

Inhalt

Verzeichnis der Autoren	XIII
Anschriften	XIV
Abbildungsverzeichnis.....	XVII
Tabellenverzeichnis	XXVII
1 Geschichte der Anaerobtechnik	1
1.1 Historische Entwicklung	1
1.2 Weitere Entwicklungen der anaeroben Schlammstabilisierung	5
1.3 Anaerobe Abwasserbehandlung.....	7
2 Mikrobiologische Grundlagen.....	23
2.1 Energiegewinn aus mikrobiellen Stoffwechselprozessen	23
2.2 Anaerobe Abbau – Überblick und Organismen.....	24
2.2.1 Hydrolysierende und versäuernde Bakterien	26
2.2.2 Acetogene Bakterien.....	28
2.2.3 Methanbakterien.....	31
2.2.4 Aufbau von Pellets.....	34
2.2.5 Bedingungen der Pelletbildung.....	36
2.3 Anaerobe Abbauprozesse organischer Stoffe.....	37
2.3.1 Hydrolyse.....	39
2.3.2 Versäuerung	39
2.3.3 Acetogenese	42
2.3.4 Methanogenese.....	43
2.4 Nährstoff- und Spurenelementbedarf anaerober Abbauprozesse 45	
3 Einflussfaktoren auf die anaeroben biologischen Abbauvorgänge 49	
3.1 Einfluss der Temperatur	49
3.2 Einfluss des pH-Wertes und der Säurekapazität	52
3.3 Einfluss der Durchmischung	56
3.4 Einfluss der Substratzusammensetzung	58
3.4.1 Substrat-Konzentration	60
3.4.2 Feststoffgehalt.....	60
3.4.3 Verhältnis von CSB, Stickstoff und Phosphor	63
3.4.4 Kalziumgehalt	64

3.5	Einfluss hemmender und toxischer Stoffe.....	65
3.5.1	Begriffserklärung	65
3.5.2	Sauerstoff	67
3.5.3	Schwefelverbindungen.....	68
3.5.4	Organische Säuren	75
3.5.5	Schwermetalle.....	80
3.5.6	Sonstige Hemmstoffe.....	82
3.6	Spurenelemente	83
4	Verfahrenstechniken zur Behandlung von Klärschlamm.....	87
4.1	Klärschlammengen und -beschaffenheit	87
4.1.1	Primärschlamm	88
4.1.2	Sekundärschlamm	89
4.1.3	Tertiärschlamm	90
4.1.4	Rohschlamm	90
4.1.5	Stabilisierte Schlämme, Faulschlamm	91
4.1.6	Stoffbedingte Eigenschaften von Klärschlämmen	91
4.1.7	Klärschlammengen	94
4.2	Behandlung kommunaler Schlämme.....	98
4.2.1	Schlammstabilisierung	100
4.2.2	Klärschlammintegration	144
4.2.3	Klärschlammmentseuchung	160
4.2.4	Schlammwasserabtrennung	168
4.2.5	Rückbelastung der Kläranlage aus der Schlamm- behandlung.....	205
4.2.6	Wertstoffrückgewinnung aus Klärschlamm	216
4.2.7	Schlammfäulung auf deutschen Kläranlagen.....	235
4.3	Beispiele zur Co-Fermentation.....	246
4.3.1	Einleitung.....	246
4.3.2	Co-Substrate.....	247
4.3.3	Großtechnische Erfahrungen.....	256
4.3.4	Zusammenfassung.....	278
5	Anaerobe Abwasserbehandlung.....	283
5.1	Vor- und Nachteile der anaeroben Behandlung von Abwässern gegenüber den aeroben Verfahren.....	283
5.2	Verfahrenstechniken zur Behandlung von Abwässern.....	286
5.2.1	Grundsätzliches sowie Gliederung anaerober Verfahren..	286
5.2.2	Ausschwemmreaktor (CSTR).....	288
5.2.3	Anaerobe Belebung (Kontakt-Prozess).....	289
5.2.4	Membranunterstützte Anaerobreaktoren.....	295
5.2.5	UASB-Reaktoren (Schlammbettreaktoren)	295

5.2.6	EGSB-Reaktoren.....	304
5.2.7	Festbettreaktoren.....	320
5.2.8	Fließbettreaktoren	327
5.2.9	Hybridreaktoren	338
5.3	Beispiele zur Behandlung von industriellen Abwässern aus der Lebensmittelindustrie.....	343
5.3.1	Fruchtsaftindustrie.....	343
5.3.2	Erfrischungsgetränkeindustrie.....	355
5.3.3	Brauereien	364
5.3.4	Schlacht- und Fleischverarbeitungsbetriebe.....	379
5.3.5	Stärkeherstellung.....	396
5.3.6	Kartoffelveredelungsindustrie.....	417
5.3.7	Pektinfabriken	426
5.3.8	Zuckerindustrie	436
5.3.9	Brennereien und Hefefabriken	445
5.3.10	Süßwarenindustrie.....	453
5.4	Beispiele zur Behandlung von sonst. industriellen Abwässern ..	470
5.4.1	Zellstoff- und Papierfabriken	470
5.4.2	Tierkörperbeseitigungsanstalten.....	487
5.4.3	Anlagen mit anorganischen Abwässern	501
5.4.4	Chemische- und Pharmazeutische Industrie.....	510
5.5	Beispiele zur Behandlung von kommunalen Abwässern.....	523
5.5.1	Einleitung	523
5.5.2	Vor- und Nachteile der Anaerobtechnik bei kommunalem Abwasser	524
5.5.3	Reaktortypen.....	525
5.5.4	Einflussgrößen und Bemessungsparameter der anaeroben Reinigung kommunaler Abwässer	525
5.5.5	Technische Details bei kommunalen UASB-Reaktoren	528
5.5.6	Beispiele von UASB-Reaktoren zur kommunalen Abwasserreinigung.....	529
6	Landwirtschaftliche Vergärungsanlagen	533
6.1	Verfahrenstechniken.....	533
6.1.1	Historische Entwicklung und Einordnung	533
6.1.2	Herkunft und Potential der eingesetzten Substrate.....	535
6.1.3	Verfahrenskonzepte.....	538
6.1.4	Aufbereitung und Speicherung von Biogas.....	551
6.2	Beispiele landwirtschaftlicher Vergärungsanlagen	556
6.2.1	Vorbemerkungen.....	556
6.2.2	Einstufige Kofermentation	556
6.2.3	Zweistufige Kofermentation	557

