

DIN EN 17887-2



ICS 91.120.10

Einsprüche bis 2022-11-02

Entwurf

**Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden –
In-situ-Prüfung an fertiggestellten Gebäuden –
Teil 2: Auswertung stationärer Daten für die Prüfung des
Gesamtwärmeverlustes;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17887-2:2022**

Thermal performance of buildings –
In situ testing of completed buildings –
Part 2: Steady-state data analysis for aggregate heat loss test;
German and English version prEN 17887-2:2022

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-09-02 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 108 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17887-2:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SIS (Schweden) gehalten wird.

Das zuständige nationale 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 Bauwesen (NABau).

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

Für die in diesem Dokument zitierten 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*

– *Entwurf* –

E DIN EN 17887-2:2022-10

– Leerseite –

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

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

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe und Symbole	7
3.1 Begriffe	7
3.2 Symbole	8
4 Allgemeine Kurzbeschreibung	10
5 Unsicherheit	11
6 Eingangsdaten	11
6.1 Rohdaten	11
6.2 Unregelmäßigkeiten und Lücken in den Daten	11
6.3 Bereinigen von Daten	12
6.4 Filterung (Mittelung)	12
6.5 Überprüfung von gemittelten Daten	13
7 Datenanalyse	13
7.1 Allgemeines	13
7.2 Einfache lineare Regression mithilfe des Siviour-Verfahrens	14
7.3 Verfahren der multiplen linearen Regression (MLR)	15
7.3.1 Allgemeines	15
7.4 Validierung: Restgrößenanalyse	16
7.5 Normalverteilung von Restgrößen	16
7.6 Autokorrelationsprüfung	17
8 Bericht	18
8.1 Allgemeines	18
8.2 Daten bezüglich des zu prüfenden Gebäudes/der zu prüfenden Struktur	18
8.3 Beschreibung des Versuchsaufbaus	18
8.4 Bedingungen während der Messung	19
8.5 Vorverarbeitung von Daten	19
8.6 Gesamtwärmetransferkoeffizient und zugehörige Unsicherheitenabschätzung	20
8.7 Ergänzende und unterstützende Messungen	20
8.8 Gesamtwärmetransferkoeffizient und zugehörige Unsicherheitenabschätzung	20
Anhang A (normativ) Beschränkungen und Fehlerquellen	21
A.1 Allgemeines	21
A.2 Beschränkungen und Fehler infolge experimenteller Unsicherheiten	21
A.2.1 Temperaturmessungen	21
A.2.2 Messung von Sonneneinstrahlung	21
A.2.3 Leistungsaufnahme	21
A.2.4 Fehlerhafter Wärmestrom durch unzureichende Schutzvorrichtungen	22
A.2.5 Interne Temperaturdrifts und -schwankungen	22
A.2.6 Temperaturgleichmäßigkeit	22
A.3 Einschränkungen und Fehler infolge Modellunsicherheiten	22
A.3.1 Speicherwärme	22
A.3.2 Messungen der Sonneneinstrahlung	23
A.3.3 Schwankungen infolge der Windgeschwindigkeit	23
A.3.4 Feuchteinflüsse	23
A.3.5 Jahreszeitlich bedingte Schwankungen	23
A.3.6 Indirekter Wärmetransfer	23
A.3.7 Regressionsfehler	23
A.4 Vergleich zwischen berechneten und abgeschätzten Werten	24
Anhang B (normativ) Prozess zur Abschätzung der experimentellen Unsicherheit	25

B.1	Allgemeines	25
B.2	Prozess zur Unsicherheitenabschätzung	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 von Wärmetransfer durch die Gebäudetrennwand	28
B.3.5	Unsicherheit in q_{sw}^*	29
B.3.6	Weitere, nicht näher bestimmte Unsicherheiten	29
B.3.7	Kombinieren von zusätzlichen Unsicherheitsquellen	30
B.3.8	Kombinieren der experimentellen mit der statistischen Unsicherheit	30
Anhang C (normativ)	Datenanalyseverfahren	31
C.1	Normalisierte Messunsicherheiten	31
C.2	Normalisierte Messunsicherheiten	31
C.3	Entscheidungsbaum (auf Grundlage normalisierter Messunsicherheitskriterien)	31
C.3.1	OLS-Verfahren mit vertikalen Restgrößen	32
C.3.2	OLS-Verfahren mit horizontalen Restgrößen	34
C.3.3	RMA-Verfahren	35
Anhang D (informativ/normativ)	Statistiktabellen	38
Anhang E (informativ)	Beispiel für die Analyse der Daten aus der Wärmeverlustprüfung an einem errichteten Gebäude	41
E.1	Allgemeines	41
E.2	Beschreibung des Datensatzes	41
E.3	Beispiel für die Abschätzung der Messunsicherheit	42
E.4	Siviour-Verfahren	44
E.4.1	Abschätzung von H mit dem Siviour-Verfahren und statistischer Unsicherheit	44
E.4.2	Übertragen der Messunsicherheit (siehe Anhang B)	46
E.4.3	Gesamtunsicherheit	46
E.5	MLR-Analyse	47
E.6	Validierungsprozess	47
Anhang F (informativ)	Praktische Empfehlungen	50
F.1	Allgemeines	50
F.2	Vorprüfung auf Restgrößen	50
F.3	Bewertung auf Grundlage der Vertrauensbereiche	50
F.4	Bewertung der charakteristischen Parameter und der einzelnen Parameter mit physikalischer Bedeutung	50
F.5	Statistische Analyse von Restgrößen	51
F.6	Kreuzvalidierung	51
Literaturhinweise		52

Bilder

Bild 1	Beispiel für die Analyse mit linearer Regression	15
Bild 2	Zweidimensionale Punktwolke	16
Bild 3	Restgrößen als Funktion der Zeit	17
Bild 4	Autokorrelationsfunktion für jede Verzerrung und 95 %-Vertrauensbereich	18
Bild C.1	Entscheidungsbaum	32
Bild C.2	Beispiel für die lineare Regression unter Verwendung vertikaler Restgrößen	33
Bild C.3	Beispiel für die lineare Regression unter Verwendung horizontaler Restgrößen	35
Bild C.4	Beispiel für die lineare Regression unter Verwendung orthogonaler Restgrößen	37
Bild E.1	Darstellung des Arbeitsbeispiels für die Siviour-Regression. Tägliche Messunsicherheiten sind in y- und x-Richtung dargestellt; dabei sind die Gesamtunsicherheiten $U(H)_{tot}$ und $U(A_{sw})_{tot}$ durch den schattierten Bereich im Schnittpunkt bzw. in der Kurve angegeben	47

Tabellen

Tabelle 1 — Verfahren der Regression	14
Tabelle D.1 — Koeffizient für ein bilaterales Studentsches Gesetz	38
Tabelle D.2 — Fischer-Koeffizient	39
Tabelle E.1 — Für die Analyse verwendete Tagesmittelwerte	41
Tabelle E.2 — Typ-A- und Typ-B-Unsicherheiten für Eingangsvariablen	42
Tabelle E.3 — Messunsicherheiten in Eingangsvariablen	43
Tabelle E.4 — Fälle mit Fehlern, Sensitivitätskoeffizienten und Beiträge zur Unsicherheit für Eingangsvariablen	43
Tabelle E.5 — Tagesdaten für das Siviour-Analyseverfahren	44
Tabelle E.6 — Tageswerte, Unsicherheiten und normalisierte Unsicherheiten in X- und Y-Richtung	45
Tabelle E.7 — Schätzwerte und Unsicherheiten der Regression	46
Tabelle E.8 — Vergleich der Ergebnisse der Siviour- und der MLR-Analyse	47

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17887-2:2022) 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 17887-1 beschreibt ein Prüfverfahren, das die quantitative Bestimmung des tatsächlichen Gesamtwärmeverlusts eines errichteten Gebäudes vor Ort ermöglicht. Dieses Prüfverfahren wird als die Gesamtwärmeverlustprüfung bezeichnet. In EN ISO 13789:2017 wird der Wärmetransferkoeffizient des Gebäudes als die Summe aus Transmissionswärmetransferkoeffizient und Lüftungswärmetransferkoeffizient definiert. Der Transmissionswärmetransferkoeffizient wird in EN ISO 13789:2017 definiert als der Wärmestrom, der durch Transmission durch die Gebäudesubstanz auftritt, geteilt durch die Differenz zwischen den Temperaturen der Umgebung auf beiden Seiten der Konstruktion. Der Lüftungswärmetransferkoeffizient wird in EN ISO 13789:2017 definiert als der 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. In diesem Dokument wird ausschließlich der Wärmestrom aufgrund von Luftinfiltration betrachtet.

Dieses Dokument (Teil 2) befasst sich hauptsächlich mit numerischen Verfahren, die auf stationären linearen Regressionsverfahren basieren. Die mit diesen Verfahren erhaltenen Ergebnisse sind nur unter der Voraussetzung gültig, dass die Daten in erster Näherung durch diese mathematischen und physikalischen Gesetze beschrieben werden können. Hierzu werden statistische Prüfungen beschrieben, mit denen die Einhaltung dieser Voraussetzungen nachgewiesen wird. Daraus ergibt sich auch die Bestimmung eines Gesamtwärmetransferkoeffizienten für das zu prüfende Gebäude sowie die mit dem Koeffizienten zusammenhängende Unsicherheit. Sowohl der Gesamtwärmetransferkoeffizient eines Gebäudes als auch dessen Unsicherheit können nach diesem Dokument berechnet werden. Das Berichtsformat für die Messwerte und die sich anschließende Auswertung wird ebenfalls beschrieben.

Dieses Dokument ist eng verknüpft mit prEN 17887-1, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden — In-situ-Prüfung an fertiggestellten Gebäuden — Teil 1: Datenerfassung für die Prüfung des Gesamtwärmeverlustes*, für das es ausschließlich gilt. Außerdem ergänzt es prEN 17887-1, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden — In-situ-Prüfung an fertiggestellten Gebäuden — Teil 1: Datenerfassung für die Prüfung des Gesamtwärmeverlustes*, die sich ausschließlich mit undurchsichtigen Gebäudekonstruktionen befasst, die speziell für die Zwecke der *In-situ*-Prüfung errichtet wurden.

