

DIN EN ISO 20049-1



ICS 27.190; 75.160.40

Einsprüche bis 2019-08-14

Entwurf

**Biogene Festbrennstoffe –
Bestimmung der Selbsterhitzung von Pellets aus biogenen Brennstoffen –
Teil 1: Isotherme Kalorimetrie (ISO/DIS 20049-1:2019);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 20049-1:2019**

Solid biofuels –

Determination of self-heating pelletized biofuels –

Part 1: Isothermal calorimetry (ISO/DIS 20049-1:2019);

German and English version prEN ISO 20049-1:2019

Biocombustibles solides –

Détermination de l'auto-chauffage des granulés de biocombustibles (ISO/DIS 20049-1:2019);

Version allemande et anglaise prEN ISO 20049-1:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-06-14 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nmp@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 68 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 20049-1:2019) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 238 „Solid biofuels“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 335 „Biogene Festbrennstoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SIS (Schweden) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-05-82 AA „Biogene Festbrennstoffe“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 5725-2	siehe	DIN ISO 5725-2
ISO 13943	siehe	DIN EN ISO 13943
ISO 14780	siehe	DIN EN ISO 14780
ISO 16559	siehe	DIN EN ISO 16559
ISO 18135	siehe	DIN EN ISO 18135
ISO 18846	siehe	DIN EN ISO 18846
ISO/DIS 20024:2019	siehe	E DIN EN ISO 20024:2019-03

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 13943, *Brandschutz — Vokabular*

DIN EN ISO 14780, *Biogene Festbrennstoffe — Probenherstellung*

DIN EN ISO 16559, *Biogene Festbrennstoffe — Terminologie, Definitionen und Beschreibungen*

DIN EN ISO 18135, *Biogene Festbrennstoffe — Probenahme*

DIN EN ISO 18846, *Biogene Festbrennstoffe — Bestimmung des Gehaltes an Feingut in Mengen von Pellets*

DIN ISO 5725-2, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 2: Grundlegende Methode für Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens*

E DIN EN ISO 20024:2019-03, *Biogene Festbrennstoffe — Sicherer Umgang und Lagerung von Pellets aus biogenen Festbrennstoffen in kommerziellen und industriellen Anwendungen (ISO/DIS 20024:2019); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 20024:2019*

Biogene Festbrennstoffe — Bestimmung der Selbsterhitzung von Pellets aus biogenen Brennstoffen — Teil 1: Isotherme Kalorimetrie (ISO/DIS 20049-1:2019)

Biocombustibles solides — Détermination de l'auto-chauffage des granulés de biocombustibles (ISO/DIS 20049-1:2019)

Solid biofuels — Determination of self-heating of pelletized biofuels — Part 1: Isothermal calorimetry (ISO/DIS 20049-1:2019)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Kurzbeschreibung	9
5 Prüfeinrichtung	9
6 Handhabung von Proben	10
6.1 Allgemeines	10
6.2 Probenahme	11
6.3 Transport und Lagerung von Proben	11
6.4 Probenvorbereitung	11
7 Prüfverfahren	11
7.1 Stabilisierung der Temperatur	11
7.2 Vorbereitung der Probenampulle	11
7.2.1 Vorbereitungsverfahren	11
7.2.2 Verfahren zur Ermittlung der angemessenen Masse der Prüfmenge im Fall eines durch Sauerstoffmangel bedingten Einflusses	12
7.3 Vorbereitung der Referenzampulle	12
7.4 Messung	13
7.4.1 Erste Basislinienmessung	13
7.4.2 Messung von Proben	13
7.4.3 Zweite Basislinienmessung	13
7.4.4 Messdatei	13
8 Ergebnisse	14
8.1 Prüfdaten	14
8.2 Im Bericht angegebene Daten	14
9 Prüfbericht	14
10 Wiederhol- und Vergleichpräzision	15
Anhang A (normativ) Kalibrierung des Kalorimeters	17
Anhang B (informativ) Beispiele von Screening-Daten	19
Anhang C (informativ) Bestimmung der Reaktionskinetik	21
Anhang D (informativ) Informationen zum Ringversuch (ILS, en: interlaboratory study)	29
Literaturhinweise	35

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 20049-1:2019) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 238 „Solid biofuels“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 335 „Biogene Festbrennstoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SIS gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 20049-1:2019 wurde von CEN als prEN ISO 20049-1:2019 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 238, *Solid biofuels*, erarbeitet.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 20049 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Die Produktion, Lagerung, Handhabung sowie der Schüttguttransport und die Verwendung von biogenen Festbrennstoffen, insbesondere in Form von Pellets, verzeichnet weltweit ein kontinuierliches Wachstum.

Durch die spezifischen physikalischen und chemischen Eigenschaften von biogenen Festbrennstoffen können deren Handhabung und Lagerung Brandgefahr und/oder Explosionsgefahr sowie Gesundheitsrisiken, z. B. eine Kohlenstoffmonoxidvergiftung, Ersticken durch Sauerstoffarmut oder allergische Reaktionen, verursachen.

In biogenen Festbrennstoffen kann Wärme durch exotherme biologische, chemische und physikalische Prozesse erzeugt werden. Biologische Prozesse schließen den Stoffwechsel von Pilzen und Bakterien ein und treten bei niedrigeren Temperaturen auf; die Oxidation von Holzbestandteilen nimmt mit der Temperatur zu und dominiert bei höheren Temperaturen; die Wärmeerzeugung aus biologischen und chemischen Prozessen führt zum Transport von Feuchtigkeit im Schüttgut und der damit verbundenen Sorption und Kondensation von Wasser, die beide exotherme Prozesse sind. Zum Beispiel können in einem Haufwerk von forstlichem Brennstoff oder einem Haufwerk von feuchten Holzhackschnitzeln alle diese Prozesse vorliegen und zur Wärmeerzeugung beitragen.

