

Dipl.-Ing. Frank Elias, Berlin

**Biologische Behandlung von  
kontaminiertem Feinkorn  
aus dem Altlastenbereich  
in 1- und 4-stufigen  
Suspensionsrührreaktoren**

Reihe **15**: Umwelttechnik

Nr. **158**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Boden .....</b>	<b>3</b>
2.1	<b>Was ist Boden?.....</b>	<b>3</b>
2.2	<b>Bodenbildung .....</b>	<b>5</b>
2.3	<b>Körnung des Bodens .....</b>	<b>6</b>
2.4	<b>Bodenarten .....</b>	<b>6</b>
2.5	<b>Bodenkontaminanten .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Bekannte Ergebnisse .....</b>	<b>8</b>
3.1	<b>In-situ-Verfahren .....</b>	<b>8</b>
3.2	<b>Mieten-Verfahren .....</b>	<b>8</b>
3.3	<b>Schaufelmischreaktoren.....</b>	<b>10</b>
3.4	<b>Drehrohr-/Rollreaktoren .....</b>	<b>12</b>
3.5	<b>Airliftreaktoren.....</b>	<b>13</b>
3.6	<b>Rührreaktoren .....</b>	<b>15</b>
3.7	<b>Bewertung der Sanierungsverfahren .....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>Zielsetzung der Untersuchungen und Wahl des Reaktortyps .....</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>21</b>
5.1	<b>Anlagenbeschreibung.....</b>	<b>21</b>
5.1.1	Beschreibung der Versuchsanlagen Typ 1 und 2 (1-stufige Rührreaktoren).....	21
5.1.2	Beschreibung der Versuchsanlage Typ 3 (4-stufige Rührreaktorkaskade) .....	22
5.1.3	Beschreibung der Versuchsanlage Typ 4 (Schrägrohrklassierer).....	27
5.2	<b>Herkunft und Aufbereitung des Probenmaterials.....</b>	<b>28</b>
5.3	<b>Verwendete Meßgrößen und -verfahren .....</b>	<b>30</b>
5.3.1	Probennahme und Probenaufbereitung; Ermittlung des Trockenstoffs (TS).....	30
5.3.2	Organischer Trockenstoff (oTS).....	31

5.3.3	In Petroleumbenzin extrahierbare Stoffe (PBES).....	31
5.3.4	In Cyclohexan extrahierbare Stoffe (CES) .....	32
5.3.5	Korrelation zwischen den Meßgrößen "in Petroleumbenzin extrahierbare Stoffe (PBES)" und "in Cyclohexan extrahierbare Stoffe (CES)" .....	32
5.3.6	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) .....	33
5.3.7	Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB).....	34
5.3.8	Bestimmung der Extinktion.....	34
5.3.9	Korrelation zwischen dem Chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) und der Extinktion im Suspensionswasser .....	35
5.3.10	Bestimmung der Proteinkonzentration.....	38
5.3.11	Bestimmung der Korngrößenverteilung.....	39
5.3.11.1	Bestimmung der Korngrößenverteilung durch Naßsiegung.....	39
5.3.11.2	Bestimmung der Korngrößenverteilung nach dem Laser-Beugungsverfahren.....	39
5.3.11.3	Bestimmung der Korngrößenverteilung nach dem Partikeleinzählverfahren durch eine Weißlichtextinktionsmessung.....	40
5.3.12	Bestimmung der Dichte.....	41
5.3.13	Sonstige Meßgrößen .....	41
<b>5.4</b>	<b>Auswertung .....</b>	<b>41</b>
5.4.1	Abbaugrad .....	41
5.4.2	Umsatzgeschwindigkeiten.....	42
5.4.3	Bestimmung der Dichte durch Wägung.....	42
5.4.4	Bestimmung der Dichte mit einem Multivolume-Pycnometer.....	43
5.4.5	Sedimentation .....	43
5.4.6	Berechnung des theoretischen chemischen Sauerstoffbedarf .....	43
5.4.7	Proteinbilanz an Suspensionsproben .....	44
5.4.8	Verweilzeitverteilung in durchströmten Systemen.....	46
<b>6</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion.....</b>	<b>47</b>
<b>6.1</b>	<b>Modellrechnung der Mindestrührerdrehzahl und dem sich daraus ergebenden Energieeintrag zur Aufrechterhaltung einer Feinkornsuspension.....</b>	<b>47</b>

