

DIN 51900:2023-12 (D)

Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe - Bestimmung des Brennwertes mit dem Bombenkalorimeter und Berechnung des Heizwertes

Inhalt	Seite
Vorwort.....	7
1 Anwendungsbereich.....	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Kurzbeschreibung des Verfahrens	10
5 Grundlagen und Definitionen.....	11
5.1 Grundlagen.....	11
5.2 Brennwert bei konstantem Volumen (<i>H_{ov}</i>)	11
5.3 Heizwert bei konstantem Druck (<i>H_{up}</i>)	12
5.4 Heizwert bei konstantem Volumen (<i>H_{uv}</i>).....	12
5.5 Referenztemperatur.....	12
5.6 Wärmekapazität des Kalorimeters (<i>C</i>).....	12
5.7 Fremde Wärmemenge, Fremdenergie (<i>Q_Z</i>).....	13
5.8 Adiabatisches Kalorimeter.....	13
5.9 Isoperiboles Kalorimeter und Kalorimeter mit statischem Mantel	13
5.10 Aneroidkalorimeter	13
6 Geräte.....	14
6.1 Allgemeines.....	14
6.2 Kalorimetrische Bombe	14
6.3 Halterung für Bombendeckel.....	15
6.4 Temperaturmesseinrichtung	15
6.5 Sauerstoff-Einfülleinrichtung mit Druckmesser und Druckminderer.....	15
6.5.1 Druckregler	15
6.5.2 Sicherheitsventil oder Berstscheibe	15
6.6 Pellet-Pressen (Laborpressen) zum Herstellen von Presslingen mit etwa 10 mm bis 13 mm Durchmesser.....	15
7 Chemikalien und Hilfsmittel.....	16
7.1 Sauerstoff.....	16
7.2 Zündmittel	16
7.2.1 Zünddraht.....	16
7.2.2 Baumwollfaden	16
7.2.3 Paraffinstreifen.....	16
7.3 Verbrennungstiegel.....	16
7.4 Verbrennungshilfsmittel.....	17
7.4.1 Randbedingungen zum Einsatz.....	17
7.4.2 Verbrennungstüten	17
7.4.3 Acetobutyratkapseln.....	17
7.4.4 Gelatinekapseln	17
7.4.5 Weitere Verbrennungshilfsmittel.....	18
7.5 Referenzmaterial.....	18
7.5.1 Benzoesäure.....	18
7.5.2 Andere Prüfsubstanzen (keine Kalibriersubstanzen)	18
7.6 Standardmaßlösungen und Indikatoren	19
8 Probenahme, Probenvorbereitung und ergänzende Untersuchungen.....	19

8.1	Feste Brennstoffe	19
8.2	Andere feste Stoffe.....	20
8.3	Flüssige Brennstoffe.....	20
9	Füllen der kalorimetrischen Bombe	20
9.1	Vorbereitung der Probe für den Versuch.....	20
9.1.1	Allgemeines.....	20
9.1.2	Feste Brennstoffe	20
9.1.3	Andere feste Stoffe.....	20
9.1.4	Flüssige Brennstoffe.....	20
9.1.5	Andere flüssige Stoffe	21
9.2	Befüllung der kalorimetrischen Bombe	21
10	Durchführung.....	23
11	Sicherheitshinweise	23
12	Berechnungen der thermochemischen Korrekturen.....	24
12.1	Grundlagen.....	24
12.2	Ermittlung von Q_S	24
12.2.1	Ermittlung von Q_S aus dem Schwefelgehalt	24
12.2.2	Ermittlung von Q_S aus der entstandenen Schwefelsäure (SO₄2 --Bestimmung).....	24
12.3	Ermittlung von Q_N	25
12.3.1	Ermittlung von Q_N aus dem Stickstoffgehalt.....	25
12.3.2	Ermittlung von Q_N aus der entstandenen Salpetersäure (NO₃ --Bestimmung)	25
12.4	Ermittlung von Q_N und Q_S durch Titration mit Bariumhydroxidlösung und Salzsäurelösung.....	25
12.5	Ermittlung von Q_N durch Titration der Gesamt-Azidität mit Natronlauge, bei der Kalibration mit Benzoesäure	26
12.6	Ermittlung von $Q_{N,S}$ durch Titration der Gesamt-Azidität mit Natronlauge	26
12.7	Ermittlung thermochemischer Korrekturen aus den Halogengehalten von Q_F , Q_{Cl} , Q_{Br} und Q_I	26
13	Bestimmung der Wärmekapazität C des Kalorimeters.....	27
14	Überprüfung der Kalibrierungen mit Regelkarten	28
15	Überprüfung der Linearität	29
16	Angabe des Ergebnisses	30
17	Bezugszustände	31
18	Berechnung des Brennwertes $H_{ov(an)}$ (konstantes Volumen).....	31
19	Berechnung des Heizwertes $H_{up(an)}$ (konstanter Druck).....	31
20	Berechnung des Heizwertes H_{uv} (konstantes Volumen).....	32
21	Berechnung Brennwert und Heizwert für flüssige Stoffe	33
22	Umrechnung des Ergebnisses auf verschiedene Bezugszustände	34
23	Präzision des Verfahrens.....	36
23.1	Allgemeines.....	36
23.2	Wiederholgrenze.....	36
23.3	Vergleichsgrenze	36
24	Prüfbericht	37
Anhang A (normativ) Adiabatisches Bombenkalorimeter.....		38
A.1	Kurzbeschreibung des Verfahrens	38
A.2	Geräte.....	38
A.2.1	Allgemeines.....	38
A.2.2	Kalorimetergefäß.....	39
A.2.3	Kalorimetermantel.....	39

