

## **"Bewachsene Bodenfilter" zur Reinigung von Wässern (Abwässer, Grundwässer, Oberflächenwässer)**

**Gunther Geller, Wolfgang Haber, Karel Kleyn und Anton Lenz**

### Synopsis

This paper briefly describes experiences of a research project in Southern Germany about wastewater treatment with a reed-bed system called "Planted Soil Filter" from 1985 until 1990. It comprised tests in full-scale with a pilot-plant, half-technical and laboratory scale tests. Special emphasis was laid on the understanding of the whole complex system. This system consists of soil, plants and hydraulic equipments. Its parts are interrelated with wastewater, each in connection with each other, and influencing one another. The system is developing in the course of time. As up to the present the purification efficiency of the Planted Soil Filters in the various forms we investigated in our research project was in the order of conventional sewage plants (mainly depending on the loading rate) respectively the area hereby used. As far as the nutrients N and P are concerned this system often reached purification efficiencies of advanced third stage treatment.

Our experiences lead to construction-standards, applicable not only for wastewater-treatment, but still more important, for treatment of polluted surface and ground waters.

Possible applications for "Planted Soil Filters" therefore are: sewage works in rural areas and for single buildings, camping-sites, fish hatcheries etc.; as buffer and protection area and as sink for "non-point-sources" and polluted streams and brooks in the influx area of eutrophication endangered ponds and lakes; as filter for the elimination of nitrates in the renovation of natural wetlands, for example etc.

*complex systems, reed-bed systems, Planted Soil Filter, full-scale tests, half-technical tests, laboratory tests, media, soil, plants*

### 1. **Einleitung**

Im Rahmen des BMFT-Forschungsvorhabens "'Bewachsene Bodenfilter' zur Reinigung von Wässern" wurden am Lehrstuhl für Landschaftsökologie in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Wassergütwirtschaft, beide TU München, Versuche im Labor-, Halbtechnischen und Großtechnischen Maßstab mit verschiedenen Boden-Pflanzen-Kombinationen durchgeführt, die mit Abwasser beschickt wurden (GELLER & al. 1985, 1986, 1987, 1988, 1989). Die Ergebnisse zeigen, daß belastete Wässer durch "Bewachsene Bodenfilter" nicht nur sehr weitgehend von organischer Fracht, sondern auch, bei entsprechender Auslegung, von weiteren Belastungen wie Stickstoff, Phosphor, Keimen, Schwermetallen gereinigt werden können. Die Leistungen können dabei bei entsprechender Auslegung im Bereich derjenigen der weitergehenden konventionellen Abwasserreinigung mit Phosphorfällung und Denitrifikation liegen. Die für die Abwasserreinigung nötigen Bedingungen lassen sich angeben, und mit den Bemessungsgrößen können Kläranlagen berechnet werden (s. a. BRIX & al. 1989). Diese Bemessungs- und Konstruktionsregeln lassen sich überdies nicht nur bei der Reinigung von Abwässern einsetzen, sondern auch bei der Reinigung von belasteten Oberflächen- und Grundwässern, um die entsprechenden Filter exakt zu dimensionieren. "Bewachsene Bodenfilter" können deshalb z. B. eingesetzt werden als Kläranlagen im ländlichen Raum, für Streusiedlungsgebiete und Einzelanwesen, Campingplätze, Fischzuchtbetriebe usw.; als Pufferzone, als Schutzzone und als Nährstoff-Falle für "diffuse Quellen" sowie für belastete Oberflächengewässer im Zufließbereich zu gefährdeten Stillgewässern; als durchflos-

sene Filterstrecke zur Nitratentfernung aus Grund- und Oberflächenwässern, z. B. bei der Renaturierung von Feuchtgebieten, usw.

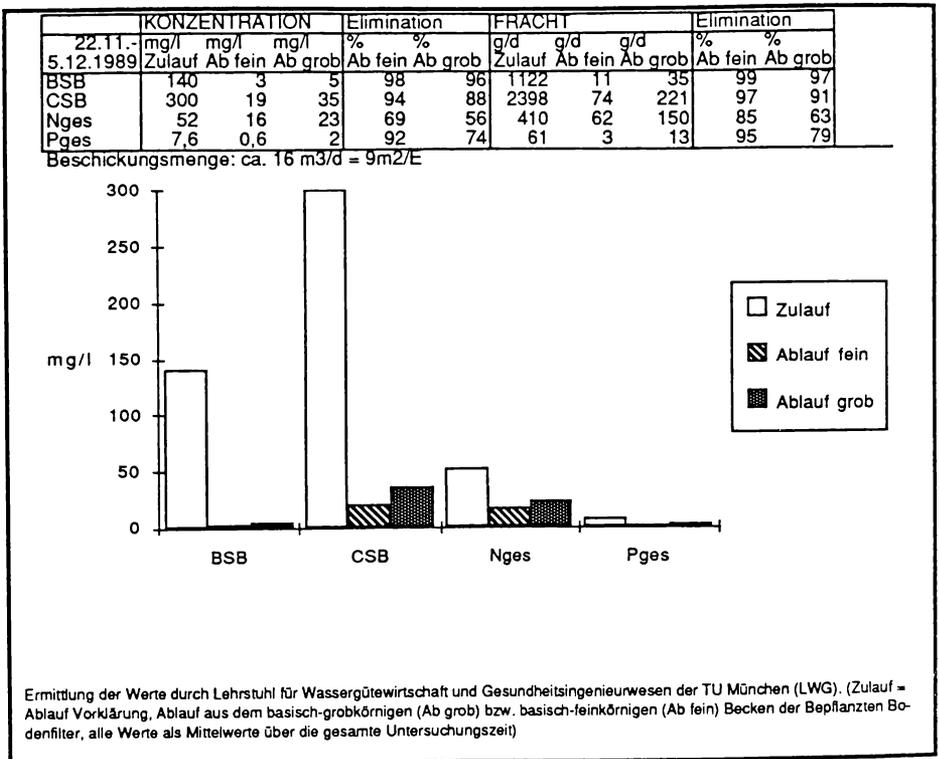
Da sich diese Systeme aus den Komponenten Boden und Pflanzen zusammensetzen, die sich untereinander ebenso wie auch das durchströmende Abwasser beeinflussen, und ihrerseits wieder von diesem beeinflusst werden, ist es unzureichend, nur eine Komponente auf eine Funktion hin zu optimieren (z. B. Boden auf Durchlässigkeit) - denn das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile -, sondern man muß bei Optimierungen stets neben der gestellten Aufgabe auch das Gesamtsystem im Auge behalten.

