text{ g/m}^3_{\text{Abwasser}}$:** Zwischen dem 125-igsten und dem 212-ten Betriebstag wurde die Dosierung auf 15 g/m^3 erhöht. Die AK-Masse im Reaktor sollte nach wie vor bei 60 kg konstant gehalten werden.

In Tabelle 3 sind die wichtigsten Betriebsparameter dieser ersten Versuchsreihe zusammengefasst.

Tabelle 3: Übersicht über die wichtigsten Betriebsparameter des µGAK-Wirbelbetts während der ersten Versuchsreihe.

| Betriebsparameter | Phase 1 | Phase 2 | Phase 3 | Einheit |
|---|---------|----------|-----------|---------|
| Betriebstage | 0 – 90 | 90 – 125 | 125 - 212 | d |
| Filtergeschwindigkeit (v_f) | 15 | 15 | 15 | m/h |
| µGAK Dosierung (Trockenmasse) | 12 | 12 | 15 | mg/L |
| Abzug von Überschussskohle | Nein | Ja | Ja | - |
| Ungefähre µGAK Konzentration (60 kg µGAK im Reaktor, $v_f = 15 \text{ m/h}$, $h_e = 2.3 \text{ m}$) | - | 270 | 270 | g/L |
| Ungefähres mittleres Kohlealter (Dosierung: 15 mg/L , 60 kg µGAK im Reaktor, $v_f = 15 \text{ m/h}$) | - | - | 115 | d |

5 RESULTATE UND DISKUSSION

5.1 Elimination der 12 Leitsubstanzen

In Abbildung 3 sind die wichtigsten Resultate zur Elimination der 12 Leitsubstanzen der Verordnung des UVEK [2] aus der ersten Versuchsreihe der µGAK-Wirbelbett Pilotierung in Penthaz zusammengefasst. In der oberen Hälfte der Abbildung sind die Reinigungseffekte der Pilotanlage und der Biologie separat ausgewiesen. Zudem wurde durch Extrapolation der Resultate für die Pilotanlage eine Reinigungseffizienz über beide Verfahrensstufen für die gesamte ARA bestimmt. Im mittleren Bereich der Abbildung sind die Betriebsparameter dargestellt und im untersten Teil werden die Nitrifikationsleistung und die Temperatur der Biologie gezeigt.

In der ersten Versuchsphase (Einfahren des Pilotreaktors) konnte die in der GSchV geforderte Elimination von 80% der MV nicht durchgehend erreicht werden. Warum das so war, konnte aufgrund der vorhandenen Daten nicht abschliessend geklärt werden. Folgende Gründe dürften aber eine Rolle gespielt haben: 1) In Abbildung 3 ist deutlich zu erkennen, dass die Nitrifikation in den Betriebstagen 28 bis 70 ungenügend war. Dies geschah

aufgrund einer Chlorzugabe in die Biologie, die wegen aufkommender fadenförmiger Bakterien ab Betriebstag 7 nötig geworden war. In der Folge war auch der MV-Abbau in der Biologie schlecht. 2) Die Chlorzugabe führte zu Schlammabtrieb und erhöhten GUS-Werten im Zulauf zum Pilotreaktor (Abbildung 7). Diese GUS lagerten sich teilweise im µGAK-Wirbelbett ein und veränderten die hydraulischen Eigenschaften im Wirbelbett (siehe Auseinanderdriften von h_e und h_r in Abbildung 8) und vermutlich auch die Adsorptionskapazität der Kohle (Konkurrenz durch andere organische Stoffe, DOC), was die Reinigungsleistung des Pilotreaktors schmälerte. 3) Die Kohlemasse im Reaktor war noch nicht beim Zielwert von 60 kg.

