
Dezentrale Abwasserbehandlung als Beitrag zum kleinräumigen Schließen des Stoff- und Wasserkreislaufs in ländlich strukturierten Gebieten des Regierungsbezirkes Trier

Prof. Dr. Ankea Siegl, Dipl.-Geogr. Andreas Ney

1 Kenntnisstand bei der letzten Antragstellung und Ausgangsfragestellung

1.1 Kenntnisstand bei der letzten Antragstellung

Moderne dezentrale Kläranlagen sind bisher vorwiegend unter dem Gesichtspunkt der Abwasserbeseitigung und weniger der Abwasserbewirtschaftung untersucht worden. Infolge der immer offenkundiger werdenden Wasserhaushalts-, und Finanzierungsprobleme setzte mittlerweile eine fächerübergreifende Erforschung zu umweltverträglicheren Abwasserbehandlungskonzepten ein, die neuartige Lösungen wie beispielsweise abwasserfreie Häuser hervorbrachte (LANGE & OTTERPOHL 1997, LÖFFLER 1997).

Bei den meisten Kläranlagen wird das gereinigte Wasser z. Zt. in ein Gewässer eingeleitet, wo es im Allgemeinen zu erheblichen Belastungen führt. Moderne naturnahe und technische Kläranlagen erlauben mittlerweile eine Wiederverwendung des geklärten Abwassers in Form einer Kreislaufführung oder als Produktionsmittel. Zu dieser recht jungen Entwicklung liegen nur wenige Arbeiten vor (KÖHN & GLÜCKLICH 1992, HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE, JUGEND, FAMILIE UND GESUNDHEIT 1996, LÖFFLER 1997, KUNST 1998). Forschungsbedarf besteht hier vor allem zu den aktuellen Fragen der Abwasserhygiene (pathogene Keime und Antibiotikaresistenzen). Außerdem gibt es nur wenige schwer übertragbare Untersuchungen zur Sickerwasserqualität und zur Schadstoffanreicherung in Böden, auf denen gereinigtes Abwasser verrieselt wird (KUNST et al. 1996, SOWA 1993). Auch zur Qualität von Klärschlammkomposten, die mit Hilfe von Rottesäcken oder durch Rohabwasserbeschickung erzeugt werden, ist wenig bekannt. Sie sind eine umweltverträgliche und kostengünstige Alternative zur Fäkalschlammabfuhr und dienen gleichzeitig der Bodenverbesserung (HOFMANN 1994).

Volks- und betriebswirtschaftliche Aspekte dezentraler Abwasserbehandlungskonzepte und des kleinräumigen Schließens von Stoff- und Wasserkreisläufen bedürfen einer anderen Betrachtungsweise. Von Interesse sind hier insbesondere Einsparpotentiale durch dezentrale Lösungen (KASSEL 1994), die stoffliche und hydraulische Wiederverwendung des gereinigten Abwassers

sowie die Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen und Energie durch Pflanzenkläranlagen (PKA), Bewässerungsflächen und Biogasanlagen. Weitere Aspekte, die bisher kaum Beachtung fanden, sind soziologische, psychologische und juristische Phänomene, die im Zusammenhang mit dezentraler Abwasserbehandlung stehen.

1.2 Ausgangsfragestellung

Ziel des Teilprojektes war die Abschätzung des Risikopotentials und die Entwicklung von Optimierungsstrategien beim kleinräumigen Schließen des Stoff- und Wasserkreislaufes. Dabei sollten ökologische, ökonomische, soziale, und juristische Aspekte berücksichtigt werden.

1.3 Untersuchungsobjekte

Tab. 1: Die fünf PKA in der Region Trier, die im TP C2 untersucht wurden

| Bezeichn. | Franzenh. | Obersehr | Schroeter | Otten | Bungart |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Lage | Hunsrück | Hunsrück | Eifel | Eifel | Eifel |
| Höhe ü. NN | 275 m | 430 m | 520 m | 400 m | 460 m |
| Baujahr | 1997 | 1997 | 1994 | 1996 | 1997 |
| Betreiber | kommunal | kommunal | privat | privat | privat |
| Ausbaugr. | 450 | 150 | 23 | 15 | 8 |
| angeschl. E | 370 | 84 | 7 ständ., 16 Gästeb. | 7 ständig, Melk.-Abw. | 5 |
| Verfahren | vert./horiz. | vert./horiz. | vert./horiz. | vert./horiz. | vertikal |
| Beschick. | kontinu. | kontinu. | intermittier. | kontinu. | intermittier. |
| Vorrein. | Vererd.b. | Vererd.b. | Vererd.b. | Vererd.b. | Rottesäcke |
| Beetfläche | 2700 m ² | 930 m ² | 176 m ² | 180 m ² | 42 m ² |
| Beetfl./E bemes./tats. | 6,00/7,30 m ² /E | 6,20/11,10 m ² /E | 7,65/7,65- 25,10 m ² /E | 12,00/? m ² /E | 5,25/8,40 m ² /E |
| Nachbeh. | Vers.mulde | Vers.mulde | Speichert. | Versi.mulde | Speichert. |
| Fremdw. | ja | ja | nein | teilweise | nein |

2 Angewandte Methoden

2.1 Hydraulik

Für die Ermittlung der zu- und ablaufenden Wassermengen wurde eine ganze Reihe unterschiedlicher Methoden angewandt: Die zulaufende Schmutzwassermenge der PKA Franzenheim, Obersehr, Bungart und Schroeter wurde vom jeweiligen Frischwasserverbrauch abgeleitet. Die Ablaufwassermenge (aktuell und kumuliert) der PKA Franzenheim wurde mit Hilfe eines IDM erfasst. Für den Ablauf der PKA Obersehr stellte die Verbandsgemeinde Daten eines Ultraschallmessgerätes für begrenzte Zeiträume zur Verfügung. An den Anlagen Schroeter und Bungart wurden in ausgewählten Zeitabschnitten Ablaufmengen durch Kippzähler gemessen. Zur Ermittlung der aktuellen Stofffrachten wurde bei jeder Probenahme die jeweilige Ablaufmenge durch Auslitern bestimmt. Die Evapotranspiration kleiner, optimal mit Wasser versorgter Schilfbestände wurde über zwei Vegetationsperioden in Gefäßversuchen (3 x 0,2 m²) simuliert.

2.2 Chemisch-physikalische Wasseruntersuchungen

Die Abläufe und die Speicherteiche der fünf PKA wurden monatlich beprobt, wobei die drei privaten Anlagen von Dezember 1999 und die zwei kommunalen Anlagen von April 2000 bis jeweils November 2001 untersucht wurden. Die Nährstoffparameter Ammonium-, Nitrat- und Gesamtstickstoff, Orthophosphat, Gesamtphosphat und Kalium sowie der Abwasserparameter CSB wurden mit Küvettentests der Dr. Lange GmbH photometrisch bestimmt. Die Messung des BSB₅ erfolgte nach Ansetzen von jeweils drei Verdünnungen und unter Zugabe von N-Allylthioharnstoff (ATH) zur Hemmung der Nitrifikation. Die Milieuparameter Wasser- und Lufttemperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Leitfähigkeit und Redoxpotential wurden im Gelände potentiometrisch erfasst. Für die Mehrzahl der Wasserproben wurden überdies die in Lösung befindlichen Gehalte an den Metallen Blei, Cadmium, Kupfer, Zink, Mangan, Eisen, Bor, Natrium, Magnesium und Kalzium am ICP-MS der Abteilung Hydrologie gemessen.

Zur Untersuchung der Nachbehandlung gereinigten Abwassers durch Verrieselung („overland-flow“) wurden im Rahmen einer noch nicht abgeschlossenen Dissertation weitere Analysen von Sicker-, Oberflächen- und Bachwasser vorgenommen. Das Sickerwasser wurde durch Leerpumpen von senkrecht im Boden installierten perforierten Standrohren gewonnen. Diese Arbeiten wurden vor allem in den abflussärmeren Sommermonaten an den PKA in Franzenheim und Obersehr sowie einer weiteren Anlage in Hochscheid (Hunsrück) durchgeführt.

2.3 Hygienische Wasseruntersuchungen

Tab. 2: Angewandte Methoden der hygienischen Wasseruntersuchungen

| Parameter | Methode | Medium |
|----------------------|--|---|
| Koloniez. (Gelatine) | Gussplattenverfahren | Gelatine |
| Koloniez. (Nähragar) | Gussplattenverfahren | Nähragar |
| Gesamtcoliforme | MPN (3-facher Parallelsatz) | Laurylsulfat-MUG-Bouillon |
| Gesamtcoliforme | Gussplattenverfahren | Endo-Agar |
| Fäkalcoliforme | MPN (3-facher Parallelsatz) | Laurylsulfat-MUG-Bouillon |
| Fäkalstreptokokken | MPN (3-facher Parallelsatz) | Azid-D-Glucose-Bouillon |
| Fäkalstreptokokken | Ausstrich auf Medium | Kanamycin-Äskulin-Azid-Agar |
| Pseudomonaden | Gussplattenverfahren | Pseudomonaden-Selektivagar |
| Salmonellen | Gussplattenverfahren nach Anreicherung | Peptonwasser (mit Ferrioxamin) Rappoport-Vassiliadis-Medium Xylose-Lysin-Desoxycholat-Agar Desoxycholat-Agar |
| EHEC | ELISA VT-Kolonie-Immunblot PCR | monoklonale Antikörper monoklonale Antikörper STX I- und STX II-Primer |
| Coliphagen | Overlay-Technik | NB-Agarplatten |
| Resistenzquotienten | Gussplattenverfahren | Endo-Agar mit Antibiotikazusatz |
| Speziesdiagnostik | Herstellung d. Reinkultur, Bunte Reihe | diverse Medien |

2.4 Bodenkundliche Schwermetalluntersuchungen

Die Beurteilung und weitere Verwertung der auf den Vererdungsbeeten und in den Rottesäcken der untersuchten PKA zurückgehaltenen und mineralisierten abwasserbürtigen Feststoffe fällt rechtlich unter die Bestimmungen der Klärschlammverordnung (AbfKlärV). Daher wurden Stichproben des Vererdungsproduktes, der Rotte und der Böden der Versickerungsbereiche auf die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink hin untersucht. Abweichend zur AbfKlärV erfolgte der Aufschluss der Proben mittels Druckbomben. Die Analyse wurde am AAS der Abteilung Bodenkunde durchgeführt.

