

DIN EN 17888-2



ICS 91.120.10

Einsprüche bis 2022-11-09

Entwurf

**Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden –
In-situ-Messung an Bauwerksprüfkörpern –
Teil 2: Auswertung stationärer Daten für die Prüfung des
Gesamtwärmeverlustes;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17888-2:2022**

Thermal performance of buildings –

In situ testing of building test structures –

Part 2: Steady-state data analysis for aggregate heat loss test;

German and English version prEN 17888-2:2022

Performance thermique des bâtiments –

Mesurage in-situ de bâtiment d'essai –

Partie 2: Analyse des données en régime permanent pour le test de perte de chaleur globale;

Version allemande et anglaise prEN 17888-2:2022

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-09-09 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 nabau@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 Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 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 103 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17888-2:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SIS (Schwedisch) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-56-98 AA „Wärmetechnisches Messen (SpA zu CEN/TC 89/WG 8, WG 12, WG 13 und WG 14, ISO/TC 163/SC 1/WG 15, WG 16, WG 20 und WG 21)“ im DIN-Normenausschuss DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

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

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

ISO 7345:2018 siehe DIN EN ISO 7345:2018-07

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 7345:2018-07, *Wärmeverhalten von Gebäuden und Baustoffen — Physikalische Größen und Definitionen (ISO 7345:2018); Deutsche Fassung EN ISO 7345:2018*

<i>Titel de:</i>	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden — In-situ-Messung an Bauwerksprüfkörpern — Teil 2: Auswertung stationärer Daten für die Prüfung des Gesamtwärmeverlustes
<i>Titel en:</i>	Thermal performance of buildings — In situ testing of building test structures — Part 2: Steady-state data analysis for aggregate heat loss test
<i>Titel fr:</i>	Performance thermique des bâtiments — Mesurage in-situ de bâtiment d'essai — Partie 2: Analyse des données en régime permanent pour le test de perte de chaleur globale

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
3.1 Begriffe	6
3.2 Symbole	7
4 Allgemeine Grundsätze	9
5 Unsicherheit	10
6 Eingabedaten	10
6.1 Rohdaten	10
6.2 Unregelmäßigkeiten und Unvollständigkeiten in den Daten	11
6.3 Bereinigung der Daten	11
6.4 Filterung (Mittelwertbildung)	12
6.5 Überprüfung der gemittelten Daten	12
7 Datenanalyse	13
7.1 Allgemeines	13
7.2 Einfache lineare Regression nach dem Siviour-Verfahren	13
7.3 Techniken der multiplen linearen Regression (MLR)	14
7.3.1 Allgemeines	14
7.4 Validierung: Analyse der Residuen	15
7.5 Normalverteilung der Residuen	15
7.6 Autokorrelationstest	16
8 Prüfbericht	17
8.1 Allgemeines	17
8.2 Daten über das gemessene Gebäude/Bauwerk	17
8.3 Beschreibung des Versuchsaufbaus	17
8.4 Bedingungen während der Messung	18
8.5 Vorverarbeitung der Daten	18
8.6 Abschätzung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten und der zugehörigen Unsicherheiten	19
8.7 Ergänzende und unterstützende Messungen	19
8.8 Schätzung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten und der zugehörigen Unsicherheiten	19
Anhang A (normativ) Grenzen und Fehlerquellen	20
A.1 Allgemeines	20
A.2 Grenzen und Fehler aufgrund von Unsicherheiten des Versuchs	20
A.2.1 Temperaturmessungen	20
A.2.2 Messungen der Sonneneinstrahlung	20
A.2.3 Leistungsaufnahme	21
A.2.4 Falscher Wärmeffluss durch unzureichenden Schutz	21
A.2.5 Innere Temperaturabweichungen und -schwankungen	21
A.2.6 Temperaturgleichmäßigkeit	21

A.3	Grenzen und Fehler aufgrund von Modellunsicherheiten.....	21
A.3.1	Gespeicherte Wärme.....	21
A.3.2	Messungen der Sonneneinstrahlung.....	22
A.3.3	Schwankungen aufgrund von Windgeschwindigkeit.....	22
A.3.4	Auswirkungen der Luftfeuchte.....	22
A.3.5	Jahreszeitliche Schwankungen.....	22
A.3.6	Nicht-direkter Wärmedurchgang.....	22
A.3.7	Regressionsfehler.....	22
A.4	Vergleich von berechneten und abgeschätzten Werten	23
Anhang B (normativ) Verfahren zur Abschätzung der experimentellen Unsicherheit.....		24
B.1	Allgemeines	24
B.2	Verfahren zur Abschätzung der Unsicherheit	24
B.3	Abschätzung der Beiträge zur Unsicherheit.....	26
B.3.1	Unsicherheit in $T_i \pm u(T_i)$	26
B.3.2	Unsicherheit in $T_e \pm u(T_e)$	27
B.3.3	Unsicherheit in $P_h \pm u(P_h)$	27
B.3.4	Unsicherheit aufgrund des Wärmeübergangs zwischen Trennwänden	27
B.3.5	Unsicherheit in q_{sw}	28
B.3.6	Weitere unbestimmte Unsicherheiten	28
B.3.7	Zusammenfassung zusätzlicher Quellen der Unsicherheit.....	29
B.3.8	Zusammenfassung von experimenteller und statistischer Unsicherheit.....	29
Anhang C (normativ) Verfahren zur Datenanalyse.....		30
C.1	Normalisierte Messunsicherheiten	30
C.2	Normalisierte Messunsicherheiten	30
C.3	Entscheidungsbaum (basierend auf den Kriterien der normalisierten Messunsicherheiten).....	30
C.3.1	OLS-Methode mit vertikalen Residuen.....	31
C.3.2	OLS-Methode mit horizontalen Residuen.....	32
C.3.3	RMA-Methode	32
Anhang D (informativ/normativ) Statistische Tabellen.....		35
Anhang E (informativ) Beispiel für die Analyse der Prüfdaten zum Wärmeverlust von Gebäuden.....		37
E.1	Allgemeines	37
E.2	Beschreibung des Datensatzes.....	37
E.3	Beispiel für die Abschätzung der Messunsicherheit	38
E.4	Sivour-Methode	40
E.4.1	Schätzung von H mit der Sivour-Methode und statistischer Unsicherheit	40
E.4.2	Übertragung der Messunsicherheit (siehe Anhang B).....	42
E.4.3	Gesamtunsicherheit	42
E.5	MLR-Analyse.....	43
E.6	Validierungsverfahren	44
Anhang F (informativ) Praktische Empfehlungen.....		47
F.1	Allgemeines	47
F.2	Vorläufige Überprüfung der Residuen	47
F.3	Auswertung auf der Grundlage von Vertrauensintervallen	47
F.4	Bewertung der charakteristischen Parameter und einzelner Parameter mit physikalischer Bedeutung.....	47
F.5	Statistische Analyse der Residuen	48
F.6	Kreuzvalidierung.....	48
Literaturhinweise.....		49

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17888-2:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SIS gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Einleitung

prEN 17888-1 beschreibt ein Prüfverfahren, mit dem der tatsächliche Gesamtwärmeverlust des Bauprüfkörpers (Wärmedurchgangskoeffizient 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 Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten für das geprüfte Gebäude, zusammen mit der mit diesem Koeffizienten verbundenen Unsicherheit. Sowohl der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient des Gebäudes 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 prEN 17888-1, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden — In-situ-Messung an Bauwerksprüfkörpern — Teil 1: Datenerfassung für die Prüfung des Gesamtwärmeverlustes*, für die es ausschließlich gilt. Sie ergänzt auch prEN 17887-1, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden — In-situ-Prüfung an fertiggestellten Gebäuden — Teil 1: Datenerfassung für die Prüfung des Gesamtwärmeverlustes*, die sich auf neu errichtete und bestehende 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 prEN 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 (Wärmedurchgangskoeffizient des Gebäudes) abzuschätzen.

ANMERKUNG Das Verfahren zur Prüfung des Gesamtwärmeverlustes ist in prEN 17888-1:2022, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden — In-situ-Messung an Bauwerksprüfkörpern — Teil 1: Datenerfassung für die Prüfung des Gesamtwärmeverlustes*, festgelegt.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

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

3.1 Begriffe

3.1.1

Gesamtwärmedurchgangskoeffizient

H_{agg}

Summe des Transmissionswärmetransferkoeffizienten (H_{tr}) und des Infiltrationsanteils des Lüftungswärmetransferkoeffizienten (H_v) auf der Grundlage von Messungen nach dieser Prüfnorm

3.1.2

Außentemperatur (Innentemperatur)

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

3.1.3

Wärmedurchgangskoeffizient

H

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

3.1.4

Innenraumtemperatur

Lufttemperatur, gemessen in der geometrischen Mitte des Raums

3.1.5

Gesamtinnentemperatur des Gebäudes

mittlere Lufttemperatur aller gemessenen Innenraumtemperaturen

3.1.6

solarer Wärmegewinn

Wärme, die durch die Sonnenstrahlung erzeugt wird, die direkt oder indirekt nach der Absorption durch Bauteile, durch Fenster, opake Wände und Dächer oder passive solare Einrichtungen wie Wintergärten, transparente Dämmungen und Solarwände in ein Gebäude eindringt

3.1.7

Temperaturdifferenz

ΔT

Differenz zwischen der Gesamtinnentemperatur des Gebäudes und der Außenlufttemperatur

3.1.8

innere Solltemperatur für die Prüfung

Gesamtinnentemperatur des Gebäudes, die erforderlich ist, um die Mindesttemperaturdifferenz (ΔT) für die Dauer der Prüfung zu erreichen

3.1.9

Transmissionswärmetransferkoeffizient

H_{tr}

Wärmestrom, der durch Transmission durch ein Gebäudeelement auftritt, geteilt durch die Differenz zwischen der Temperatur der Umgebung auf beiden Seiten des Elements

Anmerkung 1 zum Begriff: Vereinbarungsgemäß gilt für einen Wärmestrom zwischen einem konditionierten Raum und der äußeren Umgebung ein positives Vorzeichen, wenn der Wärmestrom vom Innenraum nach außen erfolgt (Wärmeverlust).