Dieses Dokument beschreibt die für die Analyse erforderlichen Eingangsdaten, verschiedene statistische Verfahren, die zur Datenanalyse angewendet werden können, die Unsicherheit in Verbindung mit den Messungen sowie das Berichtsformat.

Die beschriebenen Datenanalyseverfahren gelten nur für Datensätze, die in einem unbewohnten Gebäude erfasst wurden. Obwohl das Analyseverfahren die Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung berücksichtigt, ist das Verfahren nicht dafür geeignet, solare Wärmegewinne vorherzusagen, um damit den Raumheizbedarf zu korrigieren.

Ausführliche Anforderungen an das Prüfverfahren und die Datenerfassung finden sich in prEN 17887-1.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die stationären Datenanalyseverfahren fest, um damit die Daten aus der „Gesamtwärmeverlustprüfung“ auszuwerten. Diese Analyseverfahren ermöglichen eine Abschätzung des tatsächlichen Gesamtwärmeverlustes vor Ort (Wärmetransferkoeffizient des Gebäudes).

ANMERKUNG Das Verfahren zur Prüfung des Gesamtwärmeverlustes ist in prEN 17887-1:2022, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden — In-situ-Prüfung an fertiggestellten Gebäuden — Teil 1: Datenerfassung für die Prüfung des Gesamtwärmeverlustes*, festgelegt.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe und Symbole.

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

Gesamtwärmetransferkoeffizient

H_{agg}

Summe aus Transmissions- (H_{tr}) und Infiltrationskomponente des Lüftungswärmetransferkoeffizienten (H_v) auf der Grundlage von Messungen nach dieser Prüfnorm

3.1.2

Außenlufttemperatur

Temperatur der Außenluft

3.1.3

Wärmetransferkoeffizient

H

Quotient aus dem Wärmestrom und der Temperaturdifferenz zwischen zwei Umgebungen; speziell verwendet als Transmissionswärmetransferkoeffizient oder Lüftungswärmetransferkoeffizient

3.1.4

Innenlufttemperatur

Temperatur der Luft im Innenraum

3.1.5

zentrale Gebäudetemperatur

Mittelwert aus allen gemessenen zentralen Raumtemperaturen

3.1.6

zentrale Raumtemperatur

im geometrischen Mittelpunkt des Raums gemessene Lufttemperatur

3.1.7

solarer Wärmegegewinn

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Aktive photovoltaische Einrichtungen wie Sonnenkollektoren werden als Teil der technischen Gebäudeausrüstung angesehen.

3.1.8

Temperaturdifferenz

ΔT

Differenz zwischen der zentralen Gebäudetemperatur eines errichteten Gebäudes und der Außenlufttemperatur

3.1.9

Transmissionswärmetransferkoeffizient

H_{tr}

Wärmestrom, der durch Transmission durch die Gebäudesubstanz auftritt, geteilt durch die Differenz zwischen der Temperatur der Umgebung auf beiden Seiten der Konstruktion

Anmerkung 1 zum Begriff: Vereinbarungsgemäß gilt für einen Wärmetransfer zwischen einem konditionierten Raum und der äußeren Umgebung ein positives Vorzeichen, wenn der Wärmestrom vom Innenraum nach außen verläuft (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 ist bei Lufteintritt gleich der Außenlufttemperatur.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei dieser Analyse wird die vorgesehene Lüftungskomponente des Lüftungswärmetransferkoeffizienten (H_v) üblicherweise weggelassen und nur die Infiltrationskomponente in den Wärmetransferkoeffizienten (H) einbezogen, da die vorgesehenen Lüftungswege während der Prüfung nach prEN 17887-1 abgedichtet werden.

3.2 Symbole

Symbol	Beschreibung	Einheit
Eingaben für die Regressionsanalyse		
P_h	elektrische Heizleistung	W
q_{sw}	globaler Solarwärmestrom (gemessene oder berechnete solare Bestrahlungsstärke bezogen auf die südlich ausgerichtete senkrechte Wand bzw. Gebäudefassade, von der angenommen wird, dass sie den verhältnismäßig größten Anteil am solaren Wärmegegewinn ausmacht)	W/m ²
T_i	Innenlufttemperatur	K
T_e	Außenlufttemperatur	K
ΔT	Temperaturdifferenz zwischen der Innenluft eines errichteten Gebäudes und der Außenluft	K
Parameter		
H_{agg}	Gesamtwärmetransferkoeffizient	W/K

Symbol	Beschreibung	Einheit
H	Wärmetransferkoeffizient (global, einschließlich Verlusten durch Transmission oder Lüftung oder Luftinfiltration)	W/K
H_{tr}	Transmissionswärmetransferkoeffizient	W/K
H_v	Lüftungswärmetransferkoeffizient	W/K
H_i	Koeffizient für den internen Wärmegewinn	W/K
H_e	Koeffizient für den externen Wärmegewinn	W/K
B_0	systematische Abweichung	W/K
A_{sw}	äquivalente solare Apertur	m ²
θ	Vektor der Modellparameter	—
X	erklärende Modellmatrix	—
Y	Vektor der erklärten Modellwerte	—
Zwischengrößen		
B'_0	Schnittpunkt für die invertierte lineare Regression	W/m ²
B'_1	Kurve für die invertierte lineare Regression	m ²
β^*_1	dimensionslose Kurve	—
$A, H, d, \lambda_1, \lambda_2$	interne Parameter	—
SF	Skalierungsfaktor	—
λ	Lagrange-Massemultiplikator	—
Übliche statistische Bezeichnung		
r^2	Pearson-Korrelationskoeffizient	—
r	Bestimmtheitsmaß	—
ε	Restbeträge aus dem Modell	W oder W/K
SSR	Summe der quadrierten Restgrößen	W ² oder W ² /K ²
$t^{n-1}_{1-\frac{\alpha}{2}}$	Studentscher Koeffizient für ein bilaterales Studentsches Gesetz mit $(n - 2)$ Freiheitsgraden	—
$F(\alpha; v_1; v_2)$	Fisher-Koeffizient für $v_1 = 1$ und $\alpha = 5 \%$, mit $v_2 = (n - 2)$ Freiheitsgrade	—
n	Anzahl der für die Regression verwendeten Punkte	—
$n_{sensors}$	Anzahl der verwendeten Sensoren	
N_{party_wall}	Anzahl der gemeinsamen Trennwände	
$Var(\theta)$	Varianz-/Kovarianzmatrix für den Vektor der Modellparameter	—
ACF	Autokorrelationsfunktion	—
Sonstige Indizes und Bezeichnungen		
B	in Verbindung: Tabelle, Vektor oder Matrix	—
B^T	transponierte B-Matrix	—
B^{-1}	invertierte B-Matrix	—
x^*	dimensionslos	—
$\hat{X}$	bester Schätzwert der Zufallsvariable X	—

Symbol	Beschreibung	Einheit
$\bar{X}$	Durchschnittswert der Zufallsvariable X	—
$Var(X)$	Standardvarianz der Zufallsvariable X	—
$Cov(X,Y)$	Kovarianz zwischen den Zufallsvariablen X und Y	—
$s(X)$	experimentelle Standardabweichung der Zufallsvariable X	—
$u(X)$	Standardunsicherheit der Größe X	—
$U(X)$	erweiterte Unsicherheit der Größe X (mit einem zweiseitigen 95 %-Vertrauensbereich)	—
k	Deckungsgrad für die erweiterte Unsicherheit ($k = 2$ für einen 95 %-Vertrauensbereich)	

4 Allgemeine Kurzbeschreibung

Die Analyse des Gesamtwärmeverlustes eines errichteten Gebäudes muss mit der Energiebilanzgleichung nach Gleichung (1) berechnet werden, wobei anzunehmen ist, dass die Heizleistungseingabe (P_h) durch die Wärmeverluste und die Solarwärmeübertragung 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 Lüftern abgeführte elektrische Energie [W];

H_{agg} der Gesamtwärmetransferkoeffizient, der den Transmissionswärmetransferkoeffizienten und den Lüftungswärmetransferkoeffizienten miteinander vereint [W/K];

$T_i - T_e = \Delta T$ die Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und der Außenluft [K];

A_{sw} die solare Apertur [m²];

q_{sw}^* die gemessene oder berechnete solare Bestrahlungsstärke [W/m²].

Der Gesamtwärmetransferkoeffizient H_{agg} und die solare Apertur A_{sw} geben das Verhältnis zwischen den Variablen elektrische Heizleistung P_h , q_{sw} und ΔT in der Regressionsanalyse wieder.

Die solare Apertur ist ein Parameter, der den solaren Wärmegewinn des gesamten Gebäudes beschreibt, einschließlich der diffusen Gewinne, der direkten Gewinne durch Glasscheiben in allen Ausrichtungen und solchen von Sonneneinstrahlung auf undurchsichtige Gebäudeelemente. Sie kann als eine globale solare Apertur verstanden werden, die den Einfluss von nicht senkrecht einfallenden Sonnenstrahlen, der Form und Ausrichtung der Gebäudestruktur (einschließlich möglicher Abschattungen), der Sonnenstrahlenabsorption an undurchsichtigen Flächen, des Durchlässigkeitsgrads für Sonnenstrahlen und der verglasten Flächen der Gebäudehülle berücksichtigt. A_{sw} kann anhand der Ergebnisse aus der Gesamtwärmeverlustprüfung am errichteten Gebäude experimentell abgeschätzt werden.

Der Gesamtwärmetransferkoeffizient H_{agg} kann als eine Kombination von Transmissionswärmeverlusten und — aufgrund der Abdichtung von Lüftungsöffnung während der Prüfung — der Infiltrationskomponente der Lüftungswärmeverluste durch die Hülle des zu prüfenden Gebäudes, H_v , ermittelt werden.

