



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



BBSR-Online-Publikation Nr. 12/2020

Energiebedarfsberechnungen für Gebäude: Standardklima versus örtliches Klima

Untersuchung zur Verwendbarkeit von ortsgenauen klimatischen
Randbedingungen für energetische Nachweise

Das Projekt des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI) durchgeführt.

ISSN 1868-0097

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat II 2 – Energieeinsparung, Klimaschutz
Andrea Vilz
andrea.vilz@bbr.bund.de

Auftragnehmer

Ingenieurbüro Hausladen GmbH, Kirchheim b. München
Christina Hutter (Projektleitung), Christoph Hanusch, Heiko Wöhrle

Stand

März 2020

Zitierweise

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): Energiebedarfsberechnungen für Gebäude: Standardklima versus örtliches Klima. BBSR-Online-Publikation 12/2020, Bonn, Oktober 2020.



Liebe Leserinnen und Leser,

Fachkreise diskutieren schon seit Längerem die Frage, ob nicht ortsgenaue Klimadaten für die Energiebilanz eines Gebäudes in energetischen Nachweisen von Vorteil wären. Bisher erfolgt der energetische Nachweis auf Basis von Klimarandbedingungen, die sich auf ganz Deutschland beziehen und ein einheitliches Mittel abbilden.

Für die Verwendung örtlicher Klimadaten spricht, dass Gebäude den spezifischen energetischen Anforderungen entsprechend wirtschaftlicher betrieben werden können. Dazu kommt, dass sich die Diskrepanz zwischen berechneten Energiebedarfswerten und tatsächlichen Energieverbräuchen verringert. Die Analyse der Einflussfaktoren ist jedoch komplex, da durch die Verwendung von Standort-Klimadaten gleichzeitig die Temperatur und die Strahlung variiert werden.

Die vorliegende Studie stellt die Auswirkungen einer Umstellung der Nachweisführung auf örtliche Klimarandbedingungen dar. Das Forscherteam führte dafür umfangreiche Modellrechnungen für ausgewählte Wohn- und Nichtwohngebäude durch. Untersucht wurde, wie die örtlichen Klimadaten den Bedarf an Kühlenergie und Heizenergie beeinflussen und wie sich das auf die Wirtschaftlichkeit energiesparender Techniken und Gebäudeausführungen auswirkt. Dabei wurde gezielt vor allem auch der Einfluss auf den Einsatz von neuen Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien betrachtet. Die Außentemperatur ist der Studie zufolge die wichtigste Einflussgröße. Aber auch die Sonneneinstrahlung spielt bei Gebäuden mit hohem Fensterflächenanteil und Solarthermie eine große Rolle.

Auf Basis der Ergebnisse aus den Modellrechnungen zeigt die Studie Handlungsstrategien für eine Verwendung von ortsgenaue Klimadaten in energetischen Nachweisen auf. Die Forschungsarbeit liefert für die Diskussion wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse. Sie richtet sich an Personen, die mit der Berechnung von Energiebilanzen für Gebäude vertraut sind – sei es aus dem Bereich der Wissenschaft oder auch aus dem Bereich der Bau- und Planungspraxis, wie beispielsweise Architekten, Ingenieure, Planer, Gebäudetechniker und andere Baufachleute.

Ich wünsche eine erkenntnisreiche Lektüre.

A handwritten signature in black ink, reading "Markus Eltges". The script is fluid and cursive.

Dr. Markus Eltges

Leiter des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)

Inhalt

Kurzfassung	IV
Summary	V
1.0 Einleitung	9
2.0 Klimadaten in die Energiebedarfsberechnung	10
2.1 Übersicht über Klimadaten in der Normenreihe DIN V 18599	11
2.1.1 Klimadaten DIN V 18599 - Teil 10	11
2.1.2 Klimadaten in der Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599	13
2.1.3 Indirekte Klimadaten in der Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599	14
2.2 Energiebilanzierung mit Monatsmittelwerten	19
2.3 Fazit	26
3.0 Erzeugung örtlicher EnEV-konformer Klimadaten	27
3.1 Vorstellung Tool	27
3.1.1 Basis „Ortsgenaue Testreferenzjahre“	27
3.1.2 Funktionsweise und Beschreibung	28
3.1.3 Export in das EnEV-Berechnungsprogramm	30
3.1.4 Validierung	31
3.2 Berechnung von Klimadaten für das Monatsbilanzverfahren	35
3.2.1 Vorauswahl von repräsentativen Standorten	35
3.2.2 Erzeugung EnEV-konformer Klimadaten für die Vorauswahl	39
3.2.3 Auswahl von Standorten für die Analyse der Mustergebäude	41
3.3 Fazit	52
4.0 Modellierung Mustergebäude	53
4.1 Beschreibung Mustergebäude	53
4.1.1 Einfamilienhaus	53
4.1.2 Mehrfamilienhaus	55
4.1.3 Bürogebäude	57
4.1.4 Schule	60
4.1.5 Industriehalle	62
4.2 Basisfall und Variantenbildung	64
4.3 Berechnungsmethodik und Randbedingungen	67
4.3.1 Wohngebäude	67
4.3.2 Nichtwohngebäude	69
5.0 Berechnungen der Mustergebäude mit ortsgenauen Klimadaten	73
5.1 Erzeugernutzwärme Heizung	76
5.2 Erzeugernutzwärme Trinkwarmwasser	81
5.3 Erzeugernutzkälte	84
5.4 PV-Stromertrag	88
5.5 Endenergiebedarf	91
5.6 Primärenergiebedarf	100
5.6.1 Vorgehensweise	100
5.6.2 Ergebnisse	101
5.7 Exkurs – Geografische Breite	102
5.8 Fazit	102

6.0	Analyse der Auswirkungen von Berechnungen mit ortsgenauen Klimadaten	104
6.1	Endenergiebedarfswerte	104
6.2	Anforderungswerte	105
6.2.1	Maximal zulässiger Primärenergiebedarf mit lokalen Klimadaten	106
6.2.2	Maximal zulässiger Primärenergiebedarf mit Referenzklima	112
6.3	Gesetzgebung	116
6.4	Fazit	119
7.0	Thermisch-dynamische Gebäudesimulation	121
7.1	Vorgehensweise	121
7.1.1	Übersicht Varianten	121
7.1.2	Berechnungsmethodik und Randbedingungen Monatsbilanzverfahren	122
7.1.3	Randbedingungen Simulation	124
7.2	Ergebnisse Wohngebäude	126
7.2.1	Erzeugernutzwärme Heizung	126
7.2.2	Endenergie Heizung	129
7.2.3	Endenergie Trinkwarmwasser	130
7.2.4	PV-Stromerzeugung	131
7.2.5	Endenergie	132
7.3	Ergebnisse Nichtwohngebäude	133
7.3.1	Erzeugernutzwärme Heizung	133
7.3.2	Endenergie Heizung	137
7.3.3	Endenergie Kälte	138
7.3.4	PV-Stromerzeugung	138
7.3.5	Endenergie	139
7.3.6	Exkurs Entfeuchtung	141
7.4	Fazit	142
8.0	Simulationsrechnungen als Nachweisinstrument	143
9.0	Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutzes mit regionalen Klimadaten	144
9.1	Einführung	144
9.2	Vorgehensweise	146
9.2.1	Raumauswahl	146
9.2.2	Standortauswahl	147
9.3	Wohngebäude	150
9.3.1	Randbedingungen und Varianten	150
9.3.2	Ergebnisse	151
9.4	Nichtwohngebäude	154
9.4.1	Randbedingungen und Varianten	154
9.4.2	Ergebnisse	154
9.5	Fazit	156
10.0	Zusammenfassung	157
Verzeichnisse		160
Abkürzungsverzeichnis		160
Literaturverzeichnis		161
Abbildungsverzeichnis		163
Tabellenverzeichnis		167
Anlage		
Anlage A: EnEV-konforme Klimadaten für ausgewählte Standort		

Kurzfassung

Bei Energiebedarfsberechnungen für den öffentlich-rechtlichen Nachweis werden bisher einheitlich für ganz Deutschland die Klima-Randbedingungen des Standorts Potsdam verwendet. Durch die Verwendung örtlicher Klimadaten könnte der Unterschied zwischen berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch verringert werden und gegebenenfalls wirtschaftlichere Ausführungen von Gebäuden möglich werden.

Ausgangslage

Nach den Vorgaben der EnEV für Energiebedarfsberechnungen muss als Basis für eingehende Klimadaten mit einem festgelegten Referenzklima und nicht mit Klimadaten des Gebäudestandorts gerechnet werden. Die Verwendung eines Referenzklimas beim EnEV-Nachweis bedingt, dass der sich aus den Anforderungsvorgaben ergebende Mindest-Dämmstandard eines Gebäudes unabhängig von den tatsächlichen vorherrschenden Klimabedingungen festgelegt wird.

Würde die Verwendung von örtlichen Klimadaten für die Energiebedarfsberechnung zugelassen, könnten Verbesserungsmaßnahmen zielgenauer miteinander verglichen werden und eine Ursache für die häufig hohe Abweichung zwischen berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch beseitigt werden.

Durch das vom BBSR geförderte Projekt "Ortsgenaue Testreferenzjahre" liegen seit 2017 für jeden Standort in Deutschland stündliche Klimadaten vor, die zum kostenlosen Download auf der „Klimaberatungsmodul“-Internetseite des Deutschen Wetterdienstes zur Verfügung stehen. Damit wurde nun die Grundlage geschaffen, Energiebedarfsberechnungen mit den lokalen Klimadaten des Gebäudestandorts durchzuführen. Allerdings fließen die Klimadaten nicht als Stundenwerte für Außenlufttemperatur und Solarstrahlung in die EnEV-Berechnung ein, sondern als Monatsmittelwerte.

Auch lassen sich die Auswirkungen einer Berechnung mit lokalen Klimadaten auf den Primärenergie-Anforderungswert schwer einschätzen.

Ziel

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts sollte die Verwendbarkeit von ortsgenauen Testreferenzjahren für energetische Nachweise untersucht werden. Hierfür mussten die Stundenwerte der ortsgenauen Testreferenzjahre in Monatsmittelwerte umgerechnet werden, welche Grundvoraussetzung für die Durchführung der Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 mit lokalen Klimadaten sind. Auf dieser Basis sollten beispielhaft die Auswirkungen auf ausgewählte Wohn- und Nichtwohngebäude in jeweils ausgewählten unterschiedlichen baulichen und anlagentechnischen Konzeptionen untersucht werden.

Konzept

Basis für die Analysen der Auswirkungen von lokalen Klimadaten auf die Energiebedarfsberechnung bilden umfangreiche Energiebedarfsberechnungen, die für fünf klimatisch stark unterschiedliche Standorte und das Referenzklima (Potsdam) durchgeführt wurden. Die Variation der Klimadaten erfolgt für fünf Mustergebäuden, nämlich einem Ein- und einem Mehrfamilienhaus, einem Verwaltungsgebäude, einer Schule und einer Industriehalle. Bei den Mustergebäuden wurden ferner Varianten hinsichtlich Bauweise, Fensterflächenanteil, Dämmstandard und Anlagentechnik untersucht. Unter Beibehaltung des Monatsbilanz-Berechnungsverfahrens konnte auf diese Weise der Einfluss der örtlichen Klimadaten im Vergleich zum bestehenden Verfahren analysiert werden. Die Ergebnisse sollen anschließend exemplarisch mittels thermisch-dynamischer Gebäudesimulationen überprüft werden.

Ergebnisse

Die umfangreiche Auswertung der Variantenkombinationen zeigt einen relevanten Einfluss der Klimadaten auf den Heiz- und Kühlbedarf. So zeigt sich bei der Auswertung der Erzeugernutzwärmeabgabe im Vergleich zur Berechnung mit EnEV-Referenzklima je nach Gebäudevariante eine Abnahme zwischen -20 % (Schule) und -31 % (MFH) für den Standort Düsseldorf und zwischen -20 % (Schule) und 27 % (MFH) für den Standort Heidelberg. Die höchste Zunahme der Erzeugernutzwärmeabgabe weist der Standort Hof mit +10 % (Büro) bis +18 % (Industriehalle) auf. Die Analyse der Einflussfaktoren ist komplex, da durch die Verwendung von Standort-Klimadaten gleichzeitig die Temperatur und Strahlung variiert wird. Die Außentemperatur ist die wichtigste Einflussgröße, aber auch Auswirkungen der Solarstrahlung, welche die solaren Gewinne beeinflusst, sind insbesondere beim Standort München, der die höchste solare Einstrahlung aufweist, als auch bei Varianten mit hohem Fensterflächenanteil und Solarthermie erkennbar. Die Auswertung der Erzeugernutzkälteabgabe zeigt bei den Varianten mit statischem Kühlsystem ebenfalls eine hohe Klimasensitivität. Die größte Zunahme im Vergleich zur Berechnung mit Referenzklima erhält man für den Standort Heidelberg mit +22 % (Industriehalle) bzw. +34 % (Büro), die höchste Abnahme für den Standort Hof mit -14 % (Industriehalle) bzw. -24 % (Büro).

Bei der Auswertung der Endenergiebedarfswerte, die den Gebäude-Endenergiebedarf für Heizung, Trinkwarmwasser, ggf. Kühlung, Lüftung, Hilfsenergien und beim NWG auch die Beleuchtung umfasst, ergeben sich im Vergleich zur mit Referenzklima berechneten Variante analog deutliche Unterschiede. Beispielsweise für den Standort Düsseldorf bei der Variante EFH mit Wärmepumpe und Photovoltaikanlage eine Abnahme von -38 %, für den Standort Hof dagegen eine Zunahme von +13 % bei der Industriehalle-Basisvariante. Insgesamt lassen sich bei der Auswertung auf Endenergieebene sowohl ausgleichende Effekte bei den Varianten mit Heizen und Kühlen als auch verstärkende Effekte bei den Varianten mit Photovoltaikanlage finden.

Die Ergebnisse der Untersuchung sprechen wegen der hohen Relevanz grundsätzlich für eine Einführung einer genaueren Berechnung des Energiebedarfs über ortsgenaue Klimadaten. Aus diesem Grund werden im vorliegenden Bericht auf Basis der Primärenergie-Ergebnisse mögliche Handlungsstrategien für eine Einführung von ortsgenaue Klimadaten aufgeführt und deren Vor- und Nachteile diskutiert: Würde das derzeitige EnEV-Verfahren beibehalten, aber die Berechnung mit ortsgenaue Klimadaten für Gebäude *und* Referenzgebäude vorgeschrieben, hätte dies den Vorteil, dass die Bedarfswerte durch die Berechnung mit ortsgenaue Klimadaten näher an den Verbrauchswerten lägen, aber den gravierenden Nachteil, dass im Vergleich zum derzeitigen Verfahren in den meisten Fällen in warmen Gegenden wärmetechnische Verbesserungen umgesetzt werden müssten. Würde mit lokalen Klimadaten gerechnet, das Referenzgebäude jedoch weiterhin mit einem Referenzklima für Deutschland berechnet werden, lägen die Bedarfswerte ebenso näher an den Verbrauchswerten und Verbesserungen an der energetischen Qualität der Gebäudehülle würden zielgerichteter eingesetzt, weil an warmen Standorten ein geringeres und an kalten Standorten höheres Anforderungsniveau ergäbe. Jedoch könnte sich die Durchsetzung eines klimaangepassten Bauens als schwierig herausstellen, da Bauherren in kälteren Regionen gegebenenfalls mehr investieren müssen als in wärmeren Regionen.

Abschließend wird die Varianten-Untersuchung zur Plausibilisierung auf Gebäudesimulationen ausgeweitet und die Ergebnisse des Monatsbilanzverfahrens mit Ergebnissen von thermischen Gebäudesimulationen verglichen. Hinsichtlich klimabedingter Verschiebungen zeigt sich eine relativ gute Übereinstimmung zwischen Monatsbilanzverfahren und Whole-Building-Simulation.

Summary

In energy requirement calculations for public law verification, the climatic boundary conditions of the Potsdam site have so far been used uniformly for the whole of Germany. By using local climate data, the difference between calculated demand and measured consumption could be reduced and beyond that more economical building designs could be possible.

Background

According to the requirements of the EnEV (Energy Saving Ordinance for buildings in Germany) for energy demand calculations, a defined reference climate must be used as a basis for climate data and not climate data of the building's location. The use of a reference climate for the EnEV verification requires that the minimum insulation standard of a building resulting from the requirements specifications is determined independently of the actual prevailing climatic conditions.

If the use of local climate data for energy demand calculation were permitted, improvement measures could be compared more accurately and one cause of the often high deviation between calculated demand and measured consumption could be eliminated.

Thanks to the BBSR-sponsored project "Local German Test Reference Years", hourly climate data is available for every location in Germany since 2017, which can be downloaded free of charge from the "Klimaberatungsmodul" website of the German Meteorological Service (DWD). This has now created the basis for calculating energy requirements using the local climate data of the building location. However, the climate data is not included in the EnEV calculation as hourly values for outside air temperature and solar radiation, but as monthly average values.

Furthermore it is also difficult to assess the effects of a calculation with local climate data on the primary energy requirement value.

Objective

Within the framework of this research project, the usability of local test reference years for energy verification is to be investigated. For this purpose, the hourly values of the local test reference years have to be converted into monthly mean values, which is a basic requirement for carrying out the energy demand calculations according to DIN V 18599 with local climate data. On this basis, the effects on selected residential and non-residential buildings will be examined, using different edificial and system engineering concepts.

Concept

The basis for the analysis of the effects of local climate data on the energy demand calculation is formed by extensive energy demand calculations, which are carried out for five climatically very different locations and the reference climate (Potsdam). The variation of the climate data is carried out for five sample buildings, namely a single (EFH) and an apartment building (MFH), an administration building, a school and an industrial hall. The sample buildings will also be examined with regard to construction, window area percentage, insulation standard and system technology. While maintaining the monthly balance calculation procedure, the influence of local climate data can be analysed in comparison to the existing procedure. The results are then to be verified by means of thermal-dynamic building simulations.

Results

The evaluation of the variant calculations shows a relevant influence of the climatic conditions on the heating and cooling requirements. For example, the evaluation of the useful heat output of the generator compared with the calculation using the EnEV reference climate shows a reduction of between -20 % (school) and -31 % (MFH) for the location Düsseldorf and between -20 % (school) and 27 % (MFH) for the location Heidelberg, always depending on the building variant. The highest increase of the useful heat output of the generator shows the location Hof with +10 % (office) to +18 % (industrial hall). The analysis of the influencing factors is complex, since the temperature and radiation are varied at the same time by using local climate data. The outside temperature is the most important influencing factor, but also the effects of solar radiation, which influences the solar profits, are particularly noticeable at the Munich location, which has the highest solar radiation, as well as in variants with a high proportion of window area and solar thermal energy. The evaluation of the producer cooling output also shows a high climate sensitivity for the variants with static cooling system. The largest increase compared to the calculation with reference climate is obtained for the Heidelberg location with +22 % (industrial hall) and +34 % (office), the largest decrease for the Hof location with -14 % (industrial hall) and -24 % (office).

In the evaluation of the final energy demand values, which include the final energy demand of the building for heating, domestic hot water, cooling, ventilation, auxiliary energies and, in the case of the non-residential buildings also lighting, there are analogously significant differences compared to the variant calculated with reference climate. For example, for the Düsseldorf location the EFH variant with heat pump and photovoltaic system shows a decrease of -38 %, for the Hof location on the other hand an increase of +13 % for the basic industrial hall variant. Overall, the evaluation at the final energy level reveals both balancing effects in the variants with heating and cooling and reinforcing effects in the variants with photovoltaic systems.

Due to the high relevance of the results of the investigation, the introduction of a more precise calculation of the energy demand by means of local climate data is highly recommended. Therefore, based on the primary energy results, possible strategies for the introduction of location-specific climate data are listed and the advantages and disadvantages are discussed: If the current EnEV procedure were to be retained, but the calculation with local climate data for buildings and reference buildings were prescribed, this would have the advantage that the demand values would be closer to the consumption values through the calculation with local climate data, but the serious disadvantages that, compared to the current procedure, thermal improvements would have to be made in warm areas in most cases. If local climate data were used, but the reference building was still calculated with a reference climate for Germany, the demand values would also be closer to the consumption values and improvements to the energy quality of the building envelope would be more targeted, because a lower level of requirements would apply in warm locations and a higher level of requirements in cold locations. However, the implementation of climate-adapted construction could prove politically difficult, as building owners may have to invest more in colder regions than in warmer regions.

Finally, the examination of variants is extended to whole building simulations to check plausibility. The results of the monthly balance sheet procedure are compared with the results of thermal building simulations. With regard to climate-related shifts, a relatively good agreement between the monthly balance sheet method and the whole-building simulation is shown.

1.0 Einleitung

Derzeit werden Energiebedarfsberechnungen nach den Vorgaben der EnEV standardisiert nach DIN V 18599 beziehungsweise bei Wohngebäuden auch nach DIN 4108-06 in Verbindung mit DIN V 4701-10 durchgeführt. Nach den Vorgaben der EnEV muss als Basis für eingehende Klimadaten mit einem festgelegten Referenzklima und nicht mit Klimadaten des Gebäudestandorts gerechnet werden. Nur die Ergebnisse dieser im Hinblick auf das Klima und weiteren Randbedingungen standardisierten Berechnung finden Eingang in den öffentlich-rechtlichen Nachweis und Energieausweis.

Die Verwendung eines Referenzklimas beim EnEV-Nachweis bedingt, dass der sich aus Vorgaben zu Transmissionswärmeverlusten bzw. mittleren U-Werten und zum Primärenergiebedarf ergebende Mindest-Dämmstandard unabhängig der tatsächlichen vorherrschenden Klimabedingungen festgelegt wird. Würde die Verwendung von örtlichen Klimadaten für die Energiebedarfsberechnung zugelassen, könnten Verbesserungsmaßnahmen zielgenauer miteinander verglichen werden und eine Ursache für die häufig hohe Abweichung zwischen berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch beseitigt werden. Insbesondere für Energiestandards wie das Effizienzhaus Plus, bei dem das tatsächlich genutzte Gebäude einen Energieüberschuss erzielen soll, die Berechnung aber nach den Vorgaben der DIN V 18599 mit Referenzklima erfolgt, könnte eine Umstellung auf lokale Klimadaten Planungsänderungen, beispielsweise die notwendige Größe der PV-Anlage, zur Folge haben.

Unabhängig von den gesetzlichen Vorgaben besteht derzeit schon für Beratungszwecke und Wirtschaftlichkeitsberechnungen die Möglichkeit, EnEV-Berechnungen mit freien Randbedingungen und unter Verwendung von für 15 Klimaregionen hinterlegten Klimadaten durchzuführen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese 15 Klimaregionen Deutschlands noch keine ausreichende Genauigkeit hinsichtlich der Klimadaten zulassen. Durch das vom BBSR geförderte Projekt "Ortsgenaue Testreferenzjahre" liegen seit 2017 nun für jeden Standort in Deutschland stündliche Klimadaten vor, die zum kostenlosen Download auf einer als „Klimaberatungsmodul“ bezeichneten Internetseite des Deutschen Wetterdienstes zur Verfügung stehen. Damit wurde die Grundlage geschaffen, Energiebedarfsberechnungen mit den lokalen Klimadaten des Gebäudestandorts durchzuführen. Allerdings fließen die Klimadaten nicht als Stundenwerte für Außenlufttemperatur und Solarstrahlung in die EnEV-Berechnung ein, sondern als Monatsmittelwerte. Um EnEV-konforme Klimadaten zu generieren, wird deshalb im Rahmen dieses Projektes ein Tool entwickelt, welches die Stundenwerte der ortsgenauen Testreferenzjahre in Monatsmittelwerte umrechnet. Letztere ermöglichen dann die Durchführung der Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 mit lokalen Klimadaten.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wird die Verwendbarkeit von ortsgenauen Testreferenzjahren für energetische Nachweise untersucht. Basis für die Analysen der Auswirkungen von lokalen Klimadaten auf die Energiebedarfsberechnung und die EnEV-Mindestanforderungen bilden umfangreiche Energiebedarfsberechnungen, die für fünf klimatisch stark unterschiedliche Standorte und das Referenzklima (Potsdam) durchgeführt werden. Die Variation der Klimadaten erfolgt bei fünf Mustergebäuden, nämlich einem Ein- und einem Mehrfamilienhaus, einem Verwaltungsgebäude, einer Schule und einer Industriehalle. Bei den Mustergebäuden werden ferner Varianten hinsichtlich Bauweise, Fensterflächenanteil, Dämmstandard und Anlagentechnik untersucht. Unter Beibehaltung des Monatsbilanz-Berechnungsverfahrens kann auf diese Weise der Einfluss der örtlichen Klimadaten im Vergleich zum bestehenden Verfahren analysiert werden.

Zunächst wird ein Überblick gegeben, wo die Klimadaten in Form der in der DIN V 18599 Teil 10 hinterlegten Tabellen mit Monatsmittelwerten in die Berechnung einfließen. Ergänzt wird dies durch eine Übersicht über weitere in anderen Teilen der DIN V 18599 hinterlegte Klimadaten, die nach der Berechnungsvorschrift nicht variiert werden. Im Anschluss daran wird die Vorgehensweise zur Erzeugung EnEV-konformer Klimadaten aus stündliche Klimadaten beschrieben und das hierfür entwickelte Tool vorgestellt. Nach der Auswahl von Standorten, der Beschreibung der Mustergebäude und der

Variantenmatrix werden die Ergebnisse der EnEV-konformen DIN V 18599-Berechnungen dargestellt und analysiert. Im Anschluss daran werden mögliche Auswirkungen bei Zulassung der Verwendung ortsgenauer Standort-Klimadaten auf die gesetzlichen Anforderungen diskutiert.

Anschließend wird die Untersuchung auf Gebäudesimulationen ausgeweitet, um die Ergebnisse der Energiebedarfsberechnungen mit EnEV-konformen Klimadaten zu verifizieren. Ferner werden Vorteile und Nachteile einer möglichen zukünftigen Erweiterung des Nachweisverfahrens auf Gebäudesimulationen diskutiert.

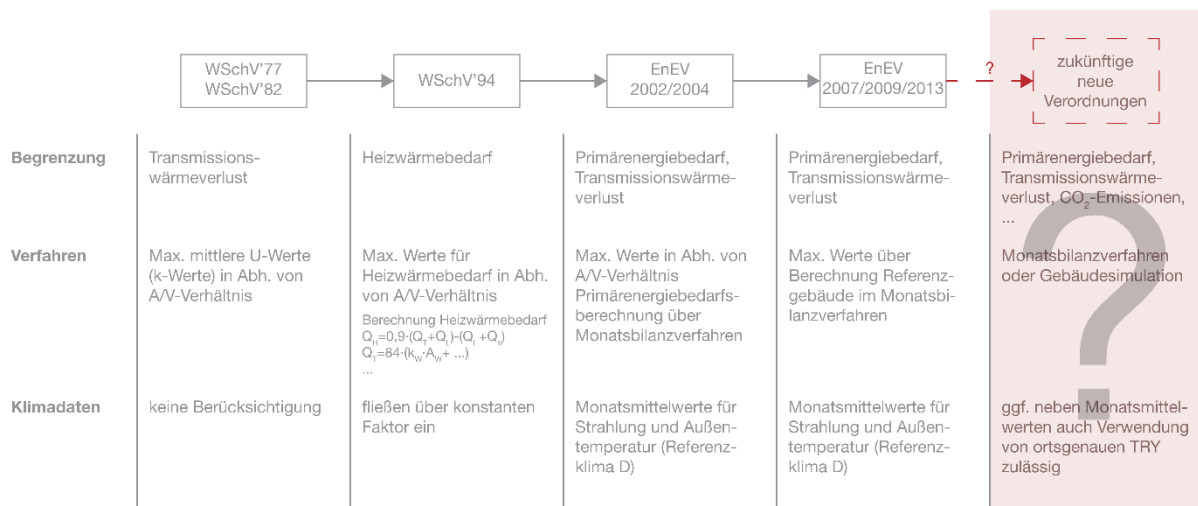
Zum Schluss wird die Betrachtung um einen Ausblick auf mögliche Auswirkungen bei der Verwendung ortsgenauer Standort-Klimadaten für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes über thermische Gebäudesimulation nach DIN 4108-2 ergänzt.

2.0 Klimadaten in die Energiebedarfsberechnung

Als wichtige Grundlage der Untersuchung „Standardklima versus örtliches Klima“ wird einleitend der Eingang von Klimadaten in die aktuelle Energiebedarfsberechnung (EnEV 2013) untersucht. Hierfür wird eine Übersicht über die in der DIN V 18599 enthaltenen Klimadaten (Kapitel 2.1) und eine Einschätzung über das nach Energiesparverordnung anzuwendende Monatsbilanzverfahren (Kapitel 2.2) geben. In dieser Studie wird, sofern nicht anders angegeben, auf die DIN V 18599 Version 2011, auf die sich die EnEV 2013 bezieht, Bezug genommen.

Für eine Einordnung des nach EnEV anzuwendenden Monatsbilanzverfahrens wird in Abbildung 1 die Entwicklung der wärmeschutzrelevanten Vorschriften für Neubauten im Hinblick auf den jeweiligen Klimadaten-Bezug vereinfacht dargestellt. Ergänzt wird die Entwicklung durch einen Ausblick wie die Berechnungsvorschrift möglicherweise zukünftig aussehen könnte.

Abbildung 1: Klimadaten in der Berechnung des öffentlich-rechtlichen Wärmeschutz-Nachweis (Rückblick und Ausblick)



In den Wärmeschutzverordnungen von 1977 und 1982 wurden noch keine Bedarfsberechnungen vorgeschrieben, daher wird auch nicht auf Klimadaten Bezug genommen. Ebenso nicht in der WSchV'94, jedoch wird hier die Berechnung des Heizwärmebedarfs eingeführt. Klimadaten fließen jedoch nur indirekt über einen konstanten Faktor ein. Erst seit der EnEV 2002 fließen die Klimadaten in Form von Monatsmittelwerten ein. Dies wurde in den weiteren Novellierungen der Energieeinsparverordnungen bis zur EnEV 2013 so fortgeführt. Als Ausblick auf mögliche zukünftige Änderungen in der Gesetzgebung

sind im rechten rot hinterlegten Feld der Abbildung - mit Fragezeichen für die Zukunft versehen - mögliche zukünftige Erweiterungen im Nachweisverfahren aufgeführt. Ob es sinnvoll ist, die seit Kurzem verfügbaren ortsgenauen Testreferenzjahre (DWD Deutscher Wetterdienst 2018) in die Berechnungsvorschriften - sei es als Monatsmittelwerte oder durch Öffnung für Simulationen als Stundenwerte - einfließen zu lassen, soll im Rahmen dieser Studie näher untersucht werden.

2.1 Übersicht über Klimadaten in der Normenreihe DIN V 18599

Nach den Berechnungsvorschriften der EnEV 2013 für den öffentlich-rechtlichen Nachweis ist der Jahres-Primärenergiebedarf von Neubauten beschränkt. Für die Berechnung des Energiebedarfs wird auf die Berechnungsvorschriften der DIN V 18599 verwiesen. Eine Ausnahmeregelung gilt für Wohngebäude, für welche zusätzlich die DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 nach dem Monatsbilanzverfahren zulässig ist. Als Referenzklima ist unabhängig vom gewählten Verfahren das Klima nach DIN V 18599-10 Region Potsdam zu verwenden. Klimadaten fließen sowohl direkt (Monatsmittelwerte des Referenzklimas) als auch indirekt als nicht variable Kenngrößen in die Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs der DIN V 18599 ein. Nachfolgend werden zunächst die Klimadaten des Teils 10 der DIN V 18599 vorgestellt (s. Kapitel 2.1.1). Danach wird untersucht, wie diese in die Energiebedarfsberechnung einfließen (vgl. Kapitel 2.1.2). Anschließend erfolgt eine Aufstellung, in welche Teile dieser Normenreihe weitere standardisierte Klimadaten in die Berechnung einfließen und es wird deren Einfluss eingeschätzt (s. Kapitel 2.1.3).

2.1.1 Klimadaten DIN V 18599 - Teil 10

Die DIN V 18599 ist in 11 Teile untergliedert. Die Teile 1 (Allgemeine Bilanzierungsverfahren), 10 (Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten) sowie Teil 11 (Gebäudeautomation) sind übergeordnet. Der Teil 2 (Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen) hat ebenfalls eine Sonderstellung, da dieser stark mit den anderen Normenteilen verknüpft ist.

Die übergeordneten Klimadaten der DIN V 18599 sind im Anhang E des Teils 10 „Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten“ zu finden. Deutschland wird im Anhang E in 15 Klimaregionen untergliedert, denen zugehörig 15 Referenzstandorte zugeordnet wurden. Diese Zuordnung zu den Regionen basiert auf den deutschen Testreferenzjahren (BBR Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2011) und wurden seit 2004 nicht verändert. 2011 wurde die Referenzstation der Region 13 Passau durch Mühlendorf am Inn ersetzt. Ansonsten gelten die Regionsgrenzen weiterhin auch unter Berücksichtigung der klimatischen Entwicklung in den neuen Bezugszeiträumen (BBR Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2011). Die Regionen der Testreferenzjahre fanden 2011 Einzug in die DIN V 18599-10. Abbildung 2 zeigt die Referenzstandorte und Klimaregionen nach Anhang E der DIN V 18599, die unverändert in den Versionen von 2011 bis 2018 gültig sind.

Abbildung 2: Referenzstandorte und Klimaregionen nach Bild E.1 des Anhangs E DIN V 18599-10



Als Referenzklima für Deutschland wurde der Referenzort Potsdam (Region 4) definiert, wie Kapitel 7.1. der DIN V 18599-10 zu entnehmen ist. Das bedeutet, dass für den öffentlich-rechtlichen Nachweis die Klimadaten des Referenzortes Potsdams zu verwenden sind. Gleichzeitig bieten die in der DIN V 18599-10 Anhang E angegebenen Klimadaten der anderen Referenzstandorte die Möglichkeit, für Beratungszwecke die Energiebedarfsberechnungen mit einem passenden Referenzort-Klima durchzuführen.

Anhang E enthält für die Referenzstandorte folgende Klimadaten:

- mittlere Außenlufttemperaturen
- mittlere monatliche Strahlungsintensitäten
- mittlere Windgeschwindigkeiten

Tabelle 1 zeigt beispielhaft die mittlere Außenlufttemperaturen der Referenzstandorte aus dem Anhang E der DIN V 18599-10. Die über einen Monat gemittelten Werte werden als Monatsmittelwerte bezeichnet.

Tabelle 1: Mittlere Außenlufttemperaturen der Referenzstandorte (Tabelle E.1 DIN V 18599-10)

Region	Referenzort	Mittlere monatliche Außenlufttemperatur θ_a in °C												Jahreswert in °C Jan bis Dez
		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
1	Bremerhaven	2,9	3,2	5,4	9,0	13,1	16,0	17,9	18,2	15,0	10,6	6,1	3,2	10,1
2	Rostock	2,3	2,4	4,3	8,0	12,4	15,6	18,0	18,0	14,7	10,2	5,5	2,6	9,5
3	Hamburg	2,5	2,7	4,9	8,5	12,8	15,5	17,8	17,8	14,1	9,8	5,1	2,3	9,5
4	Potsdam	1,0	1,9	4,7	9,2	14,1	16,7	19,0	18,6	14,3	9,5	4,1	0,9	9,5
5	Essen	3,1	3,5	6,6	9,5	13,7	15,9	18,2	18,2	14,6	10,8	6,1	3,5	10,4
6	Bad Marienberg	0,1	0,5	3,6	7,0	11,5	14,0	16,1	16,0	12,3	8,1	3,2	0,6	7,8
7	Kassel	1,0	2,1	5,2	8,8	13,3	15,9	18,1	17,8	13,7	9,5	4,5	1,7	9,3
8	Braunlage	-0,8	-0,3	2,1	5,7	10,5	12,9	15,0	15,0	11,1	7,1	2,3	-0,2	6,7
9	Chemnitz	0,5	1,0	3,9	8,2	12,9	15,5	17,5	17,6	13,2	9,2	3,8	0,8	8,7
10	Hof	-1,2	-0,4	2,8	6,6	11,7	14,5	16,3	16,6	12,0	7,6	2,3	-0,7	7,4
11	Fichtelberg	-3,3	-3,5	-1,3	2,3	7,4	9,8	12,2	12,4	8,1	4,4	-0,6	-2,8	3,8
12	Mannheim	2,4	3,6	7,1	10,6	15,6	18,1	20,1	20,2	15,7	11,0	5,7	3,1	11,1
13	Passau	-1,2	0,4	4,3	8,2	13,7	16,4	18	17,8	13,1	8,7	3	-0,2	8,6
14	Stötten	-0,5	0,3	3,4	6,8	11,8	14,4	16,6	16,7	12,3	8,5	2,6	-0,2	7,8
15	Garmisch- Partenkirchen	-2,3	-0,5	3,2	7,0	11,8	14,8	16,6	16,4	12,3	8,4	1,9	-1,8	7,4

2.1.2 Klimadaten in der Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599

In diesem Kapitel wird eine kurze Übersicht gegeben, wie die in Anhang E enthaltenen Monatsmittelwerte für Außenlufttemperatur, Strahlungsintensitäten und Windgeschwindigkeiten in die DIN V 18599 einfließen.

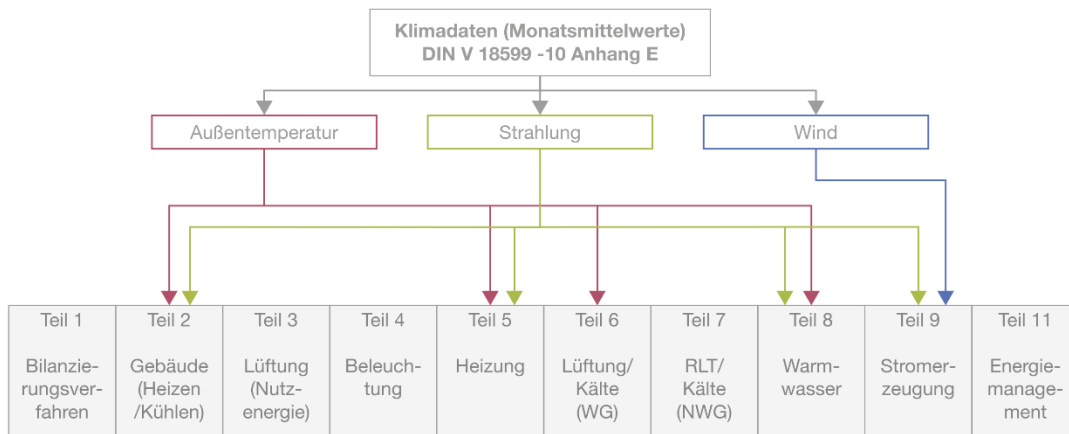
Generell werden die Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur in die Ermittlung der Transmissionswärmeverluste und der Lüftungswärmeverluste im Teil 2 der DIN V 18599 verwendet. Ebenso fließen die Außenlufttemperaturen für den Kühlfall in die Bilanzierung der Lüftungswärmequellen ein. Aber auch die Teile 5 (Heizsysteme), 6 (Wohnungslüftungsanlagen) und 8 (Warmwasserbereitungssysteme) nehmen direkten Bezug auf die Monatsmittelwerte der Außentemperatur.