3.1.10

Lüftungswärmetransferkoeffizient

H_v

Wärmestrom, der durch aufgrund von Lufteintritt oder Lüftung in einen konditionierten Raum eintretende Luft erfolgt, geteilt durch die Differenz zwischen der Temperatur im Innenraum und der einströmenden Luft

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Temperatur der einströmenden Luft bei Lufteintritt ist gleich der Außentemperatur.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei dieser Analyse wird die vorgesehene Lüftungskomponente des Lüftungswärmetransferkoeffizienten (H_v) in der Regel weggelassen und nur die Infiltrationskomponente in den Wärmedurchgangskoeffizienten (H) einbezogen, da die vorgesehenen Lüftungswege während der in prEN 17888-1 beschriebenen Prüfung abgedichtet werden.

3.2 Symbole

Symbol	Beschreibung	Einheit
Eingaben für die Regressionsanalysen		
P_h	Elektrische Wärmeleistung	W
q_{sw}	Globaler Solarfluss (gemessene oder berechnete solare Bestrahlungsstärke bezogen auf die südliche vertikale Wand oder Fassade, die voraussichtlich den größten Anteil der solaren Gewinne erhält)	W/m ²
T_i	Temperatur der Innenluft	K
T_e	Außenlufttemperatur	K
ΔT	Temperaturdifferenz zwischen der Gesamtinnentemperatur des Gebäudes und der Außenlufttemperatur	K

Symbol	Beschreibung	Einheit
Parameter		
H	Wärmedurchgangskoeffizient (global, einschließlich der Verluste durch Transmission und Belüftung oder Luftinfiltration)	W/K
H_{agg}	Gesamtwärmedurchgangskoeffizient	W/K
H_{tr}	Transmissionswärmetransferkoeffizient	W/K
H_v	Lüftungswärmetransferkoeffizient	W/K
H_i	Koeffizient der inneren Wärmegewinne	W/K
H_e	Koeffizient der äußeren Wärmegewinne	W/K
B_0	Bias-Term	W/K
A_{sw}	Äquivalente Sonnenapertur	m ²
θ	Vektor der Parameter des Modells	—
X	Explizierende Matrix des Modells	—
Y	Vektor der explizierten Werte des Modells	—
Intermediäre Größen		
B'_0	Achsenabschnitt für die invertierte lineare Regression	W/m ²
B'_1	Neigung für die invertierte lineare Regression	m ²
β^*_1	Dimensionslose Neigung	—
$A, H, d, \lambda_1, \lambda_2$	Innerer Parameter	—
SF	Maßstabsfaktor	—
λ	Lagrange-Gewichtungskoeffizient	—
Allgemeine statistische Notation		
r^2	Pearson-Korrelationskoeffizient	—
r	Bestimmtheitsmaß	—
ε	Residuen des Modells	W oder W/K
SQR	Residuenquadratsumme	W ² oder W ² /K ²
$t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1}$	Student-Koeffizient für einen Zweistichproben-t-Test mit $(n - 2)$ Freiheitsgraden	—
$F_{(\alpha; v_1; v_2)}$	Fisher-Koeffizient für $v_1 = 1$ und $\alpha = 5 \%$, mit $v_2 = (n - 2)$ Freiheitsgraden	—
n	Anzahl der für die Regression verwendeten Punkte	—
$n_{sensors}$	Anzahl der eingesetzten Sensoren	—
$n_{party\ wall}$	Anzahl der Trennwände	—
$Var(\theta)$	Varianz-Kovarianz-Matrix für den Vektor der Parameter des Modells	—
ACF	Autokorrelationsfunktion	—

Symbol	Beschreibung	Einheit
Anderer Index und Notation		
B	Tabelle, Vektor oder Matrix	—
B^T	Transponierte B-Matrix	—
B^{-1}	Invertierte B-Matrix	—
x^*	Dimensionslos	—
$\hat{X}$	Beste Abschätzung der Zufallsvariablen X	—
$\bar{X}$	Mittelwert der Zufallsvariablen X	—
Var(X)	Standardabweichung der Zufallsvariablen X	—
Cov(X,Y)	Kovarianz zwischen den Zufallsvariablen X und Y	—
$s(x)$	Experimentelle Standardabweichung der Zufallsvariablen X	—
$u(x)$	Standardunsicherheit der Größe X	—
$U(X)$	Erweiterte Unsicherheit der Größe X (mit einem zweiseitigen Vertrauensintervall von 95 %)	—
k	Erweiterungsfaktor für die erweiterte Unsicherheit ($k = 2$ für 95 % Vertrauensintervall)	—

4 Allgemeine Grundsätze

Die Analyse der Gesamtwärmeverluste des Gebäudes muss nach der Energiebilanzgleichung (1) berechnet werden, wobei davon ausgegangen wird, dass die eingesetzte Wärmeleistung (P_h) durch Wärmeverluste und den solaren Strahlungstransfer ausgeglichen wird:

$$P_h = H_{agg} \cdot (T_i - T_e) - A_{sw} \cdot q_{sw} \quad (1)$$

Dabei ist

P_h	die von den Heizgeräten zugeführte und von den Ventilatoren abgeführte elektrische Energie [W];
H_{agg}	der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient, der den Transmissionswärmetransferkoeffizienten und die Infiltrationskomponente des Lüftungswärmetransferkoeffizienten kombiniert [W/K];
$T_i - T_e = \Delta T$	die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft [K];
A_{sw}	die solare Apertur [m ²];
q_{sw}	die gemessene oder berechnete solare Bestrahlungsstärke [W/m ²].

Der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient H_{agg} und die solare Apertur A_{sw} drücken die Beziehung zwischen den Variablen elektrische Wärmeleistung P_h , q_{sw} und ΔT in der Regressionsanalyse aus.

Die solare Apertur ist ein Parameter, der die solaren Gewinne beschreibt, die auf das Gebäude als Ganzes treffen, einschließlich diffuser Gewinne, direkter Gewinne durch Verglasungen aller Ausrichtungen und der Gewinne durch Sonneneinstrahlung, die auf lichtundurchlässige Elemente trifft. Er kann als globale solare

Apertur verstanden werden, der den Einfluss der nicht senkrecht einfallenden Sonneneinstrahlung, der Geometrie und Ausrichtung des Baukörpers (einschließlich möglicher Schatten), der solaren Absorption an lichtundurchlässigen Flächen, des solaren Energiedurchlassfaktors und der Verglasungsfläche der Gebäudehülle berücksichtigt. A_{sw} kann experimentell anhand der Prüfdaten für den Gesamtwärmeverlust des Gebäudes abgeschätzt werden.

Der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient H_{agg} kann als eine Mischung aus Wärmeverlusten durch Transmission- und, da die Lüftungsöffnungen während der Prüfung abgedichtet sind, der Infiltrationskomponente der Lüftung durch die Gebäudehülle des geprüften Gebäudes, H_v , ermittelt werden.

$$H_{agg} = H_{tr} + H_v H = H_{tr} + H_v \quad (2)$$

Der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient kann aus quasistationären Messungen unter Verwendung der Energiebilanzgleichung (1) abgeleitet werden. Unter der Annahme, dass dieses Energiebilanzmodell zutrifft, können verschiedene Identifizierungstechniken, die alle auf linearen Regressionsverfahren basieren, zur Abschätzung der interessierenden Parameter verwendet werden. Insbesondere können einfache oder mehrfache lineare Regressionsverfahren auf Prüfdaten für den Gesamtwärmeverlust des gesamten Gebäudes (zeitlich gemittelte Datenpunkte für P_h , q_{sw} und ΔT) angewendet werden.

5 Unsicherheit

Die Genauigkeit, Reproduzierbarkeit und Interpretation von Abschätzungen der Wärmedurchgangskoeffizienten wird durch mehrere Faktoren eingeschränkt, die sowohl mit experimentellen als auch mit statistischen Unsicherheiten zusammenhängen. Die Grenzen der Unsicherheit bei den Prüfergebnissen für den Gesamtwärmeverlust des Gebäudes hängen mit einer Reihe von Beschränkungen und Fehlerquellen zusammen, die in Anhang A aufgeführt sind. Diese in Anhang A aufgeführten Beschränkungen und Fehlerquellen müssen sowohl bei der Datenerfassung als auch bei der Datenanalyse beachtet werden. Die verbleibende Unsicherheit bei den Abschätzungen des Wärmedurchgangskoeffizienten muss dann abgeschätzt und mit den Ergebnissen angegeben werden.

In diesem Dokument werden zwei Verfahren zur Abschätzung der Unsicherheit vorgestellt:

- a) die experimentelle Unsicherheit muss mit dem GUM-Verfahren (JCGM 100:2008) abgeschätzt werden und kann sowohl Typ A (statistische Analyse von Beobachtungen) als auch Typ B (nicht-statistische Analyse, z. B. Vorwissen, frühere Versuche usw.) umfassen, um eine angegebene Unsicherheit für eine Abschätzung des Wärmedurchgangskoeffizienten zu erhalten. Ein Beispiel für diese Analyse ist in Anhang B enthalten;
- b) die statistische Unsicherheit muss auf der Grundlage der Residuen zwischen den besten Abschätzungen und den gemessenen Datenpunkten abgeschätzt werden. Die statistische Unsicherheit ist in Anhang B definiert und muss verwendet werden, um das am besten geeignete Regressionsverfahren zu bestimmen. Die statistische Unsicherheit darf mit der experimentellen Unsicherheit kombiniert werden, um eine erhöhte Fehlerabschätzung zu erhalten (8.5).

Der Wärmedurchgangskoeffizient H [W/K], die solare Apertur A_{sw} [m²] und die zugehörigen Unsicherheiten müssen im Bericht nach 8.7 angegeben werden.

6 Eingabedaten

6.1 Rohdaten

Der Rohdatensatz erfordert mindestens 15 Tage ununterbrochener Aufzeichnungen ohne Unterbrechungen. Die Messungen im Rohdatensatz müssen unverzerrt sein und diese Anforderungen erfüllen:

- Sensoren müssen kalibriert sein, um konstante Fehler zu korrigieren (unverzerrte Sensoren);

- Messungen sind repräsentativ für den physikalischen Parameter. Beispielsweise müssen die Messungen der Innentemperatur von mehreren unabhängigen Temperatursensoren gemittelt werden, um die räumliche Streuung aufgrund der Luftschichtung darzustellen.

ANMERKUNG Die Anforderungen zum Erfüllen dieser Bedingungen sind in prEN 17888-1 beschrieben.