2.5 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Durch Befragungen von Anlagenbetreibern und -herstellern wurden Investitions- und Betriebskosten von realisierten PKA zusammengestellt. In Zusammenarbeit mit der FH Trier wurde modellhaft die Zusammensetzung der Kosten von PKA unterschiedlicher Ausbaugrößen untersucht (LEY 2000). Weiterhin wurde der Einfluss des gängigen LAWA-Verfahrens zur Kostenvergleichsrechnung (LAWA 1998) auf die Wahl des Klärverfahrens und

die Auswahl der wirtschaftlichsten Lösung hin analysiert sowie ein Vergleich zwischen zentralen und dezentralen Konzepten angestellt.

2.6 Rechtliche und verwaltungstechnische Fragestellungen

Die Betrachtung von Fallbeispielen innerhalb und außerhalb der Region und eine Gesetzestext-Recherche führten zusammen mit den Ergebnissen aus der AG Recht (D 7) des SFB 522 zu einer Zusammenstellung der wichtigsten rechtlichen und verwaltungstechnischen Hemmnisse, die der Umsetzung dezentraler Abwasserbewirtschaftungskonzepte entgegenstehen.

2.7 Biotopqualität und Landschaftsbild

Innerhalb einer Vegetationsperiode wurden Flora und Fauna der untersuchten PKA erfasst und bewertet. Der subjektiv bestimmte Einfluss der PKA auf das Landschaftsbild wurde durch Befragung der Anlieger und Besucher ermittelt.

2.8 Stoff- und Wasserströme

Die Stoff- und Wasserströme einiger PKA wurden exemplarisch bilanziert. Dies geschah unter besonderer Berücksichtigung der Nutzbarkeit im Sinne einer Kreislaufführung. Die Stoffströme des Abwasserpfades wurden in Beziehung gesetzt zu denen von landwirtschaftlichen Betrieben. Schließlich wurde für das Einzugsgebiet des Olewiger Baches eine Stickstoff- und Wasserbilanz erstellt.

2.9 Entwicklung von Optimierungsstrategien

Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Projekt flossen in die Entwicklung von Optimierungsstrategien für die Realisierung wirtschaftlich und ökologisch effizienter Abwasserbehandlungskonzepte ein, die in Form eines Anforderungskatalogs dargestellt werden.

3 Ergebnisse und ihre Bedeutung

3.1 Hydraulik

Tabelle 3 zeigt den für den ländlichen Raum typischen geringen Wasserverbrauch von häufig unter 100 L/E*d und den geringen Anteil des Niederschlages am Zulauf, selbst bei großzügig dimensionierten PKA. Ausgesprochen hoch ist hingegen der Fremdwasseranteil in den beiden kommunalen Anlagen, während die Anlage Bungart kein Fremdwasser aufnimmt.

Tab. 3: Wasserverbrauch, Niederschlags- und Fremdwasseranteil bei 3 PKA

| Pflanzenkläranlagen | Franzenheim | Obersehr | Bungart |
|--|---------------|---------------|------------|
| Wasserverbrauch = Schmutzw. [L/E*d] | 90 | 109 | 84 |
| Niedersch. Auf Beetfl. [L/E*d] langj. M. | 16 (= 18 %) | 24 (= 22 %) | 18 (=21 %) |
| Fremdwasser [% vom Schmutzwasser] | ca. 50-1200 % | ca. 50-3150 % | 0% |

Eine Abschätzung der hohen Evapotranspirationsleistung von Schilf in PKA ist in Tabelle 4 dargestellt. Für die Anlage Bungart lässt sich eine Jahressumme von ca. 1.765 L/m² berechnen, wobei mehr als 90 % der ETP im Sommerhalbjahr stattfindet.

Tab. 4: Ablaufmengen bei der monatlichen Beprobung und Zulaufmengen an der PKA Bungart im Vergleich zwischen Sommer und Winter

| 1999/2000/2001 | n | Q Ablauf | | | | Q Zulauf | | Evapotrans. | |
|-------------------------|----|----------|------|------|-----|----------|-----|---------------------------|---------------------|
| | | Min. | Max. | Ø | | SW | NS | Beetfl. 42 m ² | |
| | | ml/s | ml/s | ml/s | L/d | L/d | L/d | L/d | L/m ² *d |
| Sommer (05.-10.) | 12 | 0 | 6,6 | 1,9 | 164 | 422 | 121 | 379 | 9,0 |
| Winter (11.-04.) | 9 | 0 | 18,3 | 6,0 | 522 | 422 | 124 | 24 | 0,6 |

Von Mai bis November 2001 erreichte die Evapotranspiration von Schilf in drei optimal mit Wasser versorgten Gefäßen durchschnittlich 3,643 mm einschließlich des Niederschlages von 526 mm. Auf Wochenbasis lag die durchschnittliche Tagesverdunstung bei maximal 31,4 mm, im Monat August erreichte sie durchschnittlich 26,5 mm/d. Aufgrund der geringen Bestandesgrößen und einer recht windexponierten Lage werden diese hohen Werte sicherlich im Normalfall kaum erreicht.

3.2 Chemisch-physikalische Wasseruntersuchungen

3.2.1 Abläufe und Teiche

Die Abbildungen 1 - 4 zeigen die Konzentrationen von CSB, Gesamt-Stickstoff, Gesamt-Phosphor und Ammonium-Stickstoff der Abläufe und Speicherteiche der untersuchten Anlagen. Da für kleine Kläranlagen (unter 1.000 E) rechtlich festgesetzte Grenzwerte nur für CSB und BSB₅ existieren und für Kleinstkläranlagen jegliche Anforderungen fehlen, werden Vergleiche zu den Bestimmungen für größere Kläranlagen gezogen.

CSB und BSB₅: Abgesehen von wenigen Ausnahmen an der Anlage Otten werden die Mindestanforderungen nach der Abwasserverordnung für Kläranlagen der Größenklasse 5 (mehr als 100.000 E, 75 mg/L CSB, 15 mg/L BSB₅) in der Regel weit unterschritten. Durch Algenentwicklung tritt in den Teichen eine sekundäre Belastung durch organisches Material auf.

Gesamt-N: Die Mindestanforderungen für Anlagen der Größenklassen 4 (10.000-100.000 E) und 5 von 18 mg/L Gesamt N werden nur von der Anlage Obersehr und dem Teich der Anlage Schroeter eingehalten. Die hohen Werte an der PKA Bungert sind auf das Fehlen einer Denitrifikationsstufe (Horizontalbeet) zurückzuführen. Auffallend ist ein starker N-Abbau in den Speicherteichen.

