

FRIEDRICH WISSING
KARLFRIEDRICH HOFMANN

Wasser- reinigung mit Pflanzen



ULMER

Vorwort zur 2. Auflage

Die erste Auflage des Buches hat erfreulicherweise in kurzer Zeit viel Anklang gefunden. Das Interesse, welches dem Buch entgegengebracht worden ist, kam dabei aus allen Bereichen der praktischen und theoretischen Biologie, ebenso von Seiten der Wasser- und Abwasserwirtschaft sowie von Kommunen und öffentlichen Verbänden. Nicht zuletzt hat das Buch auch erstaunlich viele Privatpersonen angesprochen.

Dieses breitgefächerte Interesse wies auf die Notwendigkeit hin, das nun anerkannte Verfahren der Abwasserbehandlung in Pflanzenanlagen möglichst umfassend darzustellen, und dies ist auch der Zweck der zweiten Auflage. Sie lehnt sich eng an die Gliederung der ersten Auflage an, jedoch sind einzelne Abschnitte ihrer Bedeutung nach umgestellt und teilweise stark erweitert worden. Die Grundlagen der Wasserreinigung mit Pflanzen sind dabei völlig neu bearbeitet worden.

Das Potenzial der Wasserreinigung mit Pflanzen ist aber nicht auf die Behandlung

und Reinigung von Abwässern beschränkt. Wir haben daher das Buch um die Darstellung der Reinigungsleistung von natürlichen Feuchtgebieten sowie um die Anwendung von technischen Feuchtgebieten bei der Reinigung aller Arten von Wasser erweitert. Ebenso dargestellt wird die internationale Entwicklung in dieser Biotechnologie, die neben der Wasserreinigung eng verzahnt ist mit den Bemühungen, Energie über Biomasse zu bewirtschaften.

Zu Dank sind wir den Lesern der ersten Auflage des Buches verpflichtet, die auf Fehler aufmerksam hingewiesen und so zur hoffentlich fehlerfreien Vollendung der nun vorliegenden zweiten Auflage beigetragen haben.

Bonn, Tübingen, im August 2001

Friedrich Wissing,
Karlfriedrich Hofmann

Vorwort zur 1. Auflage (gekürzt)

Tropfen für Tropfen wird Wasser zu einem seltenen Gut. Zwar regnet und fließt Wasser immer nach den Gesetzen der Natur, doch gibt es keinen Bereich, in dem es nicht auch nach den Gesetzen der Marktwirtschaft fließt. Natürlich trinkbares Wasser ist rar. Es muss aufbereitet werden, um trinkbar zu sein. So wird es teuer.

Gar nicht selten ist „schlechtes“ Wasser, also Abwasser, aber es ist giftig für die Menschen und die Umwelt der Menschen. Dabei stellt nicht nur das eigentliche Abwasser die Schmutzfracht dar. Auch geklärtes Abwasser verschmutzt unsere Fließgewässer. Grundwasser und Oberflächenwasser werden mit Giften kontaminiert und mit Laststoffen befrachtet.

Die steigenden Kosten für Wasser, seine Bereitstellung und seine Entsorgung betreffen jeden. So ist die Diskussion um das Abwasser zunächst und für die meisten eine Frage des Geldes.

Die Kritik an den Kosten ist berechtigt, aber nicht fundiert. Das Fundament der konventionellen Abwasserbehandlung liegt in ihrer Geschichte. Die Geschichte der Abwasserbehandlung begann mit der Entstehung von Abwasser. Das vorliegende Buch beginnt daher mit einer kurzen Darstellung der historischen Dimension der Abwasserentstehung und -behandlung, aus der heraus ein Verständnis der heutigen Wasser- und Abwasserpraxis entwickelt werden kann.

Das folgende Kapitel behandelt Praxis und Theorie der konventionellen Abwasserbehandlung. Es weist kurz auf historische Einschätzungen hin, aus denen die gängige Praxis von Mischkanalisation und biologischer Belebtschlammbehandlung hervorgegangen ist.

