

Das Wurzelraumverfahren – ein kostengünstiges Klärverfahren für den dezentralen Einsatz in Kommunen und Gewerbe

A low-cost process for purification of municipal and industrial waste water

von Reinhold Kickuth*

1. Abwassertechnische Probleme der Gegenwart

Technische Abwasserbehandlung stößt zunehmend an wirtschaftliche und verfahrensbedingte Grenzen, je weiter sie sich aus dem Bereich städtisch industrieller Ballungsbereiche entfernt. Die üblichen Verfahren zur Abwasserbehandlung können aus technischen Gründen nicht beliebig miniaturisiert werden; in kleinen Gemeinden treten Grundlastprobleme auf, die nicht beherrschbar sind, und auch kleine Anlagen müssen im Prinzip mit der gleichen Sorgfalt gefahren und betreut werden wie große. Dafür ist geschultes Personal erforderlich, das im ländlichen Siedlungsbereich oft überhaupt nicht verfügbar, oder wenn, dann nicht bezahlbar ist. Wegen der hohen Progression von Bau- und Betriebskosten bei Kleinanlagen mit hohem technischen Ausstattungsniveau wird unterhalb bestimmter Grenzen die pro-Kopf-Belastung sehr hoch und politisch nicht mehr durchsetzbar.

Das sog. „Kleinkläranlagen-Konzept“ der 50iger und 60iger Jahre gehört daher in der Bundesrepublik der Vergangenheit an; es sind nur wenige dieser Anlagen jemals zu einem befriedigenden Betriebszustand gelangt. Für andere europäische und außereuropäische Länder gilt das Gleiche, und andere Länder, die erst dabei sind, ihr Entsorgungswesen auszubauen, sind gut beraten, wenn sie aus diesem Fehlschlag lernen. In den 70iger Jahren bildete sich daher ein zunächst einleuchtendes anderes Klärkonzept aus, das darin besteht, die Abwässer aus mehreren, geographisch zu koordinierenden Gemeinden über Sammler einer zentralen Einrichtung, der „Verbandskläranlage“ zuzuführen und sie dort unter günstigen technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen unter fachmännischer Aufsicht zu klären.

Das verfahrenstechnisch und primär auch wirtschaftlich sinnvolle Konzept wird leider nicht selten durch unsinnig hohe Kosten großer Sammlersysteme - bei Misch-

* Professor Dr. Reinhold Kickuth, Fachgebiet Ökochemie am Fachbereich Landwirtschaft der Gesamthochschule Kassel in Witzenhausen.
Anschrift: Nordbahnhofstr., D-3430 Witzenhausen 1

kanalisation zudem noch mit bedeutenden Querschnitten – völlig entwertet. Wenn daher auch in geographisch und abwassertechnisch günstigen Fällen weiterhin nach diesem Konzept verfahren wird, so hat sich zunehmend gezeigt, daß man – vornehmlich aus Kostengründen – auch mit diesem Entsorgungskonzept an Grenzen gestoßen ist. Wo man ihm noch folgt, gilt die Faustregel, daß bei einem regionalen Klärkonzept 2/3 bis 4/5 der Gesamtkosten auf das Kanalisations- und Sammlernetz entfallen.

Eine im umfassenden Sinne „Angepaßte Entsorgungstechnologie“ für den mehr ländlich strukturierten Siedlungsbereich, für kleine Gemeinden, Streu- und Splittersiedlungen sowie für Einzelverursacher ist daher auf technischer Basis noch nicht verwirklicht.

„Angepaßte Entsorgungstechnologie“ darf aber – besonders in diesem Bereich – nicht gleichgesetzt werden mit „Behelfstechnologie“ geringeren Wirkungsgrades, denn gerade im ländlichen Raum haben wir es häufig mit schwachen Vorflutern zu tun, die eine besonders gründliche Abwasserreinigung erfordern; sie reagieren besonders empfindlich auf Belastungen und sind zudem häufig Grundlage der in diesen Siedlungsbereichen vorhandenen und wirtschaftlich wichtigen Erholungs- und Nutzungsaktivitäten. Sog. „Weitergehende Abwasserreinigungsverfahren“ sind daher in diesem Bereich vor allem angezeigt.

In diesem Zusammenhang muß daran erinnert werden, daß die technischen Klärverfahren – sofern sie überhaupt bezahlbar bleiben sollen – eine „Weitergehende Abwasserreinigung“ nicht leisten; schon die technisch gut beherrschbare Phosphatentfernung bringt diese Systeme an die Grenzen der ökonomischen Machbarkeit. Seitens des Gewässerschutzes kann man sich daher mit diesen Lösungen nicht zufrieden geben, und diese Auffassung beginnt sich mehr und mehr durchzusetzen (7, 20, 25).

2. Alternative, naturnahe Klärverfahren

„Alternative“ Behandlungsverfahren für Abwasser dürften so alt sein wie die Menschheit (22). Sie knüpfen an Beobachtungen der Reinigungsleistung von Boden und Wasser an und sind schon früh besonders eng mit den produktionsbiologischen Aspekten der Landbewirtschaftung verknüpft worden; schon vor Christus kannte man hochentwickelte Systeme dieser Art aus dem klassischen Griechenland (21).

In Preußen wurde eine solche Einrichtung im Jahre 1557 erstmalig planmäßig erstellt; sie blieb über 300 Jahre im Betrieb (34).

In England stellte 1857 eine königliche Kommission lapidar folgendes fest: „The right way to dispose the town sewage is to apply it continuously to land and it is only by such application that the pollution of rivers can be avoided“ (2).

Nachdem ab 1700 Landbehandlungsmethoden von den Städten Paris, Berlin, Moskau und Melbourne aufgegriffen worden waren, begann man in den Vereinigten Staaten ab 1870 mit solchen Praktiken (24).

Heute sind – manchen Nachteilen solcher Systeme zum Trotz – allein in den Vereinigten Staaten rd. 2500 Anlagen dieser Art in Betrieb; die Tendenz ist zunehmend (32).

Tabelle 1. Landbehandlungsanlagen in den USA

Jahr	Anzahl der Anlagen	Angeschlossene Bevölkerung (in Mio)
1940	304	0.9
1945	422	1.3
1957	461	2.0
1962	401	2.7
1968	512	4.2
1972	571	6.6

In Übereinstimmung damit steht die große Wertschätzung, die man in den USA amtlicherseits diesen Systemen entgegenbringt.

Auch in anderen Ländern fehlt es nicht an befürwortenden Stimmen, die teils die große Leistungsfähigkeit dieser Verfahren betonen (13), teils auf ihre besondere Wirtschaftlichkeit hinweisen (6).

