Hydro Ingenieure

Elimination von Mikroschadstoffen in kommunalen Kläranlagen - Notwendigkeit, Verfahrenstechniken und Kosten

Uni Dresden, Gastvorlesung - Teil 2
14. Mai 2018

Dipl.-Ing. Klaus Alt

Kurzvorstellung

Dipl.-Ing. Klaus Alt

Geschäftsführer

- 25 Jahre Berufserfahrung, derzeit versch. Studien zur Planung wasserwirtschaftlicher Projekte
- 40 Fachveröffentlichungen
  - Spurenstoffe
  - dez. Niederschlagswasserbehandlung
  - Energieoptimierung, innovative Technologien
- Mitarbeit in der Arbeitsgruppe DWA KA 7.2 Membrananlagen,
  LUA Arbeitsgruppe NRW „Bemessung von Belebungsanlagen“
  DWA FA 6 – Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen
  DWA KA 6.9 Mischwassermitbehandlung
  DWA AK AG – Schlammbehandlung auf kleinen Kläranlagen - aufgelöst
  DWA AG 8.6 Aktivkohle
  DWA AG Ozon

Vorstellung

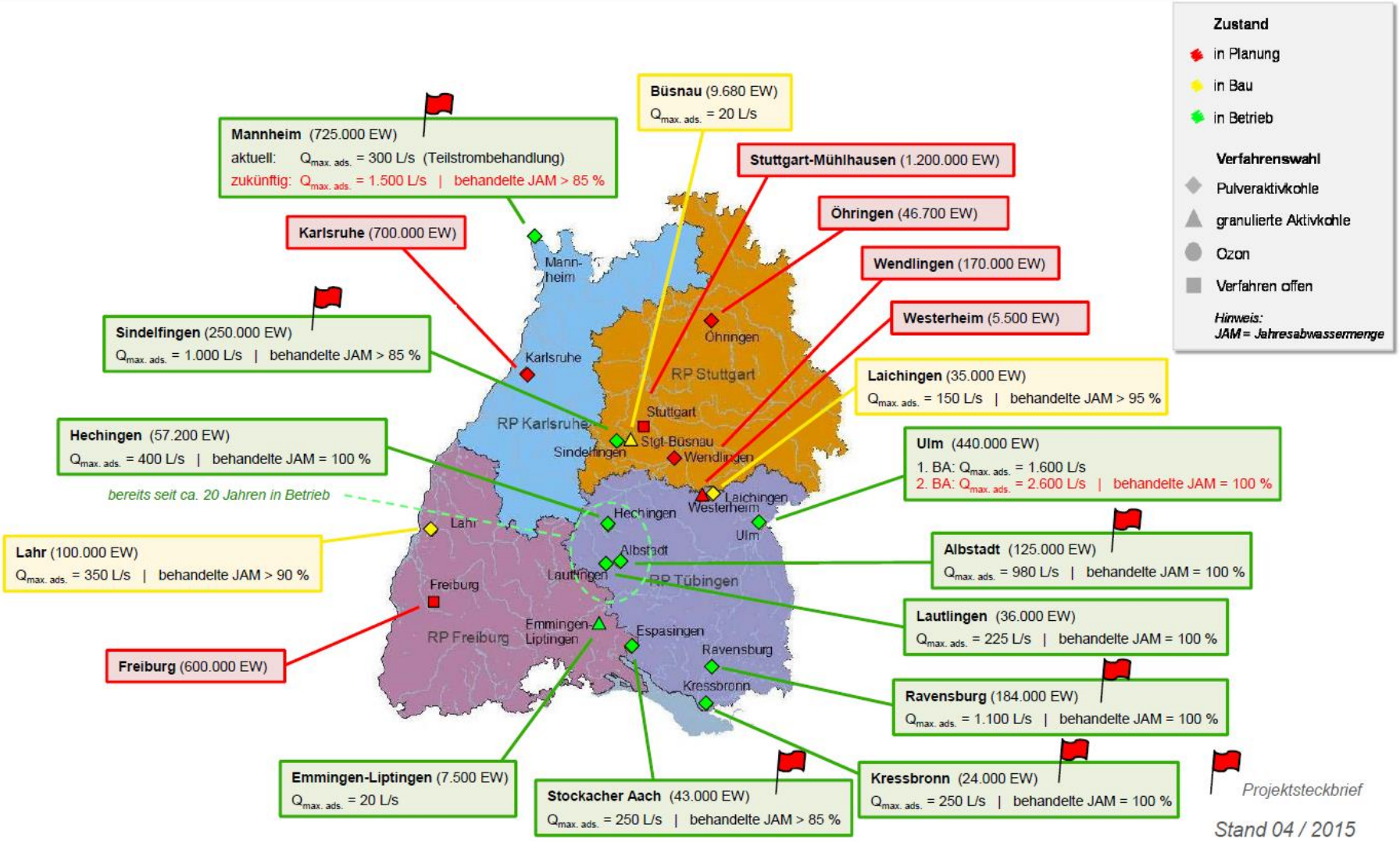
Hydro-Ingenieure GmbH

- Beratendes und unabhängiges Ingenieurbüro
- Gründung im Jahre 1982
- Heute ca. 50 Mitarbeiter
- Sitz: Düsseldorf
- Beteiligungen: HYDRO-Ingenieure Energie & Wasser GmbH, HI-Nord GmbH
- Umsatz ca. 4,5 Mio. € / Jahr
- Ingenieurkammer Bau (Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen)
- Zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2008 seit dem 6. September 2007

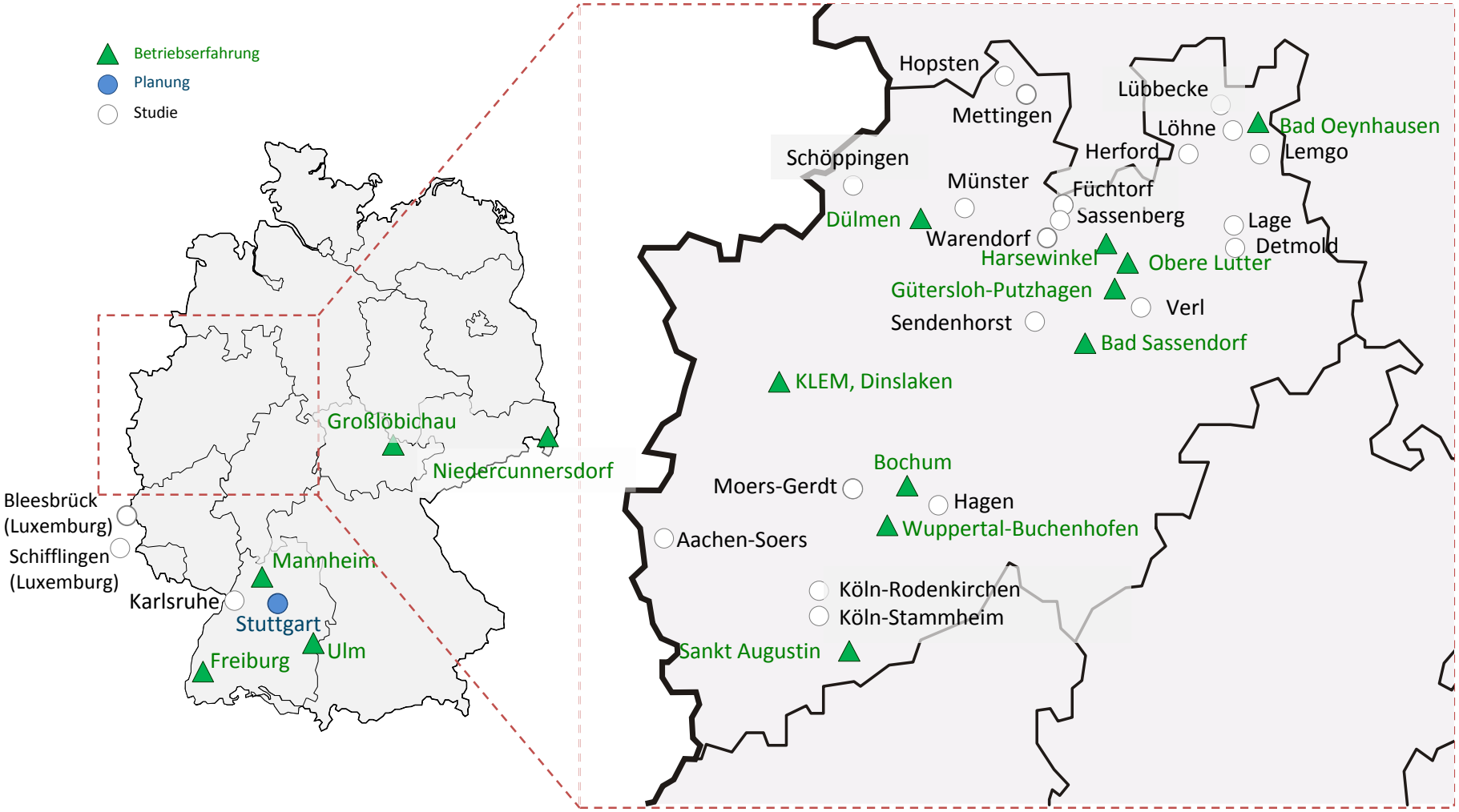
Einleitung – Definition Spurenstoffe

- Human- und Veterinärpharmaka (z.B.: Carbamazepin, Diclofenac, Sulfameth.)
- Pflanzenschutzmittel (Herbizide, Insektizide, Fungizide, Rodentizide, …)
- Röntgenkontrastmittel (Amidotrizoesäure)
- Personal Care produkte (Duftstoffe aus Shampoo, Duschgel, Creme etc.)
- Industriechemikalien (Flammschutzmittel, Komplexbildner, Weichmacher)
- Nanopartikel ??? (Thema der nahen Zukunft!)

