

Forschungskolloquium
Gefährdungspotenzial von Abwasser aus undichten Kanälen für
Boden und Grundwasser II
Karlsruhe, 01. – 02.12.2003

Teilprojekt A1. Erfassung der dynamischen Prozesse des Wasser- und Stofftransportes im Umfeld von Kanalleckagen

Abstract

Fuchs, S., Hahn, H.H., Roddewig, J., Schwarz, M. & Turkovic, R.
Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe (TH)

Das Institut für Siedlungswasserwirtschaft verfolgt in der DFG-Forscherguppe „Gefährdungspotenzial von Abwasser aus undichten Kanälen für Boden und Grundwasser“ verschiedene Ziele. Im Umfeld von Leckagen der öffentlichen Kanalisation sollen die relevanten Teilprozesse des Stofftransportes und der Stoffumsetzung im abwasserdurchsickerten ungesättigten Boden entschlüsselt werden. Insbesondere die Abfolge von aeroben und anaeroben Umsetzungsprozessen, sowie deren räumliche und zeitliche Ausdehnung, stehen dabei im Mittelpunkt der Arbeiten. Unter Variation der Randbedingungen, z.B. stoffliche Belastung, Korngrößenverteilung der Bodensubstrate u.a. werden die erreichbaren Stoffrückhalte in Bodenkörpern untersucht. Einen weiteren Schwerpunkt der Arbeit bildet die Untersuchung von Kolmationsprozessen in Bodenkörpern infolge des Eintrags partikulärer Substanz und des mikrobiellen Wachstums. Für die Erstellung eines Exfiltrationsmodells (TP A4, A5), sind die Fragen nach dem Ausmaß der Selbstdichtung und deren Stabilität bei wechselnden Umweltbedingungen zu klären.

Zur Bearbeitung der aus den angesprochenen Zielen resultierenden Aufgaben werden Experimente in verschiedenen Untersuchungsmaßstäben durchgeführt. Das Institut betreibt Kleinsäulen (9 x 50 cm), die höchste Variabilität bei der Versuchsdurchführung erlauben. Anhand dieser Säulen wird insbesondere der Frage nach physikalischen bzw. biologischen Ursachen der Kolmation und deren Wechselwirkung nachgegangen. In Großsäulen (20 x

100 cm) wird der Einfluss verschiedener Bodensubstrate auf den Stoffrückhalt bei variabler Belastung untersucht. Diese Säulen sind aufwändiger in der Handhabung, stellen aber einen ersten Schritt zur möglichst realitätsnahen Abbildung von Teilprozessen dar. Ein Großversuchsstand (B 150 x L 300 x H 150 cm), der gemeinsam mit den Projektpartnern betrieben wird, stellt für alle experimentell arbeitenden Gruppen die „Realität“ dar und dient vor allem der Überprüfung der im Labormaßstab gewonnenen Befunde. Daneben wurde vom Teilprojekt A5 ein Testfeld in der Stadt Rastatt aufgebaut.

In allen Versuchsanlagen werden Bilanzierungen zur Ermittlung der Stoffrückhalte in der ungesättigten Bodenzone durchgeführt. Dabei zeigt sich in Abhängigkeit von den Randbedingungen ein extrem breites Spektrum der erreichbaren Rückhalte. Für die untersuchten Parameter DOC und $\text{NH}_4\text{-N}$ schwanken die Werte zwischen 30 und 73 % bzw. zwischen 0 und 99 %. Als wesentliche Kontrollgrößen des Stoffrückhaltes haben sich die Korngrößenverteilung des Bodensubstrates, die Höhe der stofflichen Belastung und damit die Art der mikrobiellen Umsetzungen sowie die Länge der Filterstrecke erwiesen. Es gilt, dass mit gröber werdendem Bodensubstrat, steigender Belastung und geringerem Abstand des Grundwassers zur Leckage die Reinigungsleistungen sehr stark abnehmen. Die Kombination von ungünstigen Randbedingungen kann zum nahezu völligen Ausbleiben des Stoffrückhaltes in der ungesättigten Zone führen.

Ausschlaggebend für die aus Leckagen resultierenden Boden- und Grundwasserbelastungen ist neben der Reinigungsleistung des Bodens der Umfang und die Stabilität der sich einstellenden Selbstdichtung (Kolmation). Zwei Ursachen, der Eintrag von mineralischer partikulärer Substanz sowie die Anreicherung von Biomasse im durchsickerten Bodenkörper, sind verantwortlich für diesen Prozess. Durch die Bestimmung von Nukleinsäuren als Maß für die Bildung von Biomasse (DNA) und deren Aktivität (RNA), konnte der Beitrag der Mikroorganismen quantifiziert werden. Für ein gegebenes, über seine Körnungskurve definiertes, Bodensubstrat kann eine enge Beziehung zwischen der aufgewachsenen Biomasse und der Reduktion der hydraulischen Leitfähigkeit aufgestellt werden. Diese Beziehung ist ein wesentlicher Parameter für das durch die Teilprojekte A4 und A5 zu erstellende Exfiltrationsmodell.

Die Nukleinsäureuntersuchungen erlauben darüber hinaus quantitative Aussagen bezüglich der Zonen mit relevanter Umsatzleistung. So zeigen Vertikalprofile in den Versuchssäulen und im Großversuchsstand, dass in den oberen Bereichen (0-15 cm) der abwasserbeaufschlagten Bodenkörper die höchsten Biomassekonzentrationen und auch die höchste mikrobielle Aktivität auftritt. Trotz dieses Befundes kann, wie schon aufgezeigt, nur bei ausreichend langer Filterstrecke (vgl. Teilprojekt A2) ein bedeutender Stoffrückhalt erreicht werden. Die Ursache hierfür ist in dem Zusammenwirken und der zeitlichen Abfolge von Adsorptionsprozessen und mikrobiellen Umsetzungen zu sehen. Sind die „Sorptionsreserven“ bei zu hoher Belastung resp. bei zu geringem Umfang von Sorptionsplätzen erschöpft, kann trotz leistungsfähiger Mikrobiologie keine effektive Reinigung erfolgen.