Das dritte Kapitel behandelt Theorie und Praxis von Pflanzen in der Wasseraufbereitung und der Abwasserreinigung. Verfahren dieser Art haben lange gebraucht, bis sie Zugang zu behördlicher Anerkennung gefunden haben. Dennoch gehört diesen Verfahren die Zukunft, weil sie nicht nur dem Leistungsvergleich mit konventionellen Abwasserbehandlungsanlagen standhalten, sondern weil sie entscheidende ökologische Vorteile mitbringen. In der Wasserreinigung eingesetzte Pflanzen produzieren Rohstoffe und Sauerstoff, anstatt fossile Energie und Sauerstoff zu verbrauchen.

Was und wie mit Pflanzen zur Abwasserreinigung gebaut worden ist, beschreibt das vierte Kapitel. Die darin vorgestellten Konzepte sind dezentrale Alternativen zu konventionellen Wasserreinigungssystemen, die für Haushalte, Gehöfte, Restaurationen, Kleingemeinden usw. eingesetzt werden können.

Das fünfte Kapitel stellt die Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Bauweisen von Pflanzenkläranlagen vergleichend vor. Hier wird eine umfassende, aber jeweils knappe Darstellung der Vorgänge in Pflanzenkläranlagen gegeben, was aufgrund der an der Wasserreinigung mit Pflanzen beteiligten Mechanismen nur ein kurzer Überblick sein kann. Der Leser wird auf genauere oder weiterführende Literatur verwiesen.

Was und wie mit Pflanzen zur Wasserreinigung gebaut werden kann, beschreibt das sechste Kapitel. Der Einsatz in Konzepten für die Landschaftsentwicklung wird ebenso dargestellt wie die Behandlung kommunaler und gewerblicher Abwässer. Ökologische und energetisch sinnvolle sowie kostengünstige Lösungen werden aufgezeigt. DR. KARLFRIEDRICH HOFMANN, der die Mikroorganismen und ihr Zusammenspiel im dritten Kapitel vor-

stellt, erläutert hier eine neue Methode der Klärschlammbehandlung, die Vererdung in Schilfbeeten.

Das siebte Kapitel widmet sich der Frage, was und wie mit Pflanzen zur Wasserreinigung gebaut werden darf. Bau und Betrieb von Kläranlagen, auch Pflanzenkläranlagen, sind mit Vorschriften und Auflagen belegt. Konstrukteure und Betreiber müssen für größere und, in eingeschränkter Weise auch für kleinere Anlagen ihre Qualifikation nachweisen: Planung und Bau von Pflanzenkläranlagen erfordern ein Fachwissen, das sich aus der Zusammenarbeit von Ingenieuren, Biologen und Architekten auf der planenden Seite, und Firmen mit Erfahrung im Erd-, Dichtungs- und Pflanzenbau auf der praktischen Seite ergeben muss.

Der Leser soll nicht in seiner Eigeninitiative gebremst werden, er soll vielmehr angeregt werden, seine Betätigung zusammen mit Fachleuten und Behörden auf eine sachkundige Basis zu stellen, die allein Bedingung zur Durchsetzung vernünftiger Lösungen sowohl für sein Abwasser als auch für die Abwasserbehandlung der Zukunft ist.

Alle Anlagen zur Abwasserbehandlung bedürfen der wasserbehördlichen Genehmigung. Das letzte Kapitel, das von B. KREUZBERG bearbeitet worden ist, gibt eine zusammenfassende Darstellung der wasserrechtlichen Seite für Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen.

Entstanden ist das Buch aus der Notwendigkeit heraus, die in der Wasserreinigung einsetzbaren Pflanzen, die namensgebend zum Begriff „Pflanzenkläranlagen“ und unterscheidendes Kriterium zu anderen Wasserbehandlungsverfahren sind, differenzierter in ihrer wirkungsvollen Symbiose mit Mikroorganismen vorzustellen. Eine Anzahl grafischer Abbildungen ist dabei entstanden, für deren Neubearbeitung ich Frau V. Boyer und Herrn F. van Hoof herzlich danke. Für die kritische Durchsicht des Manuskripts und manch wertvolle Anregung danke ich Frau U. Thofern.