Biogene Festbrennstoffe, wie z. B. Holzpellets, sind jedoch aufgrund der Bedingungen während der Herstellung (starke Hitzeeinwirkung während der Trocknung, Fragmentierung während der Zerkleinerung in der Hammermühle und Druck während der Extrusion) an sich steril [1], können jedoch Mikroben anziehen, wenn sie während der Handhabung und Lagerung feucht werden, was zu Stoffwechsel und Erzeugung von Wärme führt. Das Eindringen von Wasser in ein Lager von Holzpellets kann auch zu den vorstehend erwähnten physikalischen Prozessen führen. Nicht gepresstes Holz, wie z. B. Ausgangsmaterial und Hackschnitzel, weisen üblicherweise eine Fauna von Mikroben auf, die unter bestimmten Umständen zu einer Erwärmung führt. Alle vorstehend erwähnten Prozesse tragen zur sogenannten Selbsterhitzung bei, obwohl die Oxidation wahrscheinlich einer der Hauptfaktoren in dem Temperaturbereich ist, in dem die meisten biogenen Brennstoffe gelagert werden. Die Wärmeentwicklung kann in großen Massengutlagern erheblich sein, da die Wärmeleitung im Material gering ist. Unter bestimmten Bedingungen kann die Wärmeerzeugung zu thermischem Durchgehen und Selbstentzündung führen.

Das Selbsterhitzungspotential scheint sich bei verschiedenen Arten von Pellets aus biogenen Festbrennstoffen beträchtlich zu unterscheiden. Das verwendete Rohmaterial und die Eigenschaften dieser Rohmaterialien beeinflussen nachweislich die Neigung zur Selbsterhitzung der hergestellten Holzpellets. Jedoch auch der Herstellungsprozess (z. B. der Trocknungsprozess) beeinflusst das Selbsterhitzungspotential. Es ist daher wichtig, Pellets aus biogenen Festbrennstoffen mit hohem Wärmeerzeugungspotential identifizieren zu können, um Brände in gelagerten Materialien zu vermeiden.

Zur Schätzung des Selbsterhitzungspotentials können zwei grundsätzlich unterschiedliche Arten von Prüfverfahren angewendet werden:

- Bei dem in diesem Dokument beschriebenen Verfahren der isothermen Kalorimetrie wird der von der Prüfmenge erzeugte Wärmestrom direkt gemessen.
- In Erhitzungsprüfungen mit Korb wird die Temperatur der Prüfmenge überwacht und die kritische Umgebungstemperatur (CAT, en: critical ambient temperature), bei der sich die Temperatur der Prüfmenge aufgrund der Selbsterhitzung signifikant erhöht, wird zur indirekten Beurteilung der Selbsterhitzung verwendet.

Diese beiden Verfahren werden bei verschiedenen Regimen der Analysetemperatur angewendet. Die Betriebstemperatur eines isothermen Kalorimeters liegt üblicherweise im Bereich von 5 °C bis 90 °C, während

Erhitzungsprüfungen mit Korb bei höheren Analysetemperaturen (Ofentemperaturen) durchgeführt werden. Bei Erhitzungsprüfungen mit Korb mit Holzpellets werden für eine Prüfmenge von 1 l CATs im Bereich von 150 °C bis 200 °C angetroffen.

Die Anwendung der Prüfdaten sollte daher vor der Auswahl des geeigneten Analyseverfahrens ermittelt werden.

ANMERKUNG 1 Es ist wahrscheinlich, dass Oxidationsreaktionen, die in niedrigen bzw. hohen Temperaturregimen bei Pellets aus biogenen Festbrennstoffen ablaufen, unterschiedlichen Charakter haben und somit unterschiedliche Reaktionsgeschwindigkeiten und Wärmeerzeugungsraten aufweisen. Die Extrapolation der Daten aus einer Prüfung bei hoher Temperatur ergibt in einem derartigen Fall CATs mit einem großen Fehler; d.h. sie werden viel höher vorhergesagt, als sie tatsächlich sind. Im allgemeinen Fall von zwei Reaktionen mit unterschiedlichen Aktivierungsenergien wird die hohe Aktivierungsenergie bei niedrigen Temperaturen „ausgefroren“ und die Reaktion mit niedriger Aktivierungsenergie wird bei höheren Temperaturen „überschwemmt“ [2].

ANMERKUNG 2 Für eine begrenzte Anzahl verschiedener Arten von Holzpellets wurde gezeigt, dass die mit der isothermen Kalorimetrie gemessenen Reaktionsgeschwindigkeiten im unteren Temperaturregime höher waren als die in Erhitzungsprüfungen mit Korb im höheren Temperaturregime bestimmten Reaktionsgeschwindigkeitsdaten [3].

Die isotherme Kalorimetrie wird zur Bestimmung der thermischen Aktivität oder des Wärmestroms von chemischen, physikalischen und biologischen Prozessen angewendet. Das im vorliegenden Dokument beschriebene Verfahren wurde zur Messung des Wärmestroms aus der Selbsterhitzung von Pellets aus biogenen Festbrennstoffen entwickelt, die Technik wird jedoch am häufigsten in den Bereichen Pharmazeutika, energetischer Materialien und Zement eingesetzt ([3] bis [7]).

Daten aus dem in diesem Dokument enthaltenen Screening-Prüfverfahren mittels isothermer Kalorimetrie dienen dem Vergleich der spontanen Wärmeerzeugung (Selbsterhitzung) von Pellets aus biogenen Festbrennstoffen (Anhang B).

