

## KomS-Langzeitbetrachtung zu Kosten der Pulveraktivkohlebehandlung

Jan Kreienborg, Eva Wortmann, Filip Bertzbach, Dr. Marie Launay,  
Köln, Hamburg, Stuttgart

### 1 ZIELE

In der Abwasserbeseitigung in Baden-Württemberg liegen profunde mehrjährige betriebliche Erfahrungen mit der Anwendung von Pulveraktivkohle (PAK) zur Spurenstoffelimination vor. Insgesamt sind bereits 13 Anlagen mit einer PAK-Stufe, teilweise bereits seit mehreren Jahren, in Betrieb. 17 weitere Anlagen befinden sich für gezielte Spurenstoffelimination mit unterschiedlichen Verfahren in Planung oder Bau [1]. Mit einer Erfassung der dabei entstandenen IST-Kosten von Anlagen mit einer PAK-Stufe ist im Sommer 2019 eine umfassende, aussagekräftige Basis für die weitere betriebswirtschaftliche Bewertung geschaffen worden. Hierfür haben sechs ausgewählte Anlagen, unterstützt durch die aquabench GmbH und das Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) Baden-Württemberg, ihre Betriebserfahrungen der letzten Jahre dokumentiert<sup>1</sup>.

Diese Daten sollen in der Öffentlichkeit helfen,

- Kostenauswirkungen der neuen Technologie für Politik und Bürger darzustellen und
- detaillierte, belastbare Daten zur Planung für neue Anlagen zu schaffen, ggf. auch bestehende Annahmen zu überprüfen.

Gleichzeitig unterstützen diese Daten die Betreiber der Anlagen

- bei einer Erfolgskontrolle ihrer Planungen und ihres Betriebs und
- dienen als Basis für einen strukturierten Austausch zwischen den Anlagen.

Durch eine Fortführung in den Folgejahren können diese Ziele unter Einbezug weiterer interessierter Betreiber auch kontinuierlich verfolgt werden.

### 2 METHODE

Unterschiedliche Veröffentlichungen zur Kostenanalyse der PAK-Stufe sind bereits in der Vergangenheit erfolgt [2,3,4] bzw. auch Erfassungssysteme für Kosten entwickelt worden [5,6]. Diese beruhten insbesondere bei den Betriebskosten überwiegend auf Plandaten. Die vorliegende Erfassungsmethode führt eine 2014 in Baden-Württemberg unter Beteiligung des KomS veröffentlichten Untersuchung fort [2]. Hieran hatten sich bereits 5 der 6 aktuell beteiligten Anlagen beteiligt.

Die Kostenerfassung wurde dafür weiterentwickelt, u.a. um zukünftig eine hohe Vergleichbarkeit zu aktuell in der Schweiz erhobenen Daten zu gewährleisten [vgl. 5].

---

<sup>1</sup> Aufgrund des Pilotcharakters der angewandten Methode war dabei eine Beschränkung auf 6 Anlagen sinnvoll. Die an dieser Veröffentlichung beteiligten Anlagen waren bis auf eine Ausnahme bereits an einer Studie in 2014 beteiligt und gehören zu den Anlagen mit den längsten Laufzeiten.

- Es werden, analog zu der Erfassung in der Schweiz, Kosten der Betriebsanalytik separat ausgewiesen und Fällmittel nicht mehr in der Auswertung berücksichtigt<sup>2</sup>. Honorarkosten, welche externe Beratung und Forschung umschließen und in der Erfassung der VSA in der Schweiz erfasst werden, sind für die deutschen Anlagen kaum relevant und werden daher in dieser Auswertung nicht berücksichtigt.
- Generell werden auch Kosten der Hebewerke und Filtration (über die Adsorptionsstufe hinaus) erfasst (vgl. Abbildung 1). Diese Anlagenteile sind notwendig zum Betrieb einer PAK-Stufe, teilweise jedoch ohne weitere Umrüstungen bereits in den betrachteten Anlagen installiert gewesen.
  - Daher können bei einzelnen Kostenarten auch Kosten erfasst werden, welche bereits vor Investition in die PAK-Stufe in der Anlage angefallen sein können, bzw. die insbesondere bei Teilstromanlagen für Abwasserbehandlung außerhalb der PAK-Stufe anfallen. Bei den beteiligten Anlagen sind diese Kosten aber überwiegend der PAK-Stufe zuzuordnen.<sup>3</sup>
  - Aufgrund der Datenerfassung bei den Anlagen können alle Kosten nur gesamt – ohne Trennung in Prozessstufen – für die gesamte PAK-Stufe erfasst und dargestellt werden.

#### PAK-Stufe

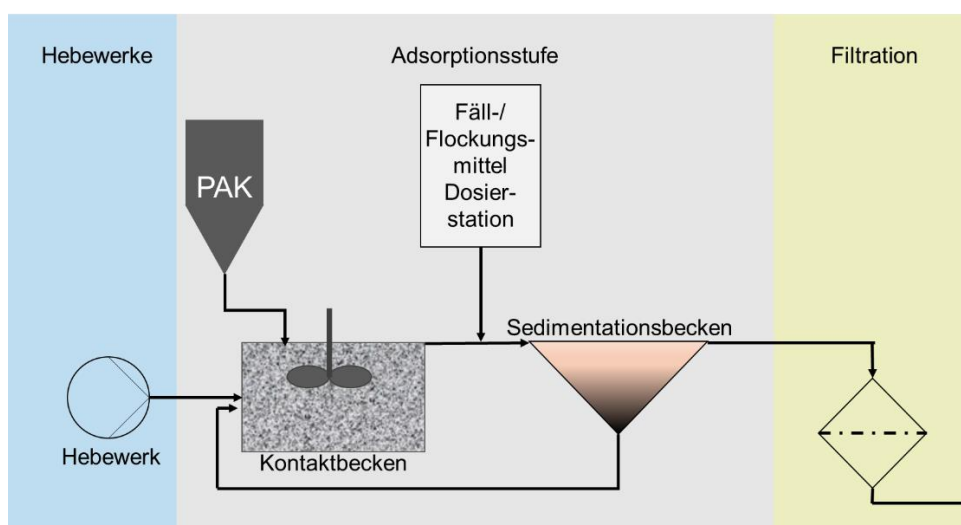


Abbildung 1: Betrachtete Anlagenteile in der PAK-Stufe

- Die Kapitalkosten können dabei einmal unabhängig vom Anschaffungszeitpunkt für alle Anlagenteile der PAK Stufe ausgewiesen werden und andererseits nur für die im Rahmen der Umrüstung angefallenen Neuinvestitionen. Die Ermittlung der

