

## **Kälte – Wärme – Klima – Aktuell**

Berichte aus den Fachbereichen Kälte, Wärme, Klima, Lüftung, Energie,  
Regelung, Gebäudeautomation, Schallschutz

Band 31

# **Biogas**

**Theoretische Grundlagen,  
Bau und Betrieb von Anlagen**

**von Max Maurer und Jean-Pierre Winkler**



**Verlag C. F. Müller Karlsruhe**



## Inhaltsverzeichnis

Vorwort . . . . .	V
Einführung . . . . .	1
1. Der Energiefluß in der Biosphäre . . . . .	6
2. Einige biochemische Grundlagen . . . . .	10
2.1 Die chemische Elementaranalyse . . . . .	10
2.2 Wichtige organisch-chemische Verbindungsklassen . . . . .	10
2.2.1 Kohlenwasserstoffe . . . . .	10
2.2.2 Alkohole . . . . .	11
2.2.3 Säuren . . . . .	11
2.2.4 Aldehyde . . . . .	12
2.2.5 Fette und Öle (Lipide) . . . . .	12
2.2.6 Verbindungen mit Aminogruppen . . . . .	13
2.2.3 Makromoleküle . . . . .	14
2.3.1 Makromoleküle als Folge von Stoffwechsellleistungen . . . . .	15
2.4 Die pflanzliche Zellwand . . . . .	16
2.4.1 Der geschichtete Aufbau . . . . .	16
2.4.2 Tüpfel . . . . .	18
2.4.3 Verholzung . . . . .	18
2.5 Die biochemische Übertragung von Energie und reduzierendem Wasserstoff in der Zelle . . . . .	19
2.5.1 Die enzymatische Katalyse . . . . .	19
2.5.2 Die Energieübertragung in der Zelle mit dem ATP-System . . . . .	19
2.5.3 Die Übertragung von reduzierendem Wasserstoff durch das NAD-System in der Zeile . . . . .	21
2.5.4 Einige energieliefernde Reaktionen in der Zelle . . . . .	24
3. Photosynthese . . . . .	25
3.1 1. Reaktionssequenz . . . . .	25
3.2 2. Reaktionssequenz . . . . .	26
3.3 Zusammenfassung der beiden Lichtreaktionen . . . . .	26
3.4 3. Reaktionssequenz . . . . .	27
3.5 Bilanz der Dunkelreaktionen . . . . .	27
3.6 Zusammenfassung der photosynthetischen Reaktionssequenz . . . . .	28
3.7 Chloroplasten . . . . .	29
4. Energiequellen, die die Photosynthese aufbaut . . . . .	31
4.1 Holz . . . . .	31
4.1.1 Pyrolyse . . . . .	31

4.2	Pflanzen, Abfälle aus der Landwirtschaft, aus Haushalt und aus der Nahrungsmittelindustrie . . . . .	32
4.2.1	Biogas aus Kläranlagen . . . . .	32
4.2.2	Biogas aus landwirtschaftlichen Abfällen . . . . .	33
4.2.3	Methan und Kohlendioxid aus Müll . . . . .	36
5.	Methanogenese . . . . .	38
5.1	Ökologie . . . . .	38
5.2	Systematik . . . . .	41
5.3	Übersicht über die gegenwärtig in Reinkulturen bearbeiteten Methanbakterien . . . . .	44
5.4	Morphologie . . . . .	45
5.5	Biochemische Vorstellungen über die Biosynthese von Methan . . . . .	48
6.	Biogas im Vormagen von Wiederkäuern . . . . .	53
7.	Verdauungswege beim Rind und beim Schwein . . . . .	62
7.1	Zusammensetzung der Kot-Biomasse . . . . .	64
7.2	Richtwerte für den Anfall und die Zusammensetzung von Flüssigmist (Kot-Harnmischung) . . . . .	66
7.3	Richtwerte für die Biogaserzeugung aus Flüssigmist . . . . .	67
8.	Der mehrstufige Abbau von Biomasse zu Biogas . . . . .	68
8.1	Der 4stufige Abbau . . . . .	68
8.1.1	Stufe 1 . . . . .	68
8.1.2	Stufe 2 . . . . .	68
8.1.3	Stufe 3 . . . . .	72
8.1.4	Stufe 4 . . . . .	72
8.2	Gaszusammensetzung und abgebaute Biomasse . . . . .	73
8.2.1	Entschwefelung des Biogases . . . . .	74
8.3	Hemmung der Biogas-Gärung durch „toxische Substanzen“ . . . . .	75
8.3.1	Detergentien, Desinfektionsmittel . . . . .	76
8.3.2	Futterzusätze mit antimikrobieller Aktivität . . . . .	76
9.	Energetische Aspekte des mehrstufigen Abbaus von Biomasse zu Biogas . . . . .	77
9.1	Allgemeine energetische Grundsätze . . . . .	77
9.2	Stufe 3 . . . . .	79
9.3	Stufe 4 . . . . .	80
9.4	Freisetzung von Energie beim Abbau von Biomasse . . . . .	81
9.5	Laborstudie . . . . .	81
10.	Erzeugung von Biogas – Zusammenfassung . . . . .	89
10.1	Richtwerte pro Großvieheinheit . . . . .	89
10.2	Vergärung von Biomasse unter Ausschluß von Luftsauerstoff (anaerob) . . . . .	90