Die Strahlungsdaten werden für die Berechnung der passiven solaren Wärmequellen und für die Berechnung von wärmeerzeugenden bzw. stromproduzierenden Anlagen auf Basis von Solarstrahlung benötigt. Sie fließen daher in den Teil 2 für die Berechnung der passiven solaren Gewinne, den Teil 5 hinsichtlich solarthermischer Heizungsunterstützung, den Teil 8 für solarthermische Anlagen zur Warmwasserbereitung und in den Teil 9 für die Berechnung des Ertrags von Photovoltaikanlagen ein.

Die Windgeschwindigkeiten werden für die Berechnung von Windkraftanlagen im Teil 9 benötigt.

Wie die in Anhang E enthaltenen Monatsmittelwerte für Außenlufttemperatur, Strahlungsintensitäten und Windgeschwindigkeiten in die DIN V 18599 einfließen, zeigt zusammenfassend Abbildung 3.

Abbildung 3: Eingang der Klimadaten aus Teil 10 (Monatsmittelwerte) in die DIN V 18599-Gebäude-Berechnung



2.1.3 Indirekte Klimadaten in der Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599

Neben dem im vorangegangenen Kapitel beschriebenen direkten Einfluss der Klimadaten fließen in die Energiebedarfsrechnung auch indirekt Klimadaten in die Bilanzierung ein. Um diese indirekten Einflüsse nachvollziehen zu können, werden nachfolgend indirekte Klimadaten-Einflüsse in den jeweiligen Teilen der DIN V 18599 beschrieben. Hierfür wird einleitend für jeden Teil ein kurzer Überblick über Inhalt und Berechnungsverfahren geben und anschließend die analysierten indirekten Einflüsse in Aufzählungsweise aufgeführt und kurz beschrieben. Für die wichtigsten indirekten Einflüsse wird anschließend eine Einschätzung bezüglich deren Auswirkung auf die Berechnungsergebnisse gegeben.

Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

Teil 1 gibt einen Überblick über das Vorgehen bei der Berechnung des Nutz-, End-, und Primärenergiebedarfs für die Beheizung, Kühlung, Beleuchtung. In Teil 1 wird nicht auf Klimadaten Bezug genommen.

Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen

In Teil 2 werden die Nutzungsanforderungen und bauliche Eigenschaften des Gebäudes verknüpft. Wärmequellen und Wärmesenken werden bilanziert. Wärmequellen sind im Allgemeinen die inneren Wärmequellen und die solare Einstrahlung. Zu den Wärmesenken zählen die Transmission und Lüftung nach außen.

Indirekte Klimadaten fließen in den Teil 2 nur nebensächlich ein:

- Für die Berechnung der Minimal- bzw. Maximaltemperatur werden die festgelegten Auslegungs-Außentemperatur nach DIN V 18599-10 verwendet (s. Teil 2 – Kapitel 6.1.1)
- Für solare Wärmeeinträge über opake Bauteile wird die Differenz der Außenlufttemperatur und der Himmelstemperatur vereinfachend mit 10 K angenommen werden (s. Teil 2 – Kapitel 6.4.2) (dies stellt eine gängige, plausible Abschätzung dar, da sich die Himmelstemperatur nicht direkt messen lässt)

Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung

Teil 3 behandelt den für das Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten in zentralen RLT-Anlagen. Der Nutzenergiebedarf wird nicht nur für die Temperierung ermittelt, sondern auch für erweiterte Nutzungsanforderungen der Raumluftqualität (z.B. Raumluftfeuchte). Die dafür erforderliche Aufbereitung der Außenluft wird durch eine Reihe von Anlagenkomponenten (Erhitzer, Kühler, Befeuchter) sichergestellt. Der spezifische Energieeinsatz für die Bereitstellung der Luftqualität (Wärme, Dampf, Kälte) wird hierbei über ein umfangreiche Kennwert-Tabellen ermittelt, der auf eine Matrix von 46 Anlagenkombinationen Bezug nimmt. Die Kennwerte werden durch Interpolationen und Korrekturfaktoren umgerechnet und in Nutzenergiebedarfswerte „denormiert“. Das Kennwertverfahren und die zugrunde gelegten Randbedingungen wird in Kapitel 4.1 des Teil 3 beschrieben, eine Übersicht über die Varianten gibt Tabelle 5 (Teil 3), die zugehörigen Tabellen, welche die Energiekennwerte für Wärme, Dampf und Kälte enthalten finden sich im Anhang A des Teil 3.

- Für das Kennwertverfahren wurde der Nutzenergiebedarf für Wärme, Dampf und Kälte für das Referenzklima in einer Berechnung in stündlichen Schritten für einen festgelegten Basisfall ermittelt. Für die Berechnung der Befeuchtung wird unterschieden nach Feuchteanforderung (mit oder ohne Toleranz) und nach dem Befeuchtertyp (Verdunstung regelbar, Verdunstung nicht regelbar, Dampf). Durch das Kennwertverfahren fließen für die Umsetzung von Zuluft-Anforderungen standardisiert Stundenwerte für Außenluftzustände (Temperatur, Enthalpie, Feuchtegehalt und Feuchtkugelmperatur) ein. (Teil 3 - Kap. 4)
- Für spezielle Anlagen, die vom Kennwertverfahren nicht abgebildet werden, ist es erlaubt die Nutzenergiebedarfswerte für die thermische Luftaufbereitung im Stundenschrittverfahren nach Anlage C zu berechnen. Der Außenluftzustand folgt hierbei aus den Größen Außenlufttemperatur und der in Teil 10 nicht angegebenen Außenluftfeuchte der Testreferenzjahrdaten des Deutschen Wetterdienstes entsprechend DIN V 18599–10 Anhang E für die Region 4. Alle weiteren Zustandsgrößen der Außenluft, wie Enthalpie und Feuchtkugelmperatur, können für einen Gesamtdruck von 100 kPa berechnet werden. (Teil 3 – Anlage C)
- Für den Ansatz einer indirekten Verdunstungskühlung, bei welcher die Zuluft durch Verdunstungsbefeuchtung der Abluft vor dem Wärmeübertrager vorgekühlt, werden anzusetzende Reduktionsfaktoren für die oben genannte Variantenmatrix angegeben (Teil 3-Tabelle A.14). Es ist davon auszugehen, dass auch hier eine Berechnung in stündlichen Schritten zugrunde liegt.
- Zulufttemperatur ohne Kühlfunktion bzw. ohne Kühl- und Nachheizfunktion sind von der Außentemperatur abhängig und konstant festgelegt (Teil 3 - Tabelle 3 und 4)
- Dimensionsgrößen für den Außenluftzustand von Außentemperatur, absolute Feuchte und Enthalpie werden konstant angegeben (Teil 3 - Tabelle 8)
- Hinweis: Sorptionsgestützte Klimaprozesse, die nur vereinzelt in Pilotanlagen eingesetzt werden, werden in diesem Abschnitt wegen der geringen Relevanz nicht betrachtet.

Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung

In Teil 4 wird der Energiebedarf der künstlichen Beleuchtung ermittelt. Hierzu muss die Tageslichtversorgung im Gebäude ermittelt werden. Diese ist unabhängig vom lokalen Klima, jedoch abhängig von der geografischen Breite des Standorts und der Betriebszeit. Die künstliche Beleuchtung wirkt ferner als Wärmequelle in der thermischen Zonenbilanz.

- Die Nutzungszeit wird unterteilt in Zeiten, zu denen Tageslicht zur Verfügung steht, und Nachtzeiten ohne Tageslicht. Die Tagzeit entspricht dem Zeitintervall von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang.

Jährliche Tageslicht- und Nachtstunden sind in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzungsprofile in DIN V 18599-10 enthalten. Für Betriebszeiten außerhalb der tabellierten Fälle sind die Werte separat zu ermitteln. Die Tagzeit ist somit von der geografischen Breite abhängig und fließt in die Berechnung des Energiebedarfs für die Kunstlichtversorgung ein. (Hierbei ist aufgrund der angegebenen Tageslicht- und Nachtstunden zu vermuten, dass als Referenzstandort für die Berechnung der Tageslicht- und Nachtstunden nicht Potsdam gewählt, sondern vermutlich das ehemals als Referenzstandort verwendete Würzburg beibehalten wurde).

Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen

Teil 5 enthält die Berechnungsvorschriften für die Endenergie von Heizsystemen für Übergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung. Die Bilanzierung der inneren Wärmegewinne werden in einem iterativen Verfahren in die Zonenbilanz eingebunden, was eine genauere Bestimmung der anlagentechnischen Verluste ermöglicht. Teil 5 enthält Berechnungsvorschriften für Wärmepumpen und für Solarthermische Anlagen zur Heizungsunterstützung.

- Außenluft-Wärmepumpen: Für Wärmepumpen mit der Wärmequelle Außenluft beruht das Berechnungsverfahren auf einer Bewertung der Außenlufttemperaturverteilung. Da die Temperatur der Wärmequelle innerhalb eines Monats stark schwanken kann, berücksichtigt die energetische Bewertung die Häufigkeitsverteilung der Wärmequellentemperatur im jeweiligen Monat. Hierfür wird die Häufigkeitsverteilung der Außenlufttemperaturverteilung in Temperaturklassen zusammengefasst und monatliche Stundensummen zur COP-Berechnung den Prüfpunkten zugeordnet (Teil 5 – Kapitel 6.5.3)
- Wärmepumpe mit anderen Wärmequellen: Die mittlere Quelltemperatur wird nach der mittleren monatlichen Außentemperatur bestimmt. Tabelle 33 des Teils 5 enthält die mittlere Quelltemperatur für Erdreich und Grundwasser „für mittlere klimatische Verhältnisse in Deutschland“. Diese Standardwerte können bei anderen geologischen Verhältnissen spezifisch angepasst werden.
- Solarthermie: Der Jahresertrag wird für eine Referenzanlage ermittelt, der über Faktoren angepasst wird (vgl. Teil 8). Die monatliche Aufteilung des Jahresertrags gibt Tabelle 25 des Teils 5 an. Sofern andere als die Referenzausrichtung und/oder Strahlungsdaten für andere Standorte gewählt werden, darf die Summe der Monatsanteile Werte über 100 % annehmen.
Alternativ können Rechenergebnisse anerkannter Simulationsprogramme von Solaranlagen mit Heizungsunterstützung verwendet werden. (Teil 5 – Kapitel 6.5.2)

Teil 6: Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühlsystemen für den Wohnungsbau

Teil 6 liefert Kennwerte zur Berücksichtigung der Lüftungswärmesenke durch Wohnungslüftungsanlagen, die zur Berechnung des Nutzwärmebedarfs notwendig sind.

- Regenerative Luftvorwärmung: Erdreich-Sole-Zuluft-Wärmeübertrager und Solar-Zuluft-Kollektoren: werden über eine Erhöhung der Zulufttemperatur berücksichtigt. (Teil 7- Tabelle 7)
- Hilfsenergiebedarf: Gradtagszahl der Luftvorerwärmung ist abhängig vom Einschaltpunkt des Frostschutzbetriebes (Teil 7- Tabelle 19)

Teil 7: Endenergiebedarf von Raumluftheizungs- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau

Teil 7 befasst sich mit der Berechnung des Endenergiebedarfs für die Raumluftechnik und Klimakälteerzeugung für den Nichtwohnungsbau.

- Die Berechnung der erforderlichen Endenergie für die Klimakälte erfolgt anhand spezifischer technologie- und nutzungsabhängiger Kennwerte, die tabellarisch zusammengestellt sind. Grundlage für dieses Kennwerteverfahren bilden die Nennkälteleistungszahl und ein mittlerer Teillastfaktor auf Basis stündliche Berechnungen des Teillastverhaltens typischer Kälteerzeuger. Grundlage für dieses Kennwertverfahren bilden die klimatischen Bedingungen nach Testreferenzjahr 2011 Potsdam. Im Anhang B wird ein alternatives Verfahren zur energetischen Bewertung von im Kennwertverfahren nicht abgebildeten Kälteerzeugerarten bzw. Teillastregelungen beschrieben.

Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen

Teil 8 bewertet typische Systeme zur Trinkwassererwärmung einschließlich thermischer Solaranlagen und Wärmepumpen.

- Monatsanteile zur Aufteilung des solarthermischen Ertrags sind festgelegt (Teil 8 – Tabelle 13)
- Korrektur der schwankenden Quelltemperatur analog Teil 5

Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen

Teil 9 erläutert die Berechnung von stromproduzierenden Anlagen. Bei der Berechnung von PV-Anlagen und Windkraftanlagen fließen die Klimadaten direkt ein.

Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten

Teil 10 enthält die zugrunde zu legenden Nutzungsrandbedingungen sowie die Klimadaten.

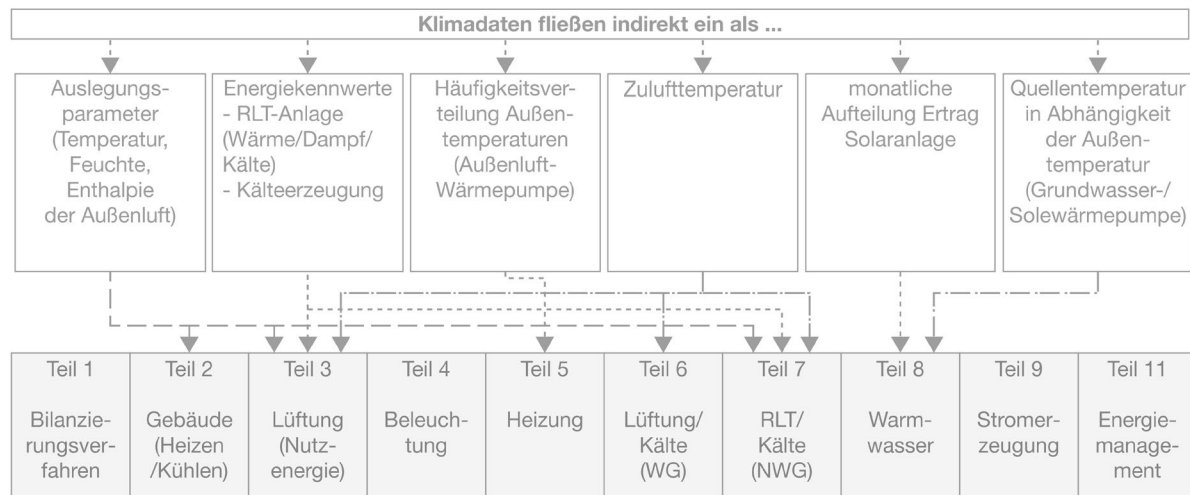
- Auslegungswerte (Tabelle 9: Werte der Strahlungsintensitäten und der Außentemperaturen zur Berechnung der erforderlichen Heiz- und Kühlleistungen für das Referenzklima Deutschland)
- Für die Berechnung der maximal erforderlichen Heiz- und Kühlleistung zur Auslegung der Gebäudetechnik sind Werte der Strahlungsintensitäten für den Heiz- und den Kühlfall sowie Tagesmittel der Außentemperatur für den Auslegungstag angegeben (Teil 10-Tabelle 9)
- In den Nutzungsrandbedingungen werden die jährlichen Nutzungsstunden zur Tagzeit und zur Nachtzeit angegeben. Die Tagzeit entspricht dem Zeitintervall von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang. Die Nutzungsstunden zur Tagzeit sind somit neben der Nutzungszeit auch von der geografischen Breite des Standorts abhängig.

Teil 11: Gebäudeautomation

Teil 11 fließt in alle Teile ein und beeinflusst über die Regelung und den Automatisierungsgrad die Berechnungen des Endenergiebedarfs. In Teil 11 wird nicht auf Klimadaten Bezug genommen.

An dieser Aufstellung wird deutlich, dass neben den direkt einfließenden Klimadaten auch in vielen anderen Teilen dieser Normenreihe standardisierte Klimadaten hinterlegt sind, die nicht durch Variation der Klimadaten verändert werden und sich in den Berechnungsprogrammen nicht anpassen lassen. Zusammenfassend zeigt Abbildung 4 eine Übersicht über die beschriebenen indirekten Einflüsse von Klimadaten auf die Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599.

Abbildung 4: Indirekter Einfluss von Klimadaten auf die DIN V 18599-Gebäude-Berechnung



Da es sich bei der geografischen Breite des Standorts, die in die Berechnung Nutzungsstunden zur Tagzeit einfließt, nicht um Klimadaten handelt, wird diese in der Grafik nicht berücksichtigt.

Abschließend soll eine kurze Einschätzung der Auswirkungen der standardisierten Klimadaten gegeben werden:

Für die festgeschriebenen Auslegungswerte, die Häufigkeitsverteilung der Außenlufttemperaturen sowie die Zuluft- und Quellentemperatur wird davon ausgegangen, dass es bei Berechnung dieser Größen mit lokalen Klimadaten zu abweichenden Werten käme. Ähnlich wird die Anwendung von Kennwertverfahren (RLT-Energiekennwerte, Bilanzierung der Kälteerzeugung) eingeschätzt. Durch das Kennwertverfahren fließen hier standardisiert Ergebnisse umfangreicher Simulationen mit Stundenwerten ein. Diese Werte können nicht über Monatsmittelwerte bilanziert werden, da sich die Energiebedarfe aus einer Kombination von Parametern ergeben und nur gleichzeitig bestimmte Zeiträume relevant sind. Gemitelte Klimadaten würden zu unsinnigen Ergebnissen führen.

Wie sensitiv Berechnungsergebnisse auf Änderungen des zugrunde gelegten Referenzklima reagieren, kann an dieser Stelle nicht abschließend beurteilt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass durch den Eingang der direkteinfließenden Klimadaten, mit denen der Nutzenergiebedarf bestimmt wird, die festgeschriebenen Klimadaten eine deutlich geringere Relevanz haben. Es könnte beispielsweise sein, dass Abweichungen zwischen der Anlagentechnik des Gebäudes zur im Berechnungsverfahren abgebildeten Anlagentechnik eine wichtigere Rolle spielen.

Insgesamt wird es für die Berechnung nach DIN V 18599 als sinnvoll angesehen, gewisse von den Klimadaten abhängige Werte festzuschreiben und nicht klimaabhängig zu berechnen, da es das schon sehr komplexe Berechnungsverfahren noch komplizierter machen würde beziehungsweise für Luftaufbereitung und Kälteerzeugung Simulationen erforderlich machen würde.

2.2 Energiebilanzierung mit Monatsmittelwerten

In diesem Abschnitt soll eine qualitative Einschätzung der durch Mittelwertbildung bedingten Ungenauigkeit gegeben werden. Auf Abweichungen zwischen berechneten Bedarfswerten und tatsächlichen Verbrauchswerten soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden (vgl. hierzu Kapitel 6.1). Es soll qualitativ eingeschätzt werden, ob die Verwendung von Monatsmittelwerten für die Außentemperatur als ausreichend genau für die Bilanzierung von Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten angesehen werden kann, oder ob weitere Parameter zur Beschreibung der Tag-Nacht-Differenz, der Höhe, Anzahl und Häufigkeit von Temperaturspitzen oder ähnlichem erforderlich sind, um den Außentemperatureinfluss in ausreichender Genauigkeit abzubilden. Ebenso wird auch eine Einschätzung über die Verwendung von Monatsmittelwerten für die Strahlungsintensität für die Bilanzierung der passiven solaren Wärmeeinträge gegeben. Abschließend wird diesbezüglich auf die aktive Energieerzeugung mittels Solarthermie, PV und Windkraft eingegangen.

Nutzwärme- und Nutzkältebedarfsberechnung

Außentemperatur und Solarstrahlung haben entscheidenden Einfluss auf den Nutzwärme- und Nutzkältebedarf. Durch die Bildung von Monatsmittelwerten wird die Tag-Nacht-Differenz, Anzahl und Häufigkeit von Temperaturspitzen zu einer mittleren Außentemperatur „geglättet“. In Abbildung 5 und Abbildung 6 sind beispielhaft zwei Temperaturverläufe in Stundenwerten sowie der Monatsmittelwert der Außenlufttemperatur im März für die TRY-Regionen 2 und 13 (BBR Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2011) dargestellt. Die Monatsmitteltemperatur ist an beiden Standorten mit 4,3 °C identisch.

Abbildung 5: Beispielhafter Außentemperaturverlauf und Monatsmitteltemperatur im Monat März für die TRY-Region 2

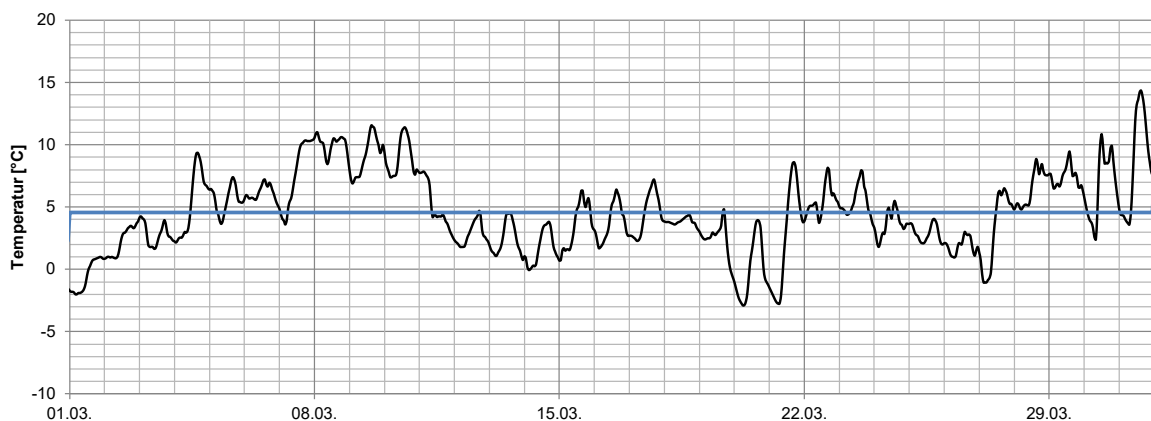
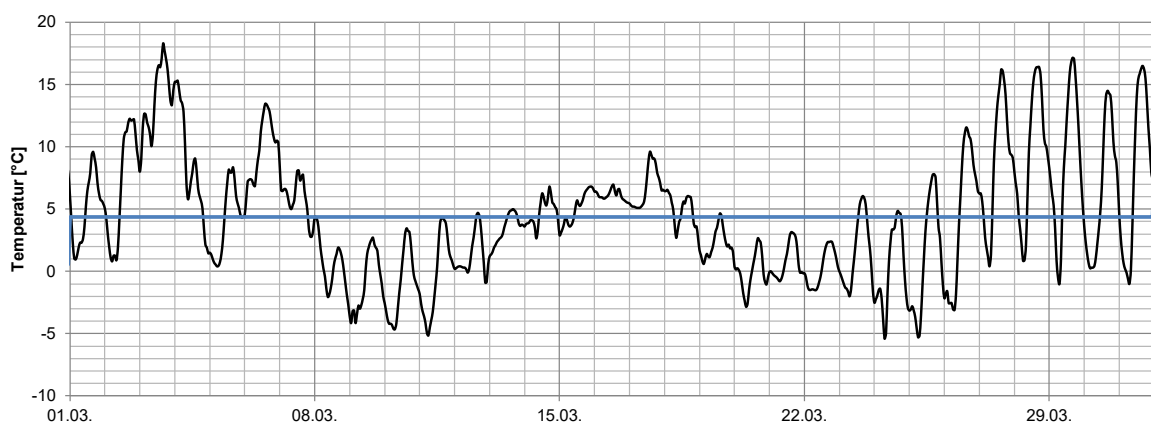


Abbildung 6: Beispielhafter Außentemperaturverlauf und Monatsmitteltemperatur im Monat März für die TRY-Region 13



Es zeigen sich jeweils im Vergleich zur Monatsmitteltemperatur starke Unterschiede in den Maxima und Minima eines Tages, aber auch starke Schwankungen innerhalb eines Monats. Auch untereinander zeigen die Außentemperaturverläufe von Rostock und Mühldorf große Unterschiede in den täglichen Temperaturverläufen und im monatlichen Temperaturverlauf der Außentemperatur.

Entscheidend für das Gebäudeverhalten sind neben Wärme- bzw. Kältespeicherung auch die Speichermassen des Gebäudes sowie Regelstrategien, die den Nutzwärmebedarf vergleichmäßigen. Ob diese Unterschiede Einflüsse auf die Berechnung des Nutzwärmebedarfs haben, lässt sich qualitativ schwer beurteilen.

Daher wird für oben genanntes Beispiel eine vereinfachte Simulation eines Büroraums durchgeführt. Dieser Raum hat die folgenden Parameter:

- Nettogrundfläche: 20,0 m²
- Lichte Raumhöhe: 3,0 m
- Außenwandfläche netto: 4,0 m² (massive Brüstung mit Außendämmung $U=0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Fensterfläche: 8,0 m² (Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung; $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g = 0,50$)
- Innenwandfläche: 42,0 m² (Gipskarton-Trockenbau)
- Deckenfläche: 20,0 m² (gespachtelte Stahlbeton-Massivdecke)
- Bodenfläche: 20,0 m² (Trockenbau-Doppelboden)

Über die Simulation wird instationär der Heizwärmebedarf berechnet. Die Nutzungsrandbedingungen werden analog zum Nachweisverfahren des sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2:2013-02 angesetzt:

- Simulationsbeginn: Montag, 1. Januar, 0:00 Uhr
- Nutzungszeiten: Mo.-Fr. 7:00 Uhr bis 18:00 Uhr
- Interne Wärmeeinträge während der Nutzung: 13,1 W/m²
- Luftwechsel während der Nutzung: 4,0 m³/m²h (Fensterlüftung)
- Luftwechsel außerhalb der Nutzung: 0,24 1/h
- Soll-Raumtemperatur für Heizzwecke: 21 °C

Es wurden die folgenden Varianten berechnet:

- Stundenwerte der Außentemperatur von Rostock
- Stundenwerte der Außentemperatur von Mühldorf/Inn
- Konstanter Monatsmittelwert der Außentemperatur (4,3 °C) in Kombination mit der Solarstrahlung von Rostock
- Konstanter Monatsmittelwert der Außentemperatur (4,3 °C) in Kombination mit der Solarstrahlung von Mühldorf/Inn

Die monatlichen Verläufe der solaren Einstrahlung an den beiden Standorten gemäß der Testreferenzjahre sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt.

Abbildung 7: Solare Einstrahlung im Monat März für die TRY-Region 2

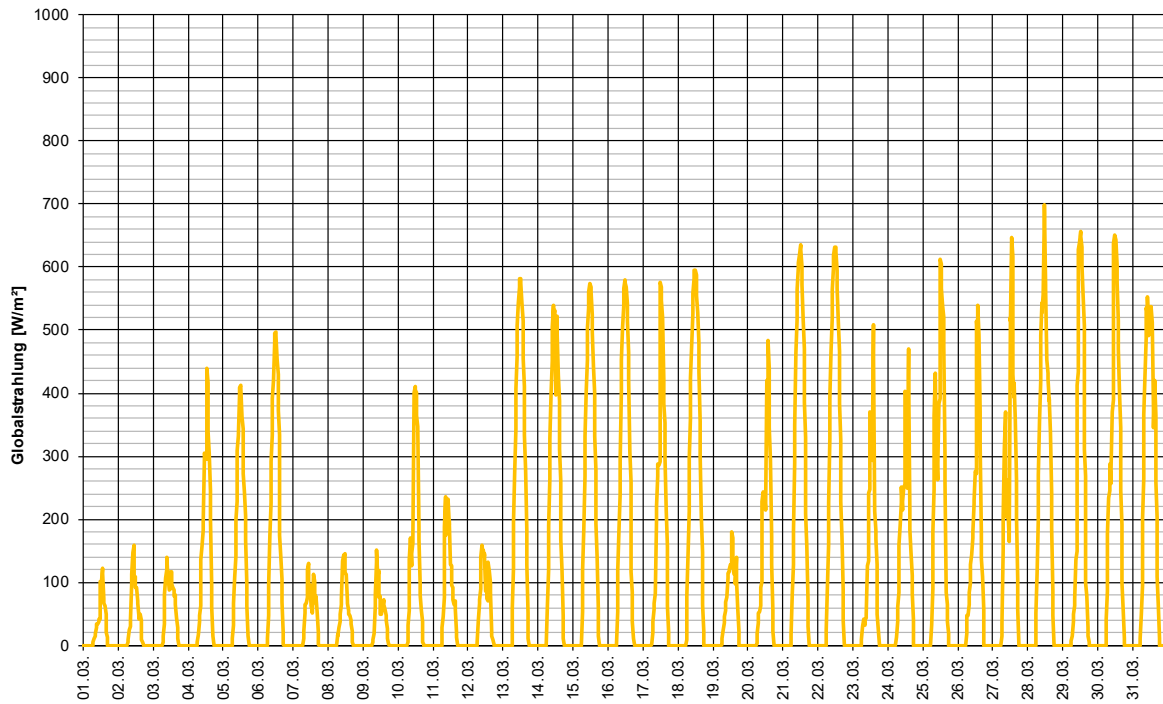
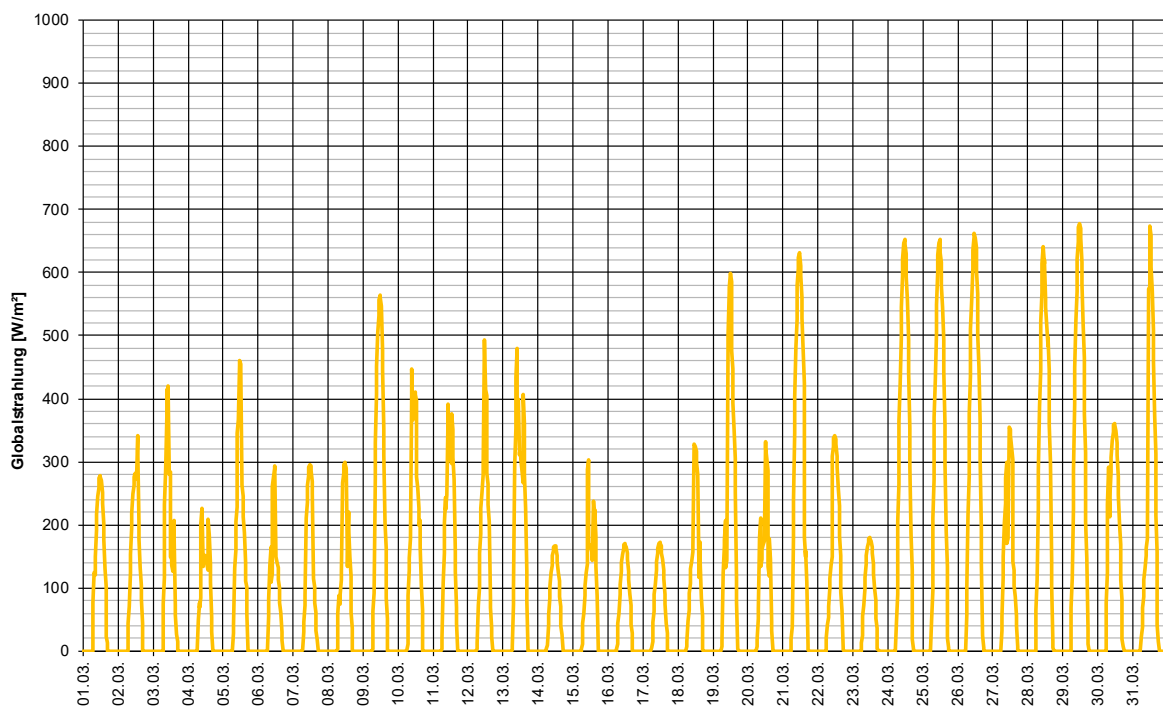
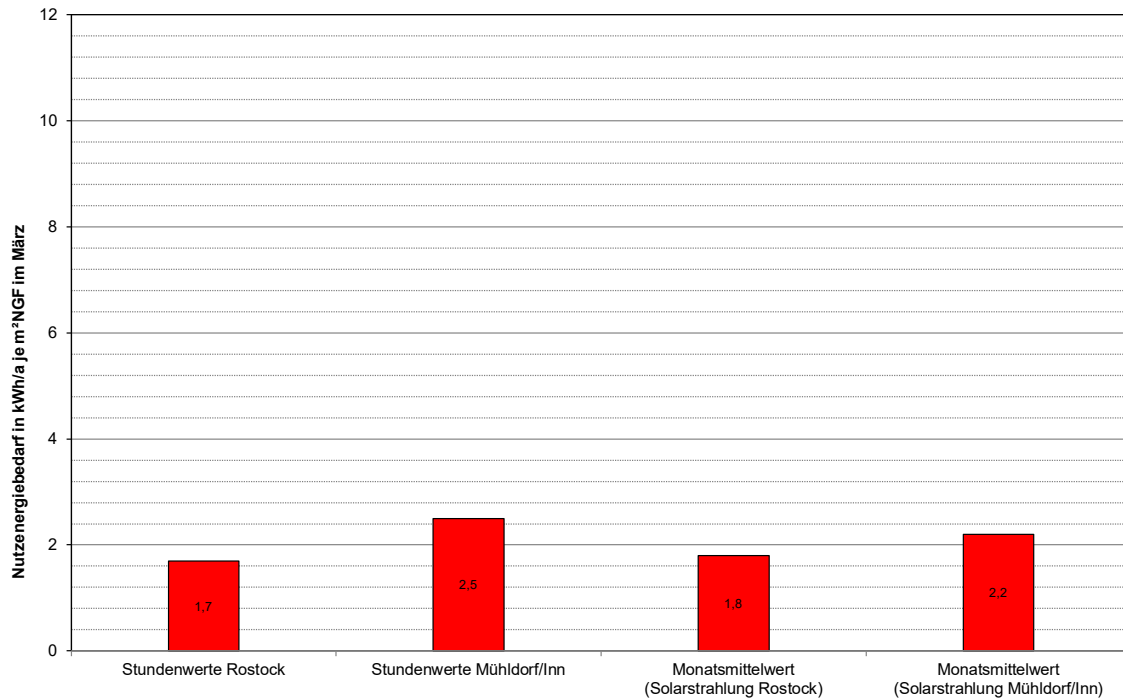


Abbildung 8: Solare Einstrahlung im Monat März für die TRY-Region 13



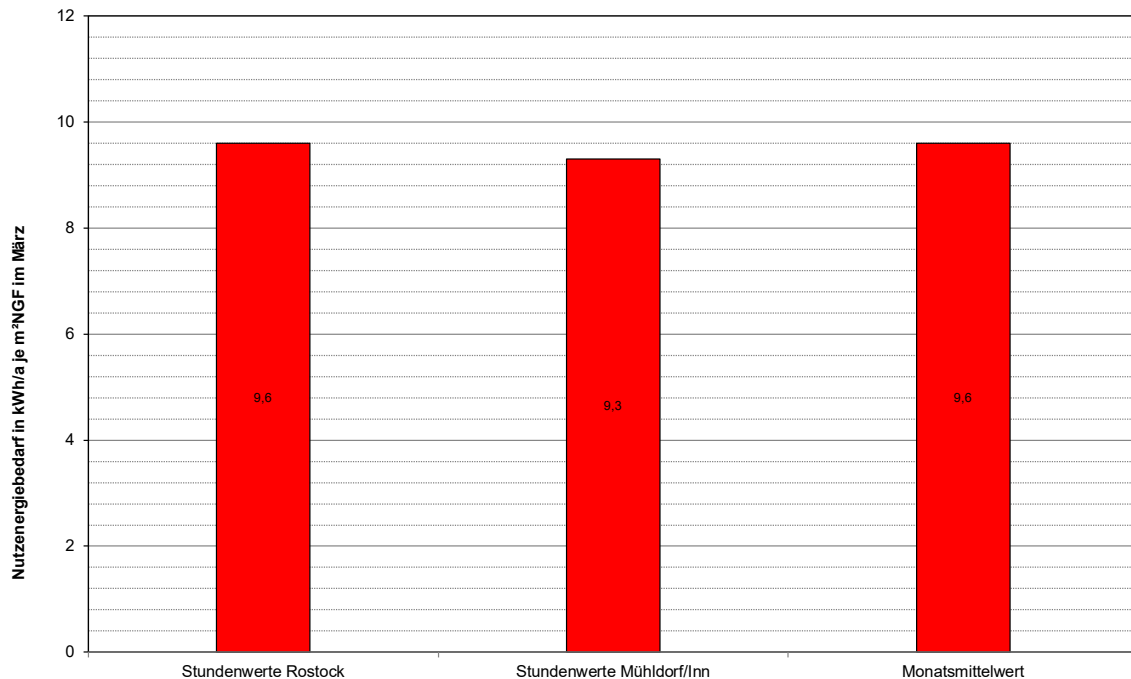
Die Ergebnisse für den Nutzenergiebedarf für die Raumheizung sind in Abbildung 9 dargestellt.

Abbildung 9: Simulierter Nutzenergiebedarf für einen Büroraum für den Monat März



Die Solarstrahlung weicht in der Jahressumme und auch im Hinblick auf die Verteilung innerhalb des Monats zwischen Rostock und Mühlendorf/Inn nur geringfügig voneinander ab, dennoch ergeben sich deutliche Unterschiede für den Heizwärmebedarf der beiden Standorte, auch bei Ansatz derselben konstanten Außentemperatur. Daher wird für die weiteren Untersuchungen die Solarstrahlung nicht mehr berücksichtigt. Das Fenster bleibt mit seinem U-Wert für die Simulation als solches erhalten. Damit ergeben sich die in Abbildung 10 dargestellten Heizwärmebedarfe.

