

57. Essener Tagung für Wasserwirtschaft

Masterarbeit

„Konzepte zur Einbindung einer Spurenstoffelimination auf dem Großklärwerk Köln Stammheim unter besonderer Beachtung der Bereitstellung/Regeneration von Aktivkohle und der Bereitstellung von Sauerstoff zur Ozonierung“

M.Eng. Carla Niederle

Prüfer / Betreuer:

Herr Prof. Dr.-Ing. Markus Grömping (FH Aachen)

Herr Dr. Joachim Vasen (StEB Köln)

Herr Jonas Bachnick (StEB Köln)

Kooperationspartner



AGENDA

01 Hintergrund

02 Bereitstellung des Betriebsmittels Sauerstoff für die Ozonung

03 Umrüstung der bestehenden BIOFOR-Filteranlage – Fokus Ein- und Ausbau der GAK

04 Reaktivierungsmöglichkeiten der beladenen Aktivkohle

05 Fazit und Ausblick

01. HINTERGRUND

Spurenstoffelimination auf dem GKW Köln-Stammheim

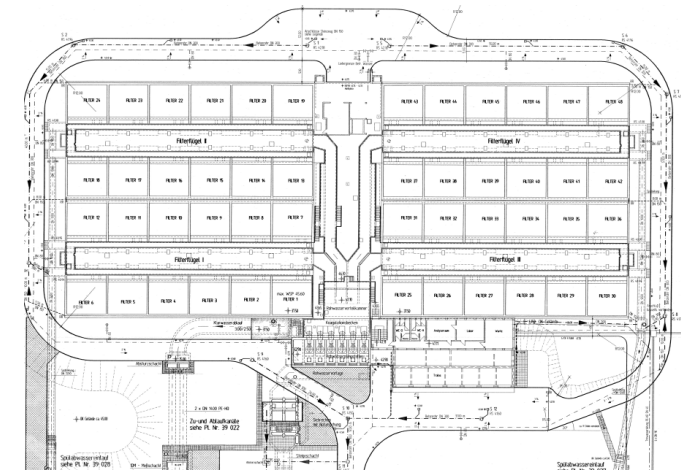


Einführung zusätzlicher Behandlungsstufe zur Spurenstoffelimination zur Verbesserung der Wasserqualität.

Mögliche Lösung: Verfahrenskombination Ozonung und GAK-Filtration in bestehender BIOFOR-Filteranlage

Technische Daten GKW	Wert	Einheit
Ausbaugröße:	1.570.000	[EW]
Jahresabwassermenge (2022):	ca. 75 Mio.	[m ³ /a]
Trockenwetterzufluss:	4.700	[l/s]
Maximaler Mischwasserzufluss:	9.200	[l/s]