<sup>2</sup> Durch die Installation einer PAK-Stufe kann es zum Einsatz von qualitativ anderen Fällmitteln in der Adsorptionsstufe kommen. Die Betreiber setzen durch den Betrieb der PAK-Stufe aber nicht entscheidend mehr Fällmittel ein als ohne diese Verfahrensstufe, so dass auf eine Erfassung dieser Kosten verzichtet wird.

<sup>3</sup> Anlagentechnik, welche eindeutig und vollständig nicht der PAK-Stufe zuzuordnen war, wurde dabei nicht berücksichtigt.

Normierung der Abschreibungen und Zinsen erfolgt mit einheitlichen Abschreibungszeiträumen und auf Basis der Anschaffungs- und Herstellungskosten<sup>4</sup>:

Nicht alle Kostenarten sind bei allen Betreibern ermittelbar gewesen. In Einzelfällen ist daher mit statistischen Werten gearbeitet worden, um weiterhin Gesamtaussagen darstellen zu können. Hierauf wird in den einzelnen Auswertungen verwiesen.

### 3 RAHMENBEDINGUNGEN

Unterschiedliche Rahmenbedingungen prägen die Kosten der Anlagen entscheidend. Die Spurenstoffbehandlung muss an jedem Standort unter unterschiedlichen räumlichen und strukturellen Bedingungen erfolgen. Wichtige generelle Unterschiede sind daher in Tabelle 1 aufgeführt.

**Tabelle 1: Rahmenbedingungen der Teilnehmer (im Jahr 2018)**

	Einheit	Steinhäule Neu-Ulm	Mannheim	Böblingen - Sindelfingen	Lahr	Stockacher Aach	Kressbronn Langenargen
Jahr der Inbetriebnahme	Jahr	2015	2015	2011	2015	2012	2011
Behandelte Abwassermenge in PAK-Stufe (BehQPAK)	m <sup>3</sup> / a	32.029.290	25.687.408	12.658.418	4.935.421	4.645.894	1.978.239
Gebührenfähige Abwassermenge (GebQ)	m <sup>3</sup> / a	14.619.994	18.960.000	6.142.749	2.779.679	1.760.000	1.018.667
Natürliche Einwohner	E	230.000	324.039	114.000	56.755	k.A.	17.000
Verhältnis natürliche Einwohner zum Einwohnerwert	%	61,6%	58,4%	66,3%	77,7%	k.A.	79,3%
Einwohnerwert als CSB120 (MW)	EW	373.333	555.108	171.883	73.050	34.365	21.442
Vollstrom / Teilstrom	-	Vollstrom	Teilstrom	Teilstrom	Teilstrom	Teilstrom	Vollstrom
Neubau Hebewerk, Becken, Filter	Text	Hebewerk, Becken, Filter	-	Becken	Hebewerk, Becken, Filter	Becken	Becken
Eliminationsleistung Spurenstoffe	%	93,8%	93,6%	86,7%	91,3%	93,6%	89,4%

Die Eliminationsleistung der Spurenstoffe wird dabei in der obigen Tabelle als eine Rahmenbedingung der Kostenbetrachtung aufgeführt. Sie wird erstmals nach einem einheitlichen Verfahren angegeben<sup>5</sup> und zeigt eine hohe einheitliche Eliminationsleistung der Anlagen, deutlich über der behördlichen Vorgabe eines Mindestabbaus von 80 %. Alle Anlagen übertreffen diese behördlichen Anforderungen. Es lassen sich daher zwischen den Betreibern keine direkten Korrelationen zwischen Aufwand und Eliminationsleistung untersuchen.

Für die weitere Kostenbetrachtung sind aber die folgenden Unterschiede in den Rahmenbedingungen zwischen Betreibern wichtig:

- Größenunterschiede (gemessen in behandelter Abwassermenge der PAK-Stufe oder der entsorgten CSB-Fracht) beeinflussen entscheidend Kosten, insbesondere spezifische Kapitalkosten. Aber auch alle weitgehend mengenunabhängigen

<sup>4</sup> Entsprechend des gültigen KAG in Baden-Württemberg wurde dabei auf eine Normierung über Wiederbeschaffungszeitwerte verzichtet. Afa-Zeiträume sind: Bauwerke 50 Jahre, Maschinenteknik 20 Jahre, Elektrotechnik 10 Jahre. Zinsen werden mit 3 % auf die Hälfte der Anschaffungs- und Herstellungskosten berechnet.

Bei der aktuellen Erhebung in der Schweiz [5] werden hier abweichend 15 Jahre bei der Maschinenteknik und ein niedrigerer Zinssatz von 2,5 % sowie eine Berechnung auf Basis Wiederbeschaffungszeitwerte angesetzt.

<sup>5</sup> Mittelwert aus drei Messungen aus den Eliminationsraten der folgenden 7 Substanzen: Carbamazepin, Diclofenac, Hydrochlorothiazid, Irbesartan, Metoprolol, Benzotriazol,  $\Sigma$  4 und 5 Methylbenzotriazol. Diese Messungen wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts mit einem einheitlichen Verfahren im Jahr 2018 durchgeführt.