6.2 Unregelmäßigkeiten und Unvollständigkeiten in den Daten

Eine Analyse der Rohdaten ist entscheidend, um Schwierigkeiten bei der anschließenden Modellierung zu reduzieren und aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Ziel dieser Analyse muss es sein, Auffälligkeiten, sogenannte Unregelmäßigkeiten, sowie Ausreißer, Messfehler und fehlende Daten aufzuzeigen. Diese Probleme werden häufig entweder durch den Versuchsaufbau, das Messgerät oder die Datenverarbeitung verursacht. Eine Liste häufig auftretender Auffälligkeiten im Rohdatensatz, die bei den Modellierungs- und Abschätzungsschritten zu Problemen führen können, wie Nichtlinearität und Ausreißer, ist in Anhang A enthalten.

Es ist zunächst erforderlich, den Rohdatensatz (für alle Eingangsvariablen) als Funktion des in prEN 17888-1 aufgezeichneten Zeitschritts aufzutragen, um auf Ausreißer, Messfehler, fehlende Daten und mögliche Unregelmäßigkeiten zu prüfen.

ANMERKUNG Streudiagramme von Messwertpaaren wie Energieverbrauch und Temperaturdifferenz können ebenfalls aufschlussreich sein, um Muster und Korrelationen zwischen Variablen aufzuzeigen.

Alle diese Unregelmäßigkeiten müssen aus dem Rohdatensatz entfernt werden. Abschließend muss die Qualität des verbleibenden Datensatzes (bereinigter Datensatz) geprüft werden, so dass:

- alle Unregelmäßigkeiten insgesamt nicht mehr als 10 % der Gesamtdatenmenge ausmachen dürfen;
- Unregelmäßigkeiten für jeden Dateneingang (d. h. T_i , T_e , q_{sw} und P_h) dürfen jeweils nicht mehr als 15 % entsprechen (d. h. nicht mehr als 15 % Unregelmäßigkeiten für den T_i -Datensatz, auch wenn es keine anderen Unregelmäßigkeiten für T_e , q_{sw} und P_h gibt);
- die Zeit ohne Daten (oder mit Unregelmäßigkeiten) 50 min (basierend auf einem 24 h-Aggregationszeitraum) oder 4 % für die P_h -Messung nicht überschreiten darf, da diese als akkumulierter Durchfluss mit einem Energiezähler gemessen wird;
- die Zeit ohne Daten (oder mit Unregelmäßigkeiten) bei T_i -, T_e - und q_{sw} -Messungen 3 h nicht überschreiten darf. Wenn eine der oben genannten Unregelmäßigkeiten überschritten wird, gilt die Prüfung als ungültig.

Jede entfernte Unregelmäßigkeit muss im Prüfbericht aufgezeichnet werden, zusammen mit einer kurzen Begründung ihrer Entfernung (siehe 8.4).

6.3 Bereinigung der Daten

Häufig müssen die zu Beginn der Prüfung aufgezeichneten Daten entfernt werden, da das Gebäude gerade aufgeheizt wird und die thermische Masse aufgeladen wird. Sobald sich die thermische Masse des Gebäudes aufgeladen hat, sollte sich die elektrische Energieaufnahme in das Gebäude stabilisieren und nur noch von den äußeren Umweltbedingungen beeinflusst werden.

Experimentelle Überhitzungsperioden aufgrund von unkontrolliertem Wärmeeintrag durch solare Gewinne müssen ausgeschlossen werden, um eine konstante mittlere Innentemperatur während der Prüfung der Wärmeverluste des Gebäudes aufrecht zu erhalten.

Unregelmäßigkeiten bei T_i , T_e und q_{sw} müssen durch lineare Interpolationen korrigiert und im Bericht aufgezeichnet werden, zusammen mit einer kurzen Begründung für die Korrektur und einer Beschreibung des Interpolationsverfahrens (siehe 8.4).

6.4 Filterung (Mittelwertbildung)

Die Auswirkungen des dynamischen Verhaltens müssen durch Tiefpassfilterung der Zeitreihen minimiert werden; durch Resampling der Zeitreihen – d. h. Aggregation der gemessenen Datenpunkte zu längeren Zeitintervallen (z. B. 24 h). Das geeignete Intervall für die Wiederholungsprüfung hängt davon ab, wie schnell die Bausubstanz auf äußere Umweltbedingungen anspricht: Für gedämmte Gebäude sind in der Regel eintägige (24 h) Durchschnittswerte angemessen, während für hochleistungsfähige (gut gedämmte oder schwere) Gebäude ein größeres Resamplingintervall erforderlich sein kann.

Das folgende Verfahren muss angewendet werden, um ein geeignetes Intervall für das Resampling auszuwählen:

- a) es wird mit einem kurzen Intervall für das Resampling (d. h. 24 h-Mittelwerte) begonnen, die gemittelten Daten werden überprüft (siehe 6.5) und statistisch ausgewertet (siehe Abschnitt 7);
- b) die Residuen werden auf Autokorrelation untersucht und es wird geprüft, ob die Kreuzkorrelation zu den Eingängen, insbesondere zur Sonneneinstrahlung, nicht signifikant ist (siehe Schritt der Modellvalidierung in Abschnitt 7);
- c) wenn die Residuen nicht autokorreliert sind und keine signifikante Kreuzkorrelation vorliegt, wird das Resampling beendet und die Ergebnisse werden angegeben (siehe Abschnitt 8);
- d) wenn Residuen autokorreliert sind oder eine signifikante Kreuzkorrelation vorliegt, wird die Zeit für das Resampling um 24 h erhöht, bis Residuen mit weißem Rauschen erhalten werden (siehe 7.6);
- e) es muss das gleiche Zeitintervall für die Mittelwertbildung für alle Signale verwendet werden.

Es ist wichtig, dass eine ganze Zahl von 24 h verwendet wird, um eine Beeinflussung durch dynamische Effekte zu minimieren. Obwohl ein Tagesdurchschnitt mit dem Zeitraum von 00:00 Uhr bis 23:59 Uhr üblich ist, darf ein Zeitraum von 06:00 Uhr bis 05:59 Uhr berücksichtigt werden, der oftmals besser geeignet ist, da er mehr Zeit ermöglicht, um solare Gewinne von der thermischen Masse eines geprüften Gebäudes innerhalb desselben Aggregationszeitraums erneut aufzunehmen. Es darf auch ein Zeitraum von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang oder ein ähnlicher Zeitraum in Betracht gezogen werden.

Eine einfache Überprüfung der Rohdaten der 24 h-Gesamtleistungsaufnahme gegen die durchschnittliche 24 h-Temperaturdifferenz über den gültigen Prüfzeitraum kann als Überprüfung des Regressionsprozesses selbst hilfreich sein, insbesondere wenn die Datenpunkte nicht weit auseinander liegen.

Wenn ein Resampling durchgeführt wird, muss das Intervall des Resampling im Bericht aufgezeichnet werden (siehe Abschnitt 8).

6.5 Überprüfung der gemittelten Daten

Die lineare Regression darf nur für „reguläre“ Punktgruppen nach Mittelwertbildung über ganzzahlige 24 h-Zeiträume durchgeführt werden (d. h. sie wird nicht auf Datensätze mit kürzeren Zeitintervallen – z. B. 1 h-Daten – angewendet), so dass Ausreißer entfernt werden können. Die Überprüfung von Ausreißern wird durch die Siviour-Analyse vereinfacht (auch wenn sie nicht zur Bestimmung der interessierenden Parameter in Ziffer 7 verwendet wird). Es ist dann erforderlich, für alle gemittelten Daten Y als Funktion von X aufzutragen, wobei:

$$X = \begin{bmatrix} \frac{q_{sw,1}}{\Delta T_1} \\ \vdots \\ \frac{q_{sw,n}}{\Delta T_n} \end{bmatrix} \quad \text{und} \quad Y = \begin{bmatrix} \frac{P_{h,1}}{\Delta T_1} \\ \vdots \\ \frac{P_{h,n}}{\Delta T_n} \end{bmatrix}$$

Alle festgestellten Ausreißer müssen dazu führen, dass die entsprechenden gemittelten Daten aus dem für die statistische Analyse verwendeten Datensatz entfernt werden. Jeder entfernte Ausreißer muss im Prüfbericht aufgezeichnet werden, zusammen mit einer kurzen Begründung für die Entfernung (siehe Abschnitt 8).

7 Datenanalyse

7.1 Allgemeines

Die interessierenden Parameter müssen durch Anwendung einfacher oder multipler linearer Regressionsverfahren nach Tabelle 1 auf der Grundlage der Energiebilanzgleichung (1) bestimmt werden.

Tabelle 1 — Regressionsverfahren

Lineare Regressionsverfahren	Beschreibung
Einfache lineare Regression nach dem Siviour-Verfahren (siehe 7.2)	Dieses einfache Verfahren der linearen Regression wird durch normalisierte Messunsicherheiten der Variablen Y und X bestimmt (siehe 7.2). Es gibt drei Fälle (siehe Anhang C), in denen die Residuen verwendet werden, um das Verfahren der kleinsten Quadrate zwischen Versuchspunkten und Abschätzungen anzuwenden: — der vertikale Abstand; — der horizontale Abstand; — der orthogonale Abstand.
Multilineare Regression (siehe 7.3)	Die multiple Regression ist eine komplexere, umfassendere Klasse der Regressionsanalyse, die lineare und nichtlineare Regressionen mit mehreren erklärenden Variablen umfasst. Es werden zwei Optionen vorgeschlagen (siehe Anhang C, 7.3.1): — verzerrtes Energiebilanzmodell; — unverzerrtes Energiebilanzmodell. Obwohl ein unverzerrtes Energiebilanzmodell (z. B. Achsenabschnitt null) eine Vereinfachung der realen Prozesse darstellen kann, wird es in der Regel gegenüber verzerrten Modellen (von Null abweichender Achsenabschnitt) bevorzugt.

ANMERKUNG Verfahren zur Berechnung und Korrektur von solaren Gewinnen auf der Grundlage gemessener Sonneneinstrahlung und angenommener Gebäudeeigenschaften (z. B. verglaste Flächen, g-Werte) sind in diesem Dokument nicht enthalten, da Annahmen über Gebäude- und Verglasungseigenschaften zu signifikanten Unsicherheiten führen und die Bedeutung genauer und vollständiger Messungen der Sonneneinstrahlung zunimmt.

