

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Vergärung organischer Stoffe
Substratcharakterisierung, Probenahme,
Stoffdatenerhebung, Gärversuche

Fermentation of organic materials
Characterisation of the substrate, sampling,
collection of material data, fermentation tests

VDI 4630

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note	2
Einleitung	3	Introduction	3
1 Anwendungsbereich	4	1 Scope	4
2 Begriffe	5	2 Terms and definitions	5
3 Abkürzungen und Indizes	12	3 Abbreviations and indices	12
4 Charakterisierung von Substraten.	13	4 Characterisation of substrates	13
4.1 Grundsätze	13	4.1 Basic principles	13
4.2 Charakterisierungsmerkmale	14	4.2 Characterisation features	14
4.3 Feste Substrate	19	4.3 Solid substrates	19
4.4 Pastöse und stichfeste Substrate	21	4.4 Paste-like and spadeable substrates.	21
4.5 Flüssige Substrate	21	4.5 Liquid substrates	21
5 Probenahme und Probenaufbereitung	22	5 Sampling and sample preparation	22
5.1 Randbedingungen	23	5.1 Scope	23
5.2 Probenahme	23	5.2 Sampling	23
5.3 Konservierung und Transport	30	5.3 Conservation and transportation	30
5.4 Probenaufbereitung	31	5.4 Sample preparation	31
6 Erhebung von Stoffdaten.	33	6 Collection of material data.	33
7 Gärtests – Batch-Verfahren	46	7 Fermentation tests – Batch procedures	46
7.1 Material und Methoden	47	7.1 Material and methods.	47
7.2 Versuchsdurchführung	62	7.2 Test procedure	62
7.3 Auswertung	64	7.3 Evaluation.	64
7.4 Untersuchungsbericht und Versuchsprotokoll	70	7.4 Analysis report and test record	70
8 Bestimmung des Restgaspotenzials	70	8 Determining the residual gas potential	70
8.1 Probenahme aus der Biogasanlage und Datenerfassung	71	8.1 Sampling from the biogas plant and data acquisition	71
8.2 Gäransatz	72	8.2 Fermentation batch	72
8.3 Auswertung	72	8.3 Evaluation.	72

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)

Fachbereich Energiewandlung und -anwendung

VDI-Handbuch Energietechnik
VDI-Handbuch Nutztierhaltung: Emissionen/Immissionen
VDI-Handbuch Technik Biomasse/Boden

	Seite
9 Gärversuche – Kontinuierliche Verfahren	74
9.1 Methodik	75
9.2 Untersuchungsmethode	79
9.3 Versuchsauswertung	87
Anhang A Probenahmeprotokoll	94
Anhang B Probenliste zum Probenahme- protokoll	98
Anhang C Probenaufbereitungsprotokoll	99
Anhang D Feuchtetransport im Biogas	101
Anhang E Batch-Gärtest – Protokoll zur Datenaufzeichnung	102
Anhang F Batch-Gärtest – Versuchsauswertung	104
Anhang G Kontinuierliche Tests – Analyseprotokoll	106
Anhang H Übertragung der Ergebnisse von Batch-Tests auf technische Anlagen	108
H1 Bestimmung der Abbaukinetik im Batch-Test	108
H2 Bestimmung des Reaktormodells der Biogasanlage	113
H3 Berechnung der Umsätze je Reaktionsstufe	115
H4 Iterative Anpassung der Prozessströme	117
H5 Beispiel	118
Anhang I Biogas- und Stromproduktion der Biogasanlage zur Bestimmung des Restgaspotenzials	126
Anhang J Bedeutung des CSB	128
Schrifttum	130

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

	Page
9 Fermentation tests – Continuous procedures	74
9.1 Methodology	75
9.2 Experimental methods	79
9.3 Interpretation of test results	87
Annex A Sample record	96
Annex B List of samples for sampling record	98
Annex C Sample preparation record	100
Annex D Transportation of moisture in the biogas	101
Annex E Batch fermentation test – Record for data recording	103
Annex F Batch fermentation test – Interpretation of test results	105
Annex G Continuous fermentation tests – Analysis record	107
Annex H Application of the results of batch tests to industrial plants	108
H1 Determining the degradation kinetics in batch tests	108
H2 Defining the biogas plant’s reactor model	113
H3 Calculating conversion rates per reaction stage	115
H4 Iterative adjustment of process flows	117
H5 Example	118
Annex I Biogas and power production of the biogas plant for determining the residual gas potential	127
Annex J Importance of the CSB	128
Bibliography	130

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

Einleitung

Die Produktion und Nutzung von Biogas hat in den letzten Jahren infolge des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) deutlich zugenommen. Dies gilt sowohl für Anlagen mit Co-Fermentation (das heißt gemeinsame Vergärung von Stoffströmen unterschiedlicher Herkunft) als auch für Systeme zur Monovergärung bestimmter Stoffströme (z.B. Gülle). Bei der Auslegung und der betrieblichen Optimierung derartiger Anlagen werden dabei im Allgemeinen die Betriebsergebnisse aus entsprechenden Gär- und anderen Versuchen – zusammen mit Daten und Informationen sowie Erfahrungswissen aus vorhandenen Anlagen – herangezogen.

