INHALT

1. EINLEITUNG 1
1.1 Themenstellung und Problematik 1
1.2 Das Untersuchungsgebiet 4

2. VERFAHREN ZUR ABWASSERREINIGUNG UND SCHLAMMENTWÄSSERUNG 8
2.1 Übersicht über die Abwasserreinigungsverfahren 8
2.2 Schlammentwässerung und Konditionierungsverfahren 11

3. DAS AUSGANGSMATERIAL 15
3.1 Der Klärschlamm - allgemeine Zusammensetzung 15
3.2 Klärschlämme der chemischen Großindustrie am Beispiel der BASF . . . 16

4. STOFFWECHSELTYPEN ANAEROBER BAKTERIEN 21
4.1 Anaerobe Nahrungskette 21
4.2 Grundlagen und Beispiele für Gärung 23
4.2.1 Alkoholgärung 24
4.2.2 Milchsäuregärung 24
4.2.3 Propionsäuregärung 24
4.2.4 Ameisensäuregärung 24
4.2.5 Buttersäure-Butanol-Gärung 25
4.2.6 Homoacetatgärung 25
4.2.7 "Methangärung" 25
4.3 Grundlagen und Beispiele für anaerobe Atmung 26
4.3.1 Nitrat-Atmung 26
4.3.2 Sulfatatmung (Dissimilatorische Sulfatreduktion) 27
4.3.3 Methanbildung durch Karbonat-Atmung 27
4.3.4 Acetatbildung durch Karbonat-Atmung 28
4.3.5 Succinatbildung durch Fumarat-Atmung 28
4.4 Abbau von Stickstoffverbindungen 28
4.4.1 Abbau von Alanin 28
4.4.2 Abbau von Glycin 29
4.4.3 Abbau von Asparagin 29
4.4.4 "STICKLAND"-Reaktion 29

5. INKOHLUNG 30
5.1 Biochemische Phase 31
5.2 Geochemische Phase 32
5.3 Darstellung von Inkohlungsvorgängen im van KREVELEN-Diagramm 32

6. FELDVERSUCHE UND PROBENGEWINNUNG 34
6.1 Durchführung des Bohr- und Meßprogrammes 34

6.1.1 Rammsondierungen 36
6.1.2 Rammkernbohrungen 36
6.1.3 Porenwasserdruckgeber 38
6.1.4 Isotopensondierung 39
6.2 Probenahme 41

7. APPARATIVE TECHNIKEN UND ANALYTIK 43
7.1 Bodenmechanik 43
7.1.1 Bestimmung des Wassergehaltes 43
7.1.2 Bestimmung der Feucht-, Trocken-, Korn- und der Proctordichte 44
7.1.3 Bestimmung der Zustandsgrenzen 45
7.1.4 Bestimmung der Korngrößenverteilung 45
7.1.5 Bestimmung der Scherfestigkeit 46
7.1.5.1 Felduntersuchung mit der Flügelsonde 46
7.1.5.2 Laborbestimmung mittels Schergerät 46
7.1.6 Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit 47
7.1.7 Bestimmung des Steifemoduls (E_s) 47
7.1.8 Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes (k_f) 48
7.2 Mineralogisch-petrographische Methoden 49
7.2.1 Dünnschliff-Mikroskopie 49
7.2.2 Bestimmung des Karbonatgehaltes 49
7.2.3 Bestimmung des Glühverlustes 50
7.2.4 Röntgendiffraktometrie 50
7.2.5 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) 51
7.2.6 Rasterelektronenmikroskopie (REM) 51
7.3 Chemische Methoden 52
7.3.1 Bestimmung des Wassergehaltes 52
7.3.2 Bestimmung des pH-Wertes 52
7.3.3 Bestimmung der elektrolytischen Leitfähigkeit 52
7.3.4 Bestimmung des Ammoniumgehaltes 53
7.3.5 Elementaranalyse - Bestimmung von H, C, N, O 53
7.3.5.1 Bestimmung des Wasserstoffes (H) 53
7.3.5.2 Bestimmung des Gesamt-Kohlenstoffes (C) 54
7.3.5.3 Bestimmung des anorganischen Kohlenstoffes (TAC) 54
7.3.5.4 Bestimmung des Stickstoffes (N) 54
7.3.5.5 Bestimmung des Sauerstoffes (O) 54
7.3.6 Huminstoffe 55
7.3.6.1 Huminsäuren 55
7.3.6.2 Abschätzung des Humifizierungsgrades 56
7.3.7 Niedere Carbonsäuren 56
7.3.8 Aminosäuren 57

8. DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE UND DISKUSSION 59
8.1 Feldversuche 59
8.1.1 Rammkernbohrung 59