Für Zusammenhänge beim abwasserdurchflossenen System "Bewachsener Bodenfilter" nachfolgend aus den Erfahrungen unseres Forschungsvorhabens einige Beispiele:

**Tab. 1:** Ablaufwerte von Kläranlagen in der BRD - die gesetzlichen Anforderungen 1990

Kategorie	1	2	3	4	5
EGW	bis 1.000	1.000 - 5.000	5.000 - 20.000	20.000 - 100.000	über 100.000
BSB5	40	25	20	20	15
CSB	150	110	90	90	75
NH4-N	-	-	10	10	10
Pges	-	-	-	2	1
kg BSB5/E.d	bis 60	60-300	300-1.200	1.200-6.000	über 6.000

EGW-Werte bezogen auf 60 g BSB<sub>5</sub>/E.d. Angaben von BSB<sub>5</sub>, CSB, NH<sub>4</sub>-N, P<sub>ges</sub> in mg/l.



**Abb. 1:** Pilotanlage "Bepflanzter Bodenfilter" Germerswang, Reihenuntersuchung 22.11.-5.12.89 (LWG), (mac/a4: Gtumger8, 29.1.90)

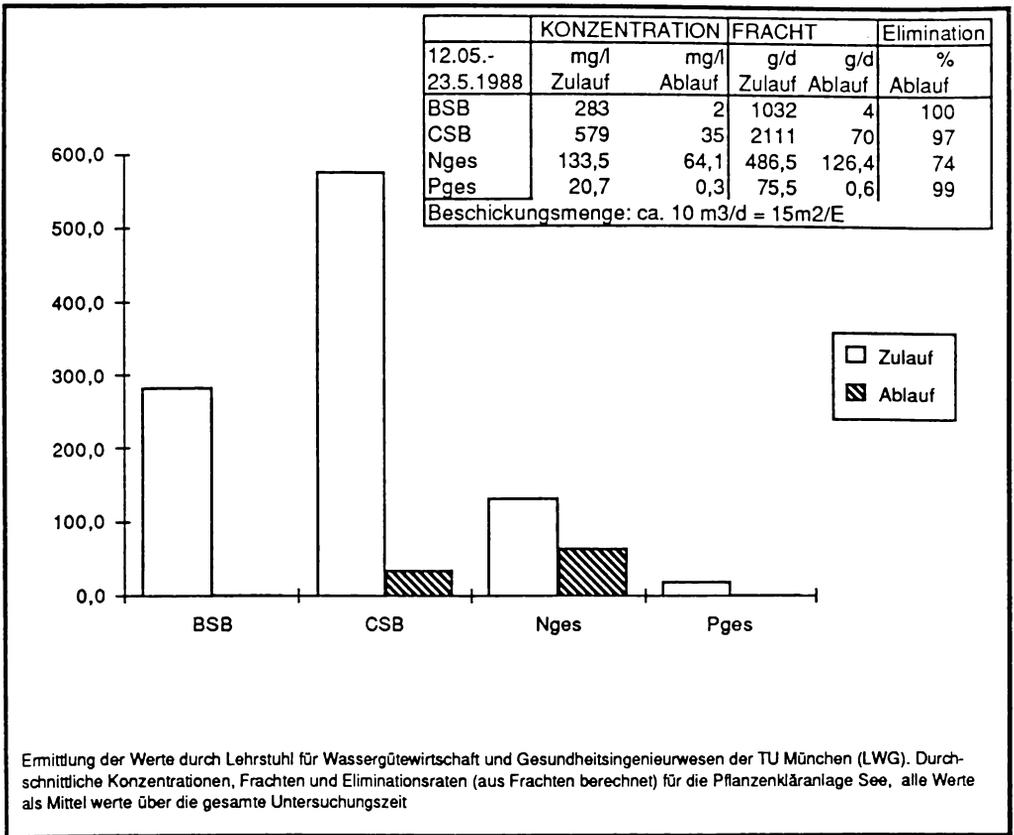


Abb. 2: Pflanzenkläranlage See, Reihenuntersuchung 12.5.-23.5.88 (mac/bericht a7: see2)

## 2. Boden und Abwasser

Die Art der Böden beeinflusst sehr stark die Reinigungswirkung, vor allem bei den Nährstoffen Phosphor und Stickstoff, weniger diejenige der organischen Verschmutzung.

