



Verbundprojekt

## **Bewachsene Bodenfilter**

**Optimierung der Abflusssteuerung und  
weitestgehende Nitrifikation  
in der Verfahrenskombination  
Teichanlage/Bewachsener Bodenfilter**

AZ 14178-03

*Abschlussbericht*

**Februar 2002**

## Projektleitung

---



Institut für Siedlungswasserwirtschaft  
und Abfalltechnik der Universität Hannover

Welfengarten 1, 30167 Hannover

Email: [kunst@isah.uni-hannover.de](mailto:kunst@isah.uni-hannover.de)

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. phil.  
Sabine Kunst

Dipl.-Ing. Katrin Kayser

## Kooperationspartner

---



**F & N Umweltconsult**

F & N Umweltconsult GmbH  
Lister Meile 27

30161 Hannover

email: [info@funumweltconsult.de](mailto:info@funumweltconsult.de)

Dr.-Ing. Günter Fehr

Dipl.-Ing. Hinnerk Voermanek



Wasserverband Gifhorn  
Sonnenweg 1 b

38518 Gifhorn

Dipl.-Ing. C. Lampe

Dipl.-Ing. S. Lemmermann

Gefördert durch die



Deutsche Bundesstiftung Umwelt

**An der Bornau 2  
49090 Osnabrück**



---

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Ausgangssituation .....</b>	<b>3</b>
2.1	Abwasserbehandlung in unbelüfteten Teichkläranlagen und deren Bedeutung für das Einleitungsgewässer .....	3
2.2	Stickstoffumsatz in bewachsenen Bodenfiltern – Möglichkeiten der Kontrolle und Steuerung .....	7
2.3	Stand der Technik bei der Abflusssteuerung von Teichkläranlagen ....	12
2.4	Bewertung stickstoffbelasteter Gewässer .....	12
<b>3</b>	<b>Arbeitsschritte und Aufteilung der Arbeiten zwischen den Projektpartnern .....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Teich-Bodenfilteranlage “Ettenbüttel” .....</b>	<b>19</b>
4.1	Ausgangssituation in Ettenbüttel .....	19
4.2	Dimensionierung und Aufbau der Teiche und des Bodenfilters .....	19
4.2.1	Teichanlage .....	19
4.2.2	Bewachsener Bodenfilter .....	20
4.2.2.1	Allgemeines - Randbedingungen .....	20
4.2.2.2	Aufbau des Bodenfilters .....	21
4.3	Bau der Anlage .....	23
4.4	Betrieb der Teich-Bodenfilter-Anlage .....	24
4.5	Betrieb der Anlage aus Sicht des Betreibers .....	26
4.6	Forschungsbetrieb - Entwicklung und Installation der Fernwirktechnik	27
<b>5</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>31</b>
5.1	Untersuchungsprogramm Ettenbüttel .....	31
5.1.1	Betrieb des Bodenfilters - Installierte Messtechnik .....	31
5.1.2	Messung und Bilanzierung der Stoffumsetzungen “Ettenbüttel” ...	33
5.1.2.1	Beprobung der Anlage .....	33
5.1.2.2	Bestimmung der wasserchemischen und -physikalischen Parameter .....	35



5.1.2.3	Bilanzierung der Wassermengen in der Teich-Bodenfilter-Anlage Ettenbüttel .....	37
5.1.2.4	Bestimmung der Umsatzraten in den Teichen und im Bodenfilter .....	43
5.1.3	Untersuchungen zur Verlagerung der Stoffumsetzungen im Bodenfilter .....	44
5.1.4	Auswertung der online-Daten - Wartung der online-Messgeräte ..	45
5.1.5	Untersuchungen zum Bodenlufthaushalt .....	47
5.1.6	Untersuchungen des Filtersubstrates .....	48
5.1.6.1	Probenahme .....	48
5.1.6.2	Potentielle Nitrifikation .....	48
5.1.6.3	Potentielle Nitratreduktaseaktivität .....	48
5.1.6.4	Glühverlust .....	49
5.1.6.5	Abschlämbbare Stoffe .....	49
5.1.7	Messung des Redoxpotenzials im Bodenkörper .....	49
5.1.8	Weitere Untersuchungen .....	51
5.1.8.1	Strömungsabhängigkeit der Redoxelektrode .....	51
5.1.8.2	Biologische Abbaubarkeit der Partikel im Zulauf zum Vertikalfilter .....	51
5.2	Laboruntersuchungen an Bodensäulenversuchsanlagen .....	52
5.2.1	Orientierende Untersuchungen zur maximalen Nitrifikationsleistung verschiedener Sande .....	52
5.2.1.1	Charakterisierung der Sande .....	52
5.2.1.2	Versuchsdurchführung .....	53
5.2.2	Untersuchungen zur Verlagerung des Nitrifikationshorizontes und Beschreibung der Prozesse im Filterkörper .....	54
5.3	Untersuchungen zu den Auswirkungen von Ammoniumeinträgen auf Fließgewässer .....	57
5.3.1	Talgraben .....	57
5.3.2	Grundlagenuntersuchungen in Fließgerinnen zur Ammoniumtoleranz verschiedener Fließgewässerspezies .....	58