Anlagen zur Spurenstoffelimination in BW



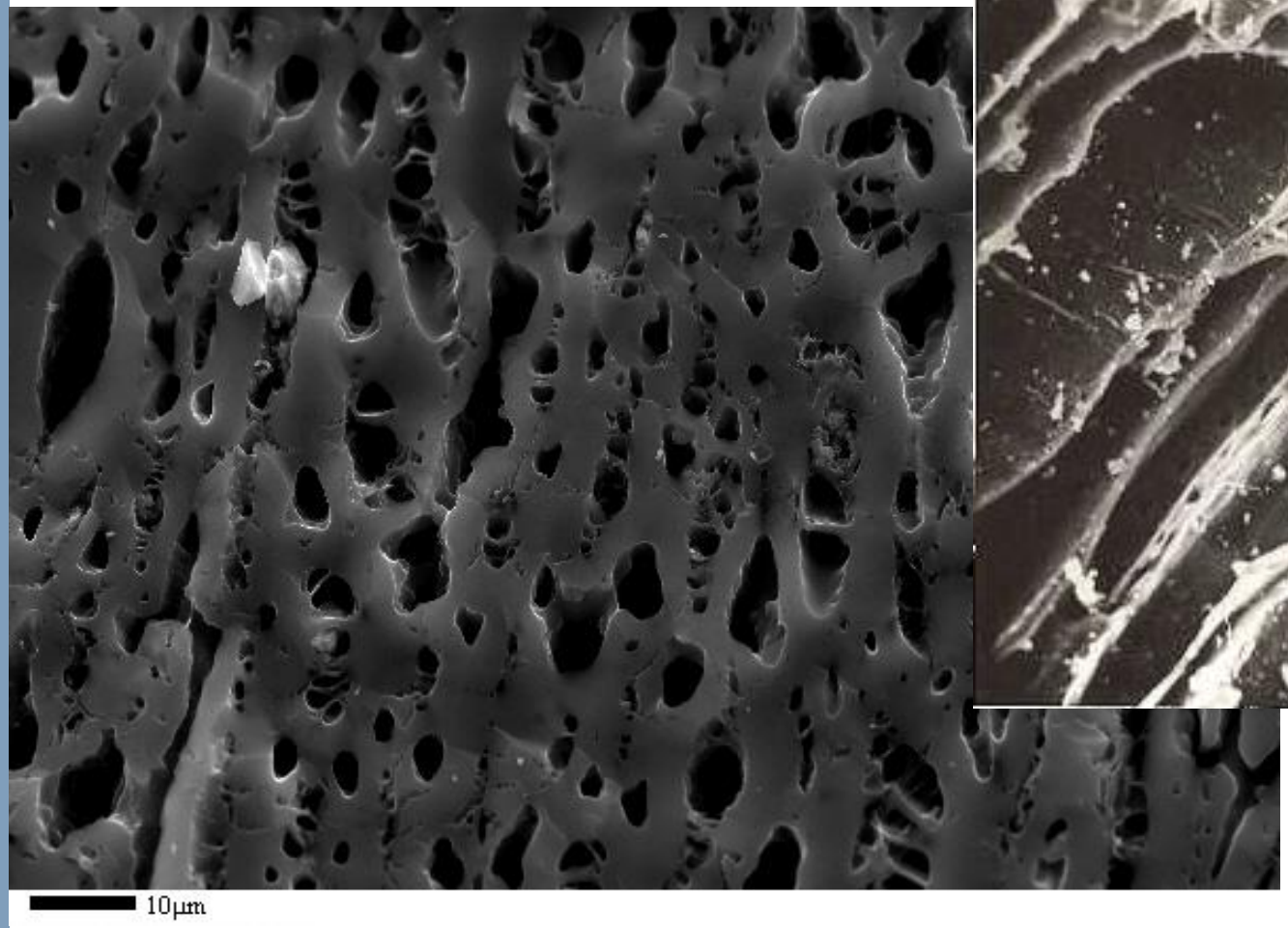
PAK – GAK - Ozon

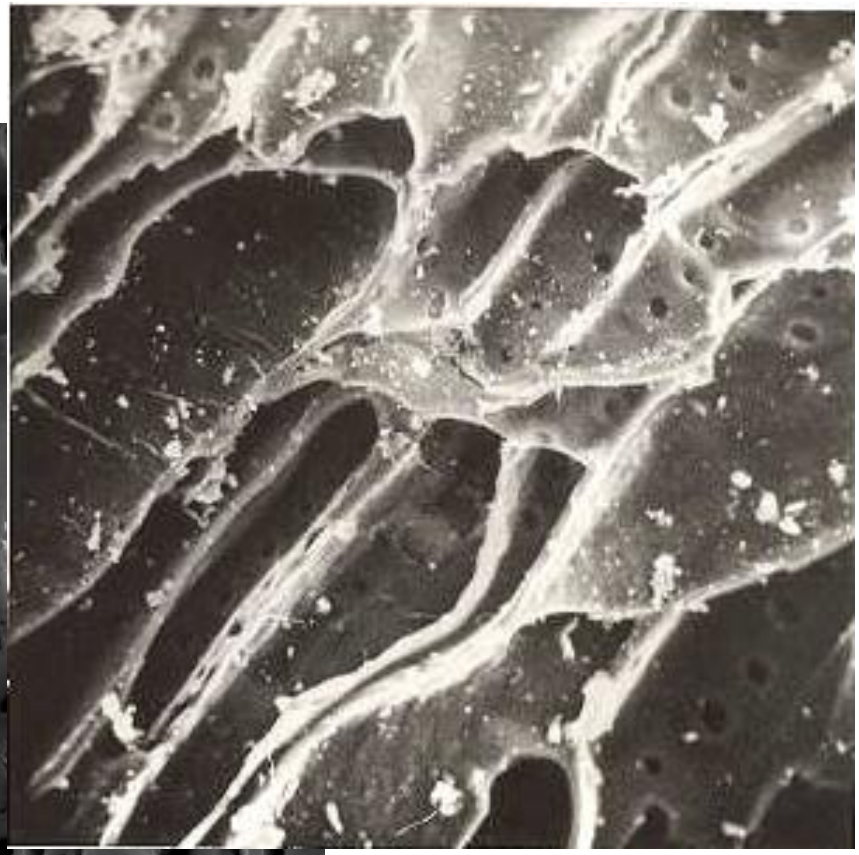

Betriebserfahrung
Planung
Studie
Großlöbichau
Niedercunnersdorf
Bleesbrück (Luxemburg)
Schifflingen (Luxemburg)
Karlsruhe
Mannheim
Stuttgart
Ulm
Freiburg
Hopsten
Mettingen
Lübbecke
Löhne
Bad Oeynhausen
Lemgo
Herford
Schöppingen
Münster
Füchtorf
Sassenberg
Dülmen
Warendorf
Lage
Detmold
Harsewinkel
Obere Lutter
Gütersloh-Putzhagen
Verl
Sendenhorst
Bad Sassendorf
KLEM, Dinslaken
Bochum
Moers-Gerdt
Hagen
Wuppertal-Buchenhofen
Aachen-Soers
Köln-Rodenkirchen
Köln-Stammheim
Sankt Augustin

Spurenstoffelimination auf der Kläranlage

Mechanismus	Verfahren	Nachbehandlung
Oxidativ	Ozonung AOP	Nachbehandlung (biologisch), z.B. mittels • Sandfiltration • Wirbelbett • Festbett • ...
Adsorptiv	Pulverisierte Aktivkohle	Abtrennung der PAK (physikalisch), z.B. mittels • Tiefenfiltration (Flockungsfiltration, kontinuierlich gespülter Filter, kompressible synthetische Kollektoren, ...) • Flächenfiltration (Membran-, Tuchfiltration, Mikrosiebung,...)
	Granulierte Aktivkohle	Regeneration extern durchgeführt
	Sonstige Adsorbentien	Regeneration (z.B. oxidativ)
Physikalisch	Nano-filtration Umkehr-osmose	Konzentratbehandlung