Abbildung 10: Simulierter Nutzenergiebedarf für einen Büroraum ohne Solarstrahlung für den Monat März



Es lässt sich erkennen, dass sich für die im Monatsverlauf gleichmäßigeren Außentemperatur des TRY von Rostock ein Heizwärmebedarf in der gleichen Höhe wie bei der Simulation mit den Monatsmittelwerten ergibt. Bei Simulation basierend auf Außentemperatur-Stundenwerten des TRY von Mühldorf mit wärmeren und kälteren Perioden hingegen ergibt sich ein um ca. 3 % geringerer Heizwärmebedarf.

Um die Ursachen erkennen zu können werden die monatlichen Verläufe der Temperaturen und Heizwärmebedarfe für die drei Varianten in der Abbildung 11, Abbildung 12 und Abbildung 13 separat dargestellt.

Abbildung 11: Monatlicher Verlauf der Temperatur und des Heizwärmebedarfs für die Stundenwerte von Rostock

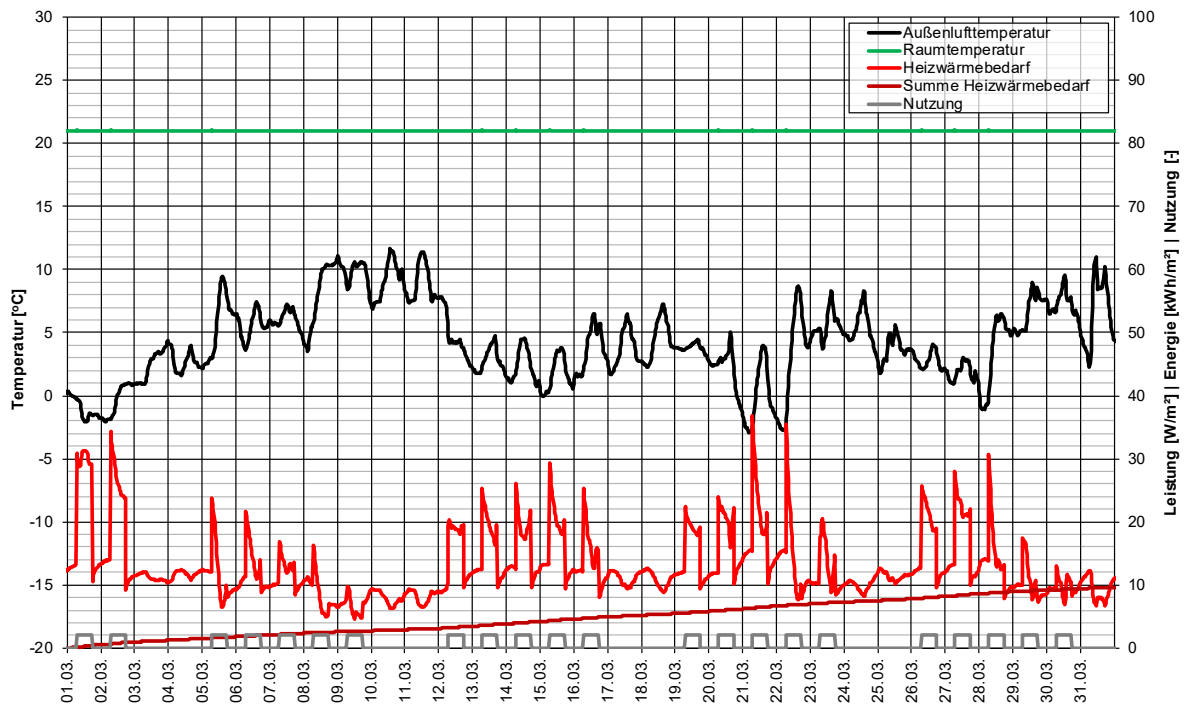


Abbildung 12: Monatlicher Verlauf der Temperatur und des Heizwärmebedarfs für die Stundenwerte von Mühlendorf/Inn

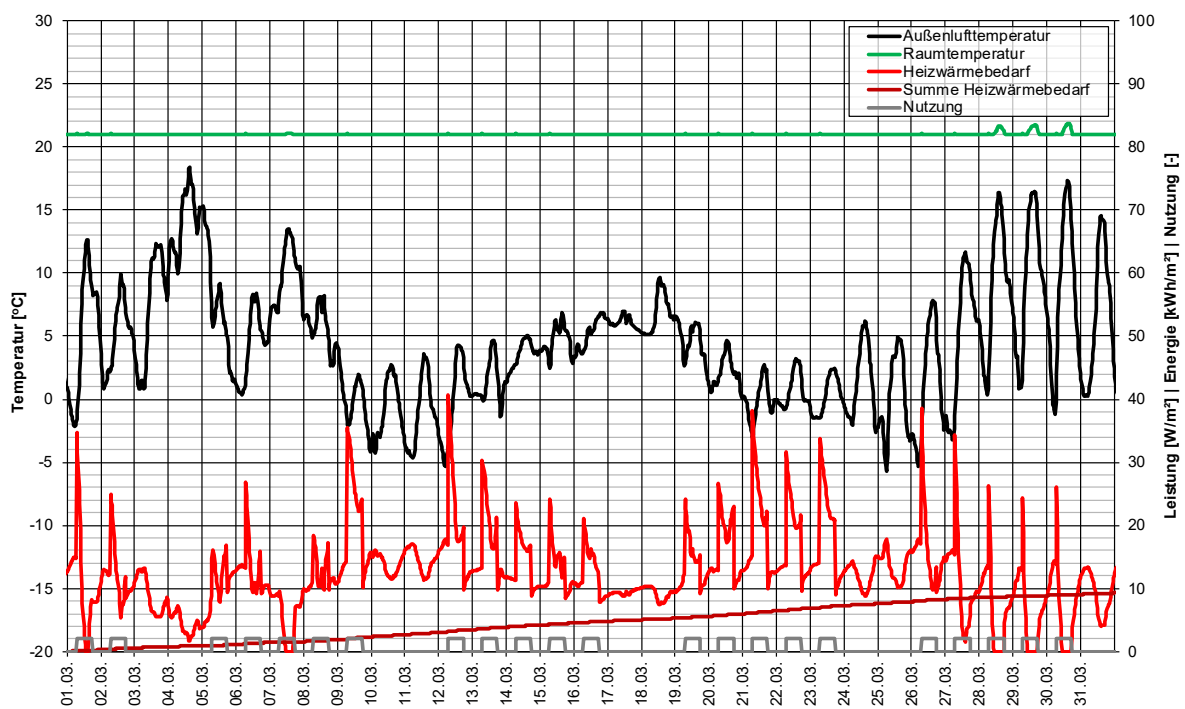
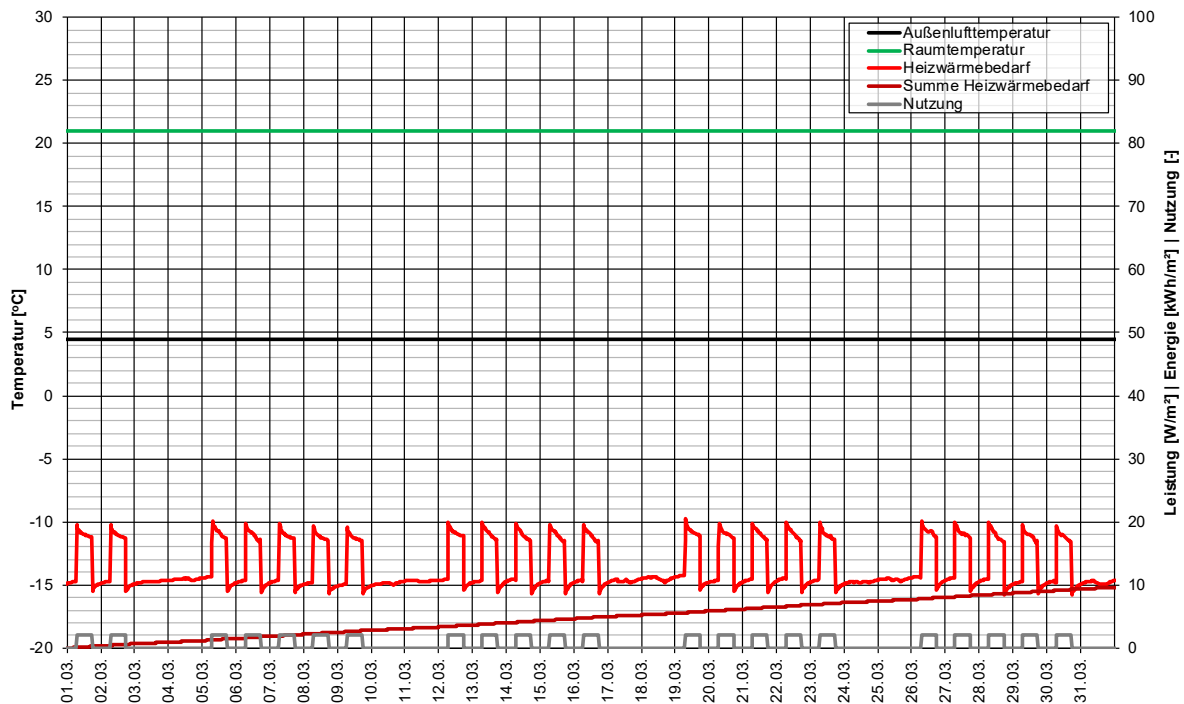


Abbildung 13: Monatlicher Verlauf der Temperatur und des Heizwärmebedarfs für den Monatsmittelwert der Außentemperatur



Hierbei zeigt sich, dass in Mühldorf zeitweise während der Nutzungszeiten kein Heizwärmebedarf besteht. Die erhöhten Lüftungswärmeverluste während der Nutzung werden durch die internen Wärmelasten kompensiert und resultieren in einer Raumtemperatur über 21 °C. Der höhere Heizwärmebedarf während der vergleichsweise kälteren Perioden ist nicht in demselben Maß höher, um die warmen Perioden auszugleichen, so dass in Summe der geringere Heizwärmebedarf resultiert.

Dieses Beispiel zeigt, dass in Klimaregionen mit identischer mittlerer monatlicher Außentemperatur durchaus abweichende Heizwärmebedarfe bestehen können, dass diese aber (hier mit ca. 3 %) keine entscheidende Rolle spielt. Es lässt sich hiermit nicht begründen, dass Berechnungen nach DIN V 18599 aufgrund der Monatsmittelwerte ein zu stark vereinfachendes Verfahren darstellen.

Für die Strahlungsdaten ergeben sich jedoch bei dem untersuchten Beispiel Unterschiede der Heizwärmebedarfe deutlich über 3 %, hier werden daher weitere quantitative Untersuchungen empfohlen.

Aktive Solarenergienutzung (Strahlungswerte)

Grundsätzlich ist der solarthermische Ertrag von Solarkollektoren nicht proportional zur Solarstrahlung, da es beim solarthermischen Ertrag Verlustkoeffizienten gibt, welche sich unabhängig der Intensität der Solarstrahlung näherungsweise konstant verhalten. Das bedeutet, dass sich der Wirkungsgrad zur Einstrahlung bei zunehmender Solarstrahlung erhöht. Diese Verschiebung der Wirkungsgrade wird über Faktoren wie z.B. über den Wärmeverlustkoeffizienten berücksichtigt (vgl. DIN V 18599-8 Gleichung 53). Wie sich diese Verschiebung des Wirkungsgrades bei Variation der Strahlungsdaten auswirkt, lässt sich qualitativ schwer bewerten.

Anzunehmen ist ferner, dass die Größe des Warmwasserspeichers kein Einflussfaktor für diese Betrachtung ist, da ein Speicher normalerweise für ein bis zwei sonnenreiche Tage ausgelegt ist.

Anders verhält es sich bei der Stromerzeugung über eine Photovoltaikanlage. Hier kann von einem direkten Zusammenhang zwischen Stromerzeugung und Einstrahlung ausgegangen werden. So, dass die durch die Mittelwertbildung entstehende Unschärfe als gering eingestuft wird. Zudem ist das Verfahren nach DIN V 18599-9 insgesamt als eher ungenau einzustufen, da wichtige Eingangsgrößen, wie beispielsweise die Neigung, nicht genau eingegeben werden können. Auch scheinen die festgelegten Kennwerte für die Berechnung von PV-Anlagen zu tendenziell zu niedrigen Erträgen zu führen. Hingegen ist für eine Lastganganalyse bzw. die Berechnung von Eigennutzungsanteile eine monatliche Bilanz nicht geeignet.

Windkraft

Da Stunden- oder Monatsmittelwerte von Windgeschwindigkeiten grundsätzlich nicht zur Auslegung oder Ertragsberechnung von Windkraftanlagen verwendet werden sollten (Remund et al. 2018) werden sie bei diesem Forschungsprojekt nur der Information halber ausgewertet.

2.3 Fazit

Als Basiswissen für die Untersuchung „Standardklima versus örtliches Klima“ wird die Verwendung der Klimadaten in der Energiebedarfsberechnung (EnEV 2013) untersucht. Die im Teil 10 der DIN V 18599 enthaltenen Klimadaten in Form von Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur und Strahlungsintensität fließen in die Ermittlung von Transmissions- und Lüftungswärmeverluste auch für den Kühlfall in die Bilanzierung von Lüftungswärmequellen ein. Aber auch an weiteren Stellen wird direkt Bezug auf die Monatsmittelwerte aus Teil 10 genommen. Aber auch über weitere standardisierte Klimadaten, wie beispielsweise Energiekennwerte von RLT-Anlagen, werden Klimaeinflüsse berücksichtigt.

Bei einer qualitativen Einschätzung über durch das Monatsbilanzverfahren entstehende Abweichungen im Vergleich zur korrekten Berechnung mit Außentemperaturen im Tagesverlauf konnte über zwei beispielhafte Simulationen festgestellt werden, dass sich ein Heizwärmebedarf in gleicher Höhe bzw. nur mit geringer Abweichung für Simulationen mit Stundenwerten im Vergleich zu einer Simulation mit Monatsmittelwerten ergibt.

3.0 Erzeugung örtlicher EnEV-konformer Klimadaten

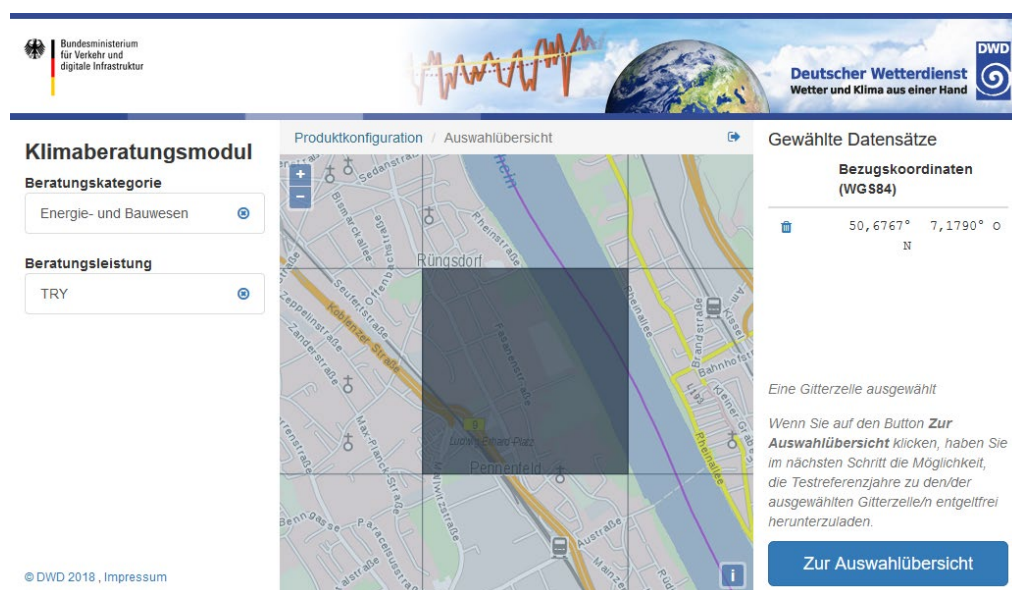
Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wird ein Instrument (programmiertes Berechnungstool), nachfolgend Tool genannt, entwickelt, um aus den örtlichen Stundenwerten der ortsgenauen Testreferenzjahre (TRY) die für die Berechnung nach DIN V 18599 benötigten monatlichen Klimadaten zu erzeugen.

3.1 Vorstellung Tool

3.1.1 Basis „Ortsgenaue Testreferenzjahre“

Eingangsgröße für das Tool ist ein für einen spezifischen Standort in Deutschland erzeugtes „ortsgenaues Testreferenzjahr (TRY)“. Die Erzeugung des ortsgenauen Testreferenzjahrs erfolgt über das „DWD-Klimaberatungsmodul“ (DWD Deutscher Wetterdienst 2018), welches das Ergebnis eines vom BBSR beauftragten und vom DWD erstellten Forschungsprojektes ist (BBR Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung/DWD Deutscher Wetterdienst 2017, 2016). Abbildung 14 zeigt einen Screenshot des Klimaberatungsmoduls auf der Internetseite des Deutschen Wetterdienstes (DWD).

Abbildung 14: Klimaberatungsmodul auf der Internetseite des DWD (DWD Deutscher Wetterdienst 2018), Screenshot vom 27.09.2018



Über das DWD-Klimaberatungsmodul lassen sich die ortsbezogenen Testreferenzjahre für einzelne Quadranten (Größe eines Quadranten 1 km x 1 km) herunterladen.

Abbildung 15 zeigt als Beispiel die ersten Zeilen einer vom Klimaberatungsmodul erstellten .dat-Datei eines ortsgenauen TRY.

Abbildung 15: Datensatz TRY2015 durchschnittliches Jahr für die WGS84-Koordinaten 50,6767° N / 7,179° O

```

1. TRY2015_506767071790_Jahr.dat
1 Koordinatensystem : Lambert konform konisch
2 Rechtswert       : 3807500 Meter
3 Hochwert        : 2661500 Meter
4 Höhenlage       : 65 Meter ueber NN
5 Erstellung des Datensatzes im Mai 2016
6
7 Art des TRY      : mittleres Jahr
8 Bezugszeitraum   : 1995-2012
9 Datenbasis       : Beobachtungsdaten Zeitraum 1995-2012
10
11 Format: (i7,lx,i7,lx,i2,lx,i2,lx,i2,lx,f5.1,lx,i4,lx,3i,lx,f4.1,lx,il,lx,f4.1,lx,i3,lx,i4,lx,i4,lx,i3,lx,i4,2x,il)
12
13 Reihenfolge der Parameter:
14 RW Rechtswert [m] {3670500;3671500..4389500}
15 HW Hochwert [m] {2242500;2243500..3179500}
16 MM Monat {1..12}
17 DD Tag {1..28,30,31}
18 HH Stunde (MEZ) {1..24}
19 t Lufttemperatur in 2m Hoehe ueber Grund [GradC]
20 p Luftdruck in Standorthoehe [hPa]
21 WR Windrichtung in 10 m Hoehe ueber Grund [Grad] {0..360;999}
22 WG Windgeschwindigkeit in 10 m Hoehe ueber Grund [m/s]
23 N Bedeckungsgrad [Achtel] {0..8;9}
24 x Wasserdampfgehalt, Mischungsverhaeltnis [g/kg]
25 RF Relative Feuchte in 2 m Hoehe ueber Grund [Prozent] {1..100}
26 B Direkte Sonnenbestrahlungsstaerke (horiz. Ebene) [W/m^2] abwaerts gerichtet: positiv
27 D Diffuse Sonnenbestrahlungsstaerke (horiz. Ebene) [W/m^2] abwaerts gerichtet: positiv
28 A Bestrahlungsstaerke d. atm. Waermestrahlung (horiz. Ebene) [W/m^2] abwaerts gerichtet: positiv
29 E Bestrahlungsstaerke d. terr. Waermestrahlung [W/m^2] aufwaerts gerichtet: negativ
30 IL Qualitätsbit bezüglich der Auswahlkriterien {0;1;2;3;4}
31
32
33 RW HW MM DD HH t p WR WG N x RF B D A E IL
34 ***
35 3807500 2661500 1 1 1 5.0 994 167 4.2 7 4.8 85 0 0 304 -331 3
36 3807500 2661500 1 1 2 2.8 994 151 3.5 7 4.2 87 0 0 303 -331 3
37 3807500 2661500 1 1 3 1.3 994 140 3.2 7 3.8 89 0 0 311 -331 3
38 3807500 2661500 1 1 4 1.3 994 139 3.7 7 3.8 89 0 0 312 -331 3
39 3807500 2661500 1 1 5 1.4 995 140 4.1 7 3.8 89 0 0 299 -331 3
40 3807500 2661500 1 1 6 1.2 995 138 4.5 8 3.8 88 0 0 305 -332 3
41 3807500 2661500 1 1 7 1.3 995 140 4.4 7 3.8 90 0 0 310 -332 3
42 3807500 2661500 1 1 8 1.2 995 139 3.9 8 3.8 90 0 0 310 -332 3
43 3807500 2661500 1 1 9 1.3 995 147 3.4 8 3.8 90 0 0 315 -332 3
44 3807500 2661500 1 1 10 2.0 996 140 2.9 6 3.9 89 5 46 303 -332 3
45 3807500 2661500 1 1 11 2.4 996 149 2.9 4 3.9 87 26 107 279 -332 3
46 3807500 2661500 1 1 12 2.9 996 143 3.1 6 4.0 86 8 114 280 -335 3

```

Angegeben wird u.a. die Höhenlage, Wasserdampfgehalt, Lufttemperatur, direkte und diffuse Sonnenbestrahlungsstärke.

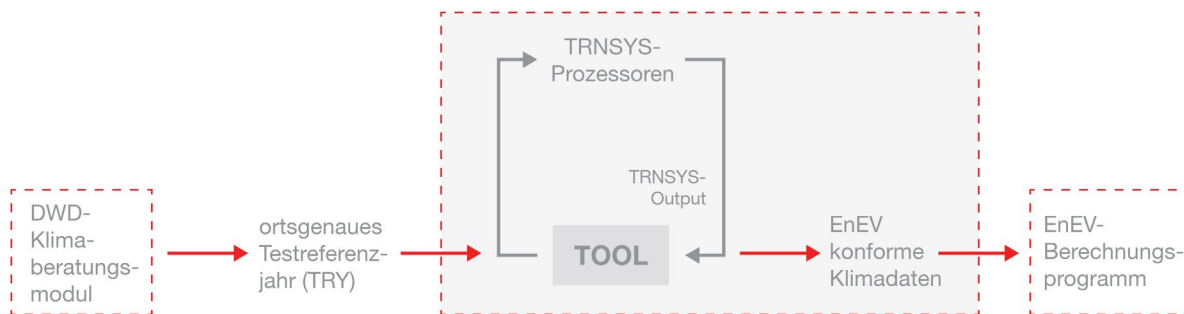
3.1.2 Funktionsweise und Beschreibung

In dem Tool wird das vom DWD-Klimaberatungsmodul erzeugte lokale TRY automatisiert eingelesen. Die Koordinaten des lokalen TRY werden vom DWD-Klimaberatungsmodul im WGS84-Koordinatensystem als Dezimalwert angezeigt und als zwölfstellige Ziffer in den Dateinamen geschrieben, z.B. TRY2015_506767071790_Jahr.dat. Im Kopf der TRY-Datei hingegen werden die Koordinaten im „Lambert konform konisch“-Koordinatensystem angegeben (vgl. Abbildung 15). Sollen diese Werte in einem Strahlungsprozessor verwendet werden, wäre eine Umrechnung in das bei diesen üblicherweise verwendete WGS84-Koordinatensystem erforderlich. Stattdessen verwendet das Tool die Koordinaten des Quadranten aus dem Dateinamen.

Die Umrechnung in EnEV-konforme Klimadaten geschieht in zwei Schritten. Das ortsgenaue TRY wird zunächst in der Simulationssoftware TRNSYS eingelesen. Von dieser wird der Strahlungsprozessor zur Berechnung der Solarstrahlung auf geneigte Flächen sowie ein Enthalpieprozessor für weitere thermodynamische Kennwerte der Außenluft verwendet. Es wird im Hintergrund auf Basis dieser Berechnungen eine neue Datentabelle mit allen Stundenwerten erzeugt (TRNSYS Output), die ins Tool eingelesen

wird. Aus den TRNSYS Output-Daten errechnet das Tool die EnEV-konformen Klimadaten, indem die entsprechenden Monatsmittel- oder Summenwerte berechnet werden.

Abbildung 16: Schematische Darstellung des Tools zur Erzeugung EnEV-konformer Klimadaten



Nachfolgende Werte werden vom Tool erzeugt. Zusätzlich wird deren Berechnungsweise erläutert.

Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur

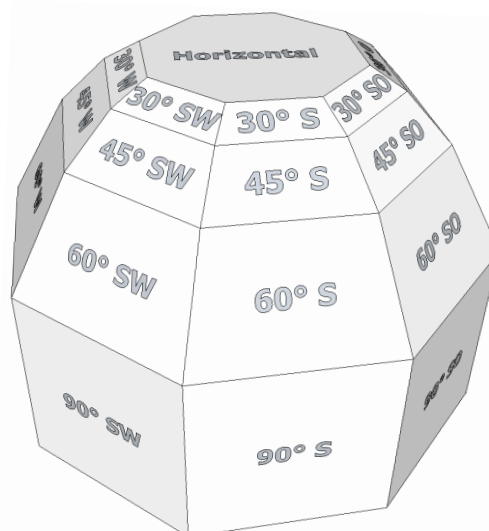
Über die Zeitangaben können für die stundengenauen Zeiträume der Monate Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur berechnet werden. Diese Mittelwerte entsprechen den in der DIN V 18599 angegebenen mittleren Außenlufttemperaturen.

Mittlere monatliche Strahlungsintensität

Die horizontale monatliche Strahlungsintensität in W/m^2 ergibt sich aus der Summe aus der direkten und (B) der diffusen Sonnenbestrahlungsstärke (D), welche ebenfalls direkt im ortsgenaues TRY des Klimaberatungsmoduls enthalten sind (vgl. Abbildung 15).

Die Strahlungsintensität wird in den Klimatabellen der DIN V 18599-10 jedoch nicht nur für auf die Horizontale auftreffende Solarstrahlung, sondern auch für alle Orientierungen in 45° -Schritten in jeweils vier Neigungen angegeben. Abbildung 17 veranschaulicht die Flächen, für welche die solare Strahlungsintensität ermittelt wird.

Abbildung 17: Darstellung der Flächen, für welche die solare Strahlungsintensität ermittelt wird.



Zur Berechnung der Gesamtstrahlung auf geneigte Flächen wird durch den TRNSYS-Strahlungsprozessor auf Basis der Koordinaten der Sonnenhöhenwinkel und Azimut berechnet. Unter Berücksichtigung eines vorher festgelegten Reflexionsgrades der Umgebung (Standardwert: 20%) wird dann unter Anwendung des Perez-Modells von 1999 (Perez et al. 1988; Perez/Ineichen 1999) die eintreffende Strahlung für alle Flächen ermittelt.

Weitere Monatsmittelwerte

- Feuchtkugeltemperatur der Außenluft
Für energetische Berechnungen dient die Feuchtkugeltemperatur als Grenzwert für eine Verdunstungskühlung. In der DIN V 18599 Teil 3 ist die Feuchtkugeltemperatur der Abluft und der Zuluft standardisiert enthalten (siehe Kap. 2.1). Sie wird über den TRNSYS-Prozessor erzeugt.
- Enthalpie der Außenluft
Ebenso sind standardisierte Enthalpie-Werte der Außenluft in der DIN V 18599 Teil 3 enthalten. Auch diese werden über den TRNSYS-Prozessor erzeugt.
- Wasserdampfgehalt der Außenluft (absolute Feuchte)
Auch für den Wasserdampfgehalt x sind standardisierte Werte in der DIN V 18599 Teil 3 hinterlegt. Die ortsgenauen Wasserdampfgehalt-Stundenwerte werden sowohl im ortsgenauen TRY angegeben als auch vom TRNSYS-Prozessor erzeugt.
- mittlere Windgeschwindigkeit
Für die Berechnung von Windkraftanlagen ist die mittlere monatliche Windgeschwindigkeit erforderlich (DIN V 18599 Teil 9)
- Gradtagszahl
Zusätzlich werden für die lokalen TRY Gradtage für eine mittlere Raumtemperatur von 20 °C und die Heizgrenztemperaturen 10° (Neubau mit hohem Dämmstandard), 12° (Neubau) bzw. 15 °C (Bestand) nach VDI 3807 Blatt 1 (Ausgabe Juni 2013: 12f) berechnet. Zunächst werden hierfür die Heiztage ermittelt, an denen das Tagesmittel der Außentemperatur unter der festgelegten Heizgrenztemperatur liegt. Für diese Tage wird anschließend die Differenz zwischen der mittleren Raumtemperatur von 20 °C und dem Tagesmittel der Außentemperatur gebildet und monatsweise aufsummiert.

Tag- und Nachtstunden in Abhängigkeit des Nutzungsprofils

Da in Abhängigkeit der geografischen Breite sich auch die Zeiten des Sonnenauf- und -untergangs verschieben, ergeben sich auch unterschiedliche jährliche Nutzungsstunden zur Tag- und Nachtzeit. Diese werden für eine Büronutzung, Klassenzimmer, Küchen in NWG, Industriehallen und Wohnen ausgewertet.

3.1.3 Export in das EnEV-Berechnungsprogramm

Als Ergebnis wird vom Tool eine Textdatei ausgegeben, die in dem dargestellten Format (s. Abbildung 18) in den Zeilen 1-33 die mittleren monatlichen Strahlungsintensitäten sowie in Zeile 34 die Monatsmittelwerte der Außenlufttemperaturen enthält.

Abbildung 18: Beispiel eines Klimadatensatzes für EnEV-Berechnungsprogramme

```

1. TRY2015_506767071790_Jahr_EnEV.txt
1 Z1=029.051.101.154.190.241.223.167.113.083.033.024
2 Z2=048.070.129.172.198.243.229.183.138.119.050.043
3 Z3=054.075.133.169.188.227.216.177.140.128.055.050
4 Z4=058.077.131.158.170.201.193.163.135.130.057.053
5 Z5=055.068.106.115.114.126.125.115.106.113.053.052
6 Z6=041.063.117.165.193.241.226.176.130.106.043.036
7 Z7=045.065.117.162.183.228.215.170.131.110.045.040
8 Z8=046.065.113.153.167.207.196.158.126.109.045.042
9 Z9=041.055.091.117.119.146.140.118.101.092.039.038
10 Z10=043.064.122.166.194.240.224.178.130.109.046.038
11 Z11=047.067.125.162.185.225.212.173.130.114.049.042
12 Z12=048.066.122.153.169.203.193.161.125.113.050.044
13 Z13=044.056.099.117.121.142.138.120.100.096.045.041
14 Z14=028.049.095.147.178.227.210.157.111.080.031.023
15 Z15=027.047.090.141.165.212.197.148.107.077.030.023
16 Z16=026.044.084.130.149.193.180.136.101.072.028.022
17 Z17=021.035.066.101.111.145.137.104.080.058.023.018
18 Z18=030.050.101.148.180.226.209.161.110.083.034.025
19 Z19=029.048.098.141.168.210.195.153.106.080.034.025
20 Z20=028.045.093.132.153.191.178.141.100.076.032.024
21 Z21=023.037.076.105.115.146.137.110.080.062.027.020
22 Z22=018.035.070.122.158.205.187.134.086.053.022.014
23 Z23=017.031.060.106.135.175.161.115.075.045.020.013
24 Z24=016.028.053.093.116.150.139.099.067.040.018.012
25 Z25=013.022.042.071.086.111.104.076.053.033.015.010
26 Z26=019.035.075.123.161.205.187.137.085.055.023.014
27 Z27=017.032.065.108.139.176.160.119.074.047.020.013
28 Z28=016.029.058.097.120.151.139.105.067.042.019.012
29 Z29=013.023.046.077.091.116.106.081.053.034.015.010
30 Z30=017.029.057.111.152.198.180.125.071.037.020.014
31 Z31=017.028.042.082.123.162.145.096.050.034.019.013
32 Z32=015.026.040.065.090.118.105.071.045.033.018.012
33 Z33=012.021.034.054.069.083.076.058.039.028.014.010
34 Z34=+02.9,+04.3,+07.1,+10.7,+14.9,+17.8,+19.1,+19.1,+14.9,+11.2,+07.3,+02.9

```

Diese Daten können dann zu der Klima-Datenbank eines EnEV-Berechnungsprogramms hinzugefügt werden.

3.1.4 Validierung

Es erfolgt eine umfangreiche Validierung des Tools. Hierfür werden die Ausgabewerte des Tools mit den TRY-Rohdaten, die vom DWD-Klimaberatungsmodul ausgegeben werden, nach entsprechender Mittelwert- bzw. Summenbildung verglichen. Eine entsprechende Validierung erfolgt für die horizontale mittlere monatliche Strahlungsintensität sowie den Strahlungsjahreswert, die Außentemperatur, die absolute Feuchte und die Windgeschwindigkeit. Zwei kleine Bezugsfehler, die sich aus der Einheitenumrechnung mit Verwendung des TRNSYS-Prozessors bzw. aus der Berücksichtigung eines Schaltjahres mit 29 Tagen im Februar ergaben, konnten korrigiert werden, so dass das Tool nun geprüft und gesichert die entsprechend richtigen Summen- und Mittelwerte liefert. Die Mittelwerte der Außentemperaturen sind außerdem beim Vergleich der TRY2011-Daten identisch mit den DIN V 18599-Tabellenwerten.

Zur absoluten Feuchte sei angemerkt, dass die Nutzung des TRNSYS-Enthalpieprozessors zu minimalen Diskrepanzen ab der 2. Nachkommastelle (in g/kg) zwischen den Ausgabe-Stundenwerten als Zwischenwert des Tools und den TRY-Rohdaten führt. Auf die vom Tool berechneten Monats- und Jahresmittelwerte haben diese Abweichungen keine Auswirkungen.

Die anderen Ausgabewerte des Tools können nicht direkt durch einen Abgleich mit den TRY-Rohdaten geprüft werden, weil diese darin nicht enthalten sind und erst aus diesen generiert werden. Nachfolgend wird ein Überblick über die Validierung dieser Werte gegeben.

- Feuchtkugeltemperatur und Enthalpie
Die vom Tool berechneten Werte für die Feuchtkugeltemperatur und Enthalpie werden über Plausibilitätskontrollen validiert.
- Überprüfung mit Angaben der Tag- und Nachtstunden der DIN V 18599 -10 Tabelle 5. Die hier angegebenen Werte gelten für eine geografische Breite von 50° und müssen je Nutzungsprofil immer dieselbe jährliche Summe ergeben.
- Mittlere monatliche Strahlungsintensität auf geneigten Flächen
Plausibilitätskontrollen über <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, DIN V 18599 -10 Tabelle E.6 sowie mit unterschiedlichen Strahlungsprozessoren und deren Einstellungen (siehe folgender Exkurs).

Exkurs: fehlerhafte Strahlungsdaten auf geneigte Flächen in der DIN V 18599-10 seit 2011

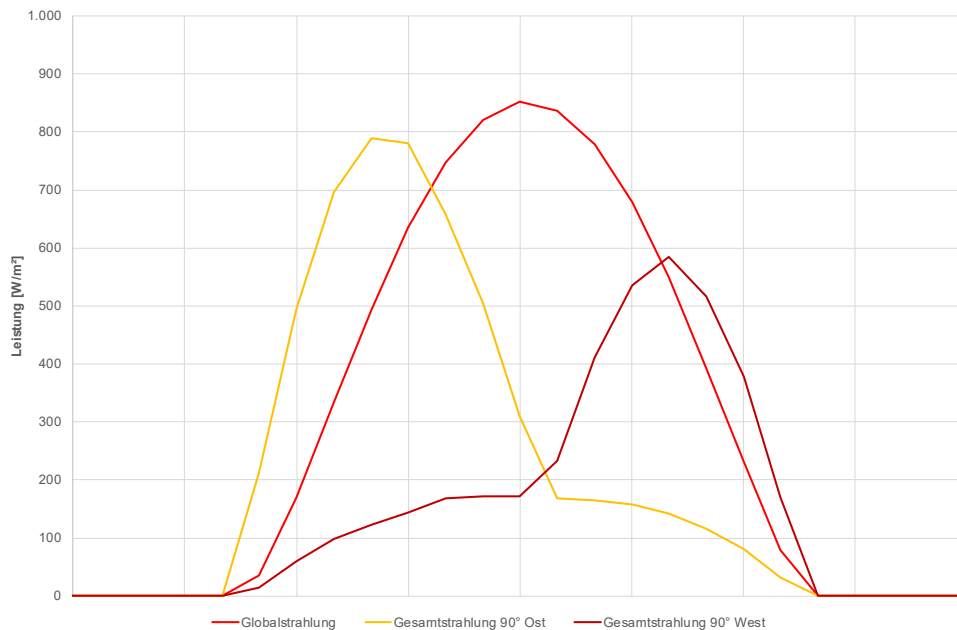
Die Gesamtstrahlungsdaten nach Himmelsrichtungen, die beispielsweise relevant für die Berechnung der solaren Gewinne über transparente Bauteile sind, weisen gemäß der Tabellen E.3-E.17 der DIN V 18599-10 mehr Einstrahlung für ostorientierte als für westorientierte Flächen auf. Eine Untersuchung der Ursache ergab, dass dies nur zu einem geringeren Anteil an den Wetterverhältnissen liegt (z.B. mehr Bewölkung in den Nachmittagsstunden), sondern durch eine zeitliche Verschiebung des Zeitbezugs der Strahlungsdaten zwischen „wahrer Ortszeit“ und „Zonenzeit“ MEZ verursacht wird (Lam/Hiller 2014: 395–401).

Die Grundlage der Werte in den Tabellen E.3-E.17 der DIN V 18599-10 seit der Ausgabe von 2011 waren die Testreferenzjahre 2011. Hierin sind die Stundenwerte für die horizontale Solarstrahlung enthalten. Wie sich 2013 herausgestellt hat, wurden bei der Ermittlung der Stundenwerte unterschiedliche Zeitbezüge verwendet:

- für die (gemessenen) Datensätze: Hamburg (Region 2), Rostock (Region 3), Potsdam (Region 4), Chemnitz (Region 9), Fichtelberg (Region 11) und Mannheim (Region 12) muss die Zeitanzeige in „Wahrer Ortszeit“ erfolgen,
- für alle anderen Standorte in MEZ jedoch ist das Stundenmittlungsintervall der Bestrahlungsstärke -0.5h bis +0.5h rel. zum Zeiteintrag und nicht wie sonst die Stunde davor.