Aktuelle Auswertungen der Nukleinsäureanalysen weisen daraufhin, dass das Verhältnis von RNA zu DNA als Maßzahl für die spezifische Aktivität einer gegebenen Population von Mikroorganismen herangezogen werden kann, um Aussagen bezüglich des vorherrschenden Auftretens von aeroben bzw. anaeroben Umsetzungsprozessen zu treffen.

In den aerob betriebenen Versuchssäulen, wie auch im Großversuchsstand, zeigt sich, dass diese Maßzahl immer ≤ 1 ist. Beim Wechsel zum anaeroben Betrieb steigt sie dagegen auf Werte zwischen 2 und 5. Weitere Untersuchungen unter Berücksichtigung der kleinräumig auftretenden Sauerstoffgradienten im Bodenkörper sollen die allgemeingültige Verwendbarkeit des RNA/DNA-Verhältnisses zur Identifikation von Zonen mit aeroben oder anaeroben Milieubedingungen klären. Sollte dies zum Erfolg führen, stünde für die zu erstellenden Stofftransport- und Umsatzmodelle ein bisher nicht verfügbarer Eingangs- und Kontrollparameter zur Verfügung. Experimentell könnte der Nachweis geführt werden in welchen Zonen die Modelle aerobe bzw. anaerobe Prozesse abbilden müssen.

Die weiteren Arbeiten werden sich auf eine Verdichtung der heute zur Verfügung stehenden Datenbasis, auf die weitere Differenzierung der physikalischen und biologischen Kolmationsursachen sowie auf die Ausweitung des Untersuchungsmaßstabes auf das Testfeld in Rastatt konzentrieren.

Gefährdungspotenzial von Abwasser aus undichten Kanälen für Boden und Grundwasser II

Teilprojekt A1: Erfassung der dynamischen Prozesse des Wasser- und Stofftransportes im Umfeld von Kanalleckagen

Biologische Kolmation im Umfeld von Kanalleckagen

S. Fuchs, H. H. Hahn, J. Roddewig, M. Schwarz & R. Turkovic



Universität Karlsruhe (TH)
DFG-Forscherguppe

Institut für
Siedlungswasserwirtschaft



Ziele und Untersuchungsmaßstäbe

- Erfassung und Quantifizierung relevanter Teilprozesse bei der Infiltration von Abwasser in die Bodenmatrix
- Bilanzierung der Wasser- und Stoffströme aus Kanalisationen
- Ermittlung der Bedeutung des Biomassenwachstums in Bezug auf die Selbstdichtung von abwasserdurchströmten Bodenkörpern

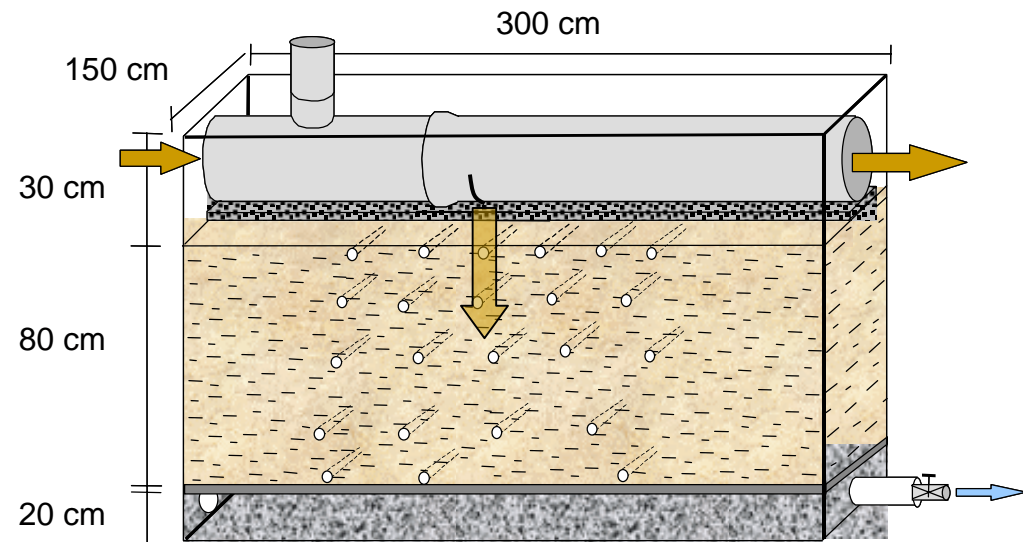
„Klein“-säulen



„Groß“-säulen



Großversuchsstand



Ergebnisse der Bilanzierung

	Kleinsäulen aerober Betrieb		Großsäulen anaerober Betrieb		Großversuchsstand aerober Betrieb
	gS	mS	mS		mS
Filtersubstrat					
Inputmenge	690 mm/d		235 mm/d	470 mm/d	2,6 mm/d
Input: NH ₄ -N	38 mg/L		54 mg/L		30 mg/L
Input: DOC	64 mg/L		132 mg/L		75 mg/L
Rückhalt NH ₄ -N	20%	52 %	8 %	0 %	99 %
Rückhalt DOC	35%	68 %	42 %	30%	73%

Breites Spektrum der erreichbaren Rückhalte bezüglich gelöster Abwasserinhaltsstoffe in Abhängigkeit von:

- dominanter Korngröße** → **Aufenthaltszeit, Gleichmäßigkeit der Durchströmung**
- stofflicher Last** → **Sorptionskapazität, Art der mikrobiellen Umsetzung**
- Länge der Filterstrecke** → **Pufferkapazität im Sinne von Sorptionsreserven**

