

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 298 33 757
UBA-FB 000495



**Untersuchung von
Klärschlamm auf
ausgewählte Schadstoffe
und ihr Verhalten bei der
landwirtschaftlichen
Klärschlammverwertung**

VON

Dr. Edmund Hartmann*

Wolf-Anno Bischoff**

Prof. Dr. Martin Kaupenjohann***

- * wave GmbH Umweltlabor
- ** Gutachterbüro TerrAquat
- *** Universität Hohenheim,
Institut für Bodenkunde und Standortlehre

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	ZIELSTELLUNG DES FORSCHUNGSVORHABENS	1
1.1.1	<i>Gliederung des Forschungsvorhabens</i>	2
1.2	PROBLEMATIK DER KLÄRSCHLAMMENTSORGUNG	2
1.3	LANDWIRTSCHAFTLICHE KLÄRSCHLAMMVERWERTUNG	4
1.4	RECHTLICHE GRUNDLAGEN	5
1.4.1	<i>EU-Richtlinie zur Klärschlammverwertung</i>	6
1.5	ORGANISCHE STOFFE IN KLÄRSCHLÄMMEN	8
2	BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHTEN STOFFKLASSEN	11
2.1	ORGANISCHE ZINNVERBINDUNGEN	11
2.1.1	<i>Produktion und Verwendung</i>	11
2.1.2	<i>Verhalten von Organozinnverbindungen in Böden</i>	13
2.1.2.1	Stoffbindung und Transport in Böden	15
2.1.2.2	Gehalte im Boden	23
2.1.3	<i>Umweltverhalten der Organozinnverbindungen</i>	25
2.1.3.1	Toxizität	25
2.1.3.2	Bioverfügbarkeit	27
2.1.3.3	Metabolismus und Abbau	28
2.1.3.4	Persistenz	30
2.2	MINERALÖLKOHLLENWASSERSTOFFE (MKW)	31
2.2.1	<i>Produktion und Verwendung</i>	32
2.2.2	<i>Verhalten von Mineralölkohlenwasserstoffen in Böden</i>	34
2.2.2.1	Bodenverhalten	36
2.2.2.2	Gehalte im Boden	38
2.2.2.3	Richt-/Grenzwerte in Böden und Wässern	40
2.2.3	<i>Umweltverhalten der Mineralölkohlenwasserstoffe</i>	41
2.2.3.1	Toxizität	41
2.2.3.2	Bioverfügbarkeit	42
2.2.3.3	Abbau: Bioremediation	43
2.3	TENSIDE (LINEARE ALKYL BENZOLSULFONATE, NONYLPHENOL)	48
2.3.1	<i>Produktion und Verwendung</i>	49
2.3.2	<i>Umweltverhalten</i>	52
2.3.2.1	LAS	53
2.3.2.2	Nonylphenoethoxylate/Nonylphenol	55
2.4	CHLORPARAFFINE	58
2.4.1	<i>Produktion und Verwendung</i>	59
2.4.2	<i>Umweltverhalten</i>	60