8.1.2 Rammsondierung . . . 62
8.1.3 Porenwasserdruckgeber . . . 62
8.1.4 Isotopensondierung . . . 63
8.1.5 Deutung der Feldversuche . . . 65
8.2 Bodenmechanische Kennwerte . . . 65
8.2.1 Wassergehalt . . . 65
8.2.2 Feucht-, Trocken-, Korn- und einfache Proctordichte . . . 65
8.2.3 Zustandsgrenzen . . . 66
8.2.4 Korngrößenverteilung . . . 67
8.2.5 Scherfestigkeit . . . 70
8.2.6 Einaxiale Druckfestigkeit . . . 70
8.2.7 Steifemodul . . . 72
8.2.8 Durchlässigkeitsbeiwert . . . 72
8.2.9 Deutung der bodenmechanichen Kennwerte . . . 72
8.3 Mineralogisch-petrographische Untersuchungen . . . 73
8.3.1 Dünnschliffmikroskopie . . . 73
8.3.2 Karbonatgehalt . . . 74
8.3.3 Glühverlust . . . 75
8.3.4 Röntgendiffraktometrie . . . 76
8.3.5 Röntgenfluoreszenzanalyse . . . 78
8.3.6 Rasterelektronenmikroskopie . . . 78
8.3.7 Deutung der mineralogisch-petrographischen Untersuchungen . . . 82
8.4 Chemische Analysen . . . 83
8.4.1 Wassergehalt . . . 83
8.4.2 pH-Wert . . . 84
8.4.3 Elektrolytische Leitfähigkeit . . . 85
8.4.4 Ammoniumgehalt . . . 86
8.4.5 Elementaranalyse . . . 86
8.4.5.1 Wasserstoff (H) . . . 87
8.4.5.2 Gesamt-Kohlenstoff (C) . . . 88
8.4.5.3 Anorganischer Kohlenstoff (TAC) . . . 89
8.4.5.4 Organischer Kohlenstoff (TOC) . . . 90
8.4.5.5 Stickstoff (N) . . . 91
8.4.5.6 Sauerstoff (O) . . . 92
8.4.5.7 H/C-Verhältnis . . . 93
8.4.5.8 O/C-Verhältnis . . . 94
8.4.5.9 C/N-Verhältnis . . . 95
8.4.5.10 van KREVELEN-Diagramm . . . 96
8.4.6 Huminstoffe . . . 98
8.4.6.1 Huminsäuren . . . 98
8.4.6.2 Humifizierungsgrad . . . 99
8.4.7 Niedere Carbonsäuren . . . 102
8.4.7.1 Ameisensäure . . . 103
8.4.7.2 Essigsäure . . . 104
8.4.7.3 Propionsäure . . . 105

8.4.7.4 N-Buttersäure 106
8.4.7.5 I-Buttersäure 107
8.4.8 Aminosäuren 108
8.4.8.1 Alanin 108
8.4.8.2 Asparagin 109
8.4.8.3 Glycin 110
8.4.9 Deutung der chemischen Analysen 111
8.5 Schlußfolgerung 116

9. EIN VERGLEICH NATÜRLICHER UND ANTHROPOGENER SEDIMENTE 117
9.1 Die Sedimente 117
9.2 Bodenmechanische Kennwerte 118
9.2.1 Rammsondierung 119
9.2.2 Wassergehalt / Trockensubstanz 120
9.2.3 Korndichte 120
9.2.4 Durchlässigkeitsbeiwert 120
9.2.5 Steifemodul 120
9.2.6 Scherfestigkeit 121
9.2.7 Glühverlust GV 121
9.3 Geochemie 121
9.3.1 pH-Wert 121
9.3.2 Elementaranalyse 122
9.3.3 Röntgendiffraktometrie 127
9.4 Deutung der Ergebnisse 131

10. HOCHDRUCK- UND TEMPERATURVERSUCHE 132
10.1 Probenvorbereitung 134
10.2 Versuchsdurchführung 135
10.3 Analytik 137
10.4 Ergebnisse und Diskussion 137
10.4.1 Produkte der durchgeführten Versuchsreihen 137
10.4.1.1 Feste Phase 137
10.4.1.2 Prozeßwasser 140
10.4.2 Elementaranalyse 142
10.4.3 van KREVELEN-Diagramm 144
10.4.4 Röntgendiffraktometrie 146
10.4.5 Niedere Carbonsäuren 148
10.4.6 Deutung der Ergebnisse 149

11. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK 151

12. LITERATURVERZEICHNIS 153
12.1 Monographien und Zeitschriften 153
12.2 Normen 159

ANLAGEN

DANKSAGUNG