Quelle: StEB Köln, 2022



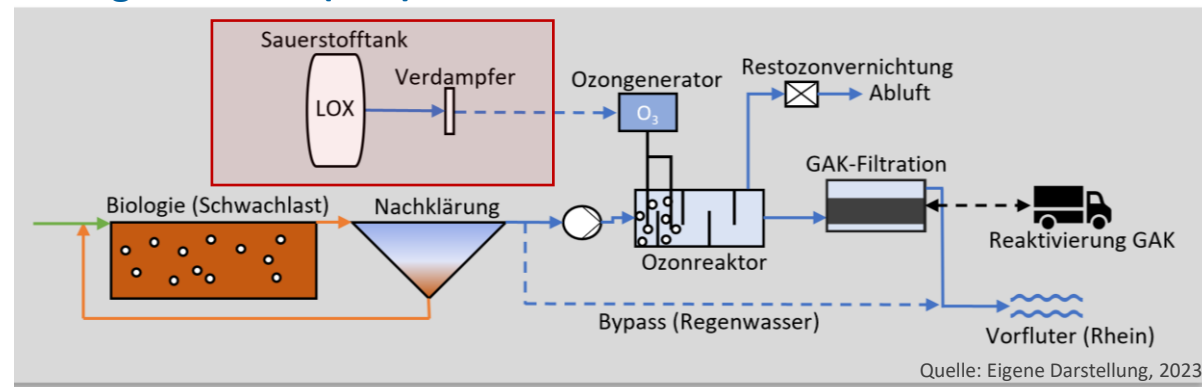
Bildquelle: StEB Köln, 1992

Bildquelle: Geoportal, 2023

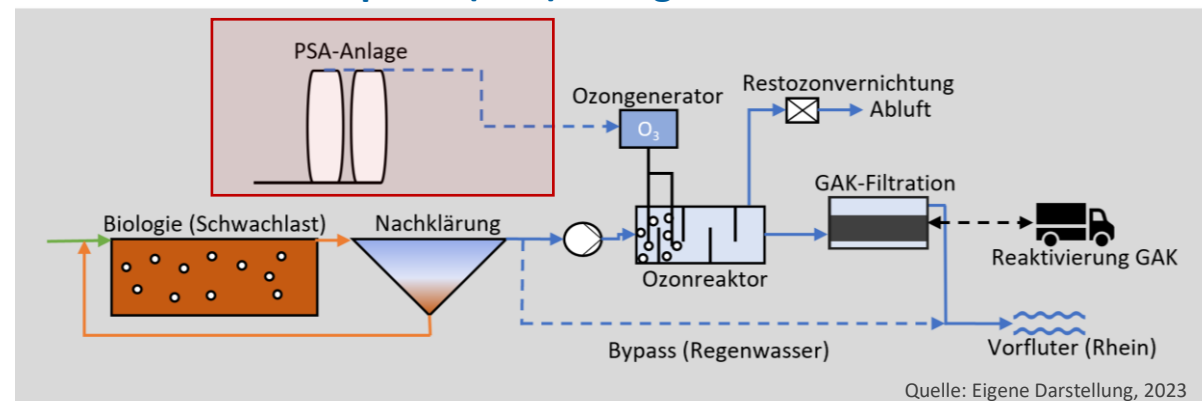
02. BEREITSTELLUNG DES BETRIEBSMITTELS SAUERSTOFF FÜR DIE OZONUNG

- Drei mögliche Varianten zur Sauerstoffbereitstellung am Standort (GKW Köln-Stammheim) wurden untersucht.
- Vorgehensweise: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung → Sensitivitätsanalyse → Nutzwertanalyse.

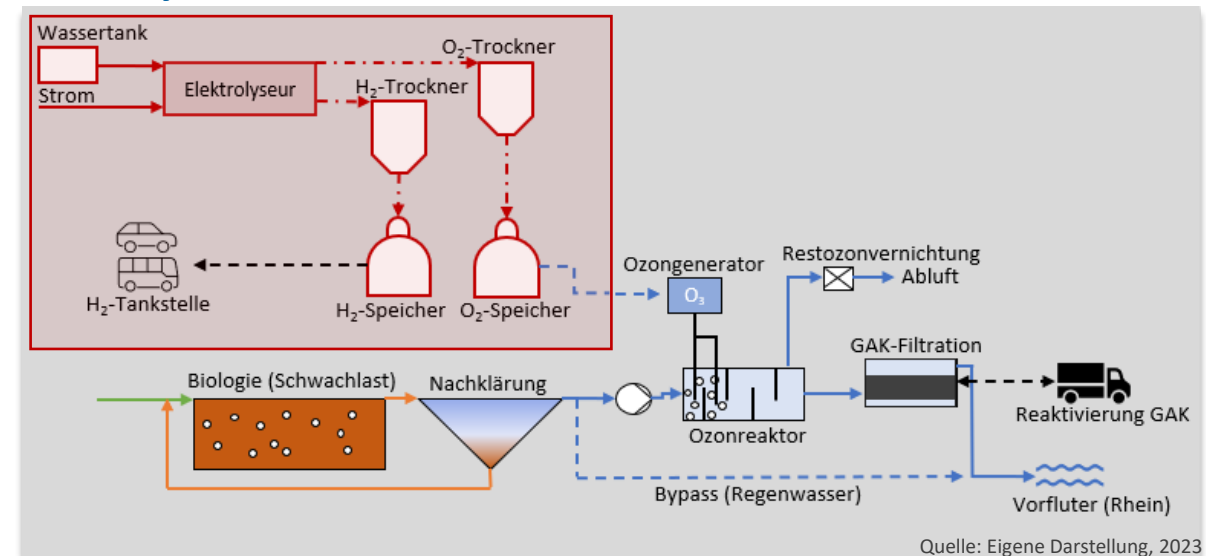
Flüssigsauerstoff (LOX)-Tank:



Druckwechseladsorption (PSA)-Anlage:



Elektrolyseverfahren:

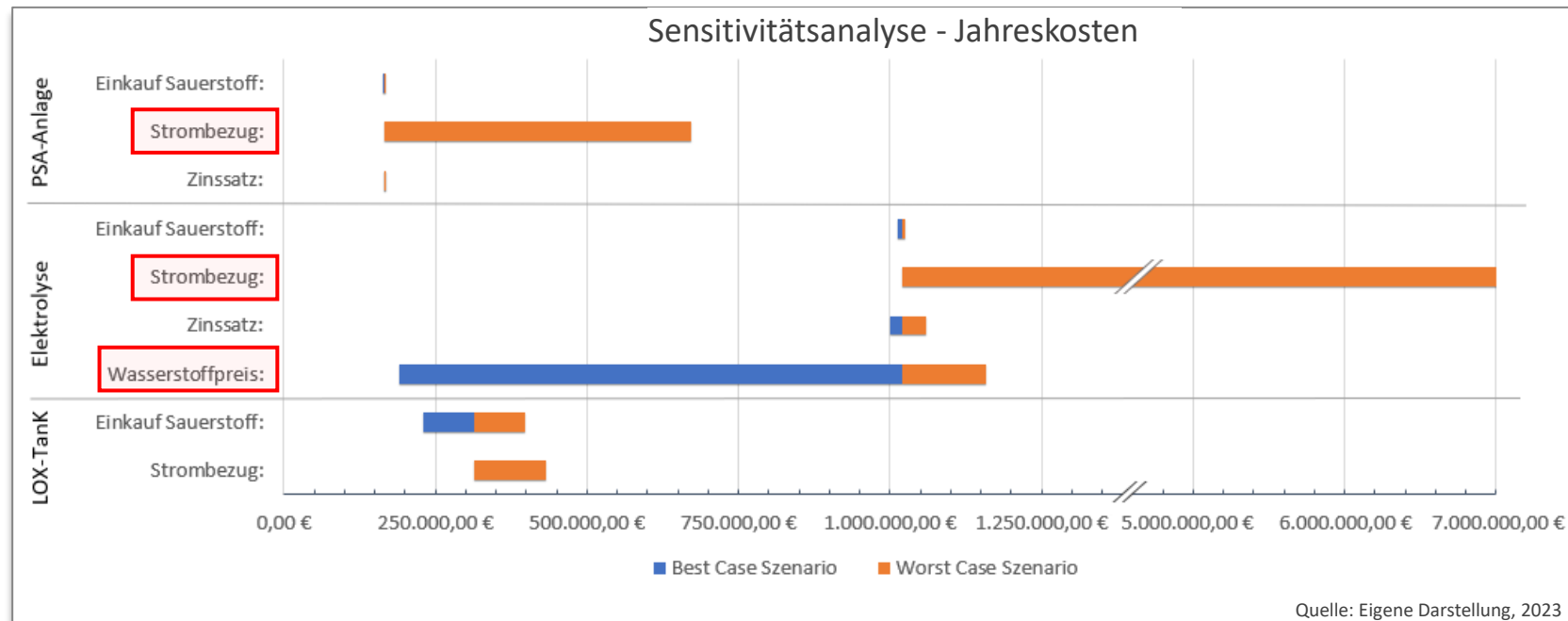


02. BEREITSTELLUNG DES BETRIEBSMITTELS SAUERSTOFF FÜR DIE OZONUNG

Sensitivitätsanalyse – Kosten

Mittels einer Sensitivitätsanalyse wurden folgende Parameter für die drei möglichen Varianten anhand von definierten Best-Case-Szenarien und Worst-Case-Szenarien variiert:

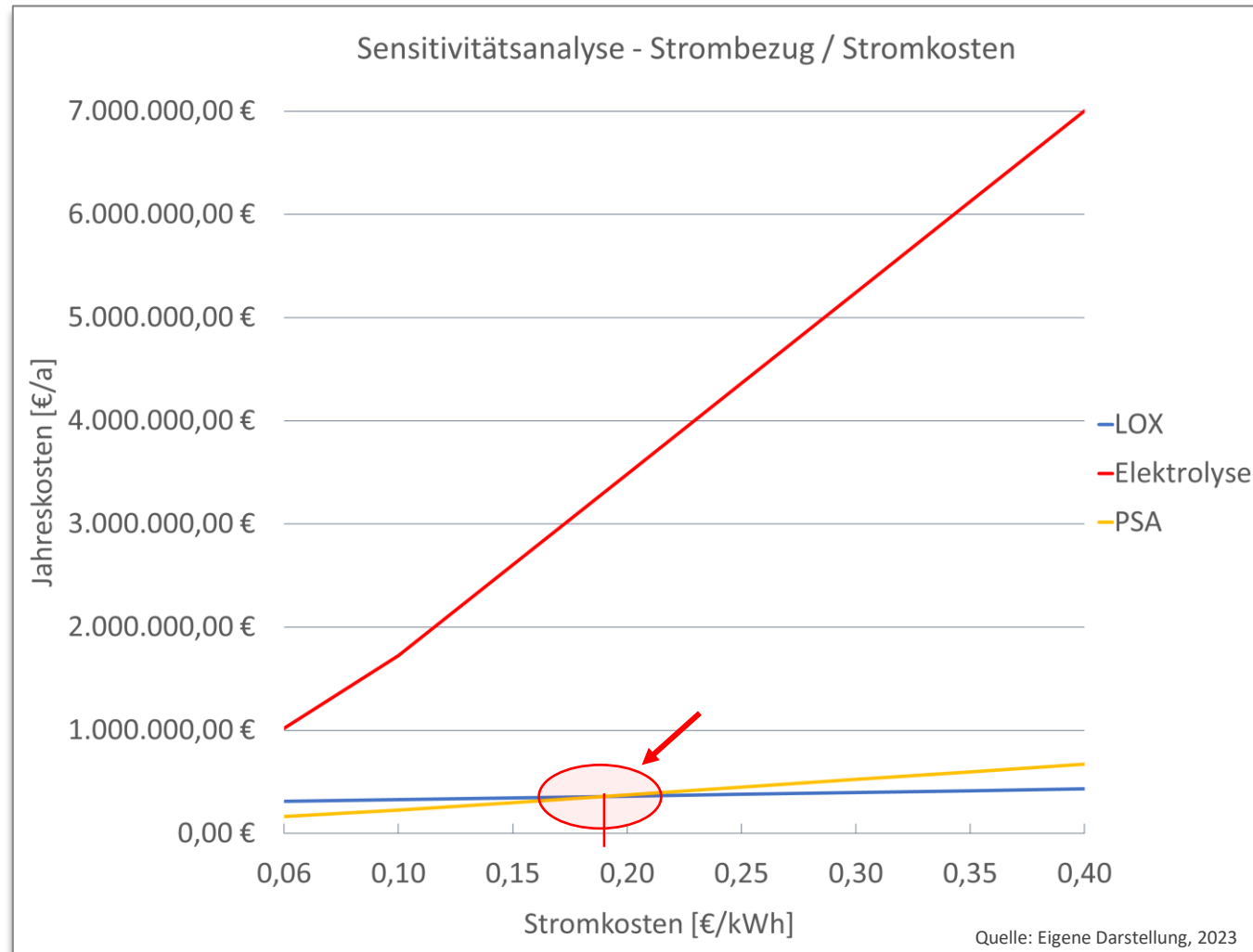
- Einkaufspreis für Sauerstoff
- Stromkosten
- Kalkulatorischer Zinssatz
- Abnahmebereitschaft für Wasserstoff (Wasserstoffpreis)



Stromkosten u. Wasserstoffpreis
haben ausschlaggebenden Einfluss
auf die Wirtschaftlichkeit.

02. BEREITSTELLUNG DES BETRIEBSMITTELS SAUERSTOFF FÜR DIE OZONUNG

Sensitivitätsanalyse – Detail Stromkosten



Ab einem Strompreis von **ca. 0,19 €/kWh** ist der Flüssigsauerstoff(LOX)-Tank wirtschaftlicher als eine Druckwechseladsorption (PSA)-Anlage.

02. BEREITSTELLUNG DES BETRIEBSMITTELS SAUERSTOFF FÜR DIE OZONUNG

Nutzwertanalyse – Ergebnis

Elektrolyse:

- **höhere Investitions- und Betriebskosten** im Vergleich zur PSA-Anlage und LOX-Tank.
- Herausforderung: Zusätzliche Aufbereitung erforderlich, da Elektrolyse-Sauerstoff nicht direkt die Anforderungen des Ozongenerators erfüllt.

PSA-Anlage:

- PSA-Anlage ist **wirtschaftlich bei Eigenstromversorgung**.
- Zusätzlicher Sauerstofftank für Redundanz erforderlich.
- Tagesschwankungen der Zulaufwassermenge beeinträchtigen die Wirtschaftlichkeit.

LOX-Tank:

- LOX-Tank aufgrund der hohen Energiepreise wirtschaftlich schlechter als PSA-Anlage.
- Trotzdem: **bestgeeignete Option** für GKW Köln-Stammheim.