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

Der Gesamtwärmetransferkoeffizient darf aus Messungen im quasi-stationären Zustand mit der Energiebilanzgleichung (1) hergeleitet werden. Unter der Annahme dieses Energiebilanzmodells können verschiedene Ermittlungstechniken, die alle auf linearen Regressionsverfahren basieren, zur Schätzung der interessie-

renden Parameter verwendet werden. Speziell Verfahren der einfachen oder multiplen linearen Regression können auf die Messergebnisse aus der Gesamtwärmeverlustprüfung am errichteten Gebäude angewendet werden (zeitlich gemittelte Datenpunkte für P_h , q_{sw} und ΔT).

5 Unsicherheit

Die Genauigkeit, die Vergleichpräzision und die Interpretation der Schätzwerte für den Wärmetransferkoeffizienten werden durch verschiedene Faktoren eingeschränkt, die sich sowohl auf experimentelle als auch auf statistische Unsicherheiten beziehen. Die Unsicherheitsspanne der Gesamtwärmeverlustergebnisse für ein errichtetes Gebäude ist mit einer Reihe von Einschränkungen und Fehlerquellen verbunden, die in Anhang A aufgeführt sind. Sowohl bei der Datenerfassung als auch bei der Datenanalyse sind die in Anhang A aufgeführten Einschränkungen und Fehlerquellen zu beachten. Die Restunsicherheit der Schätzwerte des Wärmetransferkoeffizienten ist dann abzuschätzen und zusammen mit den Ergebnissen anzugeben.

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

- a) Die experimentelle Unsicherheit ist auf der Grundlage des GUM-Verfahrens (JCGM 100:2008) abzuschätzen und kann sowohl Typ-A-Unsicherheiten (statistische Analyse von Beobachtungen) als auch Typ-B-Unsicherheiten (nicht-statistische Analyse, z. B. Vorwissen, frühere Versuche usw.) umfassen; damit gibt sie die Unsicherheit eines Schätzwerts des Wärmetransferkoeffizienten an. Ein Beispiel für diese Form der Analyse findet sich in Anhang B.
- b) Die statistische Unsicherheit muss auf der Grundlage von Restgrößen zwischen den besten Schätzungen und den gemessenen Datenpunkten abgeschätzt werden. Die statistische Unsicherheit ist in Anhang B definiert und muss zur Bestimmung des am besten geeigneten Regressionsverfahrens angewendet werden. Die statistische Unsicherheit darf mit der experimentellen Unsicherheit kombiniert werden, um einen besseren Schätzwert für Fehler zu erzielen (8.6).

Der Wärmetransferkoeffizient H [W/K], die solare Apertur A_{sw} [m²] und die damit verbundenen Unsicherheiten müssen im Prüfbericht nach 8.8 angegeben werden.

6 Eingangsdaten

6.1 Rohdaten

Der Rohdatensatz muss mindestens 15 Tage ununterbrochen und lückenlos aufgezeichnet worden sein. Die im Rohdatensatz enthaltenen Messwerte dürfen nicht verzerrt sein und müssen unter den folgenden Bedingungen erfasst worden sein:

- die Sensoren müssen kalibriert sein, um konstante Fehler zu beheben (Sensoren ohne Verzerrung);
- die Messungen sind für die physikalischen Kenngröße repräsentativ. So müssen beispielsweise die Messwerte der Innenraumtemperatur, die mit mehreren Temperatursensoren ohne Verzerrung ermittelt wurden, gemittelt werden, um die räumliche Verteilung aufgrund der Luftschichtung darzustellen.

ANMERKUNG Anforderungen für das Erreichen dieser Bedingungen sind in prEN 17887-1 beschrieben.

Der Rohdatensatz muss alle Informationen enthalten, die für die Durchführung der Datenanalyse notwendig sind.

6.2 Unregelmäßigkeiten und Lücken in den Daten

Eine Analyse der Rohdaten ist wichtig, um Schwierigkeiten bei der anschließenden Modellierung zu verringern und aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen. Ziel dieser Analyse muss es sein, ungewöhnliche Phänomene, die sogenannten Unregelmäßigkeiten, sowie Ausreißer, Messfehler und fehlende Daten festzustellen. Häufig entstehen diese Probleme entweder durch den Versuchsaufbau, durch die Messeinrichtung oder bei der Daten-

verarbeitung. Anhang A enthält eine Liste häufig im Rohdatensatz auftretender Phänomene, die bei der Modellierung und Schätzung zu Problemen wie Nichtlinearität und Ausreißer führen können.

Zunächst muss der Rohdatensatz (für alle Eingangsvariablen) als Funktion des Zeitschritts nach prEN 17887-1 aufgezeichnet werden, um ihn auf Ausreißer, Messfehler, fehlende Daten und mögliche Unregelmäßigkeiten zu überprüfen.

ANMERKUNG Punktwolken von Messwertpaaren, wie beispielsweise Energieverbrauch als Funktion der Temperaturdifferenz, können ebenfalls aufschlussreich sein, um Muster und Korrelationen zwischen Variablen aufzuzeigen.

All diese Unregelmäßigkeiten müssen aus dem Rohdatensatz entfernt werden. Schließlich muss die Qualität des verbleibenden Datensatzes (bereinigter Datensatz) auf Folgendes überprüft werden:

- alle Unregelmäßigkeiten dürfen insgesamt nicht mehr als 10 % der Gesamtdatenmenge ausmachen;
- die Unregelmäßigkeiten jeder Dateneingabe (d. h. T_i , T_e , q_{sw} und P_h) dürfen jeweils nicht mehr als 15 % ausmachen (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) darf bei der Messung von P_h 50 min (basierend auf einem 24-h-Summierungszeitraum) oder 4 % nicht überschreiten, da sie als akkumulierter Durchfluss mit einem Energiezähler gemessen wird;
- die Zeit ohne Daten (oder mit Unregelmäßigkeiten) darf bei der Messung von T_i , T_e , und q_{sw} 3 h nicht überschreiten. Wird eine der oben genannten Unregelmäßigkeiten überschritten, dann wird die Prüfung als ungültig bewertet.

Jede Unregelmäßigkeit, die beseitigt wurde, muss zusammen mit einer kurzen Begründung für ihre Beseitigung im Prüfbericht angegeben werden (siehe 8.5).

6.3 Bereinigen von Daten

Oftmals müssen die zu Beginn der Prüfung aufgezeichneten Daten verworfen werden, da sich das Gebäude noch in der Aufheizphase und im Aufbau der Wärmespeicherkapazität befindet. Sobald sich die Wärmespeicherkapazität des Gebäudes aufgebaut hat, sollte sich die elektrische Leistungsaufnahme des Gebäudes stabilisieren und nur durch externe Umgebungsbedingungen beeinflusst werden.

Alle Versuchszeiträume mit Überhitzung infolge eines unkontrollierten Wärmeeintrags durch solare Wärmegewinne müssen ausgeschlossen werden, um einen konstanten Mittelwert der Innenraumtemperatur während der Wärmeverlustprüfung am errichteten Gebäude aufrechtzuerhalten.

Unregelmäßigkeiten bei T_i , T_e und q_{sw}^* müssen durch lineare Interpolationen korrigiert und im Prüfbericht aufgezeichnet werden, zusammen mit einer kurzen Begründung für die Korrektur und einer Beschreibung des Interpolationsverfahrens (siehe 8.5).

6.4 Filterung (Mittelung)

Die Einflüsse des dynamischen Verhaltens müssen durch Tiefpassfilterung der Zeitreihe auf ein Mindestmaß begrenzt werden; durch Resampling der Zeitreihe — d. h. Summierung der gemessenen Datenpunkte zu längeren Zeitabschnitten (z. B. 24 h). Das geeignete Resampling-Intervall hängt davon ab, wie schnell die Bausubstanz auf die externen Umgebungsbedingungen reagiert: bei wärmegeprägten Gebäuden ist eine Mittelung über einen Tag (24 h) üblich, während bei leistungsstarken Gebäuden (mit sehr guter Wärmedämmung oder hoher Wärmespeicherkapazität) ein längeres Resampling-Intervall notwendig sein kann.

Das folgende Verfahren muss durchgeführt werden, um ein geeignetes Resampling-Intervall zu bestimmen:

- a) es wird mit einem kurzen Resampling-Intervall begonnen (d. h. Mittelung über 24 h), die gemittelten Daten werden überprüft (siehe 6.5) und es wird eine statistische Analyse durchgeführt (siehe Abschnitt 7);
- b) Restgrößen werden auf Autokorrelationen analysiert und es wird überprüft, ob die Kreuzkorrelation mit den Eingaben, insbesondere mit der Sonneneinstrahlung, nicht signifikant ist (siehe Modellvalidierungsschritt in Abschnitt 7);
- c) wenn Restgrößen nicht autokorreliert werden und keine signifikante Kreuzkorrelation vorliegt, wird das Resampling abgebrochen und die Ergebnisse werden angegeben (siehe Abschnitt 8);
- d) wenn die Restgrößen autokorreliert sind oder wenn eine signifikante Kreuzkorrelation vorliegt, wird die Resampling-Zeit um 24 h erhöht, bis Restgrößen von weißem Rauschen erhalten werden (siehe 7.6);
- e) für alle Signale muss das gleiche Mittelungsintervall verwendet werden.

Es ist wichtig, dass eine ganze Zahl von 24 h verwendet wird, um eine systematische Abweichung durch dynamische Einflüsse zu minimieren. Auch wenn es üblich ist, den Zeitraum von 00:00 Uhr bis 23:59 Uhr für den Tagesmittelwert anzusetzen, kann ein Zeitraum von 06:00 Uhr bis 05:59 Uhr ebenfalls in Betracht gezogen werden und ist oft besser geeignet, da er mehr Zeit für die Rückführung von solaren Warmegewinnen aus der Wärmespeicherkapazität eines zu prüfenden Gebäudes innerhalb desselben Summierungszeitraums bietet. Zeiträume wie von Sonnenaufgang bis Sonnenaufgang oder ähnlich dürfen ebenfalls in Betracht gezogen werden.

