

Dipl.-Ing. Jörg E. Drewes, Berlin

**Untersuchungen zum Verhalten
organischer Abwasserinhalts-
stoffe bei der Wiederverwen-
dung kommunaler Kläranlagen-
abläufe zur künstlichen
Grundwasseranreicherung**

Reihe **15**: Umwelttechnik

Nr. **174**

INHALTSVERZEICHNIS

	FORMELZEICHEN	IX
	ABSTRACT	XIII
1	EINLEITUNG	1
	1.1 Problemstellung	1
	1.2 Problemstoffe der kommunalen Abwasserreinigung	1
	1.3 Literaturübersicht	4
	1.4 Zielsetzungen der Arbeit	6
2	ELIMINATIONSMECHANISMEN DER ABWASSERBEHANDLUNG UND DER BODENPASSAGE	8
	2.1 Wirkungsweise der Abwasserbehandlung	8
	2.1.1 Grenzen der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung	9
	2.1.1.1 Organische Stoffe	9
	2.1.1.2 Stickstoff und Phosphor	11
	2.1.2 Weitergehende Reinigungsverfahren zur Entfernung problematischer organischer Wasserinhaltsstoffe	12
	2.1.2.1 Einsatz von Pulverkohle	12
	2.1.2.2 Einsatz von Ozon	13
	2.2 Wirkungsweise der Bodenpassage zur Entfernung von Nährstoffen und organischen Wasserinhaltsstoffen	14
	2.2.1 Adsorptionsprozesse	14
	2.2.1.1 Grundlagen der Sorption	14
	2.2.1.2 Sorptionsmechanismen	15
	2.2.1.3 Sorptionsgleichgewichte	16
	2.2.1.4 Sorptionsgleichgewichte in Vielstoffgemischen	18
	2.2.1.5 Kinetik der Sorption	21
	2.2.1.6 Abschätzung des Sorptionsvermögens	21
	2.2.2 Biologische Prozesse	24
	2.2.2.1 Grundlagen des biologischen Abbaus	24
	2.2.2.2 Kinetik des Abbaus organischer Substanzen	29
	2.2.3 Transportvorgänge	31
3	DIE EXPERIMENTELLE STRUKTUR	33
	3.1 Laborversuche	33
	3.1.1 Charakterisierung der eingesetzten Böden	33
	3.1.2 Adsorptionseigenschaften der untersuchten Böden	35
	3.1.2.1 Methodik des Sorptionstests	37

3.1.3	Adsorptionseigenschaften der untersuchten Wässer	38
3.1.3.1	Aufnahme von Adsorptionsisothermen	38
3.1.3.2	Anwendung des Computerprogramms "ADSA"	39
3.2	Einsatz weitergehender Abwasserreinigungsverfahren	41
3.2.1	Charakteristik der untersuchten mechanisch-biologisch gereinigten Abwassers	41
3.2.2	Weitergehende Reinigung durch Pulverkohlen	42
3.2.2.1	Einsatz von Braunkohlenkoksstaub	42
3.2.2.2	Einsatz von Aktivkohle	42
3.2.3	Weitergehende Reinigung durch Ozon	43
3.2.3.1	Semi-Batchversuche	43
3.2.3.2	Kontinuierliche Versuche	44
3.3	Halbtechnische Versuche mit Bodensäulen	45
3.3.1	Auswahl der chemischen Analyseparameter	45
3.3.2	Varianten und Betrieb der Versuchsanlage	46
3.3.2.1	Aufbau der Anlage	46
3.3.2.2	Bestimmung der hydraulischen Parameter	47
3.4	Feldversuche zur Versickerung von Kläranlagenabläufen auf einer Versuchsfläche des Rieselfeldes Karolinenhöhe	51
3.4.1	Beschreibung der Versuchsfläche	51
3.4.2	Durchführung der Einstauphasen und Probenahmen	51
3.5	Statistische Methoden	52
3.5.1	Auswertungsparameter	52
3.5.2	Signifikanztests	53
3.5.2.1	Grubbs-Ausreißertest	54
3.5.2.2	Differenzen-t-Test	54
3.5.3	Beschreibung des Vorgehens	55
4	ERGEBNISSE DER VERSICKERUNGSVERSUCHE MIT BIOLOGISCH UND WEITERGEHEND GEREINIGTEN ABWÄSSERN	56
4.1	Ergebnisse verschiedener weitergehender Abwasserreinigungsverfahren	56
4.1.1	Charakterisierung des mechanisch-biologisch gereinigten Abwassers	56
4.1.2	Einsatz pulverförmiger Kohlen	59
4.1.3	Einsatz von Ozon	61
4.1.3.1	Ergebnisse der semi-batch Versuche	61
4.1.3.2	Ergebnisse der kontinuierlichen Versuche	62
4.1.4	Vergleich der Verfahrensvarianten	64
4.2	Ergebnisse der Sorptionsuntersuchungen der eingesetzten Substrate	65
4.2.1	Bestimmung der Verteilungskoeffizienten K_d	65
4.2.2	Bestimmung der Retardierungsfaktoren R_d	68
4.3	Versickerung über grundwasserleiterähnliche Substrate	71
4.3.1	Änderungen des DOC und SAK	71
4.3.2	Änderungen des AOX	77
4.3.3	Beschreibung des biologischen Abbaus organischer Wasserinhaltsstoffe	82