In den Phasen 2 und 3 wurden die 12 Leitsubstanzen alleine im µGAK-Wirbelbett nahezu immer zu mehr als den geforderten 80% eliminiert wie in Abbildung 3 zu erkennen ist. Ab dem 112ten Betriebstag wurde im Mittel $87 \pm 2.5\%$ der 12 Leitsubstanzen eliminiert. Im Minimum wurde ein Reinigungseffekt von 82% gemessen und der maximale Reinigungseffekt betrug 91%. In den Betriebsphasen 2 und 3 war auch die biologische Reinigung auf der STEP de Penthaz stabil (Abbildung 3). Der Reinigungseffekt in der Biologie betrug dabei im Mittel 25% (Minimum 19%, Maximum 34%). Dies resultierte in einem extrapolierten, mittleren Reinigungseffekt über die gesamte ARA von $90 \pm 3.5\%$ (4 Messkampagnen ab Betriebstag 90) in den Phasen 2 und 3. Diese Resultate zeigen, dass ein µGAK-Wirbelbett bei stabilem Betrieb der Biologie, einer konstanten Filtergeschwindigkeit von 15 m/h und einer µGAK-Dosierung von 15 mg/L zuverlässig MV aus dem Abwasser entfernen kann.

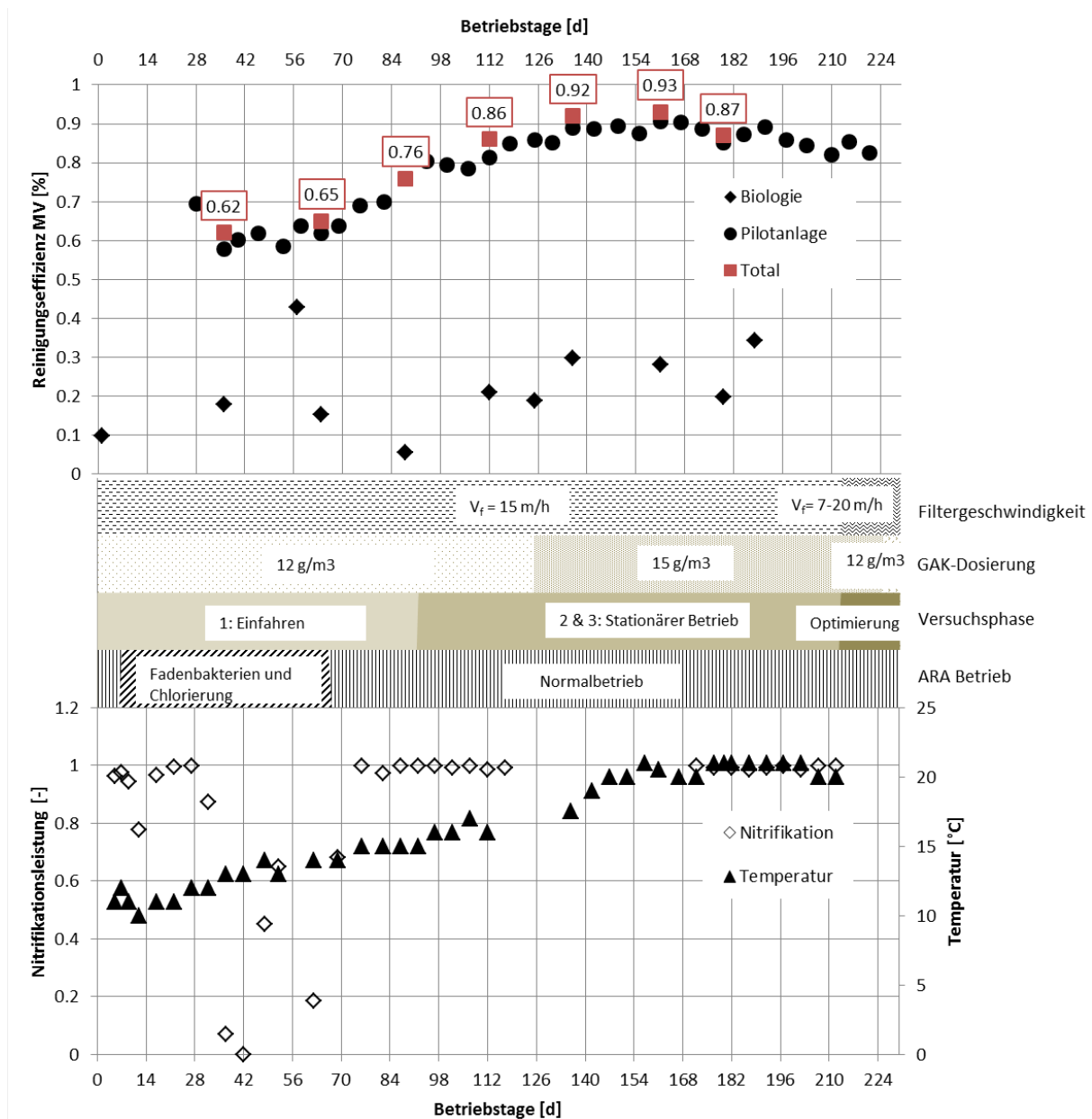


Abbildung 3: Zusammenfassung der wichtigsten Resultate aus der ersten Versuchsreihe der Pilotierung eines µGAK-Wirbelbetts in Penthaz.