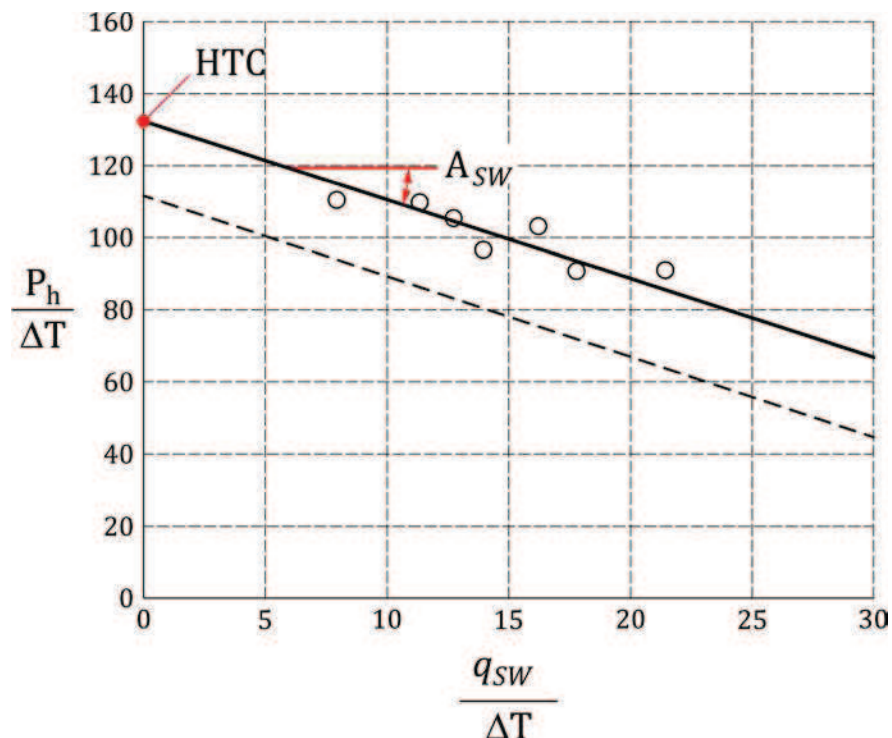
Anhang C enthält Informationen zu den erforderlichen Datenanalysetechniken.

7.2 Einfache lineare Regression nach dem Siviour-Verfahren

Die Siviour-Analyse der Prüfdaten zum Wärmeverlust von Gebäuden muss angewendet werden, um die Wirkung der solaren Gewinne bei der Abschätzung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten zu berücksichtigen. Das Verfahren besteht darin, eine lineare Regression der elektrischen Wärmeleistung P_h , dividiert durch den Tagesmittelwert der Lufttemperaturdifferenz zwischen dem Innenraum und der Außenumgebung ΔT (abhängige Variable), gegen den Tagesmittelwert der globalen solaren Bestrahlungsstärke q_{sw} , dividiert durch den Tagesmittelwert der Lufttemperaturdifferenz zwischen dem Innenraum und der Außenumgebung ΔT (unabhängige Variable) durchzuführen. Nach dieser Analyse stellt

der y-Achsenabschnitt der Regressionsgeraden den Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten des Gebäudes, H [W/K], dar, während sein Gradient der äquivalenten solaren Apertur, A_{sw} [m²], entspricht, siehe Bild 1.

$$\frac{P_h}{\Delta T} = H_{agg} - A_{sw} \cdot \frac{q_{sw}}{\Delta T} \quad (3)$$



Legende

- Datenpunkte
- lineare Regression durch Datenpunkte
- - - ausgelegte Wärmeverlustkoeffizienten

Bild 1 — Beispiel einer linearen Regressionsanalyse

7.3 Techniken der multiplen linearen Regression (MLR)

7.3.1 Allgemeines

Die MLR kann zwischen der durchschnittlichen elektrischen Wärmeleistung P_h [W] und zwei unabhängigen Variablen, der Temperaturdifferenz ΔT [K] und der solaren Bestrahlungsstärke q_{sw} [W/m²], durchgeführt werden. Dies ermöglicht die Abschätzung des Gesamtwärmeverlustkoeffizienten H_{agg} [W] und der äquivalenten solaren Apertur A_{sw} [m²] durch Regression.

Das Energiebilanzmodell [Gleichung (1)] basiert auf der Hypothese, dass die tägliche Energiebilanz nicht verzerrt ist. Das bedeutet, dass die Tageswärmeleistung bei gleicher Innen- und Außenlufttemperatur ($T_i = T_e$) und fehlender Sonneneinstrahlung ($q_{sw} = 0$) mit exakt Null angenommen wird.

Es ist wichtig anzumerken, dass Gleichung (1) ein vereinfachtes Energiebilanzmodell darstellt und nicht alle Auswirkungen der realen Welt erfasst werden (siehe Anhang A). Solche Auswirkungen können durch die Einführung einer statistischen Verzerrung oder eines Achsenabschnitt-Terms (B_0) dargestellt werden. In den meisten Fällen ist es unwahrscheinlich, dass ein Bias-Term zu besseren Ergebnissen führt, so dass ein Modell ohne Verzerrung und mit Achsenabschnitt null verwendet werden muss.

Verzerrtes Modell mit von Null abweichendem Achsenabschnitt:

$$P_H = B_0 + H_{agg} \cdot \Delta T - A_{sw} \cdot q_{sw} \quad (4)$$

Unverzerrtes Modell ($B_0 = 0$) mit von Null abweichendem Achsenabschnitt:

$$P_H = H_{agg} \cdot \Delta T - A_{sw} \cdot q_{sw} \quad (5)$$

7.4 Validierung: Analyse der Residuen

Nach Abschluss der Datenanalyse müssen Validierungstests durchgeführt werden, um die Qualität der Regression und die Angemessenheit des verwendeten Mittelungsintervalls abzuschätzen. Die Ergebnisse der Validierungstests müssen im Prüfbericht angegeben werden (siehe 8.5).

Die Zeitreihendiagramme der Residuen müssen überprüft werden, um festzustellen, ob es klare Muster gibt. Wenn Muster auftreten, kann dies darauf hindeuten, dass das Modell zu stark vereinfacht ist und dass zusätzliche physikalische Mechanismen einbezogen werden müssen. Insbesondere müssen Tests hinsichtlich der Gaußschen Residualhypothese und des Fehlens einer Autokorrelation durchgeführt werden.

7.5 Normalverteilung der Residuen

Die Variabilität der Residuen muss gaußförmig sein. Zur Validierung dieser Hypothese muss ein Shapiro-Wilk-Test auf die Residuen nach ISO 5479:1997 durchgeführt werden.

ANMERKUNG Es ist eine bewährte Praxis zu prüfen, ob das Streudiagramm eine zweidimensionale Normalverteilung darstellt, was bedeutet, dass die Verteilung sowohl in x- als auch in y-Richtung annähernd gaußförmig ist. Eine Analyse des Streudiagramms ist im Allgemeinen ausreichend, um die Hypothese der zweidimensionalen Normalverteilung zu validieren. Obwohl die Validierung in der Praxis schwierig ist, da die Anzahl der Punkte recht begrenzt ist, ist es erforderlich zu prüfen, ob das Streudiagramm nicht in verschiedene Gruppen von Punkten aufgeteilt ist (siehe Bild 2).



Bild 2 — Zweidimensionales Streudiagramm

Lineare Regressionstechniken setzen formal voraus, dass die Residuen unabhängig von der Zeit sind (Homoskedastizitätshypothese). Es ist daher eine bewährte Praxis zu prüfen, ob die Residuen homoskedastisch sind. Dieser Test könnte durchgeführt werden, indem die Residuen als Funktion der Zeit aufgetragen werden. Der absolute Wert der Residuen darf sich nicht mit der Zeit verändern, wie in den folgenden Beispielen beschrieben (siehe Bild 3):

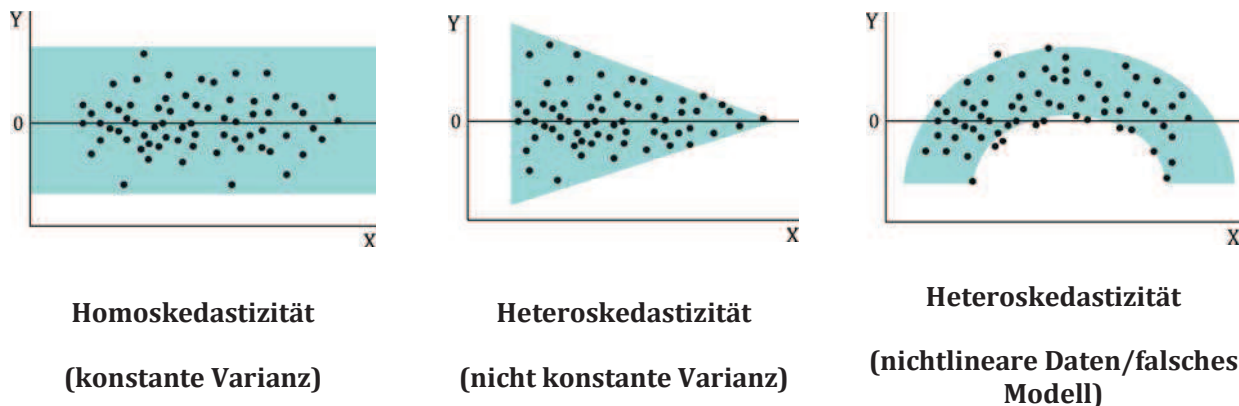


Bild 3 — Residuen als Funktion der Zeit

7.6 Autokorrelationstest

Der Autokorrelationstest muss für die Zeitreihen der Residuen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass sie weiß sind, d. h. nicht in verschiedenen Zeitintervallen („Verzögerung“) korreliert sind, und dass das verwendete Modell daher geeignet ist. Die Autokorrelationsfunktion (ACF, en: autocorrelation function) ist definiert als:

$$\text{lag}_k = \text{correlation}(x_t, x_{t+k}) \quad (6)$$

Bei Verzögerungen ungleich Null muss die ACF vernachlässigbar sein oder spezifischer ausgedrückt, darf sie sich nicht signifikant von derjenigen des weißen Rauschens unterscheiden. Dies bedeutet, dass es kein systematisches Muster in der ACF geben darf und daher nicht mehr als 5 % – 10 % der Verzögerungskorrelationen oberhalb der 95 %-Konfidenzbänder für weißes Rauschen liegen dürfen (Bild 4). Dies wird berechnet durch:

$$U_{ACF} = t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1} \sqrt{\text{Var}(ACF)} \quad (7)$$

oder

$$U_{ACF} = -\frac{1}{n} \pm \frac{2}{\sqrt{n}}$$

Dabei ist

n ist die Anzahl der Datenpunkte, die für die Berechnung des ACF verwendet werden.

