

Aufbereitung von Schwimmbeckenwasser mit Kornaktivkohle - Oberflächenkatalytische Effekte und Filterverkeimung

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Uhl
wolfgang.uhl@mailbox.tu-dresden.de

Aufbereitung von Schwimmbeckenwasser (DIN 19643)

Teil 2	Teil 3	Teil 4	Teil 5
Adsorption (PAK)	Flockung	Flockung	Flockung
Flockung	Filtration (Einschicht)	Ozonung	Filtration
Filtration	Ozonung	Filtration (Zweischicht)	Adsorption (GAK)
<u>Chlorung</u>	Adsorption (GAK)	<u>Chlorung</u>	<u>Chlorung</u>
	<u>Chlorung</u>		

Problemstellung (1)

- **In den nächsten Jahren wird zunehmender Teil von Schwimmbädern mit Kornaktivkohle aufbereiten**
- **Nachrüstung alter Anlagen; z. Teil Verfahren abseits der DIN (z. B. Aufbringen Korn-AK auf Schnellfilter)**
- **An AK weitgehende Entfernung unerwünschter Wasserinhaltsstoffe (geb. Chlor, THM-Präkursoren, Nährstoffe für Mikroorganismen)**
- **Mechanismen: physikal. Adsorption, Chemisorption, oberflächenkatalytische Reaktionen, biologischer Abbau**

Problemstellung (2)

- Spezielle **Kohlen für oberflächenkatalytische Umsetzungen** lassen optimale Raum-Zeit-Ausbeuten erwarten
- Bei katalytischen Umsetzungen entstehende abbaubare Stoffe können zu **beschleunigten Filterverkeimungen** führen
- Filterverkeimungen **kaum durch Chlor-Spülungen beseitigbar**
- Bislang nicht bekannt, wie lange katalytische Prozesse anhalten
 - **Wirtschaftlichkeit** ist daher nicht einschätzbar
 - Mögliche **Verkeimungsprobleme** kaum einschätzbar

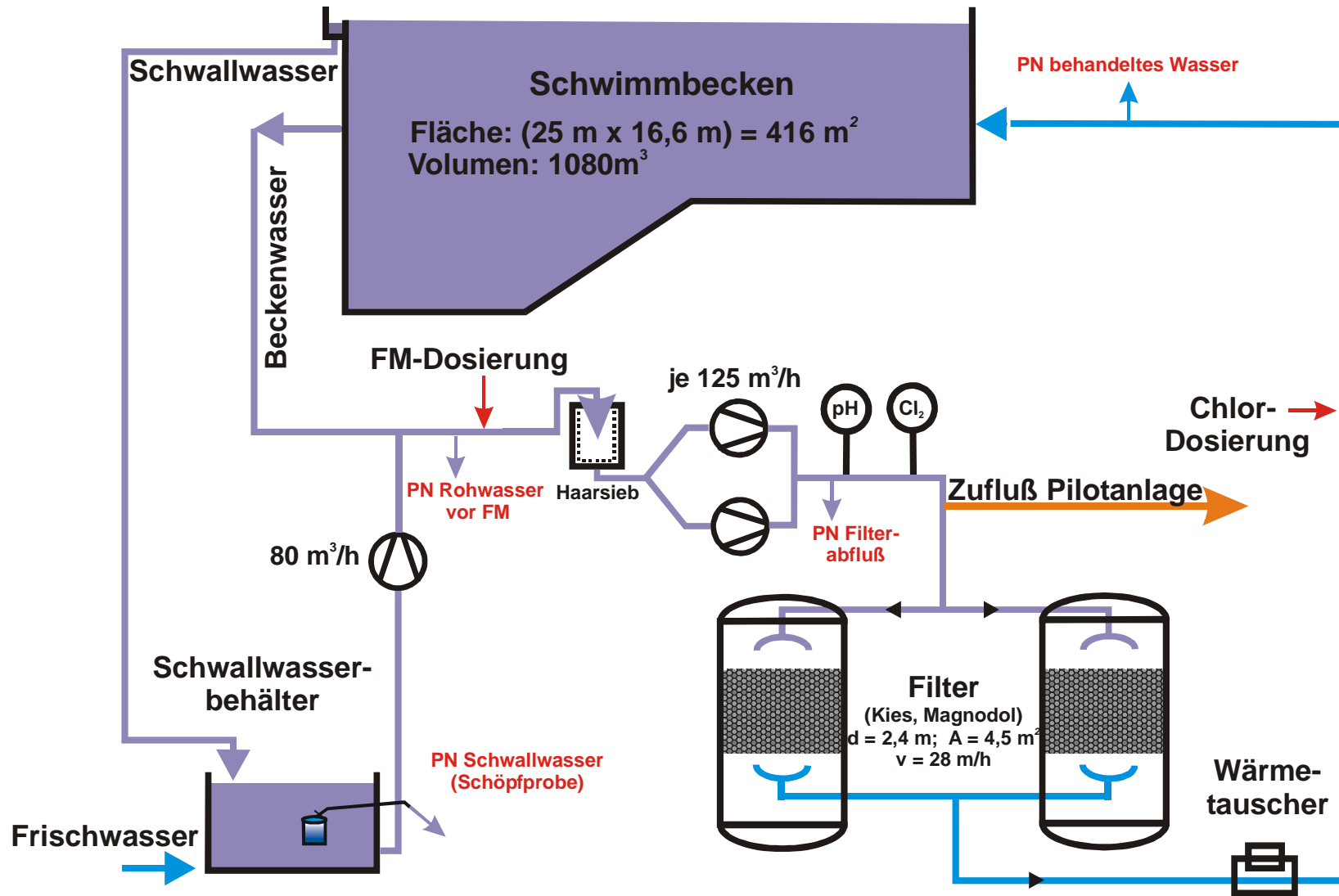
Ziele des Projektes

- Herausarbeiten der in verschiedenen AK-Schüttungen ablaufenden **chemischen und mikrobiologischen Prozesse**
- Ermittlung des **Abklings** chemisch-katalytischer und adsorptiver **Entfernungsleistungen**
- Ermittlung und Bewertung der **Verkeimungsneigung** der verschiedenen AK
- Einschätzung der **Wirtschaftlichkeit** verschiedener AK unter Berücksichtigung von:
Raum-Zeit-Ausbeute/AK-Volumen; Materialkosten; Verkeimungsneigung; Entfernung partikulärer Stoffe; Druckverlustentwicklung

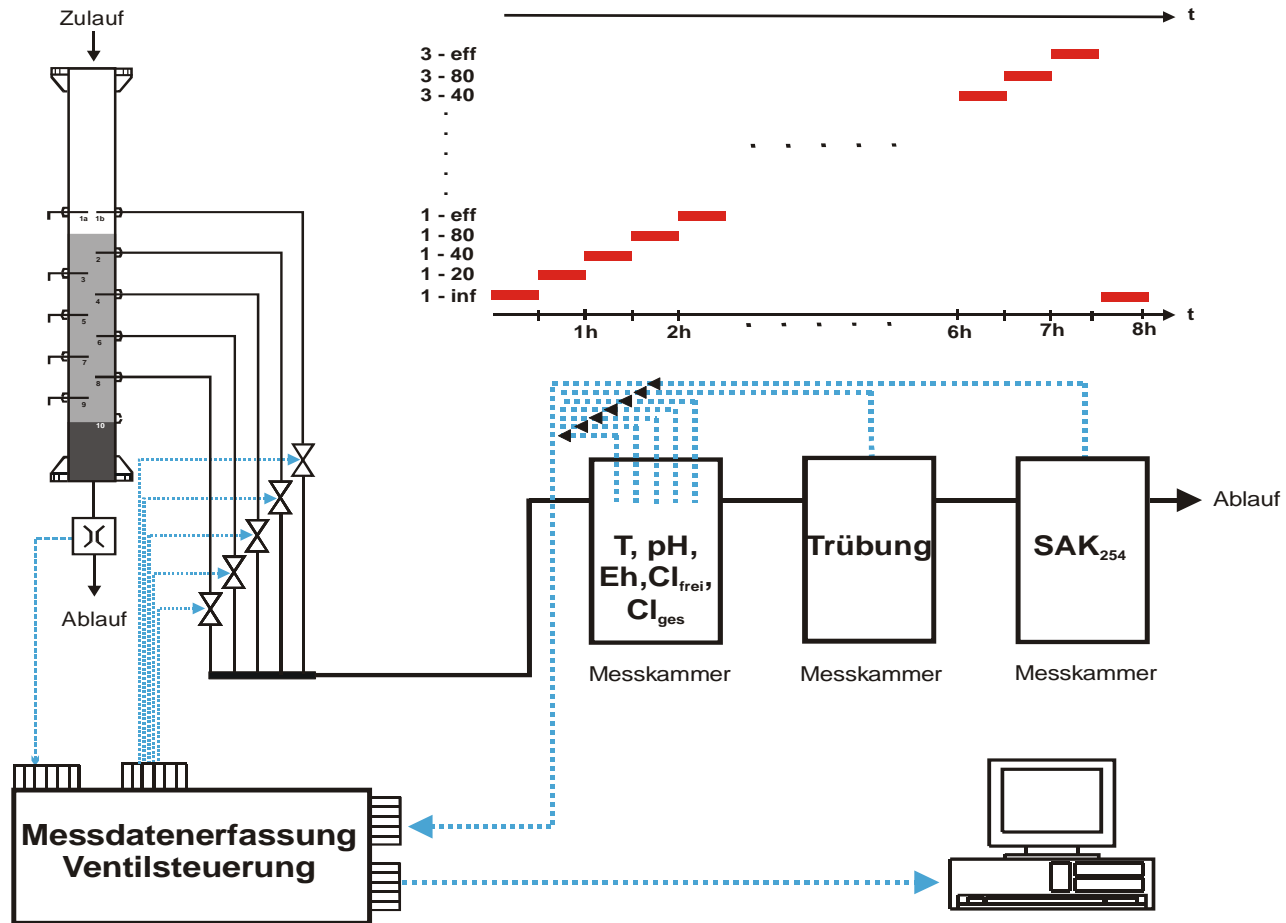
Vorgehensweise

- Betrieb einer Versuchsanlage unter **praxisnahen Bedingungen** in einem Schwimmbad
- Untersuchung eines **langen Zeitraumes** (ca. 12 Monate)
- Drei **verschiedene Aktivkohlen** vergleichbarer Körnung
- **Online**-Messdatenerfassung
- große Anzahl **offline-Analysen** (chemisch, mikrobiologisch)