Ein einfacher Vergleich der Rohdaten der Gesamtleistungsaufnahme über 24 h mit der über 24 h gemittelten Temperaturdifferenz innerhalb des gültigen Prüfzeitraums kann zur Überprüfung des Regressionsprozesses selbst nützlich sein, insbesondere wenn die Datenpunkte nicht weit auseinander liegen.

Im Fall von Resampling muss das Resampling-Intervall im Prüfbericht angegeben werden (siehe 8.5).

6.5 Überprüfung von gemittelten Daten

Die lineare Regression darf nur für „reguläre“ Punktgruppen nach Mittelung über ganzzahlige 24-h-Zeiträume angewendet werden (d. h. sie darf nicht auf Datensätze mit kürzeren Zeitintervallen — z. B. 1-h-Daten — angewendet werden), so dass Ausreißer entfernt werden können. Eine Überprüfung auf Ausreißer wird durch Anwendung der Siviour-Analyse vereinfacht (selbst wenn sie nicht zur Bestimmung der interessierenden Parameter in Abschnitt 7 angewendet wird). Anschließend ist es erforderlich, für alle gemittelten Daten Y als Funktion von X abzutragen, wobei:

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

Alle festgestellten Ausreißer müssen aus den entsprechenden gemittelten Daten des für die statistische Analyse verwendeten Datensatzes entfernt werden. Die entfernten Ausreißer müssen zusammen mit einer kurzen Begründung für ihre Beseitigung im Prüfbericht angegeben werden (siehe Abschnitt 8).

7 Datenanalyse

7.1 Allgemeines

Die interessierenden Parameter müssen bestimmt werden, indem die Verfahren der einfachen oder multiplen linearen Regression nach Tabelle 1 basierend auf der Energiebilanzgleichung (1) angewendet werden, so dass:

Tabelle 1 — Verfahren der Regression

Verfahren der linearen Regression	Beschreibung
Einfache lineare Regression mithilfe des Siviour-Verfahrens (siehe 7.2)	Dieses einfache Verfahren der linearen Regression wird durch normalisierte Messunsicherheiten der Variablen Y und X gesteuert (siehe 7.2). Es gibt drei Fälle (siehe Anhang C), in denen Restgrößen verwendet werden, um die Methode der kleinsten Quadrate zwischen Versuchspunkten und Schätzwerten anzuwenden: — der vertikale Abstand; — der horizontale Abstand; — der orthogonale Abstand.
Multiple lineare Regression (siehe 7.3)	Die multiple Regression ist eine komplexere und weiter gefasste Art der Regression, die die lineare und die nicht lineare Regression mit mehreren erklärenden Variablen vereint. Es werden zwei Möglichkeiten vorgeschlagen (siehe 7.3.1, Anhang C): — verzerrtes Energiebilanzmodell; — nicht verzerrtes Energiebilanzmodell. Obwohl ein nicht verzerrtes Energiebilanzmodell (z. B. Null-Abschnitt) eine vereinfachte Darstellung der realen Prozesse sein kann, wird es in der Regel gegenüber verzerrten Modellen (Nicht-Null-Abschnitt) bevorzugt.

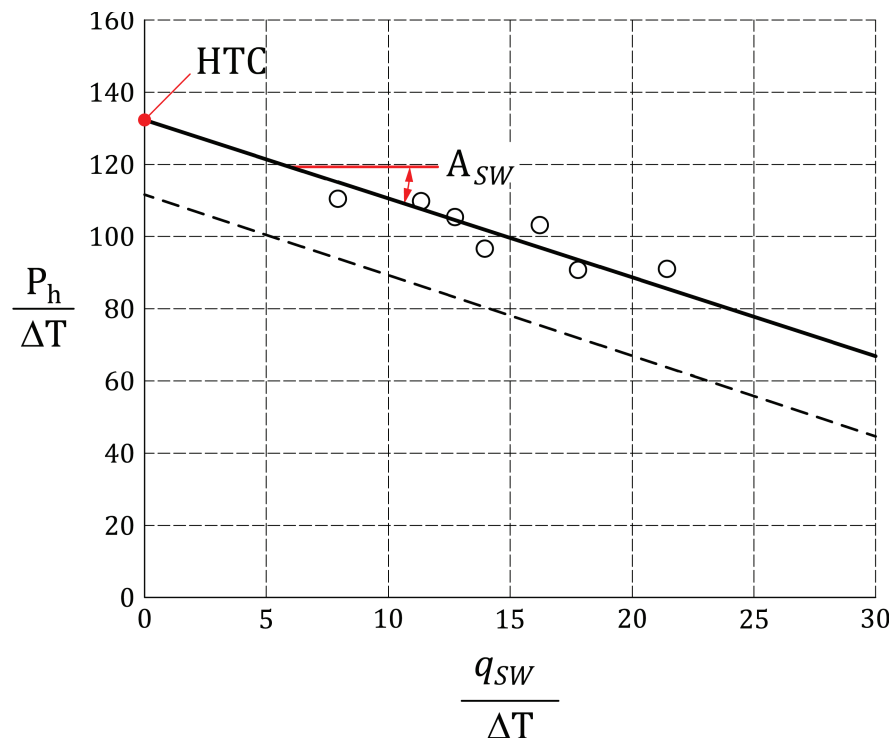
ANMERKUNG Die Verfahren zur Berechnung und Korrektur von solaren Wärmegewinnen, die auf der gemessenen Sonneneinstrahlung und den angenommenen Gebäudemerkmalen (z. B. Glasflächen, g-Werte) basieren, werden aufgrund der erheblichen Unsicherheiten, die durch Annahmen bezüglich der Gebäude- und Verglasungseigenschaften entstehen, sowie aufgrund der erhöhten Bedeutung genauer und vollständiger Sonnenstrahlungsmessungen in diesem Dokument nicht berücksichtigt.

Anhang C enthält Informationen zu den erforderlichen Datenanalyseverfahren.

7.2 Einfache lineare Regression mithilfe des Siviour-Verfahrens

Die Siviour-Analyse der Prüfergebnisse aus der Wärmeverlustprüfung am errichteten Gebäude ist durchzuführen, um bei der Abschätzung des Gesamtwärmetransferkoeffizienten den Einfluss der solaren Wärmegewinne zu berücksichtigen. Das Verfahren besteht in der Durchführung einer linearen Regression der elektrischen Heizleistung, P_h , geteilt durch den Tagesmittelwert der Temperaturdifferenz zwischen Innenraumluft und Außenluft ΔT (abhängige Variable), gegen den Tagesmittelwert der gesamten solaren Bestrahlungsstärke q_{sw} , geteilt durch den Tagesmittelwert der Temperaturdifferenz zwischen Innenraumluft und Außenluft ΔT (unabhängige Variable). Infolge dieser Analyse ist der Schnittpunkt der Regressionsline mit der y-Achse der Gesamtwärmetransferkoeffizient des Gebäudes H [W/K], wobei deren Kurve ist die äquivalente solare Apertur A_{sw} [m²], 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 die Datenpunkte
- Bemessungswerte der Wärmeverlustkoeffizienten

Bild 1 — Beispiel für die Analyse mit linearer Regression

7.3 Verfahren der multiplen linearen Regression (MLR)

7.3.1 Allgemeines

Die MLR kann zwischen der gemittelten elektrischen Heizleistung P_h [W] und zwei unabhängigen Variablen, d. h. der Temperaturdifferenz ΔT [K] und der solaren Bestrahlungsstärke q_{sw} [W/m²], durchgeführt werden. Dadurch können der Gesamtwärmeverlustkoeffizient H_{agg} [W] und die äquivalente solare Apertur A_{sw} [m²] durch Regression abgeschätzt werden.

Das Energiebilanzmodell [Gleichung (1)] basiert auf der Hypothese, dass die Tagesenergiebilanz nicht verzerrt ist. Dies bedeutet, wenn die täglichen Innen- und Außenlufttemperaturen gleich sind ($T_i = T_e$) und keine Sonneneinstrahlung vorhanden ist ($q_{sw}^* = 0$), wird eine tägliche Heizleistung von genau null angenommen.

Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass Gleichung (1) ein vereinfachtes Energiebilanzmodell darstellt, bei dem nicht alle realen Einflüsse erfasst werden (siehe Anhang A). Solche Einflüsse können durch die Berücksichtigung einer statistischen Verzerrung oder eines Achsenabschnitts (B_0) dargestellt werden. In den meisten Fällen ist es unwahrscheinlich, dass eine Verzerrung zu besseren Ergebnissen führt, so dass ein Modell ohne Verzerrung mit Nullabschnitt zu verwenden ist.

Verzerrtes Model mit einem von Null abweichenden Achsenabschnitt:

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

Unverzerrtes Modell ($B_0 = 0$) mit Nullabschnitt:

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

7.4 Validierung: Restgrößenanalyse

Sobald die Datenanalyse abgeschlossen ist, müssen Validierungsprüfungen durchgeführt werden, um die Qualität der Regression abzuschätzen und die Eignung des verwendeten Mittelungsintervalls festzustellen. Die Ergebnisse der Validierungsprüfungen müssen im Prüfbericht angegeben werden (siehe 8.6).

Die zeitabhängige Darstellung der Restgrößen muss überprüft werden, um herauszufinden, ob sich klare Muster herausbilden. Stellen sich Muster heraus, kann dies ein Hinweis darauf sein, dass das Modell zu stark vereinfacht ist und dass zusätzliche physikalische Größen aufzunehmen sind. Es sind insbesondere solche Prüfungen durchzuführen, die die Gauss-Restgrößenhypothese und fehlende Autokorrelation betreffen.