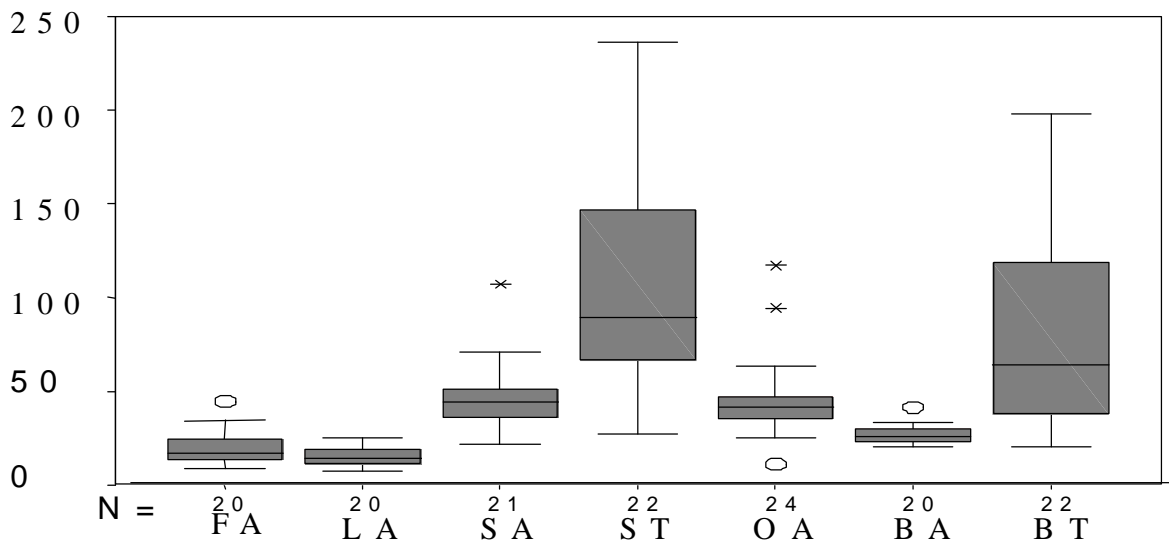


Abb. 1: CSB-Konzentrationen [mg/L] von Abläufen und Teichen der PKA

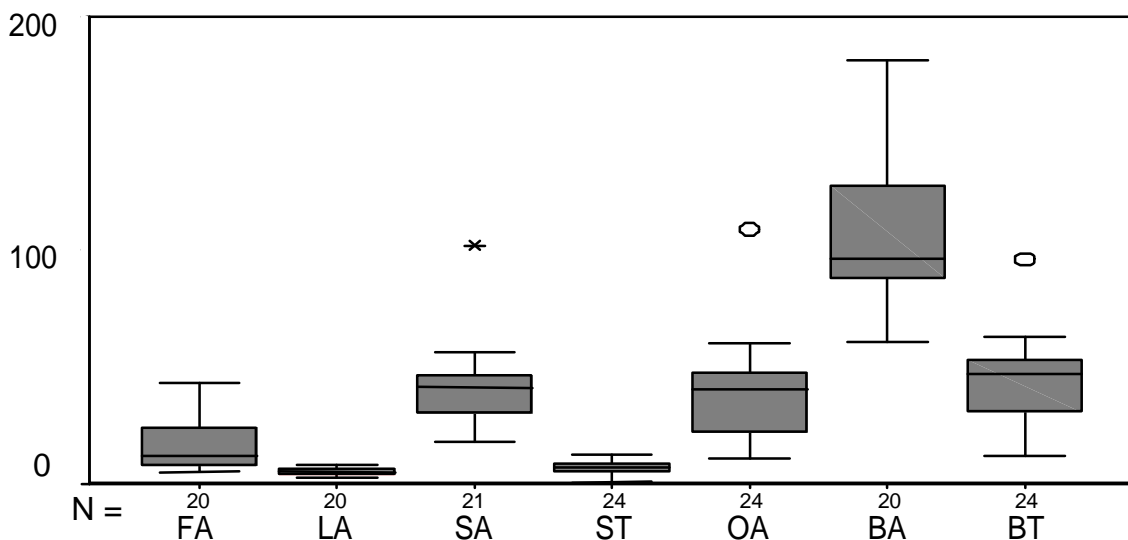


Abb. 2: Gesamt-Stickstoff-Konz. [mg/L] von Abläufen und Teichen der PKA

Gesamt-P: Die Mindestanforderungen für Anlagen der Größenstufe 4 (2 mg/L) werden nur in den stark fremdwasserbestimmten PKA Franzenheim und Ober-

sehr weitgehend eingehalten. Sommerliche P-Ausspülungen waren an der PKA Schroeter zu beobachten. Beide Speicherteiche wirkten als effektive Senke.

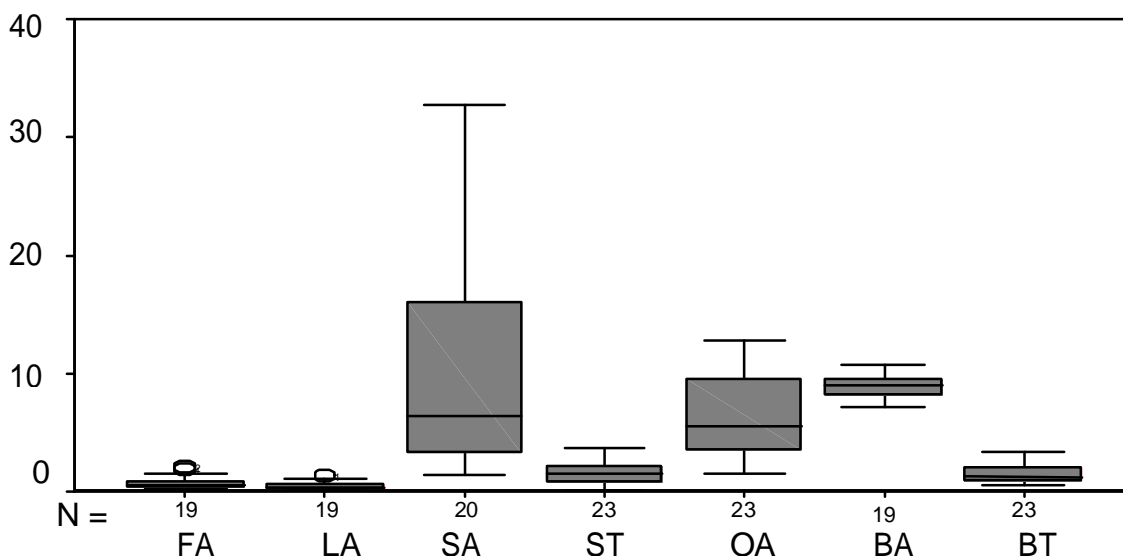


Abb. 3: Gesamt-Phosphor-Konz. [mg/L] von Abläufen u. Teichen der PKA

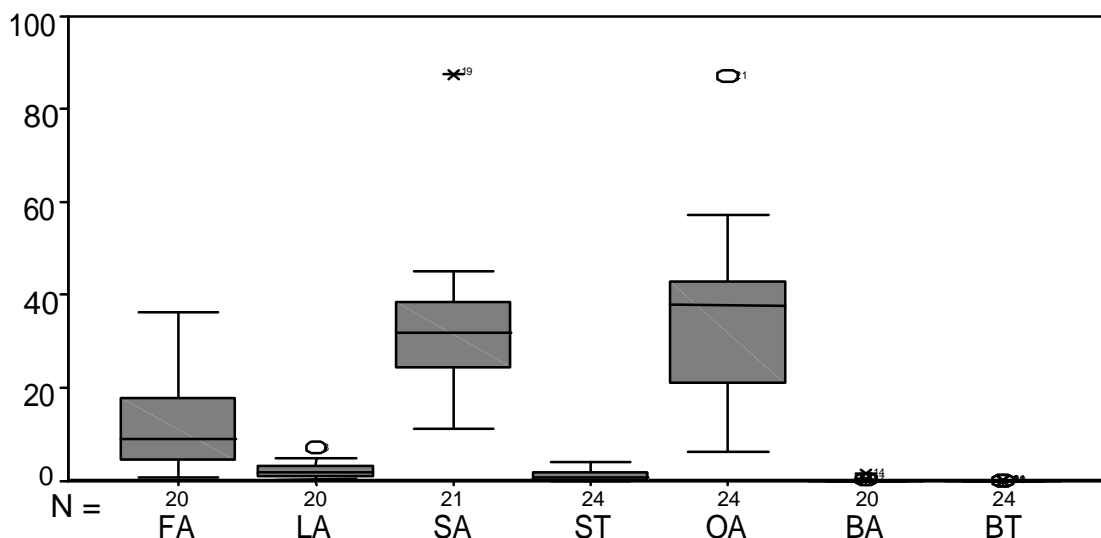


Abb. 4: NH₄-N-Konzentrationen [mg/L] von Abläufen u. Teichen der PKA

NH₄-N und NO₃-N: Eine annähernd vollständige Nitrifikation findet in der PKA Bungart statt. Die intermittierende Beschickung des Vertikalbeetes mit weitgehend von Feststoffen befreitem Wasser bewirkt eine optimale Sauerstoffversorgung. Gute NH₄-N-Werte, die durch die hohe Fremdwasserverdünnung mitbedingt sind, zeigt die PKA Obersehr. Während die Ammoniumwerte der kontinuierlich beschickten PKA mit Vererdungsbeeten recht hoch liegen, weisen diese Anlagen eine weitreichende Denitrifikation in den Horizontalstufen auf.

Bedingt durch die hohe Evapotranspirationsleistung von PKA bilden Konzentrationen nur eine unzureichende Grundlage für deren Beurteilung. Die

Frachten der emittierten Stoffe beschreiben das Maß der Umweltbeeinflussung und das Nutzungspotential wesentlich besser. Die Ablaufmengen aller Anlagen fielen in den Sommermonaten, teilweise sogar bis auf 0 (Bungart und Schroeter). Die Frachten sind stark positiv korreliert mit den Wassermengen. Bei steigender Ablauftemperatur fallen außerdem die Frachten meist oder sie bleiben etwa konstant (Ammonium in Franzenheim). Dies geht bei Anlagen mit hohem Fremdwasseranteil immer mit steigenden Konzentrationen einher, die gestiegene Emissionen vortäuschen (Abbildung 5). In der fremdwasserfreien PKA Bungart gehen bei steigender Wassertemperatur die Konzentrationen von CSB und $\text{NH}_4\text{-N}$ zurück, die von Gesamt-P bleibt etwa gleich und die von $\text{NO}_3\text{-N}$, das hier nur wenig abgebaut wird, steigt (bei jeweils fallenden Frachten).

Trotz teilweise steigender Konzentrationen arbeiten also PKA im Sommer besser als im Winter. Durch die sommerlichen Frachtreduzierungen sind sie gut an den natürlichen Wasserhaushalt angepasst und entlasten die aufnehmenden Gewässer besonders stark in deren sensiblen Niedrigwasserphasen.