BEISPIEL

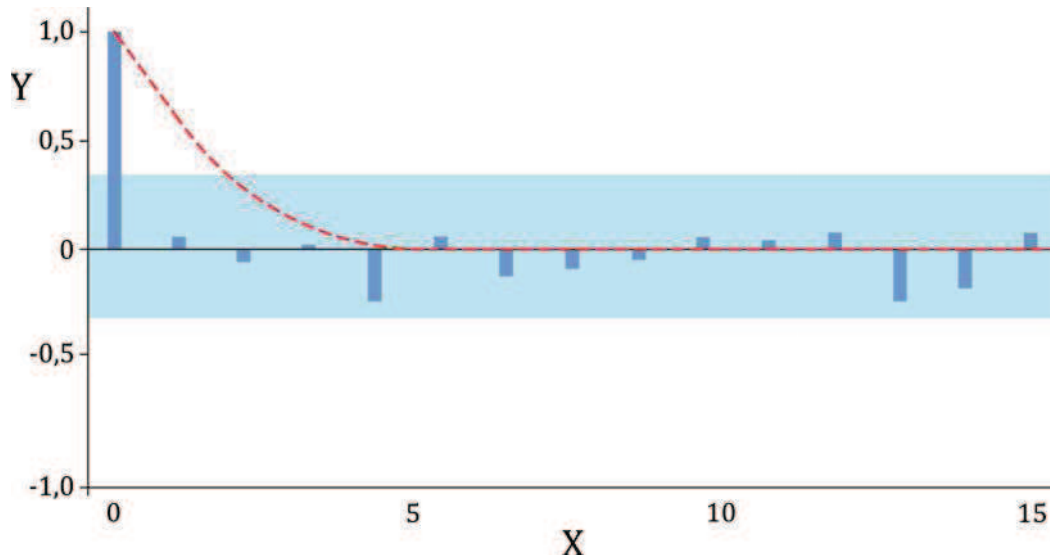


Bild 4 — Autokorrelationsfunktion für jede Verzögerung und 95 % Vertrauensintervall

Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, muss der Regressionsprozess neu begonnen werden, indem das Stichprobenintervall vergrößert wird (z. B. von einem 1-Tages-Durchschnitt auf einen 2-Tages-Durchschnitt). Wenn ein größerer Probenahmeintervall nichts an der Aussage ändert, muss im Bericht das Ergebnis des vorherigen Intervalls angegeben sowie darauf hingewiesen werden, dass der Validierungstest nicht bestanden wurde. Siehe Anhang E für ein Beispiel einer Analyse der Prüfdaten zum Wärmeverlust eines gesamten Gebäudes.

Anhang F enthält einige hilfreiche praktische Empfehlungen.

8 Prüfbericht

8.1 Allgemeines

Der Prüfbericht muss die in 8.1 bis 8.7 aufgeführten Angaben enthalten.

8.2 Daten über das gemessene Gebäude/Bauwerk

- Lage, Form, Bauart und Anzahl der Stockwerke des Gebäudes;
- Grundrisse und Ausrichtung des Gebäudes;
- ungefähres Alter des Gebäudes;
- Gebäudemerkmale: Grundfläche, Gesamtfläche der Gebäudehülle, verglaste Fläche, Flächen von Trennwänden und Zwischenböden;
- verwendete (sofern bekannt) oder angenommene Hauptbaustoffe;
- Ergebnisse der Differenzdruckprüfung vor und nach der Prüfung.

8.3 Beschreibung des Versuchsaufbaus

- Spezifikationen (z. B. Marke, Modell, Genauigkeit) der verwendeten Sensoren;

- Anordnung der inneren Sensoren, elektrischen Heizungen und Umluftgebläse;
- Anordnung der äußeren Sensoren (einschließlich der Ausrichtung für die Messung der Sonneneinstrahlung);
- Intervall zwischen den Aufzeichnungen in den Rohdaten und Anzahl der gemittelten oder erfassten Messungen.
- der Betrag der abgeschätzten nicht aufgezeichneten Energieaufnahme.

8.4 Bedingungen während der Messung

- Informationen über das Prüfprotokoll, wie in Teil 1 dieser Norm beschrieben;
- Angabe, ob die Daten in vollständiger Übereinstimmung mit Teil 1 dieser Norm erhoben wurden, und Erläuterung etwaiger Abweichungen;
- Datum und Uhrzeit zu Beginn und Ende des Messzeitraums (gesamter Datenerfassungszeitraum);
- Daten, die als Zeitreihe oder in tabellarischer Form in maximal stündlichen Abständen dargestellt werden, für:
 - innere Bedingungen: Lufttemperaturen in allen Zonen, elektrische Wärmeleistung, relative Luftfeuchte, Lufttemperaturen in unbeheizten Nebenräumen (z. B. Dachböden, Keller, Hohlräume);
 - äußere Bedingungen: Lufttemperatur, Sonneneinstrahlung und alle zusätzlichen Messungen (z. B. relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Windrichtung);
- Einzelheiten zum Aufbau des Gebäudes während des Messzeitraums:
 - vorgesehene Lüftungswege abgedichtet/verschlossen;
 - Vorhänge, Jalousien oder Rollläden geöffnet/geschlossen;
 - Abflüsse und Geruchverschlüsse gefüllt/abgedichtet/nicht abgedichtet;
 - offen gehaltene Innentüren.

8.5 Vorverarbeitung der Daten

- Zeitraum der für die Analyse verwendeten Daten (einschließlich der Daten, die bei der Analyse weggelassen wurden);
- alle Unregelmäßigkeiten und Unvollständigkeiten in den Daten (siehe 6.2);
- jegliche Datenbereinigung (siehe 6.3);
 - Erläuterung, welche Daten entfernt wurden und die Begründung dafür;
- das Verfahren zur Veränderung der gemessenen Sonneneinstrahlung (z. B. zur Umwandlung der globalen Horizontalen in die Vertikale);
- für die Datenanalyse verwendeter Zeitraum für die Mittelwertbildung, z. B. 24 h, 48 h (siehe 6.4);
- das verwendete Zeitintervall für die Mittelwertbildung, z. B. 06:00 – 06:00 oder 24:00 – 24:00;

- eine Tabelle mit dem gemittelten Eingangsdatensatz, d. h. der gemittelten Wärmeleistung P_h , den durchschnittlichen Innen- und Außentemperaturen T_i und T_e und der durchschnittlichen Sonneneinstrahlung q_{sw} .

8.6 Abschätzung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten und der zugehörigen Unsicherheiten

- Ein Diagramm, das die Streuung von P_h gegen ΔT vor einer linearen Regression zeigt;
- ein Diagramm, das die Streuung und die angepasste Gerade, $y = f(x)$, nach der linearen Regression darstellt;
- alle Prüfergebnisse müssen mindestens den abgeschätzten Wert der H_{agg} - und A_{sw} -Koeffizienten enthalten, die nach dem in 7.2 beschriebenen Siviour-Verfahren berechnet wurden. Normalisierte Standardabweichungen der x- und y-Variablen und entsprechend, welches lineare Regressionsverfahren verwendet wurde (siehe 8.7);
- Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests und der Autokorrelationsfunktion;
- der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient H_{agg} [W/K] und die zugehörigen Unsicherheiten müssen im Bericht unter Verwendung der folgenden Konventionen angegeben werden:

$$\widehat{H_{agg}} \pm U_{H_{agg}}$$

zum Beispiel: $H_{agg} = 150,3 \pm 12,9$ W/K

Dabei ist H_{agg} die beste Abschätzung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten und U_H die erweiterte Unsicherheit bei 95 % Vertrauensintervall. Er muss mit der Messunsicherheit u_{mes} (Anhang C) und der Modellunsicherheit u_{model} (Anhang C) abgeschätzt werden;

- Messunsicherheiten für jede Eingabe (P_h , T_i , T_e und q_{sw}), quantifiziert nach Anhang B dieses Dokuments.

8.7 Ergänzende und unterstützende Messungen

Einzelheiten zu unterstützenden oder ergänzenden Messungen (z. B. Luftdurchlässigkeit, Infiltrationsrate mittels Tracergas-Zerfall oder anhaltende Konzentrationsverfahren, *In-situ*-U-Wert-Messungen, Thermografie, Luftfeuchte usw.) Für alle Verfahren ist anzugeben:

- Methodik und Referenznorm für die Durchführung der Prüfung;
- ein vollständiges Exemplar des Prüfberichts in Übereinstimmung mit der angewendeten Methodik;
- Unsicherheit der Messung.

8.8 Schätzung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten und der zugehörigen Unsicherheiten

- Ergebnis der Luftdichtheitsprüfung in $m^3/h/m^2$ und jeweils mit zugehöriger Druckdifferenz der Prüfmessung z. B. @50Pa;
- minimale, maximale und durchschnittliche Außenwindgeschwindigkeit, Außenlufttemperatur und Temperaturdifferenz.

Anhang A (normativ)

Grenzen und Fehlerquellen

A.1 Allgemeines

Die Genauigkeit, Reproduzierbarkeit und Interpretation von Abschätzungen der Wärmedurchgangskoeffizienten wird durch mehrere Faktoren eingeschränkt, die sowohl mit den Unsicherheiten des Versuchs als auch mit denen des Modells zusammenhängen.

A.2 Grenzen und Fehler aufgrund von Unsicherheiten des Versuchs

Dieser Abschnitt beschreibt die Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Datenerfassung im Versuch, die für eine Abschätzung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten erforderlich ist. Diese können durch die Anwendung des in prEN 17888-1 dargelegten Prüfprotokolls verringert oder besser charakterisiert werden. Operative Erfahrungen und das Potenzial für operative Fehler müssen nach Abschnitt 8 berichtet werden.

