KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Est. 2012

Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg

KomS-Langzeitbetrachtung

Kosten der gezielten Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen

www.koms-bw.de

Kompetenzzentrum Spurenstoffe/KomS Baden-Württemberg

Das **KomS** ist eine **Kooperation** zwischen drei unabhängigen Partnern: Die **Universität Stuttgart** und die **Hochschule Biberach** bringen ihre wissenschaftliche Kompetenz und ihr technologisches Wissen in die Weiterentwicklung der Verfahrenstechnik sowie in die Dokumentation und Auswertung von Messergebnissen ein.

Der **DWA-Landesverband Baden-Württemberg** übernimmt das breite Spektrum der Kommunikation, Fachveranstaltungen und -exkursionen sowie Fortbildungen in den Nachbarschaften.

Das **KomS** wird gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.

WAS BIETET DAS KOMS?

Das **KomS** versteht sich als **Plattform zum Wissens- und Technologietransfer und zum Erfahrungsaustausch** rund um das Thema ›Spurenstoffe im Abwasser und Möglichkeiten zu deren Elimination‹. Es sieht sich selbst als Anlaufstelle und **Ansprechpartner auf allen Ebenen**: Mit den **Behörden** und der **Industrie** steht es ebenso im Kontakt wie mit **Ingenieurbüros** oder dem **Fachpersonal in den Klärbetrieben. Kommunen und Abwasserverbände** als Anlagenbetreiber **unterstützt das KomS mit folgenden Dienstleistungen**:

- **Beratung vor Ort**
- **verfahrenstechnische & wissenschaftliche Hilfestellung**
- **Schulung des Fach- und Betriebspersonals**
- **Unterstützung bei der Öffentlichkeitsarbeit**

Aus der Arbeit des KomS nicht wegzudenken ist die **Nachbarschaftsidee**, die auf Erfahrungsaustausch, Vernetzung und gemeinschaftliches Handeln abzielt.

Impressum

Herausgeber
Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
c/o Universität Stuttgart
Bandtäle 2 · 70569 Stuttgart
Mail: info@koms-bw.de
Tel.: +49 711 685-63721
www.koms-bw.de

Gedruckt auf Papier aus nachhaltiger Holzwirtschaft.
Stand 05/2025
© 2025 KomS, alle Rechte vorbehalten

FOTOGRAFIE
Seite 2: ESB Professional/shutterstock.com, Seite 4: Lotus_studio/shutterstock.com, Seite 5: Narin Nonthamand/shutterstock.com, Seite 9: Only background/shutterstock.com, Seite 10: People Image Studio/shutterstock.com, Seite 17: lovelyday12/shutterstock.com, alle anderen Motive: KomS BW

KOMS
KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW Est. 2012

Veranlassung

Im Januar 2025 ist die novellierte EU-Kommunalabwasserrichtlinie (KARL) in Kraft getreten. Bis Mitte 2027 soll diese von den Mitgliedsstaaten in nationales Recht umgesetzt werden. Hier ist für alle Kläranlagen ab 150.000 EW eine sog. ›Viertbehandlung‹ zur gezielten Elimination von anthropogenen Spurenstoffen vorgesehen. Bei Anlagen ab 10.000 EW ist ebenfalls eine Viertbehandlung vorgesehen, wenn diese in einem Gebiet liegen, in dem Mikroschadstoffe aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen ein Risiko für die Umwelt oder die menschliche Gesundheit darstellen. Hierzu zählen Einzugsgebiete von Trinkwasserentnahmen, Badegewässer und Gebiete mit Aquakulturtätigkeit. Bei vorliegenden Risiken durch Einleitungen sollen auch Seen, Flüsse mit einem Verdünnungsverhältnis unter 10, sowie Schutzgebiete diverser Kategorien berücksichtigt werden. Die Finanzierung soll zu einem Anteil über das System der erweiterten Herstellerverantwortung erfolgen. (Richtlinie (EU) 2024/3019)

Vor diesem Hintergrund ist in den nächsten Jahren mit einer erheblichen Dynamik im Hinblick auf die Weiterentwicklung von rechtlichen Grundlagen und bei der Planung und dem Bau von Anlagen zur gezielten Elimination von Spurenstoffen zu rechnen.

Für die Umsetzung der KARL sind detaillierte Angaben zu den Investitions- und Betriebskosten von bestehenden Kläranlagen mit einer Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination erforderlich. Die vorliegende Auswertung realer Kosten soll einen fundierten Beitrag für den politischen Diskurs auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene liefern.

Mit der Fortschreibung und Erweiterung der 2019 durchgeführten Betrachtung liegt nun eine umfangreiche betriebswirtschaftliche Einordnung und Bewertung der tatsächlichen Kosten der Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination vor.

18 kommunale Kläranlagen haben für diese Studie freiwillig Daten zur Verfügung gestellt und mit ihrem Engagement einen großen Teil zum Gelingen des Projekts beigetragen. Hierfür ein herzliches Dankeschön an alldiejenigen, die mit großem Einsatz für belastbare Daten gesorgt haben.

Die Überarbeitung, Darstellung und Interpretation der Daten erfolgte durch die confideon Unternehmensberatung GmbH und das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg.

Inhaltsübersicht

	Veranlassung	1
1.	Ziele	3
2.	Methoden	4
3.	Rahmenbedingungen	6
4.	Investitionskosten	8
5.	Betriebskosten	13
6.	Jahresgesamtkosten	18
7.	Fazit	20
8.	Literatur	21

KOMS KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW Est. 2012

1. Ziele

In der kommunalen Abwasserwirtschaft in Baden-Württemberg liegen seit nunmehr über zehn Jahren betriebliche Erfahrungen auf Kläranlagen mit einer Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination vor. Auf insgesamt 33 Kläranlagen befindet sich eine Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination in Betrieb, auf 28 weiteren ist diese in Bau oder Planung (Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2025). Vor diesem Hintergrund wurde die vorliegende Studie durchgeführt. Sie soll einen Überblick über die realen Ist-Kosten der gezielten Spurenstoffelimination auf Kläranlagen im regulären bzw. Dauerbetrieb geben. Dazu wurden Investitions- und Betriebskosten detailliert erhoben. Insgesamt 18 kommunale Kläranlagen haben an der Datenerhebung zu den Kosten der gezielten Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen teilgenommen. Von 17 der Anlagen konnten die Daten ausgewertet werden. Die Daten einer Kläranlage konnten wegen des noch nicht abgeschlossen Baus der zweiten Ausbaustufe zur gezielten Spurenstoffelimination nicht ausgewertet werden.

Die Auswertung und Interpretation der Daten erfolgte durch das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (KomS) und die confideon Unternehmensberatung GmbH. Abschließend wurde mit den vorliegenden Daten eine umfassende und belastbare Basis für die betriebswirtschaftliche Bewertung von Verfahren zur gezielten Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen erarbeitet.

Ziel des Vorhabens ist die Aktualisierung der KomS-Publikation ›KomS-Langzeitbetrachtung zu Kosten der Pulveraktivkohleanwendung‹ aus dem Jahr 2019. Dabei sollen auch andere Verfahren zur Spurenstoffelimination, also Ozonung, granulierte Aktivkohlefilter und Kombinationsverfahren neben Pulveraktivkohleanwendungen betrachtet und die große Vielfalt an Verfahren und Verfahrensausprägungen abgebildet werden. Die Auswertung der Langzeitkosten soll einen realistischen und umfassenden Überblick der Ist-Kosten und des Aufwands für den Bau und Betrieb einer Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination ermöglichen.

Die Daten sollen dazu dienen, Planern, Behörden, Betreibern und allen weiteren interessierten Gruppen valide Daten über die Ist-Kosten der gezielten Spurenstoffelimination zur Verfügung zu stellen. Diese Langzeitbetrachtung soll eine solide Diskussionsgrundlage und Entscheidungshilfe sein. Für die teilnehmenden Kläranlagen ergibt sich ein Erkenntnisgewinn und eine Einordnung der eigenen Kostenpunkte in den Vergleich mit anderen Kläranlagen.

Den Ergebnissen dieser Langzeitbetrachtung liegen reale Ist-Kosten zugrunde. Eine Ableitung von Bau- und Betriebskosten einer Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination in der Zukunft oder auf anderen Kläranlagen bleibt mit Unsicherheiten belastet. Das Ableiten von Regressionskurven aus den vorhandenen Daten wird nicht empfohlen.

