

Anton Maas, Stephan Schlitzberger

Thermisches und energetisches Verhalten von Gebäuden im Lichte des Klimawandels

Anforderungen und Lösungen für den Sonnenschutz

F 2869

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2013

ISBN 978-3-8167-9060-0

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

Bitte beachten:

Fehlende Seiten sind **Leerseiten**,
die bei Erstellung
der PDF-Datei für den Download nicht
berücksichtigt wurden

Fraunhofer IRB Verlag

Thermisches und energetisches Verhalten von Gebäuden im Lichte des Klimawandels

-Anforderungen und Lösungen für den Sonnenschutz-

Endbericht

Forschungsprogramm

Forschungsinitiative „Zukunft Bau“, ein Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

Projektlaufzeit

02. Januar 2012 bis 14.5.2013

Aktenzeichen

SF-10.08.18.7-11.40 / II 3-F20-
11-1-055

im Auftrag

des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung (BBR)

bearbeitet von

Dipl.-Ing. Stephan Schlitzberger, Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Kassel

Dieser Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. (Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7-11.40 / II 3-F20-11-1-055) Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Der Bericht umfasst 157 Seiten. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse darf nicht unvollständig oder in sinnentstellendem Zusammenhang erfolgen.

Projektbearbeitung:

Ingenieurbüro Prof.-Dr. Hauser GmbH

Gottschalkstraße 28a

34127 Kassel

Telefon ++49 (0) 561 / 804-2414 (Maas)

++49 (0) 561 / 94990432 (Schlitzberger)

Fax ++49 (0) 561 / 494935

Mail maas@ibh-hauser.de

schlitzberger@ibh-hauser.de

Projektpartner:

Industrieverband Technische Textilien - Rollläden - Sonnenschutz e.V.

Fliethstraße 67

41061 Mönchengladbach

Telefon ++49 (0) 2161 / 294181-0

Fax ++49 (0) 2161 / 294181-1

Mail info@itrs-ev.com

Kassel, 14. Mai 2013



Prof. Dr.-Ing. Anton Maas

Projektleitung



Dipl.-Ing. Stephan Schlitzberger

Projektbearbeitung

Hinweis:

Soweit im Text nicht anders gekennzeichnet sind alle Grafiken und Bilder durch das Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH erstellt worden.

Inhalt

1	Einleitung/Projektvorstellung	7
1.1	Kurzbeschreibung des Forschungsvorhabens	7
1.2	Beschreibung der zu lösenden Probleme	7
1.3	Begründung des Forschungsvorhabens	8
2	Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2	11
2.1	Nachweisführung im vereinfachten Verfahren.....	12
2.2	Nachweis durch Simulationsrechnung.....	13
3	Klimadatenanalyse - Testreferenzjahresdatensätze im Vergleich.....	17
3.1	Klimatologische Kenntage der Normal-, Extrem- und Zukunfts-TRYs ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.....	19
3.2	Einflüsse aus Höhenkorrektur und Stadtklima in den Normal-TRYs 2011	21
4	Berechnungsrandbedingungen und Beschreibung des Basisfalls.....	26
5	Sommerliches Mindestwärmeschutzniveau nach DIN 4108-2 bei extremen und zukünftigen Klimarandbedingungen	29
5.1	Gegenüberstellung der nach DIN 4108-2 nachweisrelevanten TRY-Datensätze Rostock (Klimaregion A), Potsdam (Klimaregion A) und Mannheim (Klimaregion A).....	31
5.2	Auswertungen zum Basisfall Nichtwohnnutzung für alle 15 TRY-Regionen.....	35
5.2.1	Gegenüberstellung Normal-TRYs zu Extrem-TRYs	35
5.2.2	Gegenüberstellung Normal-TRYs zu Zukunfts-Normal-TRYs	37
5.2.3	Gegenüberstellung Normal-TRYs zu Zukunfts-Extrem-TRYs.....	39
5.2.4	Zusammenfassung Auswertungen aus Abschnitt 5.2.1 bis 5.2.3.....	39
5.3	Variation von Fensterflächenanteil und Nachtlüftung	41
5.3.1	Betrachtung Wohnnutzung.....	42
5.3.2	Betrachtung Nichtwohnnutzung.....	45
5.4	Möglichkeiten zur Verringerung der thermischen Beanspruchung.....	49
5.4.1	Reduzierung des g-Wertes.....	49
5.4.2	Reduzierung der Grenzbestrahlungsstärke im Fall einer strahlungsabhängigen Steuerung des Sonnenschutzes.....	51
5.4.3	Ansatz reduzierter interner Wärmeeinträge	53
5.4.4	Einfluss der Speichermasse, Erhöhung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit.....	55

6	Aufprägen von Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.....	57
6.1	Berechnungen zum Einfluss der Höhenkorrektur	58
6.2	Berechnungen zum Einfluss des Stadtklimas	60
6.3	Empfehlungen für die weitere Fortschreibung der DIN 4108-2 bzw. für den Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach EnEV.....	68
7	Auswertungen zum Nutzenergiebedarf für Kühlung.....	71
8	Vergleich der Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 zur Komfortbewertung nach DIN EN 15251	77
8.1	Komfortbewertung nach DIN EN 15251.....	77
8.2	Darstellung der Methodik und Festlegung von Randbedingungen zur Bewertung des thermischen Raumklimas für den Sommerfall nach DIN EN 15251.....	78
8.3	Auswertungen zu DIN EN 15251 im Vergleich zu DIN 4108-2.....	80
8.3.1	Auswertungen zum Ansatz der Normal-TRYs der Klimaregionen A, B und C	80
8.3.2	Normal-TRYs und Zukunfts-Normal-TRYs im Vergleich.....	84
8.3.3	Kalibrierung der Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz an der Kategorie II der DIN EN 15251 als Option für die weitere Fortschreibung der DIN 4108-2.....	85
9	Zusammenfassung	87
	Quellenverzeichnis	91
	Abbildungsverzeichnis	95
	Tabellenverzeichnis	99
Anhang A	Klimaanalyse - Detailauswertungen.....	101
Anhang B	Auswertungen zum Stadtklimaeffekt.....	143

1 Einleitung/Projektvorstellung

1.1 Kurzbeschreibung des Forschungsvorhabens

Aktuelle Klimaszenarien für Deutschland sagen für die nächsten 30 Jahre -besonders für den urbanen Raum- deutlich mehr Sommertage mit gesteigerten Hochttemperaturen und auch mildere Winter voraus. Je nach Standort kann sich dieser Trend aufgrund mikroklimatischer Einflüsse noch verstärken, was nicht nur das Außenklima von Gebäuden beeinflussen wird, sondern insbesondere auch das thermische Verhalten der Gebäude selber und damit die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Nutzer.

Detaillierten Untersuchungen zum thermischen Verhalten von Gebäuden werden in der Regel sogenannte Testreferenzjahre (TRYs) zugrunde gelegt. Seit Frühjahr 2011 stehen hierfür die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) neu aufgelegten und durch das BBR veröffentlichten neuen TRYs [1] zur Verfügung.

Neben den sog. Normaljahren (Normal-TRYs), welche die aktuellen mittleren Klimaverhältnisse für die insgesamt 15 TRY-Regionen Deutschlands beschreiben, werden ebenfalls Datensätze bereitgestellt, die extreme Klimaverhältnisse (Extrem-TRYs) beschreiben.

Darüber hinaus werden zum einen durch die sog. Zukunfts-Normal-TRYs und Zukunfts-Extrem-TRYs Datensätze bereitgestellt, die eine Abschätzung zum thermischen Verhalten bei weiter veränderten Klimarandbedingungen ermöglichen sollen. Zum anderen besteht die Möglichkeit, die TRYs durch Aufprägen eines individuell einstellbaren "Stadtklimaeffekts" in der Art zu modifizieren, dass ein lokales innerstädtisches Klima (Stadt-TRY) im Vergleich zum mittleren ländlichen Klima eines Normal-TRYs beschrieben werden kann.

Während die sog. Normal-TRYs u.a. auch in einem vom BBR und BBSR geförderten Forschungsvorhaben zur Fortschreibung des technischen Regelwerks zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes [2] Verwendung fanden, steht eine umfangreiche Untersuchung zu den Extrem-TRYs, den Zukunfts-TRYs und insbesondere zu den Stadt-TRYs noch aus und soll im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführt werden.

Weiterhin werden Auswirkungen auf das energetische Verhalten von Gebäuden bei veränderten Klimarandbedingungen untersucht.

1.2 Beschreibung der zu lösenden Probleme

Mit Untersuchungen, die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführt werden, können in Ergänzung zu bereits durchgeführten Projekten unter Verwendung der Normal-TRYs Aussagen zu nachstehenden Fragenkomplexen getroffen werden, wobei das sommerliche Wärmeverhalten und energetische Auswirkungen im Fokus der Betrachtungen stehen:

- Wie wirkt sich ein verändertes Klima im Außenraum auf das Wärmeverhalten und den Energiebedarf von Gebäuden aus, wenn hierbei
 - a) die neuen Klimadaten des DWD für extreme Sommer (Extrem-TRYs Sommer)
 - b) die neuen Klimadaten des DWD für 2021 – 2050 (Zukunfts-TRYs)
 - c) die neuen Klimadaten des DWD unter Einbeziehung des Stadtklimas (Stadt-TRYs) Berücksichtigung finden?
- Welche baulichen Maßnahmen eignen sich, um den neuen Randbedingungen Rechnung zu tragen, die aus veränderten Klimarandbedingungen resultieren können?
- Welche passiven Kühlmaßnahmen (Geothermie, indirekte Verdunstungskühlung, u.a.) eignen sich, um den neuen Randbedingungen Rechnung zu tragen?

- Wie sind bekannte Maßnahmen weiter zu entwickeln (z.B. hinsichtlich Steuerungstechnik), um eine möglichst hohe Energieeinsparung im Sommer- und Winterfall zu erreichen?
- Welchen Beitrag zur Vermeidung eines Kühlenergiebedarfs können Sonnenschutzsysteme leisten?

Im Vordergrund der Untersuchungen steht die unter 1. genannte Auseinandersetzung mit den unterschiedlichen TRYs, wobei in einem ersten Schritt die Verwendung der Extrem-TRYs im Vergleich zu der Verwendung der Normal-TRYs hinsichtlich der Neufassung der DIN 4108-2:2013-02 [3] (im Folgenden bezeichnet als DIN 4108-2) dargestellt werden soll. Die Anforderungsformulierung der DIN 4108-2 bezieht sich mit der Maßgabe der Formulierung einer Mindestanforderung auf die Verwendung der Normal-TRYs.

Für die im Rahmen dieses Vorhabens angestellten Untersuchungen werden vorhandene Strukturen aus vorhergehenden Untersuchungen zu Normal-TRYs genutzt und zur Durchführung einer breiten Parameterstudie unter Verwendung der Extrem-TRYs unter ansonsten identischen Berechnungsrandbedingungen verwendet werden. Die direkte Gegenüberstellung der Ergebnisse der Extrem-TRY-Berechnungen zu den durch die DIN 4108-2 formulierten Mindestanforderungen ermöglicht eine quantitative Einordnung in Bezug auf diese.

Die Ergebnisse dieser Einordnung der Extrem-TRYs im Vergleich zu den Normal-TRYs werden schließlich Grundlage für weitergehende Untersuchungen zur Fortschreibung der bestehenden Normung darstellen. In diesem Zusammenhang wird im Rahmen der Untersuchung ebenfalls eine Bewertung auf Grundlage der durch die DIN EN 15251:2007-08 [4] (im Folgenden bezeichnet als DIN EN 15251) formulierten Komfortklassen erfolgen. Hierdurch sollen die Normal-TRYs und die Extrem-TRYs hinsichtlich der in dieser europäischen Norm formulierten Komfortklassen eingeordnet werden können.

Nach dem gleichen Muster wie zuvor für die Verwendung der Extrem-TRYs geschildert, soll im Rahmen des Forschungsvorhabens die Verwendung der Zukunfts-TRYs und der Stadt-TRYs in breit angelegten Parameterstudien untersucht werden. Die wesentlichen Parameter, die hierbei neben dem Klima selbst variiert werden, sind der Fensterflächenanteil, die Art der Nachtlüftung sowie die Art und Betriebsweise des Sonnenschutzes.

Des Weiteren werden die Konsequenzen der sich verändernden Klimarandbedingungen auf das energetische Verhalten von Gebäuden aufgezeigt. Dies geschieht einerseits aus dem Blickwinkel der derzeitigen und gegebenenfalls anzupassenden Anforderungsformulierungen aber auch im Hinblick auf erhöhte Komfortbedingungen.

Es wird weiterhin untersucht, inwieweit vorwiegend durch bauliche aber auch anlagentechnische Maßnahmen den sich verändernden Klimarandbedingungen begegnet werden kann.

1.3 Begründung des Forschungsvorhabens

Mit den Ergebnissen der Untersuchung wird ein wichtiger Beitrag zur notwendigen Fortschreibung der normativen und verordnungstechnisch relevanten Regelungen geliefert.

Die geplanten Arbeiten zum sommerlichen Wärmeschutz führen methodisch die Untersuchungen fort, die für die Neufassung der DIN 4108-2 im Rahmen der Auftragsforschung im Zukunft Bau-Projekt "Ermittlung aktueller Randbedingungen für den sommerlichen Wärmeschutz und weiterer Gebäudeeigenschaften im Lichte des Klimawandels - Teil 2: Entwicklung eines Gesamtkonzepts für ein künftiges technisches Regelwerk zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes" [2] entwickelt wurden. Im Wesentlichen wird hierdurch die erforderliche Anpassung der Anforderungsformulierung im Hinblick auf sich verändernde Klimarandbedingungen ermöglicht.

Darüber hinaus soll durch die Studie untersucht werden, wie eine Angleichung der nationalen Regelungen an normative Vorgaben auf europäischer Ebene erfolgen kann und mit welchen Konsequenzen dies verbunden ist. In diesem Zusammenhang ist eine umfassende Bewertung der durch DIN 4108-2 formulierten Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz im Vergleich zu den Komfortkriterien der DIN EN 15251 [4] zwingend erforderlich. Bereits durchgeführte Untersuchungen zur Vorgängerversion DIN 4108-2:2003-07 [5] haben gezeigt, dass die hierin formulierten Anforderungen nicht sicherstellen, dass die Einhaltung der Kategorie III als unterste der in der DIN EN 15251 beschriebenen Komfortklassen eingehalten wird.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgt die Ausarbeitung von Möglichkeiten, wie vor dem Hintergrund der geschilderten Problematik eine Angleichung der beiden normativen Regelwerke erfolgen kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Veränderungen in Bezug auf die Anforderungen im Sommer stets auch Auswirkungen auf den Heizenergiebedarf mit sich bringen. Konsequenterweise wird deshalb, wenn erforderlich auch eine Betrachtung hinsichtlich des Winterfalls erfolgen.

Darüber hinaus wird die bereits jetzt zur Verfügung stehende Möglichkeit, lokale Klimaverhältnisse wie einen Wärmeinseleffekt durch Stadt-TRYs als Berechnungsgrundlage zu verwenden, im Rahmen dieses Vorhabens eingehend geprüft.

Die Studie erarbeitet durch Untersuchungen zu den oben aufgeführten Problemfeldern einerseits die normativen und verordnungstechnisch relevanten Beiträge zur Berücksichtigung der Klimaveränderungen im Rahmen der Fortschreibung der Energieeinsparverordnung und Normung. Weiterhin bereitet sie die betroffenen Branchen auf die hieraus resultierenden Anforderungen und Erfordernisse vor, indem vorwiegend bauliche aber auch anlagentechnische Maßnahmen untersucht und bewertet werden.

In dem Vorhaben wird aufgezeigt, wie das System Sonnenschutz zu einer Energieeinsparung in Bezug auf Kühlen bzw. zu einer Komfortverbesserung hinsichtlich der Überhitzungsproblematik beitragen kann.

2 Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2

Als Ausgangspunkt für die Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens wird die Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz, wie in der Neufassung der DIN 4108-2 beschrieben, gewählt. Wie bereits in DIN 4108-2:2003-07 [5] kann der Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz entweder durch ein vereinfachtes Verfahren (sog. Sonneneintragskennwerte-Verfahren) oder durch Simulationsrechnung geführt werden.

Struktur und Randbedingungen beider Nachweismöglichkeiten werden im Folgenden kurz dargestellt. Basis für die Nachweisführung ist die Zuordnung der Sommer-Klimaregion für den nachzuweisenden Standort gemäß neuer Klimakarte der DIN 4108-2 (Bild 2-1). Diese Klimakarte gilt sowohl für das vereinfachte Verfahren als auch für den Nachweis durch Simulationsrechnung.

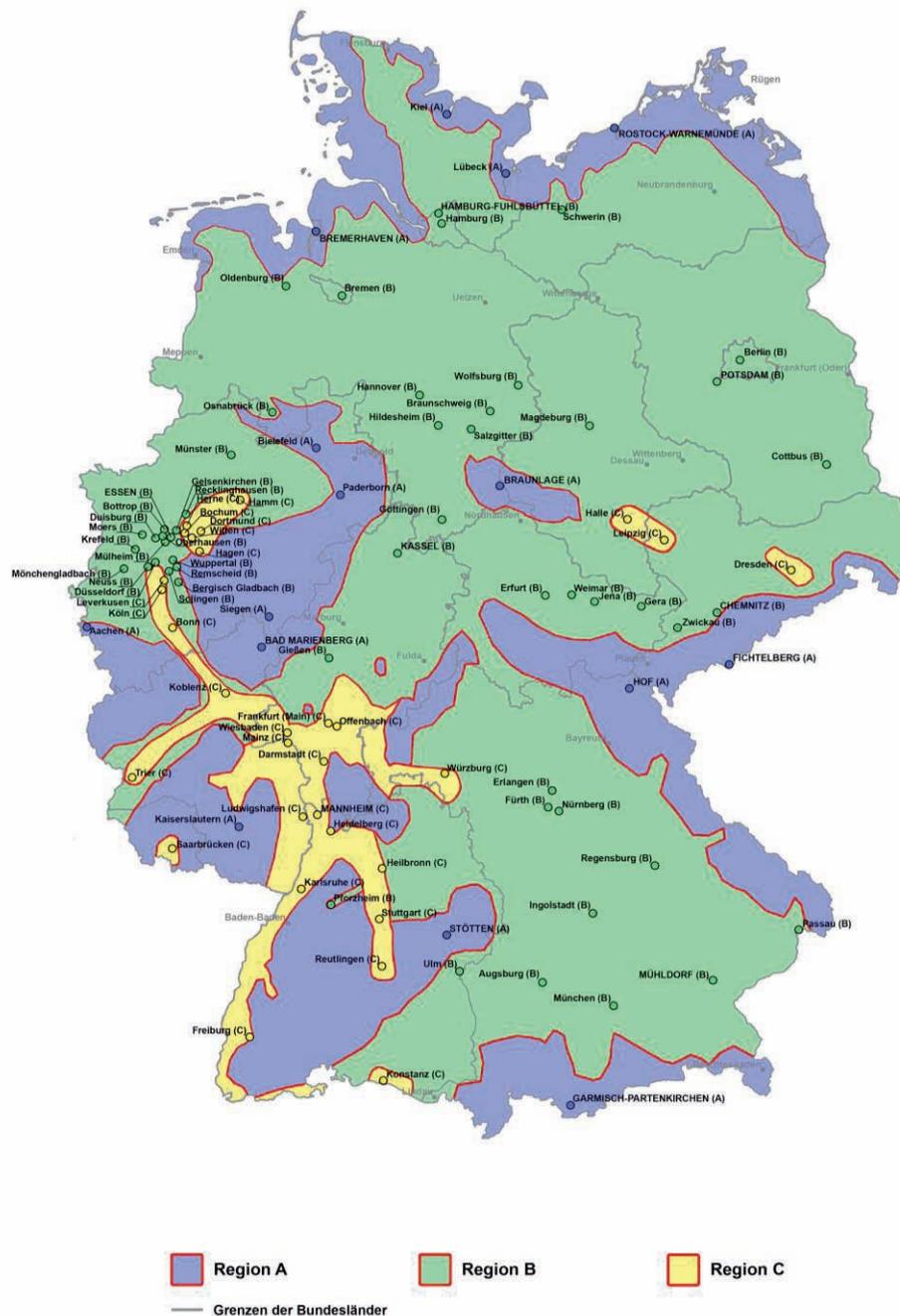


Bild 2-1: Klimakarte zur Zuordnung der Sommer-Klimaregion aus DIN 4108-2

2.1 Nachweisführung im vereinfachten Verfahren

Wie in DIN 4108-2:2003-07 [5] erfolgt die Nachweisführung im vereinfachten Verfahren durch Gegenüberstellung von vorhandenem und zulässigem Sonneneintragskennwert, wobei der Nachweis erbracht ist, wenn die Bedingung nach (1) erfüllt ist.

$$S_{\text{vorh}} \leq S_{\text{zul}} \quad (1)$$

mit:

S_{vorh} vorhandener Sonneneintragskennwert
 S_{zul} zulässiger Sonneneintragskennwert

Die Bestimmung des vorhandenen Sonneneintragskennwertes hat sich gegenüber DIN 4108-2:2003-07 hierbei nicht geändert und erfolgt wie in Gleichung (2) beschrieben.

$$S_{\text{vorh}} = \frac{\sum_j (A_{W,j} * g_{\text{tot},j})}{A_G} \quad (2)$$

mit:

S_{vorh} vorhandener Sonneneintragskennwert
 A_W Fensterfläche
 g_{tot} Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung inkl. Sonnenschutz
 $g_{\text{tot}} = g * F_C$
 A_G Nettogrundfläche

Die Bestimmung des zulässigen Höchstwertes erfolgt gemäß

$$S_{\text{zul}} = \sum S_X \quad (4)$$

mit:

S_X anteiliger Sonneneintragskennwert nach Tabelle 2-1

Die anteiligen Sonneneintragskennwerte S_1 bis S_6 berücksichtigen hierbei

- S_1 Nachtlüftung, Bauart, Klimaregion und Nutzung
- S_2 grundflächenbezogene Korrektur
- S_3 Sonnenschutzglas
- S_4 Fensterneigung
- S_5 Fensterorientierung
- S_6 passive Kühlung

und sind wie in Tabelle 2-1 aufgeführt festgelegt.

Tabelle 2-1: Anteilige Sonneneintragskennwerte im vereinfachten Verfahren der DIN 4108-2

Nutzung		Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x							
		Wohngebäude			Nichtwohngebäude				
Klimaregion		A	B	C	A	B	C		
Nachtlüftung und Bauart									
S_1	ohne	Nachtlüftung	Bauart						
			leicht	0,071	0,056	0,041	0,013	0,007	0,000
			mittel	0,080	0,067	0,054	0,020	0,013	0,006
		schwer	0,087	0,074	0,061	0,025	0,018	0,011	
	erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 2 h^{-1}$	leicht	0,098	0,088	0,078	0,071	0,060	0,048	
		mittel	0,114	0,103	0,092	0,089	0,081	0,072	
		schwer	0,125	0,113	0,101	0,101	0,092	0,083	
	hohe Nachtlüftung mit $n \geq 5 h^{-1}$	leicht	0,128	0,117	0,105	0,090	0,082	0,074	
		mittel	0,160	0,152	0,143	0,135	0,124	0,113	
		schwer	0,181	0,171	0,160	0,170	0,158	0,145	
	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{WG}								
	S_2	$S_2 = a - b \cdot f_{WG}^a$	a	0,060			0,030		
b			0,231			0,115			
Sonnenschutzglas									
S_3	Fenster mit Sonnenschutzglas mit $g \leq 0,4$			0,03					
Fensterneigung									
S_4	$0^\circ \leq \text{Neigung} \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen)			$-0,035 f_{neig}^b$					
Orientierung									
S_5	Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fenster soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind			$+0,10 f_{nord}^c$					
Passive Kühlung									
S_6	Bauart								
	leicht		0,02						
	mittel		0,04						
	schwer		0,06						
a f_{WG} = grundflächenbezogener Fensterflächenanteil b f_{neig} = Verhältnis geneigter Fensterfläche zur Gesamt-Fensterfläche c f_{nord} = Verhältnis nord-orientierter Fensterfläche zur Gesamt-Fensterfläche									

2.2 Nachweis durch Simulationsrechnung

Soll der Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 durch Simulationsrechnung erfolgen, so ist nachzuweisen, dass im kritischsten Raum des Gebäudes der in Tabelle 2-2 angegebene Übertemperaturgradstunden-Anforderungswert nicht überschritten wird.

Tabelle 2-2: Übertemperaturgradstunden-Anforderungswerte nach DIN 4108-2

Sommer-Klimaregion	Bezugswert $\theta_{b,op}$ der Innentemperaturin [°C]	Anforderungswert Übertemperaturgradstunden [Kh/a]	
		Wohngebäude	Nichtwohngebäude
A	25	1200	500
B	26		
C	27		

Hierbei sind die im Folgenden aufgeführten Randbedingungen zu beachten bzw. im Fall abweichend angesetzter Annahmen entsprechend zu dokumentieren. Diese Randbedin-

gungen sind gleichermaßen den Berechnungen zum vorliegenden Bericht zugrunde gelegt, Abweichungen hiervon sind an gegebener Stelle jeweils dokumentiert.

a) Simulationsumgebung

Das für den Nachweis verwendete Programm ist im Rahmen der Dokumentation zu nennen.

b) Nutzungen/Nutzungszeiten

Wohngebäude: täglich, 0:00 Uhr bis 24:00 Uhr

Nichtwohngebäude: Mo.-Fr., jeweils in der Zeit von 7:00 Uhr bis 18:00 Uhr.

c) Klimadaten für die Berechnungen:

In Abhängigkeit von der nach Bild 2-1 für das zu bewertende Gebäude zutreffenden Klimaregion sind als Klimarandbedingungen den Berechnungen die vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung zur Verfügung gestellten Testreferenzjahre (2011) [1] wie folgt zugrunde zu legen:

- Klimaregion A: Normaljahr TRY-Zone 2 (TRY-Datensatz Rostock)
- Klimaregion B: Normaljahr TRY-Zone 4 (TRY-Datensatz Potsdam)
- Klimaregion C: Normaljahr TRY-Zone 12 (TRY-Datensatz Mannheim)

d) Beginn der Simulationsrechnungen und Zeitraum für die Auswertung

Die Berechnungen sind für ein komplettes Jahr durchzuführen und beginnen am 1. Januar an einem Montag um 0:00 Uhr.

Sowohl für Wohn- als auch für Nichtwohngebäude sind keine Feiertage und Ferienzeiten bei der Ermittlung des Übertemperaturgradstundenwertes zu berücksichtigen.

e) Interne Wärmeeinträge:

Der mittlere interne Wärmeeintrag ist bezogen auf die jeweils betrachtete Nettogrundfläche für:

Wohngebäude: 100 Wh/(m²d) und für

Nichtwohngebäude: 144 Wh/(m²d)

Die als Tageswerte angegebenen Wärmeeinträge sind für die Berechnungen als konstante Wärmeeinträge während der unter b) angegebenen Nutzungszeiten anzusetzen. Die Wärmeeinträge werden zu 100 % als konvektive Wärmeeinträge behandelt.

f) Soll-Raumtemperatur für Heizzwecke (ohne Nachtabenkung):

Wohngebäude: $\theta_{h,soll} \geq 20^{\circ}\text{C}$

Nichtwohngebäude: $\theta_{h,soll} \geq 21^{\circ}\text{C}$;

g) Grundluftwechsel:

Wohngebäude:

$$n = 0,5 \text{ h}^{-1}$$

Der gegebene Luftwechsel ist im Tagesgang konstant anzusetzen, wenn weder die Bedingungen für erhöhte Taglüftung gemäß h) dieses Abschnitts noch die Bedingungen für erhöhte Nachtlüftung gemäß i) dieses Abschnitts erfüllt sind.

Nichtwohngebäude:

- während der Nutzungszeit (7:00 Uhr bis 18:00 Uhr):

$$n = 4 (A_G/V) [1/h] \quad (5)$$
 mit:
 A_G Grundfläche in m^2
 V Nettoraumvolumen in m^3

Der nach Gleichung (5) ermittelte Luftwechsel ist während der Nutzungszeit konstant anzusetzen, wenn die Bedingungen für erhöhte Taglüftung gemäß h) dieses Abschnitts nicht erfüllt sind.

- außerhalb der Nutzungszeit (18:00 Uhr bis 7:00 Uhr):

$$n = 0,24 \text{ h}^{-1}$$

Dieser Luftwechsel ist außerhalb der Nutzungszeit konstant anzusetzen, wenn die Bedingungen für erhöhte Nachtlüftung gemäß i) dieses Abschnitts nicht erfüllt sind.

Der angesetzte Luftwechsel ist in Form von Tages- und Wochenprofilen zu dokumentieren.

h) Erhöhter Tagluftwechsel

Überschreitet die Raumtemperatur $23 \text{ }^\circ\text{C}$ und liegt die Raumtemperatur über der Außentemperatur, kann der mittlere Luftwechsel während der Aufenthaltszeit (Nichtwohngebäude 7:00 Uhr bis 18:00 Uhr; Wohngebäude 6:00 Uhr bis 23:00 Uhr) bis auf $n = 3 \text{ h}^{-1}$ erhöht werden, um durch erhöhte Lüftung eine Überhitzung des Raumes zu vermeiden.

i) Nachtluftwechsel

Außerhalb der Aufenthaltszeit (Nichtwohngebäude 18:00 Uhr bis 7:00 Uhr; Wohngebäude 23:00 Uhr bis 6:00 Uhr)

- ist von dem Luftwechsel gemäß g) auszugehen, wenn nicht die Möglichkeit zur Nachtlüftung besteht;
- darf der Luftwechsel auf $n = 2 \text{ h}^{-1}$ erhöht werden (erhöhte Nachtlüftung), wenn die Möglichkeit zur nächtlichen Fensterlüftung besteht;
Bei der Wohnnutzung kann in der Regel von der Möglichkeit zu erhöhter Nachtlüftung ausgegangen werden, wenn im zu bewertenden Raum oder Raumbereich die Möglichkeit zur nächtlichen besteht;
- darf der Luftwechsel auf $n = 5 \text{ h}^{-1}$ erhöht werden (hohe Nachtlüftung), wenn für den zu bewertende Raum oder Raumbereich die Möglichkeit besteht, geschossübergreifende Lüftungsmöglichkeiten (z.B. Lüftung über angeschlossenes Atrium) zu nutzen, um den sich einstellenden Luftwechsel zu erhöhen;
- bei Einsatz einer Lüftungsanlage darf der erhöhte Nachtluftwechsel gemäß der Dimensionierung der Anlage angesetzt werden.

Der gewählte Ansatz ist zu dokumentieren. Für den Ansatz eines erhöhten oder hohen Nachtluftwechsels oder eines Nachtluftwechsels gemäß der Dimensionierung der Lüftungsanlage müssen die im Folgenden genannten Temperaturrendbedingungen gegeben sein:

$$\theta_{i,\text{Luft}} > \theta_{i,h,\text{soll}} \text{ UND } \theta_{i,\text{Luft}} > \theta_e$$

mit:

$\theta_{i,\text{Luft}}$ Innentemperatur

$\theta_{i,h,\text{soll}}$ Raum-Solltemperatur für Heizzwecke (Wohngebäude 20°C ;
Nichtwohngebäude 21°C)

θ_e Außentemperatur

Wird in den Simulationsrechnungen die erhöhte oder hohe Nachtlüftung berücksichtigt, so ist ein Sonnenschutz vorzusehen, mit dem $g_{\text{tot}} \leq 0,4$ erreicht wird!

j) Steuerung Sonnenschutz

Sind zur geplanten Betriebsweise einer Sonnenschutzvorrichtung keine Steuer- bzw. Regelparameter bekannt, so ist im Fall einer automatischen Sonnenschutzsteuerung für die Berechnungen von einer strahlungsabhängigen Steuerung für Nord-, Nordost- und Nordwestorientierte Fenster mit einer Grenzbestrahlungsstärke von 200 W/m^2 (Wohngebäude) und bzw. 150 W/m^2 (Nichtwohngebäude) und für alle anderen Orientierungen mit einer Grenzbestrahlungsstärke von 300 W/m^2 (Wohngebäude) bzw. 200 W/m^2 (Nichtwohngebäude) (Summe aus Direkt- und Diffusstrahlung, außen vor dem Fenster) pro Quadratmeter Fensterfläche auszugehen.

Bei nicht-automatischer Sonnenschutzsteuerung erfolgt bei Nichtwohngebäuden keine Aktivierung am Wochenende (Sa. + So.). Grundsätzlich ist für die Berechnungen von einer windunabhängigen Betriebsweise auszugehen.

Wird planerisch eine hiervon abweichende Betriebsweise der Sonnenschutzvorrichtung vorgesehen, so darf diese in der Simulationsrechnung verwendet werden. Die Betriebsweise ist zu dokumentieren.

k) Wärmeübergangswiderstände

Die Wärmeübergangswiderstände dürfen, wie für den Winterfall, konstant nach DIN EN ISO 6946:2008-04, Tabelle 1, angesetzt werden; davon abweichende Ansätze sind zu dokumentieren.

l) Bauliche Verschattung

Bauliche Verschattung darf berücksichtigt werden. Der gewählte Ansatz ist zu dokumentieren.

m) Passive Kühlung

Eine passive Kühlung darf berücksichtigt werden. Der gewählte Ansatz ist zu dokumentieren.

3 Klimadatenanalyse - Testreferenzjahresdatensätze im Vergleich

Für die Durchführung von Simulationsrechnungen zur Bewertung des thermischen Verhaltens von Gebäuden oder einzelnen Räumen in Gebäuden sind Klimadatenansätze erforderlich, durch welche die äußeren Klimarandbedingungen beschrieben werden. Hierfür werden üblicherweise sogenannte Testreferenzjahre verwendet. Mit Veröffentlichung der neuen Testreferenzjahresdatensätze [1] im Frühjahr 2011 wurden die bis dato gültigen Testreferenzjahre [6] aus dem Jahr 2004 abgelöst. Während die Testreferenzjahre von 2004 noch im Wesentlichen auf einer Auswertung der 30-jährigen Klimanormalperiode von 1961 bis 1990 beruhen und für diesen Zeitraum mittlere Klimaverhältnisse beschreiben, so basieren die neuen Datensätze auf einer Auswertung von Mess- und Beobachtungsreihen aus der Periode von 1988 bis 2007. Bild 3-1 zeigt zunächst eine Karte mit der sowohl für die Testreferenzjahre 2004 als auch für die Testreferenzjahre 2011 vom Deutschen Wetterdienst zugrunde gelegten Einteilung Deutschlands in die 15 TRY-Regionen.

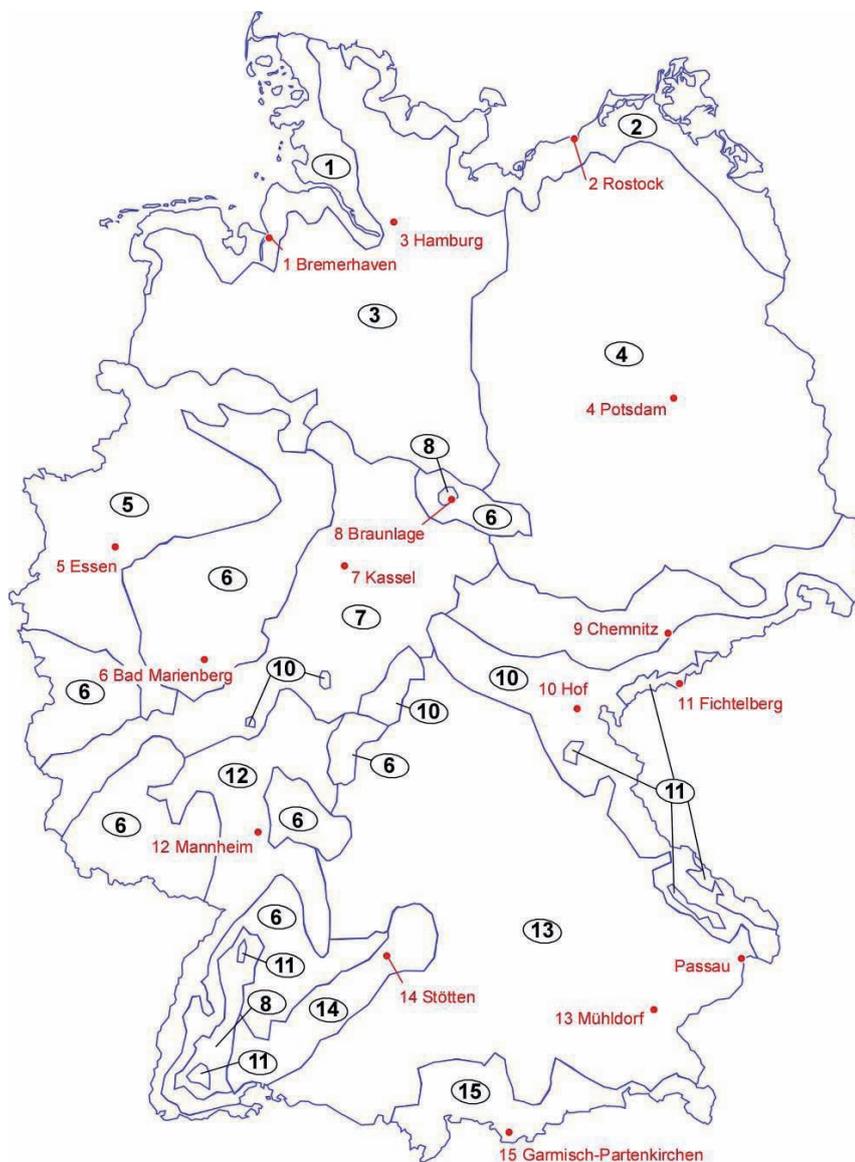


Bild 3-1: Einteilung Deutschlands in die 15 TRY-Regionen der Testreferenzjahre 2004 und 2011

Zu den in Bild 3-1 dargestellten TRY-Regionen folgt in Tabelle 3-1 jeweils die Angabe der Repräsentanzstation, deren Höhe über NN sowie die Angabe zum Höhenbereich, der von

jeder TRY-Region erfasst wird. Zusätzlich erfolgt hierzu in Bild 3-5 eine grafische Darstellung dieser Daten.

Tabelle 3-1: Übersicht der TRY-Regionen mit Höhenbereichen und Repräsentanzstationen

TRY-Region	Repräsentanzstation	Höhe Repräsentanzstation über NN	Höhenbereich TRY-Region
1	Bremerhaven	7 m	0 bis 30 m
2	Rostock-Warnemünde	4 m	0 bis 130 m
3	Hamburg-Fuhlsbüttel	13 m	0 bis 170 m
4	Potsdam	81 m	5 bis 200 m (östl. Harzvorland bis 400 m)
5	Essen	152 m	30 bis 200 m
6	Bad Marienberg	547 m	150 bis 840 m
7	Kassel	231 m	100 bis 750 m
8	Braunlage	607 m	600 bis 1000 m (Harz > 1000 m)
9	Chemnitz	418 m	200 bis 430 m
10	Hof-Hohensaas	567 m	200 bis 1000 m
11	Fichtelberg	1213 m	oberhalb 1000 m
12	Mannheim	96 m	90 bis 400 m
13	TRY 2004: Passau	409 m	200 - 700 m
	TRY 2011: Mühlendorf	405 m	
14	Stötten	734 m	oberhalb 400 m
15	Garmisch-Partenkirchen	719 m	oberhalb 700 bis 1000 m

Die Klimadatensätze der 15 TRY-Regionen sind in der mit Veröffentlichung im Jahr 2011 zur Verfügung gestellten Fassung gültig bzw. anwendbar zur Bewertung eines Standortes in einem Höhenbereich ± 100 Meter bezogen auf die Ortshöhe der Repräsentanzstation. Für die Bewertung eines Standortes innerhalb einer TRY-Region, dessen Ortshöhe um mehr als 100 Höhenmeter von der Ortshöhe der Repräsentanzstation abweicht, ist der entsprechende TRY-Datensatz zu modifizieren, indem über ein Softwaretool einer Höhenkorrektur aufgeprägt wird (vgl. Bild 3-5: die Datensätze der Repräsentanzstationen ohne Höhenkorrektur sind nur in den rot gekennzeichneten Bereichen innerhalb der grau dargestellten Höhenbereiche der TRY-Regionen anwendbar).

Während der Schwerpunkt der Berechnungen im Rahmen dieses Vorhabens auf Simulationsrechnungen und deren Auswertung zum sommerlichen Wärmeverhalten als „Reaktion“ unterschiedlicher baulicher Konfigurationen von Einzelräumen auf das von außen aufgeprägte Klima steht, soll in diesem Abschnitt zunächst ein ausschließlicher Vergleich der unterschiedlichen Klimadatensätze erfolgen. Dieser Vergleich wird im Hauptteil dieses Berichts reduziert auf Auswertungen zur Außenlufttemperatur. Zusätzliche Auswertungen zu Strahlungsdaten sind in Anhang A aufgenommen.

Zur vergleichenden Bewertung der einzelnen TRY-Datensätze für

- Normal-TRYs 2004 (Bezeichnung :TRYs 2004 nrm),
- Normal-TRYs 2011 (Bezeichnung :TRYs 2011 nrm),
- Extrem-TRYs Sommer (Bezeichnung :TRYs 2011 som),
- Zukunfts-Normal-TRYs (Bezeichnung :TRYs 2011 z_nrm) sowie
- Zukunfts-Extrem-TRYs Sommer (Bezeichnung :TRYs 2011 z_som)

erfolgt in Abschnitt 3.1 zunächst eine Auswertung zu den sogenannten klimatologischen Kenntagen „Sommertage“, „heiße Tage“ und „tropische Nächte“ für die TRY-Datensätze ohne Höhenkorrektur. Für die Normal TRYs 2011 der 15 TRY-Regionen folgt schließlich in Abschnitt 3.2 eine Auswertung zu den Einflüssen aus Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt

in seinen drei Ausprägungen Stadtrand (SR), mittleres Stadtgebiet (SG) und eng bebaute Innenstadt (SZ) auf die Außenlufttemperatur bezogene Überschreitungshäufigkeit von 25°C bezogen auf die Normal-TRYs ohne Höhenkorrektur und ohne Stadtklimaeffekt.

Detaillierte Auswertungen zu jeder einzelnen TRY-Region werden in Anhang A dargestellt.

3.1 Klimatologische Kenntage der Normal-, Extrem- und Zukunfts-TRYs ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt

Für einen umfassenden Vergleich der unterschiedlichen Klimadatenätze der 15 TRY-Regionen folgen Auswertungen zu den klimatologischen Kenntagen

- Sommertage (Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 25 °C, Bild 3-2),
- heiße Tage (Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 30 °C), Bild 3-3 und
- Tropische Nächte (Minimum der Lufttemperatur einer Nacht ≥ 20 °C), Bild 3-4.

TRY-Ausgabe	Sommertage					Sommertage (Abweichung gegenüber Normal-TRYs 2011)					
	TRYs 2004		TRYs 2011			TRY-Ausgabe	TRYs 2011				
	nrm	nrm	som	z_nrm	z_som		TRY-Region	nrm	nrm	som	z_nrm	z_som
TRY 01	4	17	31	32	44	TRY 01	24%	100%	182%	188%	259%
TRY 02	6	14	29	20	36	TRY 02	43%	100%	207%	143%	257%
TRY 03	6	24	41	40	57	TRY 03	25%	100%	171%	167%	238%
TRY 04	28	40	61	58	69	TRY 04	70%	100%	153%	145%	173%
TRY 05	14	26	42	39	61	TRY 05	54%	100%	162%	150%	235%
TRY 06	14	11	27	20	34	TRY 06	127%	100%	245%	182%	309%
TRY 07	24	30	46	45	60	TRY 07	80%	100%	153%	150%	200%
TRY 08	1	8	20	18	28	TRY 08	13%	100%	250%	225%	350%
TRY 09	18	27	35	39	59	TRY 09	67%	100%	130%	144%	219%
TRY 10	19	17	34	40	55	TRY 10	112%	100%	200%	235%	324%
TRY 11	0	1	5	2	2	TRY 11	0%	100%	500%	200%	200%
TRY 12	49	54	69	79	93	TRY 12	91%	100%	128%	146%	172%
TRY 13	34	47	53	60	83	TRY 13	72%	100%	113%	128%	177%
TRY 14	11	15	26	26	46	TRY 14	73%	100%	173%	173%	307%
TRY 15	31	36	41	49	71	TRY 15	86%	100%	114%	136%	197%
Mittelwert*							71%	100%	164%	161%	236%

ohne Höhenlagen (TRY 08 und TRY 11)

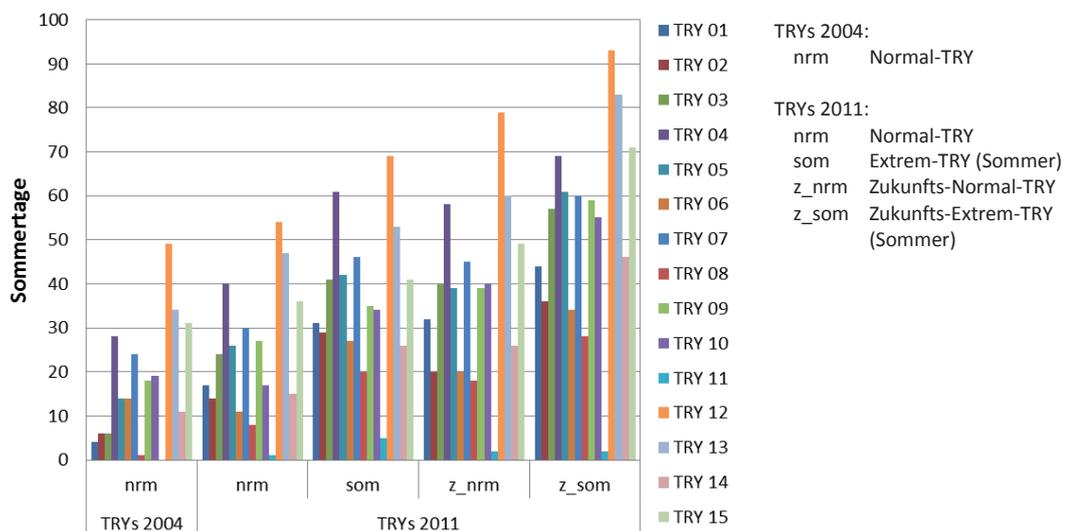


Bild 3-2: Sommertage in den Testreferenzjahren der 15 TRY-Regionen. Auswertung für Normal-TRYs 2004 und 2011, Extrem TRYs 2011 sowie Zukunfts-Normal-TRYs und Zukunfts-Extrem-TRYs für den Zeitraum 2021-2050

In Bezug auf die für die unterschiedlichen TRY-Datenätze ermittelten Sommertage zeigt sich zunächst beim Vergleich der Normaljahre 2004 und 2011, dass sich die Klimaveränderung infolge der jeweils zugrunde gelegten Perioden (TRYs 2004: 1961 bis 1990; TRYs 2011: 1988 bis 2007) unterschiedlich stark bemerkbar macht. Zusätzlich zur Angabe der Sommertage ist in Bild 3-2 die relative Veränderung der Anzahl der Sommertage mit Bezug zu den für die Normal-TRYs 2011 ermittelten Häufigkeiten aufgeführt. Hieraus geht hervor, dass

die Anzahl der Sommertage für die Normal-TRYs 2004 im Mittel (ohne Berücksichtigung der Höhenlagen TRY 8 und 11) bei 71 Prozent der Werte für die Normal-TRYs 2011 liegt. Mit Ausnahme der TRY-Regionen 6 und 10 zeichnet sich für alle übrigen TRY-Regionen ein teilweise sogar deutlicher Anstieg der Sommertage ab. Für die Extrem-TRYs 2011 ergeben sich gegenüber den Normal-TRYs 2011 im Mittel um 64 Prozent höhere Werte, was in etwa der mittleren Erhöhung der Anzahl der Sommertage für die Zukunfts-Normal-TRYs (+ 61 % gegenüber Normal-TRYs 2011) entspricht. Das bedeutet, dass die Klimadatensätze, die aktuell extreme sommerliche Verhältnisse beschreiben, bereits für den Zeitraum 2021 bis 2050 als mittlere Klimaverhältnisse prognostiziert werden. Für zukünftige extreme sommerliche Verhältnisse liegt die Anzahl der Sommertage im Vergleich zu den aktuellen mittleren Verhältnissen um sogar 136 Prozent höher.

Zur Bewertung der unterschiedlichen Klimadatensätze hinsichtlich extremer sommerlicher Lufttemperaturen folgt in Bild 3-3 eine Auswertung der sog. „heißen Tage“ (frühere Bezeichnung: Tropentage). Diese klimatologischen Kenntage bezeichnen Tage, an denen eine Lufttemperatur von 30°C erreicht bzw. überschritten wird.

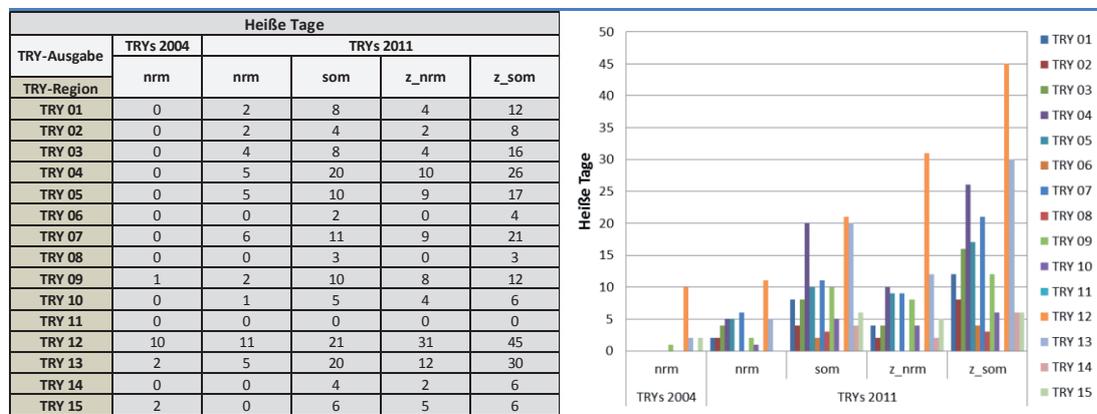


Bild 3-3: Heiße Tage in den Testreferenzjahren der 15 TRY-Regionen. Auswertung für Normal-TRYs 2004 und 2011, Extrem TRYs 2011 sowie Zukunfts-Normal-TRYs und Zukunfts-Extrem-TRYs für den Zeitraum 2021-2050

Heiße Tage sind in Deutschland waren bislang vergleichsweise selten, was die auf der Klimaperiode von 1961 bis 1990 basierenden TRYs 2004 auch widerspiegeln. Obige Auswertung zeigt allerdings, dass verbunden mit dem Klimawandel bereits für die Normal-TRYs 2011 als mittlere Verhältnisse der Klimaperiode von 1988 bis 2007 solche Tage häufiger vorkommen und gemäß Klimaprognosen für den Zeitraum 2021 bis 2050 noch einmal deutlich an Häufigkeit zunehmen. Auch in Bezug auf die heißen Tage lässt sich in etwa festhalten, dass die Klimadatensätze für aktuelle extreme sommerliche Verhältnisse (Extrem-TRYs 2011) in etwa mittlere zukünftige Verhältnisse (Zukunfts-Normal-TRYs für 2021 - 2050) beschreiben. Es folgen in Bild 3-4 die Auswertungen zu den sogenannten „Tropennächten“.

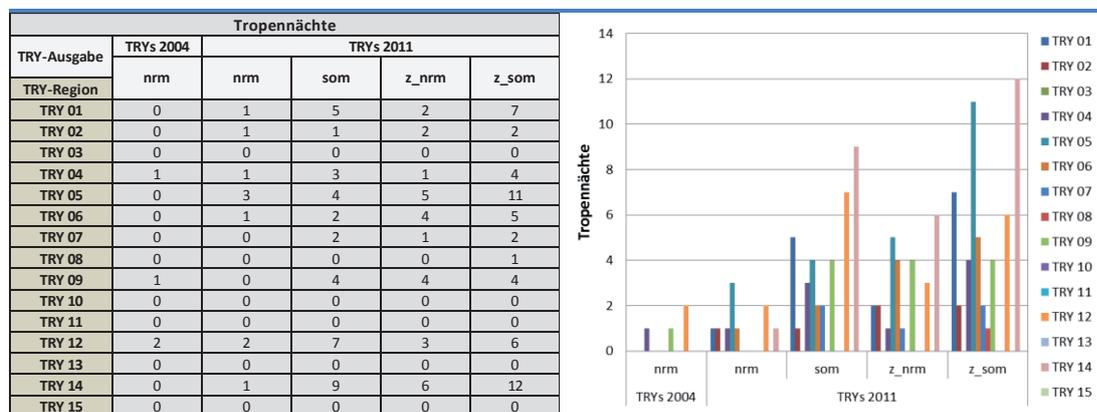


Bild 3-4: Tropennächte in den Testreferenzjahren der 15 TRY-Regionen. Auswertung für Normal-TRYs 2004 und 2011, Extrem TRYs 2011 sowie Zukunfts-Normal-TRYs und Zukunfts-Extrem-TRYs für den Zeitraum 2021-2050

Ebenso wie die heißen Tage sind Tropennächte in Deutschland relativ selten. Während solche Nächte in den Normal-TRYs 2004 nur vereinzelt im Fall der TRY-Regionen 04, 09 und 12 vorkommen, ist die Anzahl der Tropennächte auch im Fall der Normal-TRYs 2011 noch sehr gering, lässt aber bereits vermuten, dass verbunden mit dem Klimawandel nicht nur das Niveau der erreichten Tagesmaximalwerte sondern auch die nächtlichen Temperaturen ansteigen. Grundsätzlich ist aber anzumerken, dass auch im Fall der Extrem-TRYs sowie im Fall der prognostizierten Zukunftsklimadaten Tropische Nächte nur selten auftreten und somit auch künftig davon ausgegangen werden kann, dass nachts durch erhöhte Luftwechselraten die tagsüber in Gebäuden aufgenommenen Wärme abgeführt werden kann.

3.2 Einflüsse aus Höhenkorrektur und Stadtklima in den Normal-TRYs 2011

Wie bereits zuvor ausgeführt, sind die TRY-Datensätze der Repräsentanzstationen ohne Höhenkorrektur nur in einem Höhenbereich von ± 100 Höhenmetern bezogen auf die Ortshöhe der Repräsentanzstation anwendbar. Der so festgelegte Anwendbarkeitsbereich ist in Bild 3-5 für jede TRY-Region als roter Bereich innerhalb des grau dargestellten Höhenbereiches der gesamten TRY-Region gekennzeichnet.

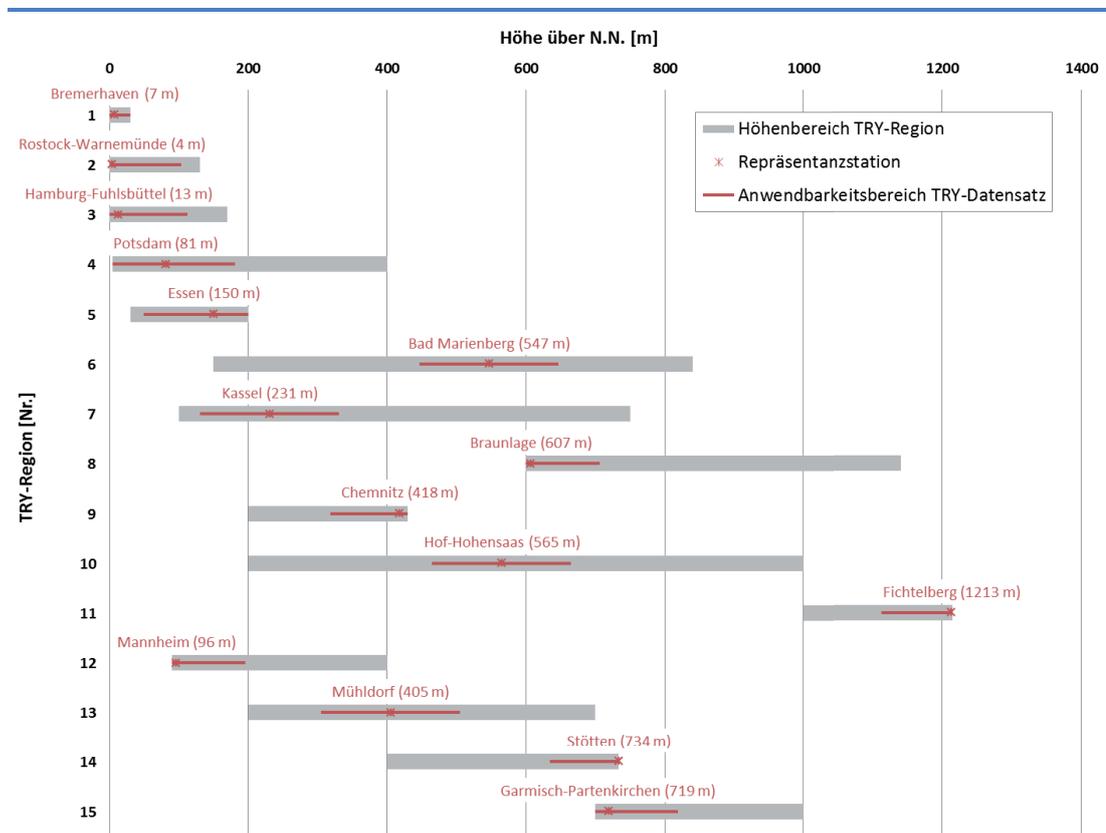


Bild 3-5: Übersicht zu den Höhenbereichen der 15 TRY-Regionen (grau), Anwendbarkeitsbereiche der unveränderten TRY-Datensätze (rot) mit Angabe der Repräsentanzstation und deren Höhe über NN für jede TRY-Region

Um den Einfluss der Höhenkorrektur darzustellen, erfolgt in Tabelle 3-3 eine Auswertung zu der Veränderung der Überschreitungshäufigkeit einer Außenlufttemperatur von 25°C bezogen auf die für die Normal-TRYs ohne Höhenkorrektur ermittelten Häufigkeiten. An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass die Höhenkorrektur für TRY-Region 2 keinen Einfluss auf die Lufttemperatur hat. Für diese Datensätze kann zwar eine Höhenkorrektur durchgeführt werden, diese wirkt sich aber ausschließlich auf den Verlauf von Luftdruck und Luftfeuchtigkeit aus. In allen übrigen TRY-Regionen, für die eine Höhenkorrektur durchgeführt werden soll, wird neben Luftdruck und Luftfeuchte auch der Gang der Lufttemperatur in Abhängigkeit der Ortshöhe korrigiert. Detaillierte Erläuterungen zu den für die Höhenkor-

rektur angewandten Algorithmen sind in der Dokumentation zu den aktualisierten und erweiterten Testreferenzjahren [1] nachzulesen. Zur Darstellung des Einflusses der Höhenkorrektur auf die Überschreitungshäufigkeiten von 25°C werden für alle TRY-Regionen, für welche eine Höhenkorrektur unterhalb oder oberhalb des Anwendbarkeitsbereiches des Datensatzes der jeweiligen Repräsentanzstation infrage kommt, jeweils zwei Datensätze generiert, durch die jeweils die obere und untere Grenze des Höhenbereiches beschrieben werden, für die eine Höhenkorrektur durchzuführen ist. Am Beispiel der TRY-Region 13, für welche sowohl eine Höhenkorrektur unterhalb als auch oberhalb des Anwendbarkeitsbereiches der Repräsentanzstation infrage kommt, werden im Folgenden die fünf Datensätze kurz beschrieben, die zur vollständigen Bewertung des Höhenbereiches der TRY-Region 13 erforderlich sind.

Tabelle 3-2: TRY-Datensätze für TRY-Region 13 zur Bewertung des Einflusses der Höhenkorrektur

Bezeichnung TRY-Datensatz	Höhe über N.N.	Erläuterung
13t-nrm	200 m	TRY-Datensatz für tiefsten Punkt innerhalb der TRY-Region 13
13nrm-100	305 m	TRY-Datensatz für Standort 100 Höhenmeter unterhalb der Höhe der Repräsentanzstation
13nrm	405 m	TRY-Datensatz der Repräsentanzstation, Anwendbarkeitsbereich \pm 100 Meter bezogen auf die Höhe über N.N. der Repräsentanzstation
13nrm+100	505 m	TRY-Datensatz für Standort 100 Höhenmeter oberhalb der Höhe der Repräsentanzstation
13h-nrm	700 m	TRY-Datensatz für höchsten Punkt innerhalb der TRY-Region 13

Wie sich die Höhenkorrektur auf die Überschreitungshäufigkeit von 25°C Außenlufttemperatur für die 15 TRY-Regionen auswirkt, geht aus der zusammenfassenden Auswertung in Tabelle 3-3 hervor. Eine grafische Darstellung dieser Ergebnisse erfolgt in Bild 3-6 beispielhaft für die TRY-Region 13 und in Anhang A auch für die übrigen TRY-Regionen.

Tabelle 3-3: Auswertung der Überschreitungshäufigkeiten von 25°C für die Normal-TRYs der 15 TRY-Regionen mit und ohne Höhenkorrektur

TRY-Region	Repräsentanzstation der TRY-Region	Überschreitungshäufigkeiten von 25°C					Veränderung Überschreitungshäufigkeiten von 25°C			
		TRY-Datensatz					TRY-Datensatz			
		t-nrm [h]	nrm-100 [h]	nrm [h]	nrm+100 [h]	h-nrm [h]	t-nrm [h]	nrm-100 [h]	nrm+100 [h]	h-nrm [h]
1	Bremerhaven	keine Korrektur		100	keine Korrektur		keine Korrektur		keine Korrektur	
2	Rostock-Warnemünde	keine Korrektur		74	keine Korrektur		keine Korrektur		keine Korrektur	
3	Hamburg-Fuhlsbüttel	keine Korrektur		173	138	119	keine Korrektur		-35	-54
4	Potsdam	keine Korrektur		240	173	85	keine Korrektur		-67	-155
5	Essen	237	224	171	keine Korrektur		66	53	keine Korrektur	
6	Bad Marienberg	281	87	49	21	5	232	38	-28	-44
7	Kassel	248	232	185	144	45	63	47	-41	-140
8	Braunlage	keine Korrektur		36	22	2	keine Korrektur		-14	-34
9	Chemnitz	287	222	164	keine Korrektur		123	58	keine Korrektur	
10	Hof-Hohensaas	288	134	93	57	10	195	41	-36	-83
11	Fichtelberg	10	7	6	keine Korrektur		4	1	keine Korrektur	
12	Mannheim	keine Korrektur		382	300	173	keine Korrektur		-82	-209
13	Mühdorf	403	331	277	211	109	126	54	-66	-168
14	Stötten	382	106	62	keine Korrektur		320	44	keine Korrektur	
15	Garmisch-Partenkirchen	keine Korrektur		190	118	36	keine Korrektur		-72	-154

Erläuterungen zu den verwendeten Bezeichnungen der TRY-Datensätze:

[t-nrm]	TRY-Datensatz mit Höhenkorrektur für tiefsten Standort innerhalb der TRY-Region
[nrm-100]	TRY-Datensatz mit Höhenkorrektur für Standort 100 Höhenmeter unterhalb Repräsentanzstation
[nrm]	TRY-Datensatz einer TRY-Region ohne Höhenkorrektur
[nrm+100]	TRY-Datensatz mit Höhenkorrektur für Standort 100 Höhenmeter oberhalb Repräsentanzstation
[h-nrm]	TRY-Datensatz mit Höhenkorrektur für höchsten Standort innerhalb der TRY-Region

Aus der Auswertung in Tabelle 3-3 kann entnommen werden, dass der Einfluss der Höhenkorrektur auf die jeweils ermittelten Überschreitungshäufigkeiten von 25°C Außenlufttemperatur

peratur teilweise erheblich ist. Für die TRY-Region 13, die sich über einen Höhenbereich von 200 bis 700 Meter über N.N. erstreckt, ergeben sich für den Datensatz der Repräsentanzstation z. B. 277 Überschreitungsstunden von 25°C, während sich für den tiefsten Punkt dieser Region bereits 408 Überschreitungsstunden und für den höchsten Punkt dieser Region lediglich 109 Überschreitungsstunden ergeben.

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 13



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

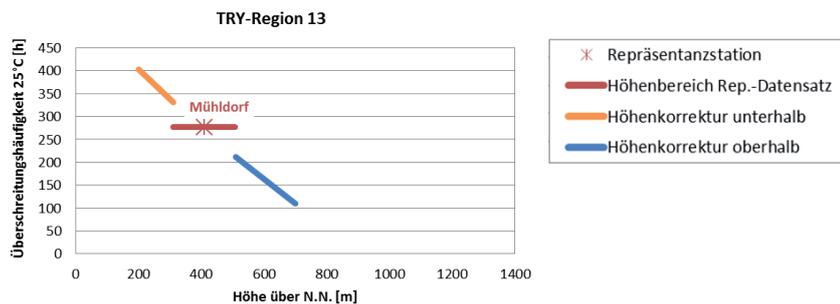


Bild 3-6: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 13

Neben der Möglichkeit, über ein Softwaretool die Höhenkorrektur für die einzelnen TRY-Datensätze durchzuführen, kann über die gleiche Anwendung auch ein Stadtklimaeffekt auf die TRY-Datensätze aufgeprägt werden. Hierzu werden einerseits die Ortshöhe und die Einwohnerzahl der zu bewertenden Stadt abgefragt, andererseits ist die Angabe erforderlich, ob es sich bei den Teil der zu bewertenden Stadt um eine Stadtrandlage (SR), mittleres Stadtgebiet (SG) oder um eine eng bebaute Innenstadtlage handelt. Die Aufprägung eines Stadtklimaeffektes ist vorgesehen für Großstädte, also Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern. In Deutschland gibt es den Angaben des statistischen Bundesamtes zufolge 80 Großstädte [7] (Stand 31.12.2011), für welche demnach die Aufprägung eines Stadtklimaefektes infrage kommt.

Für 48 ausgewählte Großstädte stellt Tabelle 3-4 den Einfluss des Stadtklimaeffektes in seinen drei Ausprägungen auf die Überschreitungshäufigkeit von 25°C Außenlufttemperatur dar. Zu beachten ist hierbei, dass für einige der aufgeführten Städte nicht nur ein Stadtklimaeffekt sondern zusätzlich eine Höhenkorrektur berücksichtigt ist. Hierdurch kommt es einerseits dazu, dass die Effekte infolge Höhenkorrektur und Stadtklima gegenläufig sind. Dies ist dann der Fall, wenn sich die zu bewertende Stadt im Höhenkorrekturbereich oberhalb der Repräsentanzstation befindet. Aufgrund der höheren Ortslage nimmt die Überschreitungshäufigkeit von 25°C ab wie in Tabelle 3-3 dargestellt. Diese Abnahme der Überschreitungshäufigkeit wird dann je nach Einwohnerzahl der zu bewertenden Stadt mehr oder weniger kompensiert infolge des Stadtklimaeffektes (z.B. München: für die Ausprägungen Stadtrand und mittleres Stadtgebiet ergeben sich unter Berücksichtigung der Höhenkorrektur und des Stadtklimas niedrigere Überschreitungshäufigkeiten als im Fall des unveränderten TRY-Datensatzes der Region 13). Liegt die zu bewertenden Stadt allerdings im Höhenkorrekturbereich unterhalb der Repräsentanzstation, so kommt einerseits eine Erhöhung der ermittelten Überschreitungshäufigkeiten von 25°C aufgrund der tieferen Lage und andererseits aufgrund des Stadtklimaeffektes (z. B. im Fall von Würzburg). Eine vollständige Auswertung aller berücksichtigten Großstädte ist in Tabelle 3-4 enthalten. Städte, für die neben einem Stadtklimaeffekt auch eine Höhenkorrektur durchgeführt ist, sind hier-

in entsprechend markiert (siehe Erläuterungen zu den Schraffuren am unteren Ende von Tabelle 3-4). Eine grafische Darstellung zum Einfluss des Stadtklimaeffektes mit und ohne Höhenkorrektur auf die Überschreitungshäufigkeiten von 25°C Außenlufttemperatur wird in Bild 3-7 für die betrachteten Großstädte der TRY-Region 13 gezeigt. Hierin ist deutlich zu erkennen, wie sich für die zuvor erwähnten Städte München und Würzburg die Effekte Höhenkorrektur und Stadtklima im Fall von München kompensieren und im Fall von Würzburg verstärken.