Pos	Bewertungskriterien	Gewichtung [%]	Flüssigsauerstoff-tank (LOX)		PEM-Elektrolyse		Pressure Swing Adsorption (PSA)	
			Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte
1	Ökonomische Aspekte							
1.1	Investitionskosten	40%	5	2,00	1	0,40	4	1,60
1.2	Jahreskosten	30%	4	1,20	1	0,30	5	1,50
1.3	Betriebskosten	30%	4	1,20	2	0,60	5	1,50
Zwischenergebnis Block 1:		40%		1,76		0,52		1,84
2.	Ökologische Aspekte							
2.1	Produkterzeugung (Reststoffe)	30%	5	1,50	5	1,50	5	1,50
2.2	Emissionen	30%	5	1,50	1	0,30	4	1,20
2.3	Verwendung von Nebenprodukten	40%	1	0,40	5	2,00	1	0,40
Zwischenergebnis Block 2:		10%		0,34		0,38		0,31
3.	Anlagentechnische Aspekte							
3.1	Großtechnische Erfahrungen / Referenzsituation	25%	5	1,25	1	0,25	4	1,00
3.2	Betriebssicherheit / Redundanz	25%	4	1,00	2	0,50	2	0,50
3.3	Anforderungen Ozonerzeugung	40%	4	1,60	2	0,80	5	2,00
3.4	Produktflexibilität (Menge und Reinheit)	5%	3	0,15	1	0,05	2	0,10
3.5	Bedienungsfreundlichkeit / Betriebsaufwand	5%	4	0,20	2	0,10	4	0,20
Zwischenergebnis Block 3:		40%		1,68		0,68		1,52
4.	Standortbezogene Aspekte							
4.1	Platzbedarf / Flächenverfügbarkeit	25%	5	1,25	3	0,75	4	1,00
4.2	Logistik	25%	1	0,25	3	0,75	4	1,00
4.3	Abhängigkeiten zu Lieferanten	25%	1	0,25	3	0,75	3	0,75
4.4	Genehmigungsrechtliche Anforderungen	25%	3	0,75	1	0,25	3	0,75
Zwischenergebnis Block 4:		10%		0,25		0,25		0,35
Summe		100%		4,03		1,83		4,02
Platzierung			1		3		2	

Bewertung: Punktzahl 1 bis 5, wobei 1 die niedrigste und 5 die höchste Bewertung ist.