2. Methoden

Die Erfassungsmethode wurde für die vorliegende Studie neu erarbeitet. Hierzu wurden Erfahrungen aus vorhergegangenen Kostenstudien des KomS (Kreienborg, J. et.al. 2019) und dem Benchmarking der confideon GmbH verwendet. In Teilen wurde die Kennzahlenbestimmung an die durch den Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) erarbeitete Empfehlung zur Definition und Standardisierung von Kennzahlen aus 2018 angelehnt (Hug, T. et. al. 2018). Die meisten Auswertungen der vorliegenden Studie können mit den Ergebnissen von Joller und Hug verglichen werden (Joller, N., Hug, T. Hunziker Betatech AG 2024).

Über ein Online-Tool wurden die Investitionen für die Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination und zusätzlich die Betriebskosten der Jahre 2019 – 2023 von den Kläranlagenbetreibern abgefragt. Für das Jahr 2023 erfolgte die Abfrage der Betriebskosten in höherem Detaillierungsgrad. Auf einigen der betrachteten Kläranlagen ging die Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination erst nach 2019 in Betrieb. Entsprechend sind für diese Anlagen weniger Betriebsjahre ausgewertet und dargestellt.

Für die Investitionen wurden die Gesamtinvestitionen zur gezielten Spurenstoffelimination abgefragt. Außerdem wurde die Aufteilung der Gesamtinvestitionen in Investitionen in Bau, Maschinentechnik und EMSR-Technik vorgenommen. Bei den Anlagen die granulierte Aktivkohle (GAK) einsetzen, wird die GAK-Erstbefüllung als Teil der Investitionen berücksichtigt. Sofern möglich, wurden die Investitionen auf die unterschiedlichen Anlagenteile aufgeteilt. Diese sind in Abbildung 1 dargestellt.

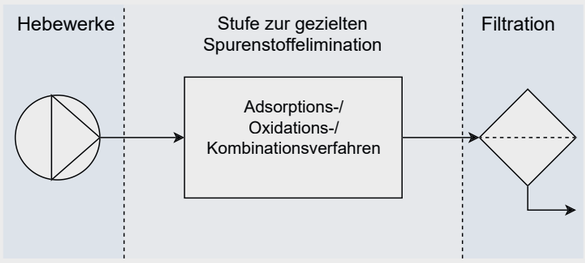

Abbildung 1: Betrachtete Anlagenteile der Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination.

Für viele der o. g. Verfahren sind Filter und/oder Hebewerke erforderlich und essenzielle Bestandteile der Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination. Sowohl Filter als auch Hebewerke sind dabei nicht auf allen betrachteten Kläranlagen neu errichtet worden bzw. vorhanden und sind daher nur teilweise in den Investitionskosten berücksichtigt. Eine Übersicht der betrachteten Anlagenteile zeigt Tabelle 1. Diese Anlagenteile werden berücksichtigt, da sie vollständig oder hauptsächlich der gezielten Spurenstoffelimination dienen.

TABELLE 1: ANLAGENTEILE DER UNTERSCHIEDLICHEN VERFAHREN ZUR SPURENSTOFFELIMINATION

Verfahren	Notwendige Anlagenteile	Optionale Anlagenteile
Pulveraktivkohledosierung in die biologische Stufe	PAK-Silo inkl. Dosiertechnik, Filter	Hebewerk
Pulveraktivkohledosierung vor den Filter	PAK-Silo inkl. Dosiertechnik, Fäll-/Flockungsmitteldosierung, Filter	Hebewerk
Pulveraktivkohledosierung in eine separate Adsorptionsstufe	PAK-Silo inkl. Dosiertechnik, Fäll-/Flockungsmitteldosierung, Kontaktbecken, Sedimentationsbecken, Filter	Hebewerk
Adsorption über granulierte Aktivkohle	GAK-Adsorber	Filter, Hebewerk
Oxidation durch Ozonung	Ozonung inkl. Kontaktreaktor, Ozoneintragssystem, Ozonerzeuger, Restozonvernichter usw., Filter (bzw. biologisch aktive Stufe zur Nachbehandlung)	Hebewerk
Kombinationsverfahren aus Ozonung und granulierter Aktivkohle	Ozonung inkl. Kontaktreaktor, Ozoneintragssystem, Ozonerzeuger, Restozonvernichter usw., GAK-Adsorber	Hebewerk

Für die Kapitalkosten wurde das Jahr 2023 als Bezugsjahr angesetzt. Zinsen und Abschreibungen wurden einheitlich normiert. Grundlage hierfür sind die Anschaffungs- und Herstellungskosten. Als Abschreibungsdauer wurden für Bauwerke 30 Jahre, für Maschinentechnik 20 Jahre und für EMSR-Technik 15 Jahre angesetzt. Für die GAK-Erstbefüllung, die Bestandteil der Investition ist, wurden 5 Jahre angesetzt. Hierfür wurde sich an den DWA-Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen orientiert (DWA 2012). Der kalkulatorische Zinssatz wurde mit 3,5 % angesetzt.

Betriebskosten, die Berücksichtigung finden, sind alle Betriebsmittel, die in der Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination verwendet werden. Dazu gehören Pulveraktivkohle, die Entsorgung des Mehrschlammanfalls durch die PAK, Fäll- und Flockungsmittel zur PAK-Abtrennung und Flüssigsauerstoff zur Ozonerzeugung. Weitere Bestandteile der Betriebskosten der Spurenstoffelimination sind die hierfür aufgewendete elektrische Energie, der Personalaufwand und Instandhaltungsaufwand (bestehend aus Materialkosten und Fremdleistungen). Die Energiekosten werden auf Basis des Energieeinsatzes mit einem normierten Strompreis berechnet. Hierfür wurde ein spezifischer Strompreis von 0,25 EUR/kWh zugrunde gelegt. Der Personalaufwand wurde anhand der eingesetzten Personalstunden ermittelt. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Kläranlagen zu verbessern, wurde ein einheitlicher Personalstundensatz von 30 EUR/h gewählt. Die Analytik der Spurenstoffelimination wird den Betriebskosten zugerechnet. Als normierter Wert werden hierfür sechs Probennahmen im Jahr à 200 EUR angenommen. Der Austausch von granulierter Aktivkohle wird ebenfalls als Betriebskosten angesetzt. Allerdings wird die Erstbefüllung der Adsorber mit granulierter Aktivkohle als Teil der Investitionen betrachtet. Die GAK wurde bisher erst bei einer der betrachteten Anlagen ausgetauscht und dann dort als Betriebsmittel berücksichtigt.

Nicht alle Kostenarten konnten für jede der Kläranlagen ermittelt werden. Daher können ggf. nicht alle 17 Kläranlagen in allen Auswertungen berücksichtigt werden. In einzelnen Fällen werden aus diesem Grund statistische Werte herangezogen, um eine weitgehende Auswertung zu ermöglichen. Für manche Darstellungen werden die Anlagen nach Datenverfügbarkeit geclustert.

3. Rahmenbedingungen

Die 17 ausgewerteten Kläranlagen unterscheiden sich in vielen Punkten. Diese unterschiedlichen Rahmenbedingungen haben verschieden starke Einflüsse auf die Ist-Kosten der Anlagen und prägen diese teils entscheidend. Die Rahmenbedingungen und Charakteristika der einzelnen Kläranlagen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Die Kläranlagen unterscheiden sich insbesondere durch das Verfahren, welches zur Spurenstoffelimination eingesetzt wird. 12 der Kläranlagen verwenden hierzu ein Adsorptionsverfahren mit Pulveraktivkohle (PAK). Einmal wird die Verfahrensvariante PAK-Dosierung vor einen Filter, einmal PAK-Dosierung simultan in die biologische Stufe und zehnmal PAK-Dosierung in eine nachgeschaltete Adsorptionsstufe angewendet. Zwei Anlagen verwenden granulierte Aktivkohle (GAK) und betreiben dazu Druckkessel, die mit GAK gefüllt sind bzw. kontinuierlich gespülte GAK-Adsorber. Zwei weitere Kläranlagen betreiben eine Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter. Auf einer Kläranlage findet die Verfahrenskombination Ozonung mit nachgeschaltetem GAK-Adsorber Anwendung. Das benötigte Ozon wird jeweils aus Flüssigsauerstoff gewonnen. Die Verfahrensart kann sowohl die Investitionen als auch die Betriebskosten beeinflussen.

