

Behandlung TKA Wapelfeld

Zwischenbericht

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Rahmenbedingungen TKA Wapelfeld

Rahmenbedingungen TKA Wapelfeld

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.
- 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



Auswertung Messdaten 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

Erkenntnisse TKA Wapelfeld

Erkenntnisse

Verfahren hat funktioniert, Ziel konnte jedoch nicht 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 und 3 sehr gute Ergebnisse erzielt. Eine mögliche Nichterreicherung des Behandlungszieles in Teich 1 muss durch Analysen geprüft werden. Eine Nachfolgebehandlung wird ggf. notwendig.
- Insgesamt wurden 1.693 m³ Schlamm abgebaut.
- Nanobubbler Kingfisher in Teich 1 lief zu Beginn der Behandlung nur zeitweilig durch hohen Verschmutzungsgrad und hoher Empfindlichkeit des Gerätes. Es ist unbedingt notwendig, dass für den Einsatz ein schlammfreier Wasserspiegel von einem Meter vorhanden ist.



Erkenntnisse

Die mutualistische Symbiose zwischen Wasserlinsen und Bakterien

- Hoher Sauerstoffbedarf in allen Teichen durch hohes Aufkommen von Wasserlinsen.
- Wasserlinsen können in nährstoffreichem Gewässer stark wachsen und dem Wasser Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor entziehen¹. Es ist sinnvoll Wasserlinsen im Rahmen der Klärteichsanierung gezielt zu nutzen¹.
- Wasserlinsen und Bakterien bilden eine Symbiose. Die Wasserlinsen versorgen über den Liquid Carbon Pathway die Bakterien mit Kohlenstoff und fördern deren Wachstum.
- Die Wurzeln der Wasserlinsen setzen organische Exsudate frei, die als Kohlenstoffquelle für Mikroorganismen dienen¹. Die Wurzelexsudate erhöhen aber auch den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) im Wasser, da Bakterien die Exsudate abbauen².



[1] Lu, Y., Zhou, Y., Nakai, S., Hosomi, M., Zhang, H., Kronzucker, H. J., & Shi, W. (2013). Stimulation of nitrogen removal in the rhizosphere of aquatic duckweed by root exudate components. *Planta*, 239(3), 591–603. <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1998-6>
 [2] Chen, Z.-J., Tian, Y.-H., Zhang, Y., Song, B.-R., Li, H.-C., & Chen, Z.-H. (2016). Effects of root organic exudates on rhizosphere microbes and nutrient removal in the constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 92, 243–250. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.04.001>

Erkenntnisse

Die mutualistische Symbiose zwischen Wasserlinsen und Bakterien

- Bakterien werden durch diese Exsudate zusätzlich stimuliert, wodurch die biologische Aktivität, insbesondere die Stickstoff-Entfernung, im Wasser steigt ².
- Bestandteile der Wurzelexsudate:
 - Fettsäureamide: stimulieren bakterielle Denitrifikation durch die Aktivierung von Nitrat- und Nitritreduktasen in Bakterien.¹
 - Fettsäuremethylester: tragen zur Kohlenstoffquelle für Mikroben bei und fördern mikrobiellen Wachstum ²
 - Stigmasterol: kann in Kombination mit bestimmten Bakterien (z. B. *Pseudomonas* sp.) die Stickstoffentfernung verbessern³



[1] Sun, L., Lu, Y., Kronzucker, H. J., & Shi, W. (2016). Quantification and enzyme targets of fatty acid amides from duckweed root exudates involved in the stimulation of denitrification. *Journal of Plant Physiology*, 198, 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.04.010>

[2] Lu, Y., Zhou, Y., Nakai, S., Hosomi, M., Zhang, H., Kronzucker, H. J., & Shi, W. (2013). *Stimulation of nitrogen removal in the rhizosphere of aquatic duckweed by root exudate components*. *Planta*, 239(3), 591–603. <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1998-6>

[4] Lu, Y., Kronzucker, H. J., & Shi, W. (2021). *Stigmasterol root exudation arising from Pseudomonas inoculation of the duckweed rhizosphere enhances nitrogen removal from polluted waters*. *Environmental Pollution*, 287, 117587. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117587>

Erkenntnisse

Die mutualistische Symbiose zwischen Wasserlinsen und Bakterien

Empfehlung:

Im frühen Herbst sollten die Wasserlinsen aus der Teichkläranlage entfernt werden, um die aufgenommenen Nährstoffe zu entziehen⁴. Wasserlinsen gelten frisch oder kompostiert als hervorragender Dünger. Im Rahmen der Heißkompostierung werden ggf. pathogene Keime eliminiert.

Eine unterjährige Entfernung der Wasserlinsen wird nicht empfohlen. Es sollte jedoch für einen ausreichenden Sauerstoffeintrag in die Klärteiche gesorgt werden. Mit dieser Vorgehensweise kann der Neuaufbau von organischen Sedimenten deutlich verlangsamt und die Reinigungsleistung der Teichkläranlage erheblich verbessert werden. Die Symbiose zwischen Bakterien und Wasserlinsen wird gezielt genutzt.



[1] Sun, L., Lu, Y., Kronzucker, H. J., & Shi, W. (2016). Quantification and enzyme targets of fatty acid amides from duckweed root exudates involved in the stimulation of denitrification. *Journal of Plant Physiology*, 198, 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.04.010>

[2] Lu, Y., Zhou, Y., Nakai, S., Hosomi, M., Zhang, H., Kronzucker, H. J., & Shi, W. (2013). Stimulation of nitrogen removal in the rhizosphere of aquatic duckweed by root exudate components. *Planta*, 239(3), 591–603. <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1998-6>

[4] Lu, Y., Kronzucker, H. J., & Shi, W. (2021). Stigmasterol root exudation arising from *Pseudomonas* inoculation of the duckweed rhizosphere enhances nitrogen removal from polluted waters. *Environmental Pollution*, 287, 117587. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117587>

Konsequenzen und Maßnahmen

Konsequenzen und Maßnahmen

Behandlungszeit und NanoBubblers

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 NanoBubblers in den Teichen 1

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



Konsequenzen und Maßnahmen

Einsatz von In-Situ-Messsonden

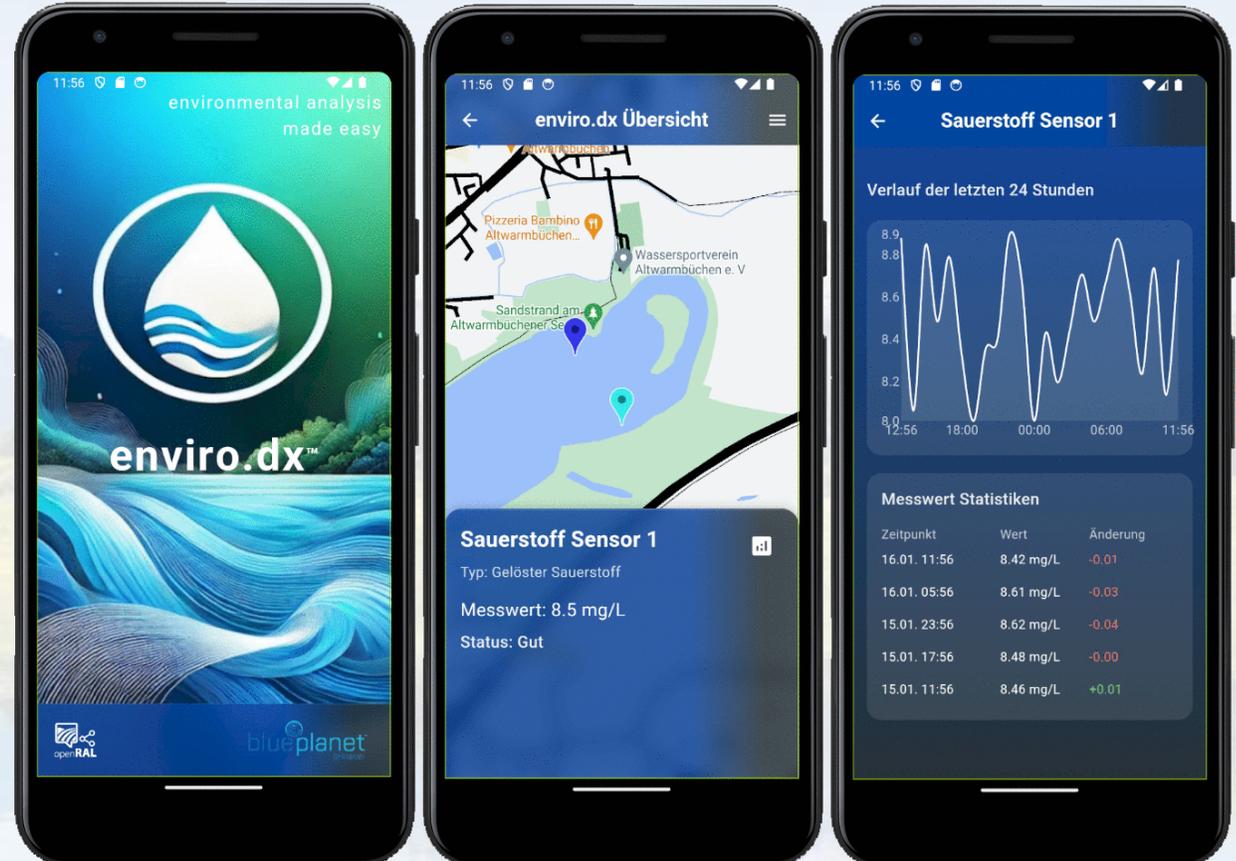
- Einsatz einer Fernüberwachung in den Teichen 1 für wichtige Parameter.
- Folgende Parameter werden unter anderem ständig überwacht:
 - Sauerstoff
 - Temperatur
 - pH
 - Redox
 - Ammonium
 - Nitrat
 - Leitfähigkeit
- Es erfolgt eine 14-tägige Schlammspiegelmessung zur Überprüfung des Fortschrittes.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



Konsequenzen und Maßnahmen

enviro.dx-App

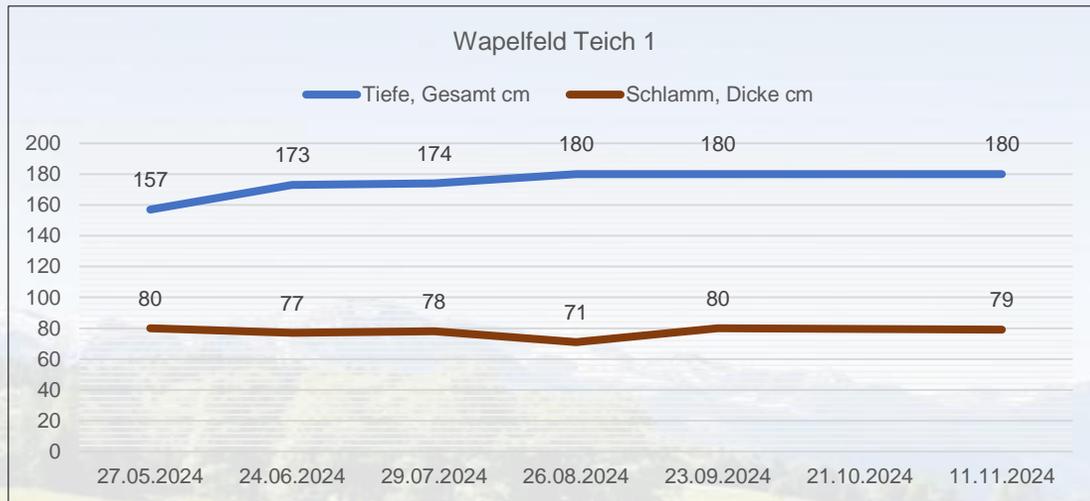
- Neuentwicklung im Auftrage der BluePlanet Germany GmbH gemeinsam mit der permrobotic GmbH
- Automatisiertes Erfassen, Aufbereiten und Auswerten von Mess- und Analysedaten
- Möglichkeit der Einbindung von Sonden und externen Datenquellen, wie Wetter- und Satellitendaten
- Datenauswertung mit einer speziell 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



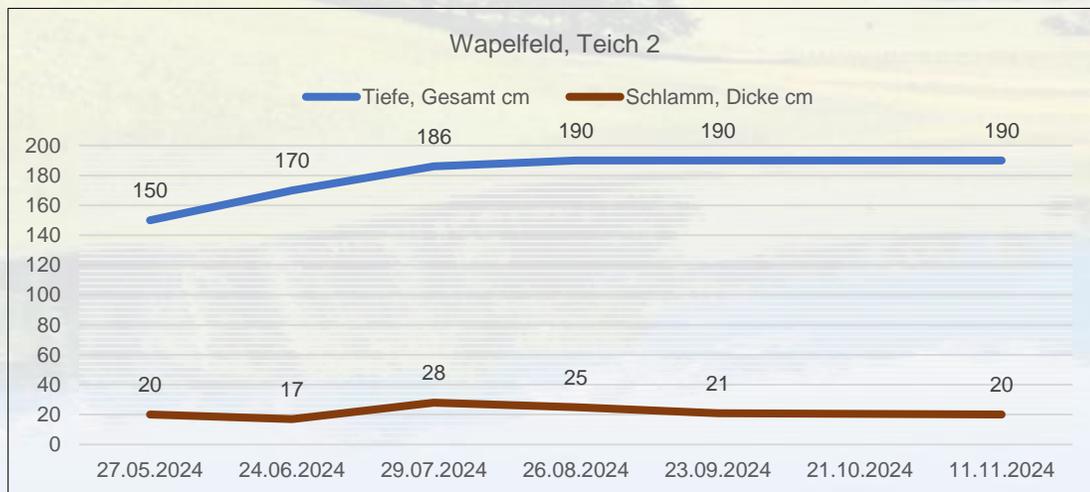
Behandlung TKA-Linden

Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

Schlamm Spiegel



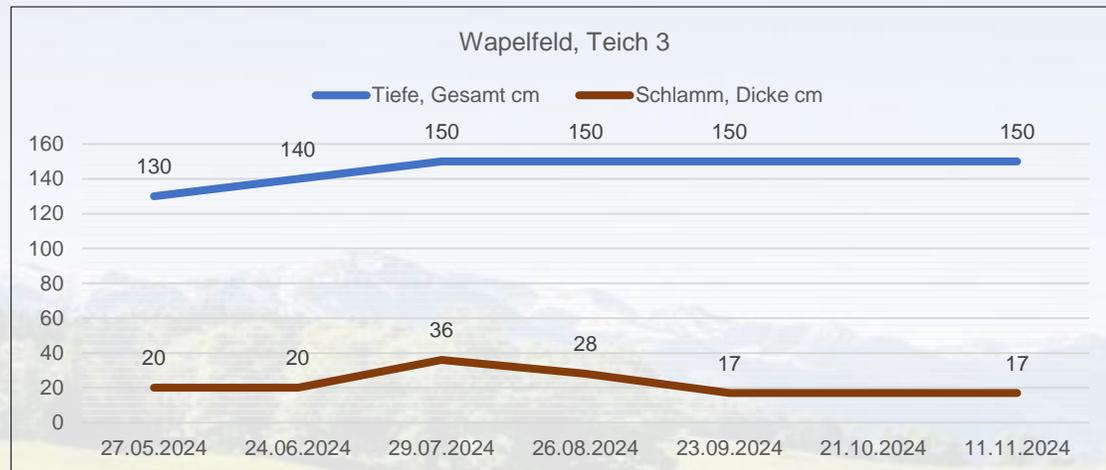
MP	Teich 1												1.540 m ²		
	Tiefe						Schlamm						Zunahme Tiefe in m	Schlamm-abbau in m	Schlamm-abbau in m ³
	1	2	3	A1	B3	MW	1	2	3	A1	B3	MW			
28.05.24	1,70	1,50	1,50			1,57	1,00	0,90	0,50			0,80			
26.06.24	2,00	1,70	1,50			1,73	0,90	0,90	0,50			0,77	0,17	Kompakt (Tiefe + Schlamm)	
29.07.24	2,00	1,70	1,60	1,70	1,70	1,74	0,90	1,00	0,60	0,90	0,50	0,78	0,17		
13.08.24	2,00	1,70	1,60	1,70	1,80	1,76	1,10	0,70	0,60	1,00	0,60	0,80	0,19		0,19
28.08.24	2,00	1,70	1,80	1,70	1,80	1,80	1,10	0,55	0,70	1,00	0,55	0,78	0,23	0,25	390,13
11.09.24	2,00	1,70	1,80	1,70	1,80	1,80	1,20	0,45	0,45	1,00	0,45	0,71	0,23	0,32	497,93
27.09.24	2,00	1,70	1,80	1,70	1,80	1,80	1,20	0,55	0,70	1,00	0,55	0,80	0,23	0,23	359,33
11.11.24	2,00	1,70	1,80	1,70	1,80	1,80	1,20	0,55	0,65	1,00	0,55	0,79	0,23	0,24	374,73



MP	Teich 2												2.293 m ²		
	Tiefe						Schlamm						Zunahme Tiefe in m	Schlamm-abbau in m	Schlamm-abbau in m ³
	4	5	6	A4	B6	MW	4	5	6	A4	B6	MW			
28.05.24	1,50	1,50	1,50			1,50	0,20	0,20	0,20			0,20			
26.06.24	1,70	1,70	1,70			1,70	0,20	0,10	0,20			0,17	0,20	Kompakt (Tiefe + Schlamm)	
29.07.24	1,90	1,90	1,90	1,70	1,90	1,86	0,30	0,10	0,30	0,30	0,40	0,28	0,36		
13.08.24	1,70	1,90	1,90	1,70	2,00	1,84	0,30	0,20	0,20	0,40	0,30	0,28	0,34		0,26
28.08.24	1,90	1,90	1,90	1,80	2,00	1,90	0,30	0,10	0,20	0,35	0,30	0,25	0,40	0,35	802,55
11.09.24	1,90	2,00	1,90	1,80	2,00	1,92	0,30	0,10	0,15	0,30	0,25	0,22	0,42	0,40	917,20
27.09.24	1,90	1,90	1,90	1,80	2,00	1,90	0,25	0,10	0,20	0,25	0,25	0,21	0,40	0,39	894,27
11.11.24	1,90	1,90	1,90	1,80	2,00	1,90	0,20	0,10	0,20	0,25	0,25	0,20	0,40	0,40	917,20

Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

Schlamm Spiegel



MP	Teich 3						Schlamm Spiegel						1.767 m ²		Schlammabbau in m ³		
	Tiefe						Schlamm Spiegel						Zunahme Tiefe in m	Schlammabbau in m			
	7	8	9	A7	B9	MW	7	8	9	A7	B9	MW					
28.05.2024	1,30	1,30	1,30			1,30	0,20	0,20	0,20			0,20					
26.06.2024	1,40	1,40	1,40			1,40	0,20	0,20	0,20			0,20	0,10		Kompakt (Tiefe + Schlamm)		
29.07.2024	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,20	0,40	0,40	0,40	0,40	0,36	0,20				
13.08.2024	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,10		176,70	
28.08.2024	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,30	0,25	0,25	0,30	0,30	0,28	0,20	0,12		212,04	
11.09.2024	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,30	0,30	0,10	0,20	0,15	0,21	0,20	0,19		335,73	
27.09.2024	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,25	0,15	0,10	0,20	0,15	0,17	0,20	0,23		406,41	
11.11.2024	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,25	0,15	0,10	0,20	0,15	0,17	0,20	0,23		406,41	

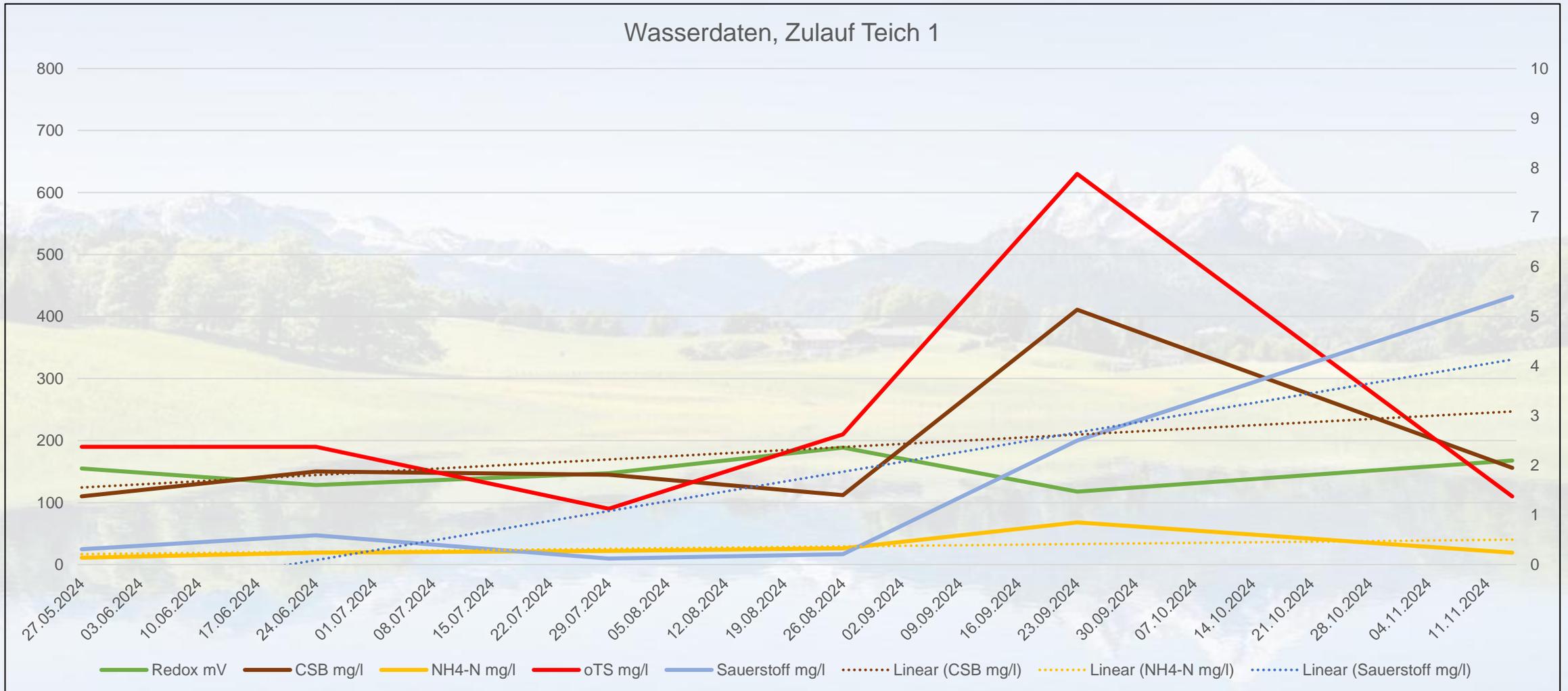
Übersicht Ergebnisse:

Teich	Fläche	Tiefe	SP Mai	SP November	Volumen-Reduktion	Gesamter-SP	Volumen-Reduktion
m ³	m	m	m	m ³	m ³	m ³	%
1	1.540	1,80	1,03	0,79	370	1.586	23,3
2	2.293	1,90	0,60	0,20	917	1.376	66,7
3	1.767	1,50	0,40	0,17	406	707	57,5
Gesamt:					1.693	3.669	46,2

Differenz der Tiefe + anfänglicher Schlamm Spiegel = gesamter Schlamm Spiegel

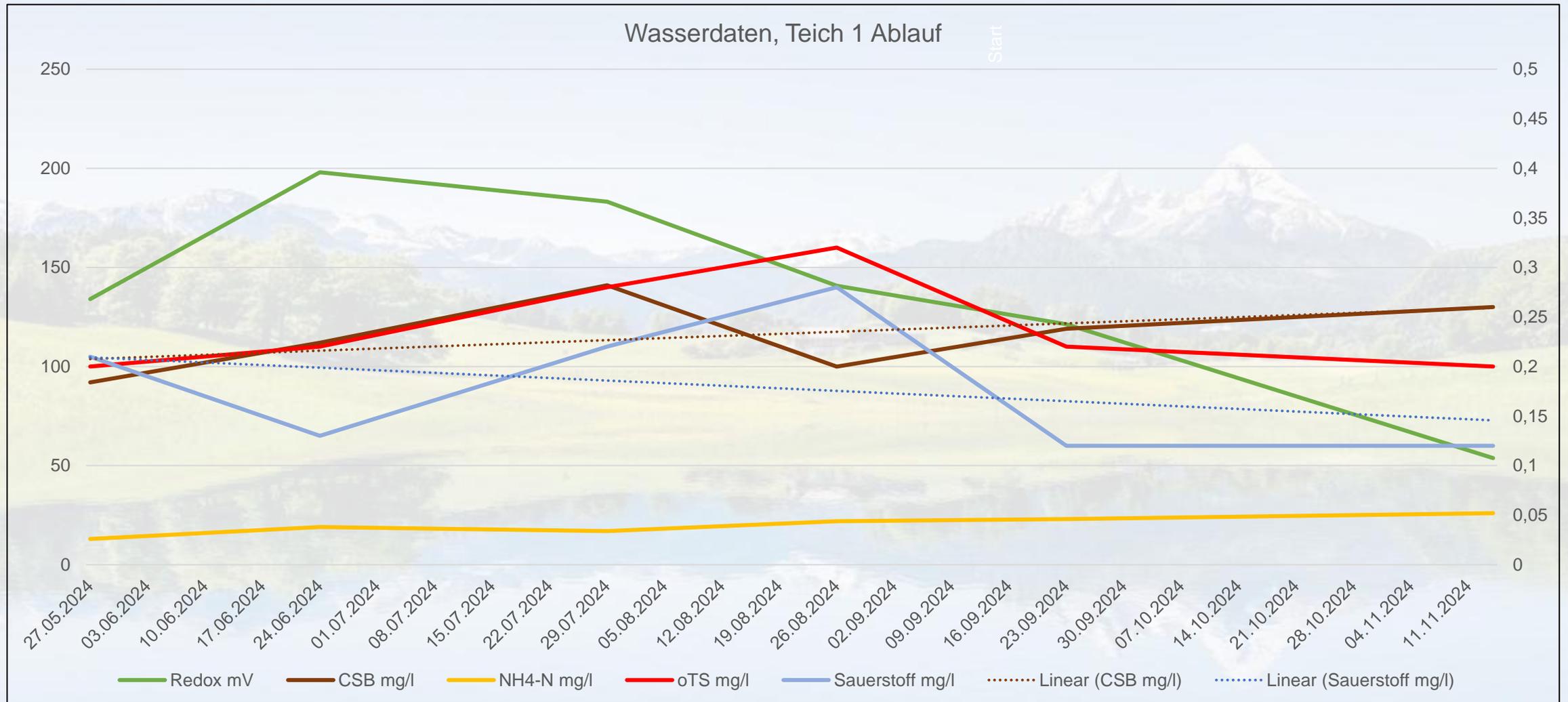
Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

Zulauf Teich 1



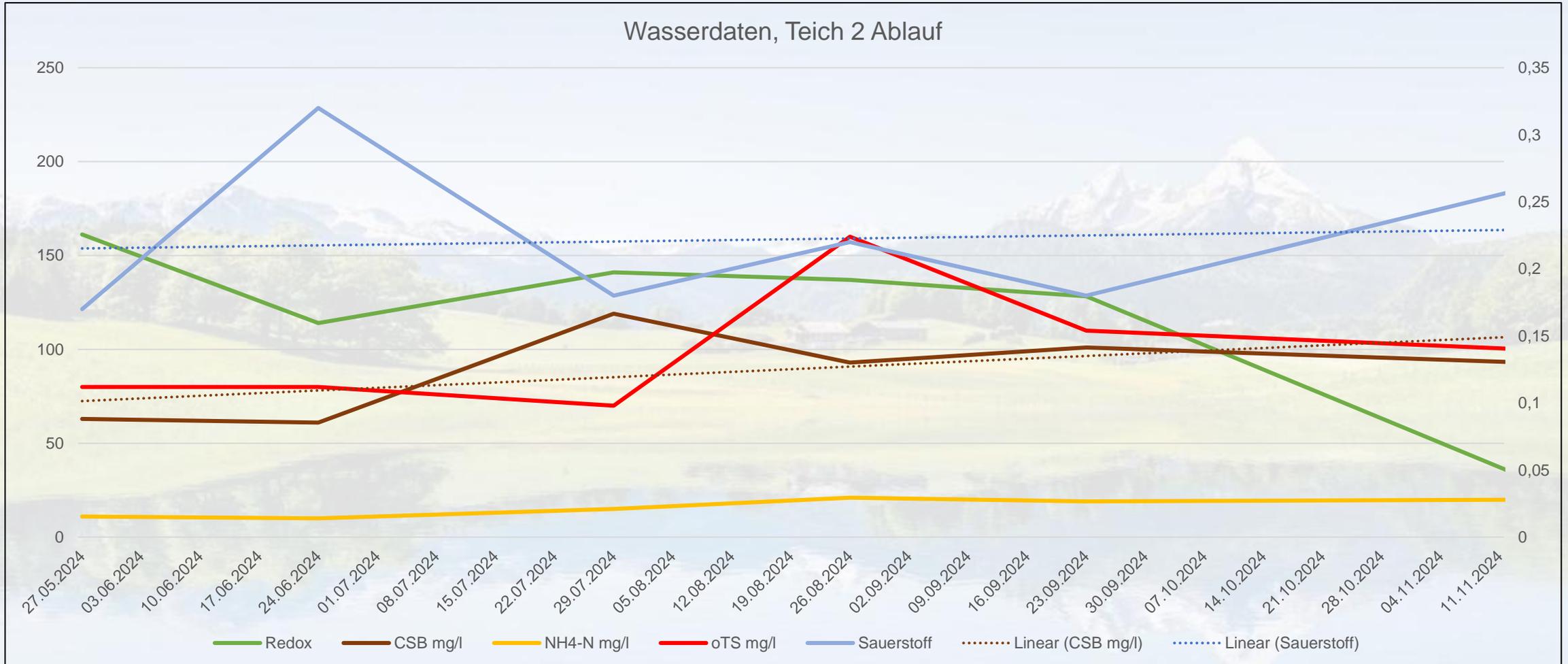
Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

Ablauf Teich 1



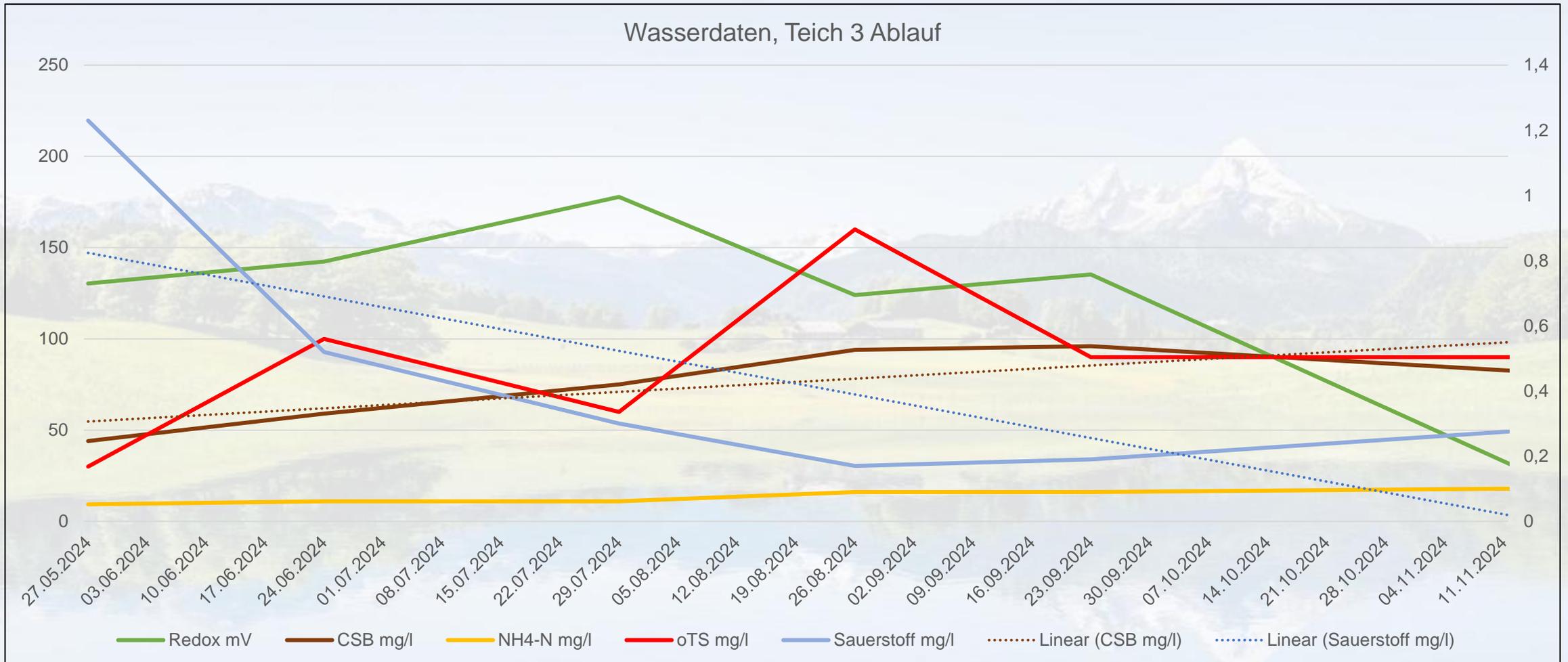
Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

Ablauf Teich 2



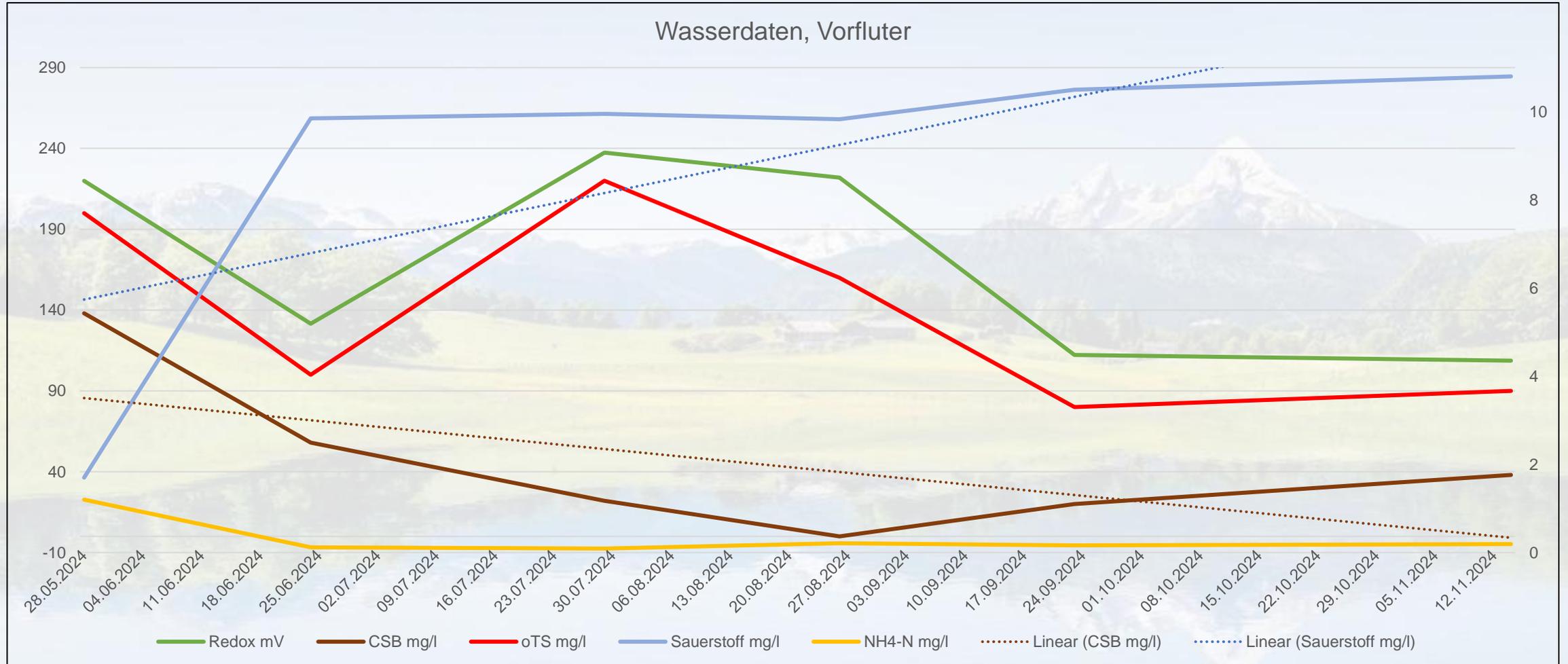
Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

Ablauf Teich 3



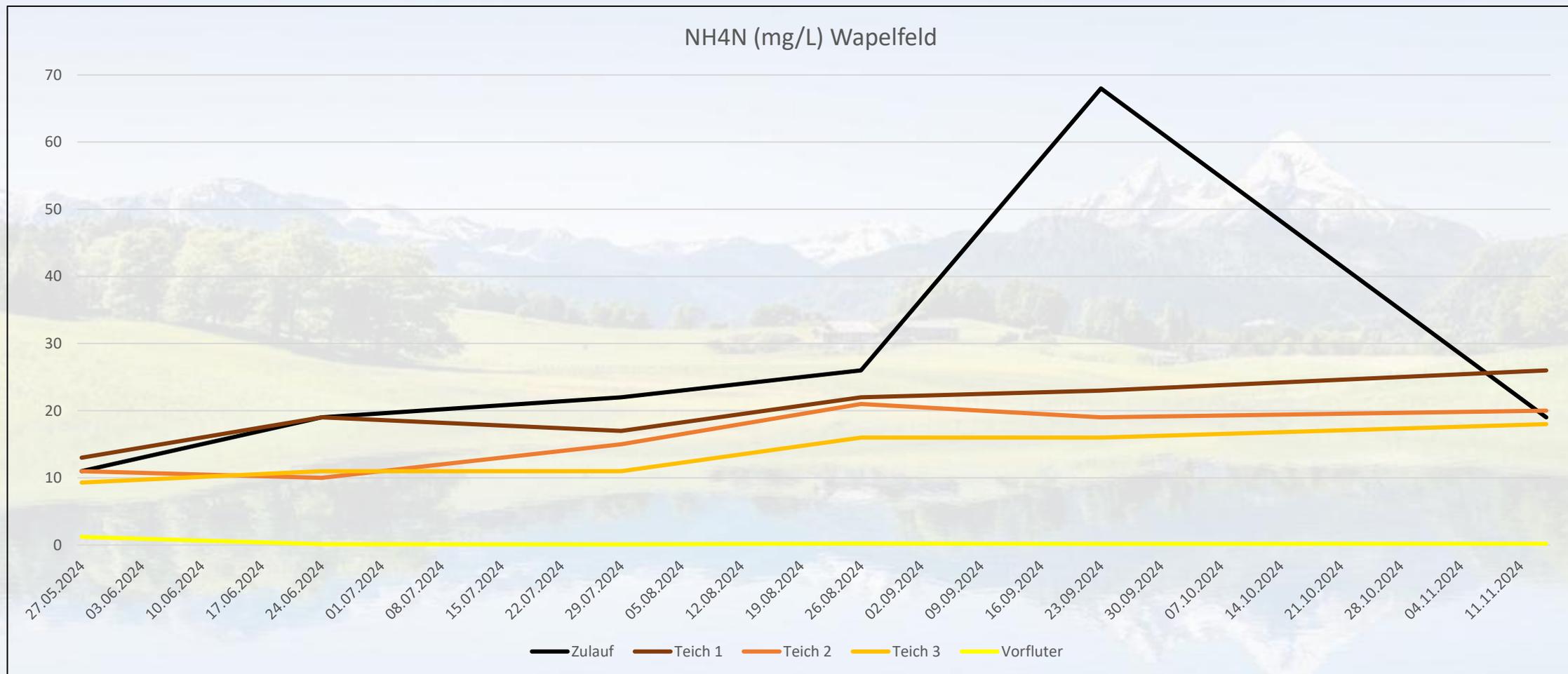
Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

Vorfluter



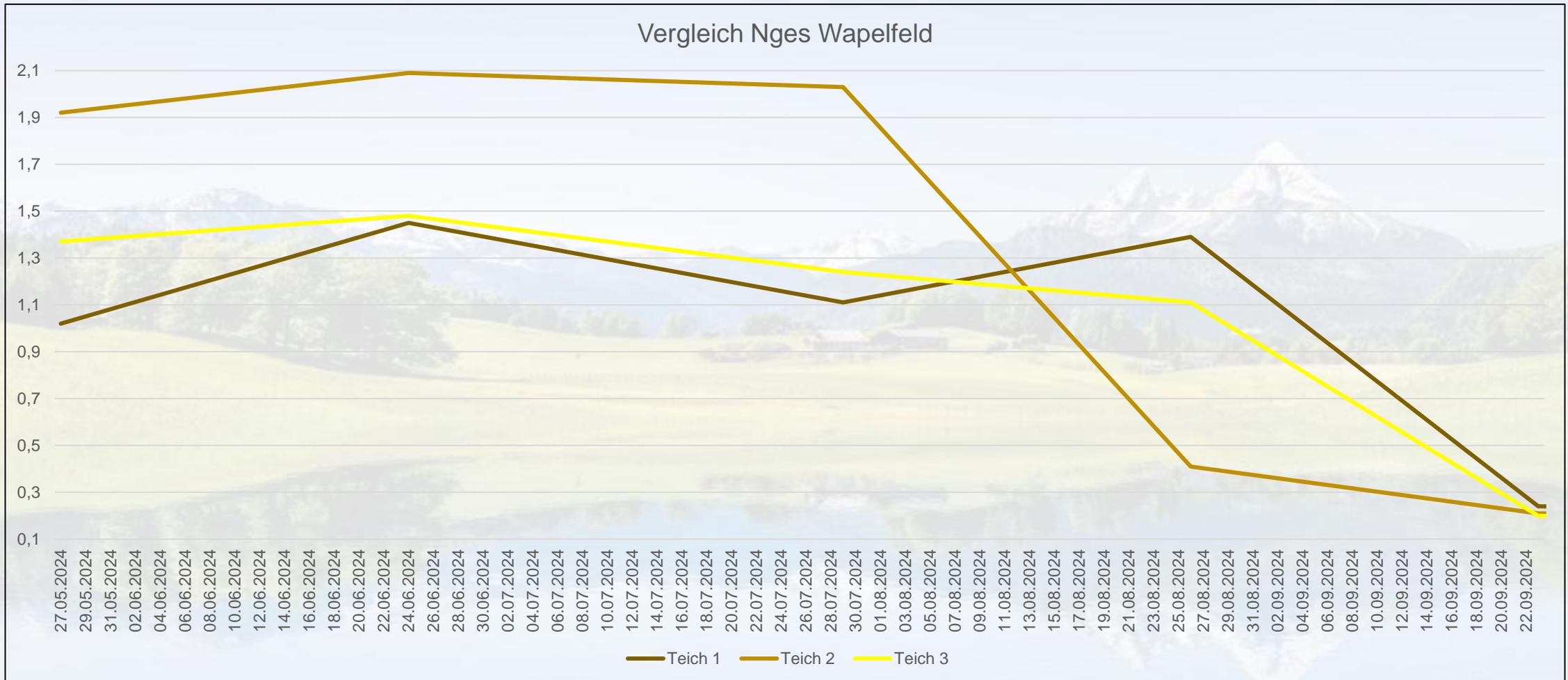
Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

NH₄ in den Teichen 1, 2 und 3 und Zulauf Teich 1



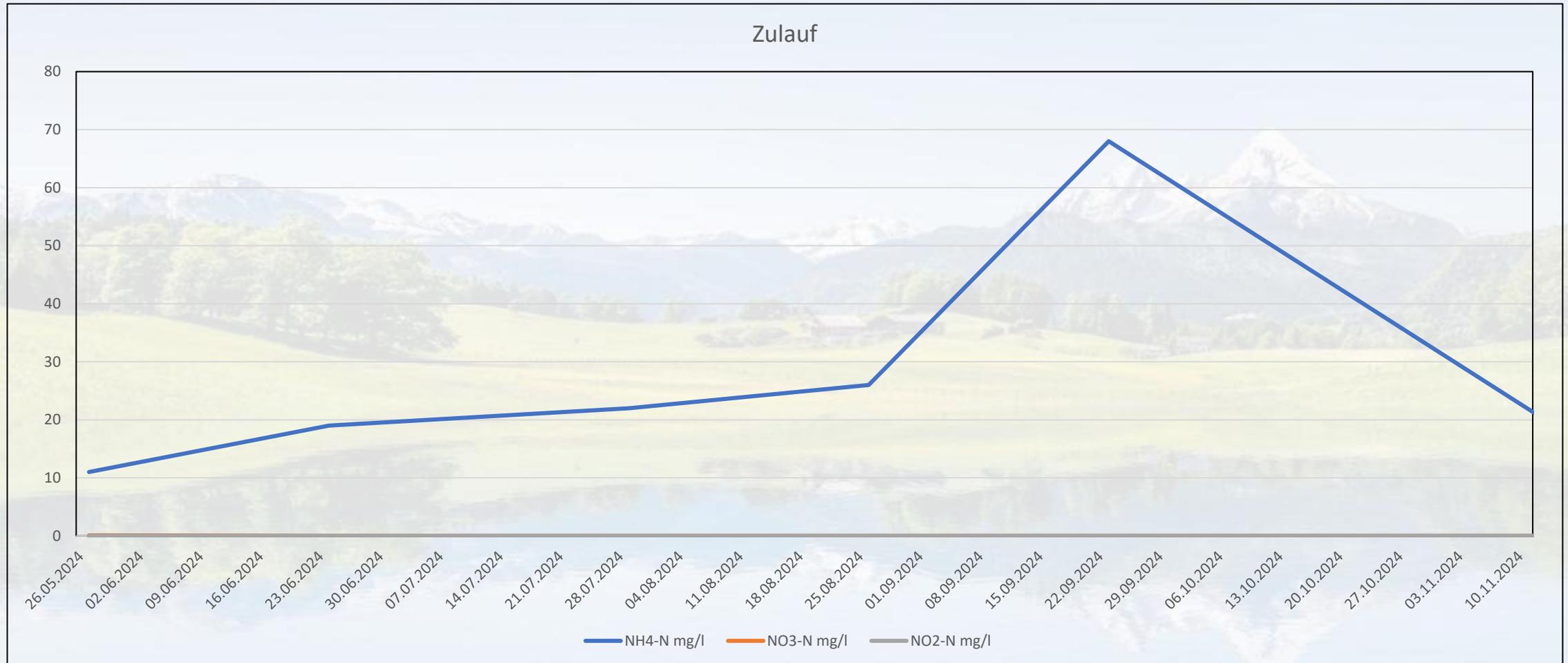
Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

Gesamtstickstoff im Sediment von Teichen 1, 2 und 3



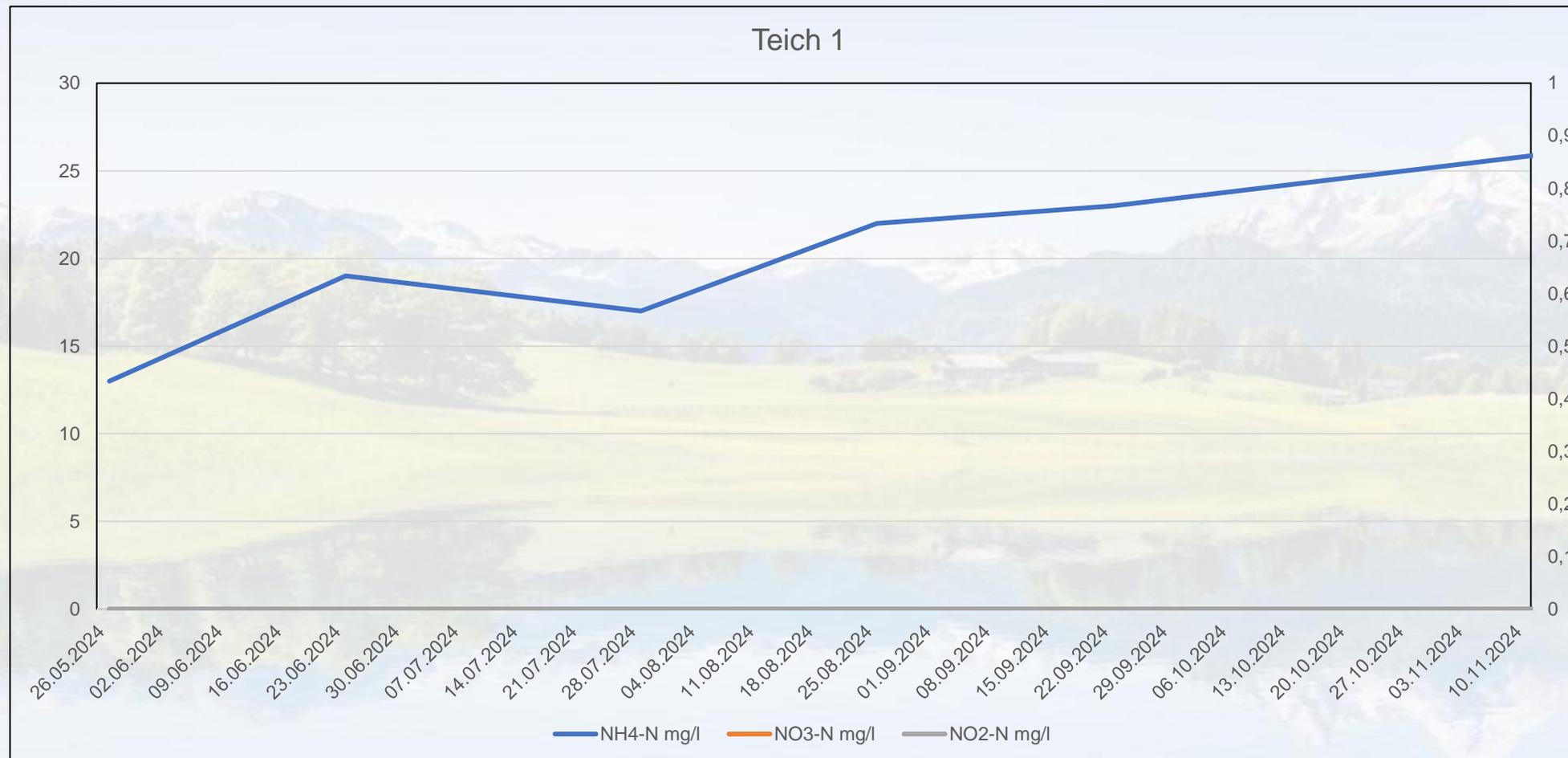
Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

Stickstoffverbindungen, Zulauf



Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

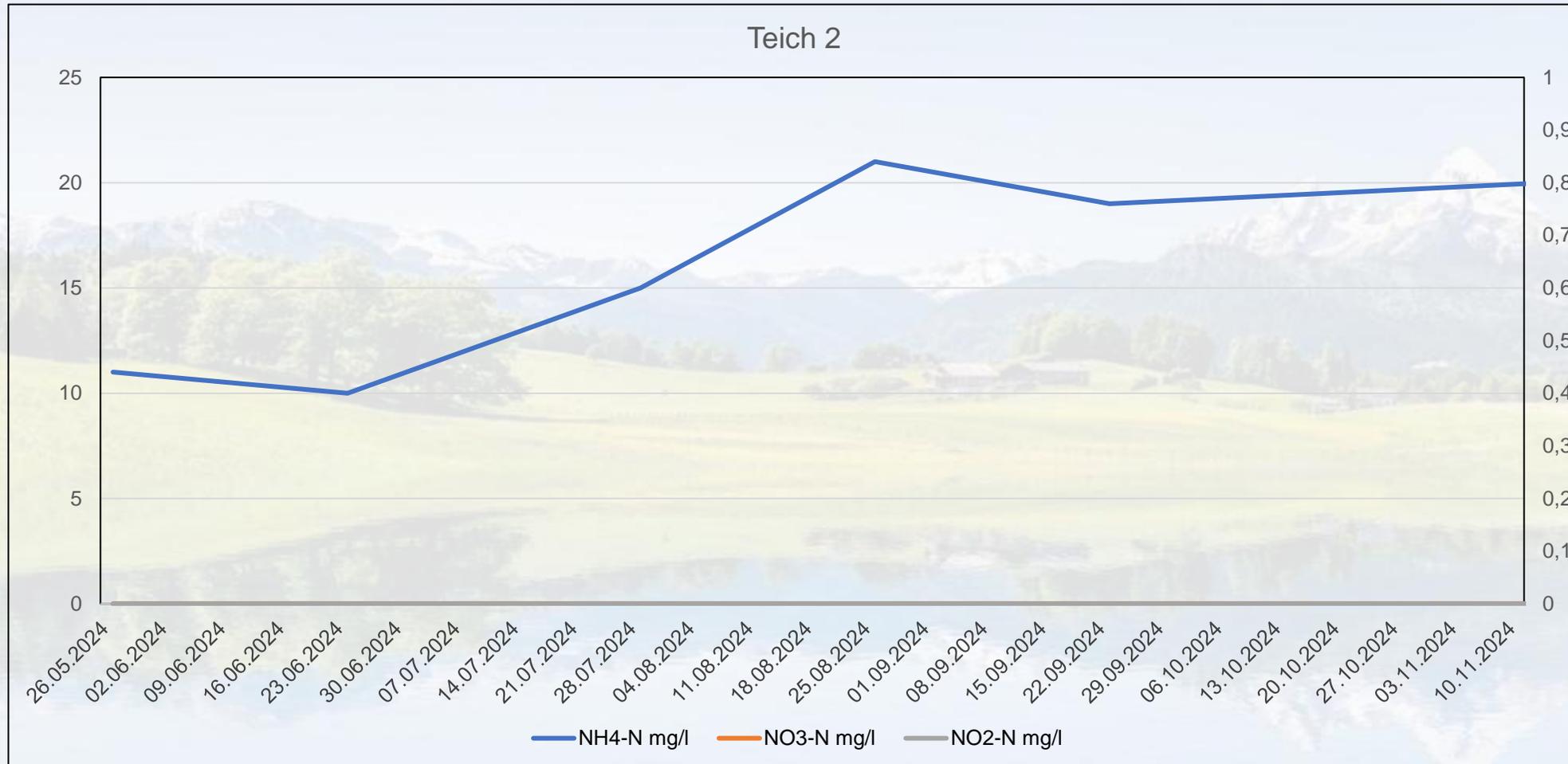
Stickstoffverbindungen, Teich 1



O₂-Messung, 11.11.2024
Messpunkt 2
Oben: 0,44 mg/l
0,50 m: 0,24 mg/l
Unten: 0,21 mg/l

Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

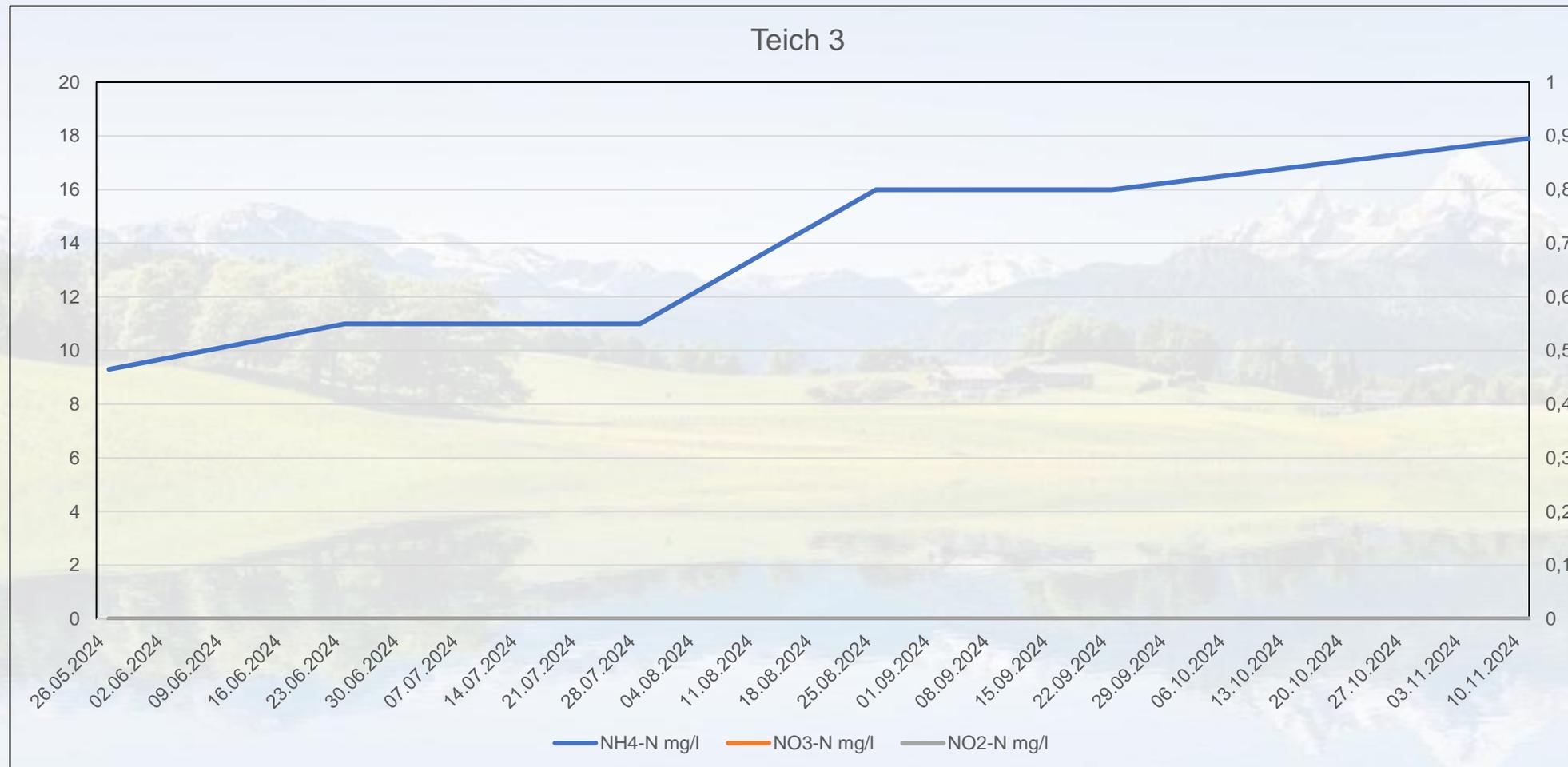
Stickstoffverbindungen, Teich 2



O₂-Messung, 11.11.2024
Messpunkt 5
Oben: 0,31 mg/l
0,50 m: 0,24 mg/l
Unten: 0,19 mg/l

Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

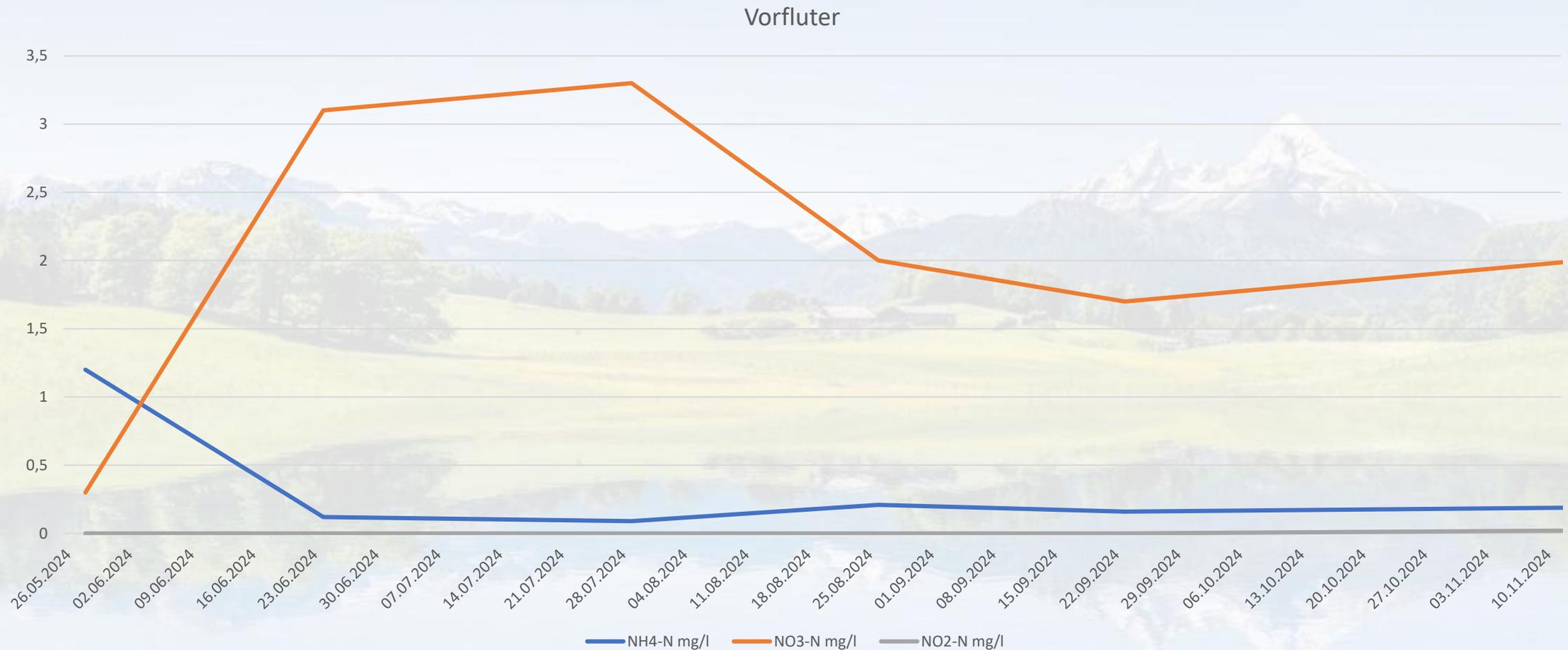
Stickstoffverbindungen, Teich 3



O₂-Messung, 11.11.2024
Messpunkt 8
Oben: 1,02 mg/l
0,50 m: 0,29 mg/l
Unten: 0,20 mg/l

Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

Stickstoffverbindungen, Vorfluter



Auswertung Messdaten TKA Wapelfeld

C:N:P-Verhältnisse

Datum	Zulauf	Teich 1	Teich 2	Teich 3	Vorfluter
27.05.2024	33:8:1	14:11:1	11:7:1	8:6:1	19:1:1
24.06.2024	13:10:1	10:10:1	9:9:1	9:6:1	58:22:1
29.07.2024	11:9:1	9:9:1	10:8:1	9:7:1	61:30:1
26.08.2024	10:9:1	9:8:1	8:9:1	10:9:1	51:21:1
23.09.2024	34:10:1	10:9:1	9:9:1	10:8:1	44:22:1
14.11.2024	14:6:1	11:9:1	13:9:1	10:9:1	48:9:1

Empfohlenes C:N:P-Verhältnis:
106:16:1 (Redfield-Verhältnis)¹

Die Bereitstellung der erforderlichen Elektronendonatoren aus Kohlenstoffquellen durch den Abbau von organischem Material war nicht im vollen Umfange möglich.^{2,3,4}

[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*, 48, 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