Bei der Landbehandlung von Abwässern hat man 4 Hauptverfahren zu unterscheiden:

1. Die Bewässerung von landwirtschaftlichen oder gärtnerischen Kulturpflanzen durch Verregnung oder Verrieselung
2. Die schnelle oder langsame Infiltration und Perkolation von Abwässern in bepflanzte Areale hoher Durchlässigkeit
3. Die Hangverrieselung, die sich besonders für undurchlässige Böden eignet,
4. Die „wetland“-Verfahren, bei denen in dauernd hydromorphen Bodenmatrices (Sümpfen, Marschland etc.) gearbeitet wird.

Auf die besonderen Vor- und Nachteile dieser Verfahren soll hier im einzelnen nicht eingegangen werden. Eine umfangreiche Literatur berichtet darüber.

Zusammenfassend sei jedoch darauf hingewiesen, daß sich aus hydraulischen, chemischen und hygienischen Gründen die Verbringung von vorgereinigtem Abwasser (secondary effluents) mehr und mehr einbürgert und daß eine intermittierende Verbringung den besten Erfolg garantiert. Dennoch ist auch bei dieser Praxis eine Kontaminierung des Grundwassers, besonders ein Übertritt von Nitrat, schwerabbaubaren Komponenten und Fäkalkeimen nicht ganz auszuschließen.

Vor allem aber ist wegen der erforderlichen Vorbehandlung die Wirtschaftlichkeit der Verfahren nicht mehr so hoch einzuschätzen; Landbehandlungsverfahren als Dritte Reinigungsstufe hinter eine konventionelle mechanische und biologische Vorbehandlung anzuschließen, scheint uns wenig ergiebig, obwohl Feinreinigung und Grundwassererneuerung oder auch die damit zu erzielende pflanzliche Produktion nicht gering geschätzt werden dürfen.

Geht man von dem Gedanken aus, die Leistungsfähigkeit des Bodens zur Klärung von unbehandeltem, bzw. nur mechanisch vorgereinigtem Abwasser auszunutzen, so geht bei schwereren Böden, die eine hinreichende Aktivität besitzen und die erforderlichen Verweilzeiten gewährleisten die Applikationsrate unter mitteleuropäischen Klimabedingungen kaum über 300 – 600 mm Abwasser hinaus. Das bedeutet eine Kapazität von 100 – 200 Einwohnergleichwerten pro Hektar.

Flächenansprüche dieser Größenordnung für die Abwasserreinigung sind im europäischen Bereich nicht mehr zu verwirklichen, obschon – rein rechnerisch – zum Beispiel in den 300 000 ha, die als „Sozialbrache“ seit 1945 allein in der Bundesrepublik Deutschland aus der landwirtschaftlichen Nutzung entlassen wurden, Ent-

sorgungskapazitäten für mindestens 30 000 000 Einwohnergleichwerte zur Verfügung stünden. Diese Überlegungen sind jedoch reine Utopie.

Man findet selbst im Umlande kleinerer Gemeinden so gut wie nie kohärente Flächen, die für Entsorgungszwecke in dieser Größenordnung zur Verfügung stünden; allein der Flächenerwerb für die Entsorgung einer kleineren Gemeinde würde bei Durchschnittspreisen von 10,- DM/m² zu Aufwendungen für den Flächenerwerb in Millionenhöhe führen.

Hinzu kommt, daß auch der landwirtschaftliche Siedlungsbereich heute von so vielen anderen, nicht-landwirtschaftlichen Aktivitäten und Ansprüchen (Erholung, Verkehr, Siedlung etc.) durchzogen ist, daß flächenhafte Entsorgung hier nicht mehr großräumig betrieben werden kann, ohne in konflikttätige Kollision mit anderen Interessensbereichen zu geraten. Zudem muß die landwirtschaftliche Abwasserverwertung – und nur diese käme für flächenextensive Verfahren schon aus wirtschaftlichen Gründen in Frage – heute mit besonderen Vorbehalten beurteilt werden; die Zusammensetzung der Abwässer, auch aus dem dörflichen Siedlungsbereich ist durch viele Haushalts- und Industriechemikalien, durch Pharmaka und andere Fremdstoffe von einer Art, die in vielen Fällen eine Ausbringung auf landwirtschaftliche Kulturflächen verbietet.

Die besondere Sorge um den Grundwasserkörper, unseren wertvollsten und unersetzlichen Aquifer zwingt ohnehin zu einer kritischen Betrachtung aller *perkolativen* Landbehandlungsverfahren mit *vertikalem* Strömungsvektor.

Hiermit sind nur einige der Probleme aufgelistet, die mit den „klassischen“ Landbehandlungsverfahren verbunden sind und diese in zunehmendem Maße in dichtbesiedelten Ländern aus dem abwassertechnischen Kalkül verdrängt haben.

Die Probleme der klassischen Landbehandlungsverfahren dadurch zu umgehen, daß man sie – so ist der Trend in den USA – als Dritte und Vierte Reinigungsstufe hinter den biologischen Teil konventioneller technischer Klärketten positioniert, ist wirtschaftlich ohne Interesse (32) und geht vor allen Dingen auch an den exorbitanten Reinigungskapazitäten des tätigen Bodens völlig vorbei.

Reinigungssysteme auf die Stoffaufnahme durch grüne Pflanzen zu stützen, wie es das „Hydrobotanische Verfahren“ bzw. „Binsenverfahren“ von KÄTHE SEIDEL (27, 28) beabsichtigt, führen zu nichts. Auch hiermit sind keine höheren Flächenleistungen zu erzielen; hydraulische Absurditäten, die mit der hohen Evapotranspirationsleistung von Limnophyten zusammenhängen kommen noch hinzu. Dieses mag hier nur am Rande erwähnt sein, weil auch heute die Diskussion um die sog. Hydrobotanischen- oder Binsenverfahren noch nicht verstummt ist.

Eine Wasser- und Laststoffbilanz (für N) an einer „Hydrobotanischen Stufe“ (nach SEIDEL) führt zu dem in Abbildung 1 dargestellten eigenartigen, inzwischen mehrfach bestätigten Ergebnis.

Auf solchen Leistungsbildern lassen sich keine alternativen biologischen Entsorgungssysteme aufbauen. Auch die Untersuchungsergebnisse WATTENHOFER's (36) reden hier eine überaus deutliche Sprache.

Mehr als verwunderlich ist es, daß hydrobotanische Konzepte bis in die jüngste Zeit propagiert werden, wenn man auch inzwischen auf „Rhizosphäreneffekte“ nicht mehr verzichten mag (29, 30). Grundlegende Kritik hatte schon VIEHL (35) an diesen Verfahrensvorschlägen geäußert und über die negativen Erfahrungen mit Hydrobotanischen Stufen berichtet.

