

Einsatz und Betrieb von Pflanzenkläranlagen in der Praxis

R. Perfler, J. Laber, R. Haberl

Institut für Wasserversorgung, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft,
Abteilung Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz
Universität für Bodenkultur Wien

Kurzfassung: Obwohl über den Einsatz und den Betrieb von Pflanzenkläranlagen mittlerweile sowohl national wie international eine relativ breite und auch verlässliche Datenbasis mit entsprechend positiven Erfahrungen vorliegt, führt der Wunsch nach Anwendung dieser naturnahen Technologie in der Regel nach wie vor zu einem erhöhten (Erklärungs)Aufwand im Genehmigungsverfahren. Durch die Erstellung und rasche Verbreitung von Regelwerken (Normen, Richtlinien) auf Basis des aktuellen Wissensstandes sollen einerseits der Planungsprozeß in technischer und ökonomischer Hinsicht verbessert werden und andererseits die Einsatzmöglichkeiten und -grenzen von Pflanzenanlagen besser beschrieben werden. Die Anwendung der unterschiedlichen Konstruktionsprinzipien ist im Zusammenhang mit der Stellung im Reinigungsprozeß zu beurteilen, wobei die Nitrifikation durch vertikal durchströmte, intermittierend beschickte bepflanzte Bodenfilter am besten gesichert erscheint. Die in der aktuellen Forschung behandelten Fragen befassen sich im wesentlichen mit Optimierungsansätzen für den Reinigungsprozeß - weit über das gesetzlich geforderte Ausmaß (vgl. Emissionsverordnungen) - , mit betriebstechnischen und ökonomischen Verbesserungen sowie mit Fragen sehr spezifischer Einsatzbedingungen. Die positiven Erfahrungen mit dem praktischen Einsatz von Pflanzenanlagen im Kleinkläranlagenbereich lassen eine vermehrte Anwendung dieser Technologie befürworten.

Key words: dezentrale Abwasserreinigung, bepflanzter Bodenfilter, Kleinkläranlage, Pflanzenkläranlage

1 Einleitung

Im Rahmen der aktuellen Diskussion über „zentrale“ und „dezentrale“ Konzepte der Abwasserreinigung, verursacht die Frage nach dem Einsatz von Pflanzenkläranlagen sowohl Diskussionen im Fachbereich als auch zum Teil

heftige Auseinandersetzungen zwischen Interessenten und Genehmigungsbehörde im wasserrechtlichen Verfahren. In vielen Fällen spiegeln die dabei vorgebrachten Argumente eine Einschätzung dieser Reinigungstechnologie wieder, wie sie nicht dem aktuell vorhandenen Wissens- und Erfahrungsstand entspricht. Im Gegenzug werden oftmals hochgesteckte Erwartungen in die Anwendbarkeit dieser „Alternative“ gehegt, die vor allem auf einem weit verbreiteten Mißtrauen gegen großräumige und/oder „technische“ Lösungen basieren. Zusätzlich zu den möglichst klaren und umfassenden fachlichen Beurteilungen der jeweiligen Lösungsansätze, muß jedoch durch einen transparenten und bürgernahen Planungs- und Entscheidungsprozeß die Grundlage für ein Mindestmaß an Vertrauen zwischen den Betroffenen, dem Planer und der Genehmigungsbehörde gelegt werden.

In der Folge soll ein aktueller Überblick über praktische Erfahrungen mit dem Einsatz und Betrieb von Pflanzenkläranlagen gegeben werden, wobei folgende Punkte besonders berücksichtigt werden:

- Anwendbarkeit unterschiedlicher Bauformen
- Anerkannte Dimensionierungsgrundsätze, Stand der Ausarbeitung von Regelwerken
- Leistungsfähigkeit im langjährigen Betrieb
- spezielle Aspekte des Anlagenbetriebes
- Konstruktionshinweise
- Ansätze zur Optimierung der Reinigungsfunktion

2 Definition und Bauformen

Der Begriff „Pflanzenkläranlage“ ist im gleichen Maß ungenau wie allgemein gebräuchlich. Darunter wird in der Regel eine Abwasserreinigungsanlage verstanden, die als Hauptreinigungsstufe ein mit Bodenmaterial gefülltes, zum Untergrund abgedichtetes und bepflanztes Becken aufweist. Einrichtungen zur Zuleitung, Verteilung und Ableitung des Abwassers, zur mechanischen Vorreinigung und zur Anlagensteuerung sind weitere wesentliche Anlagenbestandteile.

Eine der möglichen Definitionen für die Pflanzenstufe /das Pflanzenbeet liefert das ATV Hinweisblatt 262 (1989):

„Bei Pflanzenbeeten wird Abwasser einem mit ausgewählten Sumpfpflanzen bewachsenen Bodenkörper zugeführt; dieser soll zum Zwecke der Behandlung des Abwassers vertikal oder horizontal durch- oder überströmt werden.“

Diese Definition ist naturgemäß auf den Anwendungszweck zur Abwasserreinigung beschränkt, sie läßt jedoch eine Vielzahl an Bauformen und Anwendungsbereiche im Reinigungsprozeß zu.

BÖRNER (1992) typisiert die unterschiedlichen Bauformen nach der Bodenhydraulik und dem verwendeten Bodenmaterial und unterscheidet 8 Hauptvarianten:

- A: Pflanzenbeete ohne Bodenpassage des Wassers
- B: Pflanzenbeete mit sequentieller Bodenpassage, d.h. mit freiem Wasserkörper und durchflossenen Kies- oder Bodenbereichen
- C: Pflanzenbeete mit vollständig durchflossenen grobkörnigen Bodenkörpern z.B. aus Schotter bzw. Kies
- D: Pflanzenbeete mit vollständig durchflossenen, in ihrer Körnung abgestuften Kies- bis Sandkörpern
- E: Pflanzenbeete mit überwiegend sandigem Bodenkörper
- F: Pflanzenbeete mit in ihrer Körnung abgestuften Sandkörpern mit bindigem Anteil
- G: Pflanzenbeete mit bindigen Bodenkörpern
- H: Pflanzenbeete, die aus einer natürlichen Schilf- oder Sumpfflächen bestehen.

Die hydraulische Durchströmung von Pflanzenbecken kann im wesentlichen auf drei Arten erfolgen und zwar horizontal, vertikal nach unten und vertikal nach oben. Manche als vertikal durchströmt bezeichnete Bauformen müssen aufgrund des Fehlens einer durchgehenden Dränschicht am Beckenboden im wesentlichen als horizontal durchströmt mit einer flächigen Abwasseraufleitung eingestuft werden (Abb.1).

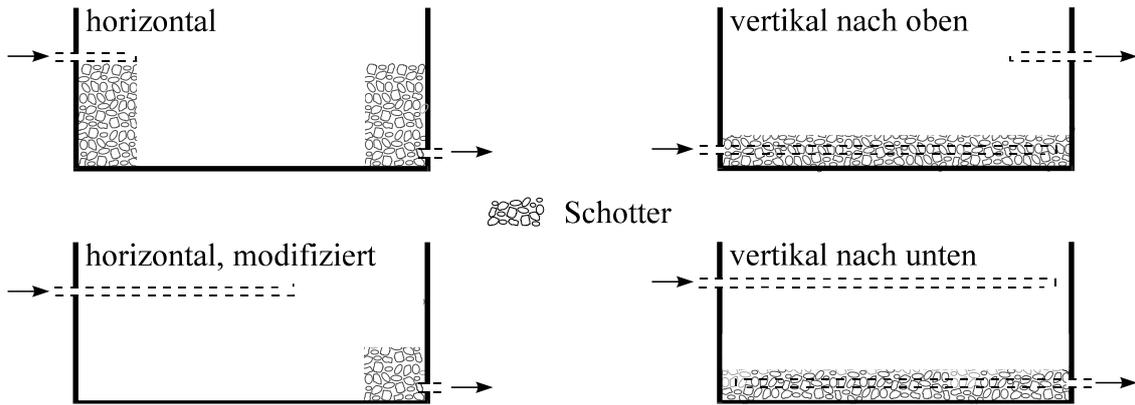


Abbildung 1: Hydraulische Durchströmung unterschiedlicher Bauformen

Die Abbildungen 2 bis 6 enthalten die Darstellungen einiger Bauformen und Systemkonfigurationen. Zum Teil sind sie nach den Entwicklern bzw. Lizenzgebern benannt.

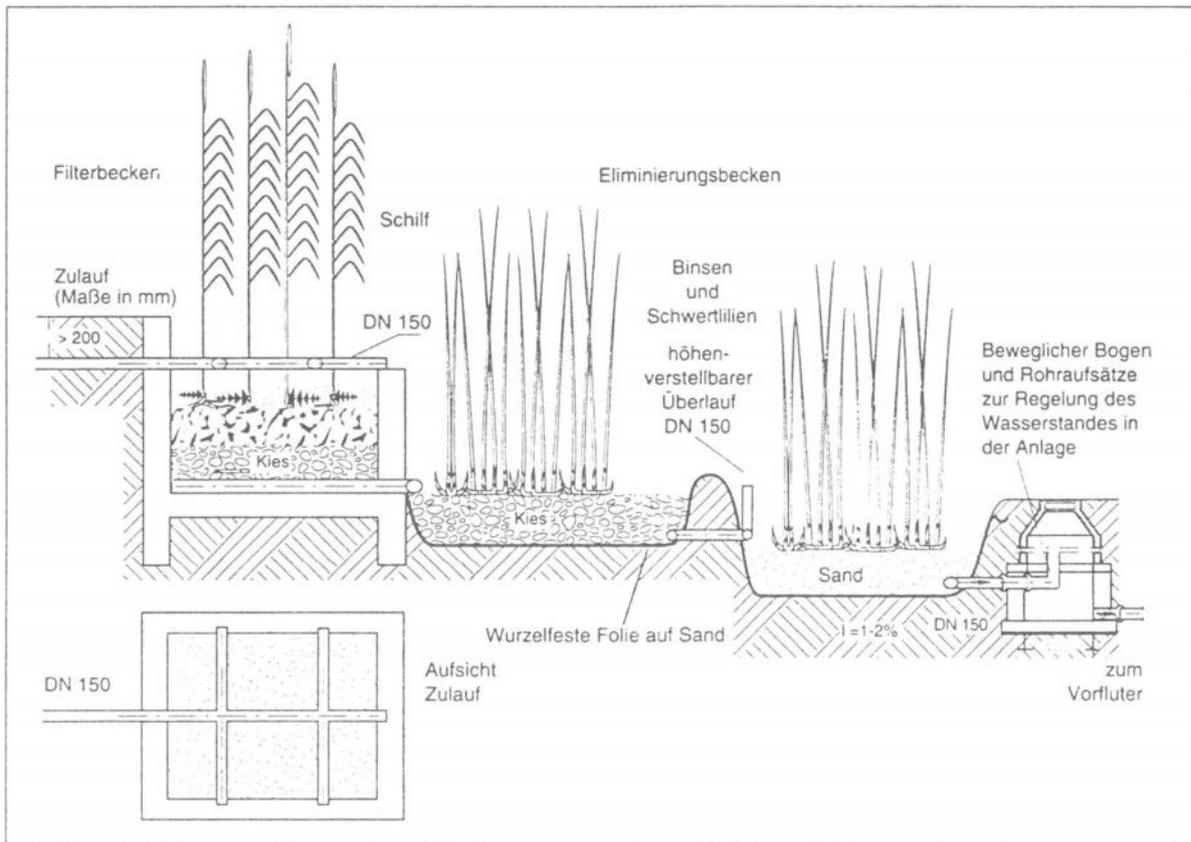


Abbildung 2: Krefelder System nach LWA (1989), aus WISSING (1995)

