

BluePlanet Germany GmbH
Friesestraße 31a
02681 Schirgiswalde-Kirschau

Institut für
Abwasserwirtschaft
und Gewässerschutz
Stellv. Leiter
Dr.-Ing. Joachim Behrendtl

11.03.2025

Beurteilung des Effektes der Dosierung von AD-Activator, ACF-32 und ACF-SA sowie der Belüftung mit Kingfisher (Teich 1) und MK3 (Teich 2-5) Nano-Belüftern

Veranlassung:

Die Gemeinde Linden betreibt eine Teichkläranlage, die aus fünf Teichen besteht. Der erste Teich dient als Absetzteich und ist entsprechend unterteilt. Über die Jahre hinweg hat sich in den Teichen eine erhebliche Menge an Schlamm angesammelt, was den ordnungsgemäßen Betrieb der Anlage beeinträchtigt. Um diesem Problem entgegenzuwirken, hat die Gemeinde Linden die Firma Blue-Planet mit der Durchführung folgender Maßnahmen beauftragt:

1. Kultivierung einer speziellen Bakterienformulierung in der BluePlanet Brewing-Station mit anschließender monatlicher Dosierung gebrauchsfertiger Bakterienformulierungen zur Förderung der Klärprozesse. Die Dosierung erfolgt durch einen geschulten Partner vor Ort.
2. Installation von Nano-Belüftern: In Teich 1 wurde ein Nano-Belüfter des Typs Kingfisher der Firma Moleaer und in den Teichen 2-5 Nano-Belüfter des Typs MK3 eingesetzt, sowie deren wöchentliche Überwachung.

In Abb.1 sind die Teiche der Kläranlage dargestellt, während die Probenahmestellen in den einzelnen Teichen in den Anhängen A1 bis A5 verzeichnet sind.

Herr Dr.-Ing. Joachim Behrendt vom Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz (AWW) an der Technischen Universität Hamburg (TUHH) wurde beauftragt, diese Maßnahmen wissenschaftlich zu begleiten und zu evaluieren.

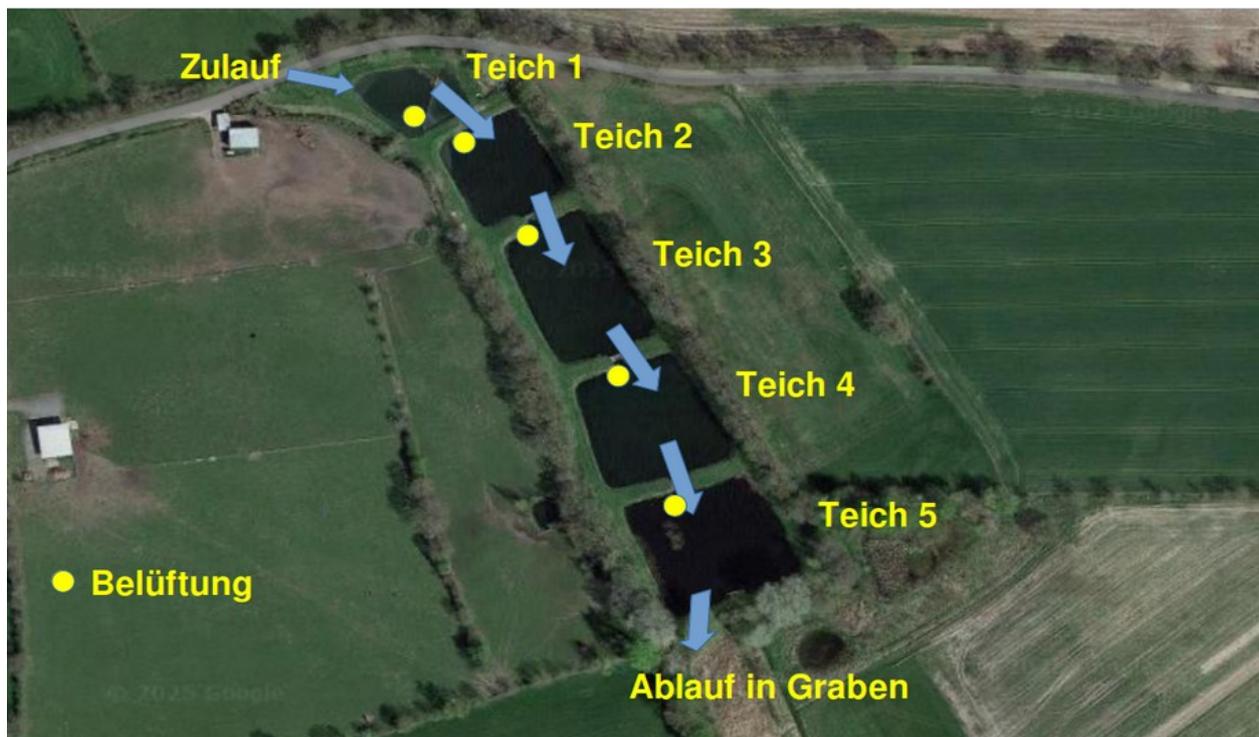


Abb. 1: Kläranlage Linden mit den Standorten der Nanobelüfter (gelb)

Durchführung der Versuche

Die experimentellen Untersuchungen wurden von der Firma BluePlanet durchgeführt. Die Schlamm- und Wasserprobenahme der Teiche erfolgten durch die Fachfirma rotox-Klärtechnik, Weiterführende Analysen wurden von den folgenden Laboren ausgeführt: (Tab.1). Alle Vorort Messungen sind vom Wasserverband Norderdithmarschen genommen worden.

Tabelle 1: Beteiligte Labore

Parameter	Einheit	Methode	Medium	
pH		Eurofins Labor	Schlamm	
TS	%OS	Eurofins Labor		
oTS	%TS	Eurofins Labor		
Nges	%OS	Eurofins Labor		
NH4-N	%OS	Eurofins Labor		
Pges	g/kg TS	Eurofins Labor		
Bas. Stoffe	%TS	Eurofins Labor		
TOC	%OS	Eurofins Labor		
AOX	Mg/kg TR	Eurofins Labor		
Pb, Cd, Cr, Cr(VI), Fe, Cu, Ni, Hg, Tl, Zn	mg/kg TR	Eurofins Labor		
PCB 6	mg/kg TR	Eurofins Labor		
PCDD/F	ng TEQ/kg	Eurofins Labor		
di-PCB	ng TEQ/kg	Eurofins Labor		
Benzo[a] pyren (PAK)	mg/kg TR	Eurofins Labor		
PFT/PFC	mg/kg TR	Eurofins Labor		
Korngröße		OBUL		
Lagerungsdichte	g/cm ³	OBUL		
Mikrosk. Analyse		VTA Austria		
Abs. Stoffe	l/s	WV Norderdithmarschen		Wasser
CSB	mg/l	WV Norderdithmarschen		
TOC	mg/l	WV Norderdithmarschen		
DOC	mg/l	WV Norderdithmarschen		
NO2-N	mg/l	WV Norderdithmarschen		
NO3-N	mg/l	WV Norderdithmarschen		
NH4-N	mg/l	WV Norderdithmarschen		
Nges	mg/l	WV Norderdithmarschen		
Pges	mg/l	WV Norderdithmarschen		
AOX	mg/l /l	SGS Fresenius		
Hg, Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Cl, KW	mg/l	SGS Fresenius		
Fischeigiftigkeit	G(Ei)	SGS Fresenius		
BTEX	µg/l	SGS Fresenius		

KW	mg/l	SGS Fresenius	
----	------	---------------	--

Zusätzlich werden in Linden und Schalkholz Vorort die folgenden Parameter erfasst:

pH, O₂, Redox, Leitfähigkeit, Wassertemperatur

Diskussion der Ergebnisse

Die Messergebnisse wurden von Frau Zinner der BluePlanet GmbH in tabellarischer Form zusammengestellt (siehe SchlammLinden.xlsx und WasserLinden.xlsx). Aufgrund dieser umfassenden Zusammenstellung wird in diesem Bericht auf eine erneute tabellarische Darstellung verzichtet. Stattdessen werden die Ergebnisse anhand von Grafiken diskutiert.

Schlamm Spiegel und Schlammvolumen

Zu Beginn der Untersuchungen wurden die Höhendifferenzen des Schlammes vom Teichgrund (h), die Wassertiefe der Teiche (H) sowie die Teichfläche (A) bewertet. Es zeigte sich, dass die Teiche mit einem hohen Anteil an kompaktem Schlamm angereichert waren, wodurch anfangs der Teichgrund bei der Beprobung nicht erreicht werden konnte. Folgenden Teichtiefen wurden für die folgende Auswertung zu Grunde gelegt (Tab. 2):

Tab. 2: Teichtiefen der Teiche der TKA Linden

Teich 1	Teich2	Teich 3	Teich 4	Teich5
m	m	m	m	m
2,5	1,5	1,5	1,3	1,5

In Abb. 2 ist der zeitliche Verlauf der Schlamm- und Wasserspiegelhöhen abgebildet. Eine Zunahme der Wassertiefe ist insbesondere in Teich 1 zu beobachten. Die Schlamm Spiegelhöhen nehmen von Teich 1 bis Teich 5 ab. Zudem wurde eine Reduktion der Schlamm Spiegelhöhen über den Behandlungszeitraum festgestellt. Die Zunahme der Wassertiefen wird darauf zurückgeführt, dass sich am Teichgrund ein festes Sediment gebildet hat, das durch die Probenahme nicht erfasst wird. Angenommen, die Teichtiefen bleiben konstant, lässt sich die Mächtigkeit dieses Sediments bestimmen, wie in Abb. 3 dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass sich diese Zone in Teich 1 während der Behandlungszeit auflöst und zum "normalen" Schlamm-