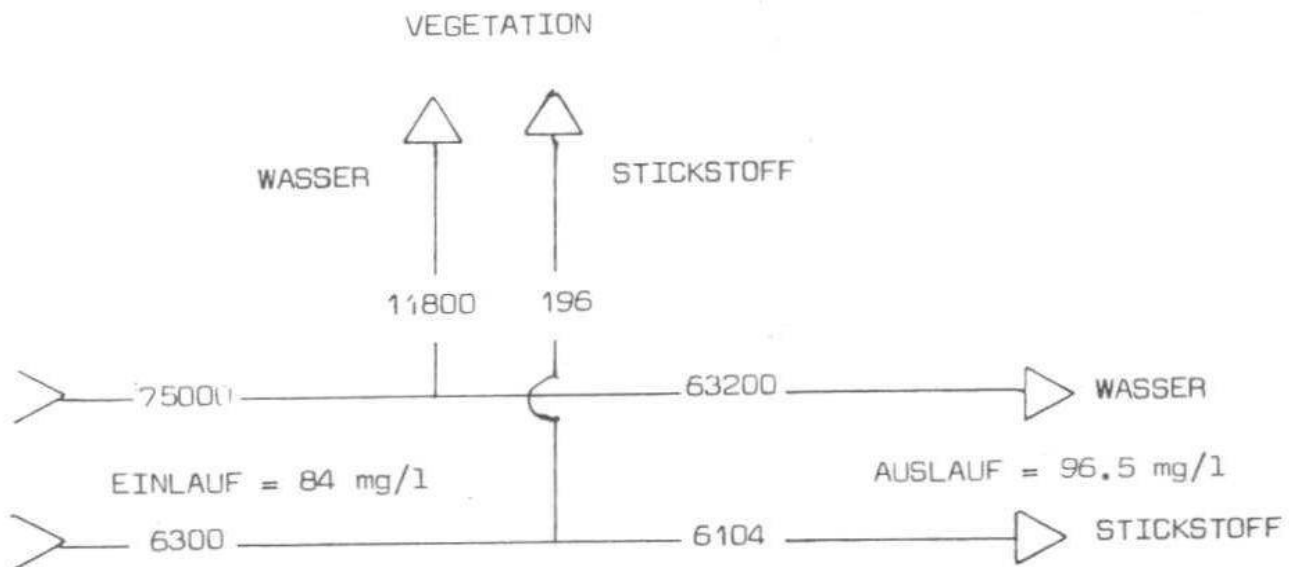


Abb. 1. Nährstoff-Aufnahme aus Abwasser durch die Vegetation und ihr Einfluß auf die Qualität. (Hektarleistung eines Phragmitetums) – Hydrobiologische Stufe nach Seidel – (Angaben in Kilogramm Stickstoff/Jahr bzw. Kubikmeter Wasser/Jahr)

Gewässerverschmutzung läßt sich durchaus wirksam mit einigen höheren Wasserpflanzen bekämpfen, nicht aber eine wirksame Abwasserreinigung zuwege bringen. Mit *Eichhornia crassipes*, einer Schwimmpflanze niederer Breiten, läßt sich seit den Zeiten DYMONDS (12) der Gewässerverschmutzung erfolgreich begegnen, und es ist nicht von ungefähr, daß die NASA (23) in neuerer Zeit wiederum eingehende Untersuchungen über das Schwermetallaufnahmevermögen dieser Pflanzen angestellt hat. Mit diesen Verfahrenskonzepten hat das Prinzip der Wurzelraum-sorgung n i c h t s zu tun.

3. Das Wurzelraumverfahren

Es handelt sich bei der Wurzelraument-sorgung um ein L a n d b e h a n d l u n g s - v e r f a h r e n , das sich auf die enormen physikalischen, chemischen und biologischen Umsetzungskapazitäten aktivierter Bodenmatrices stützt. Wenn dieses Verfahren nicht selten als Binsenteich- oder Schilfteichverfahren bezeichnet und mit den „Hydrobotanischen Verfahren“ in einen Topf geworfen wird, so liegt das daran, daß beim Wurzelraumverfahren zur Aktivierung einer d a u - e r n d h y d r o m o r p h e n Bodenmatrix Vegetationselemente verwendet werden müssen, die typische Bestandteile der Ufervegetation bzw. Pflanzen des Röhrichtgürtels sind. Nur diese sind auf Grund besonderer Baupläne überhaupt in der Lage, mit den anoxischen Bedingungen eines dauernd hydromorphen Bodenkörpers fertig zu werden - worauf ja auch ihre Fähigkeit der Ufersaumbesiedlung und der Durchwurzelung submerser Böden beruht. Zahlreiche Untersuchungen in der jüngsten Zeit berichten darüber, daß diese Pflanzen Sauerstoff durch lacunäres Gewebe ihrer oberflächlichen (emersen) Organe in die Tiefe transportieren und dadurch den Atmungsbedarf ihrer Wurzeln und Rhizome decken können. Sie machen aber

auch - und das ist für das Wurzelraumverfahren entscheidend wichtig – deutlich daß als Folge dieses Sauerstofftransports auch gewisse Bereiche im Substrat Wurzel- und Rhizomnähe mit Sauerstoff „versorgt“ und in ihrem Redoxverhalte geändert werden. Dieses kann ein erhebliches Ausmaß annehmen (11, 33).

Im Wirkungsbereich der Rhizome und Wurzeln bildet sich so eine mosaikha strukturierte Bodenmatrix aus mit aeroben Teilbereichen in einer anaeroben Grundstruktur.

Hiermit ist ein äußerst wirkungsvolles biochemisches und chemisches Wirkungsg füge gegeben, in dem gekoppelte Reaktionen in aerobem und anoxischem Milie integriert ablaufen können. Die folgenden Abbildungen zeigen, welche Folgen d für den Laststoffabbau in derartigen Matrices hat.

Besonders dramatisch sind die Konsequenzen für die Elimination von Stickstof verbindungen – einer ausgesprochenen Schwachstelle k l a s s i s c h e r L a n d behandlungsverfahren. Entscheidend für eine durchgreifende Stickstoffeliminatio ist der Anteil, der durch Denitrifikation definitiv aus dem System entfernt wird. Diese zerfällt im wesentlichen in zwei Phasen, von denen die eine die Nitrifikatio der im Abwasser ankommenden Stickstoffverbindungen unter aeroben (oberhal von Redoxpotentialen von + 320 mV) beinhaltet, während die andere - an anoxisches Milieu mit Redoxpotentialen unter + 320 mV gebunden – die Veratmung vo organischen Substanzen (BSB, CSB) durch Nitratsauerstoff und Entbindung vo elementarem Stickstoff durchführt.

Die Schwierigkeit bei klassischen Landbehandlungsverfahren besteht im wesent lichen darin, daß während der Beschickungsphase die für die Diffusion des an de Oberfläche (5 mm) des Abwasserfilms gebildeten Nitrats in tiefergelegene, anoxi sche Denitrifikationszonen pro Quadratmeter Land eine Grenzfläche von 1 m² zu Verfügung steht; dadurch ist bei solchen Verfahren die N-Eliminationsrate au ca. 250–600 kg/Jahr · ha limitiert.