A.2.4	Rührwerk.....	39	
A.2.5	Temperaturmesseinrichtung.....	39	
A.2.6	Elektrische Zündeinrichtung.....	39	
A.2.7	Temperaturregler.....	39	
A.3	Prüfbedingungen.....	39	
A.4	Durchführung.....	40	
A.4.1	Allgemeines.....	40	
A.4.2	Ablauf der Messungen.....	40	
A.5	Auswertung.....	40	
A.5.1	Temperaturerhöhung.....	40	
A.5.2	Wärmekapazität C	41	
A.5.3	Brennwert H_{ov}	41	
A.5.4	Heizwert H_{up}	41	
A.6	Beispielhafte Auswertung.....	43	
A.6.1	Berechnung der Wärmekapazität C	43	
A.6.2	Berechnung des Brennwertes H_{ov}	44	
Anhang B (normativ) Isoperiboles Bombenkalorimeter und Bombenkalorimeter mit statischem Mantel (static-jacket Kalorimeter).....			45
B.1	Anwendungsbereich.....	45	
B.2	Kurzbeschreibung des Verfahrens.....	45	
B.3	Geräte.....	45	
B.3.1	Allgemeines.....	45	
B.3.2	Kalorimetergefäß.....	46	
B.3.3	Kalorimetermantel.....	46	
B.3.4	Rührwerk.....	46	
B.3.5	Temperaturmesseinrichtung.....	46	
B.3.6	Elektrische Zündeinrichtung.....	46	
B.4	Prüfbedingungen.....	46	
B.5	Durchführung.....	47	
B.5.1	Allgemeines.....	47	
B.5.2	Ablauf der Messungen.....	47	
B.6	Auswertung.....	48	
B.6.1	Korrigierte Temperaturerhöhung Δt nach Regnault-Pfaundler.....	48	
B.6.2	Wärmekapazität C	49	
B.6.3	Brennwert H_{ov}	49	
B.6.4	Heizwert H_{up}	50	
B.7	Berechnungsbeispiel eines Versuchablaufs.....	50	
B.8	Beispielhafte Auswertung.....	52	
B.8.1	Abkühlkonstante θ	52	
B.8.2	Temperaturberichtigung ε	52	
B.8.3	Berichtigte Temperaturerhöhung Δt	53	
B.8.4	Berechnung der Wärmekapazität C	53	
B.8.5	Berechnung des Brennwertes H_{ov}	53	
Anhang C (informativ) Gegenüberstellung der Symbole und Faktoren.....			55
Anhang D (informativ) Berechnungsbeispiele feste Brennstoffe für den Brennwert H_{ov} und für den Heizwert H_{up} und H_{uv}.....			61
Anhang E (informativ) Berechnungsbeispiel für flüssige Stoffe für den Brennwert H_{ov} und für den Heizwert H_{up} und H_{uv}.....			67
Anhang F (normativ) Beispiele für die Auswirkung von Änderungen der Versuchsbedingungen.....			70
Anhang G (normativ) Halogenhaltige Brennstoffe.....			72
G.1	Einleitung und Anwendungsbereich.....	72	
G.2	Definition des Endzustandes.....	72	
G.3	Thermochemische Korrekturen aus den Halogengehalten.....	72	
G.4	Berechnung des Brennwertes H_{ov}	73	
G.5	Korrektur des Wasserstoffs für die Berechnung des Heizwertes.....	73	