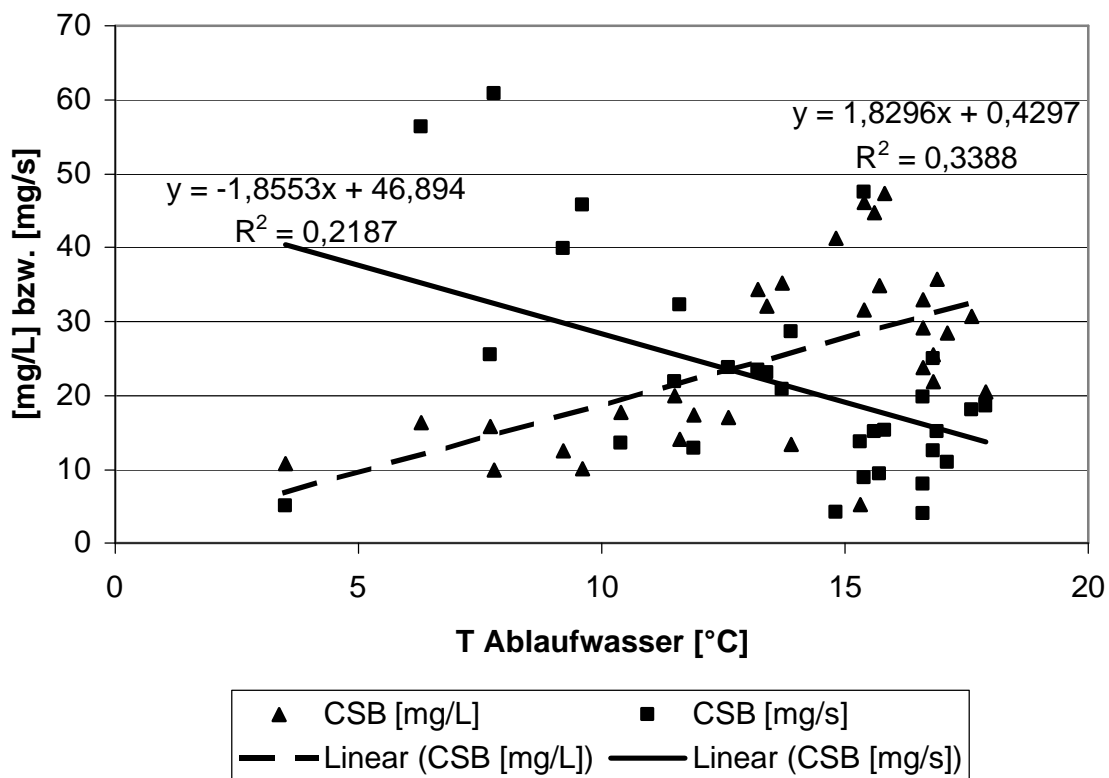


Abb. 5: Konzentration und Fracht des CSB in Abhängigkeit von der Temperatur des Ablaufwassers an der Anlage Franzenheim

Tab. 5: Schwermetallgehalte von Abläufen und Speicherteichen der 5 PKA

| | | Pb | | Cd | | Zn | | Cu | | Fe | | Mn | |
|------------------|----|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------------|-------------|-----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| | | [µg/L] | | [µg/L] | | [µg/L] | | [µg/L] | | [µg/L] | | [µg/L] | |
| TW- V | | 40 | | 5 | | RW: 5000 | | RW: 3000 | | 200 | | 50 | |
| EU-TW | | 10 | | 5 | | - | | 2000 | | IW: 200 | | IW : 50 | |
| AbwVCh.I. | | 50 | | 5 | | 200 | | 100 | | - | | - | |
| Probe | n | Ø | Min Max | Ø | Min Max | Ø | Min Max | Ø | Min Max | Ø | Min Max | Ø | Min Max |
| Ablauf Franz. | 22 | 2,3 | 1,85 2,80 | 0,16 | 0,12 0,22 | 9,5 | nn 46,0 | 5,6 | 0,3 19,0 | 86 | 14,3 327 | 565 | 5,9 2010 |
| Ablauf Ober. | 24 | 1,0 | 0,82 1,37 | 0,05 | 0,02 0,10 | 10,7 | 2,0 39,9 | 6,6 | 3,3 20,4 | 103 | 22,1 394 | 442 | 2,6 1207 |
| Ablauf Schr. | 12 | 2,6 | 2,03 6,19 | 0,16 | 0,11 0,29 | 13,8 | 7,0 33,6 | 9,1 | 1,1 25,9 | 312 | 75,8 1910 | 3170 | 1093 6235 |
| Teich Schr. | 14 | 2,4 | 1,96 2,86 | 0,14 | 0,11 0,17 | 12,3 | 1,8 49,5 | 8,5 | 0,2 36,4 | 179 | 59,4 600 | 416 | nn 1625 |
| Ablauf Otten | 14 | 2,3 | 1,55 3,67 | 0,15 | 0,11 0,19 | 10,8 | 1,7 37,0 | 9,5 | 1,8 25,1 | 196 | 47,9 635 | 1621 | 325 4298 |
| Ablauf Bung. | 11 | 2,7 | 2,22 3,07 | 0,36 | 0,24 0,51 | 9,2 | 2,3 26,7 | 50,8 | 26,5 78,1 | 168 | 67,6 266 | 18 | nn 193 |
| Teich Bung. | 14 | 2,4 | 1,92 3,29 | 0,19 | 0,14 0,29 | 6,9 | nn 32,9 | 14,8 | 6,4 30,2 | 55,3 | 21,7 87,7 | nn | nn nn |

TW- V: Trinkwasserverordnung vom 1. April 1998, Anlage 2 und Anlage 4

EU-TW: Neue Trinkwasserrichtlinie der EU (RL 98/83/EG) von 1999

AbwVCh.I.: Abwasserverordnung (1999), Anh. 22: Chem. Ind.; Anforderungen an Abwasserströme (ab 10 m³/d), die nicht aus der Herstellung, Weiterverarbeitung oder Anwendung dieser Stoffe stammen.

RW = Richtwert, IW = Grenzwert

Sämtliche Messwerte für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Zink und Kupfer liegen deutlich unter den strengsten existierenden Grenz- und Richtwerten und erreichen sogar problemlos Trinkwasserqualität. Dies gilt auch für die in Tabelle 5 nicht aufgeführten Metalle Bor, Magnesium, Kalzium sowie bis auf vier leichte Überschreitungen im Ablauf der Anlage Bungert für Natrium (sommerliche Aufkonzentrierung). Lediglich für Eisen und Mangan gibt es an allen Anlagen zum Teil deutliche Grenzwertüberschreitungen, die allerdings vermutlich größtenteils geogen (bzw. Beetsubstrat) bedingt sind. Die Indikatorwerte von 200 µg/L (Fe) bzw. 50 µg/L (Mn) haben keine gesundheitlichen Ursachen, sondern deuten lediglich auf Mängel bei der Wasseraufbereitung.

Auffällig ist eine deutliche Verringerung der gelösten Metallionenkonzentration in den Teichen im Vergleich zu den dazugehörigen Abläufen. Diese ist durch Adsorptionsvorgänge im Teichsediment bedingt. Bezüglich der untersuchten Metallionen ist das Wasser der Abläufe und Speicherteiche zumindest für jegliche Art von Brauchwassernutzung (z.B. Bewässerung) und zur Verrieselung über den belebten Boden bedenkenlos geeignet.

3.2.2 Versickerungsbereiche

Tab. 6: Konzentration von $\text{NH}_4\text{-N}$ an verschiedenen Messstellen im Versickerungsbereich der PKA Franzenheim und Eliminationsraten von der Ursprungsbelastung durch den Ablauf

| Datum | Ablauf PKA | Ablauf der Mulde | | Sickerwasser nach 1 m | | Sickerwasser nach 4 m | |
|----------|-----------------|------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
| | Konz. [mg/L] | Konz. [mg/L] | Elimin. %v. F-A | Konz. [mg/L] | Elimin. %v. F-A | Konz. [mg/L] | Elimin. %v. F-A |
| 25.05.01 | 18,10 | 4,72 | 74 | 4,63 | 74 | 2,70 | 85 |
| 12.06.01 | 24,10 | 21,8 | 10 | 5,91 | 75 | 2,76 | 89 |
| 26.06.01 | 16,90 | 16,0 | 5 | 6,62 | 61 | 3,41 | 80 |
| 12.07.01 | 24,70 | 18,0 | 27 | 9,50 | 62 | 5,28 | 79 |
| 27.07.01 | 12,80 | 7,96 | 38 | 7,60 | 41 | 4,22 | 67 |
| 02.08.01 | 9,75 | 6,54 | 33 | 9,83 | - 1 | 3,86 | 60 |
| 09.08.01 | 16,40 | 3,05 | 81 | 8,94 | 45 | 4,46 | 73 |
| 21.08.01 | 21,00 | 9,15 | 56 | 8,73 | 58 | 4,37 | 79 |
| 30.08.01 | 13,30 | 2,32 | 83 | 6,36 | 52 | 3,11 | 77 |
| Mittelw. | 17,45 | 7,00 | 45 | 7,57 | 52 | 3,80 | 77 |

Die Abnahme der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration gegenüber dem Kläranlagenablauf erreicht am Ablauf der relativ kleinen Versickerungsmulde (ca. 75 m²) und im Sickerwasser mit zunehmender Entfernung von der Mulde beachtliche Dimensionen (Tabelle 6). Ähnliche Abbauraten konnten für $\text{NO}_3\text{-N}$ in Mulde und Sickerwasser sowie im Umfang von 11-45 % (Mittelw. 26 %) für Gesamtstickstoff und von 1-25 % (Mittelw. 10 %) für CSB in der Mulde nachgewiesen werden. Die Gehalte von ortho-Phosphat wurden in der Mulde teilweise reduziert, zum Teil fand durch Rücklösungsvorgänge ein Konzentrationsanstieg statt. Im Sickerwasser sanken die ortho-Phosphat-Konzentrationen meist deutlich. Die Leitfähigkeit zeigte im Versickerungsbereich eine leicht abnehmende Tendenz, während die Sauerstoffgehalte deutlich anstiegen.