7.5 Normalverteilung von Restgrößen

Die Variabilität der Restgrößen muss gaußförmig sein. Um diese Hypothese zu validieren, muss ein Shapiro-Wilk-Test der Restgrößen nach ISO 5479:1997 durchgeführt werden.

ANMERKUNG Es hat sich bewährt, zu überprüfen, ob die Punktwolke zweidimensional normalverteilt ist, d. h. ob die Verteilung sowohl in x- als auch in y-Richtung annähernd gaußförmig ist. Eine Analyse der Punktwolke reicht in der Regel aus, um die Hypothese bezüglich der zweidimensionalen Verteilung zu validieren. Auch wenn die Validierung in der Praxis schwierig ist, weil die Anzahl der Punkte ziemlich begrenzt ist, muss überprüft werden, ob sich die Punktwolke nicht in verschiedene Gruppen von Punkten aufteilt, siehe Bild 2.

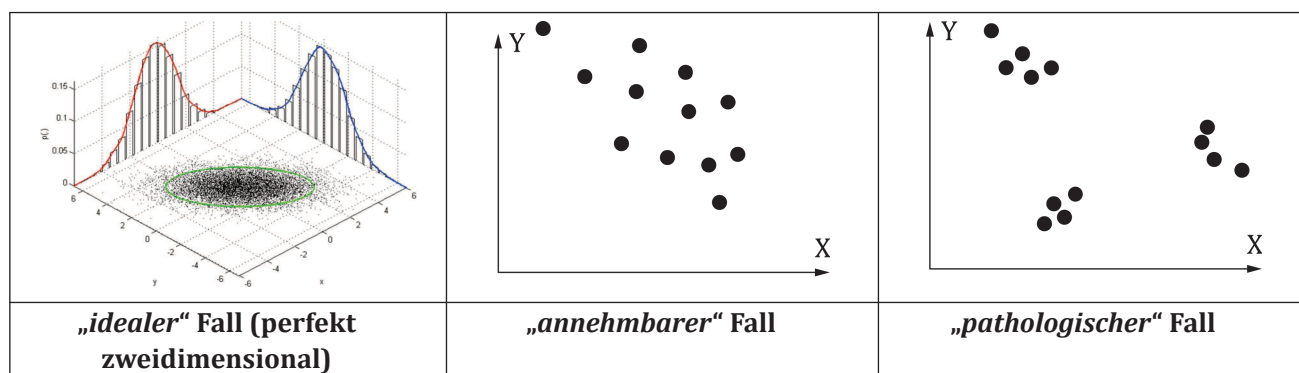


Bild 2 — Zweidimensionale Punktwolke

Lineare Regressionsverfahren implizieren formal, dass die Restgrößen zeitunabhängig sind (Homoskedastizitätshypothese). Deshalb ist es üblich, zu überprüfen, ob die Restgrößen homoskedastisch sind. Diese Prüfung könnte durchgeführt werden, indem die Restgrößen als Funktion der Zeit dargestellt werden. Der Absolutwert der Restgrößen darf sich im Verlauf der Zeit nicht ändern, wie in den folgenden Beispielen beschrieben (Bild 3):

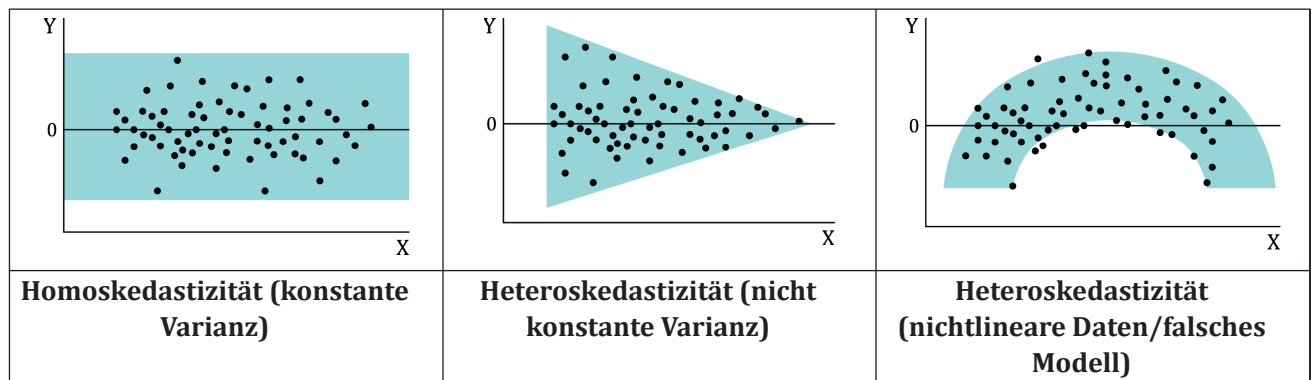


Bild 3 — Restgrößen als Funktion der Zeit

7.6 Autokorrelationsprüfung

Die Autokorrelationsprüfung muss an der Zeitreihe der Restgrößen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass sie gefiltert sind, d. h. nicht in unterschiedlichen Zeitintervallen korreliert sind („Verzögerungen“), und das Modell somit richtig verwendet wird. Die Autokorrelationsfunktion (ACF, en: autocorrelation function) ist in Gleichung (6) definiert:

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

Bei Verzögerungen ungleich Null muss die ACF unbedeutend sein oder, genauer gesagt, 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 % bis 10 % der Verzerrungskorrelationen oberhalb der 95 %-Konfidenzbänder für weißes Rauschen liegen dürfen (Bild 4). Dies wird nach Gleichung (7) berechnet:

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

ODER

$$U_{ACF} = \frac{1}{n} \pm \frac{2}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Dabei ist

n die Anzahl der Datenpunkte bei der Berechnung der ACF.

BEISPIEL

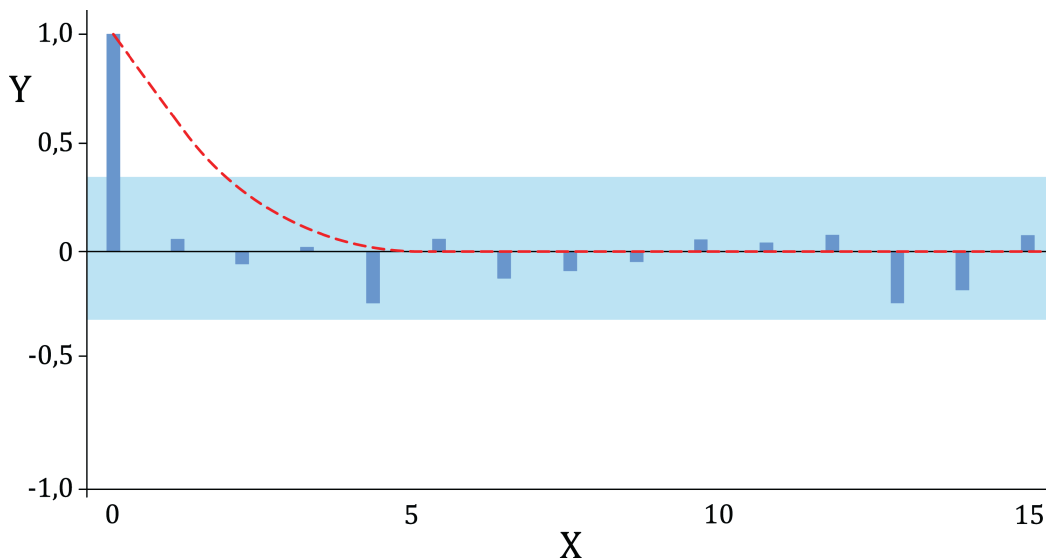


Bild 4 — Autokorrelationsfunktion für jede Verzerrung und 95 %-Vertrauensbereich

Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, muss der Regressionsvorgang mit einem vergrößerten Abtastintervall neu gestartet werden (d. h. von der 1-Tages-Mittelung zur 2-Tages-Mittelung). Ändert sich das Ergebnis durch ein größeres Abtastintervall nicht, muss der Bericht das Ergebnis für das vorherige Abtastintervall angeben und die Aussage enthalten, dass die Validierungsprüfung nicht bestanden wurde. Anhang E enthält ein Beispiel für die Analyse der Daten aus der Wärmeverlustprüfung an einem errichteten Gebäude.

Anhang F enthält einige nützliche praktische Empfehlungen.

8 Bericht

8.1 Allgemeines

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

8.2 Daten bezüglich des zu prüfenden Gebäudes/der zu prüfenden Struktur

- Standort, Form, Bauart und Anzahl der Stockwerke des Gebäudes;
- Grundrisse und Ausrichtung des Gebäudes;
- ungefähres Alter des Gebäudes;
- Gebäudemerkmale: Grundfläche, Gesamthüllfläche, verglaste Flächen, gemeinsame Gebäude-trennwand/gemeinsame Boden-/Deckenflächen, Luftleckage/Luftdurchlässigkeit;
- die hauptsächlich verwendeten Baustoffe (sofern bekannt, anderenfalls eine Vermutung);
- die Ergebnisse der Vor- und Nachprüfungen mit Differenzdruck.

8.3 Beschreibung des Versuchsaufbaus

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

- Standorte der Sensoren im Innenraum, der elektrischen Heizgeräte und Umwälzlüfter, die in den Grundriss des Gebäudes eingetragen werden;
- Standorte der Sensoren in der Außenumgebung (einschließlich der Ausrichtung für die Messung der Sonneneinstrahlung);
- Abstand zwischen den Aufzeichnungen der Rohdaten und Anzahl der gemittelten oder abgetasteten Messungen in jeder Aufzeichnung;
- die Höhe der abgeschätzten, nicht aufgezeichneten Leistungsaufnahmen.