4.3.3.1	Abbaubeschreibung des DOC	82
4.3.3.2	Abbaubeschreibung des AOX	85
4.3.4	Änderungen der Nährstoffe	86
4.4	Versickerung auf Rieselfeldböden und Waldboden	90
4.4.1	Änderungen des DOC, SAK und AOX	90
4.4.2	Veränderungen der Nährstoffe	94
4.5	Feldversuch zur Versickerung von Kläranlagenabläufen	95
5	UNTERSUCHUNGEN ZUR ÄNDERUNG DER ADSORPTIONS- EIGENSCHAFTEN ORGANISCHER ABWASSERINHALTSSTOFFE	99
5.1	Die konkurrierende Adsorption von AOX, SAK ₂₅₄ und DOC	99
5.2	Adsorptionsverhalten organischer Wasserinhaltsstoffe im mechanisch-bio- logisch gereinigten Klarwasser	103
5.3	Einfluß von Pulverkohle- und Ozonbehandlung	105
5.4	Änderung der Adsorbierbarkeit bei der Versickerung von Klarwasser über grundwasserleiterähnliche Substrate	106
5.5	Versickerung von Klarwasser über belastete und unbelastete natürliche Böden	109
5.6	Folgerungen aus den Untersuchungsergebnissen	109
6	ABSCHLIESSENDE DISKUSSION DER ERGEBNISSE	111
6.1	Schlußfolgerungen zur Elimination problematischer organischer, Abwasser- inhaltsstoffen bei der Abwasserreinigung mit anschließender Bodenpassage	111
6.2	Folgerungen für die Praxis des Boden- und Gewässerschutzes	115
7	ZUSAMMENFASSUNG	118
8	ANHANG	120
8.1	Adsorptionsanalyse	120
8.1.1	Grundlagen und Gleichungen der IAS-Theorie	120
8.1.2	Bestimmung des K _F -Wertsatzes	122
8.1.2.1	Vorgehen zur Bestimmung des K _F -Wertsatzes	122
8.1.2.2	Ergebnisse systematisch durchgeführter Adsorptions- analysen	122
8.1.3	GAUSSCHER Lösungsalgorithmus	124
8.1.4	Fehlerbetrachtung der berechneten AOX- und SAK ₂₅₄ -Konzentrations- verteilung im DOC	125
8.1.4.1	Fehlerbetrachtung der DOC, SAK ₂₅₄ - und AOX- Isothermen	125
8.1.4.2	Fehlerbetrachtung der Adsorptionsanalyse	129

8.1.4.3 Fehlerbetrachtung bei der Berechnung der Konzentrationsanteile im DOC	130
8.2 Versuchsanordnungen und Methoden	132
8.2.1 Verfahrensschemata und Fließbilder	132
8.2.2 Begriffsdefinitionen	135
8.3 Analytik	137
8.3.1 Analytische Bestimmungsverfahren	137
8.3.2 Analysenbedingungen für die DOC-, AOX- und Nährstoffanalytik	139
8.3.3 Genauigkeit und Bestimmungsgrenze der DOC-Messung	140
8.3.4 Genauigkeit und Bestimmungsgrenze der AOX-Messung	141
8.4 Tracerversuche zur Dispersion	143
8.4.1 Kenndaten der Tracerversuche	143
8.5 Sorptionstest	144
8.5.1 Methodik des Sorptionstests	144
8.5.2 Fehlerbetrachtung des Sorptionstests	146
8.6 Modellrechnungen zur Abbaubeschreibung	147
8.6.1 Anpassungsrechnungen für den DOC	147
8.6.2 Anpassungsrechnungen für den AOX	149
8.6.3 Anpassungsrechnung für den Feldversuch	152
8.6.4 Fehlerbetrachtung der Anpassungsrechnungen	153
8.7 Meßwerte	154
8.7.1 Bilder	154
8.7.2 Daten zu Bildern	154
8.7.3 Statistische Auswertung einzelner Parameter	164
 9 LITERATUR	 180