G.6	Berechnung des Heizwertes bei konstantem Druck $H_{up(an)}$	74
G.7	Berechnung des Heizwertes bei konstantem Volumen	75
	Literaturhinweise	76

Bilder

Bild 1	— Schematische Darstellungen kalorimetrischer Bomben.....	14
Bild 2	— Beispiel für Pellet-Pressen (Laborpresse).....	15
Bild 3	— Beispielhafte Form und Maße der Verbrennungstiegel und der Tiegelhalterungen.....	17
Bild 4	— Beispielhafte Formen für Verbrennungstüte (links), Acetobutyratkapsel (mitte) und Gelatinekapsel (rechts)	18
Bild 5	— Beispiele zur Verbindung von Zünddraht und Baumwollfaden mit der Probe	22
Bild 6	— Beispiel einer Regelkarte zur Kalibrierungsüberprüfung mit Benzoesäure.....	29
Bild 7	— Beispiel einer Regelkarte zur Überprüfung der Linearität	30
Bild A.1	— Schematische Darstellung eines adiabatischen Bombenkalorimeters.....	38
Bild A.2	— Beispiel für eine Zeit-Temperatur-Kurve.....	43
Bild B.1	— Schematische Darstellung eines Bombenkalorimeters mit isoperibolem Kalorimetermantel	46
Bild B.2	— Beispiel für eine Zeit-Temperatur-Kurve.....	52

Tabellen

Tabelle 1	— Beispielwerte zu Einwaagen, Temperaturanstieg und Brennwert.....	30
Tabelle 2	— Umrechnen des Brennwertes H_{ov} auf verschiedene Bezugszustände.....	34
Tabelle 3	— Umrechnen des Heizwertes H_{up} auf verschiedene Bezugszustände.....	35
Tabelle 4	— Wiederhol- und Vergleichsgrenze für den Brennwert $H_{ov(wf)}$	37
Tabelle A.1	— Messergebnisse, Zeiten und Temperaturen.....	42
Tabelle B.1	— Messergebnisse, Zeiten und Temperaturen, Berechnungsbeispiel	51
Tabelle D.1	— Beispiel Steinkohle, Wertetabelle für Berechnungen in Tabelle D.2, Tabelle D.3, Tabelle D.4 und Tabelle D.5— Berechnung von $H_{ov(roh)}$, $H_{up(roh)}$ und $H_{uv(roh)}$	63
Tabelle D.2	— Berechnung von $H_{ov(roh)}$, $H_{up(roh)}$ und $H_{uv(roh)}$	63
Tabelle D.3	— Berechnung von $H_{ov(an)}$, $H_{up(an)}$ und $H_{uv(an)}$	63
Tabelle D.4	— Berechnung von $H_{ov(wf)}$, $H_{up(wf)}$ und $H_{uv(wf)}$	64

Tabelle D.5 — Berechnung von $Hov_{(waf)}$, $Hup_{(waf)}$ und $Huv_{(waf)}$	64
Tabelle D.6 — Beispiel schwachkalorischer Brennstoff mit Brennhilfe, Wertetabelle für Berechnungen in Tabelle D.7, Tabelle D.8, und Tabelle D.9	65
Tabelle D.7 — Berechnung von $Hov_{(roh)}$, $Hup_{(roh)}$ und $Huv_{(roh)}$	65
Tabelle D.8 — Berechnung von $Hov_{(an)}$, $Hup_{(an)}$ und $Huv_{(an)}$	65
Tabelle D.9 — Berechnung von $Hov_{(wf)}$, $Hup_{(wf)}$ und $Huv_{(wf)}$	66
Tabelle E.1 — Beispiel flüssiger Brennstoff (Heizöl EL), Wertetabelle für Berechnungen in Tabelle E.2, Tabelle E.3 und Tabelle E.4	68
Tabelle E.2 — Berechnung von $Hov_{(roh)}$, $Hup_{(roh)}$ und $Huv_{(roh)}$	69
Tabelle E.3 — Berechnung von $Hov_{(fl)}$, $Hup_{(fl)}$ und $Huv_{(fl)}$	69
Tabelle E.4 — Berechnung von $Hov_{(wf)}$, $Hup_{(wf)}$ und $Huv_{(wf)}$	69
Tabelle F.1 — Beispiele für die Auswirkung von Änderungen der Versuchsbedingungen ($V = 0,33$ L gesetzt)	71
Tabelle F.2 — Brennwert für Benzoesäure in J/g (Standard Sample 39j)	71