Ein weiterer Unterschied zwischen den Kläranlagen ist die Ausbaugröße, die zwischen 13.800 EW und 725.000 EW liegt. Sie zeigt sich auch in Unterschieden der behandelten Abwassermenge. Ein weiterer Unterschied zwischen den betrachteten Anlagen ist die Dimensionierung der Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination. Nicht alle Kläranlagen können den gesamten Zulauf zur Kläranlage in der Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination behandeln. Daher wird zwischen Voll- und Teilstromanlagen unterschieden. Die Dimensionierungsgröße der Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination ist ebenfalls zu nennen. Diese als $Q_{Spur,max}$ bezeichnete Größe beschreibt den maximal über die Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination behandelbaren Abfluss. Die Ausbaugröße sowie die Frage nach Voll- oder Teilstrom und $Q_{Spur,max}$ wirken sich insbesondere auf die Investitionen aus.

Abwasserzusammensetzung und Belastung bzw. Schmutzfracht können ebenfalls als Rahmenbedingung angesehen werden. Aus der CSB-Fracht, der tatsächlichen Belastung, wird ein Einwohnerwert berechnet (120 g CSB/EW*d). Dieser Wert EW (CSBmittel) stellt eine weitere Bezugsgröße für die Kennzahlberechnung dar.

In Baden-Württemberg wird für Kläranlagen mit einer Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination eine Elimination von mindestens 80 % bei Trockenwetter gefordert (näheres in den KomS-Handlungsempfehlungen für die Vergleichskontrolle und den Betrieb von Verfahrenstechniken zur gezielten Spurenstoffelimination 2018). Vor diesem Hintergrund wird davon ausgegangen, dass die erreichte Spurenstoffelimination für alle Kläranlagen 80 % oder mehr entspricht und damit die Betriebskosten der Anlagen nicht unterschiedlich stark beeinflusst. Daher wird auf eine Ausweisung der mittleren Spurenstoffelimination der gezeigten Anlagen verzichtet.

Finanzielle Förderungen durch das Land Baden-Württemberg oder andere Fördermittelgeber sind für jede Kläranlage individuell. Ebenso, ob durch die gezielte Spurenstoffelimination auch andere Abwasserparameter entsprechend beeinflusst werden und sich somit Einsparungen bei der Abwasserabgabe ergeben. Vor diesem Hintergrund werden diese ›Einsparungen‹ nicht berücksichtigt und alle tatsächlichen Investitionen ohne Verrechnung mit Förderungen usw. angegeben.

TABELLE 2: RAHMENBEDINGUNGEN DER UNTERSUCHTEN KLÄRANLAGEN (BEZUGSJAHR 2023)

Kürzel Kläranlage	Verfahren	Jahr der Inbetriebnahme	Ausbaugröße [EW]	$Q_{Spur,max}$ [l/s]	Vollstrom/Teilstrom	Behandelte Abwassermenge Kläranlage [m³/a]	Behandelte Abwassermenge Spurenstofstufe [m³/a]	Einwohnerwert als CSB120 (MW) [EW]	PAK-Silo	Kontaktbecken	Sedimentationsbecken	Fäll-/Flockungsmitteldosierung	GAK-Adsorber	Ozonung	Filter	Hebewerk
K01	PAK[1]	2011	24.000	262	VS	2.243.913	2.243.913	16.500	N	N	N	N	–	–	V	V
K02	PAK[1]	2017	49.500	250	TS	6.583.480	5.800.000	44.500	N	N	N	N	–	–	V	V
K03	PAK[1]	1999	57200	300	VS	3.863.053	3.863.053	41.300	k.A.							
K04	PAK[1]	2011	69000	250	TS	5.159.482	3.887.516	47.700	N	N	N	N	–	–	N/R	U
K05	PAK[2]	2020	87000	600	VS	5.297.650	5.297.650	65.200	N	–	–	–	–	–	N	–
K06	PAK[1]	2015	100000	650	TS	5.842.000	5.087.328	67.900	N	N	N	N	–	–	N	N
K07	PAK[3]	2023	100000	500	TS	8.204.413	6.003.010	95.000	N	–	–	N	–	–	N	N
K08	PAK[1]	2018	175000	700	TS	13.409.678	11.916.890	103.500	N	N	N	N	–	–	N	N
K09	PAK[1]	2013	184000	1100	VS	16.227.354	16.227.354	170.100	N	N	N	N	–	–	V	–
K10	PAK[1]	2021	250.000	800	TS	16.937.480	13.883.374	170.500	N	N	N	N	–	–	N	N
K11	PAK[1]	2011	250000	1.000	TS	13.840.969	11.935.856	159.900	N/R	N	N/R	N/U	–	–	U	U
K12	PAK[1]	2016	725.000	2.000	TS	29.692.370	27.364.700	570.100	N	U	U	N	–	–	U	–
K13	PAK[2]	2022	1.200.000	7.500	VS	42.195.951	42.195.951	533.400	N	–	–	–	–	–	V	V
K14	GAK	2020	13800	60	TS	850.535	623.127	15.600	–	–	–	–	N	–	U	U/R
K15	GAK	2023	40000	350	VS	3.859.692	2.793.691	31.700	–	–	–	–	N/U	–	–	–
K16	Ozon+GAK	2023	70000	230	TS	6.000.000	5.200.000	54.900	–	–	–	–	N	N		N
K17	Ozon	2021	87500	910	VS	9.774.654	8.949.541	67.600	–	–	–	–	–	N	V	V
K18	Ozon	2021	137500	700	TS	13.154.278	11.783.980	105.100	–	–	–	–	–	N	N	N

[1] Pulveraktivkohledosierung in separate Adsorptionsstufe
[2] Pulveraktivkohledosierung in biologische Stufe
[3] Pulveraktivkohledosierung vor einen Filter

N = Neubau
U = Umbau
R = Reinvestition
V = bereits vorhanden

Die Kläranlage K13 kann aufgrund fehlender Daten wegen derzeit erfolgender Erweiterung nicht weiter ausgewertet werden und wird daher im Folgenden nicht dargestellt.

Bei der textlichen Erläuterung der Kosten wird auf die Nennung von Mittelwerten verzichtet. Es werden in der Regel die Spannbreiten zwischen dem 25. Perzentil und dem 75. Perzentil angegeben, also der mittlere Bereich, in dem die zentrale Hälfte der Daten liegen. Der Bereich wird als Interquartilsbereich oder Interquartilsabstand (kurz IQR) bezeichnet.

4. Investitionskosten

Die für die Spurenstoffelimination notwendigen Neuinvestitionen unterschieden sich je nach Kläranlage aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen (Kapitel 3). Die absoluten Investitionen für Maßnahmen zur Spurenstoffelimination lagen bei Anschaffungs- und Herstellungskosten zwischen 1,7 Mio. EUR und 18,8 Mio. EUR (Abbildung 2), der zentrale Bereich, in dem 50 % der Daten liegen (Interquartilsabstand, IQR), liegt zwischen 3,6 Mio. EUR und 9,6 Mio. EUR.

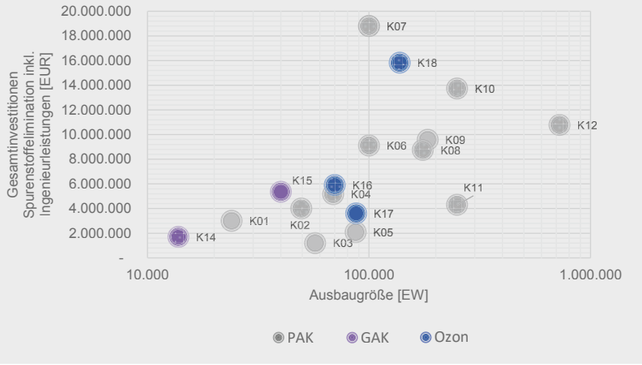

Abbildung 2: Gesamtinvestitionen Spurenstoffelimination [EUR] und Ausbaugröße [EW]. Teilstromanlagen sind gepunktet, Vollstromanlagen gefüllt dargestellt.

Bei Ansatz eines Wiederbeschaffungszeitwerts (WBZW) ergibt sich eine gesamte Spannweite zwischen 2,0 Mio. EUR und 19,6 Mio. EUR (Abbildung 3), der IQR liegt zwischen 5,1 Mio. EUR und 15,7 Mio. EUR. Basis der Ermittlung der jeweiligen Wiederbeschaffungszeitwerte für 2023 sind das Jahr der Inbetriebnahme und der Baupreisindex (Statistisches Landesamt BW 2025).