Betriebskosten wie Personal und Instandhaltung zeigen in der späteren Betrachtung Vorteile der großen Anlagen (die Anlagen sind entsprechend der behandelten Abwassermenge in allen Darstellungen daher nach ihrer Größe sortiert).

- Der Umfang der Investition in die PAK-Stufe ist entscheidend von der tatsächlich behandelten Abwassermenge in der PAK-Stufe abhängig, welche wiederum davon beeinflusst ist, ob es sich um eine Teilstrom- oder Vollstromanlage handelt (beispielsweise behandelt Mannheim die höchste Schmutzfracht in der Kläranlage, in der PAK-Stufe behandelt Steinhäule Neu-Ulm aber deutlich mehr Abwasser, da es eine Vollstromanlage ist).
- Die Möglichkeit vorhandene Anlagenteile für die PAK-Stufe nutzen zu können, kann weiter die Höhe der Kapitalkosten und insbesondere die sog. Kapitalkosten für Neuinvestitionen beeinflussen. Die sechs untersuchten Anlagen mussten Neuinvestitionen in sehr unterschiedlichem Umfang vornehmen, während die zwei Anlagen in Steinhäule Neu-Ulm und Lahr die komplette PAK-Stufe neugebaut haben, wurde in Böblingen-Sindelfingen, Kressbronn-Langenargen und Stockacher Aach lediglich die Adsorptionsstufe neu gebaut. In Mannheim konnte dabei sogar auf bestehende Becken zurückgegriffen werden. (vgl. Abbildung 2). Entsprechend können nicht nur Neuinvestitionen geringer, sondern auch die Kapitalkosten bestehender Anlagen (aufgrund anderer historischer Baukosten) deutlich niedriger ausgewiesen werden.

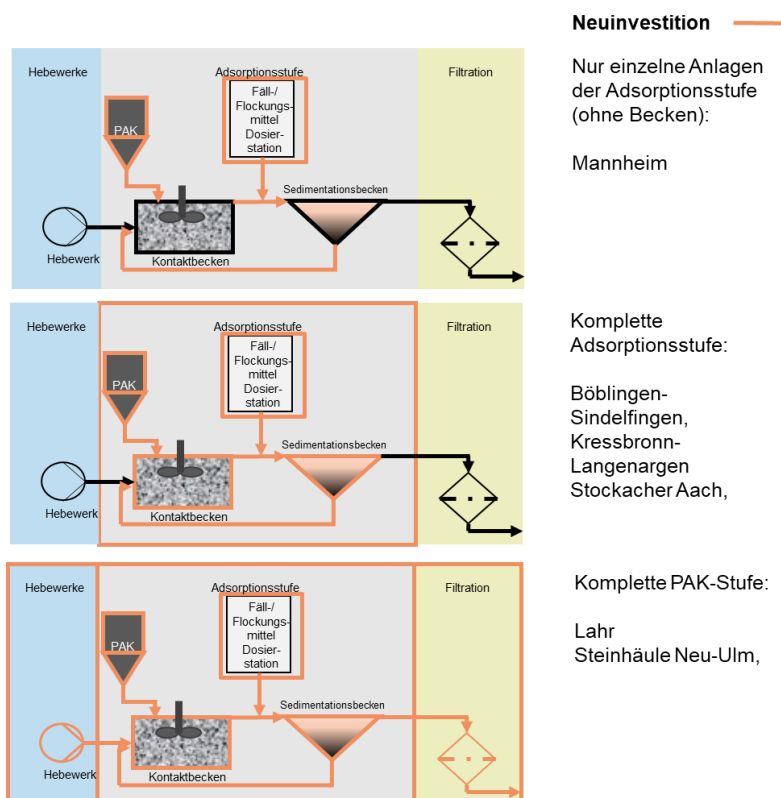


Abbildung 2: Unterschiedlicher Umfang der Neuinvestitionen (orange markierte Anlagenstufen) – entscheidend für Investitionskosten und historische Kapitalkosten

- Als weitere Rahmenbedingung kann auch die Abwasserzusammensetzung genannt werden, welche die Betriebskosten über unterschiedliche Dosiermengen der

Pulveraktivkohle beeinflussen kann: Höhere Industrieanteile (in obiger Tabelle über das Verhältnis der Schmutzfrachten zu natürlichen Einwohnern beispielhaft indiziert) können Ursache für einen höheren Einsatz von Betriebsmitteln sein<sup>6</sup>.

## 4 KOSTEN FÜR DEN BÜRGER

Die sechs Anlagen haben für den Kostenvergleich sowohl Betriebskosten als auch ursprüngliche Anschaffungs- und Herstellungskosten ermittelt. Aufgrund fehlender weiterer Differenzierung der Anschaffungs- und Herstellungskosten können für einen Vergleich auf Ebene der gesamten Kosten jedoch nur vier Anlagen verglichen werden. Bei der im nachfolgenden Abschnitt 5 detaillierten Betrachtung der Betriebskosten gehen dann aber alle sechs Anlagen in den Vergleich ein.