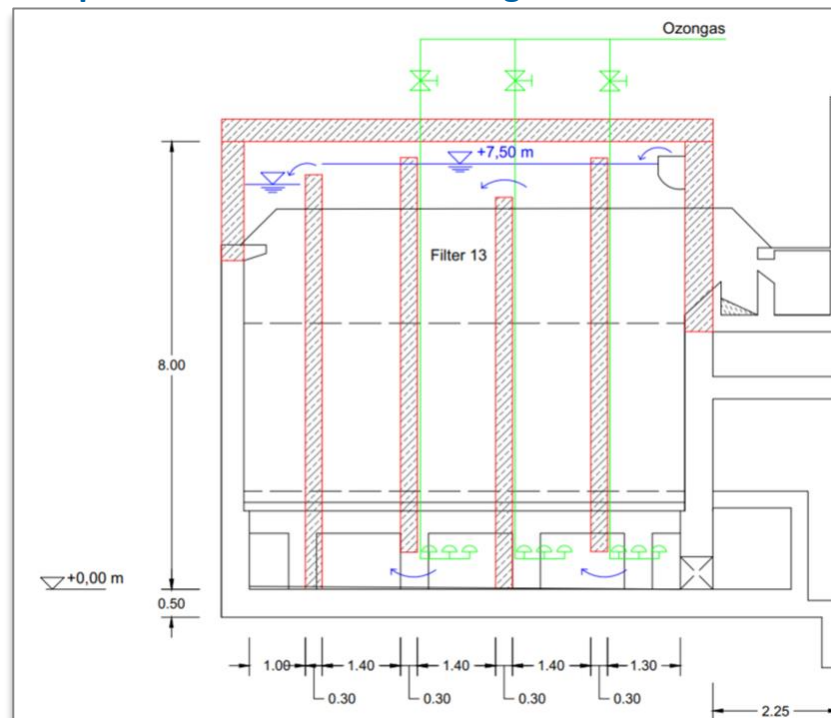
Quelle: Eigene Darstellung, 2023

03. UMRÜSTUNG DER BESTEHENDEN BIOFOR-FILTERANLAGE

Allgemein

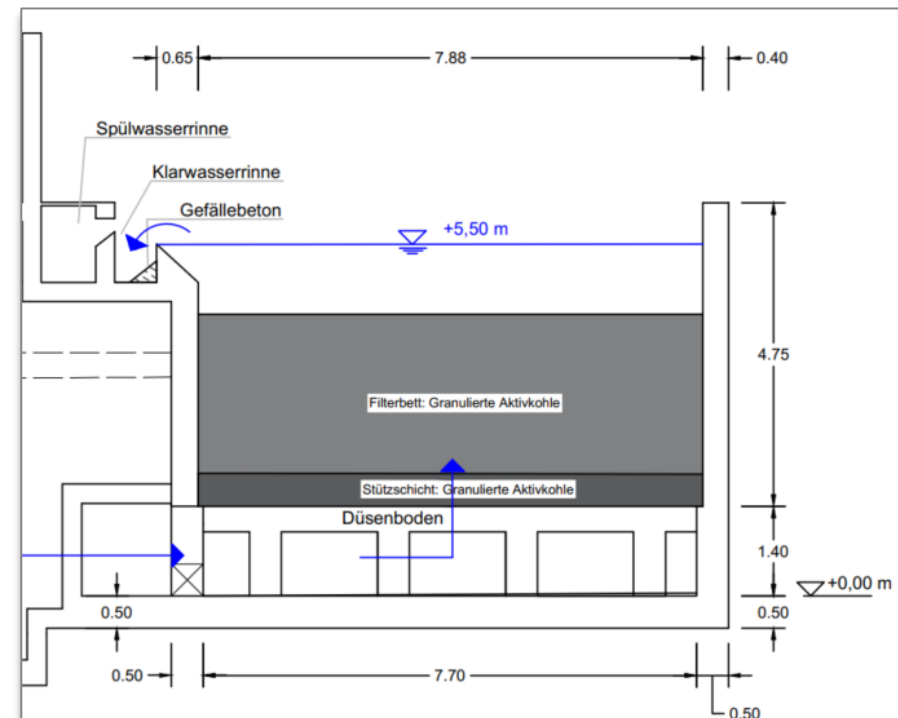
- Ansatz „AdOx Köln“ Studie: Teilstrombehandlung – Maximal stündlicher Trockenwetterabfluss
- Umbau der vorhandenen BIOFOR-Filteranlage (48 Zellen): 6 Filterzellen für die Ozonung, 12 Filterzellen für die GAK-Filtration

Beispielhafte Filterzelle Ozonung:



Quelle: Eigene Darstellung, 2023 in Anlehnung an Benstöm et al., 2013

Beispielhafte Filterzelle GAK-Filtration:



Quelle: Eigene Darstellung, 2023 in Anlehnung an Benstöm et al., 2013

03. UMRÜSTUNG DER BESTEHENDEN BIOFOR-FILTERANLAGE

Ein- und Ausbau GAK – Erfahrungswerte

ARA Altenrhein:



Bildquelle: Eigene Aufnahme, 2023

Kläranlage Obere Lutter:



Bildquelle: Eigene Aufnahme, 2023

Kläranlage Gütersloh-Putzhagen:



Bildquelle: IWW et al., 2016

Kläranlage Wuppertal-Buchenhofen:



Bildquelle: Bornemann et al., 2015



Bildquelle: links unten: WABAG, 2019; rechts unten: Eigene Aufnahme, 2023



Bildquelle: Eigene Aufnahme, 2023

03. UMRÜSTUNG DER BESTEHENDEN BIOFOR-FILTERANLAGE

Ein- und Ausbau GAK – Konzepte

Allgemein:

- Umrüstung: Äußere Filterzellen für GAK-Filtration vereinfachen die Befüllung und Entleerung der Filterzellen.
- Anpassung der Schlitzweiten der Filterdüsen an GAK-Körnung.

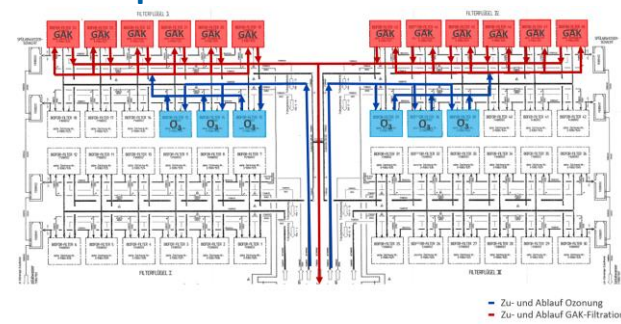
Einbau:

- Befüllvorrichtung an Filterzellen vorsehen.
- Aktivkohle-Einbringung: Hydraulisch von Silofahrzeug über eine Schlauchleitung in die Filterzellen.
- Treibwasserversorgung für Silofahrzeuge: Vereinfacht durch fest installierte Rohrleitungen.

Ausbau:

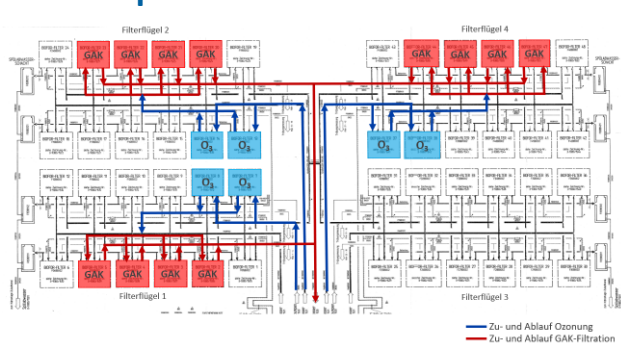
- Zusätzliche Stutzen: Einbau knapp über Düsenboden, nach außen geführt.
- GAK-Ausbau: Durch Absaugen über installierte Stutzen. Restmenge manuell reduzieren oder belassen als „Opferschicht“.

