

# Behandlung TKA Linden

## Zwischenbericht

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Rahmenbedingungen TKA Linden

# Rahmenbedingungen TKA Linden

## Temperatur, Niederschläge, Behandlungszeit und Nanobubbler

- Freigabe der Behandlung: 24.05.2024
- Erstbeprobung: 28.05.2024 / 29.05.2024
- Behandlungsbeginn: 29.05.2024, 1 Monat Verzug
- Ergebnisse Erstbeprobung: 23.07.2024, 2 Monate nach Behandlungsbeginn.
- Stromanschluss: ab Juli 2024
- Die Ergebnisse der Erstbeprobung lagen zum Behandlungsbeginn nicht vor. Ein auf die Analyseergebnisse abgestimmter Behandlungsplan konnte mit Behandlungsbeginn nicht erstellt werden.
- Es standen nur drei Tage Vorbereitungszeit für ein sehr komplexes Projekt zur Verfügung.
- Es konnten keine Testläufe mit den Nanobubblern durchgeführt werden.
- Niederschläge: 123 % zum Vergleichszeitraum 1991 – 2000



# Rahmenbedingungen TKA Linden

Temperatur, Niederschläge, Behandlungszeit und Nanobubbler

- Die Architektur der Kläranlage bedingt eine extrem kurze Verweilzeit bei großen Niederschlagsmengen (Zu- und Abflüsse in Linie). Die Folge waren eine Ausspülung der Bakterien.
- Juni und August minus 0,1 °C zum Vergleichszeitraum
- Hoher Verschmutzungsgrad des Wassers in Teich 1 mit sehr vielen Schwebstoffen.



# Rahmenbedingungen TKA Linden

## Wetterdaten

### Monatswerte für Erfde 2024

Vergleichszeitraum:

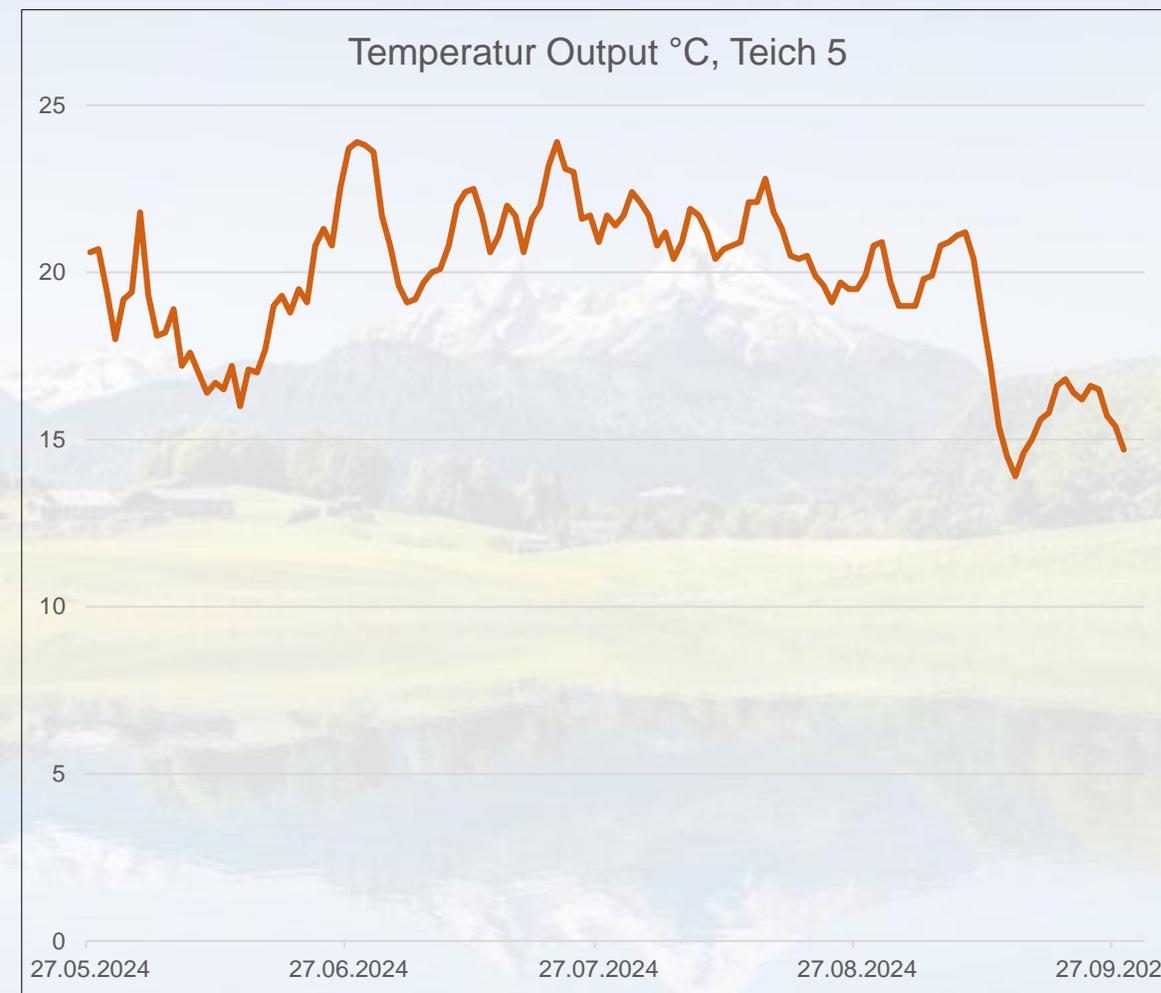
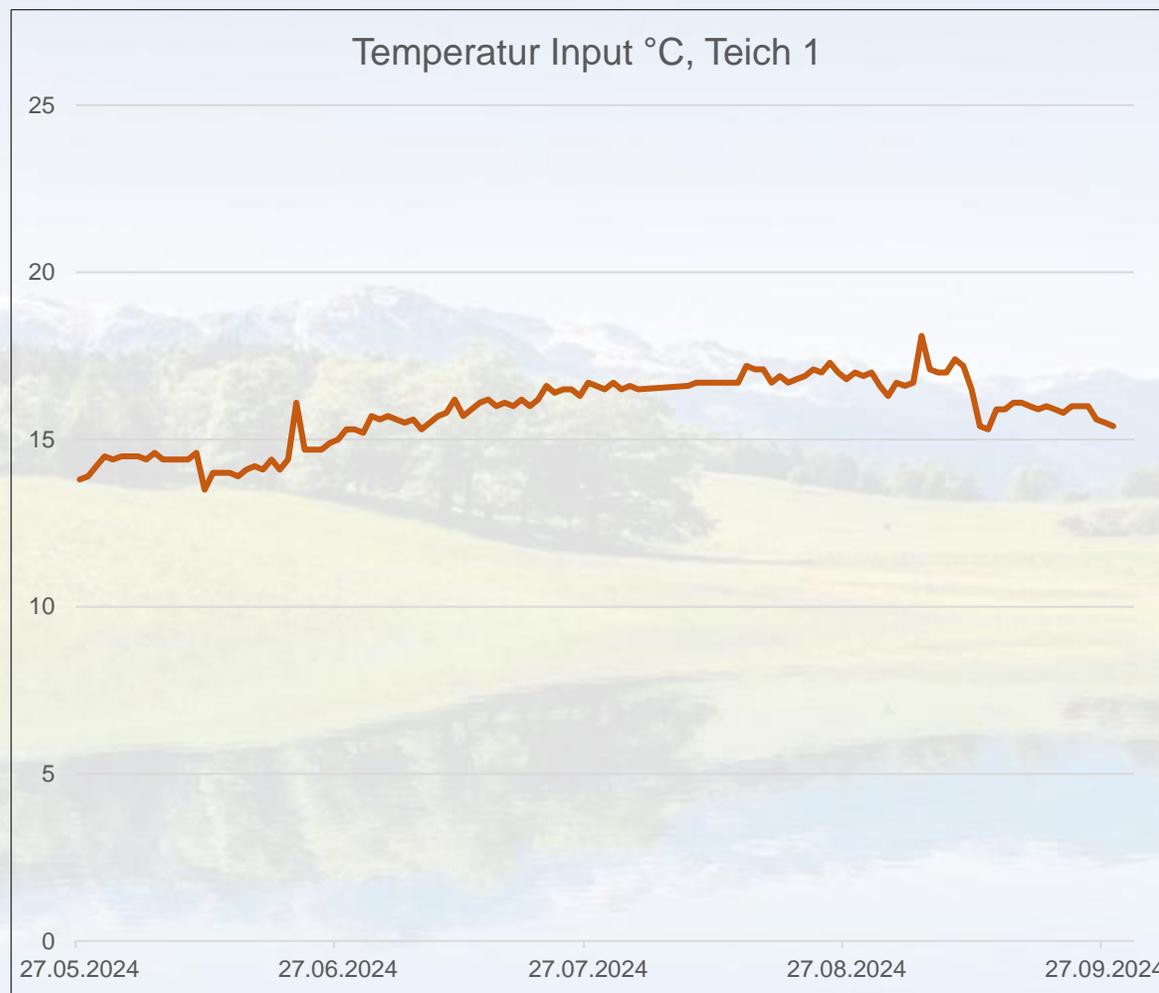
1991 - 2000

Zeitraum	Temperatur		Niederschlag	
	Mittel	Abw.	Summe	<u>% vom Vergleichszeitraum</u>
2024 / 12	5,1	2,4	76,7	92%
2024 / 11	6,2	0,7	116,9	166%
2024 / 10	11	1,3	77,8	88%
2024 / 09	15,3	1,4	110,2	130%
2024 / 08	18	0,7	48,4	52%
2024 / 07	17,3	-0,1	87,5	95%
2024 / 06	15,1	-0,1	103,8	136%
2024 / 05	15,2	3,1	102,3	186%
2024 / 04	9,1	0,9	97	248%
2024 / 03	6,9	2,7	39,1	74%
2024 / 02	5,8	3,8	107,9	195%
2024 / 01	2,4	0,6	101,6	134%