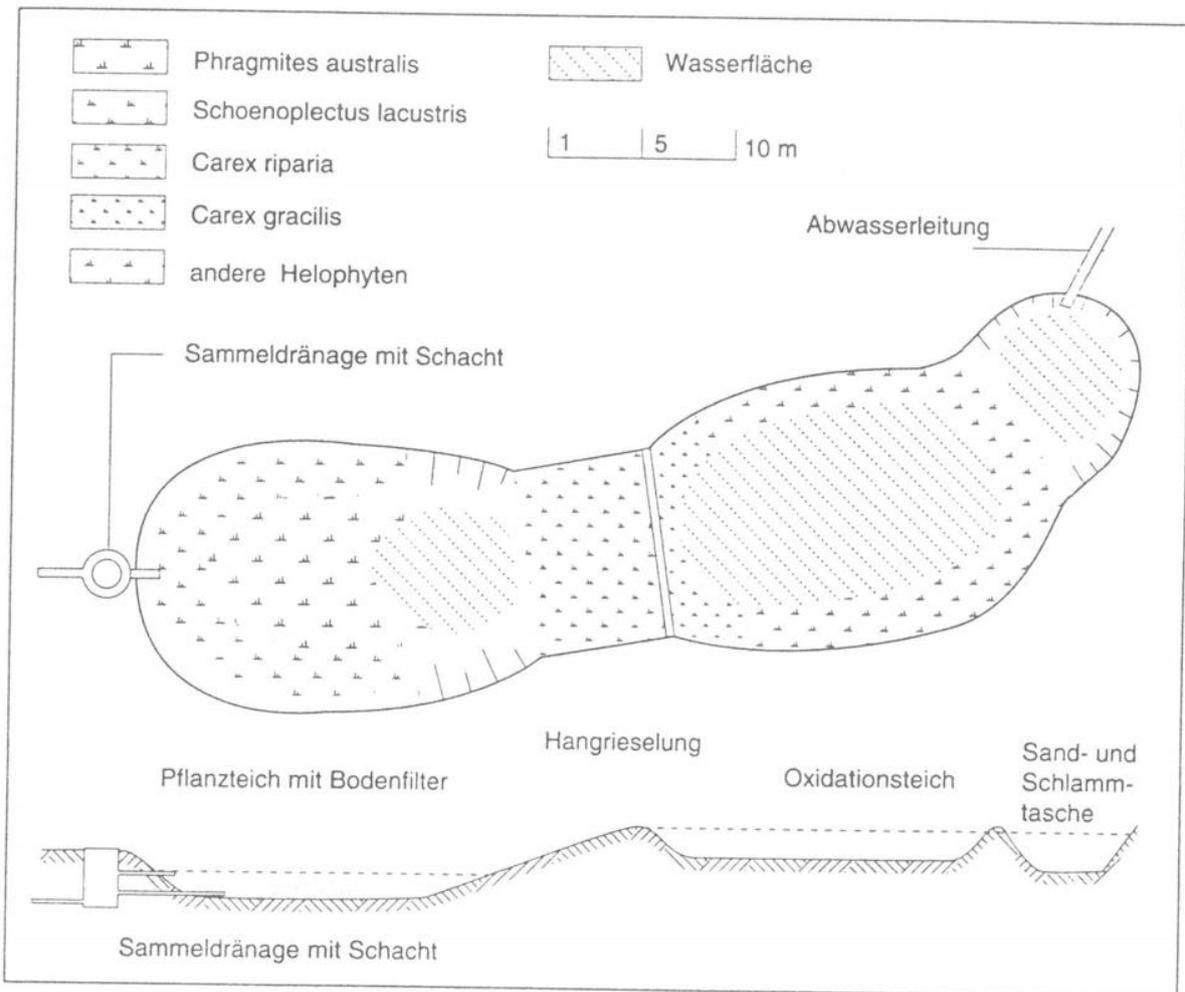


Abbildung 3: Teich-Pflanzen-Klaranlage nach ONKEN (1992), aus WISSING (1995)

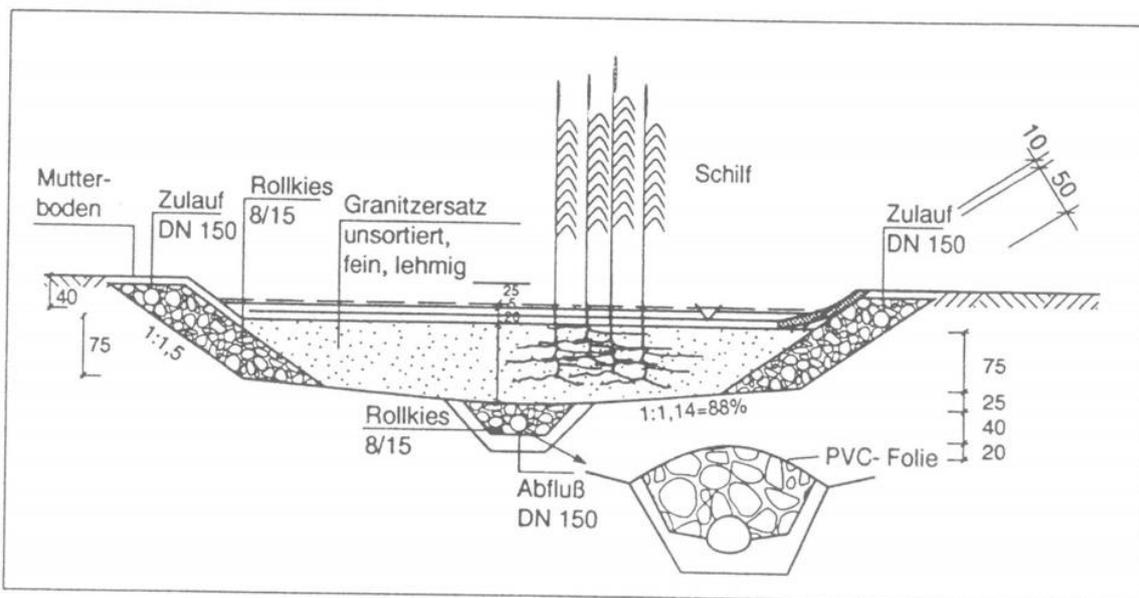


Abbildung 4: Bepflanzte Bodenfilter nach GELLER (1982), aus WISSING (1995)

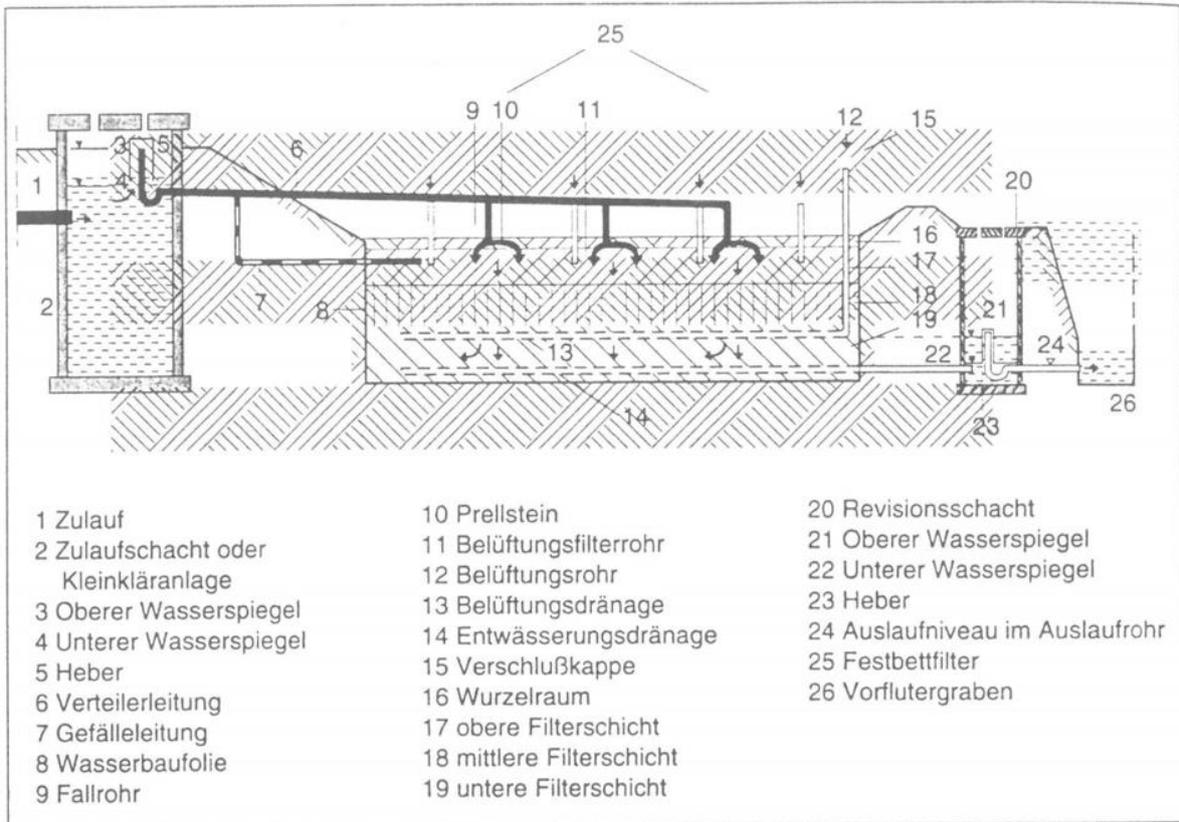


Abbildung 5: Phytofilt-System nach LÖFFLER (1993)

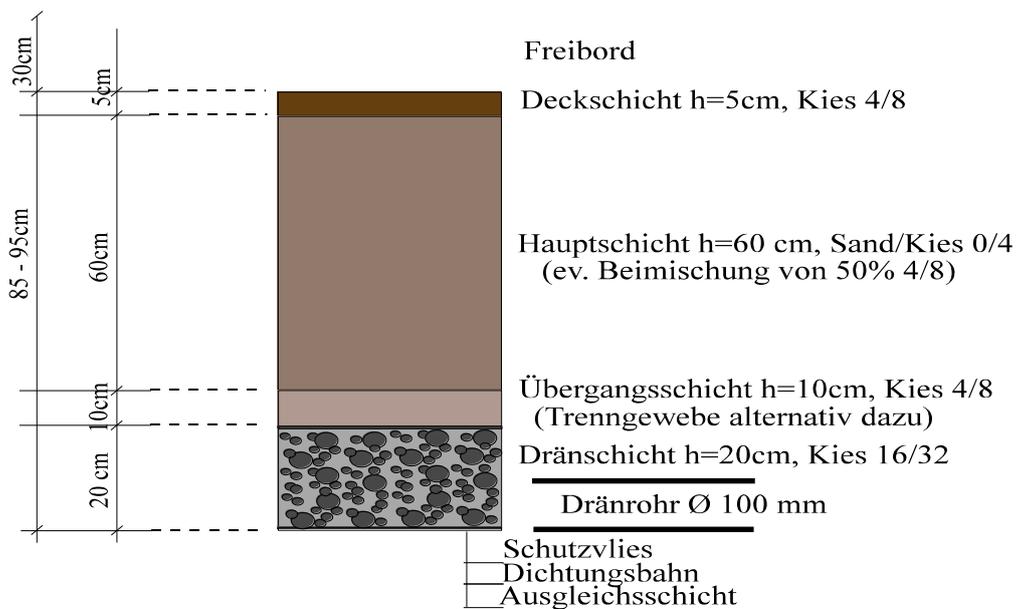


Abbildung.6: Vertikal durchströmter bepflanzter Bodenfilter - System IWGA-BOKU (IWGA, 1990)

Der Einsatz der unterschiedlichen Bauformen ist von den Anforderungen an die Reinigungsleistung bzw von der Stellung im Reinigungsprozeß abhängig. Durch die unterschiedlichen gesetzlichen Grundlagen sind internationale Erfahrungen nur unter Berücksichtigung der Vergleichbarkeit der Anforderungen (v.a. Nitrifikation!) zu verwerten. Ausgehend von der österreichischen Situation können folgende Einsatzbereiche in bezug auf die Rohwasserqualität unterschieden werden:

- mechanisch gereinigtes Abwasser - einstufiges System:
⇒vertikal durchströmter bepflanzter Bodenfilter (VBBF) mit intermittierender Beschickung
- mech. gereinigtes Abwasser - zwei-/mehrstufiges System in Serie:
⇒Kombination von vertikal und horizontal durchströmtem BBF
- biologisch gereinigtes Abwasser (dritte Reinigungsstufe):
⇒vertikal bzw horizontal durchströmter BBF (je nach Anforderung):
 - Restnitrifikation: Vorteile für VBBF
 - Denitrifikation, P-Elimination, Mengenreduktion: Vorteile für HBBF

Für die Anwendung als dritte Reinigungsstufe liegen in Österreich noch relativ geringe praktische Erfahrungen vor, der Einsatz bei einer Anschlußgröße > 200 EGW ist Gegenstand eines aktuellen Pilotversuchs (KOCH et al., 1996).