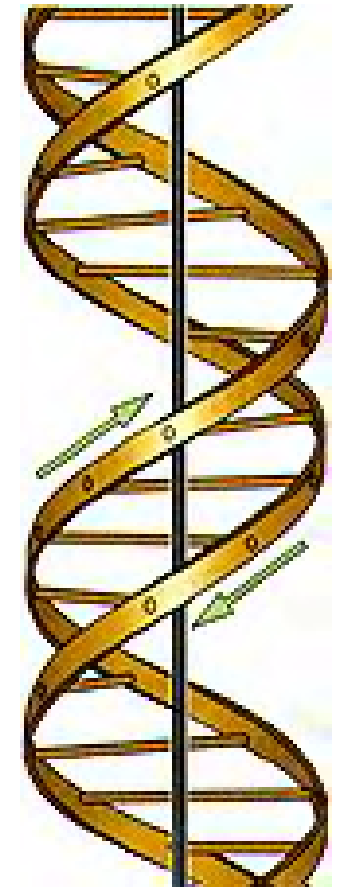


Nukleinsäuren als Maß für Biomasse und Bioaktivität

DNA: Summenparameter für die Biomasse

RNAs: Summenparameter für die absolute Bioaktivität

RNA/DNA: Summenparameter für die spezifische Bioaktivität

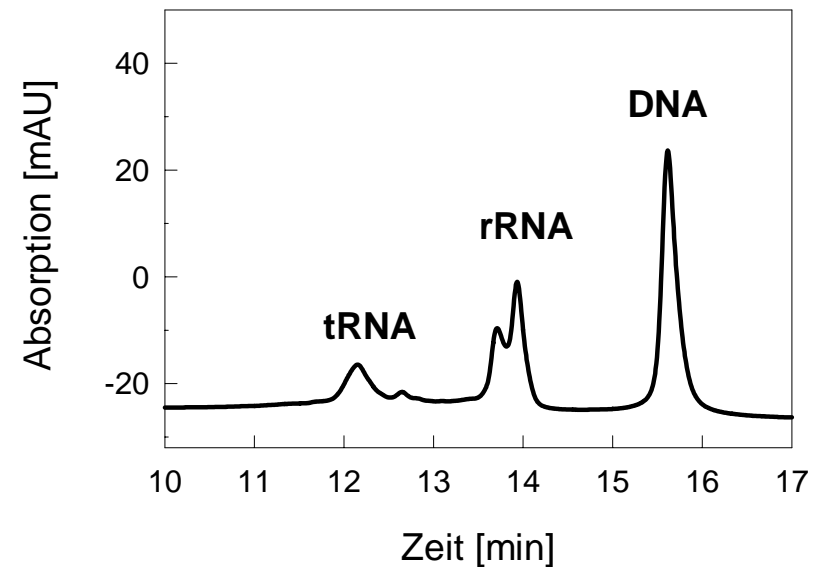
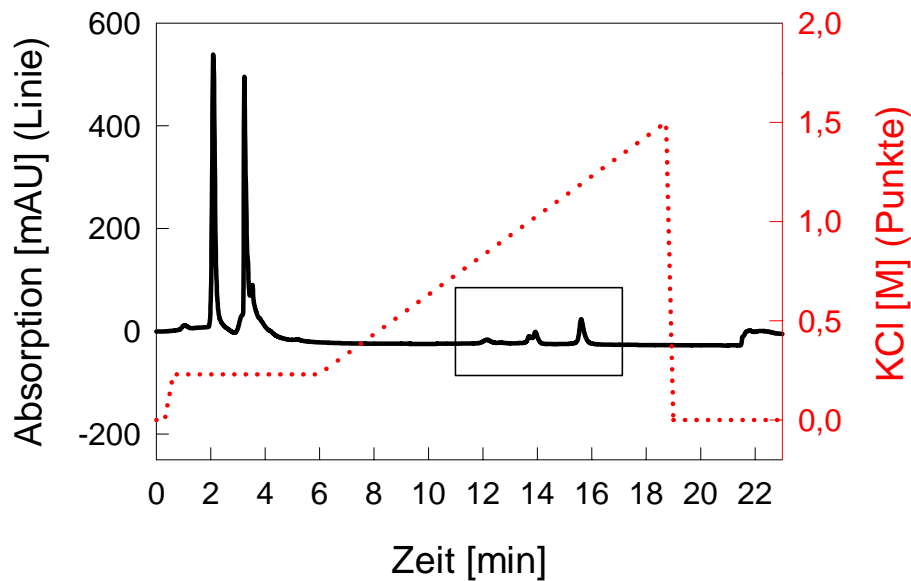


Nukleinsäurenextraktion aus abwasserdurchsickerten Bodenkörpern
(nach Schwarz 2001)