Umfassendere Ergebnisse zum Thema der Versickerung gereinigten Abwassers sind nach Abschluss der laufenden Dissertation zu erwarten. Schon zum jetzigen Zeitpunkt kann gesagt werden, dass die naturnahe Nachbehandlung eine sehr effektive und kostengünstige Methode der Leistungssteigerung in der Abwasserbehandlung darstellt. Die Prozesse Abbau organischer Substanzen, Reduzierung des Phosphatgehaltes, Sauerstoffanreicherung sowie vor allem eine sehr starke Nitrifikation und Denitrifikation laufen nebeneinander ab. Am Beispiel des $\text{NH}_4\text{-N}$ zeigt sich, dass dem aufnehmenden Fließgewässer große Mengen schädlicher Substanzen erspart werden können (Abbildung 6).

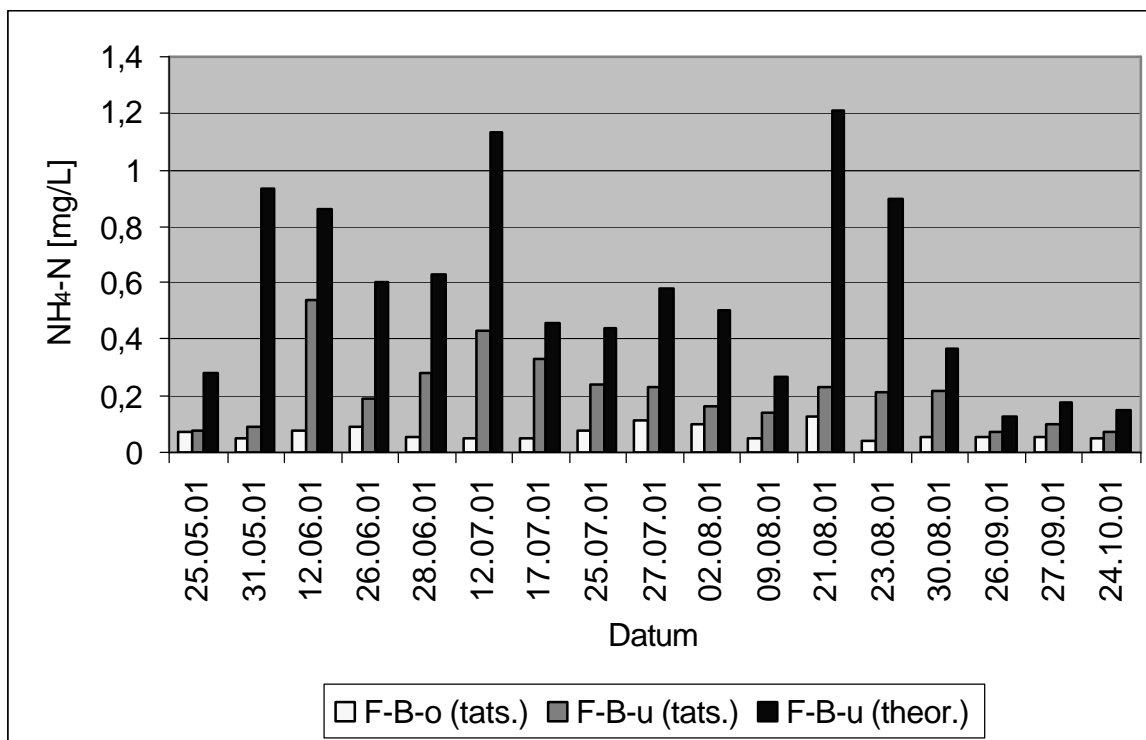


Abb. 6: Tatsächliche Ammonium – Stickstofffrachten im Franzenheimer Bach oberhalb [F-B-o (tats.)] und unterhalb [F-B-u (tats.)] der PKA sowie die theoretisch auftretenden Frachten bei einer direkten Einleitung des Kläranlagenablaufes in den Bach [F-B-u (theor.)].

3.3 Hygienische Wasseruntersuchungen

Für die Nutzung des gereinigten Abwassers ist es sehr wichtig, die seuchenhygienische Qualität des Wassers abschätzen zu können. Abbildung 7 zeigt, dass für gesamtcoliforme Keime bereits im Ablauf der PKA eine Reinigungsleistung von 3-4 Zehnerpotenzen erzielt wird. Vor allem die Speicherteiche, teilweise auch die Abläufe genügen in der Regel den Anforderungen der Richtlinie über die Qualität der Badegewässer (76/160/EWG, 1975, geändert durch die Richtlinie 91/692/EWG, 1991) mit einem Grenzwert von $10^4/100$ ml gesamtcoliforme Keime. In den beiden größeren kommunalen

Kläranlagen ist der Verdünnungseffekt durch Fremdwasserzufluss anhand der geringeren Konzentrationen im Zulauf gut zu erkennen.

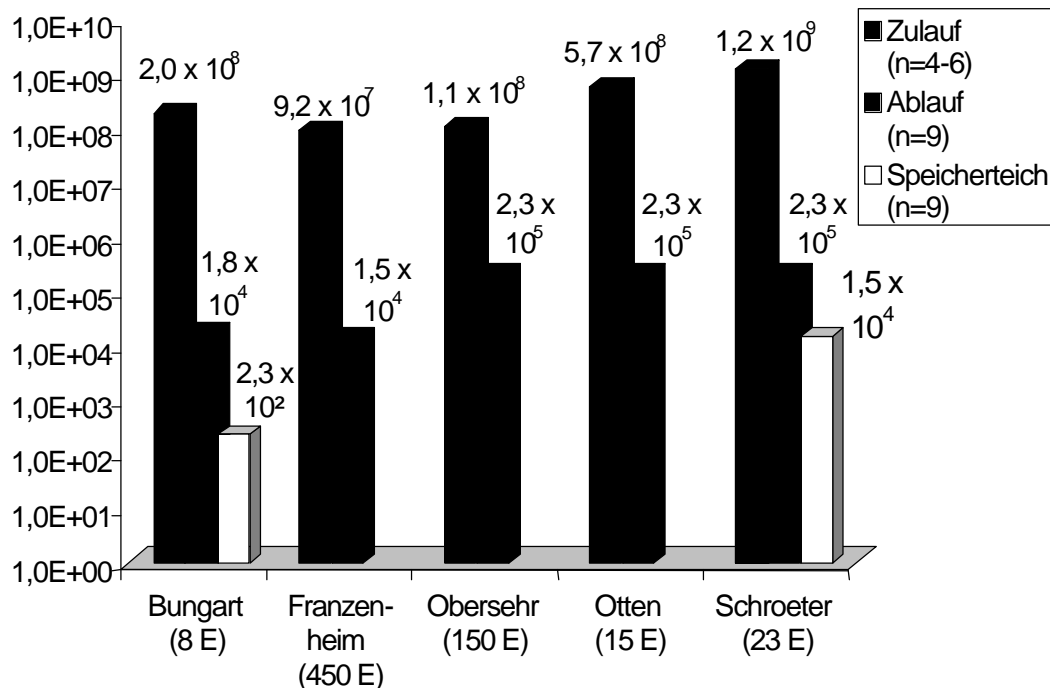


Abb. 7: Gesamtcoliforme Keime d. unters. PKA (Medianwerte auf 100 ml)

Neben den Gesamtcoliformen wurden auch Fäkalcoliforme, Fäkalstreptokokken, Pseudomonaden und Coliphage untersucht. Außerdem wurden spezielle Analysen zu den Salmonellen und den EHEC-Bakterien (Enterohämorrhagische Escherichia coli) unternommen, die eine große seuchenhygienische Relevanz besitzen (BERNHARDT 2001, LEIST 2002). Salmonellen konnten innerhalb des Untersuchungszeitraumes von sechs Monaten nur viermal im Zulauf bzw. nach der Vorreinigung der beiden größeren Anlagen nachgewiesen werden, nicht jedoch in den Abläufen. Zwei mal wurde die humanpathogene *Salmonella Enteritidis* festgestellt. Die anderen zwei Salmonellen gehörten der nichthumanpathogenen Subspeziesgruppe IIIb an. EHEC konnten trotz des Verdachtes aufgrund von Rinderhaltung in keiner der PKA gefunden werden.

Bezüglich der Antibiotikaresistenzen zeigt Tabelle 7 beispielhaft die Medianwerte der Resistenzquotienten der vier untersuchten Antibiotika in der PKA Bungart. Aufgrund der starken Schwankungen dieser Quotienten können die Werte nur als Trend angesehen werden. Außer bei Nourseothricin ist bei allen anderen eine Zunahme im Ablauf zu beobachten. Verglichen mit Untersuchungen zentraler kommunaler Kläranlagen entsprechen diese

Ergebnisse jedoch der allgemeinen Problematik der Resistenzentwicklung, die ihre Ursache in dem übermäßigen Gebrauch von Antibiotika hat.

Tab. 7: PKA Bungart: Median u. Schwankungsbreite der Resistenzquotienten

| Probenahmestelle | Chloramphenicol | Tetracyclin | Gentamicin | Nourseothricin |
|------------------|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| Zulauf | 1,35 0,02 - 2,75 | 1,45 0,06 - 2,7 | 0,005 0,001 - 0,3 | 1,12 0,015-19,5 |
| Ablauf | 1,55 0,2 - 73,9 | 4,35 0 - 5,7 | 0,1 0 - 1,3 | 0,28 0 - 2,2 |
| Speicherteich | 0,03 0,03 - 0,3 | 0,1 0,003 - 0,7 | 0,04 0,003-0,06 | 0 0 - 0,7 |

Um eine Übersicht über die Zusammensetzung der Enterobacteriaceen-Spezies zu bekommen, wurden Analysen zur Diagnostik angeschlossen (Abb. 8 und 9). Im Zulauf der PKA Bungart wurden 8 verschiedene Spezies bestimmt, wobei die Gattung *Enterobacter* mit 21,6 % aller isolierten Keime am häufigsten auftrat. Im Ablauf traten die Klebsiellen gehäuft hervor. Diese Werte zeigen aufgrund der zu geringen Stichprobenzahl nur einen Trend auf.