Die mittlerweile hohe Anzahl von Pflanzenanlagen z.B. in Europa und USA - darunter eine Vielzahl mit gut dokumentierten Betriebsergebnissen - hat insgesamt zu einer breiten Datenbasis geführt, die zum Teil einer vergleichenden Auswertung unterzogen wurden (z.B.: BÖRNER, 1992, 1993; KNIGHT, 1993). Basierend auf diesen Erfahrungen wurden Dimensionierungsansätze für die unterschiedlichen Bautypen bzw. Verfahrensführungen erarbeitet. Zu unterscheiden sind dabei im wesentlichen:

- Pflanzenstufen mit freiem Wasserspiegel ("surface flow")
- Pflanzenstufen mit Durchströmung im Bodenhorizont ("subsurface flow")
- horizontal durchströmte Pflanzenstufen
- vertikal durchströmte Pflanzenstufen

Der Einsatzbereich von "surface flow systems" ist zur Zeit im wesentlichen auf außereuropäische Bereiche (v.a. USA) beschränkt; für den Einsatz im Zusammenhang mit einer Regenwasser- bzw. Oberflächenwasserbehandlung werden solche Systeme jedoch in Zukunft auch bei uns eine verstärkte Bedeutung erreichen. Die bei uns für die Reinigung von häuslichem Abwasser in Frage kommenden "subsurface flow systems" weisen im wesentlichen keine offenen Wasserflächen auf, was einer vielfach gestellten Forderung der Hygiene - vor allem im Bereich von Einzelhausanlagen - entspricht. Für die horizontal durchströmten Bauformen liegen langjährige Erfahrungen vor. Im Zusammenhang mit den aktuellen Anforderungen an die Nitrifikationsleistung kommen verstärkt vertikal durchströmte Anlagentypen zum Einsatz. Eine Kombination der beiden Typen wird vielfach im Rahmen einer weitergehenden Stickstoff- und Phosphorelimination realisiert. Grundsätzlich wurde diese Verfahrensweise bereits von SEIDL (1978) eingesetzt, allerdings ohne besondere Berücksichtigung einer gesicherten Nitrifikation.

Bei den folgenden Ausführungen über die Dimensionierung wird lediglich auf die Bemessung der Pflanzenstufe eingegangen. Die Auslegung der mechanischen Vorreinigung und der maschinellen Ausrüstung entspricht im wesentlichen der Vorgangsweise bei anderen Reinigungsverfahren derselben Größenordnung. Unter Umständen können sich durch Berücksichtigung der besonderen Pufferfähigkeit einer Pflanzenstufe günstigere Ansätze für die Vorreinigung ergeben.

3 Dimensionierung

Die Dimensionierung umfaßt als wesentliche Grundlage die hydraulische Berechnung. Im Zusammenhang mit einer ungenügenden hydraulischen Durchlässigkeit wurden bei vielen bestehenden Anlagen Fehlfunktionen festgestellt. Im Regelfall war die Bodendurchlässigkeit im Vergleich zur Beschickungsmenge zu gering, sodaß das Reaktionsvolumen des Pflanzenbeetes nur teilweise oder sehr ungleichmäßig genutzt werden konnte. Der Bedarf nach einer möglichst exakten Aussage über die bodenphysikalischen Eigenschaften des Füllmaterials bedingt Analysen am ausgewählten Material. Eine Abschätzung der Durchlässigkeit über die Sieblinie anhand einer generellen Analyse eines Kiesgrubenstandortes sollte nur für eine Vorauswahl verwendet werden.

Über die hydraulische Berechnung wird der erforderliche durchströmte Querschnitt ermittelt. Zusätzlich wird über empirisch abgesicherte Reaktionskonstanten die erforderliche Aufenthaltszeit (= erforderliches Reaktionsvolumen) festgelegt. Die Reaktionskonstanten weisen in Abhängigkeit von den jeweils verwendeten Bodenmaterialien (z.B. bindig - nichtbindig) unterschiedliche Größenordnungen auf. Aufgrund der historischen Entwicklung beruhen vor allem die Werte für den Kohlenstoffabbau auf sehr langen Zeitreihen.

3.1 Pflanzenanlagen mit freiem Wasserspiegel (Surface Flow Systems)

Von KADLEC (1994) wurde ein Bemessungsansatz vorgestellt (Abb. 1), der auf einer Reaktionsgleichung 1. Ordnung basiert. Der Ansatz beschreibt die langfristige Massenbilanz zwischen Abbau der Abwasserinhaltsstoffe und teilweise Rückführung der aufgenommenen Inhaltsstoffe durch Abbau der Biomasse bzw. Rücklösung aus dem Bodenmaterial. Zusätzlich wird für diese Systeme eine nach dem Stoffabbau verbleibende Hintergrundbelastung angenommen. Die Reinigungsleistung kann somit eine Minimumkonzentration im Ablauf nicht übersteigen. Als Grundlage für die Reaktionskonstanten der einzelnen Parameter stand die Auswertung einer umfangreichen Datenbasis zur Verfügung (KNIGHT et al., 1993) .

Nochmals sei darauf hingewiesen, daß diese Systeme bei der Reinigung häuslicher Abwässer in (Mittel)Europa nicht zur Anwendung kommen. Als Reinigungsstufen für geringe Zulaufbelastungen (Oberflächengewässer, 3. Reinigungsstufe, o.ä.) können diese Anlagen in Zukunft jedoch verstärkte Bedeutung erlangen.

3.2 Pflanzenstufen mit Durchströmung im Bodenhorizont

3.2.1 Horizontal durchströmte Bauformen

Speziell für diese Bauform hat nahezu jeder Entwickler einer "eigenen" Bauform seine eigene Bemessungsformel entwickelt. Im wesentlichen erfolgt einerseits der Nachweis der ausreichenden hydraulischen Durchlässigkeit des

durchströmten Querschnitts und andererseits der Nachweis der erforderlichen Abbaurate in Abhängigkeit von der Eingangsbelastung und dem maßgeblichen Verschmutzungsparameter. Im Regelfall ausschlaggebend ist der realistische Ansatz der hydraulischen Durchlässigkeit des eingebauten Bodenmaterials, wobei vor allem auf die korrekte Auslegung der Sickerfläche des Einlaufbereiches zu achten ist. Die Berechnungsansätze der jeweiligen „Systementwickler“ weisen naturgemäß große Ähnlichkeiten auf. Der wesentliche Unterschied besteht im Regelfall bei der zum Einsatz kommenden Reaktionskonstante, die somit typspezifisch für die jeweilige Bauform erscheint.

Als Beispiele von Bemessungsansätzen können u.a. genannt werden (PERFLER, 1995):

- ATV-Hinweisblatt H 262, 1989; ATV-Arbeitsblatt A 262 (Entwurf 11/95)
- IÖV (1995), basierend auf den Arbeiten im Rahmen des „Erfahrungsaustausch Pflanzenkläranlagen Weihenstephan, 1991
- European Design and Operations Guidelines, EC/EWPCA Expert Group, 1990
- EPA - Design Manual, Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems, 1988
- ÖNORM B 2505 (Entwurf Feber 1996)

Im Zusammenhang mit den aktuellen Anforderungen an die Reinigungsleistung kleiner Anlagen ist der Einsatz horizontal durchströmter Pflanzenfilter nur eingeschränkt möglich. Zur Sicherstellung der Leistungsfähigkeit bei der Nitrifikation ist nach den aktuellen Erfahrungen eine spezifische Fläche von mindestens 6 m²/EGW erforderlich, wobei unter Umständen spezielle Betriebsweisen (zB alternierender Betrieb von parallelgeschalteten Stufen im Wochenintervall) erforderlich sind. Bei der Anwendung von 2-stufigen Anlagen ist der Einsatz als erste Stufe (Kohlenstoffabbau) bzw. zweite Stufe (Denitrifikation, P-Elimination, Mengenreduktion) denkbar, wobei eine entsprechende Verringerung der spezifischen Fläche möglich ist.

3.2.2 Vertikal durchströmte Bauformen

Bei der hydraulischen Berechnung ist zu berücksichtigen, daß die Beschickungsmenge der Anlage bzw. die Länge der Intervallpausen eine Durchlüftung des Bodenkörpers durch das Wechselspiel von gesättigten und ungesättigten Bodenhorizonten zuläßt. Eine genaue Berechnung ist durch den ständigen Wechsel des Sättigungsgrades aufwendig.

Die vertikale Durchströmung des Filterkörpers legt einen Ansatz unter Berücksichtigung des Raumvolumens nahe. Die aktuellen Erfahrungen zeigen aber, daß ab einer Profilhöhe von etwa 1 m keine wesentliche Verbesserung der Reinigungsleistung erfolgt. Lediglich bei relativ aufwendigen Bauformen mit einer speziellen Ausbildung verschiedener Bodenhorizonte (zusätzliche Belüftung bzw. Kohlenstoffeintrag in der Tiefe) kann durch Schaffung spezifischer Milieubedingungen in den jeweiligen Horizonten eine höhere Profiltiefe sinnvoll genutzt werden.

In Österreich erscheint zur Zeit eine pauschalierte Bemessung mit einer spezifischen Fläche von $5\text{m}^2/\text{EGW}$ im bevorzugten Einsatzbereich der Anlagen ($< 50\text{EGW}$) einerseits empirisch ausreichend abgesichert und andererseits im Genehmigungsverfahren durchsetzbar. Eigene sowie internationale Erfahrungen zeigen jedoch, daß bei der vertikalen Durchströmung auch bei einer deutlich geringeren spezifischen Fläche (ca. $3\text{m}^2/\text{EGW}$) befriedigende Abbauleistungen erzielt werden können.

Diese pauschalierten Werte gelten unter der Annahme von bestimmten Rohwasserfrachten bzw. Bauformen. Bei der heute üblichen Bemessungsannahme von $5\text{m}^2/\text{EGW}$ liegen z.B. folgende bauliche bzw. betriebliche Bedingungen zugrunde (Abb. 6):

- häusliches Abwasser (z.B. nach ATV), $150\text{l}/\text{EGW}$,
- Durchlässigkeit des Bodenmaterials: kf-Wert = 10^{-3} - 10^{-4}m/s ,
- Intervallpausen für die Beschickung von ca. 6h,
- Gesamthöhe des Bodenprofils (inkl. Dränschicht, Erosionsschutz, etc.) ca. 1m
- Höhe der Hauptschicht (mit sandigen Körnungsanteilen): ($\geq 0.6\text{m}$)

4 Entwicklung von Normen und Regelwerken

Zur Absicherung von Mindeststandards für die Bemessung, den Bau und den Betrieb der Pflanzenanlagen werden mittlerweile national bzw international (EU) gültige Regelwerke entwickelt. Durch die mitunter regional unterschiedliche Vorgangsweise von Seiten der Genehmigungsbehörden bestehen vielfach regional angewendete Merk- und Hinweisblätter. In Österreich wurde im Feb. 1996 der Entwurf für die Vornorm B 2505 „Bepflanzte Bodenfilter (Pflanzenkläranlagen) - Anwendung, Bemessung, Bau und Betrieb“ fertiggestellt. Dabei wird sowohl auf die horizontal wie auch vertikal durchströmte Bauform beim Einsatz für die häusliche Abwasserreinigung eingegangen. Allerdings erscheint es - in Anbetracht des weiten Einsatzbereiches von Pflanzenanlagen für Maßnahmen des Gewässerschutzes - sinnvoll, bei der weiteren Ausarbeitung zusätzliche Bauformen und Anwendungsbereiche aufzunehmen.

Die Arbeiten zur Erstellung einer Europa-Norm befinden sich in einem Anfangsstadium.