10.3	Der Gärbehälter oder Faulraum . . . . .	90
10.4	Temperatur . . . . .	91
10.5	Säuregehalt, Ammoniakgehalt, pH-Wert. . . . .	92
10.6	Durchmischung, Rührwerk, Schwimmschicht . . . . .	92
10.7	Gasreinigung, Gaslagerung. . . . .	93
10.8	Sicherheit . . . . .	93
10.9	Inbetriebnahme einer Biogasanlage . . . . .	94
11.	Bau einer Biogas-Anlage . . . . .	95
11.1	Art und Menge des Viehbestandes. . . . .	95
11.2	Bauart des Stalles und System der Mistentfernung . . . . .	95
11.2.1	Faltschieberentmistung. . . . .	95
11.2.2	Kriechentmistung . . . . .	95
11.2.3	Schwemmentmistung. . . . .	95
11.2.4	Fixentmistung . . . . .	95
11.3	Dimensionierung des Gärraumes. . . . .	97
11.4	Zwischendeponie der ausgegorenen Masse . . . . .	99
11.5	Wahl des Heizsystems. . . . .	99
11.5.1	Aufheizung durch Wärmetauscher. . . . .	100
11.5.2	Wand-Bodenbeheizung des Gärraumes . . . . .	100
11.5.3	Aufbau einer Kleinstbiogasanlage ohne Heizung . . . . .	104
11.5.4	Aufbau einer Biogasanlage mit Wand- und Bodenbeheizung . . . . .	104
11.6	Verwendungsart des hergestellten Gases. . . . .	104
11.7	Heizungssysteme und Warmwasserversorgung . . . . .	107
11.7.1	Einzelofenheizung . . . . .	107
11.7.2	Kachelofenheizung . . . . .	107
11.7.3	Zentralheizung . . . . .	108
11.7.4	Warmwasserheizung (WWH). . . . .	108
11.7.5	Warmwasserheizung bis max. 110 °C. . . . .	109
11.7.6	Wärmeluftheizung. . . . .	109
11.7.7	Strahlungsheizung . . . . .	111
11.7.8	Flächenstrahlungsheizung . . . . .	111
11.7.9	Strahlplattenheizung . . . . .	112
11.7.10	Infrarotstrahler . . . . .	112
11.7.11	Warmwasserversorgungsanlagen . . . . .	113
11.8	Verbrennung von Gas. . . . .	113
11.8.1	Primärenergiebedarf. . . . .	115
11.9	Regelgeräte . . . . .	116
11.9.1	Gasdruckregler . . . . .	116
11.9.1.1	Beispiel 1: Gasdruckregler (Maxitrol) . . . . .	116
11.9.1.2	Beispiel 2: Gasdruckregler (Kromschöder). . . . .	118
11.9.2	Gasdruckwächter. . . . .	118
11.9.2.1	Gasdruckwächter für Gas und Luft von 3 bis 1500 mm WS (0,3 bis 150 mbar) (Kromschöder). . . . .	119
11.9.3	Hydromagnetventile. . . . .	121

11.9.3.1	Hydromagnetventil (Gastechnik) . . . . .	121
11.9.3.2	Hydromagnetventil . . . . .	123
11.9.4	Austausch und Wartung von Ventilen . . . . .	125
11.10	Gasbrenner. . . . .	125
11.10.1	Atmosphärische Gasbrenner . . . . .	125
11.10.2	Gas-Gebläsebrenner . . . . .	126
11.10.3	Gas/Öl-Zweistoffbrenner. . . . .	128
11.10.3.1	Gas-Gebläsebrenner . . . . .	128
11.10.4	Flammüberwachung. . . . .	129
12.	Praktische Hinweise . . . . .	131
12.1	Überprüfung der elektrischen Anlage. . . . .	131
12.2	Entlüften der Gasleitungen . . . . .	131
12.3	Inbetriebnahme. . . . .	132
12.4	Voreinstellung der Instrumente . . . . .	132
13.	Systeme die die Energieform mehrmals nutzen . . . . .	133
13.1	Total-Energie-Anlagen . . . . .	133
13.2	Wärmepumpen . . . . .	135
14.	Verminderung der Wärmeverluste . . . . .	136
14.1	Bei Neubauten . . . . .	136
14.2	Bei Altbauten . . . . .	136
14.3	Kennwerte der Gebäudeisolation . . . . .	136
14.3.1	Der $k$ -Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) . . . . .	136
14.3.2	Der $Q_h/V$ -Wert . . . . .	136
14.4	Baustoffe verschiedener Stärken mit gleichen Wärmeverlusten . . . . .	138
14.4.1	Wirtschaftlichkeit . . . . .	138
14.5	Der Wärmeleistungsbedarf $Q_h$ . . . . .	138
14.5.1	Grundsätzlich . . . . .	138
14.6	Mechanische Entlüftung, Wohnungsbau . . . . .	139
14.6.1	Außenlufttemperaturen und Raumtemperaturen . . . . .	139
14.6.2	Brauch-Warmwassererwärmung, Zentralversorgung. . . . .	140
15.	Literaturverzeichnis . . . . .	141