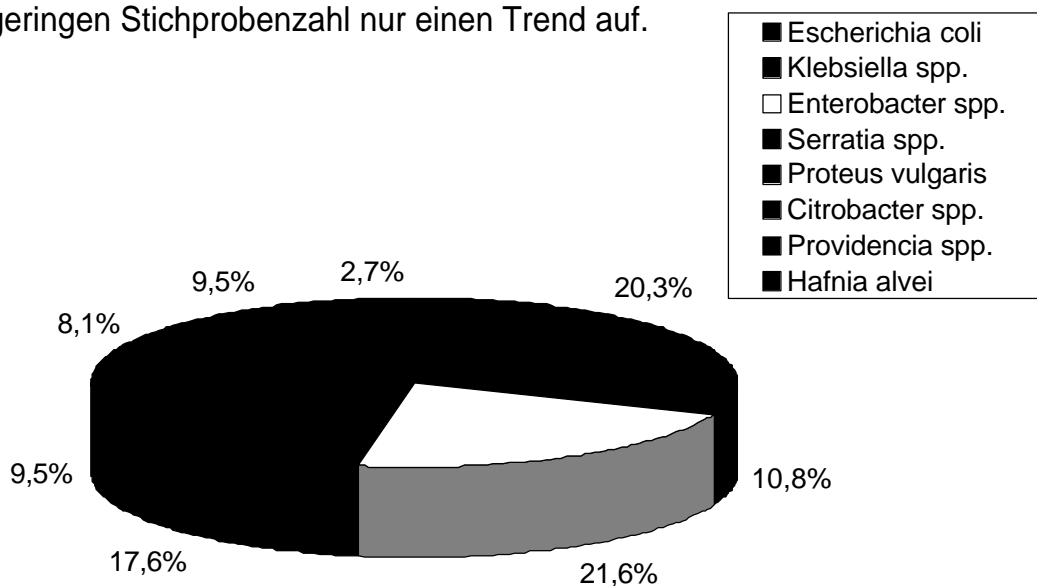


Abb. 8: Verteilung der *Enterobacteriaceae* im Zulauf der PKA Bungart

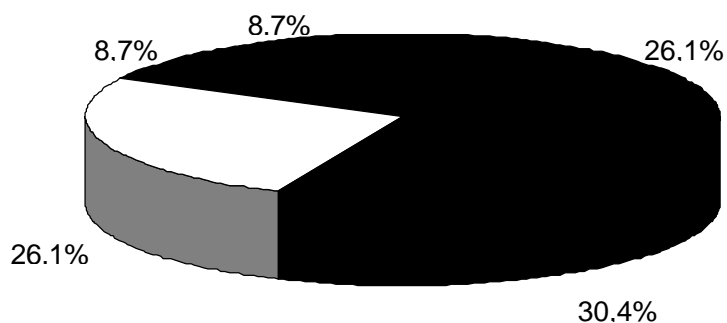


Abb. 9: Verteilung der *Enterobacteriaceae* im Ablauf der PKA Bungart

3.4 Bodenkundliche Schwermetalluntersuchungen

Tab. 8: Schwermetallgehalte von Vererdungsprodukt, Rottegut und Sediment der Versickerungsmulden

| | | Pb | | Cd | | Cr | | Cu | | Ni | | Zn | |
|----------------------------|----------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|--------------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------------|
| | | [mg/kg] | | [mg/kg] | | [mg/kg] | | [mg/kg] | | [mg/kg] | | [mg/kg] | |
| BBodSchG | | 100 | | 1,5 | | 100 | | 60 | | 70 | | 200 | |
| Abf.KlärV | | 900 | | 10 | | 900 | | 800 | | 200 | | 2500 | |
| Anlage | n | Ø | Min. Max | Ø | Min. Max | Ø | Min. Max | Ø | Min. Max | Ø | Min. Max | Ø | Min. Max |
| Vererd. Franz. | 5 | 115 | 58 179 | 0,39 | 0,11 0,78 | 63 | 45 71 | 48 | 22 79 | 64 | 30 99 | 386 | 112 768 |
| Vererd. Obers. | 4 | 117 | 21 257 | 0,38 | 0,03 1,23 | 26 | 10 63 | 38 | 9 94 | 68 | 26 106 | 223 | 38 635 |
| Vererd. Schroe. | 3 | 75 | 56 95 | 0,60 | 0,26 0,21 | 42 | 15 67 | 170 | 25 412 | 92 | 23 135 | 314 | 114 657 |
| Vererd. Otten | 2 | 110 | 95 126 | 0,54 | 0,49 0,58 | 16 | 15 17 | 410 | 393 426 | 30 | 27 34 | 941 | 778 1104 |
| Rottes. Bung. | 4 | 40 | 25 73 | 0,52 | 0,15 0,83 | 18 | 9 32 | 112 | 6 246 | 39 | 19 73 | 278 | 84 430 |
| Versi. Franz. | 9 | 115 | 97 150 | 0,25 | 0,05 0,65 | 54 | 31 66 | 52 | 32 104 | 86 | 43 100 | 178 | 92 520 |
| Kontrol. Franz. | 1 | 37 | | 0,02 | | 13 | | 43 | | 27 | | 79 | |
| Versi. Obers. | 4 | 117 | 21 257 | 0,52 | 0,14 1,19 | 16 | 13 23 | 119 | 6 349 | 31 | 20 53 | 482 | 64 868 |

BBodSchG: Vorsorgewerte für Böden nach § 8 Abs. 2 Nr. 1 des Bundesbodenschutzgesetzes von 1998

Abf.KlärV: Grenzwerte für Klärschlämme, (nach § 4 Abs. 12 der Klärschlammverordnung)

Während die in den Vererdungsstufen zurückgehaltenen und mineralisierten Feststoffe auf den jeweiligen Beeten verbleiben, wird die Rotte aus den Rottesäcken üblicherweise nach einem bis zwei Jahren zur Bodenverbesserung im Landschaftsbau oder in der Landwirtschaft genutzt. Die Grenzwerte der Klärschlammverordnung werden von sämtlichen untersuchten Proben mit deutlichem Abstand eingehalten (Tabelle 8). Vergleicht man die Ergebnisse mit den strengeren Vorsorgewerten für Böden nach dem Bundesbodenschutzgesetz, so erhält man zahlreiche Überschreitungen bei den Parametern

Pb, Ni, Cu und Zn. Die Konzentrationen für Cd und Cr bleiben unter den Vorsorgewerten.

Offensichtlich werden dem Abwasser durch beide Verfahren der Vorreinigung Schwermetalle entzogen, die in den mineralisierten Produkten festgelegt werden. Einer Nutzung des Rotteproduktes zur Bodenverbesserung steht allerdings aufgrund der Schwermetallgehalte nichts im Wege.

In den vergleichsweise kleinflächigen Versickerungsmulden (ca. 0,2 m²/E) werden offensichtlich Schwermetalle aus dem gereinigten Abwasser zurückgehalten und akkumuliert, was stellenweise zu Überschreitungen der Vorsorgewerte für einige Metalle (v.a. Pb, Cu, Zn) führt.

3.5 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die Übertragung der in Verdichtungsgebieten entstandenen konventionellen Abwasserbeseitigung auf den ländlichen Raum hat zu der allgemein bekannten Kostenlawine im Abwassersektor geführt. Im ländlichen Raum liegen die Investitionskosten für die konventionelle, mehr oder weniger stark zentralisierte Abwasserbeseitigung bei 5.000 EURO (10 TDM) pro Einwohner oder noch darüber. Ca. 75 % bis über 90 % der Kosten entfallen dabei auf das unproduktive und anfällige Kanalsystem. Bei einer weitgehenden Reduzierung des Kanalsystems durch dezentrale, möglichst grundstücksbezogene Einzel- oder Gruppenkläranlagen sinken die Investitionskosten tatsächlich meist auf weniger als 1.250 Euro. Dies gilt sowohl für bereits realisierte Beispiele (EXPO 2000 Projekt Bergedörfer Avendshausen) als auch für Kostenvoranschläge entsprechender Planungen. (SIEGL & NEY 2001a, LÖFFLER 2001). Durch Eigenleistungen kann dieser Betrag unter günstigen Bedingungen noch weiter bis auf ca. 500 Euro gesenkt werden (SIEGL 1998).

Bezüglich der Investitionskosten für die verschiedenen Kläranlagentypen ist eine differenzierte Betrachtung erforderlich (LEY 2000), da sie von zahlreichen Parametern wie Anzahl der angeschlossenen Einwohner, Misch- oder Trennsystem, Geländesituation, Eigenleistung usw. abhängen.

Die Betriebskosten sind wegen der hohen Zinsbelastung bei Systemen mit hohen Investitionskosten ebenfalls deutlich höher als bei Anlagen mit geringen Investitionskosten. Außerdem tragen die geringen Energiekosten naturnaher Klärsysteme, insbesondere von Pflanzenkläranlagen, sowie der geringere Wartungsaufwand erheblich zur Senkung der Betriebskosten bei. Während die Kubikmeterpreise für Abwasser bei der konventionellen Abwasserbeseitigung meist deutlich über 5 bis 10 DM liegen und eine steigende Tendenz aufweisen, sind in dezentralen, privat oder genossenschaftlich betriebenen Anlagen

Kubikmeterpreise von weniger als 1-2 DM mit fallender Tendenz möglich (SIEGL 1998, SIEGL & NEY 2001a).