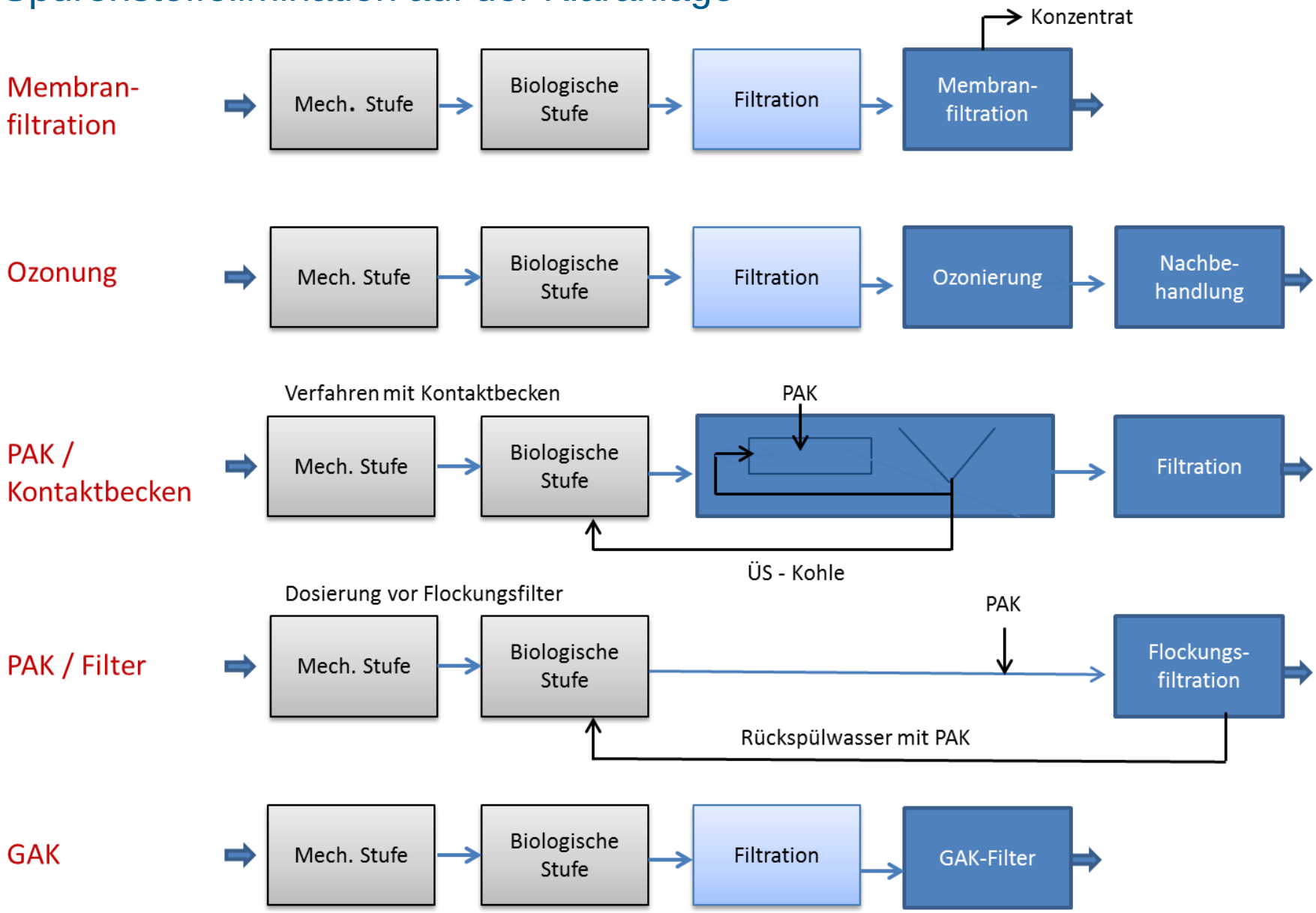
Mikroskopische Aufnahme Aktivkohle





Quelle: H. Fritsche
Fa. Jacobi

Spurenstoffelimination auf der Kläranlage



ZKA Lemgo - Erweiterung der Kläranlage

Projektdaten

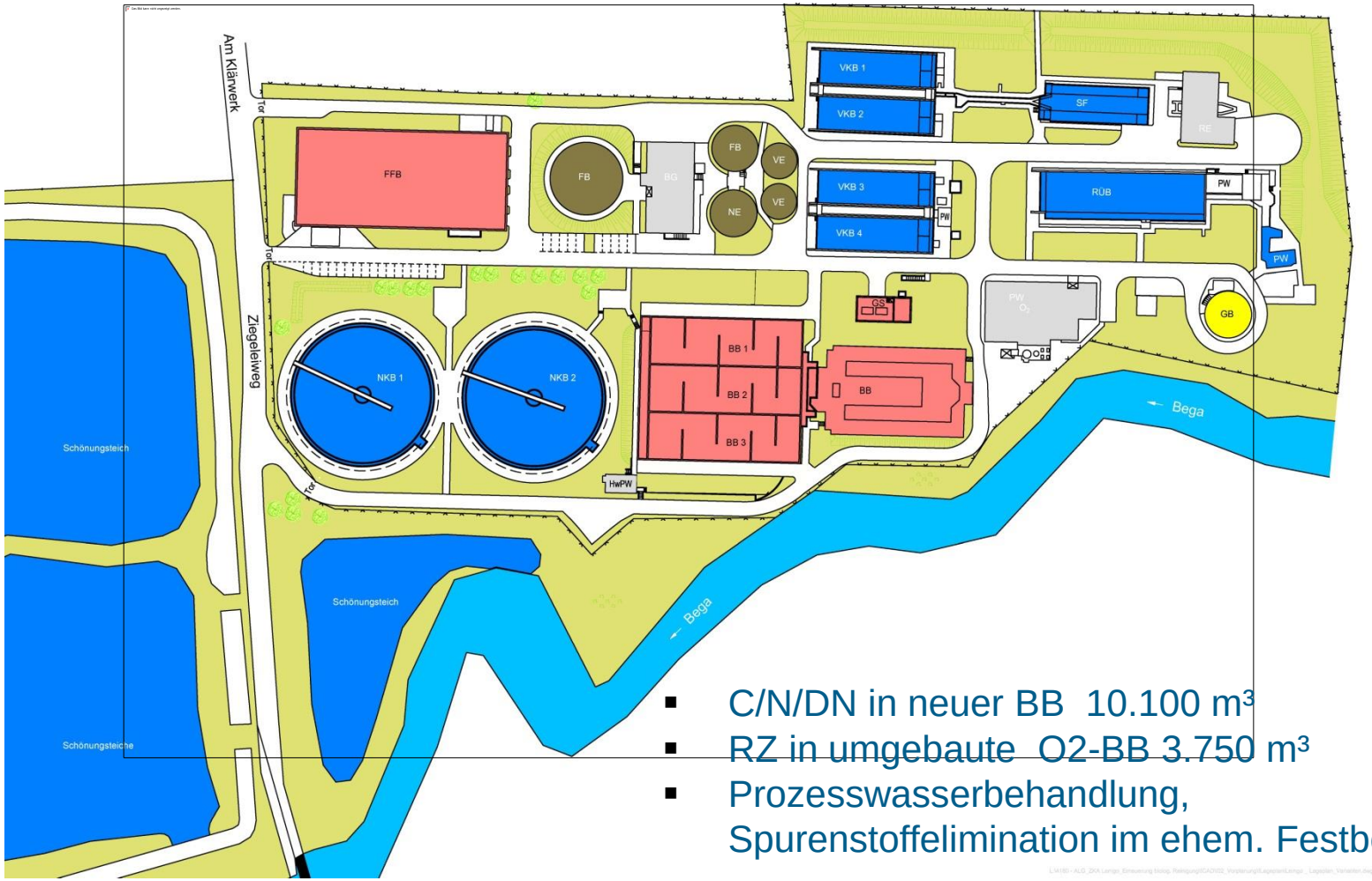
- Ausbaugröße: 77.000 EW
- Mischwasserzufluss: 928 l/s
- Trockenwetterzufluss: 343 l/s

Projektlaufzeit

2013 - 2020

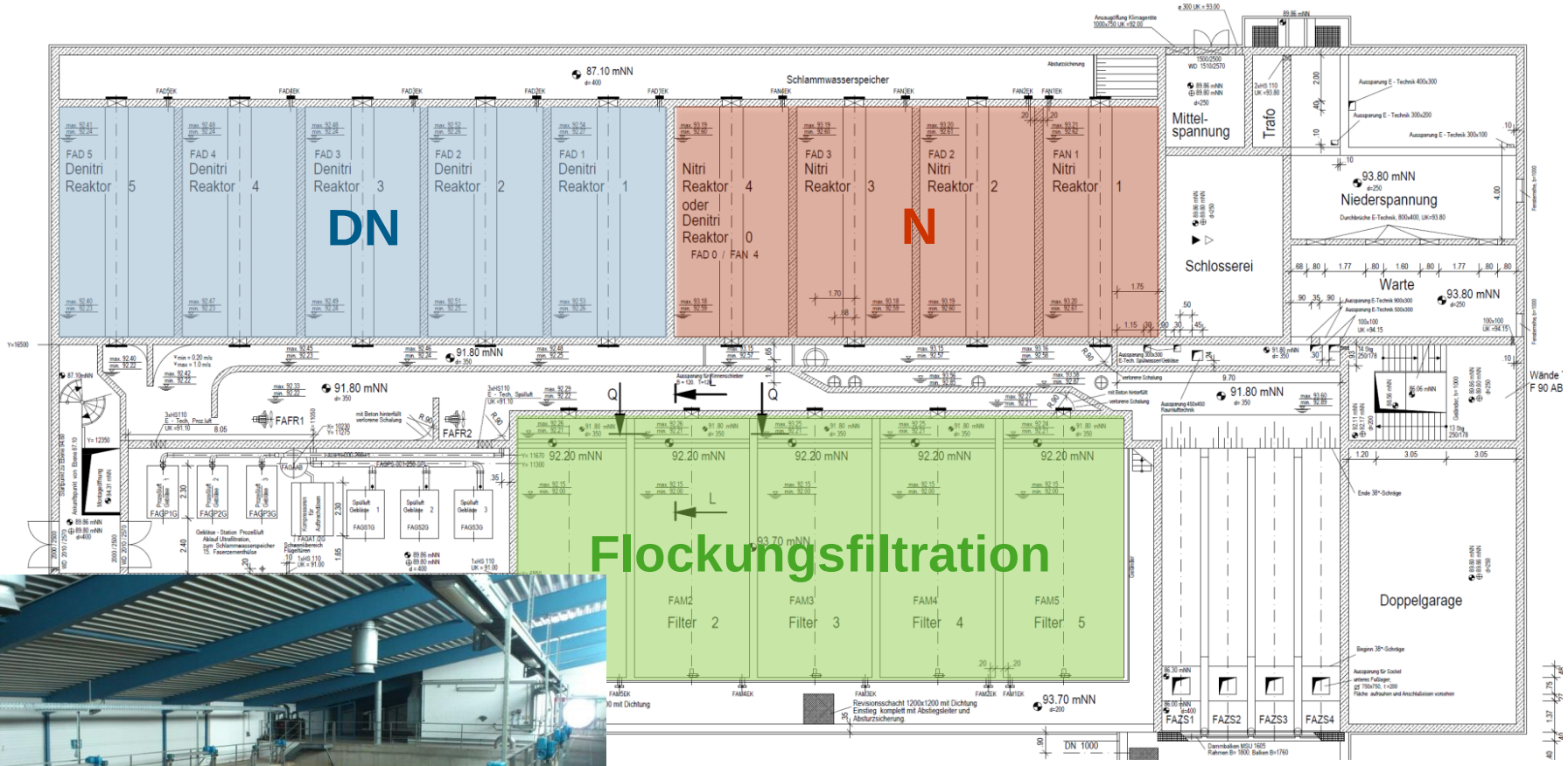
Variantenbeschreibung

Variante 2



- C/N/DN in neuer BB 10.100 m³
- RZ in umgebaute O2-BB 3.750 m³
- Prozesswasserbehandlung, Spurenstoffelimination im ehem. Festbett

ZKA Lemgo - Erweiterung der Kläranlage



Erweiterung der Kläranlage um eine **Prozesswasserbehandlung** (Deammonifikation) und **4. Reinigungsstufe** (Ozonung)

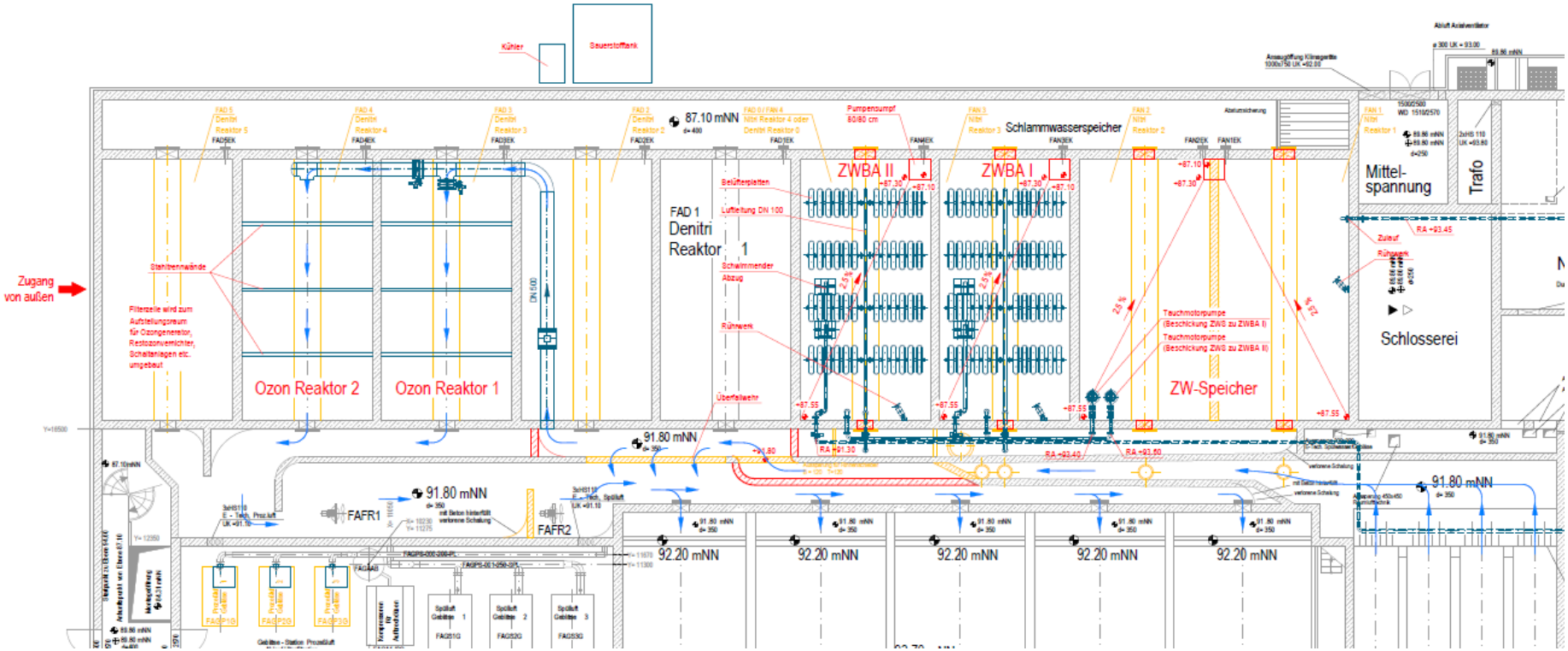
Übersicht an Lösungsmöglichkeiten im Gesamtkonzept

- Einsatz von Ozon
- Einsatz von granulierter Kohle (GAK)
- Zugabe von pulverisierter Kohle (PAK) in den Filterüberstand

Variante 2.1: Ozon im Festbettreaktor

- Planungsaspekte in Lemgo
  - Bemessung auf Kontaktzeit 20 Minuten
  - 2-straßige Ausführung
  - Eintragstiefe 5 m
  - Ausgasungszone
  - Ozonerzeuger 2 - 10 mg O_3/l
  - Betriebskosten i.M. 7,5 mg O_3/l