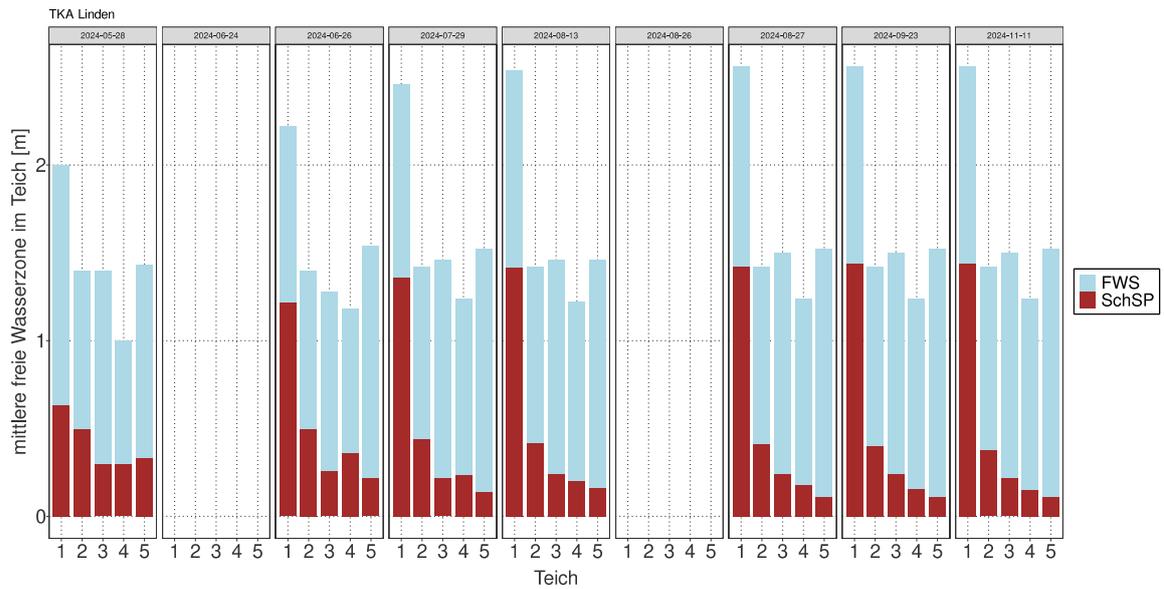


Abb. 2. Mittlere Schlammspiegelhöhen und erreichte Tiefe mit dem Probennehmergerät an den Probennahmestellen während des Untersuchungszeitraumes der Teichkläranlage Linden

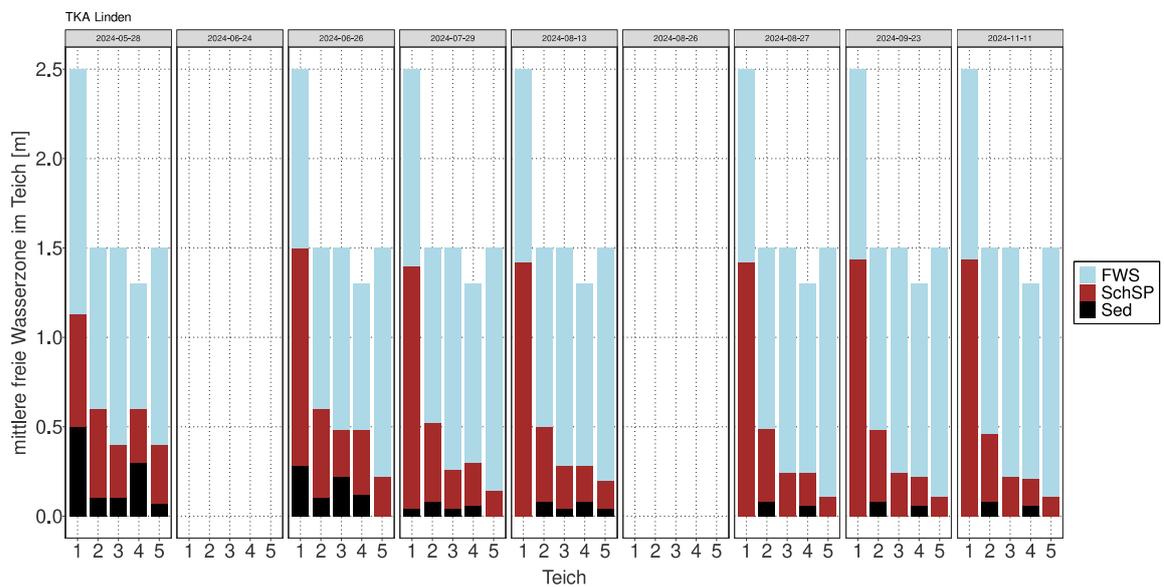


Abb. 4. Mittlere Schlammspiegelhöhen unter Berücksichtigung der Teichtiefen. Die Bereiche die mit dem Probennehmergerät nicht erreicht wurden, sind als Sediment gekennzeichnet (Teichkläranlage Linden)

volumen beiträgt, was einen Anstieg des Schlammpegels zur Folge hat. In den Teichen 2 bis 5 ist ebenfalls eine kleinere Sedimentschicht vorhanden, die sich aber insgesamt auch verkleinert. Besonders hervorzuheben ist die deutliche Reduktion des fluiden Schlammpegels. Leider können die Schlammengen nicht aus den vorliegenden Daten abgeleitet werden; lediglich der organische Anteil kann zur Interpretation genutzt werden. In Abb. 4 ist der mittlere organische Trockensubstanzgehalt der Teiche während der Behandlungszeit dargestellt. Es ist festzustellen, dass der Anteil organischer Verbindungen im Verlauf der Teiche abnimmt. Ein einheitliches Bild ergibt sich nicht, was auf die Schwierigkeiten bei der Beprobung und Analytik zurückzuführen ist. Es bleibt festzuhalten, dass der organische Anteil mit etwa 25 % sehr gering ist. Für zukünftige Untersuchungen sollten Probenahme und Analytik präziser abgestimmt werden, um Aussagen zur Schlammmasse treffen zu können. In den Abb. 5 und 6 sind die Gehalte an Stickstoff und Phosphor dargestellt. Auffällig ist, dass die Phosphorwerte etwa zehnmal höher sind, was auf eine bereits fortgeschrittene Mineralisierung hinweist.

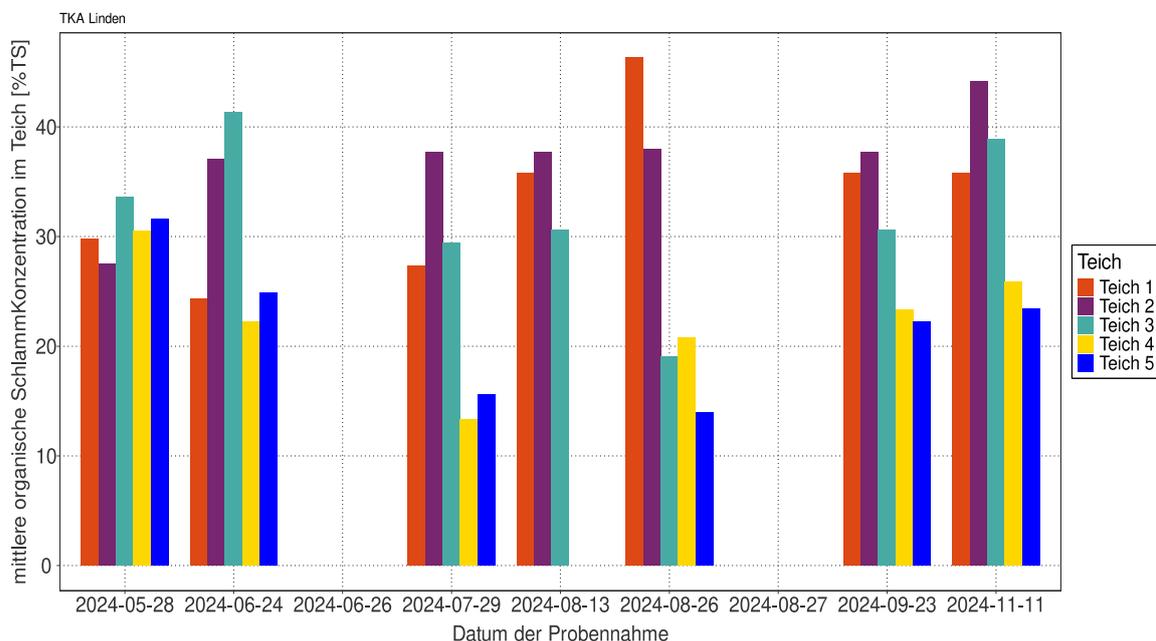


Abb. 4: Organischer Anteil der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

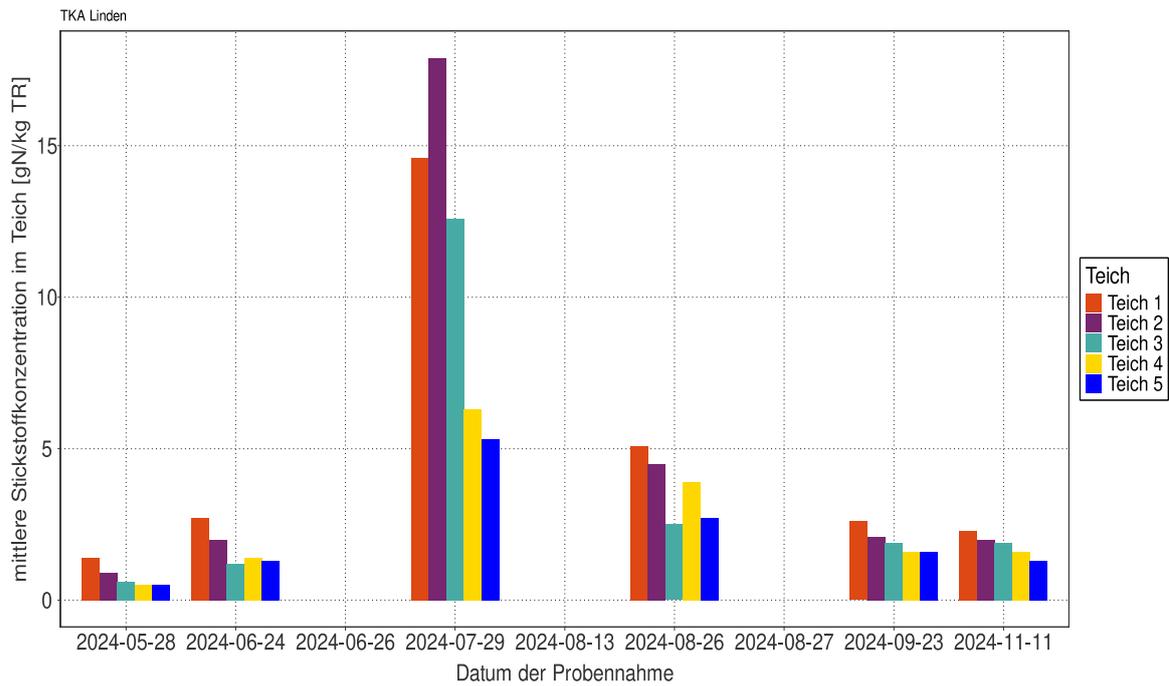


Abb. 5: Stickstoffgehalt der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