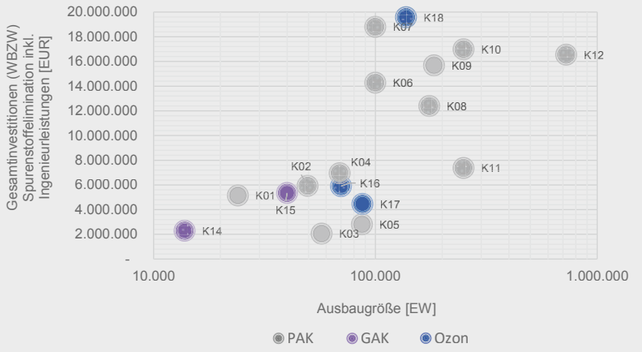

Abbildung 3: Gesamtinvestitionen WBZW Spurenstoffelimination [EUR] und Ausbaugröße [EW]. Teilstromanlagen sind gepunktet, Vollstromanlagen gefüllt dargestellt.

Für die Kläranlage K03 konnten aufgrund des weit zurückliegenden Jahrs der Inbetriebnahme der Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination keine Gesamtinvestitionen angegeben werden. Dargestellt sind hier lediglich die Kosten einer umfassenden Sanierung der Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination im Jahr 2021. Bei der Bewertung der Investitionen ist zu berücksichtigen, dass vielfach bestehende Bauwerke und Infrastruktur für die Spurenstoffelimination genutzt bzw. umgenutzt werden können. Dies bedeutet im Gegensatz zum kompletten Neubau deutliche Einsparungen. Insbesondere das Schon-Vorhandensein von Filtern, die ursprünglich als Flockungsfilter errichtet wurden, hat Auswirkungen auf die Neuinvestitionen. Die folgenden Schemata zeigen beispielhaft, wie sich der Investitionsumfang zwischen den Kläranlagen unterscheiden kann. Diese Unterschiede sind bedeutsame Rahmenbedingungen für die Höhe der notwendigen Investitionen.

In Abbildung 4 ist der Fall dargestellt, dass eine Kläranlage bereits mit einem Filter ausgestattet ist und für dessen Betrieb ein Hebewerk notwendig war. Hier wurde nun eine separate Adsorptionsstufe zur Spurenstoffelimination mittels PAK neu errichtet. Dies ist beispielsweise für die Kläranlage K01 und K02 der Fall. Im Gegensatz dazu zeigt Abbildung 5 die Situation, dass ein Filter vorhanden war, der allerdings umgebaut werden musste. Bestehendes Beckenvolumen konnte in eine separate Adsorptionsstufe umgebaut werden und lediglich das PAK-Silo und die Dosiereinrichtung für Fäll- und Flockungsmittel musste neu errichtet werden. Ein zusätzliches Hebewerk ist in diesem Fall nicht notwendig. Dieses Beispiel gilt für K12.

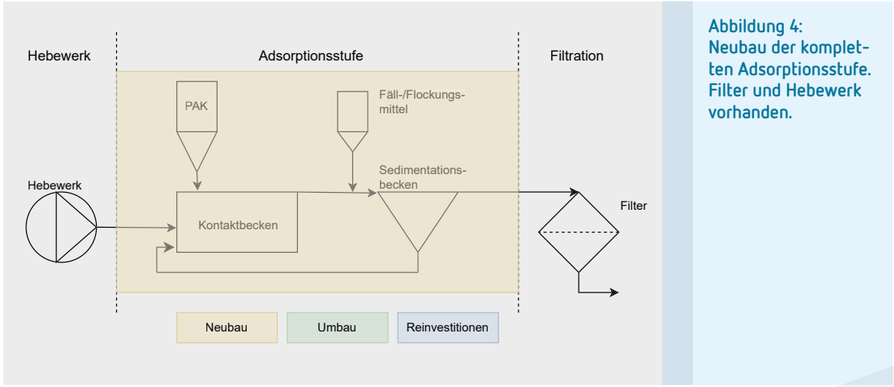

Abbildung 4: Neubau der kompletten Adsorptionsstufe. Filter und Hebewerk vorhanden.

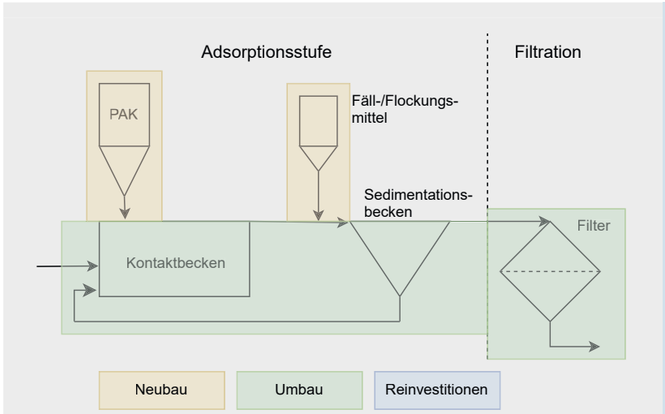

Abbildung 5: Neubau des PAK-Silos und der Fäll- und Flockungsmitteldosierung. Umbau von bestehenden Becken zur Adsorptionsstufe. Umbau des Filters. Kein Hebewerk vorhanden.

Die Anlagen K11, K12 und K17 profitierten von bereits vorhandenen Anlagenteilen (z. B. Filter, Hebewerk, Becken), was sich positiv auf die Investitionskosten auswirkt. Ähnlich verhält es sich bei K05, wo aufgrund der Verfahrenswahl (PAK-Dosierung in die biologische Stufe, mit nachgeschalteter Tuchfiltration) vergleichsweise wenig Anlagentechnik erforderlich ist.

Weitere Aspekte, die Einfluss auf die Höhe der Investitionen haben, sind u. a.:

- aufwändige Gründungsarbeiten oder Abbruchmaßnahmen – etwa bei beengten oder komplexen Standortverhältnissen, die zu deutlich höheren Investitionskosten führen.
- Integration der Anlagen und Bauwerke der Spurenstoffelimination in Neubauten mit multifunktionalem Charakter (bspw. Multifunktionsgebäude, Fällmittelstationen für den gesamten Reinigungsprozess)

Unter Berücksichtigung dieser standortspezifischen Rahmenbedingungen zeigen die Daten, dass die Investitionen mit der Ausbaugröße der Kläranlage tendenziell eher zunehmen, ohne dass sich ein Verfahren als grundsätzlich teurer oder günstiger gegenüber anderen herauskristallisiert. Auch zwischen Vollstrom- und Teilstrombehandlungen lassen sich keine systematischen Unterschiede erkennen.

Werden die spezifischen Investitionen für die Spurenstoffelimination betrachtet, lagen diese zwischen 15 EUR/EW (Ausbau) und 190 EUR/EW (Ausbau). Ein klarer Skaleneffekt ist dabei ebenfalls nicht durchgängig erkennbar. Jedoch scheinen bei den PAK-Anlagen kleinere Anlagen tendenziell höhere spezifische Kosten aufzuweisen und größere Anlagen eher niedrigere.

Der zentrale Bereich der spezifischen Investitionskosten bezogen auf die Auslegungswassermenge ($Q_{Spur,max}$) liegt zwischen ca. 5.400 EUR/l/s und 22.600 EUR/l/s bzw. zwischen 7.400 EUR/l/s und 27.900 EUR/l/s bei Ansatz der Wiederbeschaffungszeitwerte. Klare Skaleneffekte sind hier nicht erkennbar. Aufgrund der größeren Volumenströme weisen Vollstromanlagen hier tendenziell niedrigere Werte aus.

Für die Ermittlung bzw. die Höhe der Kapitalkosten ist die mittlere Verteilung der Investitionen auf die Gewerke relevant (die Erstbefüllung der GAK wird bei dieser Betrachtung außen vorgelassen). Diese ist für die untersuchten Kläranlagen in Abbildung 6 dargestellt. Im gewichteten Mittel verteilen sich die Investitionen wie folgt:

- 54 % in Bau
- 27 % in Maschinentechnik
- 19 % in EMSR (Elektro-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik)

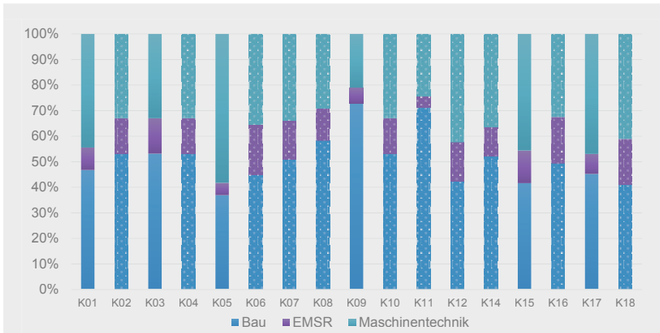

Abbildung 6: Prozentuale Verteilung der Investitionskosten auf Bau, Maschinentechnik und EMSR. Teilstromanlagen sind gepunktet, Vollstromanlagen gefüllt dargestellt.