Zusätzlich werden Hinweise zur Verwendung von Prüfdaten aus der isothermen Kalorimetrie für die Berechnung der Gesamtreaktionsgeschwindigkeit der wärmeerzeugenden Reaktionen gegeben (Anhang C).

1 Anwendungsbereich

Das vorliegende Dokument legt ein allgemeines Prüfverfahren zur quantitativen Bestimmung der spontanen Wärmeerzeugung von Pellets aus biogenen Festbrennstoffen unter Anwendung der isothermen Kalorimetrie fest.

Dieses Dokument

- legt außerdem ein Screening-Prüfverfahren für Holzpellets unter Anwendung einer Gerätetemperatur von 60 °C fest,
- legt Verfahren für die Probenahme und Handhabung von Proben von Pellets aus biogenen Festbrennstoffen vor der Analyse der spontanen Wärmeerzeugung fest, und
- gibt Hinweise zur Anwendbarkeit und Anwendung von isothermer Kalorimetrie für die Berechnung der Nettoreaktionsgeschwindigkeit der wärmeerzeugenden Reaktionen von Pellets aus biogenen Festbrennstoffen.

Mit dem in diesem Dokument angeführten Prüfverfahren wird die thermische Leistung (der Wärmestrom) der Probe während der Prüfung quantitativ bestimmt. Die Quelle der Selbsterhitzung in der analysierten Prüfmenge wird nicht ermittelt.

Die unter Anwendung dieses Dokuments ermittelten Daten zur spontanen Wärmeerzeugung sind nur mit der spezifischen Qualität und dem Alter des Probenmaterials verbunden. Die Ergebnisse sind produkt-spezifisch.

Das vorliegende Dokument gilt nur für Pellets aus biogenen Festbrennstoffen.

Die Informationen, die unter Anwendung dieses Dokuments abgeleitet werden, sind für die Verwendung bei der Qualitätssteuerung und Beurteilungen von Gefährdungen und Risiken im Zusammenhang mit den in ISO/DIS 20024:2019 angegebenen Verfahren bestimmt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 14780, *Solid biofuels — Sample preparation*

ISO 16559, *Solid biofuels — Terminology, definitions and descriptions*

ISO 18135, *Solid Biofuels — Sampling*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 16559 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Analysetemperatur

Temperatur der Analyseumgebung, d. h. die Kalorimetertemperatur

3.2

kritische Umgebungstemperatur

CAT

(en: critical ambient temperature)

Umgebungstemperatur [die *Analysetemperatur* (3.1) oder die Lagertemperatur], bei der sich die Innentemperatur der *Prüfmenge* (3.5) oder des gelagerten Materials signifikant erhöht [aufgrund von *Selbsterhitzung* (3.3)]

3.3

Selbsterhitzung

Temperaturanstieg in einem Material infolge einer exothermen Reaktion innerhalb des Materials

[QUELLE: ISO 13943:2017, Begriff 3.341. Die Definition wurde für das vorliegende Dokument modifiziert, indem „<Chemie>“ am Anfang der Definition weggelassen wurde.]

3.4

Spontanentzündung

Selbstentzündung

Entzündung, die auf Grund einer internen exothermen Reaktion entsteht

[QUELLE: ISO 13943:2017, Begriff 3.24.]

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Definitionen von Entzündung in ISO 13943.

3.5

Prüfmenge

Teilprobe entweder einer *Laboratoriumsprobe* (3.7) oder einer *Versuchsprobe* (3.6)

[QUELLE: ISO 16559:2014, Begriff 4.202]

3.6

Versuchsprobe

Laboratoriumsprobe (3.7) nach einer vom Laboratorium durchgeführten geeigneten Vorbehandlung

[QUELLE: ISO 16559:2014, Begriff 4.203. Hier zum besseren Verständnis für den Leser angegeben.]

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Versuchsprobe ist üblicherweise eine repräsentative Probe aus einer Charge von Pellets aus biogenen Festbrennstoffen.

3.7

Laboratoriumsprobe

Gesamtprobe oder eine Teilprobe einer Gesamtprobe, zur Verwendung in einem Laboratorium

[QUELLE: ISO 16559:2014, Begriff 4.124]

3.8

thermische Leistung

durch die Probe in der Prüfung erzeugter Wärmefluss, in Bezug auf die Masseneinheit von biogenem Brennstoff in Form von Pellets gewöhnlich in W g^{-1} oder $\text{J s}^{-1} \text{g}^{-1}$ angegeben

[QUELLE: CEN/TR 16632:2014, Begriff 8.3 — Die Definition wurde für das vorliegende Dokument modifiziert, indem „Zement“ durch „biogenem Brennstoff in Form von Pellets“ ersetzt wurde.]

4 Kurzbeschreibung

Die isotherme Kalorimetrie ist eine empfindliche Technik zur Untersuchung der Wärmeenerzeugung oder des Wärmeverbrauchs von Proben unterschiedlicher Art. Sie ist zerstörungsfrei und nicht-invasiv in Bezug auf die Probe. Wenn in einer Probe Wärme erzeugt wird, misst ein isothermes Wärmeflusskalorimeter (hier isothermes Kalorimeter) die thermische Leistung (den Wärmestrom). Die Probe wird in einer Ampulle angeordnet, die sich in Kontakt mit einem Wärmeflussensor befindet, der auch in Kontakt mit einer Wärmesenke steht. Wenn durch einen beliebigen Prozess Wärme erzeugt oder verbraucht wird, bildet sich über den Sensor ein Temperaturgefälle aus. Dieses erzeugt eine Spannung, die gemessen wird. Die Spannung ist proportional zum Wärmestrom durch den Sensor und der Geschwindigkeit des Prozesses, der in der Probenampulle stattfindet. Das Signal wird kontinuierlich und in Echtzeit aufgezeichnet.