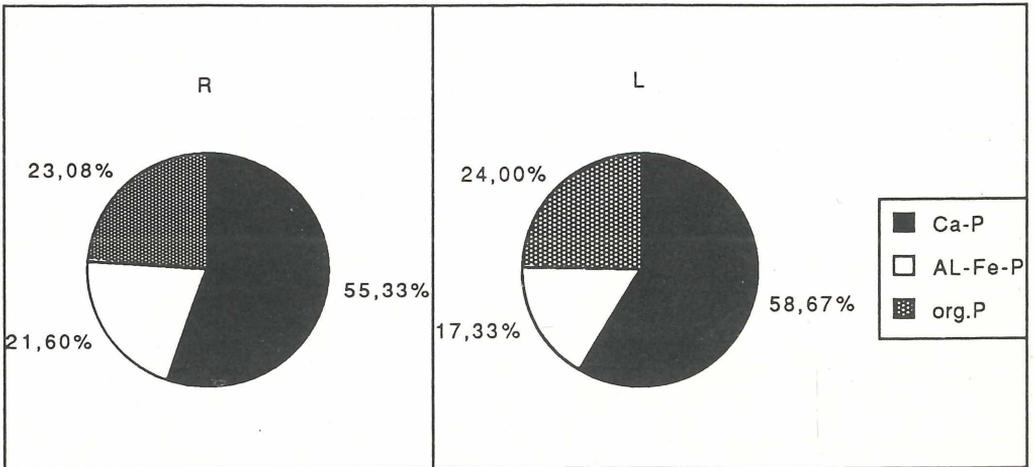
Bei unseren Versuchsreihen waren nahezu immer die feinkörnigen Böden leistungsfähiger, was wir u. a. auf die hier höhere Adsorption an Ton, Eisen und Aluminium zurückführen.

In speziellen Böden, z. B. solchen, die von Natur aus stark eisenhaltig sind, läßt sich Phosphor bis nahezu vollständig entfernen, wie Ergebnisse einer mituntersuchten Anlage (Pflanzenkläranlage See) belegen (s. a. DAFNER 1988).

Der Boden beeinflusst auch die Art der Phosphorfestlegung: bei den basischen Böden der Pilotanlage wurde Phosphor zu über 50 % als Ca-Phosphat eingelagert.

Die Eliminationsrate der beiden basischen Böden in Gernerswang für Kupfer und Nickel lag bei 95 % bzw. 85 %, d. h. diese Schwermetalle können sehr effektiv aus dem Abwasser entfernt werden.

Daneben gibt es natürlich auch Böden, die für die Abwasserreinigung weniger geeignet sind, besonders bei höheren Anforderungen an die Nährstoff- oder Schwermetallentfernung. Solche Materialien sind z. B. Granitplitt oder Kies (HAMM & KUCKLENTZ 1986).



R = rechtes grobkörniges Beet, L = linkes feinkörniges Beet  
 E = Einlauf, A = Auslauf. Alle Werte als Mittelwerte in mg/kg, in den Abb. als % von 100 %.

	L
Ca-P	189,9
AL-Fe-P	56,1
org.P	77,7
P-ges	323,7

	R
Ca-P	134,5
AL-Fe-P	52,5
org.P	56,1
P-ges	242,9

Abb. 3, 4: Pilotanlage Germerswang - Bewachsene Bodenfilter: Phosphatfraktionen im Boden

Tab. 2: Frachtbilanz der Metalle in der Pilotanlage Germerswang 1.6.86-31.12.89

	Parameter	Zulauf (kg)		Fracht (kg)		
		gesamt	pro Beet	Abl. fein	Abl. grob	Abl. ges
Metallbilanz	Cu <sup>2+</sup>	11,4	5,7	<1,7	<1,9	3,6
	Fe <sup>2/3+</sup>	76,5	38,3	26,1	23,2	49,3
	Ni	31,8	15,9	<2,2	<2,4	4,6

	Parameter	Ges. Elimination (kg)			Eliminationsrate (%)		
		Abl. fein	Abl. grob	Abl. ges	Abl. fein	Abl. grob	Abl. ges
Metallbilanz	Cu <sup>2+</sup>	>4,0	>3,8	7,8	>68,7	>66,6	68,4
	Fe <sup>2/3+</sup>	12,2	15,1	27,3	31,9	39,4	35,7
	Ni	>13,7	>13,5	27,2	>86,2	>84,9	85,5