Offensichtlich wurde dies auch bei der Erstellung der Tabellen E.3-E.17 der DIN V 18599-10 nicht berücksichtigt. Bei Einsatz von Strahlungsprozessoren zur Berechnung der Einstrahlung auf geneigte Flächen sind diese bei jeder üblichen Software so eingestellt, dass die Einstrahlung in „Zonenzeit“ in der Stunde vor dem Stundenwert vorliegt („Endzeit“). Mit dieser Einstellung ergibt sich für Hof an einem wolkenlosen Tag im Sommer die in Abbildung 19 dargestellte Einstrahlung.

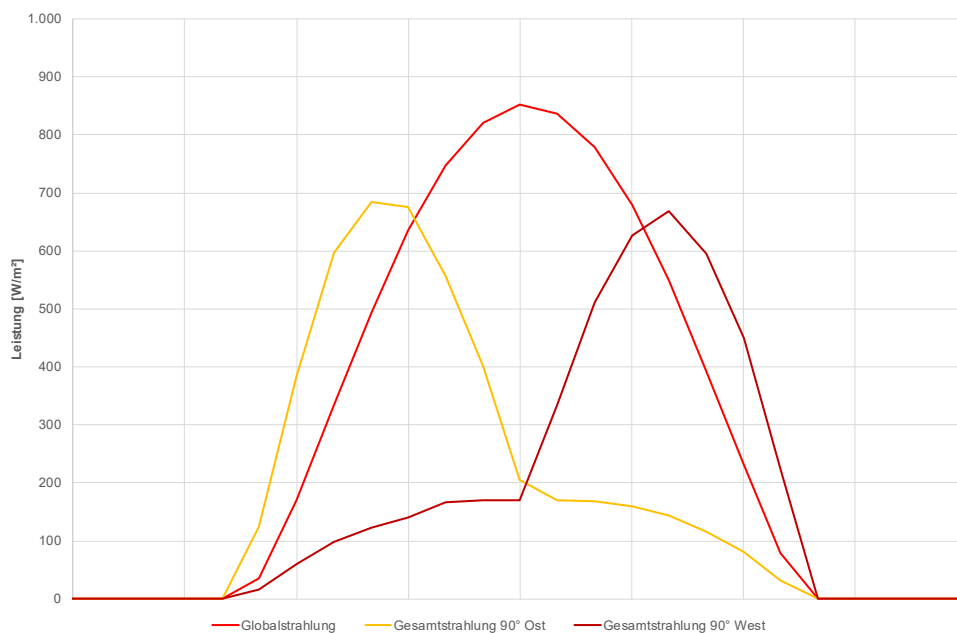
Abbildung 19: Solare Einstrahlung an einem klaren Sommertag in Hof (TRY2011 mit unkorrigiertem Strahlungsdatenzeitbezug)



Dass bei einer derart gleichmäßigen Globalstrahlung die Einstrahlung von Osten so viel höher ist als von Westen kann nicht möglich sein, führt aber in der Jahressumme zu 715 kWh/(m² a) gegenüber 548 kWh/(m² a) in Tabelle E.12 der DIN V 18599-10.

Wird der Strahlungsdatenzeitbezug der TRY2011-Daten korrigiert ergibt sich die in Abbildung 20 dargestellte Einstrahlung. Diese ergibt in der Jahressumme 637 kWh/(m² a) auf einer nach Osten und 618 kWh/(m² a) auf einer nach Westen ausgerichteten senkrechten Fläche.

Abbildung 20: Solare Einstrahlung an einem klaren Sommertag in Hof (TRY2011 mit korrigiertem Strahlungsdatenzeitbezug)

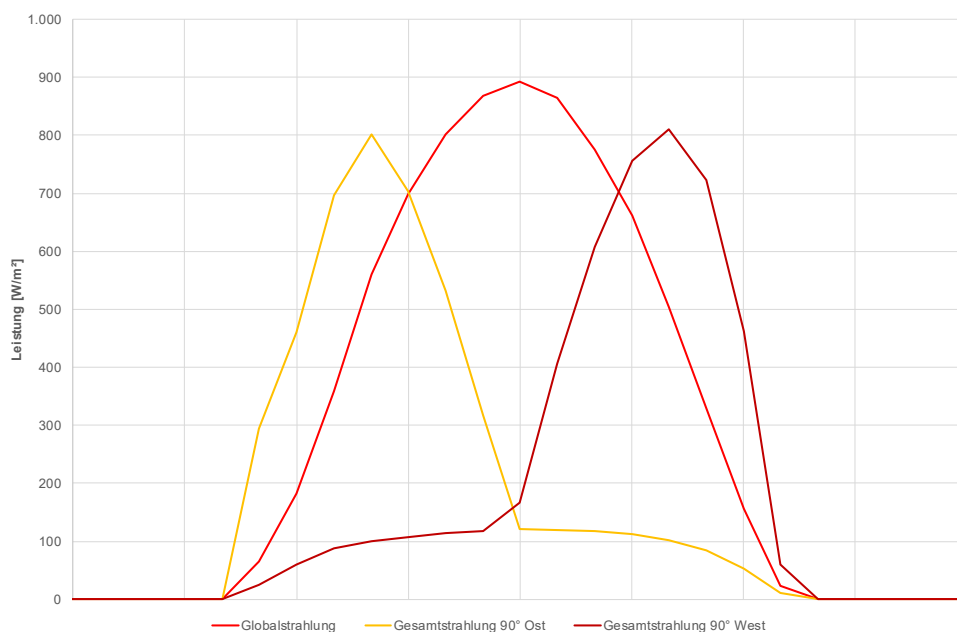


Bei den gemessenen Datensätzen ist der Fehler durch den Bezug der TRY-Daten auf die „Wahre Ortszeit“ anstelle der „Zonenzeit“ geringer, je weiter östlich der Referenzort liegt (bei einer östlichen Länge von 15° wäre der Fehler gleich null). Dadurch liegen die Einstrahlungen auf nach Osten bzw. Westen ausgerichteten Flächen bei dem EnEV-Referenzklima in Potsdam nicht so weit auseinander wie z.B. in Mannheim, so dass der Fehler bei EnEV-Berechnungen mit den Klimadaten der Tabelle E.6 relativ gering ist.

Vor dem Hintergrund dieser ungewöhnlichen Festlegungen des Strahlungsdatenzeitbezugs in den Testreferenzjahren von 2011 und mangels entsprechender Dokumentation in dem Handbuch der Testreferenzjahre 2017 erfolgt eine weitere Prüfung dieser am Beispiel von Hof. Die Softwareeinstellung wird dabei unverändert mit „Zonenzeit“ und „Endzeit“ belassen.

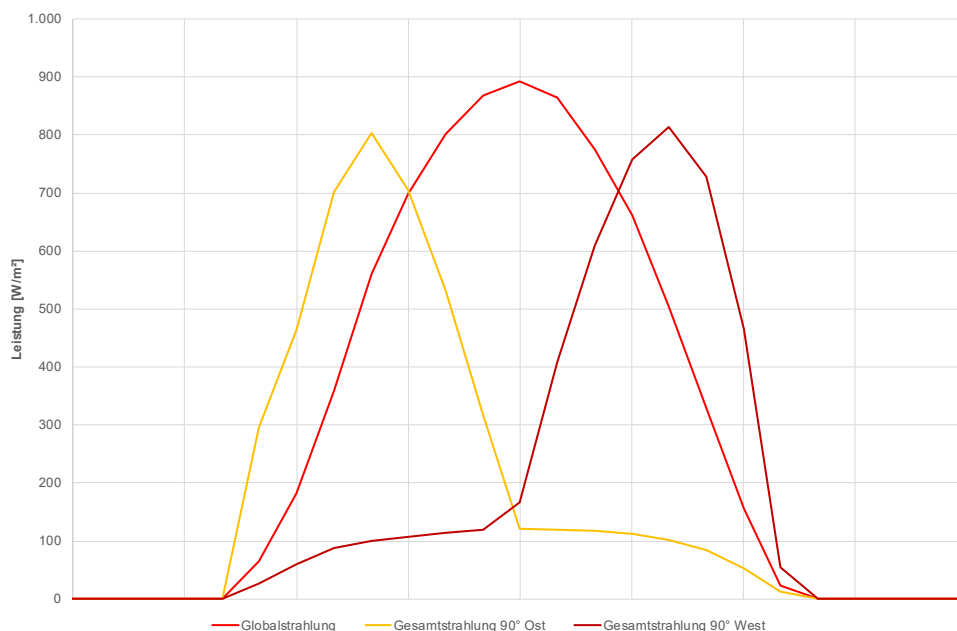
In Abbildung 21 ist das Ergebnis der Software TRNSYS17 dargestellt, in der die TRY-Rohdaten manuell eingelesen werden und die WGS84-Koordinaten aus dem TRY-Dateinamen manuell eingegeben werden.

Abbildung 21: Solare Einstrahlung an einem klaren Sommertag in Hof (TRY2017 mit Verwendung des TRNSYS17-Strahlungsprozessors)



Demgegenüber wird in Abbildung 22 das Ergebnis für den Einsatz von TRNSYS18 dargestellt. In dieser Software werden die TRY2017-Rohdaten automatisch eingelesen und die WGS84-Koordinaten automatisch aus den entsprechenden Kopfzeilen mit den „lambert-konform-konisch“-Koordinaten umgerechnet.

Abbildung 22: Solare Einstrahlung an einem klaren Sommertag in Hof (TRY2017 mit Verwendung des TRNSYS18-Strahlungsprozessors)



Die Ergebnisse sind annähernd identisch und weisen mit 711 kWh/(m² a) bzw. 704 kWh/(m² a) von Osten und 697 kWh/(m² a) bzw. 690 kWh/(m² a) von Westen auch annähernd identische und ausgewogene Einstrahlungssummen auf. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass der Strahlungsdatenzeitbezug der TRY2017-Daten der üblichen „Zonenzeit“ und „Endzeit“ entspricht und in dem Tool bei den Einstellungen des Strahlungsprozessors keine Korrekturen vorgenommen werden müssen.

3.2 Berechnung von Klimadaten für das Monatsbilanzverfahren

Mit Hilfe des Tools können für jeden Standort in Deutschland die Klimadaten für das Monatsbilanzverfahren nach DIN V 18599 erzeugt werden. Zur Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Klimadaten auf die Energiebedarfsberechnungen muss jedoch die Anzahl der Standorte begrenzt werden. Dies erfolgt in zwei Schritten. Zunächst werden Standorte aus unterschiedlichen Regionen Deutschlands, die aber gleichzeitig im Hinblick auf Bautätigkeit repräsentativ sind, ausgewählt (vgl. Kapitel 3.2.1). Für die ausgewählten Standorte werden mithilfe des Tools örtliche EnEV-konforme Klimadaten erzeugt (s. Kapitel 0). Auf dieser Basis können schließlich diejenigen Standorte für die anschließende Berechnung der Mustergebäude ausgewählt werden, die am stärksten von dem Standardklima abweichen (s. Kapitel 3.2.3).

3.2.1 Vorauswahl von repräsentativen Standorten

Die Auswahl der Standorte erfolgt anhand mehrerer Kriterien. Erste Orientierung bieten die Referenzregionen und -orte der Tabelle E.1 der DIN V 18599-10. Nach Norm wurde Deutschland hierfür in 15 Klimaregionen mit jeweils ähnlichem Klima eingeteilt und für jede Region ein repräsentatives Klima mittels eines Referenzstandortes festgelegt. Daher liegt es nahe, diese Regionen als erstes Kriterium für die Standortauswahl der ortsbezogenen Testreferenzjahre zu wählen. Damit ist gleichzeitig eine gleichmäßige Verteilung in Deutschland gewährleistet. In der folgenden Tabelle wird eine Übersicht über die Klimaregionen und Referenzstandorte unter Berücksichtigung der klimarelevanten Angaben von Höhe, jährlicher solarer Einstrahlung und gegebenenfalls eines naheliegenden Gewässers gegeben.

Tabelle 2: Regionen und Referenzorte der DIN V 18599-10, ergänzt um Gewässer

Region		Referenzort				
Nr.	Bezeichnung	Ort	Höhe	Jahres- mitteltemp.	jährliche solare Einstrahlung	Gewässer
1	Nordseeküste	Bremerhaven	7 m	10,1 °C	964 kWh/(m² a)	Nordsee
2	Ostseeküste	Rostock-Warnemünde	4 m	9,5 °C	1.048 kWh/(m² a)	Ostsee
3	Nordwestdeutsches Tiefland	Hamburg-Fuhlsbüttel	13 m	9,5 °C	943 kWh/(m² a)	Elbe
4	Nordostdeutsches Tiefland	Potsdam	81 m	9,5 °C	1.072 kWh/(m² a)	Havel
5	Niederrheinisch-westfälische Bucht und Emsland	Essen	152 m	10,4 °C	960 kWh/(m² a)	Ruhr
6	Nördliche und westliche Mittelgebirge, Randgebiete	Bad Marienberg	547 m	7,8 °C	973 kWh/(m² a)	-
7	Nördliche / westliche Mittelgebirge, zentrale Bereiche	Kassel	231 m	9,3 °C	1.004 kWh/(m² a)	Fulda
8	Oberharz und Schwarzwald (mittlere Lagen)	Braunlage	607 m	6,7 °C	994 kWh/(m² a)	-
9	Thüringer Becken und Sächsisches Hügelland	Chemnitz	418 m	8,7 °C	1.055 kWh/(m² a)	Chemnitz
10	Südöstliche Mittelgebirge bis 1000 m	Hof	567 m	7,4 °C	1.039 kWh/(m² a)	Saale
11	Erzgebirge, Böhmer- und Schwarzwald über 1000 m	Fichtelberg	1213 m	3,8 °C	983 kWh/(m² a)	-
12	Oberreingraben und unteres Neckartal	Mannheim	96 m	11,1 °C	1.089 kWh/(m² a)	Rhein
13	Schwäbisch-fränkisches Stufenland/Alpenvorland	Mühlendorf/Inn *	409 m	8,6 °C	1.074 kWh/(m² a)	Inn
14	Schwäbische Alb / Baar	Stötten	734 m	7,8 °C	1.064 kWh/(m² a)	-
15	Alpenrand /-täler	Garmisch-Partenkirchen	719 m	7,4 °C	1.112 kWh/(m² a)	Loisach

* in der DIN V 18599-10 Version 2011 und Version 2018 ist fälschlicherweise der Referenzort Passau angegeben. Die Werte wurden zur Normfassung vom Dezember 2011 aus den Testreferenzjahren 2011 (BBR Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung/Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH/DWD Deutscher Wetterdienst 2014) erstellt, bei denen die Repräsentanzstation Passau durch Mühlendorf am Inn ersetzt wurde. Das heißt, die DIN V 18599-10 gibt bei der Region 13 die Klimadaten von Mühlendorf an, nicht die von Passau.

Im ersten Schritt werden die deutschen Großstädte den Klimaregionen zugeordnet. Anzahl der Einwohner, Höhenlage und Nähe zu einem Gewässer (Fluss oder großer See) werden als Einflussgrößen ebenfalls ergänzt. (OpenStreetMap Deutschland 2018; Wikipedia 2018) In den Klimaregionen 8, 10, 11, 14 und 15 befinden sich keine Großstädte.

Im zweiten Schritt wird die Bautätigkeit in Deutschland analysiert. Als Basis hierfür dient die BBSR-Wohnungsmarktbeobachtung von 2016 (BBR Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung/DWD Deutscher Wetterdienst 2017). Für alle Großstädte wird erfasst, ob eine hohe Bautätigkeit vorliegt. Diese wird ab 20 fertiggestellten Wohneinheiten je 10.000 Einwohnern festgelegt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass der Bau von Mehrfamilienhäusern auch auf eine Bautätigkeit von Nichtwohngebäuden hinweist.

Für alle Landkreise mit hoher Bautätigkeit, die relativ weit von bereits erfassten Großstädten entfernt liegen, werden zusätzlich auch Städte mit weniger als 100.000 Einwohnern betrachtet. Hiervon werden Husum, Greifswald, Cloppenburg, Gießen, Hof, Böblingen und Memmingen aufgenommen.

Alle Standorte mit geringerer Bautätigkeit werden nicht weiter betrachtet. Liegen zwei Standorte mit hoher Bautätigkeit geografisch nah beieinander wird derjenige weiterverfolgt, der hinsichtlich Höhenlage oder Einwohnerzahl stärker von dem EnEV-Referenzstandort Potsdam abweicht. Ausnahmen hiervon stellen Düsseldorf, Köln und Bonn sowie Mannheim und Heidelberg dar, bei denen die Unterschiede der Klimadaten detaillierter bewertet werden sollen.

Damit verbleiben neben dem Referenzstandort 28 Standorte zur näheren Untersuchung der Klimadaten. Diese sind von Nord nach Süd in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Übersicht der Standorte zur Erzeugung EnEV-konformer Klimadaten

Stadt	Anzahl Einwohner	geogr. Breite	geogr. Länge	Höhe <i>m</i>	Gewässer	Liegt in Region Nr.
Husum	23.274	54,4926°	9,0670°	14	Nordsee	1
Greifswald	58.886	54,0979°	13,3752°	7	Ostsee	2
Lübeck	216.318	53,8536°	10,6365°	13	Wakenitz/Trave	2
Hamburg	1.830.584	53,5020°	10,0234°	6	Elbe	3
Cloppenburg	34.581	52,8360°	8,0724°	39	Soeste	3
Wolfsburg	123.914	52,4205°	10,8293°	63	Mittellandkanal	3
Osnabrück	164.374	52,2781°	8,0961°	63	Hase	5
Magdeburg	238.478	52,1150°	11,5947°	55	Elbe	4
Münster	313.559	51,9805°	7,5960°	60	Dortmund-Ems-Kanal	5
Paderborn	149.075	51,7375°	8,7483°	110	Pader	6
Düsseldorf	617.280	51,2535°	6,7876°	38	Rhein	5
Dresden	551.072	51,0806°	13,7035°	112	Elbe	4
Köln	1.080.394	50,9691°	6,9547°	53	Rhein	5
Jena	111.099	50,9511°	11,6138°	143	Saale	9
Bonn	325.490	50,7296°	7,0584°	60	Rhein	5
Gießen	87.343	50,5730°	8,6769°	159	Lahn	7
Hof	45.950	50,3136°	11,8975°	500	Saale	10
Frankfurt	746.878	50,1069°	8,6320°	112	Main	12
Würzburg	126.635	49,7892°	9,9641°	177	Main	13
Trier	110.013	49,7208°	6,6317°	136	Mosel	7
Mannheim	307.997	49,4910°	8,5209°	177	Main	12
Heidelberg	160.601	49,3997°	8,6663°	114	Neckar	12
Saarbrücken	180.966	49,2364°	6,9643°	230	Saar	6
Stuttgart	632.743	48,7903°	9,1901°	247	Neckar	12
Böblingen	50.035	48,6773°	9,0233°	464	-	6
München	1.456.039	48,1482°	11,6475°	519	Isar	13
Freiburg	229.636	48,0091°	7,8440°	278	Rhein	12
Memmingen	43.470	47,9929°	10,1732°	601	Iller	13

Abbildung 23: Geografische Übersicht der Standorte zur Erzeugung EnEV-konformer Klimadaten

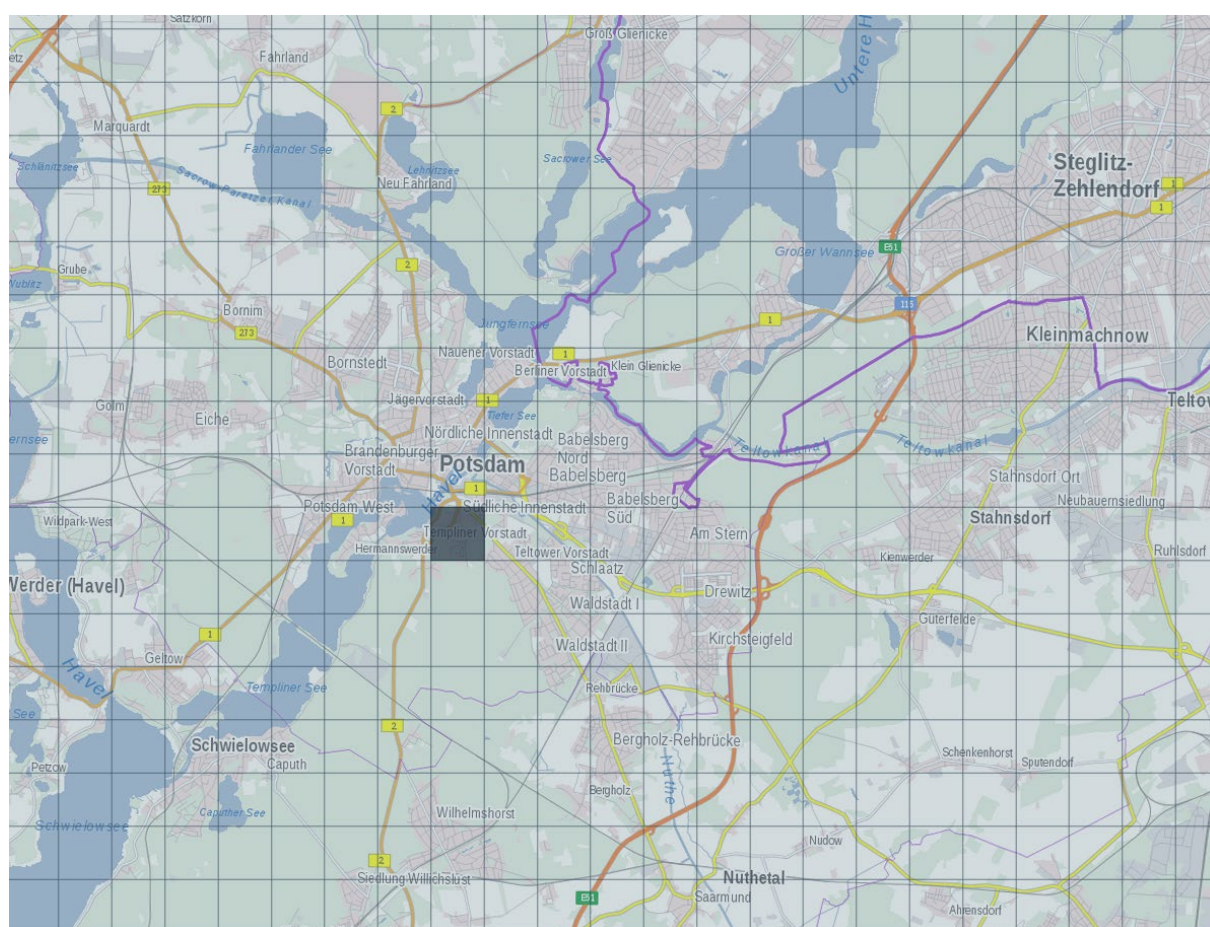


3.2.2 Erzeugung EnEV-konformer Klimadaten für die Vorauswahl

Für die in Kapitel 3.2.1 ausgewählten Standorte werden die EnEV-konformen Klimadaten über das Tool erzeugt. Für jeden der Standorte wird außerdem im Anhang A der Quadrant dargestellt, für den das jeweilige ortsbezogene Testreferenzjahr erzeugt wird. Die Auswahl der Quadranten erfolgt für Gebiete im jeweiligen Stadtgebiet, in denen zukünftig eine hohe Bautätigkeit zu erwarten ist. Dies sind beispielsweise Neubaugebiete, die bereits öffentlich bekanntgegeben wurden, oder auch relativ zentrumsnah gelegene Flächen, die aktuell noch landwirtschaftlich genutzt werden.

Für den Standort Potsdam sollen die Referenz-Klimadaten der DIN V 18599 verwendet werden. Zusätzlich werden für Vergleichszwecke auch die Klimadaten gemäß TRY2011 sowie TRY2017 berechnet. In Abbildung 24 ist der Quadrant dargestellt, in dem sich die Wetterstation von Potsdam befindet.

Abbildung 24: Ausgewählter Quadrant im Klimaberatungsmodul für den Standort Potsdam (DWD Deutscher Wetterdienst 2018)



In Tabelle 4 sind die jährlichen Kennwerte der Klimadaten für jeden der 28 Standorte zusammengefasst. Die vollständigen Klimadaten sind in der Anlage A zusammengestellt.

Tabelle 4 Übersicht der Standorte mit ausgewählten EnEV-Klimadaten

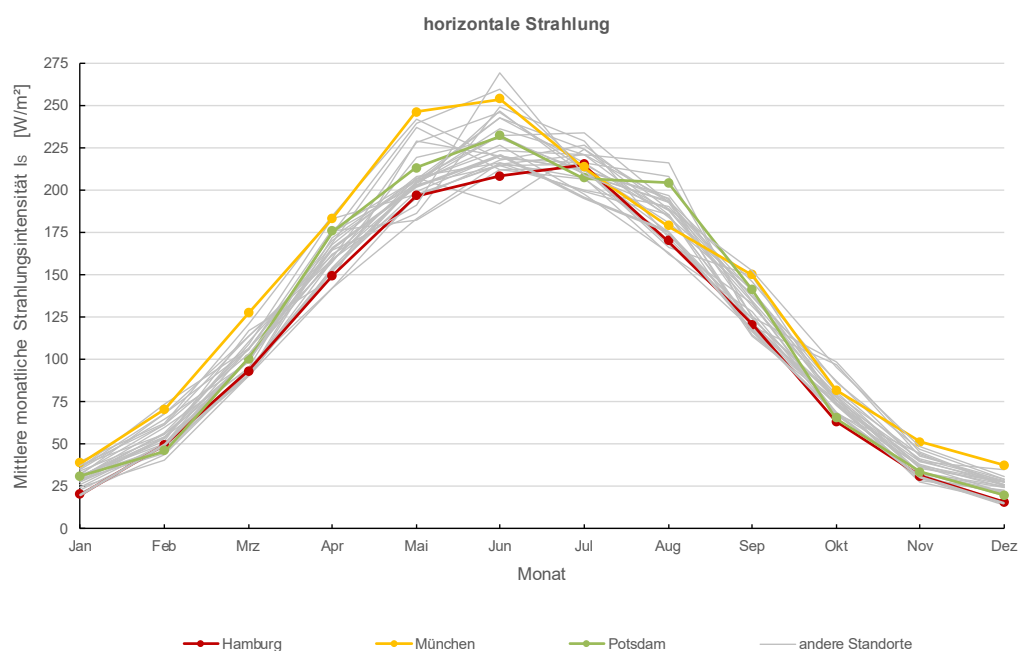
Stadt	Jahresmittel- temperatur °C	jährliche Einstrahlung kWh/(m² a)	Gradtage (f. 12°C) Kd	mittlere absolute Feuchte g/kg	Wind- geschwindigkeit m/s
Husum	9,2	995	3329	6,4	3,2
Greifswald	9,2	1.041	3430	6,1	3,2
Lübeck	9,7	980	3280	6,2	2,3
Hamburg	9,5	974	3263	6,3	3,8
Cloppenburg	9,6	1.025	3172	6,4	3,7
Wolfsburg	9,7	999	3190	6,1	3,8
Osnabrück	10,1	1.013	3099	6,4	3,4
Magdeburg	10,1	1.041	3221	6,2	2,3
Münster	10,3	976	3004	6,4	3,3
Paderborn	10,3	1.026	3006	6,2	2,8
Düsseldorf	11,3	1.026	2665	6,5	3,1
Dresden	10,2	1.081	3199	6,1	4,1
Köln	11,5	1.017	2675	6,5	2,4
Jena	9,9	1.069	3242	6,2	2,7
Bonn	10,9	1.060	2802	6,6	4,2
Gießen	10,1	1.076	3103	6,5	2,4
Hof	8,1	1.079	3853	5,9	2,3
Frankfurt	11,1	1.069	2780	6,4	3,3
Würzburg	10,2	1.126	3069	6,3	3,1
Trier	10,2	1.104	3022	6,6	2,5
Mannheim	11,4	1.126	2787	6,2	2,8
Heidelberg	11,5	1.077	2729	6,5	2,4
Saarbrücken	10,8	1.098	2873	6,6	3,1
Stuttgart	11,2	1.132	2810	6,5	2,6
Böblingen	9,5	1.122	3436	6,3	2,2
München	9,0	1.193	3531	6,3	3,0
Freiburg	11,4	1.083	2739	6,7	3,6
Memmingen	8,8	1.163	3634	6,0	1,9

3.2.3 Auswahl von Standorten für die Analyse der Mustergebäude

Die Ergebnisse der 28 Standorte werden analysiert, um die Anzahl der verwendeten Datensätze für die Berechnung der Mustergebäude weiter zu reduzieren. Das Ziel ist es Standorte auszuwählen, welche eine möglichst hohe Abweichung gegenüber dem Referenzklima von Potsdam haben. Dadurch entfallen beispielsweise die Standorte Paderborn, Dresden, Jena und Gießen sofort, da sie gut durch Potsdam repräsentiert werden.

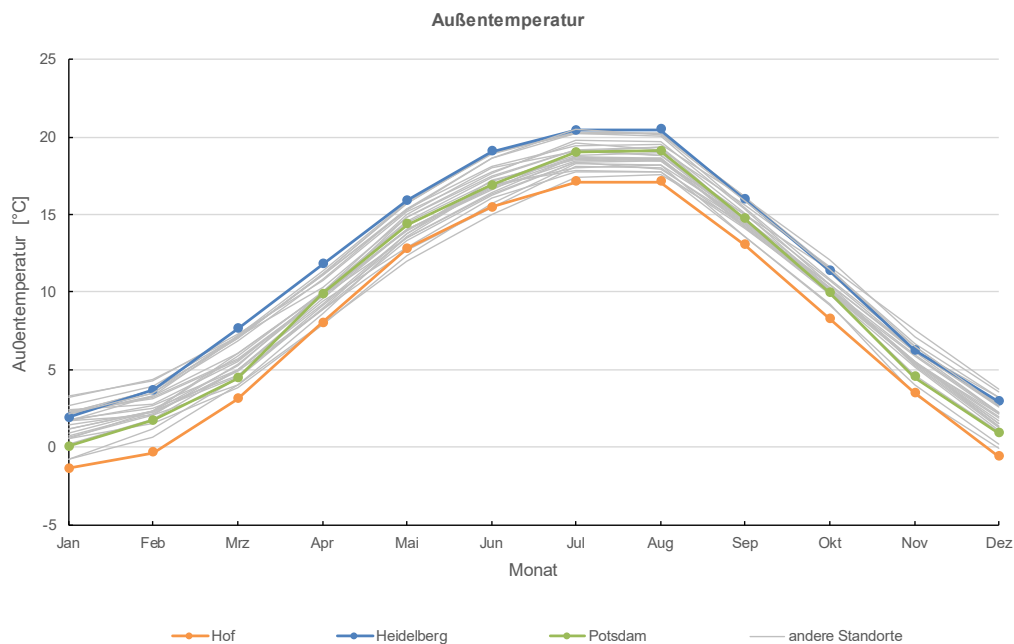
Alle Standorte werden hinsichtlich der horizontalen Strahlung, der Außentemperatur und der Gradtage miteinander verglichen. Die Standorte, welche in mindestens einem Kennwert ein Extrem aufweisen, werden bei der Analyse der Mustergebäude weiterhin berücksichtigt.

Abbildung 25 Verlauf der horizontalen Strahlung von allen Standorten



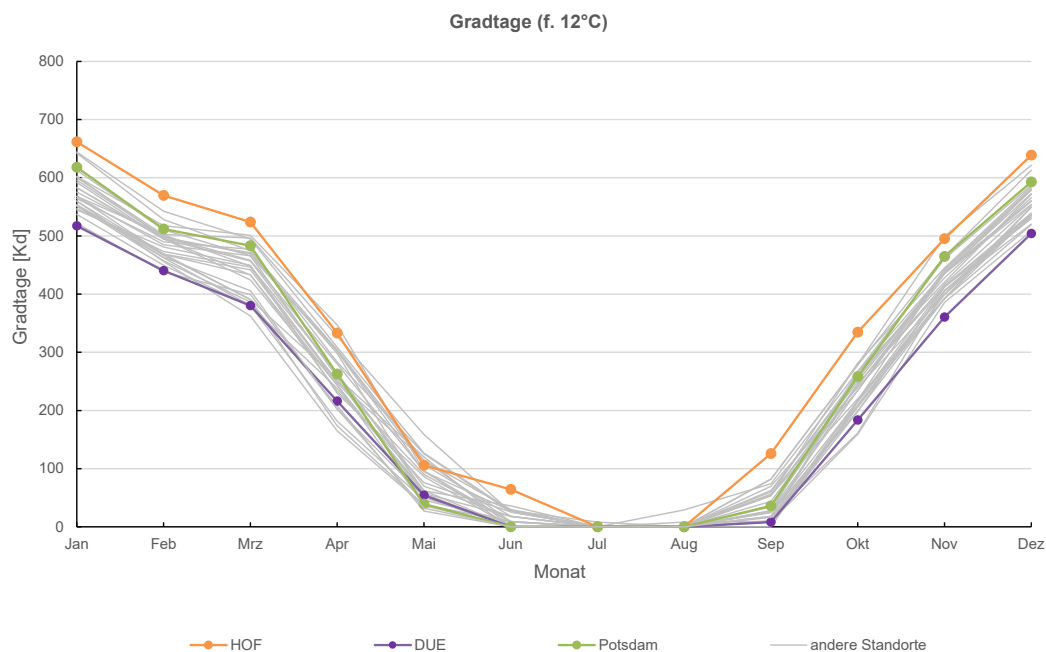
In Abbildung 25 sind in farbig die Standorte Hamburg, München sowie Potsdam als Referenz abgebildet. Es ist zu erkennen, dass München die höchste und Hamburg die niedrigste horizontale Strahlung aufweisen. Damit werden gleichzeitig zwei Millionenstädte weiterverfolgt.

Abbildung 26: Außentemperaturverlauf von allen Standorten



In Abbildung 26 ist der Jahres-Außentemperaturverlauf aller Standorte abgebildet. Die Standorte Hof, Heidelberg sowie als Referenz Potsdam sind farbig abgebildet. Heidelberg hat die höchste und Hof die niedrigste Jahresmitteltemperatur von allen betrachteten Standorten.

Abbildung 27: Verlauf der Gradtage (f. 12°C) aller Standorte



In Abbildung 27 wird der Jahresverlauf der Gradtage für 12°C abgebildet. Es ist gut zu erkennen, dass Hof nicht nur die niedrigste Jahresmitteltemperatur, sondern ebenfalls die höchste Gradtagzahl aufweist. Die niedrigste Gradtagzahl hat Düsseldorf.

Aus den beschriebenen Betrachtungen einzelner Klima-Kennwerten ergeben sich fünf Standorte, welche für die weitere Betrachtung neben dem EnEV-Referenzklima gemäß DIN V 18599-10:2011-12 Tabelle E.6 untersucht werden (s. Abbildung 28).