ANMERKUNG 1 Ein im Handel erhältliches Gerät für die isotherme Kalorimetrie verfügt üblicherweise über mehrere Kanäle und kann somit für Messungen von mehreren Proben gleichzeitig verwendet werden.

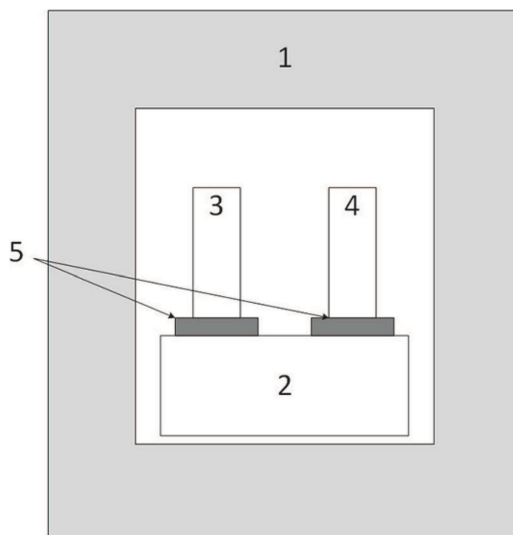
Für jede Probe (jeden Kanal) gibt es eine inerte Referenzprobe an einem parallelen Wärmeflussensor. Während der Zeitdauer, in der der Wärmestrom überwacht wird, beeinflussen alle Temperaturschwankungen, die in das Gerät gelangen, sowohl die Probe als auch die Referenzsensoren gleichermaßen. Dieser Aufbau ermöglicht eine sehr genaue Bestimmung der Wärme, die von der Probe allein erzeugt oder verbraucht wird, während andere, nicht probenbezogene Wärme(fluss)störungen wirksam beseitigt werden. Der gemessene Wärmestrom wird in Bezug auf die Masse der Probe normiert und das Ergebnis wird in mW/g angegeben.

ANMERKUNG 2 Die Betriebstemperatur eines isothermen Kalorimeters liegt üblicherweise im Bereich von 5 °C bis 90 °C. Es gibt jedoch Kalorimeter mit einer etwas höheren Spanne bezüglich der Betriebstemperatur.

5 Prüfeinrichtung

Die übliche Laborausrüstung und insbesondere Folgendes.

5.1 Isothermes Kalorimeter, bestehend aus einer Probenhalterung für die Probenampulle und die Referenzampulle, jede thermisch an Wärmeflussensoren gekoppelt, die thermisch mit einer Senke mit konstanter Temperatur verbunden sind. Siehe Beispiel in Bild 1.



Legende

- | | | | |
|---|------------|---|---------------------|
| 1 | Thermostat | 4 | Referenz |
| 2 | Wärmesenke | 5 | Wärmefluss Sensoren |
| 3 | Probe | | |

Bild 1 — Schematische Darstellung eines isothermen Kalorimeters

Das Kalorimeter muss bei der Analysetemperatur kalibriert werden (siehe A.2 und A.3). Die Analysetemperatur für das Screening-Prüfverfahren muss 60 °C betragen.

Die Basislinie muss ein geringes Rauschen aufweisen und gegen Drift stabil sein (siehe A.4).

Die Mindestempfindlichkeit für die Messung der Ausgangsleistung muss 100 µW betragen.

Die Datenerfassungsvorrichtung muss in der Lage sein, eine kontinuierliche Aufzeichnung der Kalorimeterausgabe, die in einem Zeitintervall von mindestens 10 s gemessen wird, durchzuführen.

5.2 Ampullen, hergestellt aus Glas mit einem Mindestvolumen von 20 ml und ausgestattet mit einem luftdichten Deckel mit inerter Dichtung.

ANMERKUNG Ampullen mit einem anderen Volumen als 20 ml können verwendet werden, wenn die Probenbeladung entsprechend angepasst wird (siehe 7.2.1). In derartigen Fällen muss diese Abweichung vom genormten Verfahren im Prüfbericht angegeben werden.

5.3 Waage, mit einer Auflösung von mindestens 10 mg.

6 Handhabung von Proben

6.1 Allgemeines

Die Handhabung von Proben ist wichtig, um die Eigenschaften von Proben von Pellets aus biogenen Festbrennstoffen zu erhalten. Der Transport und die Lagerung (siehe 6.3) sind für die Eigenschaften in Verbindung mit der Selbsterhitzung von besonderer Bedeutung, da die Reaktivität der Probe durch eine längere Exposition gegenüber Luftsauerstoff verringert wird. Das wird durch die Einwirkung erhöhter Temperaturen noch verstärkt.

Die Vorgeschichte der Probe und die Bedingungen für die Probenhandhabung sollten im Prüfbericht so ausführlich wie möglich angegeben werden.

6.2 Probenahme

Die Probenahme von Pellets aus biogenen Festbrennstoffen muss nach den in ISO 18135 vorgeschriebenen Verfahren erfolgen.

Der Mindestumfang der Laboratoriumsprobe beträgt 500 ml.

6.3 Transport und Lagerung von Proben

Die Laboratoriumsprobe muss in einem geschlossenen, luftdichten Probenbehälter transportiert werden.

ANMERKUNG 1 Ein luftdichter Behälter wird verwendet, um die Menge an verfügbarem Sauerstoff zu begrenzen und damit die Oxidationsreaktionen mit der Probe zu vermindern.

Der Behälter muss vollständig mit der Probe gefüllt sein.

ANMERKUNG 2 Ein vollständig gefüllter Behälter begrenzt die Menge an Luft im Behälter (d.h. die Menge an Sauerstoff) und verringert Qualitätsminderungen der Probe durch physischen Verschleiß (d. h. verringert die Menge des Feingutanteils).