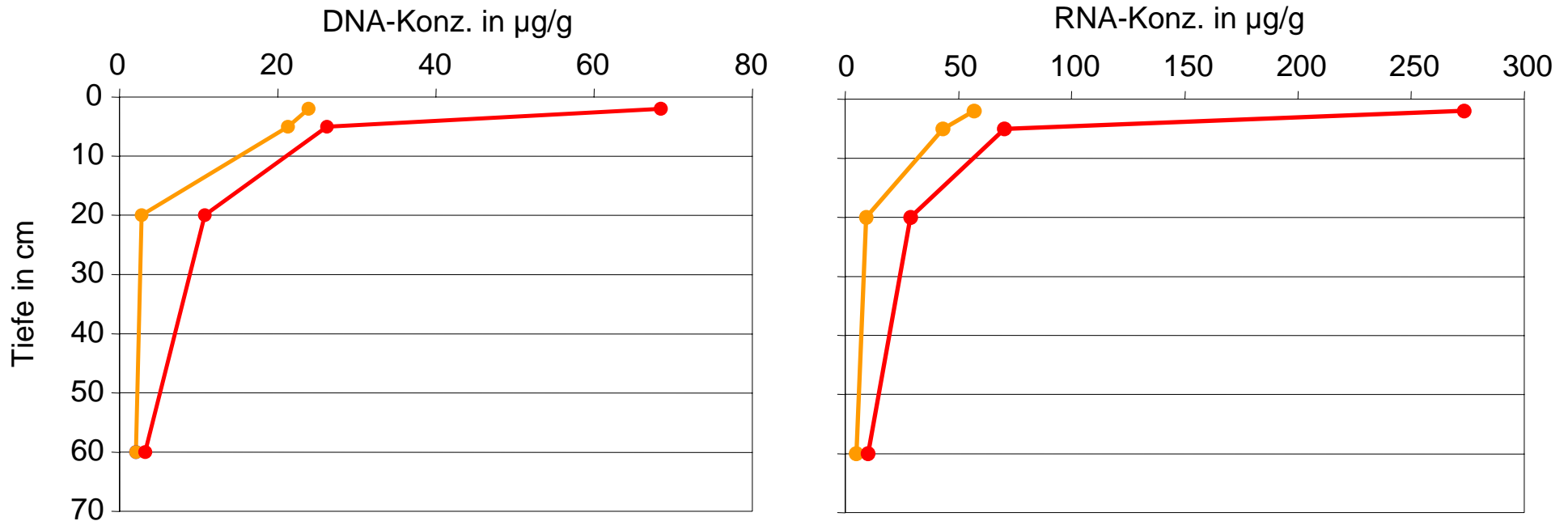


Extraktion von Nukleinsäuren aus der Bodenmatrix

- Probenahme mit flüssigem Stickstoff
- Aufarbeitung unter RNase-freien Bedingungen
- Extraktion mit Tris-HCl-Lysispuffer und Ultraschall-desintegration
- Quantifizierung mit Anionenaustauschchromatographie (HPLC)



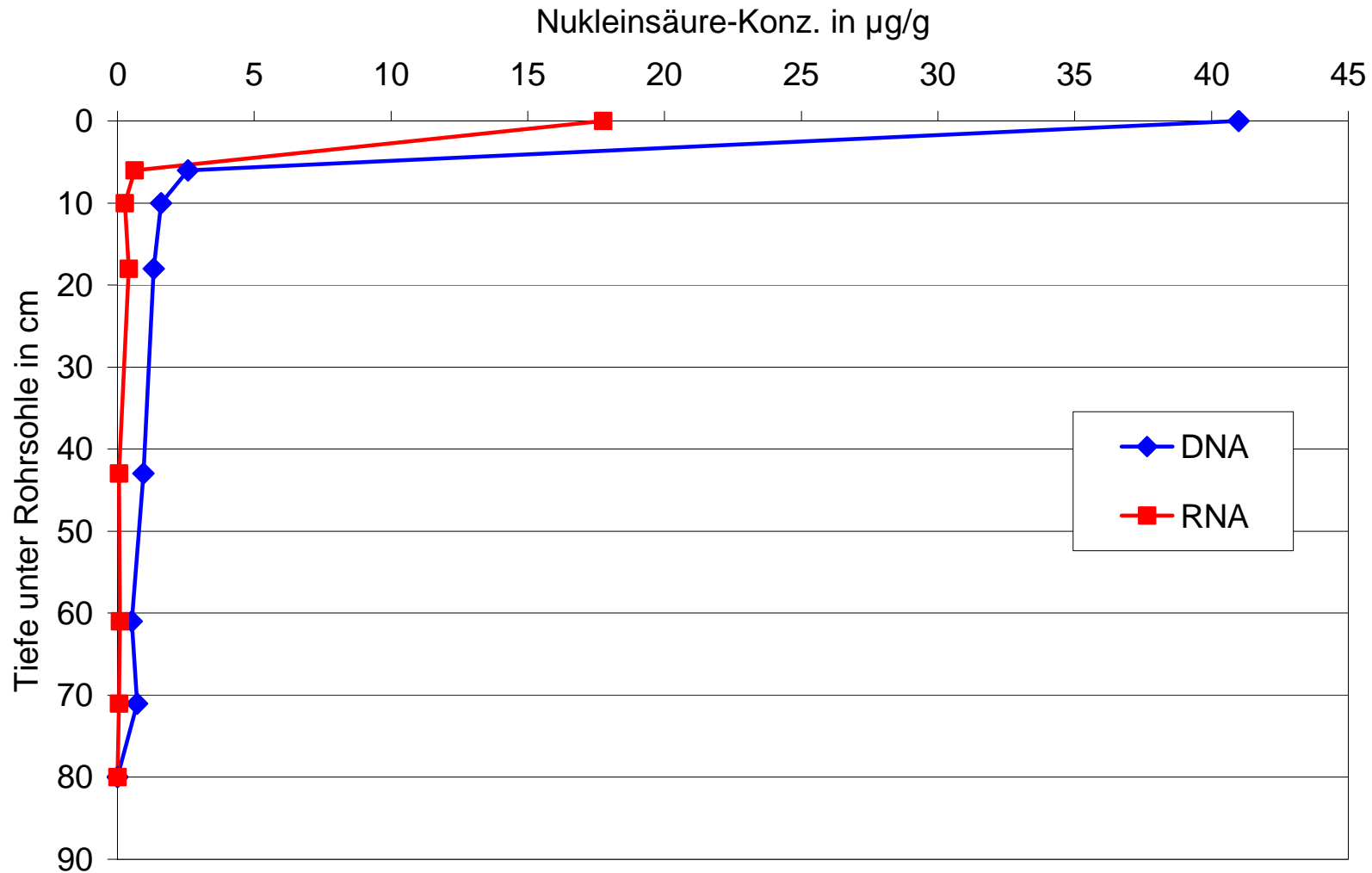
Nukleinsäure/Biomassenverteilung in Großsäulen