**Tabelle 2: Spezifische Kosten je gebührenfähiger Abwassermenge (GebQ) und weitere relevante Kostengrößen und Rahmenbedingungen für 2018**

	Einheit	Steinhäule Neu-Ulm**	Mannheim	Böblingen- Sindelfingen**	Lahr	Stockacher Aach****	Kressbronn- Langenargen***
<i>Rahmenbedingungen</i>							
Natürliche Einwohner	E	230.000	324.039	114.000	56.755	k.A.	17.000
Gebührenfähige Abwassermenge (GebQ)	m <sup>3</sup>	14.619.994	18.960.000	6.142.749	2.779.679	1.760.000	1.018.667
Aktuelle Schmutzwassergebühr	Cent / m <sup>3</sup>	159	168	133	175	-	224 / 180
Behandelte Abwassermenge in PAK-Stufe (BehQPAK)	m <sup>3</sup>	32.029.290	25.687.408	12.658.418	4.935.421	4.645.894	1.978.239
Vollstrom - oder Teilstromanlage	-	Vollstrom	Teilstrom	Teilstrom	Teilstrom	Teilstrom	Vollstrom
Neubau von Hebewerk, Becken, Filter	-	Hebewerk, Becken, Filter	-	Becken	Hebewerk, Becken, Filter	Becken	Becken
<i>Kosten je gebührenfähiger Abwassermenge</i>							
Anschaffungs- und Herstellungskosten gesamt	€	44.695.825	17.445.849	13.415.615	9.302.000	k.A.	k.A.
Anschaffungs- und Herstellungskosten Neuinvestitionen	€	44.695.825	9.293.062	3.820.000	9.302.000	3.639.372	2.605.283
Spez. Kapitalkosten (Bezug auf GebQ)	Cent / m <sup>3</sup>	13,3	4,9	12,1	20,6	k.A.	k.A.
davon spez. Kapitalkosten für Neuinvestitionen	Cent / m <sup>3</sup>	13,3	2,9	3,1	20,6	k.A.	16,9
Spez. Betriebskosten (Bezug auf GebQ)	Cent / m <sup>3</sup>	8,5	5,7	8,1*	10,0	13,1*	13,5*
<b>Spez. Gesamtkosten (Bezug auf GebQ)</b>	<b>Cent / m<sup>3</sup></b>	<b>21,9</b>	<b>10,6</b>	<b>20,2</b>	<b>30,6</b>	<b>k.A.</b>	<b>k.A.</b>
Spezifische Einsparung durch aktuelle Fördermittel	Cent / m <sup>3</sup>	2,4	0,4	1,9	8,6	k.A.	k.A.
Spez. Einsparung tatsächliche Abwasserabgabe	Cent / m <sup>3</sup>	5,8	1,6	k.A.	1,4	0,4	2,7
<b>Theoretisch reduzierte Gesamtkosten für Bürger (Bezug auf GebQ)</b>	<b>Cent / m<sup>3</sup></b>	<b>13,7</b>	<b>8,6</b>	<b>18,3</b>	<b>20,6</b>	<b>k.A.</b>	<b>k.A.</b>
<i>Weitere spez. Kostengrößen (reduziert um Einsparungen durch Fördermittel und bei tatsächlicher Abwasserabgabe):</i>							
Theoretisch reduzierte Gesamtkosten für Bürger (Bezug auf natürliche Einwohner)	€ / E	8,7	5,0	9,9	10,1	k.A.	k.A.
<b>Theoretisch reduzierte Gesamtkosten (Bezug auf Einwohnerwert EW)</b>	<b>€ / EW</b>	<b>5,4</b>	<b>2,9</b>	<b>6,5</b>	<b>7,8</b>	<b>k.A.</b>	<b>k.A.</b>
Anteil Kosten an aktueller Schmutzwassergebühr	%	8,6	5,1	13,8	11,8	k.A.	k.A.
Gesamtkosten ohne Kapitalkosten vorher bestehender Anlagen (Bezug auf GebQ)	Cent / m <sup>3</sup>	13,7	7,0	10,2	20,6	k.A.	20,1
Theoretisch reduzierte Gesamtkosten (Bezug auf BehQPAK)	Cent / m <sup>3</sup>	6,2	6,4	8,9	11,6	k.A.	k.A.

\* Betriebskosten enthalten Annahmen (vgl. Abbildung 3)

\*\* Keine Trennung der Herstellungskosten zwischen Maschinen- und Elektrotechnik möglich

\*\*\* Keine Ermittlung der Herstellungskosten bereits bestehender Anlagenteile möglich

\*\*\*\* Keine Trennung der Herstellungskosten von Neuinvestitionen zwischen Bau- Maschine- und Elektrotechnik und keine Ermittlung der Herstellungskosten bereits vorhandener Anlagenteile möglich

Für einen Vergleich zwischen Anlagen ist eine Berücksichtigung der wichtigsten Rahmenbedingungen elementar, um passende Partner für den Vergleich zu identifizieren

<sup>6</sup> Das in der Tabelle 1 dargestellte Verhältnis von Schmutzfrachten in CSB zu natürlichen Einwohnern, kann dabei nur ein erster Indikator für die unterschiedliche Abwasserbelastung der Anlagen sein.

und Unterschiede zu erklären<sup>7</sup>. Die Rahmenbedingungen sind entsprechend in Tabelle 2 integriert.

Verschiedene spezifische Kostengrößen in der Tabelle 2 berücksichtigen, dass unterschiedliche Fragestellungen und Blickwinkel auf die 4. Reinigungsstufe bestehen. Für den Bürger sind die Kosten je gebührenfähiger Abwassermenge, je Einwohner oder auch im Verhältnis zur aktuellen Schmutzwassergebühr relevant. Reduzierungen der tatsächlichen Kosten durch Fördermittel bzw. Optionen, in Zukunft Abwasserabgaben einzusparen, sind dabei zu berücksichtigen. Weiter kann hier oft wichtiger sein, was tatsächlich an neuen Kosten für den Bürger durch die Investition entsteht und nicht welche (historischen) Gesamtkosten insgesamt der PAK-Stufe zuzurechnen sind, aber schon vorher bestanden.