8.4 Bedingungen während der Messung

- Informationen zum Prüfprotokoll, wie in prEN 17887-1 beschrieben;
- Angabe, ob die Daten vollständig nach prEN 17887-1 erfasst wurden, und Erläuterung eventueller Abweichungen;
- Datum und Uhrzeit für den Start und das Ende des Messzeitraums (gesamter Datenerfassungszeitraum);
- Darstellung der Daten in chronologischer Form oder in tabellarischer Form in maximal einstündigen Zeitabständen für:
 - Innenraumbedingungen: Lufttemperaturen in allen Bereichen, elektrische Heizleistung, relative Luftfeuchte, Lufttemperaturen in allen unbeheizten angrenzenden Bereichen (z. B. Dachböden, Wintergärten, Garagen, Hohlräume);
 - Umgebungsbedingungen: Lufttemperatur, Sonneneinstrahlung und alle zusätzlichen Messungen (z. B. relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Windrichtung);
- Einzelheiten zum Aufbau des Gebäudes während des Messzeitraums:
 - vorgesehene Lüftungswege abgedichtet/geschlossen;
 - Vorhänge, Rollläden oder Jalousien geöffnet/geschlossen;
 - Abflüsse und Geruchsverschlüsse gefüllt/abgedichtet/nicht abgedichtet;
 - Türen im Inneren des Gebäudes offengehalten.

8.5 Vorverarbeitung von Daten

- Zeitraum der für die Analyse verwendeten Daten (einschließlich der Daten, die von der Analyse ausgeschlossen wurden);
- jegliche Unregelmäßigkeiten und Lücken in den Daten (siehe 6.2);
- jegliche Bereinigung der Daten (siehe 6.3);
- Klärung, welche Daten entfernt wurden und mit welcher Begründung;
- das Verfahren zur Manipulation des gemessenen Sonnenstands, z. B. zur Umwandlung der globalen Horizontalen in die Vertikale;
- der für die Datenanalyse verwendete Mittelungszeitraum, z. B. 24 h, 48 h (siehe 6.4);
- das für die Mittelung verwendete Zeitintervall, z. B. 06:00 Uhr bis 06:00 Uhr oder 24:00 Uhr bis 24:00 Uhr;

- eine Tabelle mit dem gemittelten Eingangsdatensatz, d. h. gemittelte Heizleistung P_h , gemittelte Innen- und Außenlufttemperaturen T_i und T_e , und gemittelte solare Bestrahlungsstärke q_{sw}^* .

8.6 Gesamtwärmetransferkoeffizient und zugehörige Unsicherheitenabschätzung

- Ein Diagramm, das die Punkte von P_h als Funktion von ΔT vor der linearen Regression zeigt;
- ein Diagramm, das die Punkte und die angepasste Kurve, $y = f(x)$, nach der linearen Regression zeigt;
- alle Prüfergebnisse müssen mindestens den Schätzwert der H_{agg} - und A_{sw} -Koeffizienten enthalten, die nach der in 7.2 beschriebenen Siviour-Methode berechnet wurden. Normalverteilte Standardabweichungen der x- und y-Variablen und folglich die Art des angewendeten linearen Regressionsverfahrens (siehe 8.8);
- Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests und der Autokorrelationsfunktion;
- der Gesamtwärmetransferkoeffizient, H_{agg} [W/K], und die zugehörigen Unsicherheiten müssen nach den folgenden Konventionen im Prüfbericht angegeben werden:

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

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

wobei H_{agg} der beste Schätzwert für den Gesamtwärmetransferkoeffizienten ist und U_H die erweiterte Unsicherheit im 95 %-Vertrauensbereich ist. Sie ist unter Verwendung der Messunsicherheit u_{mes} (Anhang C) und der Modellunsicherheit u_{model} (Anhang C) abzuschätzen;

- Messunsicherheiten jeder Eingabe (P_h , T_i , T_e und q_{sw}), die nach diesem Dokument (Anhang B) quantitativ bestimmt wurden.

8.7 Ergänzende und unterstützende Messungen

Einzelheiten zu ergänzenden oder unterstützenden Messungen (z. B. Luftdurchlässigkeit, Infiltrationsrate mittels Indikatorgas-Abklingverfahren oder Verfahren mit kontinuierlicher Konzentration, In-situ-Messungen des U-Werts, Thermographie, Feuchte usw.). Bei jedem Verfahren wird Folgendes dokumentiert:

- die Vorgehensweise und die Bezugsnorm zur Durchführung der Prüfung;
- eine vollständige Kopie des Prüfberichts, zusammen mit der erfolgten Vorgehensweise;
- Messunsicherheiten.

8.8 Gesamtwärmetransferkoeffizient und zugehörige Unsicherheitenabschätzung

- Prüfergebnisse für die Luftundurchlässigkeit in $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ und ACH, mit dem zugehörigen Differenzdruck bei Prüfmessung, z. B. bei 50 Pa;
- niedrigste, höchste und mittlere externe Windgeschwindigkeit, Außenlufttemperatur und Temperaturdifferenz.

Anhang A (normativ)

Beschränkungen und Fehlerquellen

A.1 Allgemeines

Die Genauigkeit, Vergleichpräzision und Interpretation der Schätzwerte für den Gesamtwärmetransferkoeffizienten werden durch verschiedene Faktoren eingeschränkt, die sich sowohl auf experimentelle als auch auf Modellunsicherheiten beziehen.

A.2 Beschränkungen und Fehler infolge experimenteller Unsicherheiten

Dieser Abschnitt befasst sich ausführlich mit den Unsicherheiten in Zusammenhang mit der Erfassung von Versuchsdaten, die für die Abschätzung des Gesamtwärmetransferkoeffizienten erforderlich sind. Diese dürfen durch sorgfältige Anwendung des in prEN 17887-1 festgelegten Prüfprotokolls verringert oder besser beschrieben werden. Erfahrungen mit der Durchführung und mögliche Fehler bei der Durchführung müssen nach Abschnitt 8 angegeben werden.

A.2.1 Temperaturmessungen

Unsicherheiten in Verbindung mit Temperaturmessungen umfassen:

- die Aussagekraft der gemessenen Temperaturen (Anordnung der Sensoren);
- die Kalibrierung der Temperatursensoren;
- Genauigkeit bei der Bestimmung der Ausgabewerte der Temperatursensoren (digitale Spannungsmessgeräte und Datenerfassungssysteme);
- Einfluss von Strahlung auf externe und interne Sensoren.

A.2.2 Messung von Sonneneinstrahlung

Unsicherheiten in Verbindung mit der Messung der Sonneneinstrahlung umfassen:

- Überschattung des Sensors. Dazu kann eine teilweise Überschattung zu unterschiedlichen Tageszeiten gehören (oder zu unterschiedlichen Jahreszeiten bei der Langzeitüberwachung), je nach Laufbahn der Sonne im Verhältnis zur Umgebung und zum Sensor (z. B. Schattenwurf des überwachten Gebäudes oder der Gebäude in der Nähe, jahreszeitbedingte Vegetation usw.);
- Position des Sensors;
- Genauigkeit des Sensors;
- Auflösung des Sensors;
- Schmutz- oder Staubansammlung auf dem Sensor.

A.2.3 Leistungsaufnahme

Unsicherheiten in Verbindung mit der Leistungsaufnahme umfassen:

- Leitungsverluste;

- Genauigkeit und Auflösung des Leistungsmessgeräts;
- nicht tarifiert;
- tarifizierte Einrichtungen außerhalb der Gebäudesubstanz.

A.2.4 Fehlerhafter Wärmestrom durch unzureichende Schutzvorrichtungen

Wärmetransfer in angrenzende Gebäude oder konditionierte Bereiche muss durch Schutzvorrichtungen für den Versuchsaufbau auf ein Mindestmaß begrenzt werden (prEN 17887-1:2022, B.1). In der Praxis tritt ein gewisses Maß an Wärmetransfer zwischen den zu prüfenden Gebäuden und diesen Bereichen auf. Dies führt zu einer systematischen Abweichung des gemessenen Gesamtwärmetransferkoeffizienten, die von der Richtung des Nettowärmetransfers abhängig ist. Die systematische Abweichung muss abgeschätzt und in die Schätzwerte für die Unsicherheit integriert werden (siehe Anhang B).

A.2.5 Interne Temperaturdrifts und -schwankungen

Das stationäre Modell, das zur Analyse verwendet wird, setzt eine konstante Innenraumtemperatur voraus, ein Zustand, der durch Folgendes gestört werden kann:

- Aufnahme nicht-stationärer Zustände in die Datenanalyse (z. B. Aufnahme des Anfangszeitraums der Beheizung in die Analyse);
- kurzzeitige Schwankungen (z. B. durch solare Wärmegewinne);
- Ausfall der Einrichtungen oder unzureichende Heizleistung;
- längerfristige Temperaturdrifts (z. B. ungeeignete Witterungsbedingungen, die zu langfristiger Überhitzung während des Versuchs oder zu unzureichender elektrischer Beheizung während des Versuchs führen).

A.2.6 Temperaturgleichmäßigkeit

Die Analyse der Daten basiert auf der Annahme einer einzigen, gut durchmischten Zone, die durch eine einzige Temperatur gekennzeichnet ist. Die Gleichmäßigkeit der Innenraumtemperatur kann durch Schichtung, isolierte thermische Zonen, ungleichmäßigen Wärmeverlust durch die Bausubstanz oder mangelhafte Umwälztechniken beeinflusst sein. Durch die Verwendung einer ausreichenden Anzahl an Temperatursensoren und durch Einhaltung der Leitlinien von prEN 17887-1:2022, 8.1.1, können Unsicherheit und Ungleichförmigkeit verringert werden.

A.3 Einschränkungen und Fehler infolge Modellunsicherheiten

Modelle sind stets Abstraktionen natürlicher Systeme, bei denen weniger bedeutende Variablen und Wechselwirkungen vernachlässigt werden und einige Beziehungen in vereinfachter Form dargestellt sind. Unsicherheiten, die auf den Modellierungsprozess zurückzuführen sind, werden hier in A.3.1 bis A.3.7 beschrieben.