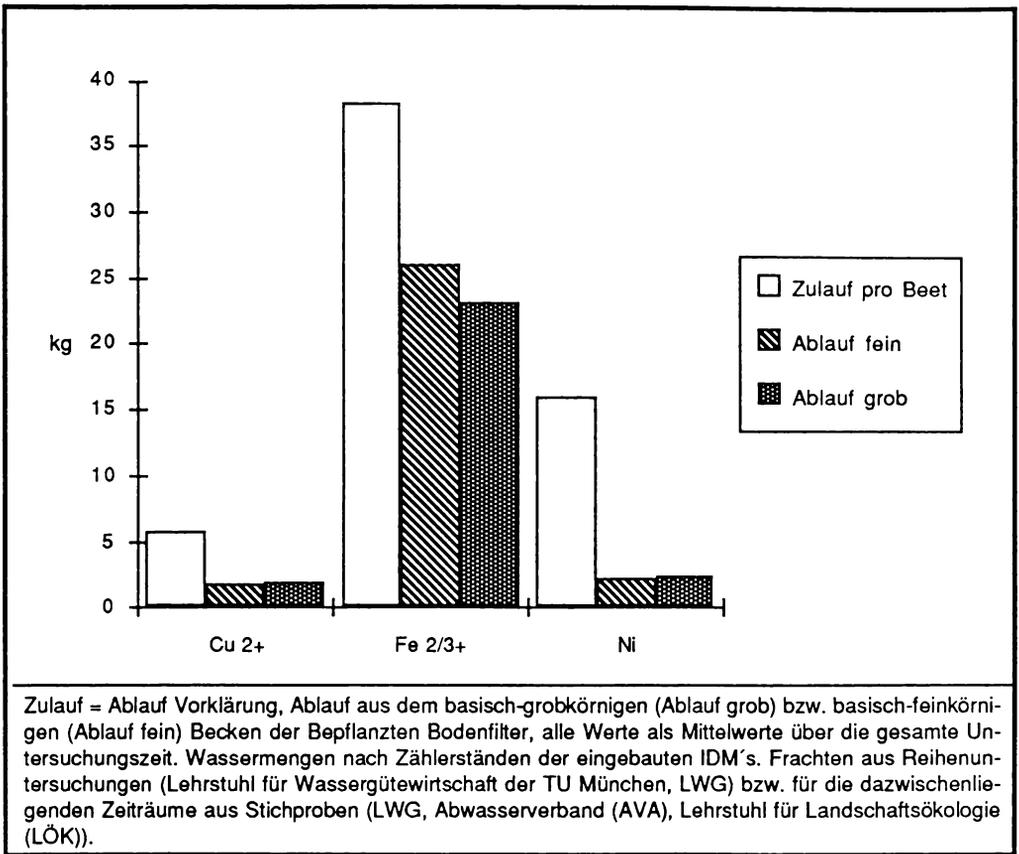


Abb. 5: Frachtbilanz der Metalle in der Pilotanlage Germerswang 1.6.86-31.12.89

## 2.1 Das Abwasser beeinflusst seinerseits den Boden

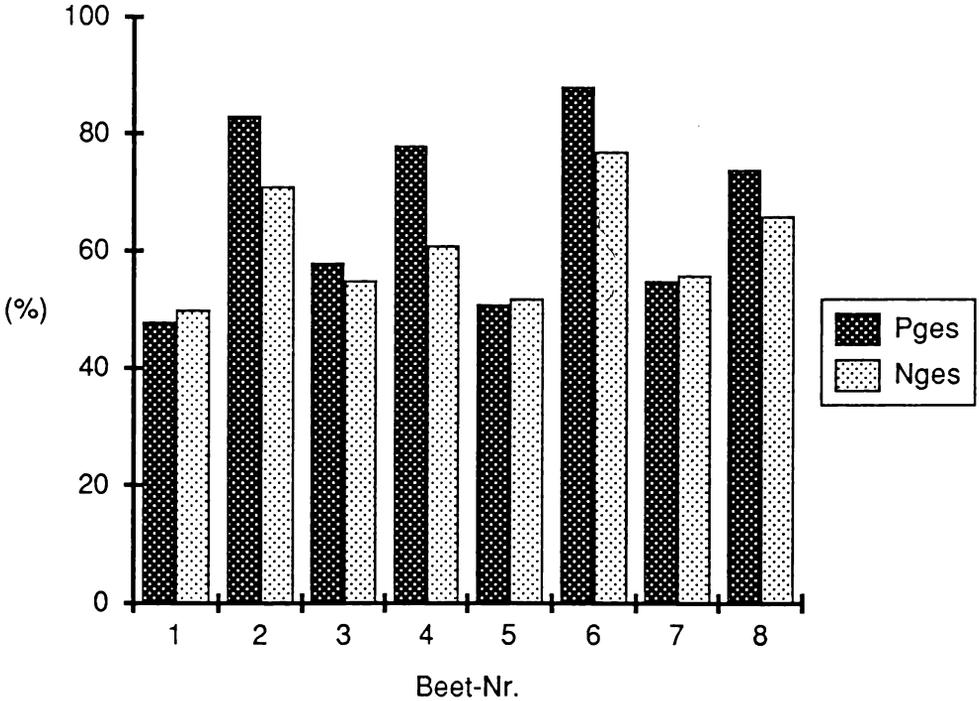
In unserer Pilotanlage reicherten sich die Elemente an, welche für die Elimination von Phosphor (und teilweise auch Ammonium) wichtig sind, wie Eisen, Aluminium und Kohlenstoff, und verlängerten so die mögliche Dauer der Rückhaltung.