Aufbereitung im Schwimmbad und Position der Versuchsanlage



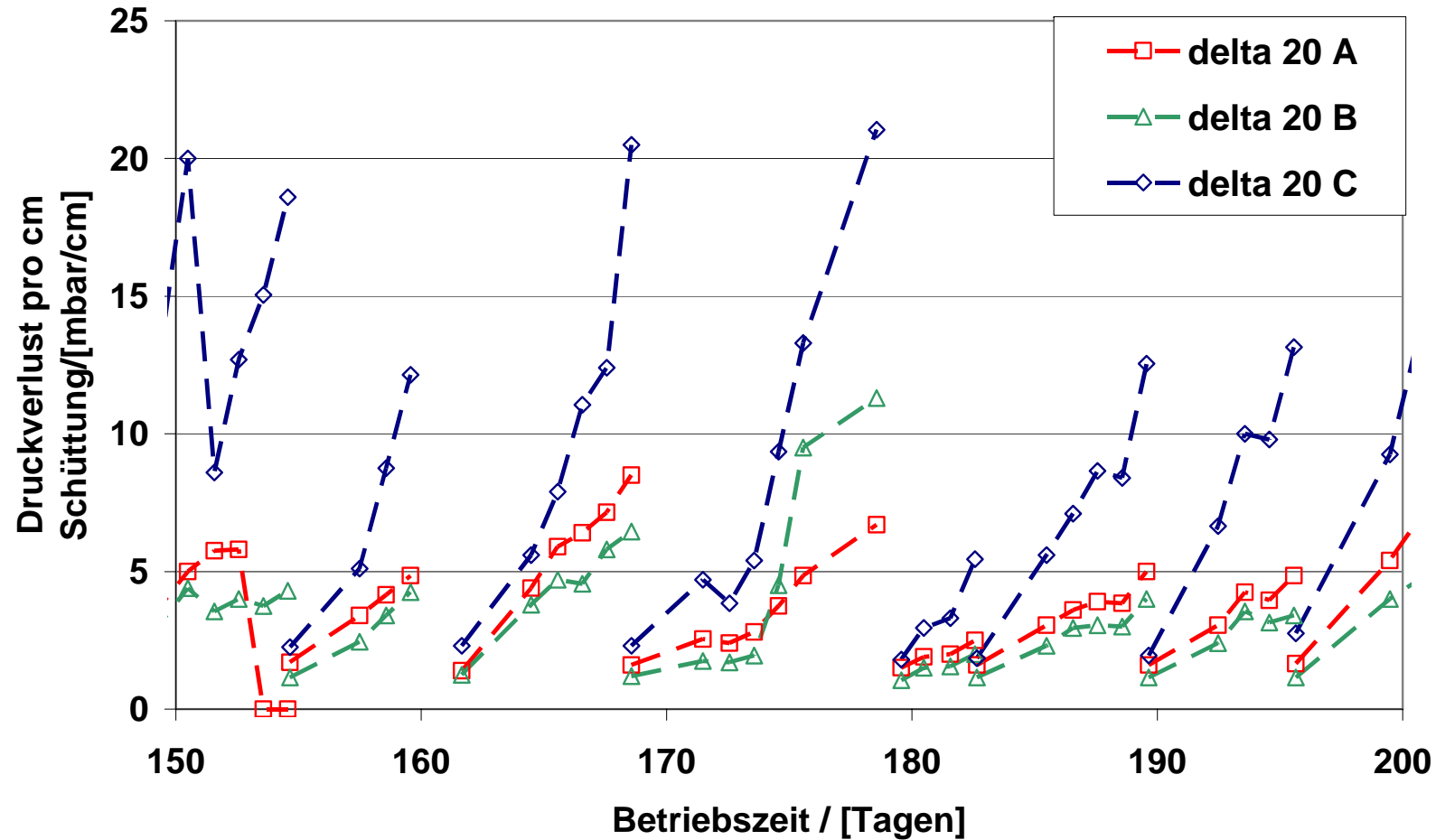
Fließbild Versuchsanlage

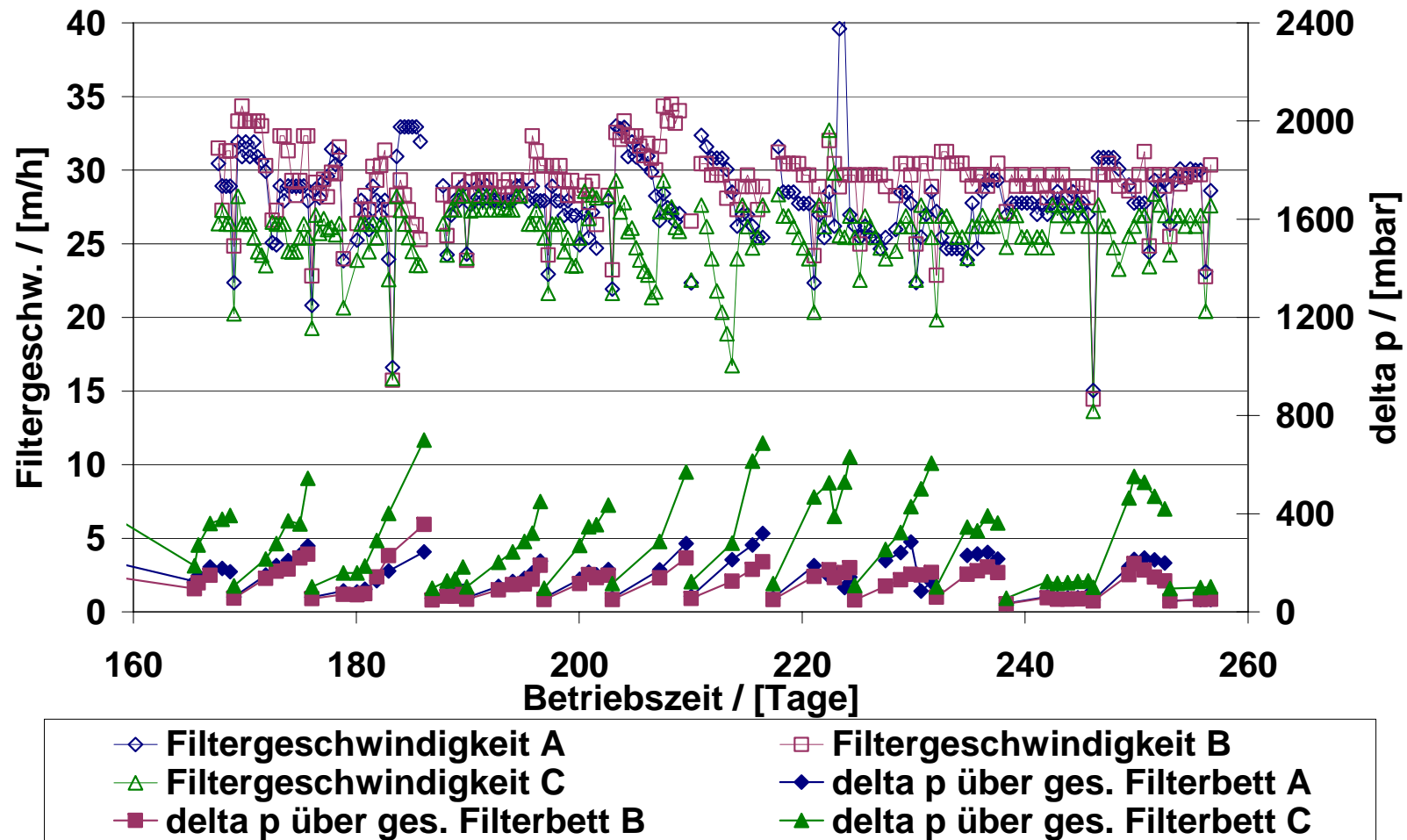




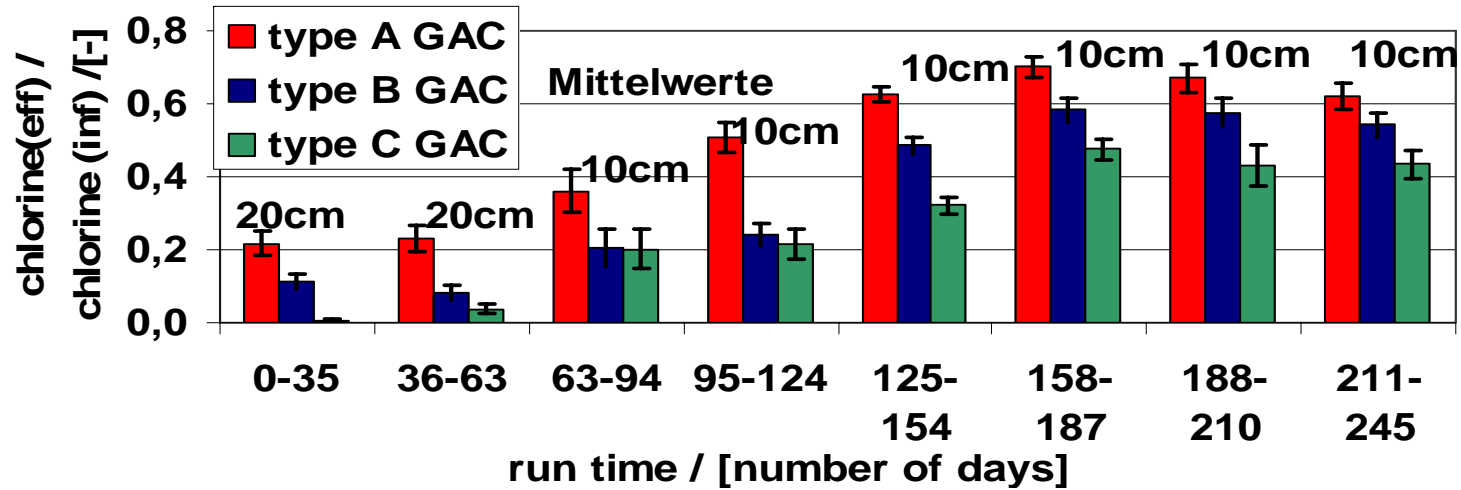
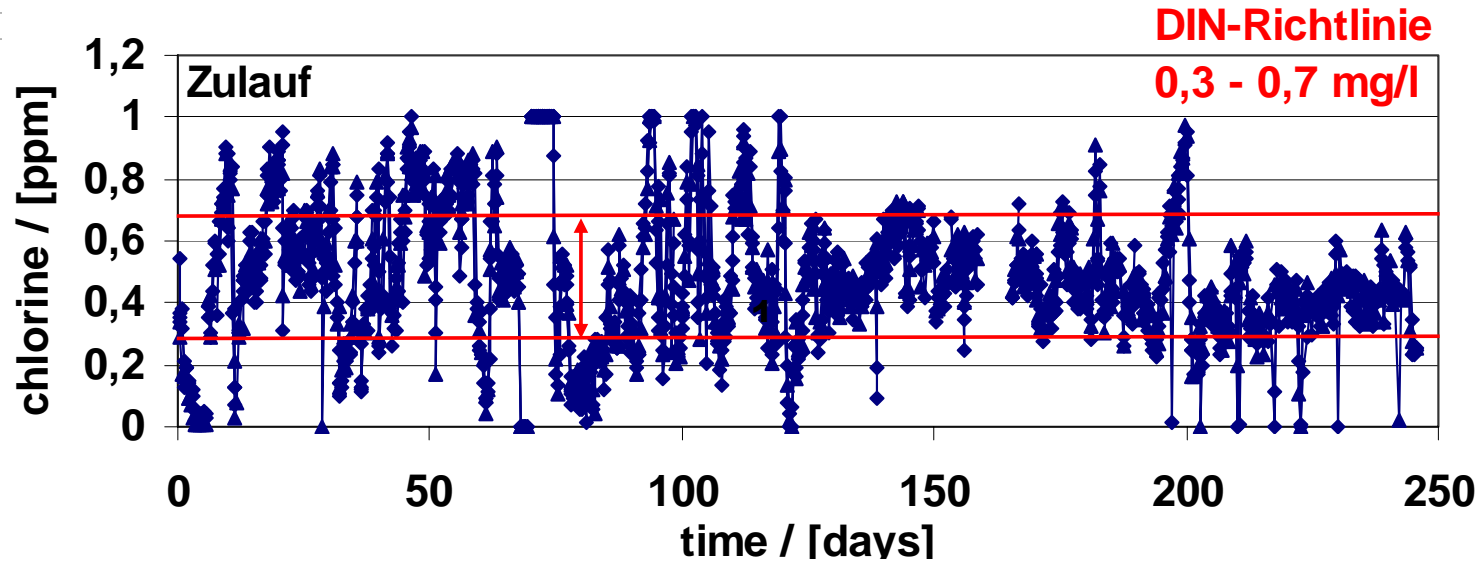
Versuchsparameter

- **Filtergeschwindigkeit von etwa 30 m/h (ca. 800 l/h)**
- **Wassertemperatur: 29 bis 31°C**
- **pH-Wert: 7,1 bis 7,7**
- **Filterspülung: 1 mal pro Woche**
 - **3 min Luftspülung**
 - **Wasserspülung (1400 bis 1600 l/h, entsprechend 55 bis 60 m/h je nach Material)**