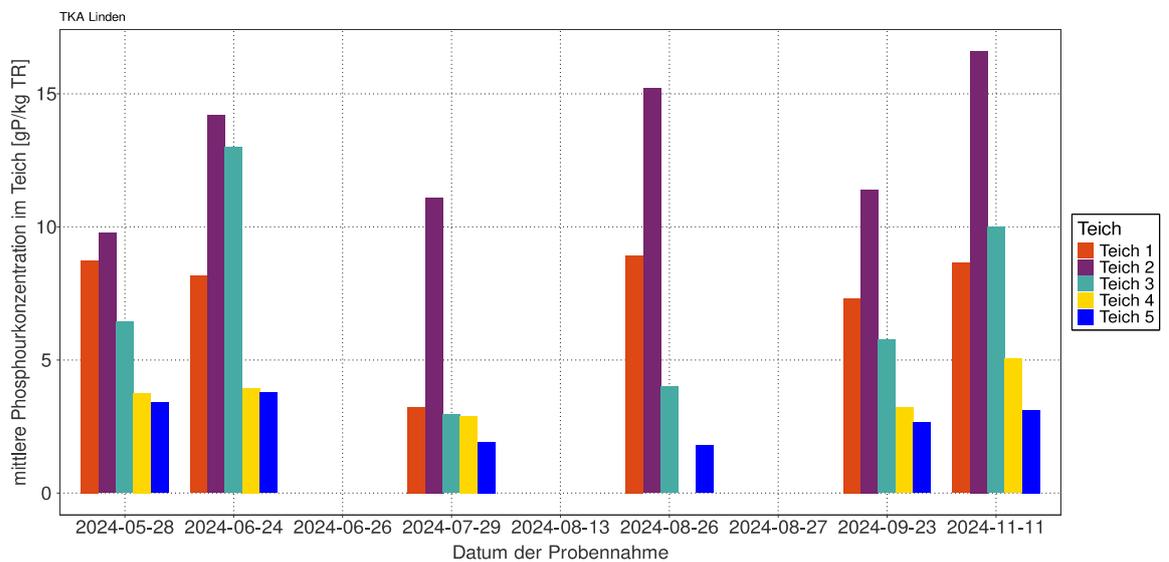


Abb. 6: Phosphorgehalt der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

Schadstoffbelastung des Schlammes

Um die Qualität des Schlammes in den Teichen im Hinblick auf eine mögliche landwirtschaftliche Nutzung zu bewerten, wurden ausgewählte anorganische und organische Parameter untersucht. Dabei wurden eine Reihe von Schwermetallen und organischen Schadstoffen im Schlamm gemessen. Die Konzentrationen der relevanten Schwermetalle sind in den Abb. 7 bis 14 dargestellt. Als Referenz sind die Grenzwerte der Klärschlammverordnung durch eine rote Linie gekennzeichnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Schwermetallkonzentrationen im Schlamm nahe an den Kontrollwerten der Klärschlammverordnung liegen. Tendenziell gibt es eine leichte Zunahme der Konzentrationen mit der Dauer der Behandlung. Aufgrund des einheitlichen Verhaltens der Schwermetalle können einige davon als Indikatoren für zukünftiges Monitoring ausgewählt werden.