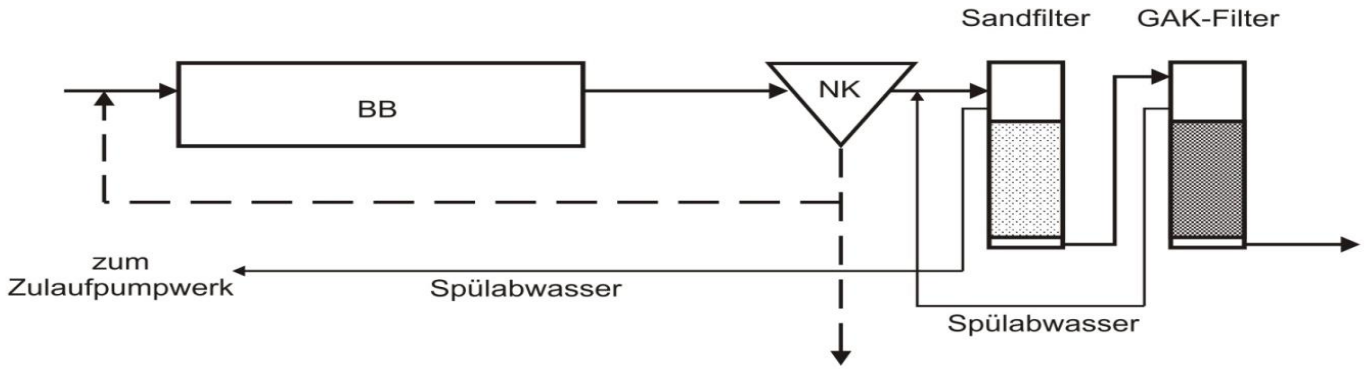
Variante 2.1: Ozon im Festbettreaktor



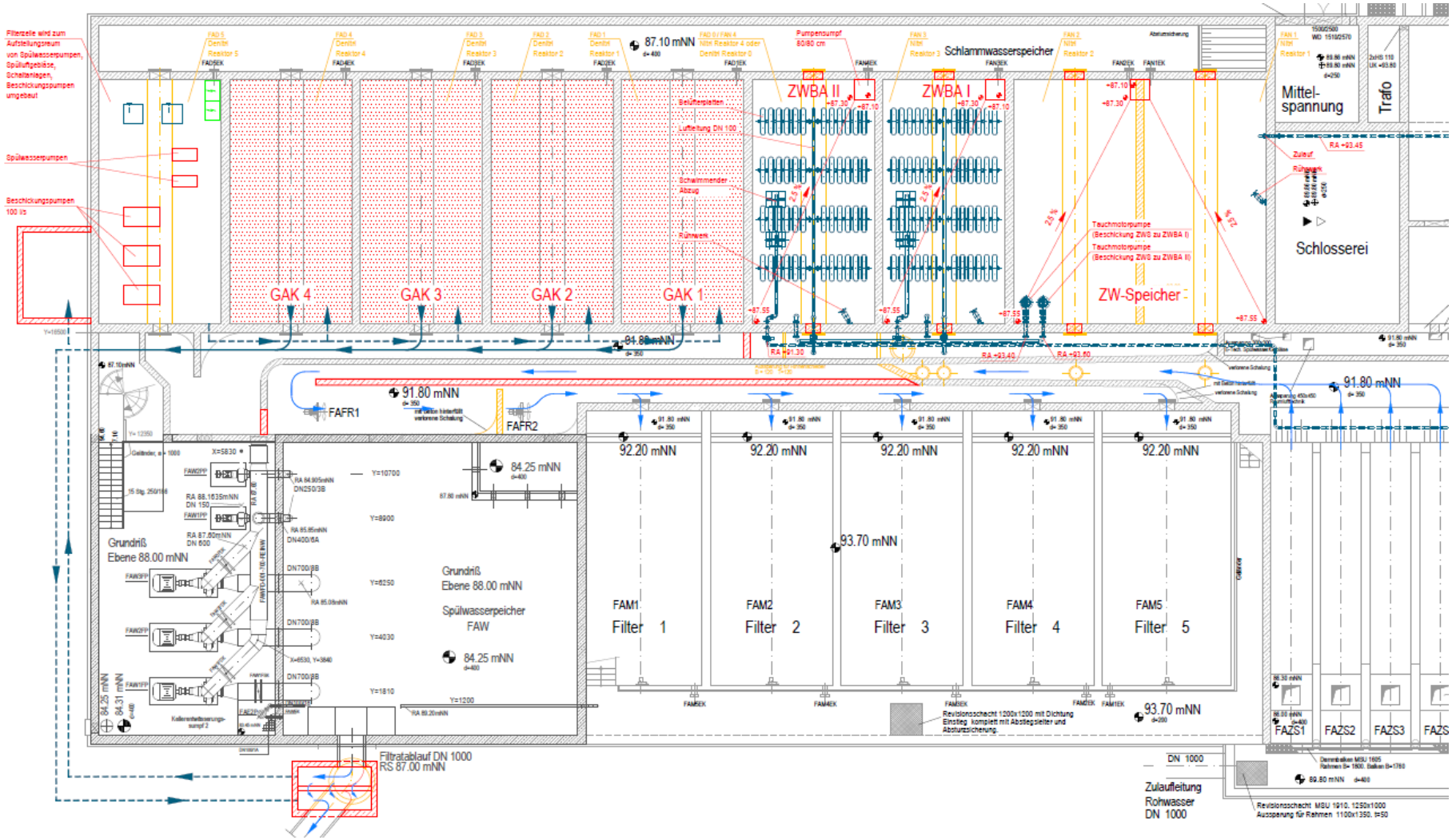
Elimination von Mikroschadstoffen.

Variante 2.2: GAK im Festbettreaktor

- Planungsaspekte in Lemgo
  - Bemessung mit q = 4 m/h
  - Max. WSP: 92,90 müNN, OK Düsenboden: 88,55 müNN
  - Filterhöhe 2,50 m
  - Überstand GAK Filter 2,0 m
  - Kontaktzeit EBCT = 35 - 40 min. (Empty Bed Contact Time)



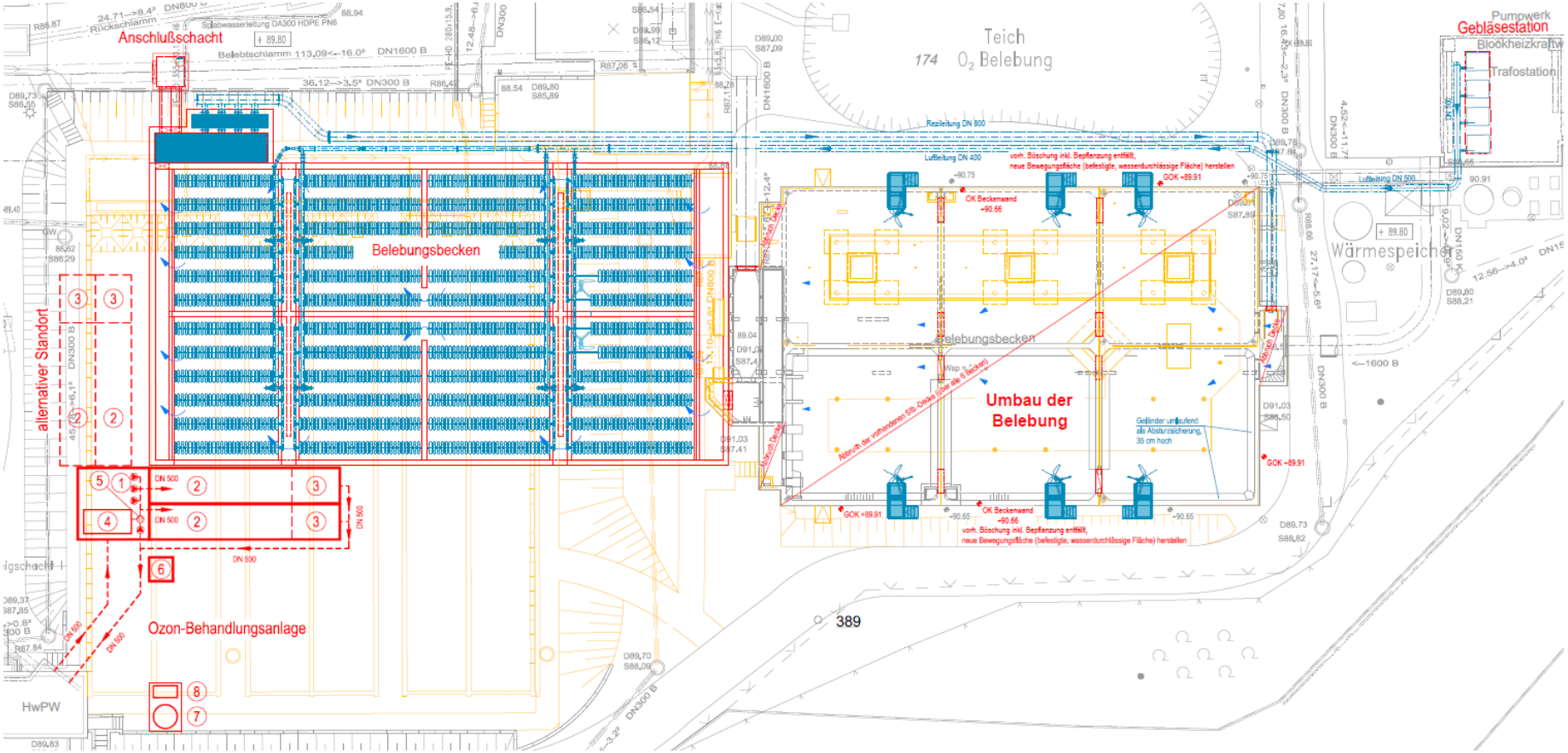
Variante 2.2: GAK im Festbettreaktor



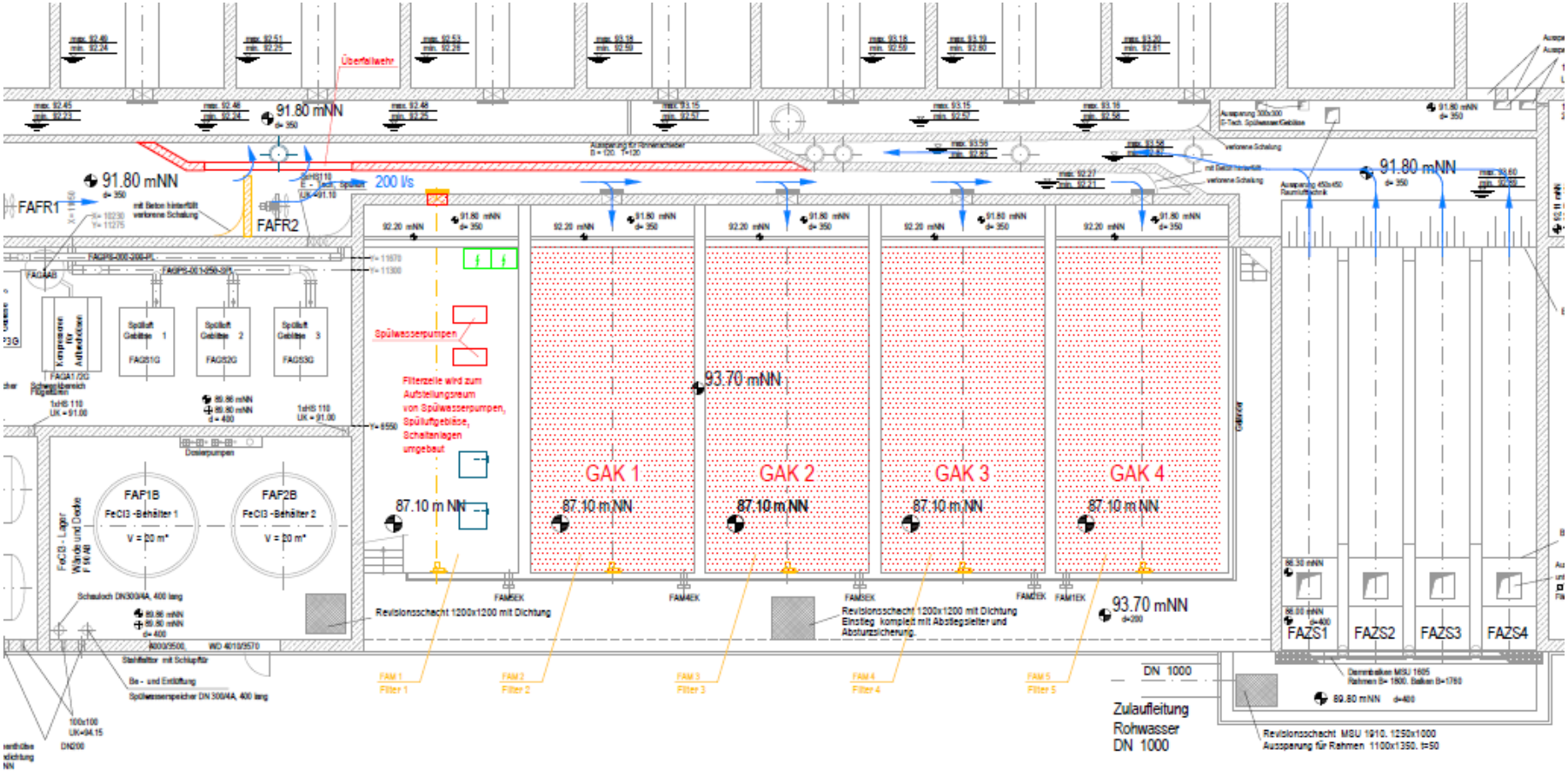
Variante 2.3: Zugabe PAK in den Filterüberstand