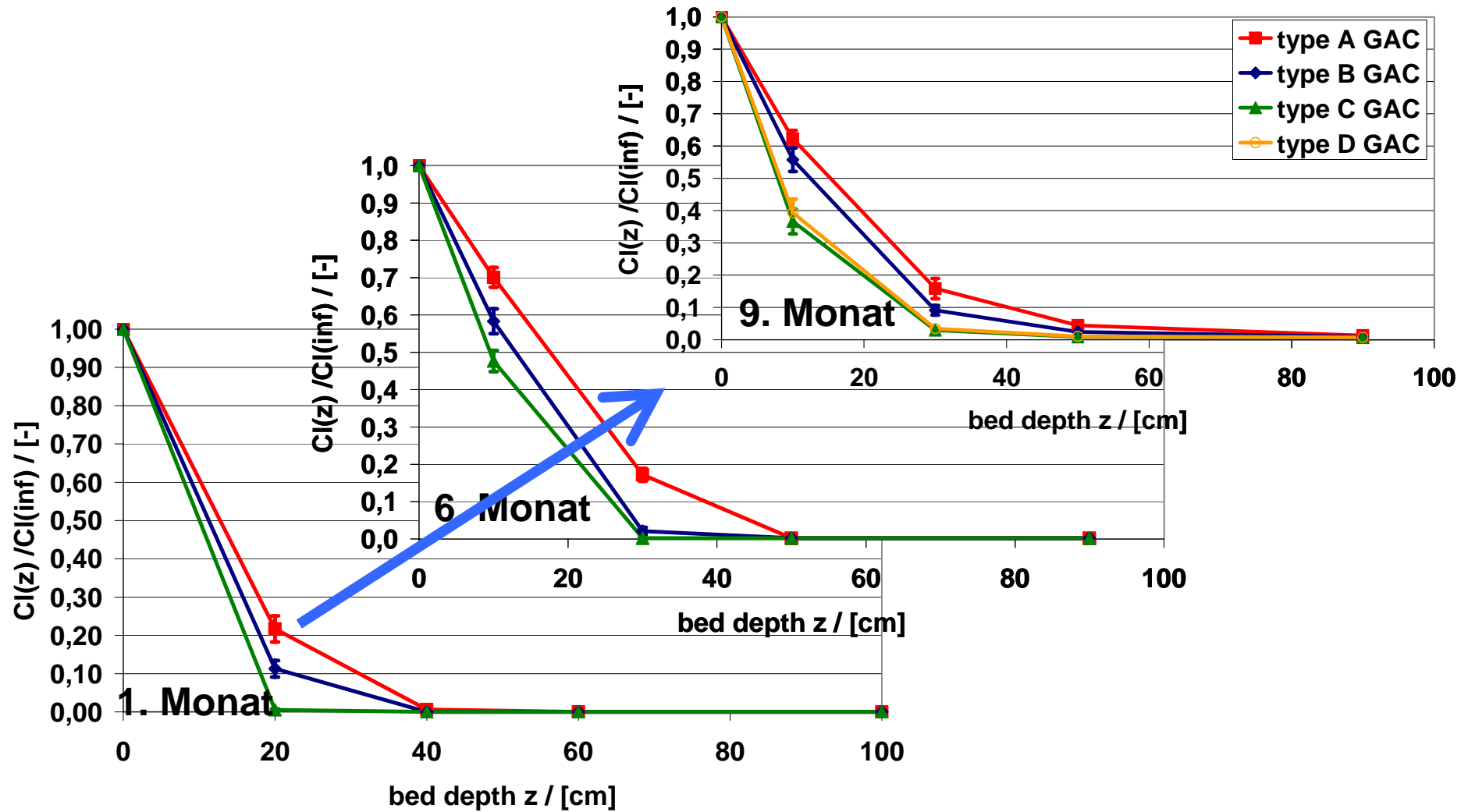


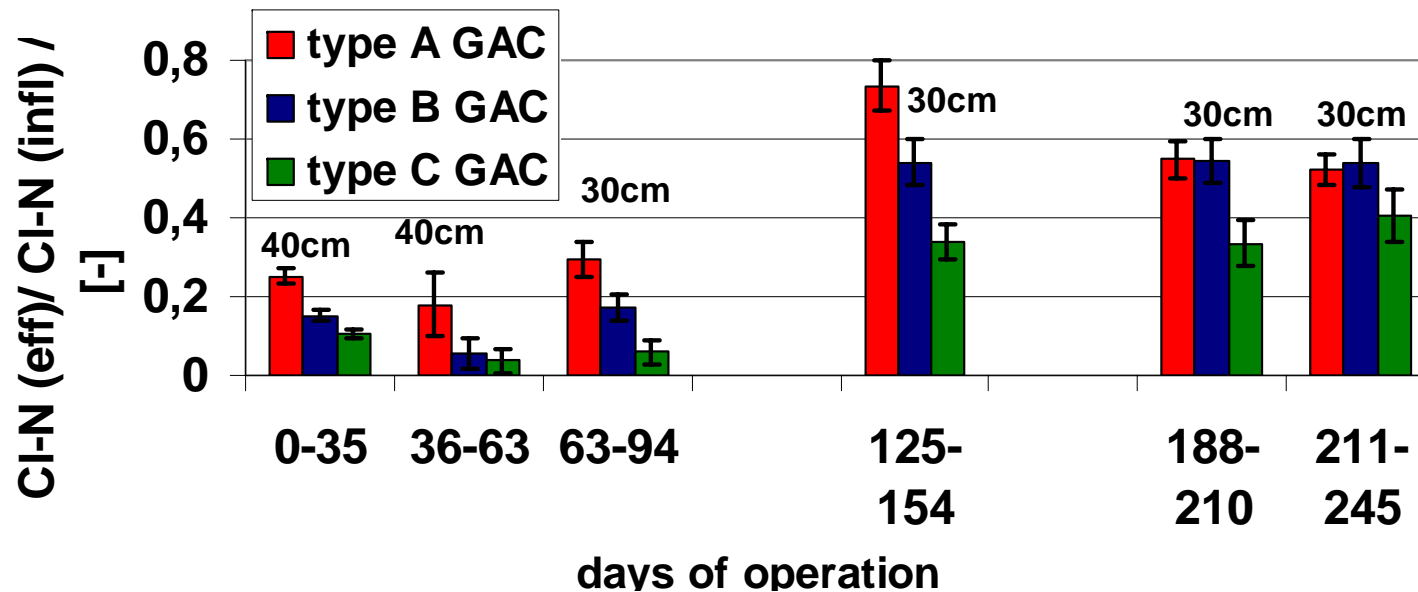
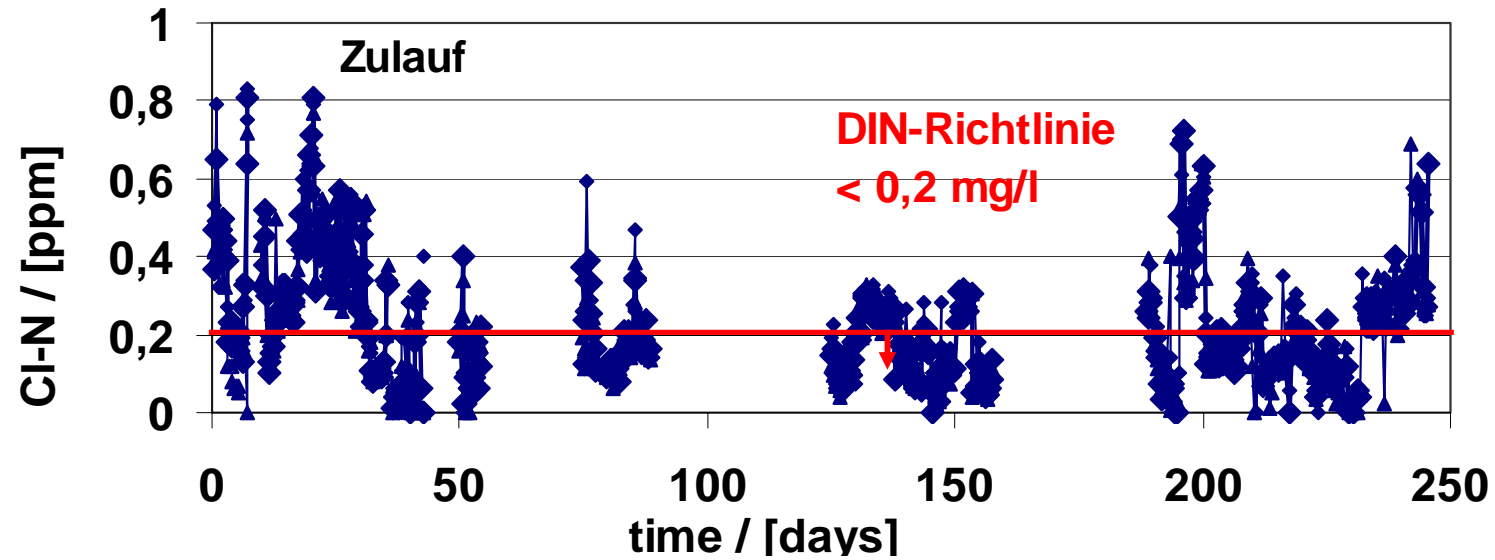


Freies Chlor

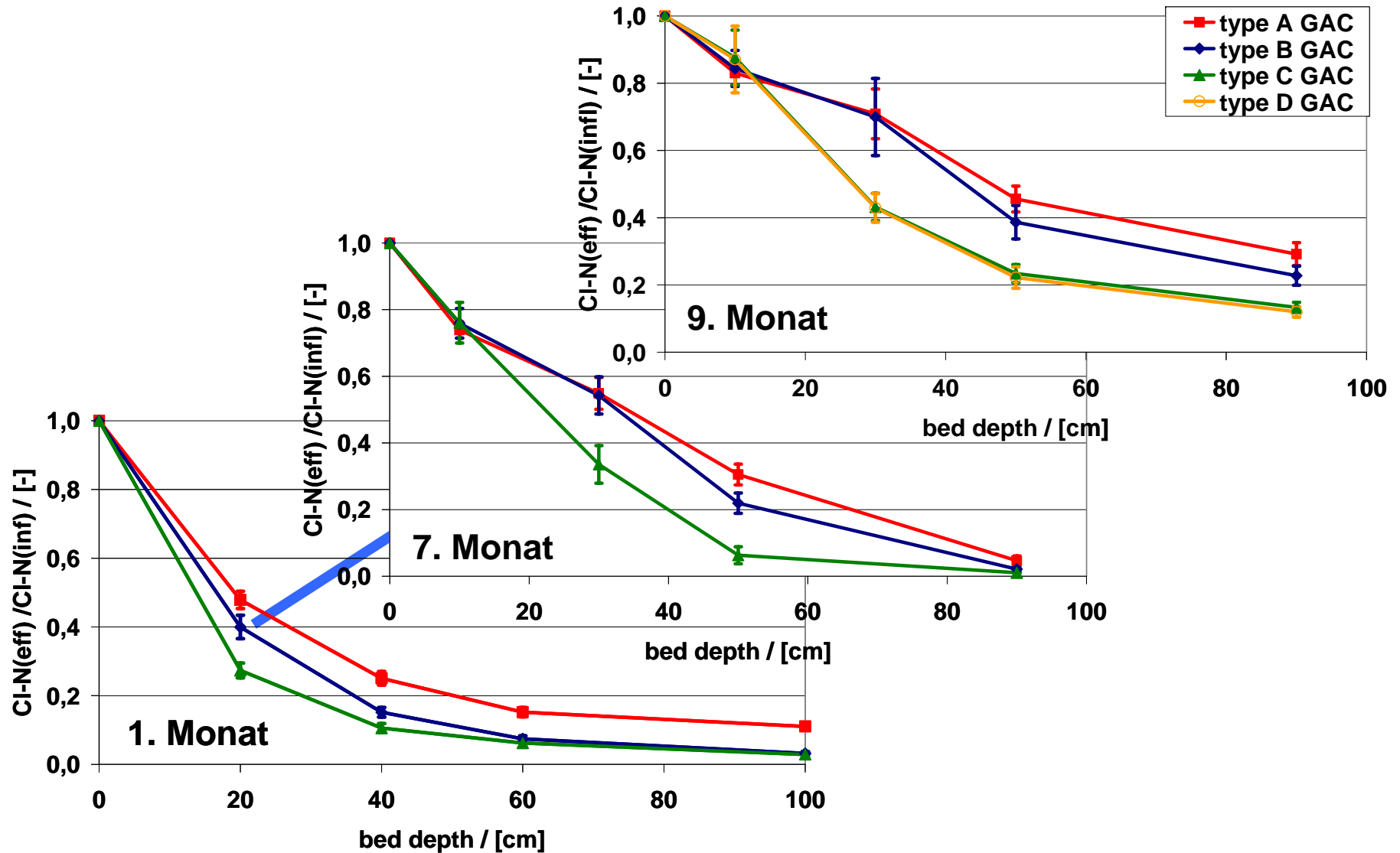


Relative Abnahme des freien Chlors im 1., 6.+ 9. Versuchsmonat - Mittelwerte

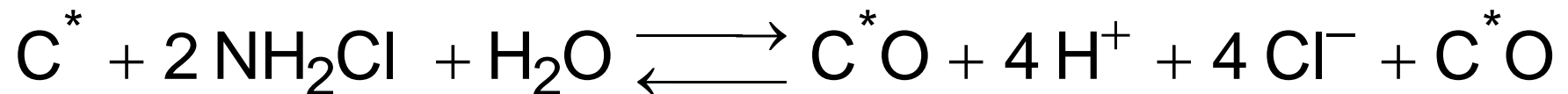
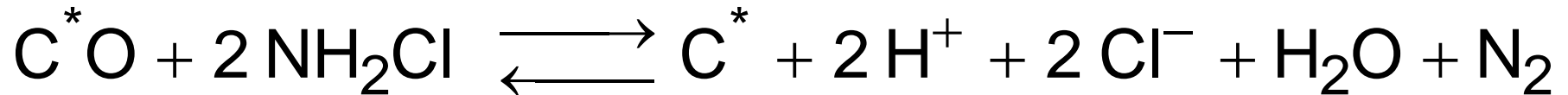
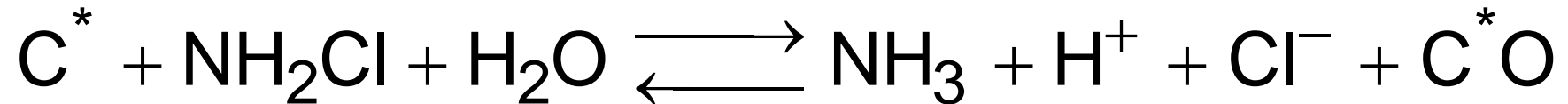




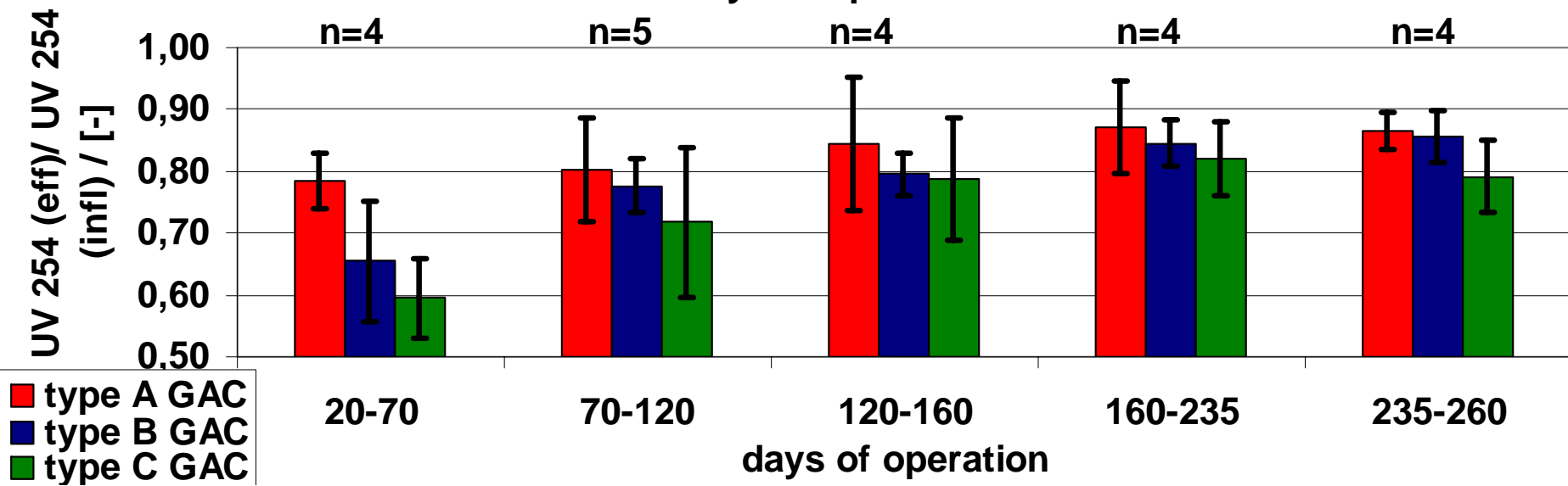
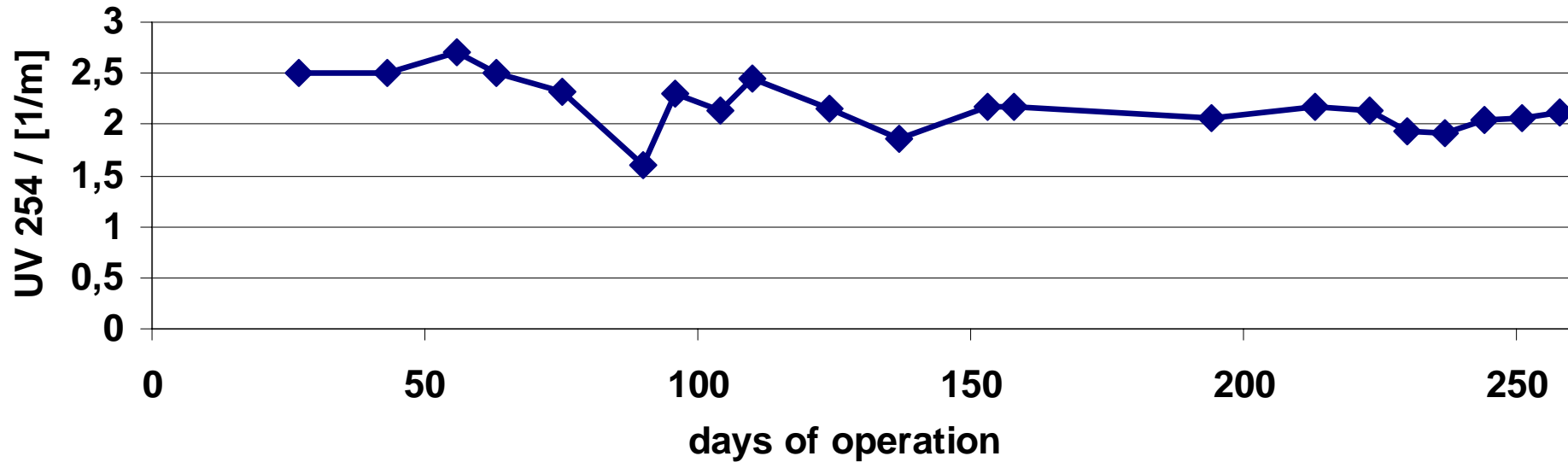
Relative Abnahme des gebundenen Chlors im