Tabelle 3-4: Auswertung zu Überschreitungshäufigkeiten für Stadt-TRYs ausgewählter Großstädte

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenkorrektur [-]	Überschreitungshäufigkeit von 25°C				Erhöhung d. Überschreitungshäufigkeit von 25°C bezogen auf Normal-TRY		
								nrm [h]	SR [h]	SG [h]	SZ [h]	SR [h]	SG [h]	SZ [h]
1	Bremerhaven	112.982	2	A	7	-5	nein	100	108	117	126	8	17	26
2	Kiel	242.041	5	A	4	1	nein	74	86	88	94	12	14	20
2	Lübeck	210.577	13	A	4	9	nein	74	86	88	94	12	14	20
2	Rostock	204.260	13	A	4	9	nein	74	86	88	94	12	14	20
3	Hamburg	1.798.836	6	B	13	-7	nein	173	204	223	260	31	50	87
3	Bremen	548.319	11,5	B	13	-1,5	nein	173	196	211	230	23	38	57
3	Hannover	525.875	55	B	13	42	nein	173	196	210	229	23	37	56
3	Braunschweig	250.556	75	B	13	62	nein	173	186	200	216	13	27	43
3	Oldenburg	162.481	4	B	13	-9	nein	173	185	193	210	12	20	37
4	Berlin	3.501.872	34	B	81	-47	nein	240	282	305	344	42	65	104
4	Leipzig	531.809	113	C	81	32	nein	240	263	273	290	23	33	50
4	Dresden	529.781	113	C	81	32	nein	240	263	273	290	23	33	50
4	Halle (Saale)	233.705	87	C	81	6	nein	240	255	265	276	15	25	36
4	Magdeburg	232.364	56	B	81	-25	nein	240	255	265	276	15	25	36
4	Potsdam	158.902	35	B	81	-46	nein	240	252	259	269	12	19	29
5	Köln	1.017.155	53	C	152	-99	nein	171	212	236	276	41	65	105
5	Düsseldorf	592.393	38	B	152	-114	ja	171	266	293	339	95	122	168
5	Dortmund	580.956	76	C	152	-76	nein	171	205	230	262	34	59	91
5	Essen	573.468	116	B	152	-36	nein	171	205	229	260	34	58	89
5	Duisburg	488.005	33	B	152	-119	ja	171	267	294	339	96	123	168
5	Bochum	373.976	100	C	152	-52	nein	171	198	218	248	27	47	77
5	Wuppertal	349.470	160	B	152	8	nein	171	195	217	246	24	46	75
5	Bonn	327.913	60	C	152	-92	nein	171	195	216	245	24	45	74
5	Münster	291.754	60	B	152	-92	nein	171	194	213	241	23	42	70
5	Mönchengladbach	257.208	70	B	152	-82	nein	171	194	210	239	23	39	68
5	Gelsenkirchen	256.652	52	B	152	-100	nein	171	194	210	239	23	39	68
5	Krefeld	234.396	38	B	152	-114	ja	171	255	270	306	84	99	135
5	Oberhausen	212.568	42	B	152	-110	ja	171	254	267	296	83	96	125
5	Hagen	187.447	106	C	152	-46	nein	171	194	204	230	23	33	59
5	Leverkusen	161.195	60	C	152	-92	nein	171	193	202	228	22	31	57
6	Bielefeld	323.395	118	B	547	-429	ja	49	344	372	411	295	323	362
6	Aachen	260.454	173	B	547	-374	ja	49	302	322	350	253	273	301
6	Paderborn	147.688	110	B	547	-437	ja	49	347	366	397	298	317	348
7	Kassel	196.526	166	B	231	-65	nein	185	211	225	248	26	40	63
7	Göttingen	121.364	150	B	231	-81	nein	185	207	221	241	22	36	56
9	Chemnitz	243.173	296	B	418	-122	ja	164	431	455	512	267	291	348
9	Erfurt	206.384	195	B	418	-223	ja	164	332	362	417	168	196	253
12	Frankfurt am Main	691.518	112	C	96	16	nein	382	453	493	560	71	111	178
12	Stuttgart	613.392	245	C	96	149	ja	382	312	348	412	70	34	30
12	Mannheim	314.931	97	C	96	1	nein	382	442	469	533	60	87	151
12	Karlsruhe	297.488	115	C	96	19	nein	382	442	468	532	60	86	150
12	Wiesbaden	278.919	115	C	96	19	nein	382	441	463	528	59	81	146
12	Freiburg im Breisgau	229.144	278	C	96	182	ja	382	435	461	516	53	79	134
12	Mainz	200.957	164	C	96	68	nein	382	432	457	512	50	75	130
13	München	1.378.176	518	B	409	109	ja	277	243	254	289	34	23	12
13	Nürnberg	510.602	309	B	409	-100	nein	277	308	327	351	31	50	74
13	Augsburg	266.647	494	B	409	85	nein	277	304	323	341	27	46	64
13	Würzburg	133.808	177	B	409	-232	ja	277	447	469	501	170	192	224
Schraffuren:														
kleinste und größte Stadt einer TRY-Region ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion														
Stadt mit abweichender Zuordnung der Klimaregion gegenüber der TRY-Region														
Stadt mit Höhenkorrektur														

Hinweis: Die in Tabelle 3-4 gelb hinterlegten Zeilen markieren Städte, die nach Klimakarte der DIN 4108-2:2013-2 einer von der TRY-Region, in der sie sich befinden, abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion aufweisen. Diese Kennzeichnung ist für die reine Klimadatenanalyse ohne Bedeutung und wird im Rahmen der Auswertungen der Simulationsrechnungen benötigt.

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
13	München	1.378.176	518	B	409	109	ja
13	Nürnberg	510.602	309	B	409	-100	nein
13	Augsburg	266.647	494	B	409	85	nein
13	Würzburg	133.808	177	B	409	-232	ja

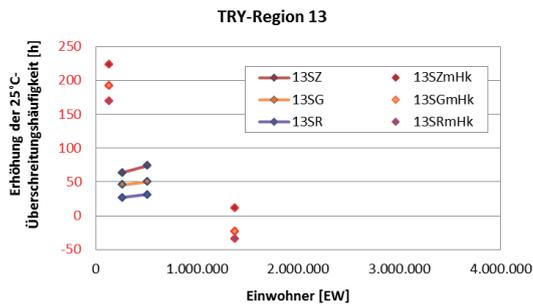
Schraffuren:

kleinste und größte Stadt einer TRY-Region ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion

Stadt mit Höhenkorrektur

Erhöhung der Überschreitungshäufigkeit von 25°C infolge Stadtklima:

Erläuterungen:



[SZ] Stadtzentrum
[SG] mittleres Stadtgebiet
[SR] Stadtrand

[SZmHk] Stadtzentrum mit Höhenkorrektur
[SGmHk] mittleres Stadtgebiet mit Höhenkorrektur
[SRmHk] Stadtrand mit Höhenkorrektur

Hinweis:
angepasste Skalierung der Ordinate aufgrund der Höhenkorrektur

Bild 3-7: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 13. Veränderung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

4 Berechnungsrandbedingungen und Beschreibung des Basisfalls

Bevor in den folgenden Kapiteln die Ergebnisse der Simulationsrechnungen für die unterschiedlichen TRY-Datensätze dargestellt und diskutiert werden, sollen in diesem Kapitel die Berechnungsrandbedingungen dieser Berechnungen näher beschrieben werden.

Ausgehend von dem durch DIN EN ISO 13791:2012-08 [8] gegebenen Raummodell (Bild 4-1) mit den in Tabelle 4-1 thermophysikalisch beschriebenen Konstruktionen erfolgen die Berechnungen im Rahmen dieses Vorhabens für den in Bild 4-2 beschriebenen Zentralraum.

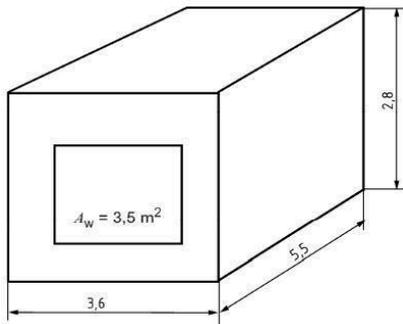


Bild 4-1: Skizze Prüfraum aus DIN EN ISO 13791:2012-08 [8]

Tabelle 4-1: Konstruktionen und thermophysikalische Eigenschaften von opaken Elementen, Auszug aus DIN EN ISO 13791:2012-08 [8]

Struktur	d [m]	λ [W/(mK)]	ρ [kg/m ³]	c [kJ/(kgK)]
Typ 1 (Außenwand)				
Außenschicht	0,115	0,99	1.800	0,85
Dämmschicht	0,060	0,04	30	0,85
Mauerwerk	0,175	0,79	1.600	0,85
Innenputz	0,015	0,70	1.400	0,85
Typ 2 (Innenwand)				
Gipsputz	0,012	0,21	900	0,85
Dämmschicht	0,100	0,04	30	0,85
Gipsputz	0,012	0,21	900	0,85
Typ 3 (Decke/Fußboden)				
Kunststoffbelag	0,004	0,23	1.500	1,5
Zementestrich	0,060	1,40	2.000	0,85
Dämmschicht	0,040	0,04	50	0,85
Beton	0,180	2,10	2.400	0,85
Typ 4 (Decke/Fußboden)				
Kunststoffbelag	0,004	0,23	1.500	1,5
Zementestrich	0,060	1,40	2.000	0,85
Dämmschicht	0,040	0,04	50	0,85
Beton	0,180	2,10	2.400	0,85
Dämmschicht	0,100	0,04	50	0,85
Akustikplatte	0,020	0,06	400	0,84

Mit dem Ziel, für die Untersuchungen zu diesem Vorhaben unterschiedliche Bauarten und Wärmeschutzniveaus abzubilden, werden diese Konstruktionen wie in Tabelle 4-2 dargestellt modifiziert und den Bauteilen der raumumschließenden Flächen wie in dem Steckbrief des Zentralraumes (Bild 4-2) angegeben, zugeordnet.

Bauartbezogen kann hierdurch unterschieden werden zwischen leichter, mittlerer und schwerer Bauweise, sodass die im Folgenden aufgeführten wirksamen Wärmespeicherfähigkeiten nach DIN EN ISO 13786 (Periodendauer 1d) erreicht werden:

- für leichte Bauart: $C_{\text{wirk}} = 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$
- für mittlere Bauart: $C_{\text{wirk}} = 90 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$
- für schwere Bauart: $C_{\text{wirk}} = 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$

Um diese wirksamen Wärmespeicherkapazitäten fallweise genau einzuhalten, erfolgt zunächst die Auswahl entsprechender Konstruktionen aus Tabelle 4-2 und zur „Feineinstellung“ schließlich eine Anpassung der Estrichdicke des Fußbodens. Damit sich bei Variation des Fensterflächenanteils nur geringfügiger Anpassungsbedarf für die Wärmespeicherkapazität ergibt, wird für die Außenwand der Konstruktionstyp 1-1 (innengedämmt) angesetzt.

Tabelle 4-2: Modifizierte Konstruktionen für Zentralraum

Struktur (Schichtenreihenfolge von innen nach außen)	d [m]	λ [W/(mK)]	ρ [kg/m ³]	c [kJ/(kgK)]
Typ 1-1 (Außenwand, innengedämmt)				
Innenputz	0,015	0,70	1.400	0,85
Dämmschicht	variabel	0,04	30	0,85
Mauerwerk	0,175	0,79	1.600	0,85
Außenputz	0,115	0,99	1.800	0,85
Typ 2-1 (Innenwand leicht)				
Gipsputz	0,012	0,21	900	0,85
Dämmschicht	0,100	0,04	30	0,85
Gipsputz	0,012	0,21	900	0,85
Typ 2-2 (Innenwand massiv)				
Gipsputz	0,012	0,21	900	0,85
Mauerwerk	0,115	0,79	1.600	0,85
Gipsputz	0,012	0,21	900	0,85
Typ 3-1 (Decke, massiv)				
Beton	0,180	2,10	2.400	0,85
Dämmschicht	0,040	0,04	50	0,85
Zementestrich	0,060	1,40	2.000	0,85
Kunststoffbelag	0,004	0,23	1.500	1,5
Typ 3-2 (Decke, entkoppelt)				
Akustikplatte	0,020	0,06	400	0,84
Dämmschicht	0,100	0,04	50	0,85
Beton	0,180	2,10	2.400	0,85
Dämmschicht	0,040	0,04	50	0,85
Zementestrich	0,060	1,40	2.000	0,85
Kunststoffbelag	0,004	0,23	1.500	1,5
Typ 4-1 (Fußboden, Typ 3-1 invertiert)				
Kunststoffbelag	0,004	0,23	1.500	1,5
Zementestrich	variabel	1,40	2.000	0,85
Dämmschicht	0,040	0,04	50	0,85
Beton	0,180	2,10	2.400	0,85
Typ 4-2 (Fußboden, Typ 3-2 invertiert)				
Kunststoffbelag	0,004	0,23	1.500	1,5
Zementestrich	variabel	1,40	2.000	0,85
Dämmschicht	0,040	0,04	50	0,85
Beton	0,180	2,10	2.400	0,85
Dämmschicht	0,100	0,04	50	0,85
Akustikplatte	0,020	0,06	400	0,84

Zur Abbildung unterschiedlicher Wärmeschutzniveaus wird im Rahmen der Berechnungen unterschieden zwischen:

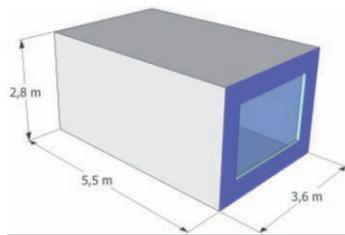
- EnEV 2009
- EH70 (KfW Effizienzhaus 70)
- EH55 (KfW Effizienzhaus 55)
- EH40 (KfW Effizienzhaus 40)

Die Dicke Dämmschichten der in Tabelle 4-2 aufgeführten Außenwandkonstruktion wird für die Berechnungen so gewählt, dass der durch Tabelle 4-3 definierte U-Wert für die jeweiligen Wärmeschutzniveaus resultiert. Bei einem in allen Fällen angenommenen Rahmenanteil der Fenster in Höhe von 30 Prozent erfolgt die entsprechende Fenstermodellierung so, dass die ebenfalls in Tabelle 4-3 angegebenen physikalischen Eigenschaften der Fenster abgebildet werden.

Tabelle 4-3: Kennwerte der Außenbauteile für die betrachteten Wärmeschutzniveaus

Niveau	Bauteil		
	Außenwand	Fenster	
	U_w [W/(m²K)]	U_{win} [W/(m²K)]	g_{win} [-]
EnEV 2009	0,28	1,3	0,60
EH70	0,16	1,1	0,55
EH55	0,16	0,95	0,55
EH40	0,12	0,80	0,60

Für die Darstellung und Auswertung der Berechnungsergebnisse wird zunächst ein wie in Bild 4-2 in Verbindung mit Tabelle 4-4 beschriebener Basisfall zugrunde gelegt.



Bezeichnung: zen
 Grundfläche: 19,8 m²
 Volumen: 55,4 m³

Flächen der raumschließenden Bauteile:

Anteile		Flächen Wände, Boden, Decke, Dach							Fensterflächen								
f_w	f_g	$A_{W1(AW)}$	$A_{W2(W)}$	$A_{W3(W)}$	$A_{W4(W)}$	A_G	A_C	A_R	$A_{win, W1}$	$A_{B, W1}$	$A_{F, W1}$	$A_{win, W2}$	$A_{B, W2}$	$A_{F, W2}$	$A_{win, R}$	$A_{B, R}$	$A_{F, R}$
[%]	[%]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]
20	10	8,08	15,40	10,08	15,40	19,80	19,80	-	2,00	1,40	0,60	-	-	-	-	-	-
30	15	7,06	15,40	10,08	15,40	19,80	19,80	-	3,02	2,12	0,91	-	-	-	-	-	-
50	25	5,04	15,40	10,08	15,40	19,80	19,80	-	5,04	3,53	1,51	-	-	-	-	-	-
70	36	3,02	15,40	10,08	15,40	19,80	19,80	-	7,06	4,94	2,12	-	-	-	-	-	-
100	51	0,00	15,40	10,08	15,40	19,80	19,80	-	10,08	7,06	3,02	-	-	-	-	-	-

Konstruktionen der raumschließenden Bauteile:

Raum:	Bauart														
zen	leicht					mittel					schwer				
Bauteil	fassadenbez. Fensterflächenanteil f_w [%]					fassadenbez. Fensterflächenanteil f_w [%]					fassadenbez. Fensterflächenanteil f_w [%]				
	20 ¹	30	50	70	100	20 ¹	30	50	70	100	20 ¹	30	50	70	100
	grundflächenbez. Fensterflächenanteil f_g [%]					grundflächenbez. Fensterflächenanteil f_g [%]					grundflächenbez. Fensterflächenanteil f_g [%]				
	10	15	25	36	51	10	15	25	36	51	10	15	25	36	51
W_1 (AW)	Typ 1-1					Typ 1-1					Typ 1-1				
W_2 (IW)	Typ 2-1					Typ 2-1					Typ 2-1				
W_3 (IW)	Typ 2-1					Typ 2-1					Typ 2-2				
W_4 (IW)	Typ 2-1					Typ 2-1					Typ 2-2				
Decke	Typ 3-2					Typ 3-1					Typ 3-1				
Boden	Typ 4-2					Typ 4-1					Typ 4-1				
Dicke Estrich [m]	0,086	0,086	0,087	0,088	0,089	0,050	0,050	0,051	0,053	0,054	0,044	0,045	0,046	0,047	0,048

*1: entspricht Mindest-Fensterflächenanteil zur ausreichenden Tageslichtversorgung für Räume in Normalgeschossen gemäß Bauordnungen der Länder von $f_g = 10\%$

Bild 4-2: Steckbrief Zentralraum (zen)

Tabelle 4-4: Basisfall für Vergleichsrechnungen

Parameter	Wert
Raummodell:	Zentralraum
Wärmeschutzniveau	EnEV 2009
Bauart:	mittlere Bauart
Nutzung:	Wohnnutzung / Nichtwohnnutzung
Nachtlüftung:	erhöhte Nachtlüftung
Fensterflächenanteil (fassadenbezogen):	50 %
Orientierung:	Ost
g-Wert:	0,60

5 Sommerliches Mindestwärmeschutzniveau nach DIN 4108-2 bei extremen und zukünftigen Klimarandbedingungen

Soll der Nachweis zum sommerlichen Mindestwärmeschutz durch Simulationsrechnungen erbracht werden, so sind diesen Berechnungen nach DIN 4108-2 je nach Standort des Gebäude, jeweils die sog. Normal-TRYs (Normal-TRYs beschreiben für jede TRY-Region Deutschlands jeweils mittlere Klimaverhältnisse) festgelegter TRY-Regionen wie folgt zugrunde zu legen:

- für Standorte in Klimaregion A: Normal-TRY Region 2 (Rostock)
- für Standorte in Klimaregion B: Normal-TRY Region 4 (Potsdam)
- für Standorte in Klimaregion C: Normal-TRY Region 12 (Mannheim)

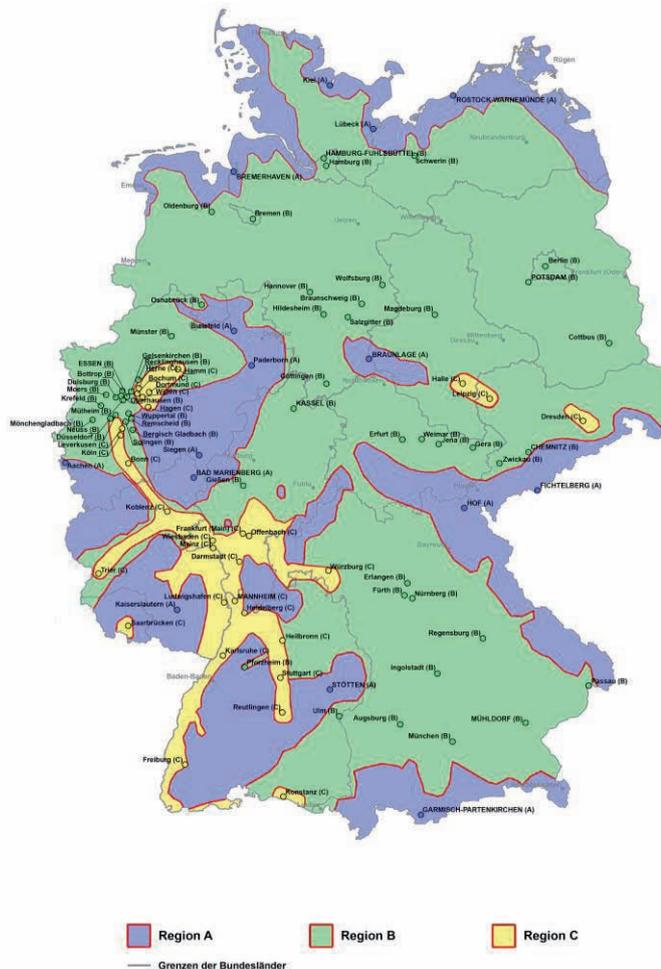


Bild 5-1: Sommer-Klimaregionen nach DIN 4108-2

Im Rahmen der für dieses Vorhaben durchgeführten Berechnungen werden ergänzend zur Auswertung der für die Klimaregionen A, B und C nachweisrelevanten Klimadatenätze auch Berechnungen für die übrigen 12 TRY-Regionen Deutschlands durchgeführt und den nachweisrelevanten Datensätzen gegenübergestellt.

Mit Veröffentlichung der neuen Testreferenzjahre [1] werden neben den Normal-TRYs, welche für jede TRY-Region mittlere Klimaverhältnisse beschreiben, auch sogenannte Extrem-TRYs zur Verfügung gestellt. Diese Extrem-TRYs beschreiben extreme Witterungsverhältnisse und werden zum einen für kalte Winter und zum anderen für heiße Sommer bereitgestellt.

Somit sind für Auswertungen zu aktuellen Klimaverhältnissen für jede der 15 TRY-Regionen

- ein Normal-TRY und
- zwei Extrem-TRYs (extrem heißer Sommer sowie extrem kalter Winter)

verfügbar. Diese werden in [1] weiterhin ergänzt durch sogenannte Zukunfts-TRYs, für die ebenfalls zwischen Normal- und Extremwetterdatensätzen unterschieden wird. Somit sind zusätzlich

- ein Zukunfts-Normal-TRY und
- zwei Zukunfts-Extrem-TRYs (extrem warmer zukünftiger Sommer sowie extrem kalter zukünftiger Winter)

für jede der 15 TRY-Regionen verfügbar.

Um einen ersten Vergleich von Normal-TRYs gegenüber Extrem-TRYs und Zukunfts-TRYs zu ermöglichen, werden in Abschnitt 5.1 zunächst nur die nach DIN 4108-2 nachweisrelevanten TRY Datensätze Rostock, Potsdam und Mannheim für den in Tabelle 4-4 beschriebenen Basisfall betrachtet. Sowohl für Wohn- als auch für Nichtwohnnutzung erfolgt hierbei die Übertemperaturgradstundenauswertung der Berechnungen unter Ansatz folgender Klimadatensätze:

- für aktuelle mittlere Klimaverhältnisse (Fall 1: Normal-TRY),
- für einen extrem warmen Sommer (Fall 2: Extrem-TRY Sommer),
- für das zukünftige Normalklima (Fall 3: Zukunfts-Normal-TRY) sowie
- für ein zukünftiges extremes Sommerklima (Fall 4: Zukunfts-Extrem-TRY Sommer)

In Abschnitt 5.2 folgen schließlich Auswertungen für den Basisfall Nichtwohnnutzung für alle 15 TRY-Regionen, wobei in den Abschnitten 5.2.1 bis 5.2.3 jeweils die Normal-TRYs den Extrem-TRYs, den Zukunfts-Normal-TRYs sowie den Zukunfts-Extrem-TRYs gegenübergestellt werden. Ziel dieser Gegenüberstellung ist einerseits die Quantifizierung der Übertemperaturgradstunden, die sich unter Ansatz der Extrem- und Zukunfts-TRYs einstellen, wenn fallweise eine Dimensionierung des Sonnenschutzes gemäß Mindestanforderung nach DIN 4108-2 (Basis für die Anforderungswerte sind die Normal-TRYs) erfolgt. Andererseits wird auf Basis dieser Berechnungen der fallweise erforderliche F_c -Wert ermittelt, um auch unter Ansatz der Extrem- und Zukunfts-TRYs das durch DIN 4108-2 festgelegte Übertemperaturgradstunden-Anforderungsniveau einzuhalten. Die Ergebnisse dieser Gegenüberstellungen werden in Abschnitt 5.2.4 zusammengefasst.

Ausgehend von den Ergebnissen der Basisfallbetrachtungen folgen in Abschnitt 5.3 Auswertungen unter Variation des Fensterflächenanteils sowie für den Ansatz unterschiedlicher Nachtluftwechselraten. Hierbei soll geprüft werden, ob bzw. inwieweit sich die aus den Basisfallbetrachtungen abgeleiteten Erkenntnisse auf weitere Berechnungsfälle übertragen lassen.

Während sich die Auswertungen aus Kapitel 5 auf die TRY-Datensätze ohne Höhenkorrektur und ohne Stadtklimaeffekt beziehen, folgen in den Kapitel 6 und 6.2 entsprechende weitergehende Betrachtungen, wobei der Einfluss der Höhenkorrektur und der Aufprägung von Stadtklimaeffekten auf das sich einstellenden Innenraumklima betrachtet wird.

5.1 Gegenüberstellung der nach DIN 4108-2 nachweisrelevanten TRY-Datensätze Rostock (Klimaregion A), Potsdam (Klimaregion A) und Mannheim (Klimaregion A)

In den folgenden Auswertungen in Bild 5-2 (für Klimaregion A), Bild 5-3 (für Klimaregion B) und Bild 5-4 (für Klimaregion C) ist ein roter Graph dargestellt, durch welchen jeweils das durch DIN 4108-2 festgelegte Übertemperaturgradstunden-Anforderungsniveau (Simulation Wohnnutzung: 1200 Kh/a, Simulation Nichtwohnnutzung: 500 Kh/a) gekennzeichnet ist. Der Abszissenwert des Schnittpunktes dieser roten Linie jeweils mit einem Graphen der Fälle 1 bis 4 beschreibt den fallweise erforderlichen F_C -Wert zur Einhaltung des durch DIN 4108-2 formulierten Anforderungsniveaus.

Als Erläuterung zunächst in Tabelle 5-1 die Berechnungsrandbedingungen nebst Legende für die Auswertungen in Bild 5-2 bis Bild 5-4.

Tabelle 5-1: Fallbeschreibung und Legende für die Auswertungen in Bild 5-2, Bild 5-3 und Bild 5-4

Berechnungsrandbedingungen:	
Wohn- bzw. Nichtwohnnutzung, Zentralraum, erhöhte Nachtlüftung, mittlere Bauart, 50 % fassadenbezogener Fensterflächenanteil, Orientierung: Ost, g-Wert 0,60, Grenzbestrahlungsstärke: $I_{\text{grenz}} = 300 \text{ W/m}^2$	..... Fall 1 Normal-TRY
	--- Fall 2 Extrem-TRY
	- · - Fall 3 Zukunfts-Normal-TRY
	— Fall 4 Zukunfts-Extrem-TRY Sommer
	— zulässig 1200 Kh/a (Wohnnutzung); 500 Kh/a (Nichtwohnnutzung)

Wie zuvor bereits beschrieben kann aus den Darstellungen in Bild 5-2 bis Bild 5-4 der fallweise erforderliche F_C -Wert zur Einhaltung des durch DIN 4108-2 festgelegten Anforderungsniveaus abgelesen werden. Ausgehend von dem jeweils für das Normal-TRY erforderlichen F_C -Wert (Abszissenwert vom Schnittpunkt der roten Linie mit dem punktierten Graph für Fall 1) kann aber auch abgeschätzt werden, inwieweit sich der Übertemperaturgradstundenwert im Fall der Extrem- und Zukunftsklimadatensätze erhöht, wenn eine Ausführung des Sonnenschutzes gemäß Anforderung aus DIN 4108-2 erfolgt. Hierzu muss lediglich der Übertemperaturgradstundenwert bei diesem F_C -Wert für die Graphen der Fälle 2 bis 4 aus dem Diagramm abgelesen werden. In einigen Fällen, insbesondere für die Auswertungen der Zukunfts-Extrem-TRYs liegt dieser Übertemperaturgradstundenwert aufgrund der gewählten Ordinatenskalierung außerhalb des dargestellten Wertebereiches.

für Sommer-Klimaregion A: TRY 02 (Rostock)

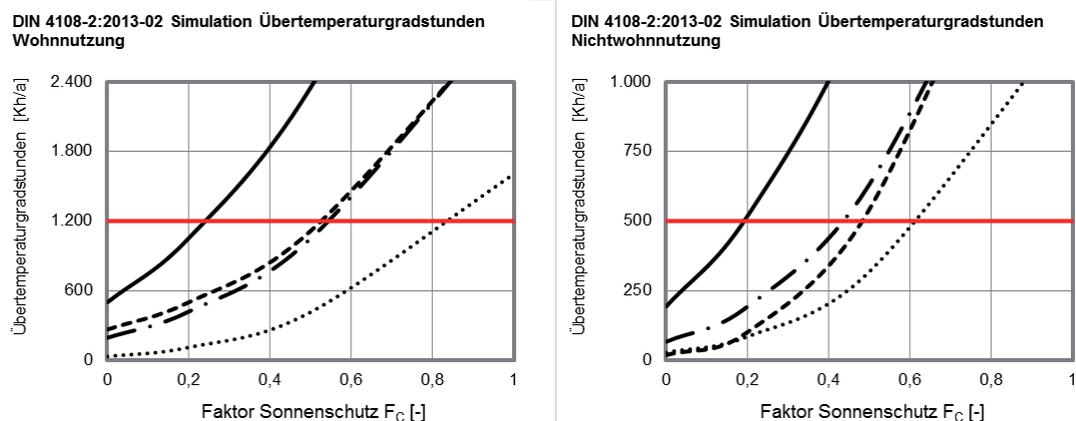


Bild 5-2: Auswertung des Basisfalls für Sommer-Klimaregion A (Datensatz TRY-Region 2) gemäß DIN 4108-2

Aus der Gegenüberstellung in Bild 5-2 ist zunächst zu entnehmen, dass die Graphen für Extrem-TRY (Fall 2, gestrichelt) und Zukunfts-Normal-TRY (Fall 3, strich-punktiert) im Fall der Wohnnutzung in etwa deckungsgleich verlaufen und im Fall der Nichtwohnnutzung ebenfalls ein vergleichbares Niveau beschreiben, wobei hier im Fall des Zukunfts-Normal-

TRYS im Vergleich zu dem Extrem-TRY etwas höhere Übertemperaturgradstundenwerte bei gleichen F_C -Werten zu verzeichnen sind. Ausgehend von dem im Fall der Wohnnutzung zur Einhaltung der normativen Anforderung von 1200 Kh/a erforderlichen F_C -Wert von etwa 0,84 lässt sich sowohl für das Extrem-TRY als auch für das Zukunfts-Normal-TRY in etwa eine Verdopplung des Übertemperaturgradstundenwertes auf etwa 2400 Kh/a feststellen, wenn ein solcher Sonnenschutz zum Einsatz kommt. Um auch im Fall den Extrem-TRY und Zukunfts-Normal-TRY einen Übertemperaturgradstundenwert von 1200 Kh/a sicherzustellen, müsste in beiden Fällen ein Sonnenschutz mit einem F_C -Wert von 0,54 zum Einsatz kommen, was gegenüber dem für das Normal-TRY erforderlichen F_C -Wert einer Verbesserung bzw. Reduzierung um $\Delta F_C = 0,3$ entspricht.

Auch im Fall der Nichtwohnnutzung lässt sich für die Datensätze der Klimaregion A festhalten, dass sich der Übertemperaturgradstundenwert im Fall des Extrem-TRYS und des Zukunfts-Normal-TRYS in etwa verdoppelt, wenn ein Sonnenschutz gemäß Anforderung durch Normal-TRY mit $F_C = 0,61$ zum Einsatz kommt. Im Fall des Extrem-TRYS müsste hier ein F_C -Wert von 0,48 zum Einsatz kommen (entspricht einer Verbesserung des nach DIN 4108-2 normativ erforderlichen F_C -Wertes um $\Delta F_C = 0,13$). Im Fall des Zukunfts-Normal-TRYS müsste eine Verbesserung um $\Delta F_C = 0,18$ auf $F_C = 0,44$ erfolgen, um einen Übertemperaturgradstundenwert von 500 Kh/a einzuhalten.

Zusammenfassend lässt sich für den in Bild 5-2 betrachteten Basisfall in der Sommer-Klimaregion A festhalten, dass die normative Anforderung unter Ansatz der jetzigen mittleren Klimaverhältnisse (Normal-TRYS) sowohl für Wohnnutzung ($F_C = 0,83$) als auch für Nichtwohnnutzung ($F_C = 0,61$) ohne Weiteres durch einen innen liegenden Sonnenschutz zu erfüllen ist. Zur Orientierung sind in Tabelle 5-2 (Auszug aus DIN 4108-2 [3]) pauschalierte Anhaltswerte für die Abminderungsfaktoren F_C in Abhängigkeit der Art des Sonnenschutzsystems angegeben. Der beste (niedrigste) F_C -Wert, der hierin für ein innenliegendes System enthalten ist, beträgt zwar nur 0,65, es existieren aber durchaus innenliegende Systeme mit besseren F_C -Werten, die detailliert berechnet und i.d.R. herstellerepezifisch auf entsprechenden Produktdatenblättern ausgewiesen werden. Die besten F_C -Werte für marktverfügbare innenliegende Systeme werden in etwa mit $F_C = 0,45$ angegeben.

Tabelle 5-2: Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit von der Glasart, Auszug aus DIN 4108-2 [3]

Zeile	Sonnenschutzvorrichtung ^a	F_C		
		$g \leq 0,40$ (Sonnenschutzglas)	$g > 0,40$	
			zweifach	dreifach	zweifach
1	ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,00	1,00	1,00
2	Innenliegend oder zwischen den Scheiben ^b			
2.1	weiß oder hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz ^c	0,65	0,70	0,65
2.2	helle Farben oder geringe Transparenz ^d	0,75	0,80	0,75
2.3	dunkle Farben oder höhere Transparenz	0,90	0,90	0,85
3	Außenliegend			
3.1	Fensterläden, Rollläden			
3.1.1	Fensterläden, Rollläden, $\frac{3}{4}$ geschlossen	0,35	0,30	0,30
3.1.2	Fensterläden, Rollläden, geschlossen ^e	0,15 ^e	0,10 ^e	0,10 ^e
3.2	Jalousie und Raffstore; drehbare Lamellen			
3.2.1	Jalousie und Raffstore; drehbare Lamellen, 45° Lamellenstellung	0,30	0,25	0,25
3.2.2	Jalousie und Raffstore; drehbare Lamellen, 10° Lamellenstellung ^e	0,20 ^e	0,15 ^e	0,15 ^e
3.3	Markise, parallel zur Verglasung ^d	0,30	0,25	0,25
3.4	Vordächer, Markisen allgemein, freistehende Lamellen ^f	0,55	0,50	0,50

Demnach ist davon auszugehen, dass für Klimaregion A für jetzige extreme bzw. zukünftige normale Klimaverhältnisse davon auszugehen ist, dass die normativen Anforderungswerte von 1200 Kh/a bei Wohnnutzung bzw. 500 Kh/a bei Nichtwohnnutzung nur noch (für den hier betrachteten Basisfall) durch die besten marktverfügbaren innenliegenden Sonnenschutzsysteme einzuhalten sind, mit dem Einsatz außen liegender Systemen aber noch ein deutliches Potenzial zu weiteren Verringerung der thermischen Beanspruchung verbunden ist. Auf eine Erläuterung der Verhältnisse unter Ansatz zukünftiger extremer Klimarandbedingungen, wie grafisch in Bild 5-2 mit dargestellt, wird an dieser Stelle verzichtet.

Die Darstellungen in Bild 5-3 führen die zuvor für die Sommer-Klimaregion A angestellten Berechnungen für die Sommer-Klimaregion B unter Ansatz der TRY-Datensätze für Potsdam fort.

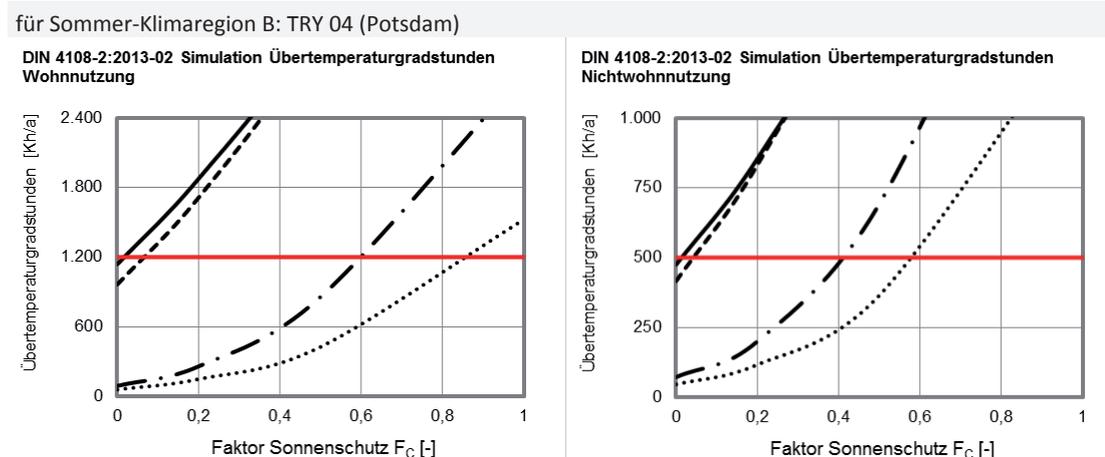


Bild 5-3: Auswertung des Basisfalls für Sommer-Klimaregion B (Datensatz TRY-Region 4) gemäß DIN 4108-2

Im Vergleich zu den Auswertungen zur Sommer-Klimaregion A fällt in Bild 5-3 zunächst auf, dass die Graphen von Extrem-TRY (gestrichelt) und Zukunfts-Normal-TRY (strich-punktiert) einen deutlich unterschiedlichen Verlauf aufweisen. Während für die Klimaregion A diese beiden Graphen in etwa deckungsgleich verlaufen, wird im Fall der Klimaregion B durch das Extrem-TRY eine deutlich höhere Beanspruchung des Innenraumklimas hervorgerufen. Bezogen auf die Übertemperaturgradstunden, die sich im Fall der Zukunfts-Normal-TRYs einstellen, wenn ein Sonnenschutz zum Einsatz kommt, welcher den Anforderungen der DIN 4108-2 entspricht (Wohnnutzung $F_c = 0,84$, Nichtwohnnutzung $F_c = 0,58$), kann für die Auswertungen aus Bild 5-3 allerdings festgehalten werden, dass sich diese wie auch im Fall der Betrachtung von Klimaregion A in etwa verdoppeln. Soll im Fall der Zukunfts-Normal-TRYs der Übertemperaturgradstundenanforderungswert für Wohnnutzung von 1200 Kh/a eingehalten werden, so muss der nach DIN 4108-2 erforderliche F_c -Wert um $\Delta F_c = 0,24$ auf $F_c = 0,6$ verbessert werden. Im Fall der Nichtwohnnutzung muss zur Einhaltung von 500 Kh/a der F_c -Wert von 0,58 um $\Delta F_c = 0,17$ auf $F_c = 0,41$ verbessert werden. Hinsichtlich des Ansatzes von Extrem-TRY und Zukunfts-Extrem-TRY, deren Graphen in Bild 5-3 in etwa deckungsgleich verlaufen, ergeben die Berechnungen, dass für den betrachteten Basisfall eine Einhaltung der Anforderungswerte selbst bei Verwendung des besten marktverfügbaren außen liegenden Sonnenschutzes ($F_c = 0,10$) nicht möglich ist. Da die Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz aber nicht aus dem Ansatz von extremen Klimaverhältnissen, sondern aus dem Ansatz der mittleren Verhältnisse (Normal-TRYs) resultieren, werden an dieser Stelle keine baulichen Möglichkeiten diskutiert, durch welche auch unter Ansatz extremer Klimaverhältnisse das durch DIN 4108-2 formulierte Anforderungsniveau eingehalten werden kann.

Durch die Auswertungen in Bild 5-4 werden die bisherigen Betrachtungen des Basisfalls auf die Sommer-Klimaregion C ausgedehnt, wobei gemäß DIN 4108-2 diesen Berechnungen die

Klimadatenätze der TRY-Region 12 (Mannheim) zugrunde gelegt werden. Wie im Fall der Berechnungen zur Sommer-Klimaregion B resultieren aus dem Ansatz des Extrem-TRYs und des Zukunfts-Extrem-TRYs in etwa vergleichbare thermische Beanspruchungen, die deutlich über der Beanspruchung infolge des Normal-TRYs liegen. Während der Ansatz der Zukunfts-Normal-TRYs im Fall der Klimaregionen A und B und bezogen auf das durch DIN 4108-2 festgelegte Anforderungsniveau in etwa zu einer Verdopplung der thermischen Beanspruchung führen, ergibt sich für die Klimaregion C eine stärkere Erhöhung des Übertemperaturgradstundenwertes bezogen auf eine Ausführung des Sonnenschutzes gemäß Anforderung zur Einhaltung von 1200 Kh/a bzw. 500 Kh/a. Die Übertemperaturgradstundenwerte, die sich für diesen Fall ergeben, sind aufgrund der gewählten Skalierung der Ordinate aus der Darstellung in Bild 5-4 nicht zu entnehmen, während aber die tabellarische Auswertung in Tabelle 5-5 für den hier beschriebenen Fall der Nichtwohnnutzung eine Erhöhung des G_{h27} -Wertes um den Faktor 2,4 ausweist.

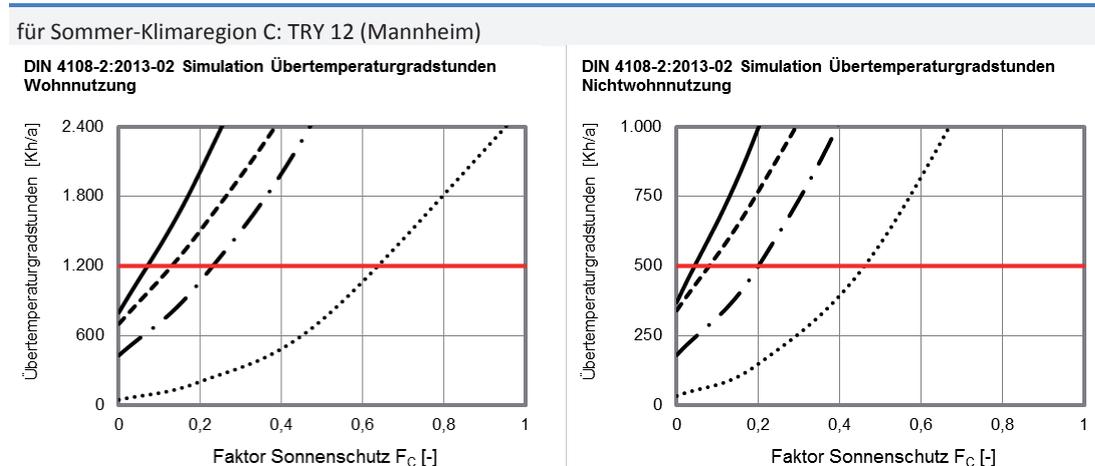


Bild 5-4: Auswertung des Basisfalls für Sommer-Klimaregion C (Datensatz TRY-Region 12) gemäß DIN 4108-2

Damit auch für den Ansatz zukünftiger mittlerer Klimaverhältnisse in Sommer-Klimaregion B die derzeitigen Anforderungswerte eingehalten werden, muss im Fall der Wohnnutzung der F_C Wert von 0,65 um $\Delta F_C = 0,40$ auf $F_C = 0,25$ und im Fall der Nichtwohnnutzung der F_C -Wert von 0,46 um $\Delta F_C = 0,26$ auf $F_C = 0,20$ verbessert werden.

Für die bislang betrachteten Auswertungen zu den Sommer-Klimaregionen A, B und C enthält Tabelle 5-3 eine Zusammenstellung der F_C -Werte, die für den Ansatz der Normal-TRYs ($F_{C, nrm}$) sowie der Zukunfts-Normal-TRYs ($F_{C, z, nrm}$) erforderlich sind. Hieraus geht hervor, dass die erforderlichen Verbesserungen des F_C -Wertes zur Sicherstellung der derzeitigen Anforderungsniveaus auch unter Ansatz der zukünftigen mittleren Klimaverhältnisse in Klimaregion A und B vergleichbar sind. In Klimaregion C hingegen liegt bereits der jeweils erforderliche F_C -Wert für den Ansatz aktueller mittlerer Klimaverhältnisse auf einem höheren Niveau, wobei auch die erforderlichen Verbesserungen des F_C -Wertes für zukünftige mittlere Verhältnisse gegenüber den Klimaregionen A und B größer ausfallen.

Tabelle 5-3: Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung der normativen Übertemperaturgradstunden-Anforderungswerte für Normal-TRYs und Zukunfts-Normal-TRYs

Sommer-Klimaregion	Wohnnutzung			Nichtwohnnutzung		
	$F_{C, nrm}$ [-]	$\Delta F_{C, z, nrm}$ [-]	$F_{C, z, nrm}$ [-]	$F_{C, nrm}$ [-]	$\Delta F_{C, z, nrm}$ [-]	$F_{C, z, nrm}$ [-]
A	0,84	0,30	0,54	0,61	0,17	0,44
B	0,84	0,24	0,60	0,58	0,17	0,41
C	0,65	0,40	0,25	0,46	0,26	0,20

Ergänzend zur bereits erfolgten Auswertung des Basisfalls für die Sommer-Klimaregionen A, B und C folgt in Abschnitt 5.2 eine auf die Nichtwohnnutzung reduzierte Auswertungen für alle 15 TRY-Regionen.

5.2 Auswertungen zum Basisfall Nichtwohnnutzung für alle 15 TRY-Regionen

Die in diesem Abschnitt dokumentierten Berechnungen sollen in Ergänzung zur im vorigen Abschnitt erfolgten Betrachtung der nach DIN 4108-2 nachweisrelevanten TRY-Datensätze auch die übrigen 12 TRY-Regionen in die Auswertungen mit aufnehmen, wobei jeweils getrennte Betrachtungen für die TRY-Datensätze „Extrem-TRY“ (Abschnitt 5.2.1), „Zukunfts-Normal-TRY“ (Abschnitt 5.2.2) und „Zukunfts-Extrem-TRY“ (Abschnitt 5.2.3) erfolgen. Zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit wird die Betrachtung dieses Abschnitts reduziert auf den Anwendungsfall Nichtwohnnutzung.

Basis jeder Einzelbetrachtung im Rahmen der folgenden Untersuchungen ist die Ermittlung des zur Einhaltung des normativen Übertemperaturgradstunden-Anforderungswertes (500 Kh/a) erforderlichen F_C -Wertes jeweils für den Ansatz des Normal-TRYs einer TRY-Region. Ausgehend von dem auf diese Weise ermittelten erforderlichen F_C -Wert, folgt für jede TRY-Region die Angabe des Übertemperaturgradstundenwertes, der sich bei dieser Ausführung des Sonnenschutzes aber unter Ansatz des Extrem-TRYs, des Zukunfts-Normal-TRYs sowie des Zukunfts-Extrem-TRYs einstellt. Zusätzlich erfolgt die Bestimmung des fallweise erforderlichen F_C -Wertes, um auch unter Ansatz des Extrem-TRYs, des Zukunfts-Normal-TRYs sowie des Zukunfts-Extrem-TRYs einer jeden TRY-Region einen Übertemperaturgradstundenwert von 500 Kh/a nicht zu überschreiten.

5.2.1 Gegenüberstellung Normal-TRYs zu Extrem-TRYs

Um die Auswirkungen des Ansatzes der Extrem-TRYs im Vergleich zu den Normal-TRYs zu bewerten, sind in Tabelle 5-4 zunächst die F_C -Werte ($F_{C, nrm}$) aufgeführt, die für die Einhaltung der normativen Anforderung an den Übertemperaturgradstundenwert nach DIN 4108-2 in Höhe von 500 Kh/a erforderlich sind. Die bereits in Abschnitt 5.1 ausgewerteten Fälle der Klimaregionen A, B und C sind in Tabelle 5-4 schraffiert hinterlegt und in fetter Schrift dargestellt. Abweichend von der Vorgabe der DIN 4108-2, wonach in Abhängigkeit der Sommer-Klimaregion A,B oder C nach Bild 2-1 jeweils die Normal-TRYs der TRY-Regionen 2 (für Sommer-Klimaregion A), 4 (für Sommer-Klimaregion B) und 12 (für Sommer-Klimaregion C) für den Nachweis zugrunde zu legen sind, erfolgt hier die Auswertung unter Ansatz der individuellen TRY Datensätze aller 15 TRY-Regionen.

Hiernach ist für den betrachteten Basisfall lediglich in den Höhenlagen Braunlage (TRY-Region 8) sowie Fichtelberg (TRY-Region 11) zur Einhaltung des normativen Anforderungswertes von 500 Kh/a kein Sonnenschutz erforderlich (in Tabelle 5-4 in grüner Schrift dargestellt). Die sich bei $F_{C, nrm} = 1$ für diese Fälle einstellenden $G_{h_{25}}$ -Werte sind in Tabelle 5-4 ebenfalls in grüner Schrift dargestellt.

Weiterhin sind in Tabelle 5-4 die mit $G_{h_{x, som}}$ bezeichneten Übertemperaturgradstundenwerte angegeben, die sich unter Ansatz der Extrem-TRYs einstellen, wenn ein Sonnenschutz angenommen wird, welcher den $F_{C, nrm}$ -Wert aufweist, der zur Einhaltung von 500 Kh/a unter Ansatz des jeweiligen Normal-TRYs erforderlich ist. Zusätzlich wird durch den mit f_{nrm} bezeichneten Faktor die Erhöhung der Übertemperaturgradstunden bezogen auf die $G_{h_{x, nrm}}$ -Werte angegeben.

Die in Tabelle 5-4 mit $F_{C, som}$ bezeichneten Werte geben jeweils an, welcher F_C -Wert erforderlich ist, um auch für den Ansatz des Extrem-TRYs einen Übertemperaturgradstundenwert in Höhe von 500 Kh/a einzuhalten. Ergeben die Berechnungen, dass zur Einhaltung dieses Anforderungswertes ein F_C -Wert kleiner oder gleich 0,10 erforderlich wäre, sind die

entsprechenden Fälle durch rote Schrift gekennzeichnet. Hierdurch wird signalisiert, dass eine solche Ausführung des Sonnenschutzes nicht möglich ist, da keine Systeme mit $F_C \leq 0,10$ marktverfügbar sind. Zusätzlich zur Angabe des $F_{C, \text{som}}$ -Wertes wird über den mit $\Delta F_{C, \text{norm}}$ bezeichneten Wert jeweils angegeben, um welchen Betrag der $F_{C, \text{norm}}$ -Wert verbessert werden muss, um $F_{C, \text{som}}$ zu erreichen.

Tabelle 5-4: Normal-TRYs im Vergleich zu Extrem-TRYs Sommer

TRY-Region		Sommer-Klimaregion	Normal-TRY		Extrem-TRY			
			$F_{C, \text{norm}}$ [-]	$G_{h_x, \text{norm}}$ [Kh/a]	$G_{h_x, \text{som}}$ bei $F_{C, \text{norm}}$ [Kh/a]	f_{norm} [-]	$F_{C, \text{som}}$ für $G_{h_x} = 500$ Kh/a [-]	ΔF_C [-]
1	Bremerhaven	A	0,85	500	1798	3,6	0,26	0,59
2	Rostock	A	0,61	500	769	1,5	0,48	0,13
3	Hamburg	B	0,64	500	1673	3,3	0,16	0,48
4	Potsdam	B	0,58	500	1938	3,9	0,04	0,54
5	Essen	B	0,78	500	1681	3,4	0,20	0,58
6	Marienberg	A	0,85	500	1341	2,7	0,45	0,40
7	Kassel	B	0,81	500	1464	2,9	0,35	0,46
8	Braunlage	A	1,00	471	1683	3,6	0,47	0,54
9	Chemnitz	B	0,66	500	1838	3,7	0,05	0,61
10	Hof	A	0,65	500	1174	2,3	0,33	0,32
11	Fichtelberg	A	1,00	108	808	7,5	0,76	0,24
12	Mannheim	C	0,46	500	1485	3,0	0,08	0,38
13	Mühdorf	B	0,64	500	1373	2,7	0,27	0,37
14	Stötten	A	0,65	500	1314	2,6	0,28	0,37
15	Garmisch	A	0,69	500	1290	2,6	0,37	0,32
Auswertungen nach Klimaregionen			$F_{C, \text{norm}}$ [-]			f_{norm} [-]	$F_{C, \text{som}}$ [-]	ΔF_C [-]
alle TRY-Regionen	Ø	0,72			3,3	0,30	0,42	
	min	0,46			1,5	0,04	0,13	
	max	1,00			7,5	0,76	0,61	
TRY-Regionen in Klimaregion A	Ø	0,79			3,3	0,42	0,36	
	min	0,61			1,5	0,26	0,13	
	max	1,00			7,5	0,76	0,59	
TRY-Regionen in Klimaregion B	Ø	0,69			3,3	0,18	0,51	
	min	0,58			2,7	0,04	0,37	
	max	0,81			3,9	0,35	0,61	
TRY-Region 12 - Klimaregion C			0,46			3,0	0,08	0,38

Gemäß zusammenfassender Auswertung im unteren Teil der Tabelle 5-4 ist im Mittel über alle 15 TRY-Regionen zur Einhaltung eines G_{h_x} -Wertes ein F_C -Wert von 0,72 erforderlich. Infolge des Ansatzes der Extrem-TRYs im Vergleich zu den Normal-TRYs ergibt sich im Mittel über alle 15 TRY-Regionen eine Erhöhung der G_{h_x} -Werte Faktor $f_{\text{norm}} = 3,3$, wenn jeweils der Sonnenschutz zum Einsatz kommt, der bei Ansatz der Normal-TRYs zur Einhaltung von $G_{h_x} = 500$ Kh/a nötig ist. Werden die für den Ansatz der Normal-TRYs ermittelten F_C -Werte zur Einhaltung von 500 Kh/a um im Mittel 0,42 verbessert, kann erreicht werden, dass auch bei Ansatz der Extrem-TRYs ein Übertemperaturgradstundenwert von 500 Kh/a nicht überschritten wird. Die Auswertungen in Tabelle 5-4 zeigen allerdings auch, dass die Abweichung der aufgeführten Einzelwerte von den berechneten Mittelwerten teilweise deutlich abweichen. Bereits die Betrachtung der für die Normal-TRYs zur Einhaltung von 500 Kh/a ermittelten F_C -Werte verdeutlicht dies: während gemäß DIN 4108-2 in Klimaregion A ein Sonnenschutz mit $F_C = 0,61$ (erforderlicher $F_{C, \text{norm}}$ -Wert in TRY-Region 2) gefordert wird, ergeben sich für die Höhenlagen Braunlage und Fichtelberg unter Ansatz der für diese TRY-Regionen relevanten Normal-TRYs auch ohne Sonnenschutz ($F_{C, \text{norm}} = 1$) jeweils $G_{h_{25}}$ -Werte unterhalb des Anforderungswertes von 500 Kh/a. In Klimaregion B liegen die erforderlichen F_C -Werte im Bereich zwischen 0,58 und 0,81. Da die TRY-Region 12 die einzige TRY-Region ist, die nach DIN 4108-2 der Sommer-Klimaregion C zugeordnet ist, ergibt sich hier keine

Bandbreite der erforderlichen F_C -Werte, allerdings ergibt sich für die TRY-Region 12 die höchste Anforderung an den Sonnenschutz mit $F_{C, nrm} = 0,46$.

Die Erhöhung der G_{h_x} -Werte, die mit dem Ansatz der Extrem-TRYs gegenüber den Normal-TRYs unter Ansatz der $F_{C, nrm}$ -Werte verbunden ist, wirkt sich wie ebenfalls in Tabelle 5-4 ausgewertet, über die 15 TRY-Regionen sehr unterschiedlich aus. Während die geringste Veränderung in TRY-Region 2 mit einer 1,5-fachen Erhöhung der $G_{h_{25}}$ -Wertes zu verzeichnen ist, ergibt sich die größte Veränderung in TRY-Region 11 mit einer 7,5-fachen Erhöhung des $G_{h_{25}}$ -Wertes. Sowohl die geringste als auch die größte Veränderung infolge des Ansatzes der Extrem-TRYs wird demnach für TRY-Regionen in der Sommer-Klimaregion A festgestellt. Die Bandbreite der Erhöhungen der $G_{h_{26}}$ -Werte für Klimaregion B liegt zwischen $f_{nrm} = 2,7$ und $f_{nrm} = 3,9$ und fällt somit deutlich schmaler aus als in Klimaregion A. Für Klimaregion C liegt der Faktor f_{nrm} bei 3,0 und somit in der gleichen Größenordnung wie die Veränderungen in Klimaregion B.

Der Blick auf die zur Einhaltung eines G_{h_x} -Wertes von 500 Kh/a erforderlichen $F_{C, som}$ -Werte liefert für die TRY-Regionen in Klimaregion A Werte zwischen 0,26 (TRY-Region 1, Bremerhaven) und 0,76 (TRY-Region 11, Fichtelberg). Mit Ausnahme der Höhenlage Fichtelberg ist demnach davon auszugehen, dass durch den Einsatz innen liegender Sonnenschutzsysteme für den betrachteten Basisfall bei Ansatz der Extrem-TRYs eine Einhaltung eines $G_{h_{25}}$ -Wertes nur schwer möglich und in den meisten Fällen nur durch ein außen liegendes System erreichbar wäre. Für die TRY-Regionen der Klimaregion B kommen ist mindestens ein $F_{C, som}$ -Wert von 0,35 erforderlich, für die TRY-Regionen 4 und 9 ergeben die Berechnungen erforderliche $F_{C, som}$ -Werte von 0,04 und 0,05. Da keine Sonnenschutzsysteme mit niedrigeren F_C -Werte als 0,1 verfügbar sind, kann für diese TRY-Regionen und den hier betrachteten Basisfall demnach eine Einhaltung von $G_{h_{26}} = 500$ Kh/a nicht gewährleistet werden. Dies betrifft auch die Auswertung der TRY-Region 12 als Klimadatensatz der Klimaregion C, da für diesen zur Einhaltung eines $G_{h_{27}}$ -Wertes von 500 Kh/a ein erforderlicher $F_{C, som}$ -Wert von 0,08 berechnet wird. Da aber die Auslegung eines Sonnenschutzes per Anforderungsformulierung lediglich die Einhaltung eines G_{h_x} -Wertes von 500 Kh/a unter Ansatz der Normal-TRYs sicherstellen soll, sind die zuvor erläuterten Auswertungen dieses Abschnittes in erster Linie von Bedeutung in Bezug auf eine Ausführung des Sonnenschutzes gemäß Vorgaben der DIN 4108-2, die mit Inkrafttreten der künftigen EnEV (voraussichtlich im Frühjahr 2014) vorgeschrieben wird. Da die Ausführungsvariante in den meisten Fällen auch eine Kostenfrage darstellt, ist im Regelfall wohl davon auszugehen, dass im Rahmen der Planung künftiger Gebäude ein Sonnenschutz vorgesehen wird, durch welchen gerade die normativen bzw. öffentlich-rechtlichen Anforderungen erfüllt werden. Vor diesem Hintergrund lassen die in Tabelle 5-4 aufgeführten Übertemperaturgradstundenwerte $G_{h_{x, som}}$ eine grobe Einschätzung zu, mit welcher thermischen Beanspruchung unter derzeitigen extremen sommerlichen Verhältnissen zu rechnen ist. Die Ausführung des Sonnenschutzes gemäß ebenfalls aufgeführter $F_{C, som}$ -Werte wird daher eher selten vorkommen, dann aber aller Voraussicht nach unter extremen sommerlichen Verhältnissen komfortable Innentemperaturen sicherstellen. Dass sich eine Ausführung des Sonnenschutzes auf einem höheren als durch die DIN 4108-2 vorgeschriebenen Niveau insbesondere aufgrund des Klimawandels und der zu erwartenden weiteren Veränderungen der klimatischen Randbedingungen sinnvoll ist, zeigen die Auswertung in Abschnitt 5.2.2 zur Gegenüberstellung der Normal-TRYs zu den Zukunfts-Normal-TRYs, welche die mittleren klimatischen Verhältnisse für die Periode 2020 bis 2050 beschreiben.

5.2.2 Gegenüberstellung Normal-TRYs zu Zukunfts-Normal-TRYs

Nach der gleichen Methodik wie im vorigen Abschnitt für die Extrem-TRYs erfolgt in diesem Abschnitt die Gegenüberstellung der Normal-TRYs zu den Zukunfts-Normal-TRYs für den Basisfall Nichtwohnnutzung. Im Wesentlichen kann aus der Darstellung in Tabelle 5-5 ent-

nommen werden, mit welcher thermischen Beanspruchung unter zukünftigen mittleren Klimaverhältnissen (Periode 2020 bis 2050) zu rechnen ist, wenn eine Ausführung des Sonnenschutzes erfolgt, wie nach DIN 4108-2 gefordert. Darüber hinaus können Tabelle 5-5 die $F_{C, z_{nrm}}$ bezeichneten F_C -Werte entnommen werden, die auch für den Ansatz der Zukunfts-Normal-TRYs eine Einhaltung eines G_{h_x} -Wertes von 500 Kh/a gewährleisten. Da die hier ausgewerteten Zukunfts-Normal-TRYs bereits ab dem Jahr 2020 mittlere klimatische Verhältnisse beschreiben, sollte dieser Auswertung bereits jetzt für die Planung und Dimensionierung des Sonnenschutzes für neu zu errichtenden Gebäuden aber auch im Fall von Fassadensanierungen bestehender Gebäude besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Tabelle 5-5: Normal-TRYs im Vergleich zu Zukunfts-Normal-TRYs

TRY-Region		Sommer-Klimaregion	Normal-TRY		Zukunfts-Normal-TRY			
			$F_{C, nrm}$	$G_{h_x, nrm}$	$G_{h_x, z_{nrm}}$ bei $F_{C, nrm}$	f_{nrm}	$F_{C, z_{nrm}}$ für $G_{h_x} = 500 \text{ Kh/a}$	ΔF_C
			[-]	[Kh/a]	[Kh/a]	[-]	[-]	[-]
1	Bremerhaven	A	0,85	500	1458	2,9	0,40	0,45
2	Rostock	A	0,61	500	842	1,7	0,44	0,17
3	Hamburg	B	0,64	500	1397	2,8	0,26	0,38
4	Potsdam	B	0,58	500	877	1,8	0,41	0,17
5	Essen	B	0,78	500	946	1,9	0,54	0,24
6	Marienberg	A	0,85	500	981	2,0	0,59	0,26
7	Kassel	B	0,81	500	1047	2,1	0,53	0,28
8	Braunlage	A	1,00	471	1275	2,7	0,63	0,37
9	Chemnitz	B	0,66	500	1359	2,7	0,28	0,38
10	Hof	A	0,65	500	770	1,5	0,51	0,14
11	Fichtelberg	A	1,00	108	609	5,6	0,92	0,08
12	Mannheim	C	0,46	500	1214	2,4	0,20	0,26
13	Mühdorf	B	0,64	500	1030	2,1	0,42	0,22
14	Stötten	A	0,65	500	856	1,7	0,47	0,18
15	Garmisch	A	0,69	500	960	1,9	0,49	0,20
Auswertungen nach Klimaregionen			$F_{C, nrm}$			f_{nrm}	$F_{C, z_{nrm}}$	ΔF_C
			[-]			[-]	[-]	[-]
alle TRY-Regionen	Ø		0,72			2,4	0,47	0,25
	min		0,46			1,5	0,20	0,08
	max		1,00			5,6	0,92	0,45
TRY-Regionen in Klimaregion A	Ø		0,79			2,5	0,56	0,23
	min		0,61			1,5	0,40	0,08
	max		1,00			5,6	0,92	0,45
TRY-Regionen in Klimaregion B	Ø		0,69			2,2	0,41	0,28
	min		0,58			1,8	0,26	0,17
	max		0,81			2,8	0,54	0,38
TRY-Region 12 - Klimaregion C			0,46			2,4	0,20	0,26

Die Auswertungen in Tabelle 5-5 enthalten wie bereits die Auswertungen zur Gegenüberstellung der Normal-TRYs zu den Extrem-TRYs die Angabe zu dem für jede TRY-Region erforderlichen $F_{C, nrm}$ -Wert, um für die Normal-TRYs 500 Kh/a nicht zu überschreiten. Mit Ausnahme der TRY-Region 12 ($F_{C, nrm} = 0,46$) kann eine Einhaltung dieses Anforderungswertes ohne Weiteres durch einen innen liegenden Sonnenschutz erreicht werden, selbst ein F_C -Wert von 0,46 ist im Fall der besten marktverfügbaren Systeme noch durch ein innen liegendes System möglich. Die Auswertungen unter Ansatz der Zukunfts-Normal-TRYs zeigen, dass für etwa die Hälfte der TRY-Regionen und den hier betrachteten Basisfall zur Einhaltung von $G_{h_x} = 500 \text{ Kh/a}$ ein außen liegender Sonnenschutz erforderlich ist, während unter Ansatz derzeitiger mittlerer Klimaverhältnisse ein innenliegendes System ausreichend ist.

Die Auswertungen des folgenden Abschnittes zeigen die Ergebnisse der Berechnungen unter Ansatz der Zukunfts-Extrem-TRYs im Vergleich zu den Normal-TRYs.

5.2.3 Gegenüberstellung Normal-TRYs zu Zukunfts-Extrem-TRYs

Nachdem in den Abschnitten 5.2.1 und 5.2.2 die Extrem-TRYs und die Zukunfts-Normal-TRYs den Normal-TRYs gegenübergestellt wurden, folgt in diesem Abschnitt die entsprechende Auswertung der Berechnungen für den Ansatz der Zukunfts-Extrem-TRYs.

Tabelle 5-6: Normal-TRYs im Vergleich zu Zukunfts-Extrem-TRYs Sommer

TRY-Region	Sommer-Klimaregion	Normal-TRY		Zukunfts-Extrem-TRY			
		$F_{C, nm}$ [-]	$Gh_{x, nm}$ [Kh/a]	$Gh_{x, z, som}$ bei $F_{C, nm}$ [Kh/a]	f_{nrm} [-]	$F_{C, z, som}$ für $Gh_x = 500$ Kh/a [-]	ΔF_C [-]
1 Bremerhaven	A	0,85	500	2140	4,3	0,19	0,66
2 Rostock	A	0,61	500	1645	3,3	0,19	0,42
3 Hamburg	B	0,64	500	2449	4,9	0,11	0,53
4 Potsdam	B	0,58	500	1842	3,7	0,02	0,56
5 Essen	B	0,78	500	2104	4,2	0,19	0,59
6 Marienberg	A	0,85	500	2032	4,1	0,36	0,49
7 Kassel	B	0,81	500	1859	3,7	0,26	0,55
8 Braunlage	A	1,00	471	1645	3,5	0,49	0,52
9 Chemnitz	B	0,66	500	1983	4,0	0,05	0,61
10 Hof	A	0,65	500	1374	2,7	0,33	0,32
11 Fichtelberg	A	1,00	108	792	7,3	0,80	0,20
12 Mannheim	C	0,46	500	2087	4,2	0,05	0,41
13 Mühlendorf	B	0,64	500	1773	3,5	0,23	0,41
14 Stötten	A	0,65	500	1774	3,5	0,18	0,47
15 Garmisch	A	0,69	500	1943	3,9	0,29	0,40
Auswertungen nach Klimaregionen		$F_{C, nm}$ [-]			f_{nrm} [-]	$F_{C, z, som}$ [-]	ΔF_C [-]
alle TRY-Regionen	Ø	0,72			4,1	0,25	0,48
	min	0,46			2,7	0,02	0,20
	max	1,00			7,3	0,80	0,66
TRY-Regionen in Klimaregion A	Ø	0,79			4,1	0,35	0,43
	min	0,61			2,7	0,18	0,20
	max	1,00			7,3	0,80	0,66
TRY-Regionen in Klimaregion B	Ø	0,69			4,0	0,14	0,54
	min	0,58			3,5	0,02	0,41
	max	0,81			4,9	0,26	0,61
TRY-Region 12 - Klimaregion C		0,46			4,2	0,05	0,41

Da die in Tabelle 5-6 enthaltenen Auswertungen zeigen, dass lediglich in den Höhenlagen Braunlage und Fichtelberg für den hier betrachteten Basisfall die Einhaltung eines Gh_x -Wertes in Höhe von 500 Kh/a durch einen innen liegenden Sonnenschutz möglich ist. Da ein wie hier zugrunde gelegter Ansatz zukünftiger extremer klimatischer Randbedingungen hinsichtlich der Auslegung des Sonnenschutzes für aktuelle Bauvorhaben von untergeordneter Bedeutung sein dürfte, wird an dieser Stelle auf eine ausführliche textliche Erläuterung dieser Ergebnisse verzichtet.

5.2.4 Zusammenfassung Auswertungen aus Abschnitt 5.2.1 bis 5.2.3

Aus den Berechnungen zum betrachteten Basisfall können folgende Bewertungen abgeleitet werden:

- Durch den Ansatz von **Extrem-TRYs gegenüber Normal TRYs** ergibt sich im Mittel über alle 15 TRY-Regionen eine Erhöhung des Übertemperaturgradstundenwertes um den **Faktor 3,3** (Minimum 1,5; Maximum 7,5) wenn der Sonnenschutz zum Einsatz kommt, der zur Einhaltung der normativen Mindestanforderung nach DIN 4108-2 erforderlich ist. Durch eine Verbesserung des normativ erforderlichen F_C -Wertes um im Mittel $\Delta F_C = 0,42$ (Minimum 0,13; Maximum 0,61) kann auch bei Ansatz der Extrem-TRYs eine Einhaltung des Übertemperaturgradstundenwertes von

500 Kh/a sichergestellt werden. Im Fall der TRY-Regionen 4 (Potsdam) und 12 (Mannheim) kann unter Ansatz der hier gewählten Berechnungsrandbedingungen ein Übertemperaturgradstundenwert von 500 Kh/a nicht gewährleistet werden, da in beiden Fällen F_c -Werte kleiner 0,10 erforderlich wären. Sonnenschutzsysteme mit derart niedrigen F_c -Werten sind nicht verfügbar.

- Durch den Ansatz von **Zukunfts-Normal-TRYs gegenüber Normal TRYs** ergibt sich im Mittel eine Erhöhung des Übertemperaturgradstundenwertes um den **Faktor 2,4** (Minimum 1,5; Maximum 5,6) wenn der Sonnenschutz zum Einsatz kommt, der zur Einhaltung der normativen Mindestanforderung nach DIN 4108-2 erforderlich ist. Durch eine Verbesserung des normativ erforderlichen F_c -Wertes um im Mittel $\Delta F_c = 0,25$ (Minimum 0,08; Maximum 0,45) kann auch bei Ansatz der Zukunfts-TRYs eine Einhaltung des Übertemperaturgradstundenwertes von 500 Kh/a sichergestellt werden. Der niedrigste F_c -Wert zur Einhaltung eines Übertemperaturgradstundenwertes von 500 Kh/a wird für die TRY-Region 12 mit $F_c = 0,2$ ermittelt. Für etwa die Hälfte der TRY-Regionen ergeben die Berechnungen, dass zur Einhaltung von $G_{h_x} = 500$ Kh/a ein außen liegender Sonnenschutz erforderlich ist. Die übrigen TRY-Regionen kommen für den hier betrachteten Fall eines 50%igen fassadenbezogenen Fensterflächenanteils (grundflächenbezogener Fensterflächenanteil 26 %) sowie unter der Annahme einer erhöhten Nachtlüftung auch noch mit einem innen liegenden System aus.
- Durch den Ansatz von **Zukunfts-Extrem-TRYs gegenüber Normal TRYs** ergibt sich im Mittel eine Erhöhung des Übertemperaturgradstundenwertes um den **Faktor 4,1** (Minimum 2,7; Maximum 7,3) wenn der Sonnenschutz zum Einsatz kommt, der zur Einhaltung der normativen Mindestanforderung nach DIN 4108-2 erforderlich ist. Durch eine Verbesserung des normativ erforderlichen F_c -Wertes um im Mittel $\Delta F_c = 0,48$ (Minimum 0,20; Maximum 0,66) kann auch bei Ansatz der Zukunfts-Extrem-TRYs eine Einhaltung des Übertemperaturgradstundenwertes von 500 Kh/a sichergestellt werden. In einigen Fällen wäre eine solche Ausführung nicht möglich, da sich erforderliche F_c -Werte kleiner 0,1 ergeben.