6.2.4	Zweistufige Kofermentation mit therm. Desintegration	559
6.2.5	Kofermentations-Gemeinschaftsanlage mit Gärrückstandskonditionierung	560
6.2.6	Trocken-Nass-Simultanvergärung	562
7	Vergärung von Bio- und Restabfällen	565
7.1	Status quo	565
7.2	Rechtliche Rahmenbedingungen	568
7.3	Mengen, Qualitäten und Potenziale.....	570
7.3.1	Verwertung von Bioabfällen und sonstiger qualitativ hochwertiger organischer Abfallstoffe	570
7.3.2	Behandlung von Restabfällen	572
7.4	Anlagen- und Verfahrenstechnik.....	574
7.4.1	Anlieferung	575
7.4.2	Mechanische Aufbereitung vor der Vergärung.....	578
7.4.3	Vergärung	586
7.4.4	Konfektionierung nach dem Vergärungsprozess	611
7.4.5	Biogasverwertung	617
7.5	Abluftemissionen	622
7.5.1	Abluftemissionen bei der Bioabfallverwertung	623
7.5.2	Abluftemissionen bei der Restabfallbehandlung	624
7.6	Abwasseremissionen	629
7.6.1	Abwasseremissionen bei der Bioabfallbehandlung	631
7.6.2	Abwasseremissionen bei der Restabfallbehandlung	635
7.7	Energiebilanz.....	637
7.8	Ausgewählte Leistungsdaten.....	639
7.8.1	Leistungsdaten der Bioabfallvergärung	639
7.8.2	Leistungsdaten der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung.....	643
7.9	Ausblick	645
8	Einrichtungen zur Nutzung / Verwertung von Faulgas	655
8.1	Allgemeines.....	655
8.2	Faulgasanfall	655
8.3	Eigenschaften von Faulgas.....	660
8.4	Faulgastransport und -speicherung	662
8.4.1	Faulgastransport.....	662
8.4.2	Faulgasspeicherung.....	663
8.5	Ausrüstungsteile für das Gassystem.....	667
8.5.1	Gashaube/Schaumfalle.....	668
8.5.2	Gasfackel.....	668
8.5.3	Entwässerungseinrichtungen.....	668

8.5.4	Gasfilter.....	669
8.5.5	Flammenrückschlagsicherungen.....	669
8.5.6	Messeinrichtungen.....	669
8.6	Faulgasaufbereitung.....	671
8.6.1	Entschwefelung.....	671
8.6.2	Anlagen zur Gastrocknung.....	672
8.6.3	Anlagen zur Siloxanentfernung.....	673
8.7	Gasverwertung.....	673
8.7.1	Allgemeines.....	673
8.7.2	Energiebedarf auf Kläranlagen.....	673
8.7.3	Gasverwertung in Heizkesseln.....	677
8.7.4	Verwertung in BHKW.....	678
8.8	Sonstiges.....	684
8.8.1	Stromübergabe ins Netz.....	684
8.8.2	Bauliche Hinweise.....	685
8.9	Beispielrechnung.....	686
8.9.1	Annahmen.....	686
8.9.2	Bemessung des Faulbehälters.....	687
8.9.3	Energiebedarfsberechnung der gesamten Anlage.....	687
8.9.4	Energieangebot Faulgas.....	687
8.9.5	Energienutzung und –deckung.....	687
8.9.6	Vergleich der ermittelten Werte für die gewählten Arten der Gasnutzung.....	690
9	Sicherheitsaspekte im Umgang mit Faulgas.....	693
9.1	Allgemeine sicherheitstechnische Hinweise.....	693
9.1.1	Allgemeines.....	693
9.1.2	Erstickungsgefahr.....	693
9.1.3	Vergiftungsgefahr.....	694
9.1.4	Explosionsgefahr.....	695
9.1.5	Beispiele ex-gefährdeter Bereiche bei Faul- und Gasbehältern.....	697
9.2	Mess- und Kontrolleinrichtungen.....	698
9.3	Bauliche Hinweise.....	699
9.4	Vorschriften.....	699
10	Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole.....	703
	Sachwortverzeichnis.....	707