- Planungsaspekte in Lemgo
  - Bemessung Kontaktzeit im Überstand Filter „nur“ 35 Minuten (Wupperverband Buchenhofen 40-60 Min.)
  - Relativ hohe Betriebskosten PAK Zugabe von 15 - 20 mg/l
  - Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand Invest-, Betriebs- und Jahreskosten grob durchgeführt
  - Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nicht möglich, Zusatzkosten thermische Entsorgung

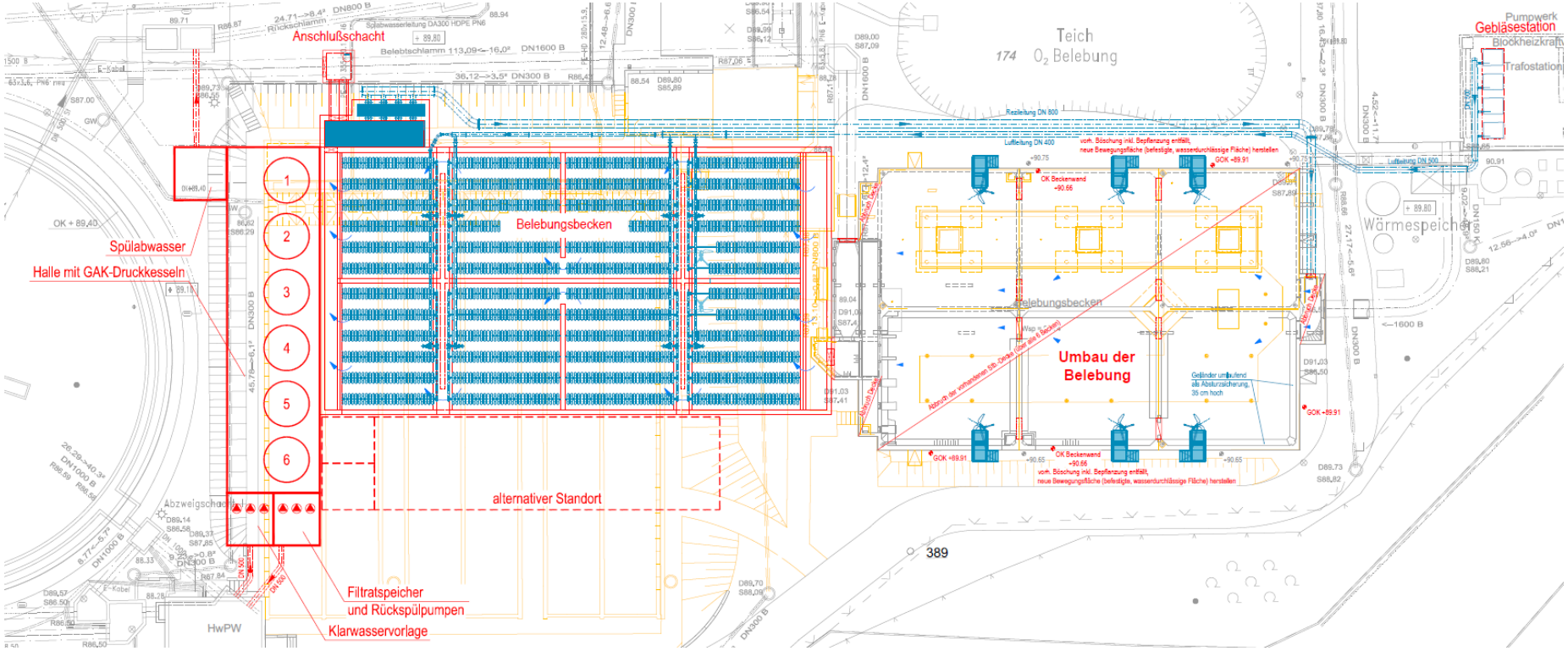
Variante 1.1: Nachgeschaltete Ozonbehandlung



Variante 1.2: GAK in Flockungsfiltration



Variante 1.3: Nachgeschaltete neue GAK-Anlage



Investitionskosten

Pos.	Kurztext	Variante 2.1 Ozonanlage	Variante 2.2 GAK-Filter	Variante 2.3 PAK im Überstand	Variante 1.1 nachgesch. Ozonung	Variante 1.2 GAK-Filter	Variante 1.3 GAK-Druckkessel
1	Bau	333.630,00 €	693.594,00 €	395.320,20 €	683.839,20 €	380.094,00 €	724.812,00 €
2	Maschinentechnik	994.922,40 €	648.960,00 €	956.038,80 €	1.093.477,98 €	639.636,00 €	1.425.174,24 €
3	EMSR-Technik	276.504,48 €	335.638,50 €	405.407,70 €	270.000,00 €	335.638,50 €	270.000,00 €
	Investkosten netto	**1.605.056,88 €**	**1.678.192,50 €**	**1.756.766,70 €**	**2.047.317,18 €**	**1.355.368,50 €**	**2.419.986,24 €**
	+ 19 % MwSt.	**304.960,81 €**	**318.856,58 €**	**333.785,67 €**	**388.990,26 €**	**257.520,02 €**	**459.797,39 €**
	Investkosten brutto	**1.910.017,69 €**	**1.997.049,08 €**	**2.090.552,37 €**	**2.436.307,44 €**	**1.612.888,52 €**	**2.879.783,63 €**
	Investkosten ger.	**1.950.000,00 €**	**2.000.000,00 €**	**2.100.000,00 €**	**2.450.000,00 €**	**1.650.000,00 €**	**2.900.000,00 €**
	Prozente	**96%**	**100%**	**105%**	**122%**	**81%**	**144%**

Betriebskosten

Pos.	Kurztext	Variante 2.1 Ozonanlage	Variante 2.2 GAK-Filter	Variante 2.3 PAK im Überstand	Variante 1.1 nachgesch. Ozonung	Variante 1.2 GAK-Filter	Variante 1.3 GAK-Druckkessel
1	Personal	9.384,26 €	9.384,26 €	9.384,26 €	9.384,26 €	9.384,26 €	9.384,26 €
2	Energie	120.932,44 €	35.675,48 €	12.263,49 €	144.703,70 €	1.860,24 €	32.010,91 €
3	Chemikalien	88.695,00 €	179.200,00 €	175.750,00 €	88.695,00 €	248.000,00 €	179.200,00 €
4	Schlammentsorgung	0,00 €	0,00 €	98.990,00 € *	0,00 €	0,00 €	0,00 €
5	Wartung/ Versicherungen	43.147,26 €	39.941,87 €	46.773,20 €	51.161,93 €	34.959,65 €	61.727,41 €
	Betriebskosten netto	**262.158,96 €**	**264.201,61 €**	**244.170,95 €**	**293.944,89 €**	**292.362,51 €**	**282.322,58 €**
	+ 19 % MwSt.	**49.810,20 €**	**50.198,31 €**	**46.392,48 €**	**55.849,53 €**	**55.548,88 €**	**53.641,29 €**
	Betriebskosten brutto	**311.969,16 €**	**314.399,92 €**	**290.563,42 €**	**349.794,42 €**	**347.911,39 €**	**335.963,86 €**
	Prozente	**99%**	**100%**	**92%**	**111%**	**111%**	**107%**