Die Art des Wasser- bzw. Lufteinflusses äußerte sich auch in der Profilausbildung und Färbung der Böden.

In einer anderen mituntersuchten Pflanzenkläranlage mit saurem Sand war es jedoch genau umgekehrt: hier lief mehr Eisen ab als zu, womit sich die an sich hier sehr hohe Rückhaltekapazität für Phosphor verringerte (DAFNER 1988). Mit anderen Worten: Die Qualität der Böden verändert sich im Verlauf der Beschickungszeit, abwasserbeschickte "Bewachsene Bodenfilter" sind dynamische, nicht statische Systeme.

Was sich bei unseren Versuchen als sehr wirkungsvoll herausstellte, war die intermittierende Beschickung, die gegenüber einer kontinuierlichen Beschickung die Entfernung von Stickstoff- und Phosphorverbindungen noch einmal um 20-30 % verbesserte, und zwar bei allen eingesetzten Boden-Pflanzen-Kombinationen.

## Halbtechnische Versuche Schönberg: Reinigungsleistung (Mittelwerte)



Ermittlung der Werte durch Lehrstuhl für Landschaftsökologie. Intermittierend beschickt: Beete 2, 4, 6, 8. Kontinuierlich beschickt: Beete 1,3,5,7. Jeweils mit 20-30 mm/d. BaGr (Beet 1 u.2) bzw. BaFe (Beet 3 u.4)=Basisch-grobkörnig bzw. basisch-feinkörnig. SaGr (Beet 5 u. 6) bzw. SaFe (Beet 7 u. 8) = Sauer-grobkörnig bzw. sauer-feinkörnig

**Abb. 6:** Intermittierende/kontinuierliche Beschickung - Reinigungsleistungen für Phosphor und Stickstoff; Halbtechnische Versuche Schönberg 1988

### 2.2 Wie beeinflusst der Boden die Pflanzen?

Die Entwicklung der eingesetzten Pflanzen hing sehr stark vom Boden ab und war in der Pilotanlage im feinkörnigen Boden (bei sonst identischen Bedingungen) stets besser, sowohl in der Bestandsdichte, als auch in der Bestandsgröße. Als gänzlich ungeeignet erwiesen sich scharfkantige Materialien, wie z. B. Granitsplitt. Hier wachsen die Pflanzen nicht in dieses Filtermaterial hinein, sondern wurzeln nur in dem auf dem eigentlichen Filtermaterial im Verlaufe der Zeit sich anreichenden organischen Material. Ähnliche Probleme gab es auch in schlecht wasserversorgten Grobsplittböden englischer Anlagen.

Manche Böden sind für bestimmte Pflanzen weniger gut geeignet: Rohrkolben z. B. hatte besonders auf dem basisch-grobkörnigen Material Wachstumsschwierigkeiten.

Der Boden beeinflusste auch die chemische Zusammensetzung der Pflanzen. So hatten z. B. 1988 in den feinkörnigeren Böden in Germerswang Wasserschwertlilie und Kalmus mehr Protein und Wasserschwertlilie und Teichbinse mehr Phosphor als die vergleichbaren Pflanzen im grobkörnigeren Boden.

**Tab. 3:** Halbtechnische Versuche Schönberg: Reinigungsleistungen: kontinuierlich bzw. intermittierend beschickt

	BEET-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
CSB	29.05.-	79-	81-	80-	74-	77-	79-	76-	76-
	30.12.1989	88	89	90	87	84	89	86	83
	Mittelwert	84	85	85	81	81	84	81	80
Pges	23.06.-	42-	89-	60-	83-	52-	84-	50-	69-
	24.10.1989	51	94	64	87	60	96	59	80
	Mittelwert	47	92	62	85	56	90	55	75
	25.09.-	22-	53-	35-	53-	31-	74-	40-	59-
	30.12.1989	75	94	71	87	60	96	71	87
	Mittelwert	49	74	53	70	46	85	56	73
	Mittel ges.	48	83	58	78	51	88	55	74
Nges	08.08.-	42-	70-	51-	53-	47-	76-	48-	57-
	13.12.1989	57	72	59	68	56	78	63	69
	Mittelwert	50	71	55	61	52	77	56	66
		BaGr	BaGr	BaFe	BaFe	SaFe	SaFe	SaGr	SaGr
Ba= basisch; Sa= sauer; Gr= grobkörnig; Fe= feinkörnig									
Ermittlung der Werte durch Lehrstuhl für Landschaftsökologie									
Intermittierend beschickt: Beete 2, 4, 6, 8									
Kontinuierlich beschickt: Beete 1,3,5,7. Jeweils mit 20-30 mm/d									
BaGr (Beet 1u.2) bzw. BaFe (Beet 3u.4)=Basisch-grobkörnig bzw. basisch-feinkörnig									
SaGr (Beet 5 u. 6) bzw. SaFe (Beet 7 u. 8) = Sauer-grobkörnig bzw. sauer-feinkörnig									

### 2.3 Wie beeinflussen die Pflanzen die Abwasserreinigung?

Das bestgereinigte Wasser ist ja das von den Pflanzen verdunstete. In Gernerswang verdunsteten im Sommerhalbjahr 10-30 % des zulaufenden Abwassers, in Schönberg in den Halbtechnischen Versuchen 15-20 mm/d, d. h. je nach Beschickungsmenge, die ja in einer ähnlichen Größenordnung liegt, bis zu 100 %. Weil sich durch die Verdunstung die Ablaufkonzentrationen erhöhen, können "Bewachsene Bodenfilter" in ihrer Reinigungsleistung nur frachtbezogen richtig beurteilt werden.