Die Auswertung von manuell gemessenen UV-Absorbanzmessungen bei 254 nm (SAK 254) und der Elimination von MV hat eine gute Korrelation zwischen diesen beiden Parametern bei tiefen GUS-Werten ($< 4 \text{ mg/L}$) bestätigt (Daten im französischen Originalbericht [1]). Bei hohen GUS-Konzentrationen unterschieden sich die UV-Absorbanzmessungen in filtrierten und unfiltrierten Proben jedoch erheblich.

Dennoch ergaben unfiltrierte online Messungen des SAK 254 mittels einer UV-Sonde eine solide Korrelation mit den gemessenen MV-Reinigungseffekten (Abbildung 4). Es scheint daher zulässig von der Abnahme des SAK 254 (online) auf die MV-Elimination zu schliessen. Eine Überwachung des MV-Reinigungseffekts mittels SAK 254 sollte daher möglich sein.

Abbildung 5 zeigt zudem, wie die Abnahme des SAK 254 deutlich und schnell auf die periodische Zugabe frischer µGAK reagierte. Dies deutete darauf hin, dass durch die Zugabe

frischer Kohle augenblicklich mehr MV aus dem Abwasser entfernt werden können. Dies eröffnet dem Betreiber die Möglichkeit gegebenenfalls sofort auf bestimmte Ereignisse zu reagieren.

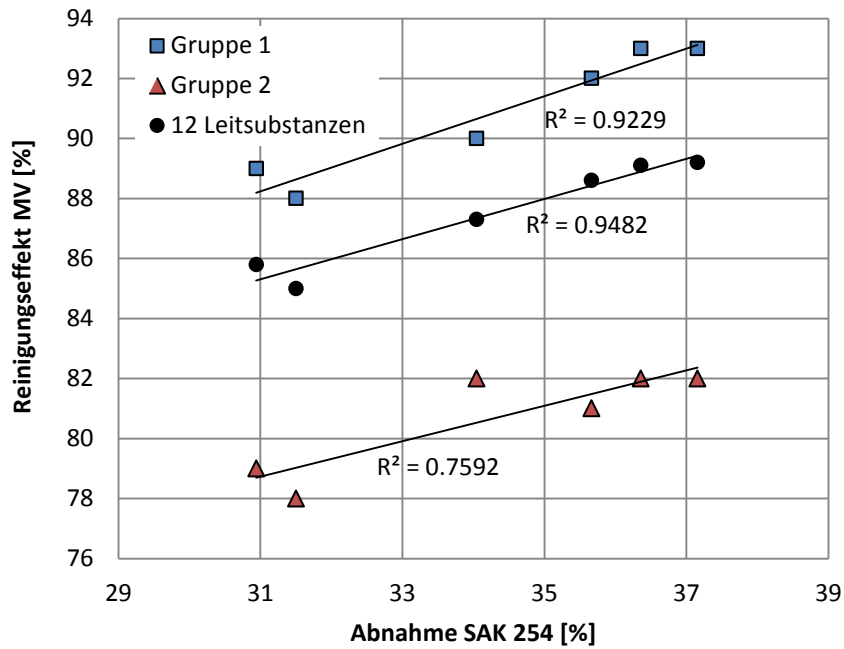


Abbildung 4: Korrelation zwischen dem MV-Reinigungseffekt und der Abnahme des SAK 254 zwischen den Betriebstagen 159 und 183. Dargestellt sind auch die separaten Korrelationen der sehr gut eliminierbaren (Gruppe 1) und gut eliminierbaren (Gruppe 2) Leitsubstanzen gemäss der Verordnung des UVEK [2].