Der mittlere Bereich der kalkulatorischen Kapitalkosten (bei Ansatz des WBZW) pro Kubikmeter Jahresabwassermenge liegt zwischen 3 ct/m³ und 12 ct/m³ und bezogen auf Einwohnerwerte bei 3.200 EUR/1.000 EW (Ausbau) und 8.400 EUR/1.000 EW (Ausbau). Tendenziell weisen größere Anlagen damit geringere spezifische Kapitalkosten als kleinere Anlagen auf. Eine Reduzierung der Kapitalkosten entsteht auch durch die Komplexität der Anlagentechnik (z. B. einfache Anlagentechnik bei K05) und vorhandene Anlagenteile (wie bei K11, K12, K17). Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Investitionskosten und daraus berechnete Kennzahlen.

TABELLE 3: ÜBERSICHT ÜBER DIE INVESTITIONSKOSTEN

Kürzel Kläranlage	Verfahren	Ausbaugröße [EW]	Gesamtinvestitionen Spurenstoff-elimination inkl. Ingenieurleistungen [EUR]	Gesamtinvestitionen (WBZW) Spurenstoffelimination inkl. Ingenieurleistungen [EUR]	Gesamtinvestition Spurenstoff-elimination je Auslegungswasser-menge ($Q_{Spurenst.}$) [EUR/(l/s)]	Gesamtinvestition Spurenstoff-elimination (WBZW) je Auslegungs-wassermenge ($Q_{Spurenst.}$) [EUR/(l/s)]	Gesamtinvestitionen Spurenstoff-elimination je EW Ausbau [EUR/EW]	Gesamtinvestitionen (WBZW) Spurenstoffelimination je EW Ausbau [EUR/EW]	kalk. Kapitalkosten (WBZW) je 1.000 EW (CSBmittel) [EUR/1.000 EW]	kalk. Kapitalkosten (WBZW) je m³ Jahresabwassermenge [ct/m³]
K01	PAK[1]	24.000	3.000.000	5.139.000	363	621	125	214	18.966	14
K02	PAK[1]	49.500	4.000.000	5.924.000	507	750	81	120	8.110	5
K03	PAK[1]	57.200	1.200.000	2.055.600	127	217	21	36	3.030	3
K04	PAK[1]	69.000	5.164.300	6.951.200	655	884	75	101	8.907	8
K05	PAK[2]	87.000	2.088.800	2.811.500	110	149	24	32	2.688	3
K06	PAK[1]	100.000	9.100.000	14.268.800	824	1.294	91	143	13.315	15
K07	PAK[3]	100.000	18.802.800	18.802.800	1.192	1.192	188	188	12.181	14
K08	PAK[1]	175.000	8.746.200	12.393.300	396	562	50	71	7.192	6
K09	PAK[1]	184.000	9.573.200	15.680.900	276	453	52	85	5.209	5
K10	PAK[1]	250.000	13.731.400	16.985.800	544	675	55	68	6.086	6
K11	PAK[1]	250.000	4.300.000	7.365.900	136	233	17	29	2.592	3
K12	PAK[1]	725000	10.777.700	16.543.800	171	263	15	23	1.768	3
K14	GAK	13.800	1.700.000	2.288.200	898	1.212	123	166	9.366	17
K15	GAK	40.000	5.349.600	5.349.600	485	485	134	134	14.047	12
K16	Ozon+GAK	70.000	5.900.000	5.900.000	813	813	84	84	7.876	7
K17	Ozon	87.500	3.600.000	4.453.200	125	155	41	51	4.045	3
K18	Ozon	137.500	15.825.500	19.576.200	717	898	115	142	11.878	9

[1] Pulveraktivkohledosierung in separate Adsorptionsstufe
[2] Pulveraktivkohledosierung in biologische Stufe
[3] Pulveraktivkohledosierung vor einen Filter

KOMS KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW Est. 2012

5. Betriebskosten

Die Höhe und Verteilung der Betriebskosten ist für die Bewertung der Gesamtkosten der Spurenstoffelimination ebenfalls relevant. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich auf Grund der Integration in die Gesamtanlage nicht alle Kostenpositionen genau abgrenzen lassen. Bei der Verteilung der Betriebskosten gibt es außerdem anlagenspezifische Unterschiede, die sich aus der Struktur der Anlagen (z. B. erhöhter Energiebedarf auf Grund eines zusätzlichen Hebewerks, geringerer Personaleinsatz durch einfache Anlagentechnik etc.) ergeben.

Die Betriebskosten lagen 2023 zwischen rund 830 EUR/1.000 EW (CSBmittel) und 8.300 EUR/1.000 EW (CSBmittel) (Abbildung 7). Im IQR Bereich bewegen sich die Kosten zwischen rund 3.800 EUR/1.000 EW (CSBmittel) und 4.500 EUR/1.000 EW (CSBmittel). Die Anlage mit Kombinationsverfahren hat keine ungewöhnlich hohen Betriebskosten. Im Gegensatz zu den Investitionen zeigen sich keine klaren Abhängigkeiten von der Größe der Kläranlagen.

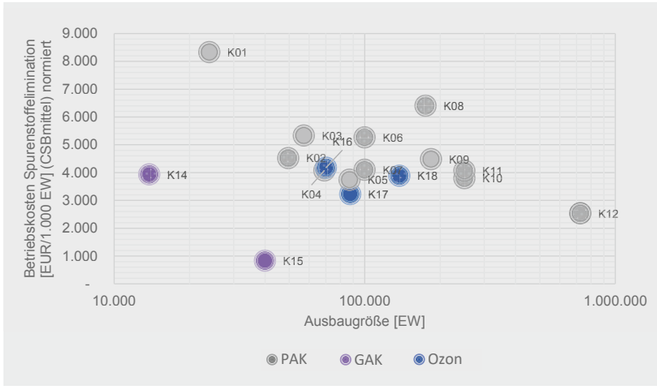

Abbildung 7: Betriebskosten Spurenstoffelimination [EUR/1.000 EW] und Ausbaugröße [EW]. Teilstromanlagen sind gepunktet, Vollstromanlagen gefüllt dargestellt.

Die prozentuale Aufteilung der mittleren spezifischen Betriebskosten ist in Abbildung 8 veranschaulicht. Dieselbe Darstellung für jede der untersuchten Kläranlagen findet sich in Abbildung 9.

Die Kosten für die **Betriebsmittel** der Spurenstoffelimination (PAK, GAK, Flockungsmittel, Fällmittel und Sauerstoff) haben im gewichteten Mittel einen Anteil von 47 % an den spezifischen Betriebskosten über alle Verfahren und sind damit bestimmend für die Höhe der Betriebskosten (Abbildung 8). Der jährliche PAK-Verbrauch liegt im IQR zwischen rund 510 kg/1.000 EW (CSBmittel) und 770 kg/1.000 EW (CSBmittel). Die PAK-Dosierung in die biologische Stufe (K05) weist einen höheren PAK-Verbrauch auf, während eine PAK-Zugabe vor Filter keinen signifikant höheren PAK-Verbrauch als die PAK-Dosierung in die separate Adsorptionsstufe hat. Es ist darauf hinzuweisen, dass bei den PAK-Anlagen gegebenenfalls Fällmittel für die Simultanfällung eingespart werden kann. Der PAK-Verbrauch scheint nicht größenabhängig zu sein. Nach Aussagen der teilnehmenden Kläranlage mit mehrjährigem Einsatz der GAK beträgt die Standzeit der GAK rund 21 Monate, hieraus ergibt sich ein Aktivkohleverbrauch von rund 250 kg/1.000 EW (CSBmittel) und Jahr. Der Ozonverbrauch liegt bei rund 260 kg/1.000 EW (CSBmittel) und Jahr bzw. 330 kg/1.000 EW (CSBmittel) und Jahr. Nasse Jahre (wie 2023) bedeuten einen eher hohen Betriebsmittelverbrauch.