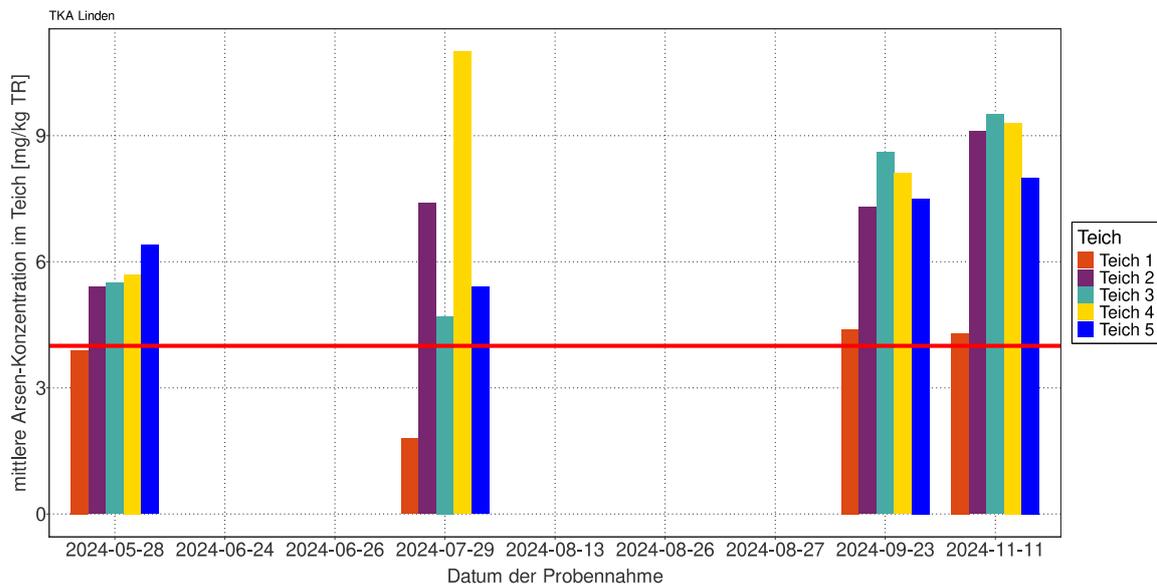


Abb. 7: Arsengehalt der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

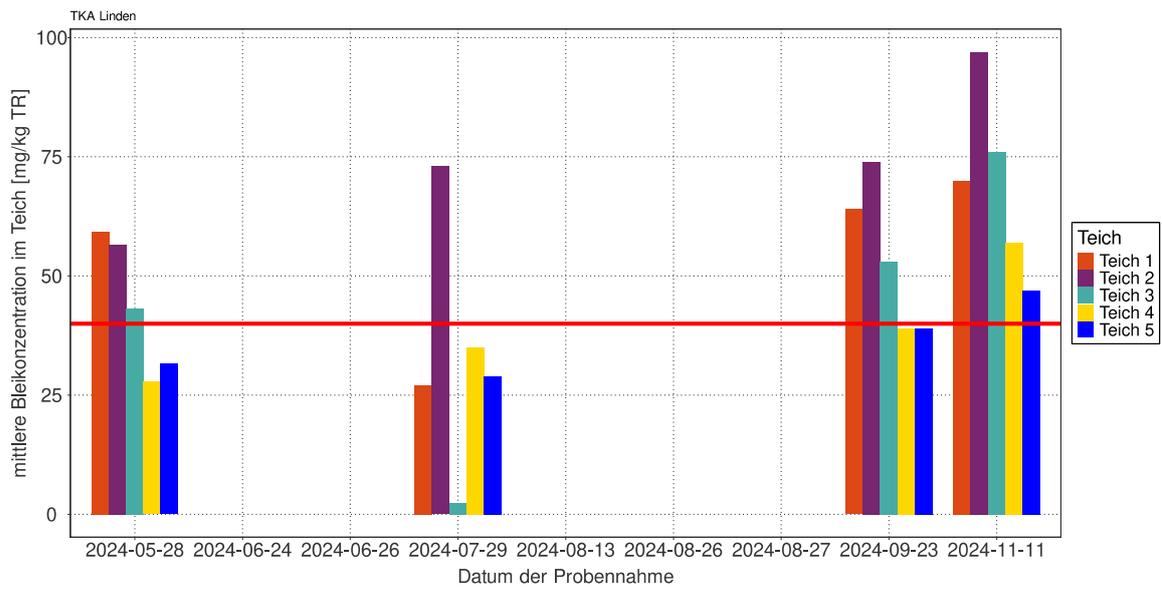


Abb. 8: Bleigehalt der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

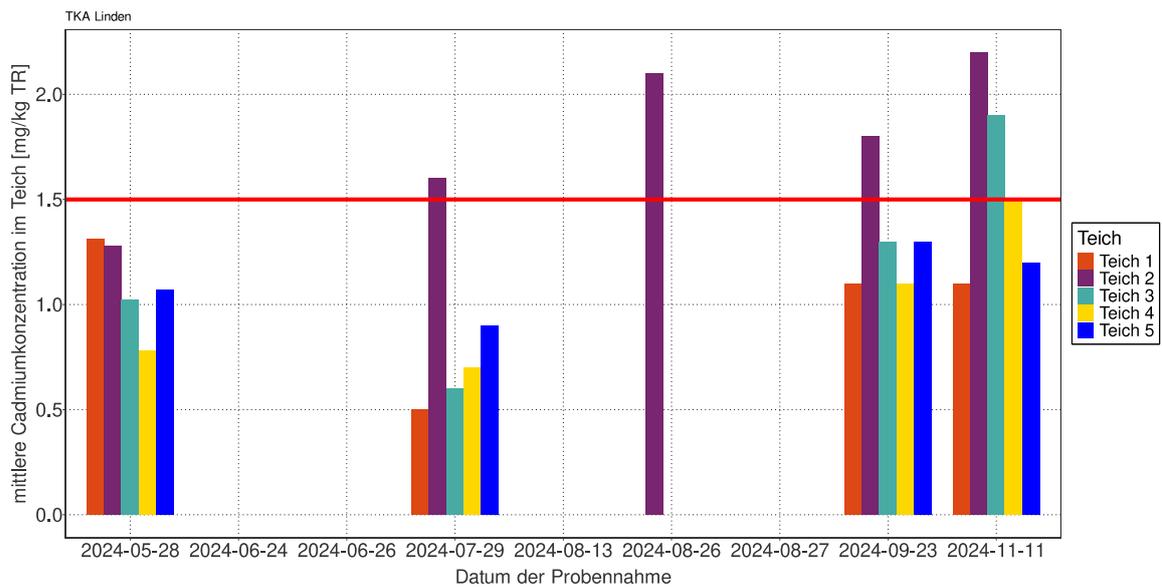


Abb. 9: Cadmiumgehalt der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

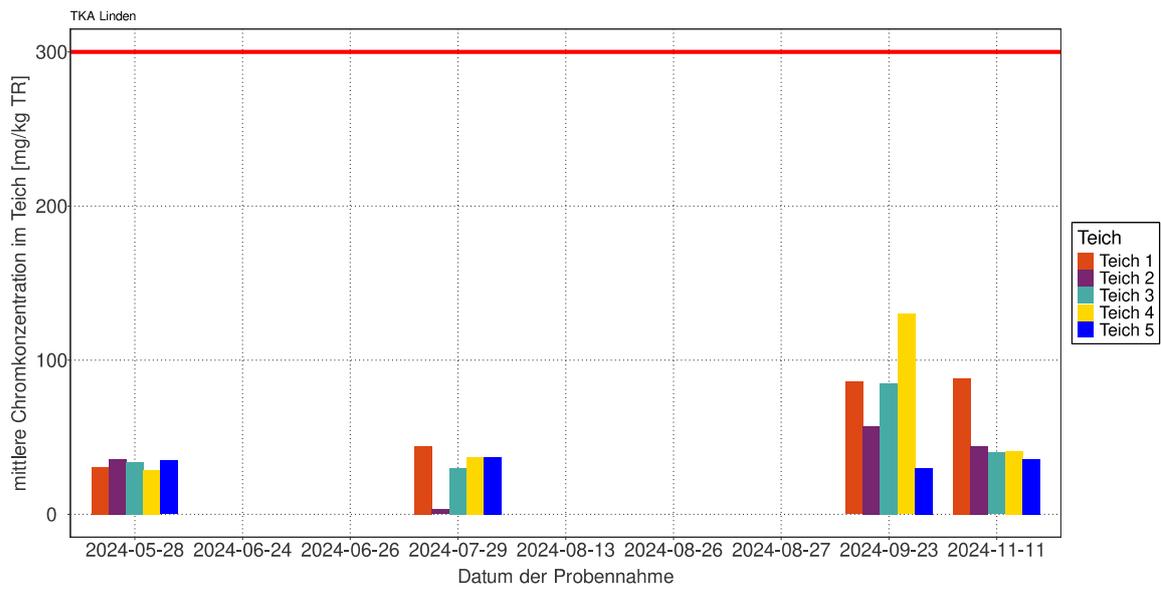


Abb. 10: Chromgehalt der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

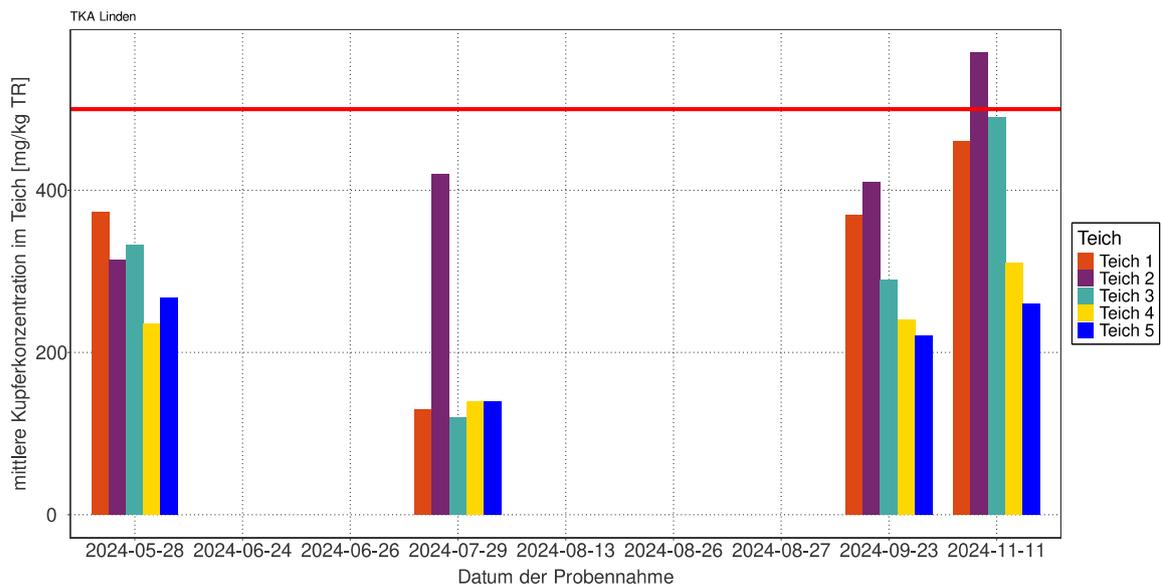


Abb. 11: Kupfergehalt der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

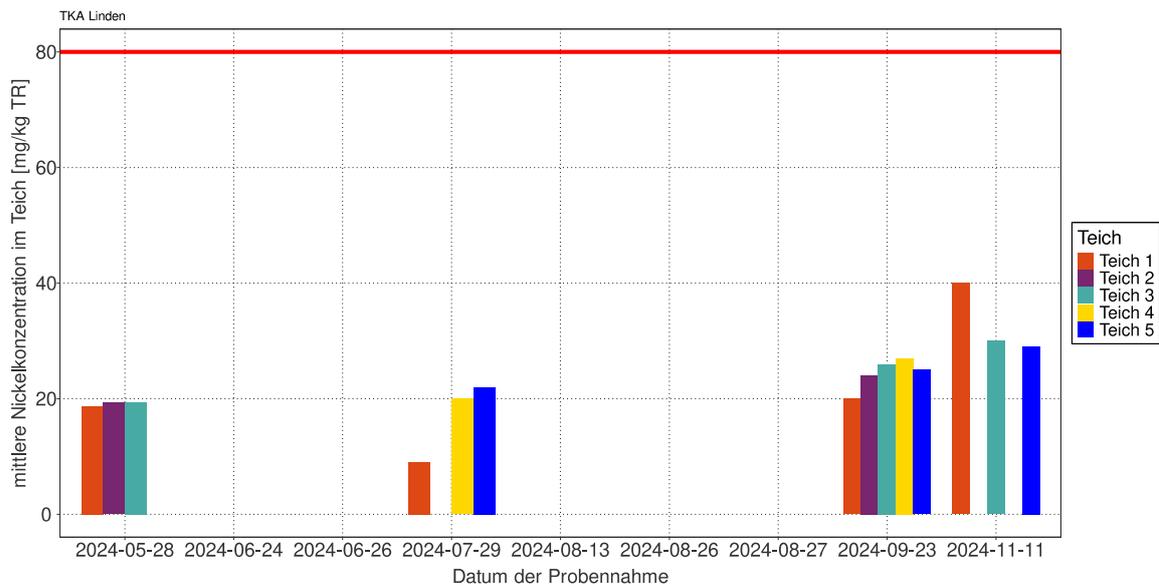


Abb. 12: Nickelgehalt der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

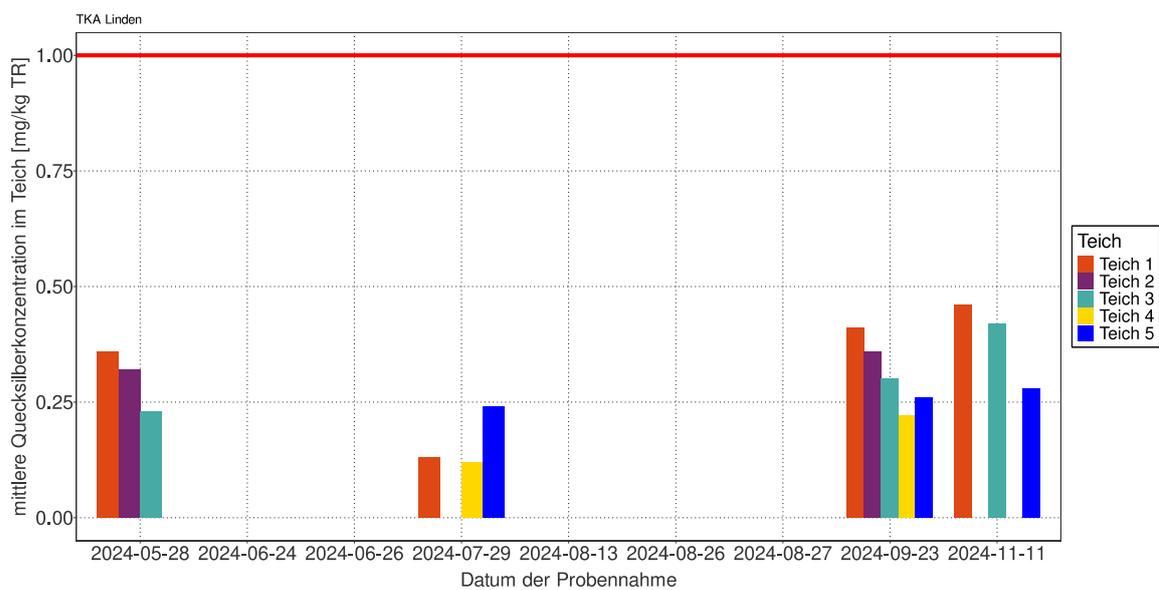


Abb. 13: Quecksilbergehalt der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

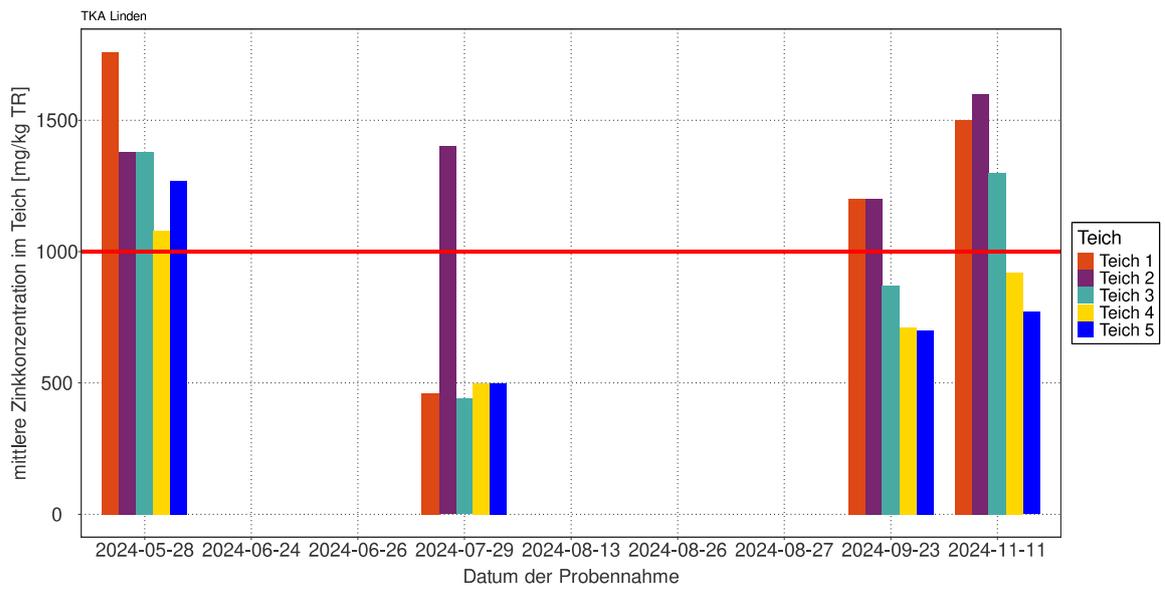


Abb. 14: Zinkgehalt der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

Organische Schadstoffe im Schlamm

Die Werte für die PFOS-/PFOA-Belastung lagen im Bereich der Bestimmungsgrenze von 2 µg/kg TS. Die AOX-Werte (siehe [Abb.15](#)) blieben weitgehend konstant und wiesen von Teich 1 zu Teich 5 eine abnehmende Tendenz auf. Alle gemessenen Werte lagen unter dem Kontrollwert von 400 mg/kg TS.

Als Vertreter der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) wurde aufgrund seiner besonderen Kanzerogenität Benzo[a]pyren als Parameter ausgewählt. In [Abb.16](#) ist ersichtlich, dass die Kontrollwerte lediglich in den Teichen 1 und 2 überschritten wurden. Es liegen jedoch nur zwei Messungen vor. Die Werte aus dem Mai 2024 waren insgesamt bei allen Parametern niedriger. Daher wäre eine vorsichtige Interpretation dieser Ergebnisse angebracht.

Die Polychlorierten Biphenyle (PCB, siehe [Abb.17](#)) konnten in den vorderen Teichen auch im Schlamm nachgewiesen werden, während sie in den Teichen 4 und 5 unter der Nachweisgrenze blieben. Der Kontrollwert von 0,1 mg/kg TS wurde in den meisten Fällen eingehalten.