* Kosten der Schlammentsorgung sind nicht in der Endsumme berücksichtigt

Jahreskosten

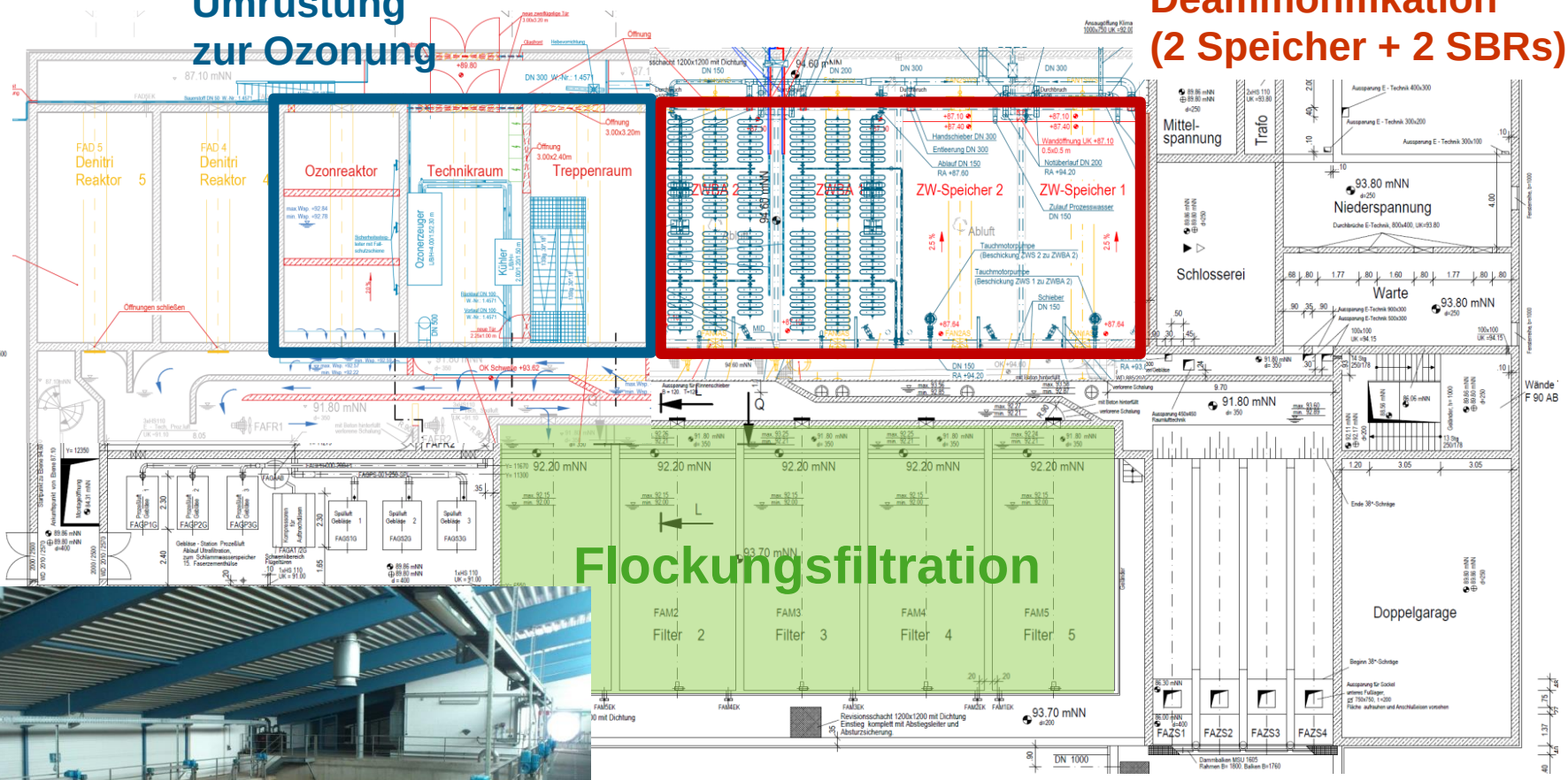
	Variante 2.1 Ozonanlage		Variante 2.2 GAK-Filter		Variante 2.3 PAK im Überstand		Variante 1.1 nachgesch. Ozonung		Variante 1.2 GAK-Filter		Variante 1.3 GAK-Druckkessel	
	€/a		€/a		€/a		€/a		€/a		€/a	
Kapitalkosten												
1. Anteil Bau												
Investitionskosten (€)	**333.630 €**	**17.022 €/a**	**693.594 €**	**35.387 €/a**	**395.320 €**	**20.169 €/a**	**683.839 €**	**34.889 €/a**	**380.094 €**	**19.392 €/a**	**724.812 €**	**36.979 €/a**
Abschreibungsdauer (Jahre)	30		30		30		30		30		30	
Verzinsung (%)	3,0		3,0		3,0		3,0		3,0		3,0	
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,0510		0,0510		0,0510		0,0510		0,0510		0,0510	
2. Anteil Maschinentechnik												
Investitionskosten (€)	**994.922 €**	**116.635 €/a**	**648.960 €**	**84.043 €/a**	**956.039 €**	**123.811 €/a**	**1.093.478 €**	**141.610 €/a**	**639.636 €**	**82.836 €/a**	**1.425.174 €**	**184.567 €/a**
Abschreibungsdauer (Jahre)	10		10		10		10		10		10	
Verzinsung (%)	3,0		5,0		5,0		5,0		5,0		5,0	
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,1172		0,1295		0,1295		0,1295		0,1295		0,1295	
3. Anteil EMSR-Technik												
Investitionskosten (€)	**276.504 €**	**32.415 €/a**	**335.639 €**	**39.347 €/a**	**405.408 €**	**47.526 €/a**	**270.000 €**	**31.652 €/a**	**335.639 €**	**39.347 €/a**	**270.000 €**	**31.652 €/a**
Abschreibungsdauer	10		10		10		10		10		10	
Verzinsung (%)	3,0		3,0		3,0		3,0		3,0		3,0	
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,1172		0,1172		0,1172		0,1172		0,1172		0,1172	
Summe Investitionskosten (€)	**1.605.057 €**		**1.678.193 €**		**1.756.767 €**		**2.047.317 €**		**1.355.369 €**		**2.419.986 €**	
Summe Kapitalkosten		**166.072 €/a**		**158.777 €/a**		**191.506 €/a**		**208.152 €/a**		**141.575 €/a**		**253.198 €/a**
Betriebskosten Gesamt		**262.159 €/a**		**264.202 €/a**		**244.171 €/a**		**293.945 €/a**		**294.204 €/a**		**282.323 €/a**
Jahreskosten (netto)		**428.231 €/a**		**422.979 €/a**		**435.677 €/a**		**502.096 €/a**		**435.779 €/a**		**535.521 €/a**
+ 19 % MwSt.		81.364 €/a		80.366 €/a		82.779 €/a		95.398 €/a		82.798 €/a		101.749 €/a
Jahreskosten (brutto)		**509.594 €/a**		**503.345 €/a**		**518.456 €/a**		**597.495 €/a**		**518.577 €/a**		**637.270 €/a**
		100%		**99%**		**102%**		**117%**		**103%**		**127%**

ZKA Lemgo - Erweiterung der Kläranlage

Abwasserbeseitigungsgesellschaft Lemgo GmbH

Umrüstung zur Ozonung

Umrüstung zur Deammonifikation (2 Speicher + 2 SBRs)



Flockungsfiltration

Erweiterung der Kläranlage um eine **Prozesswasserbehandlung** (Deammonifikation) und **4. Reinigungsstufe** (Ozonung)

Kläranlage Emschermündung, Technikum – Kernprozess Abwasserreinigung

- Mikroschadstoffe – Neues Technikum in Dinslaken (KLEM)

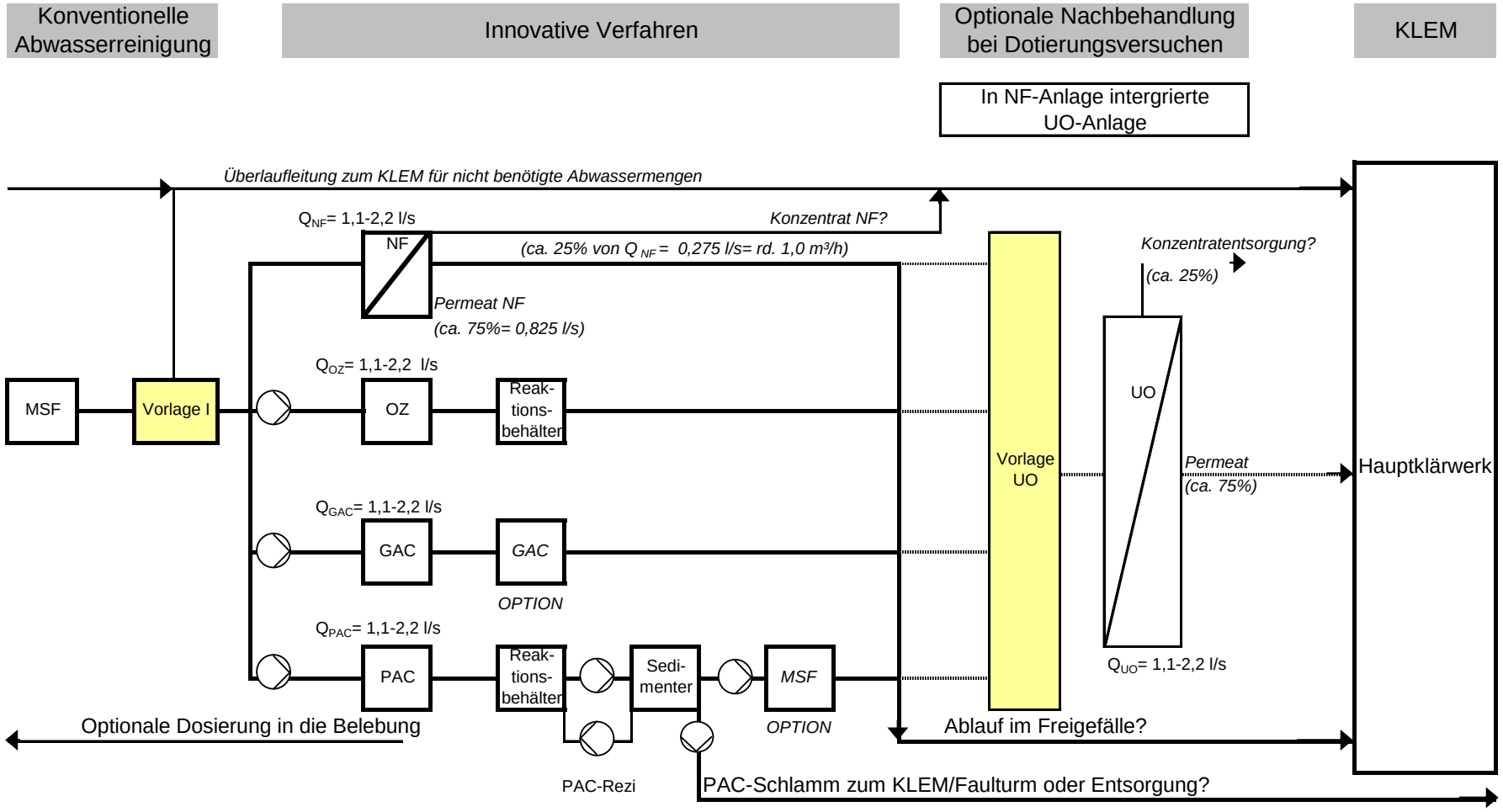
Versuchskläranlage mit 1.000 EW

Parallele Behandlung mit 4 Verfahren

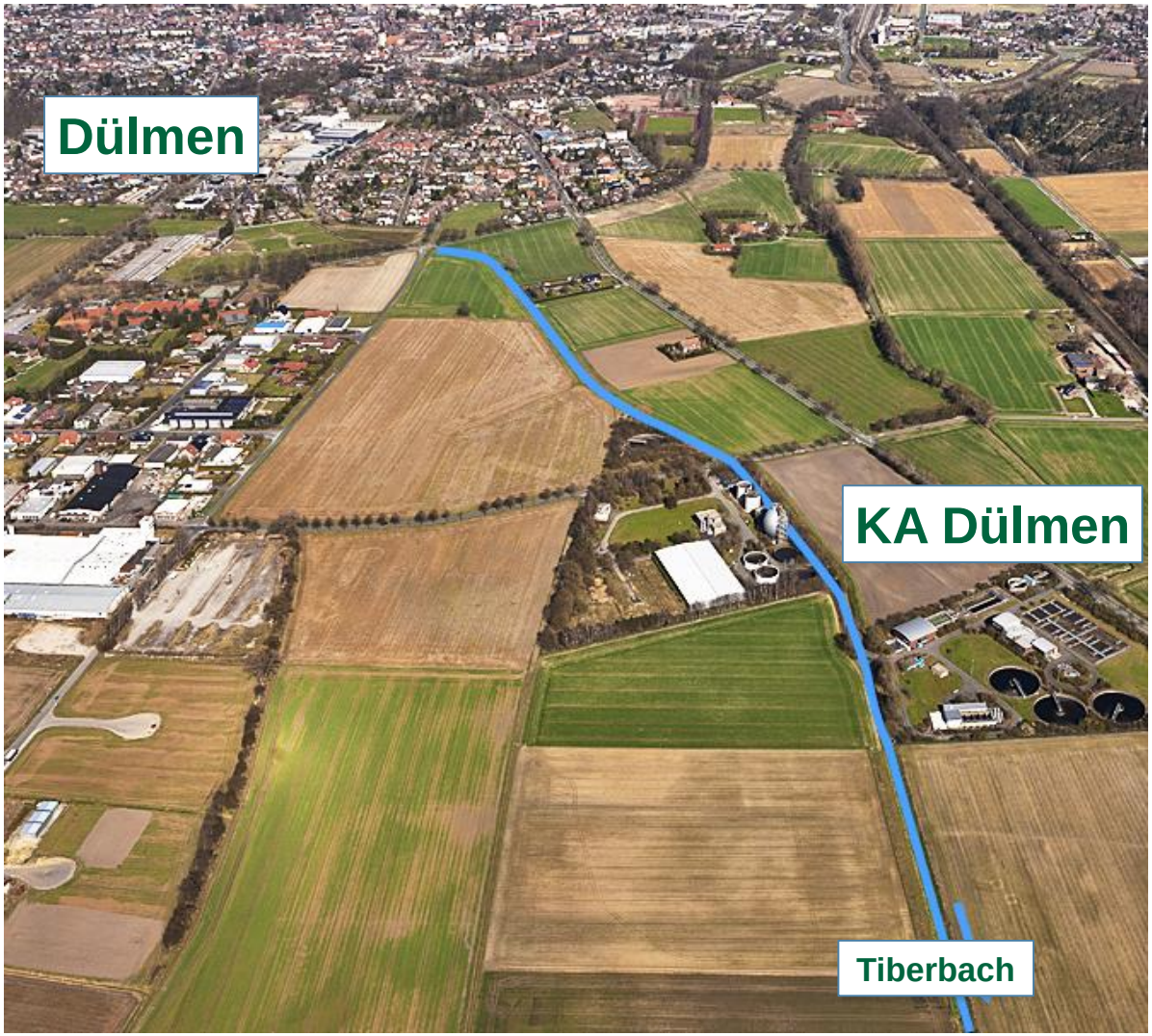
- Ozonierung (OZ)
- Pulveraktivkohle (PAK)
- Aktivkohlefilter (GAK)
- Nanofiltration (NF)
- Endbehandlung durch Umkehrosmose (UO)