Abbildung 28: Ausgewählte Standorte zur Untersuchung der Mustergebäude



Hamburg

Tabelle 5: Vollständige EnEV-Klimadaten für den Standort Hamburg (TRY2017)

Hamburg		53,502° nördliche Breite, 10,023° östliche Länge, 2 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	20	50	93	149	196	208	215	170	120	63	31	16	974
Süd	30°	30	75	125	171	209	208	224	188	148	88	52	26	1131
	45°	33	83	132	170	200	194	213	184	150	94	59	30	1128
	60°	34	86	132	161	182	173	192	171	146	96	63	32	1072
	90°	32	78	111	120	125	113	127	122	116	84	59	31	816
Süd-Ost	30°	27	65	115	162	203	216	221	182	141	83	44	23	1084
	45°	29	69	118	159	195	208	212	178	142	87	48	25	1075
	60°	30	69	116	150	180	193	195	167	138	87	49	26	1024
	90°	27	60	97	115	133	142	142	127	111	74	44	24	800
Süd-West	30°	26	68	115	166	205	199	218	181	136	77	47	23	1070
	45°	27	73	119	165	198	186	207	177	136	79	51	25	1056
	60°	27	74	117	157	183	167	189	165	131	78	53	26	1000
	90°	24	65	97	123	136	120	136	124	104	65	48	24	780
Ost	30°	21	47	91	140	185	211	205	163	120	65	30	15	946
	45°	21	45	89	133	174	203	193	155	116	64	29	15	906
	60°	20	43	84	124	161	191	178	145	110	61	28	14	846
	90°	16	34	68	98	124	151	136	113	88	49	23	11	667
West	30°	19	50	91	147	188	185	201	161	114	58	32	15	925
	45°	18	50	89	142	179	172	187	153	109	56	32	15	879
	60°	17	47	84	134	166	158	172	142	102	52	31	14	819
	90°	14	39	69	107	129	124	132	113	82	42	26	11	650
Nord-Ost	30°	15	31	65	115	160	191	181	136	92	45	19	10	775
	45°	14	28	56	99	138	172	156	118	81	39	17	10	679
	60°	13	26	50	89	121	155	135	103	72	35	16	9	602
	90°	10	21	40	70	93	119	102	79	57	28	13	7	467
Nord-West	30°	15	33	65	119	163	171	178	135	88	41	19	10	760
	45°	14	29	57	105	142	147	152	117	76	36	17	10	661
	60°	13	26	51	94	125	130	132	104	69	33	16	9	588
	90°	10	21	42	73	98	102	102	82	55	27	13	7	462
Nord	30°	14	26	47	104	153	177	171	124	74	32	17	10	696
	45°	13	25	39	75	120	148	137	93	54	30	16	10	556
	60°	12	24	37	63	89	114	99	71	50	29	15	9	447
	90°	10	20	32	52	70	84	75	58	42	24	13	7	356
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		1,8	2,5	4,6	8,9	12,7	15,4	18,1	18,0	14,2	10,2	5,5	2,0	9,5
Grad- tage Kd	10°	564	490	477	247	82	0	0	0	0	224	417	559	3060
	12°	564	490	477	283	125	26	0	0	53	250	435	559	3263
	15°	564	490	477	333	204	94	6	16	146	301	435	559	3626
Feuchtkugeltemp. °C		1,3	1,4	2,9	6,5	10,1	12,5	15,0	15,4	12,1	8,8	4,7	1,4	7,7
Enthalpie kJ/kg		11,9	12,0	14,9	21,9	29,9	35,7	42,2	43,3	34,3	27,0	18,3	12,1	25,4
Abs. Luftfeuchte g/kg		4,0	3,8	4,1	5,2	6,8	8,0	9,5	10,0	8,0	6,7	5,1	4,0	6,3
Windgeschw. m/s		3,7	4,1	4,9	3,2	3,3	3,6	3,1	3,1	3,8	4,4	3,9	3,9	3,8
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	165	184	232	226	234	226	234	234	226	212	174	154	2501
	$t_{\text{Nacht},i}$	69	27	1	0	0	0	0	0	0	21	52	79	249
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	114	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	114	1391
	$t_{\text{Nacht},i}$	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	9
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	154	162	202	219	249	256	261	240	203	179	147	142	2412
	$t_{\text{Nacht},i}$	177	137	129	102	83	65	70	91	118	153	173	190	1488
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	151	151	176	170	176	170	176	176	170	176	160	142	1993
	$t_{\text{Nacht},i}$	25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	10	34	77
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	241	269	359	412	485	502	506	455	378	325	254	226	4411
	$t_{\text{Nacht},i}$	503	403	385	308	259	218	238	289	342	419	466	518	4349

Düsseldorf

Tabelle 6: Vollständige EnEV-Klimadaten für den Standort Düsseldorf (TRY2017)

Düsseldorf		51,254° nördliche Breite, 6,788° östliche Länge, 41 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_S W/m²												Jahreswert kWh/(m²a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	30	55	95	142	197	215	221	194	126	67	33	25	1026
Süd	30°	54	81	122	161	205	217	229	217	157	91	49	48	1194
	45°	62	88	127	160	194	203	216	211	161	97	54	55	1191
	60°	67	90	125	150	175	180	194	196	156	97	56	60	1131
	90°	64	81	103	111	116	115	126	138	124	84	51	58	857
Süd-Ost	30°	46	74	114	152	195	212	226	210	142	83	44	40	1125
	45°	50	78	115	148	185	200	216	206	142	86	47	44	1109
	60°	52	78	112	139	169	180	197	194	135	84	47	47	1049
	90°	47	68	91	105	121	128	141	147	106	71	41	43	811
Süd-West	30°	48	72	113	158	206	216	223	208	151	83	44	41	1144
	45°	53	75	115	155	199	204	211	202	153	86	46	46	1132
	60°	55	75	112	147	183	185	192	190	149	85	46	48	1074
	90°	51	64	91	114	134	132	136	143	120	71	40	45	835
Ost	30°	29	56	93	132	178	199	210	187	116	66	33	25	970
	45°	29	55	90	124	165	185	197	179	109	64	32	24	916
	60°	27	52	84	114	150	168	179	168	100	60	30	23	846
	90°	23	42	67	87	113	128	135	132	78	47	24	19	656
West	30°	32	53	93	140	194	206	206	184	127	65	32	26	994
	45°	31	52	90	134	184	193	192	175	123	63	31	25	946
	60°	31	49	84	125	171	176	174	163	116	60	29	25	880
	90°	25	40	68	99	133	135	132	129	92	49	24	20	692
Nord-Ost	30°	18	37	69	109	158	182	186	155	88	47	22	14	795
	45°	17	33	60	93	134	157	159	134	74	41	20	13	685
	60°	15	30	53	81	115	135	136	117	65	37	18	12	598
	90°	12	24	42	62	87	102	102	90	52	29	15	10	459
Nord-West	30°	18	36	69	115	171	188	184	152	96	47	22	14	814
	45°	17	32	60	101	150	163	156	131	82	42	20	13	709
	60°	15	29	54	89	132	142	134	115	73	38	18	12	624
	90°	13	24	43	69	101	108	102	91	58	31	15	10	487
Nord	30°	17	29	54	100	157	179	177	140	75	36	20	14	730
	45°	16	28	43	73	125	149	141	102	53	34	19	13	582
	60°	15	26	40	59	91	112	101	74	49	32	17	12	460
	90°	12	21	34	50	69	80	75	61	42	26	14	10	362
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		3,3	4,3	7,3	10,7	15,1	17,7	19,6	19,2	15,6	11,6	7,5	3,7	11,3
Grad- tage Kd	10°	490	440	371	125	11	0	0	0	0	129	286	495	2346
	12°	517	440	380	216	54	0	0	0	8	184	361	504	2665
	15°	517	440	395	275	136	41	0	0	100	245	374	504	3027
Feuchtkugelttemp. °C		2,0	2,8	5,2	8,2	11,5	14,0	15,3	15,2	12,9	9,5	6,1	2,4	8,8
Enthalpie kJ/kg		13,3	14,7	19,1	25,7	33,1	39,5	43,2	42,6	36,6	28,7	21,3	13,8	27,7
Abs. Luftfeuchte g/kg		4,0	4,2	4,7	5,9	7,1	8,6	9,3	9,3	8,3	6,8	5,5	4,0	6,5
Windgeschw. m/s		3,8	3,6	3,7	2,9	3,2	2,7	3,1	2,5	2,3	3,8	3,0	2,9	3,1
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	173	188	233	226	234	226	234	234	226	214	180	163	2529
	$t_{\text{Nacht},i}$	61	23	1	0	0	0	0	0	0	20	46	70	221
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	117	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	118	1397
	$t_{\text{Nacht},i}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	158	164	203	217	245	251	257	237	202	180	151	147	2411
	$t_{\text{Nacht},i}$	173	135	129	103	87	70	75	94	118	151	170	184	1489
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	155	153	176	170	176	170	176	176	170	176	163	150	2010
	$t_{\text{Nacht},i}$	21	6	0	0	0	0	0	0	0	0	7	26	60
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	252	274	360	408	475	490	494	448	376	329	262	238	4408
	$t_{\text{Nacht},i}$	492	398	384	312	269	230	250	296	344	415	458	506	4352

Hof

Tabelle 7: Vollständige EnEV-Klimadaten für den Standort Hof (TRY2017)

Hof		50,314° nördliche Breite, 11,898° östliche Länge, 527 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	29	57	106	157	219	230	211	196	135	77	33	22	1079
Süd	30°	46	90	137	179	232	232	215	217	164	112	51	36	1251
	45°	51	100	142	177	221	217	202	212	167	121	56	41	1247
	60°	53	104	140	166	200	192	180	195	161	123	59	43	1180
	90°	49	95	115	122	132	120	117	135	126	107	54	41	885
Süd-Ost	30°	41	81	126	174	231	230	213	213	154	102	46	32	1202
	45°	44	88	128	172	223	216	202	209	154	107	49	35	1190
	60°	45	90	124	162	206	196	184	196	147	106	50	36	1128
	90°	40	80	101	125	151	138	132	147	115	90	44	33	875
Süd-West	30°	39	77	127	168	223	229	211	207	153	100	45	31	1179
	45°	42	82	129	164	212	215	200	200	153	105	47	34	1159
	60°	42	83	125	154	194	194	182	186	145	104	48	35	1091
	90°	37	72	101	117	140	136	131	138	113	88	42	31	838
Ost	30°	30	59	102	154	213	217	200	192	130	77	34	23	1047
	45°	29	60	98	147	203	202	188	184	123	76	33	22	999
	60°	28	58	92	137	188	184	172	171	113	72	32	21	929
	90°	23	49	73	108	145	139	132	134	89	60	27	18	728
West	30°	28	55	103	146	203	215	198	183	128	76	33	22	1017
	45°	27	54	99	138	189	200	185	172	121	74	32	22	961
	60°	26	52	93	127	174	182	170	158	111	70	30	20	888
	90°	21	43	74	100	135	138	130	123	86	57	25	17	694
Nord-Ost	30°	20	36	75	126	184	196	180	160	100	51	22	15	854
	45°	18	32	64	109	159	169	157	138	85	44	20	14	739
	60°	16	29	57	96	138	144	136	121	74	40	18	13	647
	90°	13	23	45	74	104	108	104	93	58	33	15	10	498
Nord-West	30°	19	34	76	120	177	196	179	153	99	50	22	15	835
	45°	18	30	66	103	150	168	155	130	84	43	20	14	717
	60°	16	27	59	90	130	144	134	113	73	39	18	13	627
	90°	13	23	47	70	101	108	102	88	56	31	15	10	486
Nord	30°	18	25	59	110	170	190	173	143	84	35	19	14	763
	45°	17	24	45	79	133	156	142	106	58	32	18	14	603
	60°	16	23	43	62	92	114	105	75	53	30	17	13	471
	90°	13	20	37	52	71	80	76	61	45	26	14	10	370
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		-1,3	-0,3	3,1	8,0	12,8	15,5	17,1	17,1	13,0	8,3	3,5	-0,6	8,1
Grad- tage Kd	10°	662	569	515	280	69	21	0	0	63	263	495	639	3576
	12°	662	569	524	333	106	65	0	0	126	335	495	639	3853
	15°	662	569	524	359	189	99	58	31	177	363	495	639	4166
Feuchtkugelt. °C		-1,6	-1,3	1,4	5,7	8,6	12,1	14,1	13,6	11,0	7,1	2,9	-1,1	6,1
Enthalpie kJ/kg		7,4	8,0	12,6	21,2	27,4	36,0	41,5	40,0	33,3	24,1	15,4	8,4	23,0
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,5	3,3	3,8	5,2	5,8	8,1	9,6	9,0	8,0	6,3	4,8	3,6	5,9
Windgeschw. m/s		2,5	3,4	2,6	1,9	1,8	1,6	1,9	2,2	2,0	1,9	2,7	3,1	2,3
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	176	189	233	226	234	226	234	234	226	214	182	167	2539
	$t_{\text{Nacht},i}$	58	22	1	0	0	0	0	0	0	19	44	67	211
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht},i}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	160	165	203	216	243	249	255	236	202	181	152	149	2411
	$t_{\text{Nacht},i}$	171	134	128	104	88	72	77	95	119	151	168	182	1489
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	156	153	176	170	176	170	176	176	170	176	164	153	2016
	$t_{\text{Nacht},i}$	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	6	22	54
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	257	276	360	407	471	485	490	446	376	330	266	243	4407
	$t_{\text{Nacht},i}$	487	396	384	313	273	235	254	298	344	414	454	501	4353

Heidelberg

Tabelle 8: Vollständige EnEV-Klimadaten für den Standort Heidelberg (TRY2017)

Heidelberg		49,400° nördliche Breite, 8,666° östliche Länge, 108 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	31	53	109	183	197	214	215	188	131	79	44	27	1077
Süd	30°	47	77	139	208	206	215	219	206	158	108	70	50	1246
	45°	51	84	144	204	196	200	205	200	159	115	79	57	1239
	60°	53	86	141	190	177	177	183	184	152	116	83	61	1172
	90°	49	76	114	136	117	112	117	128	117	99	77	59	877
Süd-Ost	30°	42	67	128	200	201	217	216	198	151	99	62	43	1189
	45°	45	70	130	196	191	206	205	192	151	102	67	48	1172
	60°	46	69	126	185	174	187	186	179	145	101	68	50	1108
	90°	41	58	101	140	124	132	132	133	114	84	60	46	852
Süd-West	30°	41	72	130	198	202	207	215	201	148	98	62	42	1182
	45°	43	76	132	194	193	192	203	195	147	101	66	46	1162
	60°	43	77	129	182	176	171	184	182	140	99	68	48	1096
	90°	37	67	105	138	126	119	130	135	110	82	60	44	842
Ost	30°	31	50	105	176	185	208	202	177	129	77	43	28	1035
	45°	31	48	101	168	172	195	189	168	125	74	42	28	981
	60°	29	45	95	156	156	178	171	155	117	70	41	27	907
	90°	23	37	76	121	117	133	129	119	93	56	33	22	702
West	30°	29	55	107	174	187	193	202	181	125	76	43	27	1024
	45°	28	55	104	165	174	176	188	171	120	73	42	26	967
	60°	26	53	98	153	159	157	171	158	112	68	40	25	893
	90°	21	44	79	120	120	117	130	124	89	55	33	20	696
Nord-Ost	30°	21	35	78	143	164	190	182	149	101	54	27	15	849
	45°	19	31	67	122	140	166	156	128	88	46	24	14	733
	60°	18	28	60	106	120	143	134	111	77	41	22	13	639
	90°	14	22	47	82	90	105	99	85	61	33	18	11	488
Nord-West	30°	21	37	79	141	166	178	183	152	98	53	27	15	843
	45°	19	33	69	120	143	151	157	131	84	46	24	14	725
	60°	17	30	61	105	123	128	135	114	75	41	22	13	632
	90°	14	24	49	82	92	95	102	89	59	33	18	11	489
Nord	30°	19	27	62	127	157	179	176	139	84	40	22	14	766
	45°	18	26	44	90	125	148	143	104	57	35	22	14	605
	60°	17	24	41	65	91	111	105	75	50	33	20	13	472
	90°	14	20	36	55	69	77	74	61	43	28	17	11	370
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		1,9	3,7	7,6	11,8	15,9	19,1	20,4	20,5	15,9	11,4	6,3	2,9	11,5
Grad- tage Kd	10°	560	456	325	138	0	0	0	0	0	146	374	530	2529
	12°	560	456	363	165	36	0	0	0	9	198	412	530	2729
	15°	560	456	375	231	83	5	0	0	71	253	412	530	2975
Feuchtkugeltemp. °C		0,9	2,1	4,9	8,0	12,4	14,9	15,6	16,3	12,5	9,5	5,0	1,9	8,7
Enthalpie kJ/kg		11,2	13,4	19,0	25,2	35,5	42,0	44,2	46,1	35,7	28,6	19,0	13,1	27,8
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,7	3,9	4,5	5,3	7,8	9,0	9,3	10,1	7,8	6,8	5,1	4,0	6,5
Windgeschw. m/s		2,4	2,5	3,2	2,6	2,2	2,3	2,3	2,2	2,4	1,9	2,1	2,2	2,4
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	178	190	233	226	234	226	234	234	226	215	184	170	2549
	$t_{\text{Nacht},i}$	55	20	1	0	0	0	0	0	0	19	42	64	201
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht},i}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	162	166	203	216	242	247	253	235	202	181	154	151	2411
	$t_{\text{Nacht},i}$	169	133	128	105	89	74	78	96	119	150	167	180	1489
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	157	154	176	170	176	170	176	176	170	176	165	156	2022
	$t_{\text{Nacht},i}$	19	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	20	48
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	260	278	360	405	468	481	486	443	375	332	269	248	4406
	$t_{\text{Nacht},i}$	484	394	384	315	276	239	258	301	345	412	451	496	4354

München

Tabelle 9: Vollständige EnEV-Klimadaten für den Standort München (TRY2017)

München		48,148° nördliche Breite, 11,648° östliche Länge, 521 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	39	70	127	183	246	254	213	179	150	81	51	37	1193
Süd	30°	59	105	168	210	259	253	217	194	185	106	78	69	1390
	45°	65	115	175	208	246	234	203	187	188	110	86	80	1386
	60°	67	118	173	195	220	204	180	171	181	110	90	87	1311
	90°	62	105	141	140	140	124	115	118	140	92	82	84	980
Süd-Ost	30°	54	94	157	202	257	249	213	183	170	96	70	60	1320
	45°	58	100	162	198	246	233	201	175	169	97	75	66	1301
	60°	59	100	158	186	225	210	181	160	160	94	76	69	1227
	90°	52	86	129	139	161	147	128	117	124	76	67	64	941
Süd-West	30°	51	93	152	199	248	252	213	192	177	98	68	59	1317
	45°	53	99	153	194	235	236	201	186	179	101	72	66	1297
	60°	54	99	149	181	212	213	181	173	172	98	73	69	1222
	90°	46	84	120	135	148	149	127	128	136	81	63	63	935
Ost	30°	40	69	127	176	238	236	200	163	139	77	51	38	1138
	45°	40	68	123	166	223	219	186	151	131	73	50	38	1074
	60°	38	64	116	152	205	199	168	136	121	68	48	38	990
	90°	31	53	93	116	155	151	126	103	95	54	39	32	766
West	30°	37	69	120	172	224	239	200	176	149	80	49	38	1136
	45°	35	67	114	160	206	224	186	166	143	77	48	38	1072
	60°	33	63	107	146	185	204	168	153	134	72	45	37	987
	90°	27	51	84	113	139	156	126	118	106	57	36	31	763
Nord-Ost	30°	26	44	90	142	206	216	182	140	106	58	33	20	925
	45°	24	39	76	119	176	185	157	118	88	50	29	19	790
	60°	22	35	67	101	150	158	134	101	76	45	26	17	682
	90°	17	29	54	77	111	117	99	76	60	35	21	15	521
Nord-West	30°	25	45	86	139	195	220	182	150	112	60	32	20	927
	45°	23	38	72	116	162	189	157	131	95	52	28	18	791
	60°	21	34	63	99	135	163	134	113	82	46	26	17	683
	90°	17	28	51	77	101	122	100	86	64	36	21	14	523
Nord	30°	23	32	66	125	190	212	176	135	89	46	27	18	834
	45°	22	31	46	87	146	174	144	104	56	41	26	18	654
	60°	20	29	44	63	98	129	107	74	49	38	24	17	506
	90°	16	25	39	55	71	83	75	60	44	31	20	14	391
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		-0,7	1,1	4,4	8,9	13,8	16,8	18,0	18,2	13,6	9,2	4,0	0,2	9,0
Grad- tage Kd	10°	642	528	456	242	62	21	0	0	11	260	455	613	3290
	12°	642	528	475	304	114	30	0	0	82	278	465	613	3531
	15°	642	528	482	326	170	68	22	17	151	326	480	613	3825
Feuchtkugeltemp. °C		-1,4	-0,1	2,2	6,0	10,0	13,1	15,0	15,1	11,6	7,8	2,9	-0,4	6,9
Enthalpie kJ/kg		7,9	10,1	14,2	22,0	31,0	38,7	43,6	44,2	34,7	25,8	15,8	9,4	24,9
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,5	3,6	3,9	5,2	6,8	8,6	10,1	10,3	8,4	6,6	4,7	3,7	6,3
Windgeschw. m/s		3,9	3,0	3,3	3,0	3,0	2,3	3,0	2,5	2,6	2,5	3,1	3,3	3,0
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	182	192	233	226	234	226	234	234	226	215	187	174	2562
	$t_{\text{Nacht},i}$	52	19	1	0	0	0	0	0	0	18	39	60	188
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht},i}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	164	167	203	215	240	245	251	234	201	182	155	153	2410
	$t_{\text{Nacht},i}$	167	132	128	106	91	76	80	97	119	149	165	178	1490
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	159	155	176	170	176	170	176	176	170	176	167	160	2029
	$t_{\text{Nacht},i}$	17	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	16	41
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	266	281	361	403	464	475	481	440	375	333	273	254	4405
	$t_{\text{Nacht},i}$	478	391	383	317	280	245	263	304	345	411	447	490	4355

Potsdam (Referenz gemäß DIN V 18599)

Tabelle 10: Mittlere monatliche Strahlungsintensitäten und Außenlufttemperaturen für den Referenzort Potsdam (Tabelle E.6 der DIN V 18599-10:2018-09)

Region 4 – Potsdam		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_S W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a)
Orientierung	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan bis Dez
horizontal	0°	29	44	97	189	221	241	210	180	127	77	31	17	1 072
Süd	30°	50	55	121	217	230	241	208	199	157	110	41	26	1 211
	45°	57	56	124	214	218	224	194	193	160	119	44	29	1 195
	60°	61	55	121	201	196	197	172	178	155	121	44	31	1 122
	90°	59	47	98	147	132	124	113	127	123	106	39	29	838
Süd-Ost	30°	46	52	114	214	227	242	212	194	147	102	38	23	1 179
	45°	51	53	116	212	217	229	201	188	148	107	39	25	1 159
	60°	54	51	112	201	198	207	183	175	141	107	38	26	1 092
	90°	50	42	90	156	143	146	132	130	111	91	32	23	841
Süd-West	30°	40	49	110	201	222	234	201	188	145	96	37	23	1 133
	45°	43	48	110	195	209	218	188	181	145	99	38	24	1 098
	60°	44	46	105	181	190	195	169	167	138	97	37	25	1 021
	90°	40	36	83	136	137	135	120	123	108	80	31	22	771
Ost	30°	31	43	95	189	211	231	205	173	122	77	30	17	1 042
	45°	31	41	91	181	198	217	194	163	115	74	28	16	988
	60°	30	38	85	170	180	198	179	150	106	70	26	15	912
	90°	25	29	68	134	137	150	138	115	83	55	20	12	707
West	30°	25	40	90	172	202	219	188	165	120	70	29	16	978
	45°	24	36	84	159	187	201	174	153	112	65	27	16	907
	60°	22	33	78	146	169	181	157	139	103	60	25	14	824
	90°	17	24	60	114	127	136	117	105	79	47	19	11	628
Nord-West	30°	16	32	68	139	178	199	173	138	91	47	22	12	817
	45°	15	28	58	116	151	169	149	116	77	40	20	11	695
	60°	13	25	50	101	130	144	128	99	66	35	18	9	600
	90°	11	18	38	78	96	108	95	74	51	28	13	7	451
Nord-Ost	30°	17	34	71	151	185	209	187	144	93	50	22	12	861
	45°	15	29	61	131	160	181	167	123	79	42	20	11	746
	60°	14	26	54	114	139	157	148	107	68	36	18	9	651
	90°	11	19	41	87	104	116	112	81	52	29	13	7	493
Nord	30°	16	29	56	128	172	197	175	129	77	36	21	11	766
	45°	15	26	43	90	136	161	145	95	56	33	19	10	608
	60°	13	24	39	71	101	119	113	72	50	30	17	9	482
	90°	10	18	31	58	75	83	81	57	41	25	13	7	365
		Außenlufttemperatur θ_e °C												Jahreswert °C
Außenlufttemperatur		1,0	1,9	4,7	9,2	14,1	16,7	19,0	18,6	14,3	9,5	4,1	0,9	9,5

Diese Tabelle ist identisch mit Version DIN V 18599-10:2011-12, welche gem. EnEV 2013 zu verwenden ist.

Potsdam (TRY2011)

In der Tabelle 11 werden informativ die Strahlungsintensitäten und Außenlufttemperaturen für den Referenzort Potsdam angegeben, wie sie bei Anwendung des Perez-Modells von 1999 und mit Korrektur des Strahlungsdatenzeitbezugs (siehe Kapitel 3.1.4) aus dem durchschnittlichen Testreferenzjahr 2011 ergeben.

Tabelle 11: Klimadaten für den Referenzort Potsdam (durchschnittliches Testreferenzjahr 2011 Region 4)

Potsdam		52,383° nördliche Breite, 13,067° östliche Länge, 81 m ü.NN												TRY2011J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_g W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	29	44	97	190	222	242	210	180	128	77	31	17	1074
Süd	30°	54	58	126	224	237	246	214	204	162	116	44	28	1255
	45°	63	62	131	223	228	231	202	201	167	126	48	32	1255
	60°	68	62	129	211	208	205	180	187	164	129	49	34	1191
	90°	66	54	106	156	141	130	118	134	131	115	45	32	899
Süd-Ost	30°	48	55	118	216	231	245	215	197	149	104	39	24	1202
	45°	54	57	122	216	222	233	206	192	150	109	40	26	1191
	60°	57	56	119	206	204	212	189	180	144	110	40	27	1129
	90°	54	48	97	160	149	151	137	135	113	93	34	24	877
Süd-West	30°	44	52	115	210	231	242	208	195	152	102	40	25	1182
	45°	49	52	116	207	222	228	196	190	155	107	43	27	1166
	60°	50	51	113	194	204	206	178	177	149	107	43	28	1099
	90°	46	41	91	148	150	146	129	133	119	90	37	26	846
Ost	30°	31	44	97	187	209	231	204	172	120	76	29	16	1037
	45°	31	43	94	180	197	217	195	163	113	73	28	16	987
	60°	30	40	89	169	181	200	180	150	104	68	25	14	916
	90°	25	32	72	133	139	153	141	117	82	54	20	12	716
West	30°	26	40	92	178	209	226	193	170	124	73	30	17	1010
	45°	26	38	88	168	197	211	180	160	119	70	29	17	953
	60°	24	34	82	156	181	193	165	147	111	65	28	16	880
	90°	20	27	65	124	139	148	127	113	87	52	22	13	687
Nord-Ost	30°	16	32	70	146	180	206	183	140	88	47	21	11	835
	45°	15	28	60	125	153	177	162	119	74	39	19	10	718
	60°	13	25	54	109	132	154	143	103	65	35	17	9	629
	90°	11	19	43	84	102	117	111	80	51	28	13	7	488
Nord-West	30°	15	30	67	140	180	203	174	139	91	46	21	11	818
	45°	14	27	57	118	153	173	149	116	77	39	19	10	699
	60°	13	24	50	104	132	149	130	101	68	36	17	9	611
	90°	11	18	40	83	102	115	99	77	53	29	13	7	475
Nord	30°	15	27	52	124	169	197	172	126	71	33	19	11	743
	45°	14	25	39	82	130	160	141	89	50	31	18	10	577
	60°	13	23	37	64	92	115	105	66	46	29	16	9	451
	90°	11	18	31	56	73	85	78	56	40	25	13	7	361
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		1,0	1,9	4,7	9,2	14,1	16,7	19,0	18,6	14,3	9,5	4,1	0,9	9,5
Grad- tage Kd	10°	588	507	458	218	54	10	0	0	22	190	459	591	3099
	12°	588	507	468	282	109	37	0	0	83	273	477	591	3415
	15°	588	507	475	316	150	76	12	11	140	317	477	591	3662
Feuchtkugelttemp. °C		0,3	1,1	2,8	5,9	10,7	13,3	15,3	15,6	12,2	7,9	3,3	0,4	7,4
Enthalpie kJ/kg		10,5	11,7	14,9	20,9	31,8	38,0	43,6	44,2	35,3	25,1	15,9	10,5	25,3
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,8	3,9	4,1	4,6	6,9	8,4	9,6	10,0	8,3	6,2	4,7	3,8	6,2
Windgeschw. m/s		4,5	4,3	4,8	4,0	3,6	3,6	3,8	3,3	4,2	4,7	4,2	3,4	4,0

Potsdam (TRY2017)

In Tabelle 12 werden informativ die Klimadaten des ortsbezogenen TRY2017 für den Quadranten zusammengestellt, in dem sich die Wetterstation von Potsdam befindet (siehe Abbildung 24).

Tabelle 12: vollständige EnEV-Klimadaten für den Standort Potsdam (TRY2017)

Potsdam		52,385° nördliche Breite, 13,065° östliche Länge, 88 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m²												Jahreswert kWh/(m²a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	31	46	100	176	213	232	207	204	141	65	33	20	1074
Süd	30°	56	67	133	207	227	234	214	231	177	90	53	35	1262
	45°	65	73	139	206	218	220	203	227	182	97	59	40	1264
	60°	70	75	138	195	197	195	182	211	176	98	62	44	1202
	90°	67	67	115	145	133	125	120	149	138	85	58	42	911
Süd-Ost	30°	49	61	119	197	226	235	210	228	170	86	48	31	1214
	45°	55	64	121	195	219	224	200	224	174	90	51	34	1209
	60°	58	64	117	185	203	205	183	211	169	90	53	36	1152
	90°	54	55	95	142	150	148	132	159	137	77	47	33	900
Süd-West	30°	47	60	125	195	216	228	210	215	161	79	46	30	1179
	45°	52	63	128	193	206	214	200	208	161	81	49	33	1161
	60°	54	63	126	182	187	193	182	192	154	79	49	34	1094
	90°	49	54	104	140	136	137	131	142	121	65	43	32	844
Ost	30°	32	46	94	169	208	224	195	202	143	68	34	20	1051
	45°	32	45	90	161	199	212	183	193	140	67	33	20	1006
	60°	31	43	84	150	183	195	167	179	133	65	31	19	938
	90°	26	36	67	118	141	150	128	138	108	53	25	16	736
West	30°	30	45	101	167	194	212	195	185	130	60	32	19	1003
	45°	29	45	98	158	180	197	182	171	124	57	30	19	945
	60°	28	42	93	147	164	180	166	156	116	53	28	18	872
	90°	23	35	75	115	126	138	128	120	94	43	22	15	683
Nord-Ost	30°	18	31	68	134	179	202	174	164	105	47	21	12	847
	45°	17	28	58	114	156	176	149	140	91	42	19	11	734
	60°	16	26	52	100	135	154	129	121	80	38	18	11	643
	90°	13	20	42	78	102	116	98	93	62	30	14	9	495
Nord-West	30°	18	31	72	132	169	194	174	152	97	43	21	12	816
	45°	16	27	62	111	142	165	149	125	83	38	19	11	696
	60°	15	25	56	97	123	143	129	107	74	35	18	11	609
	90°	13	20	44	76	96	111	98	84	60	28	14	9	477
Nord	30°	17	25	53	116	164	192	166	143	81	34	19	12	749
	45°	16	24	42	79	128	157	134	102	51	32	19	11	582
	60°	15	22	40	63	91	117	97	72	47	30	17	11	455
	90°	13	18	35	54	71	84	73	61	42	25	14	9	365
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
10°		618	512	465	182	30	0	0	0	174	465	593		3039
Grad- tage Kd		618	512	483	263	39	0	0	0	36	258	465	593	3267
15°		618	512	483	300	155	40	5	11	122	306	465	593	3610
Feuchtkugeltemp. °C		-0,4	0,8	2,5	6,9	10,9	13,1	15,3	14,9	11,9	8,6	3,9	0,4	7,4
Enthalpie kJ/kg		9,0	11,1	14,2	22,8	31,8	37,3	43,0	42,0	34,0	26,4	16,7	10,4	25,0
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,6	3,7	3,9	5,1	6,9	8,1	9,5	9,0	7,6	6,5	4,8	3,8	6,1
Windgeschw. m/s		2,7	3,6	2,9	3,4	2,7	2,5	2,9	2,8	3,0	4,0	3,0	3,8	3,1
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	169	186	232	226	234	226	234	234	226	213	177	159	2515
	$t_{\text{Nacht},i}$	65	25	1	0	0	0	0	0	0	20	49	75	235
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	116	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	116	1394
	$t_{\text{Nacht},i}$	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	156	163	202	218	247	253	259	238	202	179	149	144	2412
	$t_{\text{Nacht},i}$	175	136	129	103	85	67	72	93	118	152	171	187	1488
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	153	152	176	170	176	170	176	176	170	176	162	146	2002
	$t_{\text{Nacht},i}$	23	7	0	0	0	0	0	0	0	0	8	30	68
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	247	271	359	410	480	496	500	452	377	327	258	232	4409
	$t_{\text{Nacht},i}$	497	401	385	310	264	224	244	292	343	417	462	512	4351

3.3 Fazit

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde ein Tool entwickelt, um aus den örtlichen Stundenwerten der ortsgenauen Testreferenzjahre (TRY) die für die Berechnung nach DIN V 18599 benötigten monatlichen Klimadaten zu erzeugen. Über eine Validierung konnte nachgewiesen werden, dass das entwickelte Tool korrekte Ergebnisse berechnet. Eine Schwierigkeit ergab sich dadurch, dass in der DIN V 18599 nicht beschrieben wird, wie die Klimadaten in der Norm erzeugt werden. Dies sollte dokumentiert und öffentlich zugänglich gemacht werden.

Für die anschließende Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Klimadaten auf die Energiebedarfsberechnungen wurden fünf klimatisch stark unterschiedliche Standorte (Düsseldorf, Hamburg, Heidelberg, Hof, München) und das Referenzklima ausgewählt. Dies erfolgte auf Basis von 29 vorausgewählten Standorten, für die die EnEV-konformen Klimadaten berechnet und anschließend diejenigen mit den größten Abweichungen hinsichtlich Temperatur und Strahlungswerten zum Referenzklima ausgewählt wurden.

4.0 Modellierung Mustergebäude

4.1 Beschreibung Mustergebäude

4.1.1 Einfamilienhaus

Als Grundlage für die Berechnungen dient ein freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus (EFH) mit zwei Stockwerken. Die Kubatur und Grundrisse des Gebäudes stammen aus dem Forschungsprojekt „Zukunft Bau: Fertigstellung eines vereinfachten Verfahrens für Wohngebäude zu DIN V 18599 für die EnEV 2017“ (Hartmann et al. 2016: 88ff).

Allgemeine Gebäudedaten, eine Darstellung, Grundrisse und Schnitte sind Tabelle 13 und den nachfolgenden Abbildungen zu entnehmen (s. Abbildung 29 bis Abbildung 33).

Tabelle 13: Allgemeine Gebäudedaten des EFH-Mustergebäudes

Allgemeine Daten	
Beheizte Wohnfläche	126 m ²
Gebäudenutzfläche A_N	223 m ²
Nettogrundfläche A_{NGF}	220 m ²
Luftvolumen V	530 m ³
Beheiztes Volumen V_e	697 m ³
Fläche Gebäudehülle A	464 m ²
Verhältnis A/V_e	0,67 1/m
Fläche Außenwände A_{AW}	127,1 m ²
Fläche Fenster A_F	31 m ²
Fensterflächenanteil	20 %
Geschosshöhe	2,75 m
Anzahl der versorgten Geschosse	3

Abbildung 29: Darstellung Süd- und Ostseite des EFH-Mustergebäudes (Hartmann et al. 2016)



Abbildung 30: Schnitt des EFH (Hartmann et al. 2016)

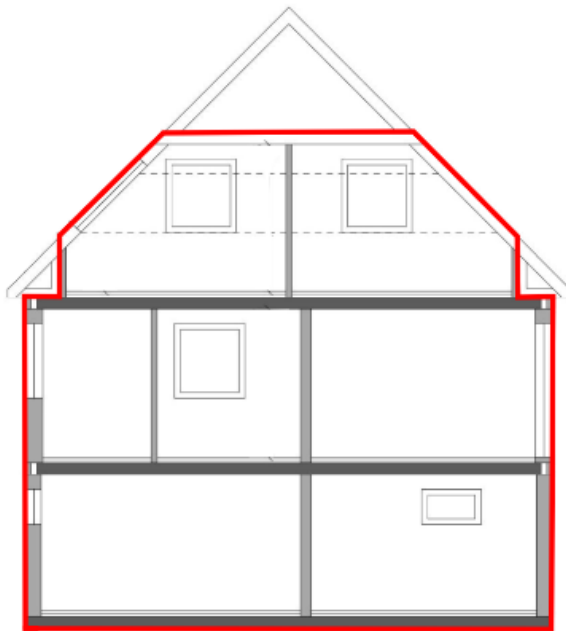


Abbildung 31: Grundriss Obergeschoss des EFH (Hartmann et al. 2016)

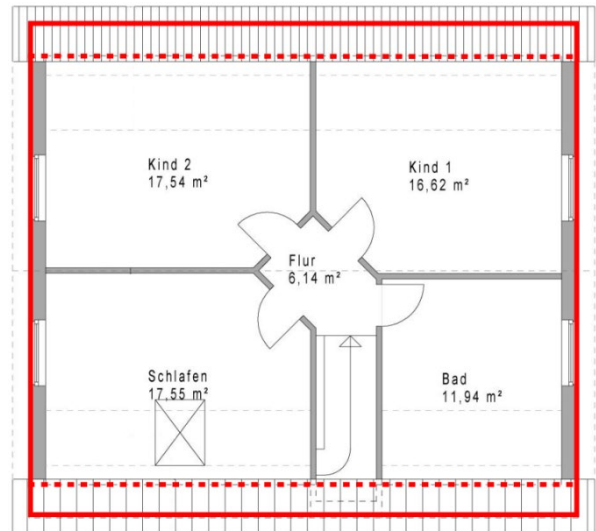


Abbildung 32: Grundriss EG des EFH (Hartmann et al. 2016)

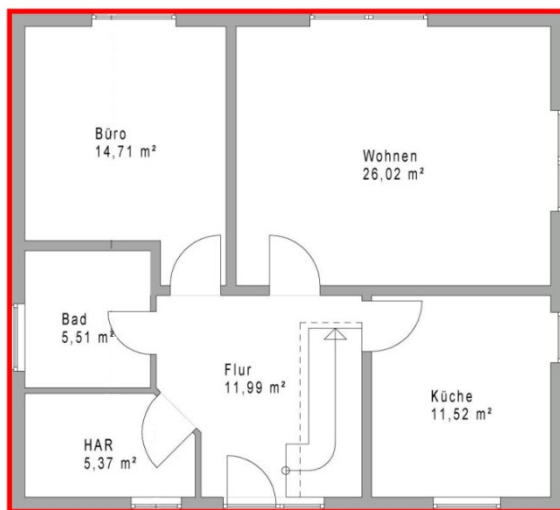
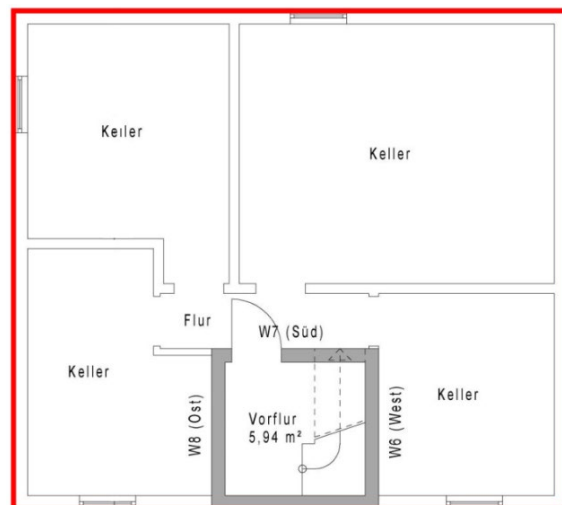


Abbildung 33: Grundriss Keller des EFH (Hartmann et al. 2016)



— Thermische Hülle

4.1.2 Mehrfamilienhaus

Die Berechnungsgrundlage für das Mehrfamilienhaus-Beispielgebäude (MFH) ist ein 5-stöckiger Wohnungsbau. Das Mustergebäude wurde auf Basis eines gebauten Gebäudes entwickelt. Die Grundrisse wurden übernommen (Krämmel Bauplan GmbH 2015), jedoch wurde das oberste Stockwerk ergänzt und das Pultdach durch ein Flachdach ersetzt. Das Bauwerk ist unterkellert. Im Untergeschoss befinden sich auch unbeheizte Kellerräume und Teile der Tiefgarage.

In Tabelle 14 sind allgemeine Gebäudedaten für das Mehrfamilienhaus-Mustergebäude zusammengestellt.

