

Deutsche Fassung

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - In-situ-Messung an Bauwerksprüfkörpern - Teil 2: Auswertung stationärer Daten für die Prüfung des Gesamtwärmeverlustes

Thermal performance of buildings - In situ testing of
building test structures - Part 2: Steady-state data
analysis for aggregate heat loss test

Performance thermique des bâtiments - Essais in situ
des structures de bâtiments d'essai - Partie 2 : Analyse
des données en régime stationnaire pour l'essai de
déperdition thermique globale

Dieser Europäische Norm-Entwurf wird den CEN-Mitgliedern zur formellen Abstimmung vorgelegt. Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 89 erstellt.

Wenn aus diesem Norm-Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CEN-Mitglieder gehalten, die CEN-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Dieser Europäische Norm-Entwurf wurde von CEN in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch) erstellt. Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC-Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

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

Warnvermerk : Dieses Schriftstück hat noch nicht den Status einer Europäischen Norm. Es wird zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Es kann sich noch ohne Ankündigung ändern und darf nicht als Europäischen Norm in Bezug genommen werden.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe, Symbole und Einheiten	7
3.1 Begriffe	7
3.2 Symbole	8
4 Kurzbeschreibung	10
5 Unsicherheit	11
6 Eingabedaten	11
6.1 Rohdaten	11
6.2 Unregelmäßigkeiten und Unvollständigkeiten in den Daten	12
6.3 Bereinigung der Daten	12
6.4 Filterung (Mittelwertbildung)	13
6.5 Überprüfung der gemittelten Daten	13
7 Datenanalyse	14
7.1 Allgemeines	14
7.2 Einfache lineare Regression nach dem Siviour-Verfahren	14
7.3 Techniken der multiplen linearen Regression (MLR)	15
7.3.1 Allgemeines	15
7.4 Validierung: Analyse der Residuen	16
7.5 Normalverteilung der Residuen	16
7.6 Autokorrelationstest	17
8 Prüfbericht	18
8.1 Allgemeines	18
8.2 Daten über das gemessene Gebäude/Bauwerk	18
8.3 Beschreibung des Versuchsaufbaus	19
8.4 Bedingungen während der Messung	19
8.5 Vorverarbeitung der Daten	19
8.6 Schätzung des Gesamtwärmetransferkoeffizienten und der zugehörigen Unsicherheiten	20
8.7 Ergänzende und unterstützende Messungen	20
8.8 Abschätzung der zugehörigen Unsicherheiten	20
Anhang A (normativ) Grenzen und Fehlerquellen	21
A.1 Allgemeines	21
A.2 Grenzen und Fehler aufgrund von Unsicherheiten des Versuchs	21
A.2.1 Temperaturmessungen	21
A.2.2 Messungen der Sonneneinstrahlung	21
A.2.3 Leistungsaufnahme	21
A.2.4 Falscher Wärmefluss durch unzureichenden Schutz	22
A.2.5 Innere Temperaturabweichungen und -schwankungen	22
A.2.6 Temperaturgleichmäßigkeit	22
A.3 Grenzen und Fehler aufgrund von Modellunsicherheiten	22
A.3.1 Allgemeines	22
A.3.2 Gespeicherte Wärme	22
A.3.3 Messungen der Sonneneinstrahlung	23
A.3.4 Schwankungen aufgrund von Windgeschwindigkeit	23
A.3.5 Auswirkungen der Luftfeuchte	23
A.3.6 Jahreszeitliche Schwankungen	23
A.3.7 Nicht-direkter Wärmedurchgang	23
A.3.8 Regressionsfehler	23
A.3.9 Vergleich von berechneten und abgeschätzten Werten	24

Anhang B (normativ) Verfahren zur Abschätzung der experimentellen Unsicherheit	25
B.1 Allgemeines	25
B.2 Verfahren zur Abschätzung der Unsicherheit	25
B.3 Abschätzung der Beiträge zur Unsicherheit	27
B.3.1 Unsicherheit in $T_i \pm u(T_i)$	27
B.3.2 Unsicherheit in $T_e \pm u(T_e)$	28
B.3.3 Unsicherheit in $P_h \pm u(P_h)$	28
B.3.4 Unsicherheit aufgrund des Wärmeübergangs zwischen Trennwänden	28
B.3.5 Unsicherheit in q_{sw}	29
B.3.6 Weitere unbestimmte Unsicherheiten	29
B.3.7 Zusammenfassung zusätzlicher Quellen der Unsicherheit	30
B.3.8 Zusammenfassung von experimenteller und statistischer Unsicherheit	30
Anhang C (normativ) Verfahren zur Datenanalyse	31
C.1 Normalisierte Messunsicherheiten	31
C.2 Normalisierte Messunsicherheiten	31
C.3 Entscheidungsbaum (basierend auf den Kriterien der normalisierten Messunsicherheiten)	31
C.3.1 Entscheidungsbaum	31
C.3.2 OLS-Methode mit vertikalen Residuen	32
C.3.3 OLS-Methode mit horizontalen Residuen	33
C.3.4 RMA-Methode	35
C.3.5 Statistische Tabellen	37
Anhang D (informativ) Beispiel für die Analyse der Prüfdaten zum Wärmeverlust von Gebäuden	40
D.1 Allgemeines	40
D.2 Beschreibung des Datensatzes	40
D.3 Beispiel für die Abschätzung der Messunsicherheit	41
D.4 Siviour-Methode	43
D.4.1 Schätzung von H mit der Siviour-Methode und statistischer Unsicherheit	43
D.4.2 Übertragung der Messunsicherheit (siehe Anhang B) — Gesamtunsicherheit	45
D.5 Multiple lineare Regressionsanalyse (MLR)	46
D.6 Validierungsverfahren	47
Anhang E (informativ) Praktische Empfehlungen	50
E.1 Allgemeines	50
E.2 Vorläufige Überprüfung der Residuen	50
E.3 Auswertung auf der Grundlage von Vertrauensintervallen	50
E.4 Bewertung der charakteristischen Parameter und einzelner Parameter mit physikalischer Bedeutung	50
E.5 Statistische Analyse der Residuen	51
E.6 Kreuzvalidierung	51
Literaturhinweise	52