Einen für die praktische Umsetzung beim Bau von Pflanzenanlagen wesentlichen Teil dieser Regelwerke stellen die Angaben zur Konstruktion dar. Dabei müssen folgende Themenbereiche einen Schwerpunkt darstellen:

- Auswahl des Bodenmaterials in bezug auf physikalische und chemische Kenngrößen (zB Korngrößenverteilung, hydromorphe Eigenschaften, Adsorptionsflächen, Austauschpotential, ...)
- Einbau des Bodenmaterials bzw von Bodenhorizonten mit unterschiedlicher Korngrößenverteilung
- Maßnahmen zur Vermeidung von Verschlammungserscheinungen (abgestufte Korngrößen, Erosionsschutz, etc.)
- gleichmäßige und betriebssichere Beaufschlagung der zur Verfügung stehenden Sickerfläche (bes. zulaufseitig)

Die Erarbeitung und Konkretisierung von Entscheidungskriterien für den Einsatz bzw. die Auslegung von Pflanzenanlagen - wie ihn zB die European Guidelines (1990) in einem ersten Ansatz enthalten (vgl. PERFLER, 1995) -

sollte sowohl die Kontrolle als auch die Transparenz der Planungsschritte sicherstellen.

Die Standardisierung von Bau- und Betriebsformen sollte auch zu einer Reduktion des Planungs- und damit Kostenaufwandes besonders im Einzelanlagenbereich führen. Darüberhinaus kann die verlässliche Einhaltung der Reinigungsanforderungen durch den Einsatz von Standardbauformen am besten gewährleistet werden.

5 Reinigungsleistung

Bei Angaben über die Reinigungsleistung von Pflanzenkläranlagen bzw. bei der vergleichenden Interpretation sind folgende Punkte besonders zu beachten:

- Belastung des Rohwassers
- Bezug der Reinigungsleistung auf die Pflanzenstufe oder auf die Gesamtanlage
- Bauart und Betriebsform als wesentliche Randbedingung zur Vergleichbarkeit der Daten
- genaue Beschreibung der tatsächlichen hydraulischen Verhältnisse (Durchströmungsmuster, Auslastung) und der Beschickungsart („Intervallbeschickung“ oftmals nicht wirklich gegeben)

5.1 Vertikal durchströmte bepflanzte Bodenfilter (VBBF)

Als Beispiel für die im praktischen Einsatz erzielbare Reinigungsleistung eines vertikal durchströmten bepflanzten Bodenfilters sei auf eine Pilotanlage im Einzelhausbereich (8 EGW) verwiesen (PERFLER et al., 1995). Die Tabelle 1 enthält die Kennziffern der Auswertung einer Jahresreihe (gemäß Emissionsverordnung). Die Probenahmezeitpunkte sind gleichmäßig über das Jahr verteilt, die hydraulische Auslastung der Anlage liegt bei ca. 90% der Dimensionierungsgröße. Somit ist eine hohe Repräsentativität der Meßwerte gegeben. Bei Betrachtung des 80%-Wertes der Ablaufkonzentrationen kann für alle wasserrechtlich relevanten Parameter eine klare Einhaltung der Grenzwerte festgestellt werden. Die Werte für CSB und BSB₅ liegen bei ca. 50 bzw. 25%

des Grenzwertes. Auch der Wert für NH₄-N liegt mit 8,1 mg/l (Minimum <0,1 mg/l) deutlich unter dem Grenzwert (10 mg/l) - trotz der relativ geringen Temperaturen im Ablauf (Minimum 2,5 °C). Die Beschränkung der Nitrifikation auf Temperaturen >12°C nach EVO blieb bei der Auswertung unberücksichtigt.

	CSB		BSB5		Temp [°C]	NO ₃ -N ab	NH ₄ -N		Nges [mg/l]		Pges		abf. St.	
	zu	ab	zu	ab			zu	ab	zu	ab	zu	ab	zu	ab
n-WERTE	25	25	25	25	22	25	25	25	25	25	25	25	25	25
MAX	702	91	265	32	15,5	102,8	86,6	12,2	117,6	121,5	13,7	6,5	432	38
MIN	140	17	19	1	2,5	8,2	48,0	0,0	67,1	12,8	8,7	2,3	72	2
MITTEL	325	33	117	5	8,5	47,5	71,6	4,5	86,1	55,0	10,7	4,0	121	10
80%-Wert		41		6		56,4		8,1		67,7		5,5		12
ELIM.[%]		90		96				94		36		63		92

Tabelle 1: Variante A, Datenreihe April 1993 bis Juni 1994 (PERFLER et al., 1995)

Im wesentlichen vergleichbare Ergebnisse liefern Untersuchungen von Anlagen in der Steiermark (NNA, 1994), wobei zum Teil fehlende Angaben zur aktuellen Auslastung bzw Bauformen, die einem Mischtyp zwischen horizontal und vertikal beschicktem Filter entsprechen, einen direkten Vergleich erschweren. Zusätzliche Erfahrungen mit vertikal durchströmten Filtern liefern zB PLATZER (1995), LÖFFLER (199) und BREEN (1996). Als allgemein gültige Aussage kann zusammengefaßt werden:

- ganzjährig gesicherter CSB und BSB5-Abbau ohne statistisch signifikante Verminderung in der Winterperiode
- ganzjährig gesicherte Nitrifikationsleistung unter Einhaltung einer Ablaufkonzentration für NH₄-N von 10 mg/l; Minimumwerte im Sommerhalbjahr bis << 1mg/l.

Die genannte Nitrifikationsleistung der Bodenfilter ist im wesentlichen mit der vergleichsweise extensiven Verfahrensführung erklärbar. Von entscheidender Bedeutung ist einerseits die Intervallbeschickung zur Zwangsbelüftung des Bodenkörpers und andererseits die flächige Verteilung des Abwassers zur Ausnutzung des Reaktionsvolumens

5.2 Horizontal durchströmte bepflanzte Bodenfilter (HBBF)

Die international weite Verbreitung der horizontal durchströmten Bauform ist einerseits begründet durch den Verlauf der Verfahrensentwicklung und andererseits durch die bei kleinen Anlagen in vielen Ländern auf Kohlenstoffelimination beschränkten Reinigungsanforderung. Wie weit die Nitrifikation gemäß Emissionsverordnung auch bei horizontaler Durchströmung gesichert ist, war eine der Fragestellungen bei der mehrjährigen Untersuchung einer Pilotanlage (PERFLER et al., 1995). Die Tabelle 2 enthält die Kennzahlen für die Auswertung einer Jahresreihe nach EVO.

	CSB		BSB5		Temp [°C]	NO3-N		NH4-N		Nges		Pges		abf.St.	
	zu	ab	zu	ab		ab	zu	ab	zu	ab	zu	ab	zu	ab	
n-WERTE	30	28	30	28	29	28	30	28	30	28	30	28	28	28	
MAX	460	68	180	10	16,6	80,0	108,0	11,0	122,5	97,8	13,8	8,1	198	28	
MIN	97	30	9	1	2,4	3,5	33,4	1,3	39,8	10,9	7,1	0,7	12	2	
MITTEL	211	43	57	4	9,8	31,9	78,6	7,4	91,1	44,6	11,0	3,3	86	10	

Tabelle 2: Variante C, Datenreihe Juni 1993 bis Juni 1994 (PERFLER et al., 1995)

Für die Parameter CSB und BSB5 liegt der 80%-Wert der Ablaufkonzentrationen deutlich unter dem jeweiligen Grenzwert, eine jahreszeitliche Abhängigkeit ist statistisch nicht nachweisbar. Die Auswertung in bezug auf die Nitrifikationsleistung - ohne Einschränkung auf Temperaturen >12°C - ergibt mit 10,2 mgNH4N/l eine geringfügige Überschreitung des Grenzwertes. Bei Berücksichtigung der Temperatur gemäß EVO liegt der 80%-Wert etwas unter 10 mg/l. Während der Sommerperiode werden Minimalgehalte zwischen 1 und 3 mg/l erreicht. Die geringe hydraulische Belastung der Anlage mit etwa 50% der Dimensionierungsgröße stellt eine Einschränkung der Dateninterpretation dar.

Untersuchungen von Anlagen in der Steiermark (NNA, 1994) sowie Angaben von GELLER (1992) und BÖRNER (1992) liefern vergleichbare Ergebnisse. Folgende Schlußfolgerungen sind möglich:

- ganzjährig gesicherter CSB und BSB₅-Abbau ohne statistisch signifikante Verminderung in der Winterperiode
- die Nitrifikationsleistung ist durch die verringerte Austauschdynamik zwischen gesättigten und ungesättigten Bodenzonen eingeschränkt; ausgeprägte jahreszeitliche Abhängigkeit ohne gesicherte Einhaltung einer Ablaufkonzentration für NH₄-N von 10 mg/l; Minimumwerte im Sommerhalbjahr 1 - 3 mg/l.

6 Anlagenbetrieb - Anlagenkonstruktion

Der Anlagenbetrieb stellt aufgrund der üblicherweise einfachen technischen Ausstattung der Pflanzenanlagen allgemein gesprochen keine besonderen Anforderungen.

Als wesentlicher Betriebsgrundsatz ist die Sicherstellung einer intermittierenden bzw alternierenden Beschickung einzustufen. Im einfachsten Fall (und bei entsprechenden geodätischen Verhältnissen) ist die Beschickung der Pflanzenstufe mechanisch-hydraulisch durchführbar. Dabei ist jedoch zu beachten, daß die intermittierend aufbrachten Zulaufmengen eine Größenordnung aufweisen, sodaß das Verteilsystem gleichmäßig beaufschlagt werden kann. Dies ist bei oftmals eingesetzten Kippwannen nicht immer gewährleistet. Eine gesicherte Intervallbeschickung wird in der Regel über einen zeitgesteuerten Pumpbetrieb durchgeführt. Die dafür erforderliche Infrastruktur ist üblicherweise vorhanden bzw leicht erstellbar. Die schiebergesteuerte Zulaufregelung hat sich in einigen konkreten Fällen wegen Kondenswasserbildung und Korrosionsproblemen im Motorbereich nicht bewährt. Durch die geringen Laufzeiten der Pumpen stellen die Energiekosten keinen relevanten Kostenfaktor dar.

Für die Sicherstellung einer regelmäßigen Verteilung der Beschickungszeitpunkte ist die Zwischenspeicherung des mechanisch gereinigten Abwassers erforderlich. Durch die Intervallbeschickung darf das Absetzverhalten der mechanischen Stufe nicht nachteilig beeinflußt werden. Für die Räumung des in der mechanischen Stufe abgesetzten Schlammes ist nach Erfahrungen im Einzelhausbereich maximal im jährlichen Abstand erforderlich. Die in kleinen Anteilen auf das Pflanzenbeet aufbrachten abfiltrierbaren Stoffe stellen

insbesondere bei der Flächenverteilung bei vertikal durchströmten Filtern in der mehrjährigen Beobachtung kein Betriebsproblem (Infiltrationswiderstand) dar.

Die Entfernung der zuwachsenden oberirdischen Biomasse erscheint auf Grund der beschränkten Stoffentnahme bei Abwassersystemen als wenig sinnvoll. Darüberhinaus stellt die sperrige Struktur der Streuschicht v.a. bei Schilfbepflanzung eine wichtige Wärmeisolation im Winter dar, die zusätzlich eine nachteilige direkte Schneeeauflage auf der Beetoberfläche verhindert. Aufgrund des lockeren Aufbaus wird der Luftaustausch an der Oberfläche des Filters nicht behindert.

Der Winterbetrieb kann im Hinblick auf die Verteileinrichtungen an der Beetoberfläche ein Problem darstellen. Die sehr einfachen Konstruktionen bei Einzelhausanlagen haben sich durchgehend bewährt. Bei größeren Vertikalfiltern sind aufgrund der für unsere klimatischen Bereiche geringen praktischen Erfahrungen optimierte Verteilkonstruktionen erforderlich, die einerseits betriebssicher und andererseits technisch bzw. ökonomisch nicht zu aufwendig sind.

Die allgemeine Stabilität des Anlagenbetriebs auch im Vergleich zu technischen Kleinanlagen wurde - unter der Voraussetzung einer grundsätzlich korrekten Dimensionierung und Betriebsführung - bereits von MÜLLER (1991) und BÖRNER (1992, 1993) nachgewiesen. Weitere positive Hinweise dazu liefern zB HABERL et al. (1995, 1996). Für die vertikal durchströmten Filter liegen - im Vergleich zu horizontalen Bauformen - naturgemäß noch nicht besonders lange Beobachtungsreihen vor. Die Auswertungen mehrjähriger Betriebsperioden lassen jedoch auf keine speziellen Betriebsprobleme für den langjährigen Betrieb schließen. In diesem Sinne ist eine Aussage über eine mögliche Gesamtbetriebsdauer nicht gesichert möglich. Eine vorzeitige Erschöpfung der für die Reinigungsleistung maßgeblichen biochemischen Umsetzungsprozesse erscheint nicht plausibel.