In technischen Klärketten wird die Stickstoffelimination häufig als Zweiphasen reaktion unter Zufuhr von organischer Substanz nach der oxidativen Nitrifikations phase im Belüftungsbecken durchgeführt.

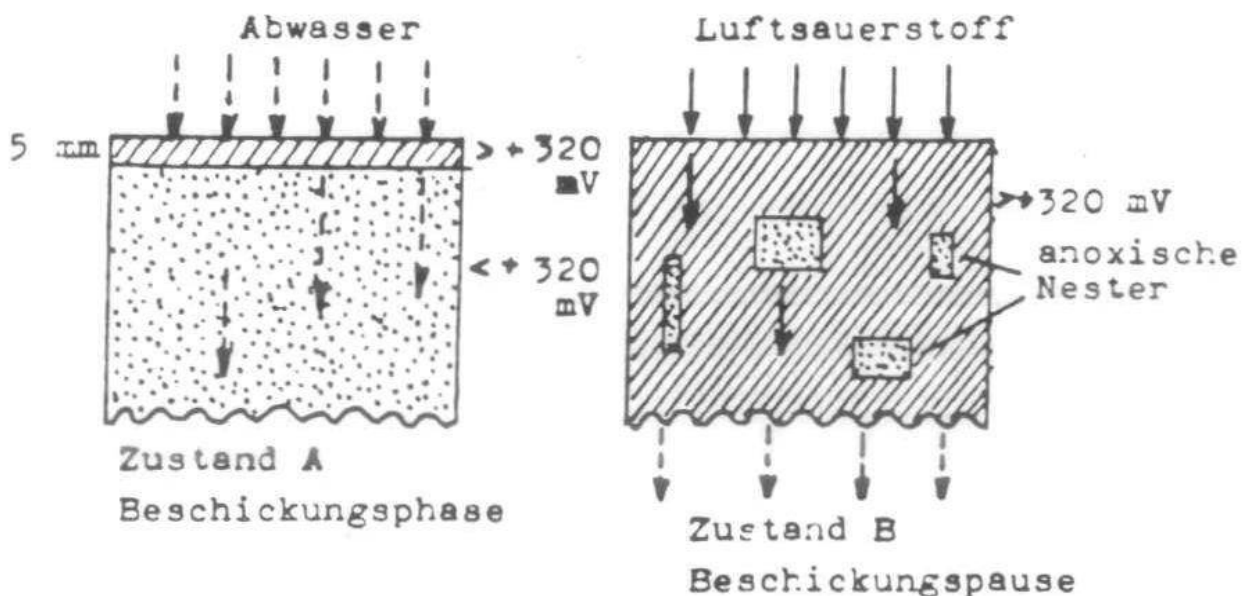


Abb. 2. Matrixzustände des Bodens bei intermittierender Beschickung mit Abwasser

Eine besonders wichtige Determinante stellt die Nitratbildung bei den klassischen Landbehandlungsverfahren dar. Die engen hydraulischen Beschickungsgrenzen, die fast immer praktizierte intermittierende Beschickung und die vorzugsweise geübte Verbringung vorgereinigter Abwässer (secondary effluents) ziehen zwei scharf unterscheidbare Matrixzustände des Bodens nach sich, die für die Beschickungsphase (A) und die Beschickungspause (B) charakteristisch sind (Abb. 2).

Nur wenn das zugeleitete Abwasser vornitrifiziert war, kann während der Phase (A) in der anoxischen Matrix eine wirksame Entfernung des Stickstoffs durch Denitrifikation erreicht werden; für nicht vornitrifizierte Abwässer ist diese Betriebsphase unwirksam.

HUNT und LEE (14) entwerfen für die Überflutungsphase bei klassischen Landbehandlungsverfahren ein Bild für die Verteilung der Redoxpotentiale in der Wirkmatrix.

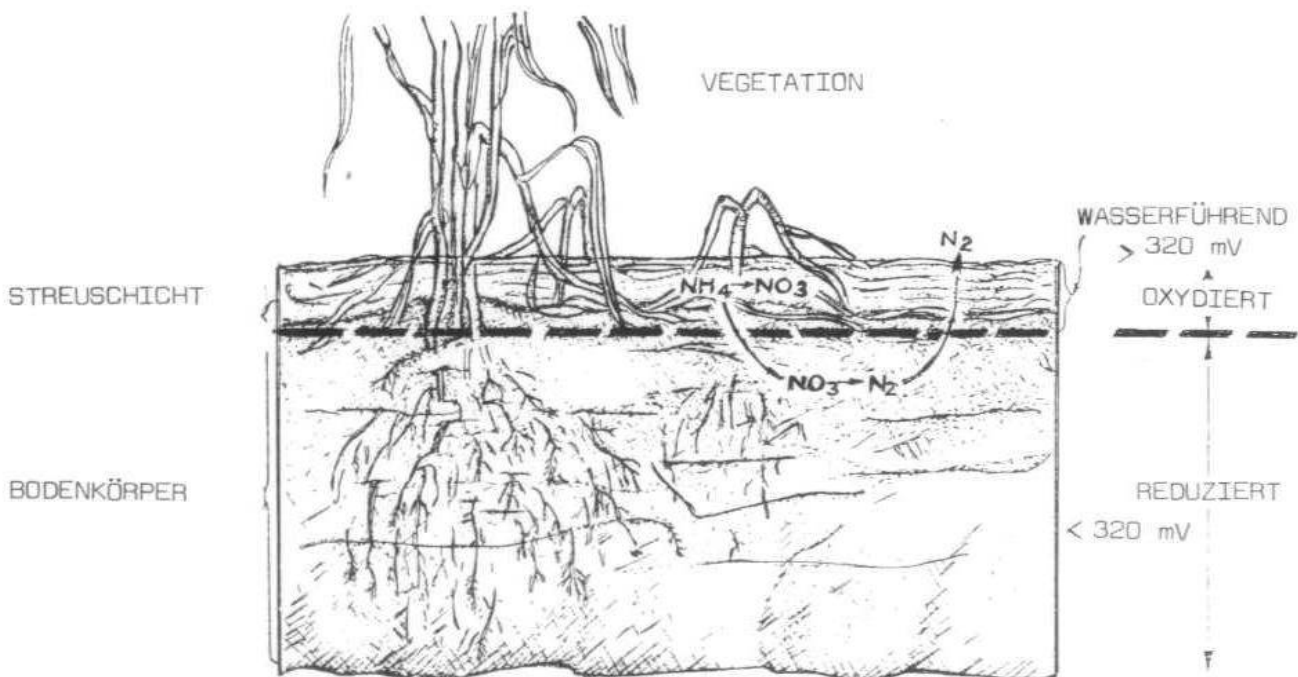


Abb. 3. Aerober (oberflächennaher) und anaerober (oberflächennaher) Bereich bei der Abwasserlandbehandlung während der Überflutungsphase (nach Hunt und Lee)