Konzeptvariante 1:

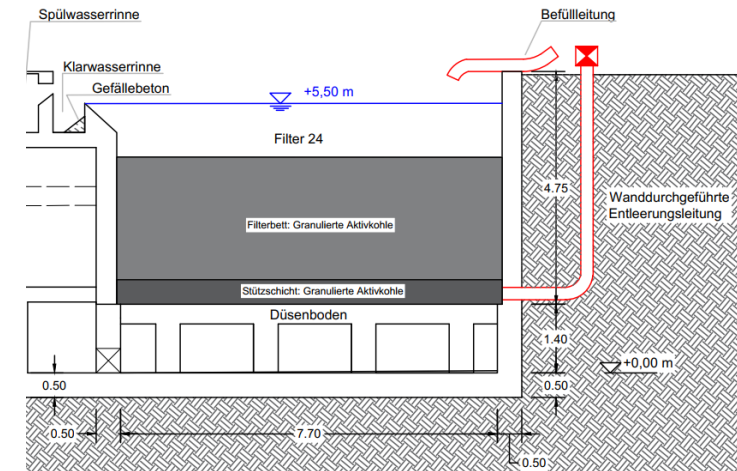


Quelle Hintergrundbild: StEB Köln, 1992

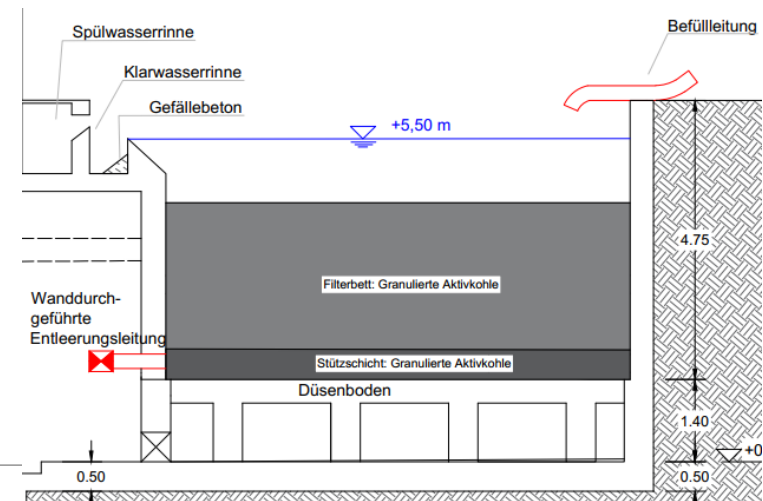
Konzeptvariante 2:



Quelle Hintergrundbild: StEB Köln, 1992



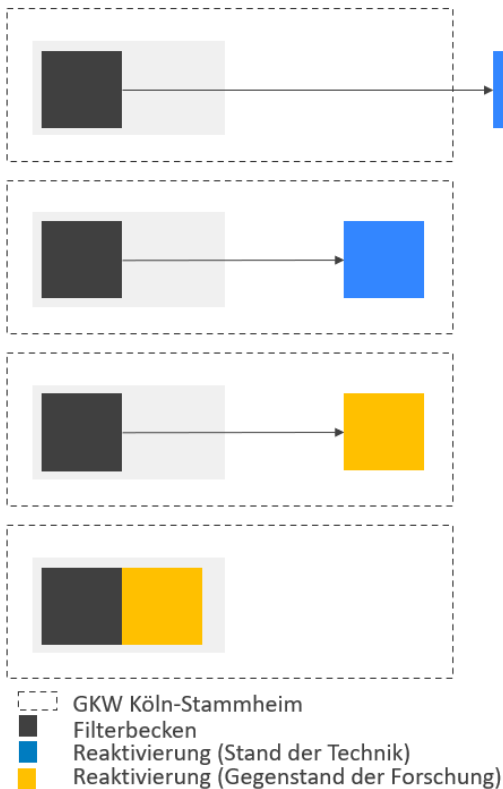
Quelle: Eigene Darstellung, 2023



Quelle: Eigene Darstellung, 2023

04. REAKTIVIERUNGSMÖGLICHKEITEN

Verfahrensmöglichkeiten und Entscheidungsmatrix



Variante 1: GAK-Verfahren mit konventioneller Filtration und konventioneller externer Reaktivierung (Stand der Technik)

Variante 2: GAK-Verfahren mit konventioneller Filtration und „On-Site“ Reaktivierung mittels dezentraler thermischer Reaktivierung (Stand der Technik)

Variante 3: GAK-Verfahren mit konventioneller Filtration und „On-Site“ Reaktivierung mittels Mikrowellenbestrahlung (Gegenstand der Forschung)