---

5.3.3 Untersuchungen an der Wiehe (Freilanduntersuchungen und Anwendung von in-place-Verfahren) .....	61
<b>6 Ergebnisse .....</b>	<b>67</b>
6.1 Teich-Bodenfilteranlage Ettenbüttel .....	67
6.1.1 Behandelte Wassermengen - Wasserbilanz.....	67
6.1.2 Reinigungsleistung der Teiche .....	68
6.1.3 Entwicklung der Reinigungsleistung des Bodenfilters .....	74
6.1.4 Verläufe der Parameter O <sub>2</sub> , pH, Redoxpotenzial und NH <sub>4</sub> -N-Konzentration in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen .....	77
6.1.5 Entwässerungsdynamik des Bodenfilters - Zusammenhänge zwischen Redoxpotenzial, Temperatur und Abflussverhalten des Bodenfilters .....	83
6.1.6 Stoffumsatz im Vertikalfilter.....	88
6.1.6.1 TKN-Umsatzleistung und N <sub>ges</sub> -Elimination des Vertikalfilters in Abhängigkeit verschiedener Einflussgrößen .....	89
6.1.6.2 CSB-BSB-Umsatzleistung des VF in Abhängigkeit verschiedener Einflussgrößen .....	99
6.1.7 Untersuchungen zu den Prozessen im Filterkörper .....	101
6.1.7.1 Stoffumsetzungen über die Tiefe des Bodenfilters unter verschiedenen Betriebsbedingungen .....	101
6.1.7.2 Zeitliche Veränderung der Bodenluftzusammensetzung über die Filtertiefe.....	106
6.1.7.3 Redoxpotenzial im Filterkörper .....	110
6.1.7.4 Bodenuntersuchungen.....	113
6.1.8 Stoffumsatz in den Teichen.....	116
6.1.9 Ableitung von Betriebs- und Bewirtschaftungskonzept für die Gesamtanlage .....	118
6.1.10 Stoffumsatz in der Gesamtanlage .....	122
6.2 Bodensäulenversuchsanlage .....	126
6.2.1 Ermittlung der maximalen TKN-Umsatzleistung für verschiedene Substrate - orientierende Untersuchungen .....	126



6.2.2	Untersuchungen zur Verlagerung des Nitrifikationshorizontes und Beschreibung der Prozesse im Filterkörper .....	129
6.3	Auswirkungen von Ammoniumeinleitungen auf Fließgewässer .....	133
6.3.1	Situation des Vorfluters „Talgraben“ in Ettenbüttel .....	134
6.3.2	Grundlagenuntersuchungen in Fließgerinnen zur Ammoniumtoleranz verschiedener Fließgewässerspezies .....	137
6.3.3	Freilanduntersuchungen an der Wiehe .....	139
<b>7</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>148</b>
7.1	Stoffumsatz und Reinigungsleistung der Teiche .....	148
7.2	Stoffumsatz im Vertikalfilter .....	150
7.2.1	Kohlenstoffabbau .....	150
7.2.2	Nitrifikation .....	151
7.2.3	Denitrifikation .....	155
7.3	Entwässerungsdynamik und Sauerstoffversorgung des Filterkörpers .....	155
7.4	Abbauprozesse im Filterkörper .....	159
7.5	Ableitung von Kontroll- bzw. Steuergrößen für den Bodenfilterbetrieb mit stabil hoher Nitrifikationsleistung .....	160
7.6	Betriebskonzept für die Teich-Bodenfilteranlage und erzielte Reinigungsleistung .....	164
7.7	Auswirkungen von Ammoniumeinleitungen auf Fließgewässer .....	168
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>172</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>176</b>
<b>10</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>178</b>



## 9 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Optimierung der Abflusssteuerung und weitestgehende Nitrifikation in der Verfahrenskombination Teichanlage/Bewachsener Bodenfilter“ (Teilprojekt des Verbundprojektes Bewachsene Bodenfilter), wurde die Erweiterung einer Abwasserteichanlage zur Mischwasserbehandlung um einen vertikal durchströmten Bodenfilters speziell zur Nitrifikation konzipiert, bemessen und erprobt. Durch eine weitestgehende Nitrifikation im Bodenfilter und eine gezielte Steuerung des Wasserhaushaltes der kombinierten Teich-Bodenfilteranlage sollte die Belastung des nachfolgenden Gewässers minimiert werden.