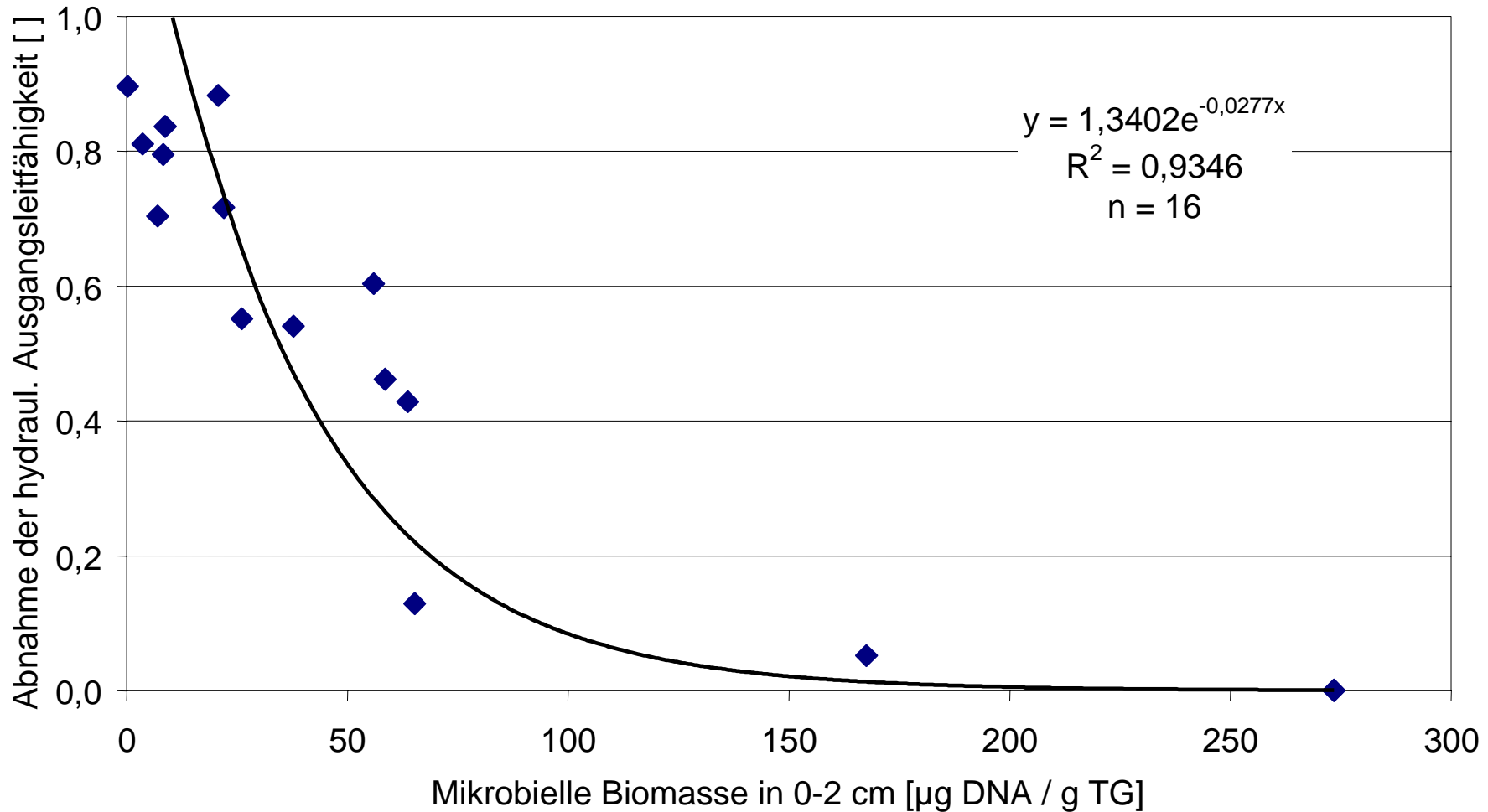
—●— Säule 3 (mS, 8 L/d) —●— Säule 4 (mS, 16 L/d)