### 2.4 Wie wirken sich Pflanzen, Boden und Wasser aufeinander aus?

Der direkte Reinigungseffekt der Pflanzen ist bei Abwasserreinigung von untergeordneter Bedeutung. Hier werden auf kleine Flächen große Mengen an Nährstoffen aufgebracht, die durch Ernte nur zu einem sehr kleinen Teil entfernt werden könnten. So liefen in der Pilotanlage an Gesamtphosphor ca. 1.000 kg und an Gesamtstickstoff ca. 6.000 kg pro Jahr und Hektar zu - der mögliche maximale Ernte-Entzug (nämlich ca. 60-100 kg·ha<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup> bei P und 200-400 kg·ha<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup> bei N) liegt bei maximal ca. 10 % für Phosphor und Stickstoff. Die Ernte, die ja nur im grünen Zustand sinnvoll wäre, würde jedoch zu erheblichen Schäden im Pflanzenbestand und zu Bodenverdichtungen führen und überdies für den Abbau wichtige Kohlenstoffquellen entziehen, so daß sie für abwasserbeschickte "Bewachsene Bodenfilter" nicht empfohlen werden kann. Anders ist es jedoch bei der Reinigung weniger stark belasteter Wässer auf entsprechend größeren und auch hierfür konzipierten Flächen. Hier kann Ernte durchaus erheblich zur Reinigung beitragen.

Die Hauptbedeutung der eingesetzten Pflanzen, vor allem von Schilf, das als einzige hierfür geeignete Pflanze auch in die gewünschte Tiefe von 60-100 cm wurzelt, liegt in der Aufrechterhaltung der hydraulischen Durchlässigkeit, die sonst ja nach kurzer Zeit der Beschickung nicht mehr ausreichend wäre, wie die Erfahrungen mit unbepflanzten Sandfiltern zeigen. So beträgt das nach vier Jahren gebildete Volumen der unterirdischen Biomasse der Pilotanlage Germerswang bereits ca. 20 m<sup>3</sup>. Die Menge jährlich freigesetzter toter Rhizom- und Wurzelmasse beträgt bei Schilf bis zu 1 kg TM·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup> (FIALA 1986, SCHIERUP 1978).

Darüber hinaus wirken die Pflanzen vor allem als eine Art Katalysator. Sie verbessern das C/N-Verhältnis im Boden (durch abgestorbene Pflanzenteile und Ausscheidung von Kohlenstoffverbindungen (CARDENAS 1975, KICKUTH & KAIZIS 1975)) und versorgen den Wurzelraum mit Sauerstoff (ARMSTRONG & al. 1990). Sie beeinflussen so auch die mikrobielle Biomasse um die Wurzeln, das Redox-Profil und die Aufnahme spezieller Elemente, wie z. B. von Schwermetallen, in die eigene Biomasse. Die Oberfläche der unterirdischen Biomasse in der Pilotanlage Germerswang beträgt nach jetzt vier Jahren ca. 2.800 m<sup>2</sup>.

Deutliche Unterschiede ergeben sich durch die Einflüsse von Boden und Abwasser auch im Wachstum der unterirdischen Organe von Schilf: in den Einlaufbereichen war die Zahl der Wurzeln und Rhizome fast immer höher als in den Auslaufbereichen der Pilotanlage Germerswang (s. Tab. 4.)

**Tab. 4:** Pilotanlage Germerswang - "Bewachsene Bodenfilter": Zahl der unterirdischen Organe  
R/L: Feld rechts mit grob- bzw. Feld links mit feinkörnigem Boden, beide basisch;  
10/28: Nr. des Pflanzstreifens; E/A: Einlauf- bzw. Auslaufseite der Pilotanlage (Fees 1990)

Feld	R-28-(E)	R-28-(A)	R-10-(E)	R-10-(A)	L-10(E)	L-10-(A)	L-28(E)	L-28-(A)
<b>Wurzeln (Zahl)</b>	2248	1521	3094	625	2014	384	3029	1480
<b>Rhizome (Zahl)</b>	44	50	68	38	42	25	51	29

Schilf kann das Redox-Potential im unmittelbaren Bereich der wachsenden Wurzelspitze um mehrere hundert mV anheben, von etwa -300 mV im stark reduzierten, abwasserdurchströmten Boden bis auf +200 mV - allerdings nur in einer Entfernung von etwa 1 mm um die Wurzeloberfläche (FLESSA 1991).

Auch bei der Zerlegung der Tonnen der Laborversuche in unserem Forschungsvorhaben und in Bodengruben in der Pilotanlage in Germerswang zeigte sich dieser Effekt entlang aller lebenden Wurzeln, die von einer roten Eisenoxidschicht umgeben waren, selbst in sonst reduzierten Tonlinsen.