Reaktionsmechanismen

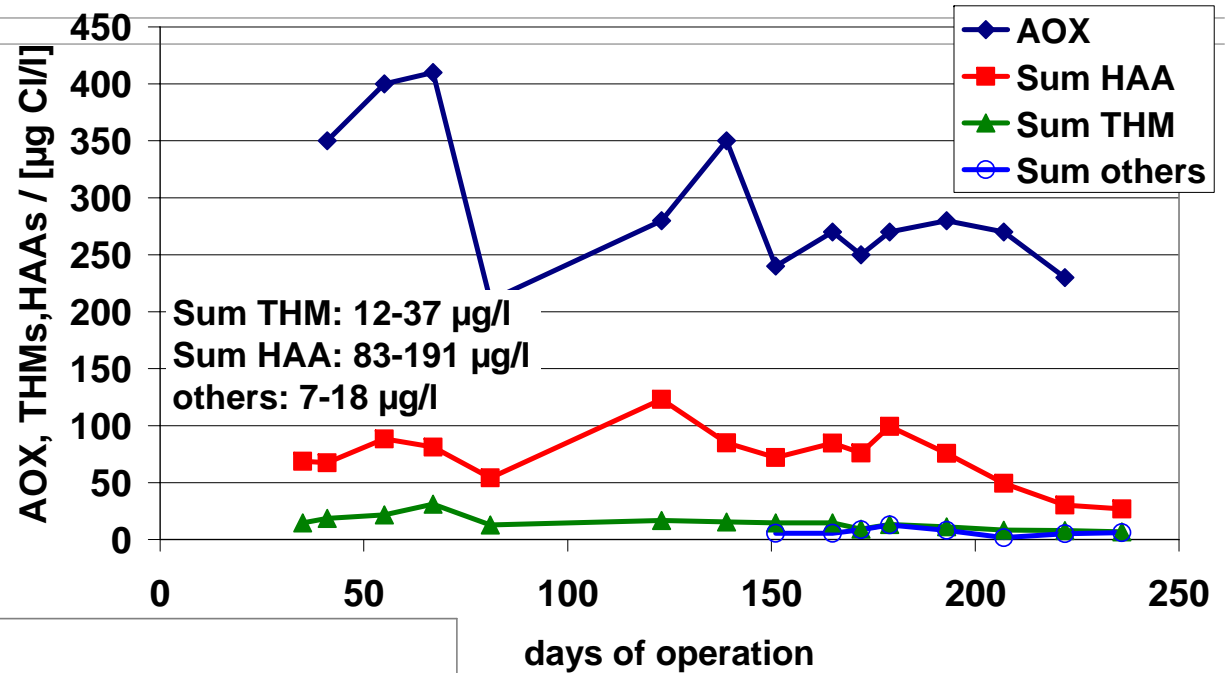


SAK(254nm)

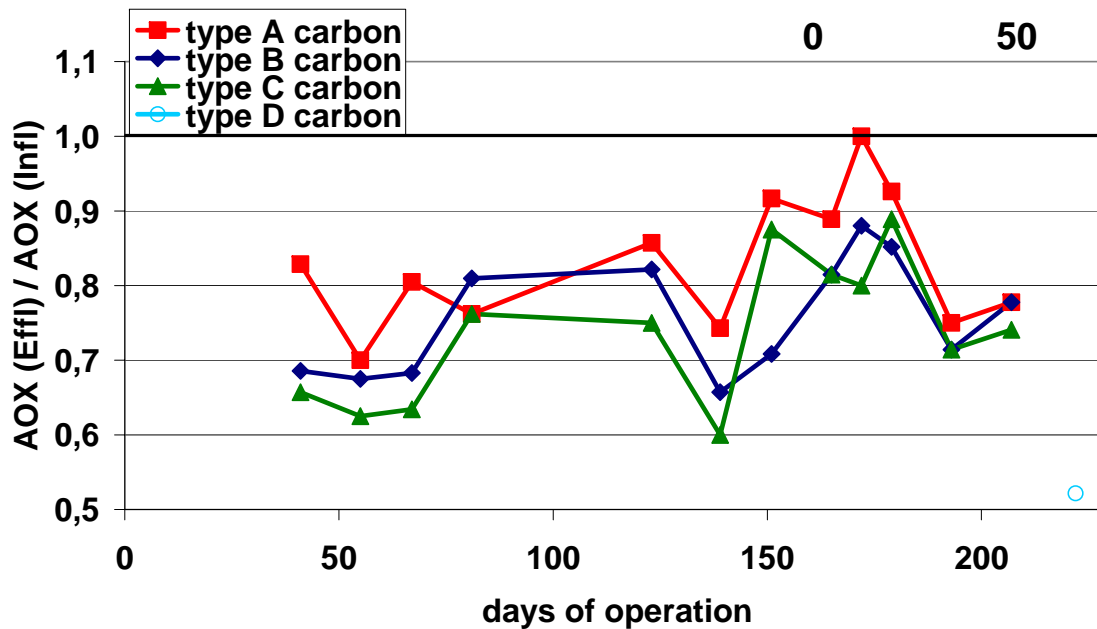


Zulauf-Konzentrationen: AOX, THM, HAA, Haloacetonitrile, Choral Hydrat, Chloropikrin

Desinfektions- nebenprodukte

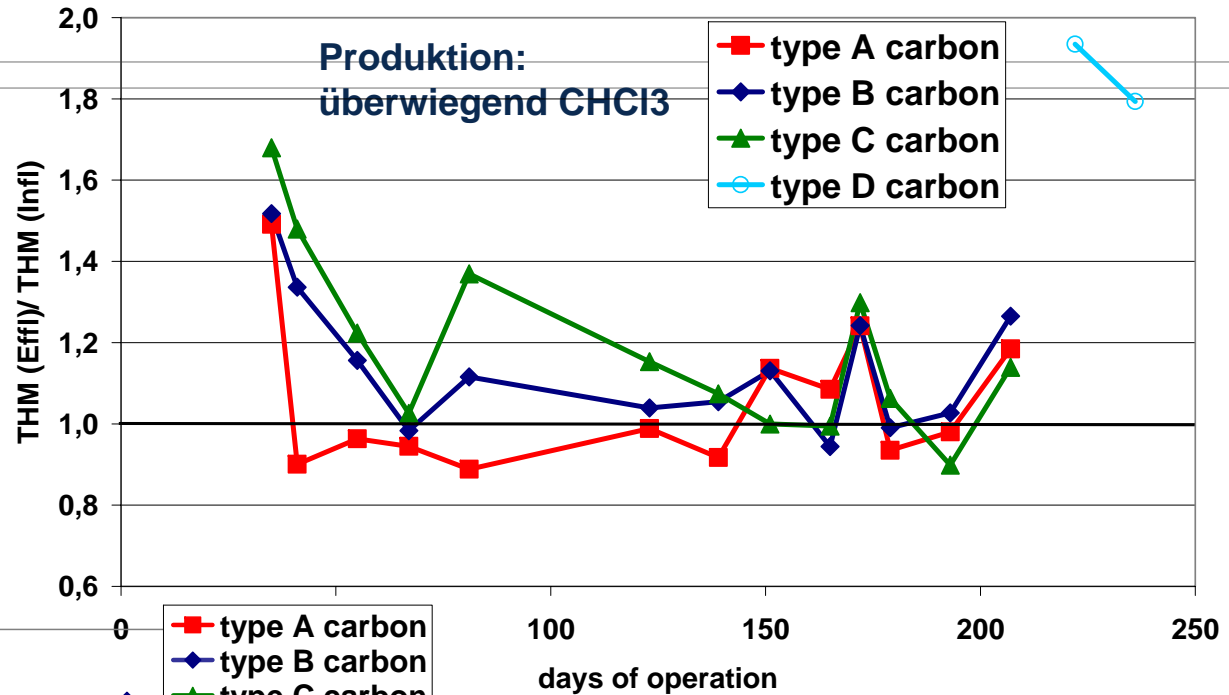


AOX

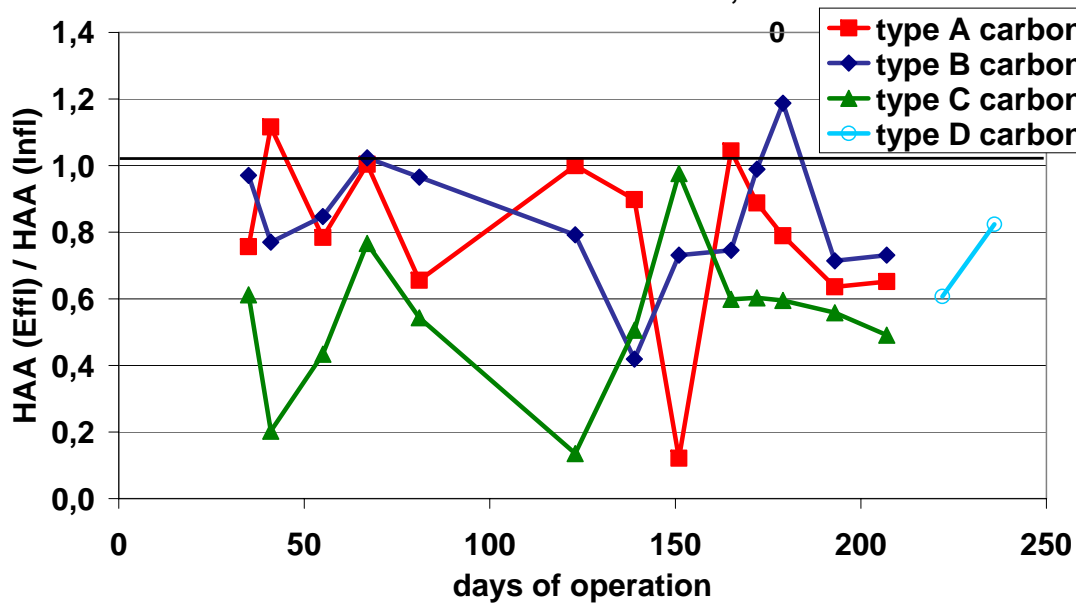


- Entfernungsleistung bezüglich AOX nimmt mit der Zeit ab

THMs



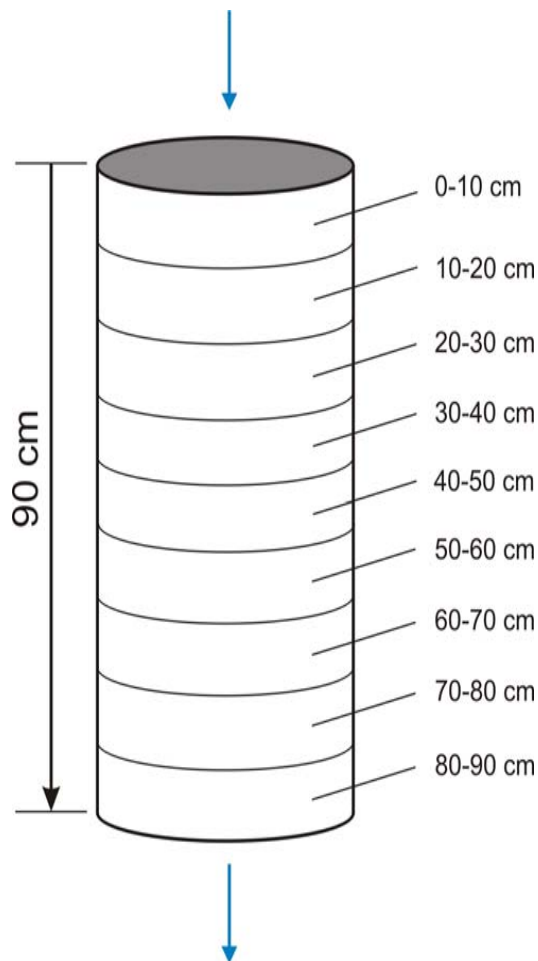
HAAs



- Produktion von THMs über die Bettiefe (insbes. Kohle C)

- Entfernung von HAAs über Bettiefe (insbes. Kohle C)