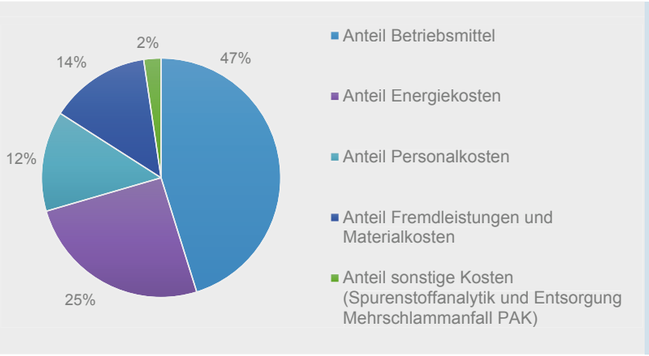

Abbildung 8: Prozentuale Verteilung der mittleren spezifischen Betriebskosten

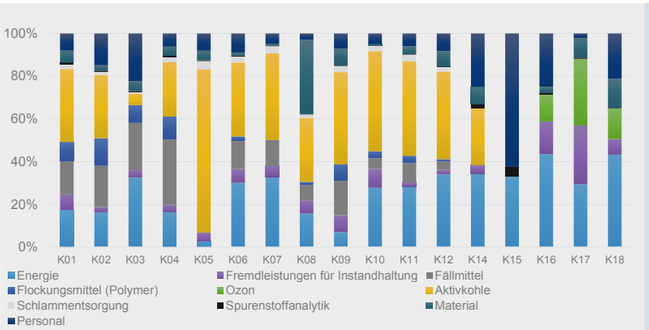

Abbildung 9: Prozentuale Verteilung Betriebskosten Spurenstoffelimination nach Kostenarten [%]

Die **Energiekosten** machen im gewichteten Mittel einen Anteil von 25 % aus. Der spezifische Energieverbrauch liegt im zentralen Bereich zwischen 3 kWh/EW und 6 kWh/EW und die Energiekosten zwischen 740 EUR/1.000 EW (CSBmittel) und 1.460 EUR/1.000 EW (CSBmittel). Der Anteil am Gesamtenergieverbrauch der Kläranlagen liegt im mittleren Bereich zwischen 8 % und 18 % und ist auch vom Energieeinsatz der gesamten Kläranlage abhängig (Abbildung 10). Hier ist zu berücksichtigen, dass nicht auf jeder Kläranlage entsprechende Verbrauchszähler vorhanden sind, sodass bei der Ermittlung des elektrischen Energiebedarfs teilweise qualifizierte Schätzungen von Seiten der Betreiber erfolgten, bzw. statistische Werte zugrunde gelegt werden mussten.

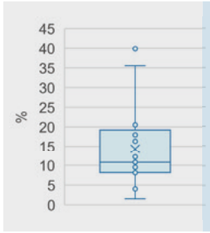

Abbildung 10: Prozentualer Anteil des Energieverbrauchs elektrischer Energie für Spurenstoffelimination an elektrischer Energie für die gesamte Kläranlage.

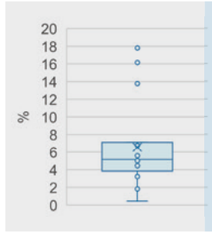

Abbildung 11: Prozentualer Anteil des Personaleinsatzes für Spurenstoffelimination am Personaleinsatz für gesamte Kläranlage.

Der Anteil der **Personalkosten** liegt im gewichteten Mittel bei 12 % der spezifischen Betriebskosten. Die Ermittlung erfolgte über die eingesetzten Personalstunden auf Grund von dokumentierten Stunden bzw. auf Basis qualifizierter Schätzungen. Bezogen auf den gesamten Personaleinsatz ergeben sich mittlere Werte von 4 % bis 7 % für die Spurenstoffelimination (Abbildung 11).

Ein weiterer Posten der Betriebskosten sind die Aufwendungen für Wartungsverträge und **Fremdleistungen**, die für die Instandhaltung und Wartung der entsprechenden Anlagen(teile) anfallen. Diese betragen im gewichteten Mittel 14 % der Betriebskosten. Die **Materialkosten**, die für selbst durchgeführte Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben anfielen, machen dabei einen Anteil von 6 % aus. Diese Kosten sind für einzelne Kläranlagen in Jahren, in denen umfangreiche Wartungen und größere Instandsetzungen durchgeführt wurden (bspw. Filterwartungen, Tausch von Pumpen), entsprechend erhöht. Der Kostenanteil für die **Schlammentsorgung** auf Grund des Mehranfalls von Schlamm durch die Dosierung von Pulveraktivkohle liegt im gewichteten Mittel bei 1 %. Das gewichtete Mittel der Kosten für die **Spurenstoffanalytik** liegt bei 1 %.

TABELLE 4: ÜBERSICHT ÜBER DIE BETRIEBSKOSTEN (JAHR 2023)

Kürzel Kläranlage	Verfahren	Ausbaugröße [EW]	$Q_{Bemessung}$ [l/s]	Vollstrom/Teilstrom	Behandelte Abwassermenge Kläranlage [m³/a]	Behandelte Abwassermenge Spurenstofstufe [m³/a]	Einwohnerwert als CSB120 (MW) [EW (CSBmittel)]	Betriebskosten Spurenstoff-elimination je 1.000 EW (CSBmittel) normiert [EUR/1.000 EW]	Betriebskosten Spurenstoff-elimination je m³ Jahres-abwassermenge [ct/m³]	Energiekosten Spurenstoffelimi-nation je 1.000 EW (CSBmittel) normiert [EUR/1.000 EW]	Personalkosten Spurenstoffelimi-nation je 1.000 EW (CSBmittel) normiert [EUR/1.000 EW]	Fremdleistungen für Instandhaltung Spurenstoffelimination je 1.000 EW (CSBmittel) [EUR/1.000 EW]	Materialkosten Spurenstoff-elimination je 1.000 EW (CSBmittel) [EUR/1.000 EW]	Kosten für Schlammentsorgung je 1.000 EW (CSBmittel) [EUR/1.000 EW]	Kosten für Fällmittel in der Spuren-stoffelimination je 1.000 EW (CSBmittel) [EUR/1.000 EW]	Kosten für Flockungsmittel (Polymer) in der Spurenstoffelimination je 1.000 EW (CSBmittel) [EUR/1.000 EW]	Kosten für Aktivkohle je 1.000 EW (CSBmittel) [EUR/1.000 EW]	Kosten für Ozon je 1.000 EW [EUR/1.000 EW]	Kosten für Ozon je 1.000 EW (CSBmittel) [EUR/1.000 EW]	Kosten Spurenstoffanalytik je 1.000 EW (CSBmittel) normiert [EUR/1.000 EW]	Energieverbrauch Spurenstoffelimination je EW (CSBmittel) [kWh/EW]	Aktivkohle-Einsatz in kg je 1.000 EW (CSBmittel) [kg/1.000 EW]	Ozonverbrauch in kg je 1.000 EW (CSBmittel) [kg/1.000 EW]	Fällmittelverbrauch in kg je 1.000 EW (CSBmittel) [kg/1.000 EW]	Flockungsmittelverbrauch in kg je 1.000 EW (CSBmittel) [kg/1.000 EW]
K01	PAK[1]	24.000	262	VS	2.243.913	2.243.913	16.500	8.333	6	1.456	671	604	471	170	1.310	728	2.850	–	73	5,8	840	–	4.204	199
K02	PAK[1]	49.500	250	TS	6.583.480	5.800.000	44.500	4.522	3	738	674	112	112	65	871	584	1.338	–	27	3	577	–	2.810	189
K03	PAK[1]	57.200	300	VS	3.863.053	3.863.053	41.300	5.334	6	1.737	1.196	206	242	33	1.159	443	289	–	29	7	145	–	3.320	33
K04	PAK[1]	69.000	250	TS	5.159.482	3.887.516	47.700	4.074	4	668	248	141	174	95	1.247	435	1.042	–	25	2,7	402	–	1.272	5
K05	PAK[2]	87.000	600	VS	5.297.650	5.297.650	65.200	3.744	5	101	303	157	169	150	–	–	2.853	–	12	0,4	1.052	–	–	–
K06	PAK[1]	100.000	650	TS	5.842.000	5.087.328	67.900	5.262	6	1.586	468	337	74	144	693	112	1.820	–	28	6,3	752	–	1.749	22
K07	PAK[3]	100.000	500	TS	8.204.413	6.003.010	95.000	4.100	5	1.352	205	216	26	138	490	–	1.660	–	13	5,4	637	–	1.302	–
K08	PAK[1]	175.000	700	TS	13.409.678	11.916.890	103.500	6.403	5	1.009	195	398	2.220	101	462	88	1.918	–	12	4	570	–	1.295	29
K09	PAK[1]	184.000	1.100	VS	16.227.354	16.227.354	170.100	4.483	5	318	323	355	355	127	732	332	1.935	–	7	1,3	723	–	2.338	26
K10	PAK[1]	250.000	800	TS	16.937.480	13.883.374	170.500	3.801	4	1.057	191	335	29	88	190	124	1.780	–	7	4,2	522	–	531	31
K11	PAK[1]	250.000	1.000	TS	13.840.969	11.935.856	159.900	4.064	5	1.157	246	78	149	130	365	140	1.791	–	8	4,6	807	–	1.680	23
K12	PAK[1]	725.000	2.000	TS	29.692.370	27.364.700	570.100	2.535	5	864	210	55	183	57	98	27	1.039	–	2	3,5	460	–	348	5
K14	GAK	13.800	60	TS	850.535	623.127	15.600	3.933	7	1.357	982	154	321	–	–	–	1.042	–	77	5,4	256	–	–	–
K15	GAK	40.000	350	VS	3.859.692	2.793.691	31.700	834	1	276	520	–	–	–	–	–	–	–	38	1,1	–	–	–	–
K16	Ozon+GAK	70.000	230	TS	6.000.000	5.200.000	54.900	4.172	4	1.820	1.038	637	127	–	–	–	–	528	22	7,3	–	–	–	–
K17	Ozon	87.500	910	VS	9.774.654	8.949.541	67.600	3.228	2	952	69	887	296	–	–	–	–	1.007	18	3,8	–	332	–	–
K18	Ozon	137.500	700	TS	13.154.278	11.783.980	105.100	3.882	3	1.681	825	285	528	–	–	–	–	552	11	6,7	–	264	–	–