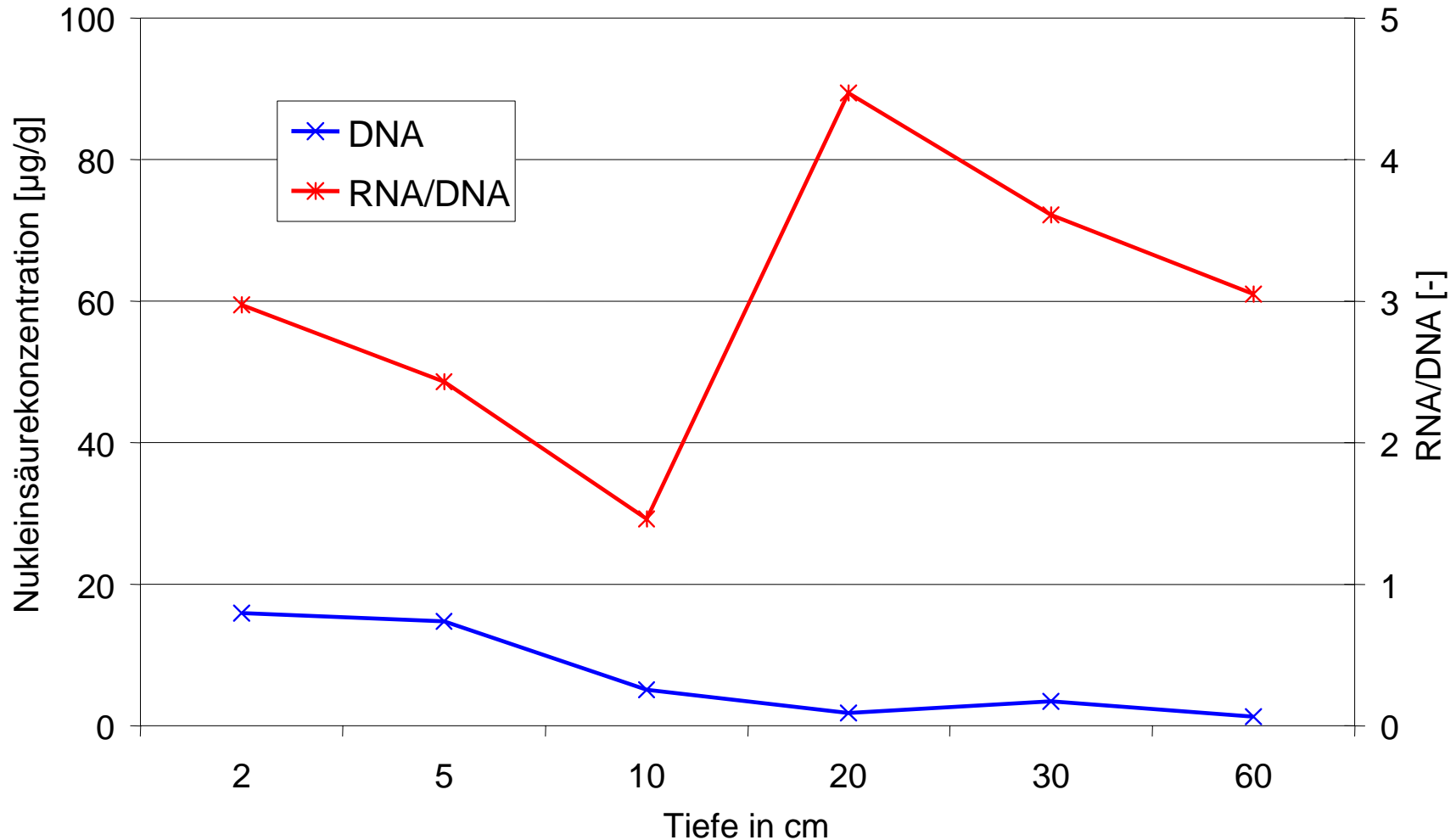
Nukleinsäure/Biomassenverteilung im Großversuchsstand



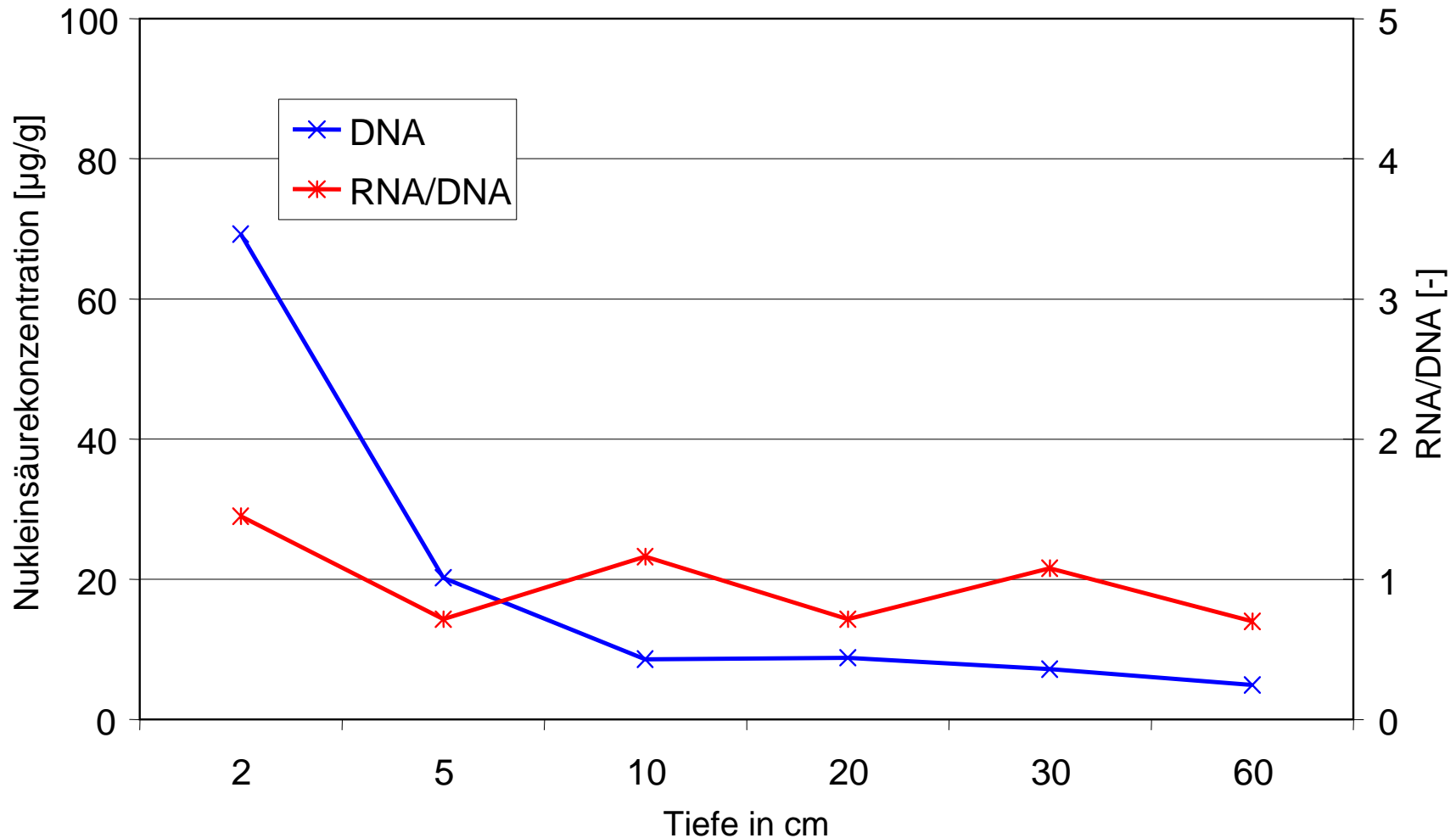
Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeit versus DNA_{\max}