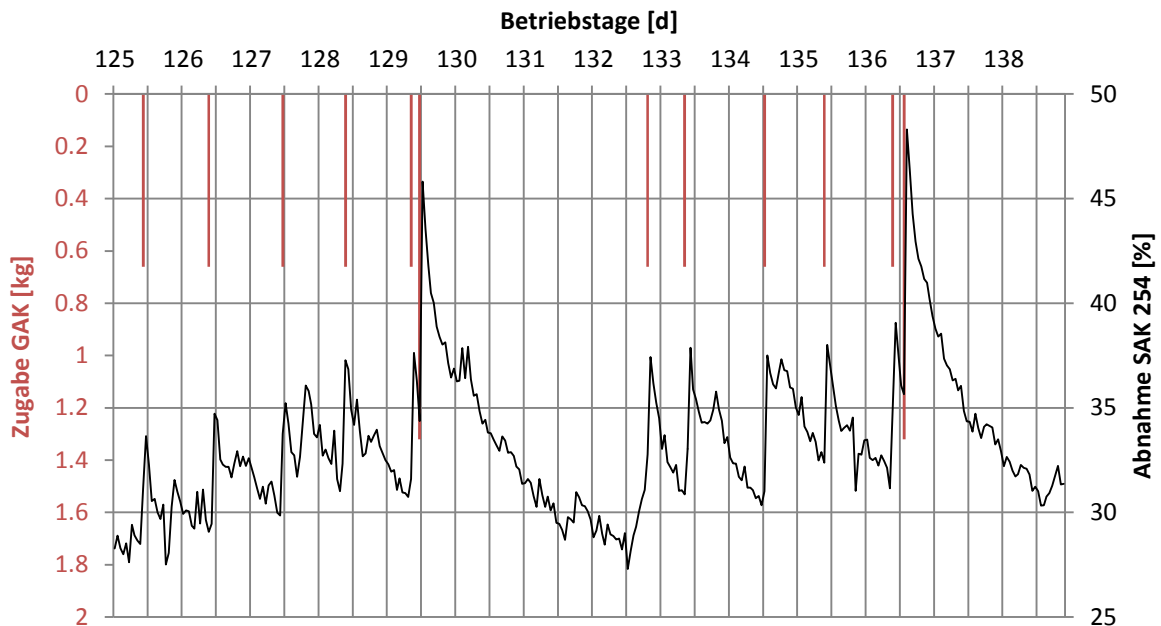


Abbildung 5: µGAK-Zugabe und Reaktion des SAK 254 in Funktion der Betriebstage.

5.2 Verbrauch von Aktivkohle

Wie Abbildung 3 zeigt, wurde in den Versuchsphasen 2 und 3 der geforderte MV-Reinigungseffekt mit einer μGAK-Dosierung von 15 mg/L klar eingehalten. Aufgrund der relativ tiefen DOC-Konzentration im Zulauf zum Pilotreaktor (6 ± 1 mg/L, Tabelle 1) entspricht dies einer spezifischen Aktivkohledosierung von 2.5 gAK/gDOC. Auf der ARA Herisau wurden bei ähnlicher spezifischer PAK-Dosierung (Ulmerverfahren) Reinigungseffekte zwischen 79 und 95% gemessen [3]. Der Kohleverbrauch eines μGAK-Wirbelbetts scheint demnach vergleichbar mit dem PAK-Verbrauch eines Ulmerverfahrens.