A.2.1 Temperaturmessungen

Unsicherheiten im Zusammenhang mit Temperaturmessungen umfassen:

- Aussagekraft der gemessenen Temperaturen (Anordnung der Sensoren);
- Kalibrierung des Temperatursensors;
- Genauigkeit bei der Bestimmung der Messwerte von Temperatursensoren (Digitalvoltmeter und Datenerfassungssysteme); und
- Einfluss der Strahlung auf äußere und innere Sensoren.

A.2.2 Messungen der Sonneneinstrahlung

Unsicherheiten im Zusammenhang mit Messungen der Sonneneinstrahlung umfassen:

- Überschattung des Sensors. Dies kann eine teilweise Abschattung zu verschiedenen Tageszeiten (oder bei Langzeitüberwachung zu verschiedenen Jahreszeiten) umfassen, abhängig vom Sonnenverlauf in Bezug auf die Umgebung und den Sensor (z. B. Schatten des überwachten Gebäudes oder umliegender Gebäude, saisonale Vegetation usw.);
- Sensoranordnung;
- Sensorgenauigkeit;
- Sensorauflösung;
- Schmutz oder Staub auf dem Sensor.

A.2.3 Leistungsaufnahme

Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Leistungsaufnahme umfassen:

- Leitungsverluste;
- Genauigkeit und Auflösung des Wattmessers;
- nicht erfasste Geräte;
- Messgeräte außerhalb der Bausubstanz.

A.2.4 Falscher Wärmefluss durch unzureichenden Schutz

Die Wärmeübertragung in angrenzende Gebäude oder klimatisierte Räume muss durch einen Schutz im Versuch minimiert werden (prEN 17888-1:2022, 5.6 und Anhang A). In der Praxis kommt es zu einer gewissen Wärmeübertragung zwischen dem Prüfgebäude und diesen Räumen. Dies wird zu einer systematischen Verzerrung des gemessenen Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten führen, abhängig von der Richtung der Nettowärmeübertragung. Die Verzerrung muss abgeschätzt und in die Unsicherheitsschätzungen einbezogen werden (siehe Anhang B).

A.2.5 Innere Temperaturabweichungen und -schwankungen

Das für die Analyse verwendete stationäre Modell geht von einer konstanten Innentemperatur aus, eine Bedingung, die möglicherweise nicht eingehalten wird durch:

- Einbeziehung von nicht stationären Bedingungen in die Datenanalyse (z. B. Einbeziehung der anfänglichen Aufheizphase in die Analyse);
- kurzfristigen Schwankungen (z. B. aufgrund von Sonneneinstrahlung);
- Ausfall von Geräten oder unzureichender Heizleistung;
- langfristige Temperaturabweichungen (z. B. ungeeignete Witterungsbedingungen, die zu einer langfristigen Überhitzung des Versuchs führen oder unzureichende elektrische Beheizung der Versuche).

A.2.6 Temperaturgleichmäßigkeit

Die Datenanalyse basiert auf der Annahme einer einzigen, gut durchmischten Zone, die durch eine einzige Temperatur beschrieben wird. Die Gleichmäßigkeit der Innentemperaturen kann durch Schichtung, isolierte thermische Zonen, ungleichmäßigen Wärmeverlust über die Bausubstanz oder schlechte Mischstrategien beeinträchtigt werden. Unsicherheit und Ungleichmäßigkeit können durch den Einsatz einer ausreichenden Anzahl von Temperatursensoren und die Einhaltung der in prEN 17888-1:2022, 7.2.2 angegebenen Anleitung verringert werden.

A.3 Grenzen und Fehler aufgrund von Modellunsicherheiten

Modelle sind immer Abstraktionen des natürlichen Systems, wobei einige weniger wichtige Variablen und Wechselwirkungen nicht berücksichtigt werden, während einige Beziehungen in vereinfachter Form dargestellt werden. Unsicherheiten, die sich aus dem Modellierungsprozess ergeben, werden in A.3.1 bis A.3.7 beschrieben.

A.3.1 Gespeicherte Wärme

Lineare Regressionsmodelle gehen von der Unabhängigkeit der aggregierten (24 h)-Datenpunkte aus. Wärmeeinträge, z. B. durch solare Gewinne, können dazu führen, dass Wärme von einem Tag auf die folgenden

Tage gespeichert wird. Dies kann zu einer Unterschätzung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten führen und muss durch experimentelle und analytische Verfahren minimiert werden (Abschnitt 7). Dies kann insbesondere für schwere und stark verglaste Gebäude und für Prüfungen in sonnigen Zeiträumen gelten.

A.3.2 Messungen der Sonneneinstrahlung

Die Messungen der Sonneneinstrahlung geben nur ein unvollständiges Bild der Sonneneinstrahlung auf ein Prüfgebäude wieder. Dies kann zu systematischen Fehlern bei der Abschätzung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten führen. Alle systematischen Fehler müssen durch eine optimale Anordnung der Sensoren für die Sonneneinstrahlung reduziert werden, am häufigsten in einer vertikalen Ebene, die mit der Fassade mit den höchsten zu erwartenden Sonnengewinnen ausgerichtet ist (prEN 17888-1:2022, 7.2.8). Alle Abweichungen von dieser Messung müssen im Prüfbericht eindeutig angegeben werden (Abschnitt 8).

A.3.3 Schwankungen aufgrund von Windgeschwindigkeit

Schwankungen der Windgeschwindigkeit und des Winddrucks führen während eines Prüfzeitraums zu unterschiedlichen Infiltrations- und Wärmeverlusten. Diese Schwankungen werden normalerweise nicht in Regressionsmodelle einbezogen und erhöhen die Streuung der aggregierten Datenpunkte. Dies kann auch zu Unterschieden zwischen wiederholten Prüfungen an demselben Gebäude unter unterschiedlichen Windbedingungen und zwischen berechneten und gemessenen Werten des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten führen. Die Windgeschwindigkeiten müssen über einen Prüfzeitraum hinweg aufgezeichnet und berichtet werden (8.3).

A.3.4 Auswirkungen der Luftfeuchte

Das Vorhandensein von übermäßiger Feuchte in der Bausubstanz kann zusätzliche latente Heizlasten in Verbindung mit Verdunstung verursachen, was zu einer Überschätzung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten führt. Die Abschätzung zusätzlicher latenter Lasten ist komplex und muss vermieden werden, indem sichergestellt wird, dass die Prüfgebäude keine überschüssige Feuchtigkeit enthalten (prEN 17888-1:2022, 8.1), während die Feuchtegrade über den gesamten Prüfzeitraum aufgezeichnet und berichtet werden muss (8.3).

A.3.5 Jahreszeitliche Schwankungen

Die Bodentemperatur unter einem Gebäude kann sich während der Heizperiode ändern – von Herbst bis Frühjahr kühlt sie ab. Dies kann zu einem erhöhten Wärmeverlust an den Boden führen, insbesondere bei Gebäuden mit massiven Erdgeschoss und ohne Erdgeschossdämmung. Jahreszeitliche Schwankungen des Feuchtegehalts der Bausubstanz können sich ebenfalls auf den abgeschätzten Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten auswirken, z. B. weisen Sichtmauerwerkswände nach längeren windgetriebenen Regenperioden eine höhere Wärmeleitfähigkeit auf.

A.3.6 Nicht-direkter Wärmedurchgang

Zwischen einem Prüfgebäude und umgebenden Elementen, die eine andere Temperatur als die Umgebungsluft aufweisen (z. B. Boden, Dachboden oder Kriechzwischenräume, Zwischenwände/-böden oder Strahlungstemperaturen am Himmel), können nicht-direkte Wärmedurchgangswege bestehen. Lineare Regressionsmodelle gehen davon aus, dass die gesamte Wärmeübertragung über die Außenluft erfolgt. Diese Elemente können durch Temperatur- oder Wärmestromsensoren überwacht werden.

A.3.7 Regressionsfehler

Bei der normalen linearen Regression der kleinsten Quadrate wird davon ausgegangen, dass die Unsicherheit nur in der abhängigen Variable vorhanden ist. Das Vorhandensein von Unsicherheit in der unabhängigen Variable von Regressionsmodellen kann zu einer Verzerrung der Dämpfung und einer Tendenz zur Unterschätzung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten führen. Anhang C enthält Einzelheiten zur

Auswahl der am besten geeigneten Regressionstechnik, um die mit der Regression verbundene Unsicherheit zu begrenzen.

A.4 Vergleich von berechneten und abgeschätzten Werten

Ein Wert des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten, abgeleitet aus einem geeigneten Berechnungsverfahren, kann mit dem abgeschätzten Wert verglichen werden, der sich aus der Prüfung des Gesamtwärmeverlustes ergibt. Die Unterschiede zwischen den beiden können damit zusammenhängen:

- falsche Werte, die als Eingaben für die Berechnung verwendet wurden (z. B. Wärmeleitfähigkeiten, Maße, Infiltrationswärmeverlust). Dies kann auf eine falsche Identifizierung der Werkstoffe, den Austausch von Produkten, den Einbau, die Unterschiede zwischen den tatsächlichen Eigenschaften der Werkstoffe und den angenommenen Werten oder auf Feuchteauswirkungen (z. B. ein höherer Feuchtegehalt vor Ort als innerhalb der berechneten Werte) zurückzuführen sein;
- Berechnungsverfahren und die Darstellung der Wärmedurchgangsprozesse im Prüfgebäude. Zum Beispiel das Verfahren, mit dem die Wärmebrücken berücksichtigt werden;
- Umgebungsbedingungen während der Prüfung, die nicht denen entsprechen, die bei der Berechnung des Wertes herangezogen wurden:
 - Windgeschwindigkeiten und Infiltrationsverluste;
 - ΔT und Abgasverluste;
 - Boden- und offensichtliche Himmelstemperaturen;
 - Phasenänderungen von Wasser und Feuchtigkeit wie Gefrieren, Auftauen, Kondensieren oder Verdampfen. Dies kann insbesondere für neue Gebäude gelten, die noch nicht „ausgetrocknet“ sind;
 - Unsicherheiten im Betrieb (d. h. Auswirkungen des Prüfverfahrens auf den Wärmedurchgang), einschließlich erhöhter Wärmeverluste bei höheren Innentemperaturen und des Einflusses von Umluftgebläsen auf die Oberflächenkoeffizienten;
 - konvektive Luftströmungen in der Bausubstanz, die den Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten beeinflussen, bei der Berechnung des ermittelten Wertes jedoch nicht berücksichtigt wurden.