Allgemeine Konstruktionshinweise können den bereits erarbeiteten Regelwerken (vgl. Kap. 3 und 4) entnommen werden. Die zukünftigen Entwicklungen sollten vor allem eine Standardisierung von Anlagenteilen (Vorreinigung, Beschickungseinrichtung, Steuerung, Ablaufgestaltung, Beetabdichtung) zur Sicherstellung der Ausführungsqualität und gleichzeitig zur Kostenoptimierung zum Ziel haben.

Die aufgrund der „einfachen“ technischen Ausführung von Pflanzenanlagen naheliegenden Überlegungen zum Selbstbau durch Interessenten (zB NNb, 1995) erfordert in jedem Fall eine fachlich kompetente Begleitung, wobei für bestimmte Anlagenkomponenten eine Erstellung durch Fachfirmen unerlässlich ist. Durch eine Serienentwicklung für bestimmte Anlagengrößen bzw. -komponenten könnten hier weitere Kostenvorteile verwirklicht werden.

Die Errichtungskosten einer Anlage (Zuleitung, Vorreinigung, Pflanzenfilter, Ableitung) können je nach Einzelfall erheblich differieren. Für Einzelhausanlagen ist ein Rahmen von 50 000.- bis 100.000.- öS einigermaßen realistisch. Die Kosten für die Pflanzenstufe (Zulaufverteilung, Erstellung des dichten Pflanzenbeckens, Erstellung des Bodenaufbaus, Dränleitungen) liegen nach aktuellen Erfahrungen bei 1.300.- bis 2.000.- öS pro m² Beetfläche. Teilweise wurden jedoch auch Kosten knapp unter 1000.- öS / m² erhoben. Die regionalen Kostenunterschiede sind - wie zB auch bei Kanalisationskosten bekannt - zum Teil erheblich.

7 Optimierung der Reinigungsleistung

Neben der gesicherten Einhaltung der gesetzlich geforderten Reinigungsleistung bzw Ablaufgrenzwerte ist die Frage nach der Möglichkeit einer verbesserten Nährstoffelimination ein wesentlicher Bestandteil aktueller Forschungsprojekte.

Für die Steigerung des Stickstoffabbaus werden - entsprechend den bekannten Verfahrensgrundsätzen (anoxisches Milieu, C-Quelle, etc.) - unterschiedliche Lösungsansätze untersucht. Die Möglichkeiten einer geänderten Verfahrens- bzw Betriebsführung richten sich nach den Randbedingungen der Anlagensysteme, wie zB:

- einstufig - mehrstufig,
- Parallelbetrieb - Betrieb in Serie
- Kombination von vertikal und horizontal durchströmten Stufen

Die Möglichkeiten einer P-Elimination (d.h. Festlegung) sind eng an den Einsatz eines Bodenmaterials mit entsprechender Ionenaustauschkapazität

gebunden, wobei - neben einem wünschenswerten hohen Gehalt an Eisen- und Aluminiumoxiden - vor allem der Kalziumgehalt für die stabile Festlegung entscheidend ist. Die Beimengung von Fe- und Al-oxidhaltigen Stoffen zB als gekörntes Material ist in der Regel wegen der vergleichsweise geringen Adsorptionsfläche von geringer Effektivität und daher eher eine Frage der zusätzlich entstehenden Kosten. Im Vergleich zu technischen Kleinanlagen ohne spezielle Einrichtungen ist die P-Elimination von Pflanzenfiltern jedoch signifikant höher.

In den folgenden Ausführungen werden die Ergebnisse von Versuchen zur Verbesserung des Stickstoffabbaus durch Rezirkulationsbetrieb einerseits und Dosierung einer C-Quelle andererseits vorgestellt. Diese Lösungsansätze erfordern relativ einfach realisierbare Modifizierungen des Anlagenbetriebes.

7.1 Rezirkulationsversuche bei einem einstufigen VBBF

Die Anlage Variante A besteht aus einer vorgeschalteten Grobentschlammung in Form eines einfachen Absetzschachtes (3m³) und einem einstufigen vertikal durchströmten bepflanzten Bodenfilter (Substrattiefe: 80cm, 5m² Oberfläche pro EGW). Der Bodenfilter wird mit freiem Auslauf - ohne Einstau der Bodenschicht - betrieben und viermal täglich beschickt.

Im Rezirkulationsversuch wird ein Teil des nitrifizierten Ablaufes aus dem Pflanzenbecken zurück in den Grobentschlammungsschacht gepumpt. In dem Schacht mischt sich das Rohabwasser (kohlenstoffreich, anoxisch/anaerob) mit dem nitrifizierten Ablauf.

Die Denitrifikationsleistung steht dabei in Abhängigkeit von der Menge des rezirkulierten Abwassers (Rücklaufverhältnis). Je höher dieses Rücklaufverhältnis desto größer die mögliche Denitrifikationsleistung der Anlage. Allerdings wird durch die Rückführung gleichzeitig die hydraulische Belastung der Anlage erhöht, die eine Verringerung der Nitrifikationsleistung verursachen könnte. Dieser Überlegung folgend wurde die Rezirkulationsmenge auf 50 - 80 % der Zulaufmenge beschränkt.

In einem zweiten Versuchsschritt wurden zusätzlich die untersten 20 cm des Bodenkörpers eingestaut, um einerseits eine größere Menge gesichert rezirkulieren zu können und andererseits, um ein Denitrifikationspotential auch

im Bodenkörper selbst zu schaffen (anoxische Zone). Zusätzliche Bedingung für eine Denitrifikation in dieser eingestauten, unteren Bodenschicht ist jedoch eine ausreichende C-Versorgung.

7.1.1 Versuchsergebnisse Rezirkulation

Versuchsphase 1 - ohne Einstau des Bodenfilters

In dieser Phase erfolgte die Rezirkulation mit einer Fördermenge von etwa 50% der zulaufenden Menge (ca. 1100 l/d). Abbildung 7 zeigt die Konzentrationsverläufe von $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ im Ablauf der Anlage über den gesamten Versuchszeitraum (Juni - August).

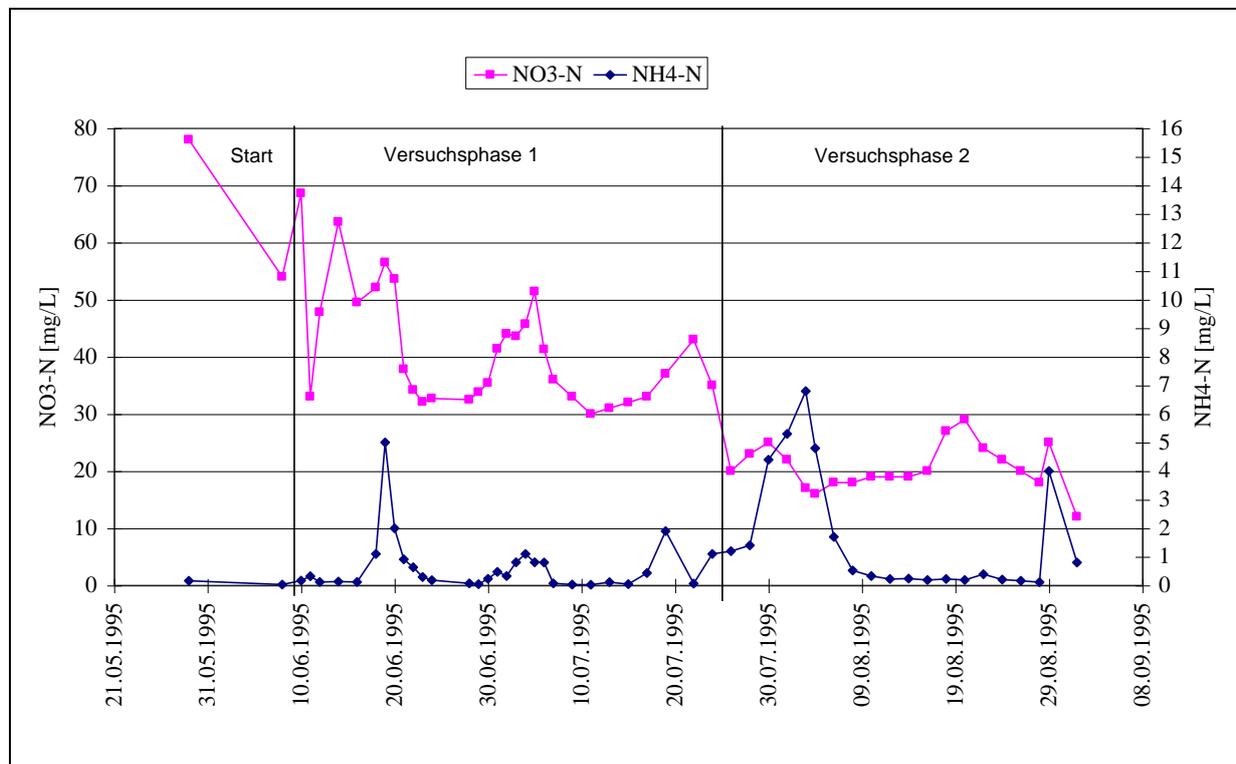


Abbildung 7: Verlauf der $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ - Konzentrationen im Ablauf der Variante A über den gesamten Versuchszeitraum mit Rezirkulation

Deutlich zu erkennen ist der deutliche Abfall im Konzentrationsverlauf des Nitrates bei weitgehend gleichbleibend niederen Ammonium-Ablaufwerten. Die erhöhten Ammoniumwerte vom 19. und 20. Juni sind auf einen Schieberdefekt zurückzuführen, wodurch keine - für die hohe Nitrifikationsleistung ausschlaggebende - Intervallbeschickung möglich war. Nach Behebung des Defektes werden die gewohnt niedrigen Werte sehr rasch wieder erreicht. In der

ersten Juliwoche wurde versuchsweise die Rezirkulationspumpe abgeschaltet, was ein Ansteigen der Nitratwerte zur Folge hatte.

In dieser ersten Versuchsphase (bis 25.7.1995) konnte ein durchschnittlicher Nitratableaufwert von 40,6 mg/l erreicht werden, was einer Reduktion gegenüber dem Durchschnittswert vor der Versuchsphase (Jänner bis Juni 1995: 59 mg/l) von 31% entspricht. Der durchschnittliche $\text{NH}_4\text{-N}$ - Ablaufwert betrug in der ersten Versuchsphase 0,63 mg/l und blieb somit gegenüber dem Normalbetrieb (0,40 mg/l) praktisch unverändert. Somit konnte in dieser Versuchsphase die Eliminationsleistung der Anlage in bezug auf anorganischen Stickstoff ($\text{NO}_2\text{-N}$ betrug im Ablauf durchschnittlich 0,20 mg/l) von 17% auf 42% gesteigert und somit mehr als verdoppelt werden. Der Konzentrationsverlauf des gesamten anorganischen Stickstoffes im Ablauf ist in Abbildung 8 dargestellt.