<b>6.2</b>	<b>Untersuchungen am 1 stufigen Rührreaktor im Batch-Betrieb .....</b>	<b>51</b>
6.2.1	Biologische Behandlung einer Feinkornsuspension unter Berücksichtigung der Stripp- und Adsorptionsverluste im Reaktor Typ 1 .....	51
6.2.2	Weitergehende Untersuchungen zur Adsorption von PAK in Reaktoren.....	56
6.2.3	Einfluß der Temperatur auf die Schadstoffabbaugeschwindigkeit bei der biologischen Feinkornbehandlung im Reaktor des Typs 2 mit Feinkornproben des Typs III.....	57
6.2.4	Schlußfolgerungen aus den Batch-Untersuchungen in den Reaktoren Typ 1 und 2.....	62
6.2.5	Voruntersuchungen zur Trennung der Suspension.....	63
6.2.6	Bestimmung der Biomasse durch Proteinbestimmung .....	64
6.2.6.1	Vorbemerkungen.....	64
6.2.6.2	Proteinbestimmung an Feinkornproben .....	65
6.2.6.3	Ergebnisse der Bilanzierung des Proteins in Suspensionsproben.....	66
6.2.7	Korngrößenverteilung in der Suspension sowie in den Feinkornphasen Ph II und III ermittelt durch das Laser-Beugungsverfahren.....	68
<b>6.3</b>	<b>Untersuchungen an der 4 stufigen Rührreaktorkaskade.....</b>	<b>72</b>
6.3.1	Voruntersuchungen zur Inbetriebnahme des Reaktors Typ 3 (4 stufige Rührreaktorkaskade).....	72
6.3.1.1	Auslaufverhalten des Vorratstanks .....	72
6.3.1.2	Verweilzeitverteilung in der Kaskade.....	73
6.3.1.2.1	Verweilzeitverteilung ohne suspendiertes Feinkorn.....	73
6.3.1.2.2	Verweilzeitverteilung des suspendierten Feinkorns .....	75
6.3.2	Untersuchungen zur biologischen Behandlung kontaminierten Feinkorns im kontinuierlichen Betrieb .....	77
6.3.3	Vorversuche zu Abscheidung einer biomassereichen Feinkornphase aus dem Ablauf der 4 stufigen Rührreaktorkaskade .....	85
6.3.3.1	Vorüberlegungen zum Abscheidungsverfahren.....	86
6.3.3.2	Auswahl eines Abscheiders.....	86

6.3.3.3 Untersuchungen der Abscheidecharakteristik des Schrägrohrklassierers .....	87
<b>7 Zusammenfassung .....</b>	<b>91</b>
<b>8 Anhang: .....</b>	<b>94</b>
<b>A-1 Grundlagen der Sedimentation.....</b>	<b>95</b>
<b>A-1.1 Freie Sedimentation.....</b>	<b>95</b>
<b>A-1.2 Widerstandsgesetze.....</b>	<b>96</b>
<b>A-1.3 Einfluß der Teilchenform und der Volumenkonzentration .....</b>	<b>97</b>
A-1.3.1 Einfluß der Teilchenform.....	97
A-1.3.2 Einfluß der Volumenkonzentration .....	98
<b>A-2 Voraussetzungen für die Berechnung der Mindestrührerdrehzahl.....</b>	<b>99</b>
<b>A-3 Messung des chemischen Sauerstoffbedarfs CSB nach Institutsnorm .....</b>	<b>108</b>
<b>A-4 Berechnungsgrundlagen für die Partikelverteilungsbestimmung: .....</b>	<b>109</b>
<b>A-5 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>112</b>