Tabelle 14: Allgemeine Gebäudedaten des MFH-Mustergebäudes

Allgemeine Daten	
Beheizte Wohnfläche	1.770 m ²
Gebäudenutzfläche A_N	2.674 m ²
Nettogrundfläche A_{NGF}	2.049 m ²
Luftvolumen V	6.685 m ³
Beheiztes Volumen V_e	8.356 m ³
Fläche Gebäudehülle A	2.889 m ²
Verhältnis A/V_e	0,35 1/m
Fläche Außenwände A_{AW}	1.174 m ²
Fläche Fenster A_F	335 m ²
Fensterflächenanteil	21 %
Geschosshöhe	2,85 m
Anzahl der versorgten Geschosse	5
Orientierung	Ost/West

Abbildung 34 bis Abbildung 36 zeigen Ansichten und Grundrisse des Mehrfamilienhaus-Mustergebäude.

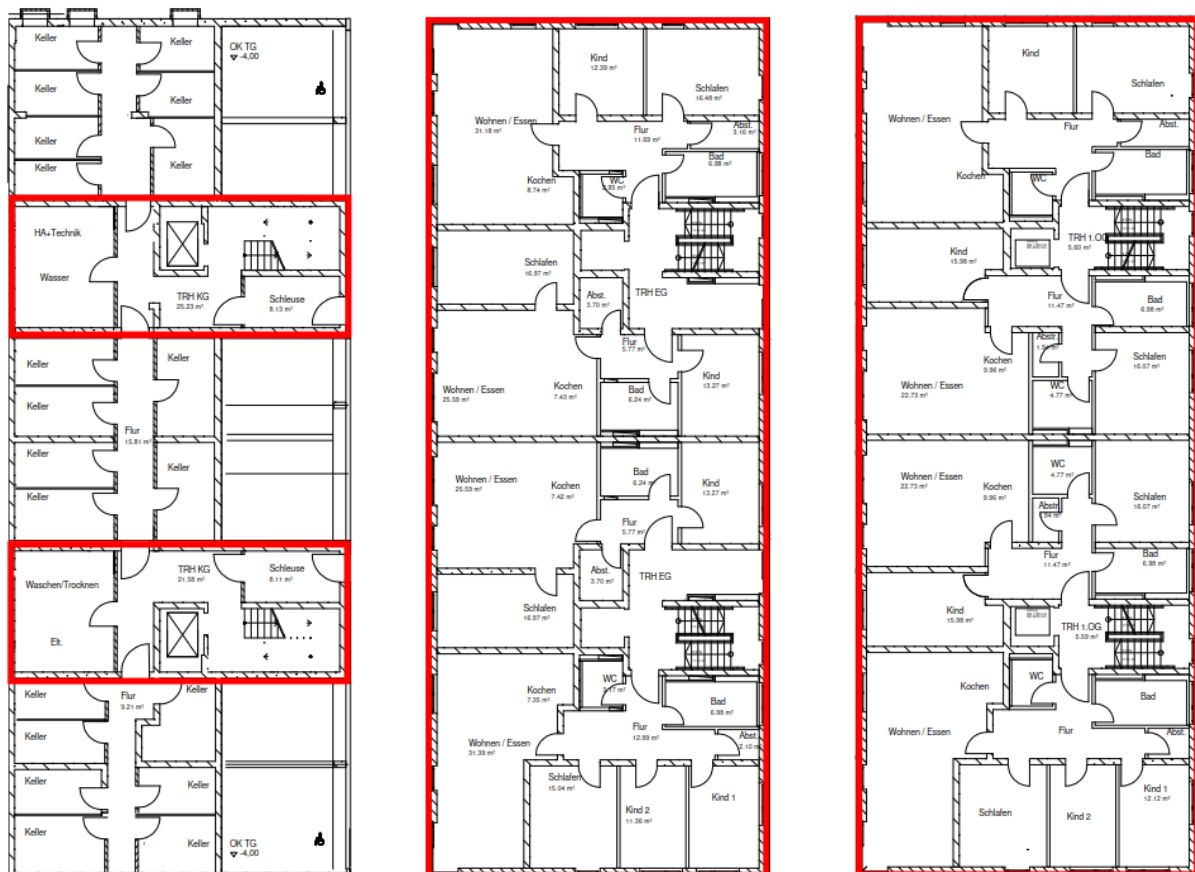
Abbildung 34: Ansicht Westseite des MFH-Mustergebäudes



Abbildung 35: Ansicht Nordseite des MFH-Mustergebäudes



Abbildung 36: Grundrisse UG, EG und OGs des MFH-Mustergebäudes (Krämmel Bauplan GmbH 2015)



— Thermische Hülle

4.1.3 Bürogebäude

Bei dem Muster-Bürogebäude handelt es sich um ein in der Münchner Innenstadt gebautes Verwaltungsgebäude (Steidle Architekten - Gesellschaft von Architekten und Stadtplanern mbH 2015).

In nachfolgender Tabelle sind die Kenndaten des Büro-Mustergebäudes zusammengefasst.

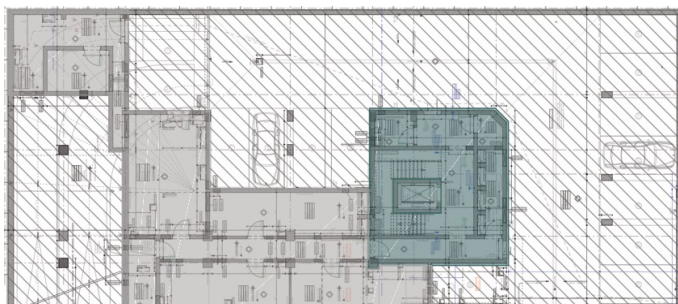
Tabelle 15: Kenndaten des Büro-Mustergebäudes

Kenndaten Büro-Mustergebäude	
Grundriss	rechteckig (charakteristische Länge/Breite: 45 m/16 m)
NGF (nach EnEV) [m²]	4.012
A/V [1/m]	0,26
Fensterflächen-Anteil	59 % (tatsächlich) / Basisfall 45 %
Orientierung	Südwest/Nordost
Zonierung	6 Zonen
1_ Büro	NGF: 1.919 m² (Nutzungsprofil: 2 Gruppenbüro)
2_ Besprechung	NGF: 290 m² (Nutzungsprofil: 4 Besprechung, Sitzung, Seminar)
3_ Nebenflächen	NGF: 1.028 m² (Nutzungsprofil 18 Nebenflächen)
4_ Sonstige Aufenthaltsräume	NGF: 459 m² (Nutzungsprofil: 17 Sonstige Aufenthaltsräume)
5_ WC/Sanitär	NGF: 184 m² (Nutzungsprofil: 16 WC und Sanitärräume in NWG)
6_ Nebenflächen, gering beheizt	NGF: 133 m² (Nutzungsprofil 18 Nebenflächen, gering beheizt)
Bereiche mit Warmwasserbedarf	dezentral elektrische Handwaschbecken, die bei der EnEV-Berechnung nicht berücksichtigt werden (s. DIN V 18599-10 Tabelle 7, Anmerkung b)

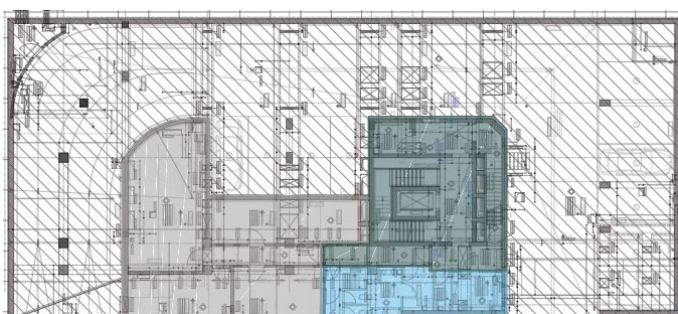
Abbildung 37: Foto der Südost- und Nordostfassade des Büro-Mustergebäudes (Quelle: Energieausweis)



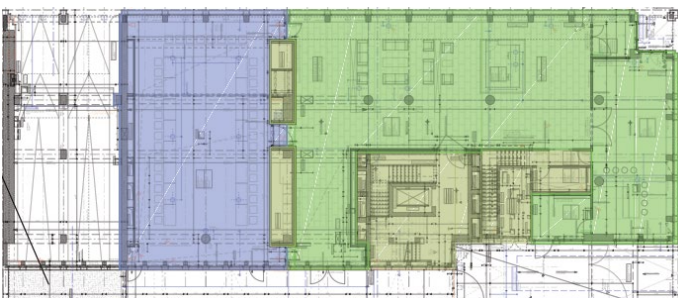
Abbildung 38: Grundrisse mit Zonierung (Ingenieurbüro Hausladen) und Schnitt des Muster-Bürogebäudes (Steidle Architekten - Gesellschaft von Architekten und Stadtplanern mbH 2015)



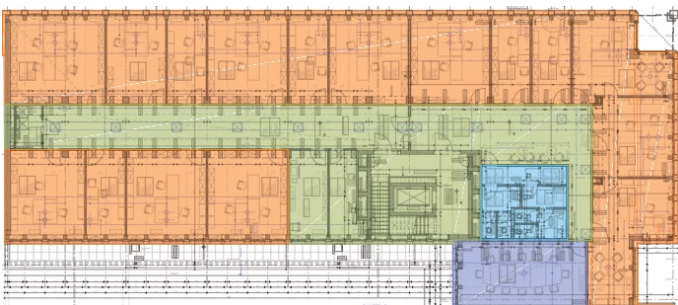
2. Untergeschoss



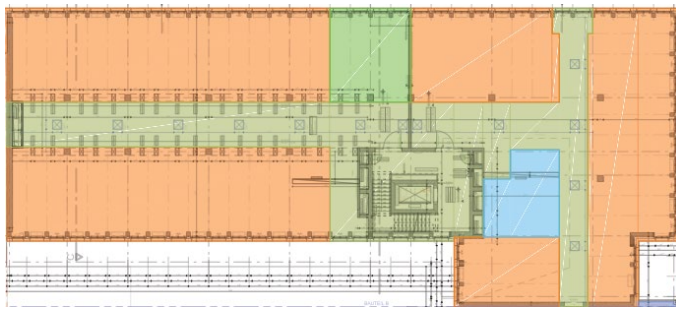
1. Untergeschoss



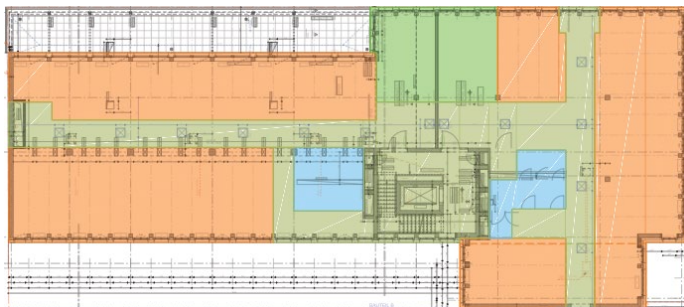
Erdgeschoss



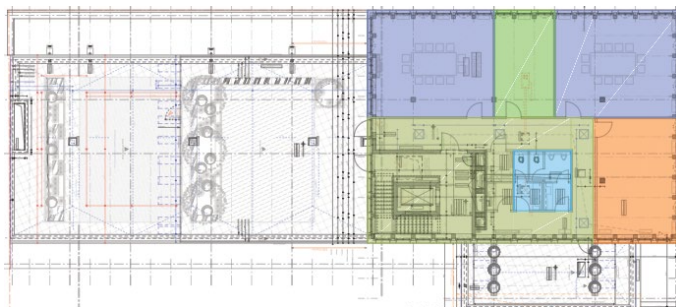
1. Obergeschoss



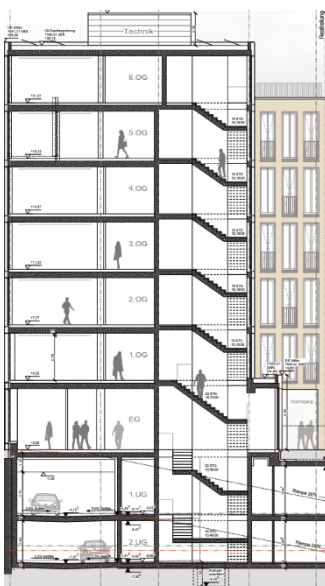
2.-4. Obergeschoss (am Beispiel 3.OG)



5. Obergeschoss



6. Obergeschoss



Schnitt

4.1.4 Schule

Als Vorlage für die betrachtete Schule dient ein 2011 fertiggestelltes Schulgebäude aus dem Münchener Umland (kplan AG 2011). In nachfolgender Tabelle sind die Kenndaten der Beispielschule angegeben.

Tabelle 16: Kenndaten des Schul-Mustergebäudes

Kenndaten Schul-Mustergebäude	
Schüleranzahl	750
Grundriss	2-flügelig mit Verbindungstrakt (charakteristische Länge/Breite: 81 m/36 m)
NGF (nach EnEV) [m²]	7.640
A/V [1/m]	0,26
Fensterflächen-Anteil	37 %
Orientierung	Süd/Nord
Zonierung	6 Zonen
1_Klassenzimmer	NGF: 3.007 m² (Nutzungsprofil: 8 Klassenzimmer)
2_Verkehrsflächen	NGF: 2.897 m² (Nutzungsprofil: 19 Verkehrsflächen)
3_WC/Sanitär	NGF: 252 m² (Nutzungsprofil: 16 WC und Sanitärräume in NWG)
4_Nebenflächen	NGF: 512 m² (Nutzungsprofil: 20 Lager, Technik, Archiv)
5_Sonstige Aufenthaltsräume	NGF: 906 m² (Nutzungsprofil: 17 Sonstige Aufenthaltsräume)
6_Küche	NGF: 67 m² (Nutzungsprofil: 14 Küchen in NWG)
Bereiche mit Warmwasserbedarf	Küche (Bedarf nach EnEV-Nachweis 18.750 kWh/a)

Abbildung 39: Foto der Südansicht des Schul-Mustergebäudes (kplan AG 2011)

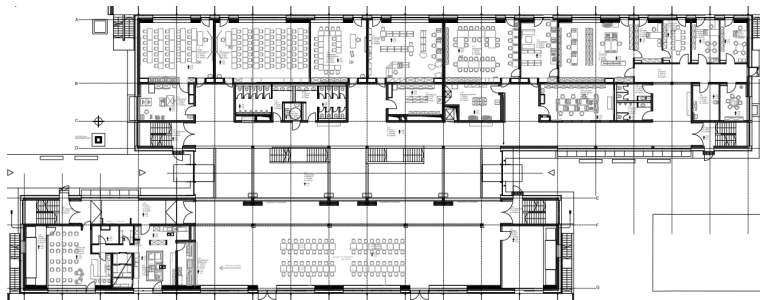


Abbildung 40 zeigt die Grundrisse und einen Schnitt. Der 2-geschossige Südflügel und der 3-geschossige Nordflügel sind über die Aula als Verbindungstrakt verbunden. Im unterkellerten Gebäude sind auch im Untergeschoss Klassenzimmer untergebracht, welche durch eine abgegrabene Böschung auch mit Tageslicht versorgt werden.

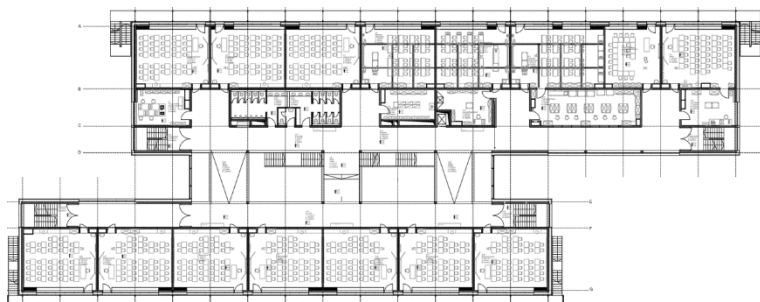
Abbildung 40: Grundrisse und Schnitt Schul-Mustergebäudes (kplan AG 2011)



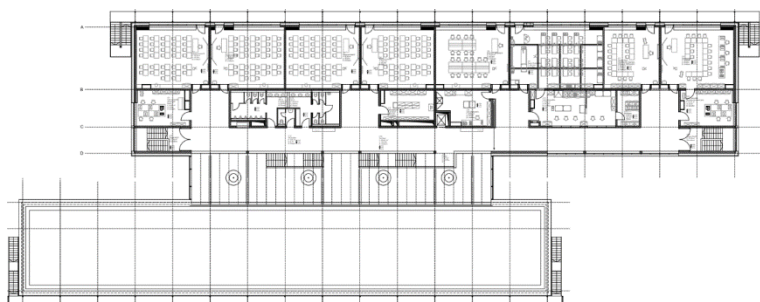
Untergeschoss



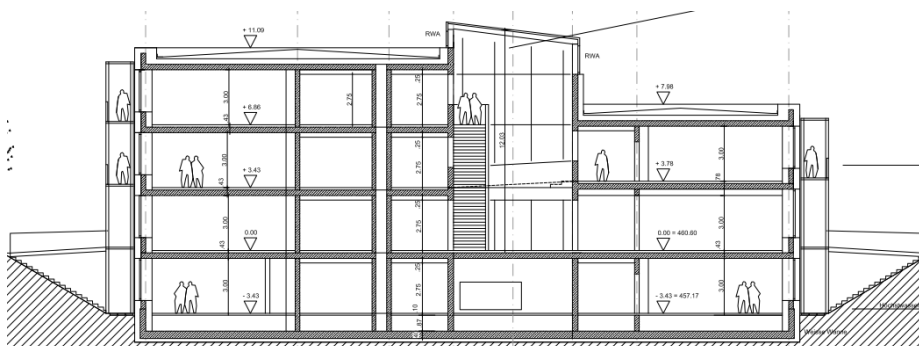
Erdgeschoss



1. Obergeschoss



2. Obergeschoss



Querschnitt

4.1.5 Industriehalle

Bei der Industriehalle handelt es sich um eine typische Produktionshalle, wie sie auf einem Firmengelände stehen könnte. Verwaltungs- und Sanitärräume sind nicht in der Halle, sondern in anderen Gebäuden auf dem Firmengelände untergebracht. Die Konstruktion besteht aus einem Stahl-Gerüst mit Satteldach, das auf einem Flächenfundament gegründet ist. Das Dach und die Fassade bestehen aus Sandwichpaneelen, so dass sich eine leichte Bauweise ergibt.

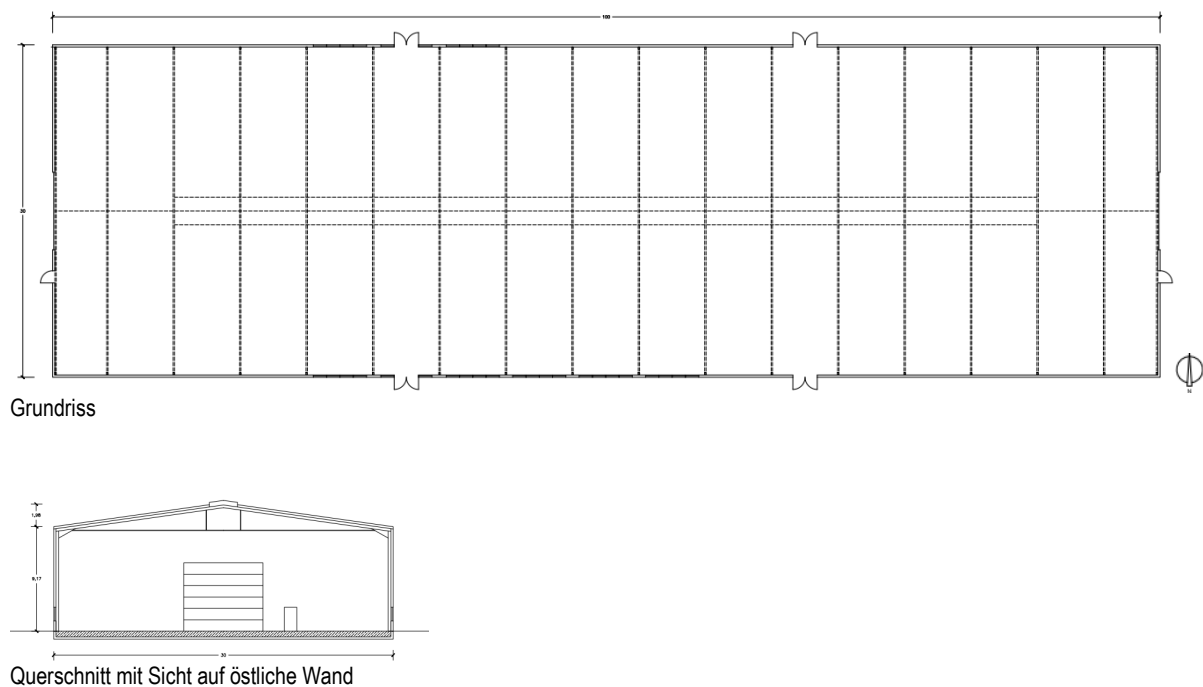
In nachfolgender Tabelle sind die Kenndaten der Muster-Industriehalle zusammengefasst.

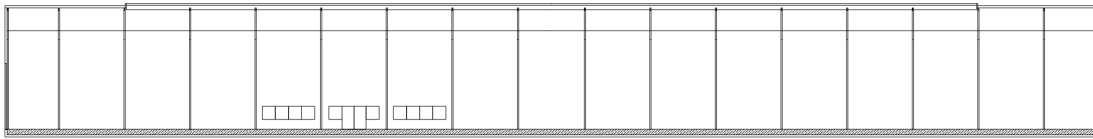
Tabelle 17: Kenndaten der Muster-Industriehalle

Kenndaten Muster-Industriehalle	
Bauweise	leicht
Grundriss	rechteckig (charakteristische Länge/Breite: 100 m/30 m)
NGF (nach EnEV) [m²]	2.947
A/V [1/m]	0,26
Fensterflächen-Anteil	2 %
Orientierung	Nord/Süd
Zonierung	1 Zonen
1_Produktionshalle	NGF: 2.947 m² (Nutzungsprofil: 22.3 Gewerbliche und industrielle Hallen – leichte Arbeit, überwiegend sitzende Tätigkeit)
Bereiche mit Warmwasserbedarf	Kein Warmwasserbedarf

Abbildung 41 zeigt Grundriss, Schnitte und Ansicht der Muster-Industriehalle.

Abbildung 41: Grundriss, Schnitte und Ansicht der Muster-Industriehalle (Quelle: IBH)





Längsschnitt mit Sicht auf nördliche Wand



Ansicht Südfassade

4.2 Basisfall und Variantenbildung

Für die Eingabe wird nachfolgend für jedes Mustergebäude eine Basisvariante festgelegt, welche die Grundlage für alle weiteren Berechnungen bildet.

Die Variantenbildung erfolgt hinsichtlich Speichermassen, Hüllfläche (Dämmstandard, Fensterflächenanteil) und Anlagentechnik.

Einfamilienhaus

Basisfall E_0

- EnEV-Standard (Anforderungen 1.1.2016)
- Massivbau mit Lochfassade
- 20% Fensterflächenanteil
- Abluftanlage
- Fernwärme

Varianten

- E_BW: Holzständerbauweise, leichte Bauweise (BW)
- E_FFA: 40% Fensterflächenanteil (FFA)
- E_WRG: Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)
- E_KfW: Erhöhter Dämmstandard auf KfW-Effizienzhaus 40-Niveau (KfW)
- E_STW: Solarthermie zur Warmwasserbereitung (STW)
- E_STH: Solarthermie zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung (STH)
- E_WP-PV: Außenluft-Wärmepumpe und PV-Anlage (WP-PV)

Mehrfamilienhaus

Basisfall M_0

- EnEV-Standard (Anforderungen 1.1.2016)
- Massivbau mit Lochfassade
- Abluftanlage
- Fernwärme

Varianten

- M_WRG: Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)
- M_WP-PV: Grundwasser-Wärmepumpe und PV-Anlage (WP-PV)

Anmerkung zur Variantenbildung: Beim Mehrfamilienhaus wird keine Variante mit Außenluft-Wärmepumpe untersucht, weil diese wegen Nachteilen durch Lärmemission und durch eine niedrige Jahresarbeitszahl wegen des hohen Trinkwarmwasseranteils zur Zeit nur selten Umsetzung findet.

Bürogebäude

Basisfall B_0

- EnEV-Standard (Anforderungen 1.1.2016)
- 45% Fensterflächenanteil
- Fensterlüftung
- Fernwärme

Varianten

- B_FFA: 75% Fensterflächenanteil (FFA)
- B_WRG: RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)
- B_WP-K: reversible Außenluft-Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen (WP-K)

Schule

Basisfall S_0

- EnEV-Standard (Anforderungen 1.1.2016)
- Fensterlüftung
- Fernwärme

Varianten

- S_BW: leichte Bauweise (BW)
- S_WRG: RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)
- S_KFW: verbesserter Standard auf KfW-Effizienzgebäude 55-Niveau (KfW)
- S_STW: Solarthermie zur WW-Bereitung (STW) für zentrale WW-Versorgung der Mensaküche
- S_WP-PV: Grundwasser-Wärmepumpe und PV-Anlage (WP-PV)

Industriehalle

Basisfall I_0

- EnEV-Standard (Anforderungen 1.1.2016)
- leichte Bauweise mit Sandwichelementfassade
- RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung und Heiz-/Kühlregister für Zulufttemperierung
- dezentrale Hallenheizung über Dunkelstrahler

Varianten

- I_FEU: RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung, Heiz-/Kühlregister und Befeuchtung (FEU)
- I_WP-K: reversible Luft-Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen über Industriefußbodenheizung

Übersicht Varianten

Tabelle 18 gibt einen Überblick über die untersuchten Varianten. In den Zeilen sind die Mustergebäude, in den Spalten die untersuchten Varianten angegeben. Der Variantenname ergibt sich aus dem Kürzel des Mustergebäudes, gefolgt vom Kürzel der Variante.

Tabelle 18: Übersicht der Varianten

	Basisfall	Bauweise	Fenster- flächen- anteil	Dämm- standard	Lüftung /RLT	Solar- thermie	Kühlen	Wärme- pumpe	PV
EFH	E_0	E_BW	E_FFA	E_KFW	E_WRG	E_STW / E_STH		E_WP-PV	
MFH	M_0	-	-	-	M_WRG	-		M_WP-PV	
Büro	B_0	-	B_FFA	-	B_WRG	-	B_WP-K		
Schule	S_0	S_BW	-	S_KFW	S_WRG	S_STW		S_WP-PV	
Industrie- halle	I_0	-	-	-	I_FEU	-	I_WP-K		

Eine Übersicht über die verwendeten Abkürzungen der ausgewählten Standorte gibt Tabelle 19.

Tabelle 19: Übersicht über Standorte und Kürzel

	Kürzel
D-Referenzklima	REF-Klima
Düsseldorf	DUE
Hamburg	HAM
Heidelberg	HEI
Hof	HOF
München	MUE

Der Variantenname ergibt sich aus den Kürzeln für Gebäude, Variante und Standort. Beispielsweise steht „M_WRG_HEI“ für das Mehrfamilienhaus, Variante „Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung“, berechnet mit den TRY2017-Klimadaten für den Standort Heidelberg.

4.3 Berechnungsmethodik und Randbedingungen

Die Berechnung erfolgt, wie für einen öffentlich-rechtlichen Nachweis vorgeschrieben, nach EnEV 2013 mit den seit dem Januar 2016 geltenden Verschärfungen nach der Berechnungsvorschrift der DIN V 18599 (Version 2011-12) mittels Monatsbilanzverfahren. Auch die Wohngebäude werden nach DIN V 18599 berechnet, für welche – sofern sie nicht gekühlt werden – alternativ auch eine Berechnung nach DIN 4108-06 in Verbindung mit DIN V 4701-10 zulässig wäre.

Es wird sichergestellt, dass alle Varianten die gesetzlichen Vorschriften erfüllen, d.h. auch die Anforderungen des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) und des sommerlichen Wärmeschutzes (nach EnEV und DIN 4108-2). Die U-Werte sind in Anlehnung an die Referenzgebäude-Ausführung nach Anlage 2, Tabelle 1 der EnEV 2013, mit einer geringen Unterschreitung, festgelegt. Eine Ausnahme stellt die Industriehalle dar, bei welcher der EnEV-Standard mit leicht erhöhten U-Werten im Vergleich zum Referenzgebäude eingehalten wird.

Die Festlegung der Randbedingungen und typischer Werte können nachfolgender Tabelle entnommen werden. Grundsätzlich werden Standardwerte der DIN V 18599 verwendet. Wenn die Standardwerte im Vergleich zu marktüblichen Produkten besonders hoch angesetzt sind, erfolgt eine Anpassung, um marktübliche Kennwerte für Neubauten abzubilden. Angepasste Werte sind in der Tabelle dokumentiert.

4.3.1 Wohngebäude

Die Randbedingungen für die Berechnung des Basisfalls sind in Tabelle 20 zusammengestellt.

Tabelle 20: Randbedingungen für den Basisfall der Muster-Wohngebäude

Basisfall	EFH (E_0)	MFH (M_0)
Bauweise (Wirksame Wärmekapazität)	schwer (130 Wh/m²K)	mittel (90 Wh/m²K)
Fensterflächenanteil	20 %	21 %
Dämmstandard	EnEV-Standard ($H'_{T,-3\% \text{ Ref. } H'_T}$) $H'_T = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K} \leq \text{Ref. } H'_T = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$	EnEV-Standard ($H'_{T,-3\% \text{ Ref. } H'_T}$) $H'_T = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K} \leq \text{Ref. } H'_T = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$
Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB}	Pauschal 0,1 W/m²K	Pauschal 0,1 W/m²K
Luftdichtheit n_{50}	1 h ⁻¹ (mit Dichtheitsprüfung)	1 h ⁻¹ (mit Dichtheitsprüfung)
Wärmeerzeuger	Fernwärme	Fernwärme
Heizung Kreis	VL 37° C, RL 30° C Heizkreispumpe optimiert, hydraulischer Abgleich	VL 37° C, RL 30° C Heizkreispumpe optimiert, hydraulischer Abgleich
Heizung Übergabe	Fußbodenheizung Nasssystem, PI-Regler	Fußbodenheizung Nasssystem, PI-Regler
Heizung Verteilung	Netztyp II, Gruppe 1 Wohnen Leitungen innerhalb, Standardleitungslängen keine Anbindeleitung	Netztyp II, Leitungen innerhalb, Standardleitungslängen keine Anbindeleitung
Trinkwarmwasser Speicher	indirekt über Heizungswärmeerzeuger be- heizter Speicher (180 l)	indirekt über Heizungswärmeerzeuger be- heizter Speicher
Trinkwarmwasser Kreis	mit Zirkulation	mit Zirkulation
Trinkwarmwasser Verteilung	Netztyp I, Gruppe 1 Wohnen Leitungen innerhalb Zirkulationspumpe optimiert, geregelt	Netztyp I, Gruppe 1 Wohnen Leitungen innerhalb Zirkulationspumpe optimiert, geregelt
Lüftung	bedarfsgeführte Abluftanlage, Betriebszeit ganzjährig, $n_{\text{mech}} = 0,35 \text{ 1/h}$, DC-Motor	bedarfsgeführte Abluftanlage, Betriebszeit ganzjährig, $n_{\text{mech}} = 0,35 \text{ 1/h}$, DC-Motor

Ausgehend vom Basisfall werden die Varianten berechnet. Bei jeder Variante wird nur die in Tabelle 21 für die jeweilige Variante beschriebene Umstellung vorgenommen. Die restlichen Parameter sind identisch mit dem Basisfall.

Tabelle 21: Randbedingungen für die Varianten-Berechnung der Muster-Wohngebäude

Variante BW	E_BW	-
Bauweise (Wirksame Wärmekapazität)	Leichte Bauweise (50 Wh/m²K)	
Variante FFA	E_FFA	-
Fensterflächenanteil	Fensterflächenanteil 40 % $H'_{T} = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K} \leq \text{Ref. } H'_{T} = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$	
Variante KFW	E_KFW	-
Dämmstandard	KfW-Effizienzhaus 40 $H'_{T}: 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($H'_{T}: -45\% \text{ Ref. } H'_{T}$) $Q_p: 30,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ($Q_p: -63\% \text{ Ref. } Q_p$)	
Variante WRG	E_WRG	M_WRG
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	bedarfsgeführt, ganzjährig Wärmebereitstellungsgrad 0,75 DC-Motor, ohne Heizfunktion	bedarfsgeführt, ganzjährig Wärmebereitstellungsgrad 0,75 DC-Motor, ohne Heizfunktion
Variante STW	E_STW	-
Solarthermische Anlage zur Warmwasserbereitung	Auslegung nach EEWärmeG (8,9 m²), Flachkollektor (45° Neigung, Süd), Standardwerte für Solarkreis-Pumpe (Hilfsstrom 137 kWh/a) und Bivalenter TW-Speicher (460 l)	
Variante STH	E_STH	
ST - Solarthermische Anlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung	Auslegung nach Standardwerten: Flachkollektor 14,2 m² (45° Neigung, Süd), Solarkreis-Pumpe (Hilfsstrom 148 kWh/a), Bivalenter TW-Speicher / Kombispeicher (Σ 860 l)	
Variante WP/PV	E_WP-PV	M_WP-PV
WP - Wärmepumpen	Luft-Wärmepumpe 10 kW, monovalent	Grundwasser-Wärmepumpe 75 kW, monovalent
Heizung Speicher	Heizkreispufferspeicher (80 l)	Heizkreispufferspeicher (700 l)
PV – Photovoltaik-Anlage	PV-Anlage 8,64 kWp in Steildach integriert (Süd, 45°, unbelüftet), Zelltyp monokristallines Silizium, Berechnung nach DIN V 18599-9	PV-Anlage 70 kWp aufgeständert auf Flachdach (O/W, 10°, mäßig belüftet), Zelltyp monokristallines Silizium, Berechnung nach DIN V 18599-9 (da nur Anstellwinkel von 0°, 30°, 45°, ... gewählt werden können, wird mit 0° gerechnet)

4.3.2 Nichtwohngebäude

Die Randbedingungen für die Berechnung des Basisfalls für die drei Nichtwohngebäude sind in Tabelle 22 zusammengestellt.

Tabelle 22: Randbedingungen für den Basisfall der Nichtwohngebäude

Basisfall	Büro (B_0)	Schule (S_0)	Industriehalle (I_0)
Allgemein			
Bauweise (Wirksame Wärmekapazität)	Mittel (90 Wh/m²K)	Schwer (130 Wh/m²K)	Leichte Bauweise (50 Wh/m²K)
Fenster	Fensterflächenanteil 45% Zweifachverglasung, U-Wert 1,3 W/m²K, g-Wert 0,6, außenliegender Sonnenschutz	Fensterflächenanteil 37% Zweifachverglasung, U-Wert 1,3 W/m²K, g-Wert 0,6, außenliegender Sonnenschutz	Fensterflächenanteil 2%
Dämmstandard opake Außen-Bauteile: transparente Fenster: Vorhangfassaden: Oberlichtsysteme:	vorh. mittl. U-Wert 0,23 W/m²K 1,31 W/m²K - 2,00 W/m²K H' _T : 0,58 W/m²K (Ref. H' _T =0,60 W/m²K)	vorh. mittl. U-Wert 0,20 W/m²K 1,30 W/m²K - - H' _T : 0,36 W/m²K (Ref. H' _T =0,37 W/m²K)	vorh. mittl. U-Wert 0,27 W/m²K 1,40 W/m²K - 2,0 H' _T : 0,29 W/m²K (Ref. H' _T =0,27 W/m²K)
Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB}	Pauschal 0,05 W/m²K	Pauschal 0,05 W/m²K	Pauschal 0,05 W/m²K
Luftdichtheit n ₅₀	0,8 h ⁻¹ (mit Dichtheitsprüfung)	0,8 h ⁻¹ (mit Dichtheitsprüfung)	0,8 h ⁻¹ (mit Dichtheitsprüfung)
Heizung			
Wärmeerzeuger	Fernwärme	Fernwärme	Dezentraler Hallenheizung über Dunkelstrahler, kondensierend, Typ 2
Heizung Kreis	VL 37° C, RL 30° C, Heizkreispumpe optimiert, hydraulischer Abgleich	VL 37° C, RL 30° C, Heizkreispumpe optimiert, hydraulischer Abgleich	VL 70° C, RL 55° C Keine Heizkreispumpe, keine Verteilungen
Heizung Übergabe	Fußbodenheizung Nasssystem, PI-Regler, Ausnahme Zone Besprechungsräume: Heizsegel	Fußbodenheizung Nasssystem, PI-Regler	Dunkelstrahler > 50 kW
Heizung Verteilung	Netztyp II, Gruppe 1 Verteilungen außerhalb, Strang-/Anbindeleitungen innerhalb, Anbindeleitung FBH 20m, Heizsegel 500m, ansonsten Standardleitungslängen	Netztyp II, Gruppe 2 Leitungen innerhalb, Standardleitungslängen, keine Anbindeleitung (FBH)	-
Warmwasser			
Warmwasserbereitung	Der Warmwasserbedarf für Handwaschbecken, Putzräume, Teeküchen wird gemäß DIN V 18599-10 Tabelle 6 Fußnote b vernachlässigt.	Küche: Zentrale Warmwasserbereitung über Wärmeerzeuger Heizung (Trinkwarmwasserbedarf 13.800 kWh/a). Der Warmwasserbedarf für Handwaschbecken, Putzräume, Teeküchen wird gemäß DIN V 18599-10 Tabelle 6 Fußnote b vernachlässigt.	-
Trinkwarmwasser Speicher	-	indirekt beheizter Speicher (220 l)	-
Trinkwarmwasser Kreis	-	mit Zirkulation	-
Trinkwarmwasser Verteilung	-	Netztyp I, Gruppe 3 Leitungen innerhalb, Standardleitungslängen, Zirkulationspumpe optimiert, geregelt	-

Lüftung			
Lüftung	natürlich belüftet	natürlich belüftet	RLT-Anlage zur vollständigen Deckung des Mindestaußenluftvolumenstroms (Konstantvolumenanlage). Keine Befeuchtung, Wärmerückgewinnung ohne Feuchte- und Stoffaustausch 75 %, mit Nachheizfunktion über Gaskessel und Nachkühlfunktion über luftgekühlte Kompressionskältemaschine, Leistungsaufnahme Ventilatoren entsprechend Ökodesignrichtlinie ab 2018: 0,55 Wh/m ³ entspr. 1190 Pa bei Gesamtwirkungsgrad Ventilator 0,6, bedarfsabhängige Volumenstromregelung, mech. Belüftung nur während Nutzungszeit, Regelung IDA-C3.
Beleuchtung			
Beleuchtung	Berechnung nach Tabellenverfahren, Leuchtstofflampen, direkt/indirekt/manuelle Kontrolle	Berechnung nach Tabellenverfahren, Leuchtstofflampen, direkt, automatische Präsenzkontrolle, Zonen 1_Klassenzimmer und 5_Sonstige Aufenthaltsräume mit tageslichtabh. Steuerung	Berechnung nach Tabellenverfahren, Leuchtstofflampen, direkt/manuelle Kontrolle
Sonstiges			
Sonstiges	Sommerlicher Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2:2013 eingehalten mit: 2-fach Wärmeschutzverglasung mit g = 0,6, außenliegende Jalousie, erhöhte Nachtlüftung, schwere Bauweise	Die Nutzungs- und Betriebszeiten der verwendeten Nutzungsprofile nach DIN V 18599-10 sind an die Hauptnutzung Klassenzimmer (Nutzungsprofil 8 „Klassenzimmer“ angepasst.	Gemäß EnEV Anlage 2 Nr. 1.1.2 Satz 3 gilt für Gebäude mit Raumhöhe > 4m und dezentraler Hallenheizung die Primärenergiebedarf-Verschärfung für Neubauten nicht. Das EEWärmeG wird durch Kombination aus Abwärme (WRG) und Maßnahmen zur Einsparung von Energie eingehalten.