Die für das Übertreten von Nitrat in anoxische Zonen limitierende (gestrichelte) Grenzschicht wird nun beim Wurzelraumverfahren **d r a m a t i s c h** dadurch vergrößert, als sie sich bei Limnophyten **d u r c h** den gesamten Wurzelhorizont als Grenze zwischen sauerstoffversorgten wurzelnahen und sauerstoffarmen wurzelfernen Kompartiments erstreckt. Berechnungen über Wurzelmasse und Wurzeloberfläche bei *Phragmites communis* ergeben, daß diese Grenzflächenvergrößerung sich auf das rd. 40-fache erstrecken kann. Eine entsprechend **s p e k t a k u l ä r e** Steigerung erfährt die Stickstoffelimination, die z. B. an einem Modellprojekt dieser Art seit 1974 messend verfolgt wird. Sie kann sich auf 11 – 12 Tonnen N pro Jahr und Hektar belaufen und erfolgt zum allergrößten Teil (über 80%) durch Denitrifikation.

Die Einlagerung von einkommendem Ammonium in Dreischicht-Tonminerale, denen der Autor früher einen relativ großen Anteil zubilligte (Voruntersuchungen

deuteten darauf hin), hat sich inzwischen als weit weniger umfangreich erwiesen. OSMAN (22) hat in einer ausführlichen Arbeit über den Stickstoffhaushalt beim Wurzelraumverfahren in gründlichen analytischen Untersuchungen festgestellt, daß in 7 Betriebsjahren N-Residualmengen von insgesamt 2025 kg im Entsorgungsbereich für 2800 EGW verblieben sind, d. h. im Durchschnitt 290 kg pro Jahr. Davon werden lediglich 116 kg Ammonium in Dreischicht-Tonmineralien fixiert. Bei der Beurteilung der hohen Denitrifikationsleistung des Wurzelraumverfahrens ist zu beachten, daß die Denitrifikation unter gleichzeitiger Inanspruchnahme organischer Substanz, d. h. organischer Laststoffe im Abwasser vor sich geht. Pro kg denitrifiziertem Stickstoff werden bis zu 1,85 kg BSB bzw. CSB entfernt. Auch hat die sog. Nitratveratmung von organischen Verbindungen einen anderen biochemischen Spezifitätsbereich als die Sauerstoffveratmung, und es ist

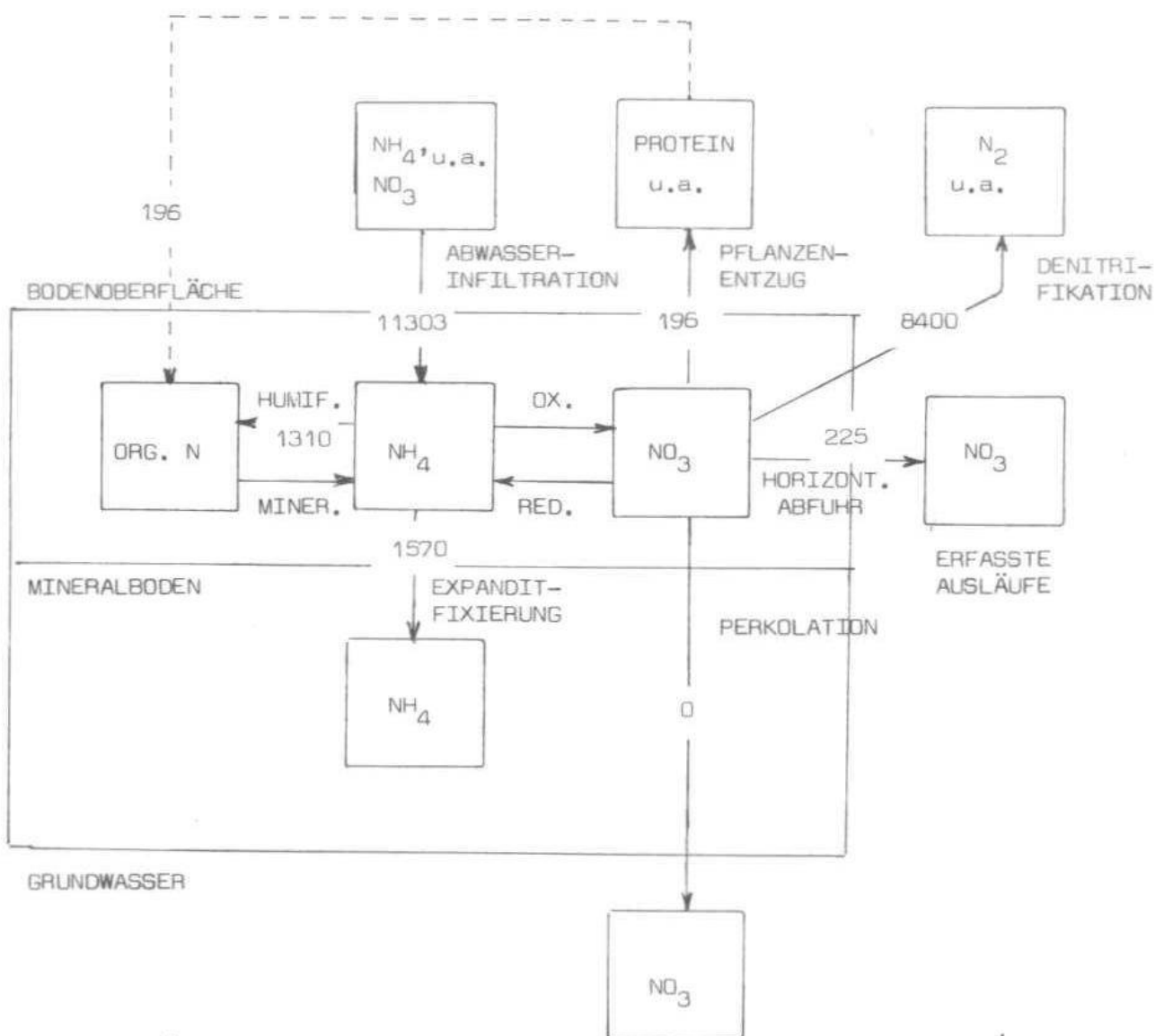


Abb. 4. Umwandlung und Verbleib der Stickstoff-Verbindungen bei der Infiltration von Abwasser in taktive Bodenprofile. (Angaben in kg/ha x Jahr)

nicht auszuschließen, daß besondere Bereiche der sog. refraktären Verbindungen davon erfaßt werden. Hier sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Jedenfalls geht mit der hohen Stickstoffelimination in W. R.-Anlagen auch eine wirksame Entfernung von BSB und CSB einher.