Die Zeitspanne zwischen Probenahme und Analyse muss minimiert und erhöhte Temperaturen müssen vermieden werden.

ANMERKUNG 3 Es hat sich gezeigt, dass eine Probe mehrere Monate ohne wesentliche Änderungen der Reaktivität gelagert werden kann, wenn sie direkt nach dem Erhalt im Analyselabor in einen Tiefgefrierschrank gegeben wird.

6.4 Probenvorbereitung

Jeglicher Feingutanteil muss aus der Laboratoriumsprobe entfernt werden, um vor der Entnahme von Prüfmengen eine Versuchsprobe zu erhalten. Der Feingutanteil kann durch schonende Handsiebung unter Verwendung einer Siebgröße von 3,15 mm nach ISO 18846 entfernt werden.

ANMERKUNG 1 Der Feingutanteil wird entfernt, um zu vermeiden, dass der während der Handhabung und des Transports erzeugte Feingutanteil in die Prüfmenge eingeschlossen wird.

Die Prüfmenge muss nach dem Zufallsprinzip aus der Versuchsprobe entnommen werden. Die Verfahren aus ISO 14780 müssen eingehalten werden.

7 Prüfverfahren

7.1 Stabilisierung der Temperatur

Die Gerätetemperatur wird auf die gewählte Analysetemperatur eingestellt. Die Analysetemperatur für das Screening-Prüfverfahren beträgt 60 °C.

Die Anweisungen des Herstellers sind einzuhalten, um die Temperaturstabilität sicherzustellen.

ANMERKUNG Die Werte für das Stabilitätskriterium schwanken für verschiedene Kalorimeter und sind üblicherweise durch die Software festgelegt.

7.2 Vorbereitung der Probenampulle

7.2.1 Vorbereitungsverfahren

Die vorbereitete Probenampulle darf nicht vorgewärmt werden.

ANMERKUNG 1 Ein Vorwärmen der Probenampulle wird häufig angewendet, um die Störung im Messsignal aufgrund eines thermischen Ungleichgewichts zwischen der Probe und dem Kalorimeter zu verringern. In diesem Prüfverfahren wird jedoch kein Vorwärmen angewendet, da in einem vorbereitenden Ringversuch (ILS, en: interlaboratory study) festgestellt wurde, dass das Vorwärmen für die Messunsicherheit in dieser Anwendung nicht günstig war.

Die Handhabung der Probe erfolgt mit einer Pinzette oder Gummihandschuhen, um eine Kontamination der Probe zu vermeiden.

Nach Möglichkeit werden ganze Pellets oder größere Stücken von Pellets verwendet.

In die Probenampulle (5.2) wird eine Prüfmenge von 0,2 g Pellets je ml Volumen der verwendeten Glasampulle eingewogen. Zum Beispiel werden $(4 \pm 0,1)$ g Pellets für eine 20-ml-Glasampulle verwendet.

ANMERKUNG 2 Bei Holzpellets hat sich gezeigt, dass es bei Messungen an ganzen Pellets im Vergleich zu kleineren Pelletteilen (Mischung aus 2-mm-Partikeln und kleiner) keinen signifikanten Unterschied in der gemessenen thermischen Leistung gibt [8].

Der Deckel der Probenampulle wird nach der Probenbeladung fest verschlossen.

Wenn während der Messung in der geschlossenen Ampulle ein Sauerstoffmangel auftritt, der die Prüfergebnisse beeinflusst, wird nach der Verfahrensweise in 7.2.2 vorgegangen. Ein Verfahren zum Feststellen eines signifikanten Sauerstoffmangels ist in 8.1 angeführt.

ANMERKUNG 4 Es hat sich gezeigt, dass ein Sauerstoffmangel in der verschlossenen Ampulle bei Messungen mit Holzpellets nach dem in diesem Dokument vorgeschriebenen Screening-Prüfverfahren üblicherweise die gemessene Wärmeerzeugung nicht wesentlich beeinflusst [8]. Bei hochreaktiven Pellets kann jedoch in bestimmten Fällen ein Sauerstoffmangel die Prüfergebnisse beeinflussen und es muss auf ihn reagiert werden.

7.2.2 Verfahren zur Ermittlung der angemessenen Masse der Prüfmenge im Fall eines durch Sauerstoffmangel bedingten Einflusses

Um die angemessene Probenmasse zur Vermeidung des durch Sauerstoffmangel bedingten Einflusses zu ermitteln, werden zuerst Prüfungen mit einer Probenmasse von 4 g und 2 g (bei Verwendung einer 20-ml-Ampulle) durchgeführt. Wenn der Unterschied bei der normierten gesamten Wärmeerzeugung zwischen den beiden Probenmassen (4 g und 2 g) nicht signifikant ist (ein relativer Unterschied von weniger als 10 %), sind keine weiteren Prüfungen erforderlich; eine Probenmasse von 4 g ist für die Verwendung geeignet. Wenn der Unterschied jedoch signifikant ist, müssen zusätzliche Prüfungen mit einer Probenmasse von 1 g und 3 g durchgeführt werden, um die Probenmasse zu finden, bei der die Auswirkung des Sauerstoffmangels nicht signifikant ist.

7.3 Vorbereitung der Referenzampulle

Für jede Probenampulle (jeden Kanal) werden zwei Referenzampullen vorbereitet.

Die Portion Referenzmaterial muss die gleiche Gesamtwärmekapazität aufweisen wie die Prüfmenge. Als Referenzmaterial wird Wasser empfohlen, obwohl auch andere nicht reaktive Materialien verwendet werden könnten, zum Beispiel trockener Quarzsand.

Eine mit 1,3 g entionisiertem Wasser gefüllte 20-ml-Standardampulle aus Glas kann als Referenzampulle bei der Prüfung von 4,0 g Holzpellets verwendet werden.