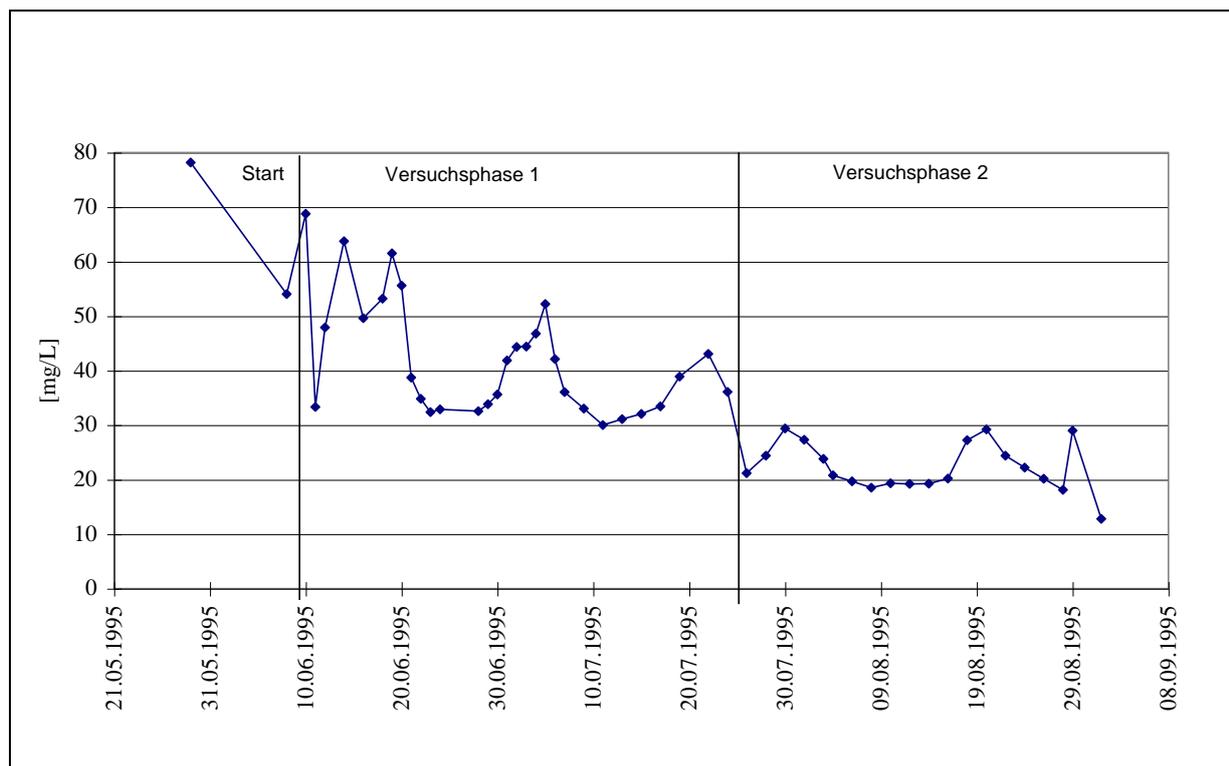


Abbildung 8: Konzentrationsverlauf vom gesamten anorganischen Stickstoff im Ablauf der Variante A über den Zeitraum des Rezirkulationsversuches

Versuchsphase 2 - mit teilweiseem Einstau des Bodenfilters

In der zweiten Versuchsphase (ab 25. Juli) wurde der Bodenkörper (Gesamttiefe 80cm) im untersten Bereich eingestaut (20 cm), einerseits zur Schaffung von Denitrifikationsbereichen und andererseits zur Mengenspeicherung. In der Folge konnte eine größere Menge Ablaufwasser rezirkuliert werden (60 - 80%).

Abbildung 7 zeigt, daß aufgrund dieser Maßnahme die Ablaufwerte von $\text{NO}_3\text{-N}$ weiter gesenkt werden konnten auf durchschnittlich 20,6 mg/l. Dies entspricht einer Reduktion um weitere 50% gegenüber der ersten Versuchsphase und einer Reduktion von 65% gegenüber dem ursprünglichen Zustand ohne Rezirkulation. Nach dem Einstau des Bodenkörpers kam es zu einer kurzfristigen Erhöhung der Ammonium-Ablaufwerte auf 7 mg/l. Der Wert am 29. August wird wegen Fehlens einer plausiblen Erklärung als Ausreißer gewertet. Für die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufkonzentration wurde in der zweiten Versuchsphase ein Mittelwert von 1,65 mg/l ermittelt. Der teilweise Einstau einerseits und die stärkere hydraulische Belastung andererseits verursachte eine gewisse Einschränkung der Nitrifikationsleistung. Die sichere Einhaltung des Ammonium-Grenzwertes wurde bei diesen Versuchsbedingungen noch nicht gefährdet. Bei einer weiteren Steigerung des Rücklaufverhältnisses und/oder Erhöhung des Einstaues müßte jedoch mit Grenzwertüberschreitungen bei $\text{NH}_4\text{-N}$ gerechnet werden.

Die Konzentration vom gesamten anorganischen Stickstoff im Ablauf der Anlage (Abb. 8) betrug durchschnittlich 22,5 mg/l, was einer Eliminationsleistung von 69% entspricht (Vervierfachung der Eliminationsleistung gegenüber dem ursprünglichen Betrieb). Unter Einbeziehung des organischen Stickstoffs (durchschnittlich 25,1 mg/l im Zulauf und 4,7 mg/l im Ablauf) ergibt sich für die zweite Versuchsphase eine N_{ges} -Elimination von 72%. Dieser Wert entspricht den Anforderungen der EVO bezüglich N_{ges} -Elimination für Anlagen > 5000 EGW. Der in dieser Versuchsphase erzielte N_{ges} -Abbau entspricht mit hoher Wahrscheinlichkeit der maximal möglichen Leistung des Systems "einstufige Pflanzenkläranlage (VBBF) mit Rezirkulation".

In bezug auf die Ablaufwerte für CSB und TOC (Abb. 9) wurden über den gesamten Versuchszeitraum durchschnittliche Ablaufkonzentrationen von 41

mg/l CSB und 12,4 mg/l TOC ermittelt. Vor der Versuchsphase lagen die Werte jedoch durchschnittlich darunter (30 mg/l CSB und 9,5 mg/l TOC). Der Grund für diese geringere Abbaurate liegt in der stärkeren hydraulischen Belastung des Pflanzenfilters durch die Rezirkulation. Dies wird auch deutlich durch einen Vergleich der Durchschnittswerte aus beiden Versuchsphasen (Phase 1: 33,6 mg/l CSB und 10,8 mg/l TOC; Phase 2: 45 mg/l CSB und 14,7 mg/l TOC).

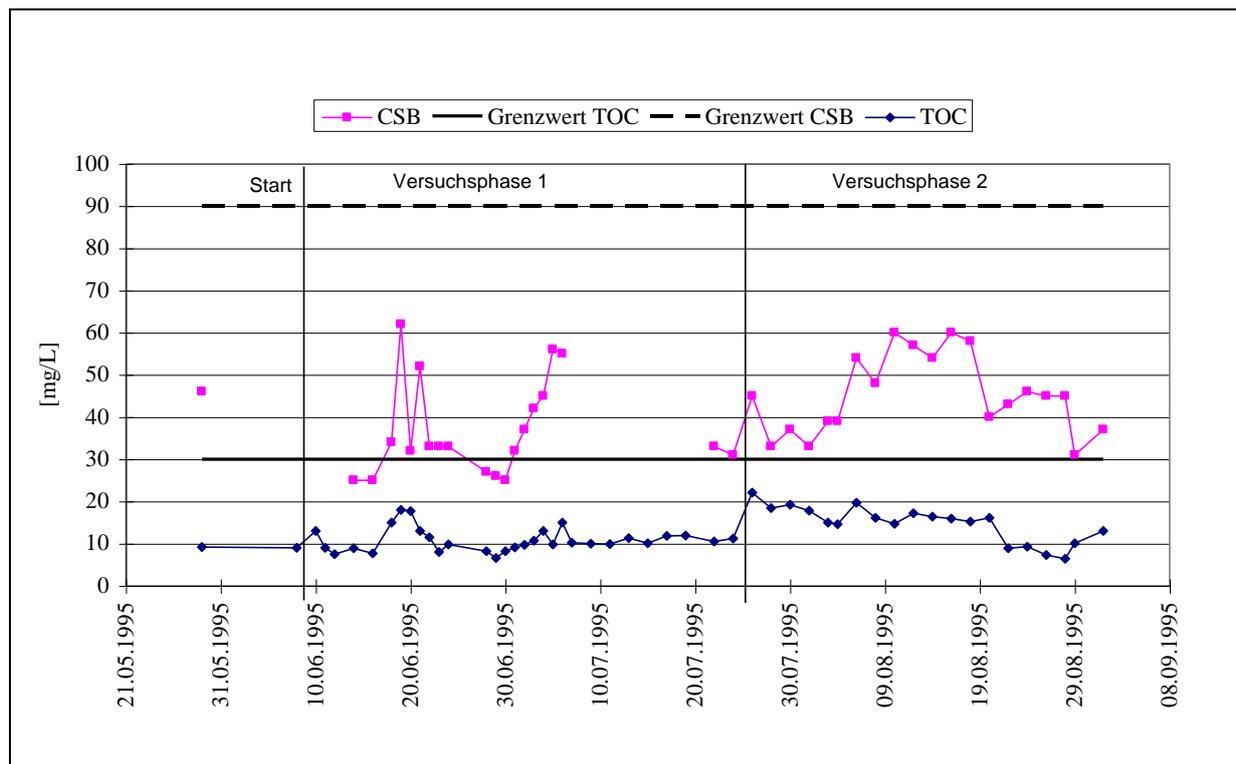


Abbildung 9: Verlauf der CSB- und TOC-Konzentration im Ablauf der Variante A über den Versuchszeitraum mit Rezirkulation

7.2 Kohlenstoff-Dosierung bei einem seriell betriebenen zweistufigen VBBF

Die Variante B ist eine zweistufige, mit Schilf bepflanzte Anlage (beide Beete vertikal durchströmt, Substrattiefe je 60cm, 5m² Gesamtoberfläche pro EGW) mit einem vorgeschalteten Grobentschlammungsschacht (3m³). Die erste Stufe wird im freien Auslauf betrieben und vier mal täglich beschickt, die zweite in Serie geschaltene Stufe ist voll eingestaut. Durch den Einstau der zweiten Stufe werden anoxische Verhältnisse als Voraussetzung der Denitrifikation geschaffen. Durch diese Anlagenkonfiguration konnte zwar der Abbau

organischer Verbindungen und die Nitrifikation selbst im Winter gesichert werden, eine weitergehende N_{ges} -Elimination wurde dadurch jedoch nicht erreicht. Eine plausible Erklärung stellt die fehlende C-Versorgung der 2. Stufe durch die hohe Abbauleistung der ersten Stufe dar.

Als externe Kohlenstoffquelle wurde Methanol bzw Äthanol in den Zulauf der zweiten, eingestauten Stufe zudosiert. Die Erfahrungen aus dieser Dosierung sollen in weiterer Folge zur Auslegung einer Bypass-Führung für einen Rohabwasserteilstrom direkt in die zweite Stufe führen. Ein spezielles Problem stellt dabei die Ammoniumbelastung des Rohabwassers dar, die im eingestauten Beet nur beschränkt abgebaut werden kann. Auf Dauer erscheint jedoch die Bypasslösung aufgrund ihres - im Vergleich zur „künstlichen“ C-Dosierung - geringeren technischen Aufwandes als realisierbare Lösung.

Die zu dosierende Methanoldmenge wurde stöchiometrisch nach dem optimalen C/N-Verhältnis für die Denitrifikation errechnet. Die zudosierte Methanoldmenge für diese Einzelhausanlage lag bei 60ml pro Tag. Eine zusätzliche C-Quelle stellt sicherlich auch der Schilfbestand dar, da Schilf über die Wurzeln 0,7-1,3 g/m²/d Kohlenstoff abgeben kann (STENGEL, 1985).

7.2.1 Versuchsergebnisse C-Dosierung

Phase 1 - Intermittierende Beschickung

Am 31.5.1995 wurde mit der Methanoldosierung in die zweite, eingestaute Stufe begonnen. Die Beschickung der Anlage erfolgte vier mal täglich. Abbildung 10 zeigt anhand der $\text{NO}_3\text{-N}$ - Ablaufwerte der zweiten Stufe die gute Denitrifikationsleistung des Systems nach einer Adaptionphase der Mikroorganismen von knapp zwei Wochen. Die durchschnittliche Nitratkonzentration nach der Adaptionphase betrug 3,96 mg/l. Der Nitratzulauf in die zweite Stufe (= Ablauf erste Stufe) betrug in dieser Phase 36 mg/l. Die Denitrifikationsleistung der zweiten Stufe betrug demnach 89%. In der Phase vor Versuchsbeginn (Jänner bis Mai 1995) war die durchschnittliche Nitrat-Ablaufkonzentration bei 44,4 mg/l. Die Nitratkonzentration im Ablauf der Anlage konnte somit durch die Methanoldosierung bei intermittierender Beschickung um 91% gesenkt werden.

In dieser ersten Versuchsphase betrug der durchschnittliche Ammonium-Ablaufwert der Anlage 5,4 mg/l gegenüber 0,65 mg/l vor der Versuchsdurchführung. Dies ist durch den Aufstau des zweiten Beetes zu erklären, wodurch das Nitrifikationspotential der Anlage in etwa halbiert wurde. Nach einem längeren Adaptionszeitraum konnte wiederum ein Absinken der Ammonium-Ablaufwerte beobachtet werden.