Variante 4: GAK-Verfahren mit integrierter ZeroTrace-Filtration und „On-Site“ Reaktivierung in der Filterzelle mittels Electric Field Swing Adsorption (Gegenstand der Forschung)

Quelle: Eigene Darstellung, 2023

Pos	Bewertungskriterien	Variante 1:	Variante 2:	Variante 3:	Variante 4:
		konventionelle externe Reaktivierung	Dezentrale thermische Reaktivierung	Mikrowellenbestrahlung	Electric Field Swing Adsorption
		Bewertung	Bewertung	Bewertung	Bewertung
1	Ökonomische Kriterien				
1.1	Investitionskosten	+	-		
1.2	Betriebskosten	(-)	(+)		
2	Technische Integrationsfähigkeit				
2.1	bautechnischer Aufwand	+	-		
2.2	zusätzlicher Platzbedarf	+	-		
2.3	Ausbau GAK erforderlich	-	-		
3	Umweltverträglichkeit				
3.1	CO ₂ -Bilanz	+	-		
3.2	Transportwege	-	+		
Summe		4	2		
Platzierung		1	2		

Aufgrund des Technologiereifegrades nicht möglich

Quelle: Eigene Darstellung, 2023

05. FAZIT

Bereitstellung von Sauerstoff:

- Wirtschaftlichkeit Elektrolyse: Abnahmebereitschaft des Wasserstoffes spielt ausschlaggebende Rolle.
- Stromkosten: entscheidend für Wirtschaftlichkeit einer PSA-Anlage.
- Empfehlung GKW Köln-Stammheim: Einsatz eines LOX-Tanks für Sauerstoffbereitstellung bei Ozonung.

Umrüstung der Bestandsanlage:

- Effizienz von Ein-/Ausbaukonzept beeinflusst Wirtschaftlichkeit einer GAK-Filtration.
- GAK-Einbau: Befüllvorrichtungen von oben in die Filterzellen.
- GAK-Ausbau: zusätzliche Stutzen kurz über Düsenboden.

Reaktivierung der GAK:

- Eigene, standortnahe Reaktivierungsanlage: hohe Investitionskosten, hoher Energieverbrauch und zusätzlicher Platzbedarf.
- GAK muss bei eigener Reaktivierungsanlage weiterhin für die Reaktivierung ausgebaut werden.
- Empfehlung: GAK-Reaktivierung durch externe Dienstleister.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Ein besonderer Dank gilt:
Herrn Prof. Dr.-Ing. Markus Grömping
Herrn Dr. Joachim Vasen
Herrn Jonas Bachnick



M.Eng. Carla Niederle
Tel.: +49221 5740 2716
carla.niederle@sweco-gmbh.de

LinkedIn:



QUELLEN

Baur et al, 2020: Umrüstung der Kölner BIOFOR-Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination (AdOx Köln) – Phase 2, gerichtet an das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV)

Benstöm et al., 2013: Umrüstung der Kölner BIOFOR-Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination (AdOx Köln) – Abschlussbericht Phase 1, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV)

Benstöm, 2017: Granulierte Aktivkohle zur Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser, Dissertation Rhein-Westfälische Technische Hochschule Aachen; Aachen

Bornemann, C.; Alt, K.; Böhm, F.; Hachenberg, M.; Kolisch, G.; Nahrstedt, A.; Taudien, Y. (2015): Technische Erprobung des Aktivkohleeinsatzes zur Elimination von Spurenstoffen in Verbindung mit vorhandenen Filteranlagen "Filter AK+", Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV)

DWA-Themenband, 2019: Aktivkohleeinsatz auf kommunalen Kläranlagen zur Spurenstoffentfernung – Verfahrensvarianten, Reinigungsleistung und betriebliche Aspekte (T1/2019)

IWW et al., 2016: Mikroschadstoffelimination mittels granulierter Aktivkohle im Ablauf der Kläranlage Gütersloh-Putzhagen, Abschlussbericht Förderkennziffer M-03/12 Gt, Gütersloh

Fraunhofer Umsicht, 2021: Neue Adsorptionsmaterialien und Regenerationsverfahren zur Elimination von Spurenstoffen in kommunalen und industriellen Kläranlagen; ZeroTrace; Schlussbericht 03XP0098A-E

Stadtentwässerungsbetriebe Köln (1992): Übersichtsplan Filteranlage Straßenführung GKW Köln-Stammheim

WABAG, 2019: Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Bau und Planung von GAK-Filtrationen im Trinkwasser und Abwasser; abgerufen am 16.06.2023 unter: https://micropoll.ch/wp-content/uploads/2020/07/190930_WABAG_PP_GAK-Filtration_im_Trinkwasser__d.pdf