ANMERKUNG Die berichtete Wärmekapazität von Holzpellets (Wassergehalt von $\approx 6,5$ % Massenanteil) lag im Bereich von $1,2 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ [9] bis $1,6 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ [10]. Wenn keine Daten zur konkreten Holzpelletprobe zur Verfügung stehen, kann ein Wert von $1,4 \text{ J/(g} \cdot \text{K)}$ angenommen werden, aus dem sich eine Referenzprobe von 1,3 g entionisiertem Wasser ergibt, die für Prüfungen mit 4,0 g Holzpellets geeignet ist.

Wenn das Kalorimeter mit einer festen Referenz ausgestattet ist, muss sichergestellt sein, dass die Referenz für die Prüfung von biogenen Brennstoffen in Form von Pellets geeignet ist.

7.4 Messung

7.4.1 Erste Basislinienmessung

Die Prüfung wird mit einer Messung der Basislinie begonnen:

- 1) Eine Referenzampulle wird an der Referenzposition angeordnet. Diese Referenz muss für die gesamte Prüfung stationär gehalten werden.
- 2) Eine zweite Referenzampulle wird für die Messung der Basislinie in der Messposition angeordnet.
- 3) Wenn das Gerät stabile Bedingungen erreicht hat, wird eine Basislinienmessung von 30 min durchgeführt.

ANMERKUNG 1 Das gilt für alle Kanäle, die für die Messung verwendet werden.

Die Daten der Basislinienmessung müssen in die Messdatei aufgenommen werden.

7.4.2 Messung von Proben

Nach Abschluss der ersten Basislinienmessung wird die Referenzampulle in der Messposition durch die Probenampulle ersetzt.

Der Wärmestrom von der Probenampulle wird gemessen und in der Messdatei gespeichert. Die Messung muss mindestens 24 h dauern.

Wenn die Wärmeerzeugungsrate nach 24 h nicht relativ unbedeutend geworden ist, sollte die Messung bis zu diesem Zeitpunkt fortgesetzt werden.

ANMERKUNG 2 Das Verfahren zum Starten der Prüfung und zum Speichern von Daten in der Messdatei kann je nach Marke von isothermen Wärmeflusskalorimetern unterschiedlich sein.

7.4.3 Zweite Basislinienmessung

Nach Abschluss der Messung an der Probe:

- 1) Die Probenampulle wird aus der Messposition entnommen.
- 2) Eine zweite Referenzampulle wird an der Messposition angeordnet.
- 3) Wenn das Gerät stabile Bedingungen erreicht hat, wird eine Basislinienmessung von 30 min durchgeführt.

ANMERKUNG Die nach der Prüfung gemessene Basislinie dient der Sicherstellung, dass das Gerät die gleiche Stabilität aufweist wie vor Beginn der Prüfung. Für einige Instrumente gibt es Software, die standardmäßig die Basislinie vor und nach der Prüfung misst.

7.4.4 Messdatei

Die sich ergebende Datei muss die Daten aus der Probenmessung sowie die Daten aus den beiden Basislinienmessungen enthalten. Die Datei muss unter einem eindeutigen Namen gespeichert werden, der kennzeichnend für die gemessene Prüfmenge ist.

8 Ergebnisse

8.1 Prüfdaten

Die aufgezeichneten Daten sind die thermische Leistung (der Wärmestrom) in mW. Die Prüfdaten müssen als graphische Darstellung der spezifischen thermischen Leistung in mW/g in Abhängigkeit von der Zeit vorgelegt werden.

Die graphische Darstellung der Daten für die thermische Leistung werden auf Anzeichen eines Sauerstoffmangels in der Ampulle während der Prüfung untersucht (siehe Anmerkung 1 und Anmerkung 2). Wenn derartige Anzeichen vorliegen, müssen zusätzliche Prüfungen nach 7.2.2 durchgeführt werden.

ANMERKUNG 1 Ein typisches Anzeichen für einen signifikanten Sauerstoffmangel in der Prüfung ist ein plötzlicher Bruch in der Wärmestromkurve (siehe Bild D.3).

ANMERKUNG 2 Die gesamte Wärmeerzeugung hat typischerweise einen Wert von etwa 60 J (in einer 20-ml-Probenampulle) zu dem Zeitpunkt erreicht, zu dem sich die Sauerstoffarmut beginnt auf die Wärmeerzeugungsrate auszuwirken.

8.2 Im Bericht angegebene Daten

Der maximale Spitzenwert der spezifischen thermischen Leistung (mW/g) und die während der Prüfung erzeugte spezifische Gesamtwärme (J/g) werden im Bericht angegeben.

Die spezifische Gesamtwärme wird durch Integration der Kurve der spezifischen thermischen Leistung vom Zeitpunkt des maximalen Spitzenwertes bis (üblicherweise) 24 h berechnet.

Wenn für einen längeren Zeitraum als 24 h eine signifikante Wärmeerzeugung gemessen wurde, muss die Integration auch diesen Zeitraum einschließen und die für die Integration verwendete Zeitspanne muss im Bericht angegeben werden.

Der maximale Spitzenwert befindet sich üblicherweise am Anfang der Messung. In Fällen, in denen die thermische Leistung im Zeitverlauf ansteigt und letztendlich den anfänglichen Spitzenwert überschreitet, darf dieser spätere maximale Spitzenwert nicht als der maximale Spitzenwert im Bericht angegeben werden.

ANMERKUNG Anhang B enthält Informationen zu Messdaten von verschiedenen Arten von Pellets aus biogenen Festbrennstoffen, die mit isothermer Kalorimetrie gemessen wurden.