Kosten für den Bürger liegen je gebührenfähiger Abwassermenge zwischen 10,6 und 30,6 Cent / m<sup>3</sup> (vgl. Tabelle 2). Durch Berücksichtigung der Fördermittel (es wurden zwischen 17 % und 61 % der Investitionskosten bei den Anlagen gefördert) und der Einsparung durch Niedrigerklärung bzw. Verrechnung bei der Abwasserabgabe<sup>8</sup> stellen sich gegenwärtig tatsächliche Kosten für den Bürger oft noch anders dar: Die Kosten liegen zwischen 8,6 und 20,6 Cent/m<sup>3</sup> je Abwassermenge und 5,00 und 10,10 EUR je natürlichem Einwohner / a. Ein großer Teil dieser Kosten wird auch durch die Industrie und Großverbraucher getragen: Je (errechneten) Einwohnerwert liegen die Kosten zwischen 2,90 und 7,80 EUR je EW. Diese Kosten machen zwischen 5,1 % und 13,8 % der aktuellen Schmutzwassergebühr aus. Unter der Annahme, dass 25 % der Gebührenbelastung zusätzlich auf die Niederschlagswasserbeseitigung entfallen<sup>9</sup>, machen diese Kosten etwa 3,8 % bis 10,3 % der gesamten Gebührenbelastung aus.

Betrachtet man die Kosten ohne die Kapitalkosten der bereits bestehenden Anlagen erhält man einen Blick auf tatsächlich neu entstehende Belastungen und Kosten für die Bürger durch die Investition. Diese Kostengröße ist in den einzelnen Kommunen wichtig, eignet sich jedoch nicht so gut für den Vergleich der Anlagen. Es zeigen sich die Vorteile der Anlagen, die nur in geringem Maße Umrüstungen vornehmen mussten (insbesondere Mannheim und Böblingen-Sindelfingen) bzw. die Nachteile derjenigen, die in Hebewerke oder Filter investieren mussten (Steinhäule Neu-Ulm, Lahr), noch stärker.

Insbesondere die Kapitalkosten schwanken zwischen den Anlagen aufgrund der unterschiedlichen Ausgangssituationen und Rahmenbedingungen notwendigerweise stark und erklären wesentlich die Unterschiede in den Kostengrößen. Bei den 4 Anlagen schwanken die Kosten um den Faktor 5 (sie liegen zwischen 4,9 und 20,6 Cent / m<sup>3</sup>). Erkennbare Ursachen liegen in den unterschiedlichen Möglichkeiten bestehende Anlagen zu

---

<sup>7</sup> Auch die Autoren der Studie aus 2014 haben bereits darauf hingewiesen, dass „die Integration einer Adsorptionsstufe in eine bestehende Anlagenkonfiguration eine individuelle Aufgabenstellung ist. Die ... Ausführungen zu Kosten erheben daher nicht den Anspruch einer allgemeingültigen Aussage ...“ [2] Die dargestellten Rahmenbedingungen dienen daher möglichen Vergleichspartnern zur Orientierung bei der Auswahl der für sie passenden Vergleichswerte.

<sup>8</sup> Einsparungen bei der Abwasserabgabe sind bei den Anlagen in den letzten Jahren wie angegeben realisiert worden, können aber in dieser Höhe für die Zukunft nicht dauerhaft angenommen oder fortgeschrieben werden. Sie beruhen bei den Anlagen sowohl auf Verrechnung der getätigten Investitionen als auch auf Niedrigerklärungen gegenüber dem Bescheidwert aufgrund von verbesserten Reinigungsleistungen.

<sup>9</sup> Die Annahme, dass grob 25 % der Kosten auf Niederschlagswasserbeseitigung in Mischwassersystemen entfallen basiert auf Beispielwerten des Unternehmensbenchmarking Abwasser der aquabench GmbH.

nutzen<sup>10</sup> und dem Umfang der PAK-Stufe, also der Frage ob es sich um eine Teilstrom- oder Vollstromanlage handelt. Teilstromanlagen liegen bei den Kosten bezogen auf die gebührenfähige Abwassermenge günstiger, da ihre relative Dimensionierung geringer ausfällt.<sup>11</sup>

Für den betrieblichen Austausch ist der Vergleich der gesamten Kosten über die tatsächlich behandelte Abwassermenge in der PAK-Stufe daher wesentlich aussagekräftiger. Die Kostenspanne der Anlagen liegt hier nur noch zwischen 6,4 Cent/m<sup>3</sup> und 11,6 Cent/m<sup>3</sup> und damit noch näher beieinander. Mit dieser sinnvollen Leistungsgröße erfolgt im folgenden Abschnitt auch die Diskussion der Betriebskosten.

## 5 BETRIEBSERFAHRUNGEN - WAS BEEINFLUSST DIE KOSTEN?

Die Betriebskosten zeigen zwischen den Anlagen schon bezogen auf die gebührenfähige Abwassermenge (Tabelle 2) ein wesentlich homogeneres Bild als die Kapitalkosten. Sie liegen zwischen 5,7 und 13,5 Cent / m<sup>3</sup>. Bezogen auf tatsächlich in der PAK-Stufe behandelte Abwassermengen liegen die Kostenunterschiede nur noch zwischen 3,9 und 7,0 Cent / m<sup>3</sup> in 2018 (vgl. Abbildung 3).