Bilder

Bild 1 — Beispiel einer linearen Regressionsanalyse	15
Bild 2 — Zweidimensionales Streudiagramm	16
Bild 3 — Residuen als Funktion der Zeit	17
Bild 4 — Autokorrelationsfunktion (Y) für jede Verzögerung (X) und 95 % Vertrauensintervall	18
Bild C.1 — Entscheidungsbaum	32
Bild C.2 — Beispiel für ein lineares Regressionsdiagramm mit vertikalen Residuen	33
Bild C.3 — Beispiel für ein lineares Regressionsdiagramm mit horizontalen Residuen	35
Bild C.4 — Beispiel für ein lineares Regressionsdiagramm mit orthogonalen Residuen	37
Bild D.1 — Ein Beispiel für eine Siviour-Regressionsskurve mit Unsicherheitsabschätzungen	46
Bild D.2 — Homoskedastizitäts- und Diagramm der Normalverteilung der Residuen für die OLS-Methode (Siviour-RMA)	48
Bild D.3 — Autokorrelationstestdiagramm für die OLS-Methode (Siviour-RMA)	48

Bild D.4 — Ein Beispiel für die Darstellung der Homoskedastizität und der Normalverteilung der Residuen für MLR (unverzerrtes Modell)	49
Bild D.5 — Shapiro-Wilk-Test: Autokorrelationstestdiagramm für MLR (unverzerrtes Modell) . .	49

Tabellen

Tabelle 1 — Symbole und Einheiten	8
Tabelle 2 — Regressionsverfahren	14
Tabelle C.1 — Lineare Regression mit vertikalen Residuen	32
Tabelle C.2 — Lineare Regression mit horizontalen Residuen	34
Tabelle C.3 — Lineare Regression mit orthogonalen Residuen	36
Tabelle C.4 — Koeffizient für den Zweistichproben-t-Test	37
Tabelle C.5 — Fisher-Koeffizient	38
Tabelle D.1 — Für die Analyse verwendete Tagesmittelwerte	40
Tabelle D.2 — Unsicherheiten vom Typ A und Typ B für Eingangsvariablen	41
Tabelle D.3 — Messunsicherheiten bei Eingangsvariablen	42
Tabelle D.4 — Fehlerfälle, Empfindlichkeitskoeffizienten und Beitrag zur Unsicherheit von Eingangsgrößen	43
Tabelle D.5 — Tagesdaten zur Verwendung in der Siviour-Analyse	44
Tabelle D.6 — Tageswerte, Unsicherheiten und normalisierte Unsicherheiten in X und Y	45
Tabelle D.7 — Regressionsschätzungen und Unsicherheiten	45
Tabelle D.8 — Vergleich der Ergebnisse von Siviour- und MLR-Analyse	47
Tabelle D.9 — Shapiro-Wilk-Test: Bivariater Test der Normalverteilung für die OLS-Methode (Siviour-RMA)	47
Tabelle D.10 — Shapiro-Wilk-Test: Homoskedastizität und Normalverteilung für die OLS-Methode (Siviour-RMA)	47
Tabelle D.11 — Shapiro-Wilk-Test: Homoskedastizität und Normalverteilung der Residuen für MLR (unverzerrtes Modell)	48

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (FprEN 17888-2:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SIS gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur formellen Abstimmung vorgelegt.