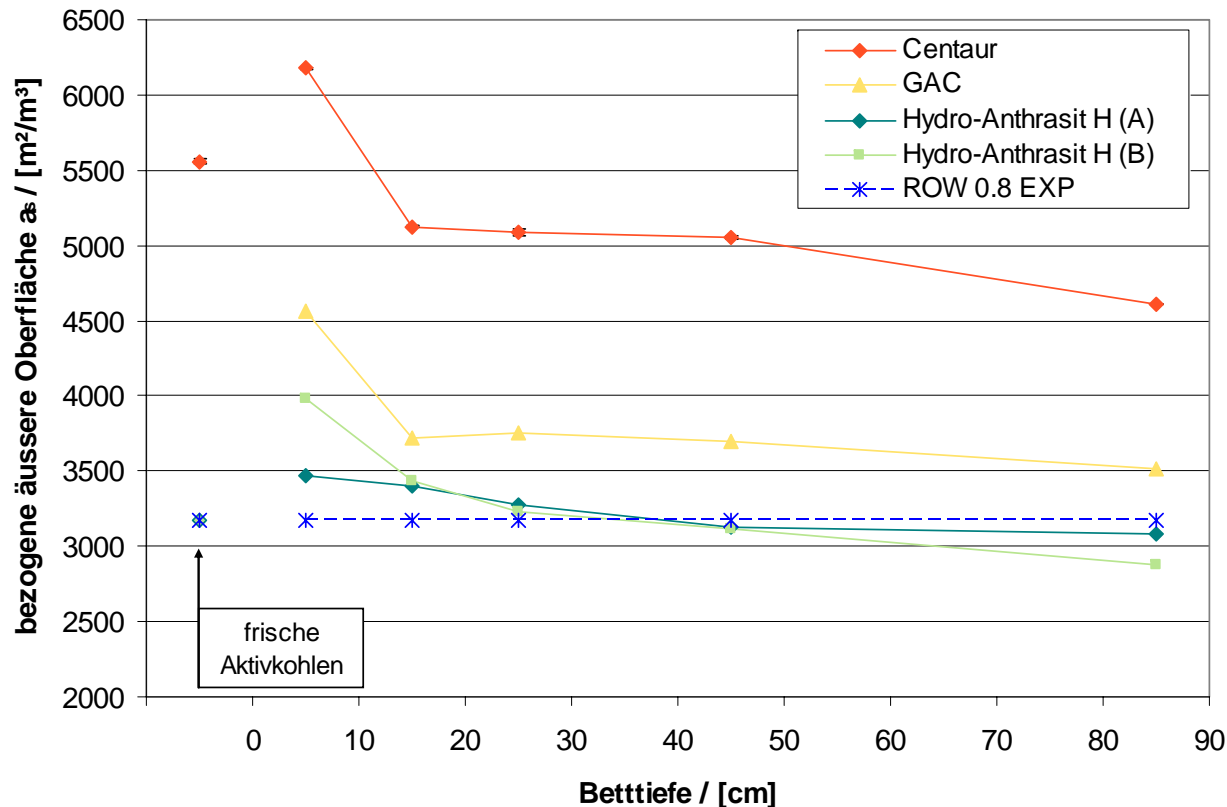
Entnahme der gebrauchten Kohlen



- Aus halbtechnischer Versuchsanlage eines örtlichen Schwimmbades
- **Alter der Filterschüttungen**
Centaur, GAC, ROW 0.8 EXP: 18 Monate
Hydro-Anthrasit (A): 12 Monate
Hydro-Anthrasit (B): 22 Monate
- **Betttiefe beträgt 90 cm**
- **Entnahme mittels Saugverfahren**
- **Separierung der einzelnen Schichten in Schichtstärken von 10 cm**

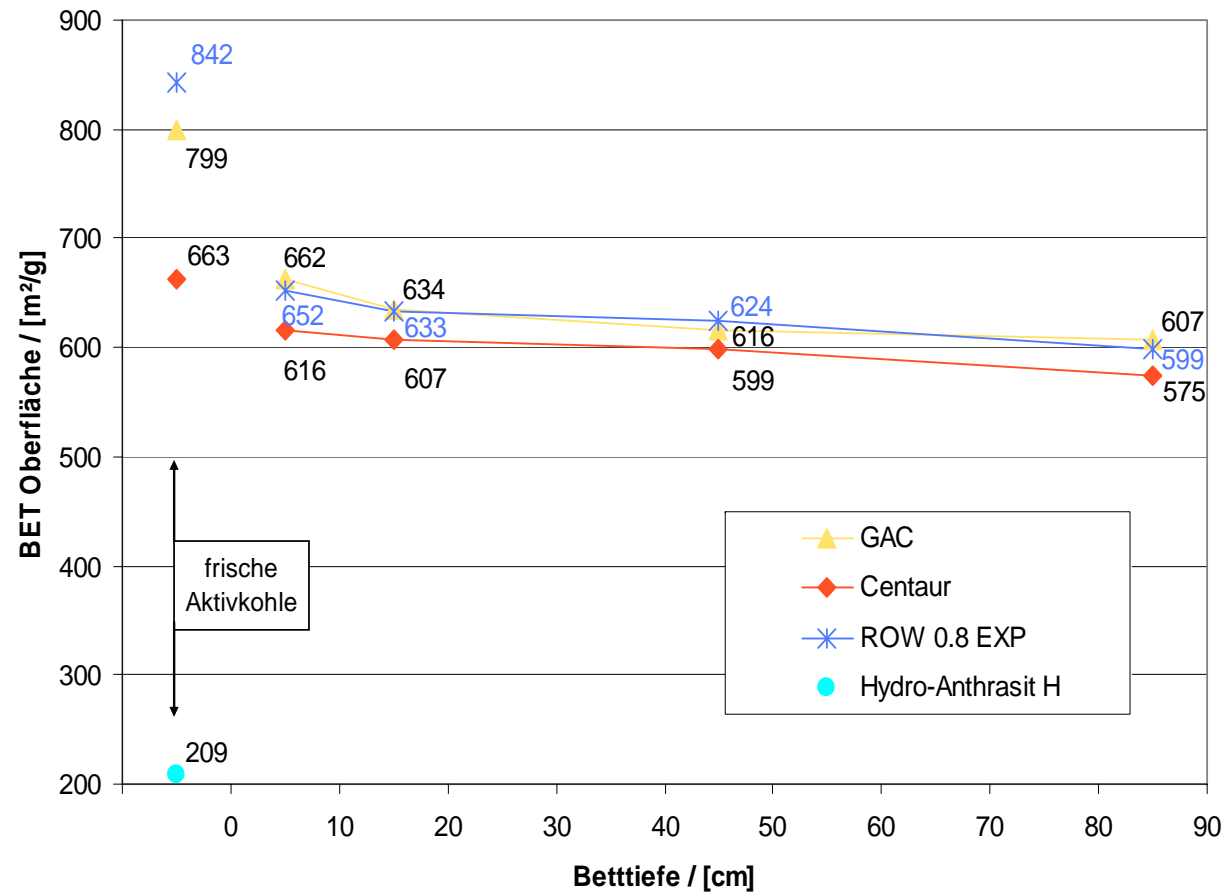
Äußere Kornoberflächen a_s

- Ermittlung der **Korngrößenverteilung** aus Siebanalyse für Proben aus verschiedenen Bettiefen
- Berechnung der äußeren Oberfläche a_s erfolgt unter Annahme kugelförmiger Partikel (Spärizität $\psi = 0,75$)



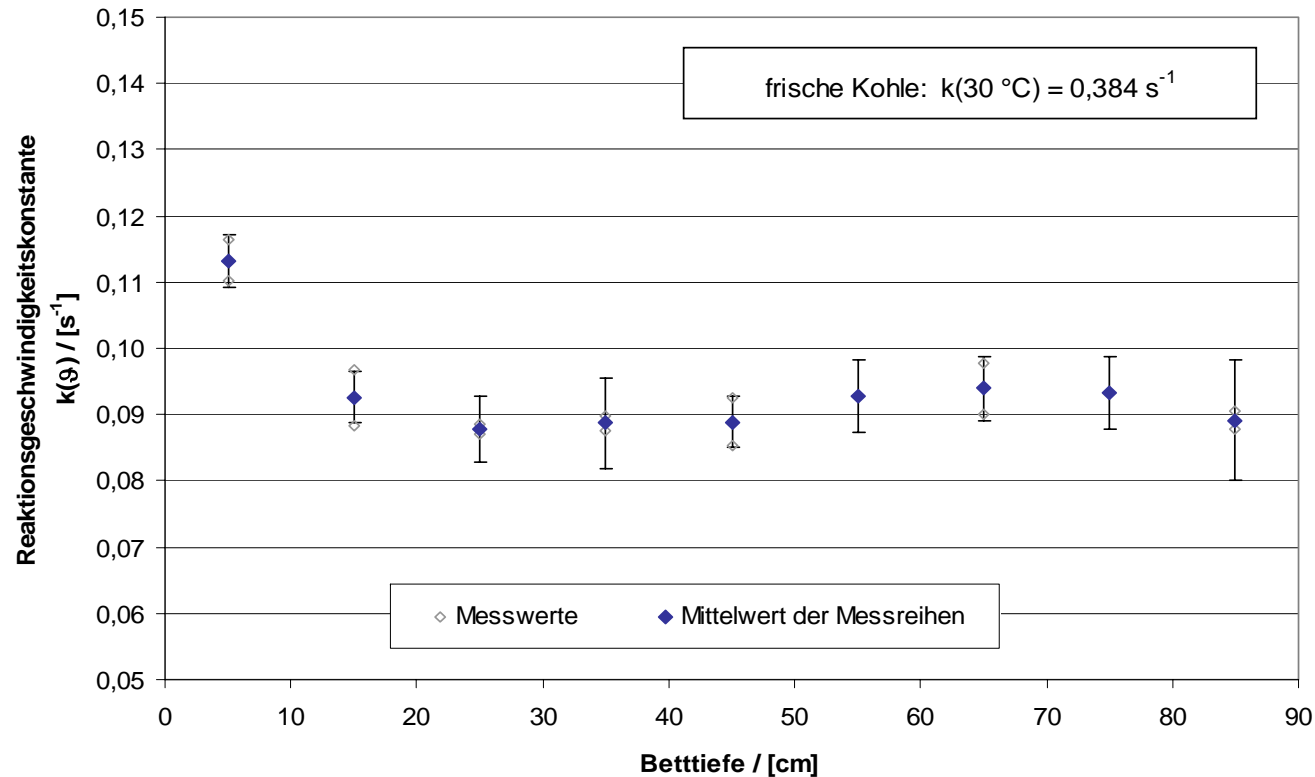
Äußere Oberflächen (a_s)
der gebrauchten Kohlen
über der Bettiefe

- Analyseergebnisse der auswärtigen Bestimmung der BET-Oberflächen (IUTA)**



Innere Oberflächen (a_{BET})
 der frischen Kohlen
 und der gebrauchten
 Kohlen über der Bettiefe

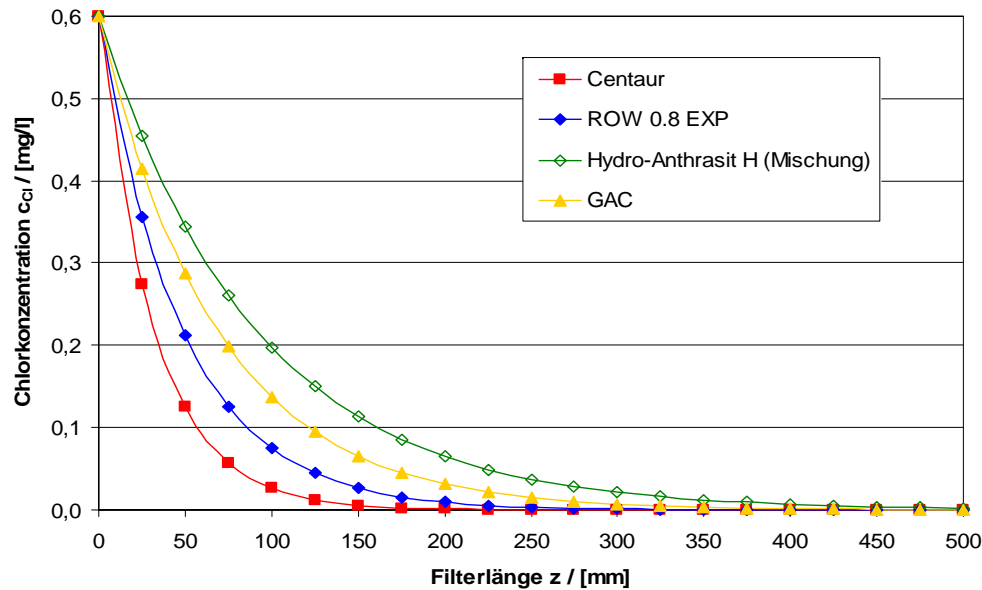
Verlauf der Aktivität über der Betttiefe am Beispiel der Centaur-Kohle



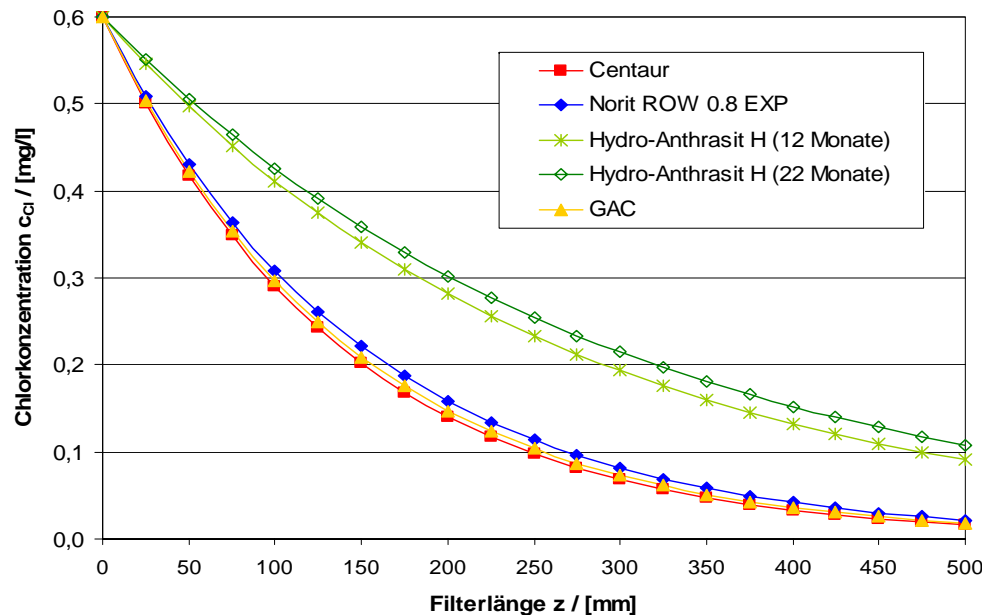
- Reaktionsgeschwindigkeit in der oberen Schicht (0-10 cm) **signifikant erhöht**
- Tiefer liegende Schichten zeigen statistisch gesehen etwa gleiche Reaktionsgeschwindigkeiten