Das Durchwurzelungsverhalten von Limnophyten läßt es zu, diesen Prozess sowie die anderen, am Laststoffabbau und an der Laststoff-Fixierung beteiligten Vorgänge bis auf Tiefen von 120 cm unter Planum (bei *Phragmites*) hinabzuführen und damit große Wirkräume pro Flächeneinheit zu erschließen; auch dieses trägt bedeutend zum relativ geringen Flächenanspruch von W. R.-Anlagen im Vergleich zu klassischen Landbehandlungsverfahren bei.

Darüberhinaus jedoch wird dieser Wirkhorizont durch die enorme Wühltätigkeit der Wurzeln und Rhizome, durch alte Wurzelbahnen (humos gefüllt) und die Gänge des unter diesen Bedingungen noch vorhandenen serpentin Edaphons so aufgelockert, daß in aller Regel nach wenigen Vegetationsjahren Durchlässigkeitsbeiwerte von 10^{-3} m/sec und darüber erreicht werden.

Das zweite – mehr physikalische Grundprinzip der Wurzelraumsorgung macht sich nun die außerordentliche Differenzierung in den Durchlässigkeiten des nicht durchwurzelten Unterbodens und des Wurzelhorizonts in der Form zunutze, daß dieses Leitfähigkeitsprofil in ein Gefälle positioniert wird. Dadurch kommt es zu einer bedeutsamen hydraulischen Veränderung gegenüber den klassischen Infiltrationsverfahren mit vertikalem, grundwasserwärts gerichtetem Strömungsvektor. Im Wurzelraumverfahren wird das Abwasser mit einem horizontalen Hauptströmungsvektor durch den aktiven Wurzelraum oberhalb einer Dichtungsschicht auf einen offenen Aquifer zugeleitet. Hierdurch ergeben sich rationale und definierte Dimensionierungsgrundlagen.

Die Vorgänge, die in einem so hergerichteten Biotop ablaufen, sind hochkomplex und können hier nicht im einzelnen erörtert werden. Jedoch soll auf folgende Dinge noch aufmerksam gemacht werden:

Über die Elimination von Darmbakterien (*E. coli* und Salmonellen) sowie die Reduzierung der Keimzahlen berichtet U. KURPAS in einer umfangreichen Studie aus dem Hygiene-Institut der Universität Göttingen (19). Auf diese Wirkung unter Limnophyten hatte früher schon K. SEIDEL aufmerksam gemacht (26); ALTHAUS bestätigte diese Befunde (1) und KICKUTH und KAITZIS isolierten aus der Rhizosphäre mikrobizide Exkrete (*Scirpus lacustris*) vom Typ substitutierter Benzoe- und Zimtsäuren, die für die Bakterienelimination verantwortlich sein können (16).

Die Gefahr von Salmonellenaustragungen aus dem primären Immissionsbereich durch Vögel und Kleinsäuger wird als gering eingeschätzt, weil ein schneller Abbau im Auflandungsbereich erfolgt und Infektion erst bei Aufnahme von über 500 000 Keimen bei *S. anatum* und 17 000 000 bei *S. pullorum* eintritt (31).

Diese Erwägungen spielen beim Einsatz des Wurzelraumverfahrens als „integrierter Prozess“ zur Abwasser- und Schlammbehandlung eine besondere Rolle.

Auch darauf ist noch kurz einzugehen:

Die Volumenreduktion und Vererdung im Durchwurzelungsbereich höherer Limnophyten sowie das Aufbrechen kolloider Strukturen bei Schlämmen ist seit langem bekannt und wird in separaten Schlammbehandlungsanlagen auch technisch ausgenutzt (5, 15).

Besonders wirksam ist hierbei Phragmites, weil sie nicht nur die entsprechenden Wurzeldrucke von ca. 17 bar ausübt, sondern darüberhinaus auflandende Schlämme aus den Nodien heraus nach oben durchwurzeln und damit aufschließen und vererden kann.

Was in den oben beschriebenen Arbeiten für separate Anlagen durchgeführt wird, kann beim Wurzelraumverfahren als integrierter Prozess zusammen mit der Abwasserklärung an Ort und Stelle erfolgen.

Daß die integrierte Schlamm-Abwasserbehandlung außerordentliche verfahrenstechnische und Kostenvorteile bietet, liegt auf der Hand; in der Bundesrepublik Deutschland arbeitet eine solche Anlage für 5000 Einwohnergleichwerte seit 1974 hervorragend (9), und neuerlich ist eine industrielle Anlage nach diesem Prinzip errichtet worden. Auch mit hochbelasteten Schlämmen aus der Textilveredlungsindustrie liegen seit mehreren Jahren günstige Erfahrungen vor. Dennoch muß diese Verfahrensvariante bei der Anwendung des Wurzelraumverfahrens in wärmeren Ländern kritischer beurteilt werden.

Die Mitverbringung der Feststoffe in das Entsorgungsareal erfordert oberirdische Einleitungsbauwerke und eine flächenhafte Bewegung möglicherweise infizierter Abgänge von Menschen und Tieren. Dieses kann u. U. zu Infektionsgefahren für Menschen und Tiere führen, die es in wärmeren Ländern peinlichst zu berücksichtigen gilt.

Es ist deshalb hier von Vorteil, eine Feststoffvorabtrennung durchzuführen und der Anlage entschlammtes Wasser zuzuführen. Unter diesen Umständen kann der Einrieselungsbereich unterirdisch angelegt und die Infektionsgefahr ausgeschaltet werden.

Mit der Zeit wird sich diese Verfahrensvariante ohnehin durchsetzen, weil die Kosten für Einleitungsbauwerke erheblich sinken und weil vor allem vorgeschaltete Methantechnologien (Biogaserzeugung) die Feststoff-Vorabscheidung wirtschaftlich begünstigen werden.