Es ist wichtig, zwischen den erwarteten Differenzen aufgrund natürlicher Schwankungen des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten, denjenigen, die mit Definitionsunterschieden zwischen dem berechneten und dem tatsächlichen Gebäude zusammenhängen (eine „Leistungslücke bei der Modellierung“), und den Unterschieden, die mit der Leistung vor Ort zusammenhängen, zu unterscheiden, wobei letztere mit einer „Leistungslücke bei der Bausubstanz“ zusammenhängen können. Die Ergebnisse müssen sorgfältig berichtet und interpretiert werden – sowohl beim Vergleich mit berechneten Werten als auch mit anderen Prüfmessungen.

Anhang B (normativ)

Verfahren zur Abschätzung der experimentellen Unsicherheit

B.1 Allgemeines

In Anhang B werden die einzelnen Schritte zur Abschätzung der experimentellen Unsicherheit des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten detailliert beschrieben – das ist die Unsicherheit im Zusammenhang mit den Eingaben P_h , q_{sw} , T_i und T_e . Im Allgemeinen muss die Gesamtunsicherheit des Versuchs abgeschätzt werden, indem die Eingabedaten so angepasst werden, dass sie die Unsicherheit in jeder gemessenen Variablen widerspiegeln. Der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient, H_{agg} [W/K], muss dann für jedes dieser Szenarien berechnet werden. Genauer ausgedrückt muss die abgeschätzte Unsicherheit (u) für jede Eingangsvariable (T_i , T_e , P_h , q_{sw}) verwendet werden, um maximale ($x + u(x)$) und minimale ($x - u(x)$) Fehlerfälle für jede Eingangsvariable (x) zu erstellen. H_{agg} muss dann für jede Iteration neu berechnet werden: d. h. $H_{agg}[T_i + u(T_i), T_e, P_h, q_{sw}]$, $H_{agg}[T_i - u(T_i), T_e, P_h, q_{sw}]$, $H_{agg}[T_i, T_e + u(T_e), P_h, q_{sw}]$ usw.

Ein schrittweiser Ansatz ist in B.1 angegeben.

B.2 Verfahren zur Abschätzung der Unsicherheit

- a) Die Beziehung zwischen allen Eingabemessungen und der Messgröße (z. B. H_{agg} in diesem Beispiel) wird in Abhängigkeit von dem eingesetzten Regressions- und Analyseverfahren definiert:

BEISPIEL Siviour-Regression:

$$\frac{P_h}{\Delta T} = H_{agg} - A_{sw} \cdot \frac{q_{sw}}{\Delta T}$$

ANMERKUNG 1 Dasselbe Verfahren kann bei der MLR-Analyse eingesetzt werden, wobei entweder die gewöhnliche Regression nach der Methode der kleinsten Quadrate (OLS, en: ordinary least square) oder die RMA-Methode (Ranged Major Axis) verwendet wird (siehe Anhang C).

- b) Für jede Größe (z. B. T_i) wird eine Liste aller quantifizierbaren Faktoren erstellt, die zur Unsicherheit für diese Eingabe beitragen.

Zum Beispiel:

Unsicherheiten bei der Kalibrierung: $u(T_i)_{\text{calibration}}$

räumliche Variationen: $u(T_i)_{\text{spatial}}$

Die Abschätzung dieser einzelnen Unsicherheitskomponenten einer Eingangsvariablen kann auf einer Unsicherheitsbewertung vom Typ A (statistische Analyse von Beobachtungen) oder auf einer Unsicherheitsbewertung vom Typ B (basierend auf nicht-statistischen Methoden, einschließlich vorausgegangener Messungen, Erfahrung und allgemeinem Wissen, Herstellerspezifikationen, Referenzdaten) basieren. Beispiele sind in B.2 angegeben.

- c) Für jede der Quellen der Eingangsunsicherheit (P_h , q_{sw} , T_i , T_e), die hier durch x repräsentiert wird, wird der Betrag der Unsicherheit, ausgedrückt als Standardunsicherheit $u(x)$, geschätzt. Für jeden Eingang müssen korrelierte Unsicherheiten arithmetisch kombiniert werden, während unkorrelierte Unsicherheiten in Quadratur kombiniert werden können.

Zum Beispiel:

$$u(T_i) = \sqrt{(u(T_i)_{\text{calibration}})^2 + (u(T_i)_{\text{spatial}})^2}$$

$$u(T_i) = \sqrt{(0,11)^2 + (0,17)^2} = 0,21^\circ\text{C}$$

Unsicherheiten wie die räumliche Variation der Innentemperaturen können mit der Zeit variieren, was zu einer unterschiedlichen Unsicherheit je (Tages-) Datenpunkt führt. Dies kann zu einer Gesamtunsicherheitsschätzung führen, die für jeden Tagesdatenpunkt variiert.

- d) Mithilfe des in Schritt 1) definierten Beziehungs- oder Regressionsansatzes werden maximale ($x + u(x)$) und minimale ($x - u(x)$) Fehlerfälle für jeden Eingabeparameter x erstellt. Mit diesen Fällen wird der Einfluss jeder Größe auf die geschätzte Messgröße (z. B. H_{agg}) geschätzt, d. h. die gewählte Regressionsanalyse wird erneut mit maximalen und dann mit minimalen Fehlern der Reihe nach für jede Eingangsvariable durchgeführt. Die Auswirkung auf H wird durch den Empfindlichkeitskoeffizienten $c(x)$ definiert.

$$c(x) = \frac{H_{\text{agg}}(x + u(x)) - H_{\text{agg}}(x - u(x))}{2u(x)}$$

Zum Beispiel:

$$\begin{aligned} c(T_i) &= \frac{H_{\text{agg}}(T_i + u(T_i)) - H_{\text{agg}}(T_i - u(T_i))}{2u(T_i)} = \frac{H_{\text{agg}}(T_i + 0,2\text{K}) - H_{\text{agg}}(T_i - 0,2\text{K})}{2u(T_i)} \\ &= \frac{70,56\text{W/K} - 72,23\text{W/K}}{2 \cdot 0,2\text{K}} = -4,18\text{W/m}^2 \end{aligned}$$

- e) Die Beiträge zur Unsicherheit aus allen Eingaben werden kombiniert, um die Messunsicherheit in H_{agg} , $u(H_{\text{agg}})_{\text{meas}}$, zu bestimmen. Wenn alle Unsicherheitsquellen unkorreliert und zufällig sind, ist es unwahrscheinlich, dass sie alle gleichzeitig hoch (oder niedrig) sind, so dass sie über die quadratische Summe addiert werden können:

$$u(H_{\text{agg}})_{\text{meas}} = \sqrt{\sum_{j=1}^N (c_j(x_j) \cdot u(x_j))^2}$$

Zum Beispiel:

$$\begin{aligned} u(H_{\text{agg}})_{\text{meas}} &= \sqrt{(c(T_i) \cdot u(T_i))^2 + (c(T_e) \cdot u(T_e))^2 + (c(P_h) \cdot u(P_h))^2 + (c(q_{\text{sw}}) \cdot u(q_{\text{sw}}))^2} \\ &= \sqrt{\overbrace{(-4,18\text{WK}^{-2} \times 0,20\text{K})^2 + (3,83\text{WK}^{-2} \times 0,43\text{K})^2 + (0,05\text{K}^{-1} \times 22,8\text{W})^2 + (0\text{m}^2\text{K}^{-1} \times 4\text{Wm}^{-2})^2}^{u(H)_{\text{meas}}}} \\ &= 2,17\text{W/K} \end{aligned}$$

ANMERKUNG Ein konstanter Versatz oder eine lineare Unsicherheit, die auf den Eingang der Sonneneinstrahlung (q_{sw}) angewendet wird, hat aufgrund der Einbeziehung von q_{sw} in das Regressionsmodell einen vernachlässigbaren Einfluss auf H , was hier zu einem Empfindlichkeitskoeffizienten von Null führt.

- f) Abschließend muss das Ergebnis als eine erweiterte Unsicherheit (U) über ein vergrößertes Intervall (k) ausgedrückt werden. Eine angegebene Unsicherheit ist wenig aussagekräftig, wenn nicht angegeben wird, in welchem Vertrauensbereich sie liegt. Typischerweise muss ein Wert von mindestens $k = 2$ (95 % Vertrauensintervall) verwendet werden.

$$U(H_{\text{agg}})_{\text{meas}} = k \cdot u(H)_{\text{meas}}$$

Zum Beispiel:

$$U(H_{\text{agg}})_{\text{meas}} = 2 \times 2,17 = 4,34 \text{ W/K}$$

Angegebenes Ergebnis = $71,4 \pm 4,3 \text{ W/K}$

B.3 Abschätzung der Beiträge zur Unsicherheit

B.3.1 Unsicherheit in $T_i \pm u(T_i)$

Unsicherheiten bei der Eingabe von T_i können die Genauigkeit der Sensorkalibrierung, räumliche Variationen, Genauigkeiten bei der Datenerfassung, Sensorauflösungen und Strahlungseffekte umfassen. In vielen Fällen müssen die Genauigkeit der Datenerfassung und die Sensorauflösung vernachlässigbar sein, allerdings müssen zumindest die Sensorkalibrierung und die Genauigkeit der Datenerfassung sowie die räumliche Variation in die Abschätzung der Unsicherheit einbezogen werden.

Wenn davon ausgegangen wird, dass mehrere Sensoren denselben Parameter (T_i) messen, kann die mit der Sensorgenauigkeit verbundene Unsicherheit, $u(T)_{\text{sensor}}$, definiert werden durch:

$$u(T_i)_{\text{calibration}} = \frac{u(T_i)_{\text{sensor}}}{\sqrt{n}}$$

Dabei ist

$u(T_i)_{\text{sensor}}$ die spezifizierte Standardgenauigkeit des Sensors und der Datenregistriereinrichtung in Abhängigkeit vom Kalibrierverfahren (z. B. wenn die Sensoren und die Datenregistriereinrichtung mit einer erweiterten Unsicherheit ($k = 2$) von $\pm 0,5^\circ\text{C}$, $u(T_i)_{\text{sensor}} = \frac{0,5}{2} = 0,25^\circ\text{C}$) kalibriert werden.

n die Gesamtanzahl der Sensoren.