Ähnlich verhält es sich mit den polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen (PCDDF, siehe [Abb.18](#)) sowie den dioxinähnlichen PCB (DL-PCB, siehe [Abb.19](#)). Auch hier ließ sich keine eindeutige Tendenz feststellen, und die Werte bewegten sich im Bereich von 10 ng/kg TS (PCDDF) beziehungsweise 30 ng/kg TS (DL-PCB).

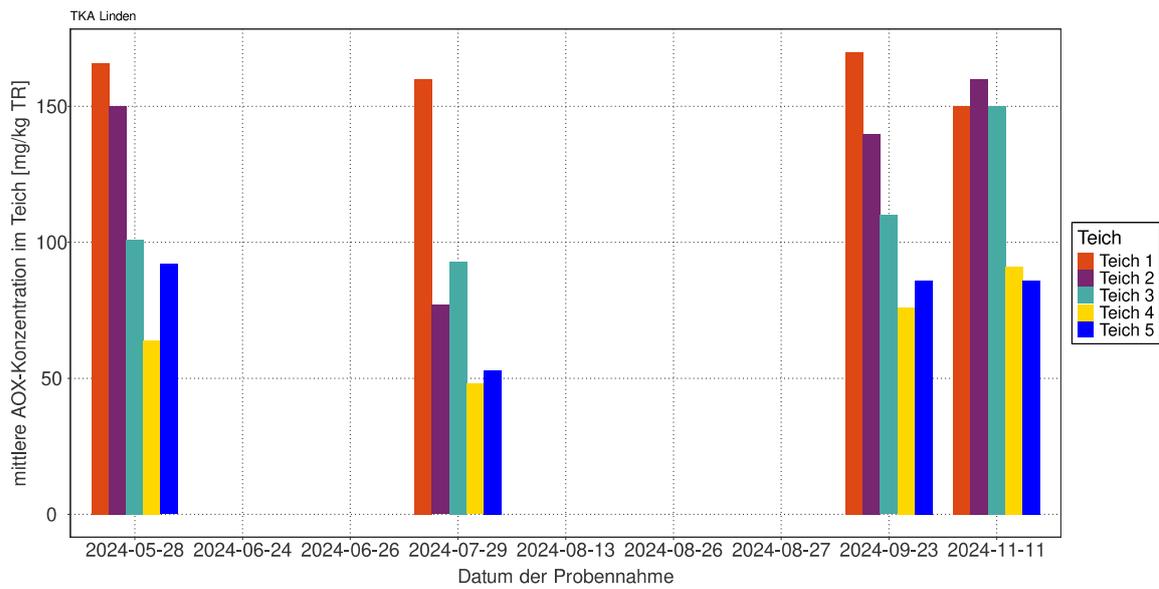


Abb. 15: AOX in der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

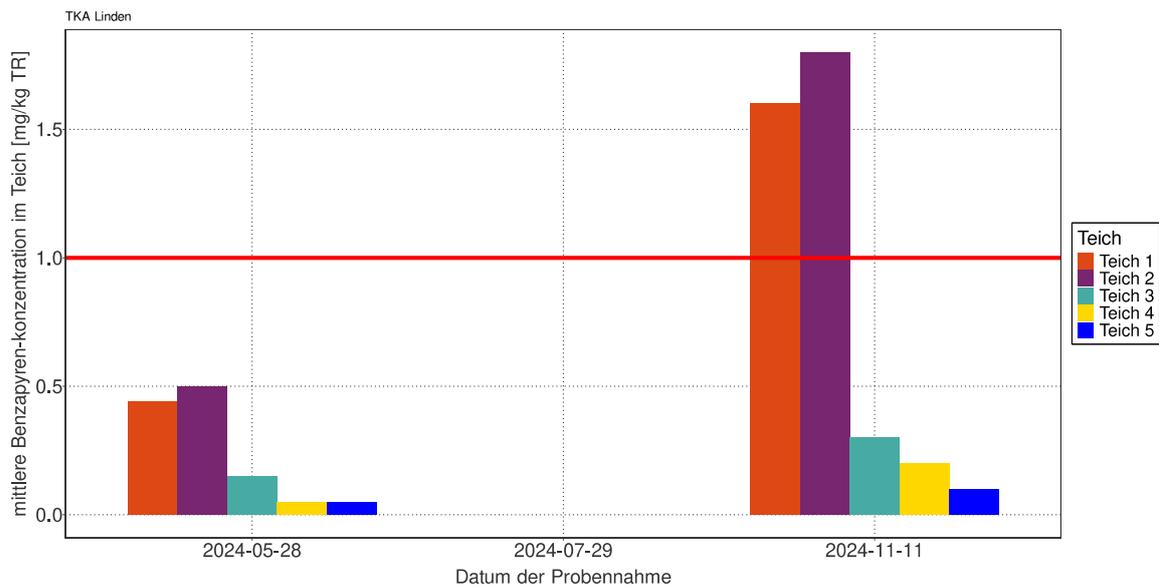


Abb. 16: Benz(a)pyren in der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