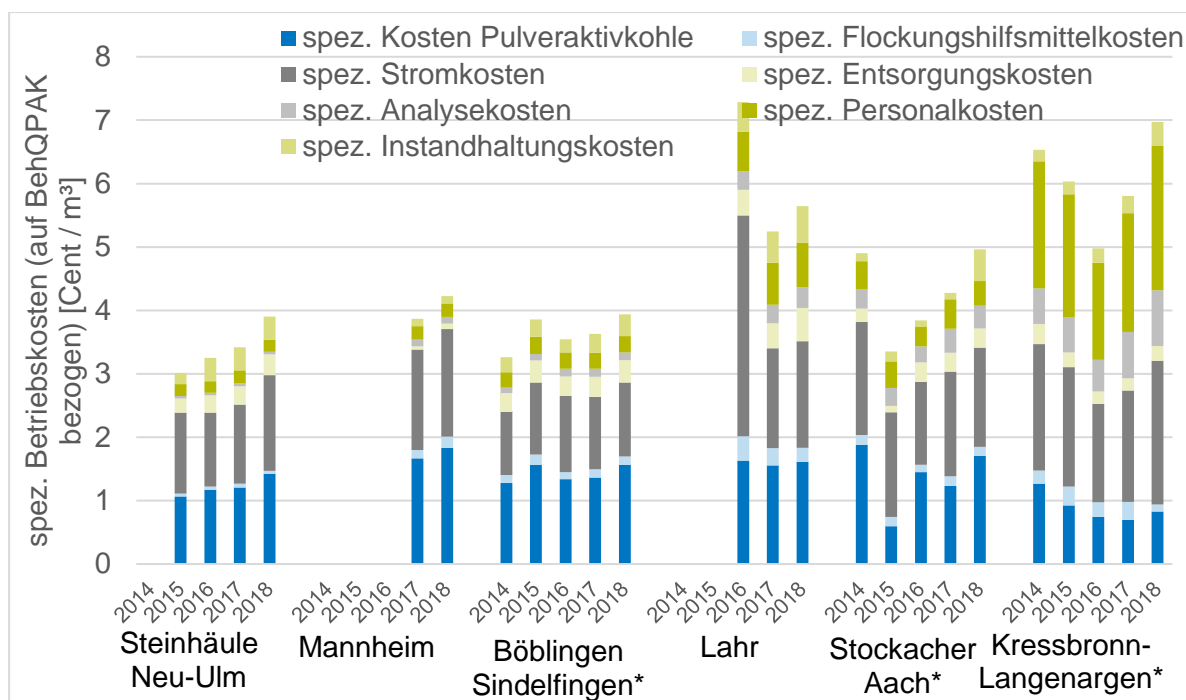
Auswirkungen von Größenunterschieden der Anlagen lassen sich bei den spezifischen Kosten der Instandhaltung, sowie Honorar-, Personal- und Analysekosten vermuten. Betriebsmittel (Pulveraktivkohleeinsatz, Flockungshilfsmittel, Strom und Entsorgung) zeigen sich demgegenüber wesentlich mengenabhängiger und zeichnen damit bei den spezifischen Kosten ein homogenes Bild der betrachteten Anlagen. Auch kleinere Anlagen können hier spezifisch (bezogen auf behandelte Mengen) günstiger wirtschaften.

In der Mehrjahresbetrachtung der Anlagen zeigen sich insgesamt stabile Kostenentwicklungen. Deutliche Kostensteigerungen sind über alle Anlagen nicht erkennbar. Sehr wohl spiegeln sich in den Kostenentwicklungen aber die unterschiedlichen betrieblichen Erfahrungen wider - wie kontinuierliche Anpassungen der Pulveraktivkohlemengen (bei fast allen Betreibern) oder Besonderheiten der ersten Betriebsjahre in Lahr und Stockacher Aach.

---

<sup>10</sup>Durch Bezug auf einen Wiederbeschaffungszeitwert kann bei weiteren Untersuchungen noch eine höhere Normierung dieser historischen Kosten für weitere Analysen erreicht werden. In dieser Veröffentlichung steht jedoch die Betrachtung der Kosten für den Bürger im Vordergrund, bei dem in Baden-Württemberg mit tatsächlichen Anschaffungs- und Herstellungskosten gerechnet wird.

<sup>11</sup> Für die Teilstromanlagen gilt aber auch, dass bei einer weiter differenzierten Betrachtung auch eine ursachengerechte Abgrenzung der Kapitalkosten von Filter und Hebewerke zu noch genaueren Aussagen führen kann.



\*Bei der Kläranlage Stockacher Aach wurden die Stromkosten und bei der Kläranlage Kressbronn-Langenargen die Instandhaltungs- sowie die Analysekosten über den Mittelwert der Gruppe statistisch ermittelt. Zudem wurden für die internen Betriebsanalytikskosten der Kläranlagen Böblingen, Stockacher Aach und Kressbronn-Langenargen statistische Werte verwendet, da hier Detailangaben nicht ermittelt werden konnten.

Abbildung 3: Spezifische Betriebskosten der Anlagen, 2014-2018

Diese betrieblichen Erfahrungen können durch Gegenüberstellung der eingesetzten Betriebsmittel und Ressourcen zu den Kosten noch entscheidend vertieft werden. Die in Tabelle 3 dargestellten technischen und betriebswirtschaftlichen Größen stellen aufgrund der mehrjährigen Erfahrungen, und da sie hier auf die behandelte Abwassermenge in der PAK-Stufe bezogen werden, eine verlässliche Grundlage für die Planung neuer Anlagen dar<sup>12</sup>.

- Die Aktivkohledosierung liegt bei den Betreibern zwischen 6,0 und 10,6 g/m<sup>3</sup> und damit im Mittel bei den in fast jeder Literatur angegebenen 10 g/m<sup>3</sup>. Die spezifischen Einkaufspreise unterscheiden sich dabei teilweise deutlich (sie liegen zwischen 1.380 €/Mg und 2.293 €/Mg). Hier zeigen sich die unterschiedlichen betrieblichen Erfahrungen, welche je nach Abwasser und dessen Belastung, zu unterschiedlichen Dosierungsmengen als auch unterschiedlichen eingesetzten Produkten bei den Anlagen führen. Die Erfahrungen in Mannheim und Kressbronn-Langenargen zeigen hier beispielsweise, dass auch mit geringeren Dosiermengen als 10 mg/l gute Eliminationsleistungen erzielt werden können.

<sup>12</sup> Eine hier nicht veröffentlichte Gegenüberstellung zeigt, dass gegenüber der bisherigen Veröffentlichung [2] Kosten für Aktivkohle, Schlamm und Instandhaltung leicht unter den Annahmen von 2014 liegen und die Kosten für Analyse und Flockungshilfsmittel leicht über den Annahmen. Kosten für Personal und Strom zeigen kein einheitliches Bild und sind methodisch nur schwer mit den Daten der Veröffentlichung aus 2014 zu vergleichen.