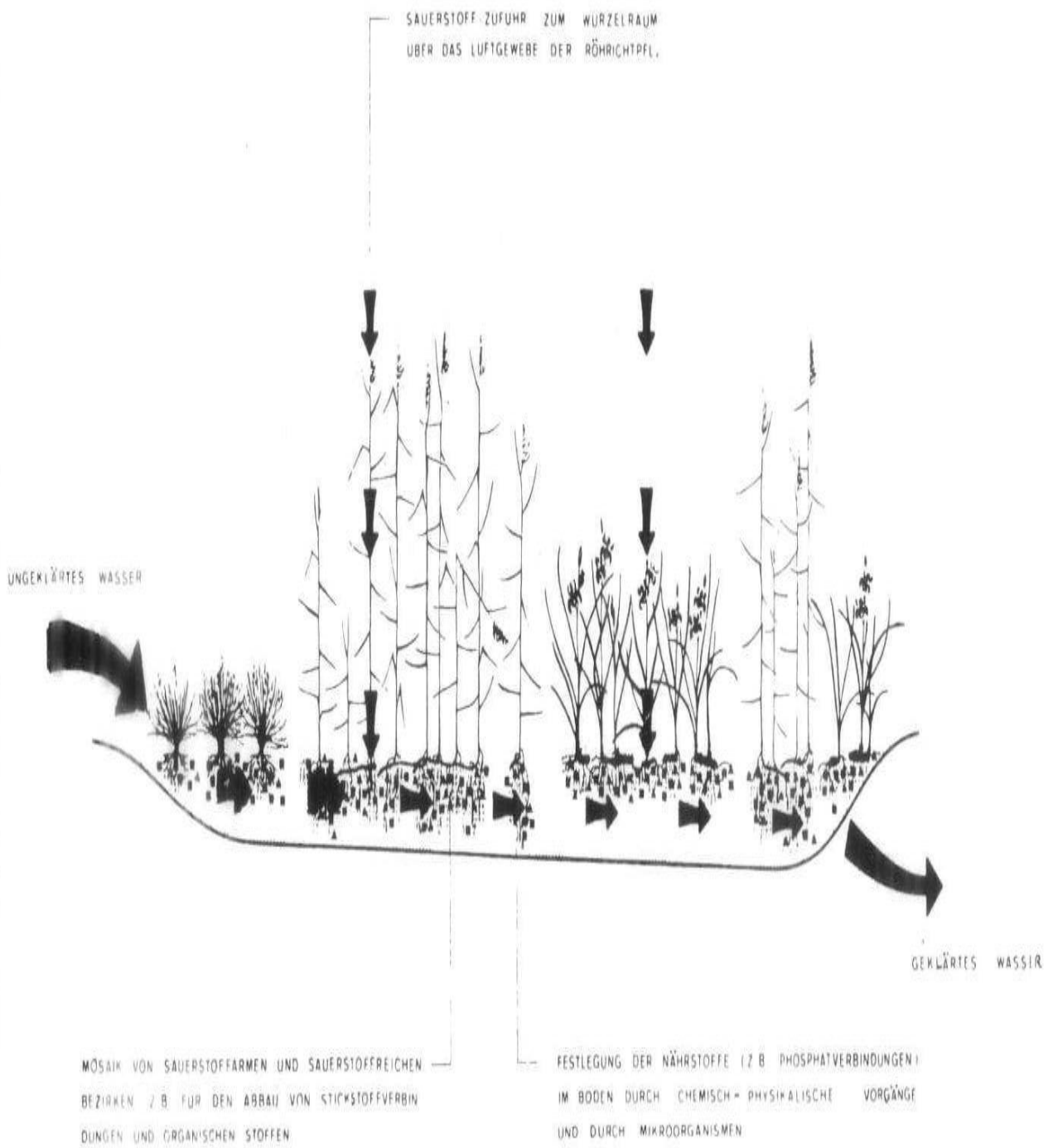
Dieses ist für manche Länder der „Dritten Welt“ regional schon heute die Entsorgungsstrategie der Wahl.

In Verbindung mit der „sanften“ und kostengünstigen Entsorgungsbio-logie des Wurzelraumverfahrens ergibt sich hier ein integrierter Entsorgungs/Energieversorgungsprozess, dem heute schon weltweit große Aufmerksamkeit geschenkt wird.

4. Zusammenfassung

Nach einer Übersicht über die abwassertechnischen Probleme der Gegenwart werden in dieser Arbeit die möglichen alternativen, naturnahen Klärverfahren kurz aufgezeigt und deren Grenzen verdeutlicht. Ausführlich wird das Wurzelraumverfahren dargestellt. Bei dem Wurzelraumverfahren handelt es sich um ein Landbehandlungsverfahren, das sich auf die enormen physikalischen, chemischen und biologischen Umsetzungskapazitäten aktiver Bodenmatrices stützt. Trotz der sehr positiven Erfahrungen die man mit der Wurzelraument-sorgung in den gemäßigten Klimaten gemacht hat, muß die Verfahrensvariante mit Feststoffen in wärmeren Ländern kritisch beurteilt werden. Dabei ergibt sich als wesentliches Problem die Infektiosität der Feststoffe im Entsorgungsareal. Eine Feststoff-Vorabtrennung er-

Abb. 5. Prinzip des Wurzelraumverfahrens zur Abwasserlandbehandlung



scheint unabdingbar notwendig, bietet sich u. U. gerade in Ländern der Dritten Welt in Zusammenhang mit der Biogaserzeugung sogar an.

Summary

After a short discussion of today's problems in sewage treatment the author describes in brief the use and problems of alternative natural sewage treatment processes. An extensive description of a low-cost process for purification of municipal and industrial waste water, known as the „Wurzelraumverfahren“ (rootzone process) is given. This process uses the enormous physical, chemical and biological transformation capacity of an active rootzone. Despite the most positive results obtained in temperate latitudes a critical attitude in respect to the simultaneous application of sludge in tropical latitudes seems to be advisable. By separation of the solid wastes from the sewage before it enters the treatment area in combination with biogas production it should be possible to solve most of the problems and make the Wurzelraumverfahren usable for warm climatic zones.

Literaturverzeichnis

1. ALTHAUS, H., 1966: Biologische Abwasserreinigung mit Flechtbinsen. Das Gas- und Wasserfach 107.486-488
2. Anonym 1865: First Report Royal Commission on Sewage Disposal, London
3. Anonym 1976: Berichte aus dem Abwasserverregnungsverband der Stadt Braunschweig und: Berichte der „Bürgerinitiative gegen die Abwasserverregnung der Stadt Braunschweig“.
4. ARMSTROG, W., 1967: The Oxidising Activity of Roots in Waterlogged Soils. *Physiologia Plantarum*, 20.920-926
5. BITTMANN, M. u. SEIDEL, K., 1967: Entwässerung und Aufbereitung von Chemischlamm mit Hilfe von Pflanzen. Das Gas- und Wasserfach, 108.488 ff
6. BOTZAN, M. u. GOBJILA, W., 1960: Die Abwasserlandbehandlung in der rumänischen Volksrepublik. In: Probleme der Abwasserlandbehandlung – Tagungsbericht Nr. 25
7. Bundesminister des Innern, 1981: Umwelt. Information des BMI zur Umweltplanung und zum Umweltschutz
8. CARDENAS, M. u. HÖLZER, R., 1976: Lysimeterversuche zur Durchlässigkeitsveränderung unter Limnophyten. Bericht an die DFG, Kennwort: W. R.-Entsorgung Ki 139/13
9. CARDENAS, M., 1978: Alternative Entsorgungstechnologie am Beispiel des Entsorgungsprojekts Othfresen. In Beiträge zur Chem. Kommunikation in Bio- und Ökosystemen, S. 175, Witzenhausen 1978
10. McCARTHY, P. L.; BECK, L. u. AMANT, P. St., 1968: Biological Denitrification of Waste Water by Addition of Organic Materials. Proc. 24th Annual Waste Conf. 1271 Purdue Univ.
11. DACEY, J. W. H., 1980: Internal Wind in Water Lilies: Any Adaptation for Life in Anaerobic Sediments. *Science* 210, 1017
12. DYMOND, G. C., 1945: The Water-Hyacinth: A Cinderella of the Plant World. News Letter on Compost, Appendix B, 221, Oct 1945
13. GRAU, A., 1978: Möglichkeiten und Anwendungskriterien einer Bodenbehandlung. *Wiss. u. Umwelt* 2.101-116