9 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die folgenden Angaben enthalten:

- 1) Prüflaboratorium:
 - a) Name und Anschrift des Laboratoriums;
 - b) eingesetztes Gerät für die isotherme Kalorimetrie.
- 2) Beschreibung der Probe:
 - a) ID der Probe;
 - b) Art des Produkts (und gegebenenfalls der Markenname);
 - c) Klassifizierung (falls verfügbar) z. B. nach ISO 17225-2;

- d) produktbezogene Daten (falls verfügbar: Durchmesser, Länge, Dichte, Wassergehalt, Materialzusammensetzung);
 - e) Verfahren der Stichprobenahme (z. B. nach dem Zufallsprinzip);
 - f) Vorgeschichte des Produkts (Datum von: Herstellung, Probenahme, Transport und Eintreffen im Prüflaboratorium);
 - g) Art der Verpackung der Probe während des Transports.
- 3) Probenvorbereitung
- a) Lagerung der Probe vor der Probenvorbereitung (z. B. Temperatur);
 - b) Datum und Uhrzeit von Auspacken und Probenvorbereitung (Stunde, Tag, Monat und Jahr);
 - c) Art der Probenvorbereitung vor der Entnahme von Prüfmengen.
- 4) Verweisung auf dieses Dokument (ISO 20049-1):
- a) Analysetemperatur des isothermen Kalorimeters;
 - b) Verwendung der Prüfergebnisse: Screening-Prüfungen oder Prüfungen zur Berechnung kinetischer Parameter.
- 5) Sämtliche während der Bestimmung festgestellten ungewöhnlichen Besonderheiten, die das Ergebnis beeinträchtigen können.
- 6) Prüfergebnisse der Prüfung; einschließlich Einheiten und der Bezugsbasis, bezüglich der sie angegeben sind.

10 Wiederhol- und Vergleichpräzision

In den Jahren 2017 bis 2019 wurde ein internationaler Ringversuch (ILS, en: interlaboratory study) mit neun teilnehmenden Laboratorien durchgeführt. Die Prüfung erfolgte an drei verschiedenen Arten von Holzpellets, alle Proben wurden bei Herstellern in Schweden entnommen. Gültige Ergebnisse zur Messunsicherheit wurden nur für eine der drei geprüften Pelletarten erhalten. Die Ergebnisse für die gültigen Prüfungen mit Pelletart P1 sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 angeführt.

Weiterführende Einzelheiten zum ILS können Anhang D entnommen werden.

Tabelle 1 — Messunsicherheit für die spezifische thermische Leistung, $q_{\max}$

Gemessene Größe	Pelletart und Masse der Prüfmenge	Mittelwert der Größe m (mW/g)	Wiederholpräzision			Vergleichpräzision		
			s_r (mW/g)	s_r/m (%)	r (mW/g)	s_R (mW/g)	s_R/m (%)	R (mW/g)
$q_{\max}$	P1, 4 g	1,11	0,026	2,3	0,07	0,15	13,5	0,38
	P1, 3 g	1,09	0,058	5,3	0,15	0,16	14,8	0,41
	P1, 2 g	1,11	0,046	4,1	0,12	0,15	14,0	0,39
	P1, 1 g	1,09	0,052	4,8	0,13	0,14	12,8	0,35

Tabelle 2 — Messunsicherheit für die spezifische Gesamtenergie, q_{tot}

Gemessene Größe	Pelletart und Masse der Prüfmenge	Mittelwert der Größe m (J/g)	Wiederholpräzision			Vergleichpräzision		
			s_r (J/g)	s_r/m (%)	r (J/g)	s_R (J/g)	s_R/m (%)	R (J/g)
q_{tot}	P1, 4 g	17,0	0,31	1,8	0,80	0,89	5,2	2,3
	P1, 3 g	17,3	1,28	7,4	3,3	1,4	8,2	3,6
	P1, 2 g	18,0	0,49	2,7	1,2	1,0	5,4	2,5
	P1, 1 g	17,8	0,86	4,8	2,2	1,6	9,2	4,1

Anhang A (normativ)

Kalibrierung des Kalorimeters

A.1 Allgemeines

Das Gerät wird in regelmäßigen Zeitabständen von einem Jahr oder weniger oder wenn es Fragen zur Leistung gibt nach den Empfehlungen des Herstellers kalibriert.

A.2 Kalibrierung/Validierung der Temperatur

Das Gerät wird in Bezug auf die gewählte Analysetemperatur kalibriert.

ANMERKUNG 1 Das Messverfahren in diesem Dokument kann für verschiedene Analysetemperaturen angewendet werden, z. B. für erweiterte Messungen bei mehreren Temperaturen zur Ableitung eines kinetischen Modells der Wärmezeugung (siehe Anhang C).

Die Solltemperatur wird durch eine unabhängige Messung der Temperatur in den Thermostatmedien überprüft. Die Temperatur darf nicht mehr als 0,2 K von der Solltemperatur abweichen.

ANMERKUNG 2 Die Kalibrierung der Temperatur erfolgt mit einer kalibrierten Thermoelementvorrichtung.

A.3 Kalibrierung der thermischen Leistung

Die Messung der thermischen Leistung des Geräts wird bei der Analysetemperatur kalibriert.

Das Kalorimeter muss sich vor Beginn des Kalibriervorgangs im Gleichgewicht befinden und darf keine signifikante Signaldrift aufweisen.

ANMERKUNG 1 Das Messverfahren in diesem Dokument kann für verschiedene Analysetemperaturen angewendet werden, z. B. für erweiterte Messungen bei mehreren Temperaturen zur Ableitung eines kinetischen Modells der Wärmezeugung (siehe Anhang C).