**Tabelle 3: Spezifische Betriebskosten 2018 und eingesetzte Betriebsmittel, Ressourcen und Einflussfaktoren**

Betriebskosten	Einheit	Steinhäule Neu-Ulm	Mannheim	Böblingen- Sindelfingen	Lahr	Stockacher Aach	Kressbronn- Langenargen
Behandelte Abwassermenge PAK-Stufe (BehQPAC)	m <sup>3</sup> / a	32.029.290	25.687.408	12.658.418	4.935.421	4.645.894	1.978.239
<b>Spez. Aktivkohlekosten</b>	<b>Cent / m<sup>3</sup></b>	<b>1,42</b>	<b>1,83</b>	<b>1,56</b>	<b>1,61</b>	<b>1,71</b>	<b>0,83</b>
Aktivkohledosierung	g / m <sup>3</sup>	9,1	8,0	10,6	9,9	10,1	6,0
Aktivkohlekosten pro Megagramm	€ / Mg	1.561	2.293	1.470	1.630	1.698	1.380
<b>Spez. Flockungshilfsmittelkosten</b>	<b>Cent / m<sup>3</sup></b>	<b>0,05</b>	<b>0,18</b>	<b>0,13</b>	<b>0,23</b>	<b>0,14</b>	<b>0,11</b>
Flockungshilfsmittelkosten pro Megagramm	€ / Mg	2.845	3.749	3.970	3.844	k.A.	2.070
<b>Spez. Stromkosten</b>	<b>Cent / m<sup>3</sup></b>	<b>1,51</b>	<b>1,70</b>	<b>1,17</b>	<b>1,68</b>	<b>k.A.</b>	<b>2,26</b>
spez. Verbrauch elektr. Energie	kWh / m <sup>3</sup>	0,084	0,089	0,058	0,092	k.A.	0,128
Stromkosten pro kWh	Cent / kWh	0,18	0,19	0,20	0,18	k.A.	0,18
<b>Spez. Entsorgungskosten</b>	<b>Cent / m<sup>3</sup></b>	<b>0,33</b>	<b>0,09</b>	<b>0,35</b>	<b>0,52</b>	<b>0,30</b>	<b>0,24</b>
Entsorgungskosten pro Megagramm	€ / Mg	240	72	222	353	200	261
<b>Spez. Analysekosten inkl. Betriebsanalytik</b>	<b>Cent / m<sup>3</sup></b>	<b>0,04</b>	<b>0,10</b>	<b>k.A.</b>	<b>0,33</b>	<b>k.A.</b>	<b>k.A.</b>
Anzahl an analysierten Proben	Anzahl	13	40	12	15	18	k.A.
Anzahl an untersuchten Substanzen je Probe	Anzahl	20	11	15	16	10	k.A.
Analysekosten pro Probe	€ / Probe	200	174	110	214	143	k.A.
Betriebsanalytik	Cent / m <sup>3</sup>	0,03	0,08	k.A.	0,26	k.A.	k.A.
<b>Spez. Personalkosten</b>	<b>Cent / m<sup>3</sup></b>	<b>0,20</b>	<b>0,21</b>	<b>0,26</b>	<b>0,70</b>	<b>0,39</b>	<b>2,27</b>
Personalbedarf	VZÄ	1,10	1,00	0,65	0,50	0,30	0,75
<b>Spez. Instandhaltungskosten</b>	<b>Cent / m<sup>3</sup></b>	<b>0,36</b>	<b>0,12</b>	<b>0,34</b>	<b>0,58</b>	<b>0,50</b>	<b>k.A.</b>
Prozentualer Anteil Instandhaltungskosten an Herstellungskosten	%	0,26	0,17	0,32	0,31	k.A.	k.A.
<b>Spez. Betriebskosten gesamt</b>	<b>Cent / m<sup>3</sup></b>	<b>3,9</b>	<b>4,2</b>	<b>3,9*</b>	<b>5,6</b>	<b>5,0*</b>	<b>7,0*</b>

\*Für die Ermittlung der gesamten Betriebskosten wurden bei Positionen ohne Angaben statistische Mittelwerte eingesetzt.

- Flockungshilfsmittelkosten können deutlich schwanken, stellen aber nur einen kleinen Anteil der Betriebskosten dar.<sup>13</sup>
- Die Stromkosten variieren mit dem Verbrauch, der zwischen 0,06 und 0,13 kWh/m<sup>3</sup> liegt. Hier sind unterschiedliche Förderhöhen und die Anzahl von Hebewerken ausschlaggebende Faktoren.
- Die Entsorgungskosten, errechnet durch Erhöhung der Aktivkohlemasse um das 1,5fache Gewicht und den Ansatz der spezifischen Entsorgungskosten je Mg TR, sind vor allem davon abhängig, ob die Anlagen den Klärschlamm selber trocknen (Mannheim und Stockacher Aach), selber verwerten (ZVK Steinhäule) oder nass abfahren.
- Analysekosten setzen sich aus dem Einsatz von Betriebsmitteln und Fremdleistungen in der Betriebsanalytik sowie den Kosten für die behördlich geforderten Untersuchungen zum Nachweis der Eliminationsleistung zusammen („externes Sonderprogramm“). Auch wenn seit 2018 hierbei einheitlich nur noch die oben genannten 7 Stoffe in die extern ausgewiesene Eliminationsleistung eingehen und analysiert werden, zeigen sich darüber hinaus Unterschiede im Überwachungsumfang. Einzelne Anlagen überwachen bis zu 20 Substanzen bzw. nehmen bis zu 40 Proben in ihrer Anlage.
- Deutliche Schwankungen zeigen sich bei der Abschätzung des notwendigen Personaleinsatzes – die Anzahl benötigter Mitarbeiter für die PAK-Stufe für Betrieb, Instandhaltung und Betriebsanalytik wird mit 0,3 bis 1,1 VZÄ angegeben.