Grundsätzlich zeigen die bereits dokumentierten Berechnungen, dass sich selbst unter Ansatz der Normal-TRYs das thermische Verhalten innerhalb der 15 TRY-Regionen sehr unterschiedlich darstellt. Dies spricht dafür, im Rahmen der künftigen Arbeiten zur Fortschreibung der DIN 4108-2 für den Fall der Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz durch Simulationsrechnung die Vorgabe definierter TRY-Datensätze für die Klimaregionen A, B und C wie in der aktuellen Fassung DIN 4108-2 zu überdenken. Die aktuellen Vorgaben der DIN 4108-2 führen aufgrund dieser Festlegung für alle TRY-Regionen, die innerhalb einer Klimaregion liegen zum gleichen erforderlichen F_c -Wert, was in der Konsequenz aber zu teilweise deutlich unterschiedlichen thermischen Beanspruchungen führt. Die Kalibrierung des vereinfachten Verfahrens anhand definierter und für die drei Sommer-Klimaregionen A, B und C jeweils „auf der sicheren Seite liegenden“ Klimadatensätze soll hier nicht infrage gestellt werden, wenngleich es ebenso denkbar wäre, für jede der 15 TRY-Regionen eine eigene Tabelle mit anteiligen Sonneneintragskennwerte zur Verfügung zu stellen.

Nachdem die bisherigen Berechnungen zu dem definierten Basisfall lediglich Aussagen für die Situation eines 50%-igen fassadenbezogenen Fensterflächenanteils bei gleichzeitiger Annahmen eines erhöhten Nachtluftwechsel zulassen, wird die Auswertung im folgenden Abschnitt 5.3 ausgeweitet auf die Betrachtung von fassadenbezogenen Fensterflächenanteilen von 30, 70 und 100 Prozent sowie jeweils für die Fälle ohne Nachtlüftung und hohe Nachtlüftung.

Abschnitt 5.4 stellt schließlich für ausgewählte Fälle das Potenzial einzelner Maßnahmen (Variation g-Wert, Reduzierung Grenzbestrahlungsstärke, Ansatz reduzierter interner Wärmeeinträge, Einfluss der Speichermasse) zur Reduzierung der thermischen Beanspruchung

dar. Die Auswahl der hierzu dokumentierten Fälle orientiert sich an solchen, für die eine Ausführung wie im Basisfall zugrunde gelegt, nicht möglich wäre.

5.3 Variation von Fensterflächenanteil und Nachtlüftung

Die in den Abschnitten 5.3.1 und 5.3.2 folgenden Auswertungen stellen getrennt für Wohnnutzung und Nichtwohnnutzung die zur Einhaltung der Übertemperaturgradstundenwerte von 1200 Kh/a (Wohnnutzung) bzw. 500 Kh/a (Nichtwohnnutzung) erforderlichen F_C -Werte für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30, 50, 70 und 100 Prozent jeweils für die Fälle „ohne Nachtlüftung“, „erhöhte Nachtlüftung“ und „hohe Nachtlüftung“ dar. Hierbei werden tabellarisch und grafisch wie bei den bisherigen Auswertungen Normal-TRYs, Extrem-TRYs, Zukunfts-Normal-TRYs und Zukunfts-Extrem-TRYs gegenübergestellt. Der Fokus der Betrachtung wird für die Auswertungen allerdings auf die Gegenüberstellung der Normal-TRYs zu den Zukunfts-Normal-TRYs gelegt. Die textliche Interpretation der Ergebnisse wird ebenfalls auf diese Fälle beschränkt.

Zur Darstellung der Ergebnisse in Bild 5-5 bis Bild 5-10 folgende Erläuterungen:

- im Fall der tabellarischen Darstellung werden folgende Zellformatierungen gewählt:
 - fette Schrift** Auswertung für die TRYs der Sommer-Klimaregionen A, B und C
 - 0,58 erforderlicher F_C -Wert
 - 0,04 nicht möglich, da erforderlicher F_C -Wert $\leq 0,10$
 - nicht möglich, da selbst bei $F_C = 0,00$ $G_{h_x} > 500$ bzw. 1200 Kh/a
- im Fall der grafischen Darstellung der Ergebnisse werden die erforderlichen F_C -Werte in vier Grafiken getrennt jeweils für die fassadenbezogenen Fensterflächenanteile 30, 50, 70 und 100 Prozent dargestellt
- zur Kennzeichnung der erforderlichen F_C -Werte werden für die grafischen Auswertungen folgende Symbole gewählt:
 - $F_{C, nrm}$ für $G_{h_x} = 500/1200$ Kh/a für Normal-TRYs
 - × $F_{C, som}$ für $G_{h_x} = 500/1200$ Kh/a für Extrem-TRYs
 - F_{C, z_nrm} für $G_{h_x} = 500/1200$ Kh/a für Zukunfts-Normal-TRYs
 - ⊕ F_{C, z_som} für $G_{h_x} = 500/1200$ Kh/a für Zukunfts-Extrem-TRYs
- Als Diagrammtitel enthalten die grafischen Auswertungen folgende Kurzbezeichnungen:
 - Wo100 Wohnnutzung mit $q_i = 100$ Wh/(m²d)
 - NW144 Nichtwohnnutzung mit $q_i = 144$ Wh/(m²d)
 - NL0 ohne Nachtlüftung (nur Grundluftwechsel)
 - NL2 erhöhte Nachtlüftung ($n = 5$ h⁻¹)
 - NL5 hohe Nachtlüftung ($n = 5$ h⁻¹)
 - fW030 fassadenbezogener Fensterflächenanteil 30 %
 - fW050 fassadenbezogener Fensterflächenanteil 50 %
 - fW070 fassadenbezogener Fensterflächenanteil 70 %
 - fW100 fassadenbezogener Fensterflächenanteil 100 %
- Über jedem $F_{C, nrm}$ -Wert sind in der grafischen Darstellung der Ergebnisse in schwarzer Schrift auf grauem Hintergrund die Nummern der TRY-Region und jeweils die Zuweisung der Sommer-Klimaregion angegeben. Die Kennzeichnung der für die Sommer-Klimaregionen festgelegten TRY-Regionen 2 (für Klimaregion A), 4 (für Klimaregion B) und 12 (für Klimaregion C) erfolgt hierbei durch schwarzen Text auf orange gefärbtem Hintergrund.
- Für die grafische Darstellung der nicht ausführbaren Fälle, für die selbst bei einem F_C -Wert von 0,00 noch G_{h_x} -Werte ≥ 500 bzw. 1200 Kh/a berechnet werden (entspricht den dunkelgrau markierten Zellen in der tabellarischen Auswertung), wird

eine Skalierung der Ordinate im Bereich von **- 0,10 bis 1,00** gewählt. Diesen Fällen wird in den Diagrammen schließlich ein Ordinatenwert von **- 0,05** zugewiesen!

- Für den Einsatz innen liegender Sonnenschutzvorrichtungen wird davon ausgegangen, dass dies bis zu einem F_C -Wert $\geq 0,45$ möglich ist. Kleinere F_C -Werte können nur noch durch außen liegende Systeme gewährleistet werden.

5.3.1 Betrachtung Wohnnutzung

Die in Bild 5-5 folgende Betrachtung zum Anwendungsfall Wohnnutzung ohne Nachtlüftung stellt einen Sonderfall dar, da nachweistechnisch nach DIN 4108-2 im Allgemeinen bei Wohnnutzung von der Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung ausgegangen werden kann. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass die erhöhte Nachtlüftung in den meisten Fällen für den Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz angesetzt wird. Dennoch ergibt sich insbesondere im Zusammenhang mit einer umfassenden Beratung, z. B. für ein Bauvorhaben an einer auch nachts stark befahrenen Straße die Notwendigkeit, sich auch mit dem Fall ohne Nachtlüftung bei Wohnnutzung auseinander zu setzen. Insofern haben die Auswertungen in Bild 5-5 eher informativen als normativ relevanten Charakter.

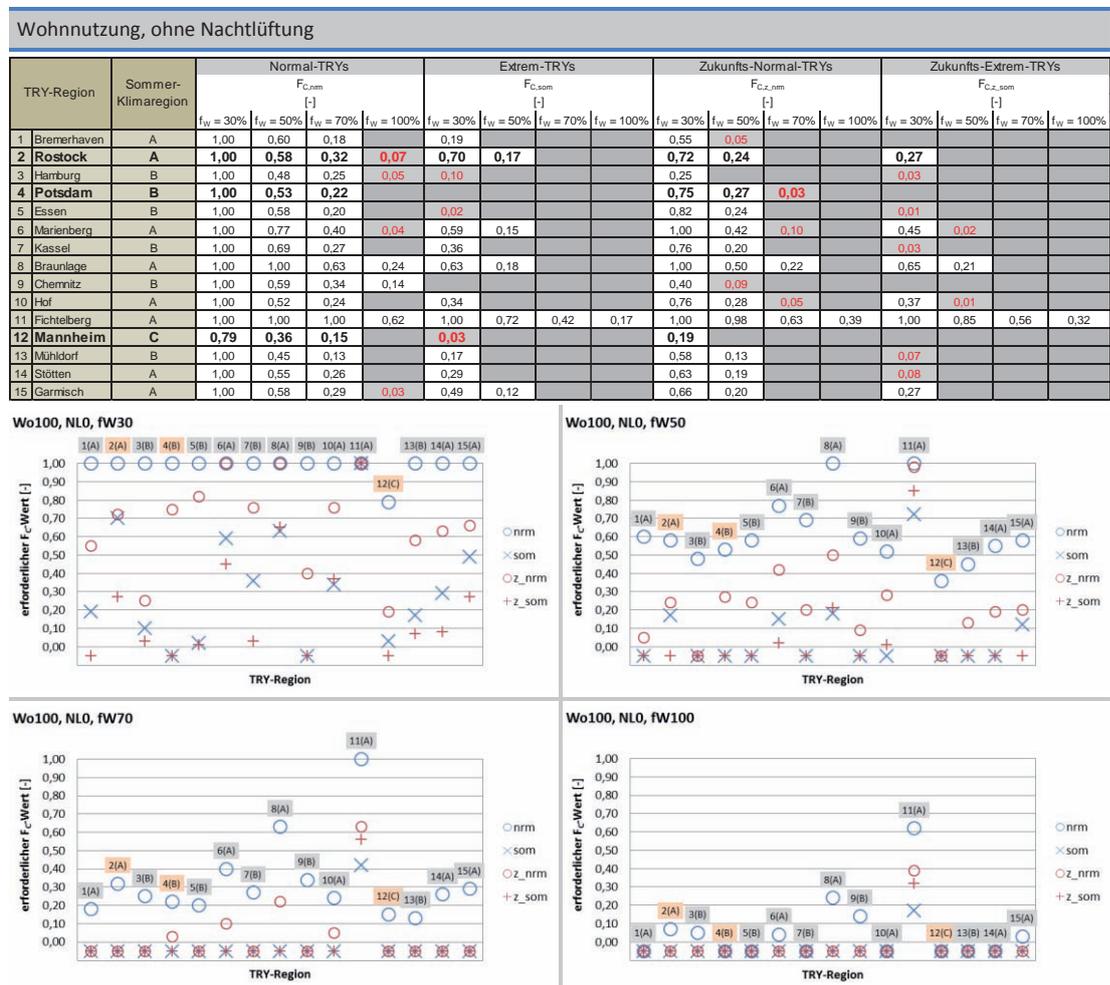


Bild 5-5: Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung von $G_{h,x} = 1200 \text{ Kh/a}$ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 und 100 Prozent für Wohnnutzung ohne Nachtlüftung

Die Auswertungen in Bild 5-5 zeigen erwartungsgemäß eine deutliche Abhängigkeit der Ergebnisse vom zugrunde gelegten Fensterflächenanteil. Während für die Normal-TRYs bei einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent bis auf die TRY-Region 12 ($F_{C,nrm} = 0,79$) noch gänzlich auf einen Sonnenschutz verzichtet werden kann ($F_C = 1,00$) wird bereits für einen Fensterflächenanteil von 70 Prozent in sämtlichen TRY-Regionen mit Ausnahme der Höhelagen (TRY Regionen 8 und 11) ein außen liegender Sonnenschutz erforderlich. Die

Betrachtung der Zukunfts-Normal-TRYs zeigt, dass bereits für den Fensterflächenanteil von 30 Prozent in den TRY-Regionen 3 (Hamburg), 9 (Chemnitz) und 12 (Mannheim) nur noch ein außen liegender Sonnenschutz die Einhaltung eines Übertemperaturgradstundenwertes von 1200 Kh/a sicherstellen kann. In den TRY-Regionen 6, 8 und 11 kann bei Ansatz der Zukunfts-Normal-TRYs nach wie vor auf einen Sonnenschutz verzichtet werden, alle übrigen Regionen kommen mit einem innen liegenden System aus. Bereits ab einem Fensterflächenanteil von 50 Prozent ist eine Einhaltung des G_{h_x} -Wertes von 1200 Kh/a nicht mehr in allen Fällen und bei einem Fensterflächenanteil von 70 Prozent nur noch in Einzelfällen möglich.

In Bild 5-6 folgt die Auswertung zum Standardfall der Wohnnutzung mit dem Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung. Der Ansatz der erhöhten Nachtlüftung bedeutet, dass rechnerisch der sonst übliche Grundluftwechsel von $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ auf $n = 2 \text{ h}^{-1}$ erhöht wird, wenn die Innenlufttemperatur über der Außenlufttemperatur liegt. Praktisch stellen sich Luftwechsel in dieser Größenordnung ein, wenn einseitige Fensterlüftung bei gekippter Fensterstellung erfolgt. Dieser Luftwechsel wird solange angesetzt, wie die Innenlufttemperatur über der Raum-Solltemperatur für Heizzwecke (bei Wohnnutzung 20°C , bei Nichtwohnnutzung 21°C) liegt. Die Gegenüberstellung dieser Auswertungen zur vorigen Auswertung in Bild 5-5 zum Fall ohne Nachtlüftung unterstreicht die Bedeutung einer erhöhten Nachtlüftung hinsichtlich Reduzierung der thermischen Beanspruchung.

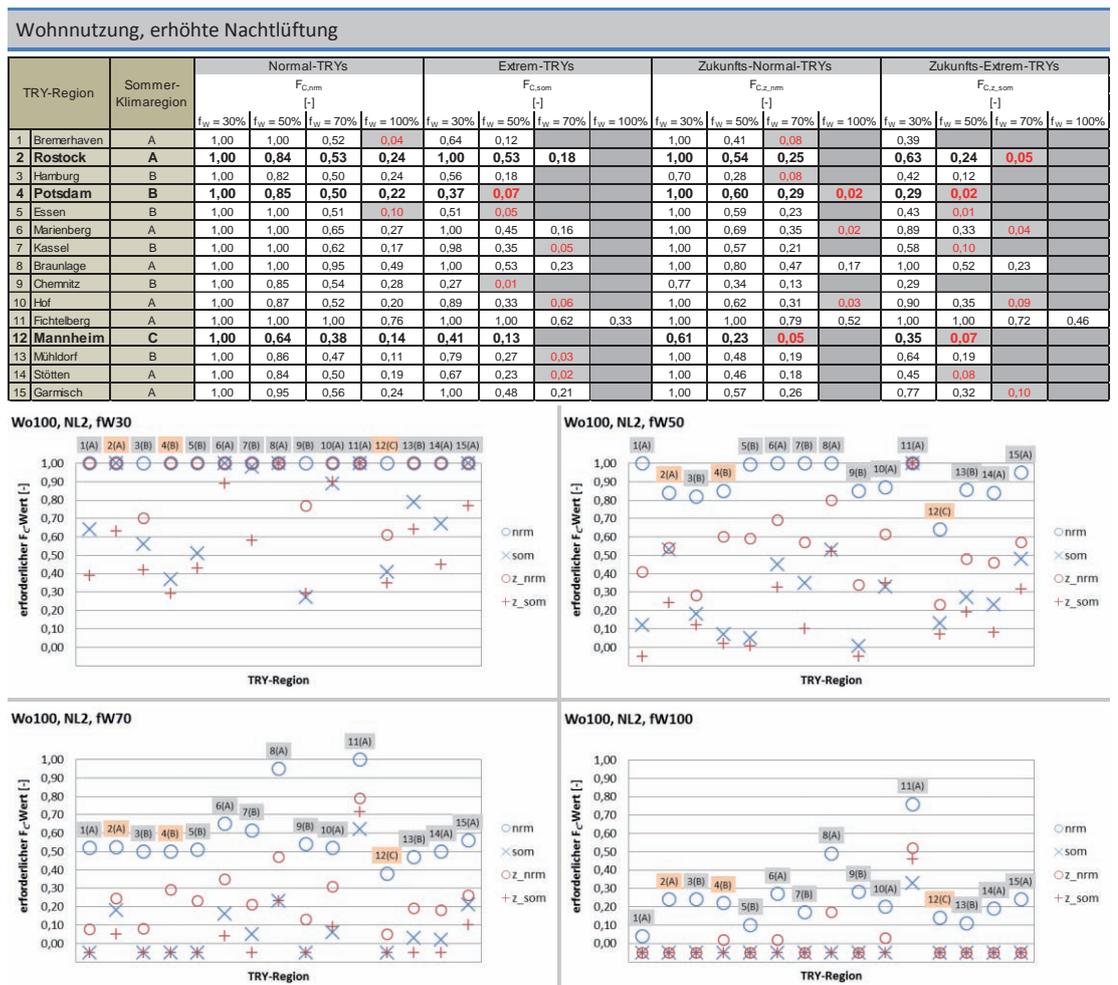


Bild 5-6: Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung von $G_{h_x} = 1200 \text{ Kh/a}$ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 und 100 Prozent für Wohnnutzung bei erhöhter Nachtlüftung

Wird wie in Bild 5-6 eine erhöhte Nachtlüftung angenommen, so ergibt sich selbst unter Ansatz der Zukunfts-Normal-TRYs bei einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent lediglich in den TRY-Regionen 3, 9 und 12 die Notwendigkeit, einen innen liegenden Sonnenschutz

vorzusehen. Selbst für die Betrachtung eines 50%igen Fensterflächenanteils kann ein innen liegender Sonnenschutz mit Ausnahme der TRY-Regionen 1, 3, 9 und 12 die Einhaltung von $G_{h_x} = 1200 \text{ Kh/a}$ sicherstellen. Erst im Fall des 70%igen Fensterflächenanteils wird mit Ausnahme der Höhenlagen (TRY-Regionen 8 und 11) in allen Fällen ein außen liegender Sonnenschutz erforderlich. Für die die Regionen 1, 3 und 12 ist hier bereits eine Ausführung, durch die $G_{h_x} = 1200 \text{ Kh/a}$ eingehalten werden kann, nicht mehr möglich.

Die in Bild 5-7 folgende Auswertung stellt die Ergebnisse zur Betrachtung „hohe Nachtlüftung“ bei Wohnnutzung dar. Der Ansatz der hohen Nachtlüftung bedeutet, dass rechnerisch der sonst übliche Grundluftwechsel von $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ auf $n = 5 \text{ h}^{-1}$ erhöht wird, wenn die Innenlufttemperatur über der Außenlufttemperatur liegt. In Einzelfällen lassen sich derartige Luftwechselraten sicher auch durch intensive Querlüftung erreichen, DIN 4108-2 setzt für den Ansatz der hohen Nachtlüftung allerdings voraus, dass die Möglichkeit besteht, geschossübergreifende Lüftung unter Ausnutzung des thermischen Auftriebs zu betreiben. Dies erfordert in aller Regel bereits in der Entwurfsphase eines Gebäudes einen erhöhten Planungsaufwand und stellt sicherlich für Wohnnutzung ebenso einen Sonderfall dar, wie die Betrachtung der Fälle „ohne Nachtlüftung“.

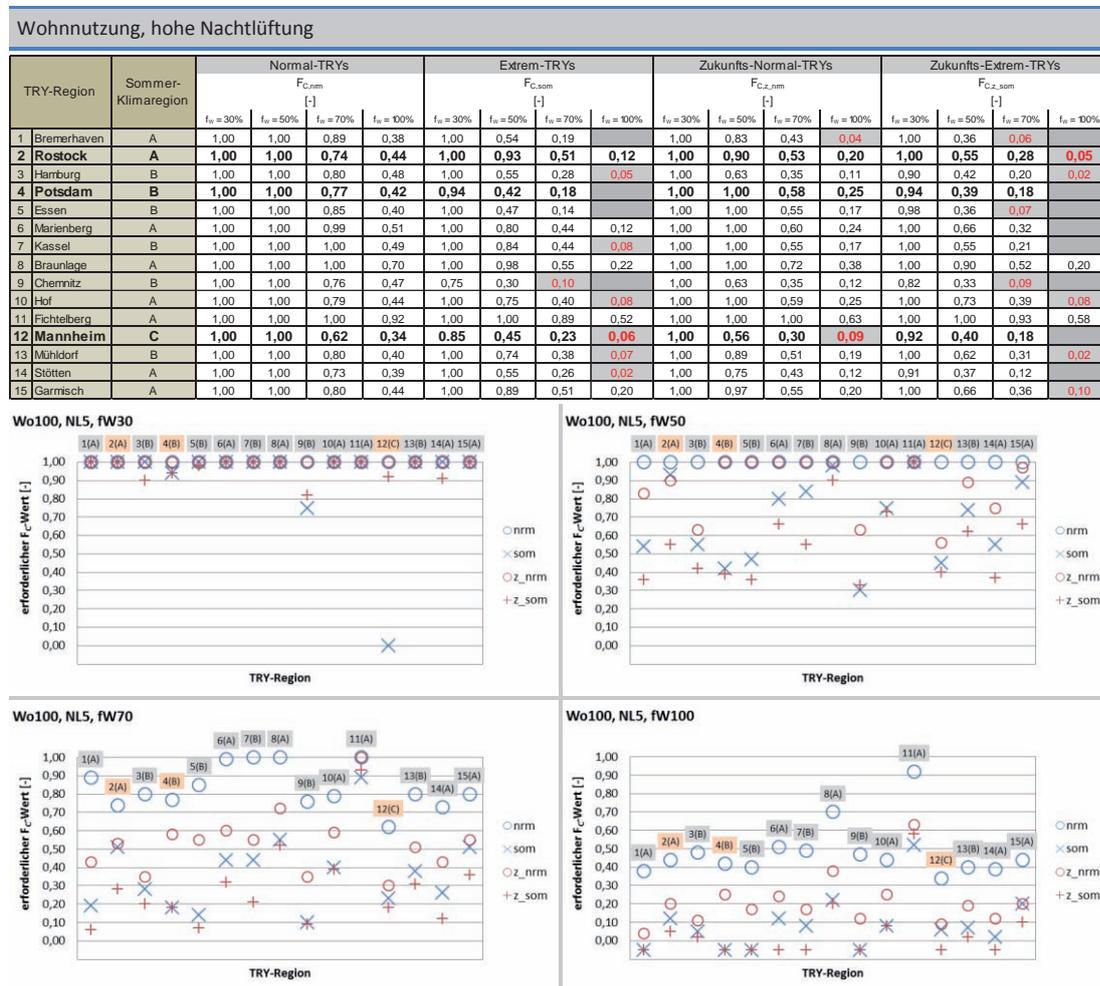


Bild 5-7: Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung von $G_{h_x} = 1200 \text{ Kh/a}$ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 und 100 Prozent für Wohnnutzung bei hoher Nachtlüftung

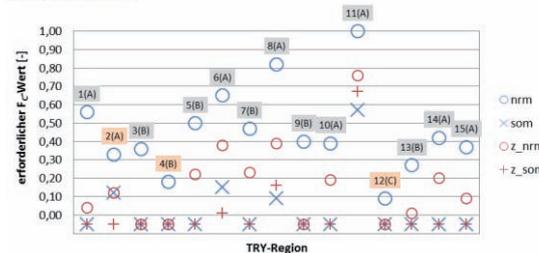
Die Auswertungen in Bild 5-7 zeigen, dass sich im Vergleich zum Ansatz der erhöhten Nachtlüftung durch die hohe Nachtlüftung die Situation noch einmal merklich verbessern lässt. Während bei erhöhter Nachtlüftung in einigen der TRY-Regionen für den Ansatz der Zukunfts-Normal-TRYs bei einem 70%igen Fensterflächenanteil eine Einhaltung von $G_{h_x} = 1200 \text{ Kh/a}$ nicht mehr möglich ist, kann dies bei hoher Nachtlüftung ohne weiteres gewährleistet werden.

5.3.2 Betrachtung Nichtwohnnutzung

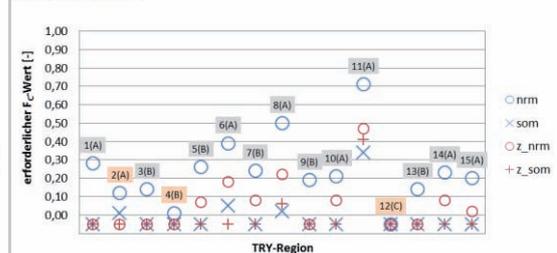
Während die Betrachtung der Situation „ohne Nachtlüftung“ für die Wohnnutzung einen Sonderfall darstellt, ist dies im Fall der Nichtwohnnutzung keineswegs der Fall. Oftmals ist hier eine nächtliche Fensterlüftung z.B. aus versicherungstechnischen Gründen nicht möglich oder aus anderen Gründen praktisch nicht realisierbar, sodass die in Bild 5-8 enthaltenen Auswertungen insbesondere im Vergleich zur bislang nach EnEV 2009 anzuwendenden DIN 4108-2:2003-07 von besonderer Bedeutung sind. Nachweistechisch war bislang die Anwendung des sogenannten Sonneneintragskennwerte-Verfahrens für den sommerlichen Mindestwärmeschutz die Regel. Dieses vereinfachte Verfahren für den Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2:2003-07 bewertet jedoch einerseits Situationen ohne Nachtlüftung und andererseits fassadenbezogene Fensterflächenanteile ab etwa 50 Prozent gegenüber korrespondierenden Simulationsrechnungen „auf der unsicheren Seite liegend“ [2], sodass über dieses vereinfachte Verfahren Situationen als „baubar“ eingestuft werden, für welche die genaueren Simulationsrechnungen eine Baubarkeit bereits ausschließen. Im Rahmen der Überarbeitung der DIN 4108-2 wurden diese Fehlbewertungen korrigiert, sodass auch das vereinfachte Verfahren für die Klimaregionen A, B und C gleiche erforderliche F_C -Werte ausweist, wie in Bild 5-8 für die TRY-Regionen 2, 4 und 12 als Ergebnisse der Simulationsrechnungen dargestellt. Was sich demnach bezogen auf die Anwendung des vereinfachten Verfahrens nach DIN 4108-2:2003-07 in der neuen DIN 4108-2 augenscheinlich als Verschärfung der Anforderungen darstellt, ist tatsächlich eine Korrektur dieses Nachweisverfahrens.

Nichtwohnnutzung, ohne Nachtlüftung																			
TRY-Region	Sommer-Klimaregion	Normal-TRYs				Extrem-TRYs				Zukunfts-Normal-TRYs				Zukunfts-Extrem-TRYs					
		$F_{C, \text{norm}} [-]$				$F_{C, \text{som}} [-]$				$F_{C, z, \text{norm}} [-]$				$F_{C, z, \text{som}} [-]$					
		$f_{W=30\%}$	$f_{W=50\%}$	$f_{W=70\%}$	$f_{W=100\%}$	$f_{W=30\%}$	$f_{W=50\%}$	$f_{W=70\%}$	$f_{W=100\%}$	$f_{W=30\%}$	$f_{W=50\%}$	$f_{W=70\%}$	$f_{W=100\%}$	$f_{W=30\%}$	$f_{W=50\%}$	$f_{W=70\%}$	$f_{W=100\%}$		
1	Bremerhaven	A	0,56	0,28	0,15	0,03													
2	Rostock	A	0,33	0,12	0,03		0,12	0,01					0,12						
3	Hamburg	B	0,36	0,14	0,03														
4	Potsdam	B	0,18	0,01															
5	Essen	B	0,50	0,26	0,16	0,06							0,22	0,07					
6	Marienberg	A	0,65	0,39	0,25	0,15	0,15	0,05	0,01				0,38	0,18	0,09	0,02	0,01		
7	Kassel	B	0,47	0,24	0,14	0,05							0,23	0,08	0,02				
8	Braunlage	A	0,82	0,50	0,32	0,20	0,09	0,02					0,39	0,22	0,14	0,07	0,16	0,06	0,01
9	Chemnitz	B	0,40	0,19	0,08	0,01													
10	Hof	A	0,39	0,21	0,14	0,07							0,19	0,08	0,03				
11	Fichtelberg	A	1,00	0,71	0,53	0,35	0,57	0,34	0,23	0,16	0,76	0,47	0,31	0,21	0,67	0,41	0,26	0,16	
12	Mannheim	C	0,09																
13	Mühdorf	B	0,27	0,14	0,07	0,02							0,01						
14	Slötten	A	0,42	0,23	0,16	0,08							0,20	0,08	0,02				
15	Garmisch	A	0,37	0,20	0,12	0,05							0,09	0,02					

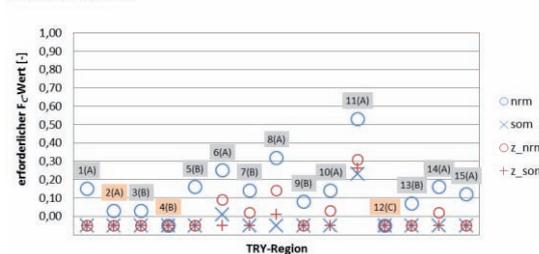
NW144, NLO, fw30



NW144, NLO, fw50



NW144, NLO, fw70



NW144, NLO, fw100

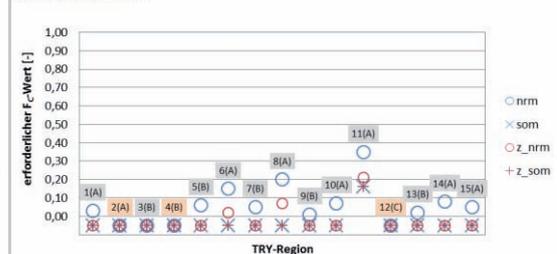


Bild 5-8: Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung von $G_{h,x} = 500 \text{ Kh/a}$ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 und 100 Prozent für Nichtwohnnutzung ohne Nachtlüftung

Der direkte Vergleich der für den Fall Nichtwohnnutzung ohne Nachtlüftung in Bild 5-8 dargestellten Auswertungen zur korrespondierenden Auswertung der Wohnnutzung in Bild 5-5 zeigt, dass für Nichtwohnnutzung durch DIN 4108-2 grundsätzlich höhere Anforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz gestellt werden als für Wohnnutzung. Während im Fall Wohnnutzung für die Normal-TRYs bei 70%igem Fensterflächenanteil noch für alle 15 TRY-Regionen die Einhaltung des normativen Anforderungswertes möglich ist, kann selbst ein 50%iger Fensterflächenanteil bei Nichtwohnnutzung in den TRY-Regionen 4 (repräsentativer TRY-Datensatz für Klimaregion B) und 12 (repräsentativer TRY-Datensatz für Klimaregion C) unter den hier angesetzten Randbedingungen nicht ausgeführt werden. Selbst ein 30%iger Fensterflächenanteil ist in Klimaregion C nicht möglich, während in Klimaregion A ein $F_{C,nrm}$ -Wert von 0,33 und in Klimaregion B ein $F_{C,nrm}$ -Wert von 0,18 erforderlich ist. Der Blick auf die Auswertungen unter Ansatz der Zukunfts-Normal-TRYs in Bild 5-8 zeigt, dass in sieben der 15 TRY-Regionen im Fall des 30%igen Fensterflächenanteils eine Einhaltung von 500 Kh/a nicht gewährleistet werden kann. Die Betrachtung der nach DIN 4108-2 nachweisthechnisch relevanten TRY-Regionen 2, 4 und 12 führt zu der Erkenntnis, dass nur noch in Klimaregion A (TRY-Region 2) bei $F_{C,z,nrm} = 0,12$ ein 30%iger Fensterflächenanteil möglich ist.

Aus der Betrachtung der in Bild 5-9 enthaltenen Auswertungen geht hervor, wie die thermische Beanspruchung durch die erhöhte Nachtlüftung gegenüber der Betrachtung ohne Nachtlüftung verbessert werden kann.

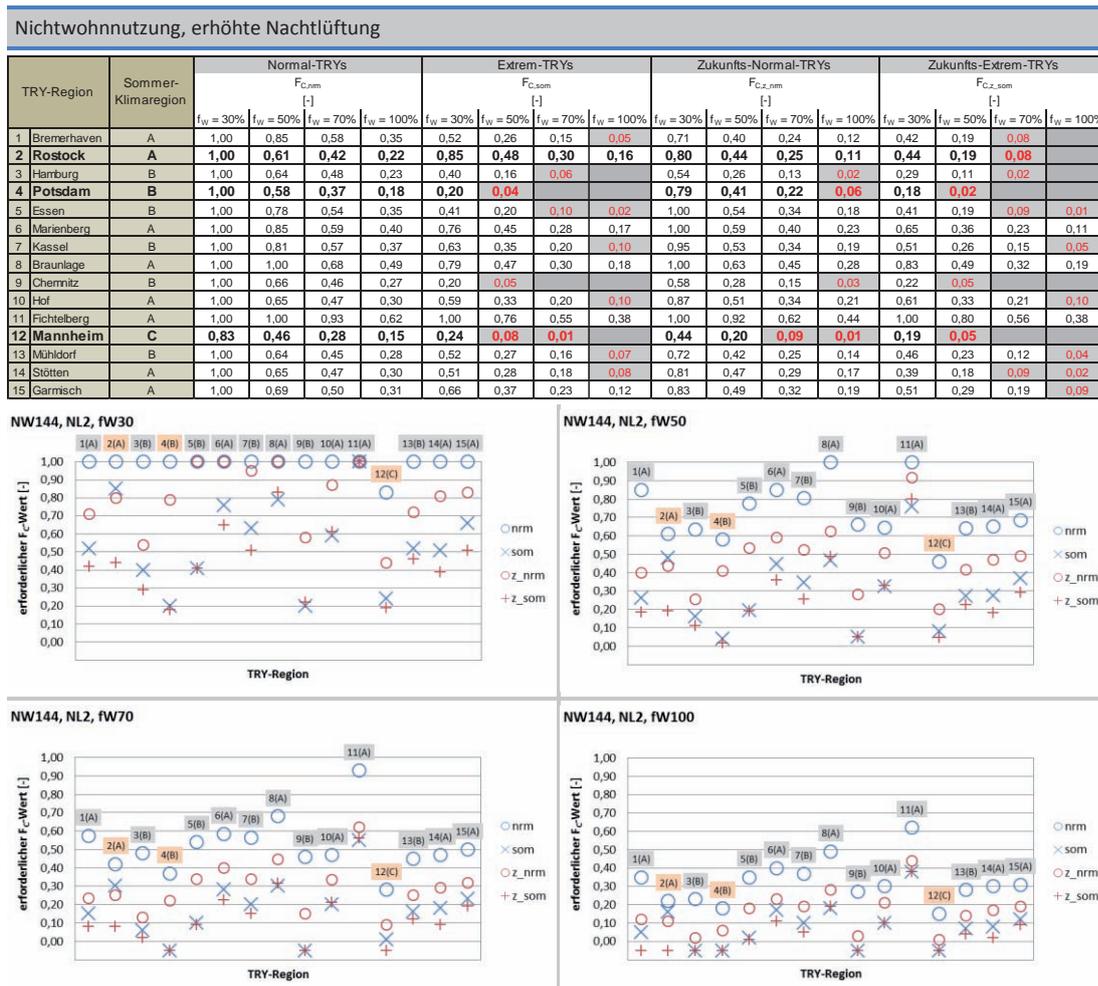


Bild 5-9: Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung von $G_{h_x} = 500 \text{ Kh/a}$ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 und 100 Prozent für Nichtwohnnutzung bei erhöhter Nachtlüftung

Während bei Ansatz der Normal-TRYs ohne Nachtlüftung bereits für einen 30%igen Fensterflächenanteil in TRY-Region 12 und für einen 50%igen Fensterflächenanteil in den TRY-Regionen 4 und 12 ein Übertemperaturgradstundenwert von 500 Kh/a nicht mehr eingehalten werden kann, so ergeben sich unter Ansatz der erhöhten Nachtlüftung sogar für einen 100%igen Fensterflächenanteil für sämtlichen TRY-Regionen realisierbare $F_{C, nrm}$ -Werte. Im Fall des 30%igen Fensterflächenanteils ist lediglich in TRY-Region 12 ein Sonnenschutz mit $F_{C, nrm}$ von 0,83 erforderlich, in allen übrigen TRY-Regionen wird kein Sonnenschutz benötigt. Demgegenüber zeigt der Blick auf die Auswertungen der Zukunft-Normal-TRYs bei diesem Fensterflächenanteil, dass in TRY-Region 12 bereits ein außen liegender Sonnenschutz erforderlich wird, um einen Gh_x -Wert von 500 Kh/a einzuhalten. Die Regionen 5, 6, 8 und 11 kommen nach wie vor ohne Sonnenschutz aus und in den übrigen Regionen reicht ein innen liegendes System. Für die Zukunfts-Normal-TRYs lässt sich mit Ausnahme der TRY-Region 12 in allen TRY-Regionen noch ein 70%iger Fensterflächenanteil realisieren, wobei dann mit Ausnahme der Höhenlagen ein außen liegender Sonnenschutz zum Einsatz kommen muss.

Grundsätzlich lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass sich bei erhöhter Nachtlüftung selbst unter Ansatz der Zukunfts-Normal-TRYs fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 70 Prozent noch ohne weiteres realisieren lassen, vorausgesetzt ein entsprechender Sonnenschutz wird vorgesehen.

Weiteres Potenzial zur Reduzierung der thermischen Beanspruchung und somit z. B. die Möglichkeit zu eröffnen, noch größere Fensterflächenanteile realisieren zu können oder auch den Spielraum der infrage kommenden Sonnenschutzvorrichtungen zu erhöhen, erfordert die Ausarbeitung von Lüftungskonzepten, durch welche der thermische Auftrieb zur Erhöhung der nächtlichen Luftwechselrate ausgenutzt wird. In aller Regel erfordern derartige Konzepte, dass die Fassaden über Öffnungsmöglichkeiten verfügen, durch welche die kalte Außenluft einströmen kann. Überströmöffnungen zu angrenzenden Atrien oder Fluren, die mit Atrien in Verbindung stehen, ermöglichen eine Durchströmung wobei die vom Gebäude tagsüber gespeicherte Wärme an die durchströmende Luft abgegeben werden kann und über die in den Atrien angeordneten RWA-Klappen an die Außenumgebung abgeführt wird. Hierdurch lassen sich im Fall gut funktionierender Konzepte noch deutlich höhere Luftwechselraten erzielen als der mit $n = 5 \text{ h}^{-1}$ für hohe Nachtlüftung nach DIN 4108-2 ansetzbare und für die Auswertungen in Bild 5-10 zugrunde gelegte Luftwechsel. Wird wie hier die hohe Nachtlüftung zugrunde gelegt, so ist auch für die Zukunfts-Normal-TRYs in allen TRY-Regionen bei Einsatz des entsprechenden Sonnenschutzes auch für einen 100%igen Fensterflächenanteil eine Einhaltung von 500 Kh/a möglich. Wie zuvor bereits erläutert, ist dieses Potenzial nur auszuschöpfen, wenn ein erhöhter Planungsaufwand betrieben wird.

Nichtwohnnutzung, hohe Nachtlüftung

TRY-Region	Sommer-Klimaregion	Normal-TRYs				Extrem-TRYs				Zukunfts-Normal-TRYs			Zukunfts-Extrem-TRYs					
		$F_{C,z,rm}$ [-]				$F_{C,z,som}$ [-]				$F_{C,z,nrm}$ [-]			$F_{C,z,som}$ [-]					
		$f_{w=30\%}$	$f_{w=50\%}$	$f_{w=70\%}$	$f_{w=100\%}$	$f_{w=30\%}$	$f_{w=50\%}$	$f_{w=70\%}$	$f_{w=100\%}$	$f_{w=30\%}$	$f_{w=50\%}$	$f_{w=70\%}$	$f_{w=30\%}$	$f_{w=50\%}$	$f_{w=70\%}$	$f_{w=100\%}$		
1	Bremerhaven	A	1,00	1,00	0,87	0,57	1,00	0,60	0,41	0,23	1,00	0,69	0,48	0,28	0,86	0,47	0,28	0,14
2	Rostock	A	1,00	0,98	0,63	0,43	1,00	0,79	0,55	0,34	1,00	0,75	0,52	0,30	0,94	0,50	0,30	0,15
3	Hamburg	B	1,00	1,00	0,67	0,46	0,97	0,51	0,31	0,15	1,00	0,57	0,37	0,19	0,72	0,38	0,21	0,08
4	Potsdam	B	1,00	0,94	0,61	0,38	0,72	0,37	0,20	0,07	1,00	0,76	0,51	0,27	0,73	0,36	0,18	0,04
5	Essen	B	1,00	1,00	0,75	0,52	0,84	0,49	0,32	0,17	1,00	0,88	0,59	0,38	0,78	0,43	0,26	0,13
6	Marienberg	A	1,00	1,00	0,79	0,54	1,00	0,71	0,50	0,32	1,00	0,87	0,60	0,39	1,00	0,63	0,44	0,26
7	Kassel	B	1,00	1,00	0,81	0,55	1,00	0,68	0,48	0,28	1,00	0,85	0,58	0,38	1,00	0,59	0,40	0,22
8	Braunlage	A	1,00	1,00	0,87	0,59	1,00	0,73	0,52	0,34	1,00	0,93	0,63	0,44	1,00	0,74	0,52	0,34
9	Chemnitz	B	1,00	1,00	0,66	0,45	0,62	0,31	0,17	0,06	1,00	0,53	0,33	0,16	0,66	0,33	0,17	0,04
10	Hof	A	1,00	0,95	0,64	0,46	1,00	0,61	0,43	0,26	1,00	0,76	0,53	0,34	1,00	0,60	0,41	0,24
11	Fichtelberg	A	1,00	1,00	1,00	0,73	1,00	1,00	0,76	0,54	1,00	1,00	0,79	0,56	1,00	1,00	0,73	0,52
12	Mannheim	C	1,00	0,80	0,54	0,33	0,75	0,40	0,24	0,11	0,97	0,52	0,33	0,18	0,69	0,36	0,21	0,08
13	Mühdorf	B	1,00	1,00	0,70	0,49	1,00	0,65	0,44	0,27	1,00	0,72	0,51	0,31	1,00	0,58	0,38	0,22
14	Stötten	A	1,00	0,99	0,66	0,47	0,95	0,54	0,37	0,22	1,00	0,70	0,44	0,30	0,75	0,42	0,25	0,14
15	Garmisch	A	1,00	0,96	0,65	0,45	1,00	0,66	0,45	0,27	1,00	0,72	0,51	0,31	0,98	0,56	0,37	0,23

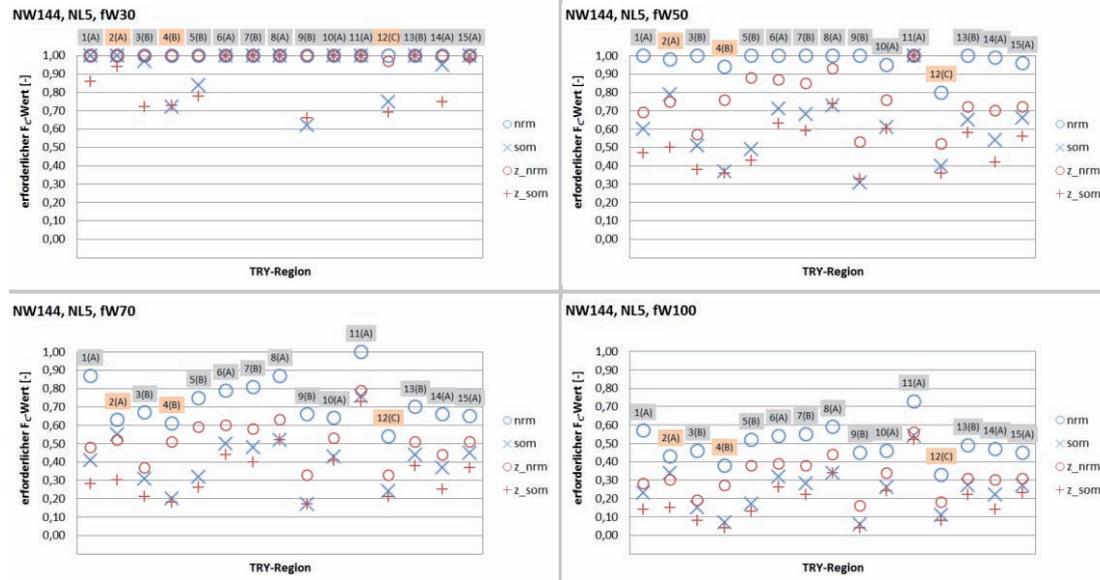


Bild 5-10: Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung von $G_{h_x} = 500 \text{ Kh/a}$ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 und 100 Prozent für Nichtwohnnutzung bei hoher Nachtlüftung

5.4 Möglichkeiten zur Verringerung der thermischen Beanspruchung

Den bislang ausgewerteten Berechnungsfällen liegen einheitlich die im Folgenden aufgeführten Berechnungsrandbedingungen zugrunde, deren Variation und Einfluss auf die thermischen Verhältnisse im Raum im Weiteren anhand von ausgewählten Einzelfällen ausgewertet werden soll:

- Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung: $g = 0,60$
- automatische Sonnenschutzsteuerung mit Aktivierung ab Erreichen einer Grenzbestrahlungsstärke von 300 W/m^2 im Fall der Wohnnutzung und 200 W/m^2 im Fall der Nichtwohnnutzung
- mittlere interne Wärmeeinträge in Höhe von $100 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ für Wohnnutzung bzw. $144 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$
- mittlere Bauart ($C_{\text{wirk}} = 90 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$)

Unter Ansatz der zuvor aufgeführten Randbedingungen ergibt sich für zahlreiche der in den Abschnitten 5.3.1 und 5.3.2 ausgewerteten Berechnungsfälle die Situation, dass für die Einhaltung eines Übertemperaturgradstundenwertes in Höhe von 1200 Kh/a bzw. 500 Kh/a erforderliche F_C -Werte ermittelt werden, die nicht realisierbar sind ($F_C \leq 0,10$). Ebenso treten Fälle auf, für die sich selbst bei einem theoretischen F_C -Wert von $0,00$ noch Übertemperaturgradstundenwerte über den normativ gesetzten Grenzwerten einstellen. Die folgenden Auswertungen der Abschnitte 0 bis 5.4.4 stellen jeweils anhand eines ausgewählten Beispiels für Wohn- und Nichtwohnnutzung (siehe Tabelle 5-7) dar, wie und in welchem Rahmen sich durch Veränderung der in der Basiskonfiguration angesetzten Berechnungsrandbedingungen die thermische Beanspruchung des Raumes reduzieren lässt, sodass die durch DIN 4108-2 formulierten Anforderungswerte eingehalten werden.

Tabelle 5-7: Ausgewählte Berechnungsfälle für die Auswertungen in 0 bis 5.4.4

Parameter	Wohnnutzung	Nichtwohnnutzung
Klima	Zukunfts-Normal-TRY, Region 12	Zukunfts-Normal-TRY, Region 5
Fensterflächenanteil	$f_w = 70\%$	$f_w = 50\%$
Nachtlüftung	erhöhte Nachtlüftung	ohne Nachtlüftung
Bauart	mittel	mittel
Auswertung nach DIN 4108-2:2013-02	<p>DIN 4108-2:2013-02 Simulation Übertemperaturgradstunden Wohnnutzung</p>	<p>DIN 4108-2:2013-02 Simulation Übertemperaturgradstunden Nichtwohnnutzung</p>
erforderlicher $F_{C, z_{\text{norm}}}$ -Wert (vgl. Abschn. 5.3.1 bzw. 5.3.2)	0,05 (vgl. Bild 5-6)	0,07 (vgl. Bild 5-8)

5.4.1 Reduzierung des g-Wertes

Für die Auswertungen zum g-Wert-Einfluss werden zu den zuvor genannten Fallbeispielen werden sowohl für Wohnnutzung als auch für die Nichtwohnnutzung in Bild 5-11 und Bild 5-12 der Basisausführung mit $g = 0,60$ jeweils Ausführungen in Sonnenschutzverglasung mit $g = 0,40$, $g = 0,30$ und $g = 0,20$ gegenübergestellt. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die zur Einhaltung der Anforderungswerte von 1200 Kh/a bzw. 500 Kh/a erforderlichen

und aus den grafischen Auswertungen hervorgehenden F_C -Werte im Fall der Sonnenschutzverglasungen schwerer zu erreichen sind als im Fall der Normalverglasung.

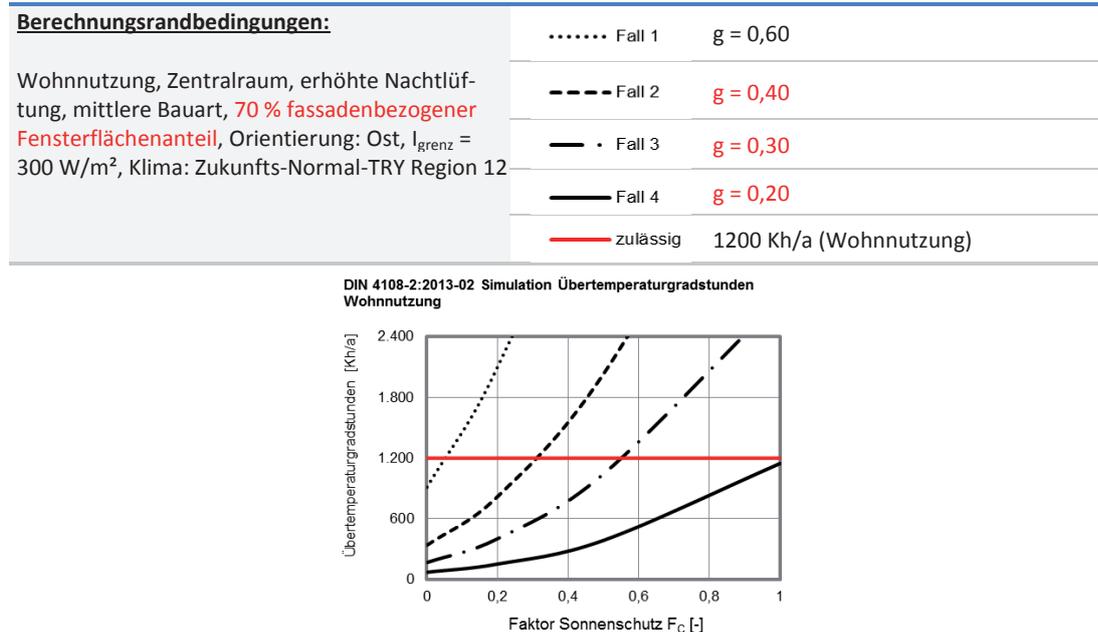


Bild 5-11: Einfluss der Reduzierung des g-Wertes für das Fallbeispiel Wohnnutzung

Obige Auswertung veranschaulicht den wesentlichen Einfluss des g-Wertes der Verglasung auf die thermischen Verhältnisse. Durch den Ansatz von $g = 0,40$ ist bereits eine Ausführung in Kombination mit einem guten außen liegenden Sonnenschutz mit $F_C = 0,3$ möglich. Bei einem für den Einsatz in Wohngebäuden ungewöhnlich niedrigen g-Wert von 0,20 könnte theoretisch gänzlich auf einen Sonnenschutz verzichtet werden, zu beachten ist hierbei allerdings, dass in Verbindung mit einem derart niedrigen g-Wert in aller Regel auch die Lichttransmission und der Tageslichteinfall erheblich reduziert werden, was zur Folge hat, dass der Energiebedarf für Kunstlicht steigt sowie der visuelle Komfort und insofern die Behaglichkeit reduziert werden. Die folgende Auswertung in Bild 5-12 zeigt für das ausgewählte Fallbeispiel zur Nichtwohnnutzung einen ebenso großen Einfluss des g-Wertes, wobei selbst bei $g = 0,20$ noch zusätzlich ein Sonnenschutz mit etwa $F_C = 0,80$ erforderlich ist.

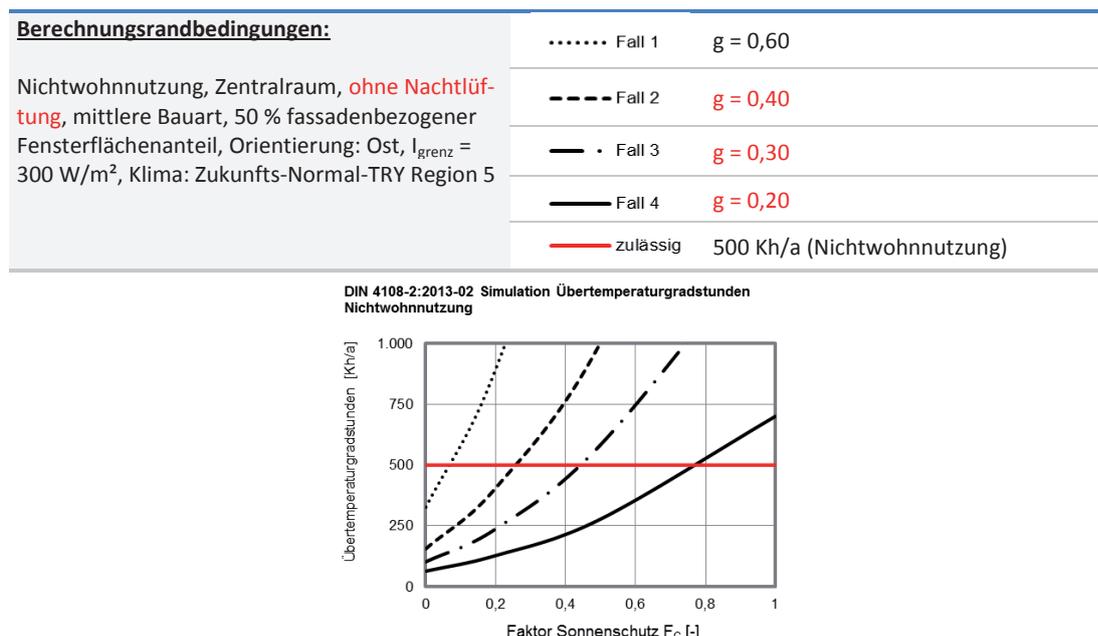


Bild 5-12: Einfluss der Reduzierung des g-Wertes für das Fallbeispiel Nichtwohnnutzung

5.4.2 Reduzierung der Grenzbestrahlungsstärke im Fall einer strahlungsabhängigen Steuerung des Sonnenschutzes

Als Steuergröße für die Aktivierung eines Sonnenschutzes wird nach DIN 4108-2 standardmäßig die Grenzbestrahlungsstärke (Summe aus Direkt- und Diffusstrahlung senkrecht zum Fenster) verwendet. Für ost- über süd- bis west-orientierte Fenster ist im Fall der Wohnnutzung von 300 W/m^2 und im Fall von Nichtwohnnutzung von 200 W/m^2 auszugehen. Mit der Verpflichtung zur Dokumentation im Rahmen des Nachweises zum sommerlichen Wärmeschutzes lässt DIN 4108-2 auch hiervon abweichende Ansätze zu. Bild 5-13 und Bild 5-14 verdeutlichen, wie durch Reduzierung der standardmäßig anzusetzenden Grenzbestrahlungsstärken, also durch frühere bzw. häufigere Aktivierung des Sonnenschutzes, eine Verbesserung der Verhältnisse erreicht werden kann.

Berechnungsrandbedingungen:	
Wohnnutzung, Zentralraum, erhöhte Nachtlüftung, mittlere Bauart, $g = 0,60$, 70 % fassadenbezogener Fensterflächenanteil , Orientierung: Ost, Klima: Zukunfts-Normal-TRY Region 12	..... Fall 1 $I_{\text{grenz}} = 300 \text{ W/m}^2$
	--- Fall 2 $I_{\text{grenz}} = 200 \text{ W/m}^2$
	— • Fall 3 $I_{\text{grenz}} = 100 \text{ W/m}^2$
	— zulässig 1200 Kh/a (Wohnnutzung)

DIN 4108-2:2013-02 Simulation Übertemperaturgradstunden Wohnnutzung

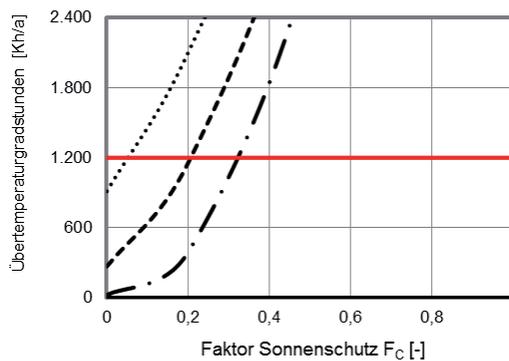


Bild 5-13: Einfluss der Reduzierung der Grenzbestrahlungsstärke für das Fallbeispiel Wohnnutzung

Berechnungsrandbedingungen:	
Nichtwohnnutzung, Zentralraum, ohne Nachtlüftung , mittlere Bauart, $g = 0,60$, 50 % fassadenbezogener Fensterflächenanteil, Orientierung: Ost, Klima: Zukunfts-Normal-TRY Region 5	..... Fall 1 $I_{\text{grenz}} = 200 \text{ W/m}^2$
	--- Fall 2 $I_{\text{grenz}} = 150 \text{ W/m}^2$
	— • Fall 3 $I_{\text{grenz}} = 100 \text{ W/m}^2$
	— zulässig 500 Kh/a (Nichtwohnnutzung)

DIN 4108-2:2013-02 Simulation Übertemperaturgradstunden Nichtwohnnutzung

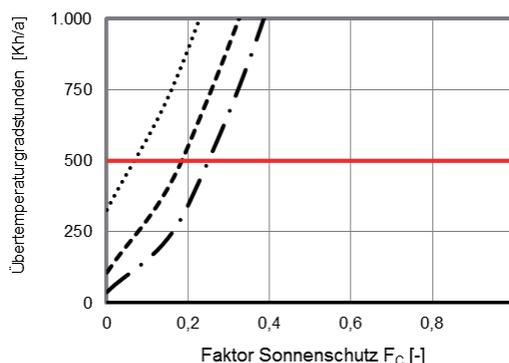


Bild 5-14: Einfluss der Reduzierung der Grenzbestrahlungsstärke für das Fallbeispiel Nichtwohnnutzung

Die Auswertung in Bild 5-13 für das Fallbeispiel Wohnnutzung und die entsprechende Auswertung in Bild 5-14 für das Fallbeispiel Nichtwohnnutzung zeigen, dass sich durch Reduzierung der Grenzbestrahlungsstärke in beiden Fällen „realisierbare“ Situationen ergeben. Bereits durch eine Reduzierung der Grenzbestrahlungsstärke auf 200 W/m² im Fall der Wohnnutzung bzw. auf 150 W/m² im Fall der Nichtwohnnutzung ergeben die Auswertungen, dass bei einem $F_c = 0,2$ die Anforderungswerte eingehalten werden können. Zu beachten ist hierbei allerdings, dass sich mit einer Reduzierung der Grenzbestrahlungsstärke und der damit einhergehenden Erhöhung der Aktivierungszeiten des Sonnenschutzes je nach Art des Sonnenschutzsystems auch ein erhöhter Kunstlichtstrombedarf einstellt. Zur Veranschaulichung erfolgt in Bild 5-15 und Bild 5-16 die grafische Darstellung der Aktivierungszeiten des Sonnenschutzes für die zuvor ausgewerteten Fallbeispiele.

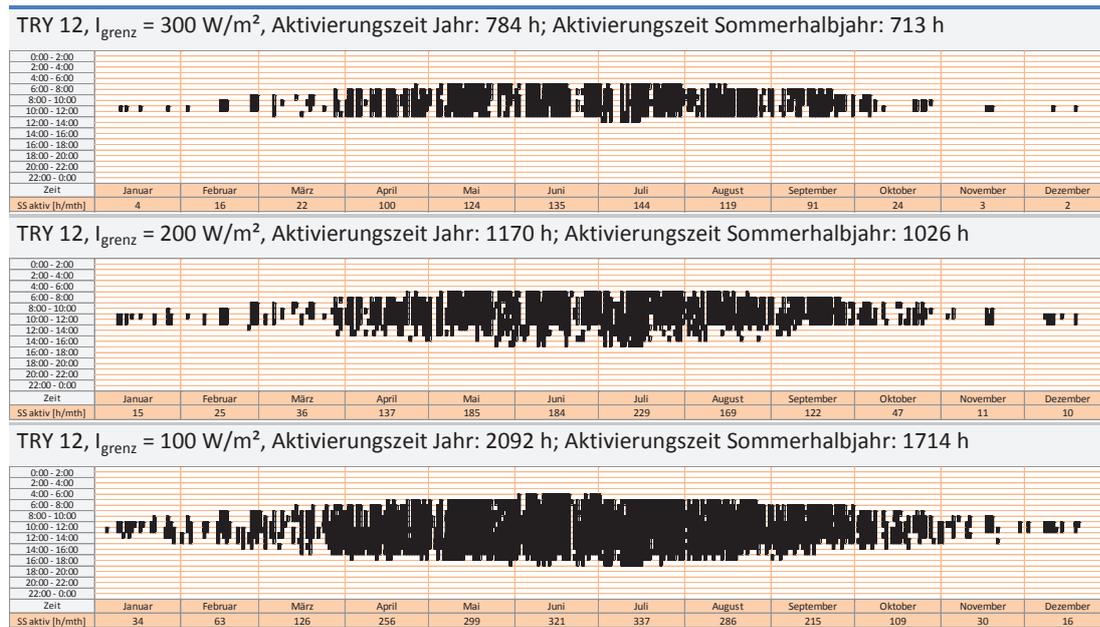


Bild 5-15: Sonnenschutz-Aktivierungszeiten in TRY-Region 12 (Ostorientierung) in Abhängigkeit der Grenzbestrahlungsstärke für das Fallbeispiel Wohnnutzung

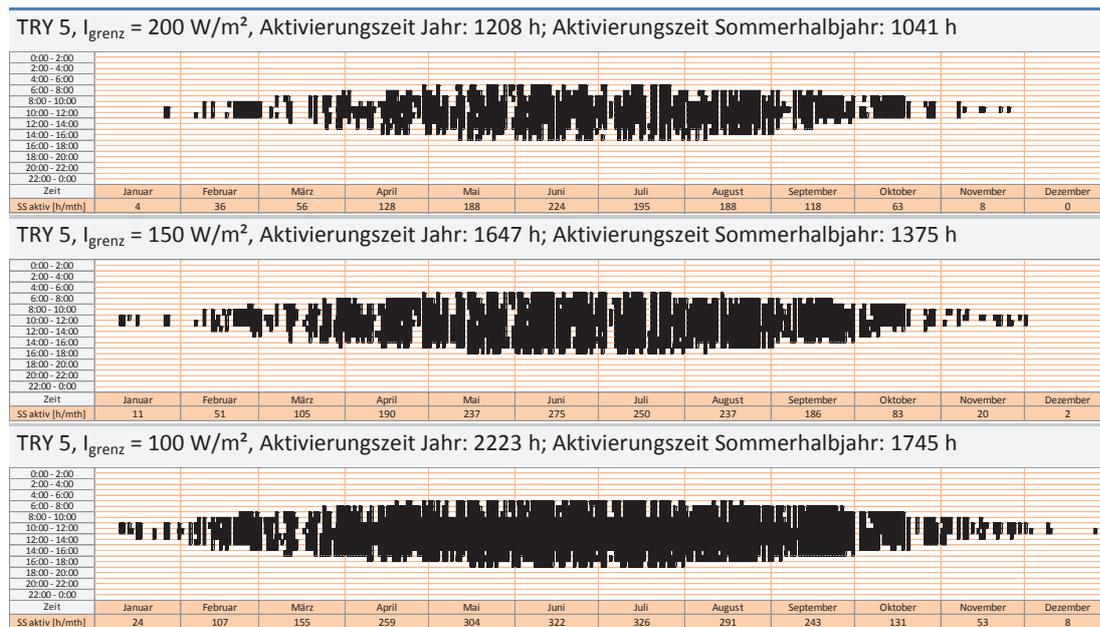


Bild 5-16: Sonnenschutz-Aktivierungszeiten in TRY-Region 5 (Ostorientierung) in Abhängigkeit der Grenzbestrahlungsstärke für das Fallbeispiel Nichtwohnnutzung

Die Auswertungen zu den Aktivierungszeiten des Sonnenschutzes in Bild 5-15 und Bild 5-16 zeigen, dass sich mit Reduzierung der Grenzbestrahlungsstärke nicht nur grundsätzlich häufigere Aktivierungszeiten einstellen, sondern dass sich die Aktivierungszeiten auch in die Übergangsjahreszeit bzw. kalte Jahreszeit ausdehnen. Insofern sollte bei einer rein strahlungsabhängigen Steuerung des Sonnenschutzes insbesondere dann, wenn niedrige Grenzbestrahlungsstärken gewählt werden, in Erwägung gezogen werden, diese nur in dem Sommerhalbjahr zu aktivieren, da ansonsten gewünschte heizwärmebedarfsreduzierende solare Wärmeeinträge in den Monaten Oktober bis März unterbunden würden.

5.4.3 Ansatz reduzierter interner Wärmeeinträge

Werden für den Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 Simulationsrechnungen durchgeführt, so sind für den Fall Wohnnutzung 100 Wh/(m²d) und für den Fall Nichtwohnnutzung 144 Wh/(m²d) als mittlere interne Wärmeeinträge anzusetzen. Zur Bewertung des Einflusses reduzierter interner Wärmeeinträge stellt die folgende Auswertung in Bild 5-17 folgende Fälle gegenüber:

Fall 1: interne Wärmeeinträge in Höhe von **100 Wh/(m²d)** (anzusetzender Wärmeeintrag für Wohnnutzung nach DIN 4108-2), entspricht Ansatz für MFH nach DIN V 18599:2007-02

Anmerkung: nach inzwischen aktueller Fassung DIN V 18599:2011-12 sind für MFH nur noch 90 Wh/(m²d) anzusetzen

Fall 2: reduzierte interne Wärmeeinträge in Höhe von **50 Wh/(m²d)**, entspricht Ansatz für EFH nach DIN V 18599:2007-02

Anmerkung: nach inzwischen aktueller Fassung DIN V 18599:2011-12 sind für EFH nur noch 45 Wh/(m²d) anzusetzen

Berechnungsrandbedingungen:	
Wohnnutzung, Zentralraum, erhöhte Nachtlüftung, g = 0,60, 70 % fassadenbezogener Fensterflächenanteil , Orientierung: Ost, I _{grenz} = 300 W/m ² , Klima: Zukunfts-Normal-TRY Region 12	..... Fall 1 interne Wärmeeinträge 100 Wh/(m ² d)
	--- Fall 2 interne Wärmeeinträge 50 Wh/(m ² d)
	— zulässig 1200 Kh/a (Wohnnutzung)

DIN 4108-2:2013-02 Simulation Übertemperaturgradstunden Wohnnutzung

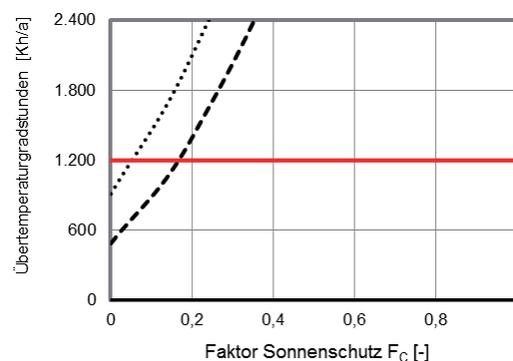


Bild 5-17: Einfluss der Reduzierung der internen Wärmeeinträge für das Fallbeispiel Wohnnutzung

Infolge des Ansatzes halbiertes interner Wärmeeinträge in Höhe von 50 Wh/(m²d) ergibt sich für das in Bild 5-17 ausgewertete Fallbeispiel im Vergleich zum normativen Ansatz von 100 Wh/(m²d) eine deutliche Reduzierung der für gleiche F_c-Werte berechneten Übertemperaturgradstunden. Demnach führt der Ansatz der reduzierten Wärmeeinträge bei einer Ausführung eines Sonnenschutzes mit einem F_c-Wert von etwa 0,18 zur Einhaltung von

1200 Kh/a. Für diesen F_C -Wert ergibt sich im Fall der hohen Wärmeeinträge bereits ein Übertemperaturgradstundenwert in Höhe von etwa 2000 Kh/a.

Entsprechend der zuvor dargestellten Auswertung lässt sich für eine weitere Fortschreibung der DIN 4108-2 und die hierin gemachten Vorgabe bezüglich anzusetzender Randbedingungen für Simulationsrechnungen festhalten, dass wie auch durch DIN V 18599 bei Wohnnutzung mindestens zwischen EFH und MFH unterschieden werden sollte. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass teilweise noch deutlich niedrigere interne Wärmeeinträge möglich sind (z. B. durch Nutzung energieeffizienter und wenig Wärme emittierender Geräte und Beleuchtung) wäre auch eine grundsätzliche Öffnung dieser Simulationsrandbedingung mit der Verpflichtung zur Dokumentation des entsprechenden Ansatzes denkbar.