[1] Pulveraktivkohledosierung in separate Adsorptionsstufe
[2] Pulveraktivkohledosierung in biologische Stufe
[3] Pulveraktivkohledosierung vor einen Filter

In der Langzeitbetrachtung für die Betriebskosten (Abbildung 12) zeigen sich tendenziell steigende Kosten, die jedoch auf erwartbare Preissteigerungen zurückzuführen sind. Die Fällmittelkrise (2022) und hohe Preise für PAK lassen sich jedoch tendenziell erkennen. Nasse Jahre bedeuten eher einen hohen Verbrauch an Betriebsmitteln.

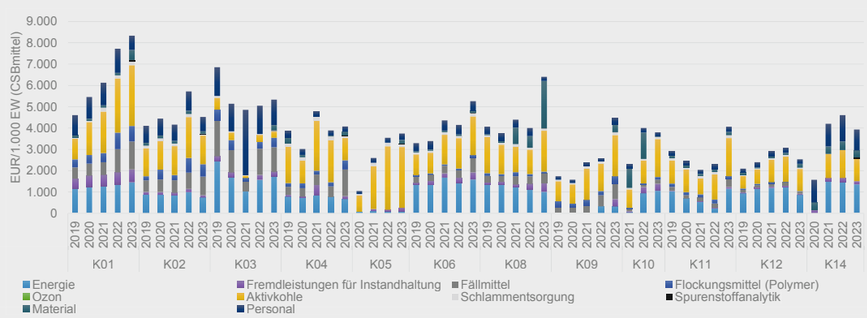

Abbildung 12:
Zeitliche Entwicklung der Betriebskosten für die Spurenstoffelimination im Mehrjahresvergleich [EUR/1.000 EW (CSBmittel)]. Es sind nur Kläranlagen dargestellt, die mindestens Daten von drei aufeinanderfolgenden Betriebsjahren zur Verfügung stellen konnten. Für K09 konnte in den Jahren 2019 – 2021 der Energiebedarf nicht ausgewiesen werden. Für K10 konnte im Jahr 2021 der Energiebedarf nicht ausgewiesen werden. Für K14 konnte 2020 der Energieverbrauch nicht ausgewiesen werden. Die GAK wird 2020 noch nicht als Betriebsmittel berücksichtigt (Investition).

6. Jahresgesamtkosten

Die Jahreskosten für die Spurenstoffelimination berechnen sich aus den jährlichen Betriebskosten und dem entsprechenden Anteil der Investitionskosten bzw. kalkulatorischen Kapitalkosten. Mit Berücksichtigung der Wiederbeschaffungszeitwerte liegen die Jahresgesamtkosten zwischen 5 ct/m³ und 24 ct/m³ Jahresabwassermenge, der mittlere Wertebereich (IQR) liegt zwischen 9 ct/m³ und 13 ct/m³ Jahresabwassermenge. Dabei weisen größere Kläranlagen tendenziell geringere spezifische Jahreskosten als kleinere Kläranlagen auf. Für die Betrachtung pro 1.000 EW (CSBmittel) (Abbildung 13) ergibt sich, dass die Jahresgesamtkosten zwischen 3.700 EUR/1.000 EW (CSBmittel) und 19.500 EUR/1.000 EW (CSBmittel) liegen. Der mittlere Bereich der Werte (IQR) liegt zwischen 7.100 EUR/1.000 EW (CSBmittel) und 13.500 EUR/1.000 EW (CSBmittel). Diese Kostenspanne spiegelt sich auch bei anderen Bezugsgrößen wie Kosten je 1.000 m³ wider – die Ergebnisse sind damit über die verschiedenen Betrachtungsebenen konsistent.

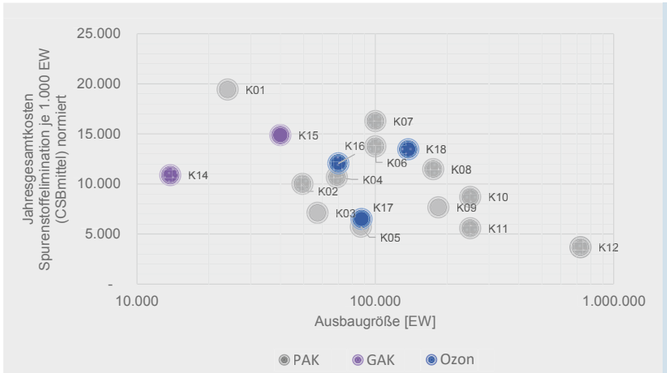

Abbildung 13: Jahresgesamtkosten Spurenstoffelimination [EUR/1.000 EW (CSBmittel)] unter Berücksichtigung der Wiederbeschaffungszeitwerte. Teilstromanlagen sind gepunktet, Vollstromanlagen gefüllt dargestellt.

Der mittlere Bereich der Jahreskosten der PAK Dosierung liegt zwischen 9 ct/m³ und 14 ct/m³ Jahresabwassermenge. Die GAK-Anlagen (inkl. Kombination) liegen zwischen 11 ct/m³ und 24 ct/m³ Jahresabwassermenge und die Ozonanlagen zwischen 5 ct/m³ und 13 ct/m³ Jahresabwassermenge.

Die Kapital- und Betriebskosten verteilen sich je nach Verfahren und in Abhängigkeit der notwendigen Investitionen unterschiedlich. Das gewichtete Mittel bei Ansatz der Wiederbeschaffungszeitwerte ergibt 65 % Kapitalkosten und 35 % Betriebskosten (Abbildung 14). Die größten Posten der Betriebskosten sind Betriebsmittel und Energie. Der Anteil und die Höhe der Kapitalkosten ist auch abhängig von der Struktur der Gewerke und den gewählten Abschreibungsdauern.

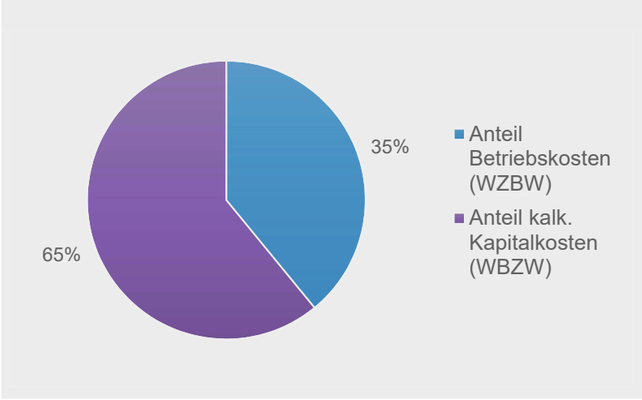

Abbildung 14: Prozentualer Anteil der Betriebskosten bzw. kalkulatorischen Kapitalkosten (WZBW) an den Jahreskosten (WZBW).