© Emschergenossenschaft

Kläranlage Emschermündung, Technikum - Verfahrenskonzept



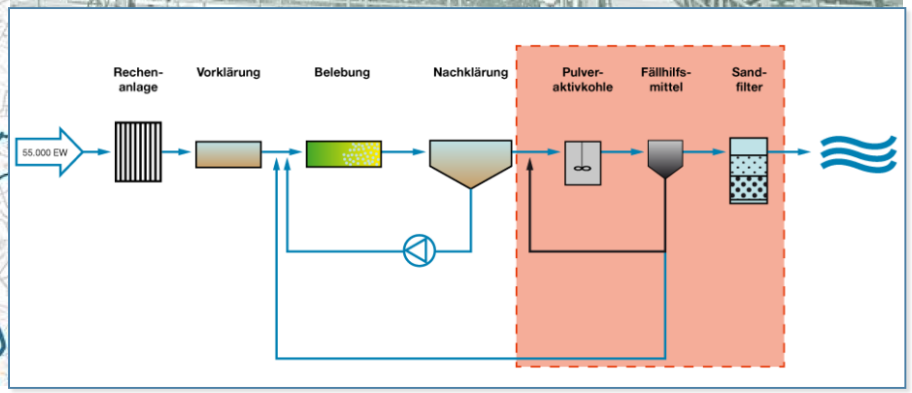
Spurenstoffelimination
Aktivkohlefiltration Kläranlage Dülmen - Screening Tiberbach



- Kaskadiertes Messprogramm
- Messung vor und hinter der Kläranlage
- Bestimmung relevanter Parameter
- Sedimentbewohner werden mit Stressmarkern beobachtet
- Biologische Bewertung

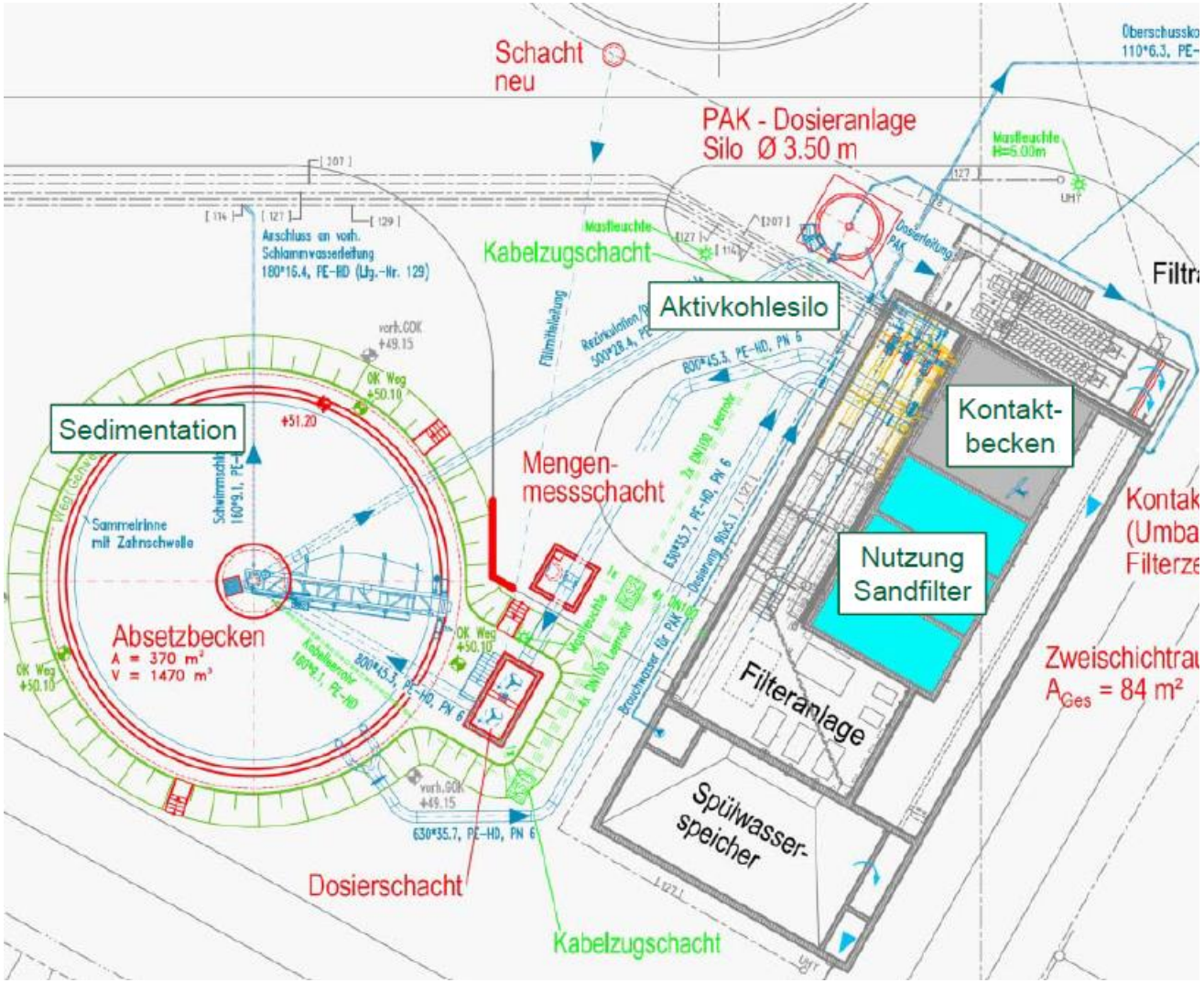
Spurenstoffelimination
Aktivkohlefiltration Kläranlage Dülmen

- **Auslegung der Anlage auf 200 l/s Trockenwetterabfluss**
- **Investition 4,0 Mio. €**
  (Förderquote > 90 %)
- **Umbau von zwei Filterkammern 330 m³**
- **Bau eines Sedimentationsbeckens 1.440 m³**
- **Nutzung des vorhandenen Sandfilters**

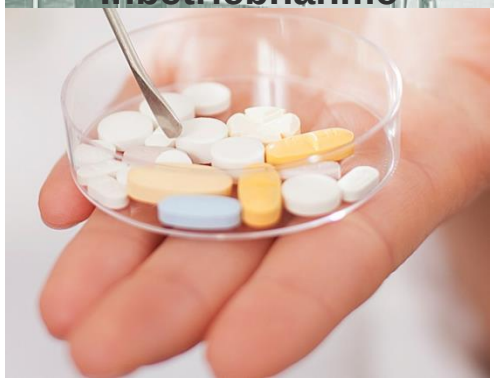


Spurenstoffelimination
Aktivkohlefiltration Kläranlage Dülmen

Spurenstoffelimination
Aktivkohlefiltration Kläranlage Dülmen



- **Februar 2013**
  Entwurfsplanung
- **Juli 2013**
  Genehmigung
- **November 2013**
  Ausschreibung
- **Februar 2014**
  Baubeginn
- **April 2016**
  Inbetriebnahme



Referenzprojekt KA Dülmen
Spurenstoffelimination, Inbetriebnahme 20.05.2016

Stadtentwässerungs-
betriebe Köln, AöR

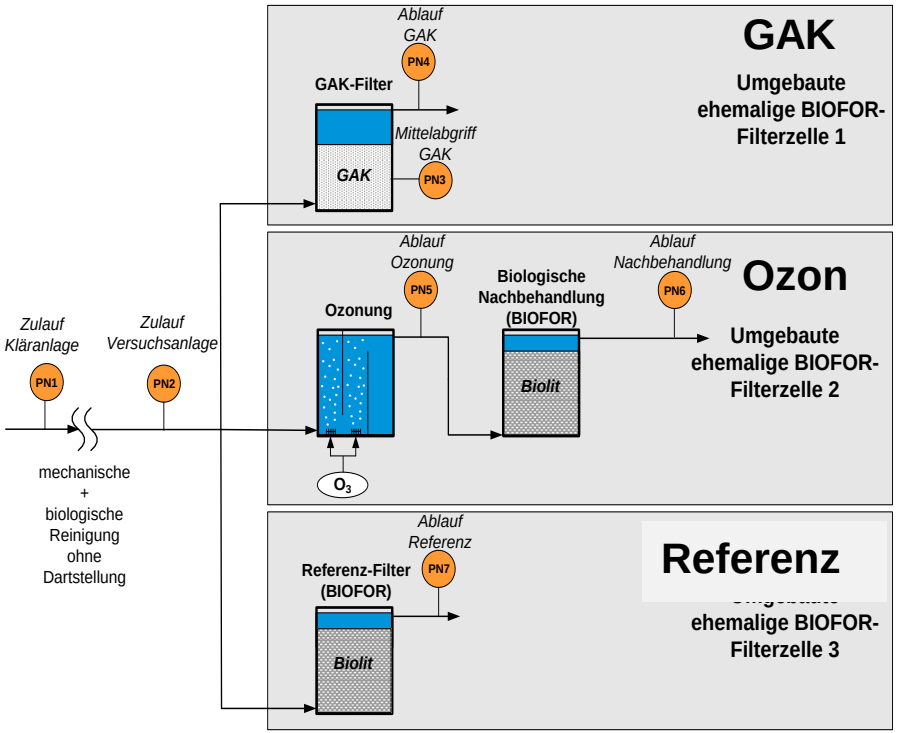
Projekttitel: „AdOx Köln - Umrüstung der Kölner BIOFOR-Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination“

Zwei Klärwerke im Fokus!