14. HUNT, P.G. u. LEE, C.R., 1974: Overland Flow Treatment of Waste-Water – A Feasible Approach, Proc. Res. Sympos. USEPA Reg. III, Newark, Delaw. Nov. 1974
15. KICKUTH, R., 1971: Vererdung von Chemieschlammern in bepflanzten Filterbeeten. Gutachten für das Kernforschungszentrum Karlsruhe 1971
16. KICKUTH, R. u. KAITZIS, G., 1975: Mikrobizid wirksame Aromaten aus *Scirpus lacustris*. Forum Umwelt-Hygiene 6.165-167
17. KICKUTH, R., 1980: Abwasserreinigung in Mosaikmatrizen aus anaeroben und aeroben Teilbezirken. Verhdlg. Ver. Österr. Chem. Abwassertechn. Sympos. Graz Okt. 1980
18. KICKUTH, R., 1979: Conversion and Degradation of Organic and Inorganic Nitrogen Compounds from Heavily Loaded Waste Waters in Amphibic Soiles. In Modelling Nitrogen from Farm Wastes, J. K. R. Gasser (Ed.), ISBN O 85334 869 3, Elsevier, Barking
19. KURPAS, U., 1980: Wurzelraumentsorgung – Untersuchung eines nichtkonventionellen Klärverfahrens anhand der Eliminationsleistung an einigen Mikroorganismen. Diss. Med. Fak. Göttingen
20. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 1981: Die Gewässergütekarte der Bundesrepublik Deutschland. Verlag Service Agentur f. d. Wissenschaft, Weingarten
21. METCALF & EDDY Inc., 1972: Wastewater Engineering. Mc Graw-Hill Book Co., New York
22. OSMAN, R., 1981: Stickstoffmetabolik in einem abwasserbelasteten Feuchtbiotop, Diss. Math.-Nat Fak. Kassel
23. PIETERSE, A. H., 1978: The Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) – A Review. Abstracts on Tropical Agriculture 4 (2) 1978
24. RAFTER, G. W., 1899: Sewage irrigation, Part III, USGS. Water supply and irrigation, pare No. 22 US dept. of the Interior, Washington, D. C.
25. Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) 1978: Umweltgutachten 1978. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen. Verlag Kohlhammer, Mainz
26. SEIDEL, K., 1964: Abbau von Bakterium coli durch höhere Wasserpflanzen, Naturwiss. 51.395
27. SEIDEL, K., 1965: Hydrobotanische Beiträge zum Gewässerschutz. BDG-Mitteilungen „Unser Wasser“ 1965
28. SEIDEL, K., 1966: Reinigung von Gewässern durch höhere Pflanzen. Naturwiss. 53(12), 289-297
29. SEIDEL, K., 1976: Über die Selbstreinigung natürlicher Gewässer, Naturwiss. 62.286-292
30. SEIDEL, K., 1975: Höhere Pflanzen als Eliminations-Faktor bei Kunststoff-Dispersionen. Naturwiss. 62, 351
31. STEININGER, F., 1972: Lebendes Wasser, Kilda-Verlag, Greven S. 156 ff.
32. SULLIVAN, R. H. u. a., 1973: Survey of Facilities Using Land Application of Wastewater, EPA 430/9-73-006
33. TESSENOW, U., 1978: Redoxchemische Einflüsse von *Isoetes lacustris* im Litoralsediment des Feldesees (Hochschw.) Arch. Hydrobiol. 82.20-48
34. DeTURK, E. E., 1935: Adaptability of sewage sludge as a fertilizer. Sewage Works Journal 7.597-610
35. VIEHL, K., 1968: Korreferat zu: Schaal: Abwasserreinigung durch Binsenkulturen, Gewässerschutz, Wasser, Abwasser 2, Aachen, Haus der Technik, Febr. 68
36. WATTENHOFER, R., 1980: L'assimilation-Fixation de nutriments avec une culture expérimentale de macrophytes (*Phragmites australis*) dans le but d'épurer des eaux usées. Gas-Wasser-Abwasser 60, 190–195

Anlage 1

Kurzbeschreibung des Forschungsprojektes Othfresen

Anlage zur Klärung häuslicher Abwässer unter Einbeziehung der Schlammkonditionierung an Ort und Stelle und Versorgung eines ornithologischen Schutzgebietes (Limnotop) mit gereinigtem Abwasser.

Betriebsgebäude mit automatischem Grobrechen und Abwasserpumpen, in 1,3 km Entfernung die W. R.-Anlage.

Inbetriebnahme: April 1974

Anschlußwerte: 3000 EGW bis April 1981 (Trennsystem)
+2000 EGW ab Mai 1981 (Mischsystem)

Belastung:

Q_d	ca. 350 m ³ (600 – 1500 m ³)
BSB_s/d	ca. 180 kg (300 kg)
c_e	ca. 520 mg/l
c_a	ca. 5-15 mg/l
Ges.-N/d	ca. 28 kg (46 kg)
c_e	ca. 80 mg/l
c_a	ca. 4–14 mg/l
Ges.-P/d	ca. 10 kg (16 kg)
c_e	ca. 30 mg/l
c_a	ca. 0,08 – 1 mg/l

Am Abbau beteiligte Fläche:

ca. 5500 m² (1981)

Verfahrensziel:

Kostengünstige weitergehende Abwasserbehandlung und Schlammkonditionierung für eine mittlere Gemeinde. Erhaltung und Regeneration eines Vogelschutzbiotops. Stabiler Betrieb durch angelehrte Kräfte.

Forschungsvorhaben:

Ständiges Pilotprojekt für die Klärung häuslicher Abwässer nach dem W. R.-Verfahren. Langfristige Beobachtung des Winterbetriebs, der Leistungsveränderung, der bakteriologischen Situation, der Schlammkonditionierung, der Kolmatierung und des Verhaltens der Vegetation. Ständige hygienische, zoologische Kontrolle durch andere Institute. Laufende Kontrolle der Abbauergebnisse über 7 Jahre.

Besondere Probleme:

Sehr geringe Geländeneigung, geringe Fließgeschwindigkeiten (horizontal), ungleichmäßige Wasseraufnahme durch den Anschlußbiotop, hoher Anfall von mineralischen Feststoffen während der Bauphasen am Kanalnetz und während starker Niederschläge nach Anschluß der Mischkanalisation. (Sandfang!!)

Typ:

PHRAGMITETUM