<sup>13</sup> Zur weiteren Bewertung der Kosten wären hier auch die Wirkungssubstanzen einzubeziehen.

- Instandhaltungskosten machen in den betrachteten ersten Jahren der Anlagen nur zwischen 0,2 % und 0,3 % der Herstellungskosten aus. Einzelne Literaturwerte gehen hier von 1 % bei Bautechnik sowie 2 % bzw. 4 % bei Elektro- bzw. Maschinenteknik aus [4]. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in den Anfangsjahren oft noch Garantien gültig sind und neuere Anlagen naturgemäß weniger reparaturbedürftig sind. Hier werden Auswertungen über noch längere Zeiträume aussagekräftiger sein.<sup>14</sup>

## 6 FAZIT UND AUSBLICK

Die aquabench GmbH und das Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) Baden-Württemberg bedanken sich bei allen beteiligten Anlagen und deren Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen<sup>15</sup>, welche diese Veröffentlichung in kurzer Zeit und mit viel freiwilligem Engagement möglich gemacht haben. Mit ihrer Bereitschaft zur Transparenz stärken sie den fachlichen Austausch über die neue Technologie in der Branche.

Erstmalig können durch diese Arbeit IST-Kosten mehrjähriger Betriebserfahrungen veröffentlicht werden. Die Daten bestätigen die Annahmen, dass mit geringen Anteilen an der aktuellen Gebührenbelastung der Bürger (zwischen 8,6 und 20,6 Cent/m<sup>3</sup> je gebührenfähiger Abwassermenge oder zwischen 2,90 EUR und 7,80 EUR je Einwohnerwert und Jahr, was ca. 4 -10 % der jährlichen gesamten Gebührenbelastung entspricht) große Effekte bei allen Anlagen erreicht werden können. Alle beteiligten Anlagen erreichen mit diesen Kosten eine durchschnittliche Eliminationsleistung der überwachten Substanzen von deutlich über den behördlich geforderten 80 %.

Die Veröffentlichung eignet sich als belastbare Planungsgrundlage neuer Anlagen und vertieft die Erkenntnisse über Kosten der neuen Technologie. Hierfür ist der Bezug der Kosten auf die tatsächlich in der PAK-Stufe behandelte Abwassermenge (BehQPAK) aussagekräftig. Die Spannbreite der Kosten liegt hier zwischen 6,4 und 11,6 Cent/m<sup>3</sup>. Rahmenbedingungen der unterschiedlichen Anlagen werden transparent gemacht und helfen bei der Einordnung eigener Kosten. Die betrieblichen Erfahrungen bezogen auf eingesetzte Ressourcen sind ein stabiles Gerüst für Annahmen und Überprüfung von Betriebskosten. Damit hat der Kostenvergleich auch das Potenzial, den bestehenden Erfahrungsaustausch von Anlagen strukturiert zu unterstützen.

Über die Weiterarbeit und ggf. auch methodische Weiterentwicklung in bereits erkannten Details der Betrachtung und mögliche Ausdehnung auf andere Verfahren wird das Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) Baden-Württemberg im Dialog mit allen interessierten Anlagen in Zukunft entscheiden.

Die Methode steht allen interessierten Betreibern aus Baden-Württemberg zur Nutzung offen.

---

<sup>14</sup> Auch bezogen ausschließlich auf neue Anlagenteile liegt dieser Wert nur zwischen 0,3 % und 1 % der Herstellungskosten.

<sup>15</sup> Hauptansprechpartner in den Anlagen für die Studie waren: Herr Schwentner, Herr Enthofer (Böblingen-Sindelfingen), Herr Müller (Kressbronn-Langenargen), Herr Dr. Anders (Lahr), Herr Hein, Herr Dr. Schöning, Herr Cakir (Mannheim), Herr Schäfer, Herr Hiller (Steinhäule Neu-Ulm), Herr Buksch, Herr Schiermeister (Stockacher Aach).

## 7 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg: Kläranlagenkarte zur Spurenstoffelimination <https://koms-bw.de/klaeranlagen/uebersichtskarte/> (Zugriff 29.08.2019)
- [2] Metzger, S., Tjoeng, I., Rößler, A., Schwentner, G., Rölle, R. (2014): Kosten der Pulveraktivkohleanwendung zur Spurenstoffelimination am Beispiel ausgeführter und im Bau befindlicher Anlagen, in Korrespondenz Abwasser, Abfall 2014 (61), Nr. 11, S. 1029-1037
- [3] BG Ingenieure und Berater AG (2012), Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser, Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) in der Schweiz <https://www.micropoll.ch/dokumente/berichte/> (Zugriff 18.07.2019)
- [4] Gawel, E. Köck, W., Schindler, H., Holländer, R., Lautenschläger, S. (2015): Mikroverunreinigungen und Abwasserabgabe, TEXTE 26/2015, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, ISSN 1862-4804, Dessau-Roßlau, März 2015
- [5] VSA Projektgruppe Kennzahlen Mikroverunreinigungen (2018), Definition und Standardisierung von Kennzahlen für Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen in ARA -Empfehlung, veröffentlicht für VSA Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“, [https://www.micropoll.ch/fileadmin/user\\_upload/Redaktion/Dokumente/03\\_Vollzugshilfen/24072018\\_VSA\\_KennzahlenMV\\_Definitionenen\\_Final.pdf](https://www.micropoll.ch/fileadmin/user_upload/Redaktion/Dokumente/03_Vollzugshilfen/24072018_VSA_KennzahlenMV_Definitionenen_Final.pdf) (Zugriff 18.07.2019)
- [6] Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW: Excel-Vorlage für die Darstellung der Kosten- und Betriebsdaten, <https://www.masterplan-wasser.nrw.de/tatenbank/kostensteckbriefe/> (Zugriff 18.07.2019)