Einleitung

FprEN 17888-1 beschreibt ein Prüfverfahren, mit dem der tatsächliche Gesamtwärmeverlust des Bauprüfkörpers (Wärmetransferkoeffizient des Gebäudes) *In-situ* quantifiziert werden kann. Dieses Prüfverfahren wird als Verfahren zur Prüfung des Gesamtwärmeverlustes bezeichnet. Dieses Dokument (Teil 2) befasst sich vorrangig mit numerischen Berechnungsverfahren, die auf stationären linearen Regressionstechniken basieren. Die mit diesen Verfahren erhaltenen Ergebnisse sind nur unter der Annahme gültig, dass in erster Näherung die Daten durch diese mathematischen und physikalischen Gesetze beschrieben werden können. Es werden daher statistische Tests zur Überprüfung der Gültigkeit dieser Annahmen angegeben. Dies führt auch zur Bestimmung eines Gesamtwärmetransferkoeffizienten für den geprüften Baukörper, zusammen mit der mit diesem Koeffizienten verbundenen Unsicherheit. Sowohl der Gesamtwärmetransferkoeffizient des Bauprüfkörpers als auch seine Unsicherheit können als Ergebnis dieses Dokuments berechnet werden. Das Berichtsformat bezüglich der Prüfdaten und der daraus resultierenden Analyse wird ebenfalls beschrieben.

Dieses Dokument steht in engem Zusammenhang mit FprEN 17888-1, für die es ausschließlich gilt. Es ergänzt auch FprEN 17887-1, die sich ausschließlich auf fertige Gebäude bezieht.

In erster Linie helfen Wärmeprüfungen an realen Gebäuden und die zugehörige Datenanalyse bei der Bestimmung der Gesamtleistung von Gebäuden, die in der Regel durch vorteilhaft ausgerichtete Verglasungsflächen freie solare Gewinne nutzen. In diesem Fall sind diese solaren Gewinne willkommen und tragen dazu bei, den Energiebedarf für das Heizen des Gebäudes zu senken. Der Gesamtwärmeverlustkoeffizient, der aus der Datenanalyse eines solchen realen Gebäudes extrahiert wird, wird dann durch die zugehörigen solaren Gewinne minimiert und kann dazu beitragen, den tatsächlichen Energiebedarf des untersuchten Baukörpers unter Berücksichtigung der Wetterbedingungen besser zu verstehen.

Im zweiten Fall ist es von Interesse (als Beispiel), sich auf das wärmetechnische Gesamtverhalten von lichtundurchlässigen Baukörpern zu konzentrieren, um das Verhalten unter Wärmeeinfluss des Baukörpers in Verbindung mit denselben klimatischen Mustern genauer zu analysieren. Aus diesem Grund werden direkte solare Gewinne durch Verglasungsflächen aus der Studie ausgeschlossen, indem vorzugsweise lichtundurchlässige Baukörper geprüft werden. In den meisten Fällen ist im Winter der solare Gewinn durch lichtundurchlässige, gedämmte Oberflächen gering, so dass der Energiebedarf für die Heizung hauptsächlich von der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenbereich abhängt. Dennoch bietet dies auch die Möglichkeit, *In-situ*-Prüfungen durchzuführen, um die Effizienz von passiven Solarsystemen zu bewerten, die dazu beitragen würden, den Energiebedarf des geprüften Baukörpers zu minimieren.

Dieses Dokument beschreibt die für die Analyse erforderlichen Eingabedaten, verschiedene statistische Verfahren, die zur Analyse der Daten verwendet werden können, die mit den Messungen verbundene Unsicherheit und das Berichtsformat.

Ausführliche Anforderungen an das Prüfverfahren und die Datenaufzeichnung sind in FprEN 17888-1 festgelegt.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Verfahren zur stationären Datenanalyse fest, um die Daten aus dem „Verfahren zur Prüfung des Gesamtwärmeverlustes“ auszuwerten. Diese Analyseverfahren ermöglichen es, den tatsächlichen *In-situ*-Gesamtwärmeverlust (Wärmetransferkoeffizient des Gebäudes) abzuschätzen.

ANMERKUNG Das Verfahren zur Prüfung des Gesamtwärmeverlustes ist in FprEN 17888-1:2023 festgelegt.

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 5479, *Statistical interpretation of data — Tests for departure from the normal distribution*

FprEN 17888-1:2023, *Thermal performance of buildings — In situ testing of building test structure — Part 1: Data collection for aggregate heat loss test*

3 Begriffe, Symbole und Einheiten

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN ISO 7345, EN ISO 9229 und die folgenden Begriffe.

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

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

3.1 Begriffe

3.1.1

Gesamtwärmetransferkoeffizient

Summe aus Transmissions- und Infiltrationskomponente des Lüftungswärmetransferkoeffizienten auf der Grundlage von Messungen nach dieser Prüfnorm

3.1.2

Außentemperatur (Innentemperatur) der Luft

Temperatur der Außenluft (Innenluft), gemessen mit äußeren (inneren) Lufttemperatursensoren

3.1.3

Wärmetransferkoeffizient

Quotient aus dem Wärmestrom und der Temperaturdifferenz zwischen zwei Umgebungen; speziell angewendet für den Wärmetransfer durch Transmission oder Lüftung

[QUELLE: EN ISO 13789:2017, 3.5]

3.1.4

Innenraumtemperatur

Lufttemperatur, gemessen in der geometrischen Mitte des Raums

3.1.5

Gesamtinnentemperatur des Gebäudes

mittlere Lufttemperatur aller gemessenen Innenraumtemperaturen