Es folgt in Bild 5-18 die Auswertung zum Einfluss der internen Wärmeeinträge für das Fallbeispiel Nichtwohnnutzung. Hierbei werden folgende Fälle gegenübergestellt:

- Fall 1: hohe Wärmeeinträge in Höhe von **144 Wh/(m²d)** (anzusetzender Wärmeeintrag für Nichtwohnnutzung nach DIN 4108-2), entspricht Ansatz q_i für hohe Wärmezufuhr je Tag in Höhe von 132 Wh/(m²d) für Büronutzung nach DIN V 18599:2011-12 zuzüglich Lichtanteil in Höhe von 12 Wh/(m²d)
- Fall 2: mittlere Wärmeeinträge in Höhe von **78 Wh/(m²d)**, entspricht Ansatz q_i für mittlere Wärmezufuhr je Tag in Höhe von 72 Wh/(m²d) für Büronutzung nach DIN V 18599:2011-12 zuzüglich Lichtanteil in Höhe von 6 Wh/(m²d)
- Fall 3: geringe Wärmeeinträge in Höhe von **45 Wh/(m²d)**, entspricht Ansatz q_i für geringe Wärmezufuhr je Tag in Höhe von 42 Wh/(m²d) für Büronutzung nach DIN V 18599:2011-12 zuzüglich Lichtanteil in Höhe von 3 Wh/(m²d)

Berechnungsrandbedingungen:	
Nichtwohnnutzung, Zentralraum, ohne Nachtlüftung , $g = 0,60$, 50 % fassadenbezogener Fensterflächenanteil, Orientierung: Ost, $I_{\text{grenz}} = 300 \text{ W/m}^2$, Klima: Zukunfts-Normal-TRY Region 12	..... Fall 1 interne Wärmeeinträge 144 Wh/(m ² d)
	----- Fall 2 interne Wärmeeinträge 78 Wh/(m ² d)
	— • — Fall 3 interne Wärmeeinträge 45 Wh/(m ² d)
	— zulässig 500 Kh/a (Nichtwohnnutzung)

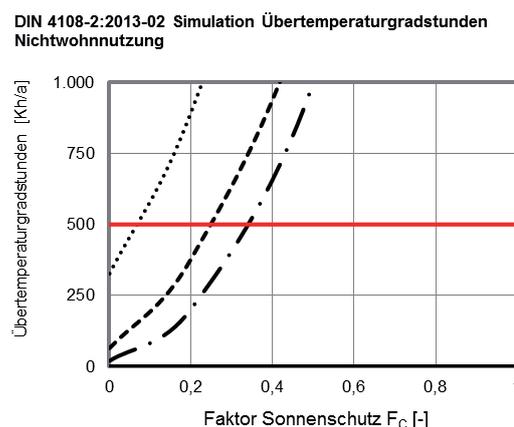


Bild 5-18: Einfluss der Reduzierung der internen Wärmeeinträge für das Fallbeispiel Nichtwohnnutzung

Wie bereits die Auswertungen zum Fallbeispiel Wohnnutzung zeigen auch die Auswertungen in Bild 5-18 zum Fallbeispiel Nichtwohnnutzung, dass durch Reduzierung der internen Wärmeeinträge eine deutliche Verbesserung der Verhältnisse erreicht werden kann. Bereits unter Ansatz der mittleren Wärmeeinträge kann bei einem F_C -Wert von etwa 0,25 der Anforderungswert von 500 Kh/a eingehalten werden. Bei diesem F_C -Wert ergibt sich unter Ansatz der hohen Wärmeeinträge noch ein mehr als doppelt so hoher Übertemperatur-

gradstundenwert. Insofern unterstreicht auch diese Auswertung, dass im Fall einer weiteren Fortschreibung der DIN 4108-2 eine Öffnung der vorgegebenen Simulationsrandbedingungen in Erwägung gezogen werden sollte, sodass wie in DIN V 18599:2011-12 mindestens zwischen hohen, mittleren und niedrigen Wärmeeinträgen differenziert werden kann.

5.4.4 Einfluss der Speichermasse, Erhöhung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit

Dass sich massive Gebäude aufgrund ihrer höheren Speichermasse in Bezug auf Überhitzung günstiger verhalten als Gebäude in Leichtbauweise ist hinlänglich bekannt. Die in Bild 5-19 und Bild 5-20 dargestellten Auswertungen stellen dar, inwieweit sich durch Erhöhung der Speichermasse für die gewählten Fallbeispiele eine Verbesserung der Verhältnisse erzielen lässt.

Berechnungsrandbedingungen:	
Wohnnutzung, Zentralraum, erhöhte Nachtlüftung, $g = 0,60$, 70 % fassadenbezogener Fensterflächenanteil , Orientierung: Ost, $I_{\text{grenz}} = 300 \text{ W/m}^2$, Klima: Zukunfts-Normal-TRY Region 12	..... Fall 1 Bauart: mittel ($C_{\text{wirk}} = 90 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$)
	--- Fall 2 Bauart: schwer ($C_{\text{wirk}} = 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$)
	— zulässig 1200 Kh/a (Wohnnutzung)

DIN 4108-2:2013-02 Simulation Übertemperaturgradstunden
Wohnnutzung

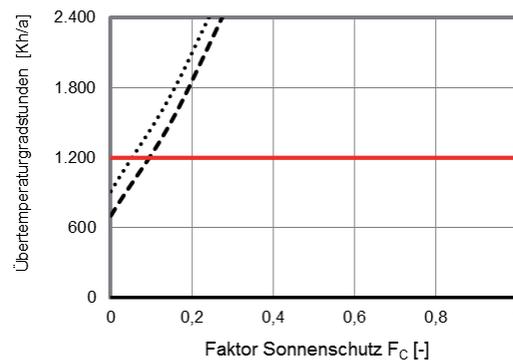


Bild 5-19: Einfluss der Erhöhung der Speichermasse für das Fallbeispiel Wohnnutzung

In Bezug auf die zur Einhaltung von 1200 Kh/a erforderlichen F_C -Werte für die in Bild 5-19 ausgewerteten Fälle lässt sich zunächst feststellen, dass sich mittlere und schwere Bauart nur unwesentlich unterscheiden, durch den Ansatz der schweren Bauart für das gewählte Fallbeispiel mit $F_C = 0,1$ allerdings gerade die „Baubarkeit“ erreicht wird, vorausgesetzt der beste marktverfügbare außen liegende Sonnenschutz kommt zum Einsatz. Wenngleich die Graphen für mittlere und schwere Bauart in Bild 5-19 vergleichsweise dicht zusammenliegen, verlaufen diese recht steil, sodass sich bei Ansatz der mittleren Bauart für einen F_C -Wert von 0,1 rechnerisch bereits ein um etwa 25 Prozent höherer Übertemperaturgradstundenwert gegenüber der schweren Bauart einstellt.

Dass sich verbunden mit der Erhöhung der Speichermasse im Fall der Wohnnutzung nur eine unwesentliche Verbesserung der Verhältnisse einstellt, ist auch auf das rechnerisch für einen erhöhten Nachtluftwechsel vorgesehene Zeitfenster von 23 Uhr bis 6 Uhr zurückzuführen. Demnach erfolgt der Ansatz der erhöhten Nachtlüftung für Wohnnutzung nur in einem täglichen Zeitfenster von 7 Stunden. Im Fall der Nichtwohnnutzung erfolgt der Ansatz einer erhöhten Nachtlüftung wochentäglich jeweils zwischen 18 Uhr bis 7 Uhr, also jeweils für die Dauer von 13 Stunden und zusätzlich am Wochenende. Da das gewählte Fallbeispiel für Nichtwohnnutzung eine Situation „ohne Nachtlüftung“ beschreibt, ist informativ in Bild 5-20 dieses Fallbeispiel auch für den Fall „erhöhte Nachtlüftung“ ausgewertet.

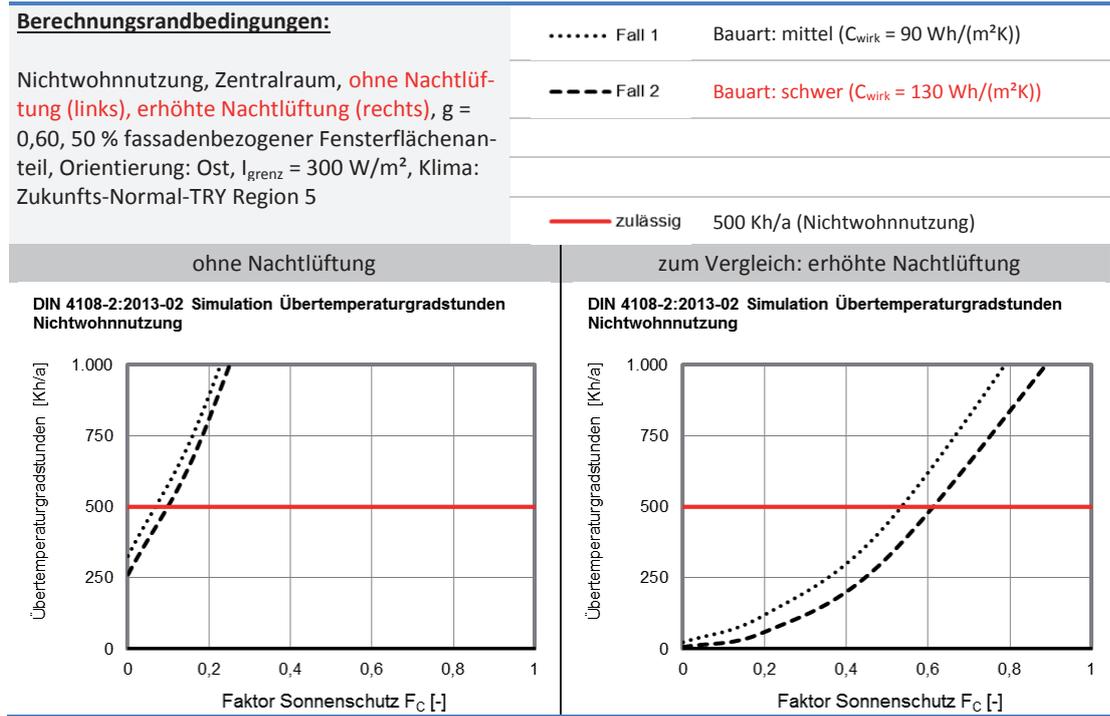


Bild 5-20: Einfluss der Erhöhung der Speichermasse für das Fallbeispiel Nichtwohnnutzung

Erwartungsgemäß zeigt sich für das Fallbeispiel in Bild 5-20 (links) ein nur geringer Einfluss der angesetzten Bauart auf die thermischen Verhältnisse. Allerdings wird gerade durch den Ansatz der schweren Bauart der erforderliche F_C -Wert von 0,07 bei mittlerer Bauart auf 0,11 erhöht, sodass prinzipiell eine Ausführung möglich wäre. Dass sich für Fälle mit erhöhter Nachtlüftung eine etwas stärkere Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Speichermasse einstellt, zeigt die in Bild 5-20 rechts dargestellte Auswertung, die sich im Vergleich zur Auswertung links nur durch den Ansatz für die Nachtlüftung unterscheidet.

6 Aufprägen von Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt

Mit der im Frühjahr 2011 erfolgten Veröffentlichung der neuen Testreferenzjahre [1] besteht erstmals die Möglichkeit, über ein Softwaretool (Bild 6-1) eine Höhenkorrektur und/oder einen Stadtklimaeffekt aufzuprägen. Die Anpassung der für jede TRY-Region zur Verfügung gestellten TRY-Datensätze an die tatsächliche Ortshöhe war auch bereits bei den TRY-Datensätze aus dem Jahr 2004 [6] vorgesehen. Für von der Ortshöhe einer jeweiligen Repräsentanzstation um mehr als 100 Höhenmeter abweichende Standorte war diese Höhenkorrektur hier aber vergleichsweise aufwändig und „manuelle“ über tabellarisierte Korrekturwerte stundenweise durchzuführen. Das Aufprägen eines Stadtklimaeffektes durch das Softwaretool für Städte mit einer Einwohnerzahl größer 100.000 auf die verschiedenen TRY-Datensätze ist eine neue Option. Ausgehend jeweils von einem Basis TRY-Datensatz, der in seiner Grundform das ländliche ungestörte Klima der jeweiligen TRY-Region beschreibt, kann in Abhängigkeit der Einwohnerzahl einer Stadt über das Softwaretool ein Stadtklimaeffekt für die Situationen „Stadtrand“, „mittleres Stadtgebiet“ und „eng bebaute Innenstadt“ aufgeprägt werden.

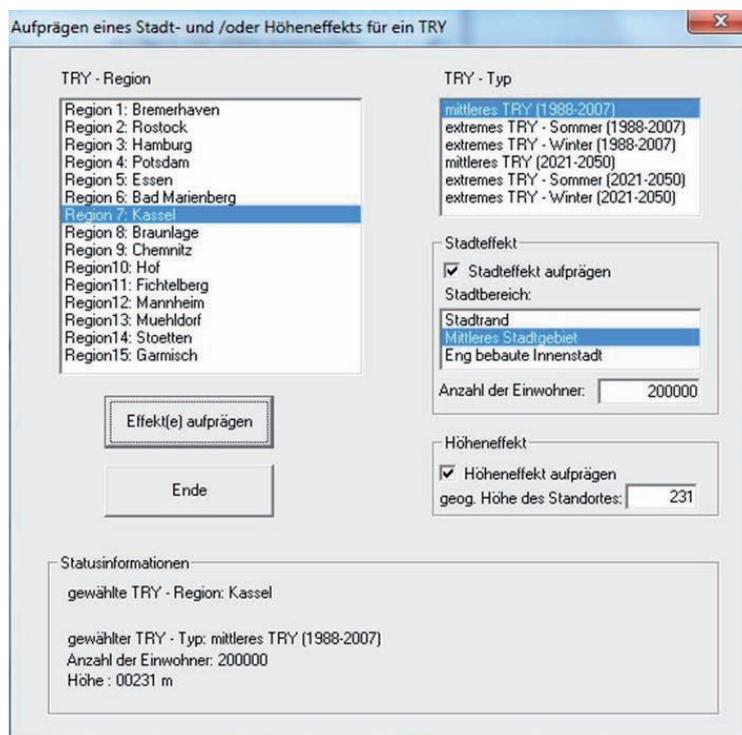


Bild 6-1: Softwaretool zum Aufprägen eines Stadt- und/oder Höheneffekts für ein TRY [1]

Zur Berücksichtigung einer abweichenden Ortshöhe im Vergleich zur Referenzstation der TRY-Region kann durch dieses Tool die tatsächliche Ortshöhe des zu bewertenden Standortes eingegeben werden. Durch das Tool zum Aufprägen des Stadtklimaeffekts sowie des „Höheneffekts“ werden ausschließlich die Klimaelemente Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftdruck des Ursprungsdatensatzes nach vorgegebenem Muster [1] verändert.

Nachdem in Abschnitt 3.2 die Einflüsse aus Höhen- und Stadteffekt auf der Ebene der reinen Klimadatenanalyse untersucht und dargestellt wurde, folgt in den Abschnitten 6.1 und 6.2 nun die Auswertung dieser Effekte hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Innenraumklima im Vergleich zu den unveränderten TRY-Datensätzen. Als Berechnungsgrundlage für die Darstellung dieser Effekte wird der in Tabelle 4-4 beschriebene Basisfall zugrunde gelegt.

6.1 Berechnungen zum Einfluss der Höhenkorrektur

Wie zuvor bereits ausgeführt, sollen die TRY-Datensätze in der mit Veröffentlichung zur Verfügung gestellten Form nur für Berechnungen in einem Höhenbereich ± 100 Höhenmeter bezogen auf die jeweilige Ortshöhe der Repräsentanzstation eingesetzt werden. Weicht die Ortshöhe eines zu bewertenden Standortes um mehr als 100 Höhenmeter von dieser Ortshöhe ab, ist über das zuvor beschriebene Softwaretool eine Höhenkorrektur auf den entsprechenden TRY-Datensatz aufzuprägen. Bild 6-2 stellt hierzu die Höhenbereiche dar, über die sich die einzelnen TRY-Regionen erstrecken (grau). Zusätzlich sind die Anwendbarkeitsbereiche der unveränderten TRY-Datensätze innerhalb dieser Höhenbereiche rot markiert. Für von diesen Anwendbarkeitsbereichen nicht abgedeckte Höhenbereiche ist demnach eine Höhenkorrektur durchzuführen.

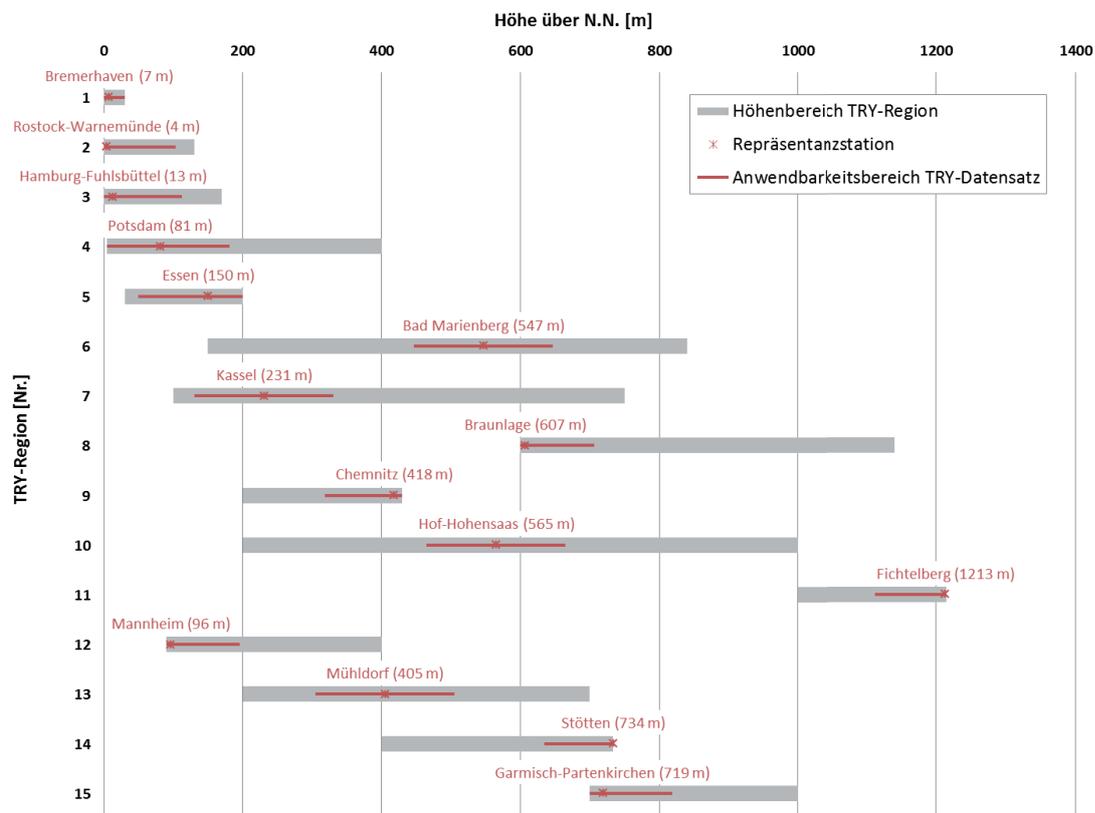


Bild 6-2: Übersicht zu den Höhenbereichen der 15 TRY-Regionen (grau), Anwendbarkeitsbereiche der unveränderten TRY-Datensätze (rot) mit Angabe der Repräsentanzstation und deren Höhe über NN für jede TRY-Region

Zur Bewertung des Einflusses der Höhenkorrektur auf das Innenraumklima werden in Bild 6-3 Auswertungen für alle 15 TRY-Regionen dargestellt, wobei jeweils dem unveränderten Normal-TRY (Fall 2, gestrichelt) eine Auswertung für den tiefsten Punkt dieser Region (Fall 1, punktiert) und für den Höchsten Punkt dieser Region (Fall 3, strich-punktiert) gegenübergestellt wird. Falls der tiefste bzw. der höchste Punkt der TRY-Region im Anwendbarkeitsbereich des TRY-Datensatzes der Repräsentanzstation liegt, erübrigt sich die Darstellung des entsprechenden Falls. Da sich der Einfluss der Höhenkorrektur für Wohn- und Nichtwohnnutzung gleichermaßen auswirkt, werden die hier dokumentierten Auswertungen auf den Fall Nichtwohnnutzung beschränkt.

Die für den Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 relevanten TRY-Datensätze, die als Normal-TRYs den Simulationsrechnungen zugrunde zu legen sind, sind in Bild 6-3 dunkelblau (TRY-Region 2), orange (TRY-Region 4) und rot (TRY-Region 12) markiert. Die der Klimaregion A zugeordneten weiteren TRY-Regionen sind hellblau und die der Klimaregion B zugeordneten weiteren TRY-Regionen sind hellorange markiert.

Berechnungsrandbedingungen:

(Basisfall) Nichtwohnnutzung, Zentralraum, erhöhte Nachtlüftung, mittlere Bauart, 50 % fassadenbezogener Fensterflächenanteil, Orientierung: Ost

- Fall 1 untere Grenze Höhenbereich Region
- Fall 2 Normal-TRY ohne Höhenkorrektur
- • — Fall 3 obere Grenze Höhenbereich Region

— zulässig 500 Kh/a (Nichtwohnnutzung)

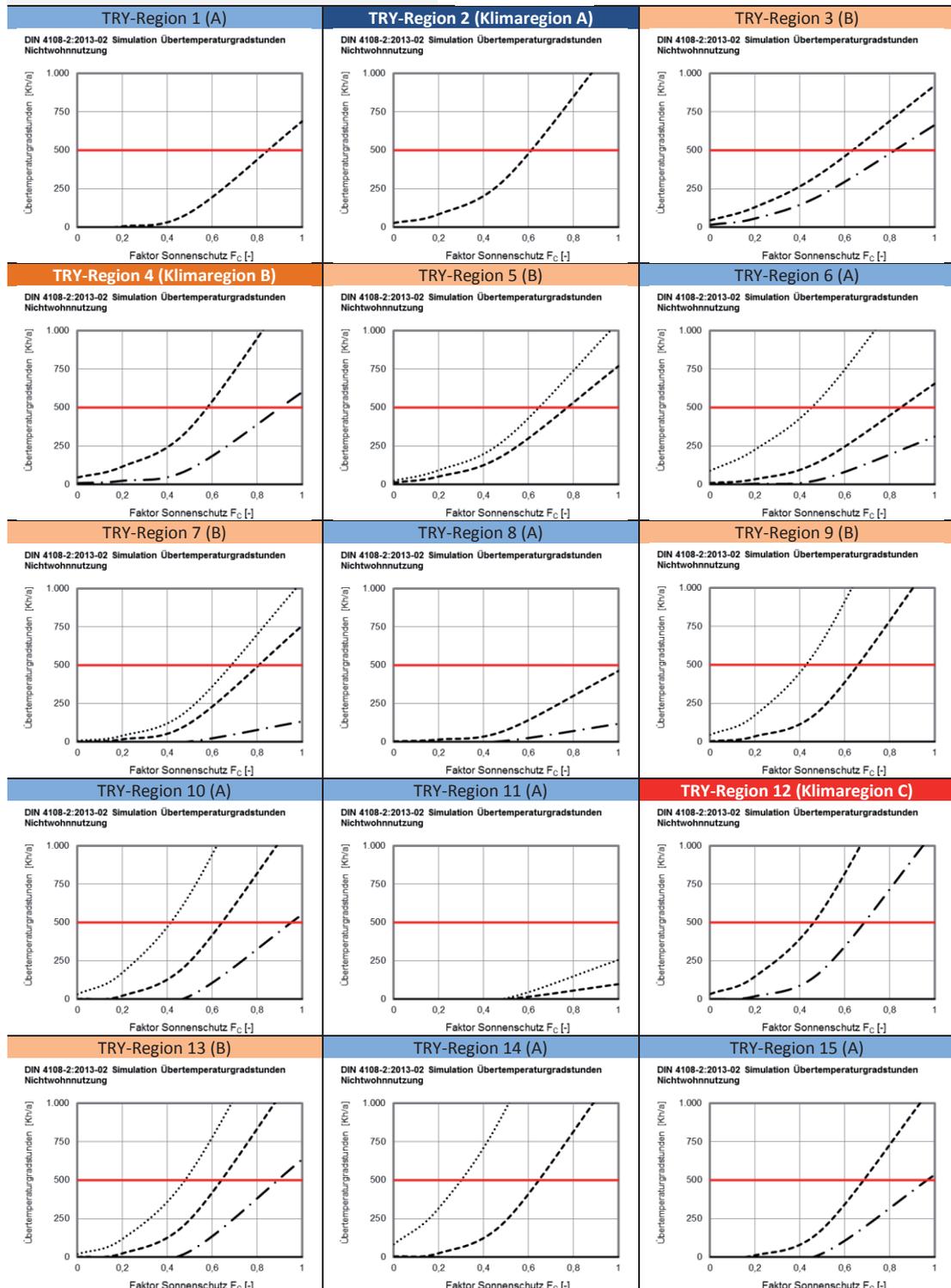


Bild 6-3: Einfluss der Höhenkorrektur auf das Innenraumklima für den Basisfall Nichtwohnnutzung

Die in Bild 6-3 gegenübergestellten Ergebnisse zeigen bezogen auf die Auswertungen der unveränderten Normal-TRYs (gestrichelte Graphen) erwartungsgemäß, dass die für die als Repräsentanten der Klimaregionen A und B festgelegten TRY-Datensätze der Regionen 2 und 4 jeweils die höchsten Anforderungen an die erforderlichen F_C -Werte stellen. In beiden Fällen ist zur Einhaltung des normativen Anforderungswertes ein F_C -Wert von etwa 0,60 erforderlich. Im Fall aller übrigen TRY-Regionen liegen die erforderlichen F_C -Werte, um einen G_{h_x} -Wert von 500 Kh/a sicherzustellen, darüber und somit liegt auch die Festlegung auf die Regionen 2 und 4 als zu verwendende Datensätze „auf der sicheren Seite“. Allerdings ist dies nicht mehr zutreffend, wenn die TRY-Datensätze, denen eine Höhenkorrektur aufgeprägt wird, in die Bewertung mit einbezogen wird. Hierbei ergeben sich in einigen Fällen für die tiefer gelegenen und daher auf einem höheren Temperaturniveau befindlichen Standorte teilweise niedrigere erforderliche F_C -Werte. Für die Klimaregion A betrifft dies die TRY-Regionen 10 und 14, wobei für den tiefsten Punkt in Region 10 ein erforderlicher F_C -Wert von etwa 0,40 und in Region 14 für den tiefsten Punkt ein erforderlicher F_C -Wert von etwa 0,31 ermittelt wird. Gleichmaßen ergeben sich auch für die der Klimaregion B zugeordneten TRY-Regionen 9 und 13 für die tiefergelegenen Standorte niedrigere erforderliche F_C -Werte als für das unveränderte Normal-TRY der Region 4. Diese liegen für die TRY-Region 9 bei $F_C = 0,42$ und für die TRY-Region 13 bei $F_C = 0,48$.

Konsequenz für die tiefergelegenen Orte in den TRY-Regionen 10 und 14 in Klimaregion A sowie 9 und 13 in Klimaregion B ist demnach, dass der Ansatz der Normal-TRYs der Regionen 2 und 4 „auf der unsicheren Seite liegt“. Zusammenfassend führen die in Bild 6-3 dargestellten Ergebnisse unter Einbeziehung der Höhenkorrektur für die künftige Fortschreibung der DIN 4108-2 zu der Empfehlung, dass im Fall der Nachweisführung durch Simulationsrechnungen eine grundsätzliche Öffnung der Berechnungsrandbedingungen hinsichtlich der anzusetzenden TRY-Datensätze erfolgen sollte. Für den Fall der Nachweisführung über das vereinfachte Verfahren ergibt sich hieraus prinzipiell kein weiterer Handlungsbedarf, da die Festlegung auf die jetzigen TRY-Regionen 2, 4 und 12 als Repräsentanten für die Klimaregionen A, B und C und die hieran kalibrierten Sonneneintragskennwerte mit Ausnahme der zuvor genannten tiefergelegenen Standorte der Regionen 9, 10, 13 und 14 nach wie vor auf der sicheren Seite liegen würde. Grundsätzlich bietet sich aber auch für das Sonneneintragskennwerte-Verfahren ohne die Grundstruktur der Nachweismethodik zu verändern die Möglichkeit, dieses vereinfachte Verfahren an die sehr unterschiedlichen Klimaverhältnisse der 15 TRY-Regionen auch unter Einbeziehung der Einflüsse aus der Höhenkorrektur anzupassen. In einem solchen Fall würde nicht wie aktuell in der DIN 4108-2 zwischen den Klimaregionen A, B und C unterschieden, sondern wie durch die Struktur der TRY-Datensätze vorgegeben zwischen den TRY-Regionen 1 bis 15. Eine derartige Umstrukturierung des Sonneneintragskennwerte-Verfahrens unter Einbeziehung der Höhenkorrektur wäre zwingende Voraussetzung für die Berücksichtigung eines Stadtklimaeffektes auch im vereinfachten Verfahren, was die folgenden Ergebnisse und Auswertungen zum Einfluss des Stadtklimaeffektes zeigen.

6.2 Berechnungen zum Einfluss des Stadtklimas

Das Aufprägen eines Stadtklimaeffektes über das Softwaretool ist grundsätzlich möglich für Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern (Großstädte). Wie bereits im Rahmen der Klimadatenanalyse beschrieben, wurden der Stadtklimaeffekt in seinen drei Ausprägungen Stadtrand, mittleres Stadtgebiet und Stadtzentrum für 48 ausgewählte von den 80 hierfür prinzipiell infrage kommenden Großstädten Deutschlands [7] untersucht.

Bild 6-4 stellt diese 48 Städte in einer Deutschlandkarte dar. Dieser Darstellung kann auch die Zuordnung zu der TRY-Region entnommen werden, in der sich diese Städte befinden. Eine Übersicht der Städte mit zusätzlichen Angaben enthält Tabelle 6-1.

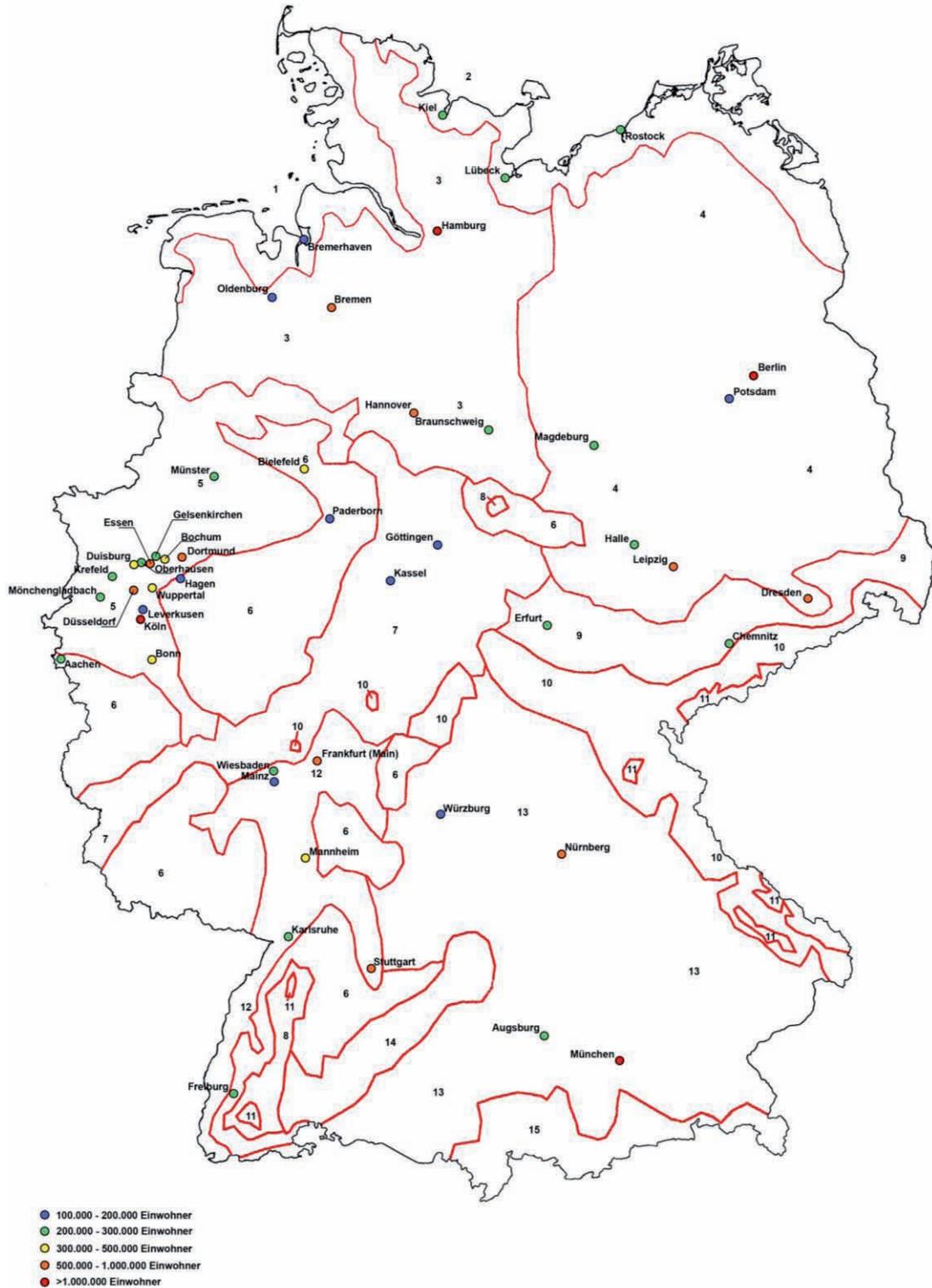


Bild 6-4: Deutschlandkarte mit ausgewählten Großstädten zu Tabelle 6-1

Tabelle 6-1: 48 Deutsche Städte mit Einwohnerzahlen größer 100.000 für die Erstellung von Stadt-TRYs

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima- region [-]	Höhe Rep.- station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhen- anpassung [-]
1	Bremerhaven	112.982	2	A	7	-5	nein
2	Kiel	242.041	5	A	4	1	nein
2	Lübeck	210.577	13	A	4	9	nein
2	Rostock	204.260	13	A	4	9	nein
3	Hamburg	1.798.836	6	B	13	-7	nein
3	Bremen	548.319	11,5	B	13	-1,5	nein
3	Hannover	525.875	55	B	13	42	nein
3	Braunschweig	250.556	75	B	13	62	nein
3	Oldenburg	162.481	4	B	13	-9	nein
4	Berlin	3.501.872	34	B	81	-47	nein
4	Leipzig	531.809	113	C	81	32	nein
4	Dresden	529.781	113	C	81	32	nein
4	Halle (Saale)	233.705	87	C	81	6	nein
4	Magdeburg	232.364	56	B	81	-25	nein
4	Potsdam	158.902	35	B	81	-46	nein
5	Köln	1.017.155	53	C	152	-99	nein
5	Düsseldorf	592.393	38	B	152	-114	ja
5	Dortmund	580.956	76	C	152	-76	nein
5	Essen	573.468	116	B	152	-36	nein
5	Duisburg	488.005	33	B	152	-119	ja
5	Bochum	373.976	100	C	152	-52	nein
5	Wuppertal	349.470	160	B	152	8	nein
5	Bonn	327.913	60	C	152	-92	nein
5	Münster	291.754	60	B	152	-92	nein
5	Mönchengladbach	257.208	70	B	152	-82	nein
5	Gelsenkirchen	256.652	52	B	152	-100	nein
5	Krefeld	234.396	38	B	152	-114	ja
5	Oberhausen	212.568	42	B	152	-110	ja
5	Hagen	187.447	106	C	152	-46	nein
5	Leverkusen	161.195	60	C	152	-92	nein
6	Bielefeld	323.395	118	B	547	-429	ja
6	Aachen	260.454	173	B	547	-374	ja
6	Paderborn	147.688	110	B	547	-437	ja
7	Kassel	196.526	166	B	231	-65	nein
7	Göttingen	121.364	150	B	231	-81	nein
9	Chemnitz	243.173	296	B	418	-122	ja
9	Erfurt	206.384	195	B	418	-223	ja
12	Frankfurt am Main	691.518	112	C	96	16	nein
12	Stuttgart	613.392	245	C	96	149	ja
12	Mannheim	314.931	97	C	96	1	nein
12	Karlsruhe	297.488	115	C	96	19	nein
12	Wiesbaden	278.919	115	C	96	19	nein
12	Freiburg im Breisgau	229.144	278	C	96	182	ja
12	Mainz	200.957	164	C	96	68	nein
13	München	1.378.176	518	B	409	109	ja
13	Nürnberg	510.602	309	B	409	-100	nein
13	Augsburg	266.647	494	B	409	85	nein
13	Würzburg	133.808	177	B	409	-232	ja
Schraffuren:							
kleinste und größte Stadt einer TRY-Region ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion							
Stadt mit abweichender Zuordnung der Klimaregion gegenüber der TRY-Region							
Stadt mit Höhenkorrektur							

Die in Tabelle 6-1 aufgelisteten Großstädte sind zunächst nach TRY-Regionen und dann nach Einwohnerzahlen sortiert. Hinsichtlich der Auswertungen zum Stadtklimaeffekt muss grundsätzlich unterschieden werden zwischen:

- Städten, für die ausschließlich ein Stadtklimaeffekt und keine Höhenkorrektur durchzuführen ist, (Zellhintergrund weiß; kleinste und größte Stadt innerhalb einer TRY-Region: blau)
- Städten für die neben Stadtklimaeffekt auch eine Höhenkorrektur notwendig ist (grün schraffiert) und
- Städten, denen gemäß Klimakarte der DIN 4108-2 die Klimaregion C zugewiesen wird, obwohl sie in einer TRY-Region liegen, für welche in den übrigen Bereichen die Klimaregion B gilt. (gelb schraffiert; siehe hierzu Vergleich der Klimakarten in Bild 6-5)

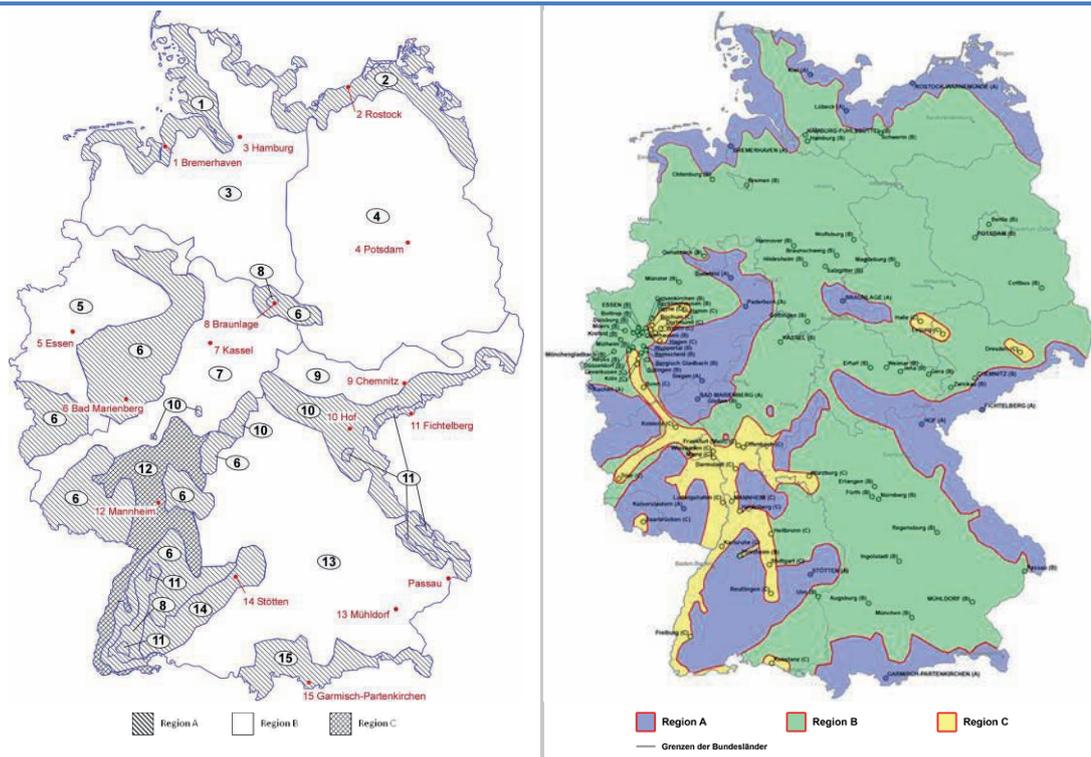


Bild 6-5: Gegenüberstellung der TRY-Regionen mit Zuordnung der Klimaregionen A, B und C zur Klimakarte der DIN 4108-2

Für die Auswertungen zum Stadtklimaeffekt (ggf. unter Berücksichtigung der Höhenkorrektur) erfolgt die Darstellung der Ergebnisse wie in Bild 6-6 beispielhaft für die Stadt Essen gezeigt. Neben der Auswertung von Simulationsrechnungen ist in jedem Diagramm auch die Anwendung des Sonneneintragskennwert-Verfahrens nach DIN 4108-2 gegenübergestellt.

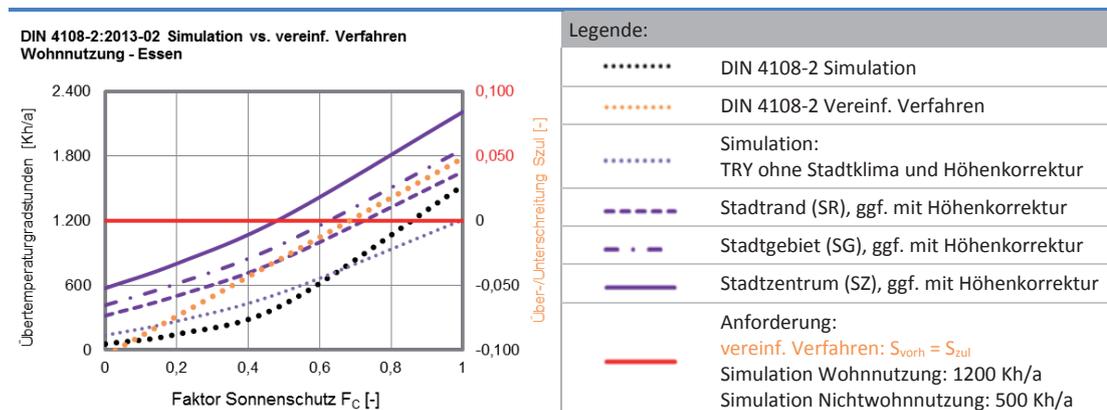


Bild 6-6: Beispiel mit Legende für die Auswertungen zum Stadtklimaeffekt

Als Graphen für die Auswertungen der Simulationsrechnungen sind die Auswertungen folgender Fälle, für welche die linke Ordinatenbeschriftung gilt, in diesen Diagrammen enthalten:

- **schwarz punktiert:** nach Klimakarte der DIN 4108-2 für die betreffende Stadt vorgegebener TRY-Datensatz je nach Klimaregionen A (TRY 2, Rostock), B (TRY 4, Potsdam) oder C (TRY 12, Mannheim)
- **lila punktiert:** Normal-TRY der TRY-Region, in der die betreffende Stadt liegt
- **lila gestrichelt:** Normal-TRY mit Stadteffekt für Stadtrand (SR) ggf. inklusive Höhenkorrektur
- **lila strich-punktiert:** Normal-TRY mit Stadteffekt für mittleres Stadtgebiet (SG) ggf. inklusive Höhenkorrektur
- **lila durchgängig:** Normal-TRY mit Stadteffekt für eng bebaute Innenstadt (SZ) ggf. inklusive Höhenkorrektur

Zusätzlich ist die Anwendung des Sonneneintragskennwerte-Verfahrens in den Diagrammen durch den **orange punktierten** Graphen dargestellt, für den die rechte Ordinatenbeschriftung gilt. Grundsätzlich werden die Ergebnisse für Wohn- und Nichtwohnnutzung dargestellt. Die horizontale roten Linie in den Graphen markiert in Bezug auf die Auswertung der Übertemperaturgradstunden jeweils die Anforderungswerte 1200 Kh/a bzw. 500 Kh/a und in Bezug auf die Auswertungen des vereinfachten Verfahrens den Fall, dass der vorhandene Sonneneintragskennwert gerade dem zulässigen entspricht. ($S_{zul} - S_{vorh} = 0$).

Zunächst soll anhand der Großstädte Berlin und Potsdam, die beide in der TRY-Region 4 liegen, der Einfluss des reinen Stadtklimaeffekts auf das Innenraumklima ausgewertet werden.

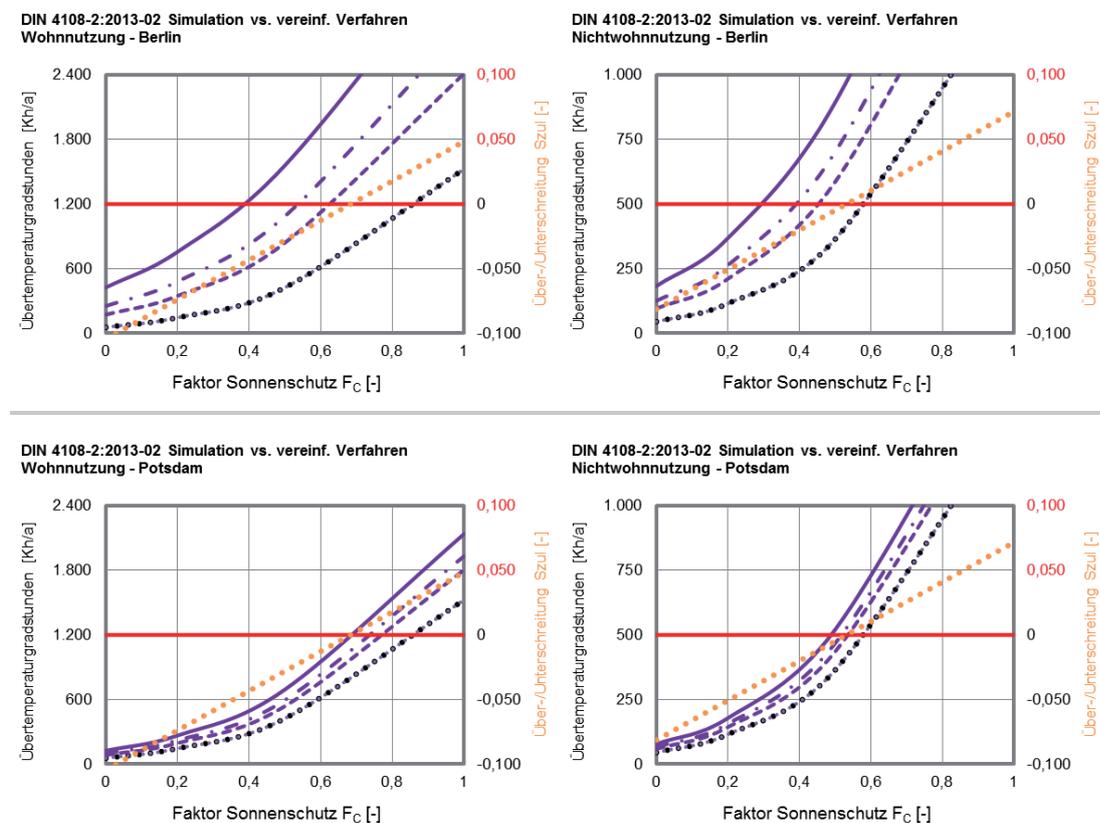


Bild 6-7: Einfluss des Stadtklimas am Beispiel der Städte Berlin und Potsdam für Wohn- und Nichtwohnnutzung

Anhand der in Bild 6-7 enthaltenen Auswertungen wird der Stadtklimaeffekt fast in seiner gesamten Bandbreite dargestellt. Berlin als größte Stadt Deutschlands stellt somit den größtmöglichen Stadtklimaeffekt dar. Die Auswertungen für die Stadt Potsdam, die mit knapp 160.000 Einwohnern zu den kleinsten der betrachteten Großstädte zählt, zeigen hingegen nur noch einen vergleichsweise geringen Effekt der Stadtklimas auf das Innenraumklima.

Zu den Ergebnissen im Einzelnen: In allen vier Diagrammen aus Bild 6-7 verlaufen der schwarz punktierte und der lila punktierte Graph deckungsgleich, da die betrachteten Städte Berlin und Potsdam beide in TRY-Region 4 liegen und das Normal-TRY der TRY-Region 4 gleichermaßen auch den für die Klimaregion B zu verwendenden Klimadatensatz repräsentiert. Die Gegenüberstellung der Auswertung der Simulationsrechnung zur Anwendung des vereinfachten Verfahrens zeigt hier im Fall der Wohnnutzung bezogen auf die Einhaltung des Anforderungswertes eine auf der sicheren Seite liegende Bewertung durch das vereinfachte Verfahren: der erforderliche F_C -Wert liegt ist etwa 0,15 kleiner als der nach Auswertung der Übertemperaturgradstunden. Im Fall der Nichtwohnnutzung sind die nach vereinfachtem Verfahren und Simulation erforderlichen F_C -Werte in etwa gleich, wobei das vereinfachte Verfahren noch geringfügig auf der sicheren Seite liegt. Der Stadtklimaeffekt selbst stellt sich für die Auswertungen bei der Wohnnutzung so dar, dass gegenüber einem erforderlichen F_C -Wert für das Normal-TRY in Höhe von etwa 0,85 für Berlin Stadtrand $F_C = 0,63$, für mittleres Stadtgebiet Berlin $F_C = 0,54$ und für Stadtzentrum Berlin $F_C = 0,4$ erforderlich sind. Hierzu ist im Vergleich für Potsdam Stadtrand $F_C = 0,78$, für das mittlere Stadtgebiet Potsdam $F_C = 0,72$ und Stadtzentrum Potsdam $F_C = 0,7$ erforderlich. Am intensivsten stellt sich der unterschied im erforderlichen F_C -Wert zwischen Normal-TRY und Stadtklima für Berlin mit einem ΔF_C von 0,45 dar, während sich für Potsdam nur ein ΔF_C von 0,15 ergibt. Im Fall der Nichtwohnnutzung liegt der erforderliche F_C -Wert bei Berlin Stadtzentrum bei 0,30, was einem ΔF_C in Höhe von 0,3 entspricht. Für Potsdam muss der für das Normal-TRY erforderliche F_C -Wert lediglich um $\Delta F_C = 0,10$ reduziert werden.

Anhand der Auswertungen zur Berlin und Potsdam kann der Stadtklimaeffekt in seinen drei Ausprägungen, welcher allein von der Einwohnerzahl abhängig ist, hinsichtlich seines Einflusses auf das Innenraumklima im Vergleich zum ländlichen Normal-TRY gut abgeschätzt werden. Zur Darstellung des Stadtklimaeffektes für Städte, bei denen neben dem Stadteffekt auch eine Höheneffekt zu berücksichtigen ist, erfolgt die Auswertung der Berechnungsergebnisse anhand zweier Städte aus TRY-Region 13: München und Würzburg. Durch die Auswahl dieser Städte können die beiden prinzipiellen Effekte hinsichtlich einer gleichzeitigen Modifikation der TRY-Datensätze in Bezug auf Stadtklima und Höhenkorrektur aufgezeigt werden:

1. Die Ortshöhe der zu bewertenden Stadt liegt um mehr als 100 Höhenmeter oberhalb der Repräsentanzstation der TRY-Region, wie für das Beispiel München mit 109 Metern oberhalb. Für diesen Fall sind die Auswirkungen auf das Innenraumklima infolge Stadtklima und Höhenkorrektur gegenläufig: aufgrund der höheren Ortslage herrschen niedrigere Außenlufttemperaturen und die thermische Beanspruchung verringert sich, das Stadtklima hingegen wirkt dieser „Entschärfung“ entgegen und erhöht die thermische Beanspruchung.
2. Die Ortshöhe der zu bewertenden Stadt liegt um mehr als 100 Höhenmeter unterhalb der Repräsentanzstation der TRY-Region, wie für das Beispiel Würzburg mit 232 Metern unterhalb. In diesem Fall wirken sich Höhenkorrektur und Stadtklima verschärfend auf die Situation aus.

Die Auswertung der Berechnungen für die Städte München und Würzburg zeigt Bild 6-8.

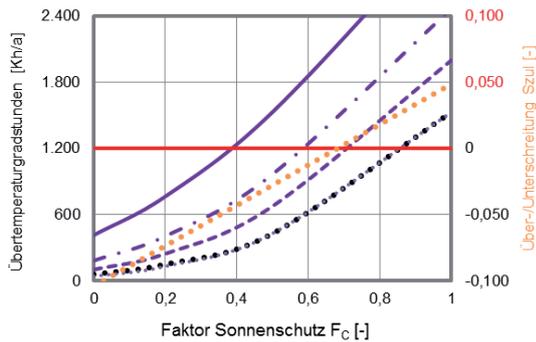
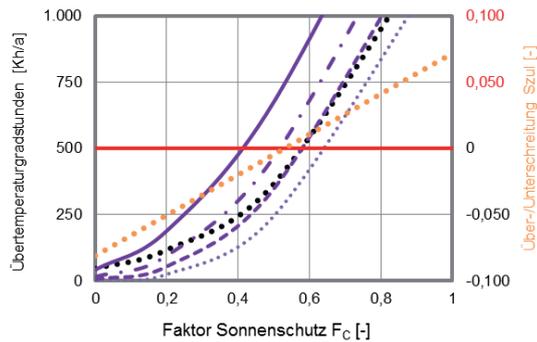
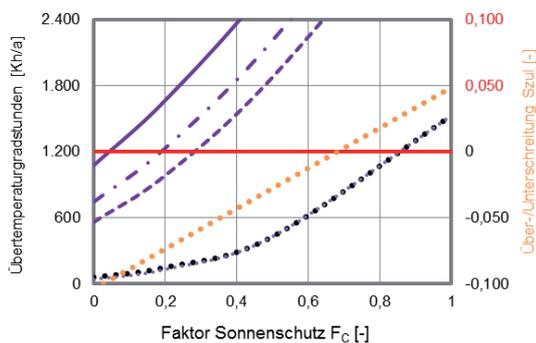
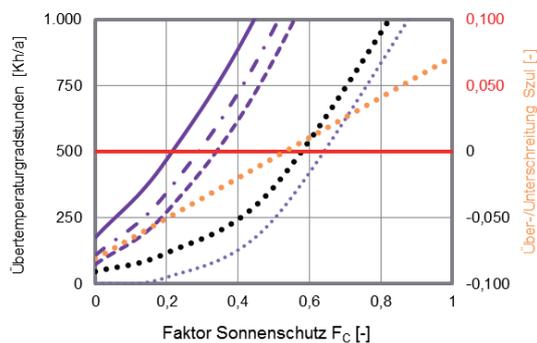
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - MuenchenDIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - MuenchenDIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - WuerzburgDIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Wuerzburg

Bild 6-8: Einfluss des Stadtklimas in Verbindung mit einer Höhenkorrektur am Beispiel der Städte München und Würzburg für Wohn- und Nichtwohnnutzung

Zunächst zeigen die Auswertungen in Bild 6-8 für die Stadt München mit etwa 1,38 Mio. Einwohnern in etwa vergleichbare Auswirkungen auf das Innenraumklima wie zuvor für die Stadt Berlin dargestellt. Im Fall der Wohnnutzung ist zur Einhaltung von 1200 Kh/a in München Stadtzentrum wie auch in Berlin ein F_c -Wert in Höhe von etwa 0,40 erforderlich, was in beiden Fällen im Vergleich zum Normal-TRY ohne Stadteffekt und ohne Höhenkorrektur einer Verbesserung um $\Delta F_c = 0,45$ entspricht. (Hinweis: scheinbar deckungsgleicher Verlauf für Normal TRY Region 4 (schwarz punktiert) und Normal TRY Region 13 (lila punktiert) bei Wohnnutzung ist zufällig) Das bedeutet in diesem Fall, dass sich offenbar der Stadteffekt in TRY-Region 13 und bezogen auf den hier zugrunde gelegten Basisfall intensiver auf die Erhöhung der thermischen Beanspruchung auswirkt als in TRY-Region 4, da für München trotz „entschärfender“ Höhenkorrektur die gleiche Verbesserung des F_c -wertes erforderlich ist, wie im Fall Berlin mit 3,5 Mio. Einwohnern.

Die Betrachtung der Auswertung zur Nichtwohnnutzung zeigt im Vergleich zu Berlin eine leicht unkritischere Situation. Während in Berlin noch ein F_c -Wert von etwa 0,30 zur Einhaltung von 500 Kh/a nötig ist, reicht in München ein F_c -Wert von etwa 0,40.

Die Auswertungen für die Stadt Würzburg in Bild 6-8 zeigen, dass die derzeitigen Festlegungen der DIN 4108-2 für diese Stadt deutlich auf der unsicheren Seite liegen. Während die Simulationsrechnungen unter Zugrundelegung des TRY-Datensatzes der TRY-Region 4 zu dem Ergebnis kommen, dass einen Sonnenschutz mit $F_c = 0,85$ die Einhaltung von 1200 Kh/a sicherstellt und das vereinfachte Verfahren mit einem erforderlichen F_c -Wert in Höhe von etwa 0,70 nur unwesentlich darunter liegt, kommen die Berechnungen unter Berücksichtigung des Stadtklimaeffektes und der Höhenkorrektur deutlich abweichenden Ergebnissen: für Würzburg Stadtrand ergibt sich ein erforderlicher F_c -Wert in Höhe von etwa 0,30, im mittleren Stadtgebiet ist bereits $F_c = 0,20$ erforderlich und für das Stadtzentrum

liegt der erforderliche F_c -Wert unterhalb von $F_c = 0,10$, was bedeutet, dass ohne zusätzlichen Kühlung eine Einhaltung von 1200 Kh/a für diesen Fall nicht möglich ist.

Für die Betrachtung der Nichtwohnnutzung in Würzburg stellt sich die Situation vergleichbar dar. Auch hier liegen die Anforderungen der derzeitigen DIN 4108-2 gegenüber den Berechnungen unter Berücksichtigung des Stadtklimas und der Höhenkorrektur auf der unsicheren Seite. Hierbei ist davon auszugehen, dass der wesentliche Einfluss, der zur Erhöhung der thermischen Beanspruchung führt, auf die Höhenkorrektur zurückzuführen ist (vgl. Bild 6-3), da für Würzburg der Stadteffekt bei etwa 134.000 Einwohnern vergleichsweise geringe Auswirkungen hat.

Es folgen in Bild 6-9 Auswertungen für die Städte Köln und Leverkusen. Beide Städte liegen auf dem Gebiet der TRY-Region 5, welcher grundsätzlich die Klimaregion B zugeordnet ist, die Städte selbst liegen allerdings in einem Bereich der Klimaregion C. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Zuge der Erarbeitung der neuen Klimakarte für die DIN 4108-2 nicht nur die TRY-Regionalisierung mit Zuordnung der 15 TRY-Regionen zu den Klimaregionen A, B und C zugrunde gelegt wurde, sondern auch eine Angleichung an die Kühllastzonenkarte der VDI 2078 [9] vorgenommen wurde. So wurden einzelne Bereiche in die auf Basis der TRY-Regionalisierung erstellte Klimakarte eingezeichnet und als Klimaregion C ausgewiesen [2] (vgl. hierzu Gegenüberstellung der Klimakarten in Bild 6-5).

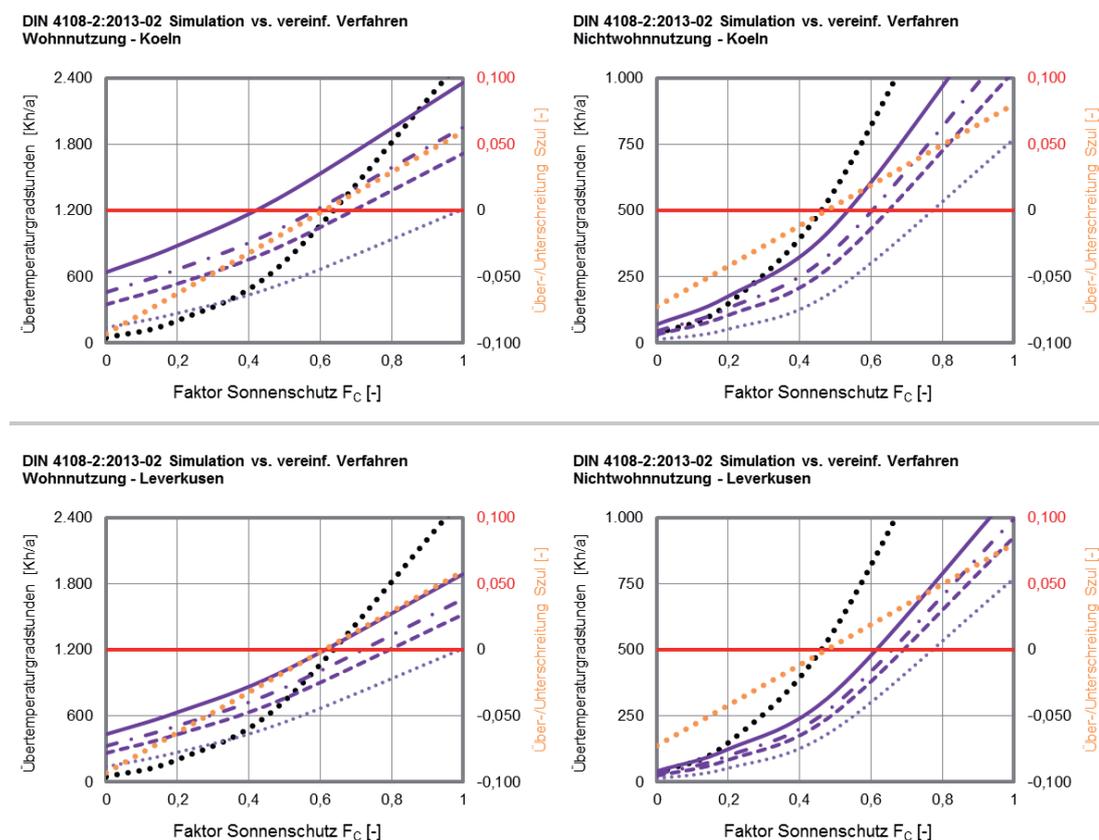


Bild 6-9: Einfluss des Stadtklimas für Städte, die in einer TRY-Region der Klimaregion B liegen, denen aber gemäß Klimakarte DIN 4108-2 die Klimaregion C zugewiesen ist. Auswertung für die Städte Köln und Leverkusen für Wohn- und Nichtwohnnutzung

In Bild 6-9 beschreiben jeweils der schwarz punktierte Graph und der orange punktierte Graph die Bewertung des hier zugrunde gelegten Beispiels gemäß Simulation und Sonneneintragskennwerte-Verfahren nach DIN 4108-2. Hierbei wird jeweils die Zuordnung zur Klimaregion C zugrunde gelegt. Dies bedeutet im Fall der Simulationsrechnungen die Bestimmung des Übertemperaturgradstundenwertes unter Ansatz des Normal-TRYs der TRY-

Region 12 mit einer Bezugstemperatur von 27°C. Die gegenübergestellten übrigen Auswertungen beziehen sich auf die Zuordnung zur Klimaregion B und die Bestimmung des Über-temperaturgradstundenwertes mit einer Bezugstemperatur von 26°C.

Die Auswertungen für den Anwendungsfall Wohnnutzung zeigen für die Stadt Köln, dass infolge der Zuordnung dieses Standortes zur Klimaregion C und demzufolge die Verwendung des Normal-TRYs der TRY-Region 12 in etwa der Situation mittleres Stadtgebiet entspricht. Der für Nichtwohnnutzung nach DIN 4108-2 ermittelte erforderliche F_C -Wert liegt mit etwa 0,46 sogar noch über dem für Köln Stadtzentrum ermittelten erforderlichen F_C -Wert in Höhe von etwa 0,52. Für die Stadt Leverkusen stellt sich die Situation ähnlich dar, wobei die nach DIN 4108-2 erforderlichen F_C -Werte sogar noch deutlicher auf der sicheren Seite liegen, da der Einfluss des Stadtklimas aufgrund der geringeren Einwohnerzahl (ca. 161.000 Einwohner im Vergleich zu etwas mehr als 1 Mio. bei Köln) weniger stark ausgeprägt ist.

Nachdem der Einfluss des Stadtklimas auf das Innenraumklima anhand der beispielhaften Auswertungen in Bild 6-7, Bild 6-8 und Bild 6-9 dargestellt wurde, wird an dieser Stelle auf die vollständige in Anhang B enthaltene grafische Auswertung aller 48 betrachteten Großstädte verwiesen.

6.3 Empfehlungen für die weitere Fortschreibung der DIN 4108-2 bzw. für den Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach EnEV

Die Auswertung sämtlicher Berechnungen zum Stadtklimaeinfluss und/oder zum Einfluss der Höhenkorrektur auf das Innenraumklima führen für die Fortschreibung der DIN 4108-2 bzw. für die durch die EnEV vorzugebenden Regeln für den sommerlichen Mindestwärmeschutz zu folgenden Empfehlungen:

- Bereits die Simulationsrechnungen unter Ansatz der 15 für die verschiedenen TRY-Regionen geltenden Normal-TRYs zeigen für das Gebiet Deutschlands eine große Bandbreite hinsichtlich der infolge des Klimaeinflusses auftretenden thermischen Beanspruchungen des Innenraumklimas. Unter Berücksichtigung der Höhenkorrektur vergrößert sich diese Bandbreite nochmals, sodass die Festlegung auf die TRY-Datensätze 2, 4 und 12 für die Klimaregionen A, B und C dieser Bandbreite nur schwer gerecht werden kann und infolge dieser Festlegung bezogen auf die formulierten Anforderungswerte für Teilbereiche unverhältnismäßig hohe Anforderungen formuliert werden. Während dies für die Anwendung eines vereinfachten Verfahrens zur Nachweisführung noch vertretbar ist, empfiehlt es sich, für den Fall der Nachweisführung durch Simulationsrechnung eine Öffnung der Berechnungsrandbedingungen in Erwägung zu ziehen, indem der individuelle Ansatz der 15 TRY-Datensätze ggf. unter Berücksichtigung der Höhenkorrektur vorgegeben wird. Eine solche von der DIN 4108-2 abweichende Regelung bezüglich der anzusetzenden Klimarandbedingungen könnte auch von Seiten der EnEV, wie auch in der aktuellen Fassung EnEV 2009 der Fall, vorgegeben werden. Hier wird formuliert, dass, wenn *„[...] zur Berechnung [...] ein ingenieurmäßiges Verfahren (Simulationsrechnung) angewendet [wird], so sind abweichend von DIN 4108-2:2003-07 Randbedingungen zu beachten, die die aktuellen klimatischen Verhältnisse am Standort des Gebäudes hinreichend gut wiedergeben.“*
- Wenn über das Sonneneintragskennwert-Verfahren die Möglichkeit eröffnet werden soll, einen Stadtklimaeffekt zu berücksichtigen, so ergibt sich einerseits die Notwendigkeit, auch die Höhenkorrektur in diesem Verfahren abzubilden. Die Berechnungen hierzu haben gezeigt, dass der Einfluss der Höhenkorrektur teilweise sogar größer ist, als der Einfluss des Stadtklimas. Damit dies sinnvoll geschehen kann, muss das Sonneneintragskennwerte-Verfahren auf die 15 TRY-Regionen an-

stelle der 3 Klimaregionen erweitert werden. Hierbei kann nach wie vor eine TRY-Regionen-spezifische Zuordnung zu einer Klimaregion A, B oder C beibehalten werden. Da sich aber die Höhenkorrektur in den 15 TRY-Region unterschiedlich auswirkt, ist eine Individualisierung hinsichtlich der 15 TRY-Regionen unumgänglich und darüber hinaus Voraussetzung für die Berücksichtigung des Stadtklimaeffektes im vereinfachten Verfahren. Die Berücksichtigung von Höhenkorrektur und Stadtklimaeinfluss im vereinfachten Verfahren würde demnach folgende Veränderungen in der Verfahrensstruktur erfordern:

1. Bereitstellung von Einzeltabellen mit Sonneneintragskennwerten für jede der 15 TRY-Regionen
2. Ermittlung anteiliger Sonneneintragskennwerte für TRY-Regionen, in denen eine Höhenkorrektur erforderlich sein kann:
 - Standorte höher als die Repräsentanzstation würden einen Bonus und
 - Standorte tiefer als die Repräsentanzstation würden einen Malus erhalten
3. Ermittlung anteiliger Sonneneintragskennwerte für den Stadtklimaeffekt für alle TRY-Regionen, in denen es Städte größer 100.000 Einwohner gibt

7 Auswertungen zum Nutzenergiebedarf für Kühlung

Insbesondere dann, wenn für Nichtwohngebäude verhältnismäßig große Fensterflächenanteile vorgesehen sind und zudem keine Erhöhung des nächtlichen Luftwechsels zur Wärmeabfuhr möglich ist, ist zur Vermeidung unzumutbarer thermischer Verhältnisse eine anlagentechnische Kühlung meist unvermeidlich. Unabhängig von der Art des eingesetzten Kühlsystems soll in diesem Kapitel auf der Ebene des Nutzenergiebedarfs für Kühlung untersucht werden, wie sich dieser in Abhängigkeit der Einflüsse Fensterflächenanteil und Nachtlüftung darstellt. Hierzu folgen in Bild 7-1 bis Bild 7-3 jeweils Auswertungen für die TRY-Regionen 2, 4 und 12 als Repräsentanzdatensätze der Klimaregionen A, B und C, wobei zunächst als Soll-Raumtemperatur jeweils die nach DIN 4108-2 geltende Bezugstemperatur von 25, 26 und 27°C vorgegeben wird. Durch den Ansatz dieser im Vergleich zu einem realen Kühlbetrieb verhältnismäßig hohen Soll-Raumtemperaturen soll ein sinnvoller Vergleich zu der fallweise ebenfalls gegenübergestellten Übertemperaturgradstundenbewertung nicht gekühlter Räume nach DIN 4108-2 ermöglicht werden. Weitere Auswertungen zum Ansatz niedrigerer Soll-Raumtemperaturen folgen anschließend.