Während Vergärungssubstrate aus der Agrarproduktion immer noch eine erkennbare Konstanz in der qualitativen Zusammensetzung der relevanten Stoffströme aufweisen, ist dies für industrielle und gewerbliche organische Nebenprodukte und kommunale Bioabfälle, Grünabfälle sowie angereicherte organische Fraktionen aus Gemischt- und Restmüll nicht mehr der Fall. Gleiche Begriffe der Abfallterminologie und formal gleiche Werte der standardanalytisch ermittelten stofflichen Qualitätsparameter führen zu in weiten Bereichen unterschiedlichen Ergebnissen der Vergärung und des Biogasertrags.

Eine verfahrenstechnische Bearbeitung solcher Vergärungsprojekte erfordert deshalb eine vereinheitlichte, belastbare Methodik zur Ermittlung und Bewertung der Voraussetzungen für den effizienten Einsatz der Vergärung als Behandlungstechnologie.

Die Ergebnisse der bisher im Labor durchgeführten Vergärungsversuche sind jedoch nicht ohne Weiteres interpretierbar, da oft jeweils unterschiedliche Versuchsbedingungen zugrunde gelegt werden und bestimmte Begriffe bisher zum Teil nicht klar voneinander abgegrenzt sind. Zusätzlich sind die von verschiedenen Institutionen erarbeiteten und teilweise auch publizierten Ergebnisse bestimmter Größen, die die vergärungstechnischen Eigenschaften verfügbarer Substrate kennzeichnen, meist nicht direkt vergleichbar. Grund dafür sind oft unterschiedliche Methoden und Verfahren, die gleiche Stoffkenngröße zu messen. Hinzu kommt, dass die Biogassubstrate von verschiedenen Personen oft unterschiedlich beschrieben werden und dadurch eine zielorientierte Kommunikation zwischen dem Verarbeiter und dem Lieferanten derartiger Stoffe erschwert wird. Außerdem können nur dann vergleichbare Ergebnisse erzielt werden, wenn nach einheitlichen Richtlinien repräsentative Proben aus den jeweiligen Stoffströmen genommen werden.

Introduction

In recent years there has been a considerable increase in the production and use of biogas as a result of the Renewable Energy Sources Act (EEG). This act applies not only to installations which include co-fermentation (that is, simultaneous fermentation of material flows of different origins) but also to systems for the mono-fermentation of particular material flows (such as semi-liquid manure). In the design and operational optimisation of installations of this kind, reference is generally made to the operating results obtained from corresponding fermentation and other tests – together with data and information from existing plants as also the practical experience gained from these.

Whereas nowadays, fermentation substrates from agricultural production still exhibit recognisable constancy in the qualitative composition of the relevant material flows, this is no longer the case for industrial and commercial organic waste products and municipal biowaste, green waste and enriched organic fractions from mixed and residual waste. Identical methods of waste terminology and formally identical values of the substance quality parameters obtained using standard analytical methods, lead across a wide range of situations to different results in terms of fermentation and biogas yield.

A process engineering approach to the handling of such fermentation projects, therefore, requires a unified, resilient methodology for determining and evaluating the prerequisites for efficient use of fermentation as a treatment technology.

However, results from the fermentation tests which have so far been conducted in the laboratory cannot simply be interpreted since these tests are often based on different test conditions and in some cases certain terms have not as yet been clearly demarcated from each other. On the other hand, the results obtained by various institutions (some of which have also been published) for certain parameters characterising the fermentational properties of the substrates available cannot in most cases be compared directly – this is on account of the frequently different methods and procedures used for measuring one and the same material parameter. In addition it should be mentioned that biogas substrates are often described differently by different people, thus making it more difficult for the processor and the supplier of such materials to communicate efficiently. Another problem area is that it is not possible to obtain comparable results unless samples defined as representative by standard guidelines are taken from the corresponding material flows.

Diese Unzulänglichkeiten und diese oft gegebene Nichtvergleichbarkeit der Ergebnisse behindert eine effiziente Biogasproduktion und -nutzung und damit die weitere Marktausdehnung in diesem Bereich. Um diesem Missstand abzuwehren, stellt die vorliegende Richtlinie Regeln und Vorgaben für die Praxis bereit, die Lösungsansätze und Hinweise für die angesprochenen offenen Punkte bieten. Denn nur wenn Anlagen zur Biogaserzeugung und -nutzung mittelfristig professionell geplant, gebaut und betrieben werden können – und dazu ist eine verlässliche und übertragbare Beschreibung und Charakterisierung der eingesetzten Stoffströme eine wesentliche Voraussetzung –, wird die Biogastechnologie ihren Platz im deutschen Energiesystem finden. Dazu soll die vorliegende Richtlinie beitragen.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie vermittelt Regeln zur Beurteilung der Vergärbarkeit von organischen Stoffen und der notwendigen Ausrüstung der entsprechenden Versuchsanordnungen. Zuvor werden jedoch wesentliche Begriffe definiert. Auch gibt die Richtlinie Hinweise zur Charakterisierung – und damit zur Beschreibung – der Substrate und macht Vorgaben, wie bestimmte, die Biogassubstrate kennzeichnende Größen nach dem aktuellen Stand der Technik jeweils zu messen sind, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Zusätzlich werden Hinweise gegeben, wie aus unterschiedlichen Stoffströmen eine repräsentative Probe genommen werden sollte. Zusammengefasst werden damit in der hier vorliegenden Richtlinie folgende Aspekte behandelt:

- **Begriffe**
Wesentliche Begriffe, die im Bereich der Biogasproduktion und -nutzung immer wieder verwendet werden, sind kurz definiert; damit soll sichergestellt sein, dass bestimmte Begriffe mit der gleichen Bedeutung verwendet werden.
- **Charakterisierung der Substrate**
Durch eine allgemeine Charakterisierung und die Einordnung in bestimmte Gruppen kann die Möglichkeit der grundsätzlichen Vergärbarkeit eines organischen Stoffs abgeschätzt werden. Zudem ergeben sich wichtige Hinweise zur Handhabung des Stoffs und zu Besonderheiten, die bei der Planung einer Biogasanlage, in der solche Stoffe eingesetzt werden sollen, beachtet werden müssen.
- **Probenahme und Probeaufbereitung**
Art und Weise der Probenahme und -aufbereitung bilden die wesentliche Basis für die nachvollziehbare Untersuchung eines organischen Stoffs.

These shortcomings and the frequent non-comparability of results stand in the way of more extensive biogas production and utilisation and thus hinder further expansion of the market in this sector. As a contribution to remedying this unfortunate situation the present VDI Standard provides rules and instructions for practical use which offer possible solutions for and information about the unresolved questions addressed. Not until installations for biogas generation and utilisation can be planned, constructed and run in the medium term as professionally and successfully as the established conventional energy installations – and here a reliable database permitting description and characterisation of the material flows used is the essential precondition – will biogas technology be able to find its place in Germany's energy system. This standard seeks to make a contribution to achieving this goal.

1 Scope

This standard provides rules for assessing the fermentability of organic materials and the necessary equipment and apparatus required for the corresponding test set-ups. Before this area is tackled, however, definitions of important terms are provided. In addition, this standard will provide information on characterising – and thus on describing – the substrates and specifies the requirements as to how certain variables characterising the substrates must be measured in accordance with the current state of knowledge and science if comparability is to be ensured. Furthermore, instructions are also given on how a representative sample should be taken from the various material flows available. To sum up, the following aspects are treated in the present standard:

- **terms and definitions**
Brief definitions are provided here of the most important terms found in constant use in the field of biogas production and utilisation; this should ensure that all parties involved use specific terms in exactly the same way
- **characterisation of the substrates**
Following a general characterisation and classification into particular groups, the possibilities of a basic fermentability of an organic material can be estimated. This will also yield important information about handling the material and about special factors which need to be taken into consideration in the planning of a biogas installation in which materials of this kind are to be used.
- **sampling and preparation of samples**
The way in which samples are collected and prepared forms the fundamental basis for a transparent examination of an organic material. The basic

Grundregeln und eine standardisierte Vorgehensweise werden beschrieben.

- Ermittlung von Stoffdaten
Die chemische Analyse eines organischen Stoffs erlaubt eine weitreichende Beurteilung der potenziellen Vergärbarkeit. Dazu werden geeignete Analysenmethoden vorgeschlagen und bewertet.
- Batch-Gärtests und kontinuierliche Gärversuche

Aussagen zur konkreten Vergärbarkeit organischer Stoffströme liefern Gärversuche. Je nach Fragestellung, Zielsetzung und versuchstechnischen Möglichkeiten können dabei die Gasausbeute und der Gärverlauf mittels Batch-Gärtests oder kontinuierlicher Gärversuche bestimmt werden. Dazu werden jeweils geeignete Methoden beschrieben.

Diese Richtlinie wendet sich an Labore, Planer, Anlagenbauer und Betreiber von Biogasanlagen, die den Einsatz von organischen Stoffen untersuchen wollen. Sie ist auf alle organischen Stoffe anwendbar, deren Vergärung geprüft werden soll. Der genaue Anwendungsbereich ist in den einzelnen Abschnitten beschrieben.

rules and a standardised procedure are described.

- determination of material data
Chemical analysis of an organic material allows a far-reaching assessment to be made of its potential fermentability. Suitable analytical methods for this are suggested and evaluated.
- batch fermentation tests and continuous fermentation tests

Fermentation tests provide concrete information about the fermentability of organic material flows. Depending on the objectives that have been defined and on what is technically possible, the gas yield and the course of fermentation can be determined by means of batch fermentation tests or continuous fermentation tests. Methods suitable for this are described.

This standard is addressed to laboratories, planners, plant constructors and operators of biogas installations who wish to investigate the use of organic materials. It can be applied to all organic materials whose fermentation is to be studied. Individual sections describe particular applications.