Simulierter Cl_2 - Konzentrationsverlauf

frische
Aktivkohlen

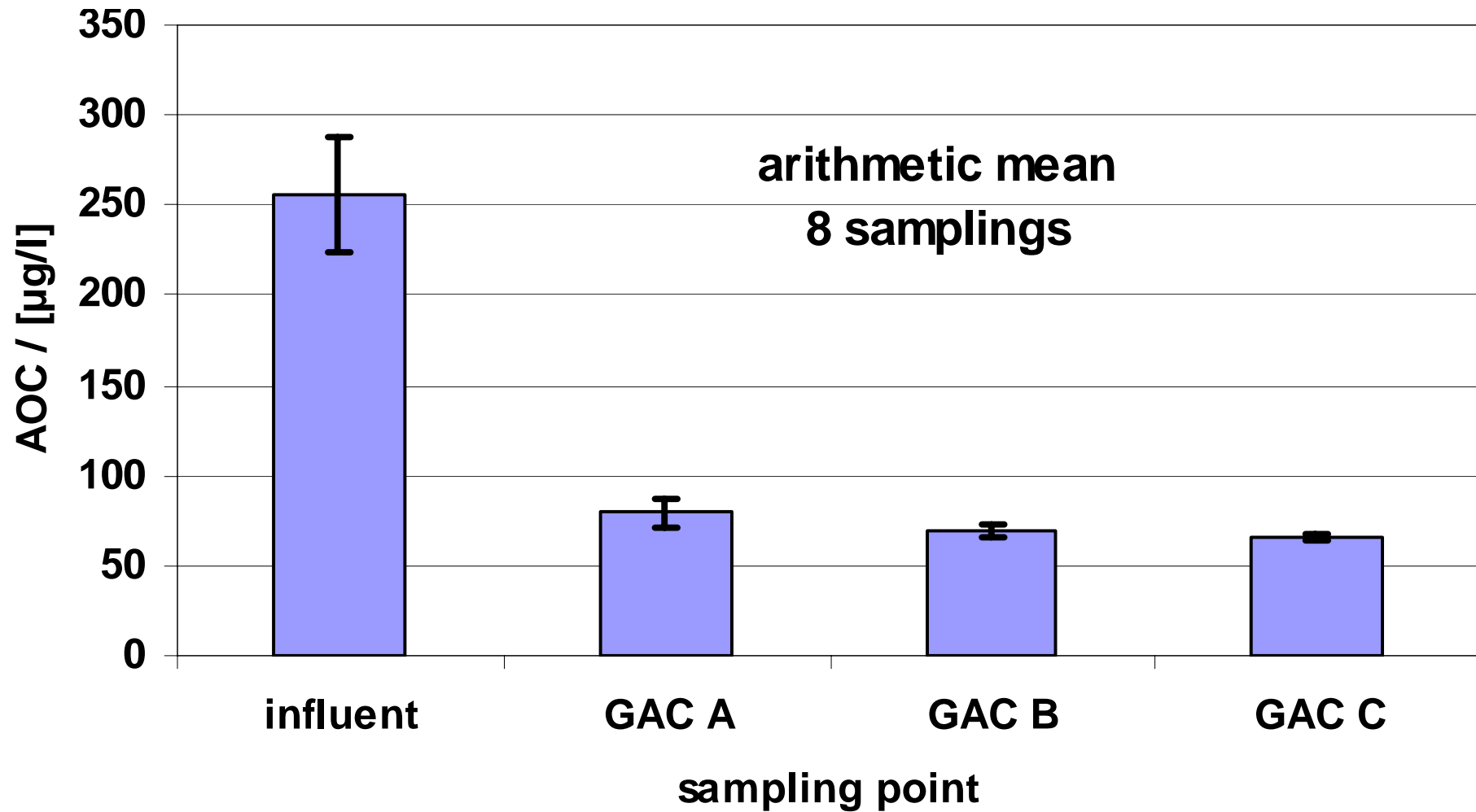


gebrauchte
Aktivkohlen

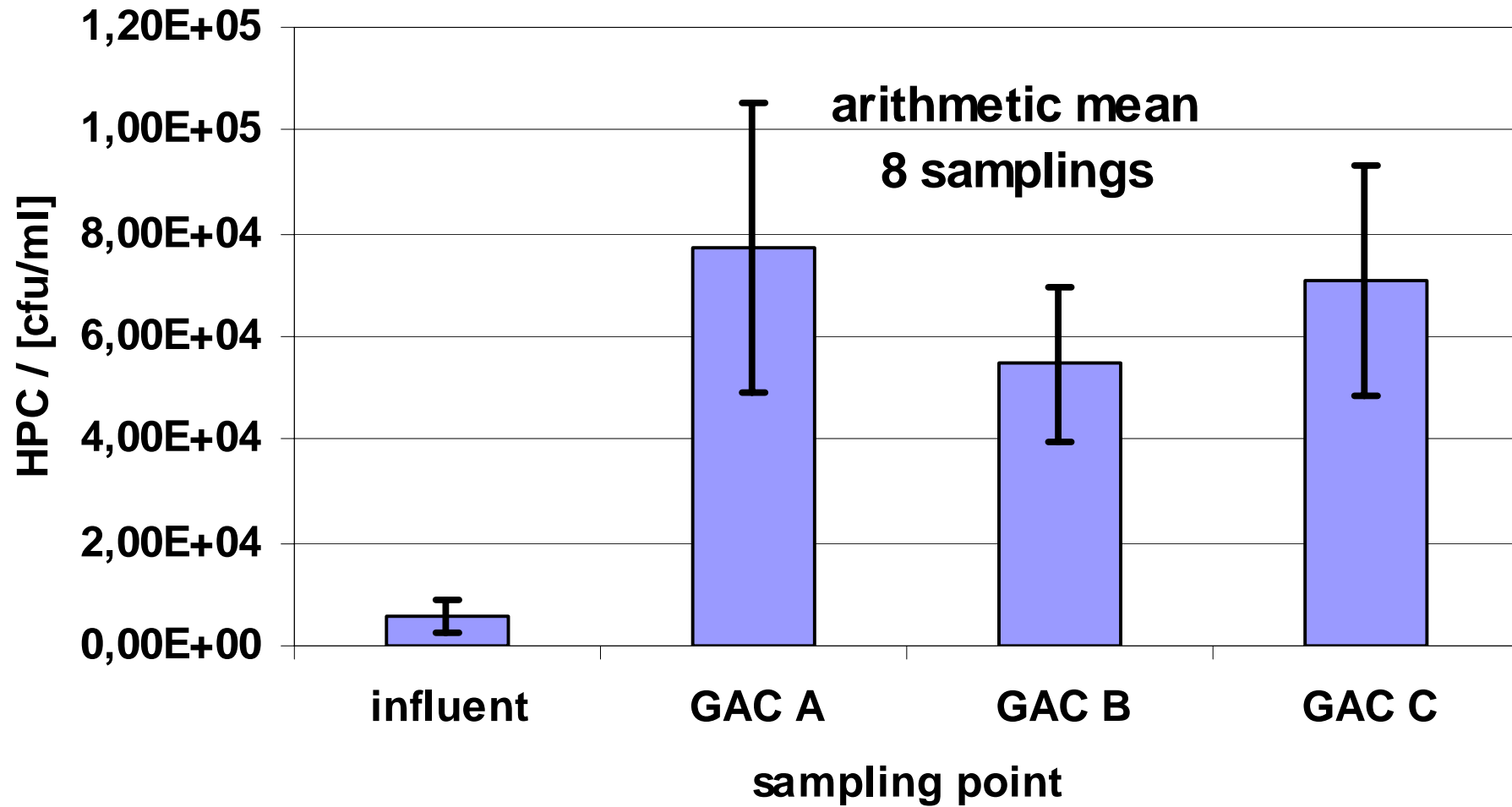


- $\vartheta = 30^\circ\text{C}$
- Filtergeschwindigkeit $v = 36 \text{ m/h}$
- Filterlänge $H = 500 \text{ mm}$
- Eingangskonzentration (freies Chlor) $c_{\text{in}} = 0,6 \text{ mg/l}$

AOC - assimilierbarer org. Kohlenstoff

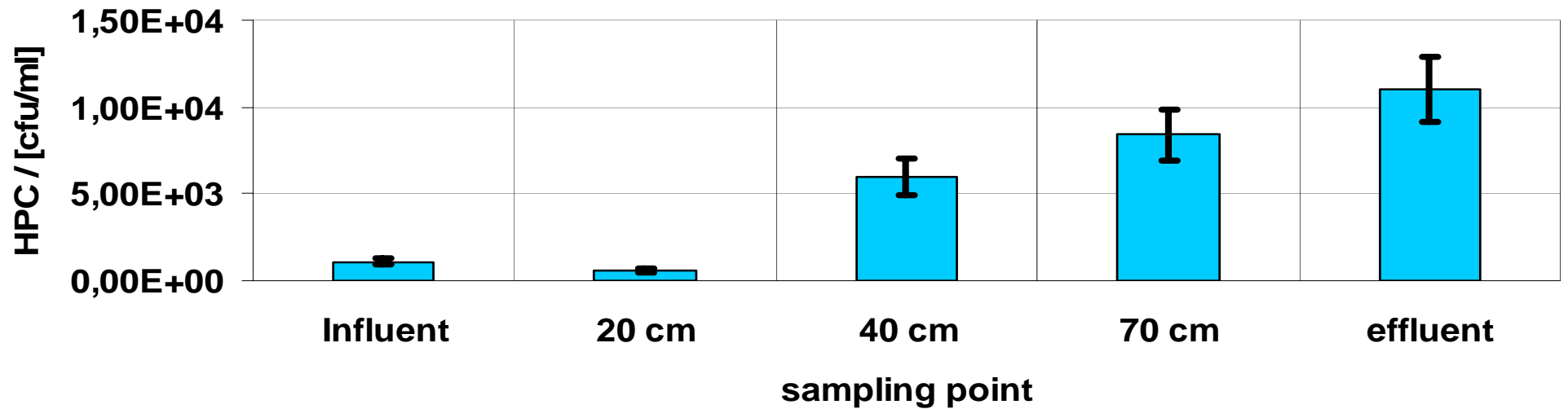
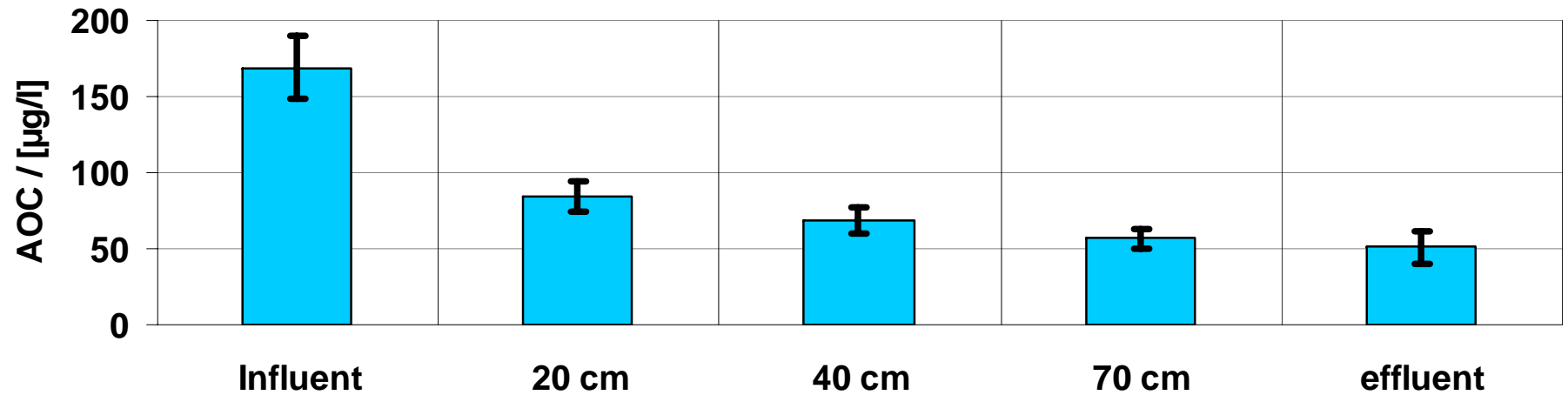


HPC - Koloniezahlen heterotropher Bakterien

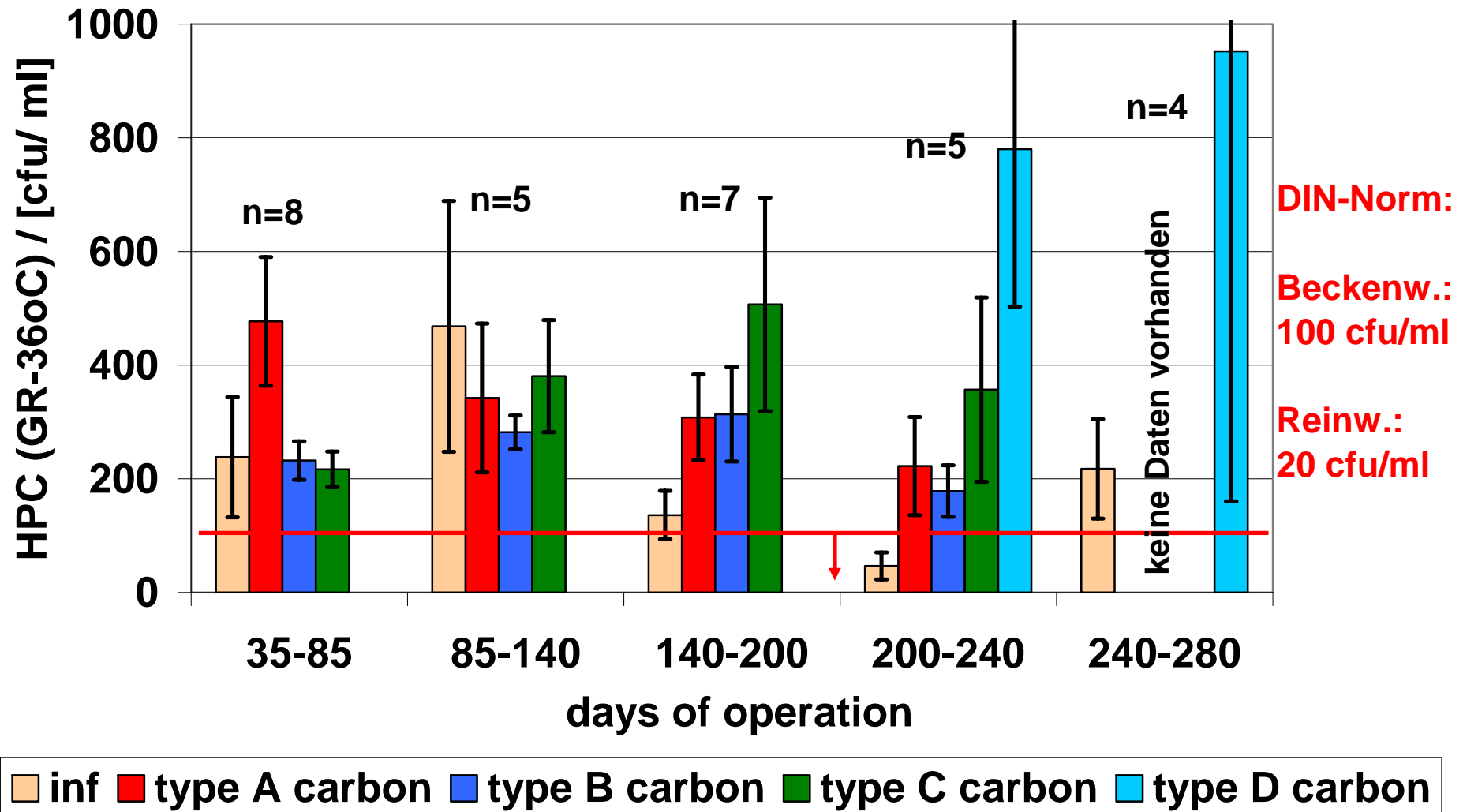




AOC und HPC über das Filterbett (Kohle C)