Tabellarisch ausgewertet sind in Bild 7-1 bis Bild 7-3 jeweils für die Betrachtung „ohne Nachtlüftung“ und „erhöhte Nachtlüftung“ fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 50, 70 und 100 Prozent für Normal-TRY (nrm), Extrem-TRY (som), Zukunfts-Normal-TRY (z_nrm) sowie Zukunfts-Extrem-TRY (z_som). Die grafischen Darstellungen beschränken sich zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit auf die Gegenüberstellung von Normal-TRYs (punktiert) und Zukunfts-Normal-TRY (strich-punktiert).

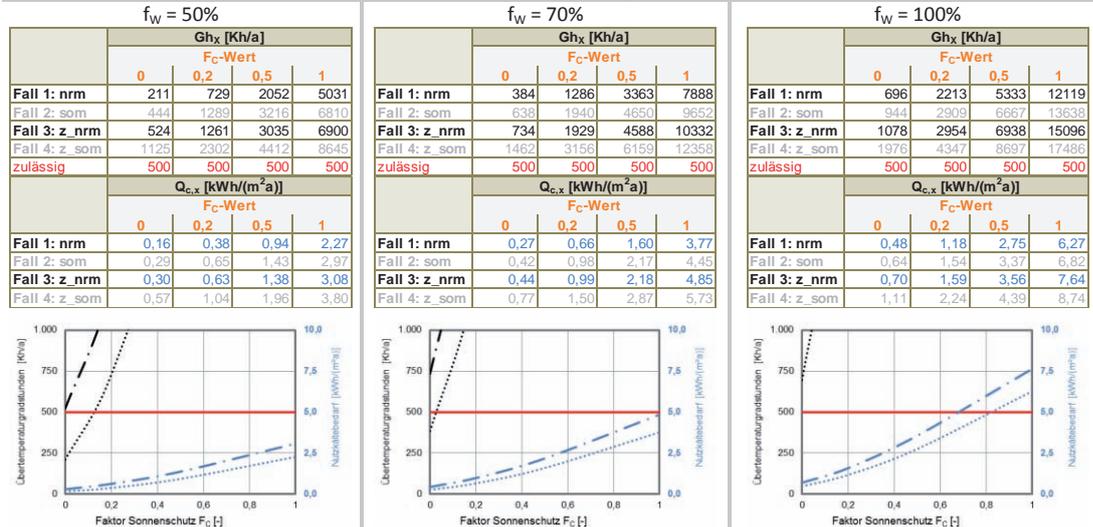
Berechnungsrandbedingungen:

(Basisfall) Nichtwohnnutzung,
TRY-Region 2

.....	Fall 1	Übertemperaturgradstunden Gh ₂₅ Normal-TRY
- . -	Fall 2	Übertemperaturgradstunden Gh ₂₅ Zukunfts-Normal-TRY
—	zulässig	Anforderungswert DIN 4108-2:2013-02: 500 Kh/a
.....	Fall 1	Nutzkältebedarf Q _{c,25} Normal-TRY
- . -	Fall 2	Nutzkältebedarf Q _{c,25} Zukunfts-Normal-TRY

TRY-Region 2 (Klimaregion A), Bezugstemperatur x = 25°C

ohne Nachtlüftung



erhöhte Nachtlüftung

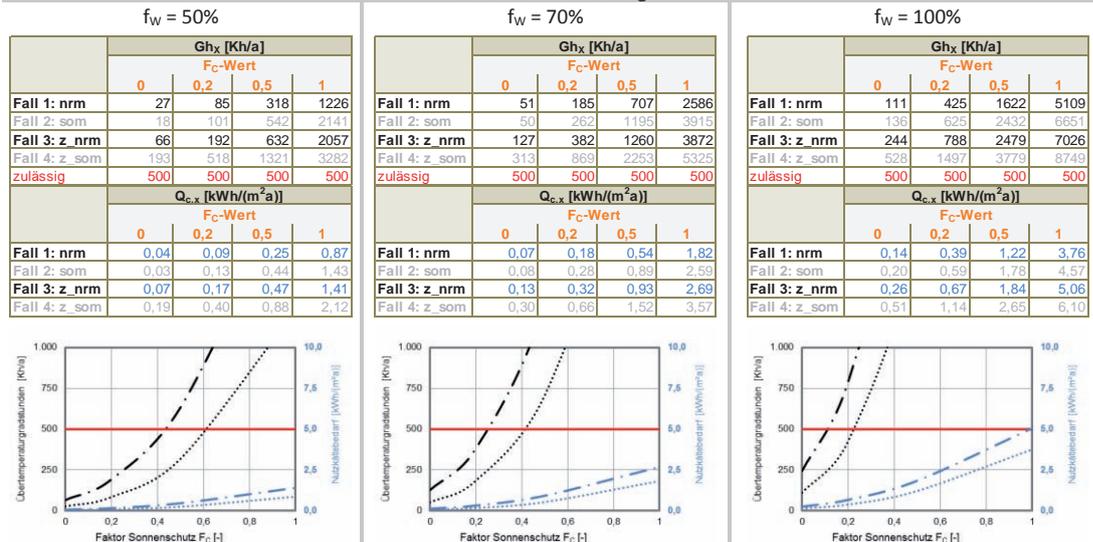


Bild 7-1: Gegenüberstellung von Auswertungen nicht gekühlter Räume (Übertemperaturgradstunden) und gekühlter Räume (Nutzkältebedarf). Klimaregion A, Nichtwohnnutzung, f_w = 50%, 70% und 100%. Für grafische Darstellungen: punktierter Verlauf: Normal-TRYs (nrm), strich-punktierter Verlauf: Zukunfts-Normal-TRYs (z_nrm)

Für diese Gegenüberstellung kann zunächst festgehalten werden, dass sich im Fall der Zukunfts-Normal-TRYs teilweise deutlich höhere Nutzkältebedarfswerte im Vergleich zu den Normal-TRYs ergeben. Prozentual ausgedrückt ergeben sich tendenziell höhere Abweichungen für solche Fälle, bei denen bereits für die Normal-TRYs niedrige spezifische Nutzkältebedarfswerte errechnet werden. So ergibt sich beispielsweise für den Fall F_c = 0,2 erhöhter Nachtlüftung und bei einem 50%igem Fensterflächenanteil eine Erhöhung um etwa 80 Prozent (Erhöhung von Q_{c,x} = 0,09 kWh/(m²a) auf Q_{c,x} = 0,17 kWh/(m²a)) und für den Fall F_c = 1,0 ohne Nachtlüftung und bei einem 100%igen Fensterflächenanteil eine Erhöhung um etwa 20 Prozent (Erhöhung von Q_{c,x} = 6,27 kWh/(m²a) auf Q_{c,x} = 7,64 kWh/(m²a)).

Tendenziell die gleichen Aussagen lassen sich für die in Bild 7-2 und Bild 7-3 enthaltenen Auswertungen für die Klimaregionen B und C festhalten.

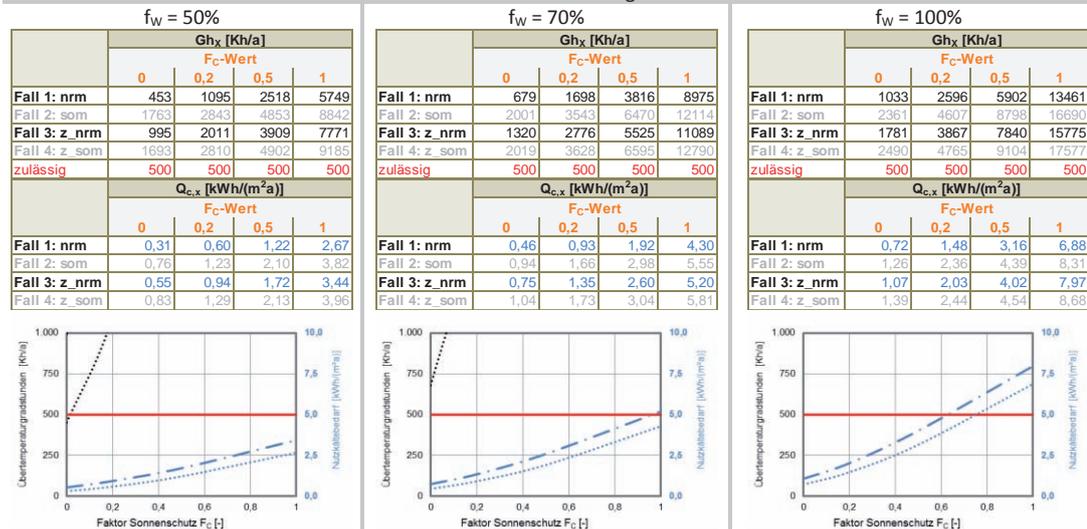
Berechnungsrandbedingungen:

(Basisfall) Nichtwohnnutzung,
TRY-Region 4

.....	Fall 1	Übertemperaturgradstunden Gh ₂₆ Normal-TRY
— · —	Fall 2	Übertemperaturgradstunden Gh ₂₆ Zukunfts-Normal-TRY
—	zulässig	Anforderungswert DIN 4108-2:2013-02: 500 Kh/a
.....	Fall 1	Nutzkältebedarf Q _{c,26} Normal-TRY
— · —	Fall 2	Nutzkältebedarf Q _{c,26} Zukunfts-Normal-TRY

TRY-Region 4 (Klimaregion B) , Bezugstemperatur x = 26°C

ohne Nachtlüftung



erhöhte Nachtlüftung

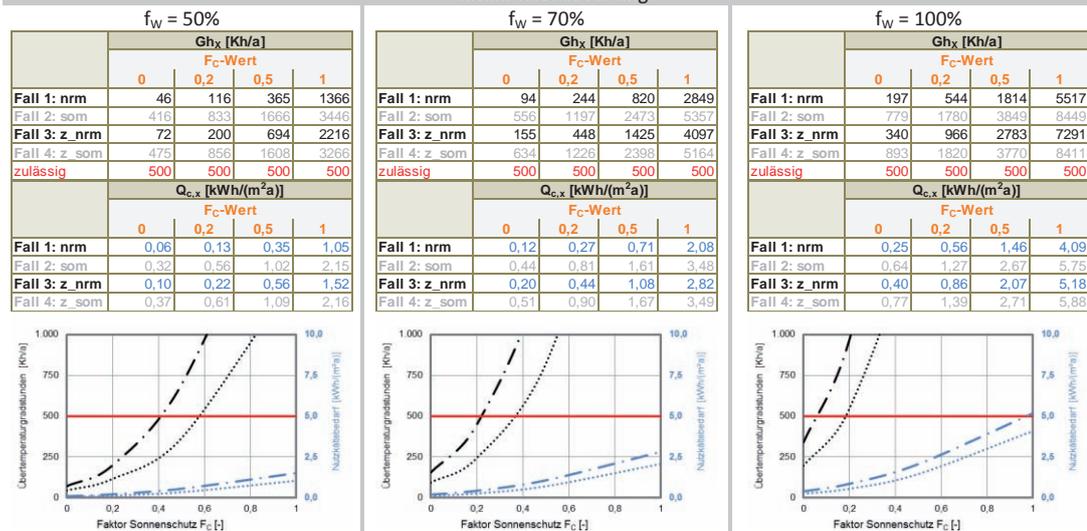


Bild 7-2: Gegenüberstellung von Auswertungen nicht gekühlter Räume (Übertemperaturgradstunden) und gekühlter Räume (Nutzkältebedarf). Klimaregion B, Nichtwohnnutzung, f_w = 50%, 70% und 100%. Für grafische Darstellungen: punktierter Verlauf: Normal-TRYs (nrm), strich-punktierter Verlauf: Zukunfts-Normal-TRYs (z_nrm)

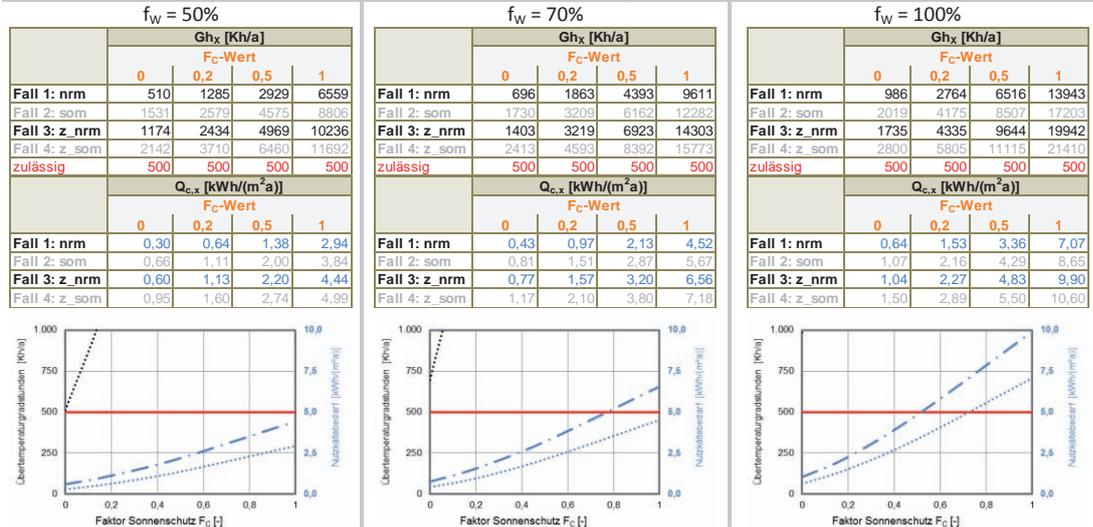
Berechnungsrandbedingungen:

(Basisfall) Nichtwohnnutzung,
TRY-Region 12

.....	Fall 1	Übertemperaturgradstunden Gh ₂₇ Normal-TRY
— · —	Fall 2	Übertemperaturgradstunden Gh ₂₇ Zukunfts-Normal-TRY
—	zulässig	Anforderungswert DIN 4108-2:2013-02: 500 Kh/a
.....	Fall 1	Nutzkältebedarf Q _{c,27} Normal-TRY
— · —	Fall 2	Nutzkältebedarf Q _{c,27} Zukunfts-Normal-TRY

TRY-Region 12 (Klimaregion C), Bezugstemperatur x = 27°C

ohne Nachtlüftung



erhöhte Nachtlüftung

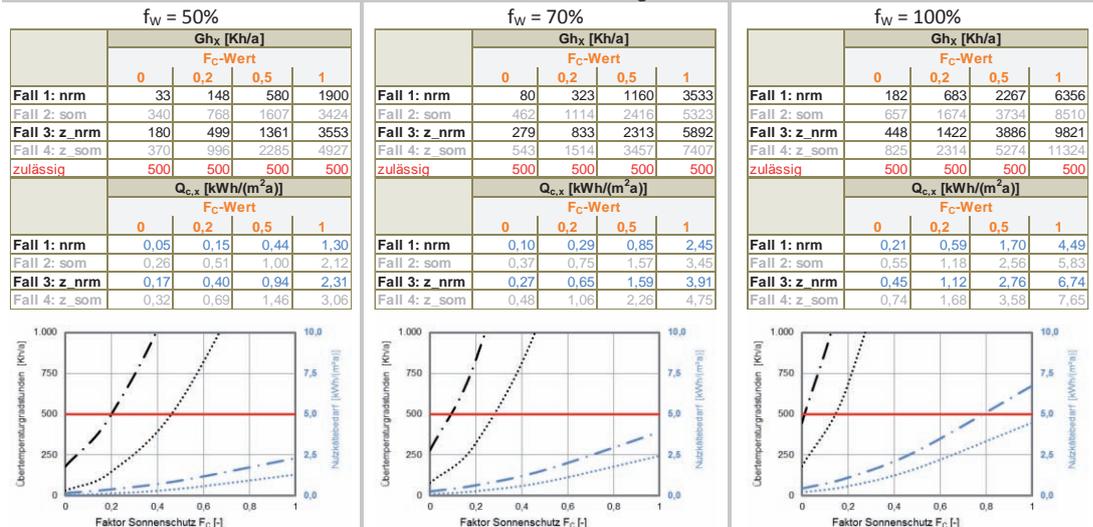


Bild 7-3: Gegenüberstellung von Auswertungen nicht gekühlter Räume (Übertemperaturgradstunden) und gekühlter Räume (Nutzkältebedarf). Klimaregion C, Nichtwohnnutzung, f_w = 50%, 70% und 100%. Für grafische Darstellungen: punktierter Verlauf: Normal-TRYs (nrm), strich-punktierter Verlauf: Zukunfts-Normal-TRYs (z_nrm)

Zusammenfassend für sämtliche Berechnungsfälle aus Bild 7-1 bis Bild 7-3 lässt sich festhalten, dass sich der aufzubringende Nutzkältebedarf zur Kühlung der auf die jeweils angesetzte Bezugstemperatur durch den Einsatz eines Sonnenschutzes erheblich reduzieren lässt. So ergibt sich bereits im Fall von einem F_c-Wert von 0,5 unabhängig von Fensterflächenanteil und Nachtlüftungsansatz im Vergleich zu der Situation ohne Sonnenschutz ein in etwa um 50 Prozent reduzierter Nutzkältebedarf. Der Vergleich der einzelnen Nutzkältebedarfswerte abhängig vom Fensterflächenanteil zeigt, dass eine Verdopplung des Fensterflächenanteils für die Fälle ohne Nachtlüftung zu einer Verdopplung bis Verdreifachung und für die Fälle mit erhöhter Nachtlüftung zu einer Verdreifachung bis Vervielfachung des Nutzkältebedarfs führt. Der Vergleich der Fälle ohne Nachtlüftung zu den Fällen mit erhöhter Nachtlüftung zeigt, dass sich durch die erhöhte Nachtlüftung der Nutzkältebedarf in etwa halbieren lässt.

Wie die bisherigen Auswertungen zeigen, ist für zukünftige Klimarandbedingungen mit einem teilweise deutlich erhöhten energetischen Aufwand für Gebäudekühlung zu rechnen, weshalb den zuvor geschilderten Abhängigkeiten in Bezug auf Fensterflächenanteil und Nachtlüftung besondere Aufmerksamkeit zukommen sollte. Dies unterstreichen auch die in Bild 7-4 folgenden Auswertungen für die Klimaregion B, für welche die bisher angesetzte Raum-Solltemperatur von 26°C dem Ansatz von 24°C gegenübergestellt wird, was eine Abschätzung zum zu erwartenden energetischen Aufwand im realen Kühlbetrieb ermöglicht.

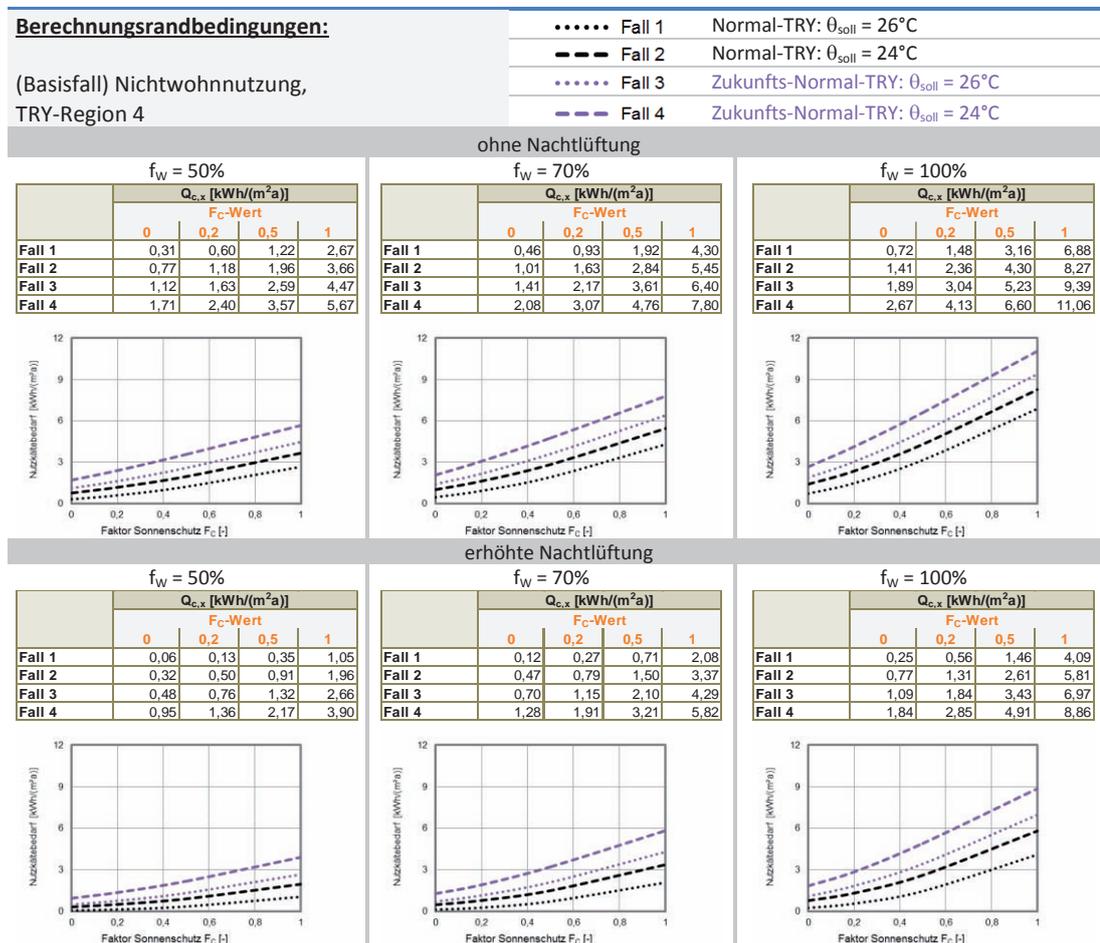


Bild 7-4: Variation der Raum-Solltemperatur für Kühlung in Klimaregion B für Normal- und Zukunfts-Normal-TRYS

Wie die Auswertungen in Bild 7-4 zeigen, ist mit einer Absenkung der Raum-Solltemperatur um 2 Kelvin eine deutliche Erhöhung des Nutzältebedarfs verbunden. Grundsätzlich zeigt sich erwartungsgemäß auch hier, dass eine wesentliche Reduzierung des erforderlichen Energieaufwands für Kühlung erreicht werden kann, wenn zusätzlich zur anlagentechnischen Kühlung mindestens ein guter innen liegender Sonnenschutz zum Einsatz kommt.

8 Vergleich der Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 zur Komfortbewertung nach DIN EN 15251

Bereits durchgeführte Untersuchungen zum vereinfachten Nachweisverfahren zum sommerlichen Wärmeschutz der DIN 4108-2:2003-07 [5] haben gezeigt, dass die hierin formulierten Anforderungen nicht sicherstellen, dass die Einhaltung der Kategorie III als unterste der in der DIN EN 15251 [4] beschriebenen Komfortklassen eingehalten wird. Im Wesentlichen betrifft dies Fälle mit vergleichsweise hohen Fensterflächenanteilen oder Fälle ohne Nachtlüftung, welche grundsätzlich durch das vereinfachte Verfahren der DIN 4108-2:2003-07 gegenüber einer Simulationsrechnung auf der unsicheren Seite liegend fehlbewertet werden.

In diesem Zusammenhang ist eine umfassende Bewertung der durch die Neufassung der DIN 4108-2 [3] formulierten Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz im Vergleich zu den Komfortkriterien der DIN EN 15251 zwingend erforderlich.

Um einen Vergleich der DIN 4108-2 zur DIN EN 15251 mit alleinigem Bezug auf den Sommerfall anzustellen, ist es erforderlich, über die in DIN EN 15251 genannten Berechnungsrandbedingungen hinaus weitergehende Festlegungen zu treffen. Weitere Ausführungen zu diesen Festlegungen folgen in 8.2.

Im Folgenden soll zunächst in Abschnitt 8.1 die Komfortbewertung nach DIN EN 15251 methodisch beschrieben werden.

8.1 Komfortbewertung nach DIN EN 15251

Zur Komfortbewertung verwendet DIN EN 15251 die in Tabelle 8-1 hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit beschriebenen Kategorien.

Tabelle 8-1: Beschreibung der Anwendbarkeit der verwendeten Kategorien aus DIN EN 15251

Kategorie	Beschreibung
I	hohes Maß an Erwartungen; empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten, z. B. Personen mit Behinderungen, kranke Personen, sehr kleine Kinder und ältere Personen
II	normales Maß an Erwartungen; empfohlen für neue und renovierte Gebäude
III	annehmbares, moderates Maß an Erwartungen; kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden
IV	Werte außerhalb der oben genannten Kategorien. Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden
ANMERKUNG Auch in anderen Normen wie z. B. EN 13779 und EN ISO 7730 wird eine Einteilung in Kategorien vorgenommen; diese können jedoch unterschiedlich benannt sein (A, B, C oder 1, 2, 3 usw.)	

Hierbei zielt die DIN EN 15251 nicht nur auf die Bewertung des thermischen Raumklimas ab, die in Tabelle 8-1 angegebenen Kategorien finden gleichsam Anwendung zur Bewertung von

- Raumluftqualität und Lüftungsraten,
- Luftfeuchte,
- Beleuchtung und
- Schall.

Die Auswertungen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung beziehen sich allein auf die Bewertung des thermischen Raumklimas. Hier unterscheidet DIN EN 15251 grundsätzlich

zwischen „Maschinell beheizten und/oder gekühlten Gebäuden“ und „Gebäuden ohne maschinelle Kühlung“, wovon ausschließlich letztgenannte Gebäude Gegenstand der hier angebotenen Untersuchungen sind. Hierzu wird die Methodik der Bewertung im folgenden Abschnitt 8.2 dargestellt.

8.2 Darstellung der Methodik und Festlegung von Randbedingungen zur Bewertung des thermischen Raumklimas für den Sommerfall nach DIN EN 15251

Wie zuvor bereits erwähnt, unterscheidet DIN 15251:2007-08 hinsichtlich der Bewertung des thermischen Raumklimas zwischen „maschinell beheizten und/oder gekühlten Gebäuden“ und „Gebäuden ohne maschinelle Kühlung“. Während für die Bewertung des thermischen Raumklimas von „maschinell beheizten und/oder gekühlten Gebäuden“ die Bewertungsmethoden der DIN EN 15251 im Wesentlichen auf den Grundlagen der in EN ISO 7730 [10] beschriebenen Bewertungskriterien PMV und PPD beruhen und als Planungshilfestellung zur anlagentechnischen Auslegung herangezogen werden können, wird hinsichtlich der thermischen Bewertung von „Gebäuden ohne maschinelle Kühlung“ mit überwiegend freier Lüftung ein alternatives Bewertungsverfahren bereitgestellt. Hierbei wird die Innentemperatur im Verhältnis zum gleitenden Mittelwert der Außentemperatur ausgewertet. Für die Komfortbewertung werden für die Kategorien I bis III jeweils Temperaturgrenzen in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur wie im Folgenden aufgeführt festgelegt:

Kategorie I	oberer Grenzwert:	$\theta_{i \max} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 2$	(6)
	unterer Grenzwert:	$\theta_{i \min} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 2$	(7)
Kategorie II	oberer Grenzwert:	$\theta_{i \max} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 3$	(8)
	unterer Grenzwert:	$\theta_{i \min} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 3$	(9)
Kategorie III	oberer Grenzwert:	$\theta_{i \max} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 4$	(10)
	unterer Grenzwert:	$\theta_{i \min} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 4$	(11)

mit:
 $\theta_{i \max}$ der obere Grenzwert der operativen Innentemperatur, in °C
 $\theta_{i \min}$ der untere Grenzwert der operativen Innentemperatur, in °C
 θ_{rm} der gleitende Mittelwert der Außentemperatur, in °C

Bild 8-1 stellt die von der jeweiligen Kategorie abhängigen Grenzwerte grafisch dar. Für die Bewertung des Sommerfalls werden ausschließlich die Überschreitungen der jeweils oberen Grenzwerte der Kategorien ausgewertet.

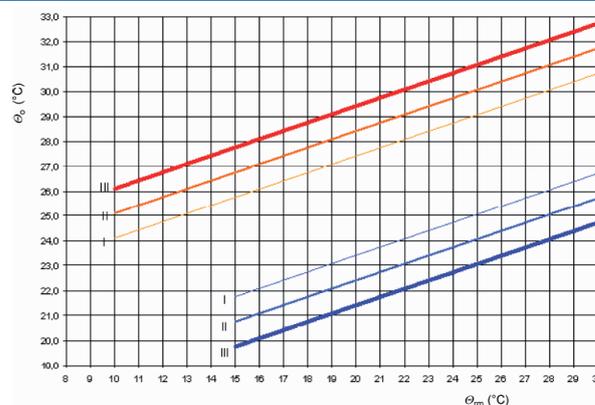


Bild 8-1: Auslegungswerte für operative Innentemperatur von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage, dargestellt als Funktion des exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur, nach [4]

Die zuvor dargestellten Gleichungen für $\theta_{i \max}$ und $\theta_{i \min}$ gelten für einen Temperaturbereich des gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur zwischen 10°C und 30°C (für $\theta_{i \max}$) bzw.

zwischen 15°C und 30°C (für $\theta_{i, \min}$). Unterhalb von 10°C (für $\theta_{i, \max}$) bzw. 15°C (für $\theta_{i, \min}$) sind die gleichen Grenzwerte anzusetzen, wie sie auch für maschinell gekühlte Gebäude empfohlen werden. Diese sind für

Kategorie I	oberer Grenzwert:	$\theta_{i, \max} = 25,5 \text{ °C}$	(12)
	unterer Grenzwert:	$\theta_{i, \max} = 21 \text{ °C}$	(13)
Kategorie II	oberer Grenzwert:	$\theta_{i, \max} = 26 \text{ °C}$	(14)
	unterer Grenzwert:	$\theta_{i, \max} = 20 \text{ °C}$	(15)
Kategorie III	oberer Grenzwert:	$\theta_{i, \max} = 27 \text{ °C}$	(16)
	unterer Grenzwert:	$\theta_{i, \max} = 19 \text{ °C}$ (Wohnnutzung 18°C)	(17)

Bild 8-2 stellt diese nach unten erweiterten Temperaturgrenzen für den Bereich des gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur < 10°C (obere Grenzen) bzw. < 15°C (untere Grenzen) in Ergänzung zu Bild 8-1 grafisch dar.

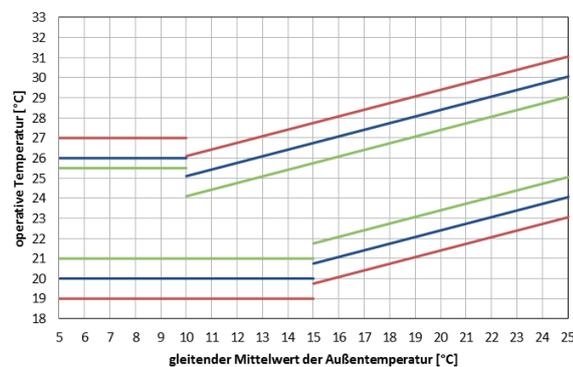


Bild 8-2: Auslegungswerte für operative Innentemperatur von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage wie in Bild 8-1 ergänzt für den Bereich des gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur < 10°C (obere Grenzen) bzw. < 15°C (untere Grenzen)

Das hier beschriebene Verfahren soll in erster Linie angewendet werden, um bei Gebäuden ohne maschinelle Kühlung und mit freier Lüftung die passiven thermischen Regeleinrichtungen, so der Wortlaut der DIN EN 15251 (Verringerung der solaren Wärmeeinträge durch Sonnenschutzvorrichtungen, wirksame Wärmespeicherkapazität, Auslegung von Fenstergröße und Fensterorientierung usw.), zu optimieren und so ein Überhitzen des Gebäudes zu vermeiden. Für Fälle von Gebäuden und Räumen, bei denen die Gebäudeauslegung und die freie Lüftung nicht ausreicht, um den geforderten Temperaturkategorien zu entsprechen, formuliert DIN EN 15251 Empfehlungen, wonach festgelegt werden kann, wie häufig die Bedingungen außerhalb des geforderten Bereichs liegen dürfen. Als empfohlene Kriterien für zulässige Abweichungen von den zuvor aufgeführten Grenzwerten wird hier formuliert, dass die Zuweisung einer jeweiligen Kategorie erfolgen kann, wenn Überschreitungen um nicht mehr als z.B. 3 % (oder 5 %) bezogen auf die Nutzungszeit von den jeweils geltenden Grenzwerten bestimmt werden.

Diese in DIN EN 15251 empfohlenen Kriterien hinsichtlich der zulässigen Überschreitungen werden in Tabelle 8-2 dargestellt.

Tabelle 8-2: Beispiele für die Dauer der Abweichungen, die 3 % bzw. 5 % der Zeit entsprechen [4]

3 % bzw. 5 % der Zeit	Täglich min	Wöchentlich Stunden	Monatlich Stunden	Jährlich Stunden
Arbeitsstunden	15/24	1/2	5/9	61/108
Stunden insgesamt	43/72	5/9	22/36	259/432

Die in Abschnitt 8.3 dargestellten Berechnungen werden jeweils für ein ganzes Jahr ausgewertet und beziehen sich demnach auf die in Tabelle 8-2 unter „Jährlich“ angegebenen Werte. Die Zeile „Arbeitsstunden“ legt für diese Berechnungen die empfohlenen zulässigen Überschreitungen für Nichtwohnnutzung, die Zeile „Stunden insgesamt“ die empfohlenen zulässigen Überschreitungen für Wohnnutzung fest.

8.3 Auswertungen zu DIN EN 15251 im Vergleich zu DIN 4108-2

Die im Folgenden dargestellten Vergleiche sollen zunächst eine grundsätzliche Einschätzung des durch DIN 4108-2 formulierten Anforderungsniveaus an den sommerlichen Mindestwärmeschutz im Vergleich zu den Komfortstufen der DIN 15251:2007-08 ermöglichen. Hierzu folgen in Abschnitt 8.3.1 zunächst Berechnungen unter Ansatz der Normal-TRYs der Klimaregionen A, B und C, Abschnitt 8.3.2 stellt anschließend den Vergleich von Normal-TRYs und Zukunfts-Normal-TRYs dar.

8.3.1 Auswertungen zum Ansatz der Normal-TRYs der Klimaregionen A, B und C

Für die Gegenüberstellung des durch DIN 4108-2 festgelegten sommerlichen Mindestwärmeschutzniveaus zu den Komfortkategorien nach DIN 15251:2007-08 erfolgt in Bild 8-3 und Tabelle 8-4 zunächst die Auswertung zum Basisfall Nichtwohnnutzung für die Klimaregionen A, B und C. Zum Vergleich stellt Tabelle 8-5 die Ergebnisse für den Betrachtungsfall „ohne Nachtlüftung“ dar. Bild 8-4 stellt schließlich die Ergebnisse zum Basisfall Wohnnutzung dar. Die tabellarische Auswertung zu den jeweils erforderlichen F_C -Werten, um nach DIN EN 15251 die Kategoriegrenzen bzw. nach DIN 4108-2 den sommerlichen Mindestwärmeschutz einzuhalten greift die bereits in Abschnitt 5.3 etablierte Zellformatierung auf:

0,58	..... erforderlicher F_C -Wert
0,04	..... nicht möglich, da erforderlicher F_C -Wert $\leq 0,10$
	..... nicht möglich, da selbst bei $F_C = 0,00$ $G_{h,x} > 500$ bzw. 1200 Kh/a

Zusätzlich weist die tabellarische Auswertung jeweils aus, welche Kategorie nach DIN EN 15251 erreicht wird, wenn der nach DIN 4108-2 erforderlichen F_C -Wert angesetzt wird.

Für sämtliche Auswertungen erfolgen Darstellungen für fassadenbezogene Fensterflächenanteile von 30, 50, 70 und 100 Prozent. Die Legende zu den Berechnungsfällen aus Bild 8-3 bis Bild 8-4 ist in Tabelle 8-3 wiedergegeben.

Tabelle 8-3: Legende zu Bild 8-3 und Bild 8-4

Legende zu:	..... Fall 1	fassadenbezogener Fensterflächenanteil $f_w = 30\%$
Bild 8-3: Basisfall Nichtwohnnutzung	----- Fall 2	fassadenbezogener Fensterflächenanteil $f_w = 50\%$
Bild 8-4: Basisfall Wohnnutzung	— • — Fall 3	fassadenbezogener Fensterflächenanteil $f_w = 70\%$
	———— Fall 4	fassadenbezogener Fensterflächenanteil $f_w = 100\%$
	— zulässig	DIN 4108-2 500 Kh/a (Nichtwohnnutzung) DIN 4108-2 1200 Kh/a (Wohnnutzung)
	— 3%-Anf.	DIN EN 15251 3%-Anforderung
	— 5%-Anf.	DIN EN 15251 5%-Anforderung

Es folgen in Bild 8-3 und Tabelle 8-4 die Auswertungen zum Basisfall Nichtwohnnutzung.

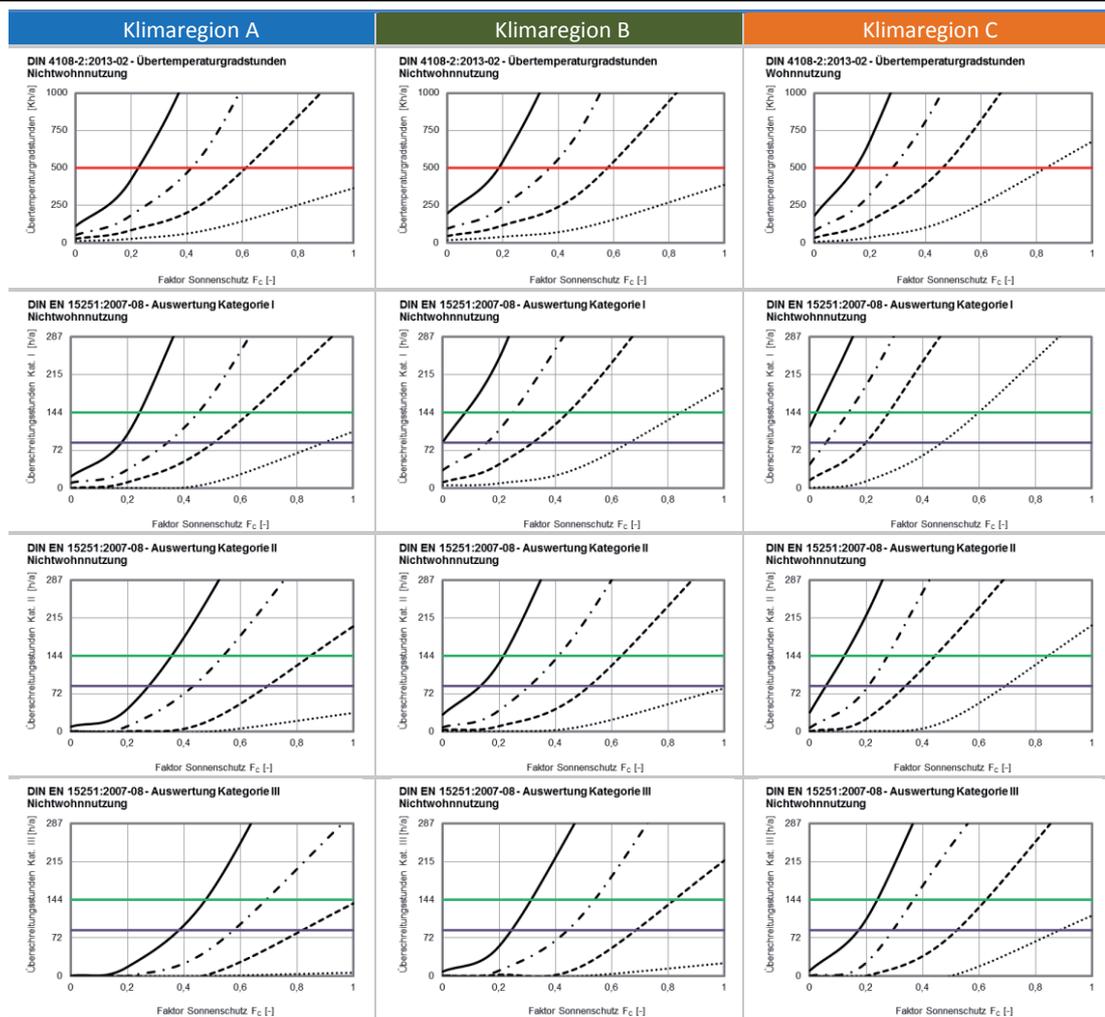


Bild 8-3: Vergleich der Kategorien I, II und III nach DIN 15251 zur DIN 4108-2 für den Basisfall Nichtwohnnutzung bei Variation des Fensterflächenanteils. Auswertung für die Normal-TRYs der Klimaregion A, B und C, Legende siehe Tabelle 8-3

Tabelle 8-4: Erforderliche F_c -Werte nach DIN 4108-2 für den sommerlichen Mindestwärmeschutz und nach DIN EN 15251 zur Einhaltung der Kategorien I, II und III für den Basisfall Nichtwohnnutzung

TRY-Region	Sommer-Klimaregion	erforderliche F_c -Werte [-] bei fassadenbezogenem Fensterflächenanteil von												
		DIN EN 15251:2007-08 - 3% Kriterium Kategorie I				DIN EN 15251:2007-08 - 3% Kriterium Kategorie II				DIN EN 15251:2007-08 - 3% Kriterium Kategorie III				
		$f_w = 30\%$	$f_w = 50\%$	$f_w = 70\%$	$f_w = 100\%$	$f_w = 30\%$	$f_w = 50\%$	$f_w = 70\%$	$f_w = 100\%$	$f_w = 30\%$	$f_w = 50\%$	$f_w = 70\%$	$f_w = 100\%$	
2	Rostock	A	0,89	0,51	0,34	0,19	1,00	0,69	0,42	0,27	1,00	0,81	0,58	0,39
4	Potsdam	B	0,66	0,33	0,16		1,00	0,52	0,31	0,13	1,00	0,69	0,42	0,24
12	Mannheim	C	0,48	0,20	0,06		0,70	0,34	0,20		0,88	0,52	0,30	0,18
		DIN EN 15251:2007-08 - 5% Kriterium Kategorie I				DIN EN 15251:2007-08 - 5% Kriterium Kategorie II				DIN EN 15251:2007-08 - 5% Kriterium Kategorie III				
2	Rostock	A	1,00	0,63	0,46	0,24	1,00	0,85	0,54	0,35	1,00	1,00	0,69	0,48
4	Potsdam	B	0,85	0,44	0,25	0,09	1,00	0,62	0,41	0,21	1,00	0,82	0,55	0,31
12	Mannheim	C	0,60	0,29	0,13	0,02	0,83	0,44	0,28	0,12	1,00	0,62	0,37	0,23
		erf. F_c -Wert [-]				DIN 4108-2:2013-02 entspr. bei 3%-Krit. DIN EN 15251:2007-08 Kategorie				entspr. bei 5%-Krit. DIN EN 15251:2007-08 Kategorie				
2	Rostock	A	1,00	0,61	0,42	0,22	II	II	II	II	I	I	I	I
4	Potsdam	B	1,00	0,58	0,37	0,18	II	III	III	III	II	II	II	II
12	Mannheim	C	0,83	0,46	0,28	0,15	III	III	III	III	II	III	II	III

Allein aufgrund der durch DIN 4108-2 mit den fixen Bezugstemperaturen 25, 26 und 27 °C vorgenommenen „starr“ Einteilung Deutschlands in die Klimaregionen A, B und C ist in Bezug auf einen Vergleich zu einer Auswertung nach DIN EN 15251 zu erwarten, dass dieser Vergleich zu keiner einheitlichen Kategorie-Entsprechung über die drei Klimaregionen führen wird. Zwar ist mit der Festlegung der Kategoriegrenzen nach DIN EN 15251 in Abhän-

gigkeit des gleitenden Mittelwerts der Außentemperatur indirekt eine „gleitende“ Regionalisierung Deutschland verbunden, durch die bei höheren Außentemperaturen auch die Obergrenzen der Kategoriegrenzen nach oben verschoben werden, unwahrscheinlich ist jedoch, dass hierbei jeweils eine Entsprechung zu den Bezugstemperaturen der Klimaregionen festzustellen ist. So zeigen die Auswertungen in Bild 8-3 bzw. in Tabelle 8-4 für die Klimaregion A, dass ein Sonnenschutz, der gemäß DIN 4108-2 dimensioniert wird, für alle betrachteten Fensterflächenanteile zur Einhaltung der **Kategorie I** nach DIN EN 15251 führt, wenn das 5%-Anforderungskriterium angesetzt wird. Demgegenüber ergibt die entsprechende Betrachtung der Klimaregion B in allen Fällen lediglich die **Kategorie II**. Im Fall des 50%igen und 100%igen Fensterflächenanteils wird in Klimaregion C sogar nur die **Kategorie III** erreicht, da die nach DIN 4108-2 erforderlichen F_C -Werte knapp über den für Kategorie II erforderlichen Werten liegen. Eine Betrachtung des 3%-Anforderungskriteriums führt tendenziell zu ähnlichen Ergebnissen: im Fall der Klimaregion A entspricht das Anforderungsniveau der DIN 4108-2 durchweg der Kategorie II, für Klimaregion B bei einem 30%igen Fensterflächenanteil ebenfalls Kategorie II und ab dem 50%igen Fensterflächenanteil in Klimaregion B sowie durchweg für alle Fensterflächenanteile in Klimaregion C ergibt sich eine Entsprechung zu Kategorie III.

Es folgt in Tabelle 8-5 die Auswertung zu dem (Basis-)Fall Nichtwohnnutzung ohne Nachtlüftung. Auf eine grafische Darstellung der Auswertungen wird an dieser Stelle verzichtet.

Tabelle 8-5: Erforderliche F_C -Werte nach DIN 4108-2 für den sommerlichen Mindestwärmeschutz und nach DIN EN 15251 zur Einhaltung der Kategorien I, II und III für den (Basis-)Fall Nichtwohnnutzung ohne Nachtlüftung

TRY-Region	Sommer-Klimaregion	erforderliche F_C -Werte [-] bei fassadenbezogenem Fensterflächenanteil von													
		DIN EN 15251:2007-08 - 3% Kriterium Kategorie I				DIN EN 15251:2007-08 - 3% Kriterium Kategorie II				DIN EN 15251:2007-08 - 3% Kriterium Kategorie III					
		$f_w = 30\%$	$f_w = 50\%$	$f_w = 70\%$	$f_w = 100\%$	$f_w = 30\%$	$f_w = 50\%$	$f_w = 70\%$	$f_w = 100\%$	$f_w = 30\%$	$f_w = 50\%$	$f_w = 70\%$	$f_w = 100\%$		
2	Rostock	A	0,30	0,10	0,02		0,52	0,24	0,10	0,02		0,65	0,33	0,22	0,06
4	Potsdam	B					0,21	0,02				0,41	0,18	0,04	
12	Mannheim	C					0,02					0,20	0,05		
		DIN EN 15251:2007-08 - 5% Kriterium Kategorie I				DIN EN 15251:2007-08 - 5% Kriterium Kategorie II				DIN EN 15251:2007-08 - 5% Kriterium Kategorie III					
2	Rostock	A	0,40	0,17	0,06		0,60	0,30	0,17	0,03		0,75	0,40	0,26	0,12
4	Potsdam	B	0,08				0,29	0,09	0,01			0,52	0,23	0,10	0,02
12	Mannheim	C					0,12	0,01				0,28	0,11	0,03	
		DIN 4108-2:2013-02													
		erf. F_C -Wert [-]				entspr. bei 3%-Krit. DIN EN 15251:2007-08 Kategorie				entspr. bei 5%-Krit. DIN EN 15251:2007-08 Kategorie					
2	Rostock	A	0,33	0,12	0,03		II	II	n. m.	n. m.	I	I	n. m.	n. m.	
4	Potsdam	B	0,18	0,01			II	n. m.	n. m.	n. m.	II	n. m.	n. m.	n. m.	
12	Mannheim	C	0,09				n. m.	n. m.	n. m.	n. m.	n. m.	n. m.	n. m.	n. m.	

Gemäß Auswertung der Berechnungsfälle Nichtwohnnutzung ohne Nachtlüftung in Tabelle 8-5 lässt sich für das 3%-Anforderungskriterium eine Übereinstimmung zwischen Kategorie II nach DIN 15251:2007-08 und DIN 4108-2 feststellen, wobei die in Klimaregion A erforderlichen F_C -Werte nach DIN 4108-2 noch deutlich unterhalb den für Kategorie II nach DIN EN 15251 erforderlichen Werten liegen. Was die grundsätzliche Ausführbarkeit bezogen auf die betrachteten Fensterflächenanteile betrifft, führen die Bewertungen nach DIN EN 15251 (3%-Krit./Kat. II) und DIN 4108-2 zum gleichen Bewertungen: in Klimaregion A sind die Fensterflächenanteile 30% und 50 % und in Klimaregion B nur der 30%ige Fensterflächenanteil so ausführbar, dass die entsprechenden Anforderungen eingehalten werden können. Alle übrigen Fälle sind nach DIN 4108-2 sowie nach DIN EN 15251 nicht möglich (*Hinweis: Bezeichnung „n. m.“ in Tabelle 8-5 steht für Ausführung nach DIN 4108-2 nicht möglich*).

Zum Vergleich DIN 4108-2 zur DIN EN 15251:2007-8 für den Fall Wohnnutzung folgt in Bild 8-4 und Tabelle 8-6 die Auswertung zum Basisfall Wohnnutzung wie zuvor für die Klimaregionen A, B und C und für Fensterflächenanteile von 30, 50, 70 und 100 Prozent.

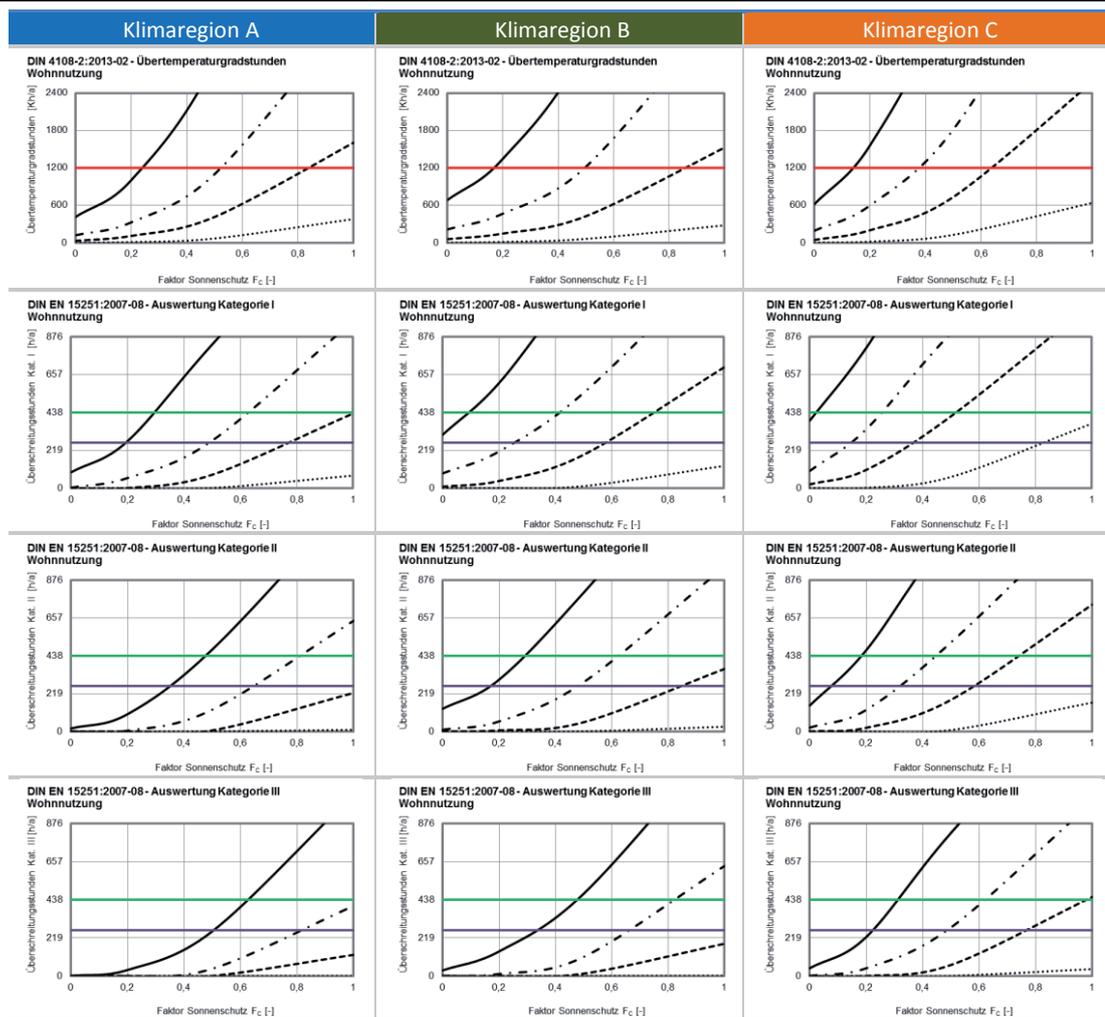


Bild 8-4: Vergleich der Kategorien I, II und III nach DIN 15251 zur DIN 4108-2 für den Basisfall Wohnnutzung bei Variation des Fensterflächenanteils. Auswertung für die Normal-TRYs der Klimaregion A, B und C. Legende siehe Tabelle 8-3

Tabelle 8-6: Erforderliche F_c -Werte nach DIN 4108-2 für den sommerlichen Mindestwärmeschutz und nach DIN EN 15251 zur Einhaltung der Kategorien I, II und III für den Basisfall Wohnnutzung

TRY-Region	Sommer-Klimaregion	erforderliche F_c -Werte [-] bei fassadenbezogenem Fensterflächenanteil von												
		DIN EN 15251:2007-08 - 3% Kriterium Kategorie I				DIN EN 15251:2007-08 - 3% Kriterium Kategorie II				DIN EN 15251:2007-08 - 3% Kriterium Kategorie III				
		$f_w = 30\%$	$f_w = 50\%$	$f_w = 70\%$	$f_w = 100\%$	$f_w = 30\%$	$f_w = 50\%$	$f_w = 70\%$	$f_w = 100\%$	$f_w = 30\%$	$f_w = 50\%$	$f_w = 70\%$	$f_w = 100\%$	
2	Rostock	A	1,00	0,78	0,49	0,20	1,00	1,00	0,64	0,35	1,00	1,00	0,81	0,50
4	Potsdam	B	1,00	0,59	0,26		1,00	0,85	0,49	0,18	1,00	1,00	0,66	0,33
12	Mannheim	C	0,83	0,28	0,15		1,00	0,59	0,33	0,08	1,00	0,78	0,48	0,22
			DIN EN 15251:2007-08 - 5% Kriterium Kategorie I				DIN EN 15251:2007-08 - 5% Kriterium Kategorie II				DIN EN 15251:2007-08 - 5% Kriterium Kategorie III			
2	Rostock	A	1,00	1,00	0,63	0,20	1,00	1,00	0,82	0,49	1,00	1,00	1,00	0,63
4	Potsdam	B	1,00	0,75	0,41	0,10	1,00	1,00	0,62	0,30	1,00	1,00	0,81	0,49
12	Mannheim	C	1,00	0,43	0,26	0,02	1,00	0,74	0,44	0,19	1,00	1,00	0,61	0,31
			erf. F_c -Wert [-]				DIN 4108-2:2013-02 entspr. bei 3%-Krit. DIN EN 15251:2007-08 Kategorie				entspr. bei 5%-Krit. DIN EN 15251:2007-08 Kategorie			
2	Rostock	A	1,00	0,84	0,53	0,24	I	II	II	II	I	I	I	II
4	Potsdam	B	1,00	0,85	0,50	0,22	I	II	III	III	I	II	II	II
12	Mannheim	C	1,00	0,64	0,38	0,14	II	III	III	III	I	II	II	II

Wie bereits anhand der Auswertungen zur Nichtwohnnutzung festgestellt, zeigen auch die Ergebnisse zum Basisfall Wohnnutzung in Bild 8-4 bzw. Tabelle 8-6, dass tendenziell unterschiedliche klimaregionsabhängige Entsprechungen des durch DIN 4108-2 definierten Anforderungsniveaus zu den Kategorien nach DIN EN 15251 gefunden werden können. So ergibt sich für die Klimaregion A tendenziell eine bessere Kategorie als in Klimaregion C.

Darüber hinaus scheint ebenfalls eine Tendenz zur Einstufung in eine bessere Kategorie bei einem geringeren Fensterflächenanteil feststellbar zu sein.

8.3.2 Normal-TRYs und Zukunfts-Normal-TRYs im Vergleich

Nachdem durch die Auswertungen des vorigen Abschnittes eine grundsätzliche Einschätzung des durch DIN 4108-2 formulierten Anforderungsniveaus bei Ansatz der Normal-TRYs in Bezug auf die Kategorien der DIN EN 15251 möglich ist, sollen durch die im Folgenden dokumentierten Berechnungen der Ansatz der Zukunfts-Normal-TRYs dem bisherigen Ansatz der Normal-TRYs gegenübergestellt werden. Hierzu in Tabelle 8-7 die Legende zu den Auswertungen in Bild 8-5 und Bild 8-6 zum Basisfall Nichtwohn- und Wohnnutzung.

Tabelle 8-7: Legende zu Bild 8-5 und Bild 8-6

Legende zu:	..... Fall 1	Normal-TRY bei $f_w = 50\%$
Bild 8-5: Basisfall Nichtwohnnutzung	--- Fall 2	Zukunfts-Normal-TRY bei $f_w = 50\%$
Bild 8-6: Basisfall Wohnnutzung	— zulässig	DIN 4108-2 500 Kh/a (Nichtwohnnutzung) 1200 Kh/a (Wohnnutzung)
	— 3%-Anf.	DIN EN 15251 3%-Anforderung
	— 5%-Anf.	DIN EN 15251 5%-Anforderung

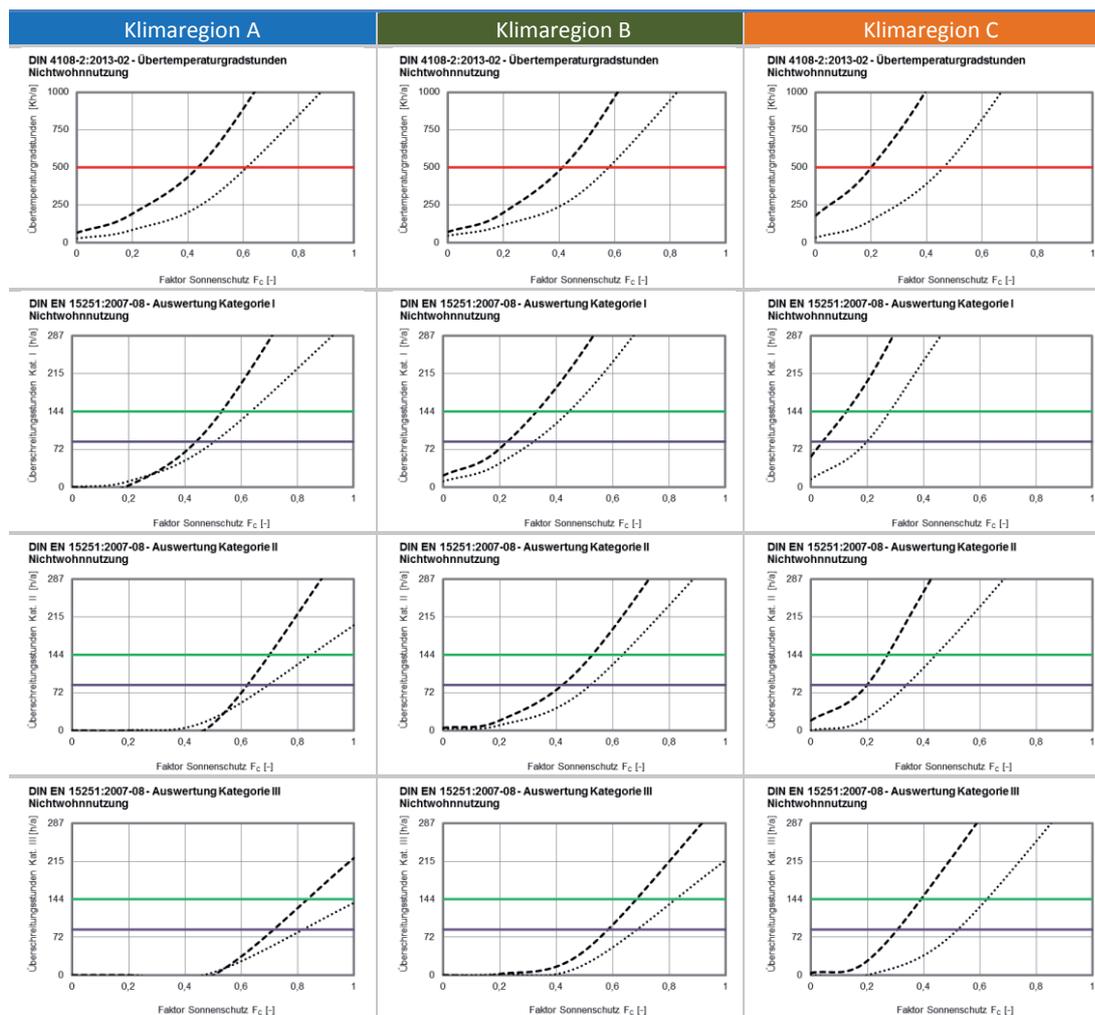


Bild 8-5: Vergleich der Kategorien I, II und III nach DIN 15251 zur DIN 4108-2 für den Basisfall Nichtwohnnutzung bei Variation des Fensterflächenanteils. Auswertung für die Normal-TRYs der Klimaregion A, B und C, Legende siehe Tabelle 8-7

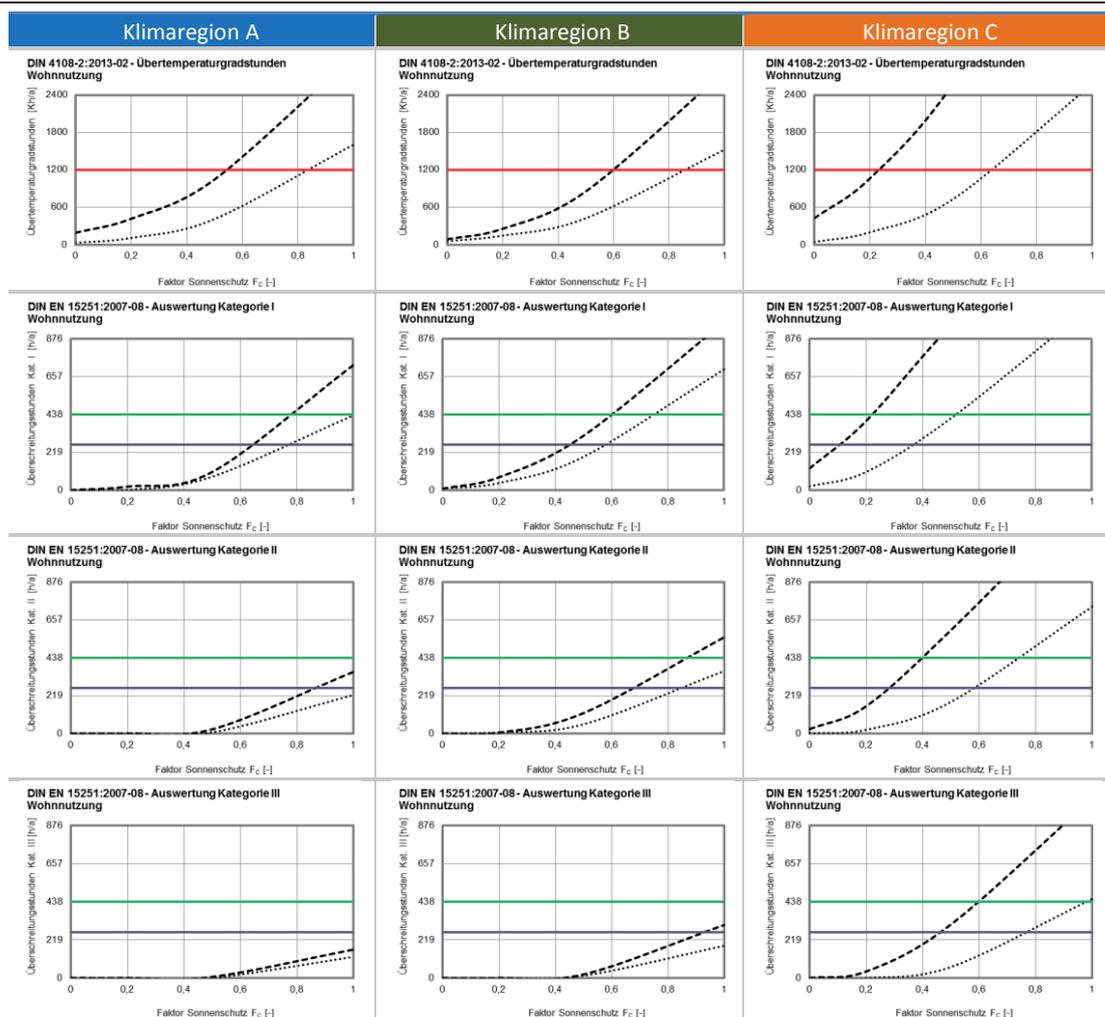


Bild 8-6: Vergleich der Kategorien I, II und III nach DIN 15251 zur DIN 4108-2 für den Basisfall Nichtwohnnutzung bei Variation des Fensterflächenanteils. Auswertung für die Normal-TRYs der Klimaregion A, B und C, Legende siehe Tabelle 8-7

Der Vergleich der zur Einhaltung der Anforderungen bzw. Kategoriegrenzen erforderlichen F_c -Werte im Fall der Normal-TRYs gegenüber den Zukunfts-Normal-TRYs zeigt sowohl für die Betrachtung der Wohn- als auch der Nichtwohnnutzung, dass die nach DIN 4108-2 jeweils erforderliche Reduzierung des F_c -wertes deutlich über der nach DIN EN 15251 erforderlicher Reduzierung liegt. Dies ist auf den Bezug zum gleitenden Mittelwert der Außentemperatur im Fall der DIN EN 15251 gegenüber der starren Vorgabe der Bezugstemperaturen durch die DIN 4108-2 zurückzuführen. Durch diesen dynamischen Bezug zur Außentemperatur wird im Fall der DIN EN 15251 eine adaptive Anpassung des Anforderungsniveaus an die mit dem Klimawandel verbundenen steigenden Außentemperaturen erreicht.

8.3.3 Kalibrierung der Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz an der Kategorie II der DIN EN 15251 als Option für die weitere Fortschreibung der DIN 4108-2

Die Einteilung Deutschlands in die Klimaregionen A, B und C durch DIN 4108-2 mit den nachweisthechnisch Anzusetzenden Normal-TRYs der TRY-Region 2, 4 und 12 führt wie in Abschnitt 6 bereits dokumentiert zwar in der überwiegenden Zahl der Fälle zu einer „auf der sicheren Seite liegenden“ Bewertung sowohl durch das Sonneneintragskennwertverfahren als auch für den Fall, dass Simulationsrechnungen für den Nachweis zum sommerlichen Mindestwärmeschutz angestellt werden. In Einzelfällen werden allerdings im Vergleich zur Ortshöhe der Repräsentanzstation einer TRY-Region besonders tief gelegene Standorte auch „auf der unsicheren Seite liegend“ bewertet, was in der Konsequenz in Ab-

schnitt 6 bereits zu der Empfehlung führt, mindestens für den Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz durch Simulationsrechnungen für einen individuellen Standort das diesem Standort entsprechende Normal-TRY als Klimarandbedingung, ggf. unter Berücksichtigung einer Höhenkorrektur vorzugeben. Nur unter dieser Voraussetzung kann auch eine Berücksichtigung eines Stadtklimaeffektes sinnvoll erfolgen. Würde eine derartige Öffnung der Simulationsrandbedingungen erfolgen, die grundsätzliche Einteilung des Bundesgebietes in die Klimaregionen A, B und C aber beibehalten, bestünde nach wie vor das „Problem“ bzw. die Notwendigkeit, bei Ansatz veränderter Klimarandbedingungen (Zukunfts-Normal-TRYs) die Zuordnung jeder der 15 TRY-Regionen zu einer der Sommer-Klimaregionen A, B oder C zu prüfen und ggf. entsprechend der neuen Klimarandbedingungen neu zu treffen. Entsprechend einer ggf. aktualisierten Zuordnung der Klimaregionen zu den TRY-Regionen kann schließlich die Kalibrierung der anteiligen Sonneneintragskennwerte für jede der 15 TRY-Regionen erfolgen. Eine insbesondere vor dem Hintergrund einer Harmonisierung unterschiedlicher Normenwerke anzustrebende Lösung dieses „Problems“, durch welche sich eine Einteilung in die Klimaregionen A, B und C erübrigen würde, wäre z. B. die Vorgabe der Kategorie II der DIN EN 15251 als Mindestanforderung für den sommerlichen Wärmeschutz. In diesem Zusammenhang bestünde lediglich die Notwendigkeit, einige der für die Auswertung nach DIN EN 15251 erforderlichen Randbedingungen für den Nachweis genau vorzugeben. Im Wesentlichen betrifft dies eine eindeutige Vorgabe hinsichtlich der Kriterien für zulässige Abweichungen (3%-Kriterium oder 5%-Kriterium).

Hinweis: Nach Abschluss der inhaltlichen Projektbearbeitung zu diesem Forschungsvorhaben ist DIN EN 15251:2012-12 [11] erschienen. Die Neuauflage der DIN EN 15251 enthält zusätzlich zu dem Vorgängerdokument DIN EN 15251 [4] den nationalen Anhang „Nationale Ergänzungen und Hinweise zur Anwendung dieser Europäischen Norm“. Dieser nationale Anhang gibt im Wesentlichen vereinfachte Ansätze, Kriterien und zulässige Sollwertabweichungen für die Einhaltung der Kategorie II vor. Eine Prüfung und Anwendung dieses nationalen Anhangs konnte im Rahmen dieses Vorhabens nicht mehr erfolgen.