Bonn, im Juli 1994 Friedrich Wissing

Inhalt

Vorwort	5	2.2.4.2	Landbehandlungsverfahren	45
1 Ein kurzer Abriss der Kulturgeschichte des Wassers	11	2.2.4.3	Abwasserteiche	46
1.1 Wasser wird zu Abwasser	11	2.2.5	Die Vegetation in naturnahen Wasser- und Abwasserbehandlungsverfahren	46
1.2 Selbstreinigung der Gewässer und biologische Gewässerbeurteilung	15	3	Ökologie der Feuchtgebiete	48
1.3 Frühe Abwasserbehandlung	20	3.1	Feuchtgebiete und Feuchtgebietsökologie	48
1.4 Über unseren Umgang mit Ressourcen	21	3.2	Aus der Geschichte der Feuchtgebietsökologie	51
1.5 Kernprobleme der Abwasserreinigung, Lösungen und Ausblick	21	3.3	Definition von Feuchtgebieten	52
2 Grundlagen der Wasser- und Abwasserbehandlung	23	3.4	Notwendigkeit des Schutzes von Feuchtgebieten	55
2.1 Wasser- und Abwasserinhaltsstoffe	23	3.5	Struktur natürlicher Feuchtgebiete	55
2.1.1 Kohlenstoffverbindungen	23	3.6	Allgemeine Ökologie der Helophyten	57
2.1.1.1 Organische Kohlenstoffverbindungen	23	3.6.1	Sukzession in Feuchtgebieten	59
2.1.1.2 Organische Schadstoffe	24	3.7	Anatomie und Morphologie der Helophyten	59
2.1.1.3 Anorganische Kohlenstoffverbindungen	26	3.7.1	Wurzeln der Helophyten	59
2.1.1.4 Abbaubarkeit von organischen Verbindungen	26	3.8	Physiologie der Helophyten	62
2.1.2 Anorganische Verbindungen	26	3.8.1	Sauerstoffversorgung von Helophyten	62
2.1.2.1 Stickstoffverbindungen	27	3.8.2	Photosynthese von Helophyten	64
2.1.2.2 Phosphorverbindungen	30	3.9	Stoffumsatz von Feuchtgebieten	66
2.1.2.3 Schwefelverbindungen	30	3.9.1	Stoffkreislauf und Energiefluss	66
2.1.2.4 Kalium- und Natriumverbindungen	30	3.9.2	Vielfalt und Strategien des mikrobiellen Stoffwechsels in Feuchtgebieten	69
2.1.2.5 Spurenelemente und Schwermetalle	32	3.9.3	Wasserhaushalt von Feuchtgebieten	70
2.2 Reinigungsverfahren	32	3.9.3.1	Ökologische Prozesse und Wasserhaushalt	70
2.2.1 Mechanische Verfahren	32	3.9.3.2	Biotische Beeinflussung und Kontrolle des Wasserhaushalts von Feuchtgebieten	71
2.2.2 Chemisch-physikalische Verfahren	33	3.9.3.3	Hydroperioden der Feuchtgebiete	73
2.2.3 Biologische Verfahren	34	3.9.3.4	Wasserbilanz von Feuchtgebieten	74
2.2.3.1 Anaerobe Verfahren (Faulverfahren)	36	3.9.4	Böden in Feuchtgebieten	74
2.2.3.2 Aerobe Verfahren	37	3.9.5	Stoffhaushalt von Feuchtgebieten	75
2.2.3.2.1 Problemfall Klärschlammbehandlung	38	3.9.5.1	Sauerstoff und Redoxpotenzial in Feuchtgebieten	75
2.2.3.3 Weitergehende Abwasserreinigung	40	3.9.5.2	Umwandlung von Stickstoffverbindungen in Feuchtgebieten	77
2.2.4 Naturnahe Abwasserbehandlungsverfahren	44			
2.2.4.1 Landwirtschaftliche Abwasser- verwertung	45			