Es besteht dann eine Unsicherheit in Verbindung mit jeder räumlichen Variation des Wertes von T_i , $u(T)_{\text{spatial}}$, und der Repräsentativität eines aggregierten Wertes:

$$u(T_i)_{\text{spatial}} = \frac{s(T_i)}{\sqrt{n}} \text{ wenn } n > 30$$

Ansonsten, wenn $n < 30$:

$$u(T_i)_{\text{spatial}} = t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-2} \cdot \left(\frac{s(T_i)}{\sqrt{n}} \right)$$

Dabei ist

$s(T_i)$ die Standardabweichung der Sensoren, die im gesamten Prüfgebäude eingesetzt werden, berechnet für jeden Tagesdatenpunkt. Dies wird sich mit der Unsicherheit überschneiden, die mit der Sensorgenauigkeit verbunden ist, so dass sie in Quadratur kombiniert werden müssen.

Demnach ist die Unsicherheit $u(T_i)$ gegeben durch:

$$u(T_i) = \sqrt{(u(T_i)_{\text{calibration}})^2 + (u(T_i)_{\text{spatial}})^2}$$

B.3.2 Unsicherheit in $T_e \pm u(T_e)$

Die Unsicherheit für T_e kann wie für T_i berechnet werden. Die Ausnahme ist, dass vermutlich weniger externe Sensoren eingesetzt werden und dass diese anfälliger für Unsicherheiten durch die Auswirkungen von Strahlung sind. Dies kann diese Unsicherheitsquelle begünstigen, insbesondere wenn nur ein externer Sensor verwendet wird oder dieser schlecht angeordnet ist.

B.3.3 Unsicherheit in $P_h \pm u(P_h)$

Wenn das Versuchsprotokoll sorgfältig befolgt wird, muss die Unsicherheit bei den elektrischen Wärmelasten auf die Messgenauigkeit der Messfühler beschränkt sein. Die Unsicherheit aufgrund der Messgenauigkeit verringert sich, wenn mehrere Sensoren verwendet werden, da die erwarteten Fehler zufällig wären oder im Durchschnitt in entgegengesetzte Richtungen fallen würden. Allerdings würden zusätzliche Sensoren die systematische Verzerrung nicht verringern. Folglich:

$$u(P_h)_{\text{calibration}} = \frac{u(P_h)_{\text{sensor}}}{\sqrt{n_{\text{sensors}}}}$$

z. B. $u(P_h)_{\text{calibration}} = \frac{u(P_h)_{\text{sensor}}}{\sqrt{3}}$

Dabei ist

$u(P_h)_{\text{sensor}}$ die Standardunsicherheit der Stromzähler in Verbindung mit ihren Sensoren und Datenregistriereinrichtungen in Abhängigkeit vom Kalibrierverfahren (z. B. wenn der Sensor und seine Datenregistriereinrichtung mit einer erweiterten Unsicherheit ($k = 2$) von $3 \% \times \text{Durchschnittslast } \overline{P_h}$ kalibriert werden, dann $u(P_h)_{\text{sensor}} = \frac{3\% \times \overline{P_h}}{2}$;

n_{sensors} die Gesamtanzahl der Sensoren.

Fehler bei der Sensorauflösung müssen vermieden werden, wenn eine geeignete Auflösung des Energiezählers verwendet wird (z. B. Wh).

B.3.4 Unsicherheit aufgrund des Wärmeübergangs zwischen Trennwänden

Der Wärmedurchgang in oder aus angrenzende(n) Räume(n) (z. B. über Trennwände) muss experimentell minimiert werden. Wenn über Wärmestrom oder Temperaturen gemessen oder geschätzt wird, dürfen Korrekturen vorgenommen werden. In jedem Fall muss die Unsicherheit aus dem Wärmedurchgang der Trennwand in die Gesamtunsicherheitsabschätzung einbezogen werden. Die Schätzung von $u(P_h)_{\text{party wall}}$ kann entweder anhand von Wärmestrommessungen an Trennwand-/Bodenelementen oder anhand von Temperaturdifferenzen und vorhergesagten U-Werten erfolgen. Zum Beispiel:

$$u(P_h) = \sqrt{\sum_i (A_i^2 \cdot u(q_i)^2 + q_i^2 \cdot u(A_i)^2)}$$

oder

$$u(P_h) = \sqrt{\sum_i (A_i \cdot \Delta T \cdot u(U_i))^2 + (U_i \cdot \Delta T_i \cdot u(A_i))^2 + (A_i \cdot U_i \cdot u(\Delta T_i))^2}$$

Dabei sind

$u(A_i)$, $u(q_i)$ und $u(\Delta T_i)$ die Messunsicherheiten, die entsprechend berechnet werden müssen. $u(U_i)$ ist zu berechnen als $u(R_i)/R_i^2$ (R_i umfasst Oberflächenwiderstände). Die Unsicherheit des Wärmewiderstands der Trennwand ist abhängig von der Dicke und der Leitfähigkeit der einzelnen Werkstoffe, aus denen die Trennwand besteht.

$$u(R_i) = \frac{e}{\lambda} \cdot \sqrt{(u(e)/e)^2 + (u(\lambda)/\lambda)^2}$$

aufgrund der Schwierigkeit, e und λ der Werkstoffe zu kennen, wird ein typischer Wert für $u(R_i)$ vorgeschlagen, z. B. 20 % des R_i -Wertes

$n_{\text{party wall}}$ die Anzahl der Trennwandelemente;

$\bar{q}_j$ der durchschnittliche Wärmestrom (W/m^2), gemessen über das Element j ;

A_j die Fläche (m^2) des Elements j ;

U_j der geschätzte U-Wert von Element j ;

ΔT_j die Temperaturdifferenz über Element j .

Dies kann kombiniert werden mit:

$$u(P_h) = \sqrt{(u(P_h)_{\text{calibration}})^2 + (u(P_h)_{\text{party}})^2}$$

Wenn eine Korrektur angewendet wird, d. h. P_h wird durch Addition/Subtraktion des geschätzten Wärmestroms durch die Elemente der Trennwand, P_{party} , verändert, dann muss $u(P_h)_{\text{party}}$ in der vorstehenden Gleichung auf der Unsicherheit in dieser Korrektur basieren.

B.3.5 Unsicherheit in q_{sw}

Unsicherheitsquellen bezogen auf die Messung der Sonneneinstrahlung können die Genauigkeit, die Anordnung oder die Überschattung der Sensoren sein. Es ist wichtig anzumerken, dass alle systematischen oder linearen Unsicherheiten vernachlässigbare Auswirkungen auf H haben und stattdessen den Wert von A_{sw} beeinflussen, der durch die Regressionsanalyse bestimmt wird. Dies wird im geschätzten Empfindlichkeitskoeffizienten evident.

$$u(q_{\text{sw}})_{\text{calibration}} = u(q_{\text{sw}})_{\text{sensor}}$$

$u(q_{\text{sw}})_{\text{sensor}}$ ist die Standardunsicherheit in Bezug auf den Sensor für die Sonneneinstrahlung und seine Datenregistriereinrichtung in Abhängigkeit vom Kalibrierverfahren (z. B. wenn der Sensor und seine Datenregistriereinrichtung mit einer erweiterten Unsicherheit ($k = 2$) von $3\% \times$ durchschnittlicher Sonneneinstrahlung $\bar{q}_{\text{sw}}$ kalibriert sind, dann $u(q_{\text{sw}})_{\text{sensor}} = \frac{3\% \times \bar{q}_{\text{sw}}}{2}$).

B.3.6 Weitere unbestimmte Unsicherheiten

Weitere in A.2 aufgeführte Unsicherheitsquellen können nicht einfach durch statistische Analysen oder vorhandene Informationen definiert werden. Sie können jedoch nach wie vor signifikante Unsicherheitsquellen darstellen und es muss versucht werden, sie nach Möglichkeit zu erfassen. Dies beinhaltet:

- *Gespeicherte Wärme*: Unsicherheit aufgrund gespeicherter Wärme, typischerweise aus solaren Gewinnen, ist abhängig von der thermischen Masse des Gebäudes, den empfangenen solaren Gewinnen und der Verteilung von sonnigen und trüben Tagen innerhalb der Regression. Dies kann insbesondere schwere oder stark verglaste Gebäude unter sonnigen Bedingungen betreffen. Die potenzielle Auswirkung gespeicherter Wärmegewinne kann untersucht werden, indem die Differenz in H , berechnet bei verschiedenen Zeitaggregationsintervallen (z. B. 6 Uhr morgens bis 6 Uhr morgens gegenüber Mitternacht bis Mitternacht) oder verschiedenen Aggregationslängen (z. B. 24 h gegenüber 48 h), bewertet wird.
- *Luftfeuchte*: Die Abschätzung des Feuchtegehalts und der entsprechenden latenten Last bleibt komplex und unsicher. Es wird empfohlen, Prüfgebäude mit hohem Feuchtegehalt zu vermeiden. Das Auftragen der relativen Feuchtegrade in Innenräumen über einen Prüfzeitraum oder die Untersuchung des raumseitigen Dampfüberdrucks, (BS 5250) kann auf die Wahrscheinlichkeit zusätzlicher latenter Lasten hinweisen.

B.3.7 Zusammenfassung zusätzlicher Quellen der Unsicherheit

Unsicherheiten vom Typ B können in Quadratur zu der zuvor berechneten experimentellen Unsicherheit $u(H_{agg})_{meas}$ addiert werden, um ein revidiertes $u(H_{agg})_{increased}$ zu erhalten:

$$u(H)_{increased} = \sqrt{\left(u_{meas}(H_{agg})\right)^2 + \left(u(H_{agg})_{stored}\right)^2 + \left(u(H_{agg})_{moisture}\right)^2}$$

B.3.8 Zusammenfassung von experimenteller und statistischer Unsicherheit

Die experimentelle Unsicherheit darf alternativ mit der geschätzten statistischen Unsicherheit (Anhang C) kombiniert werden, um die in A.1 aufgeführten, jedoch nicht in B.1 berücksichtigten Unsicherheiten zu berücksichtigen, was eine erweiterte Gesamtunsicherheit ergibt:

$$u(H_{agg})_{total} = \sqrt{u(H_{agg})_{exp}^2 + (H_{agg})_{stat}^2}$$