Folgende Ursachen können für die bisher nur zögerliche Umsetzung wirtschaftlich vorteilhafter innovativer Abwasserbehandlungskonzepte und -verfahren genannt werden:

1. Fördermittel des Bundes und der Länder lassen auch unwirtschaftliche Lösungen kostengünstig erscheinen.
2. Der nach LAWA (1998) für Kostenvergleichsrechnungen meist herangezogene "Projektkostenbarwert" ist für naturnahe, innovative kleine Kläranlagen irreführend (SIEGL & NEY 2001b).
3. Bereits getätigte Fehlinvestitionen z. B. in Form von ausgedehnten Kanalsystemen, die von den Verantwortlichen vielfach als "Vorleistungen" betrachtet werden, ziehen die Fortschreibung des einmal gewählten unwirtschaftlichen Systems nach sich. Ein Ausstieg aus den bestehenden Strukturen wäre mit einem Prestigeverlust verbunden und wird möglichst wenigstens so lange verschoben, bis der Entscheidungsträger in den Ruhestand geht.
4. Ortsansässige Ausführungsfirmen brauchen Aufträge, bei denen sie ihre vorhandenen schweren und leistungsstarken Maschinen einsetzen können. Eigenleistungen, kostengünstige low tec- und low budget- Lösungen werden zwar von den Anliegern, nicht jedoch von den Baufirmen gewünscht. Eine Neuorientierung der Abwasserbehandlung würde bestehende Firmen und Arbeitsplätze gefährden.
5. Die bisher kaum auffallende langfristige Umlegung der Kosten auf die Anlieger wird einer grundsätzlichen Lösung des Problems vorgezogen.

3.6 Rechtliche und verwaltungstechnische Fragestellungen

Die Auswertung der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen auf EU-, Bundes- und Landesebene führte zu dem Ergebnis, dass eine nachhaltige Abwasserbewirtschaftung mit kleinräumigem Schließen des Wasser- und Nährstoffkreislaufs in privaten und kommunalen Kläranlagen von der Gesetzgebung her durchaus vorgesehen bzw. sogar beabsichtigt ist. Tatsächlich werden diese Möglichkeiten von den Kommunen, denen die Abwasserbeseitigungspflicht obliegt, jedoch kaum ausgeschöpft sondern das etablierte System der konventionellen Abwasserbeseitigung auch im ländlichen Raum meist fortgeschrieben. Bürger, die in Eigeninitiative umweltverträgliche und zeitgemäße Lösungen verwirklichen (Abwasser wird zu Badewasser),

werden verleumdet und mit satzungsrechtlichen Begründungen zu Ordnungsstrafen verurteilt oder sogar strafrechtlich verfolgt.

Die Ursachen für diesen "Reformstau" konnten in zahlreichen Arbeitsbesprechungen, Ausarbeitungen und Korrespondenzen mit Vertretern der Kommunalverwaltungen der Verbandsgemeinden Neuerburg, Kyllburg, Trier-Land und anderer Rheinland-Pfälzischer Kommunen sowie Vertretern der Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord, der Ministerien für Landwirtschaft und Forsten und des Umweltministeriums ermittelt werden (vgl. SIEGL & NEY 2001a). Die bisher ermittelten Gründe sind:

1. Die rechtlichen Spielräume der übergeordneten jüngeren Gesetzgebung sind bei kommunalen Entscheidungsträgern kaum bekannt, da die Flut von Novellierungen und aktualisierten Ausführungsbestimmungen mit dem vorhandenen Personal nicht zu bewältigen ist.
2. Geltende untergesetzliche Regelungen, die in Expertengremien ohne parlamentarische oder sonstige demokratische Kontrolle beschlossen werden (DIN-Ausschüsse, ATV, VDI usw.) widersprechen häufig der Intention der aktuellen Gesetzgebung, werden von vielen Behörden jedoch nach wie vor als verbindlich betrachtet (Richtlinienkompetenz z. B. Arbeitsblatt der ATV 262, 1998).
3. Kommunale Satzungen regeln die Kostenverteilung innerhalb der Gemeinden und haben tradierte Strukturen, die nicht mehr zeitgemäß sind (z. B. Überlassungspflicht, Anschluss- und Benutzungszwang).
4. Mangelnde Bereitschaft zur Innovation, da die Fortschreibung traditioneller Systeme routinemäßig erfolgt und jede Neuerung zusätzlichen Arbeitsaufwand erfordert.

Entscheidende Gesetze, Paragraphen, Ausführungsbestimmungen, untergesetzlichen Regelungen usw. sind den Unterlagen der Rechts-AG (D 7) sowie den verschiedenen, im Anhang aufgeführten Veröffentlichungen zu entnehmen.

3.7 Biotopqualität und Landschaftsbild

PKA stellen bezüglich Biodiversität und Landschaftsbild bereichernde Strukturen innerhalb der Kulturlandschaft dar. Vor allem eine Vielzahl von Feuchtgebietsarten (z.B. *Acrocephalus palustris*, *Natrix natrix*, *Rana temporaria*, *Lycaena dispar*, *Mecostethus grossus*) wurde neben anderen (z.B. *Lanius collurio*, *Oedipoda caerulescens*) festgestellt. Im Wohnumfeld werden PKA von Besuchern entweder nicht als solche wahrgenommen oder als löbliche naturnahe Technik begrüßt.

3.8 Stoff- und Wasserströme

Das Wasser aus den Speicherteichen der PKA Schroeter und Bungart wird zu folgenden Zwecken genutzt: Gartenbewässerung, Gülle- und Spritzmittelverdünnung, Gerätereinigung, Gänsehaltung, als Schwimmteich. Die geringe Menge der aus den Rottesäcken der PKA Bungart stammenden mineralisierten Feststoffe dient der Bodenverbesserung im Hausgarten und auf dem Acker.

Tab. 9: Wasser- und Stoffbilanzen an der PKA Franzenheim von Dezember 2000 bis November 2001

| | | Wasser | | Stickstoff | | CSB | |
|---------------|-----------|-------------|---------------|------------|--------------|-----------|----------------|
| | | Basis | [m³/a] | Basis | [kg/a] | Basis | [kg/a] |
| Input | 370 Einw. | / | / | 10 g/E*d | 1.350,9 | 90 g/E*d | 12.155 |
| | Trinkw. | 90 L/E*d | 12.155 | 1,1 mg/L | 13,4 | 0,5 mg/L | 6 |
| | N'schlag | 1030 L/m²*a | 2.781 | 20 kg/ha*a | 5,4 | / | / |
| | Fremdw. | Q-SW-N+ET | 39.844 | 1 mg/L | 64,2 | 5 mg/L | 199 |
| | gesamt | | 54.780 | | 1.434 | | 12.360 |
| Output | Ablauf Q | 5,76 m³/h | 50.462 | 16,87 mg/s | 532 | 26,3 mg/s | 829 |
| | Evapotr. | 1.600 mm/a | 4.320 | / | / | / | / |
| | gesamt | | 54.780 | | 532 | | 829 |
| Bilanz | | | 0 | | -902 | | -11.531 |
| Abbau | | | / | | -63% | | -93% |

Beim Vorhandensein entsprechender Abnehmer (Gartenbaubetriebe, Landwirtschaft, Gewerbe) sind in erster Linie die anfallenden Wassermengen der PKA Franzenheim in guter Brauchwasserqualität durchaus gewinnbringend zu nutzen (Tabelle 9).

Die jährlich von der PKA Franzenheim (vor Versickerungsbereich) emittierte Stickstoffmenge von 532 kg reicht für die Düngung von knapp 4 ha durchschnittlicher rheinland-pfälzischer Landwirtschaftsfläche aus (139 kg N/ha LF, QUIRIN et al. 2000). Sie entspricht außerdem den Ausscheidungen von 5 Milchkühen (je 102 kg N/a) oder von 13 Rindern (je 40 kg N/a) oder von 44 Mastschweinen (je 12 kg N/a) (UMWELTBUNDESAMT 1999).

Der N-Input der PKA Bungert beträgt ca. 18,5 kg/a, der Output der Anlage ohne ausgeprägte Denitrifikation liegt bei 12 kg N/a (Abbau 36 %), wobei diese Menge im Speicherteich noch einmal etwa halbiert wird. 12 kg N reichen aus um ca. 860 m² LF zu düngen. Sie entsprechen außerdem den Ausscheidungen von einem Mastschwein.

Der Olewiger Bach südlich Trier (EZG: 29,4 km²), an dem die PKA Franzenheim und Obersehr liegen, transportierte im Jahr 1997 etwa 30.000 kg N (10,2 kg N/ha*a) bei einer Wassermenge von etwa 5,2 Mio. m³. Nimmt man an, dass aus den Abwässern der insgesamt 1.600 Einwohner des EZG ebensoviel Stickstoff eliminiert wird wie in der PKA Franzenheim, so liegt (bei Vernachlässigung der Versickerungsbereiche und der Selbstreinigung des Baches) der abwasserbürtige Anteil des Stickstoffs im Bach bei lediglich 7,7 % (2.300 kg N/a).

3.9 Optimierungsstrategien

Um den Anforderungen einer ökologisch und ökonomisch optimierten Wasserwirtschaft gerecht zu werden, ist eine Reihe von Leitsätzen zu beachten:

Bei der Auswahl eines geeigneten Klärverfahrens sind alle Alternativen gleichberechtigt zu prüfen und einer echten Wirtschaftlichkeitsberechnung zu unterziehen. Bei wirtschaftlicher Eignung sind dezentrale Konzepte im Sinne eines kleinräumigen Schließens von Stoff- und Wasserkreisläufen aus ökologischer Sicht zu bevorzugen.