3.9.5.3	Umwandlung von Eisen- und Manganverbindungen in Feuchtgebieten	78	3.11.1	Vermehrung von Repositionspflanzen	106
3.9.5.4	Umwandlung von Schwefelverbindungen in Feuchtgebieten	79	3.11.2	Der ökonomische Wert von Repositionspflanzen	106
3.9.5.5	Umwandlung von Phosphorverbindungen in Feuchtgebieten	79	4	Allgemeine Ökologie technischer Feuchtgebiete	
3.9.5.6	Umwandlung von Kohlenstoffverbindungen in Feuchtgebieten	81		– Entwicklungsgeschichte von Feuchtgebieten zur Wasser- und Abwasserbehandlung –	108
3.9.5.7	Elimination von Metallen und Radionukliden in Feuchtgebieten	81	4.1	Entwicklungsgeschichte technischer Feuchtgebiete	108
3.9.5.8	Stoffbilanz von Feuchtgebieten	81	4.1.1	Entwicklungen und Einsatz von technischen Feuchtgebieten zur Wasserreinigung in Europa	108
3.9.6	Mikroorganismenflora und -fauna von Feuchtgebieten	82	4.1.1.1	Erste Erfahrungen mit technischen Feuchtgebieten	109
3.9.6.1	Bakterien von Feuchtgebietenböden	82	4.1.1.2	Weitere Entwicklung von technischen Feuchtgebieten	113
3.9.6.2	Algen von Feuchtgebietenböden	83	4.1.1.2.1	Bepflanzte Teichanlagen	114
3.9.6.3	Protozoen	84	4.1.1.2.2	Bepflanzte Bodenfilter	115
3.9.7	Wechselwirkungen zwischen Mikroorganismen und Pflanzen beim Stoffumsatz in Feuchtgebieten	84	4.1.1.2.3	Hydroponik	116
3.9.7.1	Unterirdische Pflanzenorgane	85	4.1.1.2.4	Vorteile der intermittierenden Beschickung	119
3.9.7.2	Wurzelraum und Rhizosphäreneffekt	85	4.1.1.2.5	Bodenfilter mit vertikalem Durchfluss	119
3.9.7.3	Theoretische Überlegungen zur überragenden Bedeutung der Wurzel-Bakterien-Assoziationen	86	4.1.1.2.6	Hybridanlagen	122
3.10	Spezielle Ökologie und Verwandtschaft der Helophyten	87	4.1.2	Internationale Trends bei der Entwicklung und beim Einsatz technischer Feuchtgebiete zur Wasserreinigung	123
3.10.1	Die Familie der Gräser (Poaceae)	87	4.2	Systeme, Typen und Varianten von technischen Feuchtgebieten	124
3.10.1.1	Das Schilf (Schilfrohr, Rohr) <i>Phragmites australis</i> Trin.	89	4.3	Definition von technischen Feuchtgebieten	125
3.10.1.2	Das Pfahlrohr (<i>Arundo donax</i> L.)	90	4.4	Belastungsparameter von Feuchtgebieten	129
3.10.1.3	Das Rohrglanzgras (<i>Phalaris arundinacea</i> L.)	90	4.4.1	Hydraulische Belastung	129
3.10.1.4	Die Gattung Schwaden (<i>Glyceria</i> R. Br.)	91	4.4.1.1	Physikalische Kenngrößen von Böden	130
3.10.1.5	Anderer Gräser	92	4.4.1.2	Chemische Zusammensetzung von Böden	133
3.10.2	Die Binsenähnlichen (Juncidae)	93	4.4.2	Biologische Belastung	133
3.10.2.1	Die Gattung Teichbinse (<i>Schoenoplectus</i> Palla)	93	4.4.2.1	Kolmation durch Wurzelwachstum	134
3.10.3	Die Gattung Seggen (<i>Carex</i> L.)	94	4.4.2.1.1	Offenhaltung vertikal durchströmter Pflanzenfilter	134
3.10.4	Anderer monokotyle helophytische Repositionspflanzen	97	4.4.2.1.2	Kolmation in horizontal durchströmten Pflanzenbecken	137
3.10.4.1	Der Breitblättrige Rohrkolben (<i>Typha latifolia</i> L.)	97	4.4.2.2	Mineralische Kolmation	138
3.10.4.2	Der Kalmus (<i>Acorus calamus</i> L.)	98	4.4.3	Aufbau von Böden in Pflanzenkläranlagen	139
3.10.4.3	Die Sumpfschwertlilie (<i>Iris pseudacorus</i> L.)	98			
3.10.5	Dikotyle helophytische Repositionspflanzen	99			
3.10.6	Wasserpflanzen (Hydrophyten)	99			
3.10.6.1	Freischwimmende Hydrophyten	102			
3.10.6.2	Submerse Hydrophyten	102			
3.11	Repositionspflanzen	104			