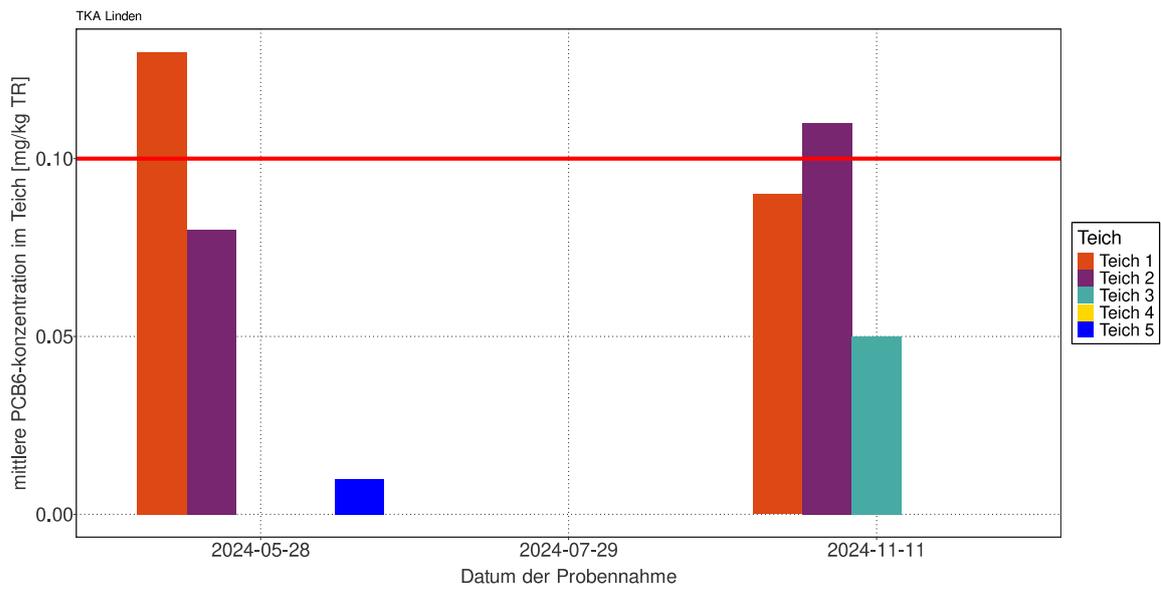


Abb. 17: PCBs in der Trockensubstanz in den Teichen der TKA Linden

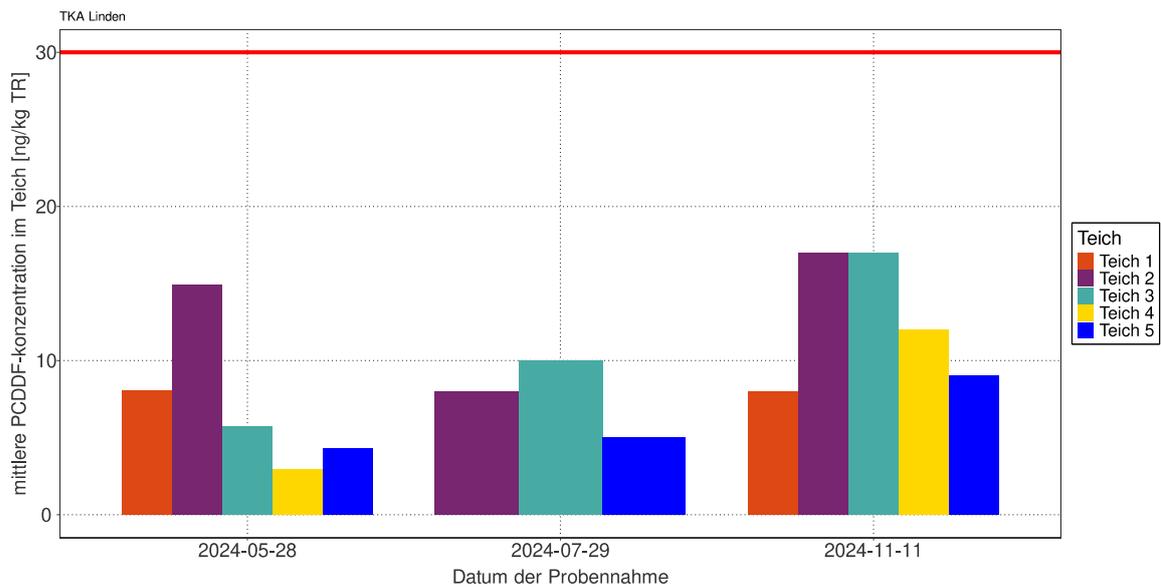


Abb. 18: PCDDF in der Trockensubstanz in den Teichen Der TKA Linden

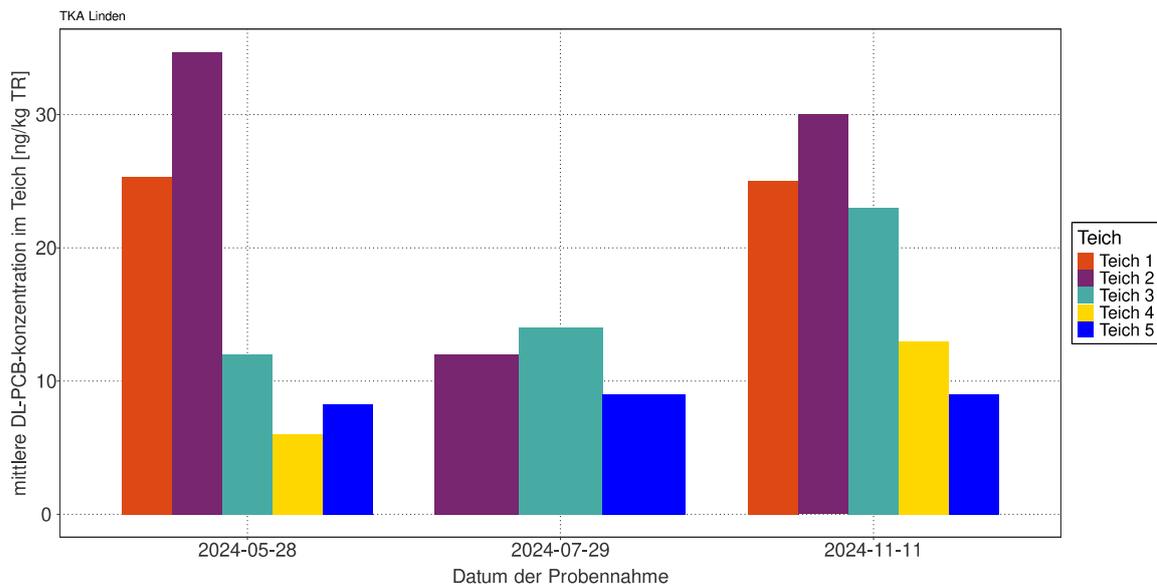


Abb. 19: DL-PCB in der Trockensubstanz in den Teichen Der TKA Linden

Belastung des Wassers in den Teichen und der Vorflut

Der Einfluss der Teichkläranlage (TKA) Linden auf die organische Belastung der Vorflut, gemessen als TOC (Total Organic Carbon), ist erwartungsgemäß deutlich. Wie in [Abb. 20](#) dargestellt, erhöhen sich die TOC-Konzentrationen um einige mg/l. [Abb. 21](#) zeigt den zeitlichen Verlauf der TOC-Konzentrationen im Zulauf und in den Abläufen der Teiche. Während die Zulaufkonzentrationen im Sommer stark ansteigen, erfolgt eine effektive Reduktion in den Teichen. Bereits nach dem dritten Teich liegen die Konzentrationen unter 15 mg/l. Nur im Hochsommer wurden leicht erhöhte Konzentrationen beobachtet. Insgesamt zeigt sich jedoch kein negativer Einfluss der Schlammbehandlung auf die organische Belastung der Vorflut.

Da die Teichkläranlage nicht nitrifiziert, ist der Einfluss der Ammoniumstickstoff-Konzentration ($\text{NH}_4\text{-N}$) im Ablauf der TKA auf die Vorflut erheblich (siehe [Abb. 22](#)). Aufgrund der geringen Hintergrundbelastung im Graben und des hohen Wasseranteils des Kläranlagenablaufs liegen die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen dort konstant über 10 mg/l. Ein ähnliches Muster zeigt sich auch für Phosphor (siehe [Abb. 24](#)). Die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen in den Teichen sind in [Abb. 23](#) dargestellt. Es ist ein wiederkehrendes Muster erkennbar, bei

dem die Konzentrationen in den Sommermonaten ansteigen und im Herbst fallen. Eine Nitrifikation findet jedoch nicht statt, da kein Nitratstickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$) gebildet wird.

Phosphat wird in den Sommermonaten bei hohen Zulaufwerten reduziert, während im Herbst die $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentration bei etwa 2 mg P/l bleibt. Die Konzentrationen von Ortho-Phosphat liegen konstant etwa 0,5 mg P/l unterhalb des Gesamtphosphors. Angesichts der hohen Eisenkonzentrationen im Schlamm wäre eine effektivere Phosphorelimination zu erwarten.