9 Zusammenfassung

Die aktuellen Anforderungen an den sommerlichen Mindestwärmeschutz, welche durch DIN 4108-2:2013-02 formuliert werden, basieren auf Berechnungen unter Ansatz aktueller mittlerer Klimaverhältnisse (Normal-TRYs), die im Frühjahr 2011 für Deutschland in novellierter Fassung erschienen sind. Mit Veröffentlichung dieser neuen Klimadatensätze werden ebenfalls Neufassungen der Klimadatensätze für aktuelle extreme sommerliche Verhältnisse (Extrem-TRYs) sowie erstmals auch Klimadatensätze für zukünftige mittlere und extreme Klimaverhältnisse (Zukunfts-Normal-TRYs und Zukunfts-Extrem-TRYs) bereitgestellt.

In Bezug auf die neu erschienenen Klimadatensätze stellt sich einerseits die Frage, mit welcher thermischen Beanspruchung zu rechnen ist wenn ein Sonnenschutz zum Einsatz kommt, durch den die Anforderungen der DIN 4108-2 erfüllt werden, für die Simulationsrechnungen aber Extrem- und Zukunfts-TRYs angesetzt werden. Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie ein Sonnenschutz dimensioniert werden muss, durch den auch unter Ansatz von Extrem- bzw. Zukunfts-TRYs die Anforderungswerte der DIN 4108-2 eingehalten werden. Aus den hierzu durchgeführten Gegenüberstellungen zum Anwendungsfall Nichtwohnnutzung bei einem 50%igen fassadenbezogenen Fensterflächenanteil können folgenden Bewertungen abgeleitet werden:

- Durch den Ansatz von **Extrem-TRYs gegenüber Normal TRYs** ergibt sich im Mittel über alle 15 TRY-Regionen eine Erhöhung des Übertemperaturgradstundenwertes um den **Faktor 3,3** (Minimum 1,5; Maximum 7,5) wenn der Sonnenschutz zum Einsatz kommt, der zur Einhaltung der normativen Mindestanforderung nach DIN 4108-2 erforderlich ist. Durch eine Verbesserung dieses F_c -Wertes um im Mittel $\Delta F_c = 0,42$ ($\Delta F_{c,\min} = 0,13$; $\Delta F_{c,\max} = 0,61$) kann auch bei Ansatz der Extrem-TRYs eine Einhaltung des Übertemperaturgradstundenwertes von 500 Kh/a sichergestellt werden. Hierbei kann in einigen TRY-Regionen der erforderliche F_c -Wert nicht gewährleistet werden.
- Durch den Ansatz von **Zukunfts-Normal-TRYs gegenüber Normal TRYs** ergibt sich im Mittel eine Erhöhung des Übertemperaturgradstundenwertes um den **Faktor 2,4** (Minimum 1,5; Maximum 5,6) wenn der Sonnenschutz zum Einsatz kommt, der zur Einhaltung der normativen Mindestanforderung nach DIN 4108-2 erforderlich ist. Durch eine Verbesserung des normativ erforderlichen F_c -Wertes um im Mittel $\Delta F_c = 0,25$ ($\Delta F_{c,\min} = 0,08$; $\Delta F_{c,\max} = 0,45$) kann auch bei Ansatz der Zukunfts-TRYs eine Einhaltung des Übertemperaturgradstundenwertes von 500 Kh/a sichergestellt werden.

Die Ausweitung dieser Berechnungen auf den Anwendungsfall Wohnnutzung sowie für unterschiedliche Fensterflächenanteile und Nachlüftungsansätze zeigen, dass sich die Veränderungen der thermischen Beanspruchungen im Vergleich zu den Normal-TRYs über alle 15 TRY-Regionen sehr unterschiedlich darstellen. Dies spricht dafür, im Rahmen der künftigen Arbeiten zur Fortschreibung der DIN 4108-2 für den Fall der Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz durch Simulationsrechnung die Vorgabe definierter TRY-Datensätze für die Klimaregionen A, B und C wie in der aktuellen Fassung DIN 4108-2 zu überdenken. Die aktuellen Vorgaben der DIN 4108-2 führen aufgrund dieser Festlegung für alle TRY-Regionen, die innerhalb einer Klimaregion liegen zum gleichen erforderlichen F_c -Wert, was in der Konsequenz aber zu teilweise deutlich unterschiedlichen thermischen Beanspruchungen führt.

In Bezug auf die Gegenüberstellung der Normal-TRYs zu den zukünftigen Klimaverhältnissen, die bereits für die Periode ab dem Jahr 2020 mittlere Klimaverhältnisse beschreiben, lässt sich grundsätzlich festhalten, dass mit der Klimaveränderung teilweise deutlich höhere thermischen Beanspruchungen verbunden sind. Diese Verschärfung der Klimarandbedin-

gungen führt zu der Notwendigkeit, Sonnenschutzsysteme entsprechend dieser zukünftigen Randbedingungen auf einem angepassten Niveau zu dimensionieren und alle weiteren baulichen und auch planerischen Möglichkeiten auszunutzen. Wenn zukünftig ein Nutzungskomfort auf derzeitigem Anforderungsniveau sichergestellt werden soll bzw. einem erhöhten Energieaufwand für Kühlung infolge sich weiter verschärfender klimatischer Randbedingungen begegnet werden soll, besteht die dringende Notwendigkeit, bereits in der Planungsphase künftiger Gebäude der Nachtlüftung besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Zahlreiche Beispiele bereits realisierter Gebäude mit funktionierenden Nachtlüftungskonzepten zeigen, dass innovative bauliche Lösungen auch für besondere Situationen die Möglichkeit zur nächtlichen Fensterlüftung eröffnen, wie beispielhaft in Bild 9-1 und Bild 9-2 dargestellt.

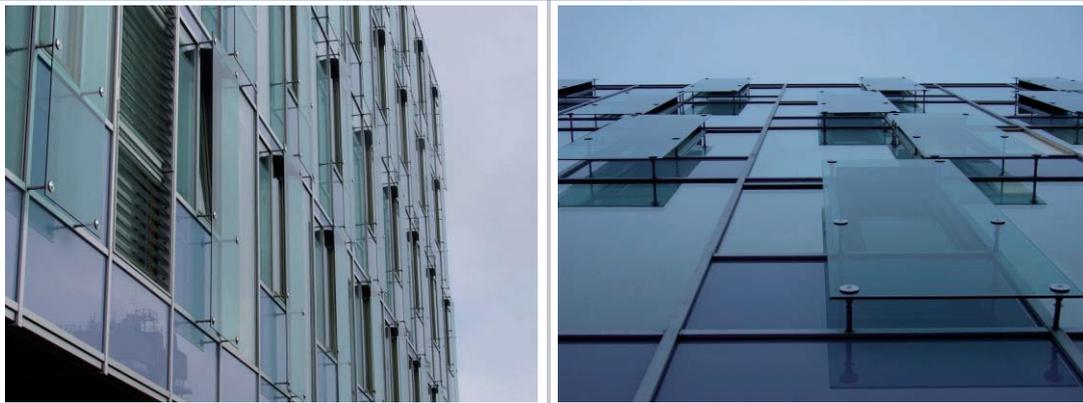


Bild 9-1: Installation von „Prallplatten“ vor den Fenstern schützt einerseits vor Schlagregen und ermöglicht andererseits Fensterlüftung auch in tiefliegenden Geschossen (Verwaltungsgebäude der KVB, Kassel)

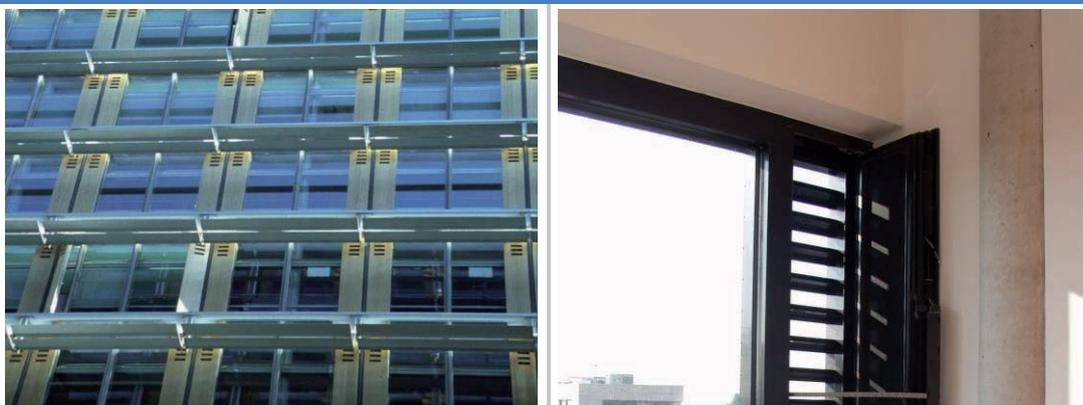


Bild 9-2: Öffnungselemente seitlich neben den Fensterflügeln. Links: Hauptgeschäftsstelle SOKA-BAU, Wiesbaden; rechts: Universität Kassel, Erziehungs- und Sprachwissenschaften (Neubau 2010)

Neben der Möglichkeit, die thermische Beanspruchung eines Raumes durch gute Nachtlüftungskonzepte zu verbessern, kann auch bauliche Verschattung den solaren Wärmeeintrag erheblich reduzieren. Während dieser Einfluss in einer Simulationsrechnung rechnerisch abbildbar und nach DIN 4108-2 nachweistechisch auch ansetzbar ist, besteht in Bezug auf den entsprechenden Ansatz im vereinfachten Verfahren Überarbeitungsbedarf. Der hierin vorgesehene Ansatz zur Berücksichtigung einer baulichen Verschattung kommt praktisch nie zum Tragen, da die für den Ansatz mindestens erforderlicher Abdeckwinkel nur bei außerordentlich weit auskragenden Bauteilen erreicht werden. Entsprechende Berechnungen hierzu und die Erarbeitung eines neuen Ansatzes für bauliche Verschattung im vereinfachten Verfahren wurden im Rahmen dieses Vorhabens nicht durchgeführt, werden aber für die weitere Fortschreibung der DIN 4108-2 als sinnvolle und notwendige Überarbeitung zur Verbesserung des vereinfachten Verfahrens empfohlen.

Seit Veröffentlichung der neuen TRY-Datensätze im Frühjahr 2011 besteht die Möglichkeit, den TRY-Datensätzen über ein Softwaretool eine Höhenkorrektur bzw. einen Stadtklimaefekt aufzuprägen. Die Auswertung sämtlicher Berechnungen zum Stadtklimaeinfluss und/oder zum Einfluss der Höhenkorrektur auf das Innenraumklima führen für die Fortschreibung der DIN 4108-2 bzw. für die durch die EnEV vorgegebenden Regeln für den sommerlichen Mindestwärmeschutz zu folgenden Empfehlungen:

- Bereits die Simulationsrechnungen unter Ansatz der 15 für die verschiedenen TRY-Regionen geltenden Normal-TRYs zeigen für das Gebiet Deutschlands eine große Bandbreite hinsichtlich der infolge des Klimaeinflusses auftretenden thermischen Beanspruchungen des Innenraumklimas. Unter Berücksichtigung der Höhenkorrektur vergrößert sich diese Bandbreite nochmals, sodass die Festlegung auf die TRY-Datensätze 2, 4 und 12 für die Klimaregionen A, B und C dieser Bandbreite nur schwer gerecht werden kann und infolge dieser Festlegung bezogen auf die formulierten Anforderungswerte für Teilbereiche unverhältnismäßig hohe Anforderungen formuliert werden. Während dies für die Anwendung eines vereinfachten Verfahrens zur Nachweisführung noch vertretbar ist, empfiehlt es sich, für den Fall der Nachweisführung durch Simulationsrechnung eine Öffnung der Berechnungsrandbedingungen in Erwägung zu ziehen, indem der individuelle Ansatz der 15 TRY-Datensätze ggf. unter Berücksichtigung der Höhenkorrektur vorgegeben wird. Eine solche von der DIN 4108-2 abweichende Regelung bezüglich der anzusetzenden Klimarandbedingungen könnte auch von Seiten der EnEV, wie auch in der aktuellen Fassung EnEV 2009 der Fall, vorgegeben werden. Hier wird formuliert, dass, wenn *„[...] zur Berechnung [...] ein ingenieurmäßiges Verfahren (Simulationsrechnung) angewendet [wird], so sind abweichend von DIN 4108-2:2003-07 Randbedingungen zu beachten, die die aktuellen klimatischen Verhältnisse am Standort des Gebäudes hinreichend gut wiedergeben.“*
- Wenn über das Sonneneintragskennwert-Verfahren die Möglichkeit eröffnet werden soll, einen Stadtklimaefekt zu berücksichtigen, so ergibt sich einerseits die Notwendigkeit, auch die Höhenkorrektur in diesem Verfahren abzubilden. Die Berechnungen hierzu haben gezeigt, dass der Einfluss der Höhenkorrektur teilweise sogar größer ist, als der Einfluss des Stadtklimas. Damit dies sinnvoll geschehen kann, muss das Sonneneintragskennwerte-Verfahren auf die 15 TRY-Regionen anstelle der 3 Klimaregionen erweitert werden. Hierbei kann nach wie vor eine TRY-Regionen-spezifische Zuordnung zu einer Klimaregion A, B oder C beibehalten werden. Da sich aber die Höhenkorrektur in den 15 TRY-Regionen unterschiedlich auswirkt, ist eine Individualisierung hinsichtlich der 15 TRY-Regionen unumgänglich und darüber hinaus Voraussetzung für die Berücksichtigung des Stadtklimaeffektes im vereinfachten Verfahren. Die Berücksichtigung von Höhenkorrektur und Stadtklimaeinfluss im vereinfachten Verfahren würde demnach folgende Veränderungen in der Verfahrensstruktur erfordern:
 1. Bereitstellung von Einzeltabellen mit Sonneneintragskennwerten für jede der 15 TRY-Regionen
 2. Ermittlung anteiliger Sonneneintragskennwerte für TRY-Regionen, in denen eine Höhenkorrektur erforderlich sein kann:
 - Standorte höher als die Repräsentanzstation würden einen Bonus und
 - Standorte tiefer als die Repräsentanzstation würden einen Malus erhalten
 3. Ermittlung anteiliger Sonneneintragskennwerte für den Stadtklimaefekt für alle TRY-Regionen, in denen es Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern gibt.

Die zuvor genannten Empfehlungen in Bezug auf die weitere Fortschreibung der DIN 4108-2 werden im Folgenden ergänzt in Bezug auf eine mögliche Angleichung der normativen Vorschriften an europäische Vorgaben der DIN EN 15251.

Die Einteilung Deutschlands in die Klimaregionen A, B und C durch DIN 4108-2 mit den nachweistechisch anzusetzenden Normal-TRYs der TRY-Region 2, 4 und 12 führt wie in Abschnitt 6 dokumentiert zwar in der überwiegenden Zahl der Fälle zu einer „auf der sicheren Seite liegenden“ Bewertung sowohl durch das Sonneneintragskennwerte-Verfahren als auch für den Fall, dass Simulationsrechnungen für den Nachweis zum sommerlichen Mindestwärmeschutz angestellt werden. In Einzelfällen werden allerdings im Vergleich zur Ortshöhe der Repräsentanzstation einer TRY-Region besonders tief gelegene Standorte auch „auf der unsicheren Seite liegend“ bewertet, was in der Konsequenz in Abschnitt 6 bereits zu der Empfehlung führt, mindestens für den Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz durch Simulationsrechnungen für einen individuellen Standort das diesem Standort entsprechende Normal-TRY als Klimarandbedingung, ggf. unter Berücksichtigung einer Höhenkorrektur vorzugeben. Nur unter dieser Voraussetzung kann auch eine Berücksichtigung eines Stadtklimaeffektes sinnvoll erfolgen. Würde eine derartige Öffnung der Simulationsrandbedingungen erfolgen, die grundsätzliche Einteilung des Bundesgebietes in die Klimaregionen A, B und C aber beibehalten, bestünde nach wie vor das „Problem“ bzw. die Notwendigkeit, bei Ansatz veränderter Klimarandbedingungen (Zukunfts-Normal-TRYs) die Zuordnung jeder der 15 TRY-Regionen zu einer der Sommer-Klimaregionen A, B oder C zu prüfen und ggf. entsprechend der neuen Klimarandbedingungen neu zu treffen. Entsprechend einer ggf. aktualisierten Zuordnung der Klimaregionen zu den TRY-Regionen kann schließlich die Kalibrierung der anteiligen Sonneneintragskennwerte für jede der 15 TRY-Regionen erfolgen. Eine insbesondere vor dem Hintergrund einer Harmonisierung unterschiedlicher Normenwerke anzustrebende Lösung dieses „Problems“, durch welche sich eine Einteilung in die Klimaregionen A, B und C erübrigen würde, wäre z. B. die Vorgabe der Kategorie II der DIN EN 15251 als Mindestanforderung für den sommerlichen Wärmeschutz. In diesem Zusammenhang bestünde lediglich die Notwendigkeit, einige der für die Auswertung nach DIN EN 15251 erforderlichen Randbedingungen für den Nachweis genau vorzugeben. Im Wesentlichen betrifft dies eine eindeutige Vorgabe hinsichtlich der Kriterien für zulässige Abweichungen (3%-Kriterium oder 5%-Kriterium).

Hinweis: Nach Abschluss der inhaltlichen Projektbearbeitung zu diesem Forschungsvorhaben ist DIN EN 15251:2012-12 [11] erschienen. Die Neuauflage der DIN EN 15251 enthält zusätzlich zu dem Vorgängerdokument DIN EN 15251 [4] den nationalen Anhang „Nationale Ergänzungen und Hinweise zur Anwendung dieser Europäischen Norm“. Dieser nationale Anhang gibt im Wesentlichen vereinfachte Ansätze, Kriterien und zulässige Sollwertabweichungen für die Einhaltung der Kategorie II vor. Eine Prüfung und Anwendung dieses nationalen Anhangs konnte im Rahmen dieses Vorhabens nicht mehr erfolgen.

Quellenverzeichnis

Primärliteratur:

- [1] Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre (TRY) von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung -BBR-, Forschungsinitiative Zukunft Bau, Bonn, 2011.
- [2] Schlitzberger S., Kempkes C., Maas T.: Ermittlung aktueller Randbedingungen für den sommerlichen Wärmeschutz und weiterer Gebäudeeigenschaften im Lichte des Klimawandels. Teil 2: Entwicklung eines Gesamtkonzepts für ein künftiges technisches Regelwerk zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes. Endbericht des IBH-Hauser, des FhG-IBP und des FhG-ISE vom 07.12.2011 für das BBR — Forschungsvorhaben Nr. 10.08.17.7-08.37.2.
- [3] DIN 4108-2 Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.
- [4] DIN EN 15251 Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik.
- [5] DIN 4108-2:2003-07 Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.
- [6] Christoffer, J.; Deutschländer, T.; Webs, M.: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse. Deutscher Wetterdienst, Abteilung Klima und Umweltberatung, Offenbach a. Main, 2004.
- [7] Städte (Alle Gemeinden mit Stadtrecht) nach Fläche und Bevölkerung am 31.12.2011. Statistisches Bundesamt. Internetressource: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/Aktuell/05Staedte.html>, abgerufen am 17.1.2012.
- [8] DIN EN ISO 13791:2012-08 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren.
- [9] Entwurf VDI 2078:2012-03 Berechnung von Kühllast und Raumtemperaturen von Räumen und Gebäuden (VDI-Kühllastregeln). Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2012.
- [10] DIN EN ISO 7730:2006-05 Ergonomie der thermischen Umgebung.
- [11] DIN EN 15251:2012-12 Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik.

Sekundärliteratur:

- [1] ASHRAE 55:2004-04 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- [2] VDI 2078:1996-07 Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln). Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 1996.
- [3] AMEV RLT-Anlagenbau 2004. Hinweise zur Planung und Ausführung von Raumlufttechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude. Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltung, Berlin, 2004.

- [4] DIN EN 13779:2005-05 Lüftung von Nichtwohngebäuden.
- [5] VDI 6020:2001-05: Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation Gebäudesimulation
- [6] DIN EN ISO 13792: 2005-06 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Vereinfachtes Berechnungsverfahren.
- [7] K. Voss, J. Pfafferott. *Energieeinsparung contra Behaglichkeit?* Heft 121, Reihe Forschungen, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn, 2006.
- [8] G. Hauser, J. Kaiser, M. Rösler und D. Schmidt: Energetische Optimierung, Vermessung und Dokumentation für das Demonstrationsgebäude des Zentrums für Umweltbewusstes Bauen. Abschlussbericht des BMWA Forschungsvorhaben, Universität Kassel, Kassel, 2004.
- [9] G. Hauser, C. Kempkes, S. Schlitzberger. *Vergleichende Untersuchungen von Standard-Klimadatensätzen mit gemessenen Langzeit-Klimadatensätzen für den Standort Kassel*. Bauphysik 28 (2006).
- [10] G. Hauser: Rechnerische Vorherbestimmung des Wärmeverhaltens großer Bauten. Dissertation Universität Stuttgart (1977).
- [11] G. Hauser; F. Otto: Auswirkungen eines erhöhten Wärmeschutzes auf die Behaglichkeit im Sommer. Bauphysik 19 (1997), H. 6, S. 169 -176.
- [12] Klimaerlass:2008-12 *Bauliche und planerische Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer*. Erlass B12–8132.1/0 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen vom 05.12.2008
- [13] Klimaerlass:2005-11 *Bauliche und planerische Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer*. Erlass B 12 – B 1000 – 00 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen vom 14.11.2005. Nicht mehr gültig.
- [14] F. Nicol, M. Humphreys. *A stochastic approach to thermal comfort, occupant behaviour and energy use in buildings*. ASHRAE Transactions 110 (2), 2004.
- [15] BBR 2008: *Richtlinie zur Durchführung einer dynamisch thermischen Simulationsrechnung für den Sommerlastfall in Gebäuden*. Autor: J. Pfafferott, Forschungsprogramm ZukunftBau, Aktenzeichen 10.08.17.7-06.12. Unveröffentlicht.
- [16] M. Zimmermann. *Handbuch der passiven Kühlung*. EMPA ZEN, Dübendorf (CH), 1999.
- [17] M. Santamouris (Hrsg.). *Advances in Passive Cooling*. Earthscan, London, 2007.
- [18] E. Schramek (Hrsg.). *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*. Oldenbourg Verlag, 2000.
- [19] W. Bischof, M. Bullinger-Nabe, B. Kruppa, R. Schwab, B.H. Müller. *Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden – Ergebnisse des ProKlima-Projektes*. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2003.
- [20] E. Gossauer, A. Wagner. *User satisfaction at workspaces - a study in twelve office buildings in Germany*. Windsor Conference 2006.
- [21] K. Voss, G. Löhnert, S. Herkel, A. Wagner, M. Wambsganß: *Bürogebäude mit Zukunft*, TÜV-Verlag, 2005

- [22] G. Hausladen, R. Hellwig, W. Nowak, E. Schramek, T. Grothmann. *26°C - falsch verstandener Arbeitsschutz?* Bauphysik 26 (2004).
- [23] G. Brager, R. de Dear. *Thermal adaptation in the built environment: a literature review.* Energy and Buildings 27 (1998).
- [24] R. de Dear. *A global database of thermal comfort field studies.* ASHRAE Transactions: Symposia RP-884, 1998.
- [25] B Jones. *Capabilities and limitations of thermal models for use in thermal comfort standards.* Energy and Buildings 34 (2002).
- [26] K. McCartney, F. Nicol, S. Stevens. *Comfort in office buildings: results from field studies and presentation of the revised adaptive control algorithm.* CIBSE National conference 1998, 1998.
- [27] F. Nicol, S. Roaf. *Post occupancy evaluation and field studies of thermal comfort.* Building Research & Information 33 (4), 2005.
- [28] K. van der Linden, A. Boersta, A. Raue, S. Kurvers, R. de Dear. *Adaptive temperature limits: A new guideline in The Netherlands – A new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate.* Energy and Buildings 38 (2006).
- [29] R. Hellwig, W. Bischof. *Gültigkeit thermischer Behaglichkeitsmodelle.* Bauphysik 28 (2006).
- [30] J. Pfafferott, S. Herkel, D. Kalz, A. Zeuschner. *Comparison of Low-Energy Office Buildings in Summer using Different Thermal Comfort Criteria.* Energy and Buildings 39 (2007).
- [31] G. Henze, J. Pfafferott, S. Herkel, C. Felsmann: *Impact of Adaptive Comfort Criteria and Heat Waves on Optimal Building Thermal Mass Control.* Energy and Buildings 39 (2007).
- [32] K. McCartney, F. Nicol. *Developing an adaptive control algorithm for Europe.* Energy and Buildings 34 (2002).
- [33] O. Fanger, J. Toftum. *Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates.* Energy and Buildings 34 (2002).
- [34] B Olesen, K Parsons. *Introduction of thermal comfort standards and to proposed new version of EN ISO 7730.* Energy and Buildings 34 (2002).
- [35] K. Voss, S. Herkel, J. Pfafferott, G. Löhnert, A. Wagner. *Energy efficient office buildings with passive cooling – Results and experiences from a research and demonstration programme.* Solar Energy 81 (2007).
- [36] R. Hellwig. *Thermische Behaglichkeit. Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäuden aus Nutzersicht.* TU München, Dissertation 2005.
- [37] K. van der Linden, A. Boersta, A. Raue, S. Kurvers. *Thermal indoor climate building performance characterised by human comfort response.* Energy and Buildings 34 (2002).
- [38] M. Humphreys, F. Nicol. *The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in everyday thermal environments.* Energy and Buildings 34 (2002).
- [39] R. de Dear, G. Brager. *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference.* ASHRAE Transactions: Research RP-884, 1998.

- [40] M. Fountain, G. Brager, R. de Dear. *Expectations of indoor climate control*. Energy and Buildings 24 (1996).
- [41] F. Nicol, M. Humphreys. *Adaptive thermal control and sustainable thermal standards for buildings*. Energy and Buildings 34 (2002).
- [42] P. Deutscher, M. Elsberger, L. Rouvel. *Sommerlicher Wärmeschutz: Eine einheitliche Methodik für die Anforderungen an den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz, Teil 1 + 2*. Bauphysik 22 (2000).
- [43] R. de Dear, G. Brager. *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*. ASHRAE Transactions: Research RP-884, 1998.
- [44] J. Pfafferott, S. Herkel, D. Kalz, A. Zeuschner. *Comparison of Low-Energy Office Buildings in Summer using Different Thermal Comfort Criteria*. Energy and Buildings 39 (2007).
- [45] BINE I/2007. *Thermoaktive Bauteilsysteme*. Autoren: G. Knabe, C. Felsmann, A. Perschk, M. Rösler. Bezug über www.bine.info.
- [46] A. Wagner, E. Gossauer, C. Moosmann, T. Gropp, R. Leonhart. *Thermal comfort and workplace occupant satisfaction – results of field studies in german low-energy office buildings*. Energy and Buildings 39 (2007).
- [47] A. Boersta, L. Hulsman, A. van Weele. *Kleintje Binnenklimaat*. ISSO, Rotterdam (NL), 2005.
- [48] M. Humphreys, F. Nicol. *Effects of measurement and formulation error on thermal comfort indices in the ASHRAE database of field studies*. ASHRAE Transactions 206 (2), 2000.
- [49] ThermCo *Thermal comfort in buildings with low-energy cooling – Establishing an annex for EPBD-related CEN-standards for buildings with high energy efficiency and good indoor environment*. EIE/07/026/SI2.466692. www.thermco.org (2009).
- [50] M. Humphreys, F. Nicol. *Outdoor temperature and indoor thermal comfort: Raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field studies*. ASHRAE Transactions 206 (2), 2000.
- [51] D. Wyon. *The effects of indoor climate on productivity and performance*. Organ för VVS-Tekniska Föreningen 3 (1986).
- [52] K. McCartney, M. Humphreys. *Thermal comfort and productivity*. Indoor Air 2002.
- [53] DIN EN ISO 6946:2008-04 Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren
- [54] DIN V 18599: 2007-02. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung (10 Normenteile)*.
- [55] DIN V 18599-10: 2007-02. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten*.
- [56] Höttges, K. und Kempkes, C.: *Entwicklung einer Bewertungsmethodik für den sommerlichen Wärmeschutz auf der Basis des nach DIN V 18599 rechnerisch ermittelten Nutzkältebedarfs*. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2010.
- [57] DIN EN ISO 6946:2008-04 Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren

Abbildungsverzeichnis

Bild 2-1:	Klimakarte zur Zuordnung der Sommer-Klimaregion aus DIN 4108-2.....	11
Bild 3-1:	Einteilung Deutschlands in die 15 TRY-Regionen der Testreferenzjahre 2004 und 2011	17
Bild 3-2:	Sommertage in den Testreferenzjahren der 15 TRY-Regionen. Auswertung für Normal-TRYs 2004 und 2011, Extrem TRYs 2011 sowie Zukunfts-Normal-TRYs und Zukunfts-Extrem-TRYs für den Zeitraum 2021-2050	19
Bild 3-3:	Heiße Tage in den Testreferenzjahren der 15 TRY-Regionen. Auswertung für Normal-TRYs 2004 und 2011, Extrem TRYs 2011 sowie Zukunfts-Normal-TRYs und Zukunfts-Extrem-TRYs für den Zeitraum 2021-2050	20
Bild 3-4:	Tropennächte in den Testreferenzjahren der 15 TRY-Regionen. Auswertung für Normal-TRYs 2004 und 2011, Extrem TRYs 2011 sowie Zukunfts-Normal-TRYs und Zukunfts-Extrem-TRYs für den Zeitraum 2021-2050	20
Bild 3-5:	Übersicht zu den Höhenbereichen der 15 TRY-Regionen (grau), Anwendbarkeitsbereiche der unveränderten TRY-Datensätze (rot) mit Angabe der Repräsentanzstation und deren Höhe über NN für jede TRY-Region.....	21
Bild 3-6:	Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 13	23
Bild 3-7:	Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 13. Veränderung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.	25
Bild 4-1:	Skizze Prüfraum aus DIN EN ISO 13791:2012-08 [8].....	26
Bild 4-2:	Steckbrief Zentralraum (zen)	28
Bild 5-1:	Sommer-Klimaregionen nach DIN 4108-2	29
Bild 5-2:	Auswertung des Basisfalls für Sommer-Klimaregion A (Datensatz TRY-Region 2) gemäß DIN 4108-2	31
Bild 5-3:	Auswertung des Basisfalls für Sommer-Klimaregion B (Datensatz TRY-Region 4) gemäß DIN 4108-2	33
Bild 5-4:	Auswertung des Basisfalls für Sommer-Klimaregion C (Datensatz TRY-Region 12) gemäß DIN 4108-2	34
Bild 5-5:	Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung von $Gh_x = 1200 \text{ Kh/a}$ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 und 100 Prozent für Wohnnutzung ohne Nachtlüftung	42
Bild 5-6:	Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung von $Gh_x = 1200 \text{ Kh/a}$ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 und 100 Prozent für Wohnnutzung bei erhöhter Nachtlüftung	43
Bild 5-7:	Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung von $Gh_x = 1200 \text{ Kh/a}$ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 und 100 Prozent für Wohnnutzung bei hoher Nachtlüftung	44
Bild 5-8:	Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung von $Gh_x = 500 \text{ Kh/a}$ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 und 100 Prozent für Nichtwohnnutzung ohne Nachtlüftung	45
Bild 5-9:	Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung von $Gh_x = 500 \text{ Kh/a}$ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 und 100 Prozent für Nichtwohnnutzung bei erhöhter Nachtlüftung	46
Bild 5-10:	Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung von $Gh_x = 500 \text{ Kh/a}$ für fassadenbezogene Fensterflächenanteile zwischen 30 und 100 Prozent für Nichtwohnnutzung bei hoher Nachtlüftung.....	48
Bild 5-11:	Einfluss der Reduzierung des g-Wertes für das Fallbeispiel Wohnnutzung.....	50
Bild 5-12:	Einfluss der Reduzierung des g-Wertes für das Fallbeispiel Nichtwohnnutzung	50

Bild 5-13:	Einfluss der Reduzierung der Grenzbestrahlungsstärke für das Fallbeispiel Wohnnutzung	51
Bild 5-14:	Einfluss der Reduzierung der Grenzbestrahlungsstärke für das Fallbeispiel Nichtwohnnutzung	51
Bild 5-15:	Sonnenschutz-Aktivierungszeiten in TRY-Region 12 (Ostorientierung) in Abhängigkeit der Grenzbestrahlungsstärke für das Fallbeispiel Wohnnutzung	52
Bild 5-16:	Sonnenschutz-Aktivierungszeiten in TRY-Region 5 (Ostorientierung) in Abhängigkeit der Grenzbestrahlungsstärke für das Fallbeispiel Nichtwohnnutzung	52
Bild 5-17:	Einfluss der Reduzierung der internen Wärmeeinträge für das Fallbeispiel Wohnnutzung	53
Bild 5-18:	Einfluss der Reduzierung der internen Wärmeeinträge für das Fallbeispiel Nichtwohnnutzung	54
Bild 5-19:	Einfluss der Erhöhung der Speichermasse für das Fallbeispiel Wohnnutzung	55
Bild 5-20:	Einfluss der Erhöhung der Speichermasse für das Fallbeispiel Nichtwohnnutzung	56
Bild 6-1:	Softwaretool zum Aufprägen eines Stadt- und/oder Höheneffekts für ein TRY [1] ..	57
Bild 6-2:	Übersicht zu den Höhenbereichen der 15 TRY-Regionen (grau), Anwendbarkeitsbereiche der unveränderten TRY-Datensätze (rot) mit Angabe der Repräsentanzstation und deren Höhe über NN für jede TRY-Region.....	58
Bild 6-3:	Einfluss der Höhenkorrektur auf das Innenraumklima für den Basisfall Nichtwohnnutzung	59
Bild 6-4:	Deutschlandkarte mit ausgewählten Großstädten zu Tabelle 6-1	61
Bild 6-5:	Gegenüberstellung der TRY-Regionen mit Zuordnung der Klimaregionen A, B und C zur Klimakarte der DIN 4108-2	63
Bild 6-6:	Beispiel mit Legende für die Auswertungen zum Stadtklimaeffekt	63
Bild 6-7:	Einfluss des Stadtklimas am Beispiel der Städte Berlin und Potsdam für Wohn- und Nichtwohnnutzung	64
Bild 6-8:	Einfluss des Stadtklimas in Verbindung mit einer Höhenkorrektur am Beispiel der Städte München und Würzburg für Wohn- und Nichtwohnnutzung	66
Bild 6-9:	Einfluss des Stadtklimas für Städte, die in einer TRY-Region der Klimaregion B liegen, denen aber gemäß Klimakarte DIN 4108-2 die Klimaregion C zugewiesen ist. Auswertung für die Städte Köln und Leverkusen für Wohn- und Nichtwohnnutzung	67
Bild 7-1:	Gegenüberstellung von Auswertungen nicht gekühlter Räume (Übertemperaturgradstunden) und gekühlter Räume (Nutzkältebedarf). Klimaregion A, Nichtwohnnutzung, $f_w = 50\%$, 70% und 100% . Für grafische Darstellungen: punktierter Verlauf: Normal-TRYs (nrm), strich-punktierter Verlauf: Zukunfts-Normal-TRYs (z_nrm)	72
Bild 7-2:	Gegenüberstellung von Auswertungen nicht gekühlter Räume (Übertemperaturgradstunden) und gekühlter Räume (Nutzkältebedarf). Klimaregion B, Nichtwohnnutzung, $f_w = 50\%$, 70% und 100% . Für grafische Darstellungen: punktierter Verlauf: Normal-TRYs (nrm), strich-punktierter Verlauf: Zukunfts-Normal-TRYs (z_nrm)	73
Bild 7-3:	Gegenüberstellung von Auswertungen nicht gekühlter Räume (Übertemperaturgradstunden) und gekühlter Räume (Nutzkältebedarf). Klimaregion C, Nichtwohnnutzung, $f_w = 50\%$, 70% und 100% . Für grafische Darstellungen: punktierter Verlauf: Normal-TRYs (nrm), strich-punktierter Verlauf: Zukunfts-Normal-TRYs (z_nrm)	74
Bild 7-4:	Variation der Raum-Solltemperatur für Kühlung in Klimaregion B für Normal- und Zukunfts-Normal-TRYs	75
Bild 8-1:	Auslegungswerte für operative Innentemperatur von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage, dargestellt als Funktion des exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur, nach [4]	78

Bild 8-2:	Auslegungswerte für operative Innentemperatur von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage wie in Bild 8-1 ergänzt für den Bereich des gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur < 10°C (obere Grenzen) bzw. < 15°C (untere Grenzen).....	79
Bild 8-3:	Vergleich der Kategorien I, II und III nach DIN 15251 zur DIN 4108-2 für den Basisfall Nichtwohnnutzung bei Variation des Fensterflächenanteils. Auswertung für die Normal-TRYs der Klimaregion A, B und C, Legende siehe Tabelle 8-3.....	81
Bild 8-4:	Vergleich der Kategorien I, II und III nach DIN 15251 zur DIN 4108-2 für den Basisfall Wohnnutzung bei Variation des Fensterflächenanteils. Auswertung für die Normal-TRYs der Klimaregion A, B und C. Legende siehe Tabelle 8-3	83
Bild 8-5:	Vergleich der Kategorien I, II und III nach DIN 15251 zur DIN 4108-2 für den Basisfall Nichtwohnnutzung bei Variation des Fensterflächenanteils. Auswertung für die Normal-TRYs der Klimaregion A, B und C, Legende siehe Tabelle 8-7.....	84
Bild 8-6:	Vergleich der Kategorien I, II und III nach DIN 15251 zur DIN 4108-2 für den Basisfall Nichtwohnnutzung bei Variation des Fensterflächenanteils. Auswertung für die Normal-TRYs der Klimaregion A, B und C, Legende siehe Tabelle 8-7.....	85
Bild 9-1:	Installation von „Prallplatten“ vor den Fenstern schützt einerseits vor Schlagregen und ermöglicht andererseits Fensterlüftung auch in tiefliegenden Geschossen (Verwaltungsgebäude der KVB, Kassel)	88
Bild 9-2:	Öffnungselemente seitlich neben den Fensterflügeln. Links: Hauptgeschäftsstelle SOKA-BAU, Wiesbaden; rechts: Universität Kassel, Erziehungs- und Sprachwissenschaften (Neubau 2010)	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Anteilige Sonneneintragskennwerte im vereinfachten Verfahren der DIN 4108-2..13	13
Tabelle 2-2:	Übertemperaturgradstunden-Anforderungswerte nach DIN 4108-2.....13	13
Tabelle 3-1:	Übersicht der TRY-Regionen mit Höhenbereichen und Repräsentanzstationen .....18	18
Tabelle 3-2:	TRY-Datensätze für TRY-Region 13 zur Bewertung des Einflusses der Höhenkorrektur .....22	22
Tabelle 3-3:	Auswertung der Überschreitungshäufigkeiten von 25°C für die Normal-TRYs der 15 TRY-Regionen mit und ohne Höhenkorrektur.....22	22
Tabelle 3-4:	Auswertung zu Überschreitungshäufigkeiten für Stadt-TRYs ausgewählter Großstädte .....24	24
Tabelle 4-1:	Konstruktionen und thermophysikalische Eigenschaften von opaken Elementen, Auszug aus DIN EN ISO 13791:2012-08 [8] .....26	26
Tabelle 4-2:	Modifizierte Konstruktionen für Zentralraum .....27	27
Tabelle 4-3:	Kennwerte der Außenbauteile für die betrachteten Wärmeschutz niveaus .....28	28
Tabelle 4-4:	Basisfall für Vergleichsrechnungen .....28	28
Tabelle 5-1:	Fallbeschreibung und Legende für die Auswertungen in Bild 5-2, Bild 5-3 und Bild 5-4 .....31	31
Tabelle 5-2:	Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit von der Glasart, Auszug aus DIN 4108-2 [3].....32	32
Tabelle 5-3:	Erforderliche F_C -Werte zur Einhaltung der normativen Übertemperaturgradstunden-Anforderungswerte für Normal-TRYs und Zukunfts-Normal-TRYs .....34	34
Tabelle 5-4:	Normal-TRYs im Vergleich zu Extrem-TRYs Sommer .....36	36
Tabelle 5-5:	Normal-TRYs im Vergleich zu Zukunfts-Normal-TRYs .....38	38
Tabelle 5-6:	Normal-TRYs im Vergleich zu Zukunfts-Extrem-TRYs Sommer .....39	39
Tabelle 5-7:	Ausgewählte Berechnungsfälle für die Auswertungen in 0 bis 5.4.4 .....49	49
Tabelle 6-1:	48 Deutsche Städte mit Einwohnerzahlen größer 100.000 für die Erstellung von Stadt-TRYs .....62	62
Tabelle 8-1:	Beschreibung der Anwendbarkeit der verwendeten Kategorien aus DIN EN 15251 .....77	77
Tabelle 8-2:	Beispiele für die Dauer der Abweichungen, die 3 % bzw. 5 % der Zeit entsprechen [4] .....79	79
Tabelle 8-3:	Legende zu Bild 8-3 und Bild 8-4 .....80	80
Tabelle 8-4:	Erforderliche F_C -Werte nach DIN 4108-2 für den sommerlichen Mindestwärmeschutz und nach DIN EN 15251 zur Einhaltung der Kategorien I, II und III für den Basisfall Nichtwohnnutzung .....81	81
Tabelle 8-5:	Erforderliche F_C -Werte nach DIN 4108-2 für den sommerlichen Mindestwärmeschutz und nach DIN EN 15251 zur Einhaltung der Kategorien I, II und III für den (Basis-)Fall Nichtwohnnutzung ohne Nachtlüftung.....82	82
Tabelle 8-6:	Erforderliche F_C -Werte nach DIN 4108-2 für den sommerlichen Mindestwärmeschutz und nach DIN EN 15251 zur Einhaltung der Kategorien I, II und III für den Basisfall Wohnnutzung .....83	83
Tabelle 8-7:	Legende zu Bild 8-5 und Bild 8-6 .....84	84

Anhang A Klimaanalyse - Detailauswertungen

Übersicht:

	Seite
A 1 TRY-Region 1, Nordseeküste	102
A 2 TRY-Region 2, Ostseeküste	105
A 3 TRY-Region 3, Nordwestdeutsches Tiefland.....	108
A 4 TRY-Region 4, Nordostdeutsches Tiefland	111
A 5 TRY-Region 5, Niederrheinisch-westfälische Bucht und Emsland.....	114
A 6 TRY-Region 6, Nördliche und westliche Mittelgebirge, Randgebiete	117
A 7 TRY-Region 7, Nördliche und westliche Mittelgebirge, zentrale Bereiche.....	120
A 8 TRY-Region 8, Oberharz und Schwarzwald (mittlere Lagen).....	123
A 9 TRY-Region 9, Thüringer Becken und Sächsisches Hügelland	125
A 10 TRY-Region 10, Südöstliche Mittelgebirge bis 1000 m.....	128
A 11 TRY-Region 11, Erzgebirge, Böhmer- und Schwarzwald oberhalb 1000 m.....	130
A 12 TRY-Region 12, Oberrheingraben und unteres Neckartal	132
A 13 TRY-Region 13, Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland	135
A 14 TRY-Region 14, Schwäbische Alb und Baar	138
A 15 TRY-Region 15, Alpenrand und -täler	140

A 1 TRY-Region 1, Nordseeküste

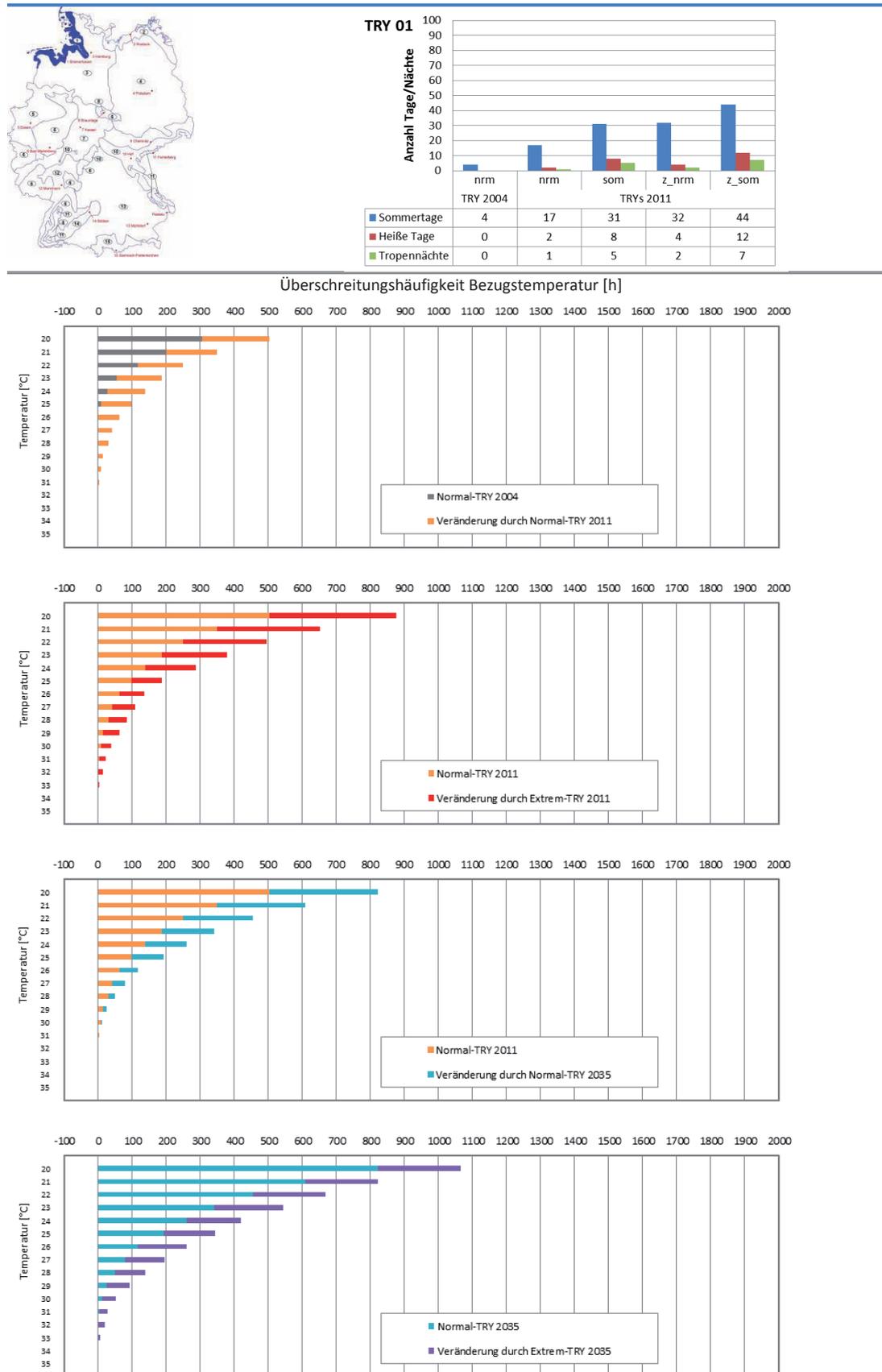


Bild A-1: Thermische Auswertungen der Klimadatensätze zur TRY-Region 1. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 1



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

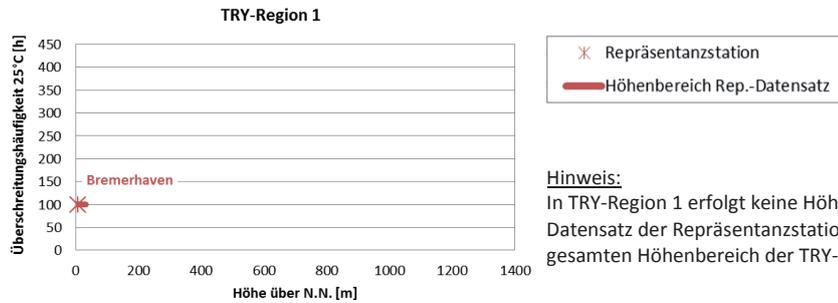
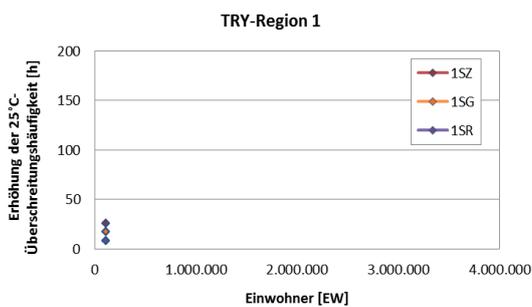


Bild A-2: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 1

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
1	Bremerhaven	112.982	2	A	7	-5	nein
Schraffuren:							
kleinste und größte Stadt einer TRY-Region ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion							

Erhöhung der Überschreitungshäufigkeit von 25°C infolge Stadtklima:

Erläuterungen:



- [SZ] Stadtzentrum
- [SG] mittleres Stadtgebiet
- [SR] Stadtrand

Bild A-3: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 1. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

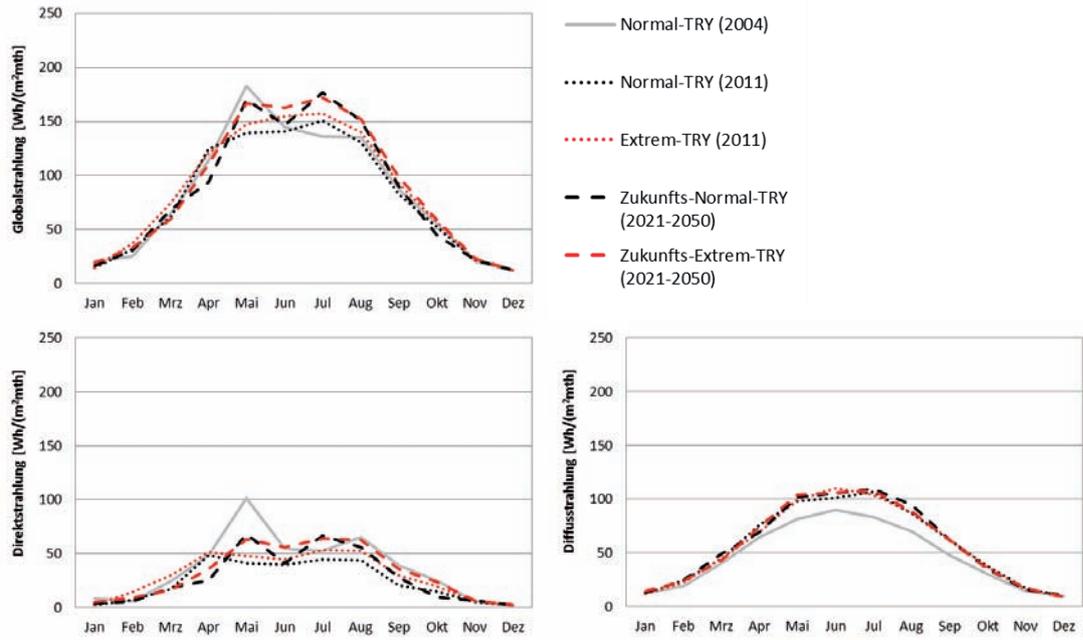


Bild A-4: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatenätze der TRY-Region 1

A 2 TRY-Region 2, Ostseeküste

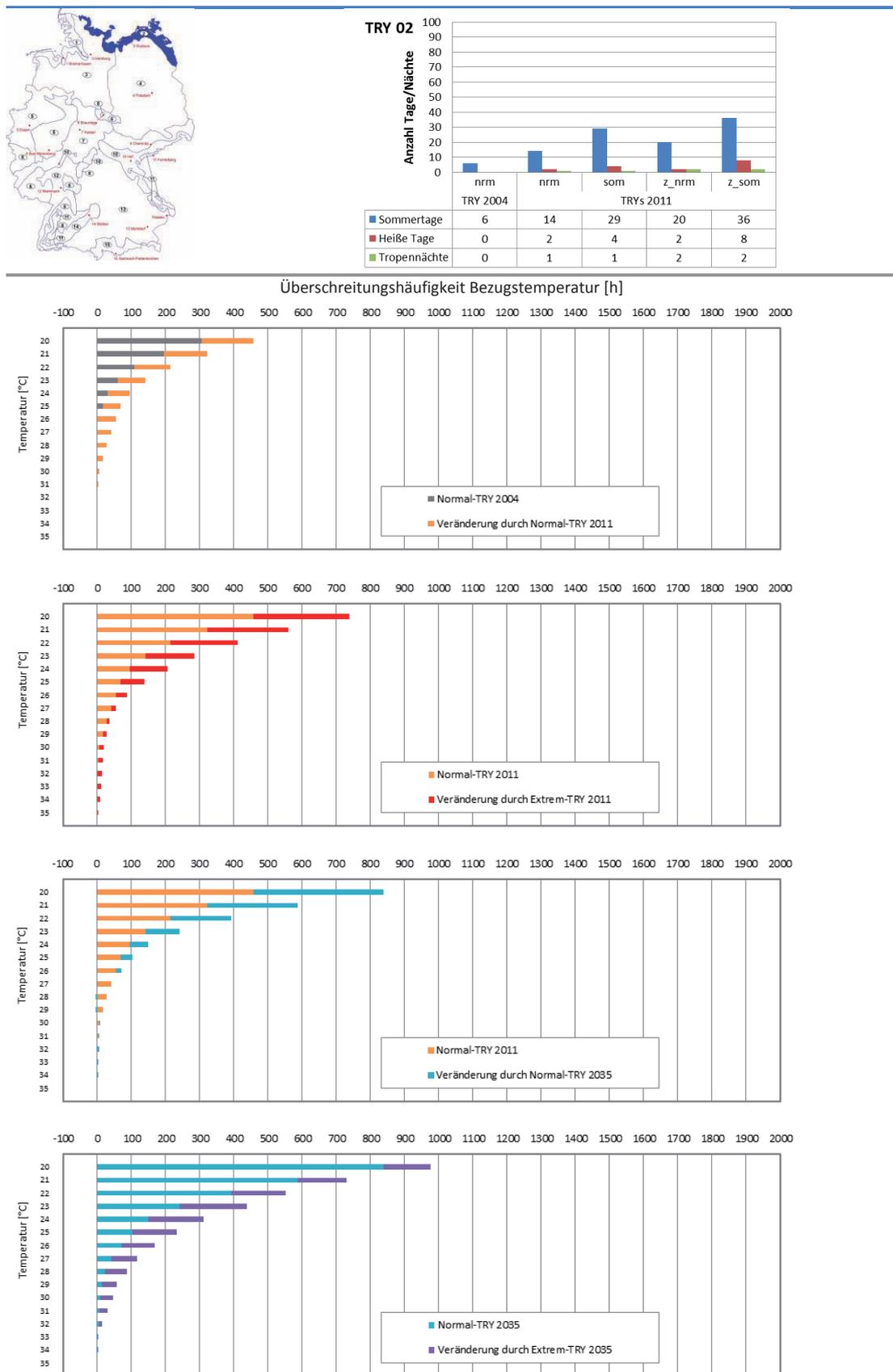
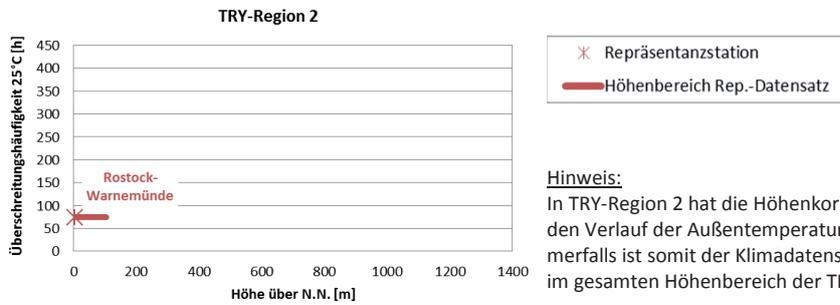


Bild A-5: Thermische Auswertungen der Klimadatensätze zur TRY-Region 2. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 2



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:



Hinweis:

In TRY-Region 2 hat die Höhenkorrektur keinen Einfluss auf den Verlauf der Außentemperatur. Zur Bewertung des Sommerfalls ist somit der Klimadatensatz der Repräsentanzstation im gesamten Höhenbereich der TRY-Region anwendbar.

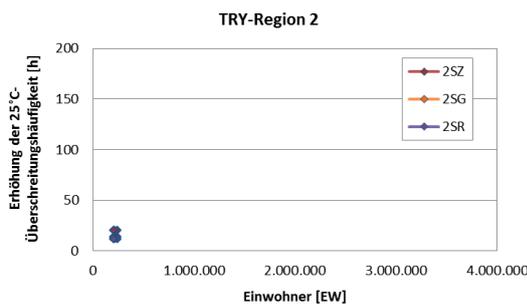
Bild A-6: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 2

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
2	Kiel	242.041	5	A	4	1	nein
2	Lübeck	210.577	13	A	4	9	nein
2	Rostock	204.260	13	A	4	9	nein

Schraffuren:
 kleinste und größte Stadt einer TRY-Region ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion

Erhöhung der Überschreitungshäufigkeit von 25°C infolge Stadtklima:

Erläuterungen:



- [SZ] Stadtzentrum
- [SG] mittleres Stadtgebiet
- [SR] Stadtrand

Bild A-7: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 2. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

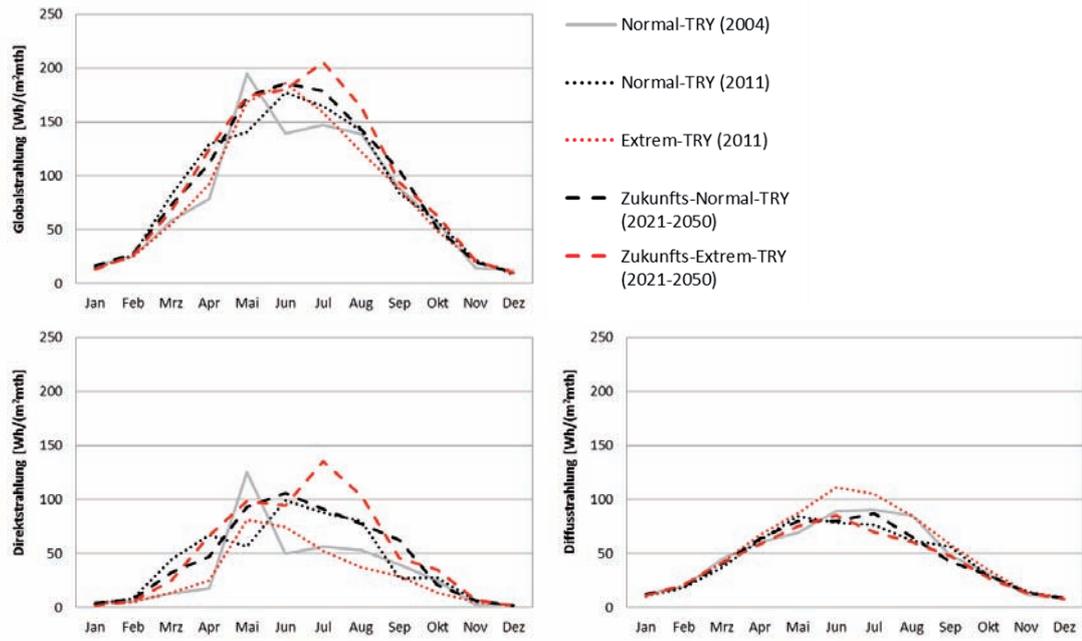


Bild A-8: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatensätze der TRY-Region 2

A 3 TRY-Region 3, Nordwestdeutsches Tiefland

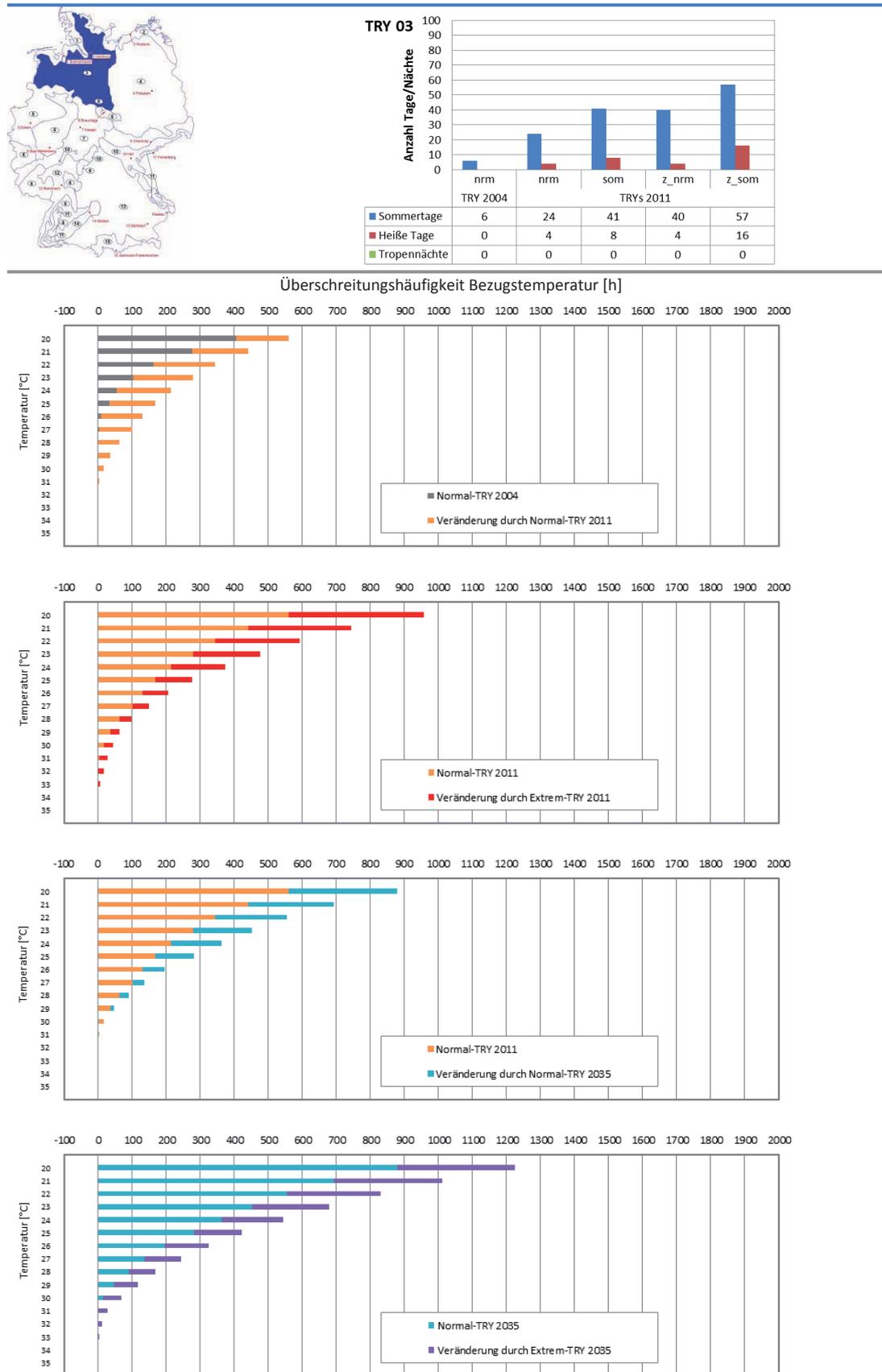


Bild A-9: Thermische Auswertungen der Klimadatensätze zur TRY-Region 3. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 3



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

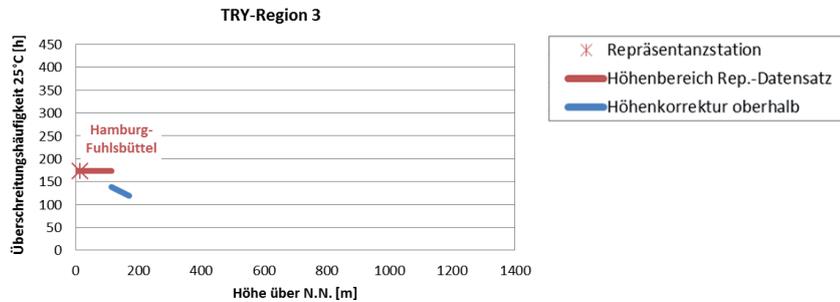


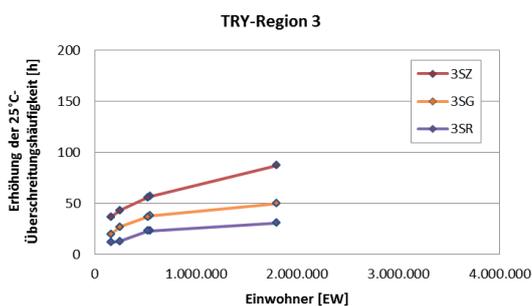
Bild A-10: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 3

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
3	Hamburg	1.798.836	6	B	13	-7	nein
3	Bremen	548.319	11,5	B	13	-1,5	nein
3	Hannover	525.875	55	B	13	42	nein
3	Braunschweig	250.556	75	B	13	62	nein
3	Oldenburg	162.481	4	B	13	-9	nein

Schraffuren:
 kleinste und größte Stadt einer TRY-Region ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion

Erhöhung der Überschreitungshäufigkeit von 25°C infolge Stadtklima:

Erläuterungen:



- [SZ] Stadtzentrum
- [SG] mittleres Stadtgebiet
- [SR] Stadtrand

Bild A-11: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 3. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

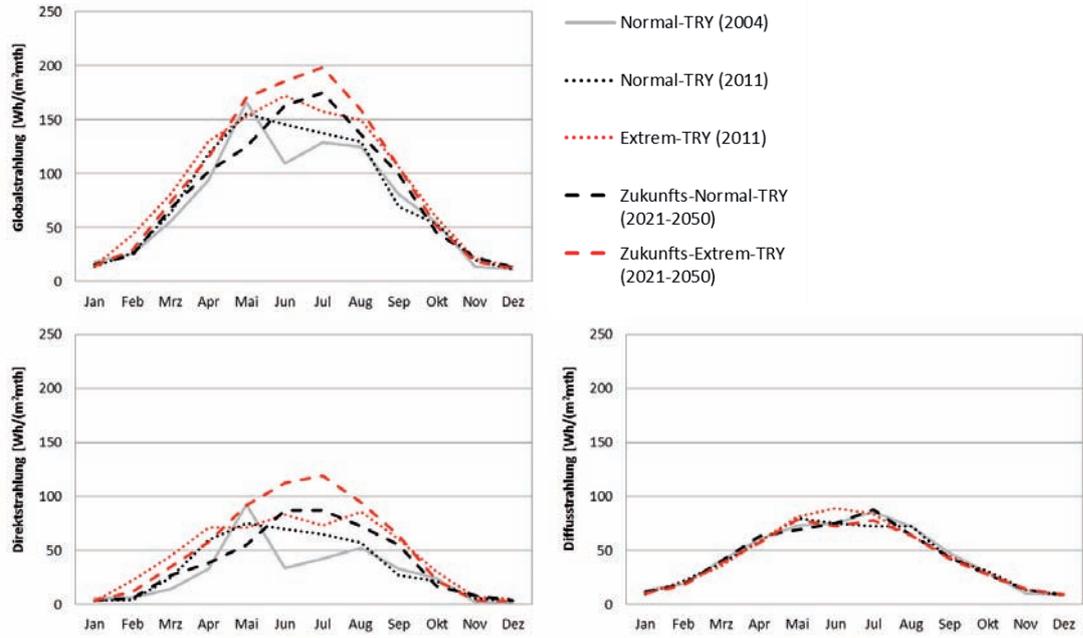


Bild A-12: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatensätze der TRY-Region 3

A 4 TRY-Region 4, Nordostdeutsches Tiefland

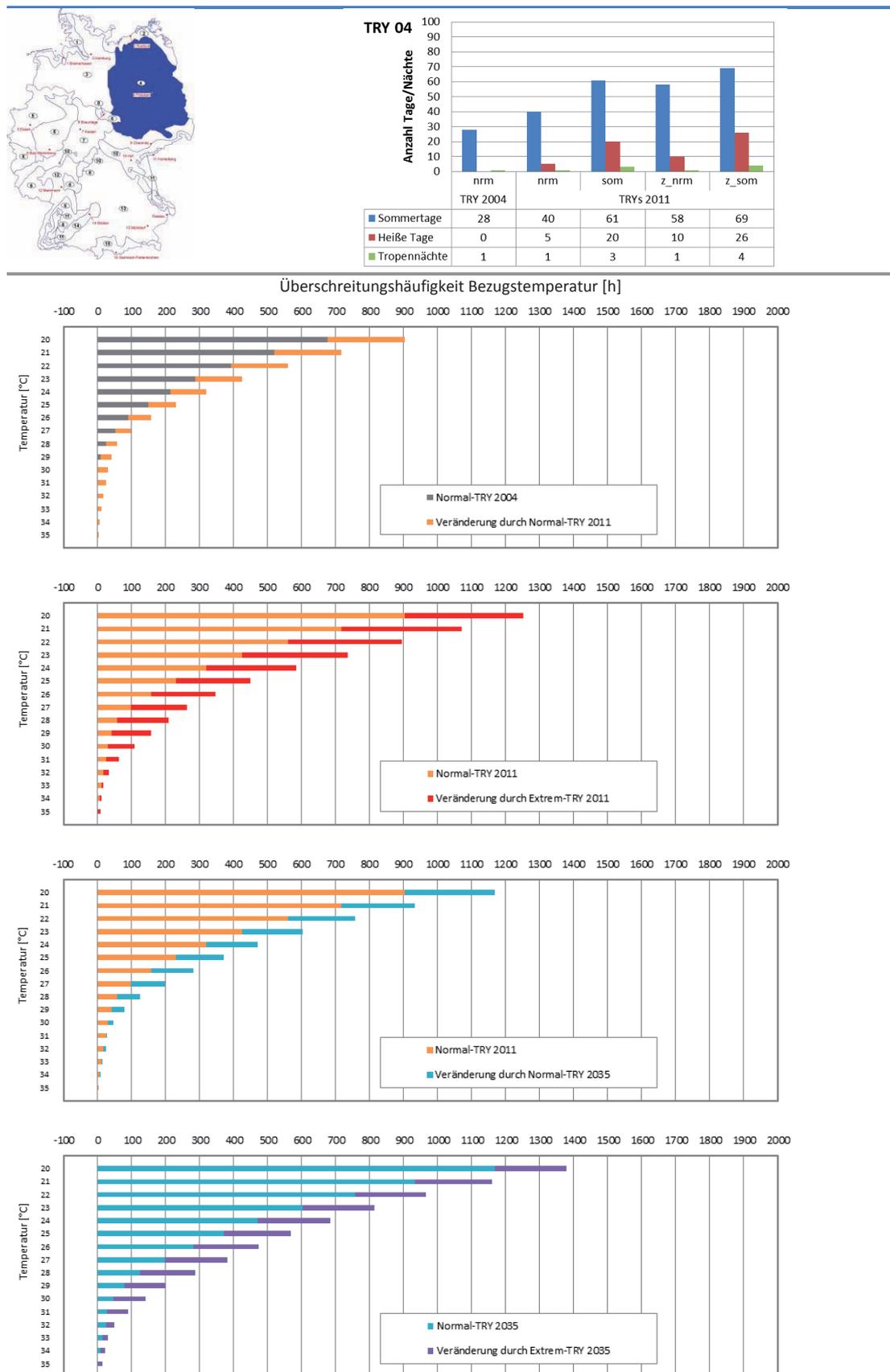


Bild A-13: Thermische Auswertungen der Klimadatensätze zur TRY-Region 4. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 4



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

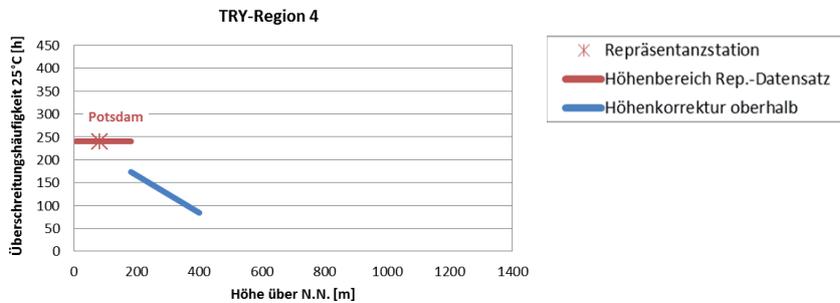


Bild A-14: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 4

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
4	Berlin	3.501.872	34	B	81	-47	nein
4	Leipzig	531.809	113	C	81	32	nein
4	Dresden	529.781	113	C	81	32	nein
4	Halle (Saale)	233.705	87	C	81	6	nein
4	Magdeburg	232.364	56	B	81	-25	nein
4	Potsdam	158.902	35	B	81	-46	nein

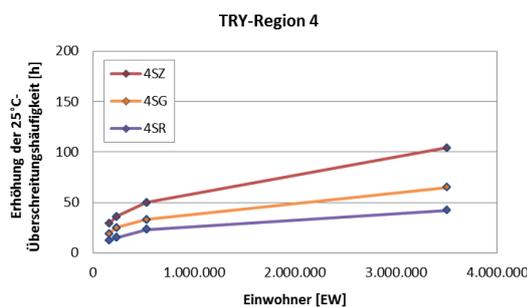
Schraffuren:

kleinste und größte Stadt einer TRY-Region ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion

Stadt mit abweichender Zuordnung der Klimaregion gegenüber der TRY-Region

Erhöhung der Überschreitungshäufigkeit von 25°C infolge Stadtklima:

Erläuterungen:



- [SZ] Stadtzentrum
- [SG] mittleres Stadtgebiet
- [SR] Stadtrand

Bild A-15: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 4. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaefekt.