3	BESCHREIBUNG DER ANALYSENVERFAHREN	62
3.1	ZINNORGANISCHE VERBINDUNGEN.....	62
3.1.1	Klärschlammuntersuchungen.....	63
3.1.2	Boden-/Adsorber-/Sielhautuntersuchungen	65
3.1.3	Eluat-/Sickerwasseruntersuchungen.....	67
3.2	MINERALÖLKOHLLENWASSERSTOFFE.....	69
3.2.1	Bestimmung von Mineralölkohlenwasserstoffen in Feststoffproben	70
3.2.2	Bestimmung von Mineralölkohlenwasserstoffen in Wasserproben.....	72
3.3	LINEARE ALKYBENZOLSULFONATE, NONYLPHENOL	73
3.4	CHLORPARAFFINE	74
3.4.1	Methodenentwicklung.....	74
4	KLÄRSCHLAMMUNTERSUCHUNGEN	77
4.1	AUSWAHL DER KLÄRANLAGEN	77
4.2	ALLGEMEINE STATISTISCHE DATEN ZU DEN AUSGEWÄHLTEN KLÄRANLAGEN.....	78
4.2.1	Regionale Verteilung der ausgewählten Kläranlagen	82
4.2.2	Verteilung der ausgewählten Kläranlagen nach Größenklassen	84
4.2.3	Auslastung der Kläranlagen	86
4.2.4	Verwertung der Klärschlämme	87
4.3	PROBENNAHME.....	88
4.4	ERGEBNISSE.....	88
4.4.1	Zinnorganische Verbindungen.....	89
4.4.2	Mineralölkohlenwasserstoffe	95
4.4.3	LAS/Nonylphenol.....	99
4.4.4	Chlorparaffine	105
4.4.5	Kläranlage 51.....	106
4.5	ZUSAMMENFASSUNG.....	106
5	SELHAUTUNTERSUCHUNGEN.....	109
5.1	SELHÄUTE	110
5.2	BESCHREIBUNG DER PROBENNAHMETECHNIKEN.....	111
5.2.1	Herkömmliche Probennahme „Kratzproben“.....	111
5.2.2	Probennahme unter Verwendung von SAF-Körpern.....	111
5.3	AUSWAHL DER PROBENNAHMESTELLEN	113
5.3.1	Beschreibung der Einleiterstruktur in Kläranlage A.....	113
5.3.2	Beschreibung der Einleiterstruktur in Kläranlage B.....	115
5.4	ERGEBNISSE DER SELHAUTUNTERSUCHUNGEN	117
5.4.1	Sielhautuntersuchungen der Kläranlage A.....	120
5.4.2	Sielhautuntersuchungen der Kläranlage B.....	121
5.4.3	Bewertung der Sielhautuntersuchungen	123

6	SÄULENVERSUCHE	128
6.1	MATERIAL UND METHODEN	130
6.1.1	Stoffe	130
6.1.2	Böden	131
6.1.3	Säulenanlage	131
6.1.4	Versuchsdurchführung	133
6.1.4.1	Probennahme Feld	133
6.1.4.2	Anfangsbedingungen	134
6.1.4.3	Zeitlicher Ablauf	135
6.1.4.4	Wasserbilanz	136
6.1.4.5	Probennahme und Konservierung	136
6.1.5	Analytik	137
6.1.5.1	Charakterisierung der Bodenlösung	137
6.1.5.2	Bromidmessung	137
6.2	ERGEBNISSE	137
6.2.1	Transporteigenschaften der Böden	137
6.2.2	Bodenlösung	142
6.2.3	Zinnorganika und Mineralölkohlenwasserstoffe	144
6.3	DISKUSSION UND BEWERTUNG	146
7	FELDVERSUCHE	152
7.1	MATERIAL UND METHODEN	153
7.1.1	Stoffe	153
7.1.2	Standorte	153
7.1.3	Böden	154
7.1.4	Pflanzen	155
7.1.5	Anlage Feldversuch	156
7.1.6	Probennahme Boden und Pflanze	157
7.1.7	Probennahme Sickerwasser	158
7.2	ERGEBNISSE	162
7.2.1	Böden	162
7.2.2	Pflanzen	162
7.2.3	Sickerwasser	167
7.3	DISKUSSION UND BEWERTUNG	168
7.4	ZUSAMMENFASSUNG BODENUNTERSUCHUNGEN	171
7.5	AUSBlick	173

8	ZUSAMMENFASSUNG (DEUTSCHE VERSION).....	175
8	SUMMARY (ENGLISH VERSION)	184
	LITERATURVERZEICHNIS	194
ANLAGE 1	ANSCHREIBEN AN DIE BETEILIGTEN KLÄRANLAGEN UND FRAGEBOGEN..	223
ANLAGE 2	ANALYSENERGEBNISSE KLÄRSCHLAMMUNTERSUCHUNGEN.....	231