Datenquelle:  
Deutscher  
Wetterdienst

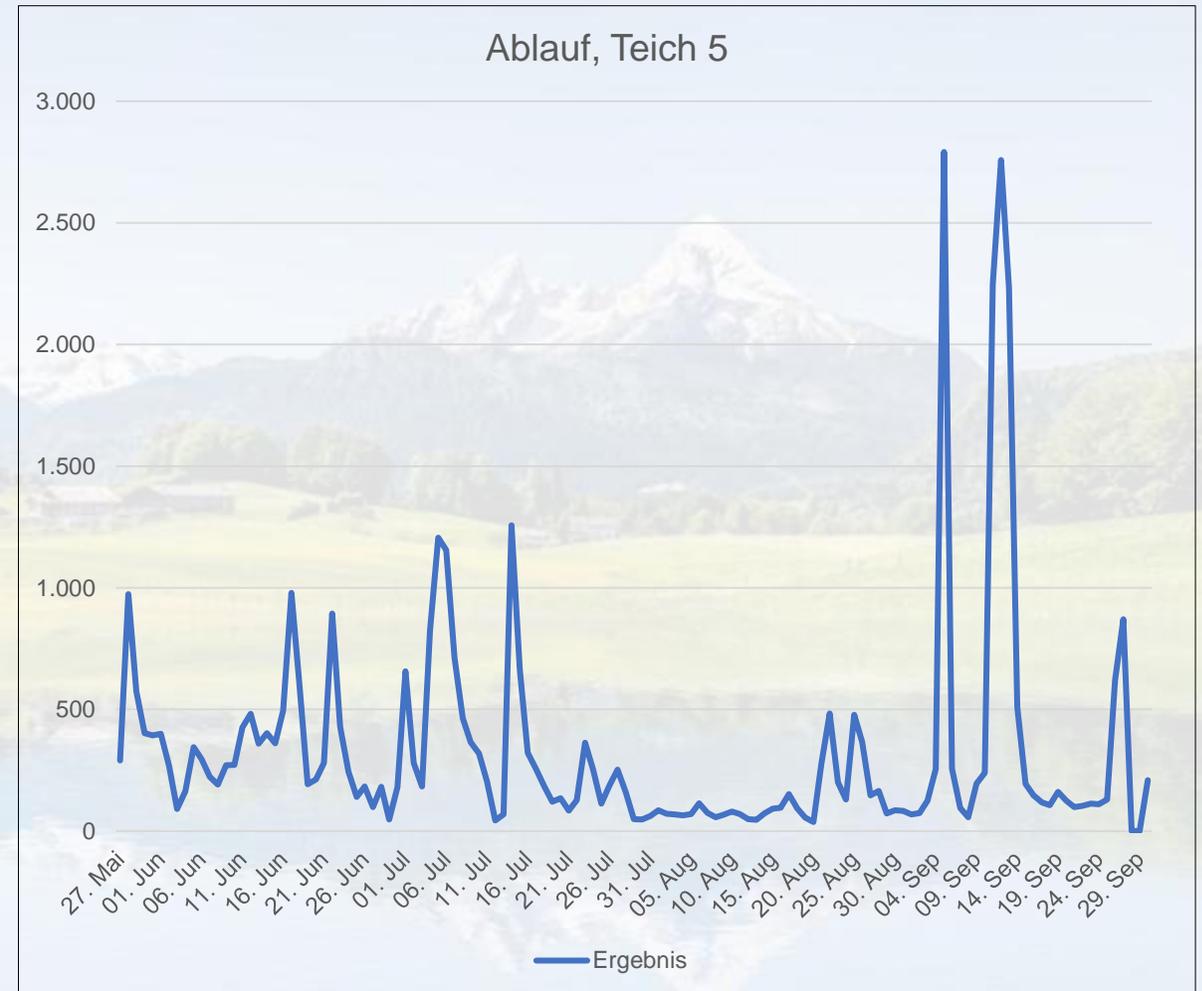
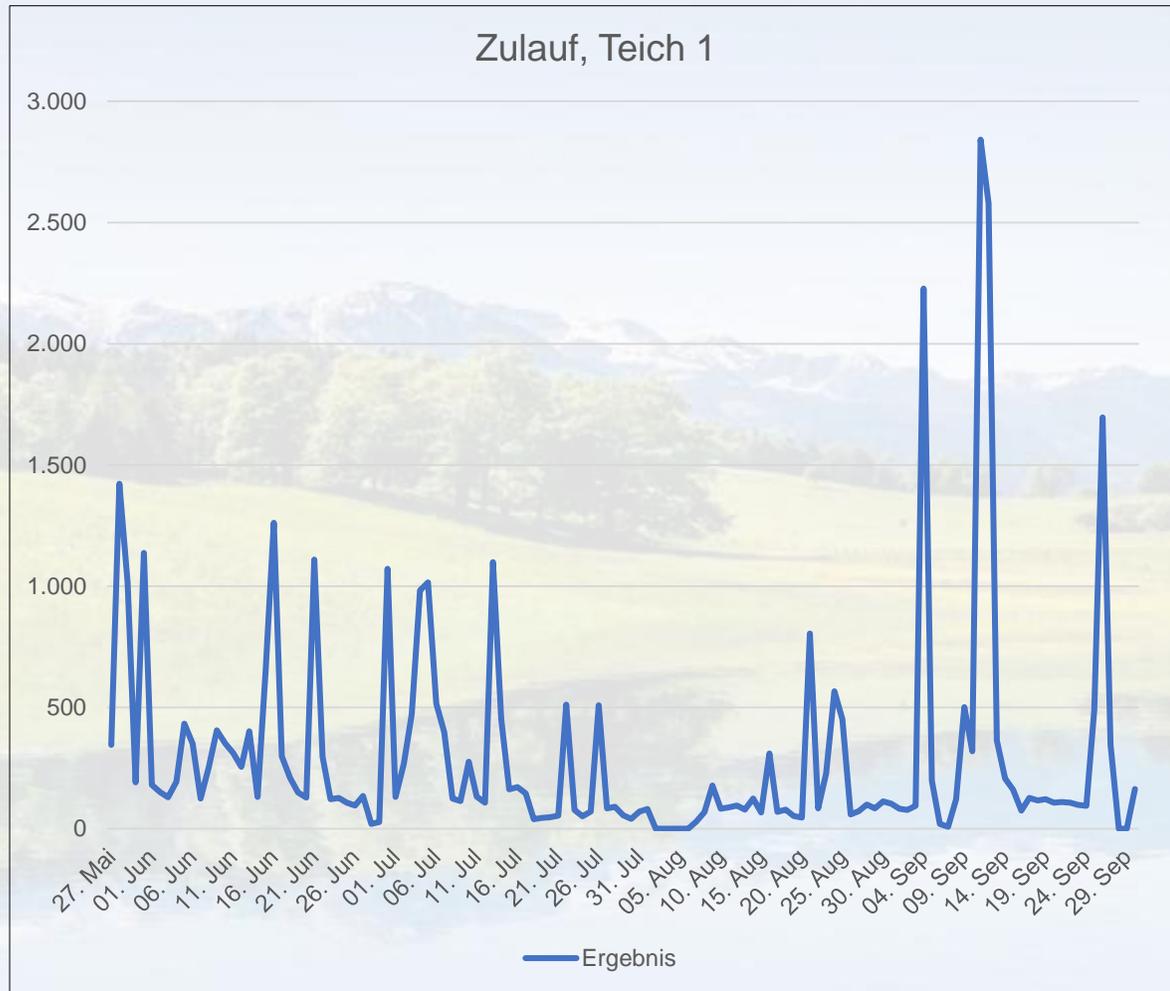
# Rahmenbedingungen TKA Linden

Temperatur, Zu- und Ablauf



# Rahmenbedingungen TKA Linden

Zu- und Ablauf Kläranlage, Volumen in m<sup>3</sup>



# Ergebnisse / Erkenntnisse TKA Linden

# Ergebnisse / Erkenntnisse

Verfahren hat funktioniert, Ziel konnte jedoch nicht komplett erreicht werden.

- Die Behandlungszeit, insbesondere auch wetterbedingt, hat nicht ausgereicht, um das Behandlungsziel zu 100 % erreichen. Es ist unbedingt notwendig, dass die Ergebnisse der Erstbeprobung zum Behandlungsbeginn vorliegen. Der Behandlungsplan muss auf die Analyseergebnisse abgestimmt werden.
- Die Behandlung hat in den Teichen 2 bis 5 sehr gute Ergebnisse erzielt. Die nicht Erreichung des Behandlungszieles in Teich 1 hat die BluePlanet Germany nur sehr eingeschränkt zu verantworten.
- Es wurden in den Teichen 2 bis 5 insgesamt 2.301 m<sup>3</sup> Schlamm abgebaut. Das sind 52,6 % des gesamten anfänglichen Schlammvolumens von 4.373 m<sup>3</sup> (Berechnung TU Hamburg).
- Die Korngrößenverteilung in Teich 1 zeigen unabhängig vom Schlamm Spiegel deutliche Effekte der Behandlung. Die Korngrößenverteilung zeigt in Teich 1 eine „Vergröberung“. Der Schlamm ist im November wesentlich sandig-kiesiger, wobei sich der Schluff durch das Auflösen des Kompaktschlammes ebenfalls erhöht hat.



# Ergebnisse / Erkenntnisse

Verfahren hat funktioniert, Ziel konnte jedoch nicht komplett erreicht werden.

- In Teich 1 wurde der Kompaktschlamm insbesondere durch die vorhandenen Exo-Enzyme aufgelöst (größere Tiefe), der Schlamm in der Schlammsäule jedoch durch die Bakterien nur teilweise abgebaut.
- Hohe Sauerstoffzehrung durch den Abbau von Ammonium insbesondere in Teich 1. Sauerstoff stand nicht für den Schlammabbau durch die Bakterien zur Verfügung. Für 1 mg/l Ammonium werden ca. 4,4 mg/l Sauerstoff benötigt. <sup>1</sup>
- Unter anderem durch die hohe Schwermetallkonzentration (teilw. Reduktion während der Behandlung) und den CSB-Abbau ergab sich eine zusätzliche Sauerstoffzehrung.
- Sauerstoffkonzentration am Gewässergrund: 0,11 mg/l – 0,26 mg/l
- Nanobubbler Kingfisher in Teich 1 lief nur zeitweilig durch hohen Verschmutzungsgrad des Teiches. Es ist unbedingt notwendig, dass für den Einsatz ein schlammfreier Wasserspiegel von einem Meter vorhanden ist.



[1] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, 02.01 Gewässergüte (Ausgabe 1993)

# Ergebnisse / Erkenntnisse

Verfahren hat funktioniert, Ziel konnte jedoch nicht komplett erreicht werden.

- Nanobubbler MK3 sind nicht für die Behandlung stark verschmutzter Teiche bei ungünstigen Bedingungen geeignet. Es ist ein schlammfreier Wasserspiegel von 1 Meter notwendig.
- Messungen, insbesondere für Sauerstoffkonzentration und  $\text{NH}_4$ , waren durch die zeitweilig hohen Ammoniumeinträge nicht ausreichend.
- Durch Nanobubbler und Bakterien kann insbesondere durch den Einsatz von Ozon eine gezielte kurzfristige Ammoniumreduktion erfolgen.
- Eine bauliche Veränderung der Kläranlage ist notwendig, um die Verweilzeit zu erhöhen und die Teichvolumina vollumfänglich auszunutzen. Vorgeschlagen werden Prallwände an den Einläufen der Teiche.
- Trotz der enormen Pges-Konzentration im Zulauf und dem Schlammabbau konnte Pges im Ablauf Teich 5 stabil gehalten werden.



# Ergebnisse / Erkenntnisse

Verfahren hat funktioniert, Ziel konnte jedoch nicht komplett erreicht werden.

- Es ist ein sehr ungünstiges C:N:P-Verhältnis vorherrschend, das weit vom Redfield-Verhältnis 106:16:1 entfernt ist.



# Konsequenzen und Maßnahmen

# Konsequenzen und Maßnahmen

## Behandlungszeit und Nanobubbler

Die Behandlungszeit von Teichkläranlagen wird auf zwei Vegetationszeiten verlängert. Ein pünktlicher Beginn im April / Mai ist unbedingt notwendig.

- Stärkere Unabhängigkeit von den Witterungsbedingungen.
- Bessere Kontrolle hinsichtlich der Nährstoffe.
- Bessere Möglichkeit der Reaktion auf unvorhergesehene Ereignisse und die Möglichkeit der Anpassung der Behandlung.
- Die Behandlung mit Bakterien und Exo-Enzymen wird jeweils Ende August beendet, so dass die Wassertemperaturen zu jeder Zeit noch ausreichend für den Ablauf der Nitrifikation / Denitrifikation sind.
- Vor Behandlungsbeginn müssen die Ergebnisse der Erstbeprobung vorliegen.