ANMERKUNG 2 Der Zweck der Kalibrierung besteht darin, das Kalorimetersignal mit der thermischen Leistung oder der Enthalpieänderung eines genau definierten Prozesses, d. h. eines Kalibrierprozesses, zu vergleichen, wonach das Kalorimetersignal so eingestellt wird, dass es innerhalb festgelegter und tolerierbarer Grenzen genau ist. Das Ergebnis der Kalibrierung wird mit dem theoretischen Wert verglichen, der dem Kalibriervorgang zugewiesen wurde, und eine Kalibrierkonstante wird berechnet.

Wärmeflusskalorimeter können aufgrund der Tatsache, dass ein Teil der erzeugten Wärme den Wärme-flusssensoren entweicht, deren Größenordnung von der Konstruktion des Instruments abhängt, gegenüber systematischen Fehlern empfindlich sein. Es ist daher wichtig, dass der Kalibriervorgang so gestaltet ist, dass er die tatsächliche Probenmessung genau nachahmt. Die Kalibrierung kann elektrisch erfolgen, indem eine bekannte Menge an Joulescher (ohmscher) Wärme in einem gut positionierten Widerstand erzeugt wird, oder chemisch durch eine Reaktion einer genau festgestellten thermischen Leistung oder Enthalpie-änderung.

Viele im Handel erhältliche Wärmeflusskalorimeter sind mit einem eingebauten elektrischen Heizelement (Heizelement zur Kalibrierung) ausgestattet, der zur Kalibrierung des Gerätes eingesetzt wird. Die Anordnung des Heizelements zur Kalibrierung in Bezug auf die Positionierung der Probe und des Wärme-flusssensors kann für die kalorimetrische Genauigkeit entscheidend sein. Der Gerätehersteller gibt

üblicherweise die Genauigkeit des Kalorimeters an, wenn es nach den Anweisungen des Herstellers kalibriert wird.

Aufgrund der geringen Temperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit der Wärmeflussensoren innerhalb eines engen Temperaturbereichs wird empfohlen, das Kalorimeter bei der gleichen Solltemperatur zu kalibrieren, bei der die Probenmessung durchzuführen ist. Es wird empfohlen, die durch die Kalibrierung erreichte Genauigkeit durch Anwendung eines gut charakterisierten unabhängigen Prüfverfahrens zu überprüfen [11].

A.4 Anforderungen an Störpegel und Drift

Die Anforderungen an Rauschen und Drift müssen bei einem neuen Gerät und immer dann überprüft werden, wenn Fragen zur Leistung auftreten.

Die während eines Zeitraums von 3 Tagen gemessene Änderungsrate der Basislinie muss $\leq 20 \mu\text{J/s}$ je Gramm Probe je Stunde der Prüfung betragen und ein Basislinienrauschen von $\leq 10 \mu\text{J/s}$ je Gramm Probe aufweisen.

ANMERKUNG 1 In der Praxis wird die Basislinie 3 Tage lang gemessen und unter Anwendung eines Verfahrens der linearen Regression eine gerade Linie an die Daten von Leistung $[\text{J}/(\text{g} \cdot \text{s})]$ über die Zeit (h) angepasst. Die Langzeitdrift ist dann die Steigung in der Linie $[\text{J}/(\text{g} \cdot \text{s} \cdot \text{h})]$ und das Basisrauschen ist die Standardabweichung $[\text{J}/(\text{g} \cdot \text{s})]$ um diese Regressionslinie herum.

ANMERKUNG 2 Die Begründung für diese Grenzwerte ist in [12] enthalten.

Anhang B (informativ)

Beispiele von Screening-Daten

Die nachstehend angegebenen Daten zur isothermen Kalorimetrie, siehe Tabelle B.1, wurden im Wesentlichen nach dem in diesem Dokument angegebenen Screening-Prüfverfahren erhoben. Eine Abweichung bestand darin, dass das Vorwärmen bei 60 °C für 10 min erfolgte.

Die Prüfungen wurden 24 h mit einem isothermen Kalorimeter bei einer Analysetemperatur von 60 °C durchgeführt. Mit wenigen Ausnahmen betrug die Prüfmenge 4 g und für jede Probe wurden Doppelbestimmungen durchgeführt. Die dargestellten Daten sind der Mittelwert aus den Doppelbestimmungen.

ANMERKUNG Ausführliche Angaben zur Prüfausrüstung können [13] entnommen werden.

Tabelle B.1 — Beispiele für den Spitzenwert der thermischen Leistung und die Gesamtwärme für verschiedene bei (60 °C) mit isothermer Kalorimetrie geprüfte Proben [13]. Hier die Rangfolge nach dem Spitzenwert der thermischen Leistung

Rang-nummer	Herkunft der Pellets	Pelletart (bezüglich Einzelheiten zur Zusammensetzung siehe [13])	Spitzenwert der thermischen Leistung ^a (mW/g)	Gesamtwärme ^b (J/g)
1	Schweden	Holzpellet	1,06	18,71
2	Schweden	Holzpellet	0,91	15,04
3	Schweden	Holzpellet	0,77	13,51
4	Schweden	Holzpellet	0,69	17,53
5	Deutschland	Holzpellet	0,61	15,56
6	Dänemark	Holzpellet	0,46	13,91
7	Schweden	Holzpellet	0,42	12,13
8	Schweden	Holzpellet	0,38	10,51
9	Schweden	Holzpellet	0,37	8,88
10	Schweden	Holzpellet	0,35	9,19
11	Deutschland	Holzpellet	0,31	8,16
12	Deutschland	Holzpellet	0,29	10,15
13	Schweden	Holzpellet	0,23	12,35
14	Schweden	Holzpellet	0,18	6,73
15	Deutschland	Holzpellet	0,16	6,10
16	Dänemark	Holzpellet	0,16	5,58
17	Dänemark	Holzpellet	0,16	5,72
18	Deutschland	Rückstand aus der Weinherstellung	0,16	6,87