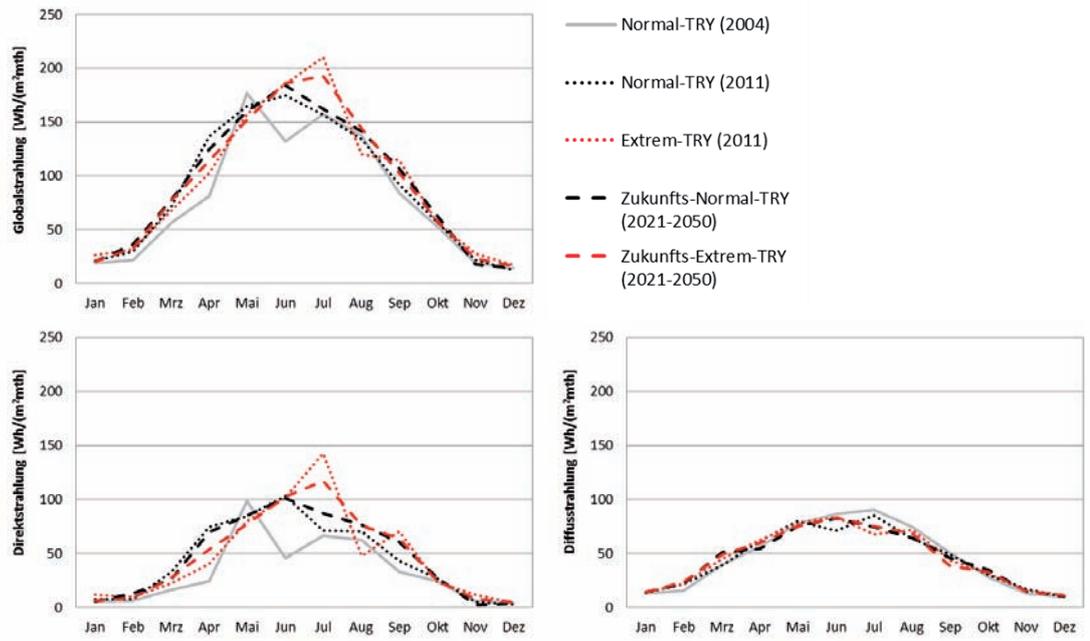


Bild A-16: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatensätze der TRY-Region 4

A 5 TRY-Region 5, Niederrheinisch-westfälische Bucht und Emsland

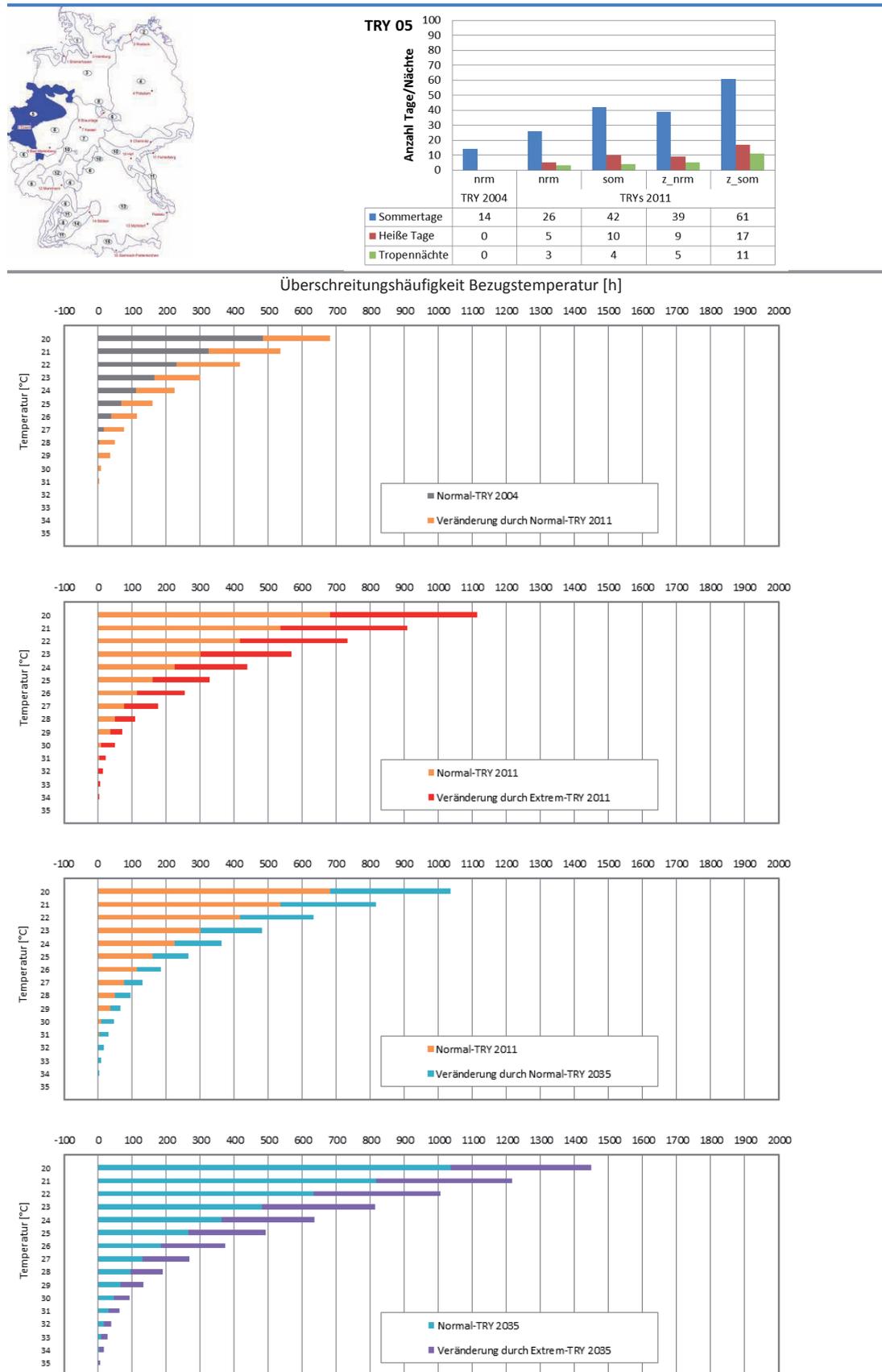


Bild A-17: Thermische Auswertungen der Klimadatensätze zur TRY-Region 5. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 5



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

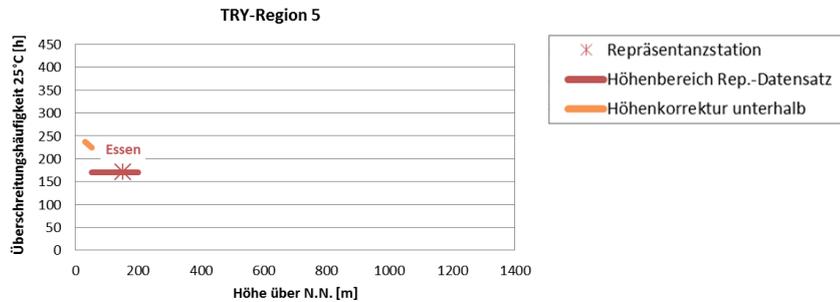


Bild A-18: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 5

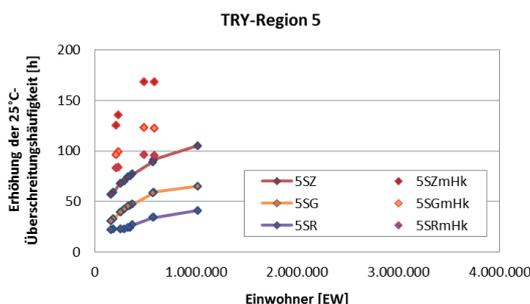
TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
5	Köln	1.017.155	53	C	152	-99	nein
5	Düsseldorf	592.393	38	B	152	-114	ja
5	Dortmund	580.956	76	C	152	-76	nein
5	Essen	573.468	116	B	152	-36	nein
5	Duisburg	488.005	33	B	152	-119	ja
5	Bochum	373.976	100	C	152	-52	nein
5	Wuppertal	349.470	160	B	152	8	nein
5	Bonn	327.913	60	C	152	-92	nein
5	Münster	291.754	60	B	152	-92	nein
5	Mönchengladbach	257.208	70	B	152	-82	nein
5	Gelsenkirchen	256.652	52	B	152	-100	nein
5	Krefeld	234.396	38	B	152	-114	ja
5	Oberhausen	212.568	42	B	152	-110	ja
5	Hagen	187.447	106	C	152	-46	nein
5	Leverkusen	161.195	60	C	152	-92	nein

Schraffuren:

- kleinste und größte Stadt einer TRY-Region ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion
- Stadt mit abweichender Zuordnung der Klimaregion gegenüber der TRY-Region
- Stadt mit Höhenkorrektur

Erhöhung der Überschreitungshäufigkeit von 25°C infolge Stadtklima:

Erläuterungen:



[SZ] Stadtzentrum
[SG] mittleres Stadtgebiet
[SR] Stadttrand

[SZmHk] Stadtzentrum mit Höhenkorrektur
[SGmHk] mittleres Stadtgebiet mit Höhenkorrektur
[SRmHk] Stadttrand mit Höhenkorrektur

Bild A-19: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 5. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

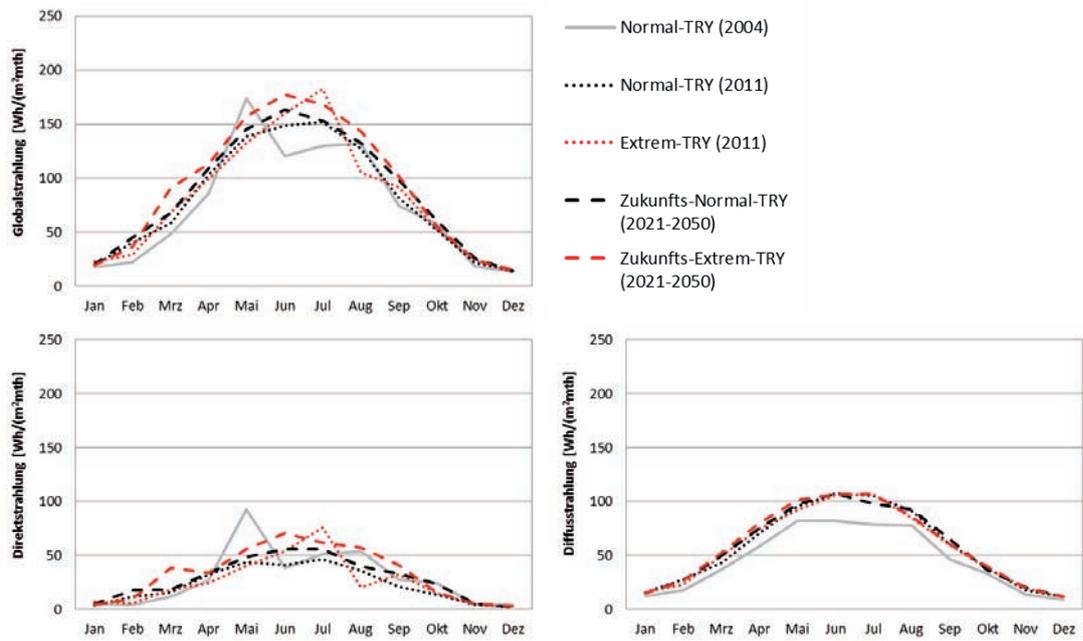


Bild A-20: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatensätze der TRY-Region 5

A 6 TRY-Region 6, Nördliche und westliche Mittelgebirge, Randgebiete

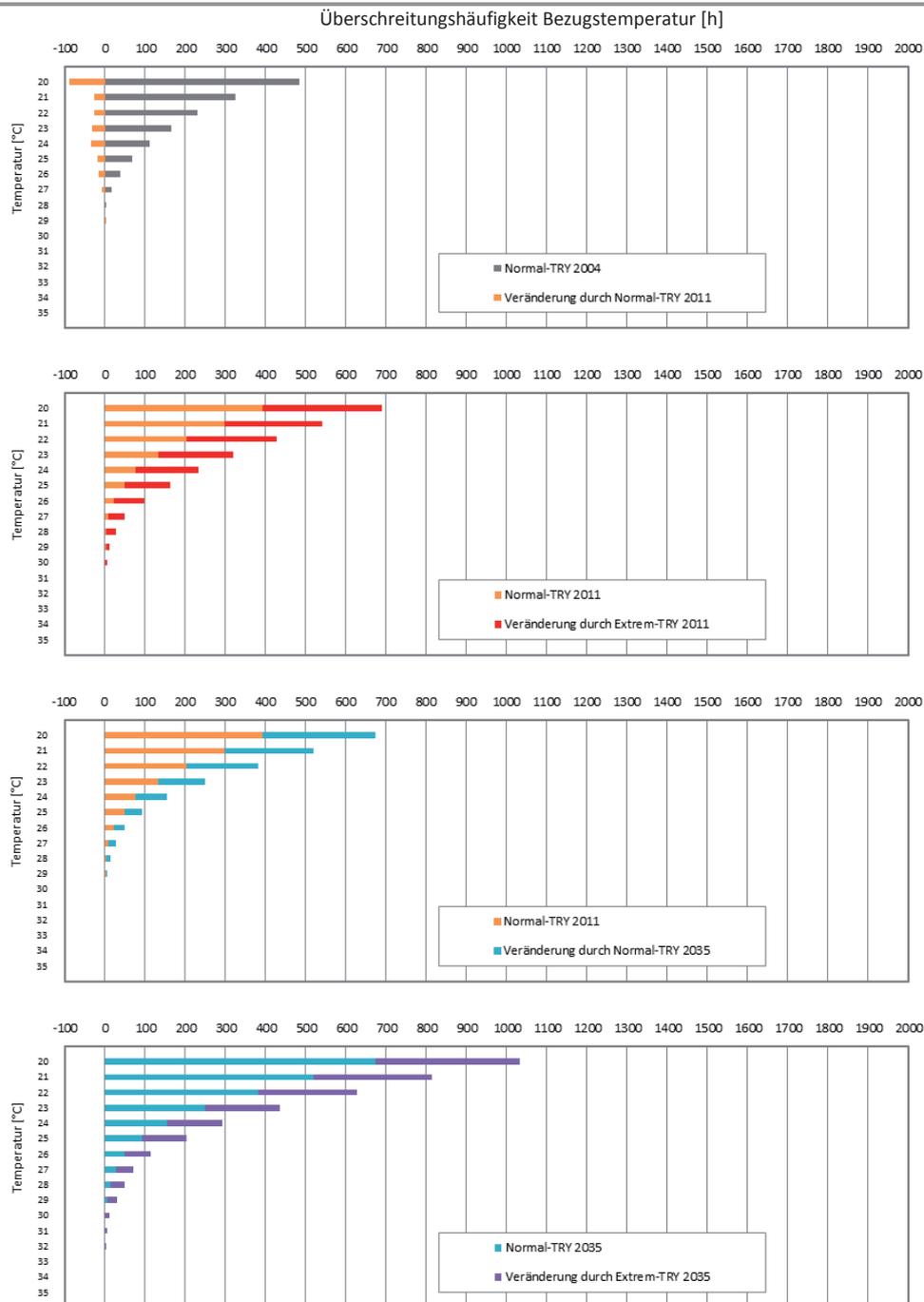
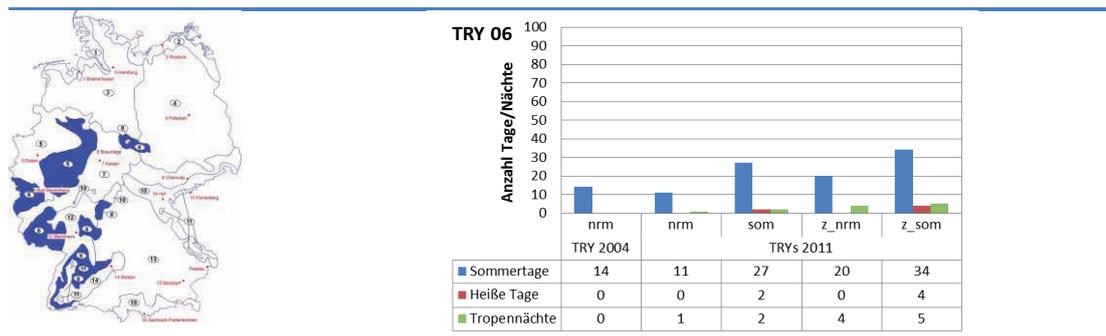


Bild A-21: Thermische Auswertungen der Klimadatensätze zur TRY-Region 6. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 6



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

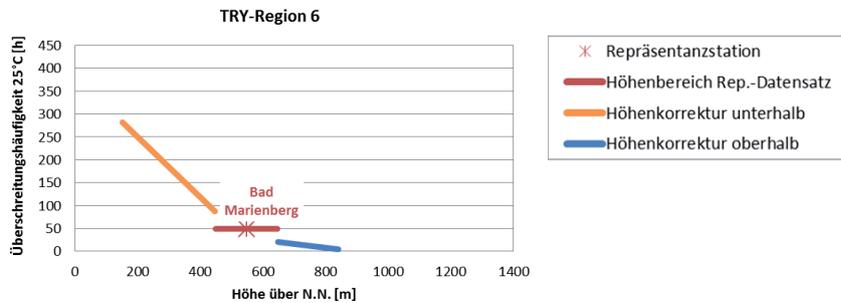
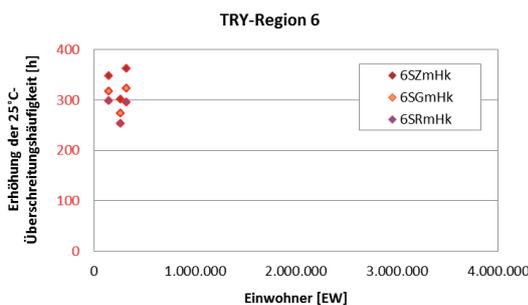


Bild A-22: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 6

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
6	Bielefeld	323.395	118	B	547	-429	ja
6	Aachen	260.454	173	B	547	-374	ja
6	Paderborn	147.688	110	B	547	-437	ja
Schraffuren:							
Stadt mit Höhenkorrektur							

Erhöhung der Überschreitungshäufigkeit von 25°C infolge Stadtklima:

Erläuterungen:



- [SZmHk] Stadtzentrum mit Höhenkorrektur
- [SGmHk] mittleres Stadtgebiet mit Höhenkorrektur
- [SRmHk] Stadtrand mit Höhenkorrektur

Hinweis:
angepasste Skalierung der Ordinate aufgrund der Höhenkorrektur. Deutlich erhöhte Zunahme der Überschreitungshäufigkeiten infolge Stadtklimaeffekt UND Höhenkorrektur.

Bild A-23: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 6. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

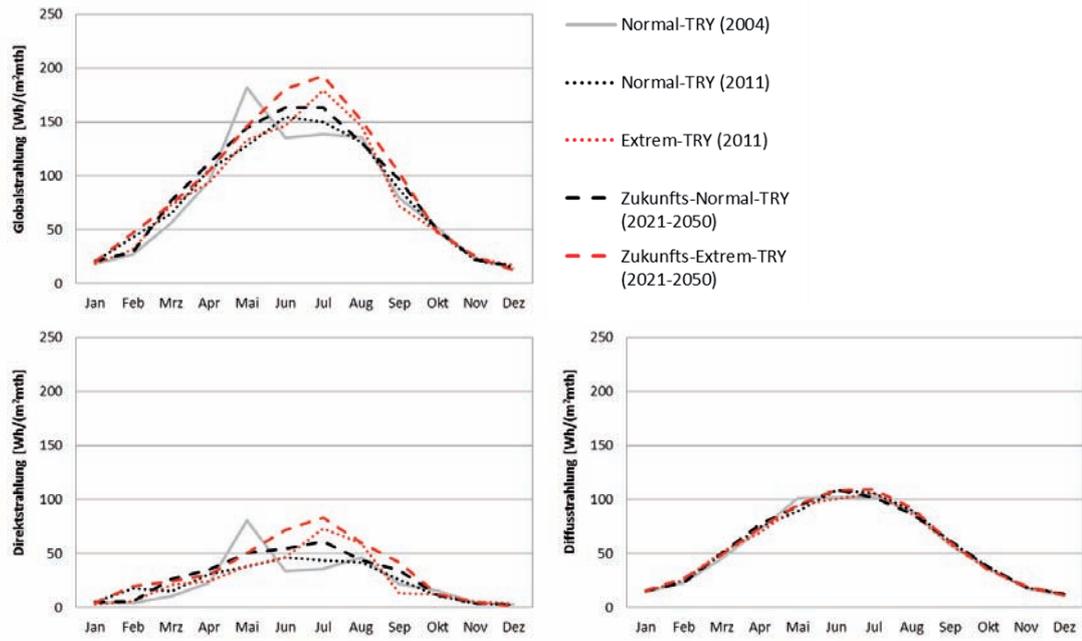


Bild A-24: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatensätze der TRY-Region 6

A 7 TRY-Region 7, Nördliche und westliche Mittelgebirge, zentrale Bereiche

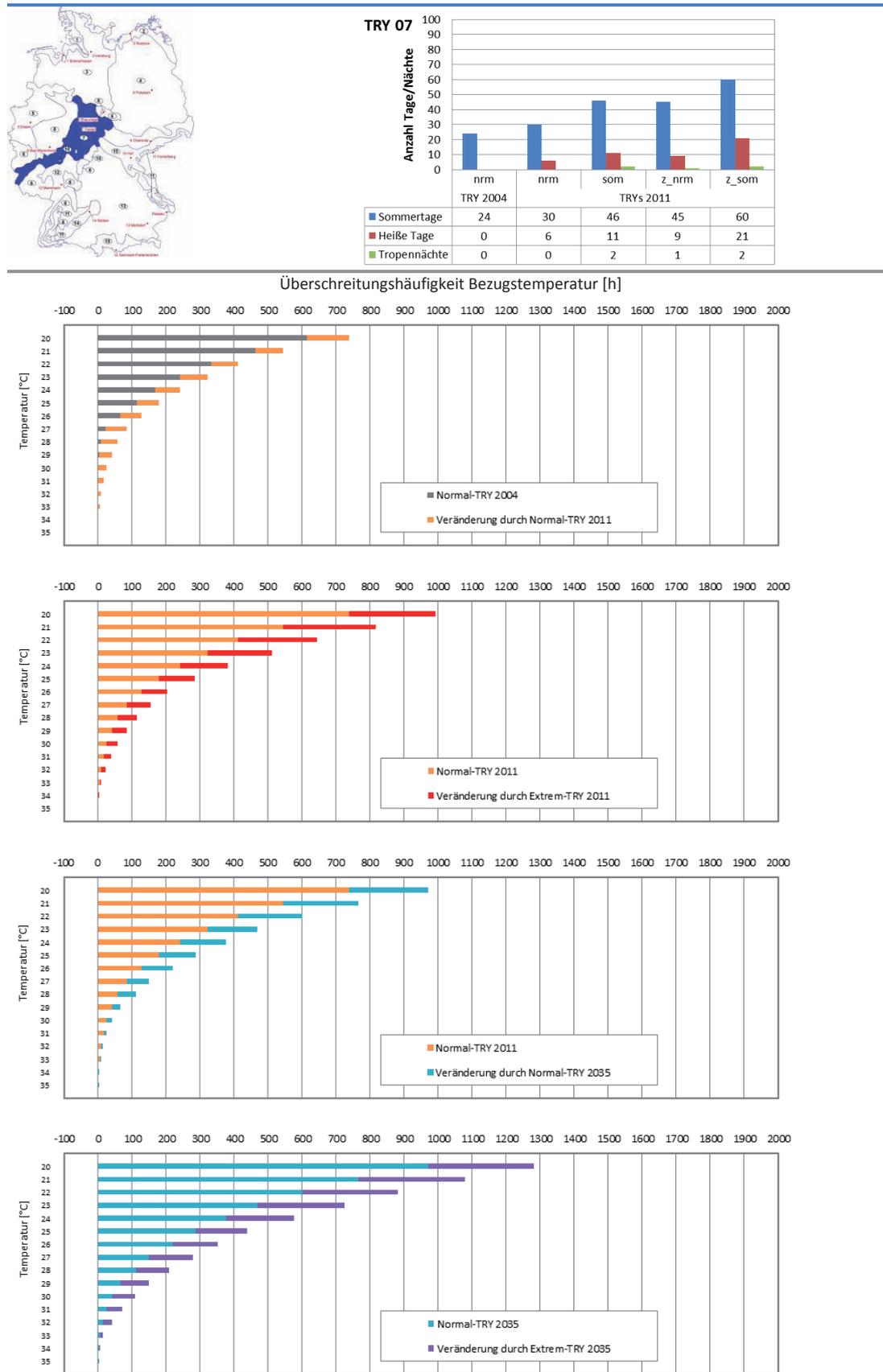


Bild A-25: Thermische Auswertungen der Klimadatensätze zur TRY-Region 7. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 7



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

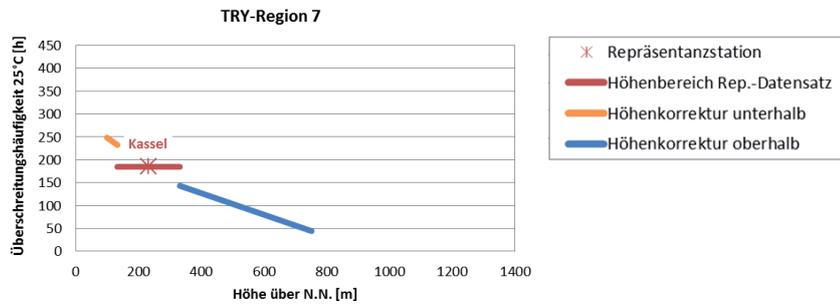


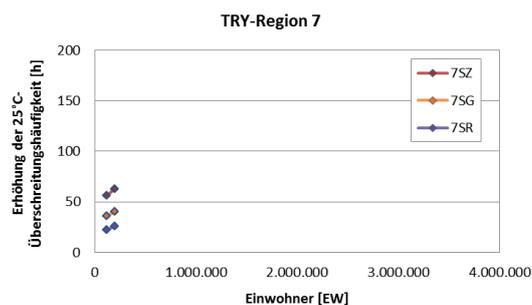
Bild A-26: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 7

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
7	Kassel	196.526	166	B	231	-65	nein
7	Göttingen	121.364	150	B	231	-81	nein

Schraffuren:
kleinste und größte Stadt einer TRY-Region ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion

Erhöhung der Überschreitungshäufigkeit von 25°C infolge Stadtklima:

Erläuterungen:



[SZ] Stadtzentrum
[SG] mittleres Stadtgebiet
[SR] Stadttrand

Bild A-27: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 7. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

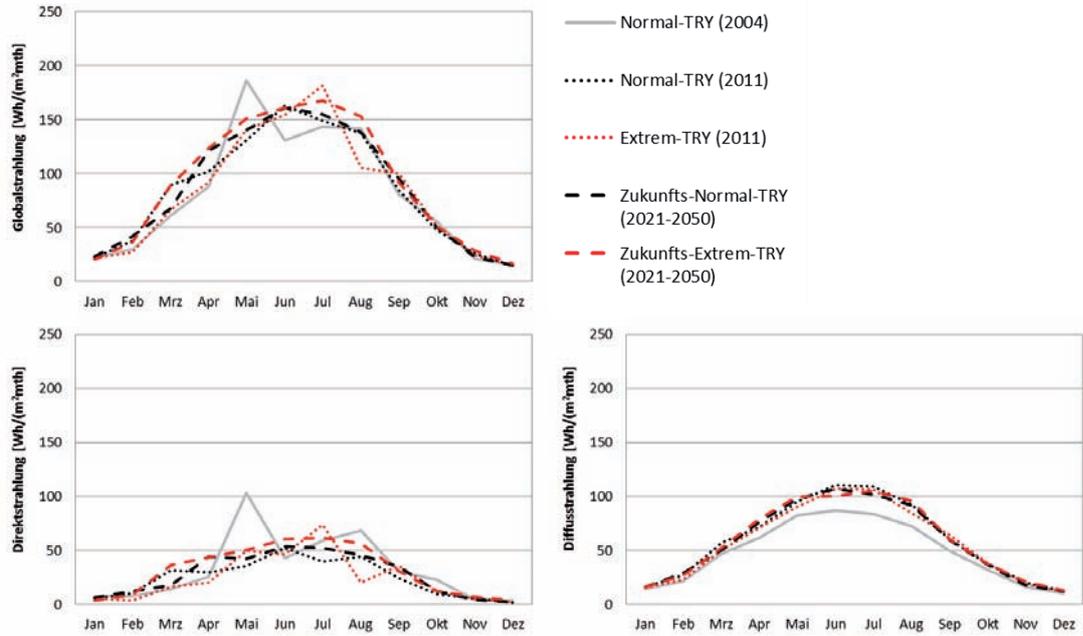


Bild A-28: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatensätze der TRY-Region 7

A 8 TRY-Region 8, Oberharz und Schwarzwald (mittlere Lagen)

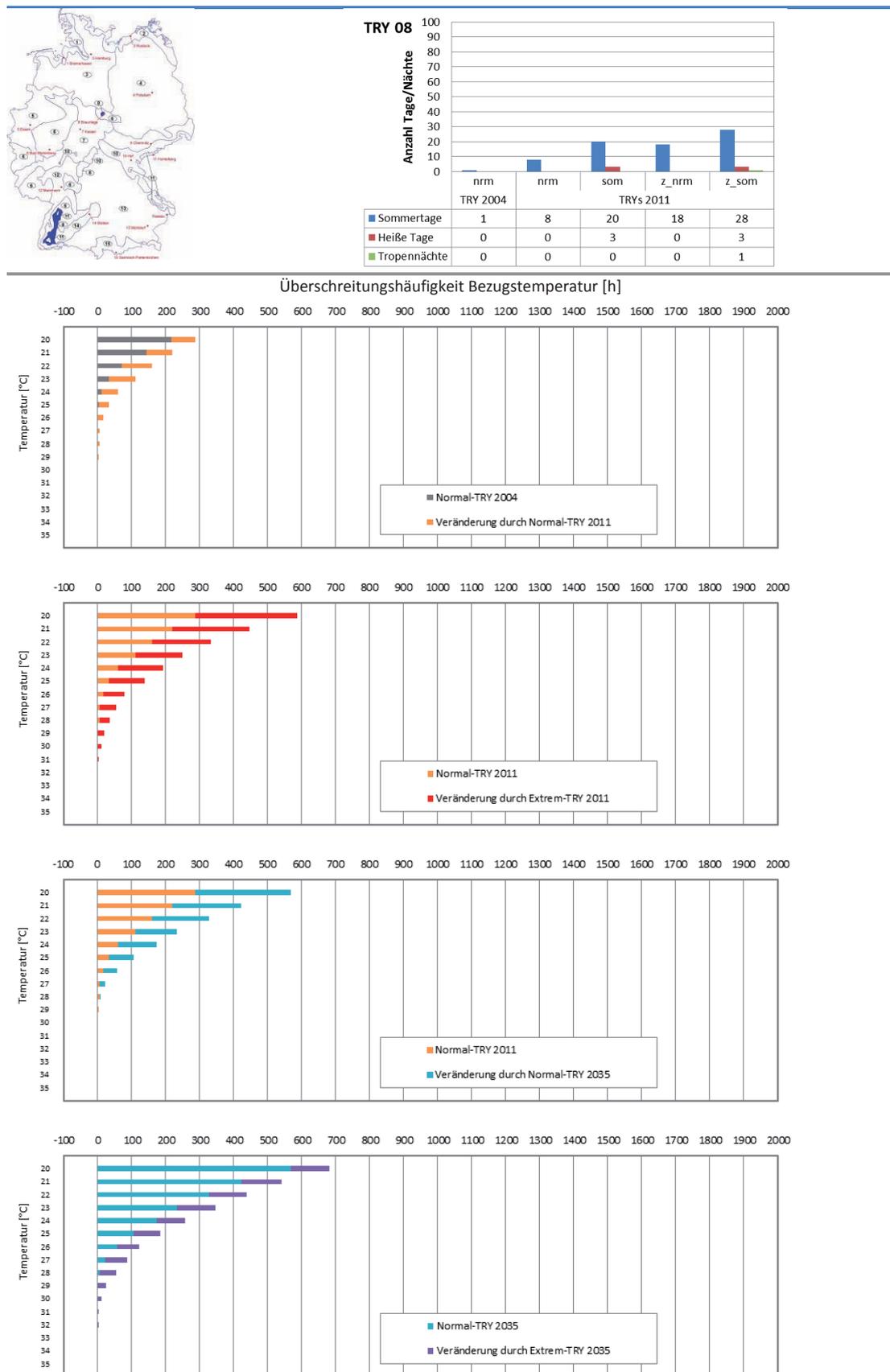
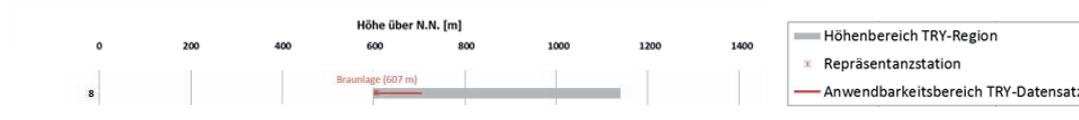


Bild A-29: Thermische Auswertungen der Klimadatenätze zur TRY-Region 8. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 8



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

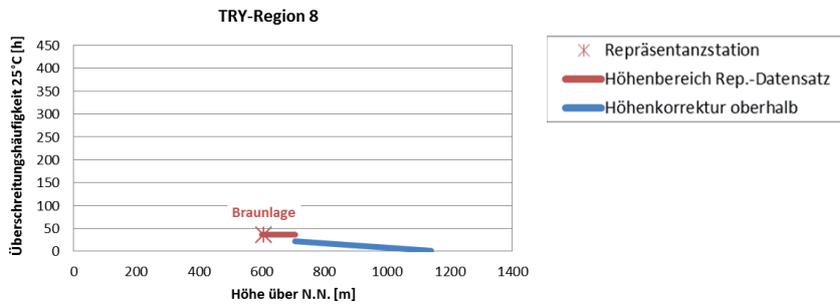


Bild A-30: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 8

[keine (Groß-)Städte in dieser Klimaregion vorhanden/betrachtet]

Bild A-31: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 8. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

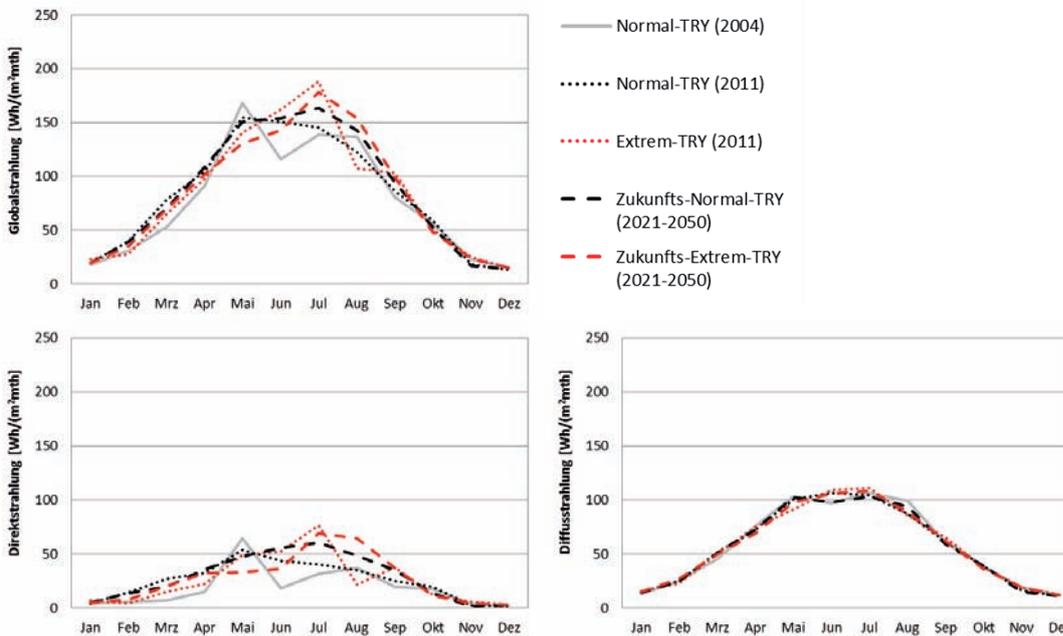


Bild A-32: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatensätze der TRY-Region 8

A 9 TRY-Region 9, Thüringer Becken und Sächsisches Hügelland

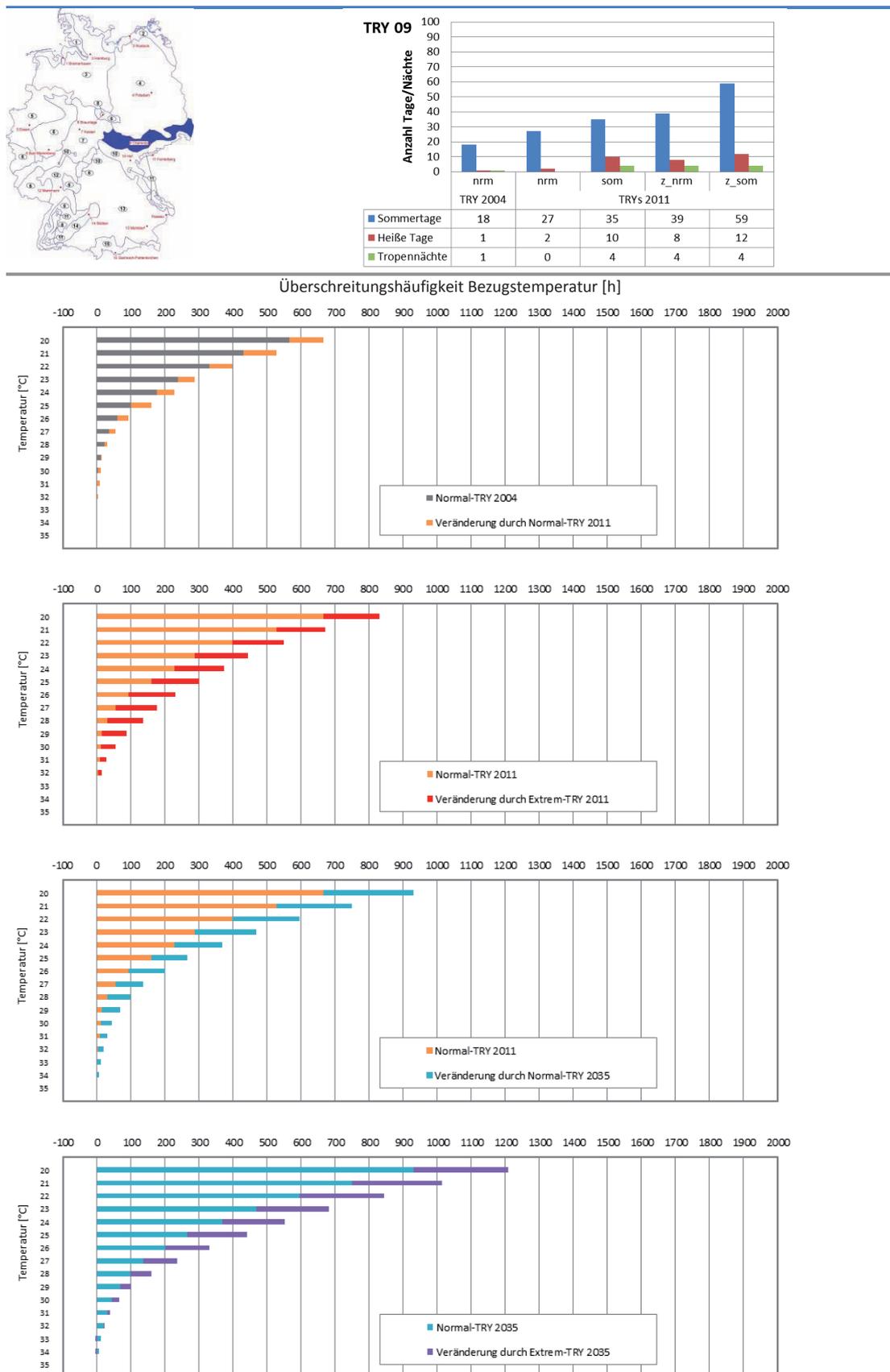


Bild A-33: Thermische Auswertungen der Klimadatenätze zur TRY-Region 9. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 9



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

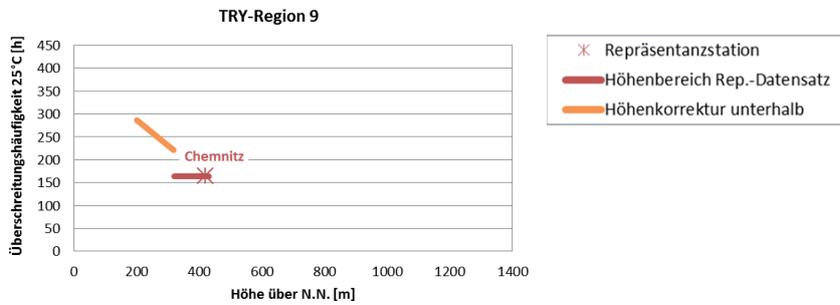


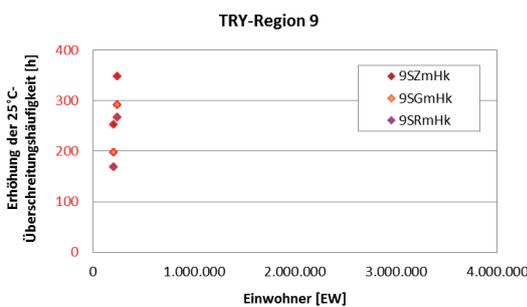
Bild A-34: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 9

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
9	Chemnitz	243.173	296	B	418	-122	ja
9	Erfurt	206.384	195	B	418	-223	ja

Schraffuren:
 Stadt mit Höhenkorrektur

Erhöhung der Überschreitungshäufigkeit von 25°C infolge Stadtklima:

Erläuterungen:



- [SZmHk] Stadtzentrum mit Höhenkorrektur
- [SGmHk] mittleres Stadtgebiet mit Höhenkorrektur
- [SRmHk] Stadtrand mit Höhenkorrektur

Hinweis:
 angepasste Skalierung der Ordinate aufgrund der Höhenkorrektur

Bild A-35: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 9. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

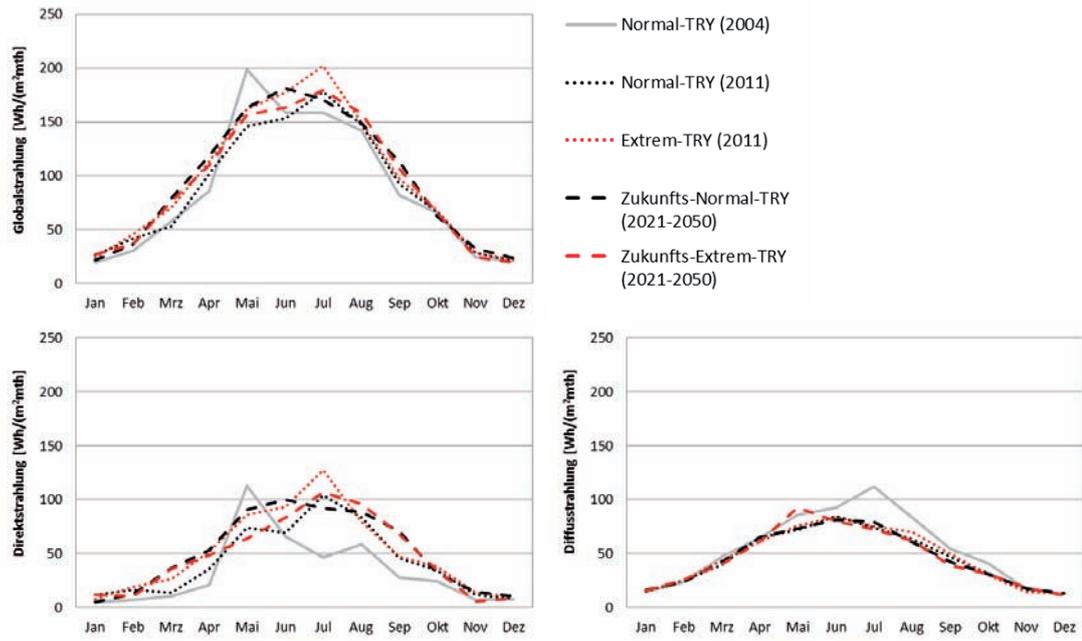


Bild A-36: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatensätze der TRY-Region 9

A 10 TRY-Region 10, Südöstliche Mittelgebirge bis 1000 m

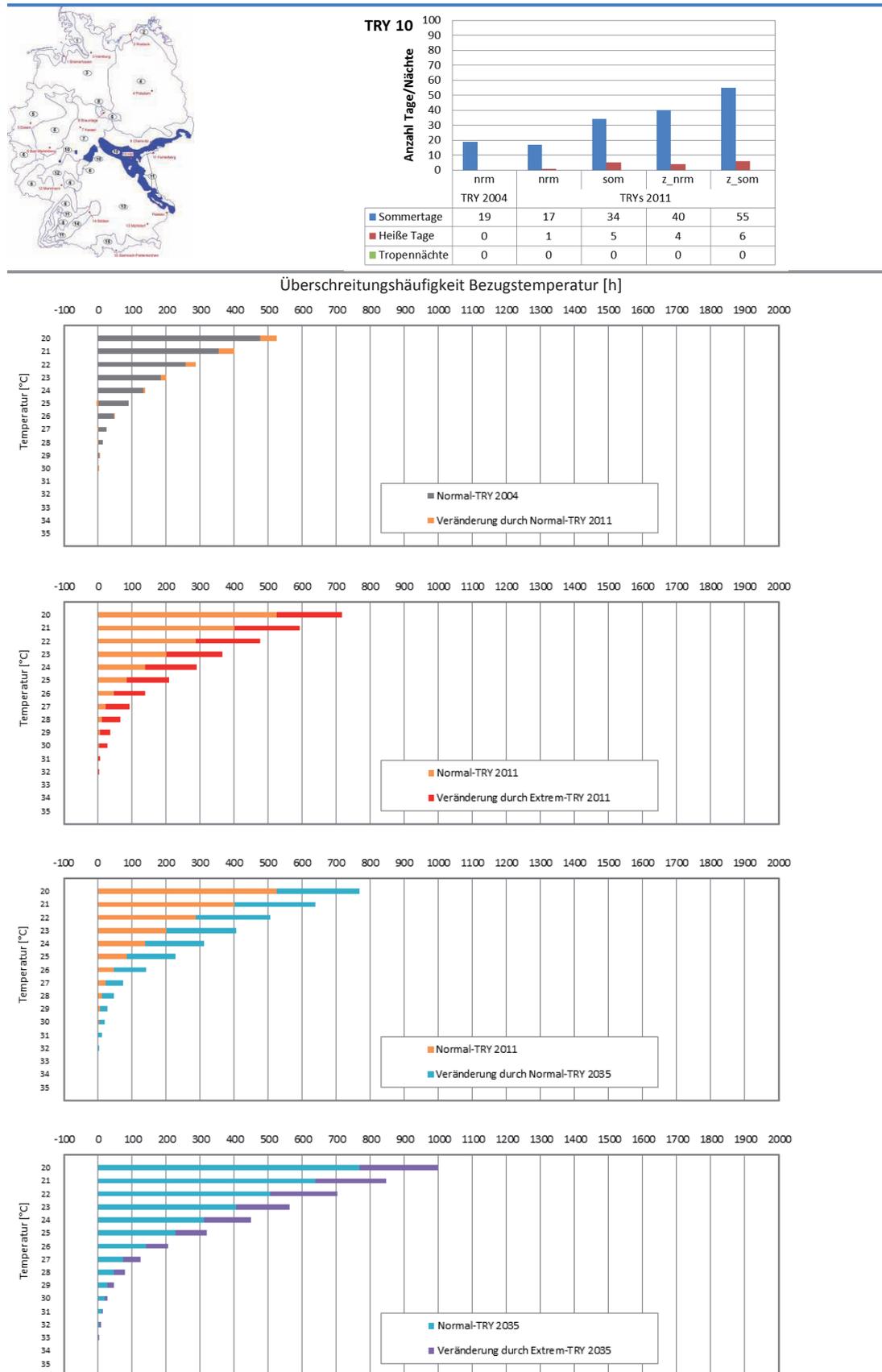


Bild A-37: Thermische Auswertungen der Klimadatensätze zur TRY-Region 10. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 10



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

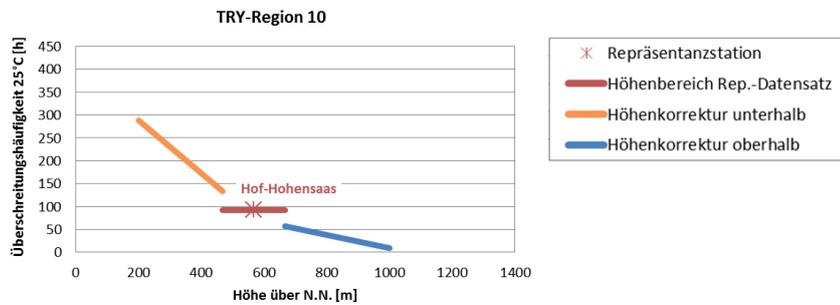


Bild A-38: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 10

[keine (Groß-)Städte in dieser Klimaregion vorhanden/betrachtet]

Bild A-39: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 10. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

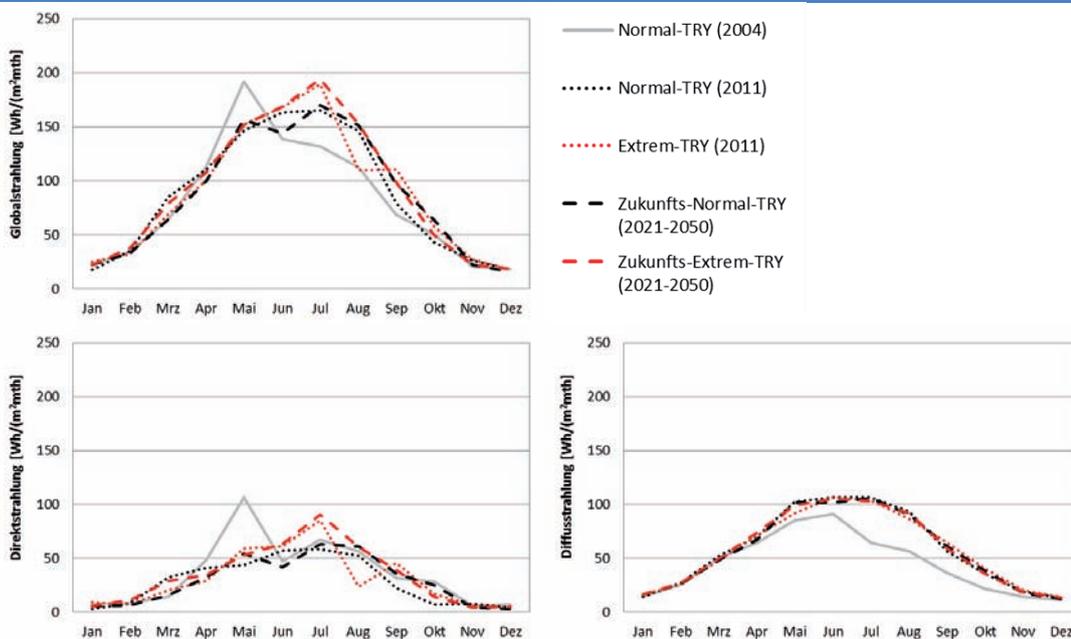


Bild A-40: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatensätze der TRY-Region 10

A 11 TRY-Region 11, Erzgebirge, Böhmer- und Schwarzwald oberhalb 1000 m

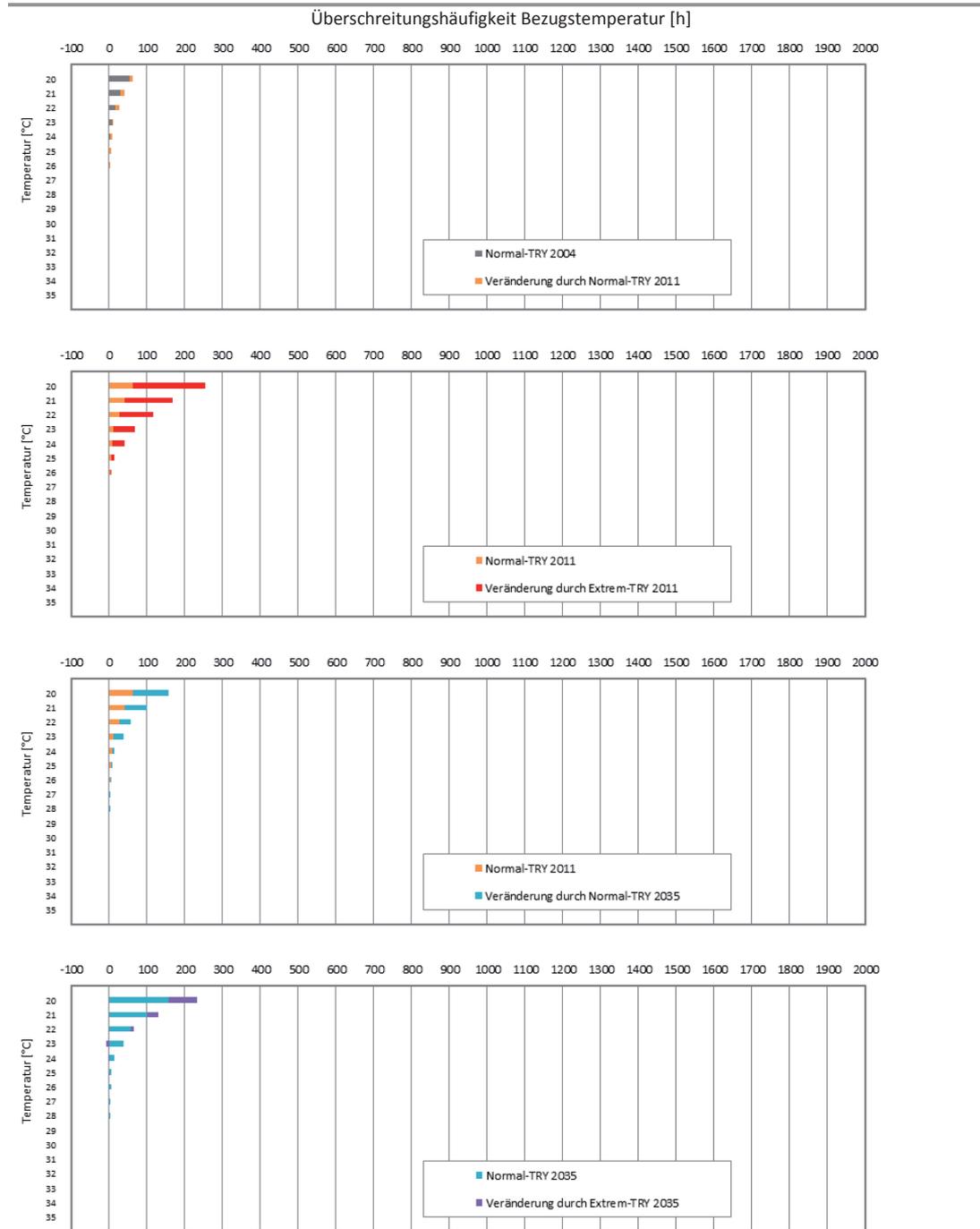
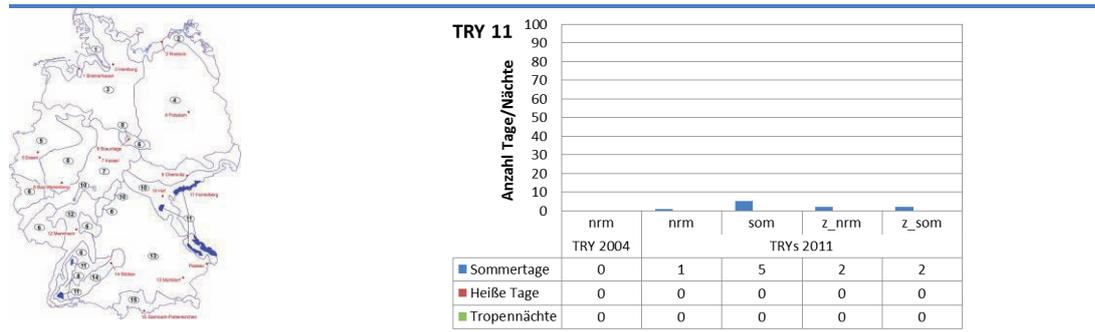
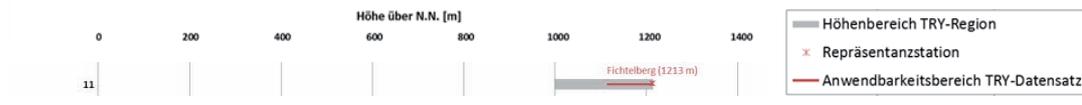


Bild A-41: Thermische Auswertungen der Klimadatensätze zur TRY-Region 11. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 11



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

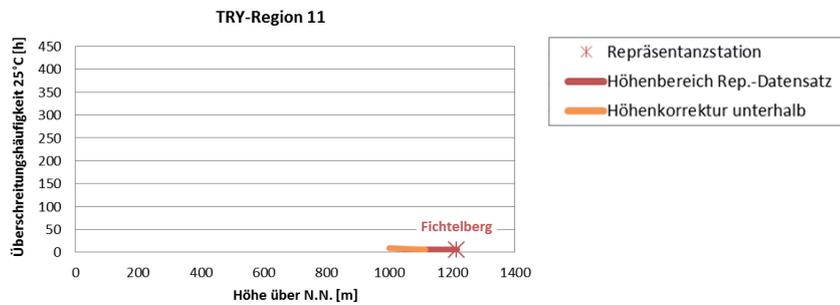


Bild A-42: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 11

[keine (Groß-)Städte in dieser Klimaregion vorhanden/betrachtet]

Bild A-43: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 11. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

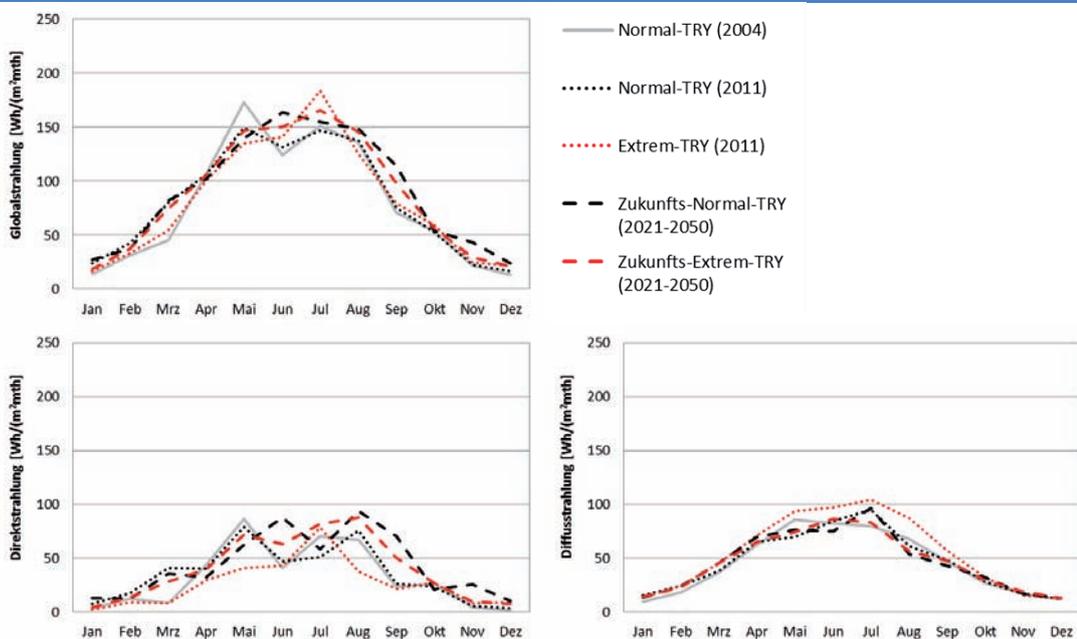


Bild A-44: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatensätze der TRY-Region 11

A 12 TRY-Region 12, Oberrheingraben und unteres Neckartal

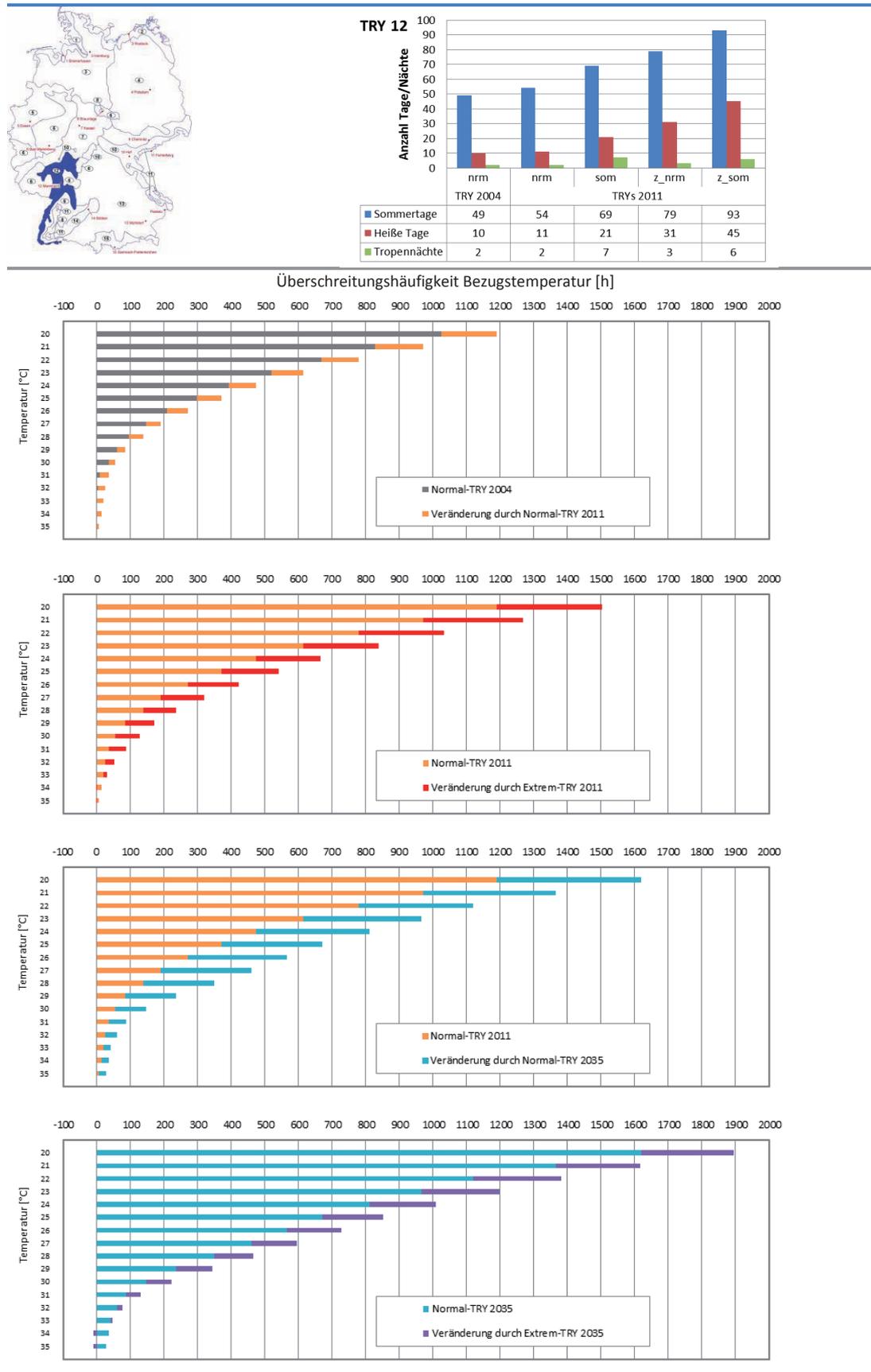


Bild A-45: Thermische Auswertungen der Klimadatensätze zur TRY-Region 12. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 12



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

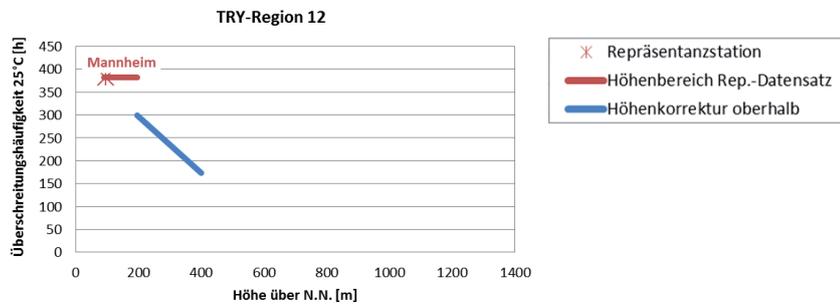


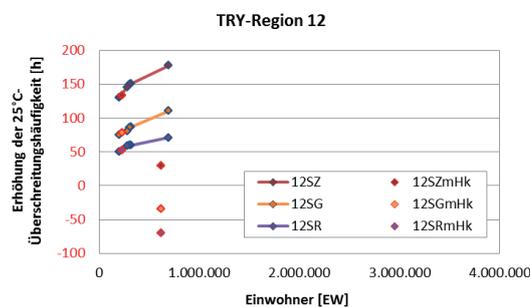
Bild A-46: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 12

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
12	Frankfurt am Main	691.518	112	C	96	16	nein
12	Stuttgart	613.392	245	C	96	149	ja
12	Mannheim	314.931	97	C	96	1	nein
12	Karlsruhe	297.488	115	C	96	19	nein
12	Wiesbaden	278.919	115	C	96	19	nein
12	Freiburg im Breisgau	229.144	278	C	96	182	ja
12	Mainz	200.957	164	C	96	68	nein

Schraffuren:
 kleinste und größte Stadt einer TRY-Region ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion
 Stadt mit Höhenkorrektur

Erhöhung der Überschreitungshäufigkeit von 25°C infolge Stadtklima:

Erläuterungen:



[SZ] Stadtzentrum
 [SG] mittleres Stadtgebiet
 [SR] Stadttrand

[SZmHK] Stadtzentrum mit Höhenkorrektur
 [SGmHK] mittleres Stadtgebiet mit Höhenkorrektur
 [SRmHK] Stadttrand mit Höhenkorrektur

Hinweis:
 angepasste Skalierung der Ordinate aufgrund der Höhenkorrektur

Bild A-47: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 12. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