Einsatz leistungsstärkerer Nanobubbler im Teich 1

- ausreichend Reserven für unvorhergesehene Ereignisse
- Geringere Anfälligkeit für Verschmutzungen
- Eigene Sensorik für Sauerstoffkonzentration



# Konsequenzen und Maßnahmen

## Einsatz von In-Situ-Messsonden

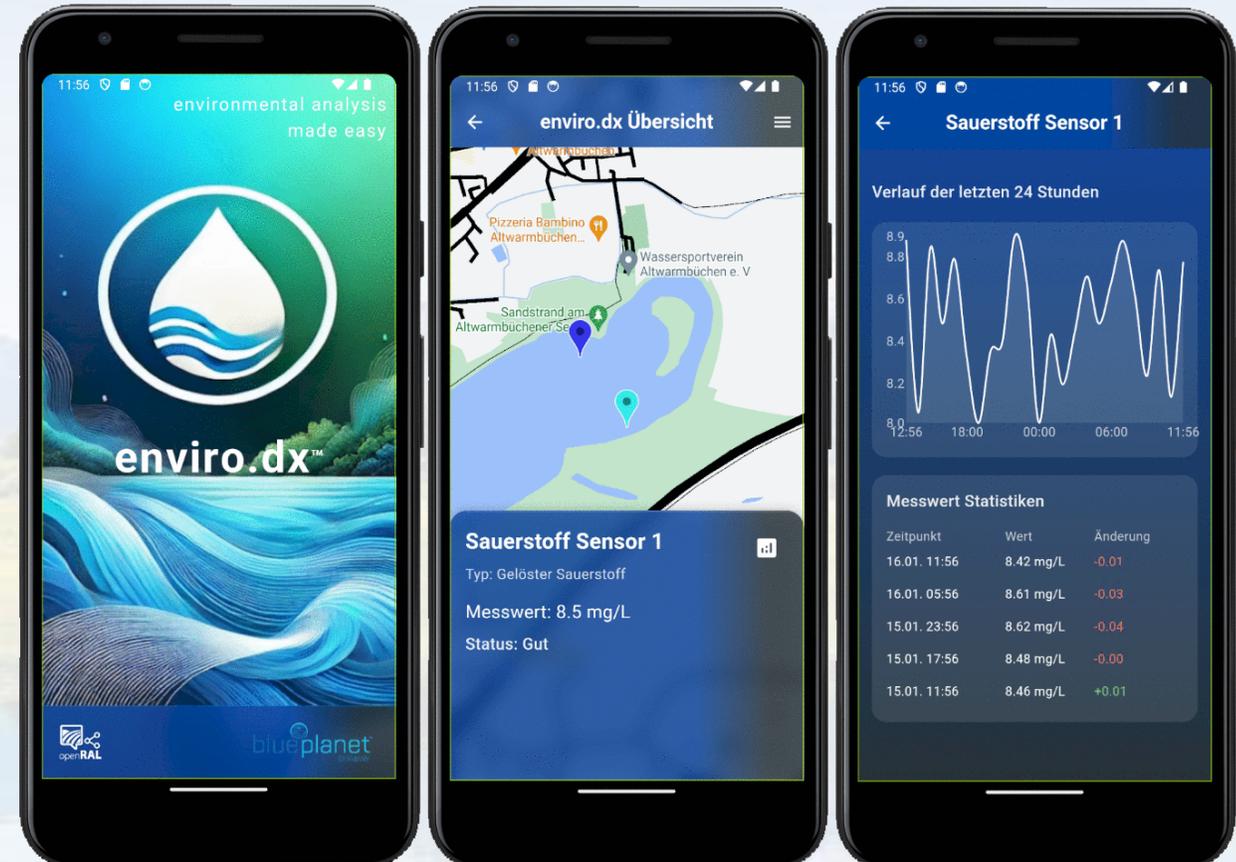
- Einsatz einer Fernüberwachung in den Teichen 1 für wichtige Parameter.
- Folgende Parameter werden unter anderem ständig überwacht:
  - Sauerstoff
  - Temperatur
  - pH
  - Redox
  - Ammonium
  - Nitrat
  - Leitfähigkeit
- Es erfolgt eine 14-tägige Schlammspiegelmessung zur Überprüfung des Fortschrittes.
- Einsatz der enviro.dx-App



# Konsequenzen und Maßnahmen

## enviro.dx-App

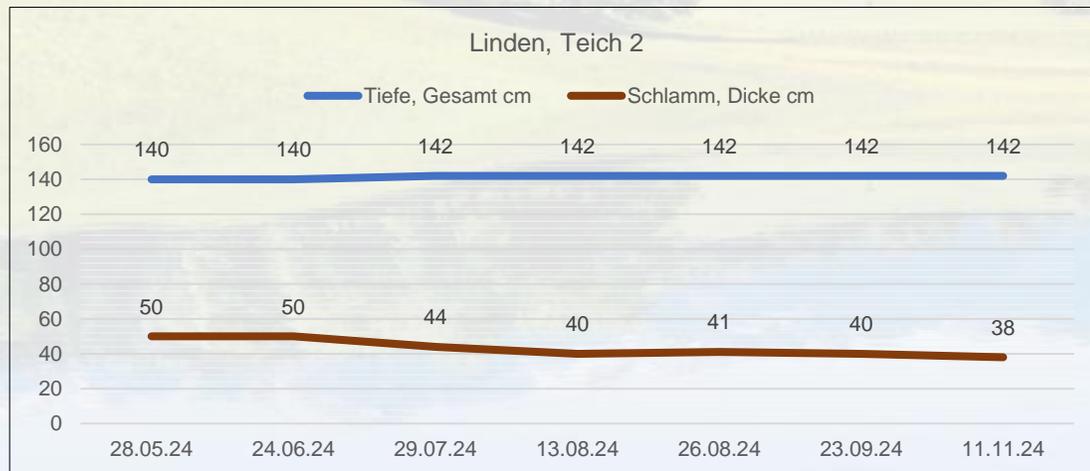
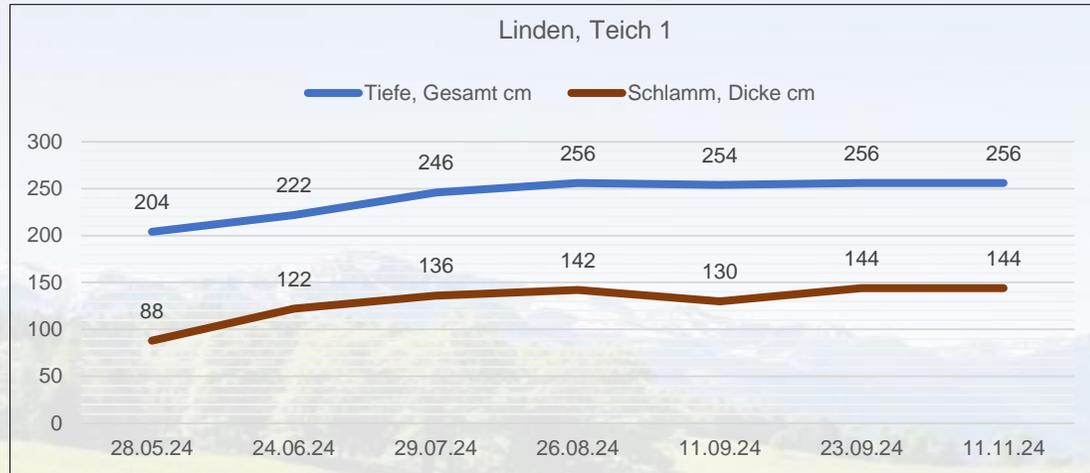
- Neuentwicklung im Auftrage der BluePlanet Germany GmbH gemeinsam mit der permrobotic GmbH
- Automatisiertes Erfassen, Aufbereiten und Auswerten von Mess- und Analysedaten
- Möglichkeit der Einbindung von Sonden und externen Datenquellen, wie Wetter- und Satellitendaten
- Datenauswertung mit einer speziell trainierten KI
- Basiert auf openRAL, dem neuen Dateninteroperabilitätsstandard; ermöglicht einen unabhängigen Datenaustausch und höchste Datensicherheit gemäß den FAIR-Kriterien
- Höchste Transparenz für Kunden, Behörden und Mitarbeiter der BluePlanet Germany
- 1. Modul verfügbar ab 2. Quartal 2025



# Einzelwerte TKA-Linden

# Auswertung Messdaten TKA Linden

## Schlamm Spiegel

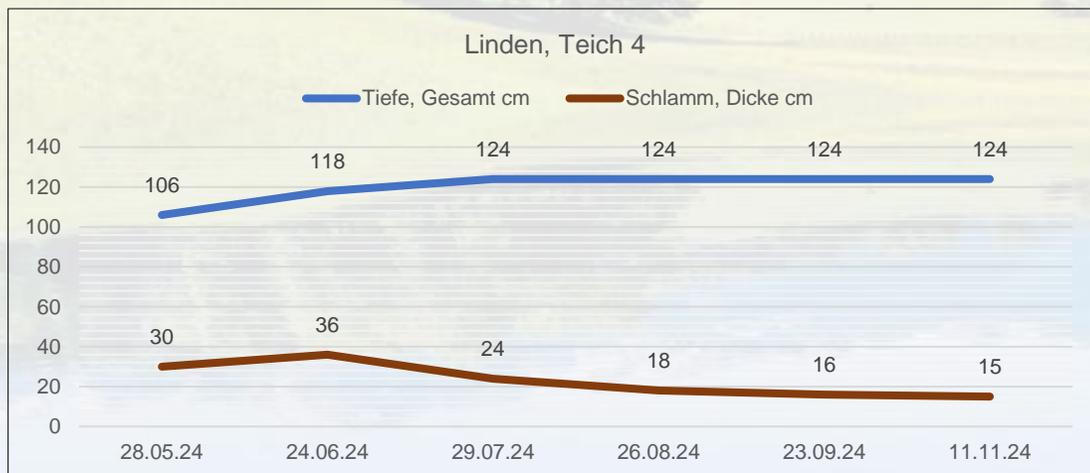
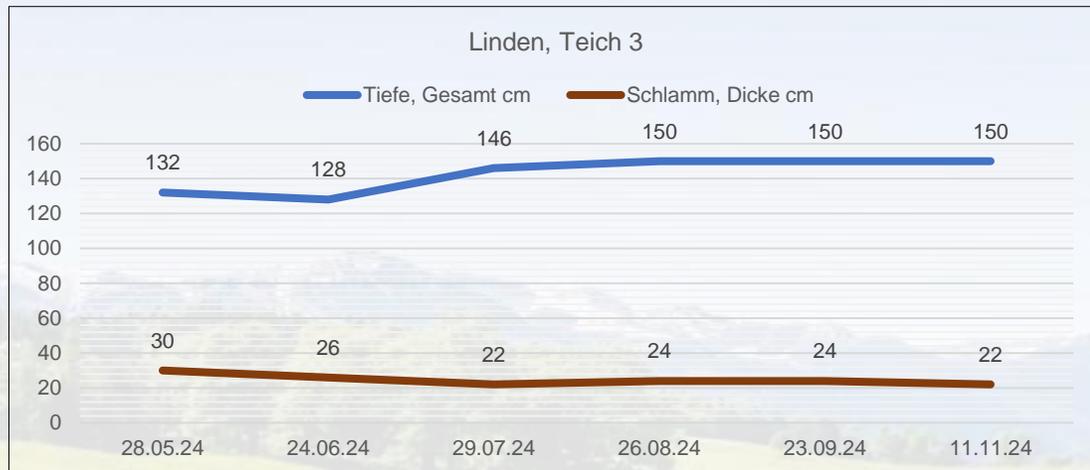