4.5	Ökologische Einflussparameter . . .	139	5.5.4	Lebensdauer von Pflanzenanlagen zur Wasserreinigung	175
4.5.1	Verdunstung	139			
4.5.2	Winterbetrieb	141			
4.5.3	Höhenlage	143	6	Einsatz von technischen Feuchtgebieten	176
4.5.4	Die Sukzession der Helophyten in Pflanzenanlagen zur Wasserreinigung	143	6.1	Einsatz der Vegetation in Oberflächengewässern	176
5	Spezielle Ökologie technischer Feuchtgebiete – Leistungsfähigkeit von Pflanzenanlagen zur Wasser- und Abwasserreinigung –	145	6.1.1	Einsatz der Vegetation in Fließgewässern	176
5.1	Sauerstoffverhältnisse in technischen Feuchtgebieten	145	6.1.1.1	Fließgewässerrückbau	178
5.1.1	Sauerstoffeintrag durch Helophyten	146	6.1.1.2	Vegetationspuffer an Uferändern	178
5.1.2	Sauerstoffeintrag durch Konvektion	146	6.1.1.3	Hochwasserretentionsgebiete	179
5.1.3	Sauerstoffeintrag durch Diffusion	147	6.1.2	Einsatz der Vegetation in Stillgewässern	180
5.2	Abbauleistungen	147	6.1.2.1	Teich- und Seenrestaurierung	180
5.2.1	Abbau der organischen Belastung in Pflanzenanlagen	148	6.1.2.2	Badegewässer	181
5.2.2	Weitergehende Reinigung in Pflanzenanlagen	150	6.1.2.3	Urbane Gewässer	183
5.2.2.1	Stickstoffelimination	150	6.1.2.4	Parkgewässer und Fischteiche	184
5.2.2.2	Phosphorelimination	153	6.1.2.5	Pflanzen gegen trübes Wasser	184
5.2.3	Abbau der bakteriellen Belastung	154	6.2	Regenwasserbewirtschaftung	185
5.2.3.1	Verhalten hygienisch relevanter Bakterien in Pflanzenanlagen	154	6.2.1	Abfluss von versiegelten Flächen	186
5.2.4	Abbau von Schadstoffen in Pflanzenanlagen	157	6.2.1.1	Offene Regenwasserrückhaltung	187
5.2.4.1	Abbau organischer Schadstoffe	157	6.2.1.2	Regenwasserreinigung	187
5.2.4.2	Akkumulation anorganischer Stoffe in Helophyten	159	6.3	Einsatz von technischen Feuchtgebieten zur Abwasserbehandlung	189
5.2.5	Stoffanreicherung und Betriebsstabilität im Langzeitbetrieb	160	6.3.1	Einsatz von Pflanzenanlagen zur Grauwasserbehandlung	189
5.3	Struktur und Aktivität der Bakterienflora in technischen Feuchtgebieten	166	6.3.1.1	Brauchwasseraufbereitung	190
5.4	Bemessung von Pflanzenanlagen zur Wasserreinigung	168	6.3.1.2	Wasserkreisläufe und Wassermehrfachnutzung	190
5.4.1	Theoretische Ansätze zur Bemessung von technischen Feuchtgebieten	170	6.3.1.3	Mischwasserführung	190
5.4.2	Bemessung von technischen Feuchtgebieten	170	6.3.2	Technische Feuchtgebiete zur Schmutzwasserbehandlung	191
5.5	Funktionskontrolle von Pflanzenanlagen zur Wasserreinigung	172	6.3.2.1	Dezentrale Abwasserreinigung	191
5.5.1	Selbstüberwachung von Pflanzenanlagen	172	6.3.2.1.1	Kleinkläranlagen	192
5.5.2	Pflege von Pflanzenanlagen zur Wasserreinigung	174	6.3.2.1.2	Pflanzenanlagen	194
5.5.3	Einfahrzeiten von Pflanzenkläranlagen	174	6.3.2.1.2.1	Vorreinigung (Mehrkammergruben)	194
			6.3.2.1.2.2	Vorreinigung (Rottebehälter)	195
			6.3.2.1.2.3	Vorreinigung (Dezentrale Schlammvererdung)	196
			6.3.2.1.3	Wahl der Konfiguration der Pflanzenanlagen	197
			6.3.2.1.4	Nachreinigung und Verbleib des behandelten Abwassers	199
			6.3.2.1.5	Kosten von technischen Feuchtgebieten	202
			6.3.2.2	Kleine Kläranlagen	203
			6.3.2.2.1	Kommunale Abwässer in technischen Feuchtgebieten	204
			6.3.2.2.2	Schönung von Abwasser aus konventionellen Kläranlagen	205