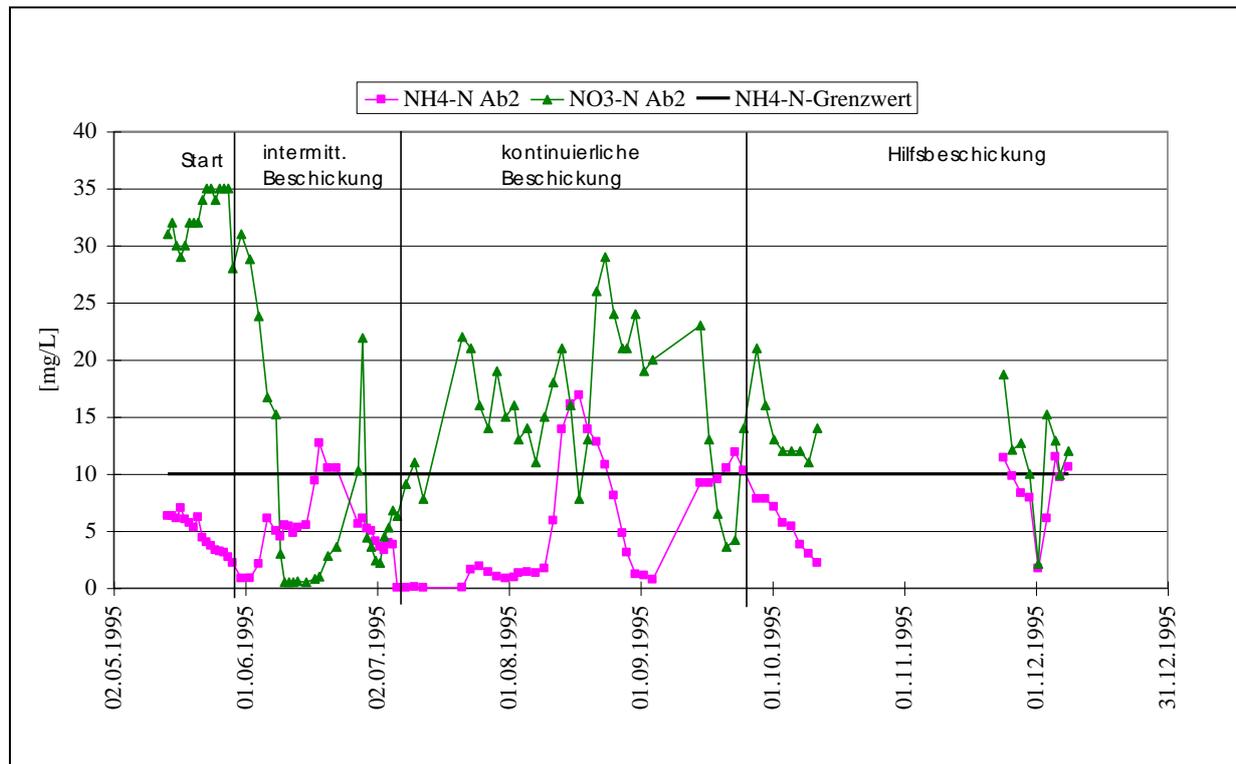


Abbildung 10: Konzentrationsverlauf von $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ im Ablauf der Variante B während des Methanoldosierungsversuches

Die Verläufe von N-anorganisch von den beiden Beckenabläufen wird in Abbildung 11 dargestellt. Die Eliminationsleistung der zweiten Stufe betrug in der ersten Phase 79%, die der Gesamtanlage 82%. Unter Berücksichtigung von N-organisch (durchschnittlich 20,8 mg/l im Zulauf und 6,8 mg/l im Ablauf) ergibt sich somit eine N_{ges} -Elimination von 78% im Gegensatz zu ursprünglich 28% vor Versuchsbeginn (Jänner bis Mai 1995). Dies entspricht annähernd einer Verdreifachung der N_{ges} -Elimination.

Phase 2 - Kontinuierliche Beschickung

Ab 7.7.1995 wurde die Anlage nicht mehr mit einem automatischen Schieber intermittierend beschickt, sondern über einen Überlauf kontinuierlich (je nach Abwasseranfall). Die geänderte Beschickungsart hatte eine ungleichmäßige C-Versorgung über den Tagesverlauf zur Folge und damit eine Verringerung der Abbauleistung. In der Folge kam es zu einem deutlichen Anstieg der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration (Durchschnittswert der zweiten Versuchsphase: 15,7 mg/l). Die Denitrifikationsleistung der zweiten Stufe sank von 89% auf 58%.

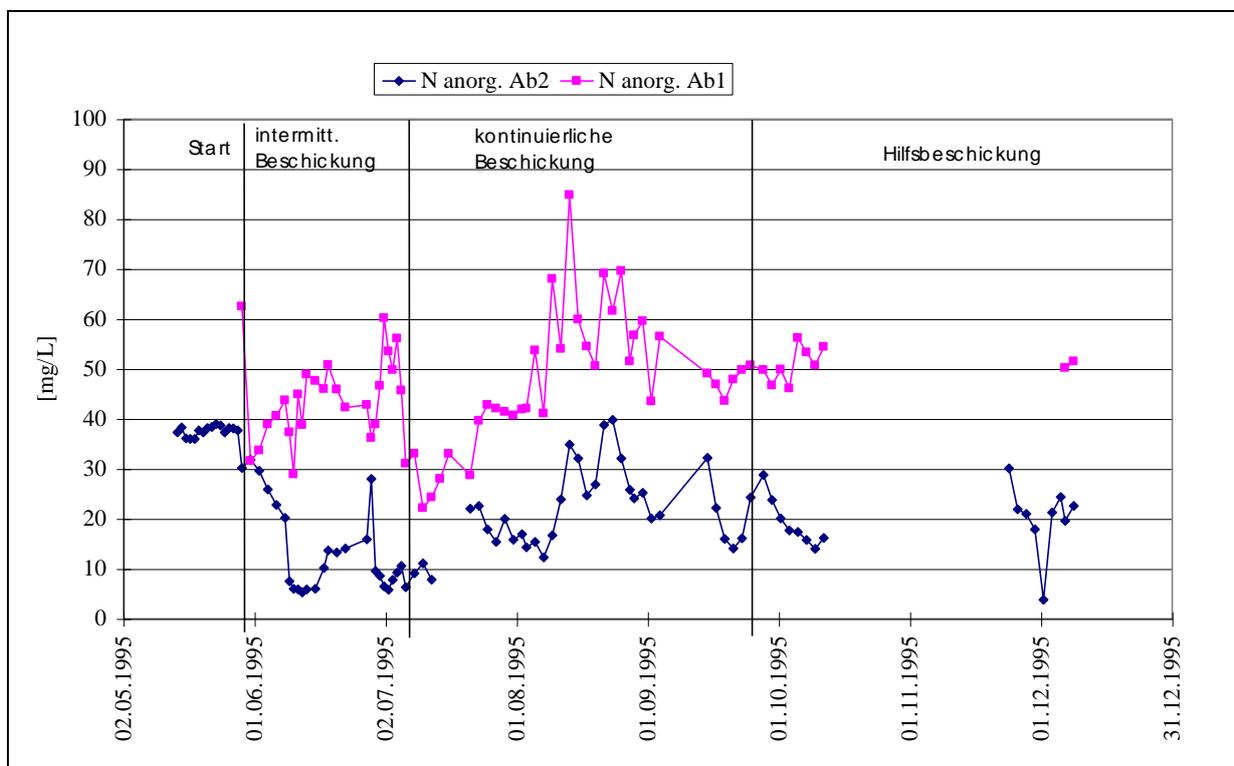


Abbildung 11: Konzentrationsverläufe von N-anorganisch der beiden Abläufe der Variante B über die Versuchsdauer der Methanoldosierung

Die Gesamteliminationsleistung von anorganischem Stickstoff betrug in dieser zweiten Phase 59% (siehe Abb.11). Die N_{ges} -Elimination der Anlage betrug 61%. Die Ammonium-Ablaufspitze in der zweiten Augushälfte ist auf eine kurzfristig wesentlich größere Beschickungsmenge zurückzuführen - mit einer in der Folge deutlich verminderten Nitrifikation. Nach Behebung des Defektes wurden rasch wieder die geringen Ablaufkonzentrationen erreicht (Abb. 10).

Phase 3 - Hilfsbeschickung

Ab 26.9.1995 mußte die Beschickung aufgrund eines Schieberdefektes durch einen Pumpbetrieb (schwallartig 1 bis 2 mal pro Tag) ersetzt werden. Es handelte sich also um eine intermittierende Beschickung mit größeren Intervallpausen als in Phase 1. Die Beprobung der Anlage erfolgte in zwei getrennten Phasen (gleich nach Umstellung der Beschickung und Anfang Dezember - winterliche Betriebsbedingungen).

Die $\text{NO}_3\text{-N}$ - Eliminationsleistung lag mit 72% zwischen den Ergebnissen der beiden ersten Versuchsphasen (durchschnittliche $\text{NO}_3\text{-N}$ - Konzentration: Ablauf erste Stufe: 45,5 mg/l, Ablauf zweite Stufe: 12,74 mg/l). Die Nitrifikationsleistung war mit durchschnittlichen Ammonium-Ablaufkonzentrationen von 7 mg/l deutlich geringer als in den beiden ersten Versuchsphasen (Abb.10), was einerseits in der Beschickung und andererseits in den geringeren Abwassertemperaturen im Dezember ($< 4^\circ\text{C}$) lag. Die Eliminationsleistung der zweiten Stufe in bezug auf anorganischen Stickstoff lag bei 61%, die der Gesamtanlage bei 62%. Die N_{ges} -Elimination betrug in der Gesamtanlage 63%.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß in der Versuchsphase 1 (intermittierende Beschickung 4 mal/Tag) die höchsten Eliminationsraten erreicht werden konnten: N-anorg. 82%, N_{ges} 78%. Diese Eliminationsraten decken sich mit den Angaben von PLATZER (1995), wonach in einer zweistufigen Pflanzenkläranlage mit Bypass von Rohabwasser in die zweite Stufe eine N_{ges} -Elimination von maximal 70% erreicht werden konnte. Auch diese Variante konnte somit in dieser Versuchsphase die Anforderungen der 1. Emissionsverordnung für kommunales Abwasser (> 5000 EGW) bezüglich N_{ges} -Elimination erfüllen.

Der Abbau von CSB und TOC konnte auch bei dieser Untersuchungsvariante über den ganzen Versuchszeitraum gesichert werden (deutliche Grenzwertunterschreitung). Die Durchschnittswerte über alle Versuchsphasen lagen bei 9,5 mg/l TOC und 30,1 mg/l CSB (Abb.12). Lediglich nach Beginn der Methanoldosierung kam es zu einem starken Anstieg der Ablaufkonzentrationen, was allerdings zu erwarten war, da eine gewisse Adaptierungszeit der Mikroorganismengesellschaft bei Zudosierung von

Methanol als externe Kohlenstoffquelle notwendig ist (HILLENBRAND & BÖHM, 1996).