Para- meter	Teich 1												840 m <sup>2</sup>		
	Tiefe						Schlamm						Zunahme Tiefe in m	Schlamm- abbau in m gesamt	Schlamm- abbau in m <sup>3</sup>
	MP	1	2	3	A1	B3	MW	1	2	3	A1	B3			
28.05.24	2,00	2,00	2,00	2,10	2,10	<b>2,04</b>	0,50	0,70	0,70	1,00	1,50	<b>0,88</b>			
26.06.24	2,30	2,30	2,30	2,10	2,10	<b>2,22</b>	1,20	1,20	1,20	1,00	1,50	<b>1,22</b>			
29.07.24	2,40	2,50	2,60	2,40	2,40	<b>2,46</b>	1,10	1,50	1,50	1,30	1,40	<b>1,36</b>			
13.08.24	2,40	2,60	2,60	2,50	2,60	<b>2,54</b>	1,10	1,50	1,50	1,50	1,50	<b>1,42</b>			
23.08.24	2,50	2,60	2,60	2,50	2,60	<b>2,56</b>	1,20	1,50	1,50	1,40	1,50	<b>1,42</b>			
27.08.24	2,50	2,60	2,60	2,50	2,60	<b>2,56</b>	1,20	1,50	1,50	1,40	1,50	<b>1,42</b>			
11.09.24	2,50	2,50	2,60	2,50	2,60	<b>2,54</b>	1,15	1,40	1,35	1,20	1,40	<b>1,30</b>			
24.09.24	2,50	2,60	2,60	2,50	2,60	<b>2,56</b>	1,30	1,60	1,45	1,40	1,45	<b>1,44</b>			
12.11.24	2,50	2,60	2,60	2,50	2,60	<b>2,56</b>	1,30	1,60	1,45	1,40	1,45	<b>1,44</b>			

Para- meter	Teich 2												1.550 m <sup>2</sup>		
	Tiefe						Schlamm						Zunahme Tiefe in m	Schlamm- abbau in m (Tiefe + Schlamm)	Schlamm- abbau in m <sup>3</sup>
	MP	4	5	6	A4	B6	MW	4	5	6	A4	B6			
28.05.24	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	<b>1,40</b>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	<b>0,50</b>			
26.06.24	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	<b>1,40</b>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	<b>0,50</b>	0,00		
29.07.24	1,50	1,40	1,40	1,40	1,40	<b>1,42</b>	0,50	0,50	0,30	0,50	0,40	<b>0,44</b>	0,02		
13.08.24	1,50	1,40	1,40	1,40	1,40	<b>1,42</b>	0,40	0,40	0,30	0,50	0,40	<b>0,40</b>	0,02	0,12	<b>186,00</b>
27.08.24	1,50	1,40	1,40	1,40	1,40	<b>1,42</b>	0,45	0,40	0,30	0,50	0,40	<b>0,41</b>	0,02	0,11	<b>170,50</b>
11.09.24															
24.09.24	1,50	1,40	1,40	1,40	1,40	<b>1,42</b>	0,45	0,40	0,30	0,45	0,40	<b>0,40</b>	0,02	0,12	<b>186,00</b>
12.11.24	1,50	1,40	1,40	1,40	1,40	<b>1,42</b>	0,45	0,30	0,30	0,45	0,40	<b>0,38</b>	0,02	0,14	<b>217,00</b>

# Auswertung Messdaten TKA Linden

## Schlamm Spiegel

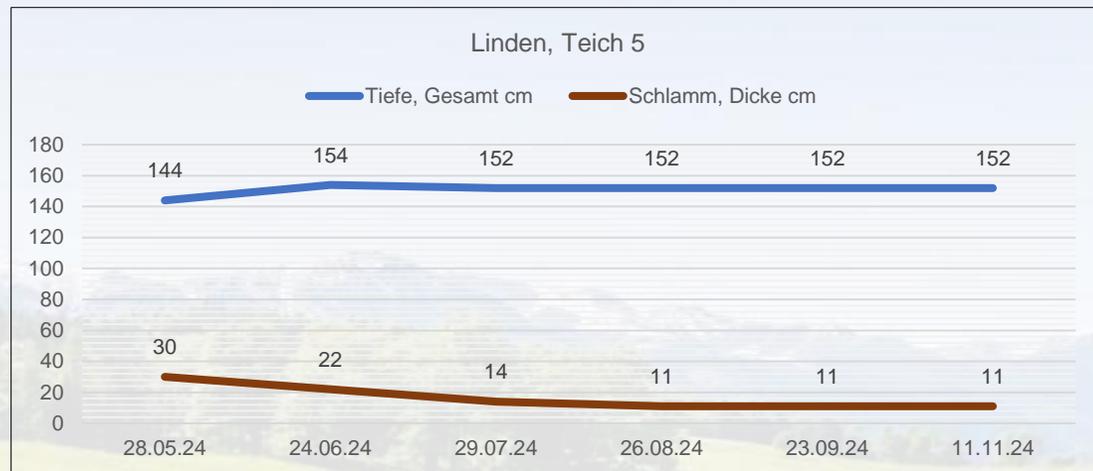


Teich 3													2.420 m <sup>2</sup>		
Parameter	Tiefe						Schlamm						Zunahme Tiefe in m	Schlamm-abbau in m	Schlamm-abbau in m <sup>3</sup>
	MP	7	8	9	A7	B9	MW	7	8	9	A7	B9			
28.05.24	1,40	1,40	1,40	1,20	1,20	<b>1,32</b>	0,50	0,20	0,20	0,40	0,20	<b>0,30</b>			
26.06.24	1,40	1,30	1,30	1,20	1,20	<b>1,28</b>	0,30	0,20	0,20	0,40	0,20	<b>0,26</b>	-0,12	Kompakt (Tiefe + Schlamm)	
29.07.24	1,40	1,40	1,60	1,40	1,50	<b>1,46</b>	0,30	0,10	0,30	0,20	0,20	<b>0,22</b>	0,06		
13.08.24	1,50	1,40	1,60	1,50	1,50	<b>1,50</b>	0,30	0,10	0,20	0,30	0,30	<b>0,24</b>	0,10	0,16	<b>580,80</b>
27.08.24	1,50	1,40	1,60	1,50	1,50	<b>1,50</b>	0,30	0,10	0,20	0,30	0,30	<b>0,24</b>	0,10	0,16	<b>580,80</b>
11.09.24															
24.09.24	1,50	1,40	1,60	1,50	1,50	<b>1,50</b>	0,30	0,10	0,20	0,30	0,30	<b>0,24</b>	0,10	0,16	<b>580,80</b>
12.11.24	1,50	1,40	1,60	1,50	1,50	<b>1,50</b>	0,30	0,10	0,15	0,30	0,25	<b>0,22</b>	0,10	0,18	<b>629,20</b>

Teich 4													2.425 m <sup>2</sup>		
Parameter	Tiefe						Schlamm						Zunahme Tiefe in m	Schlamm-abbau in m	Schlamm-abbau in m <sup>3</sup>
	MP	10	11	12	A10	B12	MW	10	11	12	A10	B12			
28.05.24	1,00	1,00	1,00	1,00	1,30	<b>1,06</b>	0,50	0,20	0,20	0,30	0,30	<b>0,30</b>			
26.06.24	1,10	1,20	1,30	1,00	1,30	<b>1,18</b>	0,30	0,40	0,50	0,30	0,30	<b>0,36</b>	0,18	Kompakt (Tiefe + Schlamm)	
29.07.24	1,20	1,20	1,40	1,10	1,30	<b>1,24</b>	0,10	0,20	0,40	0,20	0,30	<b>0,24</b>	0,24		
13.08.24	1,20	1,20	1,40	1,10	1,20	<b>1,22</b>	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	<b>0,20</b>	0,22	0,32	<b>630,50</b>
27.08.24	1,20	1,20	1,40	1,10	1,30	<b>1,24</b>	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20	<b>0,18</b>	0,24	0,36	<b>727,50</b>
11.09.24															
24.09.24	1,20	1,20	1,40	1,10	1,30	<b>1,24</b>	0,20	0,15	0,10	0,20	0,15	<b>0,16</b>	0,24	0,38	<b>776,00</b>
12.11.24	1,20	1,20	1,40	1,10	1,30	<b>1,24</b>	0,20	0,10	0,10	0,20	0,15	<b>0,15</b>	0,24	0,39	<b>800,25</b>

# Auswertung Messdaten TKA Linden

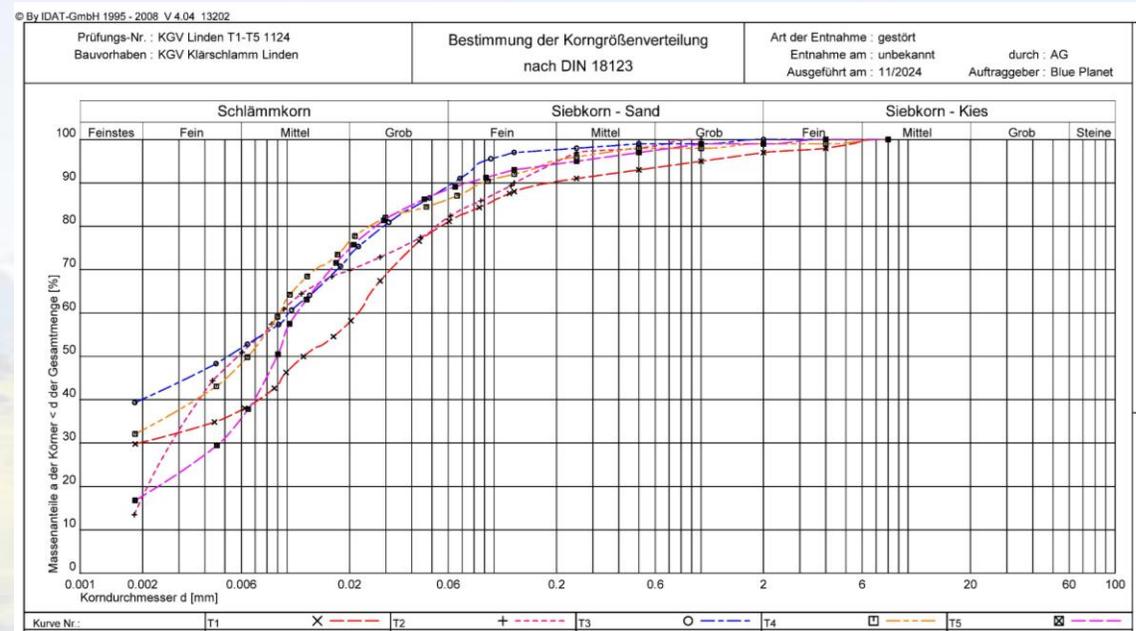
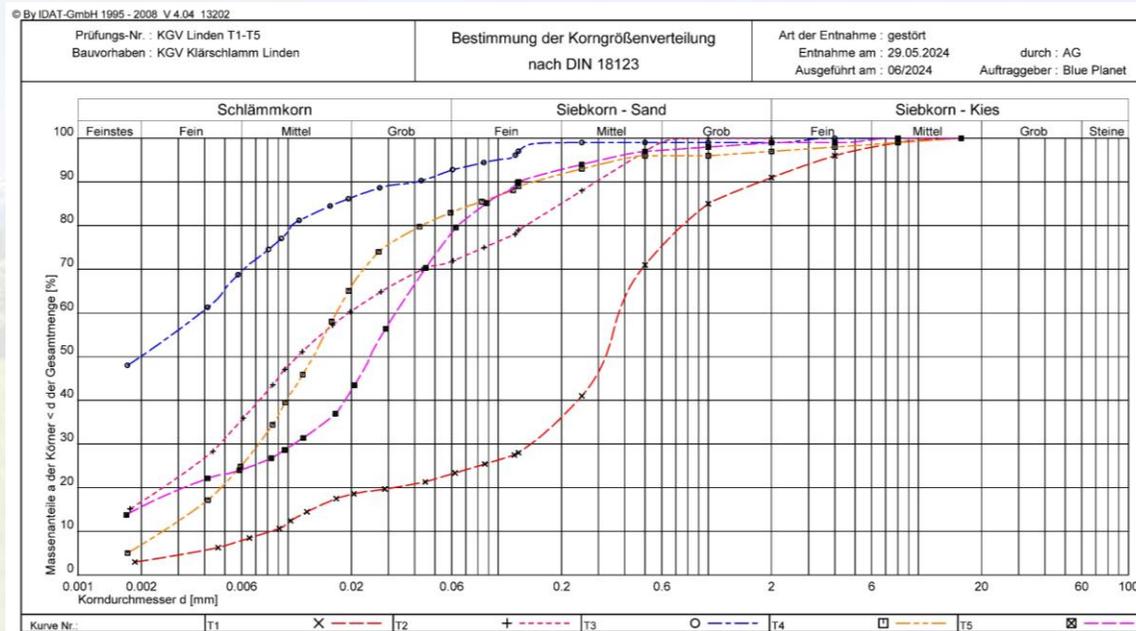
## Schlamm Spiegel



Para- meter	Teich 5												2.700 m <sup>2</sup>		Schlamm- abbau in m <sup>3</sup>
	Tiefe						Schlamm						Zunahme Tiefe in m	Schlamm- abbau in m	
	MP	13	14	15	A13	B15	MW	13	14	15	A13	B15			
<b>28.05.24</b>	1,20	1,40	1,70	1,10	1,80	<b>1,44</b>	0,30	0,30	0,40	0,10	0,40	<b>0,30</b>		Kompakt (Tiefe + Schlamm)	
<b>26.06.24</b>	1,30	1,50	2,00	1,10	1,80	<b>1,54</b>	0,10	0,10	0,40	0,10	0,40	<b>0,22</b>	0,11		
<b>29.07.24</b>	1,30	1,50	1,80	1,20	1,80	<b>1,52</b>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	<b>0,14</b>	0,09		
<b>13.08.24</b>	1,30	1,40	1,80	1,20	1,60	<b>1,46</b>	0,20	0,20	0,10	0,10	0,20	<b>0,16</b>	0,03	0,20	<b>432,00</b>
<b>27.08.24</b>	1,30	1,50	1,80	1,20	1,80	<b>1,52</b>	0,10	0,20	0,10	0,05	0,10	<b>0,11</b>	0,09	0,31	<b>729,00</b>
<b>11.09.24</b>															
<b>24.09.24</b>	1,30	1,50	1,80	1,20	1,80	<b>1,52</b>	0,10	0,20	0,10	0,05	0,10	<b>0,11</b>	0,09	0,31	<b>729,00</b>
<b>12.11.24</b>	1,30	1,50	1,80	1,20	1,80	<b>1,52</b>	0,10	0,20	0,10	0,05	0,10	<b>0,11</b>	0,09	0,31	<b>729,00</b>

# Auswertung Messdaten TKA Linden

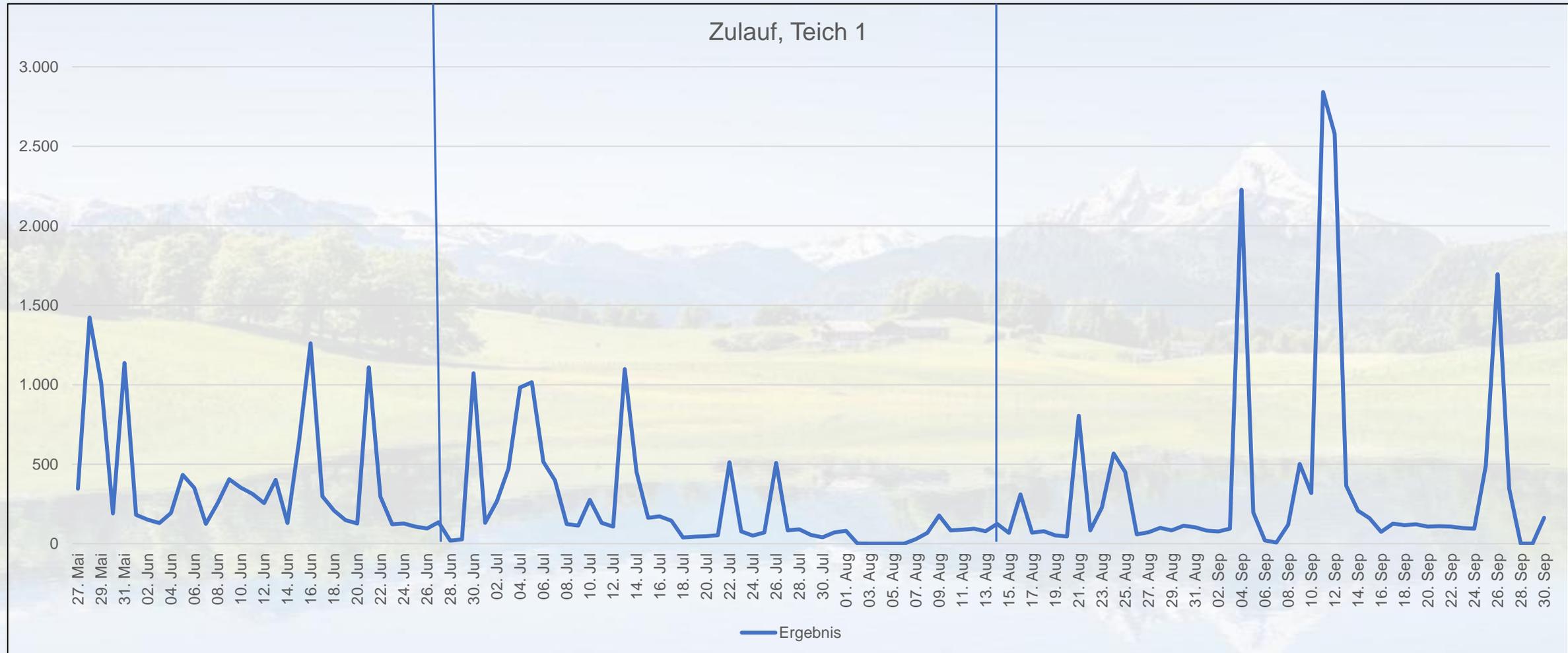
## Korngrößenverteilung



Die Analysen zeigen, dass die Behandlung zwischen Mai und November zu einer **Veränderung der Zusammensetzung** geführt hat. **Der Schlamm ist insgesamt „kiesiger/sandiger“**. Insbesondere in Teich 1 hat auch der Feinanteil zugenommen, da der Kompaktschlamm durch die Exo-Enzyme aufgelöst, jedoch nicht verstoffwechselt wurde. Organisches Material wurde abgebaut.

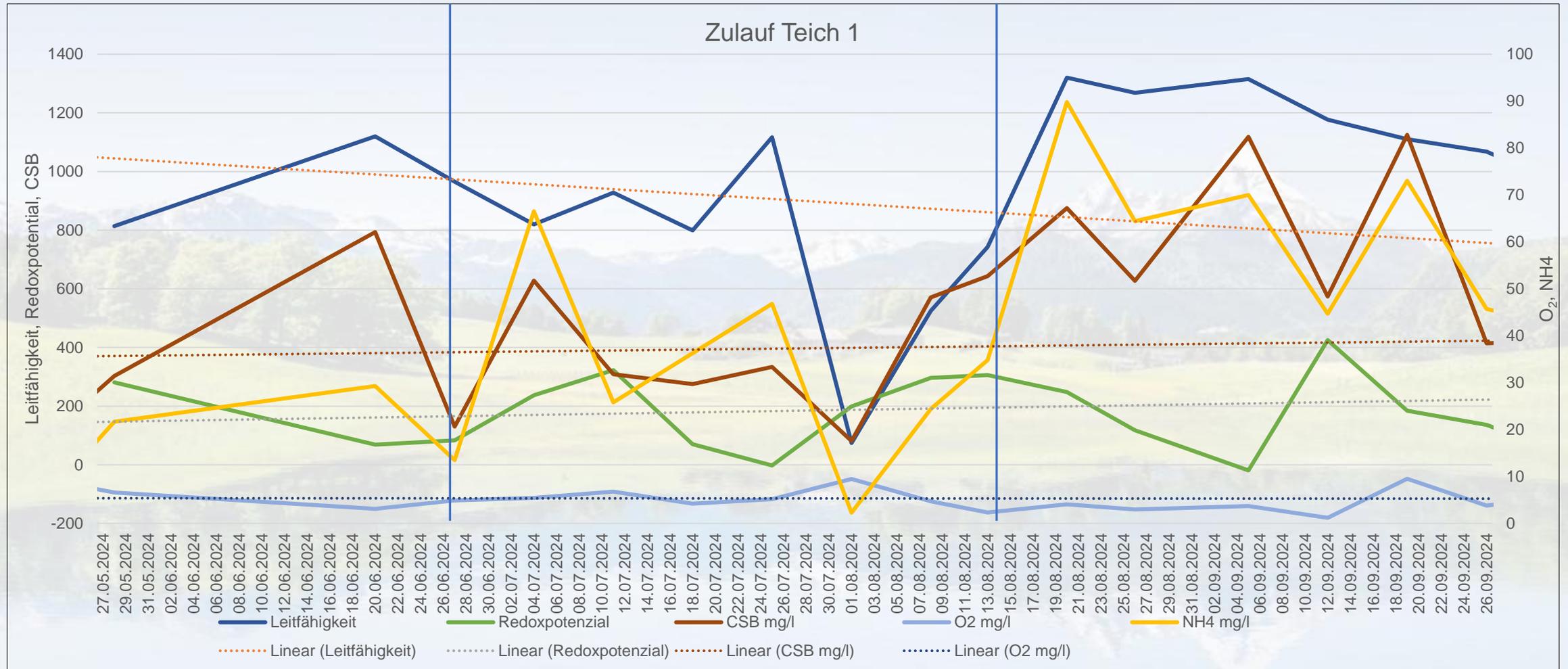
# Auswertung Messdaten TKA Linden

Zulauf Kläranlage, Volumen in m<sup>3</sup>



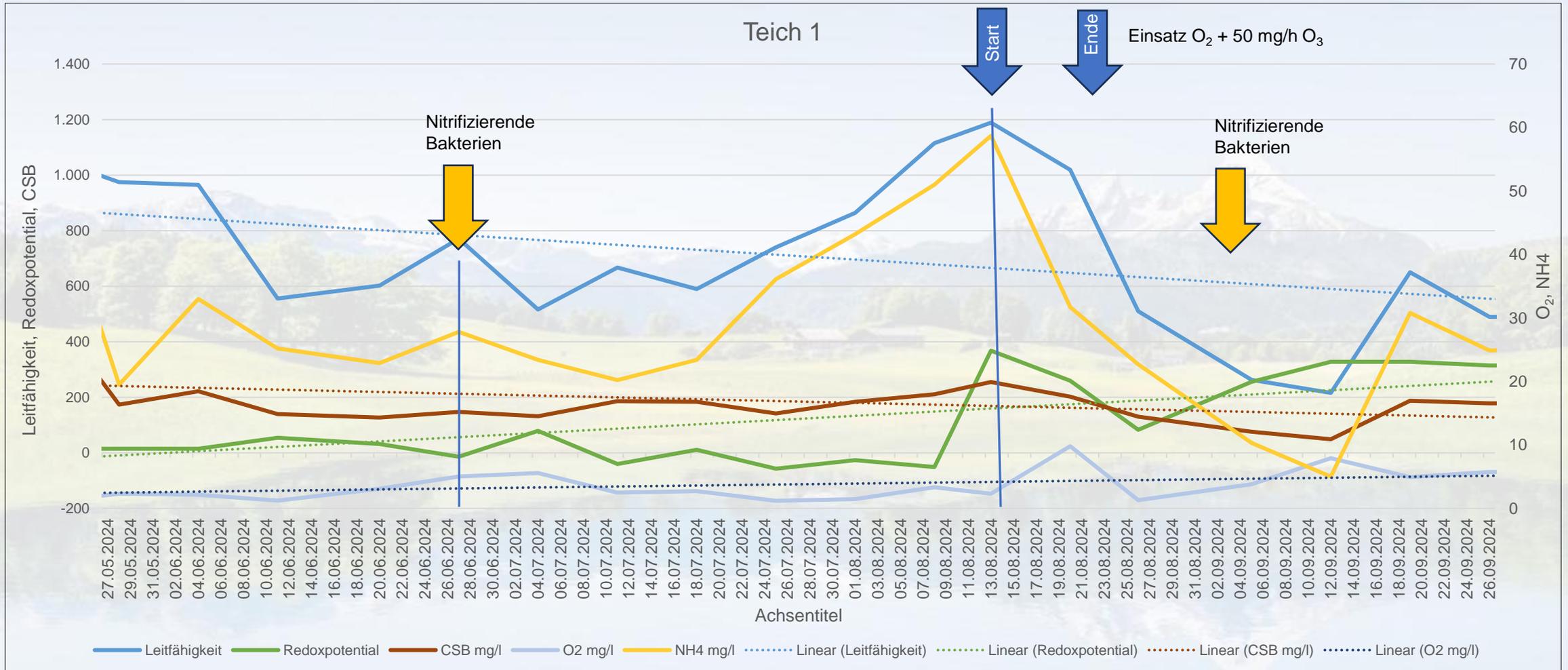
# Auswertung Messdaten TKA Linden

## Wasseranalysen, Zulauf Teich 1



# Auswertung Messdaten TKA Linden

## Wasseranalysen, Ablauf Teich 1



# Auswertung Messdaten TKA Linden

## Wasseranalysen, Ablauf Teich 2



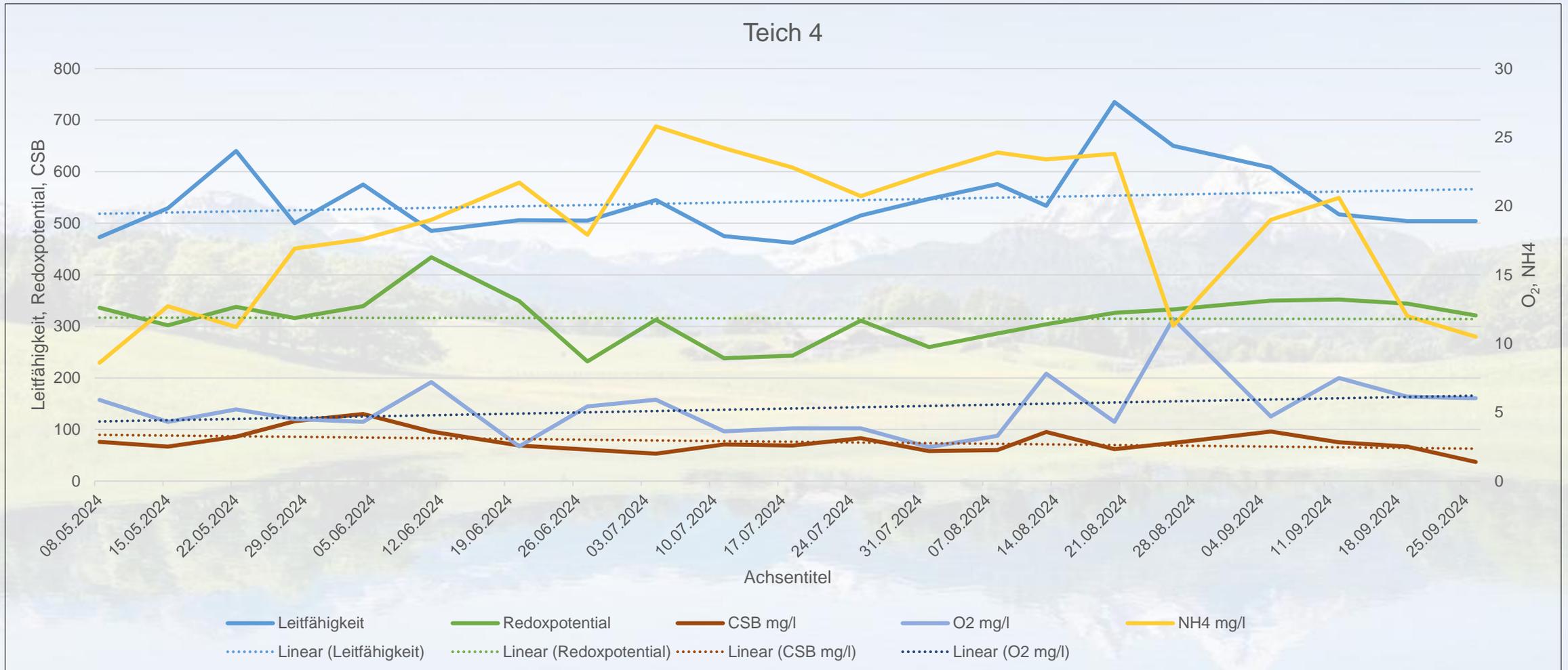
# Auswertung Messdaten TKA Linden

## Wasseranalysen, Ablauf Teich 3



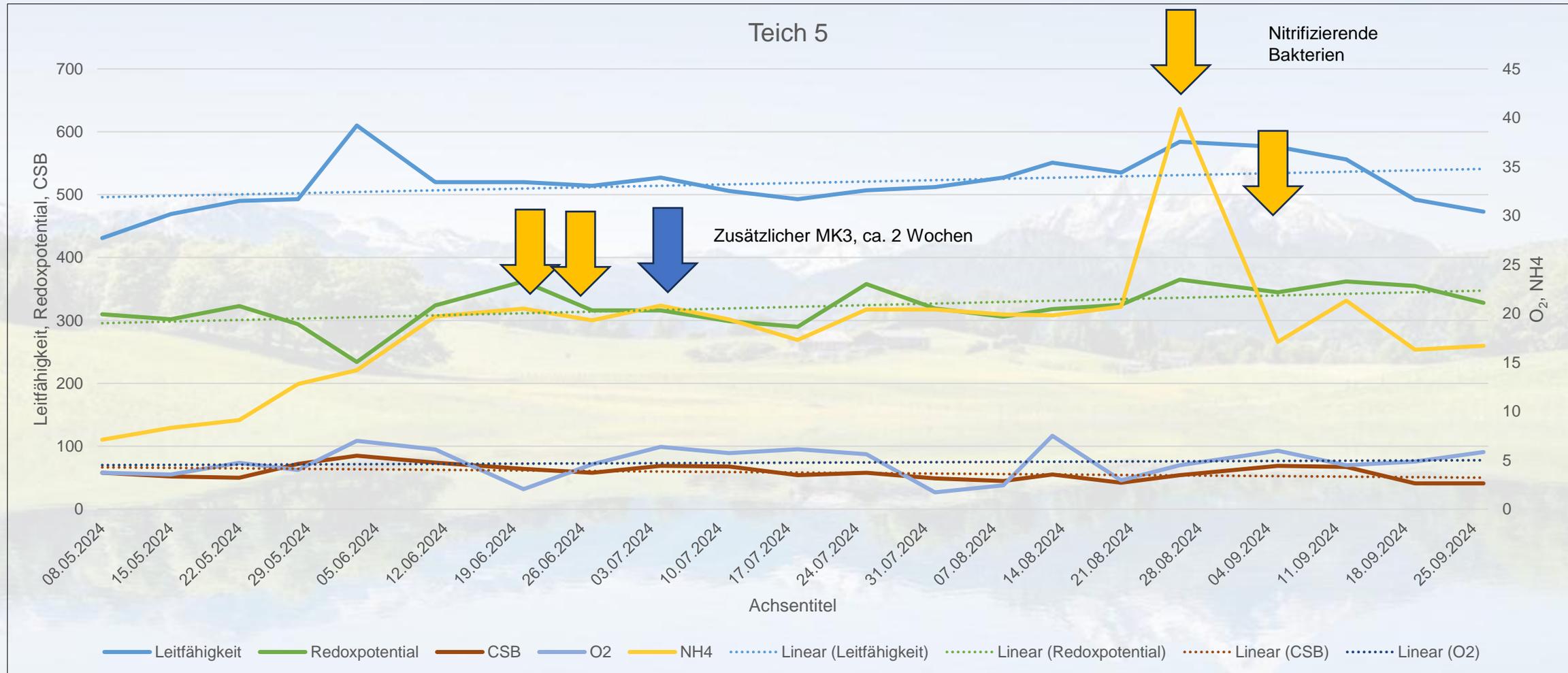
# Auswertung Messdaten TKA Linden

## Wasseranalysen, Ablauf Teich 4



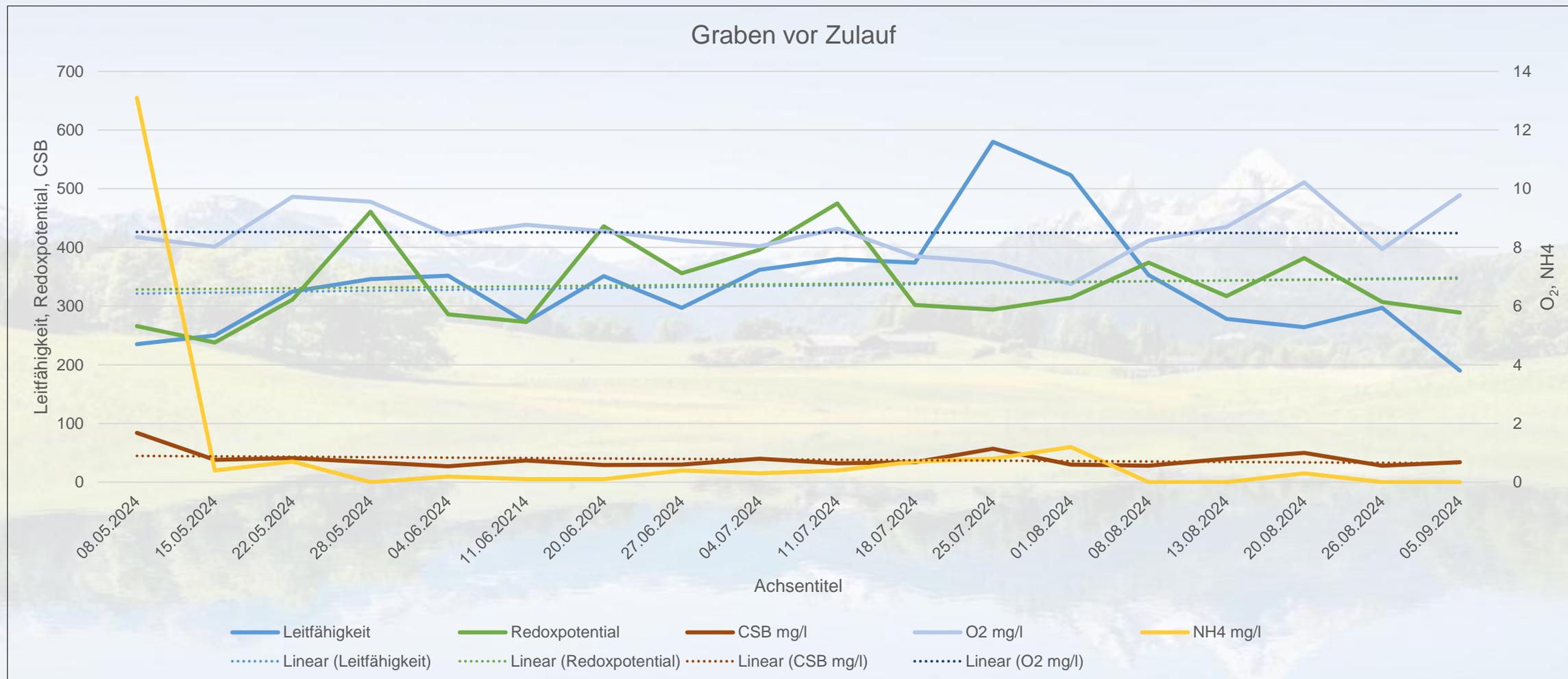
# Auswertung Messdaten TKA Linden

## Wasseranalysen, Ablauf Teich 5



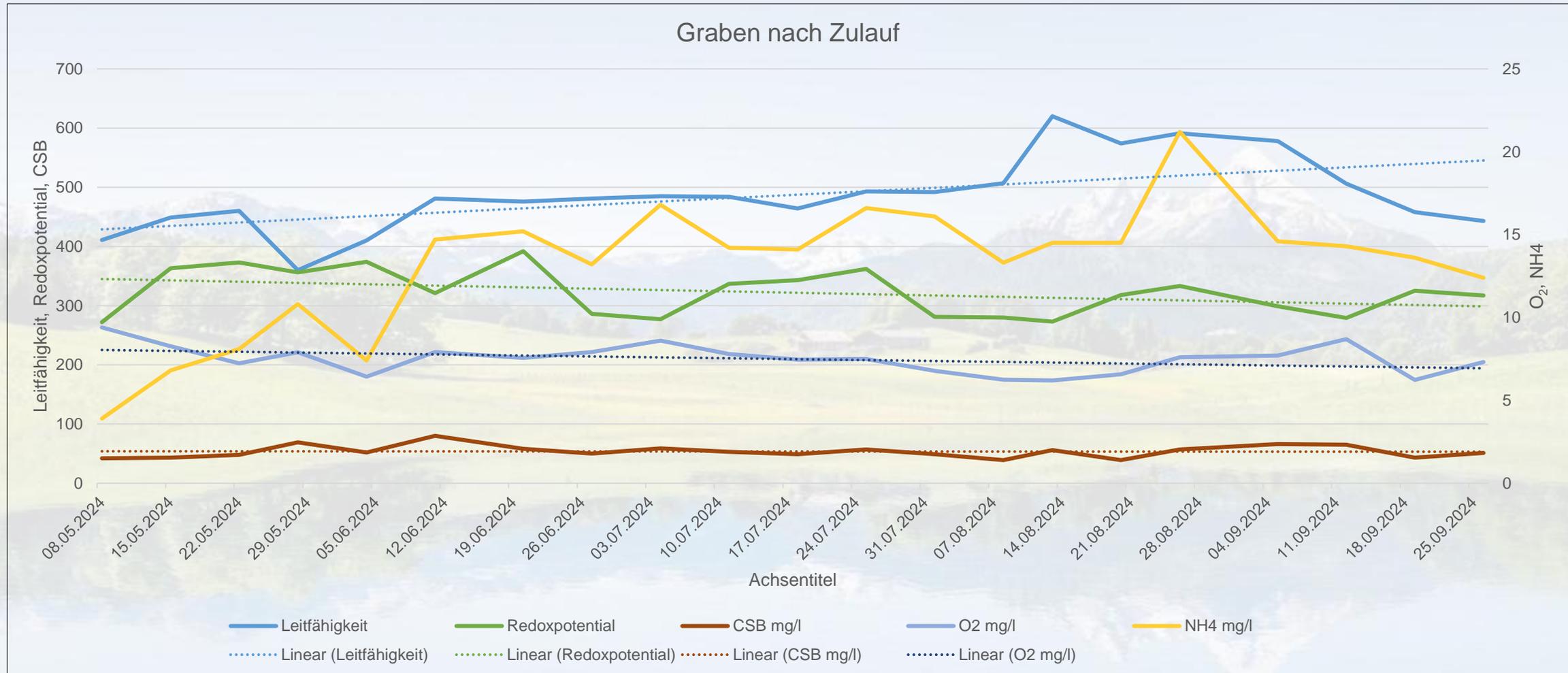
# Auswertung Messdaten TKA Linden

## Wasseranalysen, Graben vor Zulauf



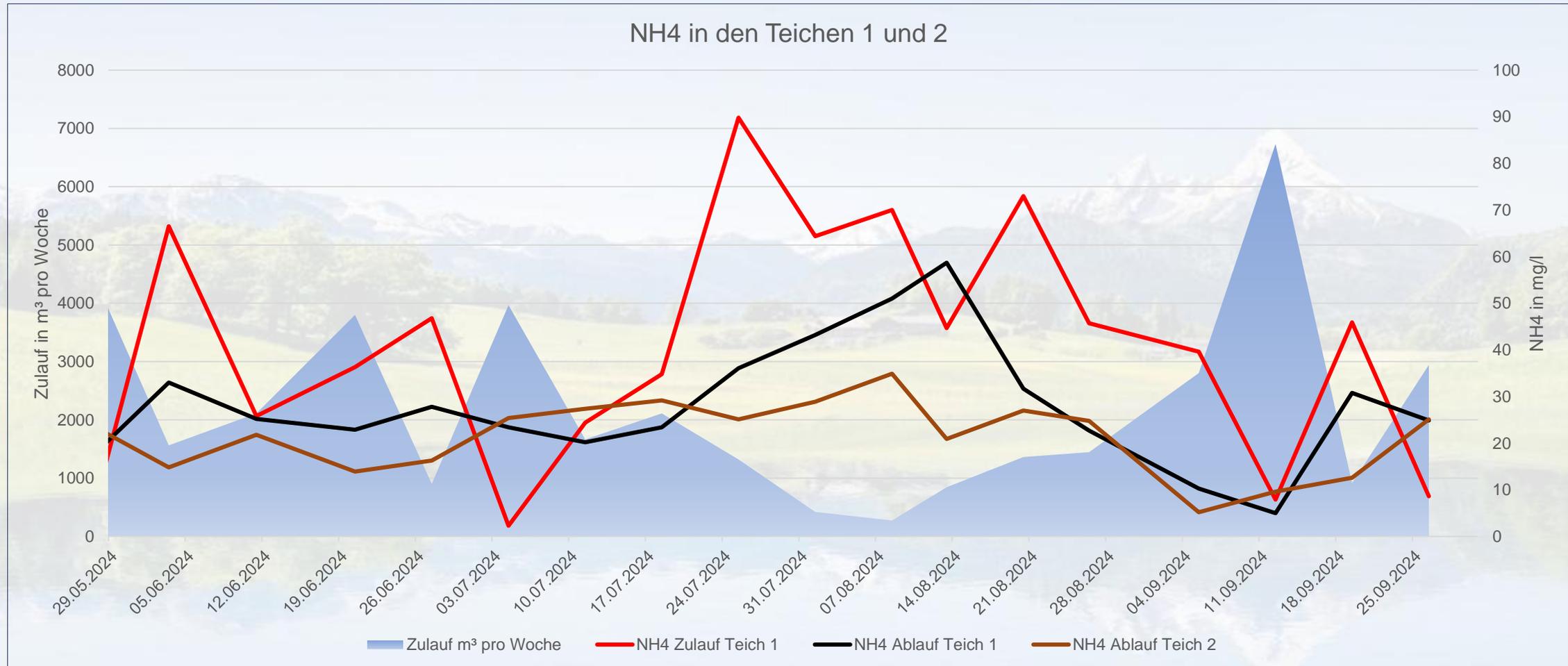
# Auswertung Messdaten TKA Linden

## Wasseranalysen, Graben nach Zulauf



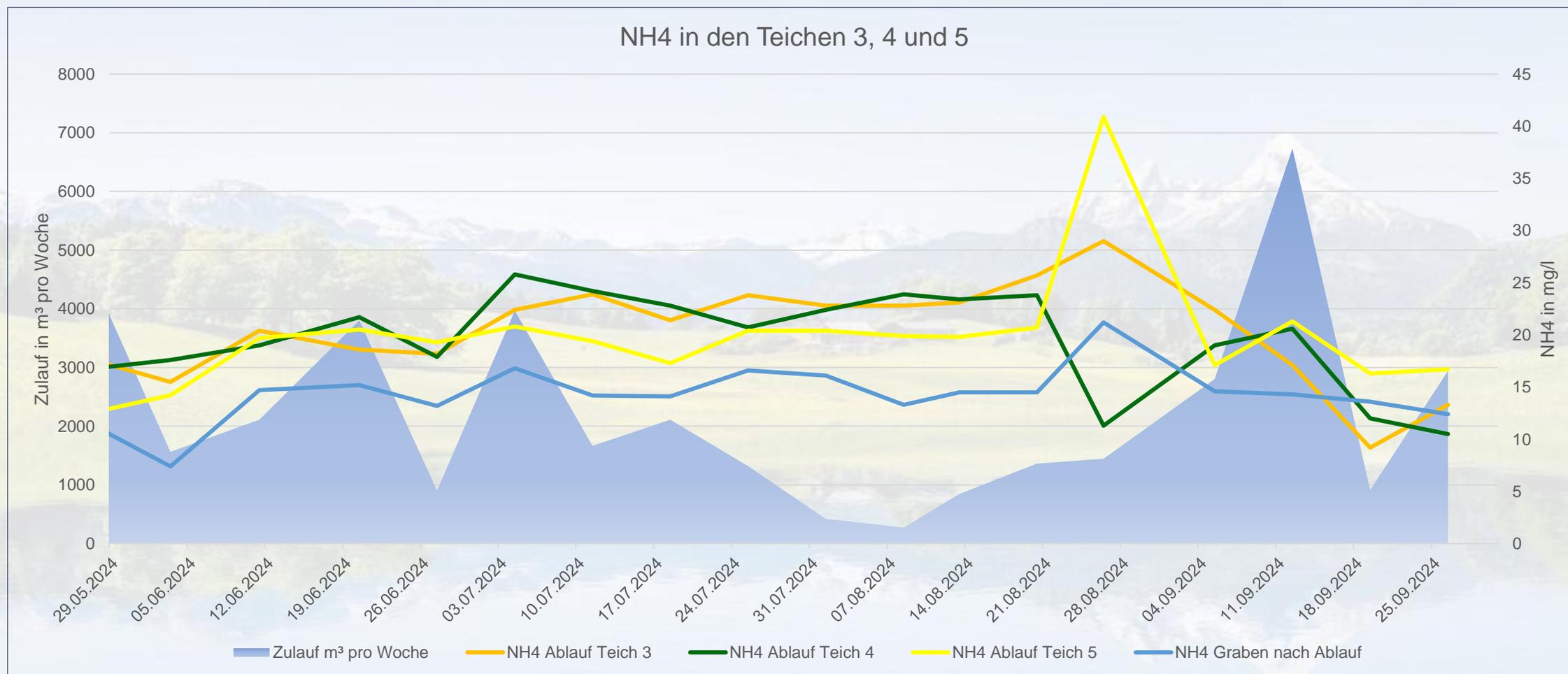
# Auswertung Messdaten TKA Linden

Wasseranalysen, NH<sub>4</sub> in den Teichen 1, 2 und Zulauf Teich 1



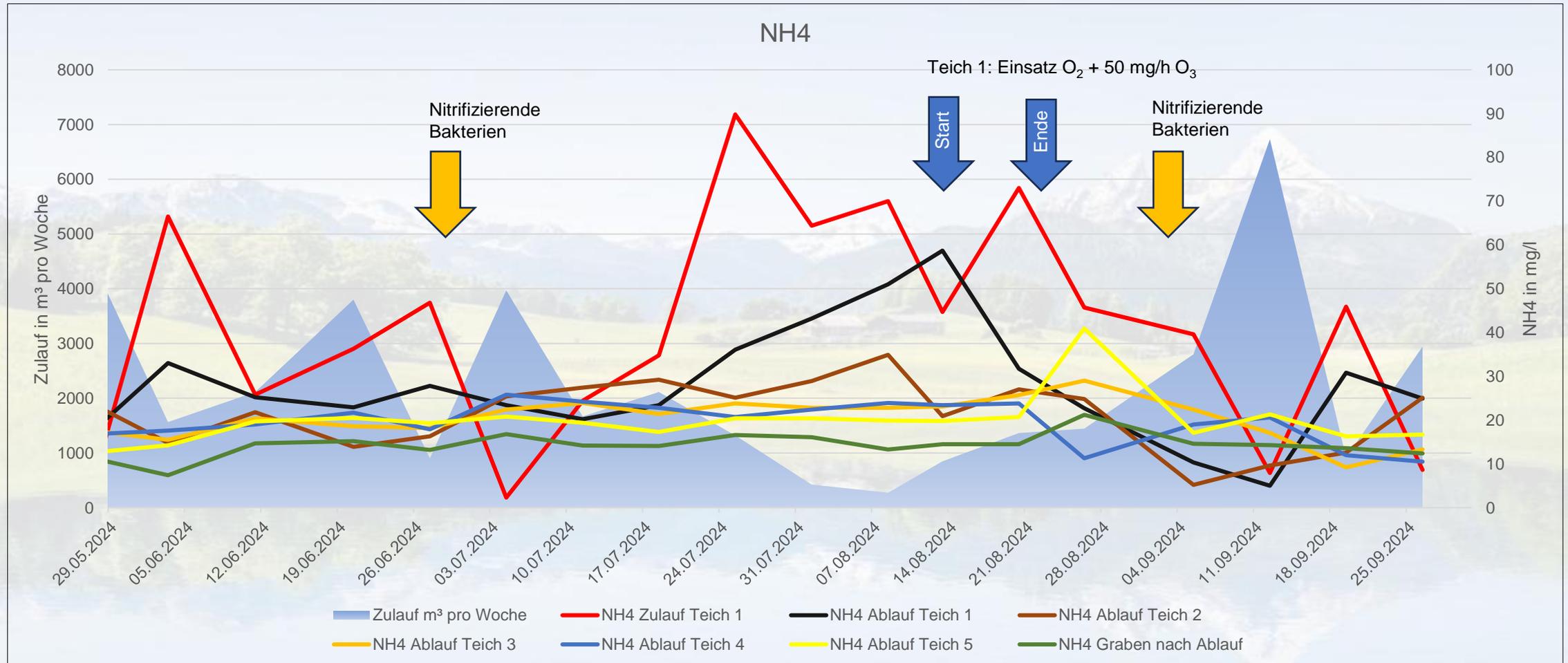
# Auswertung Messdaten TKA Linden

Wasseranalysen, NH<sub>4</sub> in den Teichen 3, 4 und 5 sowie Graben nach Ablauf



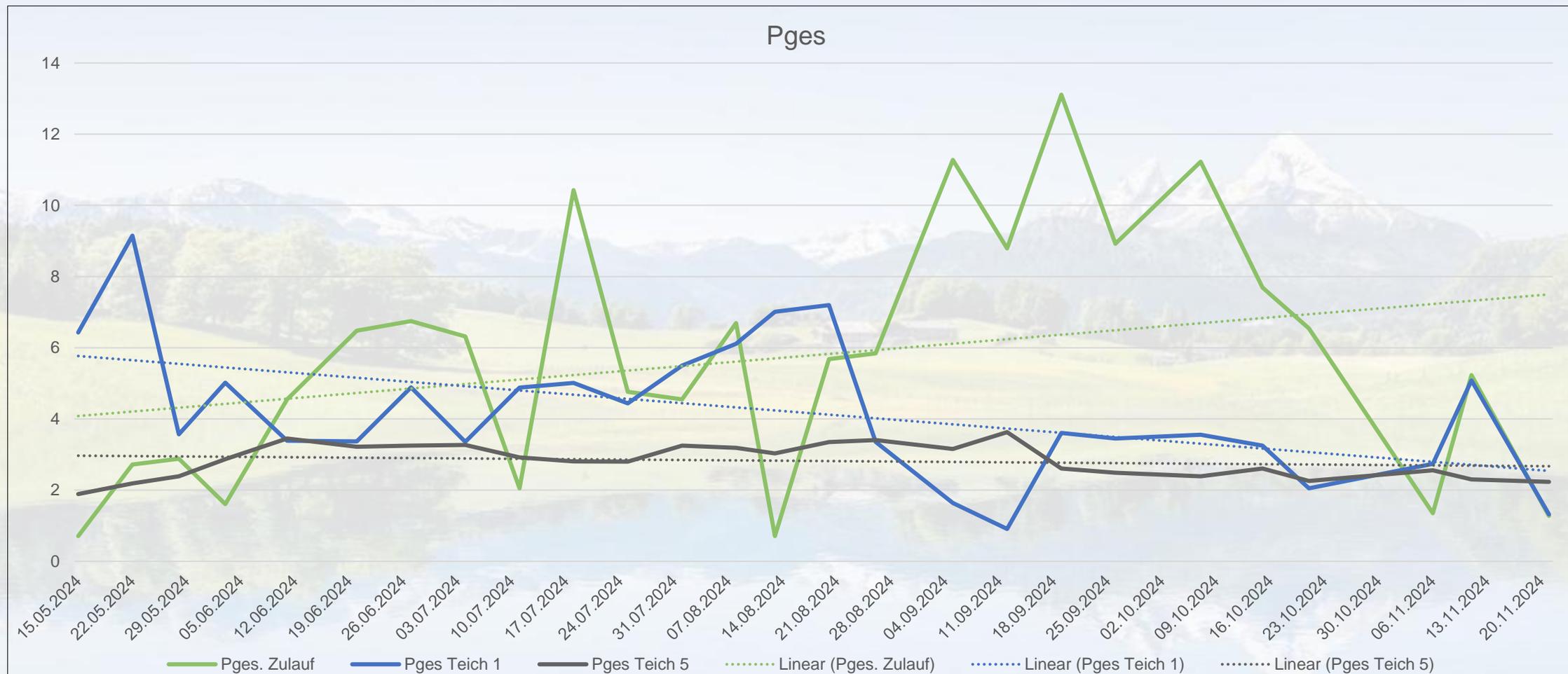
# Auswertung Messdaten TKA Linden

Wasseranalysen, NH<sub>4</sub> im Zulauf, Ablauf Teich 1, Ablauf Teich 2 und Ablauf Teich 3



# Auswertung Messdaten TKA Linden

## Wasseranalysen, Pges



# Auswertung Messdaten TKA Linden

## C:N:P-Verhältnisse

Datum	Teich 1	Teich 2	Teich 3	Teich 4	Teich 5
11.06.2024	10:7:1	9:6:1	6:6:1	7:6:1	4:5:1
20.06.2024	7:7:1	11:6:1	9:8:1	7:7:1	5:6:1
04.07.2024	8:7:1	12:7:1	9:6:1	5:8:1	7:6:1
11.07.2024	6:4:1	13:7:1	13:8:1	3:4:1	4:6:1
18.07.2024	6:5:1	16:9:1	12:8:1	7:9:1	4:7:1
25.07.2024	11:8:1	15:7:1	6:8:1	4:6:1	4:6:1
01.08.2024	12:8:1	12:7:1	12:6:1	4:6:1	5:7:1
08.08.2024	3:8:1	3:7:1	4:7:1	2:7:1	3:6:1
12.09.2024	57:6:1	44:6:1	4:6:1	5:6:1	1:8:1
19.09.2024	13:9:1	38:9:1	9:8:1	11:9:1	4:6:1
26.09.2024	10:7:1	11:7:1	8:5:1	11:7:1	6:6:1
06.11.2024	13:8:1	13:7:1	8:6:1	8:5:1	6:4:1
11.11.2024	18:7:1	17:7:1	7:6:1	6:6:1	4:6:1
21.11.2024	66:6:1	48:6:1	10:7:1	7:7:1	6:7:1

Empfohlenes C:N:P-Verhältnis:  
106:16:1 (Redfield-Verhältnis)<sup>1</sup>

Die Bereitstellung der  
erforderlichen  
Elektronendonatoren aus  
Kohlenstoffquellen durch den  
Abbau von organischem Material  
war nicht im vollen Umfange  
möglich.<sup>2, 3, 4</sup>

[1] Wilfried Schönborn, Ute Risse-Buhl, Lehrbuch der Limnologie, 2. vollständig überarbeitete Auflage, Verlag Schweizerbart, S. 373

[2] Lu, H., Chandran, K., & Stensel, D. (2014). Microbial ecology of denitrification in biological wastewater treatment. *Water Research*, 64, 237–254. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.06.042>

[3] Ganaye, V., Fass, S., Urbain, V., Manem, J., & Block, J. C. (1996). Biodegradation of volatile fatty acids by three species of nitrate-reducing bacteria. *Environmental Technology*, 17(10), 1145–1149. <https://doi.org/10.1080/09593331708616484>

[4] Wilfried Schönborn, Ute Risse-Buhl, Lehrbuch der Limnologie, 2013, Schweizerbart, 170



Vielen Dank