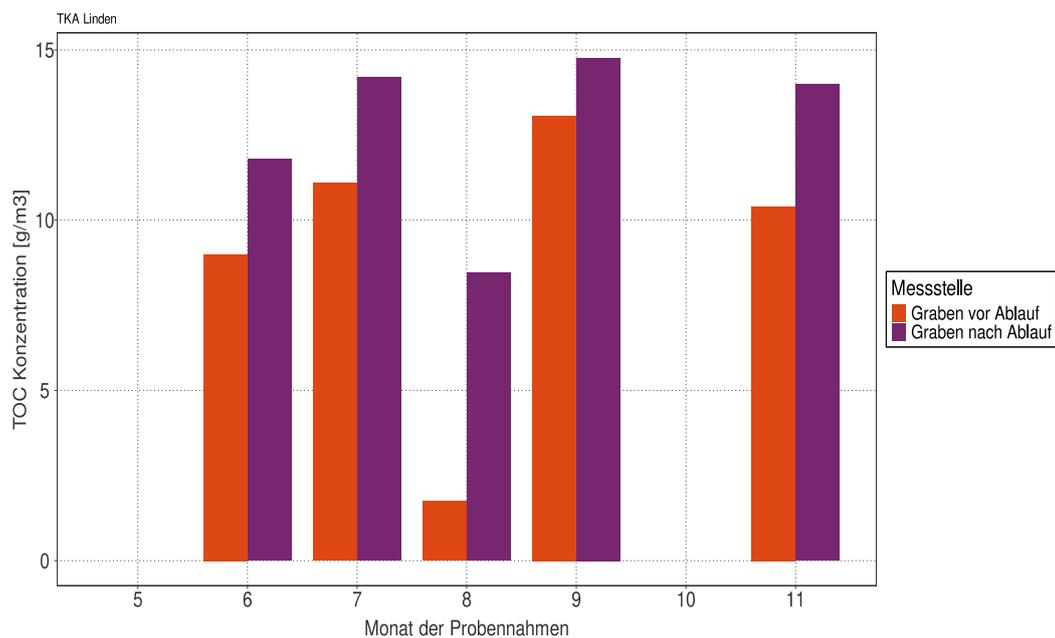


Abb. 20: TOC in Graben vor und nach dem Kläranlagenablauf der TKA Linden

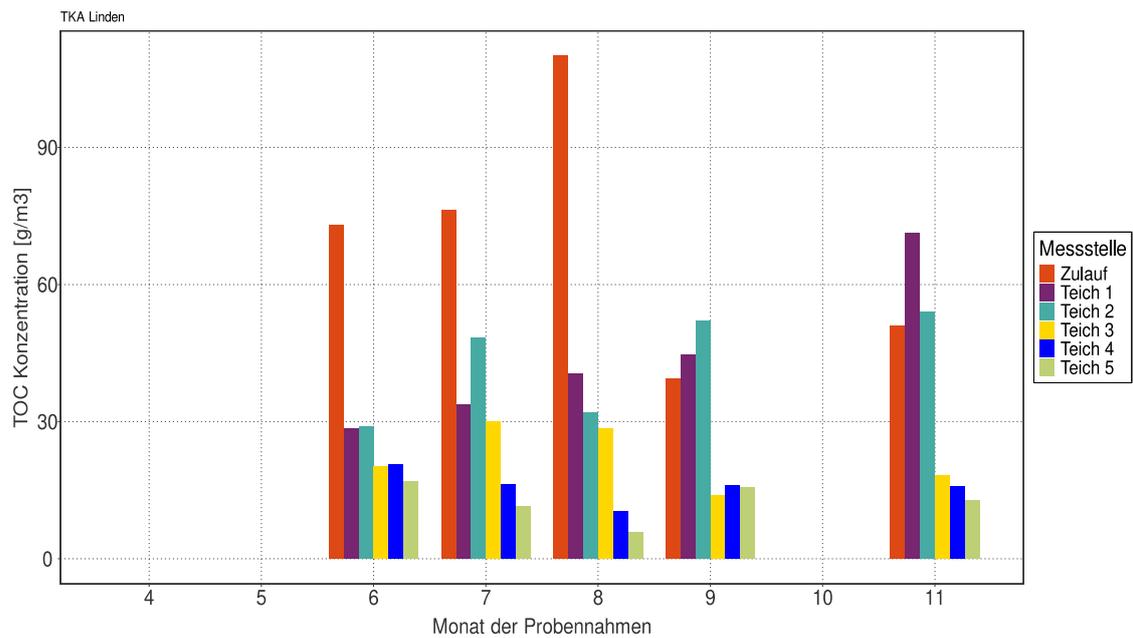


Abb. 21: TOC in den Abläufen der Teiche der Kläranlage Linden

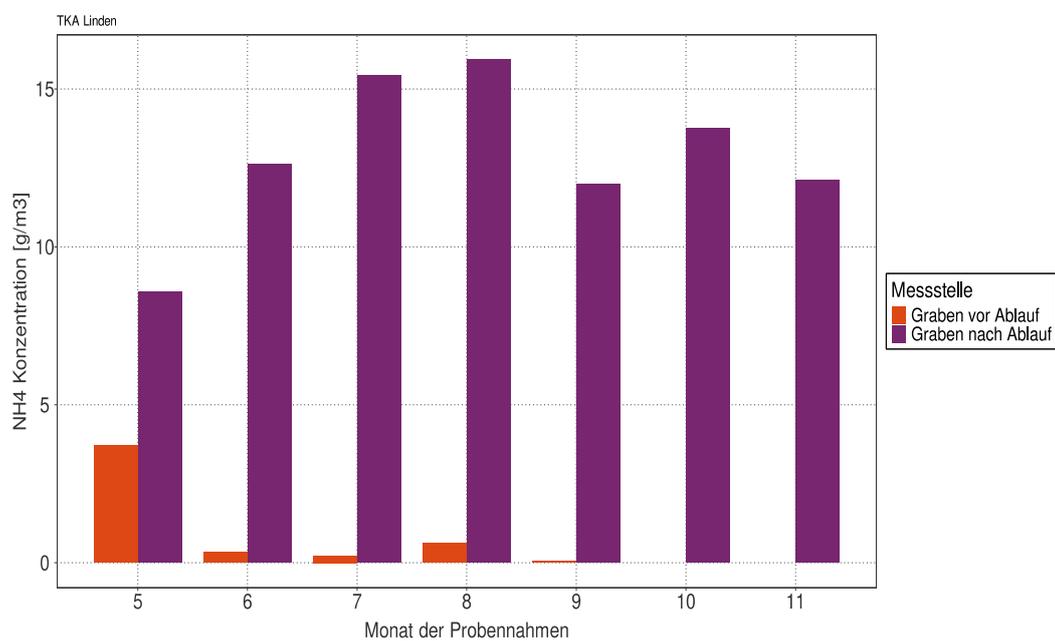


Abb. 22: NH₄-N in Graben vor und nach dem Kläranlagenablauf der TKA Linden

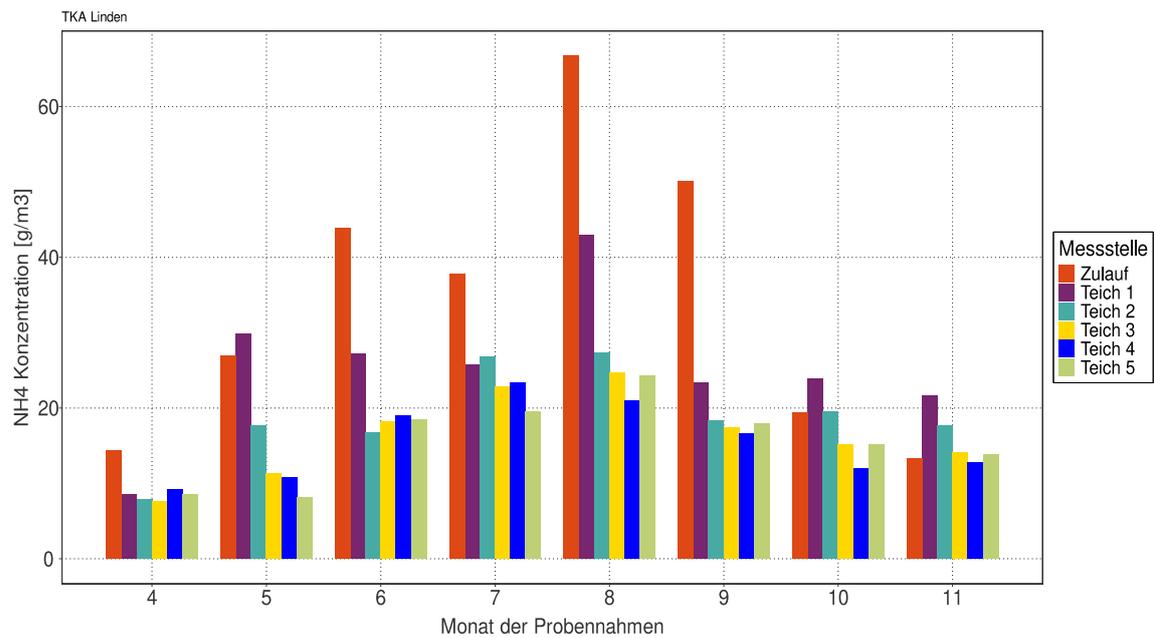


Abb. 23: NH₄-N in den Abläufen der Teiche der Kläranlage Linden

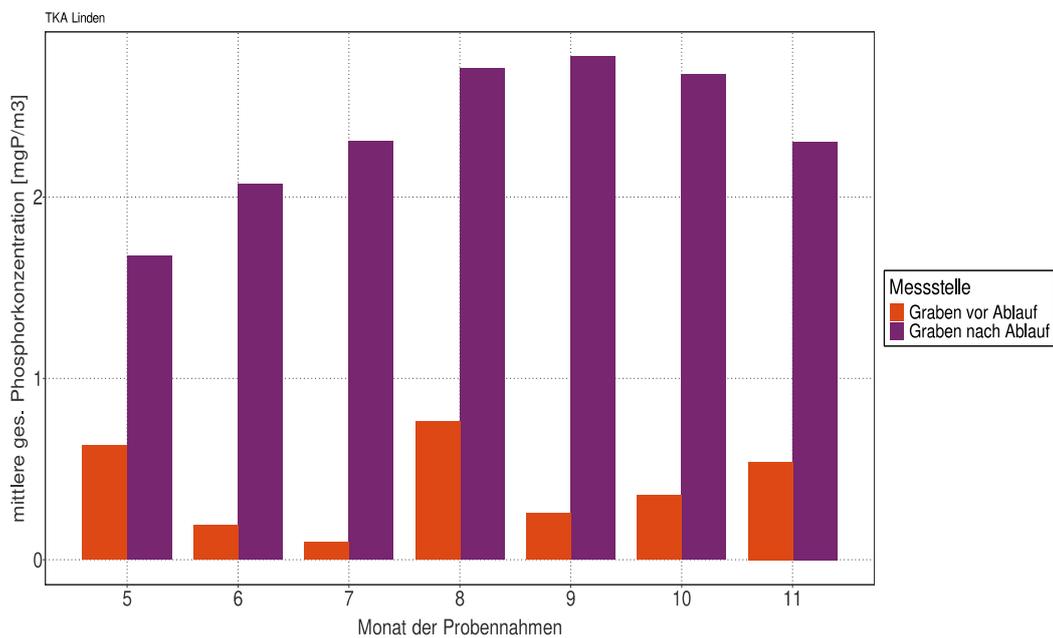


Abb. 24: P_{ges} in Graben vor und nach dem Kläranlagenablauf der TKA Linden

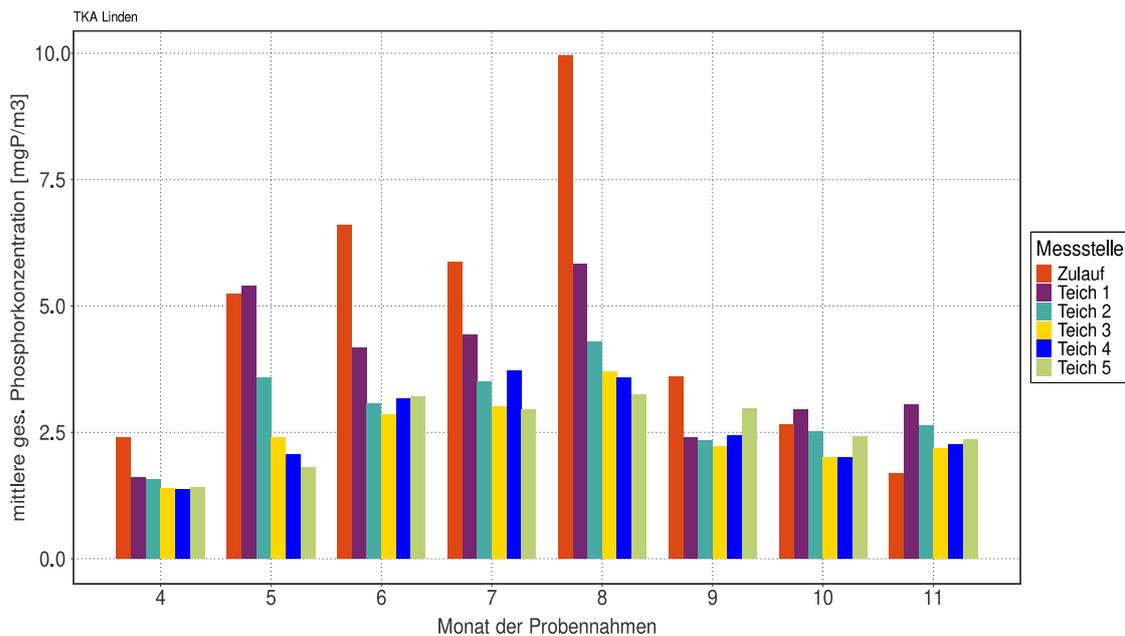


Abb. 25: Pges in den Abläufen der Teiche der Kläranlage Linden

Feststoffabtrieb

Der Gehalt an abfiltrierbaren Feststoffen (AFS) im Ablauf der Kläranlage Linden hat sich während des Beprobungszeitraums verbessert. Am Ende der Untersuchungen wurden nur noch wenige mg/l gemessen (< 5 mg/l, siehe [Abb. 27](#)). In früheren Probenahmen wurden hingegen höhere Werte festgestellt (< 20 mg/l). Diese positive Entwicklung ist auf die Behandlung und leichte Reduktion des Schlammes zurückzuführen, wodurch der Schlammabtrieb verringert wird. Die Ergebnisse basieren jedoch auf Stichproben. Wie sich der Schlammabtrieb bei Niederschlagsereignissen verhält, kann an dieser Stelle nicht bewertet werden. Angesichts der langen Aufenthaltszeit in den Teichen ist es jedoch wahrscheinlich, dass auch in solchen Fällen kein signifikanter Schlammabtrieb auftritt. Der Einfluss der Teichkläranlage Linden auf die abfiltrierbaren Feststoffe in der Vorflut ist daher vernachlässigbar (siehe [Abb. 26](#)).