Neben dem Kohleverbrauch aufgrund des Überschussskohleabzugs können beim vorliegenden Verfahren weitere Kohleverluste beim Waschen der μGAK und durch Verluste im Ablauf entstehen. In Tabelle 4 sind die Kohleverluste während dem Waschvorgang in Funktion von 3 Partikelgrößenklassen dargestellt. Total betragen diese Verluste ca. 0.3% der eingesetzten Kohle (Abbildung 6). Abbildung 6 zeigt zudem die Kohleverluste, die mittels Analyse des Sediments in einem dem Ablauf nachgeschalteten Tank ermittelt wurden. Diese Verluste betragen 0.25% und zeigen, dass nur sehr wenige Kohlekörner in den Ablauf gelangen. Nicht sedimentierende Feinanteile der AK (insbesondere aufgrund von Abrieb bei Spülungen) waren in diesen Verlusten nicht enthalten. Eine abschliessende Beurteilung des Kohleverlusts im Ablauf der Pilotanlage war daher noch nicht möglich.

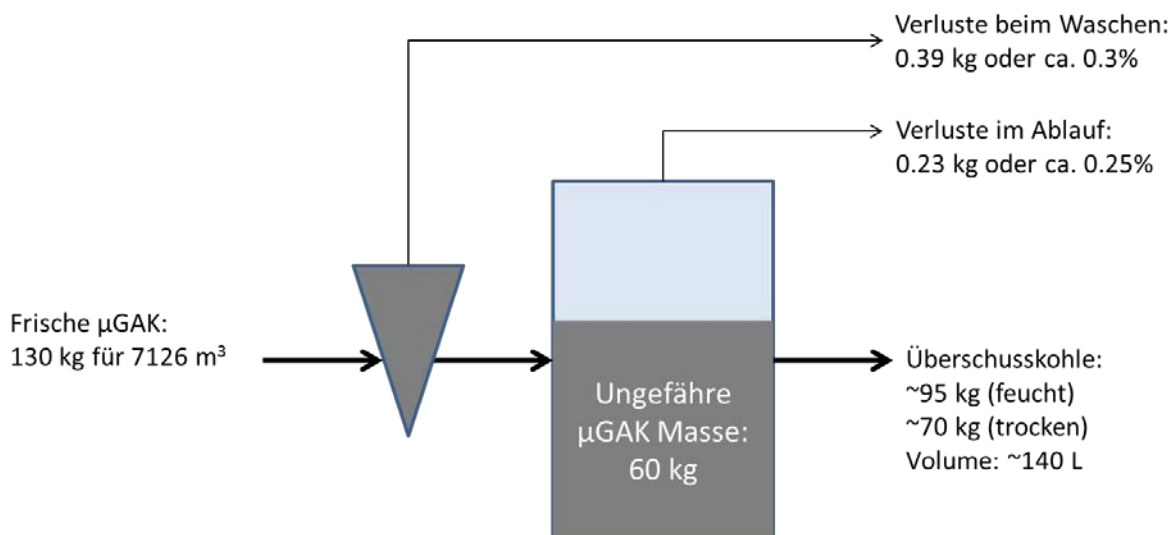





Abbildung 6: Massenbilanz der μGAK für die ersten 200 Betriebstage.

Tabelle 4: Kohlenverluste der eingesetzten CycleCarb 305 (Chemviron) während der Befeuchtung und dem Waschvorgang.

| Nicht befeuchtete Körner | Feinanteile | Pulver |
|---|---|---|
| >200 μm | 200 μm > Grösse > 100 μm | <100 μm |
|  |  |  |
| 0.183 % der Gesamtmasse | 0.003 % der Gesamtmasse | 0.112 % der Gesamtmasse |

5.3 Suspendierte Stoffe (GUS) und μGAK-Wirbelbett

Abbildung 7 zeigt die Trübung und die GUS-Konzentrationen im Zu- und Ablauf des Pilotreaktors ab dem 50-igsten Betriebstag. Deutlich ist der anfänglich erhöhte Schlammabtrieb aufgrund der Chlorierung zu erkennen. Nach der Normalisierung des Betriebs in der Biologie sanken die Werte wieder auf ein sehr tiefes Niveau. In den Versuchsphasen 2 und 3 (ab Betriebstag 90) sind sowohl die Trübungswerte als auch die GUS-Konzentrationen sehr tief. Zudem ist festzustellen, dass die Zulaufwerte nicht immer höher als die Ablaufwerte sind. Dies bestätigt, dass ein μGAK-Wirbelbett ein offenes System ist, dass GUS nur beschränkt zurückhält.