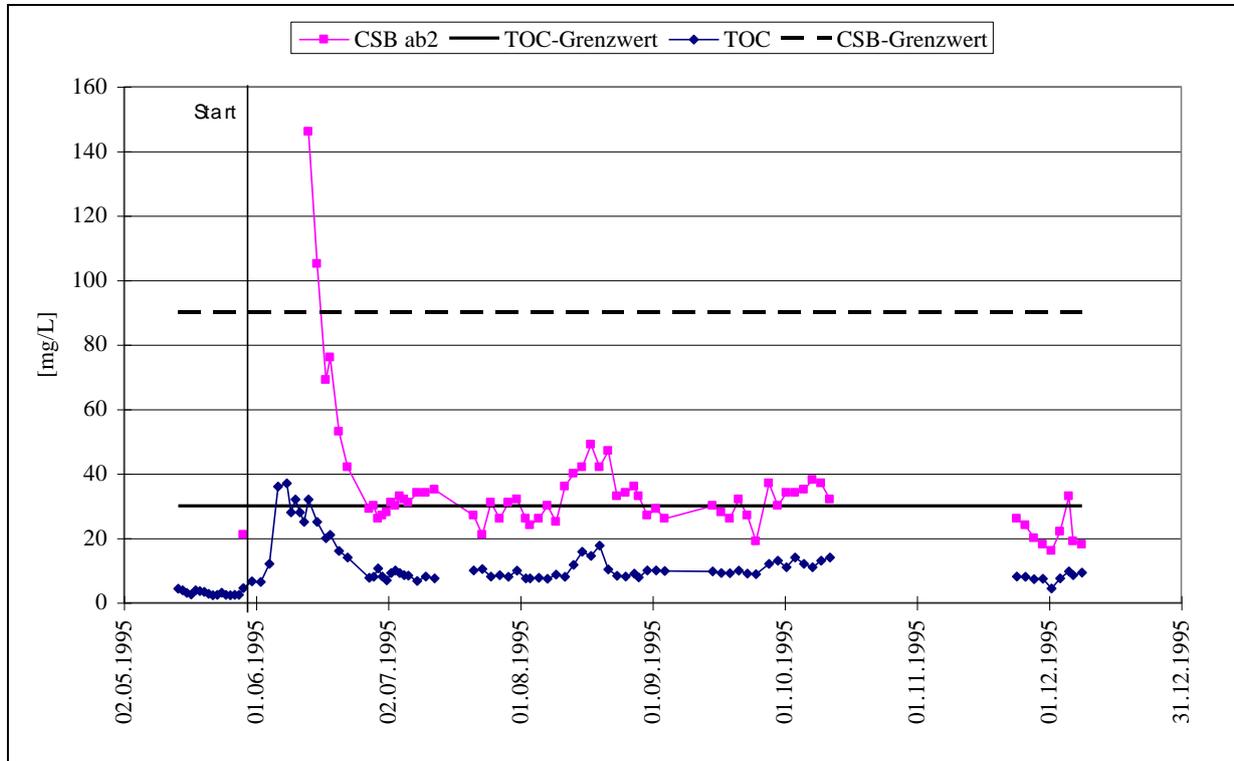


Abbildung 12: Konzentrationsverlauf von CSB und TOC im Ablauf der Variante B über den gesamten Versuchszeitraum mit Methanoldosierung in die zweite Stufe

8 Zusammenfassung

Der aktuelle Stand der Praxis beim Einsatz und Betrieb von Pflanzenkläranlagen zur Abwasserreinigung kann zusammenfassend wie folgt umrissen werden:

Die in den letzten Jahren entwickelten Anlagensysteme bzw Bauformen können die gesetzlich geforderten Reinigungsleistungen gesichert einhalten - in der Regel mit erheblichen Unterschreitungen der Ablaufgrenzwerte.

In diesem Zusammenhang hat sich der vertikal durchströmte bepflanzte Bodenfilter als besonders leistungsfähig herausgestellt, bei dem auch im Winterbetrieb eine ausreichende Nitrifikationsleistung gewährleistet ist. Die

Sicherstellung der Reinigungsleistung in einstufigen Anlagen erscheint nur mit dieser Bauform durchführbar. Die pauschalierte Dimensionierung mit 5 m²/EGW - bei gleichzeitiger Mindestdicke der „aktiven“ Hauptschicht von 60 cm - kann als ausreichend sicher bewertet werden. Ein feinkörniger Anteil (zB 0/4) ist wesentlich für die hohe Leistungsfähigkeit. Hauptschichtstärken über etwa 1m bewirken nach dem aktuellen Stand des Wissens keine maßgebliche Verbesserung der Leistungsfähigkeit. Eine Bemessung über das zur Verfügung stehende Reaktionsvolumen muß beide Randbedingungen beachten.

Bei seriell betriebenen mehrstufigen Anlagen stellt die Kombination von vertikal bzw horizontal durchströmtem Pflanzenfilter eine sinnvolle Verfahrensvariante dar. Zur optimierten Bemessung der jeweiligen Flächenanteile stehen zur Zeit noch zu geringe Erfahrungen zur Verfügung.

Kombinationsanlagen - zB konventionelle Belebtschlammstufen mit nachgeschaltetem Pflanzenfilter - stellen eine in Zukunft vor allem bei größeren Anlagen zunehmend wichtigere Verfahrenskombination dar. Bezüglich der Restnitrifikation bzw Qualitätspufferung durch die Pflanzenstufe liegen bereits erste positive Erfahrungen vor. Optimierte Dimensionierungsansätze - in Abhängigkeit von der Reinigungsanforderung - müssen noch entwickelt werden.

Der Großteil der vorliegenden Erfahrungen und Datendokumentationen liegen naturgemäß für Anlagenstandorte vor, die keine besonders gravierenden standortspezifischen Randbedingungen zB in klimatischer Hinsicht aufweisen. Die Frage nach der Anwendbarkeit für die häusliche bzw kommunale Abwasserreinigung in ausgesetzteren Lagen (Höhe, Temperatur) ist vielfach von unmittelbarer Aktualität. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse kann grundsätzlich von der Funktionsfähigkeit auch unter extremeren Bedingungen ausgegangen werden. Die erforderliche Adaption der Bauformen im Hinblick auf die gesicherte Abwasseraufleitung und Schichtdicke / Flächengröße des Pflanzenfilters erscheint ohne besondere Schwierigkeiten möglich. Eine Verbesserung der praktischen Erfahrungen durch den Bau und den Betrieb von Pilotanlagen - auf Basis des aktuellen nationalen und internationalen Wissensstandes - sollte so rasch wie möglich erfolgen.

Insgesamt betrachtet, scheinen sich Pflanzenkläranlagen in den ihnen sinnvollerweise zukommenden Einsatzbereichen bei der Verwirklichung einer flächendeckenden Abwasserentsorgung - nach einem langen Weg durch

wissenschaftliche Forschung, praktische Erprobung und Genehmigungspraxis - durchzusetzen.

9 Literatur

- Anonym: Environmental Protection Agency (US-EPA) (1988) Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment - Design Manual, EPA/625/1-88/022. Cincinnati
- Anonym: European Design and Operations Guidelines for Reed Bed Treatment Systems (1990) prepared by the EC/EWPCA Emergent Hydrophyte Treatment Systems Expert Contact Group, Ed. P.F. Cooper, Water Research Centre, Swindon, UK
- Anonym: Ingenieurökologische Vereinigung Deutschland (IÖV) (1995) Arbeitsblatt W1/95 „Bewachsene, horizontal durchströmte Bodenfilter“. Augsburg
- Anonym: Ingenieurökologische Vereinigung Deutschland (IÖV) (1994) Hinweisblatt W1/94 „Behandlung von häuslichem Abwasser in Pflanzenkläranlagen“. Augsburg
- Anonym: Thüringer Ministerium für Umwelt und Landesplanung (1994) Richtlinie: Hinweise zum Einsatz von Pflanzenkläranlagen für die biologische Reinigung von häuslichem Abwasser. Erfurt
- ATV (Abwassertechnische Vereinigung) (1989) Regelwerk Wasser - Abwasser, Hinweis H 262: „Behandlung von häuslichem Abwasser in Pflanzenbeeten“, St. Augustin
- Börner, Tankred (1992) Einflußfaktoren für die Leistungsfähigkeit von Pflanzenkläranlagen, Schriftenreihe WAR, Bd. 58, Darmstadt
- Börner, Tankred (1993) Haben sich Pflanzenkläranlagen bewährt?, Fortbildungskurs G/5 „Abwasserbeseitigung im ländlichen Raum“, Abwassertechnische Vereinigung e.V./ATV, St. Augustin
- Breen, P. (1996) The performance of vertical flow experimental wetland under a range of operational formats and environmental conditions. IAWQ-Conference: Wetland Systems for Water Pollution Control, Vienna (in Vorbereitung)
- Geller, Gunther (Hrsg.) (1992) Bewachsene Bodenfilter zur Abwasserreinigung. Endbericht des BMFT-Forschungsvorhabens 02 WA 5162/85153/88407 „Erprobung der Leistungsfähigkeit bewachsener Bodenfilter zur Abwasserreinigung, Ermittlung von Bemessungswerten“, ISBN 3-922318-07-X, Landschaftsökologie Weihenstephan
- Geller, Gunther, Lenz, Anton (1982) Bewachsenen Bodenfilter zur Abwasserreinigung. Korrespondenz Abwasser, 29/2, 142-147, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik (GFA), St. Augustin
- Hillenbrand T., Böhm, E. (1996) Maßnahmen zur Verbesserung der Denitrifikation. Korrespondenz Abwasser 3/96, 393 - 404
- IWGA (Inst.f.Wasservorsorge Gewässerökologie und Abfallwirtschaft) (1990) Planungsgrundlagen für das Projekt der Oö Landesregierung „Errichtung und Betrieb von Pilotanlagen zur Abwasserreinigung mit Pflanzenanlagen“. Institut für Wasservorsorge, Univ. f. Bodenkultur Wien
- Knight, R.L., R.W. Ruble, R.H. Kadlec and S.C. Reed (1993) Database: North American Wetlands for Water Quality Treatment, Phase II Report, USEPA

- Koch, F., Perfler, R., Schönerklee, M. (1996) Tertiary treatment in a vertical flow reed bed system - a full scale pilot plant for 200-600 p.e. IAWQ-Conference: Wetland Systems for Water Pollution Control, Vienna (in Vorbereitung)
- LWA (Landesamt für Wasser und Abfall NRW) (1989) Merkblatt Nr. 2
„Pflanzenkläranlagen und Abwasserteiche für Anschlußwerte bis 50 Einwohner“.
Düsseldorf
- Löffler, Helmut und W. Pietsch: Phytofilt - Vorstellung einer leistungsfähigen Pflanzenkläranlage für kleine Gemeinde, Korrespondenz Abwasser, 38.Jhg., H. 3, S. 376-383 (1993)
- Müller, W. (1991) Sonderuntersuchung zu Betriebszustand, Reinigungsvermögen und Stabilität der reinigungsergebnisse von Kleinkläranlagen < 50 EW. Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Schriftenreihe der Hessischen Landesanstalt für Umwelt, ISBN 3-89026-116-7, Wiesbaden
- NNa (1994) Pflanzenkläranlagen - Abwasserreinigung mit bepflanzten Bodenkörpern. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung IIIa - Wasserwirtschaft (Hrsg.), Schriftenreihe, Bd. 2:, Graz
- NNb (1995) Errichtung von Pflanzenkläranlagen im kontrollierten Selbstbau. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung IIIa - Wasserwirtschaft (Hrsg.), Schriftenreihe, Bd. 5:, Graz
- Platzer, Chr. (1995) Enhanced Nitrification and Denitrification by a Combination of Vertical and Horizontal Flow Reed Beds. Natural and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Reuse. Proceedings, 125-1360 Perugia
- Onken, Adam (1992) Teich - Pflanzen - Kläranlagen. Institut für Angewandte Hydrologie, Kassel
- ÖNORM (1996) Önorm B 2505: Bepflanzte Bodenfilter (Pflanzenkläranlagen) - Anwendung, Bemessung, Bau und Betrieb. Entwurf II/96 (1996)
- Perfler, R. (1995) Dimensionierung und Normierung von Pflanzenkläranlagen. Wiener Mitteilungen, Band 124, 131-142
- Perfler, R., R. Haberl, Laber, J. (1995) Erfahrungen mit dem Einsatz von Pflanzenanlagen zur Abwasserreinigung in kleinen Verhältnissen. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Jhg. 47, H. 11/12, 300-309
- Seidel, K. (1978) Gewässerreinigung durch höhere Pflanzen. Zeitschrift Garten und Landschaft, H. 1, 9-17
- Stengel, E. (1985) Perspektiven der Nitratelimination in künstlichen Feuchtgebieten. Grundlagen und Praxis naturnaher Klärverfahren - Symposium Liebenburg
- Wissing, Friedrich (1995) Wasserreinigung mit Pflanzen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

Dipl.Ing. Reinhard Perfler
Dipl.Ing. Johannes Laber
Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr. Raimund Haberl

Email: perfler@iwgf-sig.boku.ac.at
Email: laber@iwgf-sig.boku.ac.at
Email: haberl@iwgf-sig.boku.ac.at

Institut für Wasserversorgung, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft
Abt. Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz
UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN
A-1190 WIEN, Nußdorfer Lände 11
Tel.: (+43)-1-3692924-253

Fax.: (+43)-1-3689949