A.3.1 Speicherwärme

Die Modelle der linearen Regression setzten eine Unabhängigkeit der aggregierten (24 h) Datenpunkte voraus. Wärmeeinträge, d. h. durch solare Wärmegewinne, können dazu führen, dass Wärme über einen bis mehrere Tage gespeichert wird. Dies kann zur Unterschätzung des Gesamtwärmetransferkoeffizienten führen und muss durch Versuche und Analysen (Abschnitt 7) auf ein Mindestmaß begrenzt werden. Dies kann insbesondere für Gebäude mit hoher Speicherkapazität und mit großen Glasflächen sowie für Prüfungen, die in sonnigen Phasen durchgeführt werden, zutreffen.

A.3.2 Messungen der Sonneneinstrahlung

Die Messungen der Sonneneinstrahlung liefern eine imperfekte Darstellung der auf ein zu prüfendes Gebäude auftreffenden Sonnenstrahlen. Dies kann zu systematischen Fehlern bei der Abschätzung des Gesamtwärmetransferkoeffizienten führen. Jeder systematische Fehler muss durch eine optimale Anordnung der Sensoren für die Sonneneinstrahlung, am besten senkrecht zu der Gebäudefassade mit den höchsten erwarteten solaren Wärmege winnen, reduziert werden (prEN 17887-1:2022, 8.1.7). Jede Abweichung von diesem Messvorgang muss deutlich im Prüfbericht angegeben werden (Abschnitt 8).

A.3.3 Schwankungen infolge der Windgeschwindigkeit

Sich ändernde Windgeschwindigkeiten und Winddrücke beeinflussen die Infiltrations- und Wärmeverlustraten während des Prüfzeitraums. Diese Schwankungen werden normalerweise nicht in den Regressionsmodellen berücksichtigt und verstärken damit die Streuung der aggregierten Datenpunkte. Dies führt außerdem zu Differenzen bei Wiederholungsprüfungen am selben Gebäude bei unterschiedlichen Windbedingungen und zwischen berechneten und gemessenen Werten für den Gesamtwärmetransferkoeffizienten. Die Windgeschwindigkeiten müssen für den gesamten Prüfzeitraum aufgezeichnet und angegeben werden (8.4).

A.3.4 Feuchteinflüsse

Bei Vorhandensein von übermäßiger Feuchte in der Bausubstanz können zusätzliche latente Heizlasten aufgrund von Verdampfung auftreten, die zu Überschätzungen des Gesamtwärmetransferkoeffizienten führen. Die Abschätzung aller zusätzlichen latenten Heizlasten ist ein komplexer Vorgang und muss vermieden werden, indem sichergestellt wird, dass das zu prüfende Gebäude keine übermäßige Feuchte aufweist (prEN 17887-1:2022, 5.2), weshalb die Luftfeuchtegehalte über den gesamten Prüfzeitraum aufgezeichnet und angegeben werden müssen (8.4).

A.3.5 Jahreszeitlich bedingte Schwankungen

Die Bodentemperatur unter einem Gebäude kann sich im Verlauf der Heizperiode ändern, d. h. von Herbst bis Frühling kühlt der Boden aus. Dies kann zu einem erhöhten Wärmeverlust an den Boden führen, besonders bei Gebäuden mit Massivböden ohne Fußbodenisolierung. Jahreszeitlich bedingte Schwankungen des Feuchtegehalts der Bausubstanz können außerdem den abgeschätzten Gesamtwärmetransferkoeffizienten beeinflussen; beispielsweise besitzen Sichtmauerwerkswände nach längeren Schlagregenperioden eine höhere Wärmeleitfähigkeit.

A.3.6 Indirekter Wärmetransfer

Zwischen einem zu prüfenden Gebäude und den umgebenden Elementen können indirekte Wärmetransferwege vorhanden sein, die eine andere Temperatur als die Umgebungsluft besitzen (z. B. Boden, Dachboden oder Wartungsräume, gemeinsame Trennwände/-böden oder Strahlungstemperaturen am Himmel). Lineare Regressionsmodelle gehen davon aus, dass der gesamte Wärmetransfer an die Außenluft gekoppelt ist. Solche Elemente können mithilfe von Temperatur- oder Wärmeflussensoren überwacht werden.

A.3.7 Regressionsfehler

Bei der normalen linearen Regression der kleinsten Quadrate wird davon ausgegangen, dass Unsicherheit nur in der abhängigen Variable vorhanden ist. Das Vorhandensein von Unsicherheiten in der unabhängigen Variable der Regressionsmodelle kann zu einer Dämpfungsverzerrung führen, infolgedessen der Gesamtwärmetransferkoeffizient unterschätzt wird. Anhang C enthält Einzelheiten zur Auswahl des am besten geeigneten Regressionsverfahrens, um jegliche Unsicherheiten in Zusammenhang mit der Regression zu begrenzen.

A.4 Vergleich zwischen berechneten und abgeschätzten Werten

Ein Gesamtwärmetransferkoeffizient, der mithilfe eines geeigneten Berechnungsverfahrens ermittelt wurde, darf mit dem Schätzwert verglichen werden, der mithilfe der Gesamtwärmeverlustprüfung ermittelt wurde. Unterschiede zwischen diesen beiden Werten können auf Folgendes zurückzuführen sein:

- als Eingaben für die Berechnung wurden fehlerhafte Werte verwendet (z. B. Wärmeleitfähigkeiten, Abmessungen, Lüftungswärmeverlust). Dies kann zurückzuführen sein auf eine fehlerhafte Identifizierung der Baustoffe, das Ersetzen von Bauprodukten, die Installation, Unterschiede zwischen den tatsächlichen Eigenschaften der Baustoffe und der angenommenen Werte oder auf Feuchteinflüsse (z. B. höherer Feuchtegehalt vor Ort als in den berechneten Werten);
- Berechnungsverfahren und die Darstellung des Wärmetransferprozesses im zu prüfenden Gebäude. Zum Beispiel die Art und Weise, wie die Wärmebrücken behandelt werden;
- die Umgebungsbedingungen während der Prüfung entsprechen nicht denen, die zur Berechnung von Werten verwendet wurden:
 - Windgeschwindigkeiten und Lüftungswärmeverluste;
 - ΔT und Wärmeverluste durch Kamineffekte;
 - Bodentemperaturen und Äquivalenttemperaturen des Himmels;
 - Phasenübergang wie Gefrieren, Tauen, Kondensieren oder Verdampfen von Wasser und Feuchte. Die kann besonders auf neue Gebäude zutreffen, die noch nicht vollständig „ausgetrocknet“ sind.
 - betriebliche Unsicherheiten (d. h. Einfluss des Prüfverfahrens auf den Wärmetransfer), einschließlich erhöhter Wärmeverluste bei höheren Innenraumtemperaturen und Einfluss vom Umwälzlüften auf die Oberflächenkoeffizienten;
 - Konvektionsluftströme in der Bausubstanz, die den Gesamtwärmetransferkoeffizienten beeinflusst haben, aber die bei der rechnerischen Ermittlung nicht berücksichtigt wurden.

Es ist wichtig, die zu erwartenden Differenzen aufgrund natürlicher Schwankungen des Gesamtwärmetransferkoeffizienten von den Differenzen zu trennen, die sich aus den Definitionsunterschieden zwischen dem berechneten und dem tatsächlichen Gebäude ergeben (Leistungslücke bei der Modellierung) und von den Differenzen, die mit dem Wärmeverhalten vor Ort zusammenhängen (fehlende Leistung der Bausubstanz). Die Ergebnisse sind sorgfältig zu dokumentieren und auszuwerten — sowohl für den Vergleich mit berechneten Werten als auch für andere Messungen bei der Prüfung.

Anhang B (normativ)

Prozess zur Abschätzung der experimentellen Unsicherheit

B.1 Allgemeines

Anhang B beschreibt ausführlich die Schritte zur Abschätzung der experimentellen Unsicherheit für den Gesamtwärmetransferkoeffizienten — d. h. der Unsicherheit in Verbindung mit den Eingangsparametern P_h , q_{sw} , T_i und T_e . In der Regel ist die experimentelle Gesamtunsicherheit abzuschätzen, indem die Eingangsdaten so angepasst werden, dass sie die Unsicherheit jeder gemessenen Variable wiedergeben. Der Gesamtwärmetransferkoeffizient, H_{agg} [W/K], muss dann für jedes dieser Szenarien berechnet werden. Genauer gesagt, die für jede Eingangsvariable abgeschätzte Unsicherheit (u) (T_i , T_e , P_h , q_{sw}) muss verwendet werden, um den Fall mit dem größten ($x + u(x)$) und dem kleinsten ($x - u(x)$) Fehler für jede Eingangsvariable (x) zu erstellen. H_{agg} muss dann für jede Iteration 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 Schritt-für-Schritt-Ansatz ist in B.1 enthalten.

B.2 Prozess zur Unsicherheitenabschätzung

- a) Die Beziehung zwischen allen Eingangsmessungen und der Messgröße (z. B. H_{agg} in diesem Beispiel) wird abhängig von dem gewählten 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 angewendet werden, wobei entweder die OLS- (en: ordinary least square) oder die RMA-Methode (en: ranged major axis) angewendet wird (siehe Anhang C).

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

Zum Beispiel:

Kalibrierunsicherheiten: $u(T_i)_{\text{calibration}}$

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

Eine Abschätzung dieser einzelnen Unsicherheitskomponenten einer Eingangsvariablen darf auf einer Typ-A-Unsicherheitenbewertung (statistische Analyse von Feststellungen) oder auf einer Typ-B-Unsicherheitenbewertung (auf Grundlage von nicht statistischen Verfahren, einschließlich vorausgegangener Messungen, Erfahrungen und allgemeinen Kenntnissen, Herstellerspezifikationen und Referenzdaten) basieren. Beispiele sind in B.2 angegeben.