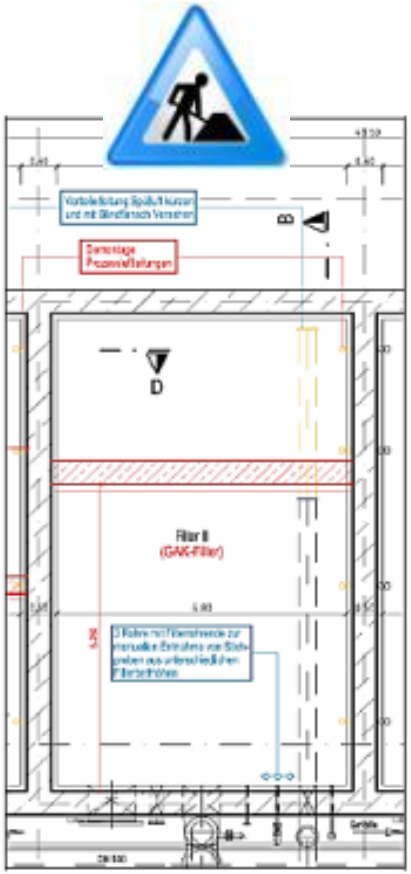
	AKW Rodenkirchen (KRO)	GKW Stammheim (GKW)
Ausbaugröße EW_{CSB}	88.000 EW	1.570.000 EW
Anteil an Kölner Abwässern	5 %	80 %
Filtertyp hinter Nachklärung	BIOFOR	BIOFOR
Anzahl BIOFOR-Filterzellen	6	48
Filterfläche Gesamt	240 m²	3.500 m²

AdOx Köln - Projektkonzept

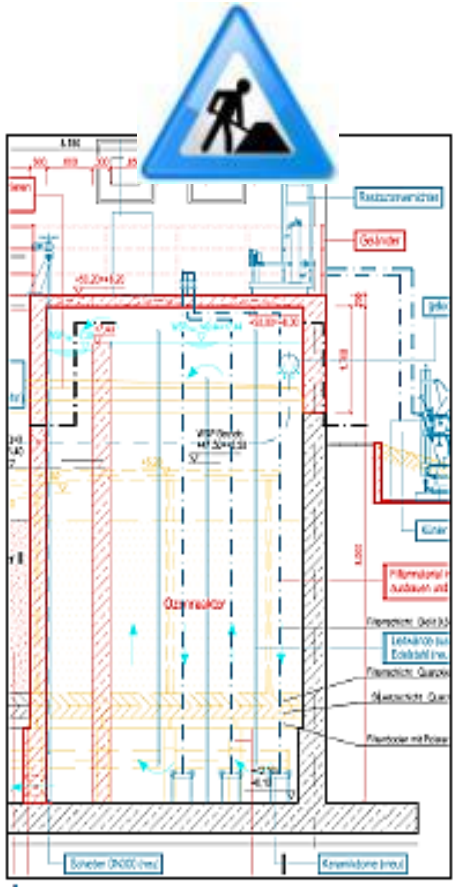
Stadtentwässerungs-betriebe Köln, AöR



→ **Verfahren sollen 3-straßig parallel betrieben werden**



Umbau Filter 1 Aktivkohlefilter



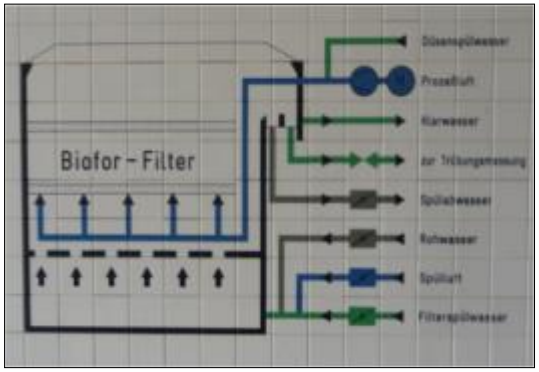
Umbau Filter2 Ozonreaktor

AdOx Köln -
Umrüstung zur Spurenstoffelimination

Stadtentwässerungs-
betriebe Köln, AöR

- Behandlung eines Teilstroms (TW-Zufluss 175 l/s)
- Vergleich unterschiedlicher Verfahren zur Spurenstoffelimination:
  - Ozonung
  - Filtration mit granulierter Aktivkohle
  - (Biofor-Referenzfilter)

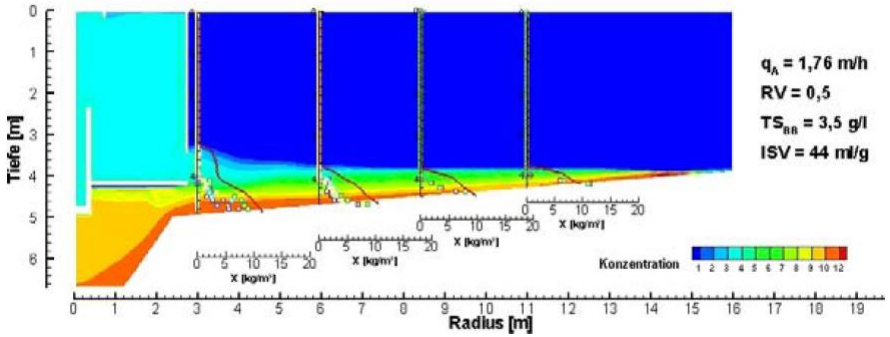
- Paralleler Betrieb aller 3 Reaktoren unter gleichen Randbedingungen
  → direkter Vergleich der Verfahren möglich
  - Eliminationsleistung
  - Betriebs- und Investitionskosten
  - Energieverbrauch
  - betriebliche Aspekte

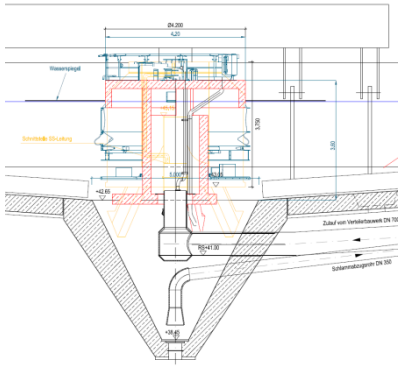


AdOx Köln -
Nachklärung mit Adaptbauwerken

Stadtentwässerungs-
betriebe Köln, AöR

- 2 von 3 Nachklärbecken mit Adaptbauwerken ausgerüstet
- Höhenvariables Einlaufbauwerk
  → Anpassen der Höhenlage und Öffnungsweite an die schwankenden Zulaufbelastungen
- AFS-Konzentration im Ablauf NK
  < 5 mg/l (im Mittel)



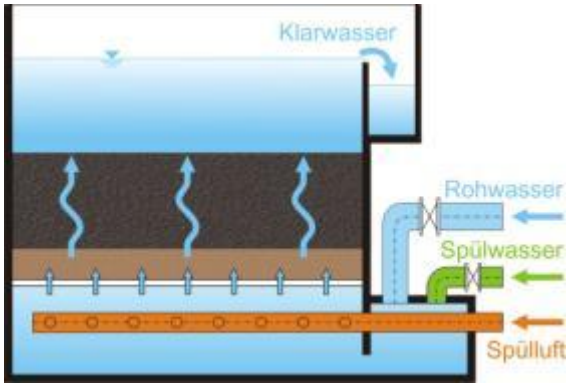


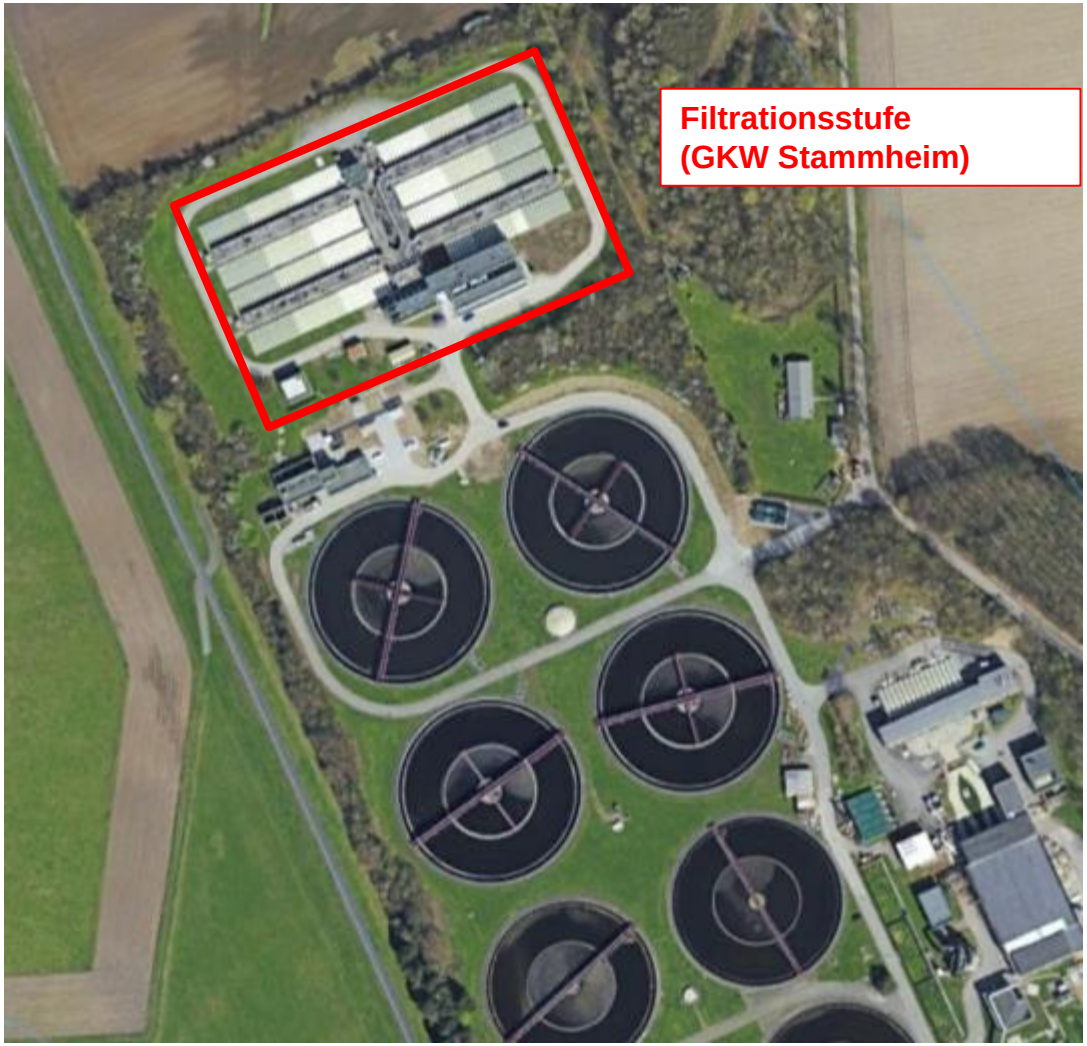
Hydro Ingenieure

AdOx Köln - Projektbeschreibung

Stadtentwässerungs-betriebe Köln, AöR

- Umrüstung der Kölner BIOFOR-Flockungsfilter zur Spurenstoffelimination
- Köln Stammheim





AdOx Köln - Projektbeschreibung

Stadtentwässerungs-betriebe Köln, AöR

Projekt „AdOx Köln" – Einweihung der Pilotanlage zur Spurenstoffelimination im Klärwerk Köln-Rodenkirchen

Veröffentlicht: 17. März 2017

Am 14.03.2017 wurde die von der Hydro-Ingenieure GmbH geplante Pilotanlage zur Spurenstoffelimination im Klärwerk Köln-Rodenkirchen eingeweiht. Die Einweihung fand im festlichem Rahmen mit zahlreichen Vertretern der Stadt Köln, Aufsichtsbehörden, MKULNV Düsseldorf sowie weiteren eingeladenen Gästen statt.

Die Anlage soll insbesondere Aufschluss zu wirtschaftlichen und betrieblichen Erfahrungswerten der Verfahrenstechnologien Ozon und GAK gebe
Entscheidungsgrundlage für den eventueller
dem Großklärwerk Köln-Stammheim zu scha

Bei Fragen steht Ihnen unser Herr Niehoff g
der Telefonnummer +49 (211) 44991-41 zur

© 2017 HYDRO-INGENIEURE GMBH | STOCKKAMPSTRAßE 10 | 40477 DÜSSELDORF | TELEFON: +4

Vorträge und Messen

Planungsaspekte bei Spurenstoffprojekten

- Jede Kläranlage ist und bleibt individuell
- Grundlagenermittlung ist maßgebend für wirtschaftlich optimierte Planung
- Ggf. Pilotierung prüfen, um Betriebskosten zu optimieren
- Spurenstoffelimination beginnt mit der Nachklärung/Vorbehandlung
- Investitions- und Betriebskosten sind abhängig von den spezifischen Randbedingungen vor Ort, den Förder- und Verrechnungsmöglichkeiten

Vielen Dank

für Ihre Aufmerksamkeit!