Auch bei den Nichtwohngebäuden werden die Varianten ausgehend vom Basisfall berechnet. Bei jeder Variante unterscheidet sich ausschließlich die in Tabelle 23 beschriebene Änderung zum Basisfall.

Tabelle 23: Randbedingungen für die Varianten-Berechnung der Nichtwohngebäude

	Büro	Schule	Industriehalle
Variante BW	-	S_BW	-
Bauweise (Wirksame Wärmekapazität)		Leichte Bauweise (50 Wh/m²K)	
Variante FFA	B_FFA	-	-
Fensterflächenanteil	Fensterflächenanteil 75 % H' _T : 0,78 W/m²K (Ref. H' _T =0,79 W/m²K) Sommerlicher Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2:2013 eingehalten durch: ergänzend 2-Scheiben-Sonnenschutzverglasung mit g = 0,33		
Variante KFW		S_KFW	-
Dämmstandard opake Außen-Bauteile transparente Fenster		KfW-Effizienzhaus 55 vorh. mittl. U-Wert (zulässig) 0,20 W/m²K (0,22 W/m²K) 1,1 W/m²K (1,2 W/m²K) H' _T : 0,32 W/m²K (Ref. H' _T =0,37 W/m²K), Q _p : 41 kWh/m²a (Q _p höchst 49 kWh/m²a)	
Variante WRG/FEU	B_WRG	S_WRG	I_FEU
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) / Befeuchtung (FEU)	RLT-Anlage zur vollständigen Deckung des Mindestaußenluftvolumenstroms. Keine Befeuchtung, Wärmerückgewinnung ohne Feuchte- und Stoffaustausch 75 %, mit Nachheiz-, ohne Kühlfunktion Leistungsaufnahme Ventilatoren entsprechend Ökodesignrichtlinie ab 2018: 0,55 Wh/m³ 2018 entspr. 1190 Pa bei Gesamtwirkungsgrad Ventilator 0,6, bedarfsabhängige Volumenstromregelung, mech. Belüftung nur während Nutzungszeit, Regelung IDA-C3	RLT-Anlage zur vollständigen Deckung des Mindestaußenluftvolumenstroms. Keine Befeuchtung, Wärmerückgewinnung ohne Feuchte- und Stoffaustausch 75 % (Küche 65 %), mit Nachheiz-, ohne Kühlfunktion Leistungsaufnahme Ventilatoren entsprechend Ökodesignrichtlinie ab 2018: 0,55 Wh/m³ 2018 entspr. 1190 Pa bei Gesamtwirkungsgrad Ventilator 0,6, bedarfsabhängige Volumenstromregelung, mech. Belüftung nur während Nutzungszeit, Regelung IDA-C3	RLT-Anlage mit Dampfbefeuchtung, ansonsten analog RLT-Anlage Basisfall. Anpassung Nutzungsprofil Raumkondition auf Feuchteanforderung ohne Toleranz (für alle Varianten).
Variante STW		S_STW	-
Solarthermische Anlage zur Warmwasserbereitung		Flachkollektor 22,3 m² (Standardwert), 45° Neigung, Süd, Jahresenergieertrag 5.425 kWh/a, Hilfsstrom Solarkreis-Pumpe (300 kWh/a), Bivalenter TW-Speicher (1.250 l)	

Variante WP-K	B_WP-K	-	I_WP-K
reversible Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen	Eingabe der reversiblen Wärmepumpe als a) Grundwasser-Wärmepumpe mit Standardwerten, Heizkreispufferspeicher (1.500 l) b) wassergekühlte Kompressionskältemaschine mit Kältespeicher (Standardwerte) mit freier Kühlung in Rückkühlung, Übergabe über Kühlsege an Zonen 1_Büro, 2_Besprechung, 4_Sonstige Aufenthaltsr. VL 15° C, RL 19 °C		EnEV Anlage 2 Nr. 1.1.2 Satz 3 nicht anwendbar. Eingabe der reversiblen Wärmepumpe als a) Außenluft-Wärmepumpe mit Standardwerten, Heizkreispufferspeicher (1.350 l), Übergabe über Industriefußbodenheizung, VL 37° C, RL 30 °C b) luftgekühlte Kompressionskältemaschine mit Kältespeicher (Standardwerte) mit freier Kühlung, Übergabe über Übergabe über Industriefußbodenheizung, VL 15° C, RL 19 °C
Variante WP-PV		S_WP-PV	
WP - Wärmepumpen		Grundwasser-Wärmepumpe mit Standardwerten, Heizkreispufferspeicher (2.200 l)	
PV – Photovoltaik-Anlage		PV-Anlage 210 kWp aufgeständert auf Flachdach (O/W, 10°, mäßig belüftet), Zelltyp monokristallines Silizium, Berechnung nach DIN V 18599-9 (Da nur Anstellwinkel von 0°, 30°, 45°, ... gewählt werden können, wird mit 0° gerechnet)	

5.0 Berechnungen der Mustergebäude mit ortsgenauen Klimadaten

Analog der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Vorgehensweise werden die Mustergebäude mit den festgelegten Varianten in eine EnEV-Berechnungssoftware eingegeben, die den IBP-Kernel verwendet. Mit Hilfe einer Modifikation der EnEV-Berechnungssoftware ist es möglich, das Referenzklima D durch ortsgenaue Klimadaten zu ersetzen. Die Ergebnisse der EnEV-Berechnungssoftware lassen sich als Dateien exportieren. Mit Hilfe eines Auswertetools, das diese Dateien automatisch einliest, kann eine Vielzahl von Berechnungsergebnissen ausgewertet werden. Die Ergebnisse werden anschließend grafisch aufbereitet ausgewertet. Um den Einfluss von lokalen Klimadaten auf die Energiebedarfswerte der Mustergebäude zu untersuchen, sollen in einem ersten Schritt die Erzeugernutzwärme für Heizung und Trinkwarmwasser sowie Erzeugernutzkälte bei Kühlung, danach die Endenergiebedarfswerte und schließlich die Primärenergiebedarfswerte ausgewertet werden.

Als essentielle Grundlage für die Auswertung werden die eingehenden Klimadaten der untersuchten Standorte (vgl. Kapitel 3.2.3) und des EnEV-Referenzklimas als monatliche Werte nochmals grafisch aufbereitet dargestellt. Die verwendeten Standortkürzel sind Tabelle 19 zu entnehmen.

Abbildung 42 zeigt die mittlere monatliche Außentemperatur des EnEV-Referenzklimas (REF-Klima) und der ausgewählten Standorte. Die jeweils wärmste und kälteste Monatsmitteltemperatur liegen 3 bis 5 Kelvin auseinander. Von Dezember bis Februar ist hierbei die Spreizung am höchsten.

Abbildung 42: Mittlere monatliche Außentemperatur der untersuchten Standorte

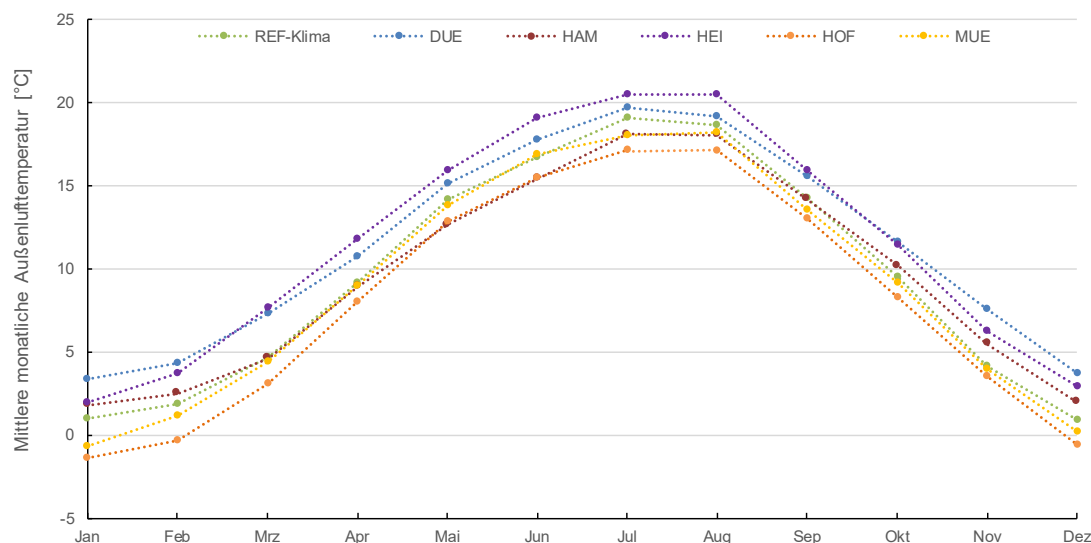
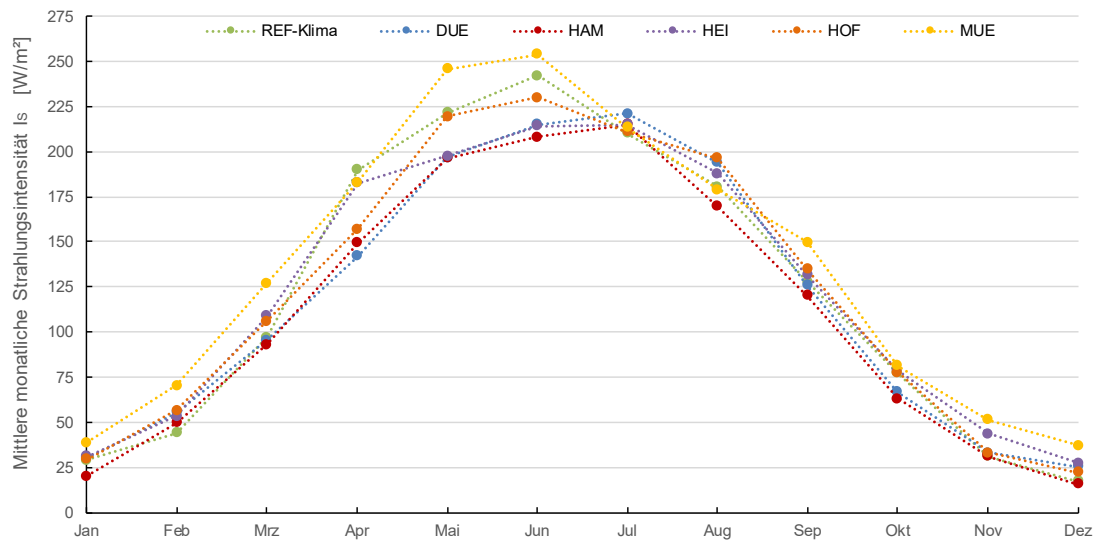


Abbildung 43 zeigt die Globalstrahlung als Monatsmittelwerte. In der Jahressumme ergibt sich eine Differenz von 220 kWh/m² zwischen dem Standort mit der geringsten (HAM) und der höchsten Einstrahlung (MUE). Für die Varianten mit 10° in Ost-West-Richtung aufgeständerter PV-Anlage (MFH, Schule) kann die Globalstrahlung als Hinweis für die zugrunde gelegte Einstrahlung dienen.

Abbildung 43: Globalstrahlung der untersuchten Standorte



Bei der Mustergebäude-Berechnung spielt jedoch im Normalfall die in Abbildung 43 gezeigte Globalstrahlung, also die auf eine horizontale Ebene eintreffende Strahlung, eine untergeordnete Rolle. Vielmehr ist einerseits für die Solarthermie bzw. ins Steildach integrierte PV (EFH) die auf eine 45° geneigte, nach Süden ausgerichtete Einstrahlung (vgl. Abbildung 44), andererseits für die solaren Gewinne die auf vertikale (90°-geneigte) transparente Flächen eintreffende Strahlung entscheidend.

Als Beispiel für eine vertikale eintreffende Strahlung zeigt Abbildung 45 die Einstrahlung auf eine 90° geneigte Südfläche. Vergleicht man die gezeigten Grafiken, so hat die Strahlung auf 45° Süd die höchste Strahlungsintensität, hier ergibt sich bei der Jahressumme zwischen dem Standort mit der geringsten Einstrahlung (Hamburg: 1.128 kWh/m²a) und der höchsten Einstrahlung (München: 1.386 kWh/m²a) eine Differenz von 258 kWh/m²a. Die Strahlung auf 90° Süd ist deutlich geringer und weist im Minimum 816 kWh/m²a (HAM) bzw. im Maximum 980 kWh/m²a (MUE) auf.

Abbildung 44: Einstrahlung auf eine 45° geneigte Südfläche für die untersuchten Standorte

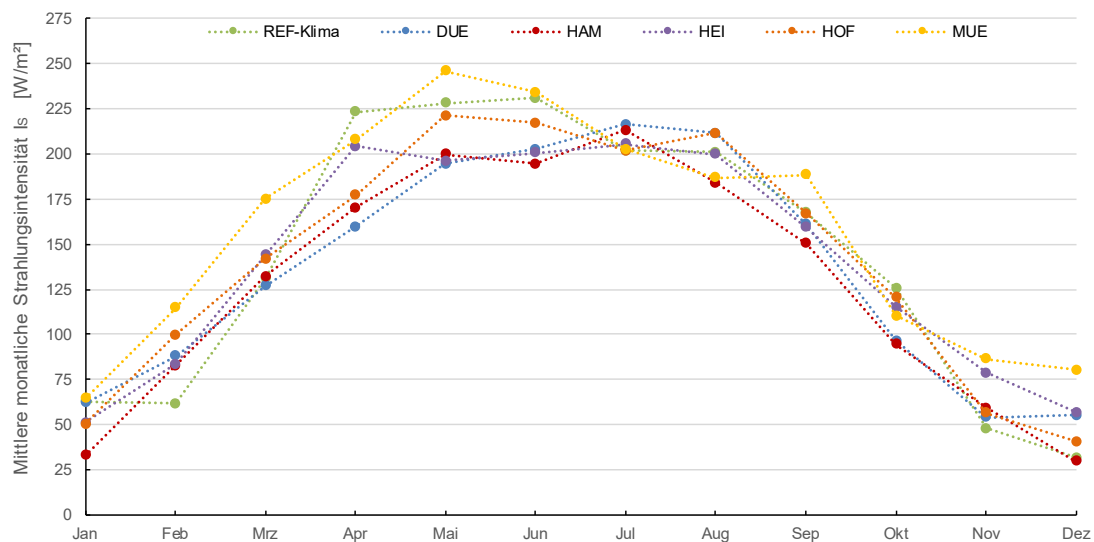
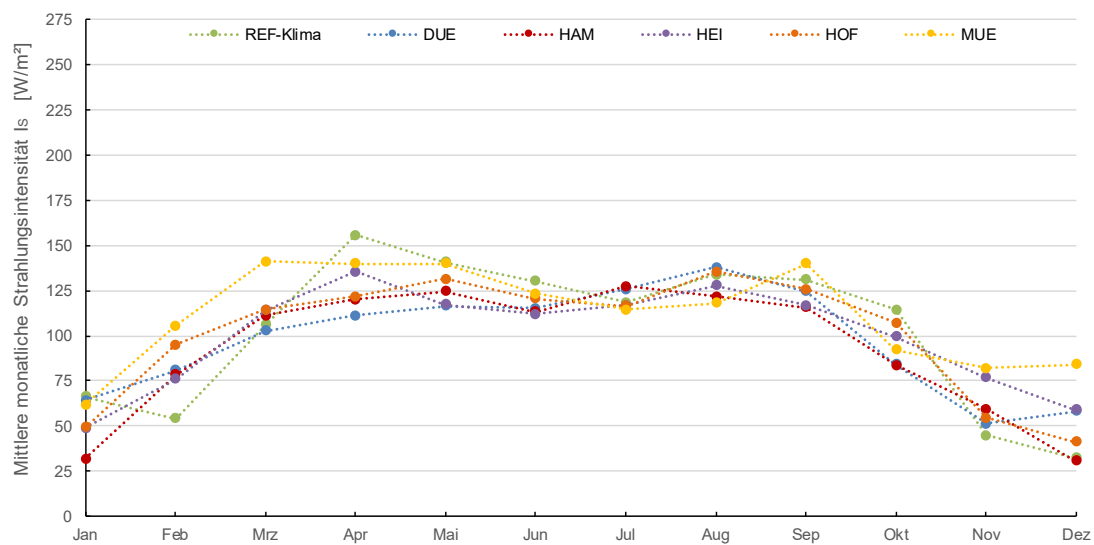


Abbildung 45: Einstrahlung auf eine 90° geneigte Südfläche für die untersuchten Standorte



5.1 Erzeugernutzwärme Heizung

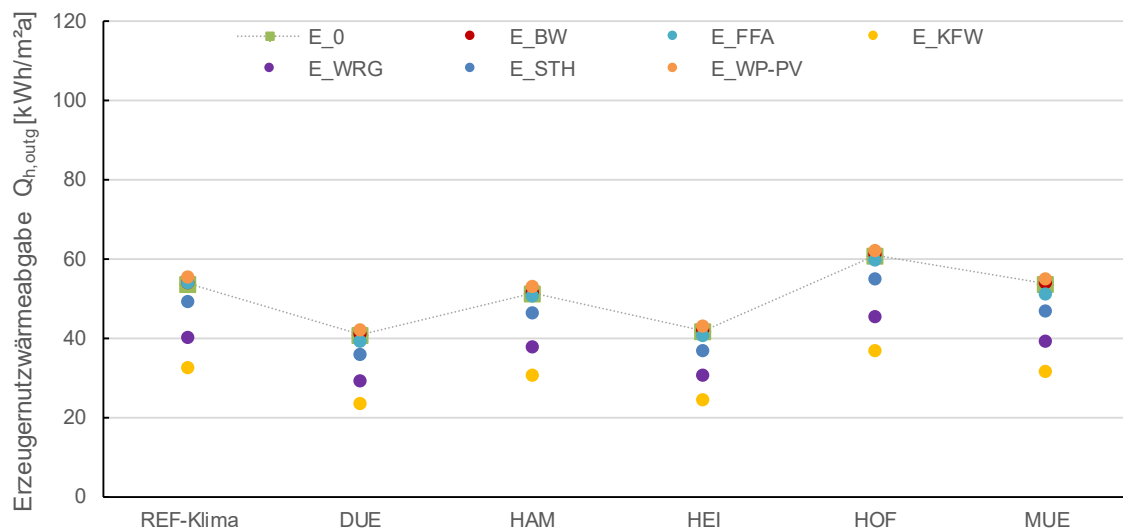
Wie in Kapitel 2.1 beschrieben gehen die Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur in die Ermittlung der Transmissionswärmeverluste und der Lüftungswärmeverluste ein (DIN V 18599-2). Andererseits fließen die Strahlungsdaten in die Berechnung der passiven solaren Wärmequellen ein, so dass sich diese Einflüsse überlagern. Aus diesem Grund soll zunächst die Erzeugernutzwärme Heizung der Mustergebäude, anhand derer diese beiden Einflüsse am besten erkennbar werden, untersucht werden.

Wohngebäude

Alle Auswertungen erfolgen spezifisch bezogen auf einen Quadratmeter Gebäudenutzfläche bei Wohngebäuden bzw. die Nettogrundfläche bei den Nichtwohngebäuden.

Abbildung 46 zeigt die Erzeugernutzwärmeabgabe der Heizung für das EFH-Mustergebäude mit den festgelegten Varianten. Betrachtet man die Ergebnisse, die sich auf Basis der lokalen Klimadaten ergeben, so lässt sich deren Einfluss auf den Heizwärmebedarf klar erkennen: bezogen auf die Basisvariante (E_0) sinkt die Heiz-Erzeugernutzwärme um 24% (Düsseldorf), um 5% (Hamburg) und um 22% (Heidelberg) bzw. steigt um 13% (Hof). Für München ergibt sich keine Verschiebung, weil sich hier der Einfluss von kälterem Klima durch die höhere Einstrahlung ausgleicht.

Abbildung 46: Erzeugernutzwärme Heizung – Einfamilienhaus



Bei den Varianten lässt sich im Vergleich zur Basisvariante erkennen, dass die Veränderung der Bauweise einen vernachlässigbar geringen Einfluss von ca. 1 % Erhöhung bei leichter im Vergleich zur schweren Bauweise hat. Den im Verhältnis noch größten Bauschwere-Einfluss weist der Standort München mit 1,3 % auf. Die Erhöhung des Fensterflächenanteils von 20 auf 40 % hat mit einer Reduzierung des Wärmebedarfs gegenüber der jeweiligen Basisvariante um 1 bis 5 % ebenfalls einen sehr geringen Einfluss. Hier werden die erhöhten Transmissionsverluste durch die erhöhten solaren Gewinne leicht überkompensiert. Dies wird auch daran deutlich, dass in München mit hohen solaren Gewinnen die höchste Unterschreitung der Basisvariante von 5 % erreicht wird. Eine leichte Erhöhung um 0,4 % weist als einzige Klima-Variante die mit dem REF-Klima auf.

Die KfW 40-Variante weist einen im Mittel um gut 40 % geringere Erzeugernutzwärmebedarf im Vergleich zu E_0 auf. Bei dieser Variante haben die Klimadaten noch einen größeren Einfluss: bezogen auf die KfW40-Variante mit Referenzklima sinkt $Q_{h,outg}$ um 27 % (Düsseldorf), 6 % (Hamburg), 24 % (Heidelberg) und 2% (München), wobei die Steigerung mit 13 % (Hof) gleichbleibt. Die gleiche Tendenz zeigen die Varianten mit einer Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, welche um rund ein Viertel im Vergleich zur jeweiligen Basisvariante sinken. Die Variante mit Wärmepumpe sollte mit der jeweiligen Basisvariante identisch sein, hier steigt $Q_{h,outg}$ jedoch jeweils um 3 % an. Dies hängt mit dem Einfluss von Wärmequellen der Heiztechnik-Komponenten im Keller zusammen, der sich innerhalb der thermischen Hülle befindet.

Bei der Auswertung der Heiz-Erzeugernutzwärme wird die Variante STW nicht dargestellt, da diese nahezu identisch mit der Basisvariante E_0 ist. Jedoch weist auch diese aufgrund von Wärmequellen-Effekten der Heiztechnik-Komponenten einen geringen Anstieg von 1,3 bis 1,9 % auf.

Bei Variante STH führt durch die solarthermische Heizungsunterstützung zu einer Unterschreitung der jeweiligen Basisvariante um 8 % (REF-Klima) bis 12 % (MUE).

Eine Auswertung der Monatswerte der Heiz-Erzeugernutzwärme zeigt Abbildung 47 für die Basisvariante E_0. Der monatliche Verlauf folgt prinzipiell dem Verlauf der mittleren monatlichen Außentemperatur. Es sind aber kleine Verschiebungen durch Effekte der Solarstrahlung erkennbar. So weist die Nutzwärme beim Standort München im Dezember einen geringeren Heizwärmebedarf als die REF-Klima-Variante auf, obwohl es die kältere Monatsmitteltemperatur aufweist. Ebenso hat München im März und April trotz niedrigerer Monatsmitteltemperaturen einen niedrigeren Wärmebedarf als Hamburg.

Abbildung 47: Erzeugernutzwärme Heizung (monatlich) – Einfamilienhaus Basisfall

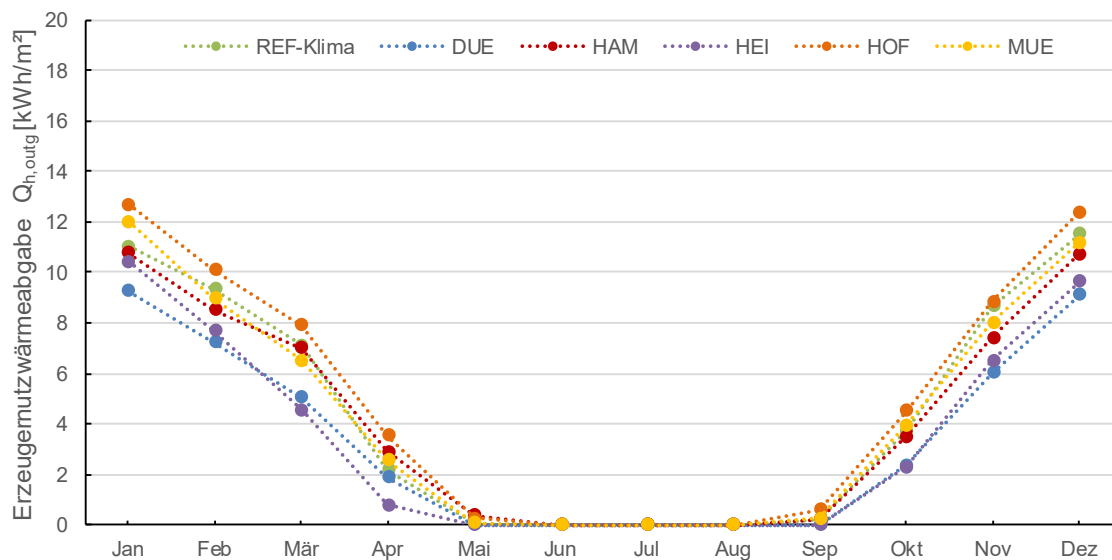
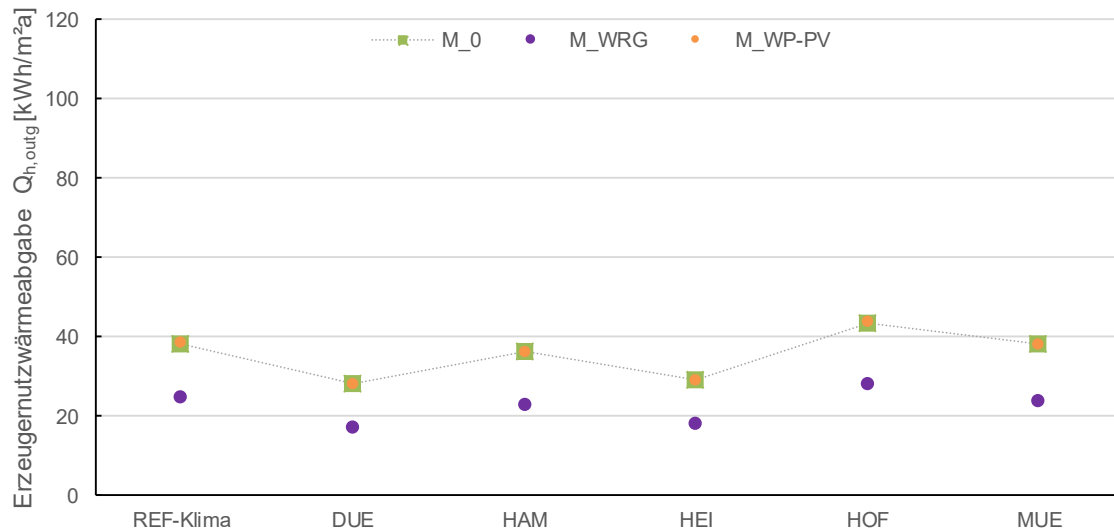


Abbildung 48 zeigt die Erzeugernutzwärmeabgabe der Heizung für das MFH-Mustergebäude für die Basisvariante (M_0) und die Varianten mit Wärmerückgewinnung (M_WRG) und Wärmepumpe (M_WP-PV). Wie zu erwarten ist, liegen die Varianten M_0 und M_WP-PV bei der Erzeugernutzwärmeabgabe Heizung nahezu gleichauf. Aufgrund von geringeren Wärmequellen-Effekten von Heiztechnik-Komponenten innerhalb der thermischen Hülle bei der Wärmepumpen-Variante steigt die

Erzeugernutzwärmeabgabe jeweils um 0,5 bis 0,6 %. Im Vergleich zum EFH zeigen die Varianten mit Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung einen noch deutlicheren Rückgang beim Wärmebedarf. Die Reduktion liegt zwischen 35 % (REF-Klima, HOF) und 39% (DUE) bezogen auf die jeweilige Basisvariante. Absolut gesehen ist die Einsparung bei den „warmen Standorten“ (DUE, HEI) jedoch kleiner 11 kWh/m²a, für den Standort Hof mit 15 kWh/m²a am höchsten.

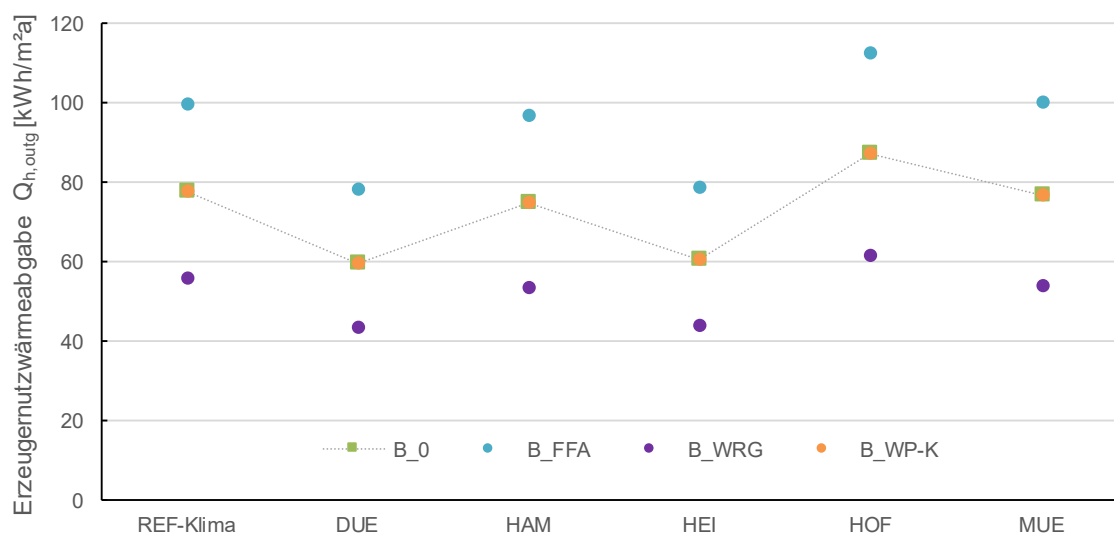
Abbildung 48: Erzeugernutzwärme Heizung – Mehrfamilienhaus



Nichtwohngebäude

Im Folgenden wird die Erzeugernutzwärmeabgabe Heizung ($Q_{h,outg}$) für die Nichtwohngebäude betrachtet. Abbildung 49 zeigt die Ergebnisse für das Büro-Mustergebäude. Auch hier sind die Auswirkungen der ortsgenauen Klimadaten deutlich sichtbar: bezogen auf die Basisvariante (B_0) sinkt $Q_{h,outg}$ um 22 % (DUE), um 3 % (HAM), um 22 % (HEI) und 1 % (MUE) bzw. steigt um 13% (HOF).

Abbildung 49: Erzeugernutzwärme Heizung – Büro

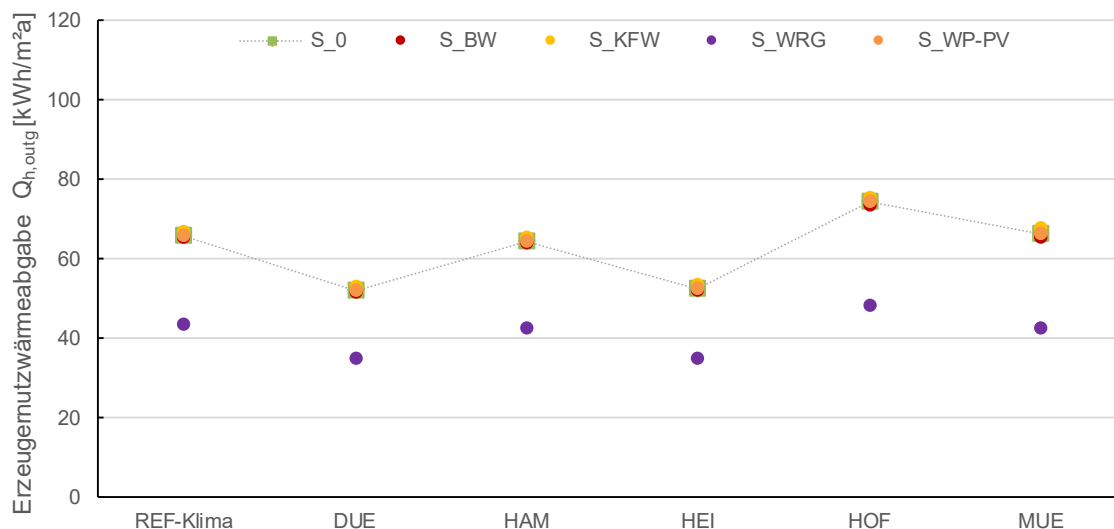


Auffallend ist hier die Variante mit Erhöhung des Fensterflächenanteils von 45 auf 75% (B_FFA). Diese führt zu einer Steigerung um rund 30%. Ursache ist die Erhöhung der Transmissionswärmeverluste durch den höheren Fensterflächenanteil. Im Gegensatz zu den Wohngebäuden können diese nicht durch eine Erhöhung der solaren Gewinne kompensiert werden, da zur Einhaltung der Anforderungen des sommerlichen Wärmeschutzes der g-Wert der Verglasung reduziert werden muss. Die RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung hingegen führt zu einer $Q_{h,outg}$ -Minimierung um 27 bis 30 %. Auch hier ist mit 23 kWh/m²a die größte absolute Einsparung bei dem Klima von Hof festzustellen.

In Abbildung 50 sind die Ergebnisse der Heiz-Erzeugernutzwärmeabgabe für die Schule dargestellt. Es zeigen sich die typischen Verschiebungen, die zwischen -21 % (DUE) und +13 % (HOF) liegen.

Bei der Variante mit leichter Bauweise ergibt sich im Vergleich zum Basisfall mit schwerer Bauweise eine minimale Reduzierung des Heizwärmebedarfs. Eigentlich wurde hier aufgrund der geringeren Speichermassen – analog dem Ergebnis bei der Variante E_BW – eine leichte Erhöhung erwartet. Eine Analyse ergab, dass die verschiedenen Zonen unterschiedlich auf die Reduzierung der Speicherkapazität reagieren, bei manchen wirkt sich die geringere Speicherkapazität positiv aus (Nebenflächen, Sanitärräume, Sonstige Aufenthaltsflächen), bei anderen negativ aus (Klassenzimmer, Küche). Dieser Effekt wird über thermische Simulationen näher untersucht (s. Kapitel 7.2).

Abbildung 50: Erzeugernutzwärme Heizung – Schule

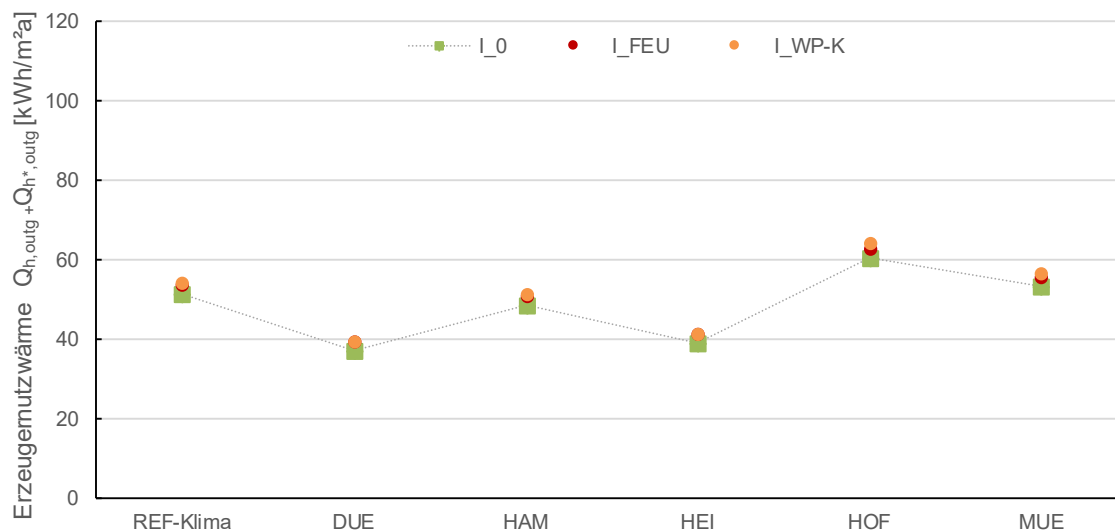


Erstaunlich ist ferner, dass die KfW-Variante zu keiner Senkung von $Q_{h,outg}$ führt. Durch die angesetzte Fernwärme war hier im Vergleich zur Basisvariante nur eine Verbesserung der mittleren transparenten U-Werte nötig, was durch die Umstellung von 2-fach auf 3-fach Verglasung erreicht wird. Diese hat jedoch aus technischen Gründen einen etwas geringeren g-Wert von 0,5 gegenüber 0,6. Die geringe H'_T -Verbesserung von 0,36 auf 0,32 steht somit auch geringeren solaren Gewinnen gegenüber, so dass sich insgesamt sogar eine $Q_{h,outg}$ -Erhöhung von 1 bis 2 % ergibt.