- c) Für jede Unsicherheitsquelle einer Eingabe (P_h , q_{sw} , T_i , T_e), die hier mit x dargestellt wird, wird die Größe der Unsicherheit abgeschätzt und als eine Standardunsicherheit $u(x)$ angegeben. Für jede Eingabe müssen die korrelierten Unsicherheiten arithmetisch kombiniert werden, während nicht korrelierte Unsicherheiten in Quadratur kombiniert werden können.

Zum Beispiel:

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

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

Unsicherheiten wie räumliche Schwankungen der Innenraumtemperaturen können sich über die Zeit ändern, was zu einer anderen Unsicherheit je (täglichem) Datenpunkt führt. Dies kann zu Schätzwerten für die Gesamtunsicherheit führen, die je täglichem Datenpunkt variieren.

- d) Mit der Beziehung oder dem Regressionsansatz von Schritt 1) werden die Fälle mit dem größten ($x + u(x)$) und dem kleinsten ($x - u(x)$) Fehler für jeden Eingangsparameter x erstellt. Anhand dieser Fälle wird der Einfluss, den jede Größe auf die geschätzte Messgröße (z. B. H_{agg}) hat, abgeschätzt, d. h. die gewählte Regressionsanalyse wird erneut durchgeführt, wobei nacheinander auf jede Eingangsvariable der größte und dann der kleinste Fehler angewendet wird. Die Auswirkungen auf H werden mithilfe des Sensitivitätsfaktors, $c(x)$, definiert.

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

Zum Beispiel:

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

- e) Die Beiträge aller Eingaben zur Unsicherheit werden kombiniert, um die Messunsicherheit für H_{agg} , d. h. $u(H_{\text{agg}})_{\text{meas}}$, zu bestimmen. Wenn alle Unsicherheitsquellen unkorreliert und willkürlich 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:

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

ANMERKUNG 2 Ein konstanter Versatz oder eine lineare Unsicherheit, angewendet auf die Eingabe Sonneneinstrahlung (q_{sw}), besitzt einen vernachlässigbaren Einfluss auf H aufgrund der Inklusion von q_{sw} im Regressionsmodell, was hier zu einem Sensitivitätsfaktor von null führt.

- f) Schließlich muss das Ergebnis als eine erweiterte Unsicherheit (U) über den erweiterten Bereich (k) angegeben werden. Eine angegebene Unsicherheit ist wenig aussagekräftig, wenn nicht angegeben wird, in welchem Vertrauensbereich sie liegt. Üblicherweise ist ein Wert von $k = 2$ (95 %-Vertrauensbereich) anzuwen-

den.

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

Zum Beispiel:

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

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

B.3 Abschätzung der Beiträge zur Unsicherheit

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

Die Unsicherheit in der Eingabe T_i darf die Genauigkeiten der Sensorkalibrierung, räumliche Schwankungen, Speichergenauigkeiten, Sensorauflösungen und Einflüsse durch Strahlung enthalten. In vielen Fällen dürfen Speichergenauigkeiten und Sensorauflösung vernachlässigt werden, aber mindestens Sensorkalibrierung, Speichergenauigkeiten und räumliche Schwankung müssen in den Unsicherheitsschätzwerten enthalten sein.

Wird davon ausgegangen, dass mehrere Sensoren denselben Parameter (T_i) messen, kann die Unsicherheit der Sensorgenauigkeiten, $u(T)_{\text{sensor}}$, wie folgt definiert werden:

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

Dabei ist

$u(T_i)_{\text{sensor}}$ die festgelegte Standardunsicherheit von Sensor und Datenspeicher in Abhängigkeit vom Kalibrierprozess (z. B. wenn die Sensoren und deren Datenspeicher 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 Gesamtzahl der Sensoren.

Dann besteht eine Unsicherheit in Zusammenhang mit der räumlichen Schwankung des Werts von T_i , $u(T)_{\text{spatial}}$, und der Repräsentativität eines Gesamtwerts:

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

Ansonsten, wenn $n < 30$, gilt:

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

Dabei ist

$s(T_i)$ die Standardabweichung der in einem zu prüfenden Gebäude verwendeten Sensoren, berechnet für jeden Tagesdatenpunkt. Dies ergibt eine Überlappung mit der Unsicherheit bezogen auf die Sensorgenauigkeit, so dass sie in Quadratur kombiniert werden müssen.

Somit ergibt sich die Unsicherheit $u(T_i)$ 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 in T_e darf wie für T_i berechnet werden. Die Ausnahme ist, dass erwartet wird, dass weniger externe Sensoren verwendet werden und dass sie anfälliger für Unsicherheiten durch Strahlungseinfluss sind. Dies kann diese Unsicherheitsquelle einflussreich machen, besonders dann, wenn nur ein externer Sensor verwendet wird oder dieser an einer ungünstigen Stelle angeordnet ist.

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

Falls das Versuchsprotokoll sorgfältig befolgt wird, muss die Unsicherheit der elektrischen Heizlast auf die Genauigkeiten der Messsensoren begrenzt sein. Unsicherheiten werden durch Messgenauigkeiten verringert, wenn mehrere Sensoren verwendet werden, da die erwarteten Fehler im Durchschnitt zufällig sind oder in entgegengesetzte Richtungen fallen. Zusätzliche Sensoren würden allerdings nicht die systematische Abweichung verringern. Deshalb gilt:

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

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 Sensoren von Strommessgeräten, zusammen mit deren Sensoren und Datenspeichern, in Abhängigkeit vom Kalibrierprozess (z. B. falls der Sensor und dessen Datenspeicher mit einer erweiterten Unsicherheit ($k = 2$) von $3 \% \times$ Durchschnittslast $\overline{P_h}$ kalibriert wurden, dann ist $u(P_h)_{\text{sensor}} = \frac{3\% \times \overline{P_h}}{2}$);

n_{sensors} die Gesamtzahl der Sensoren.

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

B.3.4 Unsicherheit aufgrund von Wärmetransfer durch die Gebäudetrennwand

Der Wärmetransfer in angrenzende Bereiche oder aus angrenzenden Bereichen (z.B. durch Gebäudetrennwände) muss durch Versuche auf ein Mindestmaß begrenzt werden. Wird er mithilfe des Wärmestroms oder anhand von Temperaturen gemessen oder abgeschätzt, sind Korrekturen zulässig. In jedem Fall muss die Unsicherheit infolge des Wärmetransfers durch Gebäudetrennwände in den Schätzwert der Gesamtunsicherheit einbezogen werden. Schätzwerte für $u(P_h)_{\text{party_wall}}$ dürfen entweder auf Wärmeflussmessungen an Trennwand-/Trennbodenelementen oder auf den Temperaturdifferenzen und vorhergesagten U -Werten beruhen. 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

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

Dabei sind

$u(A_i)$, $u(q_i)$ und $u(\Delta T_i)$ die Messunsicherheiten, die entsprechend zu berechnen sind. $u(U_i)$ ist als $u(R_i)/R_i^2$ zu berechnen (R_i enthält die Oberflächenwiderstände). Die Unsicherheit des Wärmewiderstands der Gebäudetrennwand hängt von der Dicke und der Leitfähigkeit jedes Materials, aus dem die Wand besteht, ab.

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

Wegen der Schwierigkeit, e und λ des Materials zu ermitteln, wird ein üblicher Wert für $u(R_i)$ von beispielsweise 20 % R_i vorgeschlagen.

$n_{\text{party_wall}}$ die Anzahl der Trennwandelemente;

$\bar{q}_j$ der durchschnittliche im Element j gemessene Wärmestrom (W/m^2);

A_j die Fläche (m^2) des Elements j ;

U_j der abgeschätzt U -Wert des Elements j ;

ΔT_j die Temperaturdifferenz des Elements j .

Dies kann kombiniert werden mit:

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

Wird eine Korrektur vorgenommen, d. h. eine Änderung von P_h durch Addition/Subtraktion des abgeschätzten Wärmestroms über die Trennelemente, P_{party} , dann muss $u(P_h)_{\text{party}}$ in der obenstehenden Gleichung auf der Unsicherheit nach dieser Korrektur basieren.

B.3.5 Unsicherheit in q_{sw} *

In die Unsicherheitsquellen bei den Messungen der Sonneneinstrahlung dürfen Genauigkeit, Anordnung und Überschattung der Sensoren einbezogen werden. Es ist wichtig zu beachten, dass alle systematischen oder linearen Unsicherheiten zwar einen vernachlässigbaren Einfluss auf H haben, stattdessen aber den Wert von A_{sw} beeinflussen, der durch Regressionsanalyse bestimmt wurde. Dies zeigt sich im abgeschätzten Sensitivitätsfaktor.

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

$u(q_{\text{sw}})_{\text{sensor}}$ ist die Standardunsicherheit der Sensoren für die Sonneneinstrahlung und deren Datenspeicher in Abhängigkeit vom Kalibrierprozess (z. B. falls der Sensor und dessen Datenspeicher mit einer erweiterten Unsicherheit ($k=2$) von $3\% \times$ durchschnittliche Sonneneinstrahlung $\bar{q}_{\text{sw}}$ kalibriert wurden, dann ist

$$u(q_{\text{sw}})_{\text{sensor}} = \frac{3\% \times \bar{q}_{\text{sw}}}{2}.$$

B.3.6 Weitere, nicht näher bestimmte Unsicherheiten

Weitere Unsicherheitsquellen, die in A.2 aufgeführt sind, können nicht ohne Weiteres anhand statistischer Analysen oder vorhandener Informationen definiert werden. Sie sind dennoch bedeutende Unsicherheitsquellen und es muss möglichst versucht werden, sie zu erfassen. Dazu zählen:

- *Speicherwärme:* Die Unsicherheit durch Speicherwärme, üblicherweise infolge solarer Wärmegewinne, hängt von der Wärmespeicherkapazität des Gebäudes, den tatsächlichen solaren Wärmegewinnen und der Verteilung von sonnigen und bedeckten Tagen innerhalb der Regression ab. Dies kann besonders Gebäude mit hoher Wärmespeicherkapazität oder Gebäude mit vielen Glasflächen unter sonnigen Bedingungen