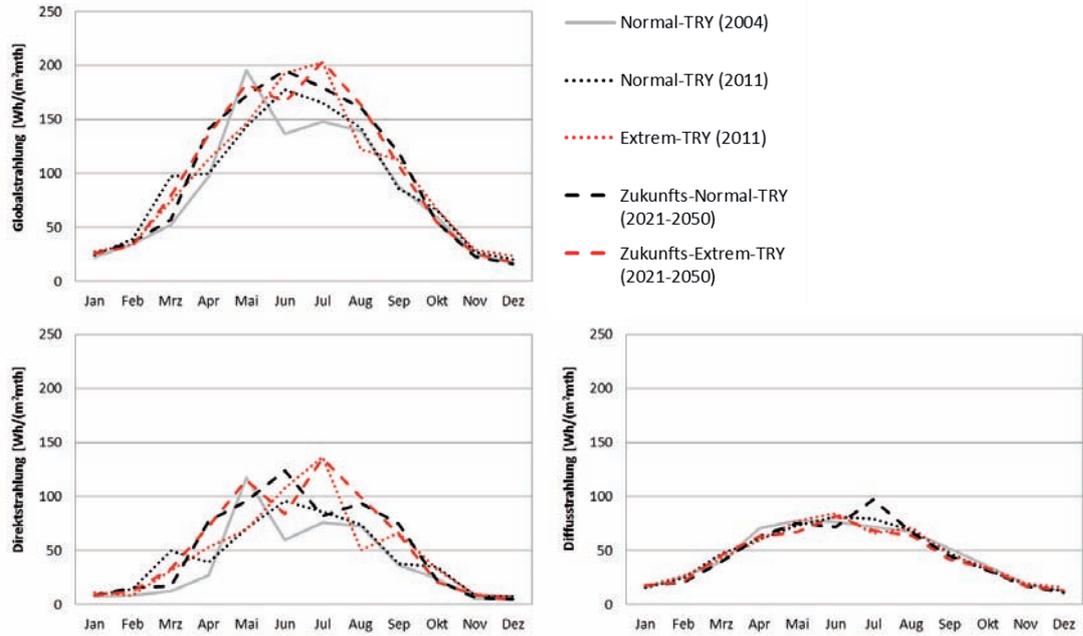


Bild A-48: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatensätze der TRY-Region 12

A 13 TRY-Region 13, Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland

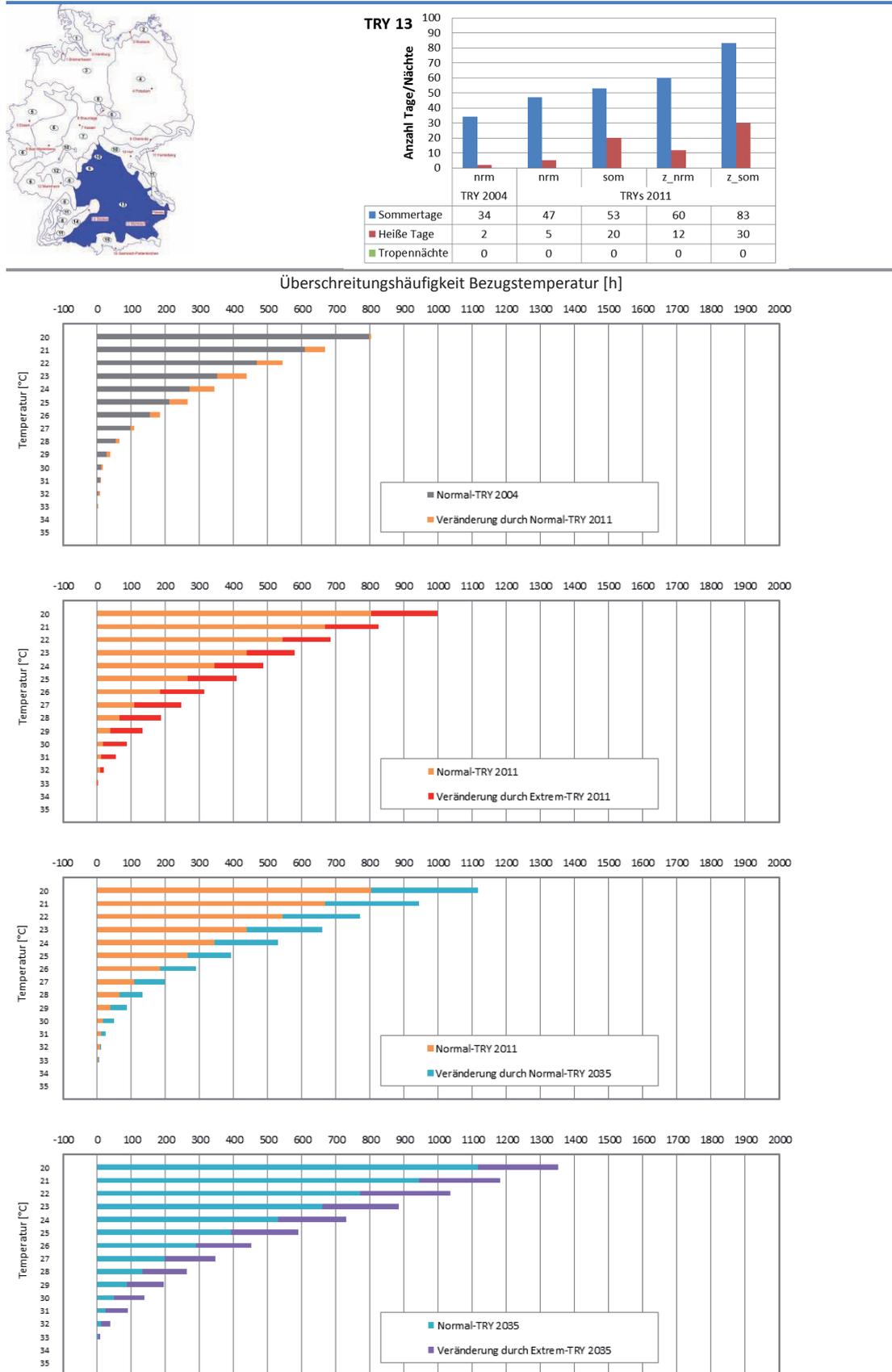


Bild A-49: Thermische Auswertungen der Klimadatensätze zur TRY-Region 13. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 13



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

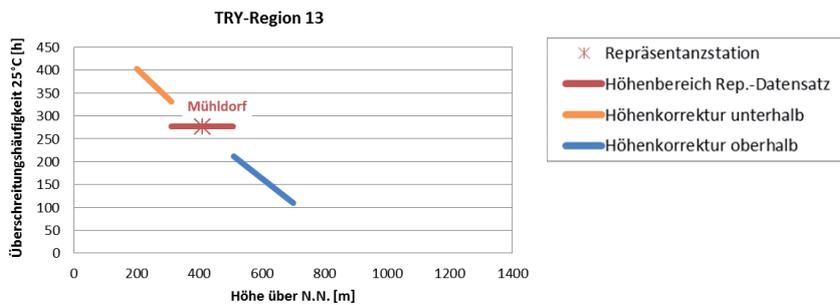


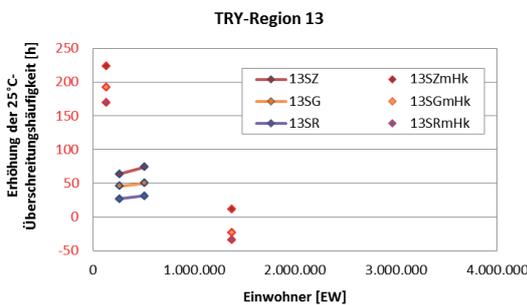
Bild A-50: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 13

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
13	München	1.378.176	518	B	409	109	ja
13	Nürnberg	510.602	309	B	409	-100	nein
13	Augsburg	266.647	494	B	409	85	nein
13	Würzburg	133.808	177	B	409	-232	ja

Schraffuren:
 kleinste und größte Stadt einer TRY-Region ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion
 Stadt mit Höhenkorrektur

Erhöhung der Überschreitungshäufigkeit von 25°C infolge Stadtklima:

Erläuterungen:



- [SZ] Stadtzentrum
- [SG] mittleres Stadtgebiet
- [SR] Stadttrand
- [SZmHk] Stadtzentrum mit Höhenkorrektur
- [SGmHk] mittleres Stadtgebiet mit Höhenkorrektur
- [SRmHk] Stadttrand mit Höhenkorrektur

Hinweis: angepasste Skalierung der Ordinate aufgrund der Höhenkorrektur

Bild A-51: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 13. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

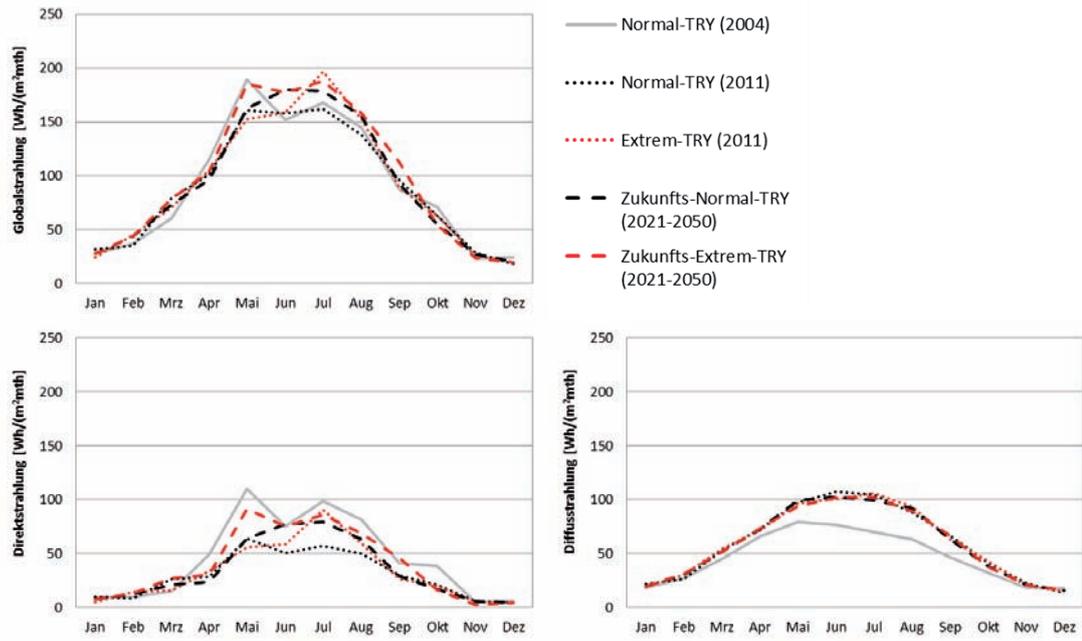


Bild A-52: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatensätze der TRY-Region 13

A 14 TRY-Region 14, Schwäbische Alb und Baar

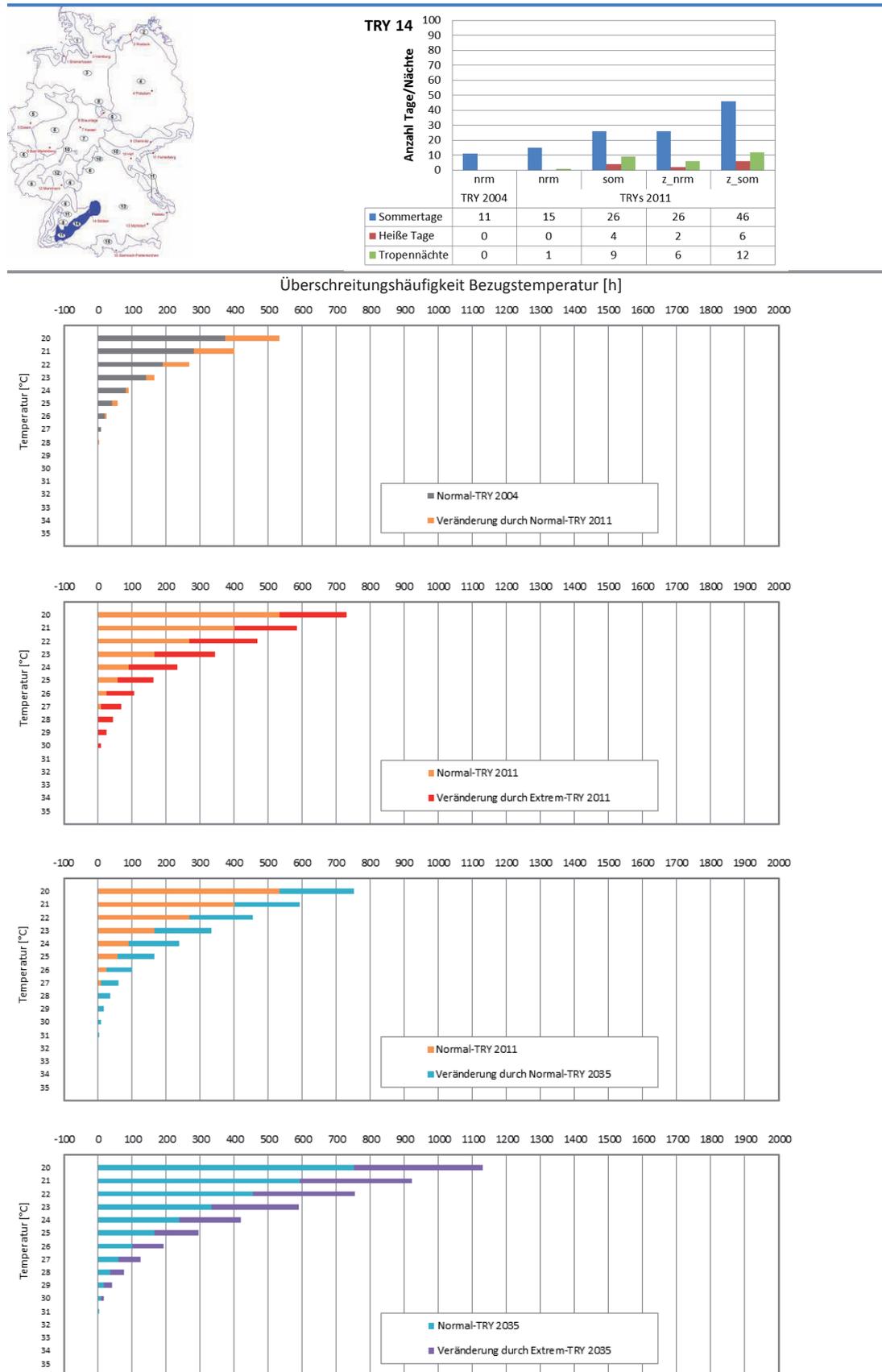


Bild A-53: Thermische Auswertungen der Klimadatensätze zur TRY-Region 14. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 14



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

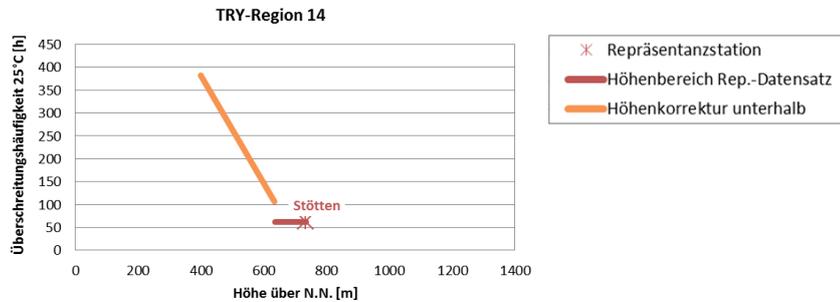


Bild A-54: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 14

[keine (Groß-)Städte in dieser Klimaregion vorhanden/betrachtet]

Bild A-55: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 14. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

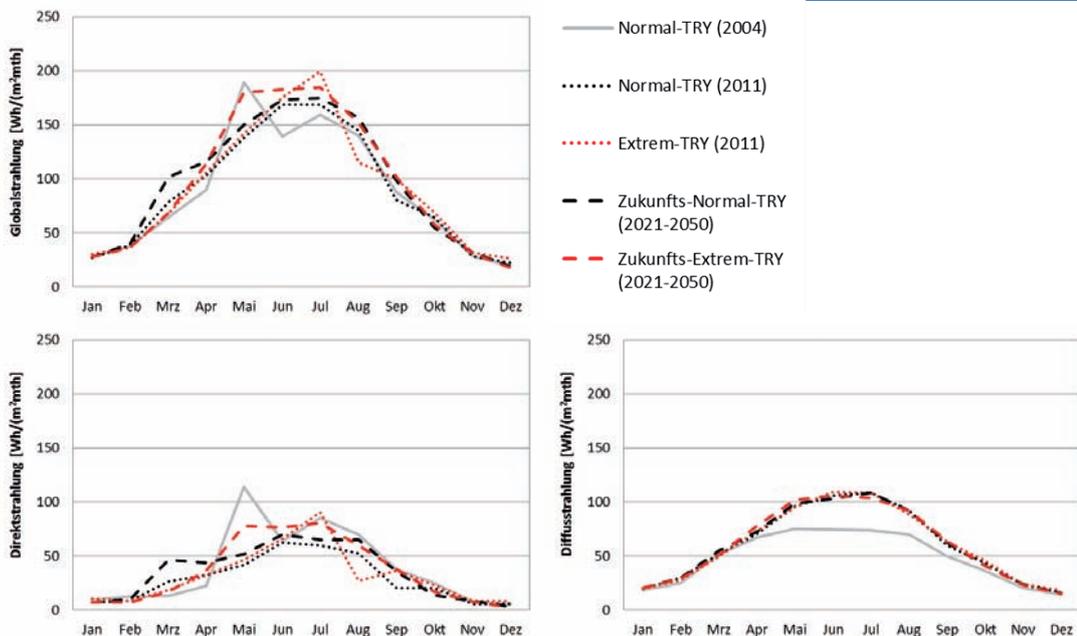


Bild A-56: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatenätze der TRY-Region 14

A 15 TRY-Region 15, Alpenrand und -täler

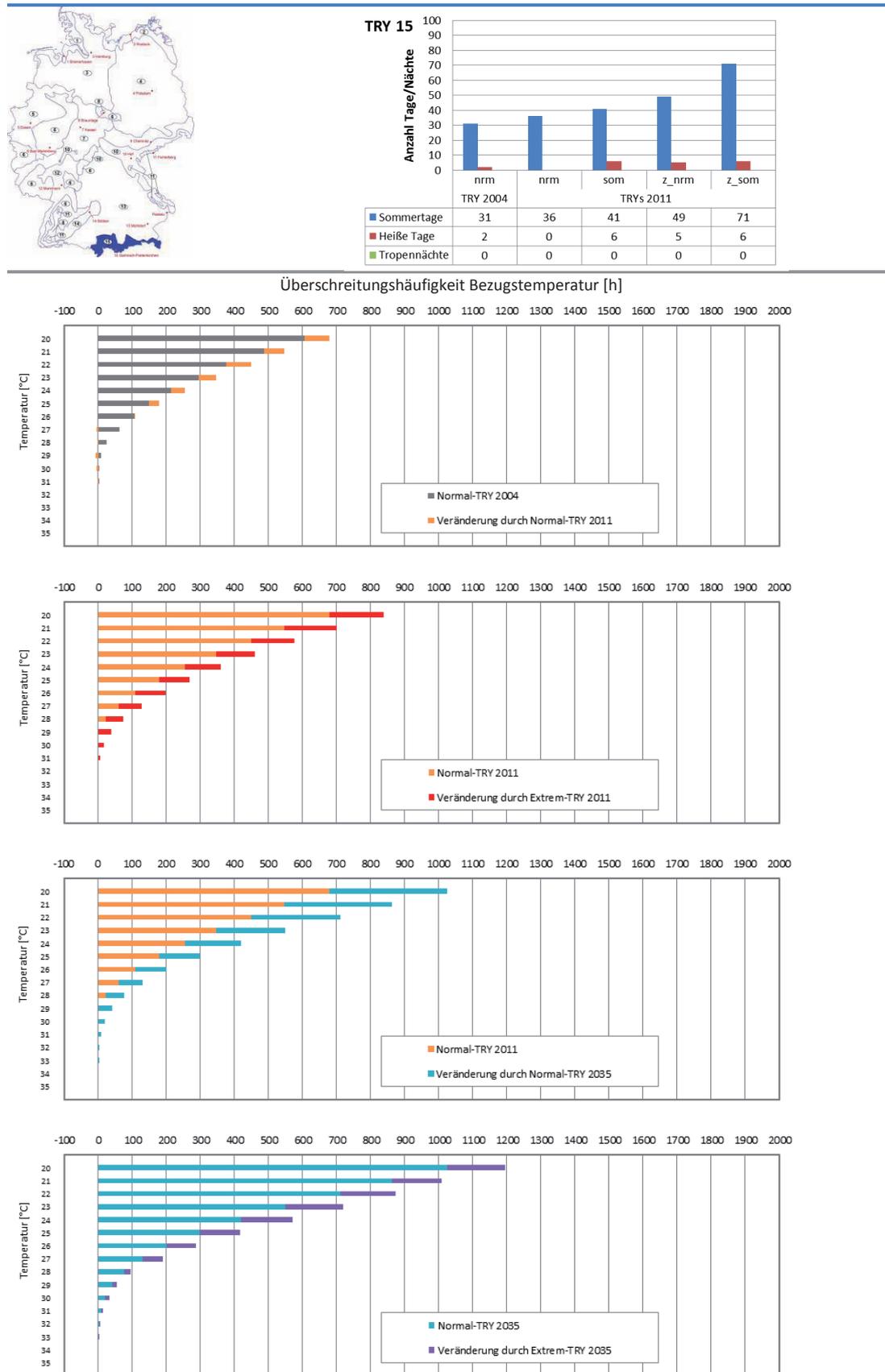


Bild A-57: Thermische Auswertungen der Klimadatensätze zur TRY-Region 15. Sommertage, heiße Tage, Tropennächte sowie Überschreitungshäufigkeiten im Temperaturbereich von 20 - 35°C

Höhenbereich und Anwendbarkeit des Datensatzes der Repräsentanzstation in TRY-Region 15



Überschreitungshäufigkeit von 25° abhängig von Höhe ü. NN:

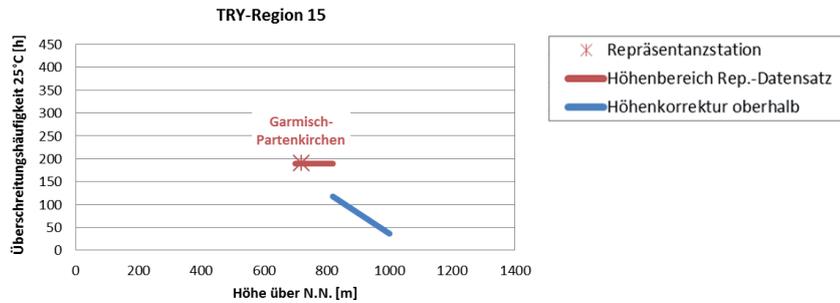


Bild A-58: Auswertung zur Überschreitungshäufigkeit von 25°C in Abhängigkeit der Höhenkorrektur in TRY-Region 15

[keine (Groß-)Städte in dieser Klimaregion vorhanden/betrachtet]

Bild A-59: Einfluss des Stadtklimas für Großstädte in TRY-Region 15. Erhöhung der 25°C-Überschreitungshäufigkeiten bezogen auf den TRY-Datensatz der Repräsentanzstation ohne Höhenkorrektur und Stadtklimaeffekt.

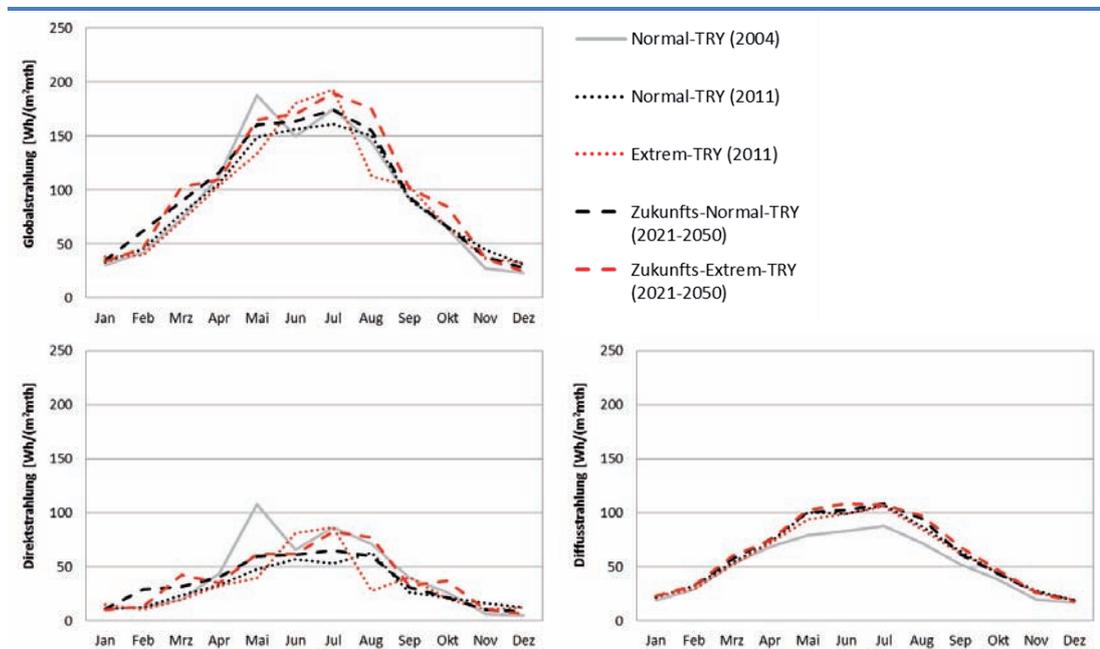


Bild A-60: Monatliche Strahlungssummen für Global-, Direkt- und Diffusstrahlung für die Klimadatensätze der TRY-Region 15

Anhang B Auswertungen zum Stadtklimaeffekt

Übersicht:

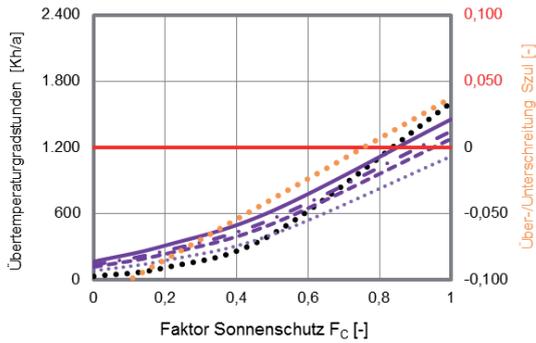
	Seite
B 1 Stadtklima in TRY-Region 1.....	144
B 2 Stadtklima in TRY-Region 2.....	145
B 3 Stadtklima in TRY-Region 3.....	146
B 4 Stadtklima in TRY-Region 4.....	147
B 5 Stadtklima in TRY-Region 5.....	149
B 6 Stadtklima in TRY-Region 6.....	151
B 7 Stadtklima in TRY-Region 7.....	152
B 8 Stadtklima in TRY-Region 9.....	153
B 9 Stadtklima in TRY-Region 12.....	154
B 10 Stadtklima in TRY-Region 13.....	156

B 1 Stadtklima in TRY-Region 1

Tabelle B-1: Übersicht der ausgewählten Großstädte in TRY-Region 1

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
1	Bremerhaven	112.982	2	A	7	-5	nein

DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Bremerhaven



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Bremerhaven

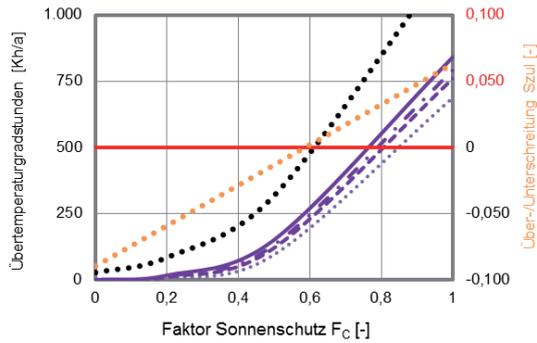


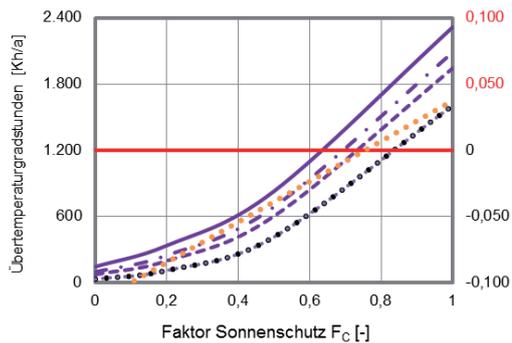
Bild B-1: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 1, Auswertung für Bremerhaven (einzige Großstadt in dieser TRY-Region)

B 2 Stadtklima in TRY-Region 2

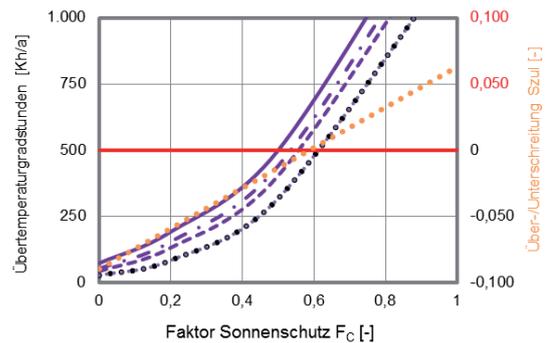
Tabelle B-2: Übersicht der ausgewählten Großstädte in TRY-Region 2

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
2	Kiel	242.041	5	A	4	1	nein
2	Lübeck	210.577	13	A	4	9	nein
2	Rostock	204.260	13	A	4	9	nein

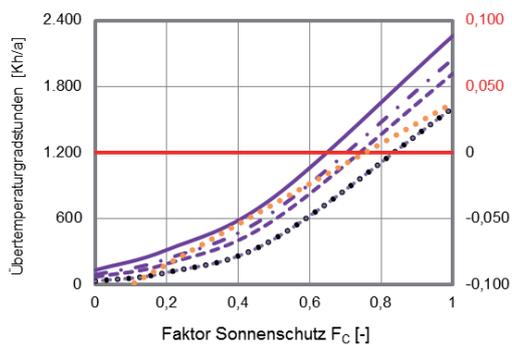
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Kiel



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Kiel



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Rostock



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Rostock

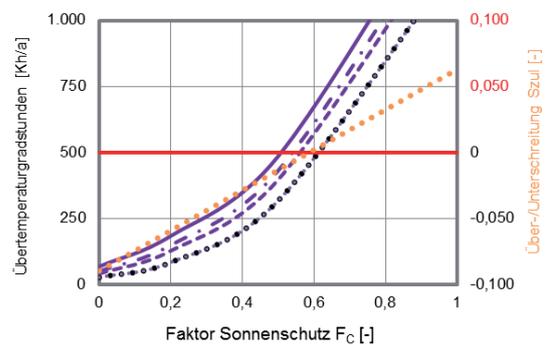


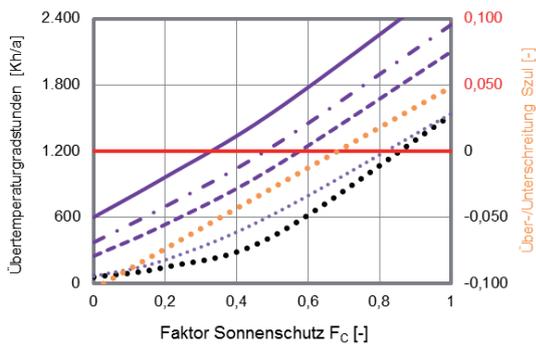
Bild B-2: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 2, Auswertung für die kleinste und größte Stadt ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion

B 3 Stadtklima in TRY-Region 3

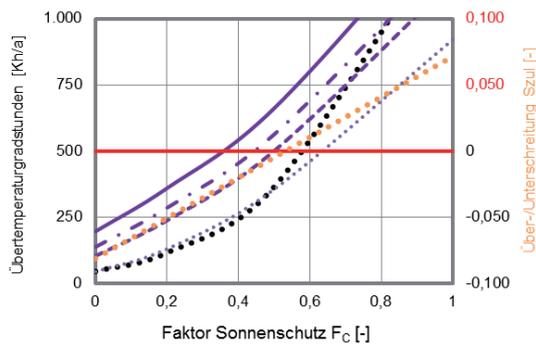
Tabelle B-3: Übersicht der ausgewählten Großstädte in TRY-Region 3

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhen-anpassung [-]
3	Hamburg	1.798.836	6	B	13	-7	nein
3	Bremen	548.319	11,5	B	13	-1,5	nein
3	Hannover	525.875	55	B	13	42	nein
3	Braunschweig	250.556	75	B	13	62	nein
3	Oldenburg	162.481	4	B	13	-9	nein

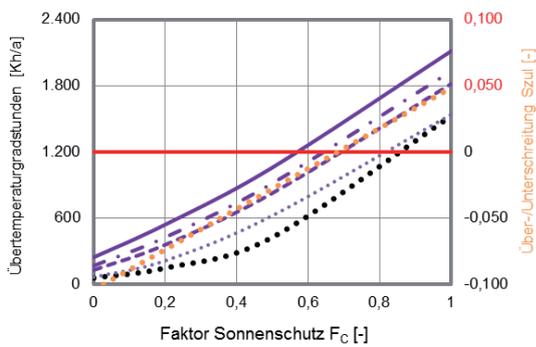
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Hamburg



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Hamburg



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Oldenburg



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Oldenburg

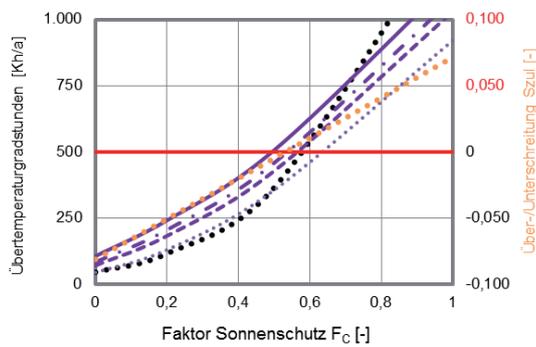


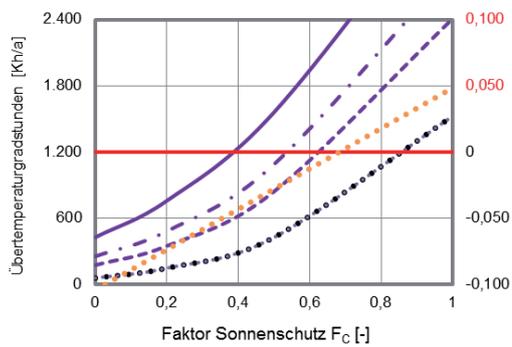
Bild B-3: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 3, Auswertung für die kleinste und größte Stadt ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion

B 4 Stadtklima in TRY-Region 4

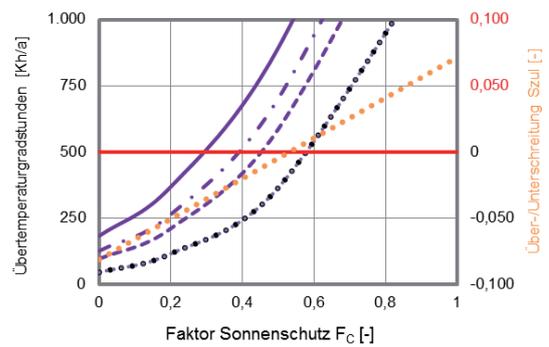
Tabelle B-4: Übersicht der ausgewählten Großstädte in TRY-Region 4

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
4	Berlin	3.501.872	34	B	81	-47	nein
4	Leipzig	531.809	113	C	81	32	nein
4	Dresden	529.781	113	C	81	32	nein
4	Halle (Saale)	233.705	87	C	81	6	nein
4	Magdeburg	232.364	56	B	81	-25	nein
4	Potsdam	158.902	35	B	81	-46	nein

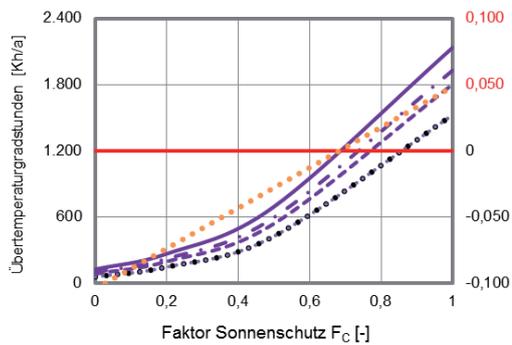
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Berlin



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Berlin



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Potsdam



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Potsdam

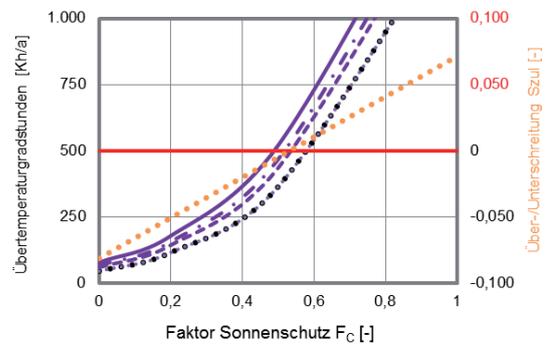
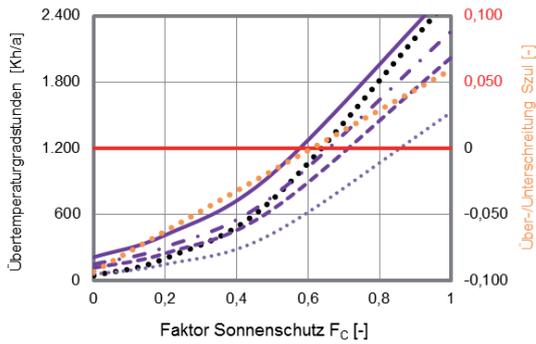
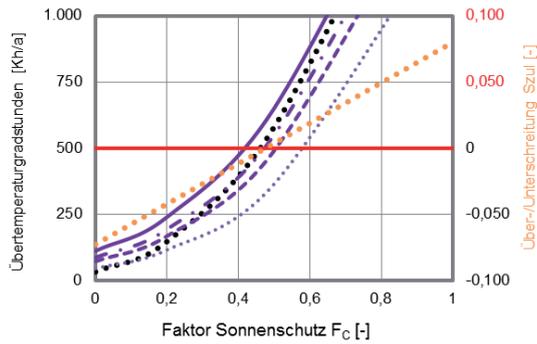


Bild B-4: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 4, Auswertung für die kleinste und größte Stadt ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion

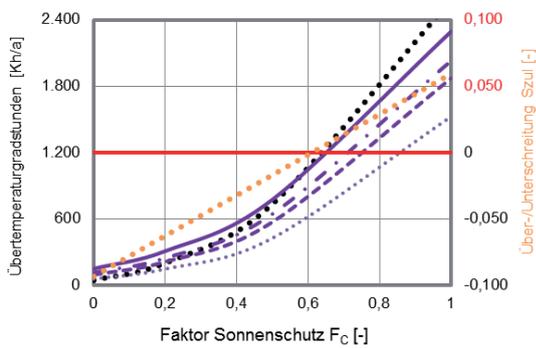
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Leipzig



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Leipzig



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Halle



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Halle

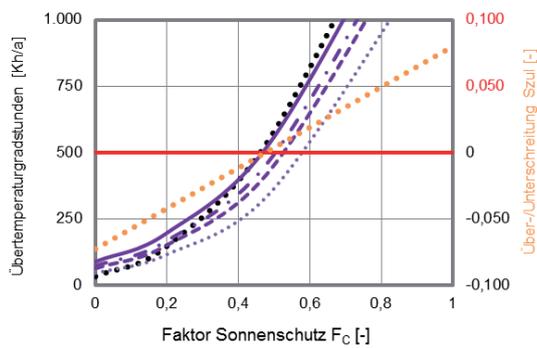


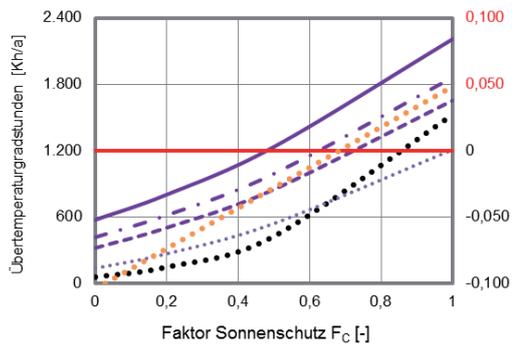
Bild B-5: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 4, Auswertung für die kleinste und größte Stadt mit von TRY-Region abweichender Zuordnung der Sommer-Klimaregion

B 5 Stadtklima in TRY-Region 5

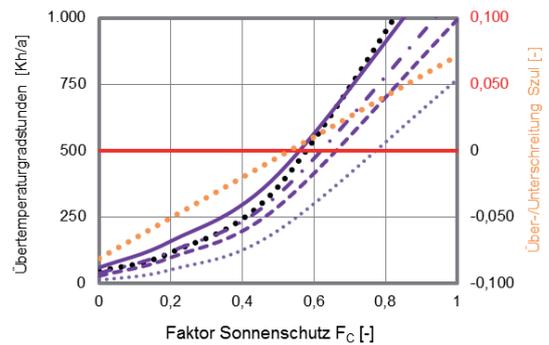
Tabelle B-5: Übersicht der ausgewählten Großstädte in TRY-Region 5

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
5	Köln	1.017.155	53	C	152	-99	nein
5	Düsseldorf	592.393	38	B	152	-114	ja
5	Dortmund	580.956	76	C	152	-76	nein
5	Essen	573.468	116	B	152	-36	nein
5	Duisburg	488.005	33	B	152	-119	ja
5	Bochum	373.976	100	C	152	-52	nein
5	Wuppertal	349.470	160	B	152	8	nein
5	Bonn	327.913	60	C	152	-92	nein
5	Münster	291.754	60	B	152	-92	nein
5	Mönchengladbach	257.208	70	B	152	-82	nein
5	Gelsenkirchen	256.652	52	B	152	-100	nein
5	Krefeld	234.396	38	B	152	-114	ja
5	Oberhausen	212.568	42	B	152	-110	ja
5	Hagen	187.447	106	C	152	-46	nein
5	Leverkusen	161.195	60	C	152	-92	nein

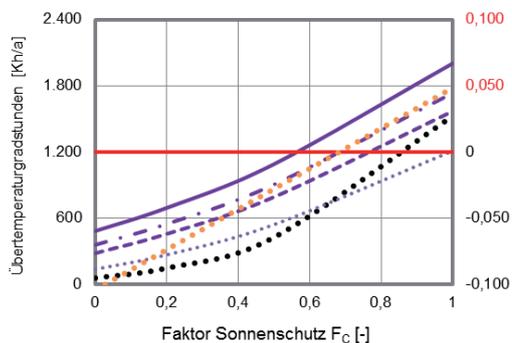
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Essen



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Essen



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Gelsenkirchen



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Gelsenkirchen

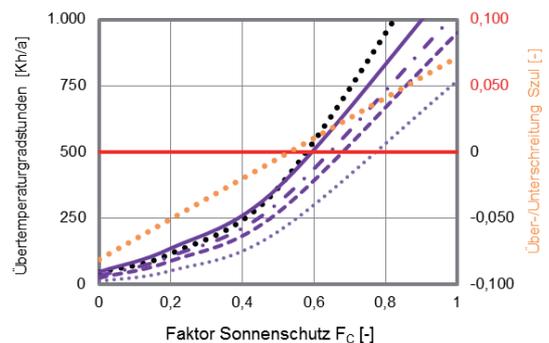
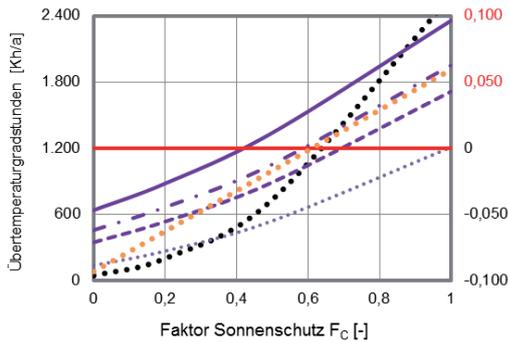
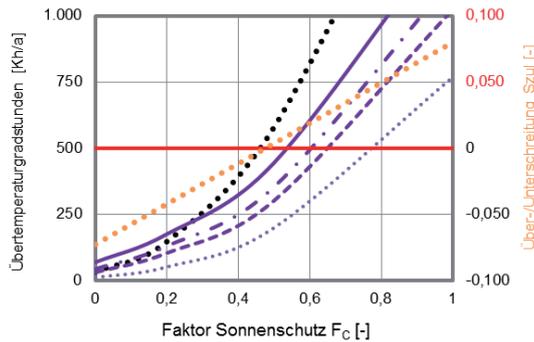


Bild B-6: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 5, Auswertung für die kleinste und größte Stadt ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion

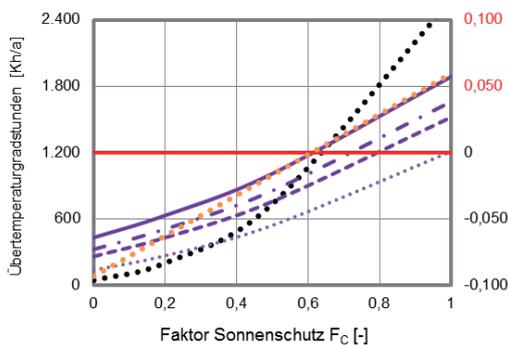
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Koeln



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Koeln



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Leverkusen



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Leverkusen

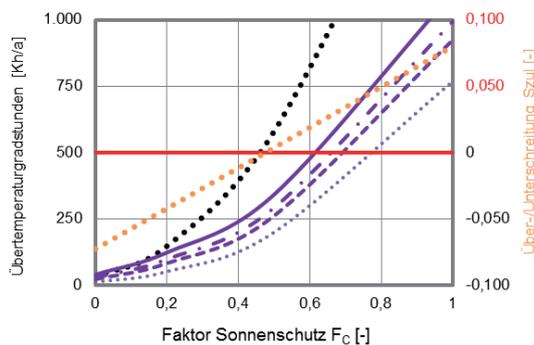
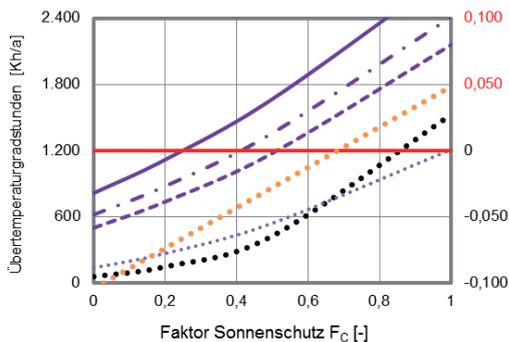
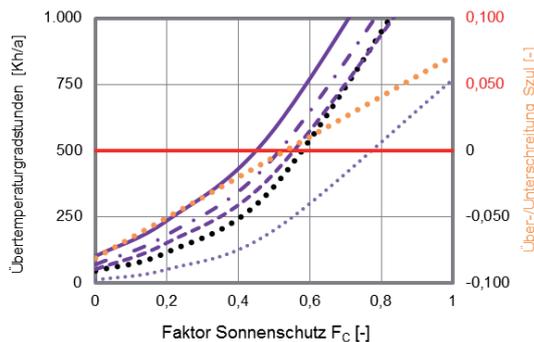


Bild B-7: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 5, Auswertung für die kleinste und größte Stadt mit von TRY-Region abweichender Zuordnung der Sommer-Klimaregion

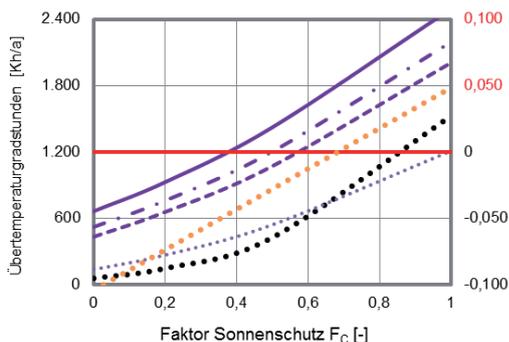
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Duesseldorf



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Duesseldorf



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Oberhausen



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Oberhausen

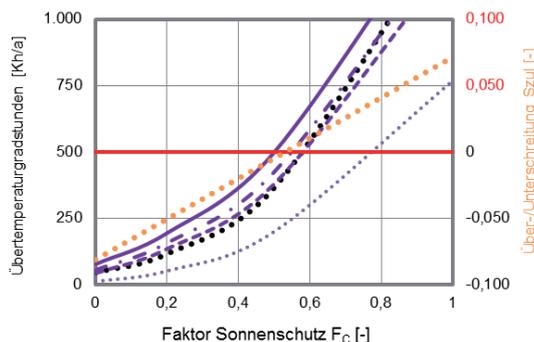


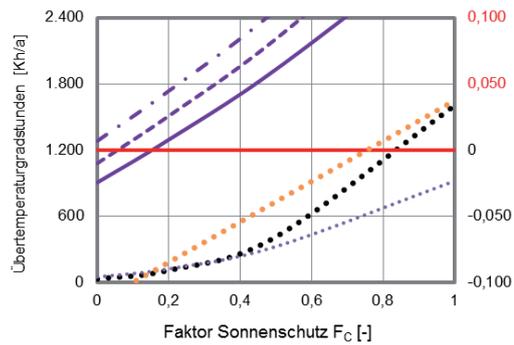
Bild B-8: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 5, Auswertung für die kleinste und größte Stadt mit Höhenkorrektur

B 6 Stadtklima in TRY-Region 6

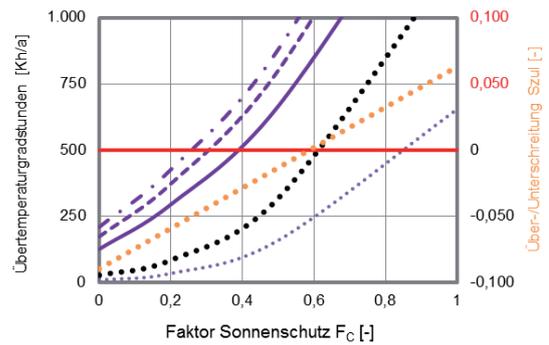
Tabelle B-6: Übersicht der ausgewählten Großstädte in TRY-Region 6

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
6	Bielefeld	323.395	118	B	547	-429	ja
6	Aachen	260.454	173	B	547	-374	ja
6	Paderborn	147.688	110	B	547	-437	ja

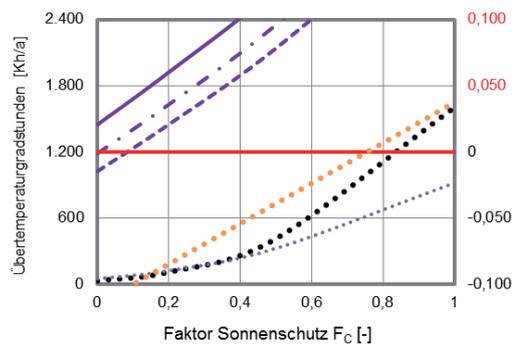
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Bielefeld



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Bielefeld



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Paderborn



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Paderborn

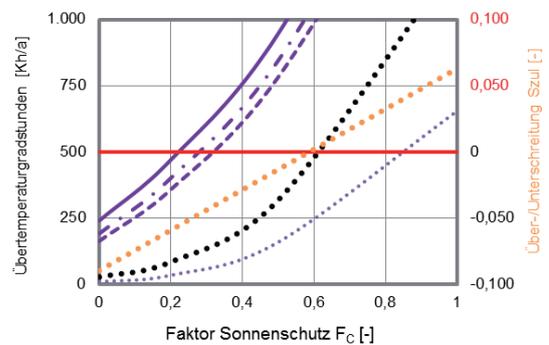


Bild B-9: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 6, Auswertung für die kleinste und größte Stadt mit Höhenkorrektur

B 7 Stadtklima in TRY-Region 7

Tabelle B-7: Übersicht der ausgewählten Großstädte in TRY-Region 7

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhen-anpassung [-]
7	Kassel	196.526	166	B	231	-65	nein
7	Göttingen	121.364	150	B	231	-81	nein

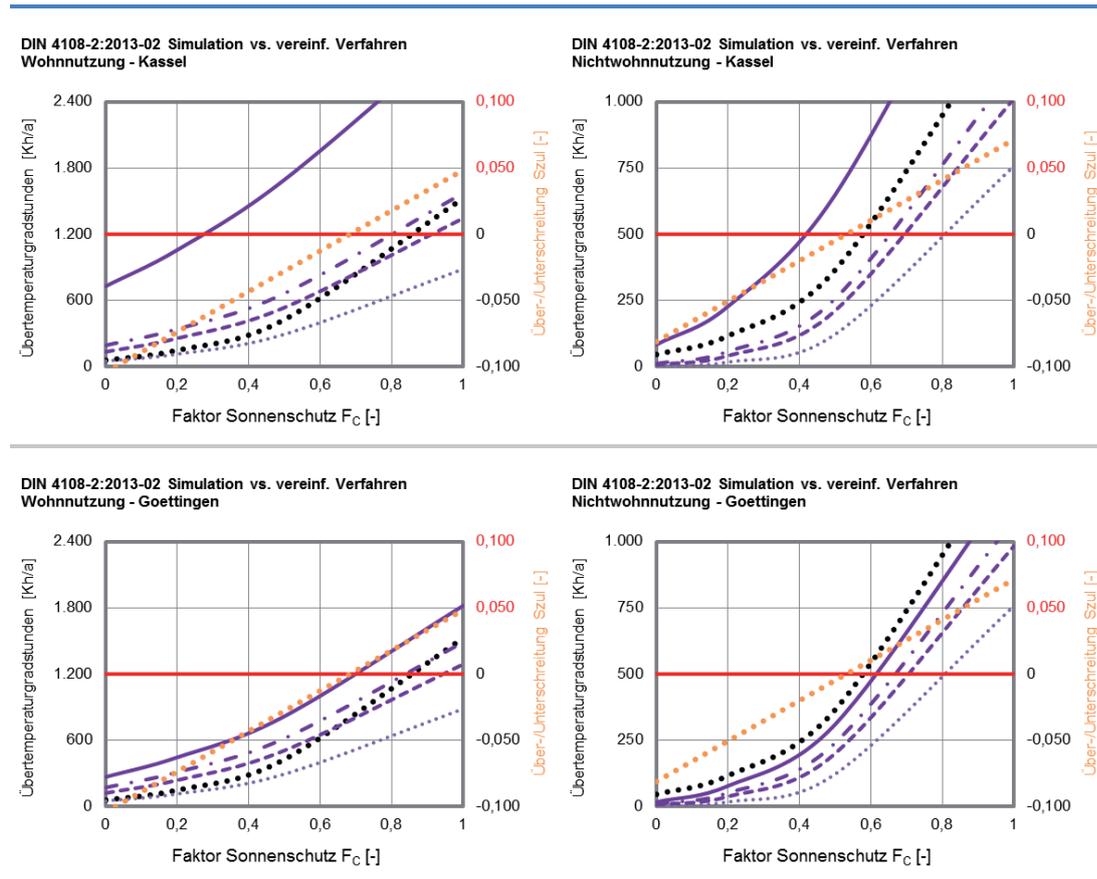


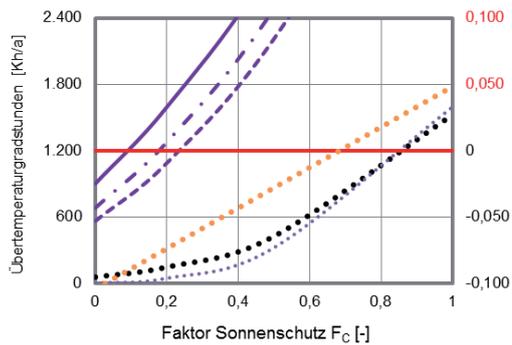
Bild B-10: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 7, Auswertung für die kleinste und größte Stadt ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion

B 8 Stadtklima in TRY-Region 9

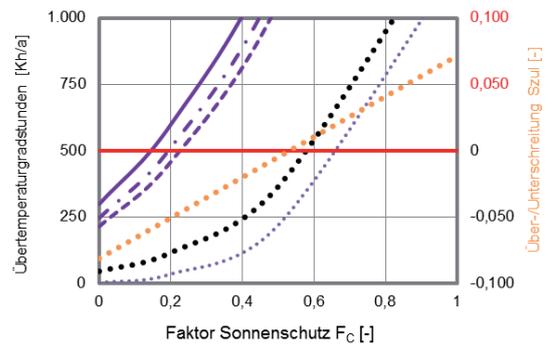
Tabelle B-8: Übersicht der ausgewählten Großstädte in TRY-Region 9

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
9	Chemnitz	243.173	296	B	418	-122	ja
9	Erfurt	206.384	195	B	418	-223	ja

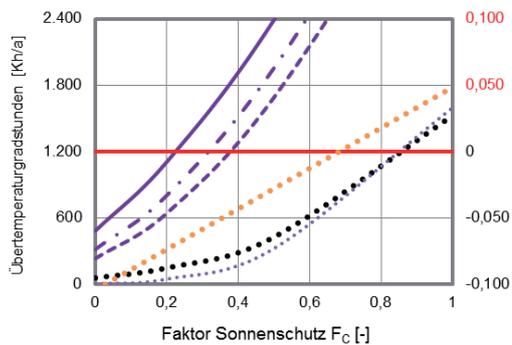
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Chemnitz



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Chemnitz



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Erfurt



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Erfurt

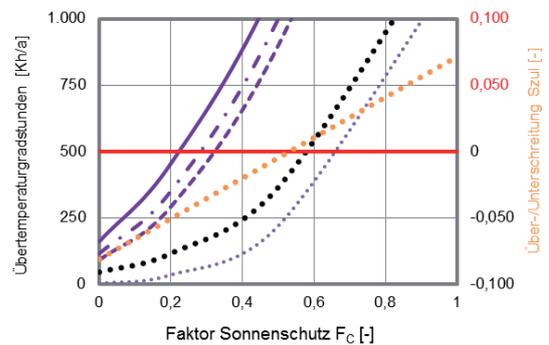


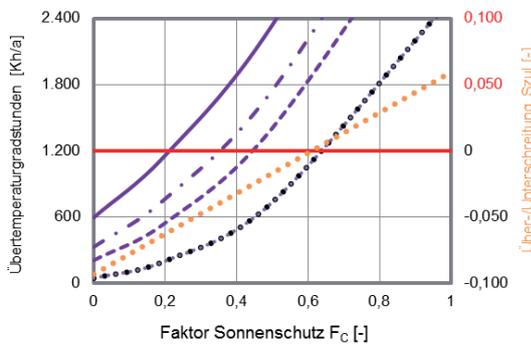
Bild B-11: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 9, Auswertung für die kleinste und größte Stadt mit Höhenkorrektur

B 9 Stadtklima in TRY-Region 12

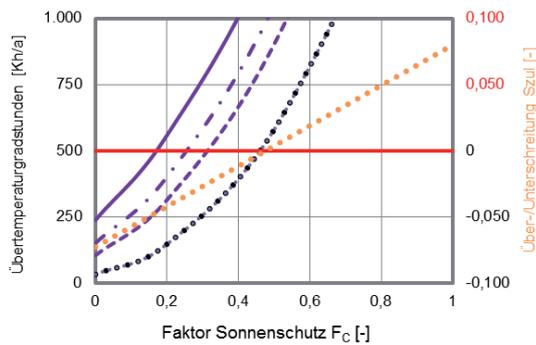
Tabelle B-9: Übersicht der ausgewählten Großstädte in TRY-Region 12

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhenanpassung [-]
12	Frankfurt am Main	691.518	112	C	96	16	nein
12	Stuttgart	613.392	245	C	96	149	ja
12	Mannheim	314.931	97	C	96	1	nein
12	Karlsruhe	297.488	115	C	96	19	nein
12	Wiesbaden	278.919	115	C	96	19	nein
12	Freiburg im Breisgau	229.144	278	C	96	182	ja
12	Mainz	200.957	164	C	96	68	nein

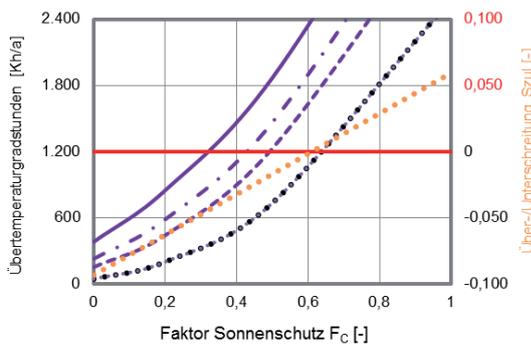
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Frankfurt



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Frankfurt



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Mainz



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Mainz

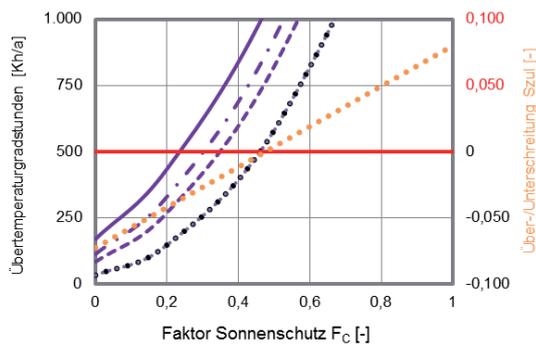
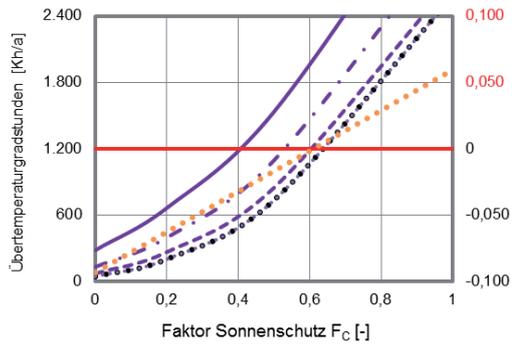
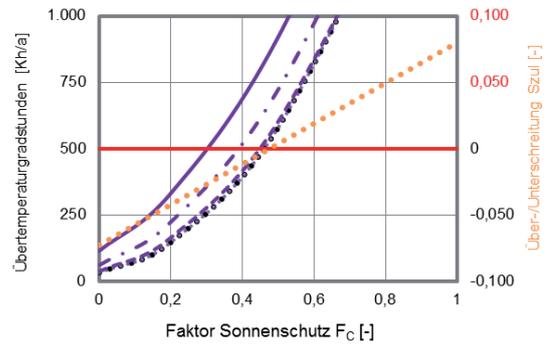


Bild B-12: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 12, Auswertung für die kleinste und größte Stadt ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion

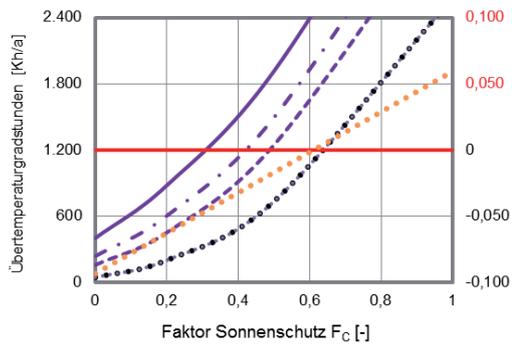
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Stuttgart



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Stuttgart



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Freiburg



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Freiburg

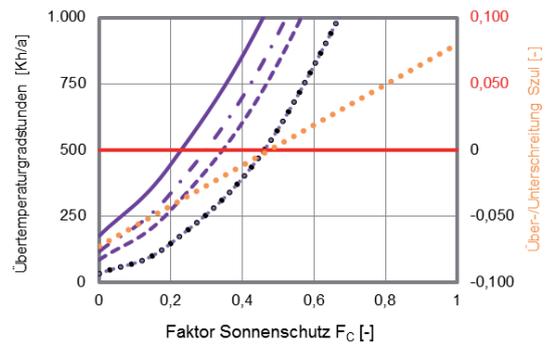


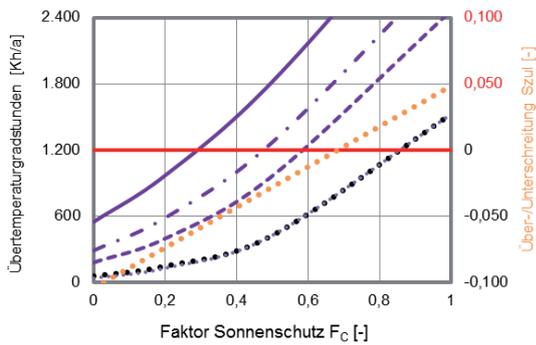
Bild B-13: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 12, Auswertung für die kleinste und größte Stadt mit Höhenkorrektur

B 10 Stadtklima in TRY-Region 13

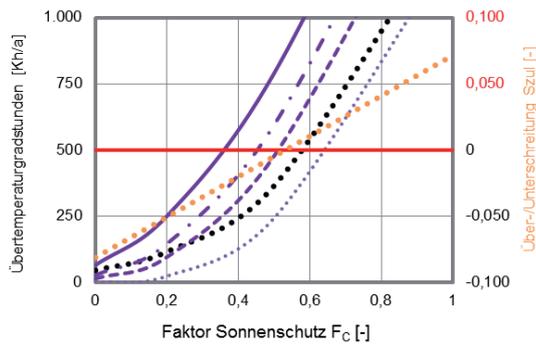
Tabelle B-10: Übersicht der ausgewählten Großstädte in TRY-Region 13

TRY-Region [Nr.]	Stadt [-]	Einwohner [EW]	Höhe [m]	Klima-region [-]	Höhe Rep.-station [m]	Höhendiff. bez. Rep.-station [m]	Höhen-anpassung [-]
13	München	1.378.176	518	B	409	109	ja
13	Nürnberg	510.602	309	B	409	-100	nein
13	Augsburg	266.647	494	B	409	85	nein
13	Würzburg	133.808	177	B	409	-232	ja

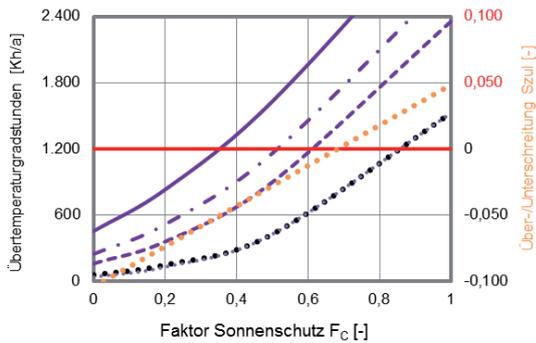
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Nuernberg



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Nuernberg



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Augsburg



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Augsburg

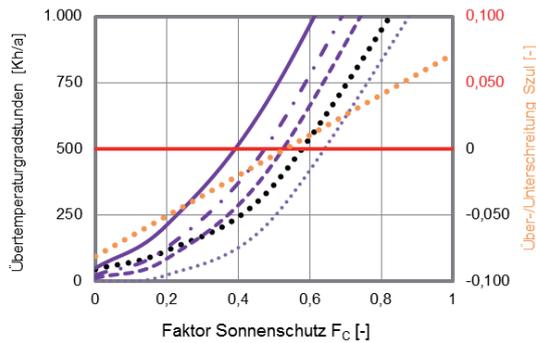
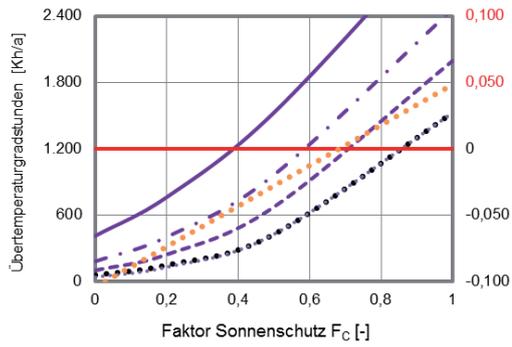
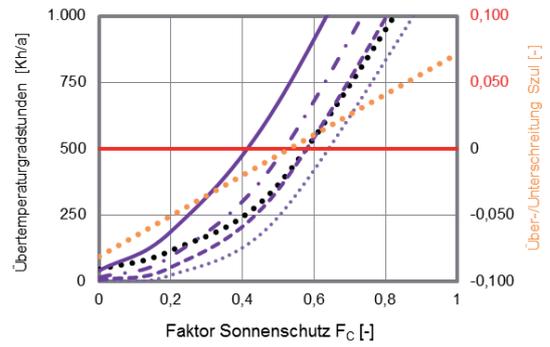


Bild B-14: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 13, Auswertung für die kleinste und größte Stadt ohne Höhenkorrektur und ohne von TRY-Region abweichende Zuordnung der Sommer-Klimaregion

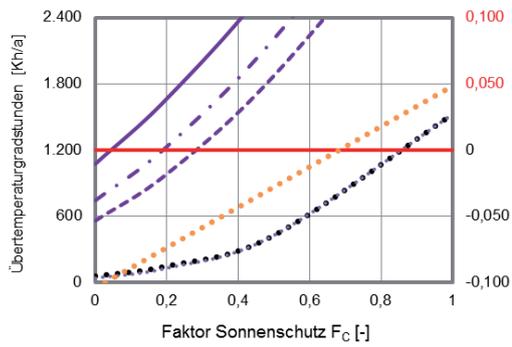
DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Muenchen



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Muenchen



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Wohnnutzung - Wuerzburg



DIN 4108-2:2013-02 Simulation vs. vereinf. Verfahren
Nichtwohnnutzung - Wuerzburg

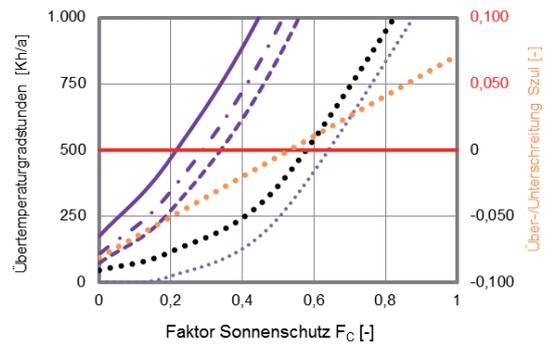


Bild B-15: Einfluss des Stadtklimas in TRY-Region 13, Auswertung für die kleinste und größte Stadt mit Höhenkorrektur