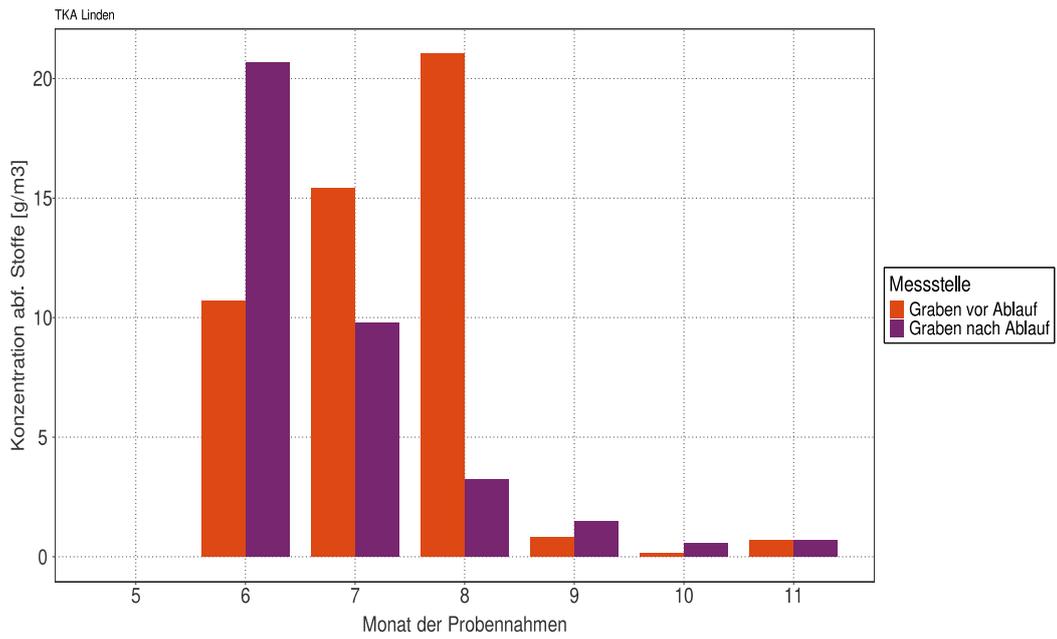


Abb. 26: AFS in Gräben vor und nach dem Kläranlagenablauf der TKA Linden

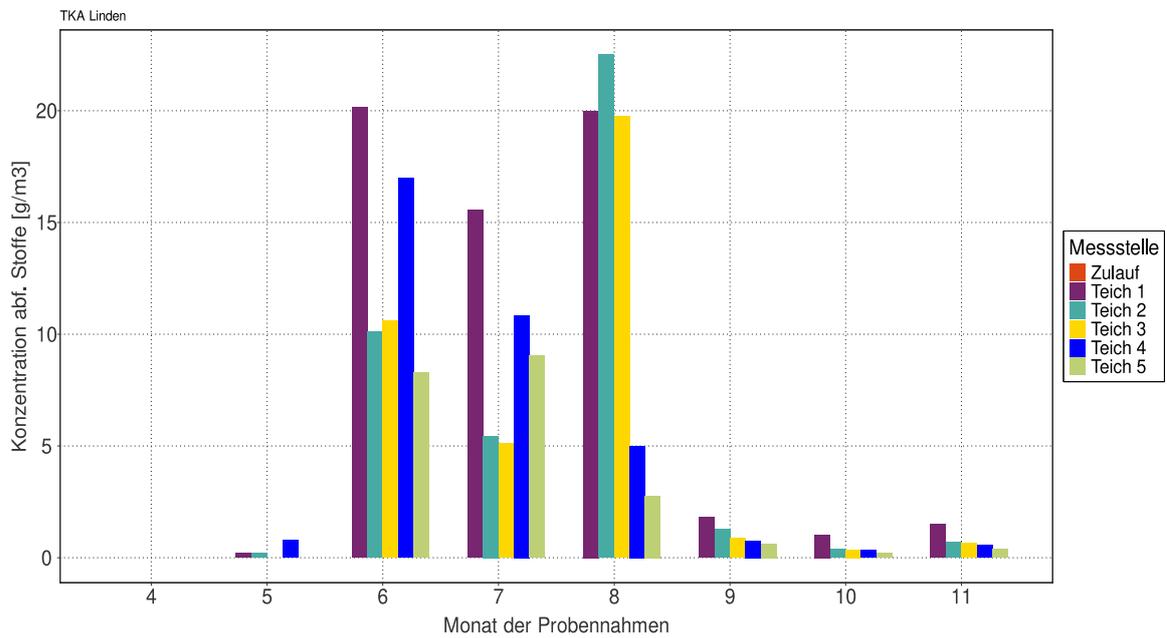


Abb. 27: AFS in den Abläufen der Teiche der Kläranlage Linden

Hydraulische Belastung der Teichkläranlage Linden

Die Teichkläranlage Linden weist unter Berücksichtigung der Tagesmittelwerte eine durchschnittliche hydraulische Belastung von 420 m³/Tag auf. Dieser Wert liegt nahe am 80. Perzentil, das circa 500 m³/Tag beträgt (siehe [Abb. 28](#)). Daraus resultiert eine hydraulische Aufenthaltszeit von etwa 20 Tagen, was als die unterste Grenze für die Effizienz von Teichkläranlagen betrachtet werden sollte. Der Median des Zulaufvolumenstroms beträgt circa 200 m³/Tag. Der signifikante Unterschied zwischen dem arithmetischen Mittel und dem Median ist auf extreme Schwankungen im Zulauf zurückzuführen. Aus [Abb. 29](#) geht hervor, dass die tägliche Abwasserzufuhr erhebliche Variationen aufweist. Extreme Niederschlagsereignisse führten zu einer Gesamtregenmenge, die 131 % des langjährigen Mittels entspricht. Infolgedessen wurden Spitzenwerte von bis zu 4000 m³/Tag erreicht, was dem Achtfachen des 80. Perzentils entspricht. Da die Durchströmung der Teiche nicht gleichmäßig erfolgt, kam es zeitweise zu einer deutlichen Verkürzung der Aufenthaltszeit.

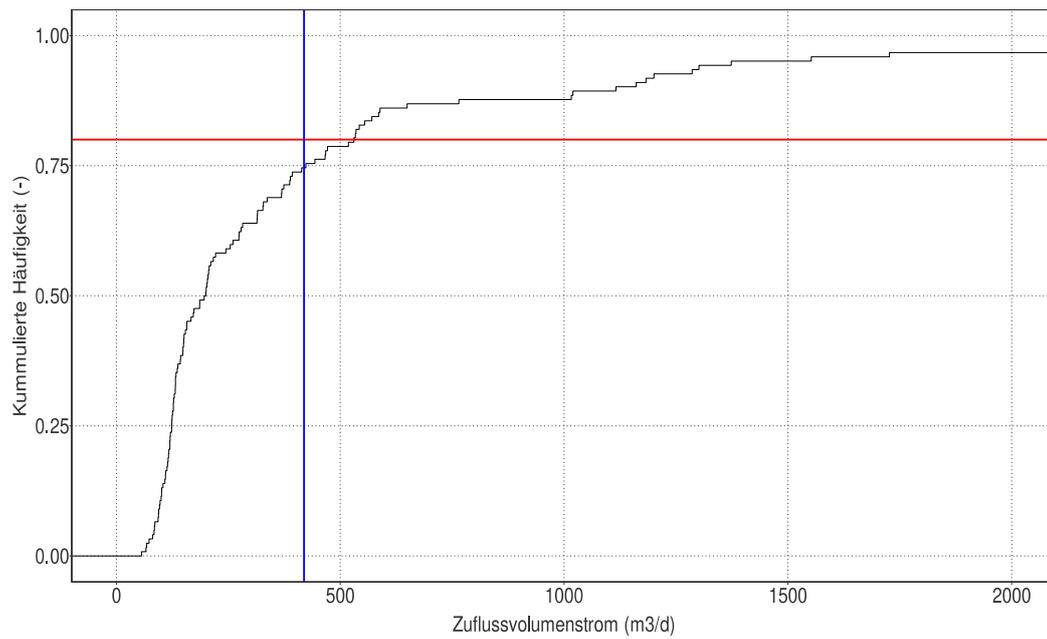


Abb. 28: Summenhäufigkeit des Kläranlagenzulaufes des Tagesmittelwerte zur TKA Linden

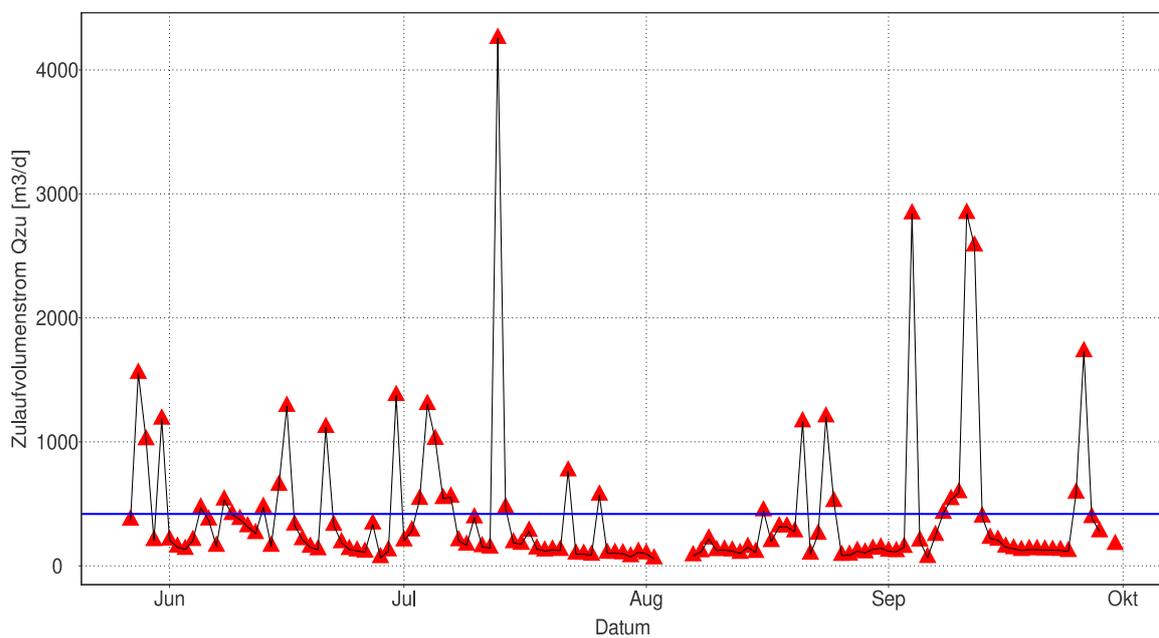


Abb. 29: Tagesmittelwerte des Zulaufvolumenstromes zur TKA Linden

Fazit

Die von der Firma Blue Planet vorgeschlagenen und umgesetzten Maßnahmen haben bisher zu deutlichen Verbesserungen hinsichtlich des Schlammvolumens in den Teichen 2 bis 5 geführt. In Teich 1 konnte das sehr feste Sediment aufgelöst werden. Das Schlammvolumen hat sich vom Beginn der Untersuchungen zu den Wintermonaten reduziert. In Tab. 3 sind die durchschnittlichen Werte aufgeführt. Insgesamt wurde eine Schlammreduktion von 53 % erzielt. Die Startwerte basieren auf der Messung vom 28.05.2024 und wurden mit Werten der Messung vom 24.06.2024 ergänzt, da nicht alle Werte vorlagen. Da sich dann ab Herbst keinen wesentlichen Veränderungen ergaben, wurde dann der Mittelwert der letzten drei Messung als Endergebnis herangezogen.

Tab. 3: Aufstellung der Schlammreduktion in den Teiche 2 – 5 der TKA Linden

Teich	Fläche	Tiefe	SP-Start	SP-Herbst	V-Reduktion	V-SP	V-Reduk.
	m ²	m	m	m	m ³	m ³	%
2	1550	1,5	0,60	0,48	191	930	20,6
3	2420	1,5	0,48	0,23	605	1162	52,1
4	2425	1,3	0,54	0,22	776	1310	59,3
5	2700	1,5	0,36	0,09	729	972	75,0
2-5					2301	4373	52,6

Der kritischste Aspekt der Kläranlage Linden ist Teich 1, der auch den gesamten Primärschlamm enthält. Zwar konnte das feste Sediment in diesem Teich gelöst werden, jedoch wurde kein Abbau der Trockensubstanz erreicht. Dies ist wahrscheinlich auf die zu kurze Behandlungsdauer und die unzureichende Sauerstoffzufuhr zurückzuführen. Eine signifikante Erhöhung des Sauerstoffeintrages, auch in den Teiche 2 - 4 könnte anschließend auch zu einer Nitrifikation führen und die Phosphatkonzentration durch verbesserte Eisenoxidation senken. Die extremen Regenereignisse haben auch zu einem erhöhten Austrag der zugeführten Präparate der Firma BluePlanet geführt.

Die Schlamm-mengen in den einzelnen Teichen konnten aufgrund der fehlenden spezifischen Zielsetzung dieser Untersuchung durch das Probenahmeunternehmen nicht bestimmt werden. Für zukünftige Studien sollte diesem Aspekt besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Zudem wäre es von Vorteil, das Profil der Feststoffablagerungen einer detaillierten Analyse zu unterziehen, um ein besseres Verständnis der Ablagerungs-dynamik zu gewinnen.

Der Gehalt an Schwermetallen im Schlamm sollte weiterhin überwacht werden. Die Bleikonzentration eignet sich sehr gut als Proxy-Indikator und sollte regelmäßig bestimmt werden. Arsen, Cadmium und Kupfer sollten zweimal jährlich gemessen werden. Die anderen Metalle sind von geringerer Relevanz.

Auch organische Schadstoffe sind im Schlamm nachweisbar. Ihr Verhalten ähnelt dem von Blei, weshalb ich maximal zwei Kontrollmessungen pro Jahr als ausreichend empfinde.

Ich halte es für sinnvoll, die Behandlung in diesem Jahr fortzusetzen. Die Bedingungen sind zwar nicht optimal, jedoch besteht insbesondere in Teich 1 ein vielversprechendes Potenzial.



Technische Universität Hamburg

Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz
Eissendorfer Str. 42, 21073 Hamburg
Tel. +49 40 42878-3440, Fax. -2684
email: j.behrendt@tuhh.de

Dr.-Ing. Joachim Behrendt