Abbildung 8 zeigt die Entwicklung der expandierten Betthöhe (h_e) und der Betthöhe im Ruhezustand (h_r) während der ersten Versuchsreihe. In der ersten Phase steigt h_e deutlich schneller als h_r . Oder anders formuliert: Das Verhältnis von h_e zu h_r stieg deutlich an. Dies geschah wegen der stärkeren Expansion des μGAK-Wirbelbetts aufgrund der Einlagerung von GUS während der Phase mit erhöhtem Schlammabtrieb aus der Biologie.

Deutlich sichtbar sind auch die Effekte der Spülungen mit Wasser oder mit Luft. Während die Spülungen mit Wasser nur kleinere Senkungen des Verhältnis h_e/h_r zur Folge hatten, konnte durch eine Spülung mit Luft nach dem 80-igsten Betriebstag eine deutliche Senkung von h_e erreicht werden. Sehr wahrscheinlich erlaubte die Spülung mit Luft einen besseren Austrag der eingelagerten GUS aufgrund der höheren Scherkräfte. Höhere Scherkräfte führen jedoch auch zu mehr Abrieb der μGAK-Körner und damit zu Kohleverlust. Spülungen mit Luft sollten daher minimiert werden.

In den Phasen 2 und 3 waren sowohl h_e als auch h_r stabil, was aufgrund des stabilen Betriebs von Biologie und μGAK-Anlage zu erwarten war. Aufgrund der tiefen GUS-Werte waren auch viel weniger Spülungen nötig. Auf Spülungen mit Luft konnte ganz verzichtet werden.

Diese Resultate zeigen, dass die online-Messung von h_e und h_r mittels Niveausonde für die Überwachung des μGAK-Wirbelbetts geeignet sind. Für den Betrieb im Vollmasstab könnten damit die Spülungen in Funktion einer maximalen h_e oder eines maximalen Verhältnisses von h_e zu h_r automatisch durchgeführt werden.

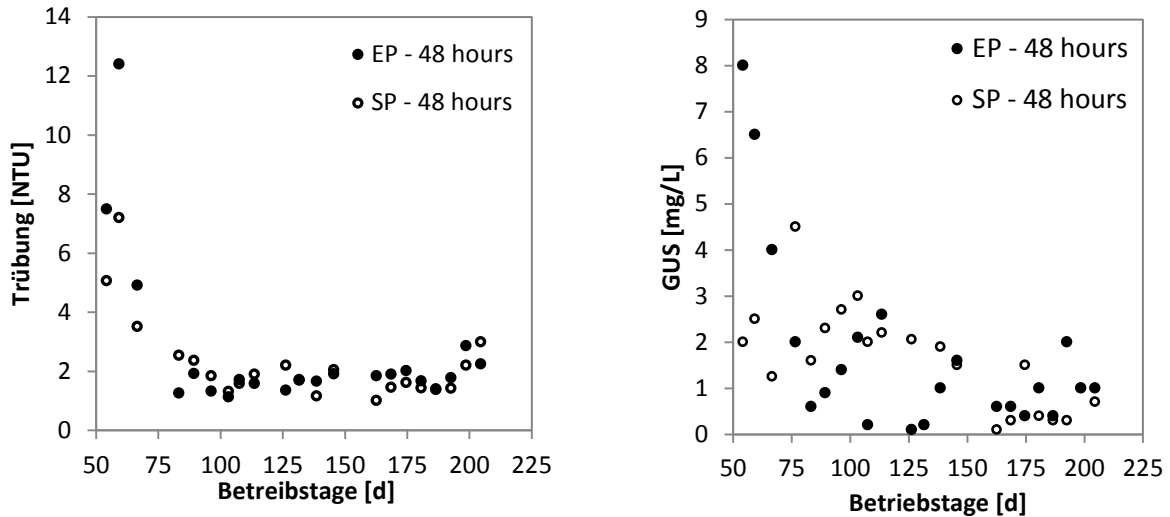


Abbildung 7: Trübung (links) und GUS (rechts) im Zulauf (EP) und Ablauf (SP) des Pilotreaktors während der 48-Stunden Messkampagnen.