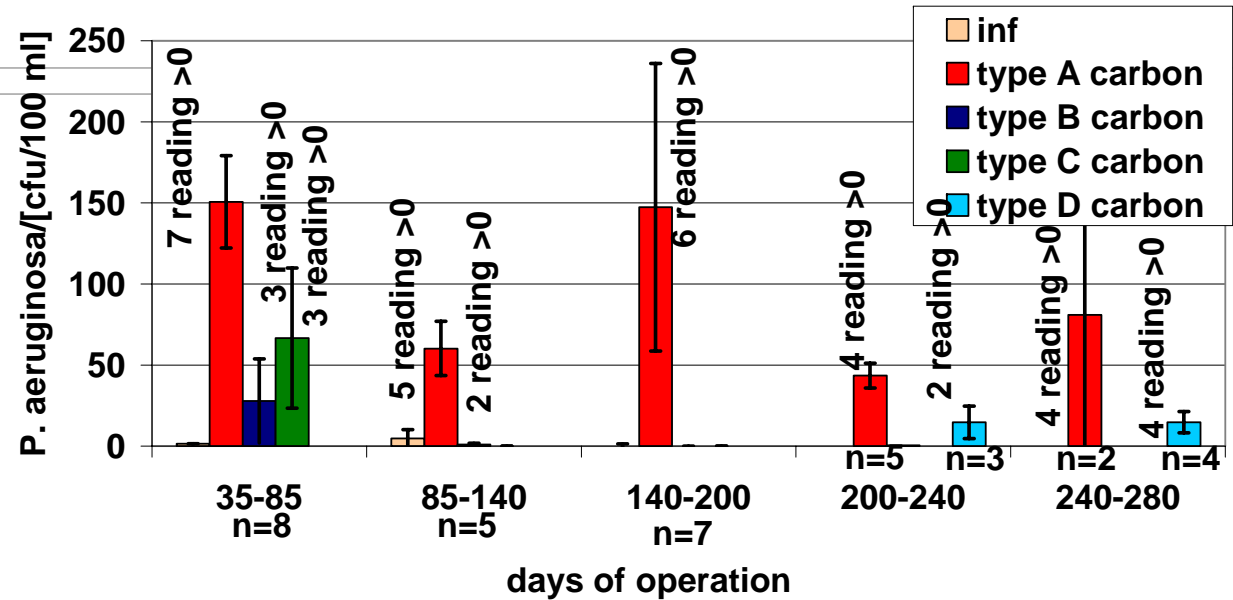


Koloniezahlen - Mittelwerte

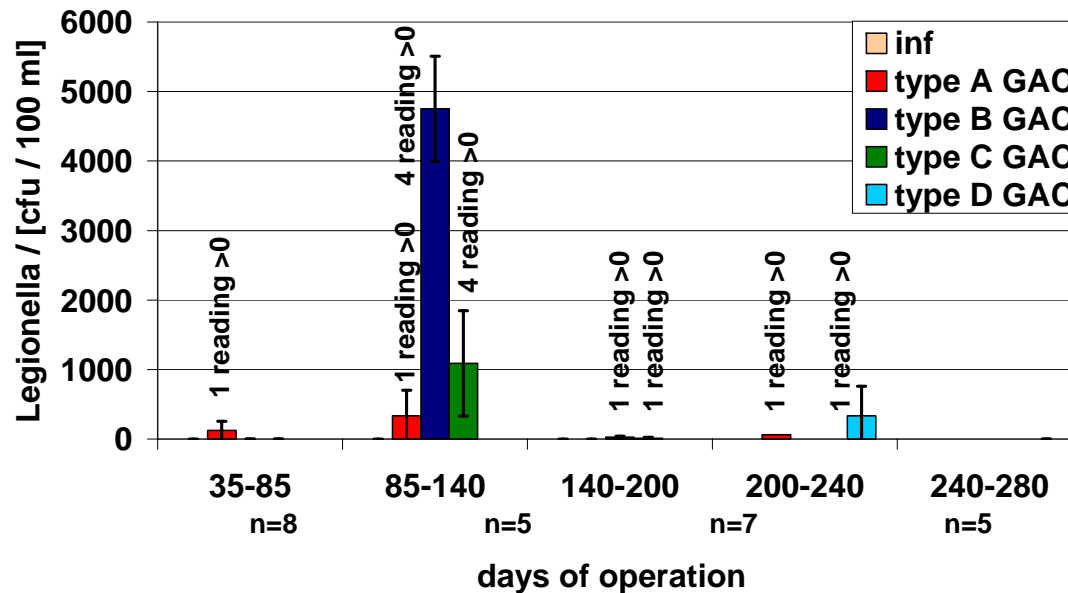


P. aeruginosa

Pseudomonas aeruginosa
und Legionellen
(Ablauf, Mittelwerte)



Legionellen



- Verkeimung der Kohle A mit P. aeruginosa
- im 2. Betriebszeitraum hohe Verkeimung mit Legionellen

These

- **Aktivkohlen mit höherem Makroporenanteil verkeimen eher mit *P.aeruginosa* als überwiegend mikroporöse, hochaktivierte Kohlen**

Zusammenfassung (1)

- **freies Chlor:**
mit **Betriebszeit abnehmende Entfernungsleistung**;
freies Chlor dringt damit in immer weitere Bettiefen vor;
Kohlen B und C unterscheiden sich kaum;
geringere Entfernung in Kohle A
- **gebundenes Chlor:**
dringt tiefer in Schüttungen vor als freies Cl;
Schüttungen untereinander und zeitlicher Verlauf
ähnlich wie freies Cl
- **SAK(254)**
bei Kohle A zeitlich gleichbleibende Entfernungsleistung
bei Kohlen B und C deutlich besser als bei Kohle A,
jedoch abnehmende Leistung mit der Zeit; Annäherung

Zusammenfassung (2)

Desinfektionsnebenprodukte:

→ **THM:**

Produktion in Schüttungen mit „katalytischen“ Kohlen (überwiegend Chloroform); aber: Verminderung der Präkursoren

→ **HAA:**

deutliche Entfernung nur bei Kohle C 40-60%; Kohlen A und B etwa 10 %

→ **AOX:**

anfangs etwa 30 % Entfernung bei allen Schüttungen; Entfernungsleistung rückläufig mit Zeit

Zusammenfassung (3)

Mikrobiologische Parameter:

- **AOC**
Entfernung etwa 70 bis 80 % in allen Schüttungen
- **HPC**
deutliche Produktion, korrespondiert mit AOC-Entfernung
- **KBE(36°C)**
ebenfalls Produktion feststellbar, jedoch nicht so deutlich wie bei HPC (größerer relativer Fehler bei KBE(36°C))
- **P. aeruginosa**
erste zwei Monate deutliche Produktion in allen Schüttungen
in Kohle A weiterhin persistent, bei Kohlen B und C beendet
- **Legionellen**
Freisetzung aus allen Schüttungen, jedoch nicht eindeutig

Zusammenfassung (4)

Filterspülungen:

→ **Verkeimung mit *P. aeruginosa* bei Material A konnte nicht vollständig beseitigt werden**

→ **bei Spülung mit 10 mg/l freien Chlor im Zulauf ließ sich Verkeimung aber deutlich reduzieren; teilweise 0 KBE/10 ml im Filterablauf erreicht;**

Verkeimung verschwand zwei Wochen nach zweiter Spülung mit 10 mg/l freien Chlors ganz

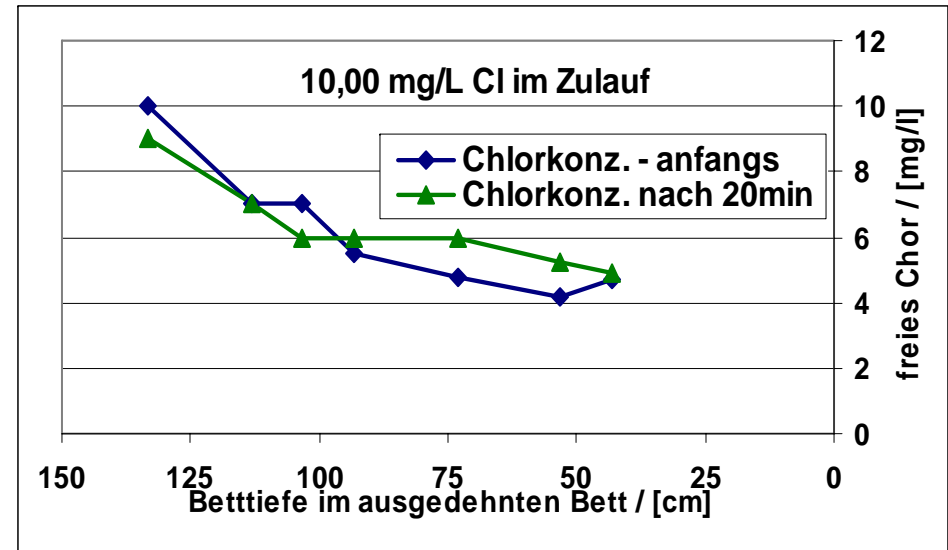
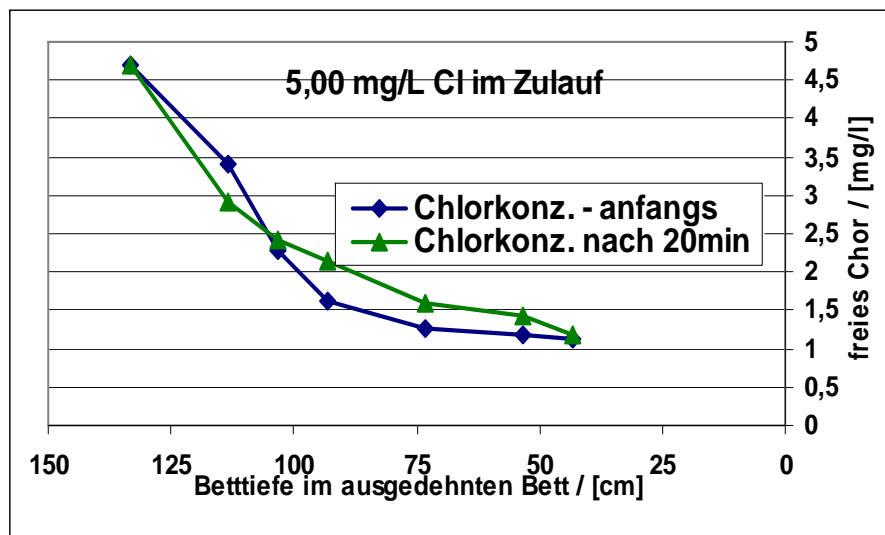
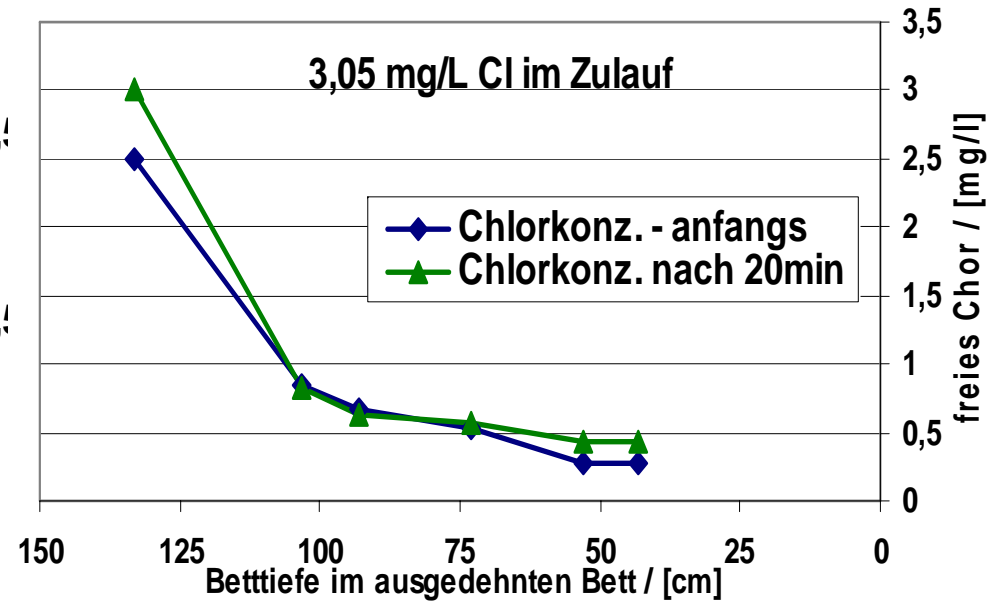
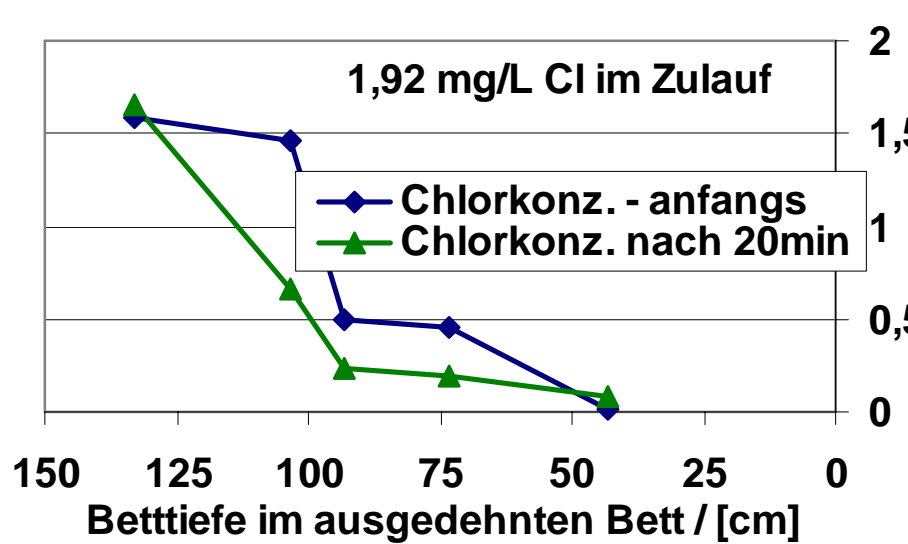
Zweites Projekt: Vermeidung von Filterverkeimungen mit *P. aeruginosa*