Pflanzenkläranlagen können je nach Bauart verschiedenste Anforderungen an eine weitergehende Abwasserbehandlung im ländlichen Raum erfüllen. Durch die Wahl der Anlagenmodule kann die hygienische und die chemisch-physikalische Qualität der Abläufe gesteuert werden. PKA fügen sich durch ihre hohe Verdunstungsleistung optimal in den Landschaftswasserhaushalt ein.

In der Abwasserwirtschaft ist eine stärkere Landorientierung erforderlich, um einen besseren Stoffrückhalt zu gewährleisten. Dazu gehört u.a. der Bau von Kläranlagen abseits der Gewässer und die Anlage von Versickerungsbereichen.

Eine möglichst weitgehende stoffliche und hydraulische Nutzung ist anzustreben. Dazu ist eine weitere Verbreitung innovativer Sanitär- und Nutzungskonzepte (Vakuumtoiletten, Biogasanlagen) erforderlich. Kläranlagen sollten in die Nähe von potentiellen Abnehmern gebaut werden (z. B. bewässerungsintensive nachwachsende Rohstoffe).

Der Abwasserpfad ist nur in sehr bescheidenem Maße an der Stickstoffbelastung der Gewässer beteiligt. Meist sind hohe Investitionen für Denitrifikationsstufen nicht erforderlich.

4 Vergleiche mit Arbeiten außerhalb des Sonderforschungsbereichs und Reaktionen der wissenschaftlichen Öffentlichkeit auf die eigenen Arbeiten

Die von HERBST & KAPPEN (1999) für einen natürlichen Schilfbestand ermittelte jährliche Evapotranspirationsleistung von 824 mm bis 1.324 mm (Durchschnitt 1.107 mm) liegt über 650 mm unter der für die PKA Bungart ermittelten Rate und unter der Rate aus den Gefäßversuchen. Neben methodischen Unterschieden und weiteren Faktoren weist dies auf die Abhängigkeit der Evapotranspiration von dem Grad der Wassersättigung der Luft und der Windexposition und damit von der Bestandesgröße hin (vgl. KRAFT 1984).

Mehrfach bestätigt wird in der Literatur die im Projekt festgestellte Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von PKA in Bezug auf die chemisch-physikalische (z. B. GELLER & THUM 1999) und die hygienische (z. B. HAGENDORF & DIEHL 2001) Ablaufqualität. Auf den unkomplizierten Betrieb und die geringen Kosten von PKA sowie die besondere Bedeutung der Frachten für ihre Bewertung weist GELLER (1998) hin. Zur naturnahen Nachbehandlung von gereinigtem Abwasser liegen einige Veröffentlichungen mit ähnlicher Fragestellung vor, die deren hohen Stoffrückhalt betonen (z. B. SOWA et al. 1993).

In der Region Trier stieß das Projekt C2 auf großes Interesse. Eine Reihe von Anfragen führte zu teilweise enger Kooperation und Beratung von Verbandsgemeinden (VG), Bürgerinitiativen und Privatpersonen. So wurde durch die Projektmitarbeiter in der VG Neuerburg ein dezentralisiertes Abwasser-Konzept erstellt. Bürgerinitiativen und Verwaltungen in den VG Birkenfeld und Zell/Mosel wurden bei Planungen im Abwasserbereich beratend unterstützt. Auch über die Region hinaus war das Interesse an dem Arbeitsfeld des Projektes groß, was der Besuch einer Delegation des koreanischen Umweltministeriums im Dezember 2001 zeigt. Insgesamt konnte ein großer Informationsbedarf und teilweise große Unwissenheit auf dem Gebiet dezentraler Abwasserbehandlung bei Bürgern und Verwaltungen festgestellt werden.

5 Offene Fragen

Bei der Umsetzung innovativer Abwasserkonzepte ist beispielsweise von Interesse, welche Strukturen in Verwaltungen, Gesetzen und Gesellschaft geschaffen werden müssen, um transparente, kostengünstige und ökologische Lösungen zu fördern. Hier gibt es in der Praxis noch große Widerstände. Aus verfahrenstechnischer Sicht ist vor allem eine Erweiterung der Kenntnisse bezüglich der Hygiene bei der Abwasserbehandlung und bezüglich des Stoffrückhaltes bei einer naturnahe Nachbehandlung wünschenswert.

6 Literatur

6.1 Verzeichnis der im Text erwähnten Veröffentlichungen und weiterführende Literatur

ABWASSERTECHNISCHE VEREINIGUNG (ATV) (1998): ATV A 262: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenbeeten für kommunales Abwasser bei Ausbaugrößen bis 1.000 Einwohnerwerte. Hennef.

GELLER, G. (1998): Horizontal durchflossene Pflanzenkläranlagen im deutschsprachigen Raum – langfristige Erfahrungen, Entwicklungsstand. Wasser & Boden 50 (1): 18-25.

GELLER, G. & R. THUM (1999): Langzeitbetrieb von Pflanzenkläranlagen: Stoffanreicherung und Betriebsstabilität. Wasser & Boden 51 (1+2): 39-43.

HAGENDORF, U. & K. DIEHL (2001): Keimelimination in Bewachsenen Bodenfiltern. Wasser & Boden 53 (3): 16-18.

HERBST, M. & L. KAPPEN (1999): The ratio of transpiration versus evaporation in a reed belt as influenced by weather conditions. Aquatic botany 63: 113-125.

HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE, JUGEND, FAMILIE UND GESUNDHEIT (1996): Breitflächige Versickerung von häuslichem Abwasser aus Kleinkläranlagen. Staatsanz. f. d. Land Hessen Nr. 50: 4.137-4.138.

HOFMANN, K. (1994): Entwässerung und Vererdung von Klärschlamm in Schilfbeeten. Schriftenreihe der kommunalen Umweltaktion U.A.N. 21. Hannover.

KASSEL, K. – F. (1994): Teure lange Leitung. Die Zeit 25: 29.

KÖHN, G. & D. GLÜCKLICH (1992): Praxisuntersuchung über die Leistung verbesserter dezentraler Kleinkläranlagen mit Bodenfiltern nach DIN 4261 (Feldversuche). Untersuchung im Auftrag des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie. – 54 S. Buchholz.

KRAFT, H. (1984): Verdunstungsreinigung von Limnophyten bei der Abwasserreinigung in hydrobotan. Kläranlagen. Wasser-Abwasser-Forschung 17: 12-15.

KUNST, S., MULL, R., DONTA, A., FELDE, K. V. & H. – M. LENZ (1996): Aufbringung von Abwasser auf landwirtschaftliche Flächen. – Abschlussbericht Forschungsvorhaben 10206230, unveröffentlicht. Hannover.

KUNST, S. (1998): Versickerung von Kläranlagenabläufen. Unveröffentlichtes Gutachten. Hannover.

LANGE, J. & R. OTTERPOHL (1997): Abwasser: Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft. – Mallbeton GmbH (Hrsg.). Donaueschingen-Pföhren.

LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (1998): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen. 6. Überarbeitete Auflage. Berlin.

LÖFFLER, H. (1997): Das abwasserfreie Grundstück. Umwelt, Naturnahe Abwasseranlagen 6: 34-38.

LÖFFLER, H. (2001): Erfahrungen zu kanalfreien Dörfern. Vervielfältigtes Manuskript. Dresden.

QUIRIN, M., ISERMANN, K. und D. SCHRÖDER (2000): Die Stickstoff(N)- und Phosphor(P)-Bilanzen der Landwirtschaft von Rheinland-Pfalz und der Bundesrepublik Deutschland im Vergleich. In: Monheim, H. & A. Helbig (Hrsg.) (2000): Konzepte und Forschungsergebnisse aus dem Umfeld des Sonderforschungsbereiches 522 Umwelt und Region, Band I.

SIEGL, A. (1998): Gestaltung von Abwasserbehandlungsanlagen im ländlichen Raum. 155 S. Saarbrücken.

SOWA, E., LIEBENATH, C., NITSCHKE, C. & W. KRITZNER (1993): Überwachung d. Sicker- u. Grundwasserbeschaffenheit bei naturräumlicher Grundwasseranreicherung auf ehemaligen Rieselfeldern. Wasser & Boden 45 (9): 703-707.

UMWELTBUNDESAMT (1999): Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands. Texte 75/99.

6.2 Verzeichnis der Projektveröffentlichungen

BERNHARDT, E. (2001): Bakteriologische Untersuchungen zum seuchenhygienischen Risiko bei der Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser aus Pflanzenkläranlagen. In: MÜLLER, P., RUMPF, S. & H. MOHNHEIM (Hrsg.): Umwelt und Region - Aus der Werkstatt des Sonderforschungsbereichs 522: 315-322. Trier.

LEIST, T. (2002): Seuchenhygienische Untersuchungen an Pflanzenkläranlagen. Diplomarbeit an der Universität des Saarlandes (in Vorb.). Saarbrücken.

LEY, M. (2000): Wirtschaftlichkeit von Pflanzenkläranlagen. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Fachhochschule Trier.

SIEGL A. & A. NEY (2001a): Diskussionsgrundlage für eine situationsangepasste und zukunftsorientierte Abwasserbehandlung am Beispiel der Verbandsgemeinde Neuerburg. In: MÜLLER, P., RUMPF, S. & H. MOHNHEIM (Hrsg.): Umwelt und Region - Aus der Werkstatt des Sonderforschungsbereichs 522: 303-308. Trier.

SIEGL, A. & A. NEY (2001b): Wirtschaftliche und ökologische Lösungen der Abwasserbehandlung kleinerer Ortschaften. In: MÜLLER, P., RUMPF, S. & H. MOHNHEIM (Hrsg.): Umwelt und Region - Aus der Werkstatt des Sonderforschungsbereichs 522: 309-314. Trier.