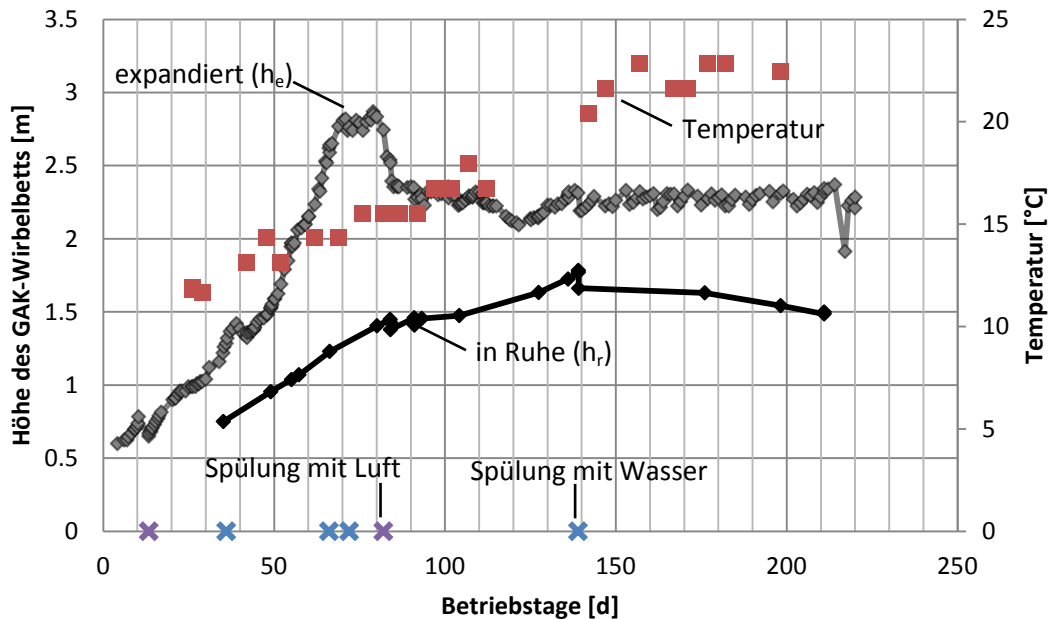


Abbildung 8: Entwicklung der Eigenschaften des µGAK-Wirbelbetts während der ersten Versuchsreihe.

5.4 Weitere betriebliche Aspekte

Gemäss dem Betriebspersonal der STEP de Penthaz, das für den täglichen Betrieb des Pilotreaktors verantwortlich war, verursachte dieser einen vertretbaren Betriebsaufwand. Im Pilotbetrieb waren allerdings sowohl die Befeuchtung und das Waschen der Kohle (Zeitaufwand ca. 30 Minuten pro Tag), die Dosierung und auch die Spülungen manuell durchgeführt worden. Bei einer Anlage im Vollmassstab können alle diese Prozesse automatisiert werden, sodass mit einem niedrigen Betriebsaufwand gerechnet werden kann.

Im Gegensatz zu PAK-Dosieranlagen besteht bei der Dosierung von μGAK kein Risiko für Staubexplosionen. Daher können μGAK-Dosieranlagen ohne die Berücksichtigung von EX Zonen ausgeführt werden, was betrieblich Vorteile bringt. Im Weiteren ist zu erwarten, dass die Dosierung der gut rieselfähigen und leicht anfeuchtbaren μGAK sich deutlich einfacher gestaltet als die Dosierung eines feinen Pulvers (PAK).

Bei Anlieferung und Lagerung der μGAK ist auf den Feuchtegehalt der Kohle zu achten. Ansonsten verfälscht sich die μGAK-Dosierung, wenn die Bestimmung der zuzugebenden Menge gravimetrisch erfolgt.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Die Resultate aus der ersten Versuchsreihe zur Elimination von Mikroverunreinigungen mittels μGAK-Wirbelbett auf der STEP de Penthaz lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Ein aufwärtsdurchströmtes μGAK-Wirbelbett ist ein geeignetes Verfahren um Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser zu entfernen.
- Die für eine MV-Elimination von 80% in der gesamten Anlage nötige Menge an μGAK ist mit PAK- und statischen GAK-Verfahren vergleichbar. Bei einer konstanten Filtergeschwindigkeit von 15 m/h wurde mit einer Dosierung von 15 g/m³ alleine im μGAK-Reaktor eine mittlere MV-Elimination von 87 ± 2.5% erreicht. Die mittlere DOC-Konzentration im Zulauf zum Reaktor lag dabei bei 6 ± 1 mg/L.
- Die Abnahme der UV-Adsorption bei 254 nm hat sich auch in diesem Projekt für die online Überwachung der MV-Elimination als geeignet erwiesen.
- Für einen optimalen Betrieb des μGAK-Wirbelbetts ist eine gute Benetzung und vor allem eine gut definierte Granulometrie der Kohle durch vorgängiges Waschen wichtig. Mit der in der ersten Versuchsreihe eingesetzte Kohle (CycleCarb 305, CHEMVIRON) betrug der Kohleverlust beim Waschen 0.3%.
- Erste Messungen deuten darauf hin, dass im Ablauf des Reaktors sehr wenig Kohlepartikel verloren gehen (0.25%, 0.03 g/m³). Dafür ist ein Waschvorgang der Kohle vor der Dosierung unerlässlich.
- Der Betrieb des Reaktors war im allgemeinen einfach und wenig zeitaufwändig. Die Benetzung und das Waschen der Kohle benötigte ca. 30 Minuten pro Tag. Der Abzug der Überschussskohle war problemlos.
- Das μGAK-Wirbelbett hält suspendierte Stoffe nur bedingt zurück. Dennoch kann es zu Akkumulation solcher Stoffe im Aktivkohlebett kommen (auch bei sehr tiefen Zulaufkonzentrationen wie in Penthaz, 4 ± 3 mg/L). Durch periodische Spülungen mit Wasser oder Luft (stärkere Turbulenz) können sie aber entfernt und dem ARA Zulauf zugeführt werden.
- Alle routinemässigen Betriebsprozesse (Benetzung, Waschen, Dosierung, Kohleabzug, Spülungen) können automatisiert werden. Die Spülungen können dabei aufgrund der folgenden Kriterien ausgelöst werden: nach einer bestimmten Betriebszeit, bei maximal zulässiger h_e oder bei einem maximalen Verhältnis von h_e/h_r .

In der zweiten Versuchsreihe wird zur Zeit die Eignung einer zweiten Kohle untersucht (GAK 2442 reactivated, Norit) zudem werden Versuche zu den folgenden Betriebsbedingungen gefahren: variable Filtergeschwindigkeit proportional zum ARA Zulauf, angepasste AK-Dosierung, Abschalten der Membranfiltration um höhere suspendierte Stoffe im Zulauf zum Reaktor zu haben sowie detailliertere Untersuchungen zum AK-Schlupf im Ablauf.

7 LITERATURHINWEISE

- [1] Horisberger, M. et al. (2017): *Essais-pilotes - STEP de Penthaz - traitement des micropolluants par charbon actif en micrograins.*
- [2] Verordnung des UVEK zur Überprüfung des Reinigungseffekts von Massnahmen zur Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasserreinigungsanlagen, SR 814.201.231, Stand am 1. Dezember 2016
- [3] Zöllig, H. et al. (2017): *PAK-Stufe ARA Herisau.* Aqua & Gas. (1): p. 14 - 23.