Auf diese Weise wird die Ausfällung hochreaktiver amorpher Eisen(II)-oxide möglich, die dann in der Lage sind, große Mengen an Phosphor festzulegen. Dieser Effekt verstärkt sich beträchtlich, wenn oxidierende und reduzierende Verhältnisse sich abwechseln (FISCHER 1983, FISCHER & BAUMANN 1978). Solche Verhältnisse sind bei "Bewachsenen Bodenfiltern" durch die Betriebsweise und den Einfluß der Pflanzen (Transpiration oberirdisch, Wurzelwachstum unterirdisch) gegeben.

Die Hauptrolle beim Sauerstoff-Transport spielt auch bei den von uns eingesetzten Sumpfpflanzen die Diffusion. Daneben wurden in den letzten Jahren auch andere Transportvorgänge von Sauerstoff bei Wasserpflanzen erforscht (GROSSE & WILHELM 1984, GROSSE & SCHROEDER 1986). Unsere Versuche zur Sauerstoffabgabe durch Druckventilation zeigten, daß diese im Vergleich zur Diffusion eine untergeordnete Rolle spielt (MEISCHNER 1988):

Von den eingesetzten Schilf-, Schwertlilien- und Kalmuspflanzen transportierte nur die Wasserschwertlilie Sauerstoff über Druckventilation, dieser Transport war jedoch einschließlich Diffusion um zwei Zehnerpotenzen kleiner als die Abgabe von Sauerstoff ohne Druckventilation über Diffusion bei den anderen Pflanzen.

### 3. Schlußfolgerungen

Unsere Erfahrungen führen u. a. zu folgenden Empfehlungen :

- Das Filtermaterial sollte vor allem aus Sand bestehen, Kies und Schluff sind weniger geeignet. Der Tonanteil sollte 5-10 % nicht übersteigen, um hydraulische Probleme zu vermeiden. Saure und basische Böden sind gleichermaßen geeignet, für die Phosphor-Entfernung ist entsprechend sorptionsfähiges Filtermaterial notwendig. Die Leistungsfähigkeit hängt neben dem pH-Wert des Bodens und seiner Körnung sehr stark von der Art der Beschickung ab. Die Böden sollten rundkörnig sein, um das Pflanzenwachstum nicht zu beeinträchtigen.
- Intermittierende Beschickung kann die Entfernung der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor erheblich verbessern.
- Die Wahl der Pflanzen ist abhängig von der Beschickungsrichtung und vom Wasserstand. Bei seitlicher Beschickung müssen die Wurzeln genügend tief gehen, deshalb ist Schilf hierfür in den meisten Fällen am besten geeignet.
- Nach der Bepflanzung sollten die Pflanzen sofort ausreichend mit Wasser und Nährstoffen versorgt werden, dann gibt es nach unserer Erfahrung auch keine Unkrautprobleme.
- Ernte ist bei der Abwasserbehandlung in Schilfbeeten destruktiv und von zu geringer Bedeutung. Sie sollte deshalb hierfür in den meisten Fällen unterbleiben.

Die Hauptbedeutung von "Bewachsenen Bodenfiltern" liegt unserer Meinung nach jedoch gar nicht so sehr in der Abwasserreinigung, sondern in der Reinigung von belasteten Oberflächen- und Grundwässern, auch aus diffusen Quellen. Sie wirken hier als Multifunktionselement.

Nach einer überschlägigen Rechnung von LENZ (1990 a) setzen die entwässerten Niedermoore in der BRD jährlich Stickstoff in einer Größenordnung von 2-3 Mio. Tonnen frei. Dem steht eine Menge von "nur" ca. 350.000 t/a an Stickstoff aus Industrie und Haushalten gegenüber, der durch weiteren Bau von Kläranlagen in der Zukunft mit einem Kostenaufwand von vielen Milliarden entfernt werden soll.

Für die verbesserte Abwasserreinigung mit Denitrifikationsanlagen liegt der Aufwand für ca. 100.000 Einwohner bei 1 Mio. DM/a, für die ebensogut auch ca. 1.000 ha Niedermoorfläche angekauft werden könnten, welche aber dann nicht nur Stickstoff aus dem Kreislauf entfernen würde, sondern darüber hinaus als Feuchtbiotop, Teil der Erholungslandschaft, Wasserspeicher und -puffer und Grundwasserregenerator wirken würde (s. a. LENZ 1990 b)!

Nach unserer Meinung muß deshalb aus ökologischen und ökonomischen Gründen vorrangig hier angesetzt werden!

### Danksagung

Unser Dank gilt dem BMFT für die gewährten Forschungsmittel, den Abwasserverbänden Ampergruppe (AVA) und Schönberg für die Möglichkeit zur Durchführung der Forschungsarbeiten auf Verbandsgelände sowie den beteiligten Forschungseinrichtungen.