RNA/DNA-Verhältnis als Indikator für vorherrschendes Reaktionsmilieu – A) anaerober Betrieb



RNA/DNA-Verhältnis als Indikator für vorherrschendes Reaktionsmilieu – B) aerober Betrieb



RNA/DNA-Verhältnis als Indikator für die Art der Stoffumsetzungen

Unter aeroben Bedingungen gewinnt ein Organismus max. 38 mol ATP / mol Glucose

hoher Ertragskoeffizient



RNA/DNA: Werte unter 1,0: viele Organismen sind wenig aktiv

Unter anaeroben Bedingungen gewinnen mehrere Organismen einer Nahrungskette ca. 3 -6 mol ATP / mol Glucose

geringer Ertragskoeffizient



RNA/DNA: Werte etwa 2,0 – 5,0: wenige Organismen sind hoch aktiv

Außerdem wird RNA/DNA von der Wachstumsphase der Population beeinflusst



Zusammenfassung / Ausblick

- Der Rückhalt von abbaubarer, gelöster organischer Substanz zeigt abhängig von den Milieubedingungen ein weites Wertespektrum. Im Sinne einer Modellbildung sind die wesentlichen Einflussgrößen quantifiziert.
- Mikrobielle Biomasse (DNA) korreliert sehr gut mit dem Rückgang der hydraulischen Leitfähigkeit.
- Anhand der Biomassenverteilung kann ein Kolmationsmodell zur Beschreibung der biologischen Kolmationsursachen erstellt werden.
- RNA/DNA-Verhältnis der Mikroorganismenpopulation gibt Aufschluss über die dominanten Reaktionsbedingungen im Untergrund und ist damit eine wesentliche Eingangs-/Kontrollgröße des Stoffumsatzmodells.
- Verdichtung der Datenbasis zur Beschreibung der Transport und Rückhalteprozesse.
- Wechselwirkungen zwischen physikalischen und biologischen Ursachen der Kolmation.
- Übertragung der Labormethoden auf die Freilanduntersuchungen in Rastatt.



Differenzierte Betrachtung des Kolmationsverhaltens abwasserbeschickter Sandsäulen

Robertino Turković, Stephan Fuchs, Hermann H. Hahn

Einführung

Der Rückgang der hydraulischen Leitfähigkeit in abwasserbeschickten Sandsäulen ist auf die zeitlich zunehmende Porenraumverringering, die sogenannte Kolmation zurückzuführen.

Zwei Ursachen spielen hierbei eine entscheidende Rolle: Die Porenraumverengung durch zurückgehaltene Partikel (physikalische Kolmation), sowie die Porenraumverengung durch aufwachsende Biomasse (biologische Kolmation).

Beide Formen der Kolmation treten nebeneinander auf, ihr Anteil an der gesamten Porenraumverringering variiert aber in Abhängigkeit folgender Parameter: Korngrößenverteilung des Substrats, Partikelfracht und Nährstoffkonzentration sowie Menge des eingesetzten Abwassers.

Anhand der unterschiedlich starken Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeiten bei veränderten Parametern, konnte deren Bedeutung abgeschätzt werden.

Versuchsaufbau

In insgesamt acht Versuchssäulen aus Plexiglas, mit jeweils einer Querschnittsfläche von 65 cm² wurde eine 43 cm hohe Sandfüllung eingebracht. Als Unterlage für den Sandkörper diente eine 3 cm mächtige Stützschiebt aus Feinkies (Bild 1). Der Sand in den ersten vier Säulen setzte sich vorwiegend aus Grobsand, der in den restlichen vier Säulen vorwiegend aus Mittelsand zusammen.

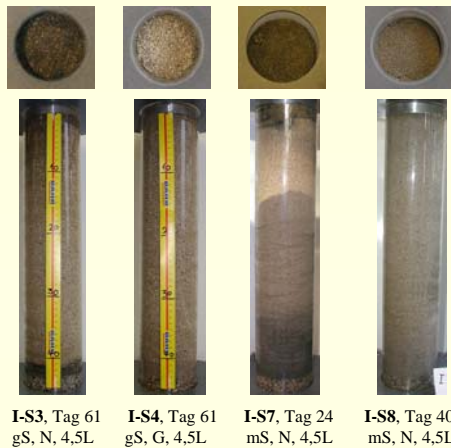


Bild 1 Säulen am Tag des Ausbaus

Die Säulen sind täglich (mit Ausnahme der Wochenenden) mit 4,5 L (690 mm Wassersäule) bzw. 2,5 L (380 mm Wassersäule) zweier unterschiedlicher Abwässer schwallartig beaufschlagt worden. Dabei handelte es sich zum einen um Abwasser aus dem Zulauf der KA Karlsruhe-Neureut, zum anderen um ein künstlich hergestelltes Abwasser auf Glucose-Basis.

	„G“ auf Glucose-Basis	N ^{II} Kläranlage Neureut
CSB _{gesamt}	240 - 275	300 - 451
CSB _{gelöst}	179 - 250	100 - 246
NH ₄ -N	9,6 - 11,6	33 - 65
AFS	17 - 41	92 - 167

Tabelle 1 Chem. Daten Abwässer

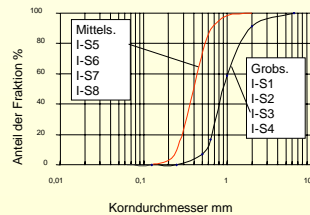


Bild 2 Korngrößenverteilung Säulensande

Bei jeder Beaufschlagung wurden die Durchlaufzeiten ermittelt. In wöchentlichen Abständen sind die Abwässer und Säulenabläufe unter anderem auf folgende chemische Parameter untersucht worden: CSB, NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, AFS.

Zusätzlich wurde in Säule I-S7 die vertikale Biomassekonzentration und -aktivität anhand DNA und RNA-Detektion mittels HPLC (Methode Schwarz) bestimmt.

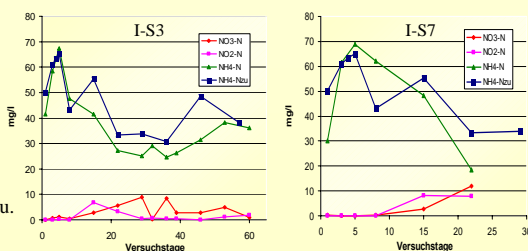


Bild 3 Vergleich der Stickstoffparameter bei Säule I-S3 (gS, N, 4,5L) u. I-S7 (mS, N, 4,5L)

Hydraulische Leitfähigkeit

Die stärkste Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeit erfährt die Säule I-S7 (mS, N, 4,5 L) mit bis zu 80% Abnahme in den ersten Tagen, hin zur Totkolmation am 24. Versuchstag. Hierbei spielt die eingebrachte Partikelfracht eine dominante Rolle, da bei der mit geringer Partikelfracht belasteten Säule I-S8 die hydraulische Leitfähigkeit im gleichen Zeitraum nur um ca. 50% abnahm.

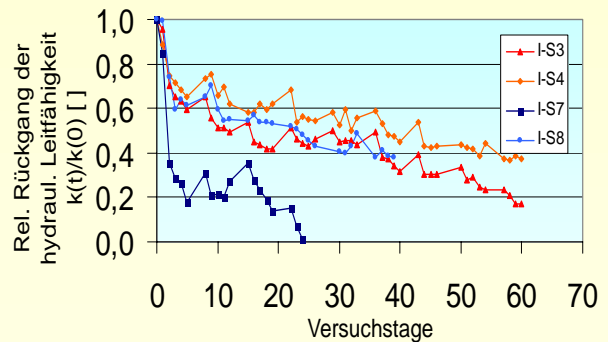


Bild 4 Abnahme der hydr. Leitfähigkeit für Säulen mit 4,5L Beaufschlagung

Charakteristisch ist die zunehmende Leitfähigkeit nach den Beaufschlagungspausen am Wochenende. Da dieses Phänomen bei allen Säulen gleichermaßen auftritt, lässt das auf eine Verringerung der Biomasse aufgrund Trockenstress schließen.

DNA, RNA Analysen

Das Vertikalprofil der DNA Konzentrationen zeigt einen sprunghaften Anstieg der DNA Konzentration im obersten Zentimeter der Sandsäule. Hier findet somit auch die größte Biomasseakkumulation statt.

Auffallend ist auch die in diesem Bereich sehr hohe Konzentration an RNA, was auf eine hohe Bioaktivität zurückzuführen ist.

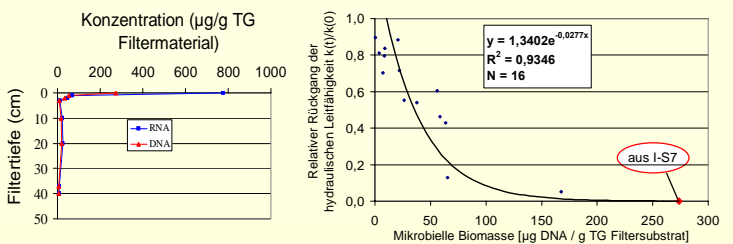


Bild 5 I-S7, vertikale Verteilung der DNA/RNA Konzentrationen

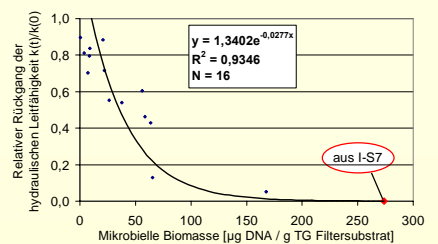


Bild 6 Einfluss der Biomasse auf die hydraul. Leitfähigkeit (nach Schwarz ergänzt)

Anhand der Korrelation der Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeit mit der maximal auftretenden Biomasse (ausgedrückt als maximale DNA-Konzentration), konnte die von Schwarz ermittelte Gesetzmäßigkeit für einen Filtersand ähnlicher Körnung bestätigt werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass die mit stark partikelhaltigem Abwasser beaufschlagten Säulen wesentlich schneller kolmatieren als die mit partikelarmen. Dabei sind die Unterschiede in den hydraulischen Leitfähigkeiten umso ausgeprägter je feiner das Filtersubstrat ist.

Andererseits fügt sich der Wert, der gemessenen maximalen Biomassekonzentration in Säule I-S7, nahtlos in die von Schwarz beobachtete Abhängigkeit zwischen Biomassekonzentration und Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeit ein.

Neben der Ermittlung einer ähnlichen Kurve für den gröberen Filtersand sollen zusätzliche Versuche mit Säulen, die mit Glucose-Abwasser und einer klar definierten Partikelfracht beaufschlagt werden für mehr Klarheit im Zusammenspiel von physikalischer und biologischer Kolmation sorgen.