

ZWISCHEN- UND ZUSTANDSBERICHT

Regenrückhaltebecken Lache A, Lache B und Lache C

Entwicklung seit Behandlungsbeginn, aktueller Zustand und Handlungsempfehlungen

Auftrag / Gebiet	Stadt Raunheim - Regenrückhaltebecken Lache A-C
Untersuchungs- und Behandlungszeitraum	30.04.2026 bis 31.07.2026; Kontrollbeprobung bis 25.08.2026
Datenstand	02.09.2026
Berichtsstatus	Revision 3 vom 03.09.2026; August-Laboranalysen noch laufend, Teilwerte ausgewiesen
Autor:	Uwe E. Nimmrichter, enviro.dx

Revision 3 vom 03.09.2026. Erstellt auf Grundlage der Projekt-, Mess-, Labor- und Fotodokumentation sowie einschlägiger Fachliteratur.

Dokumentenhinweis

Zentrale Aussage | Die Verringerung der F+O-Schlammauflagen ist in wesentlichen Bereichen teilweise oder vollständig erreicht. Das Hauptproblem sind nun die fortbestehenden Nährstoff- und Organikeinträge; sie verursachen zusammen mit den hydraulischen Barrieren die akute Sauerstoffarmut. Eine Fortsetzung der Dosierung wäre derzeit fachlich und wirtschaftlich ineffizient. Alle Nanobubblers in A, B und C müssen unabhängig von der Behandlungspause weiterlaufen.

Der Bericht bewertet die Entwicklung anhand wiederholter Sedimentkernaufnahmen, Feldmessungen, Laboranalysen, Wetterdaten, Behandlungsunterlagen und Fotodokumentationen. Er ist kein behördlicher Bescheid und keine formale Einstufung des ökologischen Zustands nach Wasserrahmenrichtlinie beziehungsweise Oberflächengewässerverordnung. Allgemein physikalisch-chemische Parameter sind unterstützende Qualitätskomponenten; eine formale Zustandsklassifizierung erfordert unter anderem biologische Qualitätskomponenten und eine typbezogene Bewertung. [12, 13]

Die Analysen der Proben vom 06./07.08.2026 und 25.08.2026 waren zum Berichtszeitpunkt noch nicht vollständig abgeschlossen. Die bereits vorliegenden Teilwerte werden ausgewiesen; weitere Laborparameter werden nachgereicht und in einer Folgerevision ergänzt. Wegen der hohen fachlichen und betrieblichen Priorität wurde die Berichterstellung nicht bis zum Abschluss sämtlicher Analysen zurückgestellt. Fehlende Werte wurden weder geschätzt noch aus anderen Zeitpunkten übertragen. Aussagen zu möglichen Falscheinleitungen bleiben deshalb fachlich begründete Arbeitshypothesen und keine abschließenden Nachweise.

Inhalt

Dokumentenhinweis	2
1. Zusammenfassung und Entscheidungsempfehlung	5
1.1. Kernergebnis.....	5
1.2. Sedimententwicklung	5
1.3. Wasserqualität und Fischschutz	6
1.4. Entscheidungsempfehlung.....	6
2. Auftrag, Zielsetzung und Bewertungsrahmen	8
2.1. Anlass und Auftrag	8
2.2. Zielsystem „guter Zustand“	8
2.3. Leitfragen	8
3. Untersuchungsgebiet und Ausgangssituation	9
3.1. Systemcharakteristik	9
3.2. Lache A (WK1).....	9
3.3. Lache B (WK2).....	11
3.4. Lache C (WK3).....	12
3.5. Ökologische Bedeutung der Struktur	13
4. Datengrundlage und Methodik	14
4.1. Datengrundlage.....	14
4.2. Sedimentklassifikation und Vergleich	14
4.3. Wasserchemie	15
4.4. Niederschlagsbezug und Frachtbegriff	15
5. Behandlungsverlauf bis 31.07.2026	16
5.1. Tatsächlich zugrunde gelegte Behandlungsfolge	16
5.2. Mengenbilanz.....	16
5.3. Belüftungs- und Nanobubble-Komponente.....	17
6. Ergebnisse Wasserhaushalt und Wasserqualität	18
6.1. Gelöster Sauerstoff: zeitliche Entwicklung.....	18
6.2. Vertikale und räumliche Sauerstoffgradienten	19
6.3. Redox, pH, Leitfähigkeit und Temperatur	19
6.4. Laborchemie: äußere und innere Belastungsimpulse	20
6.5. Einlauf Lache A: Verlauf und Trockenwetterindiz	21
6.6. Einläufe Lache B	22
6.7. Einordnung der Phosphordynamik.....	22
7. Entwicklung des Schlammspiegels und der Sedimentauflagen	24
7.1. Gesamtvergleich	24
7.2. Lache A	24
7.3. Lache B	26
7.4. Lache C	28
7.5. Wissenschaftliche Einordnung des Behandlungseffekts	29

8.	Integrierte wissenschaftliche Bewertung	31
8.1.	Wirkungsbild.....	31
8.2.	Dominante Systemgrenzen.....	31
8.3.	Warum eine Behandlungspause sinnvoll ist	31
8.4.	Bewertung der möglichen Falscheinleitung	31
8.5.	Risiko der erneuten Verschlammung.....	32
9.	Empfohlenes Maßnahmen- und Monitoringprogramm	33
9.1.	Sofortmaßnahmen September-Oktober 2026	33
9.2.	Empfohlenes Untersuchungsprogramm an den Einläufen der Lachen A und B	33
9.3.	Kanalnetz- und Quellenuntersuchung.....	34
9.4.	Totholz-, Schilf- und Verlandungsmanagement.....	34
9.5.	Gewässermonitoring 2026/2027	35
10.	Voraussetzungen für eine Wiederaufnahme 2027	36
10.1.	Entscheidungskriterien.....	36
10.2.	Erfolgskriterien	36
11.	Datenqualität, Unsicherheiten und Dokumentationsbedarf.....	37
11.1.	Wesentliche Unsicherheiten	37
12.	Schlussfolgerungen	38
13.	Quellenverzeichnis	39
14	Anhänge	41
14.1	Vollständige Übersicht der Feldwasserwerte	41
14.2	Vollständige Sedimentvergleichstabelle	42
14.3	Zusammenstellung der Laboranalysen	42
14.4	Niederschlagskontext ausgewählter Probenahmen	44
14.5	Abschlussvermerk	45

1. Zusammenfassung und Entscheidungsempfehlung

1.1. Kernergebnis

Die Regenrückhaltebecken Lache A, B und C sind 2026 vor allem durch wiederkehrende äußere Nährstoff- und Organikeinträge belastet. Hinzu kommen sehr niedrige Wasserstände, dichte Seerosen- und Schilfbestände, Totholzbarrieren sowie ein geringer Wasseraustausch. Diese Belastungen erzeugen Biomasse, erhöhen den mikrobiellen und chemischen Sauerstoffbedarf und verhindern zugleich die flächenweite Verteilung des eingetragenen Sauerstoffs und der Behandlungsansätze. Die stark hypoxischen bis anoxischen Bedingungen sind damit eine akute ökologische Folge des übergeordneten Stoff- und Strukturproblems. Gleichzeitig zeigt der Vergleich der Sedimentkerne zwischen Ausgangsbeprobung und August eine deutliche Abnahme der organischen Schlammschichten, am stärksten in Lache B und im untersuchten vorderen Teil der Lache C. Die Entwicklung ist mit einem Behandlungseffekt vereinbar. [1-11, 26]

Teilsystem	Sedimententwicklung	Nährstoffe / Sauerstoff	Hydraulik / Technik	Gesamtbewertung
Lache A	F+O-Median 25,5 -> 17,0 cm; lokale Restauflagen, Ufer 36 cm ohne Ausgangswert.	Wiederholte NH ₄ -, NO ₂ -, CSB-/TOC- und Ortho-P-Signale am Einlauf; August-O ₂ -Median 0,91 mg/L.	Kingfisher + MK3, aber keine flächenweite O ₂ -Stabilisierung; Seerosenbarrieren begrenzen Durchströmung.	kritisch, Ursachenklärung vorrangig
Lache B	F-Median 15 -> 0 cm; F+O-Median 27 -> 0 cm; D-Median 0 -> 13 cm.	Belastete Einläufe, auch Trockenwetterzufluss; Schulbereich auffällig; August-O ₂ -Median 0,00 mg/L.	Haupteinlauf + 3 Rohrzuläufe; Teilung durch Schilf und Geäst; lokale Bubblerwirkung.	akut kritisch
Lache C	F-Median 25 -> 0 cm; F+O-Median 30 -> 6 cm an MP 01-03; D-Median 0 -> 10 cm.	August-O ₂ -Median 0,61 mg/L; bodennah 0 mg/L; Gesamt-P-/Ortho-P-Spitze im Juli.	Ab MP 04 verlandet; im August nur MP 01-03; lokale Bubblerwirkung.	akut kritisch / unvollständig erfasst

Tabelle 1: Verdichtete Zustandsbewertung zum Datenstand 02.09.2026

Quelle: Eigene Auswertung der Projektmessungen [1-8].

1.2. Sedimententwicklung

Die Sedimententwicklung zeigt einen deutlichen Rückgang der behandlungsrelevanten organischen Schlammauflagen. Für die Bewertung werden die im Sedimentkern erfassten Schichten getrennt betrachtet. F bezeichnet den organischen Schweb- und Kompaktschlamm, O die Mischschicht mit rezentem Organikanteil und D frisches beziehungsweise noch unverdautes organisches Material. Als behandlungsrelevante Schlammauflage wird die Summe aus F + O herangezogen. Die D-Schicht wird dagegen separat ausgewiesen, da sie überwiegend jüngeres, noch nicht vollständig umgesetztes Pflanzen- und Detritusmaterial repräsentiert.

Betrachtet man zunächst ausschließlich die F-Schicht, ging deren mediane Mächtigkeit an den zu beiden Zeitpunkten vergleichbar beprobten Messstellen in Lache A von 20,5 auf 14,5 cm, in Lache B von 15,0 auf 0,0 cm und in Lache C an den Messpunkten 01–03 von 25,0 auf 0,0 cm zurück. Damit war insbesondere in Lache B und im untersuchten Teil der Lache C im August an der Mehrzahl der Messstellen kein eigenständig abgrenzbarer organischer Schweb- beziehungsweise Kompaktschlamm mehr vorhanden.

Für die Beurteilung des Behandlungserfolgs ist jedoch nicht allein die F-Schicht entscheidend, sondern die gesamte behandlungsrelevante Auflage aus F + O. Auch hier zeigt sich ein deutlicher Rückgang: In Lache A sank der Median von 25,5 auf 17,0 cm, in Lache B von 27,0 auf 0,0 cm und in Lache C an den Messpunkten 01–03 von 30,0 auf 6,0 cm. Dass die F+O-Werte teilweise höher liegen als die zuvor genannten F-Werte, ist somit kein Widerspruch: In F+O wird zusätzlich die organisch geprägte Mischschicht O berücksichtigt.

Parallel dazu wurde in Lache B und C im August häufiger beziehungsweise mächtiger D-Material erfasst. Der Median der D-Schicht stieg in Lache B von 0 auf 13 cm und in Lache C von 0 auf 10 cm. Dies bedeutet nicht, dass sich entsprechend viel neuer „Schlamm“ gebildet hat. D bezeichnet frisches beziehungsweise noch unverdautes Material und wird deshalb nicht zur behandlungsrelevanten F+O-Auflage gerechnet. Ein Teil dieses Materials kann im Ausgangszustand zudem unter beziehungsweise innerhalb mächtiger weicher Schlammunterlagen weniger eindeutig abgrenzbar gewesen sein und nach deren Rückgang deutlicher hervortreten. Zusätzlich ist während der Vegetationsperiode ein fortlaufender Neueintrag aus abgestorbenen Pflanzenbestandteilen, Schilf, Blättern und sonstigem organischem Material möglich. Vor allem durch die extremen Temperaturen und der Trockenheit kam es im Verlauf des Sommers bereits zu verstärkten Laubeintrag.

Insgesamt zeigen die Sedimentkerne damit zwei parallele Entwicklungen: Einerseits wurde die ältere, behandlungsrelevante organische Schlammunterlage aus F und O deutlich reduziert. Andererseits bleibt beziehungsweise entsteht fortlaufend frisches organisches Material der Kategorie D, das erst anschließend mikrobiell umgesetzt werden kann. Die Ergebnisse sind deshalb nicht als einfache Gesamtvolumenbilanz des Sediments zu verstehen, sondern als Veränderung seiner Schichtzusammensetzung und seines Abbauzustandes. Die angegebenen Werte sind Mediane der jeweils vergleichbar beprobten Messstellen und keine flächenbezogene Massen- oder Volumenbilanz. Die Sedimentkerne wurden, soweit die Bedingungen vor Ort dies zuließen, fotografisch dokumentiert. Einzelne Restauflagen bleiben bestehen.

In Lache A wurde an der neu aufgenommenen Ufermessstelle im August eine F+O-Auflage von 36 cm dokumentiert; hierfür existiert kein Ausgangswert.

1.3. Wasserqualität und Fischschutz

Die positive Sedimententwicklung ist nicht mit einem bereits guten Gewässerzustand gleichzusetzen. Das übergeordnete Problem sind die fortbestehenden Nährstoff- und Organikeinträge; die daraus resultierende hohe Sauerstoffzehrung wird durch geringe Wassertiefe, sommerliche Erwärmung, Pflanzenatmung und unzureichende Durchströmung verstärkt. Im August lagen die Medianwerte des gelösten Sauerstoffs bei nur 0,91 mg/L in Lache A, 0,00 mg/L in Lache B und 0,61 mg/L in Lache C. Mehrere bodennahe Messungen ergaben 0,00 mg/L. [2, 10, 11, 14, 15, 26]

In Lache A waren zwei leistungsfähige Standgeräte installiert: ein Nanobubbler Kingfisher und ein Nanobubbler MK3. Trotzdem lässt sich aus den Messreihen keine anhaltende flächenweite Verbesserung des Sauerstoffhaushalts ableiten. Dies ist mit der hohen Sauerstoffzehrung durch ammonium- und organikhaltige Einträge sowie mit der unzureichenden Durchströmung hinter den Seerosenbarrieren vereinbar. Auch in Lache B und C konzentrierten sich Fische im Umfeld der Nanobubblers. Diese Beobachtung ist mit lokalen Sauerstoffrefugien vereinbar, belegt aber keine ausreichende Versorgung der Gesamtfläche. Sämtliche Nanobubblers in A, B und C sollen deshalb zum Schutz der Fauna weiterbetrieben, gewartet und im Nah- und Fernbereich messtechnisch kontrolliert werden. [2, 7, 8, 26]

1.4. Entscheidungsempfehlung

Empfehlung zum Behandlungsstatus | Die biologische Dosierung soll nach der letzten tatsächlich ausgeführten Anwendung vom 31.07.2026 pausieren. Die Aufgabe der Reduktion organischer Sedimente ist in vielen Bereichen teilweise oder vollständig erfüllt; weitere Produktmengen und Arbeitszeit würden bei fortbestehenden Einträgen und hydraulischen Barrieren nur einen geringen Zusatznutzen erzeugen. Kingfisher und MK3 in Lache A sowie die Nanobubblers in B und C sollen zum Fisch- und Faunaschutz uneingeschränkt weiterlaufen.

- a) Sofortige Sicherung lokaler Sauerstoffrefugien durch kontinuierlichen Betrieb, Wartung und möglichst redundante Absicherung aller Nanobubblers: Kingfisher und MK3 in Lache A sowie die Anlagen in Lache B und C.
- b) Monatliche und ereignisbezogene Beprobung des Haupteinlaufs der Lache A sowie eines systematischen Messnetzes an den vier Einläufen der Lache B - mit besonderer Priorität für den Zulauf im Schulbereich.
- c) Systematische Untersuchung möglicher Fehlanlüsse beziehungsweise Abwasserbeimischungen mit mehreren unabhängigen Nachweislinien: klassische Chemie einschließlich o-PO₄ und daraus berechnetem Ortho-P, mikrobiologische Indikatoren, human-spezifische Marker und Netzinspektion.

- d) Gezielte Herstellung von Strömungs- und Verteilkorridoren: Öffnung der Seerosenbarrieren in Lache A sowie Räumung hydraulisch wirksamer Totholz- und Geästbarrieren und abschnittsweiser Röhrichtschnitt in Lache B und C - jeweils naturschutzfachlich abgestimmt und ohne flächige Habitatbereinigung.
- e) Wiederaufnahme der biologischen Dosierung 2027 erst nach Klärung beziehungsweise deutlicher Reduktion der äußeren Belastung, Herstellung ausreichender hydraulischer Durchgängigkeit, aktueller Volumenbestimmung und erneuter Ausgangsbeprobung. Einzelne Restauflagen rechtfertigen unter den derzeitigen Rahmenbedingungen keine pauschale Fortsetzung.

2. Auftrag, Zielsetzung und Bewertungsrahmen

2.1. Anlass und Auftrag

Die Stadt Raunheim betreibt die drei Lachen als Regenrückhaltebecken zur Aufnahme und Zwischenspeicherung von Niederschlagswasser aus dem städtischen Kanalnetz. Seit Anfang Mai 2026 werden die Gewässer durch BluePlanet Germany biologisch behandelt. Ergänzend wurden Nanobubble-Systeme eingesetzt; in Lache A zwei Standgeräte - Kingfisher und MK3 - sowie weitere Anlagen in Lache B und C. Der Bericht fasst die Entwicklung bis zum Datenstand 02.09.2026 zusammen, bewertet den Zustand nach Abschluss der letzten Behandlung am 31.07.2026 und leitet das weitere Vorgehen ab. [1, 6-8]

Besonderes Augenmerk liegt auf der Entwicklung der behandlungsrelevanten Schlammauflage F+O, dem separat zu bewertenden Detritus D, der äußeren Nährstoff- und Organikbelastung, der daraus resultierenden Sauerstoff- und Redoxsituation sowie den strukturellen Einschränkungen durch Schilf, Totholz, Seerosen und Verlandung. Der gemeinsame Vor-Ort-Termin mit dem Kunden wird gemäß aktueller Projektleitungsangabe auf den 20.08.2026 datiert.

2.2. Zielsystem „guter Zustand“

Der im Projekt verwendete Begriff „guter Zustand“ bezeichnet ein betrieblich-ökologisches Sanierungsziel und keine formale WRRL-Klassifikation. Vorrangig sind dauerhaft reduzierte äußere Nährstoff- und Organikeinträge, anschließend eine ausreichende Sauerstoffversorgung, geringe und stabile F+O-Auflagen, eine funktionsfähige hydraulische Verbindung der Teilbereiche sowie eine strukturreiche, aber nicht verlandende Vegetationsentwicklung. Die OGewV nennt Sauerstoff, TOC/BSB, Leitfähigkeit, pH sowie Phosphor- und Stickstoffparameter als relevante unterstützende Komponenten; eine formale Zustandsbewertung bleibt typ- und biologiebezogen. [12, 13]

2.3. Leitfragen

- Wie haben sich die behandlungsrelevanten Schichten F+O und der getrennt auszuweisende Detritus D seit der Ausgangsbeprobung verändert?
- Welche räumlichen Hotspots und nicht mehr beprobbaren Bereiche bestehen?
- Wie sind Sauerstoff, Redox, pH, temperaturkompensierte Leitfähigkeit bei 25 °C, Temperatur sowie Gesamt-P, o-PO₄ und Ortho-P zu bewerten?
- Welche Indizien sprechen für äußere Belastungsimpulse beziehungsweise mögliche Falscheinleitungen?
- Welche technischen, ökologischen und organisatorischen Schritte sind vor einer Fortsetzung erforderlich?

3. Untersuchungsgebiet und Ausgangssituation

3.1. Systemcharakteristik

Die drei Becken sind flache, anthropogen geprägte Rückhalteräume mit geringer Wasserführung und stark wechselndem Wasserstand. Der Behandlungsplan setzt Wassereinhalte von rund 5.241 m³ für Lache A, 4.532 m³ für Lache B und 6.869 m³ für Lache C an; zusammen etwa 16.642 m³. Diese Planvolumina sind Dosierungsgrundlagen und ersetzen keine aktuelle bathymetrische Vermessung, insbesondere nicht bei extremem Niedrigwasser und fortgeschrittener Verlandung. [6]

Regenrückhaltebecken erhalten Stoffe aus unterschiedlichen urbanen Herkunftsbereichen. Über Regen- und Mischwassereinleitungen können Stoffe aus Haushalten, Gewerbe und Straßenabfluss in Gewässer gelangen; unbehandelte Abwasseranteile sind bei Fehlan schlüssen, Überläufen oder Leckagen möglich. [16]

3.2. Lache A (WK1)



Abbildung 1: Lage der Messstellen, des Zulaufs sowie der Standgeräte Kingfisher und MK3 in Lache A

Quelle: Projektkartierung BluePlanet Germany 2026 [8].

Lache A weist einen klar definierten Haupteinlauf auf und ist daher für die Quellenklärung besonders geeignet. Zur Sauerstoffversorgung wurden zwei Standgeräte eingesetzt: ein Nanobubbler Kingfisher und ein Nanobubbler MK3. Die Wasserfläche war während der Vegetationsperiode jedoch durch Seerosen in nur schwach gekoppelte Teilräume gegliedert. Dadurch wurden Sauerstoff und Behandlungsansatz räumlich nur eingeschränkt verteilt; zugleich konnten im August nicht alle Ausgangsmesspunkte erneut beprobt werden. Belastbare zeitliche Vergleiche liegen vor allem für MP 05-08 vor. Ergänzend wurde eine neue Ufermessstelle aufgenommen, an der eine lokale Restauflage erfasst wurde. [1, 2, 8]



Abbildung 2: Seerosenbestand in Lache A als Einschränkung für Zugang und Wiederholungsbeprobung
Quelle: Fotodokumentation BluePlanet Germany 2026 [8].

3.3. Lache B (WK2)

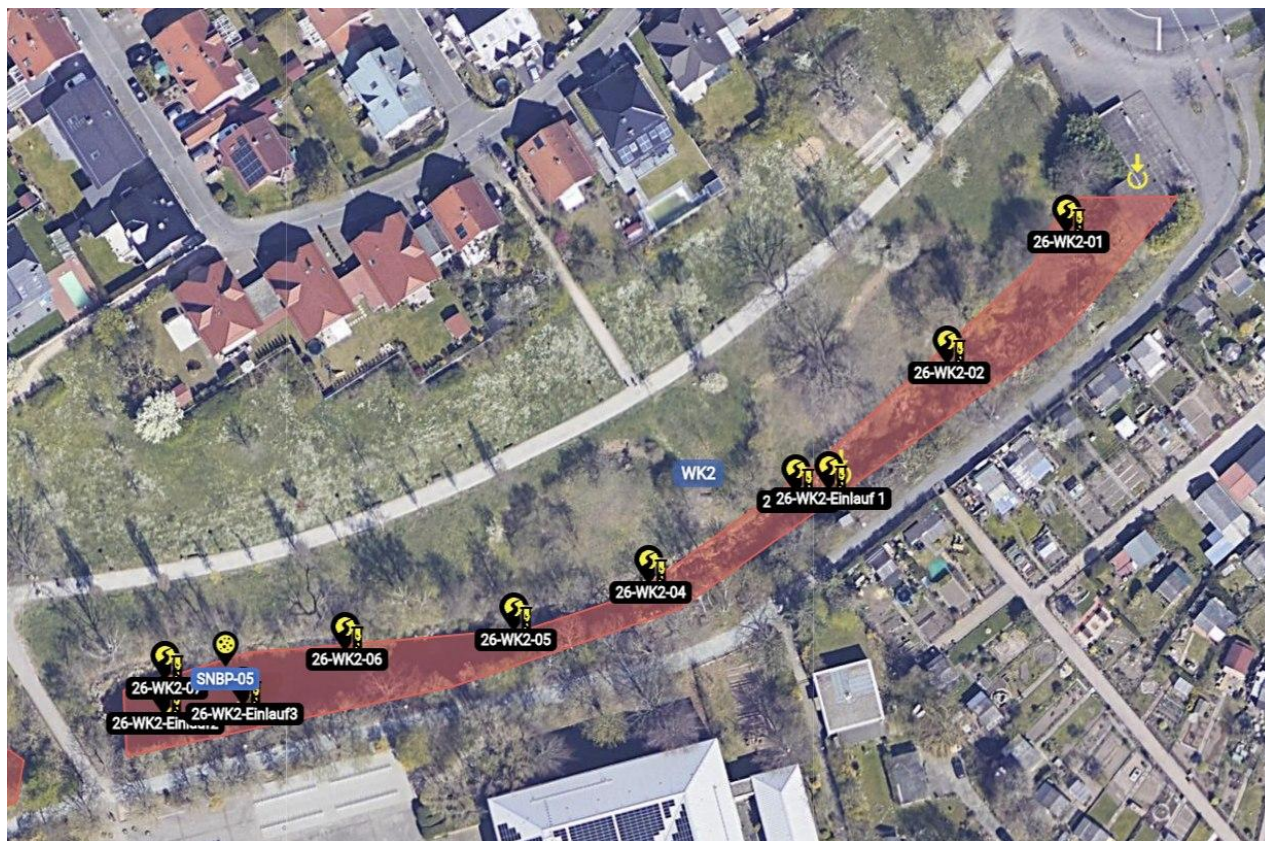


Abbildung 3: Lage der Messstellen, des Haupteinlaufs aus Lache A, der drei seitlichen Rohrzuläufe und des Nanobubble-Bereichs in Lache B

Quelle: Projektkartierung BluePlanet Germany 2026 [8].

Lache B besitzt einen Haupteinlauf aus Lache A und drei zusätzliche seitliche Rohrzuläufe. Auch in niederschlagsarmen beziehungsweise trockenen Phasen wurde einlaufendes Wasser beobachtet. Bei den Beprobungen traten erhöhte Nährstoff- und Organikwerte auf; projektseitig wurde insbesondere der seitliche Zulauf im Schulbereich als auffällig bewertet. Gleichzeitig ist das langgestreckte Becken durch Schilfbestände, Totholz und Geäst in hydraulisch nur schwach gekoppelte Teilräume gegliedert. Der Nanobubbler beeinflusst daher nur einen begrenzten Abschnitt. Die Kombination aus Einträgen, geringer Durchströmung und hoher Sauerstoffzehrung begünstigt lokale anoxische Zonen. [2-5, 7, 8]



Abbildung 4: Dichter Bewuchs und eingeschränkter offener Wasserkorridor in Lache B
Quelle: Fotodokumentation BluePlanet Germany 2026 [8].

3.4. Lache C (WK3)

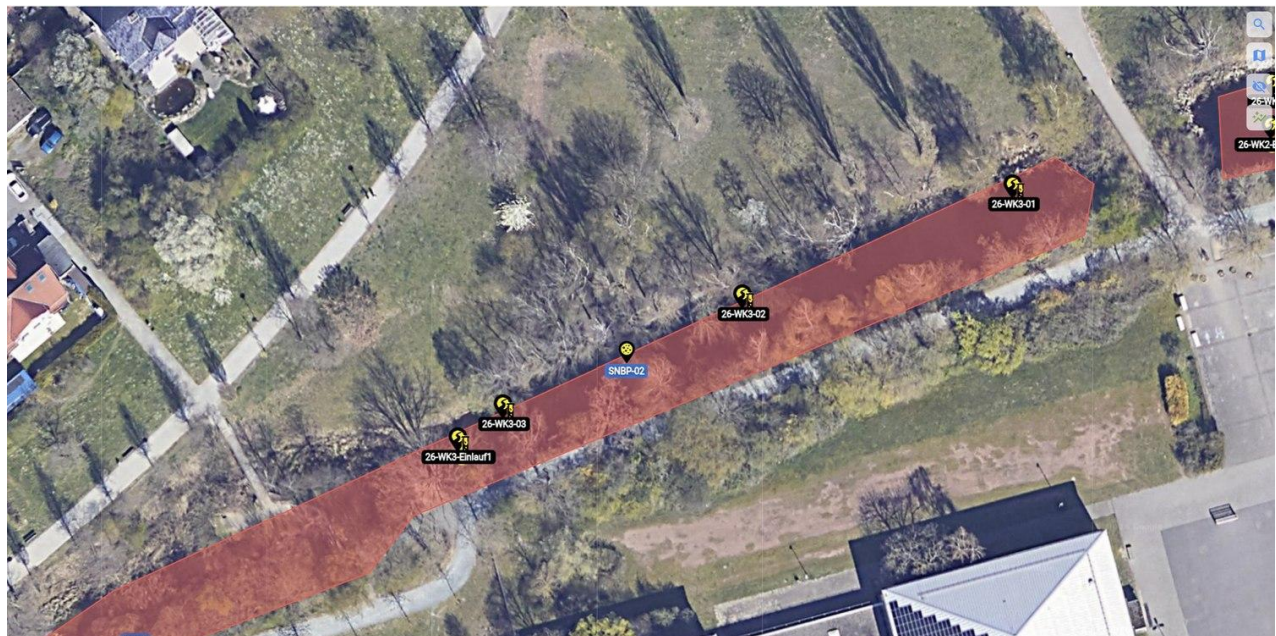


Abbildung 5: Lage der Messstellen und des Nanobubble-Bereichs in Lache C
Quelle: Projektkartierung BluePlanet Germany 2026 [8].

Lache C ist ebenfalls strukturell in Teilbereiche getrennt. Im August konnten nur noch die Messstellen 01-03 beprobt werden. Der Bereich ab MP 04 war so weit verlandet beziehungsweise zugewachsen, dass eine belastbare Wiederholungsbeprobung nicht möglich war. Aussagen zum Schlammabbau gelten deshalb ausschließlich für den erreichbaren vorderen Abschnitt und dürfen nicht auf die Gesamtfläche übertragen werden.

3.5. Ökologische Bedeutung der Struktur

Röhricht, Ufergehölze, Seerosen und Totholz besitzen grundsätzlich hohe Habitatfunktionen. In technischen Rückhaltebecken können vollständig geschlossene Seerosenfelder, übermäßige Verlandung und querliegende Totholz- oder Schilfbarrieren jedoch den Wasseraustausch, die Beprobung, die Verteilung von Sauerstoff und die hydraulische Funktion beeinträchtigen. Ziel ist keine flächige Beseitigung, sondern ein ökologisch verträgliches Mosaik aus Habitatstrukturen und offenen Strömungs-, Mess- und Verteilkorridoren.

4. Datengrundlage und Methodik

4.1. Datengrundlage

Datensatz	Inhalt	Zeitraum	Quelle
Sediment- und Wasser-Messdatensatz	Ausgangs-, Zwischen- und Augustbeprobungen an WK1-WK3	30.04.-07.08.2026	[1]
Zusammengeführte Feldwasserwerte	O ₂ , Sättigung, Temperatur, pH, Redox, Leitfähigkeit/EC25 und Leitfähigkeit Absolut	30.04.-07.08.2026	[2]
Laborberichte	N-, P-, o-PO ₄ /Ortho-P-, CSB- und TOC-Parameter in Becken und Einläufen	30.04.-07.08.2026	[3]
Aloora-Einlaufserien	Teilergebnisse Lache A, Einlauf; weitere Analysen laufend	06.08. und 25.08.2026	[4]
Wetterstation	Niederschlag und meteorologischer Kontext	08.05.-19.08.2026	[5]
Behandlungsplan	Dosierungsgrundlagen und Behandlungsfolge	Stand 29.07.2026	[6]
Tätigkeitsbericht	Einsätze, Wartung, Belüfter und Logistik	Mai-August 2026	[7]
Karten und Fotos	Messstellenlage, Bewuchs, August-Sedimentkerne	2026	[8]
Methodenreferenz Brieskower Kanal	Schichttrennung und Unsicherheitsprinzipien	2025	[9]

Tabelle 2: Für die Auswertung herangezogene Datengrundlagen

Quelle: Projektunterlagen und Fachquellen [1-9].

4.2. Sedimentklassifikation und Vergleich

Als Sedimentlogik wurden die dokumentierten Schichten funktional gruppiert: F = Faul-, Schweb und Kompaktschlamm; O umfasst Mischschichten aus anorganischen Sedimenten mit hohem organischen Anteil; D bezeichnet erkennbares, noch nicht beziehungsweise nur unvollständig zersetztes Detritus- und Pflanzenmaterial. Für die Behandlungsauswertung wird ausschließlich F + O als relevante organische Schlammauflage summiert. D wird getrennt ausgewiesen, weil unzersetztes Material zwar künftig Sauerstoff verbrauchen und zu Schlamm werden kann, aktuell aber nicht mit bereits ausgebildetem Fein-/Faulschlamm gleichgesetzt werden darf. Sandige, schluffige, lehmige und tonige Schichten gelten als mineralisch. [1, 9-11]

Für die zeitliche Entwicklung wurden ausschließlich Messstellen mit Ausgangs- und Augustwerten verglichen: Lache A MP 05-08, Lache B MP 01-07 und Lache C MP 01-03. Die Ufermessstelle in Lache A wird separat ausgewiesen. Für Lache C ab MP 04 besteht wegen Verlandung keine August-Wiederholung. Bei jedem Kern wurden F, O, D und mineralische Schichten in ihrer dokumentierten Reihenfolge geprüft; die Kennzahl F+O ist eine Klassensumme, keine Aussage über die vertikale Lagerungsfolge.

Interpretationsgrenze der Schlammspiegelmessung | Schichtmächtigkeiten aus Sedimentkernen sind keine direkte Massenbilanz. Unterschiede können neben tatsächlichem Abbau auch durch Hydrolyse und Auflockerung, Detritusfreilegung, Umlagerung, unterschiedliche Kernpenetration, kleinräumige Heterogenität, Wassergehalt und zeitverzögerte Konsolidierung entstehen. Die höchste Aussagekraft besitzt die wiederholte Entwicklung von F, O und D an exakt denselben Messpunkten.

4.3. Wasserchemie

Feldparameter wurden als Konzentrationen beziehungsweise physikalische Messgrößen ausgewertet. Für zeitliche Übersichten wird je Gewässer und Datum der Median mit Spannweite angegeben, weil Ausreißer und räumliche Teilung stark ausgeprägt sind. In diese Kampagnenmediane gehen alle an dem Tag erfassten Messungen ein, oberflächennahe ebenso wie bodennahe; sie sind damit keine reinen Oberflächenwerte. Weil der Anteil bodennaher Messungen je Gewässer und Termin unterschiedlich ist, sind Mediane verschiedener Becken nur eingeschränkt unmittelbar vergleichbar. Die Vertikalprofile „oben/unten“ werden deshalb in Abschnitt 6.2 zusätzlich getrennt ausgewiesen. Sauerstoff-Schwellen dienen ausschließlich als biologische Orientierung; sie ersetzen keine gewässertypspezifische deutsche Bewertung. [2, 14, 15]

Das Labor berichtet „o-PO4“ als Phosphation in mg PO₄/L, während Gesamtphosphor als P in mg P/L ausgewiesen wird. Damit Ortho-P überall vergleichbar angegeben werden kann, wurde o-PO₄ stöchiometrisch in Ortho-P umgerechnet: Ortho-P [mg P/L] = o-PO₄ [mg PO₄/L] × 30,9738/94,9714 = o-PO₄ × 0,32614. Im Text und in den Tabellen werden deshalb beide Größen gemeinsam ausgewiesen. Werte unter Nachweis- oder Bestimmungsgrenze wurden nicht als Nullwerte behandelt; die umgerechnete Grenze bleibt ebenfalls als „<“-Wert gekennzeichnet. [3, 4, 10]

4.4. Niederschlagsbezug und Frachtbegriff

Die lokale Wetterstation wurde genutzt, um Probenahmen als Trocken- oder Regenkontext einzuordnen. Eine Stofffracht ergibt sich aus Konzentration × Durchfluss × Zeit. Da für die Einläufe keine kontinuierlichen Abflussdaten vorliegen, kann der Bericht Konzentrationsbelastungen, aber keine belastbaren Tages- oder Ereignisfrachten ausweisen.

5. **Behandlungsverlauf bis 31.07.2026**

5.1. **Tatsächlich zugrunde gelegte Behandlungsfolge**

Die Behandlung begann am 12.05.2026. Der Plan enthielt weitere Termine bis Oktober. Nach aktueller Projektleitungsangabe war die Anwendung am 31.07.2026 jedoch die letzte tatsächlich ausgeführte Behandlung. Für die Wirkungsbewertung wird deshalb ausschließlich die Folge bis einschließlich 31.07.2026 verwendet. [6, 7]

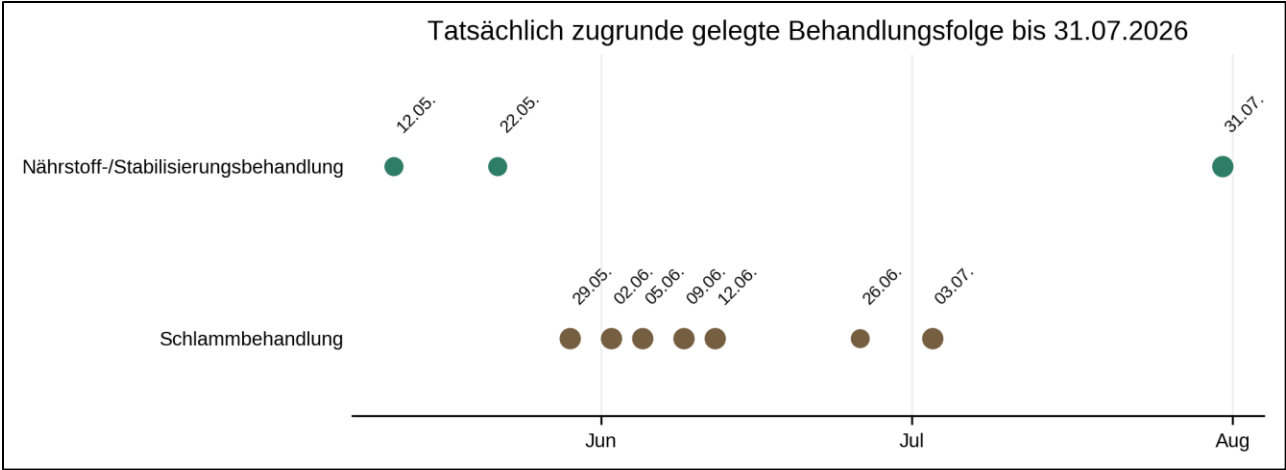


Abbildung 6: Tatsächlich zugrunde gelegte Behandlungsfolge bis 31.07.2026 bezogen auf die Einbringung flüssiger Bakterienprodukte. Zusätzlich wurden 29 BacBags zur Schwerpunktbehandlung eingesetzt.
Quelle: Eigene Darstellung nach Behandlungsplan und aktualisierter Projektleitungsangabe [6, 7].

Datum	Behandlungsschwerpunkt	Behandlungsansatz gesamt [L]
12.05.2026	Nährstoffe + Schlamm	1.100
22.05.2026	Nährstoffe + Schlamm	1.100
29.05.2026	Schlamm	2.100
02.06.2026	Schlamm	2.100
05.06.2026	Schlamm	2.100
09.06.2026	Schlamm	2.100
12.06.2026	Schlamm	2.100
26.06.2026	Schlamm	1.050
03.07.2026	Schlamm	2.100
31.07.2026	Nährstoffe + Schlamm	2.100

Tabelle 3: Berücksichtigte Behandlungstermine und Gesamtansätze
Quelle: Behandlungsplan [6], zeitlicher Ist-Stand gemäß Projektleitung.

Zusätzlich wurden 29 BacBags zur Behandlung von Schlammhotspots eingesetzt.

5.2. **Mengenbilanz**

Bis 31.07.2026 wurden insgesamt 17.950 L Behandlungsansatz angesetzt: 5.650 L für Lache A, 4.890 L für Lache B und 7.410 L für Lache C. Die Verteilung folgte den im Plan angesetzten Gewässervolumina. Diese Mengen beschreiben den eingebrachten Ansatz, nicht die Trockenmasse einzelner Wirkkomponenten. [6]

Gewässer	Planvolumen [m³]	Ansatz bis 31.07. [L]	Anteil
Lache A	5.241	5.650	31,5 %
Lache B	4.532	4.890	27,2 %
Lache C	6.869	7.410	41,3 %
Gesamt	16.642	17.950	100 %

Tabelle 4: Planvolumina und bis 31.07.2026 berücksichtigte Ansatzmengen*Quelle: Behandlungsplan [6], eigene Summierung.***5.3. Belüftungs- und Nanobubble-Komponente**

Der Behandlungserfolg war räumlich an Erreichbarkeit, Durchmischung und Sauerstofftransport gekoppelt. In Lache A wurden die zwei Standgeräte Kingfisher und MK3 eingesetzt; in Lache B und C Solar-Nanobubble-Stationen. Trotz der leistungsfähigen Geräte konnte in Lache A keine anhaltende flächenweite Verbesserung der Sauerstoffsituation erreicht werden. Die Messwerte sprechen dafür, dass die lokale Sauerstoffzufuhr durch eine hohe Zehrung aus ammonium- und organikhaltigen Einträgen sowie durch die Seerosenbarrieren und den geringen Austausch überlagert wurde. In B und C dokumentiert die Fischansammlung im unmittelbaren Geräteumfeld die Bedeutung lokaler Refugien. Für die weitere Betriebsphase sind kontinuierlicher Betrieb, Position, Wartung, Reichweitenkontrolle und ein Reservekonzept wichtiger als eine Fortsetzung der mikrobiellen Dosierung. [2, 7, 8, 26]

6. Ergebnisse Wasserhaushalt und Wasserqualität

6.1. Gelöster Sauerstoff: zeitliche Entwicklung

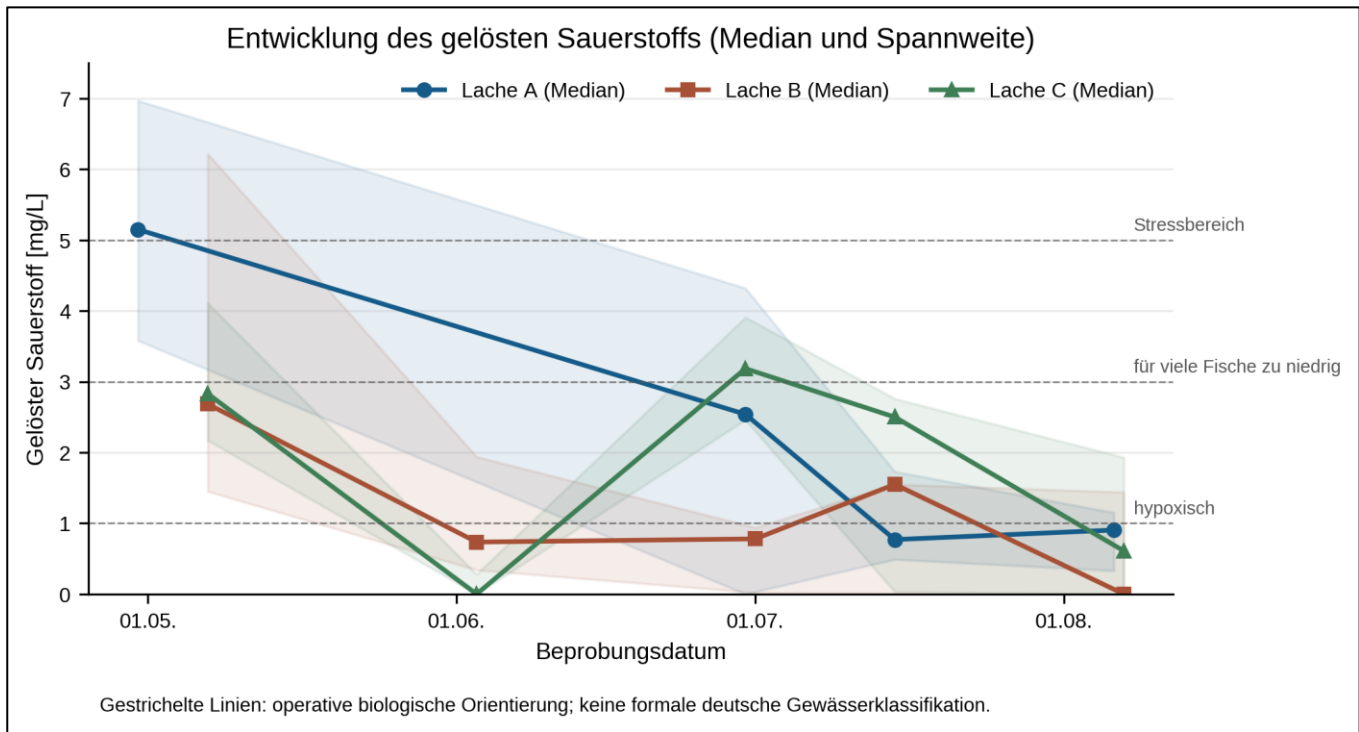


Abbildung 7: Entwicklung des gelösten Sauerstoffs als Median und Spannweite

Quelle: Eigene Auswertung der Feldmessungen [2]; Schwellenlinien nur als biologische Orientierung [14].

Alle drei Becken entwickelten während der warmen Jahreszeit ausgeprägte Sauerstoffdefizite. Lache A startete Ende April mit einem Median von 5,15 mg/L und lag im Juli bei 0,77 mg/L sowie im August bei 0,91 mg/L. Damit ist trotz Kingfisher und MK3 keine flächenweite Stabilisierung erkennbar. Lache B lag bereits Anfang Mai nur bei 2,69 mg/L und erreichte am 07.08. einen Median von 0,00 mg/L. Lache C zeigte am 03.06. ebenfalls einen Median von 0,00 mg/L, eine vorübergehende Erholung Ende Juni und im August erneut nur 0,61 mg/L. Die Befunde sind als Folge hoher Stoffbelastung in Kombination mit Niedrigwasser, Erwärmung und mangelnder Durchströmung zu bewerten.

Zwei Einschränkungen sind bei Lache A zu beachten: Dort liegen wegen der geringen Wassersäule keine bodennahen Messungen vor, sodass der A-Median ein reiner Oberflächenwert ist und nicht unmittelbar den Medianen von B und C gegenübergestellt werden kann; zudem umfasst die Augustaufnahme neben MP 06 bis MP 08 die neu eingerichtete Messstelle am Einstieg, die in der Ausgangsbeprobung noch nicht existierte und mit 0,33 mg/L den niedrigsten Einzelwert beisteuert. Der Rückgang in Lache A ist deshalb als Größenordnung, nicht als exakte Differenz zweier identischer Messnetze zu lesen. [2, 26]

Die gemessenen Sauerstoffkonzentrationen von 0,00 mg/L sind als punktuelle und zeitbezogene Befunde an den jeweiligen Messstellen und Messtiefen zu verstehen. Sie bedeuten nicht, dass zu diesem Zeitpunkt in der gesamten Wasserfläche der jeweiligen Lache flächendeckend kein gelöster Sauerstoff vorhanden war. Die Messungen zeigen vielmehr ausgeprägte räumliche und vertikale Unterschiede im Sauerstoffhaushalt. Insbesondere in Lache B und C wurden mehrfach bodennah Werte von 0,00 mg/L gemessen, während in anderen Bereichen beziehungsweise oberflächennah noch messbare Sauerstoffkonzentrationen vorhanden waren.

Trotz der hohen sommerlichen Temperaturen, der starken Sauerstoffzehrung und der eingeschränkten Durchströmung konnten die Nanobubbler lokal zur Sauerstoffversorgung beitragen. Die wiederholt beobachtete Ansammlung von Fischen im unmittelbaren Umfeld der Anlagen ist mit der Ausbildung lokaler Sauerstoffrefugien vereinbar. Eine flächenhafte Stabilisierung des Sauerstoffhaushalts konnte aufgrund der hohen Stoffbelastung und der hydraulischen Barrieren jedoch nicht erreicht werden.

Gewässer	Datum	n	O2 min	O2 Median	O2 max	Redox Median [mV]	Temp. Median [°C]
Lache A	30.04.2026	7	3,58	5,15	6,97	140,5	15,2
Lache A	06.08.2026	4	0,33	0,91	1,15	37,2	23,3
Lache B	07.05.2026	10	1,45	2,69	6,22	-104,2	14,1
Lache B	07.08.2026	7	0	0	1,44	-155,3	19,9
Lache C	07.05.2026	8	2,17	2,83	4,11	3,4	14,6
Lache C	07.08.2026	5	0	0,61	1,93	13	21,4

Tabelle 5: Ausgangs- und Augustzustand ausgewählter Feldparameter*Quelle: Feldmessungen [2]; Sauerstoffwerte in mg/L.*

6.2. Vertikale und räumliche Sauerstoffgradienten

Die Vertikalprofile zeigen, dass scheinbar noch mäßige Oberflächenwerte kritische bodennahe Bedingungen verdecken können. Am 15.07. betrug der Sauerstoff in Lache B an MP 06 oben 1,55 mg/L, unten jedoch 0,01 mg/L. In Lache C lagen am selben Tag an MP 01 oben 2,50 mg/L und unten 0,03 mg/L sowie an MP 02 oben 2,76 mg/L und unten 0,04 mg/L. Am 07.08. wurden in B und C mehrfach bodennah 0,00 mg/L gemessen. In Lache A zeigen die Augustwerte von nur 0,33 bis 1,15 mg/L außerhalb beziehungsweise zwischen den lokalen Gerätewirkungen, dass die beiden Standgeräte die gesamte durch Seerosen gegliederte Fläche nicht ausreichend homogenisierten. [2]

Gewässer / MP	Datum	oben [mg/L]	unten [mg/L]	Bewertung
Lache B / MP 06	15.07.2026	1,55	0,01	nahezu anoxisch am Boden
Lache B / MP 06	07.08.2026	1,44	0,00	anoxisch am Boden
Lache B / MP 07	07.08.2026	0,09	0,00	gesamte Wassersäule akut kritisch
Lache C / MP 01	15.07.2026	2,50	0,03	starker Vertikalgradient
Lache C / MP 01	07.08.2026	0,61	0,00	anoxisch am Boden
Lache C / MP 02	07.08.2026	1,66	0,00	anoxisch am Boden

Tabelle 6: Ausgewählte vertikale Sauerstoffprofile im Juli und August*Quelle: Feldmessungen [2].*

6.3. Redox, pH, Leitfähigkeit und Temperatur

Die pH-Werte lagen überwiegend im neutralen bis schwach alkalischen Bereich und erklären die Krisensituation nicht. Dagegen waren die Redoxwerte in mehreren Teilbereichen stark negativ: in Lache B am 07.08. median -155,3 mV, am Einstieg der Lache A -164,0 mV und bodennah in Lache C MP 01 -177,6 mV. Diese Werte sind mit reduzierenden Milieus und starkem Sauerstoffmangel vereinbar. Einzelne positive Redoxwerte bei gleichzeitig sehr niedrigem O2 zeigen, dass Redoxsonden lage-, zeit- und stabilisierungsabhängig sind; Redox und Sauerstoff sollten gemeinsam interpretiert werden. [2, 10, 11]

Für diesen Bericht wird die temperaturkompensierte effektive Leitfähigkeit bei 25 °C verwendet und als EC25 bezeichnet. EC25 nahm im Jahresverlauf in mehreren Messserien ab. Dies kann mit wechselnder Hydrologie, Verdünnung, Stoffumsatz und Messstellenwechseln zusammenhängen und ist kein eigenständiger Wirkungsnachweis. Für die Quellenklärung ist EC25 gemeinsam mit Chlorid, Sulfat und Abfluss zu dokumentieren. [2]

6.4. Laborchemie: äußere und innere Belastungsimpulse

Die Laboranalysen zeigen eine hohe zeitliche und räumliche Variabilität. Besonders auffällig sind wiederholte organische und stickstoffhaltige Belastungen am Einlauf der Lache A, erhöhte Ammonium-, Gesamtstickstoff-, CSB- und Orthophosphatwerte im Einlauf- und Schulbereich der Lache B, eine extreme Phosphorspitze in Lache C am 30.06. sowie ein sehr hoher CSB in Lache B MP 07 am 07.08. o-PO₄ und der daraus berechnete Ortho-P-Wert werden nachfolgend parallel ausgewiesen. [3, 4]

Probe	Datum	NO ₃ -N	NO ₂ -N	o-PO ₄ / Ortho-P*	NH ₄ -N	Ges.-P	CSB	TNb	TOC	Status
Lache A, Einlauf	15.07.	0,996	0,070	<0,15 (+) / <0,049 (+)	0,70	0,14	83	3,52	23	vollständig
Lache A, Einlauf	06.08.	0,147	0,040	<0,15 (+) / <0,049 (+)	0,80	0,048	100	–	7,6	Analysen laufend
Lache A, Einlauf	25.08.	0,451	0,110	0,21 / 0,068	1,10	–	–	–	14	Analysen laufend
Lache B, Einlauf 1	03.06.	<0,010	<0,010	0,41 / 0,134	0,50	0,20	41	2,29	10	vollständig
Lache B, Einlauf 1	01.07.	<0,010	<0,010	0,55 / 0,179	1,20	0,26	58	3,27	11	vollständig
Lache B, MP 07	07.08.	<0,020 (+)	<0,010	0,90 / 0,294	1,20	0,37	180	<1,00	3,4	Analysen laufend
Lache C, MP 03	30.06.	<0,010	<0,010	5,75 / 1,875	<0,080	1,90	74	<3,00	11	vollständig
Lache C, MP 02	07.08.	<0,010	<0,010	0,71 / 0,232	<0,080	0,31	60	<1,00	5,3	Analysen laufend

Tabelle 7: Ausgewählte Laborbefunde (alle Konzentrationen mg/L)

Quelle: Laborberichte und Aloora-Teilergebnisse [3, 4]. „(+):“: qualitativ zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze.

6.5. Einlauf Lache A: Verlauf und Trockenwetterindiz

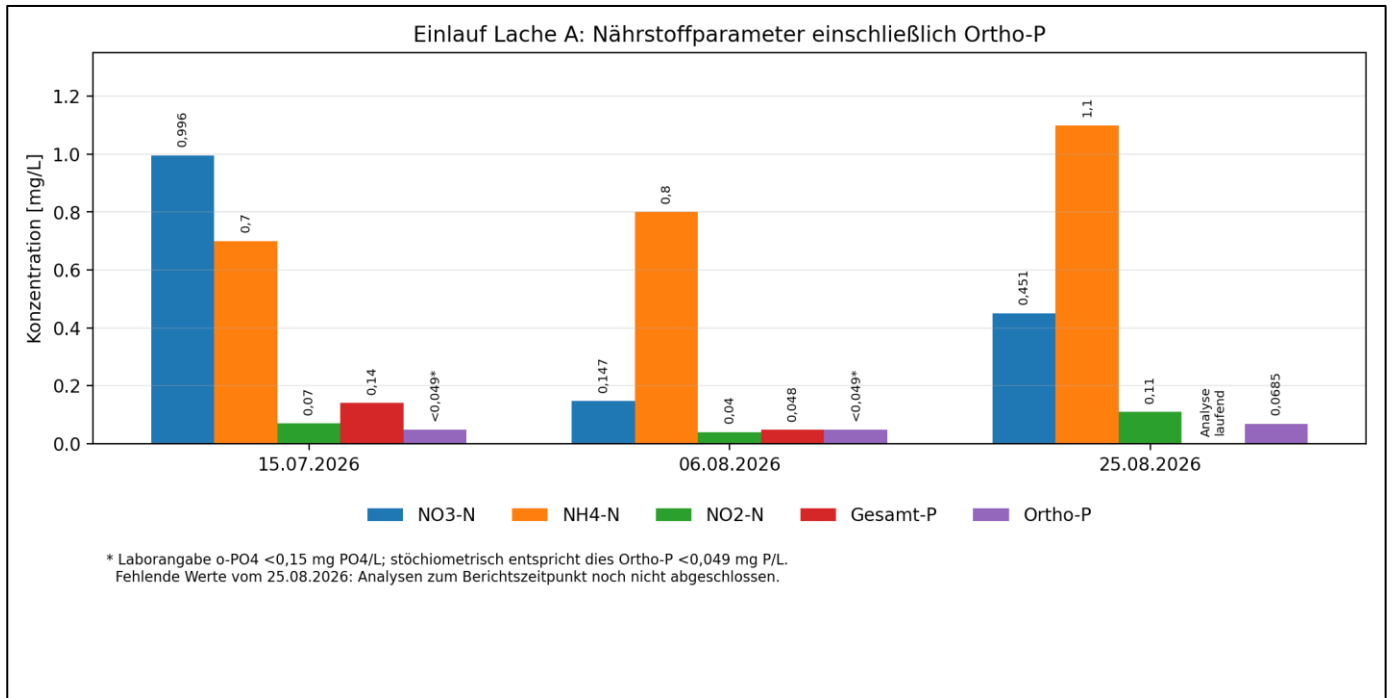


Abbildung 8: Ausgewählte Nährstoffparameter am Einlauf der Lache A

Quelle: Eigene Darstellung der Laborwerte [3, 4].

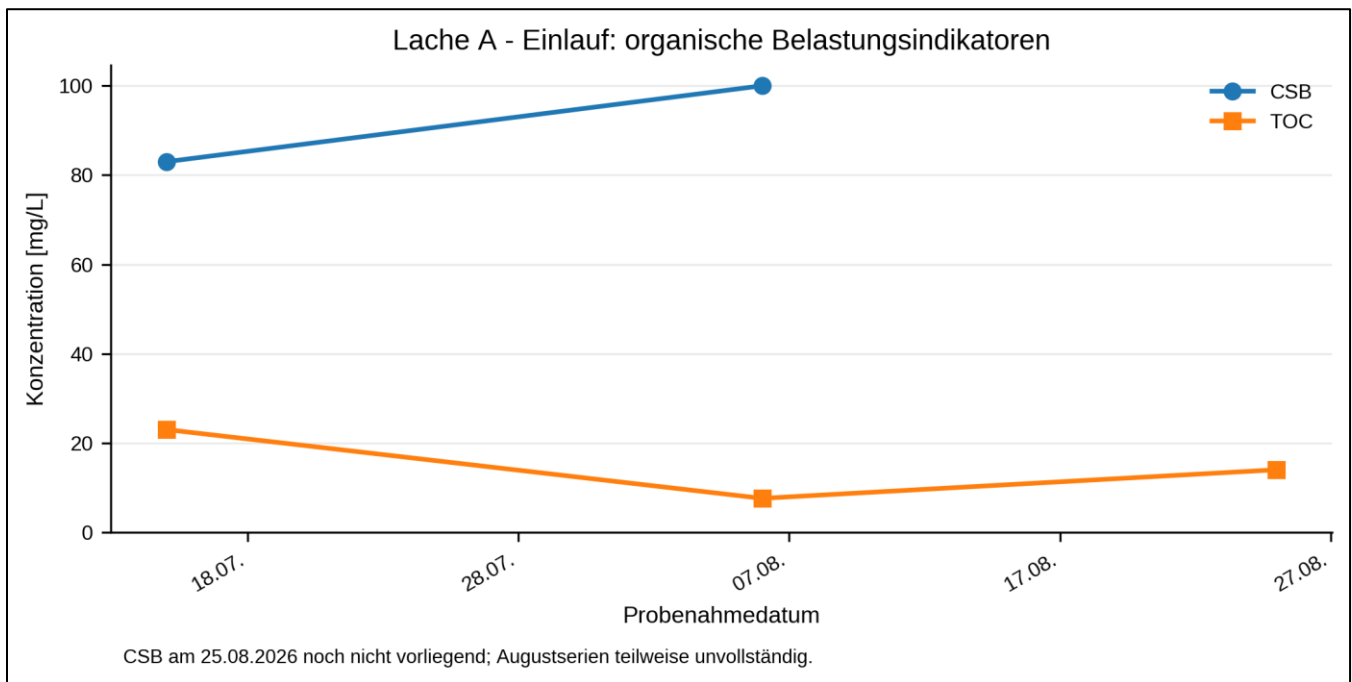


Abbildung 9: CSB und TOC am Einlauf der Lache A

Quelle: Eigene Darstellung der Laborwerte [3, 4].

Am 15.07. lagen im Einlauf der Lache A 0,996 mg/L Nitrat-N, 0,070 mg/L Nitrit-N, 0,70 mg/L Ammonium-N, o-PO4 <0,15 mg/L entsprechend Ortho-P <0,049 mg P/L, 0,14 mg/L Gesamt-P, 3,52 mg/L TNb, 83 mg/L CSB und 23 mg/L TOC vor. Die lokale Wetterstation registrierte am Probenahmetag sowie in den sieben Tagen zuvor keinen Niederschlag. Am 06.08. wurden erneut 0,80 mg/L Ammonium-N, o-PO4 <0,15 mg/L beziehungsweise Ortho-P <0,049 mg P/L und 100 mg/L CSB gemessen. Am 25.08. lagen 1,10 mg/L Ammonium-N, 0,110 mg/L Nitrit-N und 0,21 mg/L o-PO4 entsprechend 0,068 mg/L Ortho-P vor. Weitere Parameter dieser Augustproben befanden sich noch in der Laborbearbeitung und werden nachgereicht. [3-5]

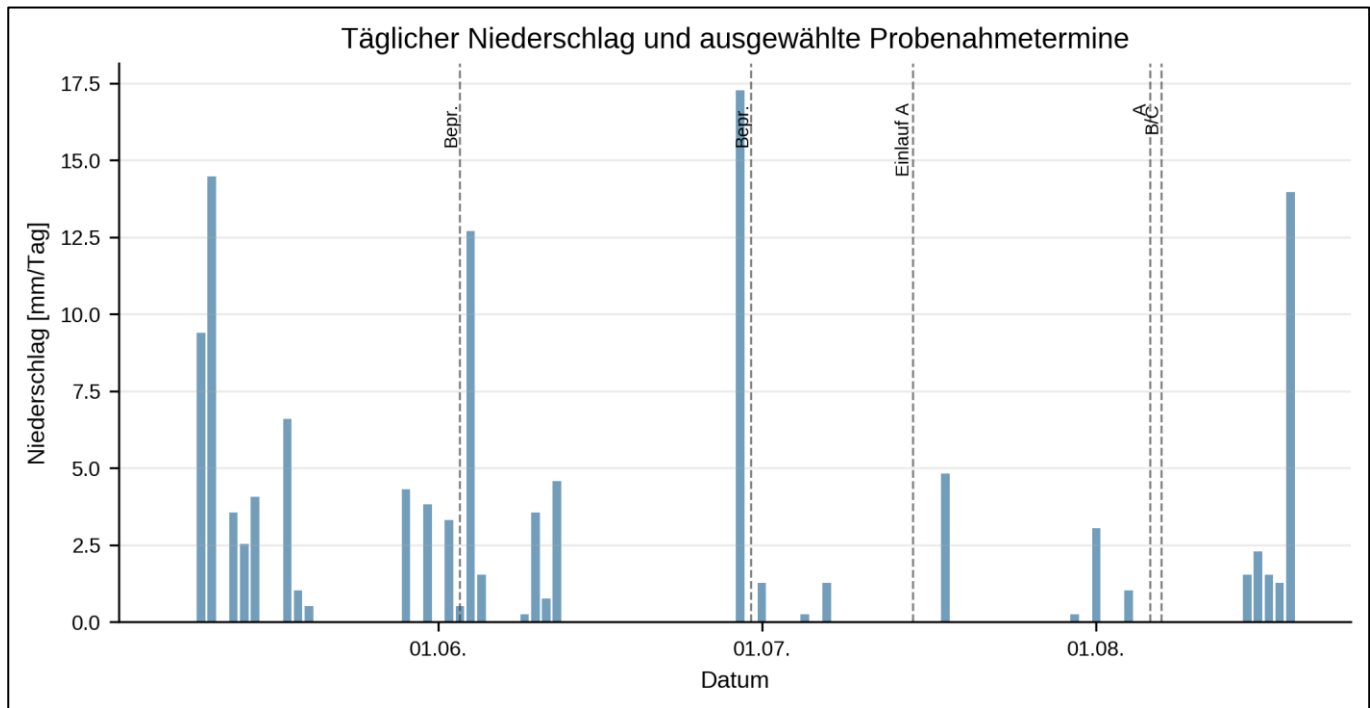


Abbildung 10: Täglicher Niederschlag und ausgewählte Probenahmetermine

Quelle: Eigene Darstellung der lokalen Wetterstationsdaten [5].

Die Kombination aus wiederholten reduzierten Stickstoffformen, organischen Summenparametern, Orthophosphat und einer Trockenwetterprobe ist mit einer kontinuierlichen oder intermittierenden abwasserartigen Quelle vereinbar. Sie stellt jedoch keinen eindeutigen Beweis dar: Ammonium, CSB und Ortho-P können auch durch organische Zersetzung, Sedimentkontakt sowie Tier- und Pflanzenmaterial beeinflusst werden. Ein belastbarer Nachweis einer Falscheinleitung erfordert mehrere unabhängige Marker, Durchflussmessungen und eine Untersuchung des Kanalnetzes. Mehrparameteransätze aus human-spezifischen mikrobiellen und chemischen Markern verbessern die Fehlanchlussuche gegenüber Einzelindikatoren. [19, 20]

6.6. Einläufe Lache B

Nach Projektkartierung und Vor-Ort-Beobachtung erhält Lache B Wasser über den Haupteinlauf aus Lache A und drei seitliche Rohrzuläufe. Die Einläufe wurden auch während Trockenphasen beobachtet. [1-5, 7, 8]

Am als „Einlauf 1“ geführten Messpunkt wurden am 03.06. 0,50 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$, 0,41 mg/L o- PO_4 entsprechend 0,134 mg/L Ortho-P, 0,20 mg/L Gesamt-P und 41 mg/L CSB gemessen. Am 01.07. lagen dort 1,20 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$, 0,55 mg/L o- PO_4 entsprechend 0,179 mg/L Ortho-P, 0,26 mg/L Gesamt-P und 58 mg/L CSB vor. Im schulnahen In-situ-/Nanobubble-Bereich wurden am 16.06. 0,49 mg/L o- PO_4 entsprechend 0,160 mg/L Ortho-P und 51 mg/L CSB sowie am 01.07. 0,61 mg/L o- PO_4 entsprechend 0,199 mg/L Ortho-P gemessen. Die Befunde unterstützen den Verdacht auf externe Belastungsimpulse, beweisen aber noch keinen konkreten Fehlanchluss. [3]

Die Nitrifikation von Ammonium benötigt stöchiometrisch etwa 4,6 mg O_2 je mg umgesetztem $\text{NH}_4\text{-N}$. Allein 0,50-1,20 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$ entsprechen damit theoretisch rund 2,3-5,5 mg/L Sauerstoffbedarf; bei 0,70-1,10 mg/L am Einlauf der Lache A sind es rund 3,2-5,1 mg/L. Hinzu kommt die Sauerstoffzehrung durch organische Stoffe. Diese Abschätzung ist keine Frachtbilanz und kein Kausalbeweis, zeigt aber, weshalb lokale Nanobubble-Leistung bei fortdauernden Einträgen und schlechter Durchmischung nicht automatisch zu einer flächenweiten O_2 -Erhöhung führt. [26]

6.7. Einordnung der Phosphordynamik

In Lache C wurde am 30.06. an MP 03 ein Gesamt-P von 1,90 mg/L und ein o- PO_4 von 5,75 mg/L gemessen; dies entspricht 1,875 mg/L Ortho-P. Die Größen sind damit stöchiometrisch konsistent und zeigen eine außergewöhnlich hohe gelöste Phosphorverfügbarkeit. Der Zeitpunkt lag nach einem Niederschlagsimpuls von rund 17,3 mm innerhalb von 72 Stunden. Als Ursachen kommen äußerer Eintrag, Umlagerung sowie interne Freisetzung in Betracht; aus der Einzelprobe ist der Anteil nicht trennbar. [3, 5]

Flache urbane Regenrückhaltebecken können trotz geringer Tiefe anoxische Bodenzonen und relevante interne P-Freisetzung entwickeln. Sowohl redoxempfindliche als auch organische P-Fractionen können beitragen. Sauerstoffmanagement reduziert einen wichtigen Freisetzungspfad, beseitigt aber weder äußere P-Einträge noch alle Formen der internen P-Mobilität. Ortho-P ist dabei die unmittelbar für Algen und Mikroorganismen verfügbare gelöste Fraktion und muss neben Gesamt-P fortlaufend ausgewiesen werden. [10, 11, 17, 18]

7. Entwicklung des Schlammspiegels und der Sedimentauflagen

7.1. Gesamtvergleich

Gewässer	n	F Ausg.	F Aug.	D Ausg.	D Aug.	F+O Ausg.	F+O Aug.	Δ F+O	rel. Δ F+O
Lache A	4	20,5	14,5	0	0	25,5	17,0	-8,5	-33,3 %
Lache B	7	15,0	0,0	0	13,0	27,0	0,0	-27,0	-100 %
Lache C	3	25,0	0,0	0	10,0	30,0	6,0	-24,0	-80,0 %

Tabelle 8: Medianentwicklung an vergleichbaren Messstellen (cm)

Quelle: Eigene Auswertung der Sedimentdaten [1]. F = Faul-, Schweb- und Kompaktschlamm; O = Mischschichten mit relevanten Organikanteil; D = Detritus, separat; relevante Schlammauflage = F + O. Δ F+O ist die Differenz der Mediane (Ausgang minus August), nicht der Median der Einzeldifferenzen an den Messstellen.

F Ausg. = Anfangsbeprobung, F Aug. = Zwischenbeprobung im August (für diesen Bericht Endstand)

Die stärkste Entwicklung zeigt die weiche F-Schicht: In Lache B und C liegt der Augustmedian an den vergleichbaren Messstellen bei 0 cm. Die relevante F+O-Auflage sank in B im Median auf 0 cm und in C auf 6 cm. Dies bedeutet nicht, dass beide Becken sediment- oder organikfrei sind. Mineralische Ablagerungen, separat ausgewiesener Detritus und lokale kompakte organische Restschichten bleiben bestehen. Die Zunahme beziehungsweise Sichtbarwerdung von D in B und C ist mit der Freilegung unzersetzten Materials nach dem Rückgang darüberliegender Schweb- und Faulschichten, mit dem Eintrag durch den starken Bewuchs in den Becken und an den Uferbereichen sowie mit Umlagerung vereinbar. Die Bäume warfen bedingt durch die Trockenheit einen Teil ihrer Blätter bereits im Laufe des Sommers ab.

7.2. Lache A

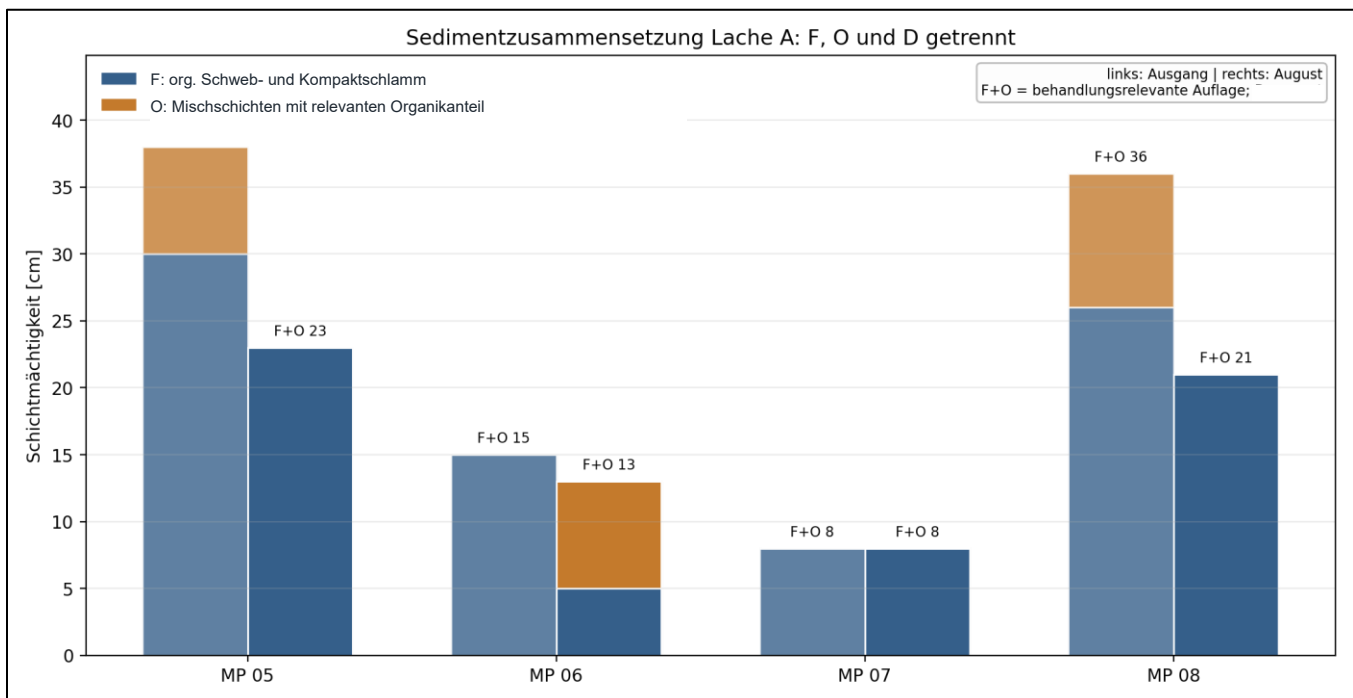


Abbildung 11: Sedimentzusammensetzung in Lache A an vergleichbaren Messstellen zu Beginn (linker Balken) und zur letzten Beprobung (rechter Balken)

Quelle: Eigene Auswertung der Kernbeschreibungen [1].

In Lache A beträgt die mediane Abnahme der F-Schicht 6 cm. Die relevante F+O-Auflage nahm im Median um 8,5 cm von 25,5 auf 17,0 cm ab, entsprechend 33,3 % bezogen auf den Ausgangsmedian. MP 05 und MP 08 zeigen eine Abnahme von F+O um jeweils 15 cm; MP 06 eine Abnahme um 2 cm bei deutlicher Reduktion der F-Schicht; MP 07 blieb unverändert. D wurde an den vier Vergleichspunkten weder in der Ausgangs- noch in der Augustaufnahme dokumentiert. Die Variabilität ist mit Bewuchs, lokaler Sedimentation und eingeschränkter Wiederholbarkeit vereinbar.

MP	F Ausg. -> Aug.	O Ausg. -> Aug.	D Ausg. -> Aug.	relevant F+O	Bewertung
05	30 -> 23	8 -> 0	0 -> 0	38 -> 23 (-15)	deutliche Reduktion; vollständiger Augustkern 09:21 Uhr
06	15 -> 5	0 -> 8	0 -> 0	15 -> 13 (-2)	F deutlich reduziert; O-Schicht verbleibt
07	8 -> 8	0 -> 0	0 -> 0	8 -> 8 (0)	unverändert
08	26 -> 21	10 -> 0	0 -> 0	36 -> 21 (-15)	deutliche Reduktion
Ufer	- -> 31	- -> 5	- -> 0	- -> 36	neue Messstelle; lokaler Resthotspot, kein Zeitvergleich

Tabelle 9: Sedimententwicklung Lache A (Schichtmächtigkeiten in cm)

Quelle: Sedimentdaten [1].



Abbildung 12: Beispiel eines im August dokumentierten Sedimentkerns aus Lache A

Quelle: Fotodokumentation der Augustbeprobung [8].

Die Fotodokumentation bestätigt, dass unter einer dunkleren oberen organischen Zone teils mächtige hellere mineralische Sedimente liegen. Diese sind nicht als biologisch abbaubar zu bewerten. Einzelne F+O-Restauflagen - einschließlich 36 cm an der neuen Ufermessstelle - bestehen fort. Trotzdem ist eine pauschale Fortsetzung der Dosierung derzeit nicht sinnvoll: Nährstoffeinträge, hohe Sauerstoffzehrung und Seerosenbarrieren verhindern eine Gesamtverbesserung. Vorrang haben deshalb Quellenklärung, Betrieb beider Nanobubbler, Öffnung von Verteilkorridoren und Monitoring.

7.3. Lache B

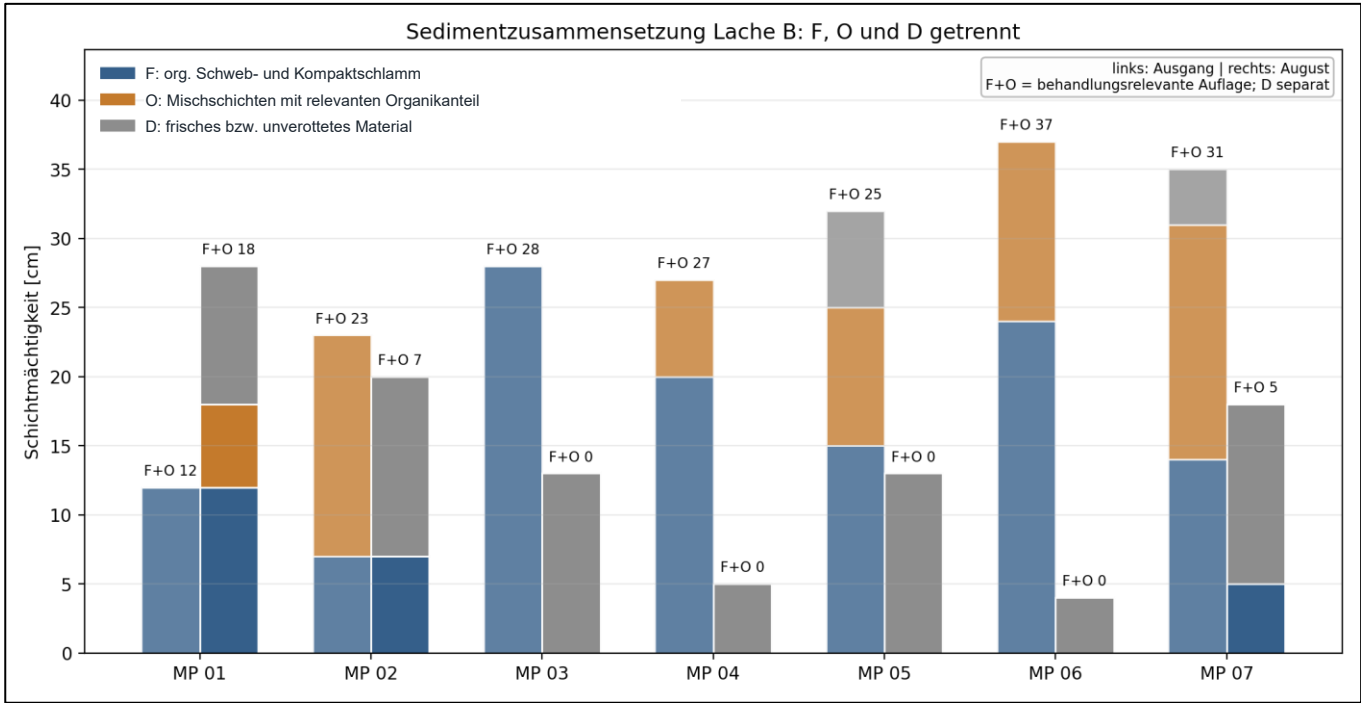


Abbildung 13: Sedimentzusammensetzung in Lache B an vergleichbaren Messstellen
Quelle: Eigene Auswertung der Kernbeschreibungen [1].

Lache B zeigt insgesamt die deutlichste Reduktion der behandlungsrelevanten Auflage. Die F-Schicht ging im Median von 15 auf 0 cm zurück; F+O sank im Median von 27 auf 0 cm. An MP 03-06 verschwand F+O in der Augustaufnahme vollständig. Restauflagen bestanden an MP 01 mit 18 cm, MP 02 mit 7 cm und MP 07 mit 5 cm. An MP 01 lautet die Schichtfolge 6 cm F(susp.), 10 cm D, 6 cm F und 6 cm Otl; daraus ergeben sich 18 cm F+O sowie separat 10 cm D. Der D-Median stieg von 0 auf 13 cm, was eine Freilegung beziehungsweise Akkumulation unzersetzten Materials nach Abnahme der weicheren Schichten sowie einen Neueintrag von organischem Material erkennen lässt.

MP	F Ausg. -> Aug.	O Ausg. -> Aug.	D Ausg. -> Aug.	relevant F+O	Bewertung
01	12 -> 12	0 -> 6	0 -> 10	12 -> 18 (+6)	18 cm F+O; zusätzlich 10 cm D; Hotspot
02	7 -> 7	16 -> 0	0 -> 13	23 -> 7 (-16)	kompakte O-Schicht abgebaut; D separat
03	28 -> 0	0 -> 0	0 -> 13	28 -> 0 (-28)	F+O vollständig zurückgegangen; D verbleibt
04	20 -> 0	7 -> 0	0 -> 5	27 -> 0 (-27)	F+O vollständig zurückgegangen
05	15 -> 0	10 -> 0	7 -> 13	25 -> 0 (-25)	F+O vollständig zurückgegangen; D vorhanden
06	24 -> 0	13 -> 0	0 -> 4	37 -> 0 (-37)	F+O vollständig zurückgegangen
07	14 -> 5	17 -> 0	4 -> 13	31 -> 5 (-26)	Restauflage; D separat

Tabelle 10: Sedimententwicklung Lache B (Schichtmächtigkeiten in cm)

Quelle: Sedimentdaten [1].



Abbildung 14: Beispiel eines im August dokumentierten Sedimentkerns aus Lache B. Über dem anorganischen Sediment, das die Gewässersohle darstellt, ist deutlich das überwiegend frische und nur teilweise zersetzte organische Material zu erkennen. Das anorganische Sediment ist eindeutig zu identifizieren.

Quelle: Fotodokumentation der Augustbeprobung [8].

Trotz der sehr guten F+O-Entwicklung ist Lache B ökologisch nicht stabil. Hauptproblem sind die fortbestehenden Einträge über den Haupteinlauf und die drei seitlichen Rohrzuläufe, besonders im Schulbereich, verbunden mit geringer Wassertiefe und hydraulischer Teilung. Die daraus resultierende Sauerstoffzehrung kann lokal größer sein als der Sauerstoffeintrag des Nanobubblers. MP 01, MP 02 und MP 07 sowie sämtliche Einläufe sollten 2027 als Hotspots dichter untersucht werden; D ist dabei getrennt von F+O zu dokumentieren.

7.4. Lache C

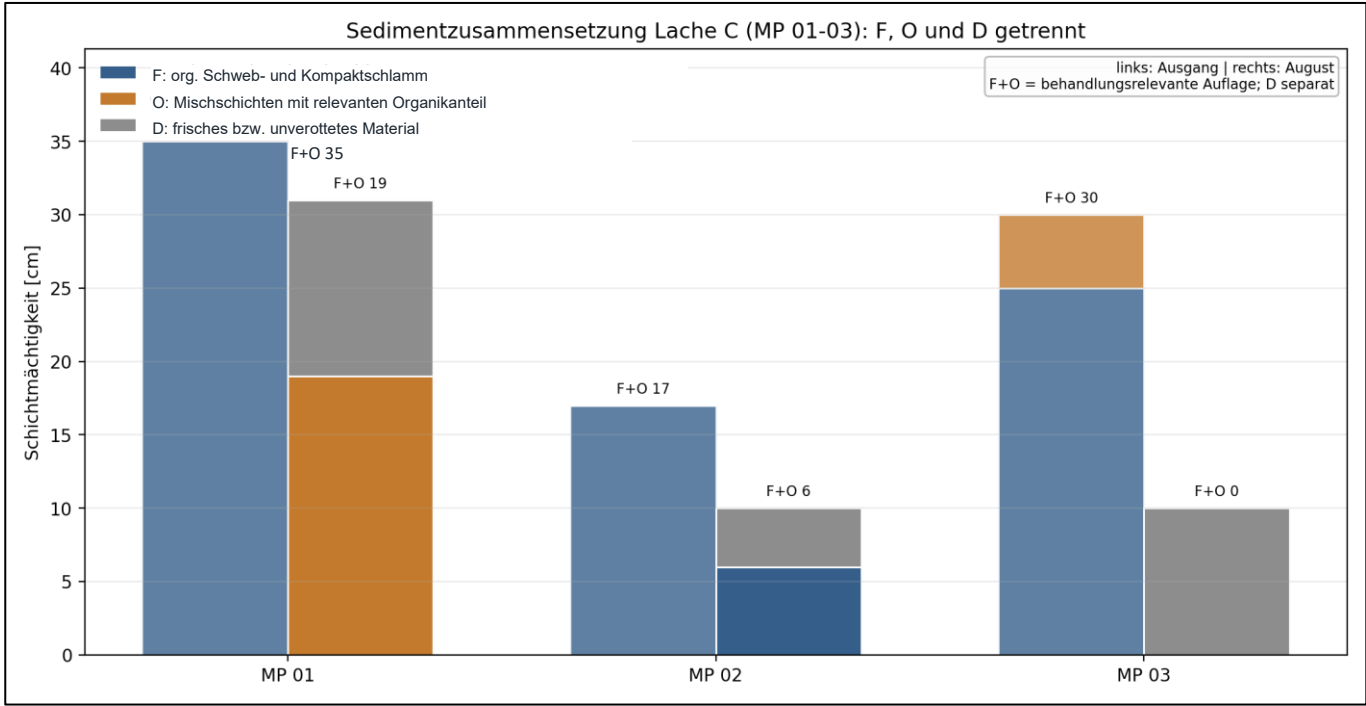


Abbildung 15: Sedimentzusammensetzung in Lache C an den Messstellen 01-03

Quelle: Eigene Auswertung der Kernbeschreibungen [1].

Auch in Lache C sank die F-Schicht im Median von 25 auf 0 cm. Die relevante F+O-Auflage sank an MP 01-03 im Median von 30 auf 6 cm, entsprechend 80 % bezogen auf den Ausgangsmedian. MP 02 und MP 03 zeigen deutliche Rückgänge; an MP 01 blieb eine 19 cm starke kompakte O-Schicht erhalten. Zusätzlich wurden dort 12 cm D erfasst. Für den verlandeten Bereich ab MP 04 ist keine Aussage zur Augustentwicklung möglich.

MP	F Ausg. -> Aug.	O Ausg. -> Aug.	D Ausg. -> Aug.	relevant F+O	Bewertung
01	35 -> 0	0 -> 19	0 -> 12	35 -> 19 (-16)	kompakte O-Schicht verbleibt; 12 cm D separat
02	17 -> 6	0 -> 0	0 -> 4	17 -> 6 (-11)	deutliche Reduktion; 4 cm D
03	25 -> 0	5 -> 0	0 -> 10	30 -> 0 (-30)	F+O vollständig zurückgegangen; 10 cm D

Tabelle 11: Sedimententwicklung Lache C (Schichtmächtigkeiten in cm)

Quelle: Sedimentdaten [1].



Abbildung 16: Beispiel eines im August dokumentierten Sedimentkerns aus Lache C
Quelle: Fotodokumentation der Augustbeprobung [8].

7.5. Wissenschaftliche Einordnung des Behandlungseffekts

Die räumlich breite Abnahme der F-Schicht in B und C sowie die moderate Abnahme in A ist ein starkes, behandlungskonsistentes Indiz für den Abbau beziehungsweise die strukturelle Veränderung weicher organischer Auflagen. Die getrennte D-Ausweisung zeigt zugleich, dass unzersetztes Pflanzen- und Detritusmaterial teilweise unter den früheren Schweb- und Faulschichten lag oder nach deren Abnahme deutlicher messbar wurde. Gleichzeitig gab es im Verlaufe des Sommers einen erheblichen Neueintrag an neuem organischen Material durch Trockenheit und extreme Hitze.

Nach dem Entzug organischer Bestandteile verändert sich das Korngerüst des verbleibenden Sediments. Der Sedimentkörper kann sich zeitverzögert setzen und dichter lagern, wobei Porenwasser verdrängt und die Trockendichte erhöht wird. Maier et al. zeigten an jungen varvierten Seesedimenten, dass die Schichtdicke in den ersten fünf Jahren nach Ablagerung um rund 60 % abnahm und die Kompaktion eng mit Wasserverlust und steigender Trockendichte verbunden war; anschließend setzte sich der Prozess langsamer fort. Die Studie ist keine direkte Wirksamkeitsstudie für die Lachen, liefert aber einen plausiblen physikalischen Mechanismus für nachlaufende Volumenänderungen. [24]

Ein zweiter Mechanismus betrifft extrazelluläre polymere Substanzen (EPS). EPS bilden einen wesentlichen Teil mikrobieller Schlamm- und Biofilmstrukturen, binden Wasser, stabilisieren Partikelverbände und beeinflussen Sedimentation, Entwässerbarkeit und Trocknung. Ben Hamed et al. fassen diese Zusammenhänge für Klärschlamm zusammen. Wird die wasserbindende organische Matrix durch Hydrolyse und biologischen Abbau

verändert, ist es plausibel, dass zunächst gebundenes Wasser freigesetzt wird und der verbleibende Sedimentkörper anschließend weiter entwässert und konsolidiert. Auch dies ist eine mechanistische Analogie. [25, 26]

Diese Prozesse erklären, warum während einer laufenden Behandlung zunächst nur geringe Volumenabnahmen oder sogar vorübergehende Zunahmen des gemessenen Schlammspiegels auftreten können. Hydrolyse und Abbau können zuvor kompakte, mit konventionellen Verfahren schwer durchdringbare Schichten auflockern; der entstehende wasserreiche Sedimentkörper erscheint dann zunächst mächtiger. Die nachfolgende Setzung und Verdichtung wird zeitverzögert sichtbar. Zudem enden die biologischen Prozesse nicht mit dem Ende der Dosierung: Die im Sediment vorhandenen mikrobiellen Gemeinschaften bleiben aktiv und mineralisieren weiterhin organische Substanz, sofern Temperatur, Substrat und Elektronenakzeptoren dies zulassen. Eine Behandlungspause stoppt daher nicht sämtliche biologischen und physikalischen Nachläufe.

8. Integrierte wissenschaftliche Bewertung

8.1. Wirkungsbild

Das Gesamtbild ist zweigeteilt. Einerseits wurde das technische Zwischenziel - Verringerung der relevanten F+O-Auflagen - in B und C in vielen erreichbaren Bereichen weitgehend oder vollständig erreicht und in A teilweise erreicht. Andererseits wirken die übergeordneten Belastungspfade fort: äußere Nährstoff- und Organikimpulse, sehr niedrige Wasserstände, hohe Pflanzendichte, hydraulische Barrieren und daraus folgende hypoxische bis anoxische Zonen. Die Nährstoff- und Organikeinträge sind das primäre Systemproblem; der Sauerstoffmangel ist eine akute ökologische und verfahrenstechnische Folge. Damit ist der Zustand trotz Sedimenterfolg nicht dauerhaft stabil.

8.2. Dominante Systemgrenzen

Systemgrenze	Befund	Folge	Priorität
Äußere Nährstoff-/Organikeinträge	A-Einlauf wiederholt NH ₄ , NO ₂ , CSB/TOC und Ortho-P; B mit Haupt- und drei Rohrzuläufen, teils Trockenwetterzufluss.	Sauerstoffzehrung, neue Biomasse und erneute Schlamm-/Detritusbildung.	sofort / höchste
Sauerstoffhaushalt	Augustmediane 0,00-0,91 mg/L; bodennah mehrfach 0 mg/L; trotz zwei Geräten keine flächenweite Stabilisierung in A.	akute Gefährdung von Fischen und Benthos; Einschränkung aerober Prozesse.	sofort
Hydraulische Abtrennung	Seerosenbarrieren in A; Schilf- und Totholzbarrieren in B/C.	ungleiche Belüftung und Behandlung, lokale Anoxie, Sedimentfallen.	sehr hoch
Niedrigwasser / Verlandung	C ab MP 04 nicht beprobbar; geringe Wasserdeckung in allen Becken.	geringe Pufferkapazität, starke Erwärmung, Verlust offener Wasserfläche.	sehr hoch

Tabelle 12: Dominante Systemgrenzen und fachliche Priorität

Quelle: Eigene integrierte Bewertung [1-20].

8.3. Warum eine Behandlungspause sinnvoll ist

Eine Fortsetzung der Dosierung unter unveränderten Rahmenbedingungen wäre fachlich und wirtschaftlich nicht sinnvoll. Die Aufgabe des Abbaus F+O-Auflagen ist in vielen Bereichen teilweise oder vollständig erfüllt; verblieben sind lokale Restauflagen, separat zu bewertender Detritus sowie mineralische Sedimente. Gleichzeitig werden über die Einläufe weiterhin Nährstoffe und organische Stoffe nachgeliefert, und Seerosen-, Schilf- und Totholzbarrieren verhindern eine gleichmäßige Verteilung. Weitere Produktmengen, Material und Arbeitszeit würden deshalb nur einen geringen zusätzlichen Nutzen für den Gesamtzustand erzeugen und überwiegend erneut eintretende Symptome behandeln. Die Pause ist kein Abbruch, sondern der notwendige Übergang zu Quellenkontrolle, Sauerstoffsicherung und Strukturmanagement.

Die verbliebenen Restauflagen rechtfertigen keine flächenhafte Weiterbehandlung, solange die Rahmenbedingungen eine Gesamtverbesserung verhindern.

8.4. Bewertung der möglichen Falscheinleitung

Die Daten rechtfertigen für Lache A und Lache B die Einstufung „begründeter Verdacht / hohe Untersuchungspriorität“, nicht „nachgewiesene Falscheinleitung“. Die stärksten Indizien sind die A-Einlaufprobe nach sieben niederschlagsfreien Tagen, wiederholte Ammonium-, Nitrit-, CSB-, TOC- und Ortho-P-Befunde sowie die Beobachtung von Zufluss in Lache B auch während Trockenphasen. In B sind der Haupteinlauf aus A und die drei seitlichen Rohrzuläufe - insbesondere der Schulbereich - getrennt zu prüfen. Gegen einen vorschnellen Beweis sprechen die geringe Stichprobenzahl, fehlende kontinuierliche Abflussdaten, mögliche interne Organikquellen und die noch laufenden Augustanalysen.

Die geeignete Strategie ist eine Beweiskette: hydraulischer Trockenwetterabfluss, räumliche Gradienten im Kanalnetz, wiederholte Chemie, fäkale Indikatorbakterien, human-spezifische DNA-Marker wie HF183 sowie chemische Abwassermarker wie Koffein, Acesulfam oder Theophyllin. Mehrparameteransätze reduzieren Fehlklassifikationen gegenüber einem Einzelmarker. [19, 20]

8.5. Risiko der erneuten Verschlammung

Ohne Quellenkontrolle und Vegetationsmanagement ist mit erneuter Akkumulation zu rechnen. Organische Einträge werden in den strömungsarmen Teilbecken sedimentieren; abgestorbenes Schilf, Seerosen, Algen und Laub bilden zusätzlich autochthones Material. Der im August verstärkt sichtbare Detritus D ist kein bereits vollständig ausgebildeter Faulschlamm, stellt aber ein künftiges Substrat für mikrobielle Zersetzung, Sauerstoffzehrung und erneute Feinschlamm Bildung dar. Untersuchungen zeigen, dass ältere Regenrückhaltebecken außerdem Phosphor aus Sedimenten intern freisetzen und ihre ursprünglich vorgesehene Retentionsfunktion teilweise verlieren können. [17, 18, 23]

9. Empfohlenes Maßnahmen- und Monitoringprogramm

9.1. Sofortmaßnahmen September-Oktober 2026

Nr.	Maßnahme	Begründung	Verantwortung / Umsetzung
M1	Kingfisher und MK3 in A sowie Nanobubbler in B/C durchgehend weiterbetreiben; wöchentlich reinigen; Ersatzteil-/Notstromkonzept.	lokale Sauerstoffrefugien und akuter Faunaschutz	Betreiber + Behandlungsteam
M2	Zweimal wöchentlich Frühmorgenmessung von O ₂ , Temperatur, pH, EC25 und Redox bis zur Stabilisierung.	höchstes Risiko kurz vor Sonnenaufgang	Behandlungsteam / Betreiber
M3	Keine weitere biologische Dosierung bis zur Freigabe nach Quellen-, Struktur- und Sauerstoffprüfung.	F+O-Aufgabe weitgehend erfüllt; Produkt und Arbeitszeit derzeit ineffizient	Kunde + Behandlungsteam
M4	A-Haupteinlauf und vier B-Einläufe auf Trockenwetterfluss, Geruch, Trübung, Farbe und Schaumbildung protokollieren; Schulbereich priorisieren.	schnelle Quellenindizien	Betreiber / Kanalbetrieb
M5	Punktueller Freischneiden der Zugänge zu den Lachebecken	Zugänglichkeit für Gewässerpflege und Gewässerbehandlung	Betreiber

Tabelle 13: Unmittelbar empfohlene Maßnahmen

Quelle: Eigene Empfehlung auf Basis der Befunde [1-20].

9.2. Empfohlenes Untersuchungsprogramm an den Einläufen der Lachen A und B

Die vorgesehene monatliche Beprobung des Haupteinlaufs der Lache A ist ein sinnvoller Mindeststandard. Für Lache B ist ergänzend ein festes Messnetz aus dem Haupteinlauf von A und den drei seitlichen Rohrzuläufen einzurichten; der Zulauf im Schulbereich erhält wegen der bisherigen Auffälligkeiten höchste Priorität. Empfohlen wird eine Kombination aus Monatsproben, Trockenwetterproben nach mindestens 72 niederschlagsfreien Stunden und Ereignisproben nach einem definierten Regenimpuls, vorläufig beispielsweise mindestens 10 mm/24 h in Abstimmung mit Kanalbetrieb und Wetterstation.

Komponente	Parameter / Vorgehen	Frequenz	Zweck
Messnetz	A-Haupteinlauf; B-Haupteinlauf aus A plus drei seitliche Rohre, Schulzulauf separat codiert	A monatlich; B zunächst monatlich je Zulauf	räumliche Quellenzuordnung
Vor Ort	Wasserstand, O ₂ , pH, Temperatur, EC25, Redox, Trübung, Geruch/Farbe	monatlich + Trocken-/Regenereignis	Hydraulik, Frachten und Sofortindizien
Grundchemie	CSB, BSB5, TOC und DOC	monatlich zunächst 12 Monate	organische Belastung und Abbaubarkeit
Stickstoff	TNb, TKN, NH ₄ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N	monatlich	Abwasser-/Reduktionssignale und O ₂ -Bedarf
Phosphor	Gesamt-P, o-PO ₄ und daraus berechnetes Ortho-P	monatlich	äußere P-Belastung und direkt verfügbare P-Fraktion

Komponente	Parameter / Vorgehen	Frequenz	Zweck
Ionen/Hygiene	Chlorid, Sulfat; E. coli, intestinale Enterokokken	monatlich; Hygiene vorrangig bei Trockenwetter	Herkunft und fäkale Belastung
Humanmarker	HF183 plus mindestens zwei chemische Marker, z. B. Koffein und Acesulfam/Theophyllin	2-4 gezielte Kampagnen	Nachweis humaner Abwasseranteile
Qualitätssicherung	Feldblindprobe, Duplikat, Probenkühlung, Chain of Custody	mindestens 10 % der Serien	Datenbelastbarkeit

Tabelle 14: Empfohlenes Untersuchungsprogramm am Einlauf der Lache A

Quelle: Eigene Empfehlung unter Einbezug der OGewV-Parametergruppen, des Phosphor-Bewertungsrahmens und der Source-Tracking-Literatur [12, 13, 19, 20].

9.3. Kanalnetz- und Quellenuntersuchung

- Einzugsgebiet des A-Haupteinlaufs sowie des B-Haupteinlaufs und der drei seitlichen B-Rohrzuläufe kartieren; den Zulauf im Schulbereich separat codieren. Regen- und Schmutzwasserleitungen, Schächte, Überläufe, Grundstücks- und Gewerbeanschlüsse sind abzugleichen.
- Trockenwetterbegehung vom jeweiligen Beckeneinlauf schrittweise stromauf; Durchfluss, EC25, Ammonium-Schnelltest, o-PO4/Ortho-P und optische Auffälligkeiten je Schacht erfassen.
- Hotspotorientierte Probenahme an Verzweigungen mit HF183, E. coli und chemischen Markern; Proben möglichst synchron im Netz und am Becken nehmen.
- Bei eingegrenztem Abschnitt TV-Inspektion, Rauch-/Nebeltest oder zugelassene Farbstoffprüfung einsetzen; betroffene Grundstücksanschlüsse verifizieren.
- Nach Reparatur Wirksamkeitskontrolle durch mindestens drei Trockenwetterkampagnen und Vergleich von Stoffkonzentrationen sowie Abflüssen.
- Die Auswahl und Durchführung der Netztests ist mit dem kommunalen Kanalbetrieb und der zuständigen Wasserbehörde abzustimmen. Chemische Marker allein identifizieren keine konkrete Hausanschlussstelle; ihre Stärke liegt in der Priorisierung von Netzabschnitten. [19, 20]

9.4. Totholz-, Schilf- und Verlandungsmanagement

Für Lache A wird eine Öffnung von Seerosenkorridoren zwischen Haupteinlauf, MK3, Kingfisher und den repräsentativen Messstellen empfohlen. Für B und C sind offene Wasserkorridore durch gezielte Lösung querliegender Geäst- und Totholzpakete sowie abschnittswisen Röhrichtschnitt herzustellen. Ökologisch wertvolle Randstrukturen sollen verbleiben. Vor Arbeiten sind Artenschutz, möglicher gesetzlicher Biotopschutz, wasserrechtliche Zuständigkeit und Entsorgung des Schnittguts zu klären. [21, 22]

Bereich	Zielbild	Vorgehen	Kontrolle
Lache A	offene Verbindung zwischen Einlauf, MK3, Kingfisher und Messstellen; Seerosenmosaik erhalten	Korridore freistellen, keine flächige Beseitigung	O2-Reichweite, Fotopunkte, GPS, offene Wasserfläche
Lache B	durchgehender Wasserkorridor; alle vier Einläufe zugänglich	Geästbarrieren lösen; Röhricht abschnittsweise schneiden; Schulzulauf freihalten	Tracer-/EC25-Test, Austauschzeit, Zuflussbeobachtung
Lache C	Wiederanbindung des Bereichs ab MP 04; Verlandungsgrad erfassen	zunächst Vermessung, dann abgestufte Räumung/Öffnung	Erreichbarkeit MP 04+, Wassertiefe, Sedimentprofil

Tabelle 15: Strukturelles Zielbild für die drei Lachen

Quelle: Eigene Empfehlung; rechtlicher Rahmen [21, 22].

9.5. Gewässermonitoring 2026/2027

Messgröße	Messstellen	Zeitraum / Frequenz	Auswertung
Kontinuierlicher O2/Temperatur	A: nahe MK3, nahe Kingfisher, außerhalb beider Zonen; B/C je nahe/fern und bodennah	sofort bis Ende Oktober; erneut April-Oktober 2027	Minima, Dauer <2/<3 mg/L, Tagesamplitude, Reichweite
Handsonde	alle fixen MP oben/unten; A zusätzlich zwischen Seerosenkompartimenten	monatlich; bei Hitze wöchentlich	O2, pH, Redox, EC25, Temperatur
Labor Wasser	A-Haupteinlauf monatlich; vier B-Einläufe zunächst monatlich; C-Einlauf und Beckenpunkte quartalsweise	12 Monate	Gesamt-P, o-PO4/Ortho-P, N, Organik, Trends und Frachten
Sedimentkern	identische GPS-Punkte + Referenzpunkt	Frühjahr und Herbst 2027	F/O/D/mineralisch; TS/oTS Teilstichprobe
Bathymetrie/Wasserstand	Raster und Pegellatte je Becken	nach Strukturarbeit, dann halbjährlich	Wasservolumen, Verlandung, Konsolidierung, Dosierungsbasis
Biologie	Fischbeobachtung, Makrophyten, ggf. Makrozoobenthos	saisonal	ökologische Reaktion, Habitatmosaik

Tabelle 16: Empfohlenes Monitoringprogramm

Quelle: Eigene Empfehlung [1-26].

10. Voraussetzungen für eine Wiederaufnahme 2027

10.1. Entscheidungskriterien

Die Wiederaufnahme sollte nicht ausschließlich an einem Kalenderdatum, sondern an überprüfbaren Voraussetzungen hängen. Die folgenden Kriterien sind operative Projektkriterien und keine gesetzlichen Grenzwerte.

Kriterium	Mindestvoraussetzung vor Wiederaufnahme	Nachweis
Äußere Belastung	A- und B-Eintragspfade untersucht; auffällige Quelle behoben oder messbar reduziert; Trockenwetterdaten liegen vor	mindestens drei Kampagnen, Chemie inkl. Ortho-P + Marker + Abfluss
Hydraulik	A mit offenem Verteilkorridor zwischen beiden Nanobubblern; B/C mit funktionsfähigem Wasserkorridor; C MP 04 erreichbar oder klar abgegrenzt	Kartierung, Wassertiefen
Sauerstoff	keine unkontrollierte länger anhaltende Anoxie außerhalb der Gerätebereiche; Notfallplan vorhanden	Datenlogger vor Behandlungsstart
Messdesign	GPS-fixierte Ausgangsbeprobung und unbehandelter Referenzbereich beziehungsweise zeitweilige Kontrollzone	BACI-orientierter Messplan
Dosierungsgrundlage	aktuelles Wasservolumen und erreichbare Teilvolumina bestimmt	Bathymetrie / Pegelbezug
Betrieb	alle Nanobubbler gewartet, Reichweite geprüft, Ersatz-/Alarmkonzept	Wartungsprotokoll und O2-Test

Tabelle 17: Operative Voraussetzungen für eine Wiederaufnahme der Behandlung

Quelle: Eigene Empfehlung.

10.2. Erfolgskriterien

Zieldimension	Erfolgskriterium	Warnsignal
Nährstoff-/Organikeinträge	abnehmende Trockenwetterkonzentrationen und Frachten; keine extremen NH ₄ -, Ortho-P-/Gesamt-P- oder CSB-Impulse	wiederholte Peaks oder Zufluss ohne Regenbezug
Sauerstoff	deutlich verkürzte Zeiten <3 mg/L; keine wiederkehrende flächige Anoxie außerhalb der Gerätebereiche	Fische dauerhaft an Bubbler konzentriert; bodennah 0 mg/L
Sediment	F+O an Vergleichspunkten stabil niedrig oder weiter rückläufig; D separat dokumentiert	neue F+O-Hotspots oder zunehmender D-Eintrag
Hydraulik	nachweisbarer Austausch zwischen Teilbereichen	stehende isolierte Taschen, nicht erreichbare Messstellen
Vegetation	Mosaik aus offener Wasserfläche und Habitatvegetation	erneute flächige Verlandung oder vollständige Räumung

Tabelle 18: Vorgeschlagene projektbezogene Erfolgskriterien

Quelle: Eigene Empfehlung; keine formalen OGewV-Grenzwerte.

11. Datenqualität, Unsicherheiten und Dokumentationsbedarf

11.1. Wesentliche Unsicherheiten

- Extrem niedrige Wasserstände und wechselnde Erreichbarkeit der Messpunkte.
- Lache A: Seerosen verhinderten vollständige Wiederholung; Ufermessstelle ohne Ausgangswert.
- Lache C: keine Augustdaten ab MP 04.
- Die August-Laborserien waren bei Berichtserstellung noch nicht abgeschlossen; die ausstehenden Parameter werden vom Labor nachgereicht. Unterschiedliche Nachweis- und Bestimmungsgrenzen sind bei Zeitvergleichen zu berücksichtigen.
- Fischansammlungen an den Nanobubblern in Lache A, B und C sind wichtige betriebliche Beobachtungen, wurden jedoch nicht durch standardisierte Fischzählungen quantifiziert.

12. Schlussfolgerungen

- a) Die Entwicklung der Sedimentkerne belegt eine deutliche Verringerung der organischen Schlammsschichten und der relevanten F+O-Auflagen, besonders in Lache B und im untersuchten vorderen Teil der Lache C. Lache A zeigt eine moderate, räumlich heterogene Verbesserung mit lokalen Restauflagen. Detritus D ist getrennt zu bewerten und darf nicht zur relevanten Schlammauflage addiert werden.
- b) Das übergeordnete Hauptproblem sind die fortbestehenden hohen Nährstoff- und Organikeinträge, teilweise auch bei Trockenwetter. Die stark hypoxischen bis anoxischen Bedingungen sind eine zentrale ökologische Folge dieser Stoffbelastung in Kombination mit Niedrigwasser, Erwärmung und mangelnder Durchströmung.
- c) Die wiederholten Belastungen am Haupteinlauf der Lache A sowie an den Einläufen der Lache B - mit besonderer Auffälligkeit im Schulbereich - und die ausgeprägten Gesamt-P-, Ortho-P- und CSB-Spitzen zeigen, dass externe Einträge weiter wirksam sind. Eine Falscheinleitung ist plausibel und prioritär zu untersuchen, aber noch nicht bewiesen.
- d) Seerosenbarrieren in Lache A sowie Schilf, Geäst und Verlandung in Lache B und C verhindern eine gleichmäßige Belüftung und Behandlung. Strukturmaßnahmen sind Voraussetzung für eine wirksame Fortsetzung und müssen gezielt, abschnittsweise und naturschutzfachlich abgestimmt erfolgen.
- e) Die Behandlungspause nach dem 31.07.2026 ist wissenschaftlich und wirtschaftlich begründet: Die Aufgabe des Abbaus der organischen Sedimente ist vielerorts teilweise oder vollständig erfüllt, während die Rahmenbedingungen derzeit keine Gesamtverbesserung zulassen. Alle Nanobubblers - Kingfisher und MK3 in Lache A sowie die Anlagen in B und C - müssen zum Schutz der Fauna weiterlaufen und messtechnisch überwacht werden.
- f) Für 2027 wird ein stufenweiser Neustart erst nach Quellenklärung, Strukturverbesserung, aktueller Volumenbestimmung, Reichweitenprüfung der Nanobubblers und erneuter Baseline empfohlen. Die bis dahin weiterlaufende mikrobielle Mineralisierung und physikalische Konsolidierung sind durch wiederholte F/O/D-Kerne, TS/oTS und Bathymetrie zu erfassen.

Gesamturteil | Die erste Behandlungsphase hat die organischen Schlammauflagen in wesentlichen Bereichen deutlich reduziert. Der nächste Sanierungsschritt muss von weiterer Dosierung auf die Hauptursachen verlagert werden: Kontrolle der Nährstoff- und Organikeinträge, dauerhafter Betrieb aller Nanobubblers, hydraulische Wiederanbindung und referenzgestütztes Monitoring. Die biologische Dosierung pausiert, während mikrobielle Mineralisierung und physikalische Konsolidierung weiterlaufen können.

13. Quellenverzeichnis

- [1] BluePlanet Germany GmbH (2026): Batch_Download_Lache A - C Stadt Raunheim_2026-09-02 (1).xlsx. Projektmessdaten zu Sediment und Wasser.
- [2] BluePlanet Germany GmbH (2026): Wasserwerte_Raunheim_gesamt_08_2026.xlsx. Zusammenführung der Feldparameter.
- [3] AGROLAB/A.W.V. (2026): Prüfberichte BEFUND30_O-1636749, BEFUND30_O-1637144, MERGED_report_1642699, BEFUND30_O-1643269, BEFUND30_O-1644422 sowie SINGLEANALYSIS_O-1645366. Projekt 2819 Raunheim.
- [4] BluePlanet Germany GmbH / Aloora (2026): aloora-export_Einlauf_WK1.xlsx und aloora-export_Einlauf_WK1 (2).xlsx. Teilergebnisse der Augustproben.
- [5] BluePlanet Germany GmbH (2026): Messdaten_Wetterstation 0_Lorawan__02-09-26.xlsx.
- [6] BluePlanet Germany GmbH (2026): 26_Gewässerbehandlung_LacheA-C_V8_29.07.2026.pdf. Behandlungs- und Dosierungsplan.
- [7] BluePlanet Germany GmbH (2026): Tätigkeitsbericht_Raunheim_V2.xlsx.
- [8] BluePlanet Germany GmbH (2026): Projektkartierungen und Fotodokumentation Lache A-C, insbesondere Schlammspiegelbeprobung August 2026.
- [9] BluePlanet Germany GmbH (2025): Brieskower Kanal - Gesamtbericht 2025. Sediment- und Wasseruntersuchungen in den Abschnitten 1-9 und Kontrollstrecke, Arbeitsfassung.
- [10] Schwoerbel, J.; Brendelberger, H. (2022): Einführung in die Limnologie. 11. Auflage. Springer Spektrum. DOI: 10.1007/978-3-662-63334-2.
- [11] Jones, I. D.; Smol, J. P. (Hrsg.) (2024): Wetzel's Limnology. Lake and River Ecosystems. 4th Edition. Academic Press/Elsevier.
- [12] Bundesministerium der Justiz / Bundesamt für Justiz (laufende Fassung): Oberflächengewässerverordnung (OGewV), insbesondere § 5 sowie Anlagen 3 und 7.
- [13] LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2021): Rahmenkonzeption Monitoring, Teil B – Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen. Arbeitspapier II: Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Qualitätskomponenten zur unterstützenden Bewertung von Wasserkörpern entsprechend EG-WRRL. Stand 06.08.2021.
- [14] U.S. Environmental Protection Agency (2026): Indicators: Dissolved Oxygen. Aktualisiert 24.02.2026.
- [15] U.S. Environmental Protection Agency (2025): CADDIS - Dissolved Oxygen. Ursachen, Messung und biologische Wirkungen.
- [16] Umweltbundesamt (2022): Schadstoffe aus Kanalisationen in Gewässern. Regen- und Mischwassereinleitungen als urbane Stoffpfade.
- [17] Taguchi, V. J. et al. (2020): Internal loading in stormwater ponds as a phosphorus source to downstream waters. Limnology and Oceanography Letters 5:322-330. DOI: 10.1002/lol2.10155.
- [18] Frost, P. C. et al. (2019): Mobility and Bioavailability of Sediment Phosphorus in Urban Stormwater Ponds. Water Resources Research 55:3680-3688. DOI: 10.1029/2018WR023419.
- [19] Hachad, M. et al. (2022): Locating illicit discharges in storm sewers in urban areas using multi-parameter source tracking. Science of the Total Environment 811:152060. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152060.
- [20] Sidhu, J. P. S. et al. (2013): Sewage pollution in urban stormwater runoff as evident from multiple microbial and chemical source tracking markers. Science of the Total Environment 463-464:488-496. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.06.020.
- [21] Regierungspräsidium Darmstadt (laufende Fassung): Gewässerunterhaltung - Bewirtschaftungsziele, Zuständigkeit und Gewässerschauen.
- [22] Bundesministerium der Justiz / Bundesamt für Justiz (laufende Fassung): § 39 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), insbesondere Rückschnitt von Röhricht.
- [23] Sønderup, M. J. et al. (2016): Factors affecting retention of nutrients and organic matter in stormwater ponds. Ecohydrology 9:796-806. DOI: 10.1002/eco.1683.
- [24] Maier, D. B.; Rydberg, J.; Bigler, C.; Renberg, I. (2013): Compaction of recent varved lake sediments. GFF 135(3-4):231-236. DOI: 10.1080/11035897.2013.788551.

- [25]** Ben Hamed, H.; Mainardis, M.; Moretti, A.; Tøye, D.; Léonard, A. (2025): Extracellular polymeric substances (EPS) in sewage sludge management: A call for methodological standardization. *Journal of Environmental Management* 376:124407. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.124407.
- [26]** Fichtner, N. (2015): Untersuchung zur Leistungsfähigkeit von Biofilmverfahren mit frei beweglichen Aufwuchskörpern bei der kommunalen Abwasserbehandlung. Dissertation, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg. Insbesondere Sauerstoffbedarf der Nitrifikation und Funktion der EPS-Matrix.

14 Anhänge

14.1 Vollständige Übersicht der Feldwasserwerte

Gewässer	Datum	n	O2 min	O2 med.	O2 max	pH med.	Redox med.	EC25 med.	Temp. med.
Lache A	30.04.2026	7	3,58	5,15	6,97	7,27	140,5	553	15,2
Lache A	30.06.2026	3	0	2,54	4,32	6,91	6,7	296	26
Lache A	15.07.2026	3	0,49	0,77	1,73	6,68	-91,8	203	24,2
Lache A	06.08.2026	4	0,33	0,91	1,15	6,98	37,2	297	23,3
Lache B	07.05.2026	10	1,45	2,69	6,22	7,05	-104,2	504	14,1
Lache B	03.06.2026	4	0,34	0,74	1,94	7,07	-117,9	433	17,9
Lache B	01.07.2026	3	0,02	0,78	0,94	6,94	-27,1	312	22,3
Lache B	15.07.2026	3	0,01	1,55	1,55	6,73	-133,9	315	21,4
Lache B	07.08.2026	7	0	0	1,44	7,1	-155,3	329	19,9
Lache C	07.05.2026	8	2,17	2,83	4,11	7,03	3,4	384	14,6
Lache C	03.06.2026	3	0	0	0,28	7,08	4,9	420	18,3
Lache C	30.06.2026	2	2,46	3,19	3,91	7,21	78,8	381	26,1
Lache C	15.07.2026	5	0,03	2,5	2,76	7,16	25,6	344	23,9
Lache C	07.08.2026	5	0	0,61	1,93	7,06	13	334	21,4

Tabelle 19: Feldwasserwerte nach Gewässer und Beprobungsdatum

Quelle: Eigene Auswertung [2]. O2 in mg/L, Redox in mV, EC25 = temperaturkompensierte effektive Leitfähigkeit bei 25 °C in $\mu\text{S/cm}$, Temperatur in °C.

14.2 Vollständige Sedimentvergleichstabelle

Gewässer	MP	Ausgang	August	F A	F Aug	O A	O Aug	D A	D Aug	F+O / Hinweis
Lache A	5	30.04.2026	06.08.2026	30	23	8	0	0	0	38 -> 23 (-15); Augustkern 09:21
Lache A	6	30.04.2026	06.08.2026	15	5	0	8	0	0	15 -> 13 (-2)
Lache A	7	30.04.2026	06.08.2026	8	8	0	0	0	0	8 -> 8 (0)
Lache A	8	30.04.2026	06.08.2026	26	21	10	0	0	0	36 -> 21 (-15)
Lache B	1	07.05.2026	07.08.2026	12	12	0	6	0	10	12 -> 18 (+6); D separat
Lache B	2	07.05.2026	07.08.2026	7	7	16	0	0	13	23 -> 7 (-16); D separat
Lache B	3	07.05.2026	07.08.2026	28	0	0	0	0	13	28 -> 0 (-28); D separat
Lache B	4	07.05.2026	07.08.2026	20	0	7	0	0	5	27 -> 0 (-27); D separat
Lache B	5	07.05.2026	07.08.2026	15	0	10	0	7	13	25 -> 0 (-25); D separat
Lache B	6	07.05.2026	07.08.2026	24	0	13	0	0	4	37 -> 0 (-37); D separat
Lache B	7	07.05.2026	07.08.2026	14	5	17	0	4	13	31 -> 5 (-26); D separat
Lache C	1	07.05.2026	07.08.2026	35	0	0	19	0	12	35 -> 19 (-16); D separat
Lache C	2	07.05.2026	07.08.2026	17	6	0	0	0	4	17 -> 6 (-11); D separat
Lache C	3	07.05.2026	07.08.2026	25	0	5	0	0	10	30 -> 0 (-30); D separat

Tabelle 20: Messstellenweiser Sedimentvergleich

Quelle: Eigene Auswertung [1]. F und O bilden die relevante organische Schlammauflage; D wird separat ausgewiesen. Schichtmächtigkeiten in cm.

14.3 Zusammenstellung der Laboranalysen

Datum	Probe	NO3-N	NO2-N	o-PO4 / Ortho-P*	Ges.-P	NH4-N	CSB	TNb	TKN	TOC	N-ges.	Status
30.04.2026	Lache A, MP 05	<0.010	<0.010	<0,15 (+) / <0,049 (+)	0.22	<0.20 (+)	48	1.55	1.83	13	1.83	vollständig
07.05.2026	Lache B, MP 07	<0.010	<0.010	<0,05 / <0,016	0.18	<0.080	62	1.98	1.92	8.2	1.92	vollständig

Datum	Probe	NO3-N	NO2-N	o-PO4 / Ortho- P*	Ges.-P	NH4-N	CSB	TNb	TKN	TOC	N-ges.	Status
07.05.2026	Lache C, MP 03	<0.020 (+)	<0.010	0,33 / 0,108	0.14	<0.20 (+)	24	1.15	1.08	7.9	1.08	vollständig
03.06.2026	Lache A, MP 07	<0.010	<0.010	<0,15 (+) / <0,049 (+)	0.080	<0.080	97	1.89	2.07	13	2.07	vollständig
03.06.2026	Lache B, MP 05	<0.010	<0.010	0,32 / 0,104	0.18	<0.080	57	1.96	2.72	9.7	2.72	vollständig
03.06.2026	Lache B, Einlauf 1	<0.010	<0.010	0,41 / 0,134	0.20	0.50	41	2.29	2.69	10	2.69	vollständig
03.06.2026	Lache C, MP 01	<0.010	<0.010	0,46 / 0,150	0.22	<0.080	56	1.39	1.28	7.7	1.28	vollständig
03.06.2026	Lache C, Einlauf 1	0.963	<0.010	<0,15 (+) / <0,049 (+)	0.044	<0.080	<15 (+)	1.04	<1.00	3.6	0.963	vollständig
16.06.2026	Lache B, In-situ	<0.010	<0.010	0,49 / 0,160	0.19	<0.20 (+)	51	1.17	1.09	8.8	1.09	vollständig
30.06.2026	Lache A, MP 05	<0.010	0.020	0,69 / 0,225	0.38	1.20	87	<3.00	2.87	13	2.89	vollständig
30.06.2026	Lache C, MP 03	<0.010	<0.010	5,75 / 1,875	1.90	<0.080	74	<3.00	1.58	11	1.58	vollständig
01.07.2026	Lache B, MP 07	<0.010	<0.010	0,68 / 0,222	0.29	<0.20 (+)	45	1.24	1.14	10	1.14	vollständig
01.07.2026	Lache B, In-situ	<0.010	<0.010	0,61 / 0,199	0.26	0.50	37	<3.00	1.94	9.0	1.94	vollständig
01.07.2026	Lache B, Einlauf 1	<0.010	<0.010	0,55 / 0,179	0.26	1.20	58	3.27	3.05	11	3.05	vollständig
15.07.2026	Lache A, Einlauf	0.996	0.070	<0,15 (+) / <0,049 (+)	0.14	0.70	83	3.52	3.53	23	3.53	vollständig

Datum	Probe	NO3-N	NO2-N	o-PO4 / Ortho-P*	Ges.-P	NH4-N	CSB	TNb	TKN	TOC	N-ges.	Status
06.08.2026	Lache A, Einlauf	0.147	0.040	<0,15 (+) / <0,049 (+)	0.048	0.80	100			7.6		Analysen laufend
07.08.2026	Lache B, MP 07	<0.020 (+)	<0.010	0,90 / 0,294	0.37	1.20	180	<1.00		3.4		Analysen laufend
07.08.2026	Lache C, MP 02	<0.010	<0.010	0,71 / 0,232	0.31	<0.080	60	<1.00	<1.00	5.3	<0.020	Analysen laufend
25.08.2026	Lache A, Einlauf	0.451	0.110	0,21 / 0,068		1.10				14		Analysen laufend

Tabelle 21: Laboranalysen April bis August 2026 (mg/L)

Quelle: Zusammenstellung aus den Prüfberichten [3] und Aloora-Teilergebnissen [4]. o-PO4 in mg PO4/L; Ortho-P stöchiometrisch in mg P/L umgerechnet.

* Umrechnung: $\text{Ortho-P [mg P/L]} = \text{o-PO4 [mg PO4/L]} \times 0,32614$. Die Bezeichnung „<“ und der Zusatz „(+“ wurden auf die umgerechnete Grenze übertragen. Noch nicht vorliegende Augustparameter sind als „Analysen laufend“ gekennzeichnet und werden nachgereicht.

14.4 Niederschlagskontext ausgewählter Probenahmen

Datum	Anlass	Tag [mm]	72 h [mm]	7 d [mm]
03.06.2026	Gesamtbeobachtung	0,5	7,6	11,9
16.06.2026	B In-situ	0	0	9,1
30.06.2026	Gesamtbeobachtung; C-Laborprobe MP 03	0	17,3	17,3
01.07.2026	B-Laborproben	1,3	18,5	18,5
15.07.2026	A Einlauf	0	0	0
06.08.2026	A	0	1	4,3
07.08.2026	B/C	0	1	4,1

Tabelle 22: Niederschlag vor ausgewählten Probenahmen

Quelle: Eigene Auswertung der Wetterstationsdaten [5].

14.5 Abschlussvermerk

Der Bericht bildet den Datenstand vom 02.09.2026 in der Revision 2 vom 03.09.2026 ab. Die Analysen der Augustproben sind noch nicht vollständig abgeschlossen. Nach Eingang der ausstehenden Laborparameter werden die Laborübersicht sowie die Quellenhypothesen für Lache A und B ergänzt. Neue Ergebnisse sind als fortlaufend nummerierte Revision mit eindeutigem Versions- und Datenstand zu dokumentieren.

Bericht erstellt am	03.09.2026 - Revision 2
Datenstand	02.09.2026; Augustanalysen teilweise noch laufend
Nächster empfohlener Review	nach Eingang der ausstehenden Laborparameter und Dokumentation der Struktur-/Herbstmaßnahmen