### Literatur

- ARMSTRONG, W., ARMSTRONG, J. & P. M. BECKETT, 1990: Measurement and modelling of oxygen release from roots of *Phragmites australis*. In: COOPER, P. F. & B. C. FINDLATER (eds.): Constructed wetlands in water pollution control. Pergamon Press, Oxford: 605 S.
- BRIX, H., 1988: Light-dependent variations in the composition of the internal atmosphere of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Streudel. Aquatic Botany 30: 319-329.
- BRIX, H., SCHIERUP, H. H. & B. LORENZEN, 1989: Design criteria for BOD-removal in constructed reed beds. Paper presented at the IAWPRC conference on "Design and Operation of Small Wastewater Treatment Plants", Trondheim, Norway.
- CARDENAS, M. L., 1975: 3-(3-carboxyphenyl)-Alanin aus *Iris pseudacorus*. Zur Ökochemie kerncarboxylierter aromatischer Aminosäuren mit natürlichem Vorkommen. Dissertation, Univ. Göttingen: 108 S.

- DAFNER, G., 1988: Erprobung der Leistungsfähigkeit eines mit Röhrriecht bestanden Bodenfilters bei der Abwasserreinigung. Dissertation Naturwissenschaftliche Fakultäten der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg: 157 S.
- FIALA, K., 1988: Underground organs of *Phragmites communis*. Their growth, biomass and net production. Folia Geobotan. Phytotax. 11, 3: 225-259.
- FISCHER, W. R., 1983: Theoretische Betrachtungen zur reduktiven Auflösung von Eisen(III)-Oxiden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 146: 611-622.
- FISCHER, W. R. & G. BAUMANN, 1978: Die Sorption von Phosphat an carbonatreichen Unterwasserböden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 141: 607-620.
- FLESSA, H., 1991: Redoxprozesse in Böden in der Nähe von wachsenden und absterbenden Pflanzenwurzeln. Dissertation am Lehrstuhl für Bodenkunde der TU München, Freising-Weihenstephan. Verlag Marie L. Leidorf, Buch am Erlbach: 128 S.
- GELLER, G. & A. LENZ, 1982: Bewachsene Bodenfilter zur Wasserreinigung. Korrespondenz Abwasser 29/2: 142-147.
- GELLER, G., LENZ, A., KLEYN, K., RETTINGER, S. & R. NETTER, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989: unveröffentl. Berichte zum BMFT-Forschungsvorhaben O2 WA 5162/ 85153/ 88407 "Erprobung der Leistungsfähigkeit eines "Bewachsenen Bodenfilters" zur Abwasserreinigung - Ermittlung von Bemessungswerten, an den Lehrstühlen für Landschaftsökologie sowie Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der TU München, Freising und Garching.
- GELLER, G., LENZ, A. & K. KLEYN, 1990: "Planted Soil Filters" for wastewater treatment: the complex system "Planted Soil Filter", its components and their development. In: COOPER, P. F. & B. C. FINDLATER (eds.): Constructed wetlands in water pollution control. Pergamon Press, Oxford.
- GROSSE, W. & A. WILHELM, 1984: Druckventilation bei Wasserpflanzen - eine Anpassung an den anaeroben Lebensraum. Biologie in unserer Zeit, 14., 1: 28-31.
- GROSSE W. & P. SCHROEDER, 1986: Pflanzenleben unter anaeroben Umweltbedingungen, die physikalischen Grundlagen und anatomischen Voraussetzungen. Ber. deutsch. Botan. Ges. 9: 367-381.
- HAMM, A. & V. KUCKLENTZ, 1986: Abwassernachreinigung und Nährstoffelimination durch einen bewachsenen Bodenfilter. Auswirkungen auf die Trophielage eines Kleinsees. Bericht Nr. 2, BayLWF, München: 111 S.
- KICKUTH, R., 1970: Ökochemische Leistungen höherer Pflanzen. Die Naturwissenschaften 57: 255-261.
- KICKUTH, R. & G. KAIZIS, 1975: Mikrobiozid wirksame Aromaten aus *Scirpus lacustris*. Umweltschutz 4-5: 134-135.
- LENZ, A., 1990 a: mündl. Mitteilung
- LENZ, A., 1990 b: Verfahren der Feuchtgebietstechnik. Garten + Landschaft, H. 9: 3-42.
- MEISCHNER, V., 1988: Ist Druckventilation bei Wasserpflanzen ein Eignungskriterium für ihren Einsatz in einer Klärwiese? Facharbeit Leistungskurs Biologie, Otto-von-Traube-Gymnasium Gauting.
- SCHIERUP, H.-H., 1978: Biomass and primary production in a *Phragmites communis* swamp in North Jutland, Denmark. Verh. Intern. Vereinig. Limnol. 20: 94-99.
- SCHIERUP, H.-H. & H. BRIX, 1989: Danish experience with emergent hydrophyte treatment systems (EHTS) and prospects in the light of future requirements to outlet water quality. Paper presented at the IAWPRC conference on "Design and Operation of Small Wastewater Treatment Plants", Trondheim, Norway: 26 -28.

## Adresse

Dipl.-Ing. Gunther Geller  
 Prof. Dr. Wolfgang Haber  
 Dipl.-Ing. Anton Lenz  
 Dipl.-Biol. Karel Kleyn  
 Lehrstuhl für Landschaftsökologie  
 der TUM - Weihenstephan

W - 8050 Freising 12

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [20\\_1\\_1991](#)

Autor(en)/Author(s): Haber Wolfgang, Lenz Anton, Kleyn Karel, Geller Gunther

Artikel/Article: ["Bewachsene Bodenfilter" zur Reinigung von Wässern \(Abwässer, Grundwässer, Oberflächenwässer\) 477-486](#)