- **Problem:**
 - Filterverkeimungen mit *P. aeruginosa* werden meist nicht frühzeitig erkannt; (Kontrolle nur nach Inbetriebnahmen, Wiederinbetriebnahme oder Verstoß gegen Anforderungen für Beckenwasser)
 - bei Verkeimung kontinuierlicher Austrag mit Filtrat
 - potentielle Gefahr für Beckenwasser; partikelgebundene Bakterien; Ausfall der Desinfektion
- **Projektziel:**
 - Entwicklung einer Strategie zur Vermeidung von Filterverkeimungen mit *P. aeruginosa*
(Handlungsempfehlungen für Betreiber)

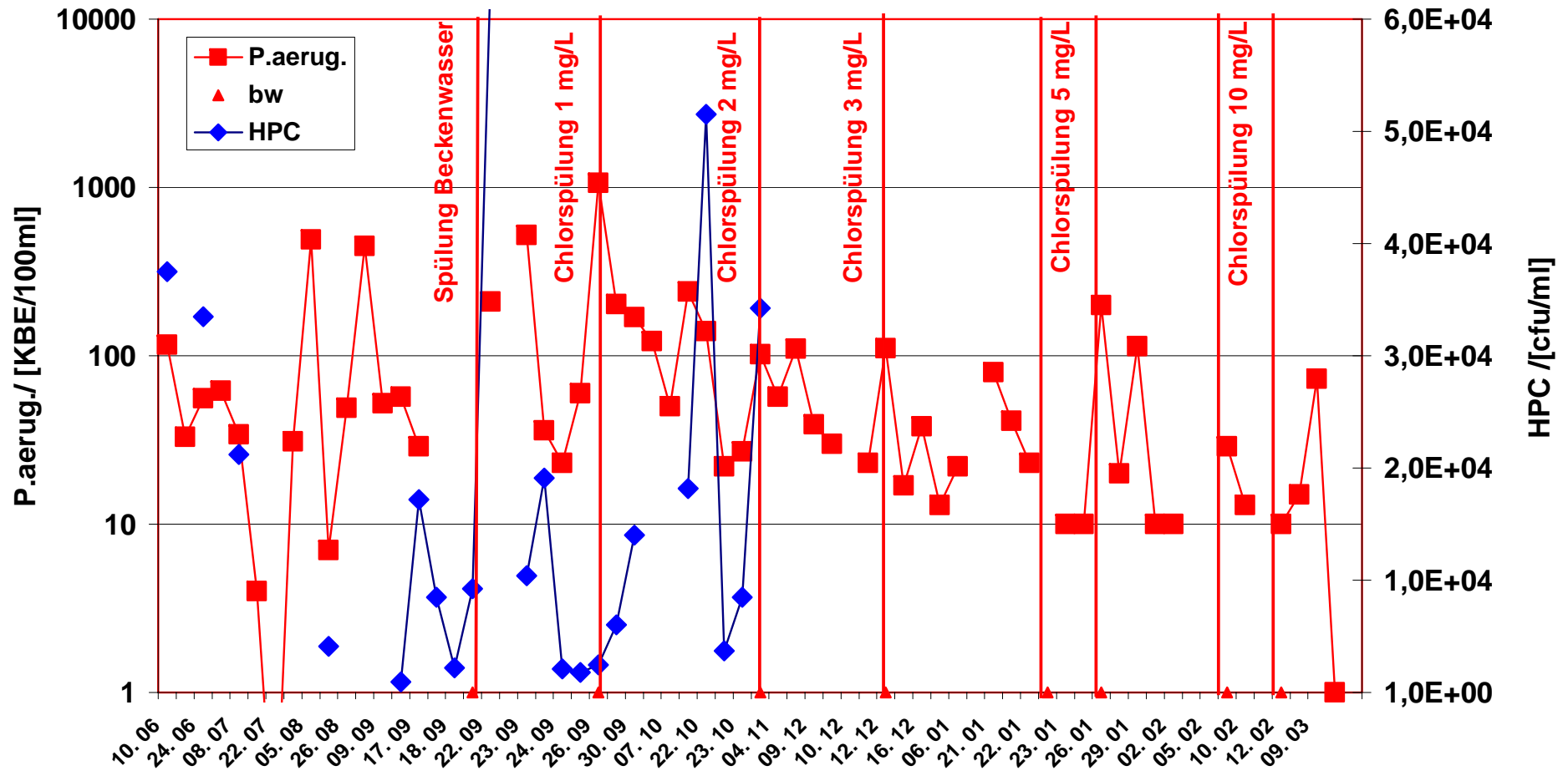
Filterspülungen mit Chlor

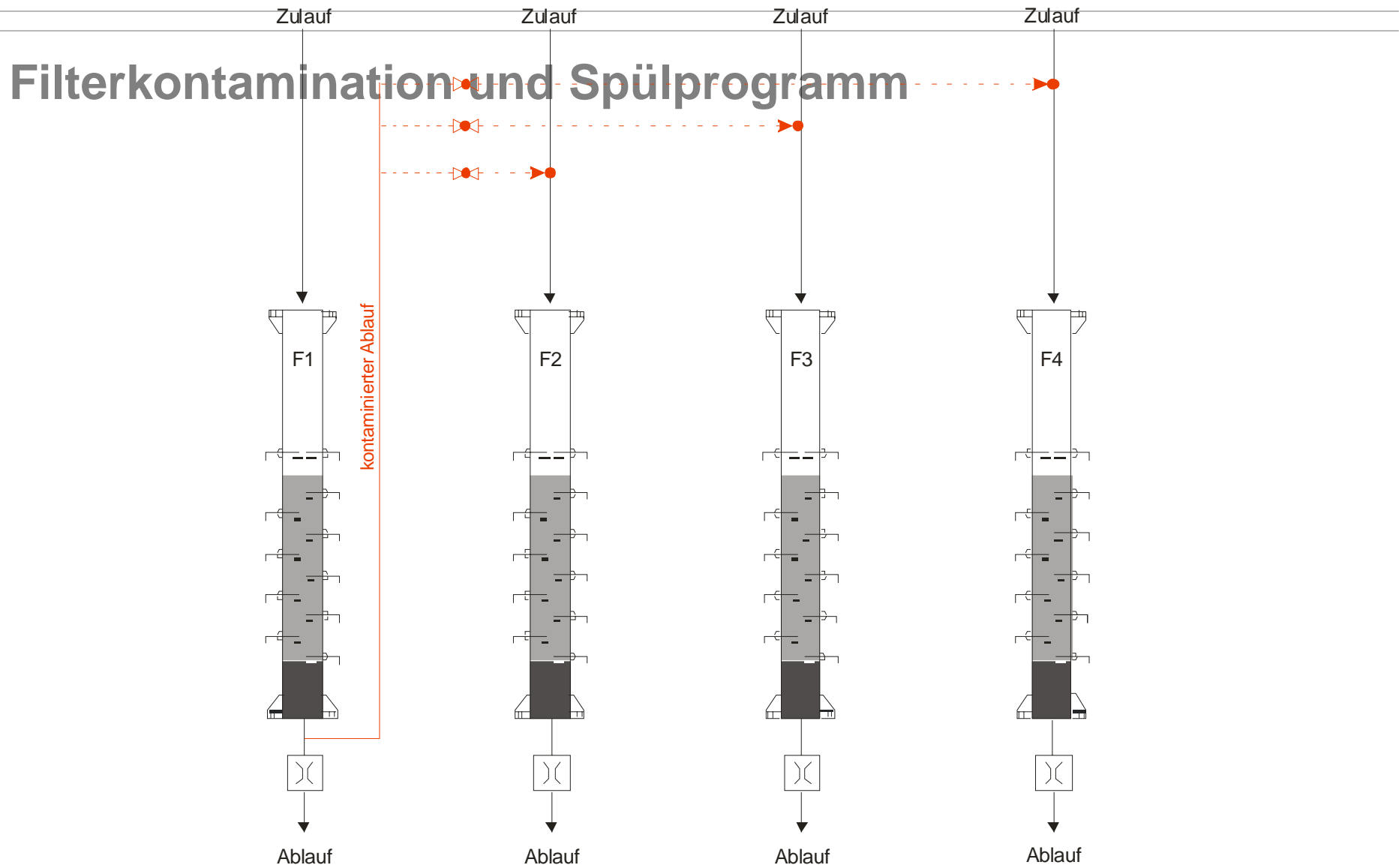
- **Ziel: Überprüfung, ob und bei welchen Chlorkonzentrationen Verkeimung mit *P. aeruginosa* beseitigt werden kann**
- **Vorgehensweise:**
 - **mikrobiol. Unters. vor Spülung**
 - **Chlorspülung**
 - **mikrobiol. Unters. unmittelbar nach Spülung**
 - **mirkobiol. Untersuchungen in zwei bis dreitägigen Abständen bis eine Woche nach**
 - **erneute Filterspülung**

Chlorkonzentrationen im Bett bei Spülung



Chlorspülungen und *P. aeruginosa*





Vermeidung von Filterverkeimungen: Spülprogramme

Filter Nr.	Filtermaterial, Besonderheiten, Spülregime
1	bereits verkeimt mit <i>P. aeruginosa</i> ; Betriebe wie bisher; Spülung ein mal wöchentl. mit Beckenwasser; Freitags
2	frisches Material; Betrieb mit Beckenwasser; bis KW 40/2004 (03.10.04) Betrieb wie zuvor, d. h. <u>kein</u> Zulauf Säule 1; ab KW 41/2004 (04.10.04) ein Tag pro Wo. Betrieb mit Ablauf Säule 1 (Dienstags); Spülung: nicht vorschriftsgemäß, einmal pro Wo. mit Beckenwasser (Freitags)
3	frisches Material; Betrieb mit Beckenwasser; ein Tag pro Wo. Betrieb mit Ablauf Säule 1 (Mittwochs); Spülung: vorschriftsgemäß: zwei mal pro Wo. mit Beckenwasser (Dienstags u. Freitags), ein mal pro Monat mit aufgechlortem Wasser (1. Woche d. Monats, Dienstags); Konzentration: ca. 1 mg/l Chlor im Zulauf, wie Vorschrift
4	frisches Material; Betrieb mit Beckenwasser; ein Tag pro Wo. Betrieb mit Ablauf Säule 1 (Donnerstags); Spülung: ein mal wöchentl. mit Beckenwasser (Freitags), ein mal pro Wo. mit aufgechlortem Wasser (Dienstags); Konzentration: ca. 2 mg/l

P. aeruginosa in belasteten Filtern

		Pseudomonsa aeruginosa				
Betr.zeit	PN-Datum	inf Zulauf P. aerug. KBE/100ml	Filt-1-eff Filt-1 Ablauf P. aerug. KBE/100ml	Filt-2-eff Filt-2 Ablauf P. aerug. KBE/100ml	Filt-3-eff Filt-3 Ablauf P. aerug. KBE/100ml	Filt-4-eff Filt-4 Ablauf P. aerug. KBE/100ml
7	20.07.04	0	0	47	0	0
14	27.07.04	0	0	2	1	0
21	03.08.04	0	0	0	0	0
28	10.08.04	0	2	0	0	2
35	17.08.04	0	24	7	1	1
42	24.08.04	0	7	0	0	0
49	31.08.04	0	1	0	1	2
56	07.09.04	0	1	0	0	0
63	14.09.04	0	0	0	0	0
70	21.09.04	0	2	0	28	0
77	28.09.04	0	0	0	0	0
84	05.10.04	0	0	0	0	2
91	12.10.04	0	0	0	0	0
98	19.10.04	0	0	0	0	1
105	26.10.04	0	0	0	0	0
112	02.11.04	0	0	0	0	0
	Mittelwert	0,0	2,3	3,5	1,9	0,5
	Stabw	0,0	6,1	11,8	7,0	0,8
	T(67%)	0,0	1,5	3,0	1,8	0,2
	Anz. pos.	0	6	3	4	5

Schlussfolgerungen

- **Bei den Untersuchungen war eine gezielte Kontamination der Materialien mit *P. aeruginosa* nicht möglich**
- **Aufgetretene Aktivkohle-Verkeimungen können mit großer Wahrscheinlichkeit durch Filterspülungen beseitigt werden, bei denen oberhalb des fluidisierten Bettes Chlorkonzentrationen von mindestens 3 mg/l freies Chlor aufrechterhalten werden können.**

2nd Int. Pool & Spa Conference

München 14.-16. März 2007

LGL Bayern

TU Dresden

WaBoLu

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit