



G u t a c h t e r l i c h e S t e l l u n g n a h m e

2 0 1 0

Brunnen-Bassin Kaiserpfalz-Ingelheim
55218 Ingelheim am Rhein

Stand 15.09.2010



Auftraggeber:

Kaiserpfalz Ingelheim Forschungsstelle
Zanggasse 12 (Heidesh. Tor)
Frau Corinna Garbert
55218 Ingelheim am Rhein
T.: 06132 / 579971
digitalisierung@kaiserpfalz-Ingelheim.de
www.kaiserpfalz-Ingelheim.de

Auftragnehmer:

HochschuleRheinMain FB A&B
Labor für Siedlungswasserwirtschaft
Dipl.-Ing. P. Guckelsberger
Kurt-Schumacher-Ring 18
65197 Wiesbaden
T.: 0611/9495-1453
pguckelsberger@gmx.de

Wiesbaden, 15.09.2010

Dipl.-Ing. P. Guckelsberger



GLIEDERUNG

1STAND UND VERANLASSUNG	4
1.1	Heutige Wasserverhältnisse (2010)	4
2HYDRAULISCHE WASSERVERHÄLTNISSE UND BASSIN-NUTZUNG	6
2.1	Wasserstände	6
2.2	Wasservolumenaustausch	6
2.3	Historische Nutzung des Brunnenbassins	7
2.4	Aktuelle Nutzung des Brunnenbassins	7
2.5	Auswirkungen durch die veränderten Nutzung des Brunnenbassins.....	7
3QUALITÄTIVE WASSERVERHÄLTNISSE	9
3.1	Farbe	9
3.2	Geruch	10
3.3	Temperatur & pH-Wert	10
3.4	Sauerstoff.....	11
3.5	Absetzbare Stoffe.....	14
3.6	Elektrische Leitfähigkeit.....	15
3.7	Stickstoffverbindungen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$)	16
3.7.1	Ammonium-Stickstoff $\text{NH}_4^+\text{-N}$	16
3.7.2	Nitrat-Stickstoff $\text{NO}_3^-\text{-N}$	17
3.7.3	Nitrit-Stickstoff $\text{NO}_2^-\text{-N}$	19
3.8	Kohlenstoffverbindungen (Organik, BSB, CSB)	21
3.8.1	Biochemischer Sauerstoffbedarf BSB_5	21
3.8.2	Chemischer Sauerstoffbedarf CSB	22
3.9	Phosphat $\text{PO}_4\text{-P}$	24
4URSACHEN DER BRUNNENWASSERTRÜBUNG UND MAßNAHMEN	26



4.1	Eintritt von Oberflächenwasser und Niederschlagswasser.....	26
4.1.1	Maßnahmen.....	26
4.2	Wasserstagnation.....	27
4.2.1	Maßnahmen.....	27
4.3	Nährstoffanreicherung.....	28
4.3.1	Maßnahmen.....	28
4.4	Nährstoffkonzentration im Füll-/Nachströmwasser.....	29
4.4.1	Maßnahmen.....	29



1 STAND UND VERANLASSUNG

Gegenstand der Untersuchung ist ein, im Zuge archäologischer Grabungen in Nieder-Ingelheim (15 km westlich von Mainz) freigelegtes Wasserbecken (Brunnenbassin), das auf Grund seiner Tiefenlage offensichtlich mit dem örtlichen Grundwasserleiter in Verbindung steht. Das 2,5 mal 2,7 Meter große und rd. 40 cm tiefe Brunnenbassin befindet sich im archäologischen Informationsbereich der sogenannten Kaiserpfalz im Saalgebiet von Nieder-Ingelheim. Das Brunnenbassin ist, als nach oben offene Freilandanlage, von Besuchern über eine Treppe bis zu Beckenrand zu erreichen und zu besichtigen.

Das Brunnenbassin hatte im 8. Jahrhundert die Funktion eines Absetzbeckens für das aus sieben Kilometern Entfernung in einem unterirdischen Kanal herbei geführte Wasser. Infolge der im Becken herabgesetzten Fließgeschwindigkeit setzten sich die in der Fernleitung mitgeführten Sande und Schwebstoffe auf der Bassinsohle ab, während das überstehende Klarwasser über einen darüber angeordneten Überlauf zu den Verbrauchsstellen weiter geleitet wurde. Damit war das Brunnenbassin im 8. Jahrhundert funktionaler Bestandteil einer Fernwasserversorgung der Kaiserpfalz.

Die Nutzung als Brunnenstube ab dem 13. Jahrhundert ermöglichte den direkten Zugang zu gereinigtem Wasser. Zu dieser Zeit bohrte man Löcher in die Bodenplatten und die Einfassung des Beckens, um zusätzliches Wasser aus dem Erdreich einströmen zu lassen. Heute wird der Wasserstand im Brunnenbassin nicht künstlich reguliert, er liegt relativ konstant bei circa 30-35 Zentimetern.

Im aktuellen Zustand ist festzustellen, dass das im Brunnenbassin anstehende Beckenwasser augenscheinlich in mehr oder weniger kurzen Zeiträumen grünlich veralgelt und somit innerhalb des öffentlichen Informationsareals, einen optisch unschönen Anblick bietet.

Vor diesem Hintergrund wurde die Hochschule RheinMain, Labor für Siedlungswasserwirtschaft, mit einer einmaligen Untersuchung der Wasserqualität beauftragt. Auf Basis dieser Messwerte sollten möglich Ursachen und Gegenmaßnahmen im Rahmen eines Gutachtens erarbeitet werden.

1.1 Heutige Wasserverhältnisse (2010)

Zu- und Ablauf

Im aktuellen Zustand füllt sich das Brunnenbassins nach dem Abpumpen des Beckeninhaltes, durch neu nachströmendes Wasser, das über die oben genannten, offenen Fugen der historischen Natursteinsohle und Seiteneinfassung des Bassins eintritt. Es ist davon auszugehen, dass es sich dabei um anstehendes Grundwasser handelt.

Der festgestellte, natürliche Wasserzulauf über die durchlässige Bassineinfassung lässt folglich auch einen Wasser-Ablauf auf gleichem Wege zu.

Durch Messungen Abgesicherte Aussagen zur Art und Herkunft des Nachströmwassers, sowie zur Größenordnung der theoretisch möglichen Zu- und Ablaufmenge und damit der Aufenthaltszeit des eingeströmten Wassers, lagen dem Verfasser zum Zeitpunkt des Gutachtens allerdings nicht vor. Mit dem Erreichen des bordvollen Zustandes, kommt die Strömung des einströmenden Wasser weitgehend zu erliegen. Unter hydraulischen Aspekten ist dann zu erwarten, dass sich ein Gleichgewichtsdruck zwischen dem Wasservolumen im Brunnenbassin und jenem außerhalb des Beckens, im Erdreich, einstellt.

Die bislang, nach Entleerungsmaßnahmen festgestellten Zuströmzeiten bis zur Vollfüllung, von 3-6 Stunden, dürfen daher nicht mit möglichen Abströmzeiten bzw. Wasserwechselzeiten gleichgesetzt werden. So dass die Wasserverhältnisse, eher der Charakteristik eines Stillgewässers entsprechen und sich dementsprechend verhalten (Nährstofffalle etc.)



Wasserqualität

Auch zur Wasserqualität des im Brunnenbassin gespeicherten Wassers und/oder des zuströmenden Wassers lagen bislang keine Erkenntnisse vor. Zur Feststellung der aktuellen Wasserqualität wurden vom AN die Parameter Geruch, Trübung, Färbung, Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoffsättigung, Absetzbare Stoffe, Ammonium-Stickstoff, Nitrat-Stickstoff, Nitrit-Stickstoff, Phosphor, Chemischer Sauerstoffbedarf und Biochemischer Sauerstoffbedarf analysiert und bewertet.



2 HYDRAULISCHE WASSERVERHÄLTNISSE UND BASSIN-NUTZUNG

2.1 Wasserstände

Der Brunnenwasserspiegel lag bei der Untersuchung am 27.08.2010 als auch bei der Untersuchung am 05.07.2010 rd. 35cm über der Brunnensohle. Diese Wassertiefe scheint, nach den vorliegenden Erfahrungen, im Jahresverlauf ohne signifikante Schwankungen.

Tab. 2-1: Entleerungs-, Reinigungsintervalle Brunnenbassin Nieder-Ingelheim

Datum	Wetter-Vorwoche S = Sonnig N = Niederschlag W = Wechselhaft	Entleerung durch Ab- pumpen in RW-Kanal	Wasser filtriert und in Bassin rückgeführt	Bassin mechan. gereinigt	Datum Erst- Trübung Nach Neubefüllung (Augenschein)
30.06.2010	S	1		Bauhof Ingelheim	
09.09.2010	W	1		Bauhof Ingelheim	

Der Messtag 27.08.2010, war, wie auch die Vortage, von mehr oder weniger starken Niederschlägen geprägt. Demgegenüber war der Messtag 05.07.2010, wie seine Vortage durch eine niederschlagsfreie Hitzeperiode gekennzeichnet.

Dennoch wurde an beiden Tagen der gleiche Wasserstand von rd 35cm Tiefe festgestellt. Dies untermauert die o.a. Aussage, wonach der Wasserspiegel im Jahresverlauf kaum schwankt und offensichtlich erst nach längeren Niederschlags-/Trockenperioden, träge auf die Wasserverhältnisse reagiert.

2.2 Wasservolumenaustausch

Bei der festgestellten Wassertiefe von 35 cm ergibt sich mit den Bassin-Abmessungen von 2,5 mal 2,7 Metern ein anstehendes Wasservolumen von rd. 2,36 m³ bzw. 2.360 Liter.

Diese Wassermenge ist nach dem letzten Reinigen und Entleeren des Brunnenbassins (Sommer 2010) in ca. 2 Tagen vollständig bis zur stabilen Wassertiefe von 35 cm nachgeströmt.

Die Nachströmzeit zeigt, dass der theoretische Wasseraustausch, je nachdem lange die letzte Entleerung zurück lag, je nach Verschmutzgrad (Verstopfte Zuströmkulisse) und möglicherweise auch e nach Einfluß der Jahreszeit (Grundwasserstand) mehr oder weniger träge und offensichtlich aus den örtlich anstehenden Grundwasserregimen in 3 bis 6 Stunden erfolgt. Damit haben die Wasserverhältnisse im Brunnenbassin etwa die Charakteristik eines Stillgewässers.

Es ist allerdings davon auszugehen, dass der theoretisch mögliche Wasseraustausch innerhalb von 3 bis 6 Stunden, nach Abschluss einer vollständigen Neubefüllung zum einen in weit größeren Zeiträumen erfolgt und zum anderen, nicht den gesamten Wasserkörper austauscht. Für diese Annahme sprechen u.a. die festgestellten, trägen Zuströmverhältnisse und der Druckausgleich mit dem umliegenden Grund- und Porenwasser, der sich bei Vollfüllung des Bassins naturgemäß einstellt. Auch



die in der Probe vom 27.08.10 vorgefundene Anzahl von Zuckmückenlarven deutet auf strömungsarme Stillwasserverhältnisse hin.

2.3 Historische Nutzung des Brunnenbassins

Das Brunnenbassin war einst in eine römische Fernwasserleitung integriert wo es zur Abscheidung von Schwebstoffen (Absetzvorgänge), zur Weiterleitung an Verbraucher (Überlaufschwelle) und/oder zur Direktentnahme (Eimer) als Brunnen diente.

Wie die historische Nutzung des Brunnenbassins im täglichen Betrieb und über die Jahre im Detail aussah, welche quali- und quantitativen Wasserverhältnisse in dieser „Betriebszeit“ vorherrschten kann nicht genau gesagt werden.

Sicher ist allerdings, dass das Brunnenbassin funktionaler Bestandteil der örtlichen Wasserversorgung war. Das Wasser des Bassins wurde demnach regelmäßig entnommen, so dass zwangsläufig Frischwasser aus einer Fernleitung und/oder über die offenen Fugen der steinernen Bassineinfassung, aus dem Grundwasserleiter in den Brunnenraum nachströmte. Es gab also im Zeitraum der historisch belegten Bassin-Nutzung, allein durch den Wasserverbrauch, einen regelmäßigen Wasseraustausch im Brunnenbassin.

2.4 Aktuelle Nutzung des Brunnenbassins

Im Gegensatz zur oben beschriebenen historischen Nutzung, wird dem Brunnenbassin heute kein Wasser mehr entnommen. Das im Jahr 2006 bei archäologischen Untersuchungen als Klärbecken bzw. Brunnenstube identifiziert Bassin ist derzeit ein offener archäologischer Informationsbereich innerhalb der Kaiserpfalz Ingelheim / Nieder-Ingelheim. Das Brunnenbassin ist über eine großzügige Treppe erreichbar und für die Besucher unmittelbar zugänglich und erlebbar gemacht worden. Als Freilandobjekt unterliegt es den Jahreszeitlichen Witterungseinflüssen.

2.5 Auswirkungen durch die veränderten Nutzung des Brunnenbassins

Im Hinblick auf die vom Verfasser untersuchten Wasserverhältnisse im Brunnenbassin-Ingelheim, geht die Nutzungsänderung von der historischen Wasserentnahmestelle bis zur heutigen Nutzung als archäologische Informationsstelle ohne Wasserentnahme, zweifelsfrei mit einer Stagnation des Wasseraustausches einher. Zu Beginn einer solchen Stagnation des Wasserflusses verbessert sich die Wasserqualität in der Regel. Infolge der herabgesetzte Fließbewegung setzen sich Schmutzpartikel ab, sessile (z.B. an Steinen haftender) oder frei schwebender Bakterien und Mikroorganismen können auf Grund der stagnationsbedingt erhöhten Kontaktzeit mit dem Wasserkörper ihre biologische Reinigungsarbeit effektiver als im schnell vorbei strömenden Wasser verrichten.

Bodenschlamm

Dauert die Stagnation dagegen zu lange und fehlt der Wasseraustausch, so treten negative Faktoren in den Vordergrund, die die Wasserqualität nachhaltig verschlechtern:

- a. Die Bodenablagerungen (abgesetzte Schwebstoffe, abgestorbene Algen- und Bakterienmasse) wächst und bildet im Laufe der Zeit eine modrige Schlammschicht.



- b. Die Bodenschlammsschicht beginnt sich unter Sauerstoffzehrung biologisch umzusetzen. Sauerstoffmangel in Bodennahen Zonen ist die Folge.
- c. Unter Sauerstoffdefizit und/oder Abschluss (innerhalb der Schlammsschicht) setzen Fäulnisprozesse ein in deren Verlauf u.a. Nährstoffe wie Phosphor rückgelöst werden und in der Folge als „Algenfutter“ eutrophierend wirken.

Nährstofffalle

Aufgrund dieser Stillgewässercharakteristik stellt das Brunnenbassin grundsätzlich eine Nährstofffalle dar. Das heißt, Nährstoffe werden über verschiedene Pfade in das System eingetragen aber kaum ausgetragen. Mögliche Nährstoff-Eintragspfade sind:

- a. Nährstoffe gelöst und/oder partikuläre im unterirdischen Zuströmwasser
- b. Nährstoffe gelöst und/oder partikuläre aus, von verschmutzten Oberflächen abfließendem Niederschlagswasser (verunreinigtes Regen- und Schmelzwasser)
- c. Nährstoffe gelöst und/oder partikuläre im Niederschlagswasser (Luftverschmutzung, Pollen, Feinstaub, etc.)
- d. Nährstoffe gelöst und/oder partikuläre natürlichen (Blätter etc.) und anthropogenen Ursprungs (Abfall, Essensreste o.ä).

Damit erfolgt in jedem aquatischen System mit Stillgewässercharakteristik, im Laufe der Zeit, eine mehr oder weniger intensive Aufkonzentrierung von Nährstoffen, die in der Regel eine Eutrophierung in Gang setzen und so sukzessive zur weiteren Verschlechterung der Wasserqualität mit sauerstoffzehrenden Fäulnisprozessen bis zum Verlanden und umkippen des Wasserkörpers führen.

Tab. 2-2: Untersuchung Brunnenbassin Nieder-Ingelheim

Labor	D a t u m Probenahme	Einstau [cm]	Färbung [-]	Trübung	Geruch [-]
HSRM	05.07.2010	35,00	klar	ohne	neutral
HSRM	27.08.2010	35,00	Grün	stark	neutral



3 QUALITÄTIVE WASSERVERHÄLTNISSE

3.1 Farbe

Das nach einer Entleerung frisch zuströmende Füllwasser ist farblos klar. Eine milchige Verfärbung hätte auf eine Kontamination mit Abwasser hingedeutet. Dies kann vorkommen, wenn der Brunnenradius in Bodenzonen undichter Abwasserkanäle reicht, was im vorliegenden Fall weitgehend ausgeschlossen werden kann. Lediglich bei minimalem Abwassereintrag und wenn das Abwasser auf dem Weg zur Brunnenstube feinsubstratige Bodenzonen passiert findet sich keine Verfärbung. Hier geben die Chemischen Analysen letzte Sicherheit.

Am 05.07.10 – rd. 6 Tage nach der Reinigung und Neubefüllung (30.06.10) ist der Bassinboden durch den Wasserkörper hindurch gut sichtbar (s. Abb.1). Das Wasser zeigt nur eine minimale Färbung/Trübung im Vergleich zu einer Trinkwasserprobe. Am 27.08.10 – rd. 8 Wochen nach der Reinigung und Neubefüllung ist der Bassinboden durch den Wasserkörper hindurch nicht mehr sichtbar. Zuletzt wurde am 09.09.10 entleert und gereinigt. Eine begleitende Untersuchung fand an diesem Tag nicht statt.

Das Wasser zeigt eine, durch Grünalgen hervorgerufene starke Grünfärbung - ein Hinweis auf Eutrophierung = Anreicherung von Nährstoffen.



Abb. 2: 27.08.10 – rd. 4 Wochen nach der Reinigung und Neubefüllung starke Grünfärbung/Trübung.

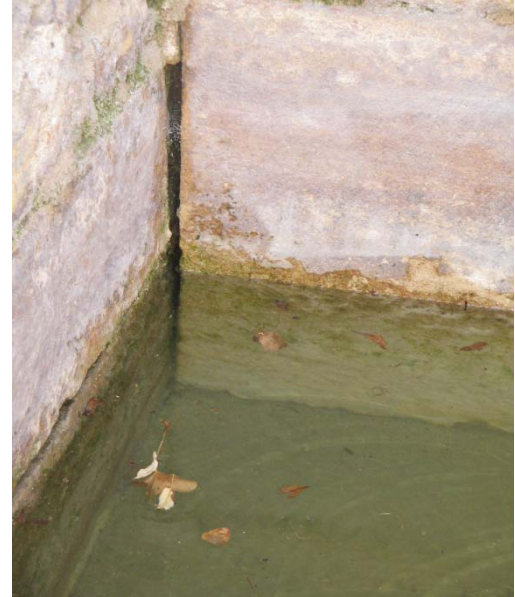


Abb. 1: 05.07.10 – rd. 6 Tage nach der Reinigung und Neubefüllung nur minimale Färbung/Trübung.



Abb. 3: Probe vom 27.08.10 für die Laboranalyse. Grünfärbung durch Algen.

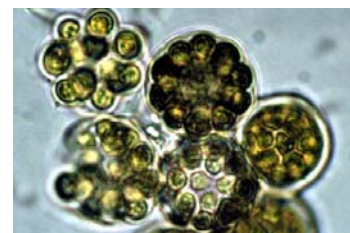


Abb. 4: Mikroskopie Grünalgen.



3.2 Geruch

Die Geruchsprobe wurde an beiden Untersuchungstagen 10 cm unter OK Wasserspiegel abgefüllt. Der Wasserkörper wurde dabei nicht bewegt, absetzbare Stoffe nicht aufgewirbelt.

Beim Riechen wurde die Probe hin- und hergeschüttelt und mit einer Trinkwasserprobe verglichen.

Dabei konnten keine nennenswerten Abweichungen festgestellt werden. Auch die grünverfärbte Probe vom 27.08.10 war weitgehend geruchsneutral, was zumindest eine starke Verunreinigung mit abwasserbürtigen, fäulnisfähigen Stoffen zum Zeitpunkt der jeweiligen Beprobung ausschließt.

Die Geruchsprobe kann für beide Tage als unauffällig festgehalten werden.

Die Einschätzung des Parameters Geruch ist subjektiv, jedoch ein wichtiger Anhaltspunkt für mögliche Wasserverunreinigungen die durch genauere chemische Untersuchungen konkretisiert werden müssen.

3.3 Temperatur & pH-Wert

Die Ergebnisse der vor Ort durchgeführten Feldmessungen von Temperatur und pH-Wert sind in den nachstehenden Tabellenzusammengestellt. Der pH-Wert liegt in einem Gewässer natürlicherweise zwischen 6,5 und 8,5 und wird vor allem durch die geologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet bestimmt. Unterhalb des Neutralbereiches von pH 7 liegen saure oberhalb von pH 7 liegen basische Verhältnisse vor.

Der pH-Wert des Brunnenbassin wurde an beiden Messtagen einmal unmittelbar unter dem Wasserspiegel und ein zweites Mal unmittelbar über dem Beckenboden (Sohlfläche) gemessen. Der pH-Wert lag bei allen Messungen oberhalb des Neutralbereiches von pH 7. Da sich ein natürlich erhöhter pH-Wert z.B. auch in Kalkbächen findet, könnten kalkhaltige Bodenschichten, die das Wasser auf seinem Weg in das Brunnenbassin durchsickert und/oder das Baumaterial des Brunnenbassins (kalkhaltige Gesteine/Mörtel) eine natürliche Ursache für die basischen Wasserverhältnisse im Bassin sein. Betrachtet man die pH-Wertdifferenz zwischen der oberflächen- und der sohlnahen Messung des jeweiligen



Abb. 5: Direktmessung (pH, Sauerstoff, Temperatur) am Brunnenbassin Nieder-Ingelheim

der sohlnahen Messung des jeweiligen Messtages, so ist am 05.07.10, bei ungetrübtem Wasser, mit pH 7,5 für beide Messungen, kein Unterschied festzustellen.

Am 27.08.10, bei starker Trübung, liegt der oberflächennahe pH-Wert 8,14 und der sohlnahe pH-Wert 9,85 jeweils nennenswert höher als am 1. Messtag. Zudem steigt der pH-Wert an diesem Tag von der Oberfläche bis zum Bassinboden um den Differenzwert von pH 1,71 an.



Der Anstieg der pH-Werte ist, neben anderen möglichen Faktoren, oft ein Sekundäreffekt der Eutrophierung (Störung des Kalk-Kohlensäuregleichgewichtes), wobei die Eutrophierung selbst ursächlich mit einer erhöhten, bzw. mit einer sich anreichernden Nährstoffbelastung im System in Verbindung zu bringen ist. Die vorliegenden pH-Wert-Messungen deuten demnach grundsätzlich auf solche Verhältnisse nährstoffbedingter Eutrophierung hin.

Tab. 3-3: pH-Wert

Labor	D a t u m Probenahme	pH-Wert			
		pH-Wert Nähe Oberfl. [-]	pH-Wert Nähe Sohle [-]	pH-Wert GK 1	
				Min [-]	Max [-]
HSRM	05.07.2010	7,50	7,50	6,50	8,00
HSRM	27.08.2010	8,14	9,85	6,50	8,00

Tab. 3-4: Temperatur

Labor	D a t u m Probenahme	Temperatur				
		Wasser Nähe Oberfl. [°C]	Wasser Nähe Sohle [°C]	Wasser GK1	Wasser GK5 [°C]	Luft [°C]
HSRM	05.07.2010	19,80	19,20	< 18 °C	> 24 °C	n. g.
HSRM	27.08.2010	18,00	17,50	< 18 °C	> 24 °C	n. g.

3.4 Sauerstoff

Der Sauerstoffgehalt im untersuchten **Brunnenbassin Nieder-Ingelheim** ist, wie bei einem natürlichen Gewässer, von verschiedenen physikalischen und biologischen Prozessen bestimmt. Ein niedriger Sauerstoffgehalt zeugt zumindest bei oberirdischen und oberflächennahen Wasserkörpern von minderer Wasserqualität. Werden Sauerstoffzehrende Prozesse gemessen, so deutet dies in der Regel auf organische Verschmutzung hin. In unbelastetem Wasser schwankt die Sauerstoffsättigung nur gering und liegt um 100 %.

Sauerstoffanreicherung aus der Luft. Der physikalisch bedingte Sauerstoffaustausch zwischen Wasser und Luft ist abhängig von der Temperatur (kühl = hohe O₂-Aufnahmekapazität) und den Turbulenzen des im Wasserkörper (hohe Turbulenz = hoher O₂-Eintrag). Das Brunnenbassin Ingelheim verfügt auf Grund seiner brunnentypischen Tieflage mit den umgebenden Steinwänden über eine kühle, im Jahresverlauf eher schattenexponierte Lage, so dass sich im Hinblick auf eine gute Sauerstoffaufnahmekapazität über das Jahr, günstige Temperaturen (15-20 °C) einstellen. Turbulenzen sind, von Starkniederschlägen abgesehen, dagegen keine zu verzeichnen, so dass der Sauerstoffeintrag über turbulente Wasserbewegung keinen Einfluss auf die Sauerstoffverhältnisse im Brunnenbassin hat.

Sauerstoffanreicherung durch Photosynthese von Algen und Wasserpflanzen findet nur am Tage in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung statt. Daher verändert sich der Sauerstoffgehalt in eutrophierten Gewässern im Tagesverlauf mit dem Lichteinfall und besonders im Tages-Nachtrythmus. Am Brunnenbassin



Nieder-Ingelheim wird der Einfluss der Photosynthese auf die Sauerstoffverhältnisse am zweiten Messtag (27.08.10) besonders deutlich. Wie die nachstehenden Messwert-Tabellen zeigen, wird bei Sonneneinfall in der oberflächennahen Wasserzone eine Sauerstoffübersättigung von 200 % gemessen, was bei der vorhandenen Temperatur einem Sauerstoffgehalt von 20 mgO₂/l entspricht. Die O₂-Messung aus der größeren Tiefe in unmittelbarer Sohlhöhe zeigt dagegen lediglich eine Sauerstoffsättigung von 45 %, was bei der vorhandenen Temperatur einem Sauerstoffgehalt von 4,5 mgO₂/l entspricht. Dieser Minderbefund gegenüber der oberflächennahen Messung ist darauf zurück zu führen, dass die starke Wassertrübung (Phytoplankton/Veralgung) an diesem Tag, nur wenig Licht in die Sohlhöhe Wasserzone lässt (Lichtabsorption). Ein Teil der Algen in dieser Tiefenzone verbraucht daher zusammen mit anderen bakteriellen Abbauprozessen, Sauerstoff. Noch kritischer wird die Situation in der Nacht, wenn auch das Phytoplankton der oberen Wasserzone Sauerstoff verbraucht.

Sauerstoffzehrung erfolgt in Gewässern vor allem durch bakteriellen Abbau organischer Substanz. Während die Sauerstoffzehrung in einem natürlichen Gewässer von der Menge anthropogen verursachter organischer Einträge (z.B. Abwasser), sowie vom Abbau natürlicher Organik (Laub, Holz, tote Tiere) abhängt, lassen die vorliegenden O₂-Messung vermuten, dass die Sauerstoffzehrung im Brunnenbassin Nieder-Ingelheim, in erster Linie im bakteriellen Abbau von abgestorbenem Phytoplankton und der Sauerstoffzehrung durch Phytoplankton in Zeitraum der lichtarmen Abend- bis in die Morgenstunden (Sonnenaufgang) zu suchen ist. Wie vorstehend unter „Sauerstoffanreicherung durch Photosynthese“ bereits dargelegt, kommt es bereits bei Tageslicht zu einer starken Sauerstoffschwankung zwischen einer 200 %-igen Übersättigung in der oberen Wasserschicht bis zum Abfall der O₂-Sättigung auf 45 % in den Bodennahen Wasserzonen.

Dies lässt Schlussfolgern, dass es in der Nacht, wenn das gesamte Phytoplankton Sauerstoff verbraucht in Verbindung mit dem bakteriellen Sauerstoffverbrauch (Organik Abbau) zu einer extremen Sauerstoffuntersättigung kommt. Die Intensität einer grünen Wassertrübung korreliert in aller Regel mit der Intensität der Eutrophierung eines Wasserkörpers. Je stärker die Eutrophierung desto größer die Amplitude mit Sauerstoffübersättigung in den frühen Nachmittagsstunden und extremen Sauerstoffdefiziten in der Nacht. Für lebende Gewässerorganismen hat derartige „Sauerstoffstress“ fatale Folgen. Für das hier **begutachtete Brunnenbassin**, das keine höheren Gewässerorganismen beherbergt, spielt die gemessene Unterversorgung mit Sauerstoff dahingehend eine Rolle, als das bei sinkender Sauerstoffkonzentration im Wasser auf unter 1 mg/l, eine Phosphatfreisetzung aus dem Sediment (Phosphatmobilisierung) erfolgt. Dies führt zu einer Selbstverstärkung der Eutrophierung was sich rein optisch in einer zunehmenden Trübung unschön niederschlägt.





Tab. 3-5: Sauerstoffanalyse Brunnenbassin Nieder-Ingelheim

D a t u m	Labor	Sauerstoff Sättigung Nähe Oberfläche [%]	Sauerstoff Gehalt Nähe Oberfläche [ml/l]	Sauerstoff Sättigung Nähe Sohle [%]	Sauerstoff Gehalt Nähe Sohle [ml/l]
05.07.2010	HSRM	90,00	7,80	90,00	7,80
27.08.2010	HSRM	200,00	20,00	45,00	4,50



3.5 Absetzbare Stoffe

Die Messung der Absetzbaren Stoffe in einer Wasserprobe gibt einen Hinweis auf den zu erwartenden Bodenschlamm-/Sedimentanfall. Dieser setzt sich aus den im Zulaufwasser mitgeführten Schwebstoffen, dem natürlichen Schwebstoffeintrag (Laub etc.) sowie der sich im Wasserkörper aufbauenden und im regelmäßigen Zyklus absterbenden Biomasse aus Bakterien und Phytoplankton zusammen.

Das frische Füllwasser des Brunnenbassins enthält auf Grund der Filterwirkung des durchströmten Bodensubstrates offensichtlich keine absetzbaren Stoffe. Darauf deuten auch die Messungen der HSRM und der visuelle Eindruck am 1. Messtag (05.07.10) hin.

Das ältere Standwasser des Brunnenbassins, wie es sich bei der Probenahme am 27.08.10, mit seinen grünlichen Eutrophierungserscheinungen zeigte, ergab dagegen 1ml absetzbare Stoffe in 1 Liter Probenwasser. Diese 1ml hatten sich im Imhofftrichter nach 2 Tagen abgesetzt und setzten sich ausschließlich aus feinem, abgestorbenen Phytoplankton (Grünalgen, Kieselalgen, Bakterien) zusammen. Theoretisch müsste sich demnach in rd. 10 Tagen eine 0,5 cm dicke Schlammschicht bilden, sofern das Wasser den eutrophierten Zustand des Messtages (27.08.10) über die Dauer von 10 Tagen aufweist. Bei anhaltender Eutrophierung mit gleichbleibender Phytoplanktonentwicklung, würde die wachsende Schlammschicht mit ihren biologischen Umsetzungsprozessen (Sauerstoffzehrung, Remobilisation von Nährstoffen) zum Umkippen des Wassers in anaerobe (Geruchemmission) Verhältnisse führen.



Abb. 6: Absetzbare Stoffe 27.08.10 - Brunnenbassin
Nieder-Ingelheim



3.6 Elektrische Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeit als reziproke Wert des elektrischen Widerstandes, gibt Auskunft über den Salzgehalt einer Wasserprobe. Wegen der Temperaturabhängigkeit wird mit einem digitalen Messgerät mit Temperaturkompensation gemessen. Die LF-Messung erfasst dabei den Gesamt-Ionen (= Salz) –Gehalt der Wasserprobe. Um welche Ionen es sich handelt wird dabei jedoch nicht festgestellt, so dass der Parameter nur bedingt für eine Bewertung der Wasserqualität herangezogen werden kann. In Analogie zum pH-Wert, müssen auch bei der LF-Messung die geologischen Verhältnisse (Gesteinstypen) des Einzugsgebietes berücksichtigt werden. So werden in Gebieten mit Carbonatgestein, also etwa in Kalkbächen, natürlicherweise LF-Werte von 900 $\mu\text{s}/\text{cm}$ und mehr erreicht und sind daher in dieser Größenordnung kein Hinweis auf Belastungen.

Die Leitfähigkeit im Brunnenbassin Nieder-Ingelheim lag am 05.07.10 bei **1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$** und am 27.08.10 bei 900 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Die erste Messung (05.07.10; 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$) erfolgte im relativ klaren, erst vor rd. 7 Tagen über die Fugen und Löcher der Natursteineinfassung eingeströmten Füllwasser. Die zweite Messung, mit niedrigerem Befund, erfolgte am 27.08.10, im älteren Standwasser. Sie lag mit **900 $\mu\text{s}/\text{cm}$** um 100 $\mu\text{s}/\text{cm}$ niedriger. Dieser Sachverhalt weist darauf hin, dass:

- a. Das frisch zuströmende Wasser wahrscheinlich geologische Bodenschichten (z.B. Carbonatgestein) passiert, die über leicht lösliche Ionen verfügen.
- b. Sofern die geologischen Verhältnisse die relativ hohe LF nicht begründen, auch ein diffusem Eintrag von Nährsalzen (Dünger) zu überprüfen ist (s. a. Parameter Nitrat-Stickstoff).
- c. Das einmal bis zur Völlfüllung (30-35 cm) eingeströmte Wasser keinen kontinuierlichen Austausch erfährt. Bei einem kontinuierlichen Austausch sollten die LF-Werte zwischen zwei Messungen weniger stark differieren. Diese Aussage setzt voraus, dass das Zuströmwasser selbst, eine stabile Leitfähigkeit aufweist und keinen Schwankungen, etwa in Folge unregelmäßiger, diffuser Einleitungen (Leckagen in Abwasserleitungen o.ä) unterliegt.
- d. Ein Teil der im Füllwasser enthaltenen Gesamt-Ionen auf Grund der Wasseraufenthaltszeit im Brunnenbassin einem Verbrauch unterliegen.

Weitere LF-Messungen müssen die vorstehend angeführten Vermutungen bestätigen.



3.7 Stickstoffverbindungen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$)

3.7.1 Ammonium-Stickstoff $\text{NH}_4^+\text{-N}$

...entsteht im Gewässer durch den mikrobiellen Abbau von eingeleiteten stickstoffhaltigen Substanzen (Harnstoff, Proteine, Aminosäuren u.a.). Weil Ammonium im Rahmen des Stickstoffkreislaufes auch von natürlich entstandener Biomasse ständig freigesetzt wird, ist es auch in unbelasteten Gewässern in geringen Mengen vorhanden.

Die ökologische Bedeutung einer Ammoniumbelastung liegt:

- In der **Eutrophierungsgefahr** => **Veralgung**: Ammonium NH_4^+ ist ein Pflanzennährstoff.
- In der **Umwandlung zum giftigen Ammoniak (NH_3)**. Hohe Ammoniumbelastung bergen die Gefahr der toxischen Ammoniakbildung (NH_3), denn bei steigendem pH-Wert (über pH 7) und steigender Temperatur verschiebt sich das Dissoziationsgleichgewicht zwischen Ammonium und Ammoniak zugunsten des toxischen Ammoniaks (NH_3). Ammoniak (NH_3) ist ein Nervengift. Tödliche Konzentrationen für Fischbrut ab 0,2 mg $\text{NH}_3\text{-N/l}$. Für Forellen ab 0,6 mg $\text{NH}_3\text{-N/l}$.
- In der **Sauerstoffzehrung**: Ammoniumeinträge belasten den Gewässer-Sauerstoffhaushalt, da das Ammonium bei der sogenannten Nitrifikation durch Mikroorganismen, über Nitrit (NO_2) zu Nitrat (NO_3) oxidiert wird.

Die Ursachen einer Ammoniumbelastung sind in der Regel:

- Abwasser aus Kommunalen Kläranlagen (Gewässer) und Kanalleckagen (Grundwasser)
- Mischwassereinleitungen aus Regenüberlaufbecken
- Eintrag aus landwirtschaftlichen Flächen in Gewässer und Grundwasser (Gülle)
- Industrieabwasser (Düngemittel- und Lebensmittelhersteller, chemische Industrie)
- Niederschläge (Luftverschmutzung, Feinstaub etc.)

Das Brunnenbassin Nieder-Ingelheim weist am 05.07.2010 für den Parameter Ammonium NH_4^+ und Ammonium-Stickstoff $\text{NH}_4^+\text{-N}$ mit 0,04 bzw. 0,03 einen Wert Gewässergüteklasse 1 auf. Dieser steigt zwar für die Messung am 27.08.10 auf 0,11 mg $\text{NH}_4^+\text{-N} / \text{l}$ und liegt damit in der Gewässergüteklasse II, dennoch deuten die Werte nicht auf eine unmittelbare Verunreinigung mit Abwasser hin. Der Anstieg dürfte viel mehr in der Anreicherung durch Niederschläge und den Zufluss aus verschmutzten Oberflächen herrühren.

Tab. 3-6: Ammoniumanalyse Brunnenbassin Nieder-Ingelheim

Datum	Labor	NH_4^+ [mg / l]	$\text{NH}_4\text{-N}$ [mg / l]	$\text{NH}_4\text{-N}$ GK1 [mg / l]	$\text{NH}_4\text{-N}$ GK2 [mg / l]	$\text{NH}_4\text{-N}$ GK5 [mg / l]
05.07.2010	HSRM	0,04	0,03	< 0,04	0,05 - 0,3	> 1,2
27.08.2010	HSRM	0,14	0,11	< 0,04	0,05 - 0,3	> 1,2



3.7.2 Nitrat-Stickstoff NO_3^- -N

Nitrat ist die höchste Oxidationsstufe des Stickstoffkreislaufes im Wasser und spielt daher die mengenmäßig größte Rolle in der Stickstoffbilanz. Nitrate sind Salze der Salpetersäure. Sie gehören zu den Hauptnährstoffen im Boden. Nitrate kommen u.a. in Grünpflanzen vor.

Grund- und Trinkwasser: Nitrate finden sich auch in stickstoffhaltigen Düngemitteln und können so bei unsachgemäßer Anwendung in der Landwirtschaft mit dem Niederschlagswasser ins Grund- und Trinkwasser gelangen und die Nitratbelastung erhöhen. Der Trinkwasser-Grenzwert liegt bei 50mg/l. Ein großer Teil der von Mensch/Tier aufgenommenen Nitrate wird wieder ausgeschieden. Dennoch beeinträchtigen diese Stickstoffverbindungen den Organismus negativ, z.B. durch Behinderung der Jodaufnahme, Umwandlung des Nitrats in Nitrit (behindert Sauerstoffaufnahme), Bildung von Nitrosaminen (krebserregend), Ablagerungen von Nitrit. Bei Säuglingen und Kleinkindern wird bei einem Nitratwert von über 10 Milligramm pro Liter, der Kauf nitratarmen Wassers empfohlen.

Entstehung: $2\text{NO}_2 + 1\text{O}_2 \Rightarrow 2\text{NO}_3^-$

Umrechnung: 1mg NO_3^- entspricht 0,226 mg NO_3^- -N

Die Gewässerökologische Bedeutung:

- Verstärktes Pflanzenwachstum, Eutrophierungsgefahr** => Veralgung: Nitrat NO_3^- ist ein Pflanzennährstoff. Allerdings in unseren Süßgewässern weniger eutrophierend als der „Minimumfaktor“ Phosphat. Dagegen ist (Nitrat)-Stickstoff im Meer der Minimumfaktor des Pflanzenwachstums, so dass die über Bäche und Flüsse in die Meere eingeleitete Nitrat-Stickstofffrachten verantwortlich sind für die Eutrophierung der (Küsten-)Meere. Die Nitratfracht-Begrenzung für Fließgewässer ist daher vor allem eine Maßnahme zum Meeresschutz (Nordseeschutzprogramme).
- Auch in höheren Konzentrationen **unschädlich** für Wasserorganismen, für **höhere** Organismen bei **Langzeitbelastung aber negativ**, da Umwandlung von Nitrat in Nitrit die Sauerstoffaufnahme behindert (Methämoglobinämie), Bildung von Nitrosaminen (krebserregend).
- Sauerstoffzehrung:** Fördert Aufbau pflanzlicher Biomasse die nach dem Absterben unter Sauerstoffzehrung durch Mikroorganismen abgebaut wird.
- Eingeschränkte Wassernutzung** (Grund-/Trinkwasser) bei erhöhten Nitratwerten.

Die Ursachen einer Nitratbelastung sind in der Regel:

- Abwasser aus Kommunalen Kläranlagen (in Gewässer) und Kanalleckagen (ins Grundwasser). Da Nitrat nicht ursprünglich im frischen Abwasser vorliegt, sondern erst nach einer gewissen Zeit aus Ammonium entsteht, sind Nitratfunde ein Hinweis auf eine länger zurückliegende Abwasserbelastung. Es kann auch sein, dass das Abwasser von seiner Einleitestelle bis zur Probenahmestelle/Nitratfundstelle, ober- und/oder unterirdisch einen längeren Weg zurück legt, so dass während der Fließ-/Sickerzeit Nitrat im Abwasserstrom entsteht.
- Mischwassereinleitungen aus Regenüberlaufbecken in Gewässer, wobei N-Austrag überwiegend als Ammonium NH_4^+ erfolgt.
- Eintrag aus landwirtschaftlichen Flächen in Gewässer und Grundwasser (Gülle; Dünger)
- Niederschläge: Stickstoff hauptsächlich gasförmiger Ammoniak (Landwirtschaft) in der Atmosphäre und im Niederschlag als Ammoniumstickstoff nachweisbar. Stickoxide aus Verbrennungsprozessen im Niederschlag als Salpetersäure und Nitrat enthalten. Während Nitratstickstoff zum Säureanteil des Niederschlagswassers direkt beiträgt, wirkt Ammo-



niumstickstoff hauptsächlich im Boden aufgrund der bei Nitrifizierungsprozessen gebildeten Säure. Die Massenproduktion von Schlachttieren und die häufig unsachgemäß erfolgende Ausbringung tierischer Ausscheidungen als Dünger stellen nach wie vor die wesentlichen Beiträge für den Ammoniumgehalt im Niederschlag. Zunehmender Kraftfahrzeugverkehr sorgt für einen ebenfalls zunehmenden Nitratanteil.

- e. Industrieabwasser (Düngemittel- und Metallverarbeitung, chemische Industrie)

Das Brunnenbassin Nieder-Ingelheim hat am 05.07.2010 einen Nitratgehalt von 75,22 mg NO_3^- /l was einem Nitrat-Stickstoffgehalt von 17 mg NO_3^- -N /l entspricht. Diese Werte liegen, wie die Vergleichswerte der nachstehenden Tabelle zeigen, im Bereich der Gewässergüteklasse 5 ($> 10 \text{ mg NO}_3^-$ -N) und über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TVO) von 50 mg NO_3^- /l.

Am 27.08.10 liegt der gemessene Nitratwert unter dem Grenzwert der TVO. Das stark trübe und augenscheinlich eutrophe Wasser dieses Messtages, hat mit 44,25 mg NO_3^- /l bzw. 10mg NO_3^- -N einen niedrigeren Wert als am 1. Messtag (05.07.2010) an dem das Wasser kaum Trübung zeigte. Diese Werte vom 27.08.10 liegen, wie die Vergleichswerte der nachstehenden Tabelle zeigen, im Bereich der Gewässergüteklasse 5 ($> 10 \text{ mg NO}_3^-$ -N) und unter dem Trinkwassergrenzwert von 50 mg NO_3^- /l.

Die relativ hohen Nitrat-Werte beider Messtage können durchaus ein Hinweis auf einen länger zurück liegenden Abwassereintrag in der Nähe sein. Ein Abwassereintrag in größerer Entfernung, bei dem sich das Nitrat während der Sicker-/Fließzeit zum Brunnenbassin bildet, kann ebenso in Betracht kommen wie eine, mit dem Grundwasserleiter in Verbindung stehende Leckage in einem Ab- oder Mischwasserkanal. Hauptquelle erhöhter Nitratwerte im Grundwasser ist nach wie vor der Düngemiteleinsatz in der Landwirtschaft. Dünger aus angrenzenden öffentlichen oder privaten Pflanzflächen kann ebenso eine Nitratquelle sein, wie Düngerauswaschung oder Gülleeeinfluss aus landwirtschaftlichen Flächen der Region. Nitrathaltige Gesteine als mögliche geogene Nitratquelle finden sich nach den durchgeführten Recherchen in Rhein-Land-Pfalz nicht.

Da die Nitratquellen oft schwer zu lokalisieren sind und zudem meist mehrere Ursachen gleichzeitig wirken, dürfte im vorliegenden Fall, ein Wasserwechsel in regelmäßigen Intervallen, die effektivste Art ein, um die Auswirkungen der Nitratfracht auf das Wasser (Eutrophierung => Veralgung => Trübung) auf ein optisch verträgliches Maß zu reduzieren. Um die Wasserwechselintervalle und eine ggf damit einhergehende mechanische Bürstenreinigung des Brunnenbassins müssten etwa die Zeitspannen von einer Neubefüllung des Beckens bis zum Zeitpunkt der ersten Eutrophie (Trübung, Veralgung) erkundet werden.

Die Nitratentfernung aus Wasser und Boden kann zudem über das Absterben pflanzlicher Biomasse (Algen, Sumpf- und Wasserpflanzen) erfolgen, was allerdings auf Grund der unerwünschten Bepflanzung im vorliegenden Objekt keinen effektiven Lösungsansatz bietet. Der natürliche Weg der Nitratelimination über die biologische Denitrifikation läuft in der Natur zum einen zu langsam ab und zum andern unter Randbedingungen (anaerober Sauerstoffverhältnisse) die am Brunnenbassin Nieder-Ingelheim unerwünscht sind.



Eine technisch gesteuerte Optimierung der Denitrifikation, wie man sie von Kläranlagen kenn, wäre finanziell zu aufwendig und wegen des Objektstatus (Denkmalsschutz / archäolog. Informationszentrum) nicht umsetzbar.

Tab. 3-7: Nitratanalyse Brunnenbassin Nieder-Ingelheim

Datum	Labor	NO ₃ ⁻ -N Probe [mg / l]	NO ₃ ⁻ Probe [mg / l]	NO ₃ ⁻ -N GK1 [mg / l]	NO ₃ ⁻ -N GK2 [mg / l]	NO ₃ ⁻ -N GK5 [mg / l]	NO ₃ ⁻ TVO [mg / l]	NO ₃ ⁻ -N TVO [mg / l]
05.07.2010	HSRM	17,00	75,22	< 1,0	1,1 - 2,5	> 10	< 50	< 11,30
27.08.2010	HSRM	10,00	44,25	< 1,0	1,1 - 2,5	> 10	< 50	< 11,30

3.7.3 Nitrit-Stickstoff NO₂⁻-N ...

...entsteht im Zuge des Stickstoffkreislaufes, als kurzzeitiges Zwischenprodukt bei der Nitrifikation des Ammoniums NH₄⁺ zu Nitrat NO₃⁻. Weil Nitrit NO₂⁻ gleich weiter oxidiert wird, ist es normalerweise nur in Spuren vorhanden. Bei sprunghaft ansteigender Ammoniumkonzentration NH₄⁺, erhöhter Temperatur und erhöhtem pH-Wert können jedoch schnell höhere Nitritkonzentrationen NO₂⁻ erreicht werden. Wegen seiner Giftigkeit für Fische und Menschen sollte es in Gewässern und im Trinkwasser immer mit erfasst werden. **Für das Brunnenbassin Nieder-Ingelheim** ist dieser Sachverhalt weniger bedeutsam, da es sich weder um Trinkwasser noch um Fischbesatz handelt.

Entstehung: $2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \Rightarrow 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+$

Umrechnung: 1mg NO₂⁻ entspricht 0,304 mg NO₂-N

Die Gewässerökologische Bedeutung:

- Toxische Wirkung auf Mensch und Tier:** Durch Nitrit NO₂⁻ wird der rote Blutfarbstoff Hämoglobin zu Methämoglobin oxidiert, ein Sauerstofftransport im Blut ist dann nicht mehr möglich. Im Gewässer wirkt es daher als Fischgift. Der Grad der Nitrit-Giftigkeit ist zum einen von abiotischen Faktoren (pH-Wert, Temperatur, Sauerstoff, Chloridgehalt, Wasserhärte) zum anderen von der Art und „Verfassung“ der Lebewesen, auf die es einwirkt. Bei Säuglingen können NO₂⁻-Konzentrationen bereits tödlich wirken, die bei Erwachsenen noch keine Auswirkung haben. Im Gewässer spielt die Fischart, deren Alter und die Akklimatisation der Fische eine Rolle.
- Eingeschränkte Wassernutzung** (Grund-/Trinkwasser) bei erhöhtem Nitrit NO₂⁻.

Die Ursachen einer Nitritbelastung sind in der Regel:

- Abwasser aus Kommunalen Kläranlagen (in Gewässer) und Kanalleckagen (ins Grundwasser).
- Mischwassereinleitungen aus Regenüberlaufbecken in Gewässer, wobei N-Austrag überwiegend als Ammonium NH₄⁺ erfolgt und Nitrit nur durch mikrobielle Oxidation (Nitrifikation), in kleiner Menge als kurzzeitiges Zwischenprodukt entsteht.
- Eintrag aus landwirtschaftlichen Flächen in Gewässer und Grundwasser (Gülle; Dünger).



- d. Entstehung in Brunnen, Grundwasser und Gewässer durch unvollständige Nitrifikation.

Das Brunnenbassin Nieder-Ingelheim hat am 05.07.2010 eine Nitritkonzentration von 0,07 mg NO_2^- /l was einem Nitrit-Stickstoffgehalt von 0,02mg NO_2^- -N /l entspricht. Diese Werte des 1. Messtages liegen, wie die Vergleichswerte der Tabelle zeigen, im Bereich einer guten Gewässerqualität der Güteklasse 2. Die Werte des 2. Messtages (27.08.2010) sind mit 0,10 mg NO_2^- /l und 0,03 mg NO_2^- -N /l gegenüber denen, des sonnigen und trockenen 1. Messtages (05.07.2010) leicht erhöht, liegen aber noch im Bereich der Gewässergüteklasse 2. Die leichte Erhöhung zum 2. Messtag hin, deckt sich mit den übrigen Messungen, sowie mit der Vermutung, dass das Brunnenbassin als Nährstofffalle wirkt. Das heißt, dass sich neben den im frischen Füllwasser enthaltenen Nährstoffspuren, langsam aber stetig, Nährstoffe über äußere Eintragswege im Bassinwasser akkumulieren.

Die festgestellten Nitrit-Konzentrationsbereiche legen zwar die Möglichkeit einer organischen Belastung nahe, da Nitrit aber nur ein kurzeitiges Zwischenprodukt im Stickstoffkreislauf ist, können solche Konzentrationen auch über Umsetzungsprozesse geringer Mengen natürlicher Organik entstehen.

Tab. 3-8: Nitritanalyse Brunnenbassin Nieder-Ingelheim

D a t u m	L a b o r	NO_2^--N Probe [mg / l]	NO_2^- Probe [mg / l]	NO_2^--N GK1 [mg / l]	NO_2^--N GK2 [mg / l]	NO_2^--N GK5 [mg / l]
05.07.2010	HSRM	0,02	0,07	< 0,01	0,02 – 0,1	> 0,4
27.08.2010	HSRM	0,03	0,10	< 0,01	0,02 – 0,1	> 0,4



3.8 Kohlenstoffverbindungen (Organik, BSB, CSB)

3.8.1 Biochemischer Sauerstoffbedarf BSB₅...

...zeigt an, wie viel Sauerstoff in 5 Tagen von Mikroorganismen (nitrifizierende Bakterien) benötigt wurde, um die im Wasser enthaltenen organischen Stoffe abzubauen. Der BSB₅, gemessen in verbrauchtem [mg O₂ pro Liter], ist der entscheidende Parameter zur Beschreibung der Belastung eines Wassers (Kläranlagen, Gewässer, Grundwasser, Brunnenwasser u.a.) mit sauerstoffzehrenden, biologisch leicht abbaubaren Stoffen.

Methoden: BSB₅ [mg O₂/l] = O₂-Konzentration bei Probenahme - O₂-Konzentration nach 5 Tagen

Ökologische Bedeutung:

- Sauerstoffverhältnisse** : Die vom BSB₅ [mg O₂/l] erfassten Sauerstoffverhältnisse, stellen etwa in einem Fließgewässer, den entscheidenden Überlebensfaktor für alle höheren Gewässerorganismen dar. Ein hoher BSB₅ [mg O₂/l] zeugt von einer hohen organischen Wasserbelastung und damit von minderer Wasserqualität mit schlechten Lebensbedingungen für alle höheren und sauerstoffliebende Organismen. Der Sauerstoffbedarf ist dabei „artspezifisch“ sehr unterschiedlich. Anaerobe Zustände im Gewässer können nur bestimmte Mikroorganismen (Anaerobier) überleben. Sauerstoffmangel führt zum Absterben höherer Organismen und zur Zunahme anaerober Stoffwechselvorgänge durch Mikroorganismen, die z.T. Toxine erzeugen.
- Eingeschränkte Wassernutzung** (Grund-/Trinkwasser) bei erhöhtem BSB₅ [mg O₂/l].

Die Ursachen hoher biochemischer Sauerstoffzehrung BSB₅ [mg O₂/l]:

- Illegale Abwassereinleitung/Versickerungen
- Unzureichend biologisch gereinigtes Abwasser aus Kommunalen Kläranlagen (in Gewässer)
- Kanalleckagen (ins Grundwasser).
- Mischwassereinleitungen mit hoher organischer Belastung aus Regenüberlaufbecken in Gewässer..
- Eintrag aus landwirtschaftlichen Flächen in Gewässer und Grundwasser (Gülle; Dünger).

Das Brunnenbassin Nieder-Ingelheim hatte am 05.07.2010 einen biochemischen Sauerstoffbedarf von BSB₅ = 2 mg O₂/l in der filtrierten als auch in der unfiltrierten Probe. Wie bei der Mehrzahl der übrigen Parameter, die im Rahmen dieses Gutachtens gemessen wurden, liegt der BSB₅-Wert dieses ersten Messtages im Bereich der guten Gewässergüteklasse 2. Für den zweiten Messtag am 27.08.10 ist dagegen ein sprunghafter Anstieg des BSB₅ auf 28 mg O₂/l zu verzeichnen. Diese Beobachtung deckt sich ebenfalls mit den Befunden der übrigen Messparameter und bestärkt die Vermutung, dass es im Laufe fortschreitender Wasserstandzeiten im Brunnenbassin zu einer Nährstoffaufkonzentrierung kommt, die letztlich eine Eutrophierung in Gang setzt. Dabei entwickelt sich, dass für die zunehmende Trübung maßgebliche Phytoplankton und wird bezüglich des hier gemessenen BSB₅ [mg O₂/l] zu einer sauerstoffzehrenden Sekundärbelastung, indem seine absterbende, mikrobiologisch leicht abbaubare Biomasse den Biochemischen Sauerstoffverbrauch erhöht.



Tab. 3-9: Biochemischer Sauerstoffbedarf - Brunnenbassin Nieder-Ingelheim

D a t u m	Labor	BSB ₅ unfiltriert	BSB ₅ filtriert	BSB ₅ GK1	BSB ₅ GK2	BSB ₅ GK5	BSB ₅ -ÜwW KA-Abl	BSB/CSB 0,5 = gut biol. abbaubar
		[mg / l]	[mg / l]	[mg / l]	[mg / l]	[mg / l]	[mg / l]	
05.07.2010	HSRM	2,00	2,00	< 1,0	1,1-3,0	> 10	20,00	0,25
27.08.2010	HSRM	28,00	13,00	< 1,0	1,1-3,0	> 10	20,00	0,47

Die BSB₅ – Werte für das deutlich trübe Probenwasser des 27.08.10 erfüllen, zum Vergleich, nicht mehr die Anforderungen für die Gewässergüteklasse 2 und liegen sowohl für die filtrierte, als auch die unfiltrierte Probe deutlich im Bereich der schlechten Gewässergüte 5. Der BSB₅-Unterschied zwischen filtriert und unfiltriert innerhalb des 2. Messtages (27.8.10) lässt erkennen, dass die partikulären und vor allem in Lösung oder Teillösung übergegangenen Fraktionen des Phytoplankton einen wesentlichen Teil der Sauerstoffzehrung ausmachen. Untermuert wird diese Beobachtung, wenn man die Verhältnisse BSB₅ zu CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) der beiden Messtage miteinander vergleicht: Eine gute biologische Abbaubarkeit ist gegeben, wenn das Verhältnis BSB₅/CSB etwa den Wert 0,5 einnimmt. Während das Verhältnis BSB₅/CSB am 5.7.2010 mit 0,25 zeigt, dass zu diesem Zeitpunkt wenig leicht abbaubare Organik vorhanden war, lässt das BSB₅/CSB-Verhältnis am 27.8.10 mit 0,5, schlussfolgern, dass die hinzugekommene organische Belastung, vor allem als für Mikroorganismen leicht abbaubare Substanz hinzu gekommen ist. Dieser Charakteristik entspricht das Phytoplankton. Hinzu kommen natürlich ähnliche gut abbaubare Kohlenstoffquellen wie sie über die vorstehend genannten Eintragswege in das System gelangen können.

3.8.2 Chemischer Sauerstoffbedarf CSB

Der Chemische Sauerstoffbedarf dient insbesondere als Summenparameter zur Quantifizierung der Belastung von Abwasser mit organischen Stoffen. Er erfasst zum einen mit den biologisch abbaubaren Stoffen, jene organischen Stoffe, die auch bei der BSB₅-Bestimmung erfasst werden. Zum zweiten erfasst er aber auch alle organischen Stoffe die biologisch nicht oder nur schwer abbaubar sind. Je nach chemischer Zusammensetzung können bei der CSB-Analyse auch geringe Mengen anorganische Stoffe oxidiert und damit erfasst werden. Beim vorstehend beschriebenen biochemischen Sauerstoffbedarf BSB₅ [mg O₂/l] werden also nur die leicht abbaubaren organischen Verbindungen erfasst, während beim chemischen Sauerstoffbedarf neben diesen leicht abbaubaren organischen Verbindungen, auch die schwer oder nicht abbaubaren organischen Verbindungen erfasst werden. Weil im CSB also auch immer der –Anteil enthalten ist, liegt der CSB einer Probe immer höher als der biochemische Sauerstoffbedarf BSB₅ [mg O₂/l] der gleichen Probe.

Im häuslichen Abwasser ist die CSB-Konzentration mit 500-600 mg CSB pro Liter Abwasser, erfahrungsgemäß etwa doppelt so hoch wie der BSB₅-Konzentration 250-300 mg BSB₅ pro Liter Abwasser.

Tab. 3-10: Chemischer Sauerstoffbedarf - Brunnenbassin Nieder-Ingelheim

D a t u m	Labor	CSB Unfiltriert Probe	CSB Filtriert Probe	CSB GK1	CSB GK2	CSB GK5	CSB-ÜwW KA-Abl	BSB/CSB 0,5 = gut biol. abbaubar
		[mg / l]	[mg / l]	[mg / l]	[mg / l]	[mg / l]	[mg / l]	
05.07.2010	HSRM	8,00	7,00	< 3,0	3-15	> 100	100,00	0,25
27.08.2010	HSRM	60,00	35,00	< 3,0	3-15	> 100	100,00	0,47



Ökologische Bedeutung:

- Sauerstoffverhältnisse** : Der vom CSB [mg O₂/l] erfasste Sauerstoffverbrauch, lässt bei niedrigem Befund zwar Rückschlüsse auf gute bzw. bei hohem Befund auf schlechte Sauerstoffverhältnisse in einem Fließgewässer zu, da sein Sauerstoffverbrauch aber durchaus auch zum Großteil aus der chemischen Oxidation von schwer oder nicht biologisch abbaubaren organischen Verbindungen bestehen kann, kann ein hoher CSB vielmehr ein Hinweis auf eine Belastung durch Industrieabwässer sein. Diese führen auf Grund ihrer schweren Abbaubarkeit (Oxidation) nicht zwangsläufig zu einem unmittelbaren Sauerstoffdefizit im Wasser, sind aber in aller Regel an Substanzen gebunden die toxisch auf Gewässerorganismen wirken.
- Eingeschränkte Wassernutzung** (Grund-/Trinkwasser) bei erhöhtem CSB [mg O₂/l].

Die Ursachen hoher biochemischer Sauerstoffzehrung BSB₅ [mg O₂/l]:

- Illegale Abwassereinleitung/Versickerungen – Industrieabwasser, Chemietoiletten (Camping, Boot etc.)
- Unzureichend biologisch gereinigtes Abwasser aus Kommunalen Kläranlagen (in Gewässer)
- Abwasser-/Mischwasser-Kanalleckagen (ins Grundwasser).
- Mischwassereinleitungen mit hoher organischer Belastung aus Regenüberlaufbecken in Gewässer..
- Eintrag aus landwirtschaftlichen Flächen in Gewässer und Grundwasser (Gülle; Dünger).

Das Brunnenbassin Nieder-Ingelheim hatte am 05.07.2010 einen chemischen Sauerstoffbedarf von CSB = 7 mg O₂/l in der filtrierten sowie CSB = 8 mg O₂/l in der unfiltrierten Probe. In Analogie zur BSB₅-Messung, liegen beide CSB-Werte des ersten Messtages auf dem guten Niveau der Gewässergüteklasse 2 (vgl. Tabelle „Chemischer Sauerstoffbedarf“). Wie bei der BSB₅-Messung, so ist für den zweiten Messtag am 27.08.10 ein sprunghafter Anstieg des Sauerstoffverbrauches und damit der im wasserenthaltenden organischen Substanz auf CSB = 60 mg O₂/l für die unfiltrierte und CSB = 35 mg O₂/l für die filtrierte Probe festzustellen.

Ein weiteres Indiz dafür, dass das Brunnenbassin über keine kurzzeitigen Wasserwechsel infolge nürlicher Zu- und Ablaufvorgänge verfügt und somit das Verhältnis zwischen Ein- und Austrag, Ab- und Aufbau von Biomasse, Organik, Nährstoffen zugunsten der Einträge (Nährstofffälle) und Aufbauvorgänge (Phytoplankton) verschoben ist.

Ferner fällt auf, dass das BSB und CSB am 1. Messtag zwar sehr gering ausfallen, aber einen größeren Unterschied zueinander haben, als am 2. Messtag mit insgesamt weit höheren Konzentrationen für beide Parameter. So weist das BSB/CSB-Verhältnis von fast 0,5 am 27.08.10 darauf hin, dass die zusätzlich ins Wasser gelangte organische Substanz von guter biologischer Abbaubarkeit ist, d.h. auch, dass der Eintritt chemischer Abwässer sehr weitgehend ausgeschlossen werden kann.



3.9 Phosphat $\text{PO}_4\text{-P}$

Phosphat kommt, je nach pH-Wert des Wassers in verschiedenen Verbindungen, gelöst und partikulär in organischen und anorganischen Verbindungen vor. Natürlicherweise sollte Phosphat nur in Spuren in Gewässern vorhanden sein. Werden größere Phosphatkonzentrationen festgestellt, so handelt es sich in der Regel immer um anthropogene Phosphatquellen. Der als Ortho-Phosphat bezeichnete, im Wasser gelöste Phosphatanteil setzt die Eutrophierung unmittelbar in Gang und erhöht so die Chlorophyllkonzentration (Algenproduktion), was optisch mit ansteigend grünlicher Trübung einhergeht. Ein Vorgang, der auch beim **Brunnenbassin Nieder-Ingelheim** beobachtet wird. Da die sich dadurch stark entwickelnden Wasserpflanzen und Algen, den gelösten Ortho-Phosphor in ihre Biomasse einbauen, beim absterben aber wieder freisetzen, wurde für das untersuchte **Brunnenbassin Nieder-Ingelheim** auch der Gesamt-Phosphor (d.h. die Summe aus Partikel gebundenem Phosphor und im Wasser gelöst vorliegendem Ortho-Phosphor) analysiert.

Ökologische Bedeutung:

- Hauptfaktor für verstärktes Pflanzenwachstum - Eutrophierung:** Algenblüten und Verkrautung der Gewässer ist nur bei Anwesenheit von Phosphat möglich. Ohne Phosphat kommt es in der Regel nicht zu Eutrophierungserscheinungen, denn Phosphat ist „der“ **Minimum**faktor für das Pflanzenwachstum im Wasser und daher die **entscheidende Ursache für die Eutrophierung**. Auch im Meer fördern die über Flüsse eingetragenen Phosphatmengen die Algenproduktion, hier sind aber Stickstoffverbindungen (Nitrat-Stickstoff) der Minimumfaktor des Pflanzenwachstums.
- Sauerstoffzehrung:** Fördert Aufbau pflanzlicher Biomasse die nach dem absterben unter Sauerstoffzehrung durch Mikroorganismen abgebaut wird.
- Eingeschränkte Wassernutzung** (Grund-, Trinkwasser, Badegewässer) bei erhöhtem Phosphat.

Die Ursachen hoher Phosphatkonzentrationen [mg $\text{PO}_4\text{-P}$ /l]:

- Illegale Abwassereinleitung/Versickerungen. Die Phosphatbelastung stammt dabei vornehmlich aus den Fäkalanteil der Abwässer. Die Phosphatbelastung aus Waschmitteln ist durch den Einsatz von Ersatzstoffen stark zurück gegangen.
- Unzureichend biologisch gereinigtes Abwasser aus Kommunalen Kläranlagen (in Gewässer)
- Ab- und/oder Mischwasser-Kanalleckagen (ins Grundwasser).
- Mischwassereinleitungen mit hoher organischer Belastung aus Regenüberlaufbecken in Gewässer..
- Eintrag aus landwirtschaftlichen Flächen und oder privaten/kommunalen Pflanzflächen durch Versickerung, Bodenerosion, Abschwemmung von belasteten Oberflächen in Gewässer und ins Grundwasser (Gülle; Phosphat-Dünger).
- Niederschläge
- Industrieabwasser (Düngemittel- und Lebensmittelhersteller, chemische Industrie)



Das Brunnenbassin Nieder-Ingelheim...

...hatte am 05.07.2010 einen Gesamt-Phosphatgehalt (Summe aus gebunden und gelöstem Phosphat) von 0,05 mg PO₄-P/l und in rein gelöster Form eine Ortho-Phosphat-Konzentration von 0,04 mg PO₄-P/l (unfiltrierten Probe). Beide Werte liegen zu diesem Zeitpunkt zwar in der Gewässergüteklasse 2, dennoch reichen Werte ab 0,03 mg PO₄-P/l bereits aus, um eine Algenproduktion in Gang zu setzen, insbesondere dann, wenn weitere, eutrophiegunstige Faktoren (Licht, Wärme, weitere Nährstoffe, Nährstoffnachschieb, basischer pH-Wert, wenig Wasserbewegung u.a.) gleichzeitig vorliegen. Weiterhin zeigen die beiden Messwerte, dass bei keiner Messung Phosphor in Pflanzen- bzw. Partikel gebundener Form vorliegt und somit die P-Fracht als Ortho-Phosphat in bester Pflanzenverfügbarkeit im Wasser gelöst ist.

Der Gesamt-Phosphor der getrübten Probe vom 27.08.10 liegt mit 0,35 mg PO₄-P/l um das siebenfache höher als im relativ klaren Probewasser vom 05.07.10 und tendiert damit zur schlechten Gewässergüteklasse 5.

Das gelöste Ortho-Phosphat der gleichen Probe (27.08.10) liegt mit 0,05 mg PO₄-P/l um das siebenfache niedriger. Die optische Trübung dürfte damit vor allem durch Phytoplankton verursacht sein, das offensichtlich den weitaus größten P-Anteil dieses 2. Messtages, in der pflanzlichen Biomasse gebunden hat. Wenn der gelöste P-Anteil (Ortho-P) in dieser Phase durch weitere Einlagerung in Phytoplankton unter 0,030 mg PO₄-P/l absinkt, kann es zum Stillstand und Absterben der aktuellen Algenpopulation kommen. Allerdings ist zum Zeitpunkt der Analyse, das gelöste Ortho-Phosphat mit 0,05 mg PO₄-P/l noch ausreichend, um die Chlorophyll-Produktion aufrecht zu halten. Im Übrigen wird der, in den absterbenden Algen eingelagerte Phosphor nicht unschädlich ab- oder umgebaut, sondern am Gewässerboden gespeichert und im Laufe der Zeit, über mikrobiellen Abbau im Bodensediment, wieder frei gesetzt. Ohne Austrag der lebenden und/oder abgestorbenen Algen, z.B. über Schlammabsaugung bei Kleinteichen und offene Brunnenanlagen, Entkrautung von Seerealen und/oder Wasserwechsel in Brunnen und Aquarien, kann der Kreis mit dem freigesetzten Phosphor von neuem beginnen. Diesen Zyklus von aufkommenden und absterbenden Algen kann man, je nach Phosphoreintrag und eutrophiefreundlichen Randbedingungen, in vielen aquatischen Systemen mit Stillgewässercharakter (See, Teich, Schwimmteich, Brunnen, Aquarien) in mehr oder weniger ausgeprägter Form im Jahresverlauf beobachten. Bei Freigewässern sterben zum Winter hin Algen und Pflanzen ab, lagern im Bodensediment ab und sind bis zum Frühjahr durch Mikroorganismen soweit umgesetzt, dass eingelagertes Phosphat wieder in Lösung geht und die bei vielen Stillgewässern Jährlich zu beobachtende Frühjahrs-Algenblüte ermöglicht.

Tab. 3-11: Phosphatanalyse - Brunnenbassin Nieder-Ingelheim

D a t u m	L a b o r	PO₄-P Gesamt [mg / l]	PO₄-P Gelöst (ortho) [mg / l]	PO₄-P GK1 (ortho) [mg / l]	PO₄-P GK2 (ortho) [mg / l]	PO₄-P GK5 (ortho) [mg / l]
05.07.2010	HSRM	0,05	0,04	< 0,02	0,03 - 0,1	> 0,4
27.08.2010	HSRM	0,35	0,05	< 0,02	0,03 - 0,1	> 0,4



4 URSACHEN DER BRUNNENWASSERTRÜBUNG UND MAßNAHMEN

Das Wasser des historischen Brunnenbassins Nieder-Ingelheim erfährt ca. 5-10 Tage nach der Neubefüllung mit natürlich zuströmendem Klarwasser eine zunehmende Trübung.

Auf der Basis von nur zwei Messtagen, an denen der AN ausgewählte Parameter der Wasserqualität analysierte, zielte das vorliegende Gutachten in erster Linie darauf ab, mögliche Auslöser für die sukzessive fortschreitende Trübung zu erkunden oder enger einzugrenzen. Eine detaillierte Ursachenfindung, die nur das Ziel einer effektiven Problemlösung sein kann, war mit dem genannten Auftragsumfang nicht möglich. Dennoch geben die vom Verfasser vorstehend ermittelten Daten und Erkenntnisse Hinweise auf mögliche Ursachen denen in weiteren Untersuchungen nachgegangen werden sollte.

Die Prioritätenliste und Umsetzung möglicher Maßnahmen, sollte und wird sich an dem finanziellen und bautechnischen Aufwand und dem voraussichtlichen Nutzen der Maßnahme im Einvernehmen mit den Belangen eines archäologisch wertvollen Areals (Denkmalschutz) orientieren.

4.1 Eintritt von Oberflächenwasser und Niederschlagswasser

Niederschlag und mehr noch Oberflächenwasser ist heute Nährstoffkontaminiert und trägt damit zur Gewässereutrophierung bei. Je kleiner das Gewässer je größer der Belastungsbeitrag durch Regen- und Oberflächenwasser.

Das Brunnenbassin Nieder-Ingelheim war im Zeitraum seiner historisch-archäologisch belegten Nutzung so konstruiert, dass Regen- und Oberflächenwasser nicht in das Brunnbassin eindringen konnte. Der einzige Wassereintragsweg dürfte damit, das aus der 7 km langen Fernleitung zugeführte Wasser und in späteren Epochen, der natürliche Grundwasserzutritt über die Beckeneinfassung gewesen sein.

Heute ist das Brunnenareal besucherfreundlich umgestaltet, soweit dies der Kompromiss aus Denkmalschutz und Objekt-Präsentation zuließ. Durch diese „Öffnung“ für interessierte Besucher kann Niederschlag direkt und Oberflächenwasser über die angrenzenden, mehr oder weniger befestigten Flächen in das Brunnenbassin fließen.

Sowohl das Niederschlagswasser (Feinstaub, Luftverschmutzung, Pollen) als auch der Niederschlagsabfluss von den umliegenden Oberflächen, kann gelöste und partikulär mitgeführte Stoffe in das Bassin eintragen. Von besonderer Bedeutung sind dabei, die auf diesem Wege eingebrachten Nährstoffe in Form von Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Diese fördern u.a. das Algenwachstum im Bassinwasser, dass ursächlich für die nach 6-12 Tagen nach der Neufüllung eintretende Trübung verantwortlich ist.

4.1.1 Maßnahmen

- a. Feststellen der Regen-/Oberflächenwassereintrags-, menge, -wege, qualität: Ggf. Messen und Beobachten des Niederschlag-Abflussgeschehens bei Starkregen. Tritt Oberflächenwasser verstärkt über die Treppe, Mauer, Umfeld, Hauswände/Dächer zum Bassin ?



- b. **Überdachung:** Ist bei festgestelltem, starkem Regen-/Oberflächenwassereintrag Überdachungsaufwand und/oder Oberflächenabflusskorrektur zu rechtfertigen (Nutzen/Kosten) und mit dem Denkmalschutz vereinbar ?

4.2 Wasserstagnation

Die dem Verfasser vorliegende, ca. zweitägige Nachströmzeit, von der Leerphase bis zur vollständigen Neufüllung auf 35cm Höhe und einem dabei eingeströmten Wasservolumen von rd. 2.360 Liter, legt die Vermutung nahe, dass der theoretisch mögliche Wasseraustausch zwischen dem Bassinwasser und dem anstehenden Grundwasserleiter, offensichtlich relativ träge erfolgt. Damit liegen wahrscheinlich überwiegend stagnierende Wasserverhältnisse im Brunnenbassin vor, die der Charakteristik eines Stillgewässers entsprechend, als „Nährstoffalle“ fungieren.

4.2.1 Maßnahmen

- a. **Wasserwechsel :** Die Maßnahme „Wasserwechsel“ dürfte vergleichsweise einfach umzusetzen sein. Sie kann gute Erkenntnisse bringen, wenn Sie in Abstimmung mit einer Untersuchung (Monitoring) erfolgt, bei der neben Klimadaten (Jahreszeit), die Einstromzeiten, der Zeitpunkt des Einsetzens der Trübung (Beginn der Chrophyllproduktion) und die Nährstoffverhältnisse festgehalten und statistisch ausgewertet werden. Eine Stromversorgung ist ca. 30m vom Becken entfernt, mit einer Kabeltrommel gut zu erreichen. Auch ein Regenwassereinlauf für das abgepumpte Beckenwasser ist oberhalb des archäologischen Fensters vorhanden und kann mit einem entsprechenden Pumpenschlauch (ca. 10m) erreicht werden.
- b. **Zu- und Ablaufmengen:** Untersuchung zur Größenordnung der Zu- und Ablaufmenge sowie Untersuchung zur Aufenthaltszeit des eingeströmten Wassers sollten die Maßnahme „Wasserwechsel“ begleiten.



4.3 Nährstoffanreicherung

Wie im vorstehenden Kapitel „Hydraulische Wasserverhältnisse und Bassin-Nutzung“ bereits näher erläutert, ist nach der Neubefüllung eine langsam ansteigende Nährstoffakkumulation im Beckenwasser festzustellen. Die Gründe für diese Nährstoffakkumulation sind mit großer Wahrscheinlichkeit in der o.a. Wasserstagnation zu suchen, die kaum Nährstoffe oder sonstige Wasserbelastungen aus dem System transportiert und somit alle Nährstoffeinträge zum Großteil im Wasserkörper speichert (Nährstofffalle Stillgewässer). Haben die Nährstoffeinträge eine bestimmte Konzentration erreicht so setzt eine wassertrübende Eutrophierung in Form von Phytoplankton-/Algenproduktion ein.

4.3.1 Maßnahmen

Für die Umsetzung der Maßnahme ist ein Stromversorgung ca. 30m vom Becken entfernt, mit einer Kabeltrommel erreichbar.

- a. **Wasseraufbereitung biochemisch:** Zu weitgehend umweltverträglichen Wasserzusätzen oder Eingriffen in die Wasserchemie zählen natürliche Zeolite, Eichenrindeextrakt oder etwa UVC-Licht. Nach derzeitigem Sachstand ist auf Grund wasserrechtlicher Belange aber eine chemisch-biologische Wasseraufbereitung zur Nährstoffelimination wegen der Verbindung zum Grundwasserleiter und dem Status als archäologisch wertvolles, denkmalgeschütztes Objekt nicht gestattet. Als Teil einer Projektarbeit, wäre zu untersuchen ob es chemisch-biologische Wasseraufbereitungsverfahren/-Mittel gibt, die weder die historische Bausubstanz schädigen, noch gesundheitliche Risiken durch Grundwasserkontamination bergen. In der Folge wäre ein möglicher Einsatz mit den zuständigen Stellen abzuklären und wissenschaftlich zu begleiten.
- b. **Wasseraufbereitung physikalisch:** Als physikalische Wasseraufbereitungsmaßnahme wäre z.B. eine Filtration zu nennen. Die Filtration kann kontinuierlich über Installation einer Filtervorrichtung und diskontinuierlich durch regelmäßiges Absaugen des Wasservolumens und Rückführung des filtrierte Wassers über ein Filtersystem (Prinzip Schlamm-sauger – s. Abb. rechts) im Rahmen einer internen, kommunalen Wartung, eines externen Wartungsvertrages oder im Zuge eines wissenschaftlich begleiteten Monitorings (z.B. Kooperation mit der HSRM-Siedlungswasserwirtschaft) umgesetzt werden. Im Hinblick auf den Objektstatus ist auch hier, im Vorfeld dieser Maßnahme, Einvernehmen mit den zuständigen Behörden herzustellen.



Abb. 7: Mobiler Schlamm-sauger



4.4 Nährstoffkonzentration im Füll-/Nachströmwasser

Im Kapitel „Qualitative Wasserverhältnisse“ sind die Ergebnisse der Nährstoffanalysen aufgeführt, ihre ökologische Bedeutung wird beschrieben, grundsätzlich mögliche Ursachen ihres Vorkommens werden genannt und in Bezug zum Brunnenbassin Nieder-Ingelheim gestellt. Da es sich bei der Probe vom 05.07.10 um eine relativ frische Neufüllung handelt, dürften die zu dieser Probe gehörenden Analyseergebnisse, die Nährstoffbelastung des frisch zuströmenden Füllwassers sehr nahe kommen. Die Analyseergebnisse bescheinigen dem Füllwasser in etwa die Qualität der Gewässergüteklasse 2. Ein Wasser, das keine Trinkwasserqualität hat, aber die zweitbeste Güteklasse für Fließgewässer darstellt. Auffällig ist dabei der hohe Nitratgehalt, der sowohl den Grenzwert der Gewässergüteklasse 2, als auch den der Trinkwasserverordnung überschreitet (vgl. Kap. 3.7.3 Nitrat-Stickstoff $\text{NO}_3\text{-N}$). Diese, im Füllwasser vorhandene Nitrat bewirkt in Verbindung mit langsam ansteigendes Phosphat hauptsächlich, die einsetzten Algenproduktion und die damit einhergehende Trübung des Bassinwassers.

4.4.1 Maßnahmen

- a. **Grundwasserbeschaffenheit erkunden:** Um die Nitratquelle näher einzugrenzen müssten die Qualitätsdaten der regional vorkommenden Grundwässer erfragt und/oder erkundet werden. Soweit andere, öffentliche oder private Schöpfbrunnen im Umkreis des begutachteten Brunnenbassin Nieder-Ingelheim bekannt sind, sollte ein Vergleich der Wasserqualität erfolgen.
- b. **Monitoring:** Auch die übrigen Nährstoffe sollten mit dem regionalen Grund- und Brunnenwasser verglichen werden um so festzustellen, ob es sich bei den hier analysierten Belastungskonzentrationen um „Normal“-Werte handelt. Bei starken Abweichungen wäre das weitere Augenmerk auf punktuelle oder diffuse Nährstoffquellen zu legen, die in unmittelbarer Umgebung des Bassin zu suchen sind. Ein Monitoring zu den physikalische, chemischen, biologischen Parameter und eine daraus resultierende Ganglinienbewertung könnten hilfreich sein.