Hierzu wurde insbesondere die Nitrifikationsleistung des Vertikalfilters unter Berücksichtigung verschiedener Einflussgrößen erfasst und optimiert, sowie der Nitrifikationsprozess im Verlauf über die Tiefe des Filterkörpers beschrieben. Zur Ableitung von Kontroll- und Steuergrößen, die es möglich machen, den Bodenfilter in Abhängigkeit von seiner Aufnahmefähigkeit zu beaufschlagen, wurden verschiedene Messgrößen im Ablauf des Bodenfilters kontinuierlich erfasst und die Abhängigkeiten von der Nitrifikationsleistung ausgewertet. Zur hydraulischen Bewirtschaftung der Anlage wurde alle Wasserströme in der Anlage aufgenommen. Über eine speziell entwickelte Fernwirktechnik konnten alle ausgezeichneten Daten abgefragt und steuernd in den Betrieb eingegriffen werden. Die durch den Bau des Vertikalfilters erzielte Gewässerentlastung wurde durch die Aufnahme des Arteninventars im Vorfluter dokumentiert. Über die Anwendung von in-place-Verfahren an einem Vergleichsgewässer wurde die Eignung verschiedener Testorganismen als Anzeiger für eine Ammoniumbelastung systematisch untersucht.

Die Kombination einer unbelüfteten Teichanlage mit einem vertikal durchströmten Bodenfilter kann im Hinblick auf die Reduzierung des Ammoniumaustrages als sehr effektiv bewertet werden. Die Untersuchungen deckten einen Bereich der TKN-Flächenbelastung des Vertikalfilters bis  $8 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  ab und damit die in der Praxis vorkommende Belastungsverhältnisse. Ist ein ausreichender Sauerstofftransport in den Filterkörper gewährleistet (wirkungsvolle Vermeidung von Kolmation), weist der Vertikalfilter in diesem Bereich eine konstant hohe Nitrifikationsleistung auf, die in erster Linie von der Abwassertemperatur beeinflusst ist. Bei Abwassertemperaturen  $> 10 \text{ }^\circ\text{C}$  wird



etwa 90% der aufgebrachten TKN-Fracht nitrifiziert, bei Temperaturen unter 5°C noch etwa 50%. Für eine gezielte Nitrifikation ist bei üblichen Anwendungsfällen (häusliche Abwässer, Haupt- oder Nachreinigungsstufe) eine Begrenzung der TKN-Flächenbelastung nicht notwendig. Vielmehr ist bei dem vorliegenden Anwendungsfall (Einsatz des Bodenfilters zur Nachreinigung) eine Begrenzung der hydraulischen Belastung zu empfehlen. Zwar führten im Sommerbetrieb kurzzeitige extreme Belastungen bis zu 290 mm/d zu keinem Einbruch der Nitrifikationsleistung, für den Dauerbetrieb sollte aber im Sommer eine Belastung von etwa 120-130 mm/d nicht überschritten werden. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Sauerstoffversorgung im Winterbetrieb ist die hydraulische Belastung auf 80 mm/d zu begrenzen.

Betriebspausen haben einen positiven Effekt auf die Durchlüftung des Filters und somit auf die Nitrifikationsleistung. Eine Filtertiefe von 50 cm hat sich als ausreichend erwiesen, da der Nitrifikationsprozess selbst bei hohen Belastungen in einer Tiefe von 30 cm abgeschlossen ist.

Eine Redoxpotenzialmessung im Ablauf des Filters bietet eine gute und einfache Möglichkeit einer unmittelbaren Betriebskontrolle, da sich die Sauerstoffversorgung des Filters und die Nitrifikationsleistung zuverlässig über diesen Parameter abbilden lassen. Über eine hydraulische Bewirtschaftung der Gesamtanlage kann die Umsatzleistung optimiert (Erhöhung der  $N_{\text{ges}}$ -Elimination durch Rücklaufführung) und Abschlüge un- oder teilgereinigter Abwässer in den Vorfluter minimiert werden. Die Berücksichtigung wesentlicher Randbedingungen, wie der Kapazität des Bodenfilters (Kontrolle über das Redoxpotenzial), der Belastbarkeit des Vorfluters und dem zur Verfügung stehenden Speichervolumen in den Teichen, kann so zu einem nachhaltigen Betriebs- und Gewässerschutzkonzept zusammengefasst werden.

Ammoniumeinleitungen in Fließgewässer sind insbesondere bei erhöhten Wassertemperaturen im Sommer kritisch zu bewerten. Durch die besonders hohe Nitrifikationsleistung des Vertikalfilters in diesen Zeiten kann eine effektive Gewässerentlastung erreicht werden. Als ökologisch begründeter Ammoniumzielwert wurde eine Konzentration von etwa 0,3 mg/l  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Gewässer abgeleitet, bei dessen Einhaltung keine wesentlichen Effekte auf die Lebensgemeinschaft zu erwarten ist. Als Indikator für die Bewertung ammoniumbelasteter Gewässer scheint die Insektenordnung Trichoptera besonders geeignet.