Bei den dargestellten Kosten handelt es sich durchweg um Ist-Kosten aus realisierten Projekten, basierend auf den zum Erhebungszeitpunkt vorliegenden Abrechnungsdaten. Es ist wichtig zu betonen, dass aktuelle und zukünftige Bauprojekte aufgrund gestiegener Baupreise, Materialkosten und regulatorischer Anforderungen tendenziell deutlich teurer ausfallen können. Besonders sensitiv in Bezug auf zukünftige Kostenentwicklungen sind die Investitionen in Bauwerke (z. B. auch in Hinblick auf Gründung, Gebäudebestand), die Betriebsmittel wie Pulveraktivkohle und Fällmittel sowie die Energiekosten. Diese Posten sind stark von Preisentwicklungen, Marktlage und geopolitischen Faktoren beeinflusst und können sich kurzfristig spürbar verändern. Tabelle 5 zeigt eine Zusammenfassung der Jahresgesamtkosten über verschiedene Bezugsgrößen.

TABELLE 5 : ÜBERSICHT ÜBER DIE JAHRESGESAMTKOSTEN

Kürzel Kläranlage	Verfahren	Ausbaugröße [EW]	Behandelte Abwassermenge Kläranlage [m³/a]	Einwohnerwert als CSB120 (MW) [EW (CSBmittel)]	Jahresgesamtkosten Spurenstoffelimination je 1.000 EW (CSBmittel) normiert [EUR/1.000 EW]	Jahresgesamtkosten Spurenstoffelimination je m³ Jahresabwassermenge [ct/m³]	Jahresgesamtkosten (WZBW) Spurenstoffelimination je m³ Jahresabwassermenge-Spurenstoffelimination [ct/m³]	Jahresgesamtkosten (WZBW) Spurenstoffelimination je m³ Jahresabwassermenge [ct/m³]
K01	PAK[1]	24.000	2.243.913	16.500	19.424	14	14	20
K02	PAK[1]	49.500	6.583.480	44.500	10.002	7	8	9
K03	PAK[1]	57.200	3.863.053	41.300	7.106	8	8	9
K04	PAK[1]	69.000	5.159.482	47.700	10.672	10	13	12
K05	PAK[2]	87.000	5.297.650	65.200	5.736	7	7	8
K06	PAK[1]	100.000	5.842.000	67.900	13.742	16	18	22
K07	PAK[3]	100.000	8.204.413	95.000	16.281	19	26	19
K08	PAK[1]	175.000	13.409.678	103.500	11.468	9	10	10
K09	PAK[1]	184.000	16.227.354	170.100	7.659	8	8	10
K10	PAK[1]	250.000	16.937.480	170.500	8.708	9	11	10
K11	PAK[1]	250.000	13.840.969	159.900	5.580	6	7	8
K12	PAK[1]	725.000	29.692.370	570.100	3.683	7	8	8
K14	GAK	13.800	850.535	15.600	10.871	20	27	24
K15	GAK	40.000	3.859.692	31.700	14.881	12	17	12
K16	Ozon+GAK	70.000	6.000.000	54.900	12.048	11	13	11
K17	Ozon	87.500	9.774.654	67.600	6.490	4	5	5
K18	Ozon	137.500	13.154.278	105.100	13.461	11	12	13

[1] Pulveraktivkohledosierung in separate Adsorptionsstufe
[2] Pulveraktivkohledosierung in biologische Stufe
[3] Pulveraktivkohledosierung vor einen Filter

7. Fazit

Die vorliegende Auswertung zeigt die Ist-Kosten der Spurenstoffelimination auf den betrachteten kommunalen Kläranlagen auf. Für die Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination wurden zwischen 3,6 Mio. EUR und 9,6 Mio. EUR investiert (Interquartilsabstand). Insbesondere die Ausbaugröße der Kläranlage, die Größe der Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination und die Möglichkeit, vorhandene Anlagen(teile) zu verwenden, haben einen Einfluss auf die Investitionskosten. Wird statt der tatsächlichen Anschaffungs- und Herstellkosten ein Wiederbeschaffungszeitwert angenommen, ergeben sich Summen von 5,1 Mio. EUR bis 15,7 Mio. EUR (Interquartilsabstand).

Die Betriebskosten werden insbesondere durch die Betriebsmittel (47 %) und die Energiekosten (25 %) beeinflusst. Die Spurenstoffanalytik und die Entsorgung des durch PAK-Einsatz anfallenden Schlammes machen jeweils rund 1 % der Betriebskosten aus. Die jährlichen Betriebskosten liegen im Bereich des Interquartilsabstands zwischen 3.800 EUR/1.000 EW (CSBmittel) und 4.500 EUR/1.000 EW (CSBmittel). Im Mehrjahresvergleich schwanken die Betriebskosten teils, weisen aber für die meisten Kläranlagen eine leicht steigende Tendenz auf.

Die Jahreskosten setzen sich im Durchschnitt aus 65 % kalkulatorischen Kapitalkosten und 35 % Betriebskosten zusammen (jeweils bezogen auf den Wiederbeschaffungszeitwert). Für die Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen ergeben sich in dieser Studie Jahreskosten zwischen 9 ct/m³ und 13 ct/m³ Jahresabwassermenge (Interquartilsabstand).

Die erhobenen Daten geben einen guten Überblick über die bisherige Kostensituation der gezielten Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg. Aufgrund der großen Streuung der Daten und der dynamischen Entwicklung beim Thema Spurenstoffelimination ist eine Ableitung von Bau- und Betriebskosten einer Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination in der Zukunft oder auf anderen Kläranlagen anhand der vorliegenden Daten nur eingeschränkt möglich oder empfehlenswert. Zudem wird es als sinnvoll erachtet, in einigen Jahren eine erneute Kostenstudie mit erweitertem Teilnehmerkreis durchzuführen, um die weitere Entwicklung der Kosten neu zu bewerten.

KOMS KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW Est. 2012

8. Literaturverzeichnis

[1] **DWA (Hrsg.) 2012**
Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)
ISBN: 978-3-941897-55-7

[2] **Hug,T. et. al. 2018**
Definition und Standardisierung von Kennzahlen für Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen in ARA – Empfehlung
https://micropoll.ch/Mediathek/definition-und-standardisierung-von-kennzahlen-fuer-verfahren-zur-elimination-von-organischen-spurenstoffen-in-ara-empfehlung-und-excel-tool/
(Abgerufen am 25.03.2025)

[3] **Joller, N., Hug, T. Hunziker Betatech AG 2024**
Auswertung der Energie- und Kostenkennzahlen von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen in ARA
https://micropoll.ch/Mediathek/auswertung-der-energie-und-kostenkennzahlen-von-verfahren-zur-elimination-von-organischen-spurenstoffen-in-ara/
(Abgerufen am 13.03.2025)

[4] **Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (Hrsg.) 2018**
Handlungsempfehlungen für die Vergleichskontrolle und den Betrieb von Verfahrenstechniken zur gezielten Spurenstoffelimination
https://koms-bw.de/wp-content/uploads/jet-form-builder/3fc6ae40bfc04ae4123761055e639bc2/2024/12/KomS_Handlungsempfehlung_Stand_07.2018.pdf
(Abgerufen am 20.05.2025)

[5] **Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (Hrsg.)**
Kläranlagen zur Spurenstoffelimination: Kläranlagenausbau in Baden-Württemberg – Aktueller Stand
https://koms-bw.de/anlagen/
(Abgerufen am 13.03.2025)

[6] **Kreienborg, J., Wortmann, E., Bertzbach, F., Launay, M. 2019**
KomS-Langezeitbetrachtung zu Kosten der Pulveraktivkohlebehandlung
https://koms-bw.de/wp-content/uploads/jet-form-builder/3fc6ae40bfc04ae4123761055e639bc2/2024/11/Broschuere-Langzeitbetrachtung-Pulveraktivkohlebehandlung_Druck.pdf
(Abgerufen am 13.03.2025)

[7] **Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.) 2025**
Baupreisindex Baupreisentwicklung – Bauleistungen am Bauwerk für Wohngebäude und Nichtwohngebäude, Straßenbau, Brücken und Ortskanäle in Baden-Württemberg
https://www.statistik-bw.de/GesamtwBranchen/KonjunktPreise/BPI-LR.jsp
(Abgerufen am 06.05.2025)

www.koms-bw.de