6.3.2.3	Gewerbliche Abwässer in technischen Feuchtgebieten	205	8.2	Rechtsnormen und Verwaltungsvorschriften/Verordnungen von Bund und Ländern	236
6.3.2.4	Industrielle Abwässer in technischen Feuchtgebieten	208	8.3	Der Verwaltungsvollzug	237
6.3.2.5	Wärmebelastung von Abwasser . . .	209	8.4	Die Pflicht zur Abwasserbeseitigung	237
6.3.2.6	Landwirtschaftliche Abwässer in Pflanzenkläranlagen	210	8.4.1	Anschluss- und Benutzungszwang . .	238
6.3.2.6.1	Gülle	211	8.5	Wasserrechtliche Genehmigung . . .	238
6.3.2.6.2	Silagesickerwässer	212	8.5.1	Technische Anforderungen	238
6.3.2.7	Sickerwässer von Kompostmieten . .	212	8.5.2	Versagungsgründe	240
6.3.2.8	Deponiesickerwässer	214	8.6	Abgaben und Gebühren	240
6.4	Klärschlammvererdung	216	8.7	Die Zulassung von Pflanzenkläranlagen in Österreich und in der Schweiz	241
7	Bau von technischen Feuchtgebieten	221			
7.1	Dichtungstoffe im Wasserbau . . .	221			
7.1.1	Erddichtungen	222			
7.1.1.1	Aufbereitete Erddichtungen	223			
7.1.1.2	Sekundäre Kapillarsperren	225			
7.1.2	Folien im Wasserbau	226			
7.1.3	Beton im Wasserbau	226			
7.1.4	Andere Baustoffe	228			
7.2	Größe von bepflanzten Becken . . .	230			
7.2.1	Substrateinbau	231			
7.3	Leitungen und Dränrohre	232			
7.4	Gewährleistung	233			
7.5	Pflanzenkläranlagennachbarschaften	233			
8	Wasserrechtliche Aspekte von Pflanzenkläranlagen (Bernd Kreuzberg, Tim Rausch) .	235			
8.1	Rechtsnormen und Verordnungen der Europäischen Union	235			
				Verzeichnisse	242
				Glossar	242
				Technisch-wissenschaftliche Vereine	247
				Verbände und Arbeitsgruppen	248
				Beratende und planende Firmen und Ingenieurbüros	250
				Musterwartungsvertrag des Landes Niedersachsen	251
				Normen und Regelwerke	252
				Literaturverzeichnis	254

Wasserreinigung mit Pflanzen

Wasserreinigung mit Pflanzen hat inzwischen einen hohen Standard mit vielen Einsatzmöglichkeiten erreicht. Während in der Vergangenheit kleinere Anlagen vorrangig auf privater Ebene und mit dem Mut zum Experiment entstanden, findet diese Technologie heute bereits Anwendung für Rückhaltebecken, Schönungsteiche und Grundwassersanierungen im industriellen und kommunalen Bereich.

Es besteht unter Fachleuten kein Zweifel mehr, dass Pflanzenbeet-Kläranlagen gegenüber der konventionellen mechanisch-biologischen Verfahren im Ergebnis gleichwertig, kostengünstiger und umweltverträglicher sind. Die zweite, überarbeitete und erweiterte Auflage dieses Buches stellt den aktuellen Wissensstand über Grundlagen und Wirkungsweisen dar und ist um Inhalte der speziellen Ökologie technischer Feuchtgebiete erweitert worden.

Planung, Bau und Einsatz werden detailliert beschrieben mit dem Ziel, Planer, Ausführende, Kunden und Behörden zu kompetenten Entscheidungen zu befähigen.

ISBN 3-8001-3211-7



9 783800 132119