In Abbildung 51 sind die Ergebnisse für die Industriehalle dargestellt. Da die Wärme in diesem Fall nicht nur über ein statisches Heizsystem, sondern auch über die RLT-Anlage eingebracht wird, ist die

Summe aus $Q_{h,outg}$ und $Q_{h^*,outg}$ dargestellt. Auch hier sind die Klimaeinflüsse klar erkennbar. Eigentlich wäre davon auszugehen, dass die Varianten mit Befeuchtung und die mit Wärmepumpen die gleiche Erzeugernutzwärmeabgabe aufweisen, aber Effekte durch Wärmequellen von Technikkomponenten führen zu einer Erhöhung zwischen 4 und 6 % im Vergleich zur jeweiligen Basisvariante.

Abbildung 51: Erzeugernutzwärme Heizung – Industriehalle



Fazit

Insgesamt zeigen sich im Vergleich zur Berechnung mit EnEV-Referenzklima die größten Klimaeinflüsse bei den Gebäuden MFH und Industriehalle mit jeweils minus 27 % (DUE) für die Basisvarianten. Die größte Senkung ergibt sich immer für die Berechnung mit den Klimadaten von Düsseldorf. Bei der Schule (S_0) ist die Abweichung mit minus 21 % (DUE) am geringsten. Die höchste Steigerung weist immer der Standort Hof auf, bei welchem diese bei der Industriehalle (I_0) mit plus 18 % am höchsten liegt. Bei allen anderen untersuchten Gebäuden liegt die Steigerung in Hof bei 13 %. Dies hängt damit zusammen, dass das kältere Klima bei den anderen Gebäuden etwas durch zunehmende solare Gewinne kompensiert werden kann, was bei der Industriehalle mit nur 2 % Fensterflächenanteil nicht der Fall ist.

5.2 Erzeugernutzwärme Trinkwarmwasser

Nachfolgend werden die Klimaeinflüsse auf die Erzeugernutzwärme zur Trinkwarmwasserbereitung ($Q_{w,outg}$) untersucht. Die Auswertung beschränkt sich auf die Varianten mit Solarthermie. Bei allen anderen Varianten haben die Klimadaten keine Auswirkung auf die Erzeugernutzwärme Trinkwarmwasser. Um die Einsparung im Vergleich zu Varianten ohne Solarthermie zu veranschaulichen, wird ergänzend die TWW-Erzeugernutzwärme der jeweiligen Basisvariante in grau dargestellt. Um einen Vergleich mit den Strahlungsdaten zu ermöglichen (vgl. Abbildung 44), wird eine monatliche Auswertung gewählt. Allerdings ist bei dieser Darstellung auch die unterschiedliche Tagesanzahl je Monat erkennbar.

Bei den Diagrammen zu beachten, dass sich die Auswertung nicht spezifisch auf die Kollektorfläche, sondern wie in vorangegangenen Abbildungen auch, auf die Gebäudenutzfläche bzw. Nettogrundfläche beziehen.

In Abbildung 52 wird die Trinkwarmwasser-Erzeugernutzwärme für die Variante E_STW, in Abbildung 53 für die Variante E_STH dargestellt. Erkennbar wird, dass Standorte mit hoher Einstrahlung einen geringeren Wärmebedarf für die TWW-Bereitung aufweisen.

Abbildung 52: Erzeugernutzwärme Trinkwarmwasser (monatlich) – EFH mit Solarthermie zur TWW-Bereitung (E_STW)

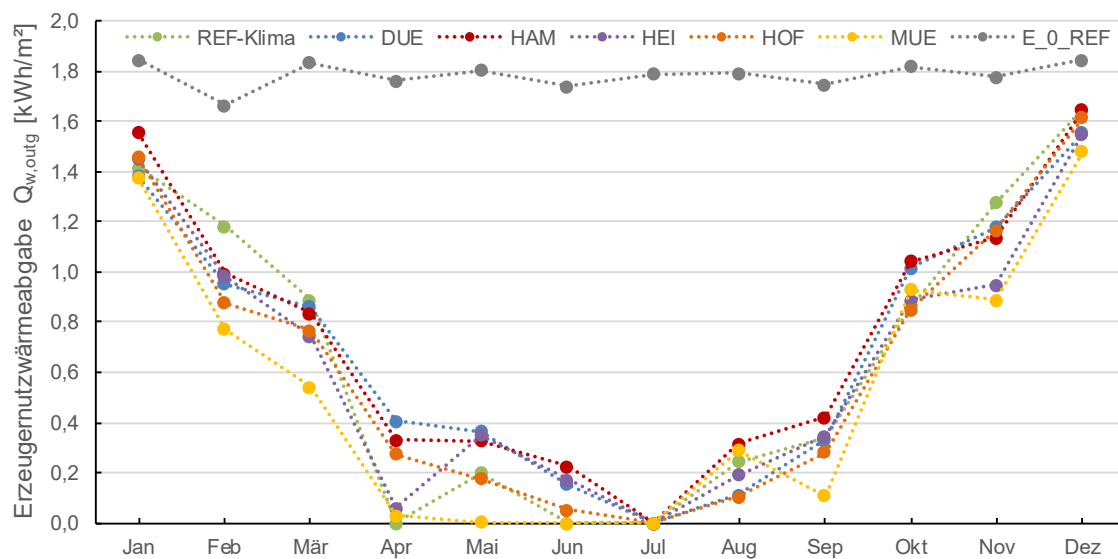
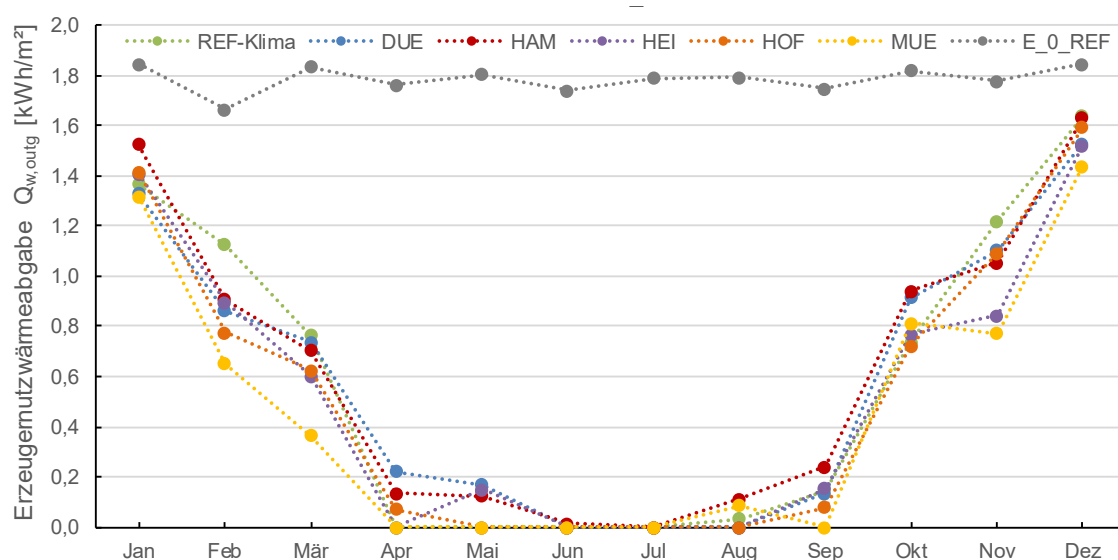


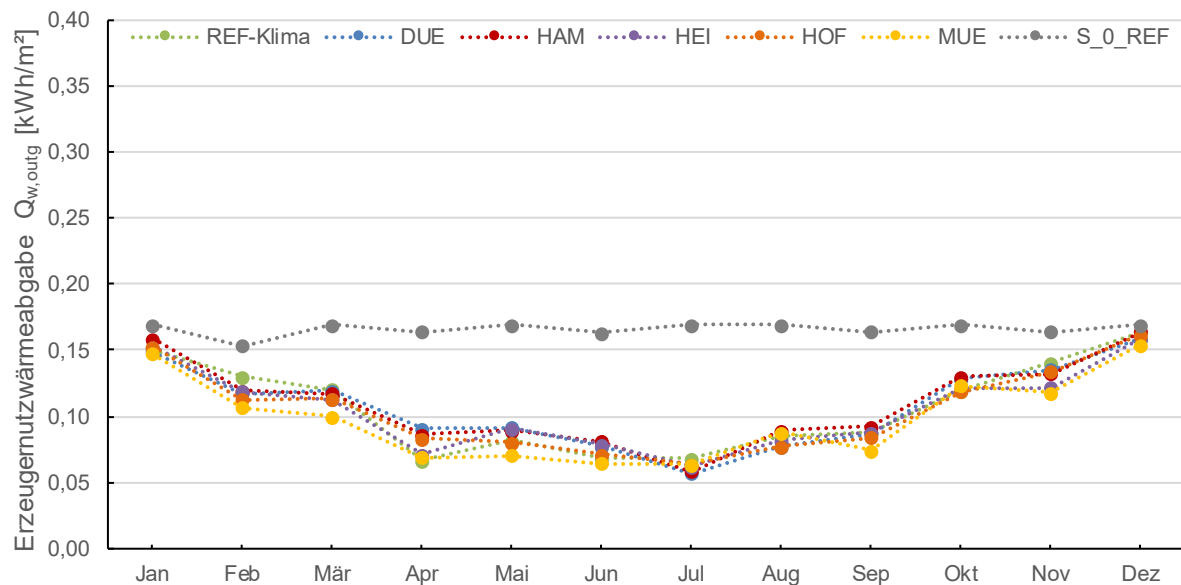
Abbildung 53: Erzeugernutzwärme Trinkwarmwasser (monatlich) – EFH mit Solarthermie für TWW/Heizung (E_STH)



Die größere Kollektorfläche bei der Variante E_STH führt zu einer weiteren Reduzierung der Erzeugernutzwärme. Der Einfluss der Klimadaten ist analog der Variante E_STW erkennbar.

Des Weiteren wird in Abbildung 54 die Auswertung der Schul-Variante S_STW dargestellt. Es ist zu beachten, dass wegen des Bezugs auf die Nettogrundfläche eine andere Skalierung der Erzeugernutzwärme gewählt wird.

Abbildung 54: Erzeugernutzwärme Trinkwarmwasser (monatlich) – Schule mit Solarthermie für TWW-Bereitung (S_STW)



In den beiden nachfolgenden Tabellen sind die solaren Deckungsanteile bzw. die absoluten Werte für die TWW-Erzeugernutzwärme spezifisch je m² Gebäudenutzfläche bzw. Nettogrundfläche zusammengefasst.

Tabelle 24: Trinkwarmwasser - Solarer Deckungsanteil in Abhängigkeit des Standorts

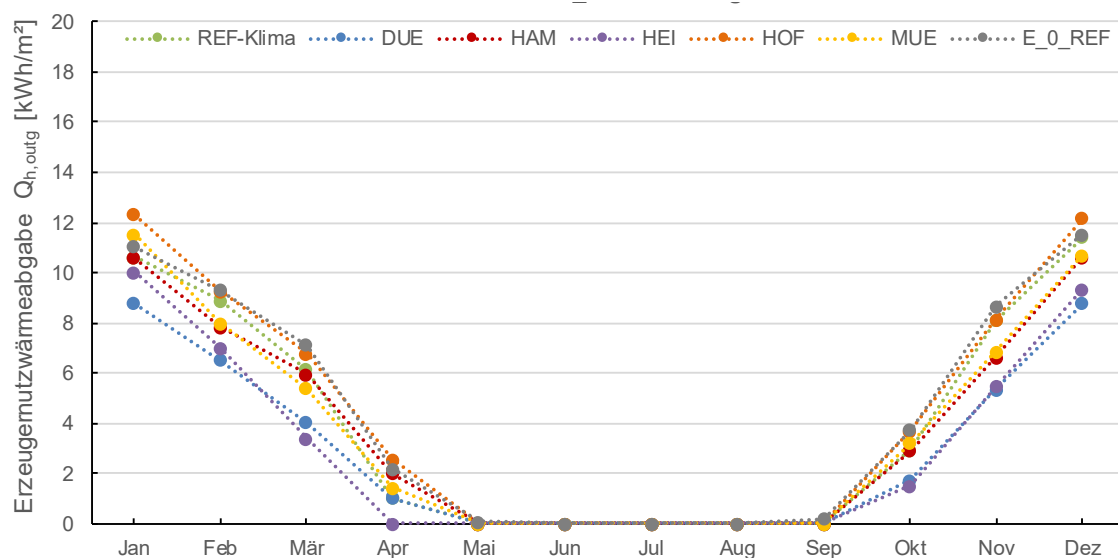
	REF-Klima	DUE	HAM	HEI	HOF	MUE
E_STW	60%	59%	57%	62%	63%	68%
E_STH	65%	65%	64%	69%	69%	73%
S_STW	36%	35%	34%	37%	37%	41%

Tabelle 25: Erzeugernutzwärme Trinkwarmwasser [kWh/m²a]

	REF-Klima	DUE	HAM	HEI	HOF	MUE
E_0	21,4	21,4	21,4	21,3	21,5	21,4
E_STW	8,1	8,3	8,8	7,7	7,6	6,4
E_STH	7,0	7,0	7,4	6,3	6,4	5,4
S_0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
S_STW	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2

Ergänzend wird in Abbildung 55 noch die Heiz-Erzeugernutzwärme im monatlichen Verlauf dargestellt. Insgesamt ergibt sich ein jährlicher Deckungsanteil von 10 % (REF-Klima) bis 14 % (MUE).

Abbildung 55: Erzeugernutzwärme Heizung (monatlich) – Einfamilienhaus mit Solarthermie für TWW/Heizung (E_STH)



5.3 Erzeugernutzkälte

Die mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen fließen außerdem für den Kühlfall in die Bilanzierung der Lüftungswärmequellen ein. Nachfolgend werden die spezifischen Ergebnisse für die Erzeugernutzkälteabgabe $Q_{c,outg}$ dargestellt. Abbildung 56 zeigt die Ergebnisse für das Bürogebäude in der Variante mit Wärmepumpe und statischer Kühlung (B_WP-K). Die warmen Standorte Düsseldorf und Heidelberg haben im Vergleich zur Berechnung mit REF-Klima einen höheren Kühlbedarf (DUE +16%, HEI +34%), die kühleren einen niedrigeren (HAM -19%, HOF -24%).

Abbildung 56: Erzeugernutzkälte – Büro mit Wärmepumpe und Kühlung (B_WP-K)

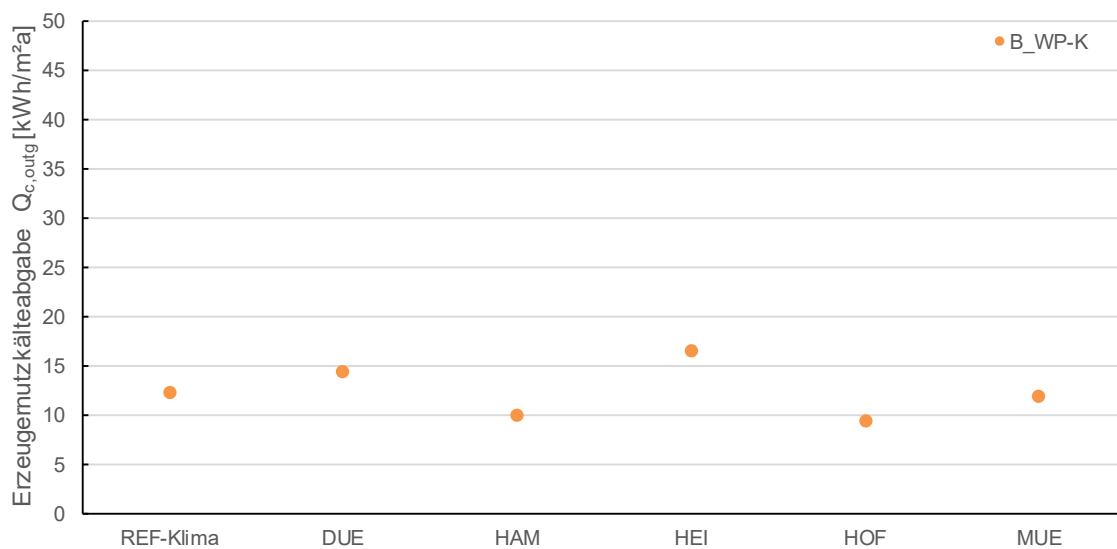
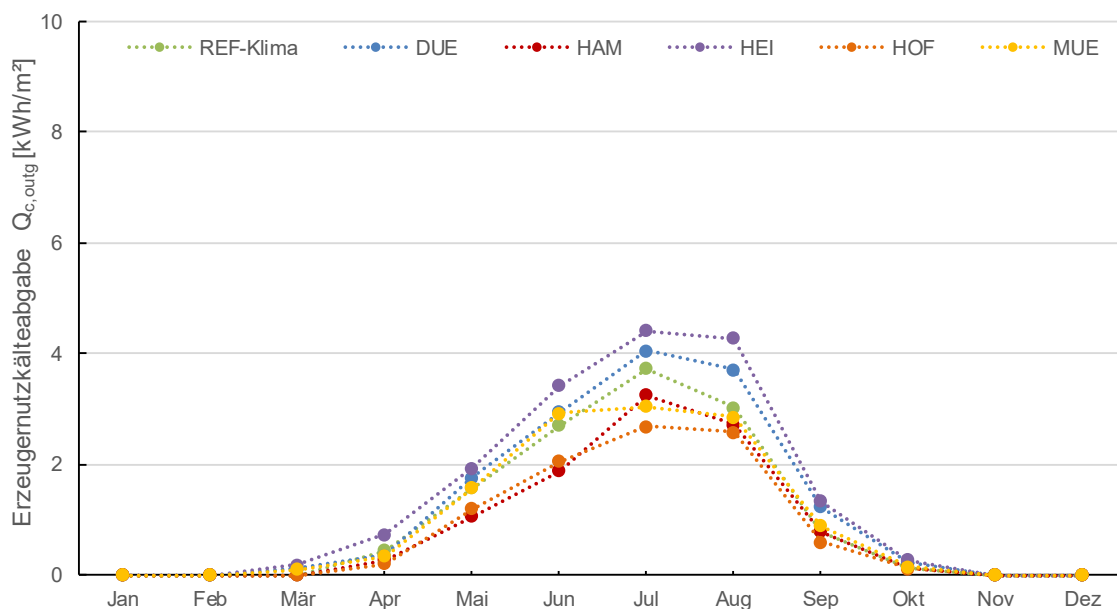


Abbildung 57 zeigt ergänzend den monatlichen Verlauf der Erzeugernutzkälte (monatlich) für diese Variante.

Abbildung 57: Erzeugernutzkälte (monatlich) – Büro mit Wärmepumpe und Kühlung (B_WP-K)

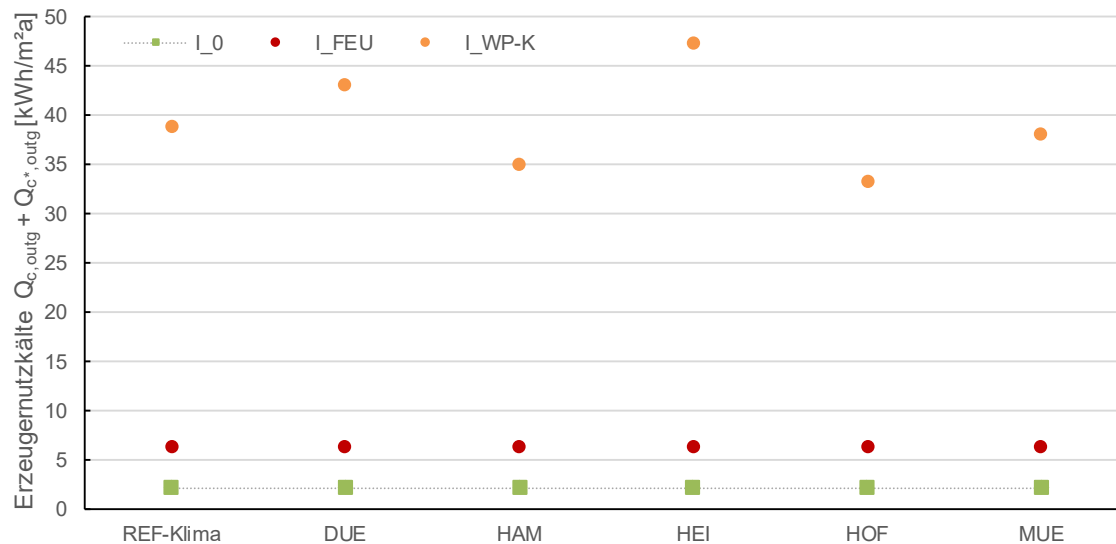


Bei der Industriehalle ist auch eine Kühlung vorgesehen, allerdings keine vollständige Kühlung, sondern nur eine Zuluftkühlung über die RLT-Anlage (Konstantvolumenanlage), d.h. es wird aus Komfortgründen die Zuluft gekühlt, aber bei weitem nicht der gesamte Kühlbedarf gedeckt.

Abbildung 58 sind die Ergebnisse der Industriehallen-Varianten zu entnehmen. Bei der Basisvariante wird $Q_{c^*,outg}$ (Erzeugernutzkälteabgabe für die RLT-Kühlfunktion), bei der Variante I_FEU mit zusätzlicher Dampfbefeuchtung die Summe aus $Q_{c^*,outg}$ und $Q_{m^*,outg}$ (Erzeugernutzkälteabgabe für die

Befeuchtung) und bei der Variante I_WP-K die Erzeugernutzkälteabgabe für das statische Kühlsystem und die RLT-Kühlfunktion dargestellt.

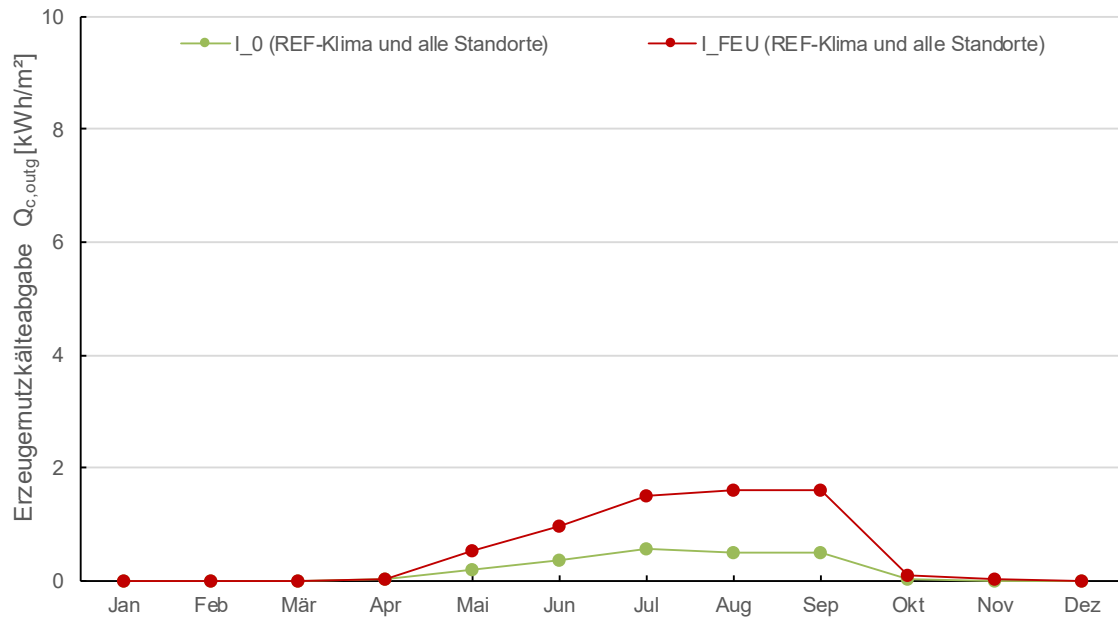
Abbildung 58: Erzeugernutzkälte – Industriehalle ohne/mit Dampfzufuhr (I_0/I_FEU) und statischer Kühlung (I_WP-K)



Da die Kälteeinbringung durch die RLT-Anlage begrenzt ist, sind die Erzeugernutzkälteabgaben für die RLT-Kühlfunktion unabhängig vom Klima. Auch die Variante mit Befeuchtung ist für alle Klimata gleich, weil in die Berechnung der Dampfzufuhr auf das standardisierte Kennwertverfahren Teil 3 DIN V 18599 zurückgegriffen wird. Nur bei der Variante mit statischer Kühlung zur vollständigen Deckung der Kühllasten sind die Unterschiede aufgrund der unterschiedlichen Klimadatensätze erkennbar (DUE +11%, HAM -10%, HEI +22%, HOF -14%, MUE -2%).

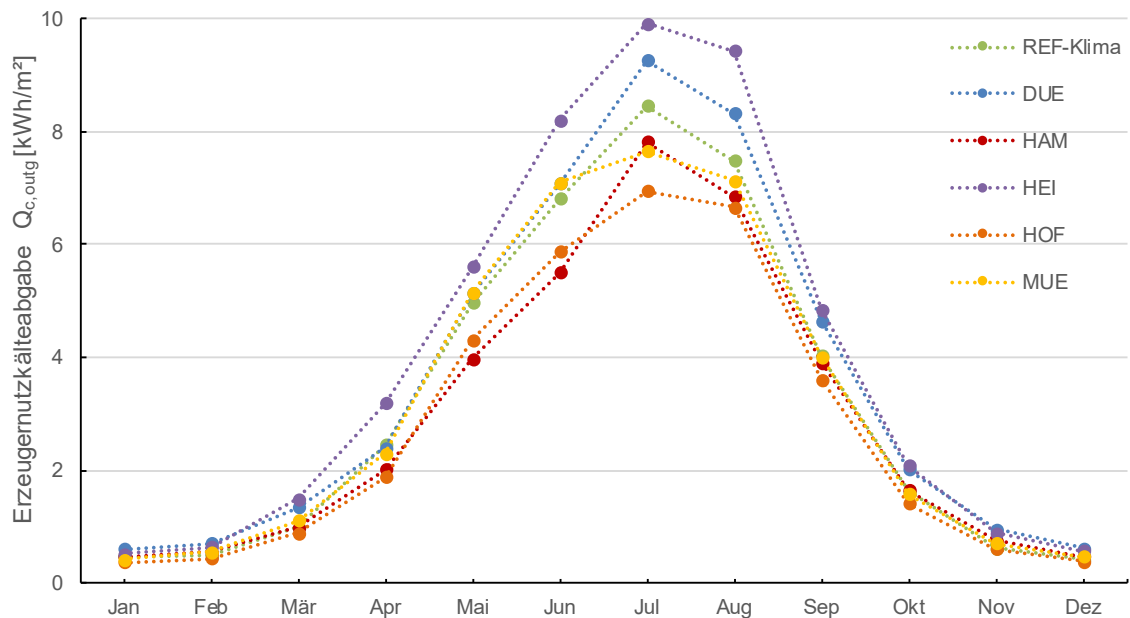
Nachfolgende Grafiken zeigen ergänzend noch den monatlichen Verlauf: Abbildung 59 für die Varianten I_0 und I_FEU, Abbildung 60 für I_WP-K. Die monatliche Verteilung der Nutzkälte bei der Basisvariante zeigt einen plausiblen Bedarf von Mai bis Oktober mit einem Maximum im Juli. Der Verlauf bei der Variante I_FEU folgt diesem Verlauf, bei diesem ist dies jedoch nicht plausibel, da die Luft tatsächlich im Winter befeuchtet werden muss (Heizperiode) und nicht im Sommer bei hoher Außenluftfeuchte. Vermutlich ist die Ursache hierfür, dass die DIN V 18599-Berechnung der Befeuchtung über das Kennwertverfahren an die Kälte-Berechnung gekoppelt ist.

Abbildung 59: Erzeugernutzkälte (monatlich)– Industriehalle ohne/mit Dampfbefeuchtung (I_0/I_FEU)



Bei der monatlichen Darstellung der Variante I_WP-K hingegen lassen sich die Klimaeffekte auf die Nutzkälteabgabe klar erkennen.

Abbildung 60: Erzeugernutzkälte (monatlich)– Industriehalle mit statischer Kühlung (I_WP-K)



5.4 PV-Stromertrag

Für die Varianten mit PV-Anlage soll eine Auswertung des nach DIN V 18599:2011 errechneten PV-Ertrages und des nach §5 EnEV anrechenbaren PV-Ertrages erfolgen.

Es ist zu beachten, dass sich die spezifischen Werte nicht auf die PV-Fläche, sondern wie in den Auswertungen davor auf die Gebäudenutzfläche bzw. die Nettogrundfläche beziehen.

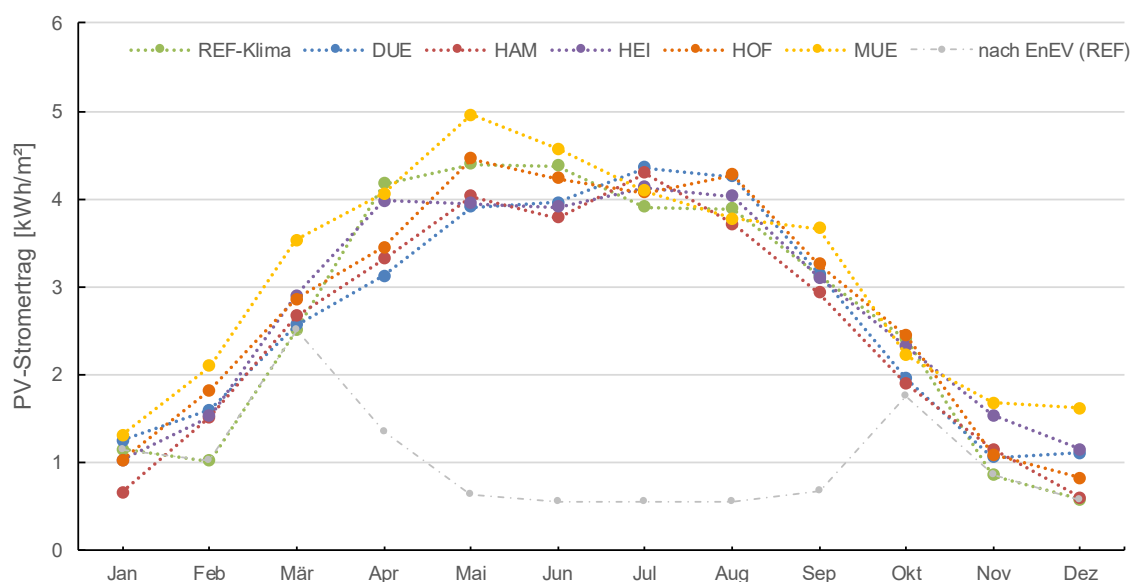
Die Tabelle 26 weist den berechneten, jährlichen spezifischen PV-Stromertrag für die EFH-Variante mit PV aus und gibt den nach §5 EnEV anrechenbaren PV-Ertrag an. Es wird ersichtlich, dass bei den warmen Standorten aufgrund des geringeren Strombedarfs für die Wärmepumpe nach EnEV ein geringerer Ertrag anrechenbar ist, obwohl der PV-Ertrag höher ist. Für den Standort München hingegen ergibt sich durch die hohe Einstrahlung der höchste Ertrag, durch den kalten Winter und den Wärmepumpenstrombedarf aber auch der höchste anrechenbare PV-Ertrag.

Tabelle 26: PV-Ertrag (E_{WP-PV}) [kWh/m²a]

	REF-Klima	DUE	HAM	HEI	HOF	MUE
PV-Ertrag	32,4	32,3	30,6	33,6	33,8	37,6
anrechenb. PV-Ertrag (§5 EnEV)	12,2	12,7	13,0	12,4	14,6	15,8

Abbildung 61 zeigt den dazugehörigen monatlichen spezifischen PV-Stromertrag. Grau gestrichelt ist zudem der nach §5 EnEV anrechenbare PV-Ertrag für die Variante mit REF-Klima dargestellt.

Abbildung 61: PV-Stromertrag (monatlich) – Einfamilienhaus (E_{WP-PV})



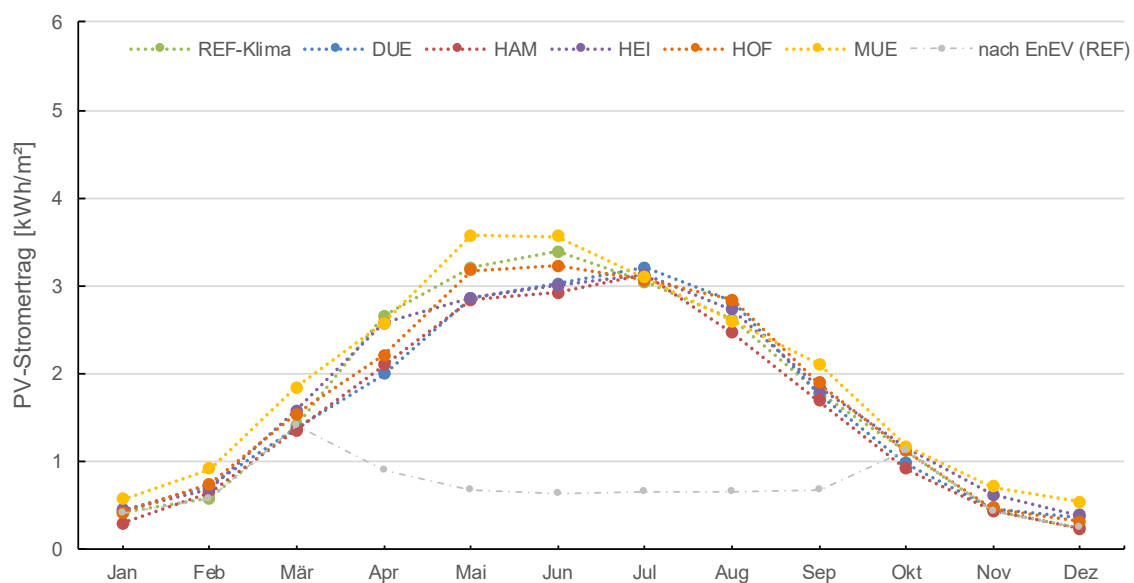
Ebenso geben Tabelle 27 bzw. Abbildung 62 die PV-Ergebnisse für die MFH-Variante mit PV an.

Tabelle 27: PV-Ertrag (M_WP-PV) [kWh/m²a]

	REF-Klima	DUE	HAM	HEI	HOF	MUE
PV-Ertrag	20,9	20,0	19,0	21,0	21,0	23,3
anrechenb. PV-Ertrag (§5 EnEV)	8,4	8,3	8,2	8,3	9,0	9,7

Bei der monatlichen Auswertung zeigen sich im Vergleich zum EFH geringe Verschiebungen. Diese hängen mit der unterschiedlichen Ausrichtung und Neigung der PV-Anlagen zusammen (EFH in 45° geneigtes Süd-Dach integriert bzw. MFH/Schule aufgeständert auf Flachdach 10° Ost/West – nach DIN V 18599 eingegeben mit 0°)

Abbildung 62: PV-Stromertrag – Mehrfamilienhaus (M_WP-PV)

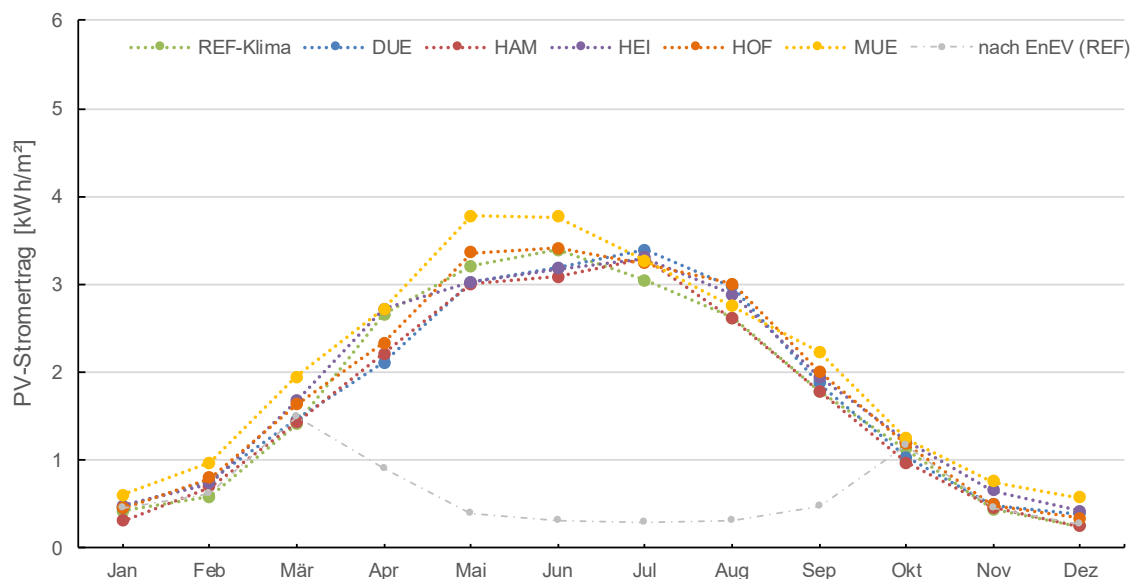


In Tabelle 28 und Abbildung 63 sind die entsprechenden Ergebnisse für die Schul-Variante mit PV dargestellt.

Tabelle 28: PV-Ertrag (S_WP-PV) [kWh/m²a]

	REF-Klima	DUE	HAM	HEI	HOF	MUE
PV-Ertrag	22,1	21,1	20,1	22,2	22,2	24,6
anrechenb. PV-Ertrag (§5 EnEV)	7,1	6,9	7,1	6,7	8,0	8,6

Abbildung 63: PV-Stromertrag – Schule (S_WP-PV)



Insgesamt ist beim Schulgebäude mit 32% des PV-Ertrags ein geringerer Ertrag nach EnEV anrechenbar als beim MFH mit 40 %. Dies liegt an den Sommermonaten, in denen bei der Schule, trotz des Beleuchtungsstrombedarfs beim NWG, deutlich weniger anrechenbar ist.

Hierbei ist zu beachten, dass in die Auswertungen noch keine der zu erwartenden Änderungen in der Berechnung des PV-Stromertrags nach DIN V 18599-9:2018 und des nach GEG-Gesetzentwurf vom 23.10.2019 (Bundesregierung 2019) anrechenbaren PV-Stroms eingeflossen sind.

Es soll aber darauf hingewiesen werden, dass sich in der DIN V 18599-9:2018 Änderungen in der Berechnung sowohl was den Ansatz von Standardwerten des Peakleistungskoeffizienten als auch der Berechnung von Stromspeichern ergeben.

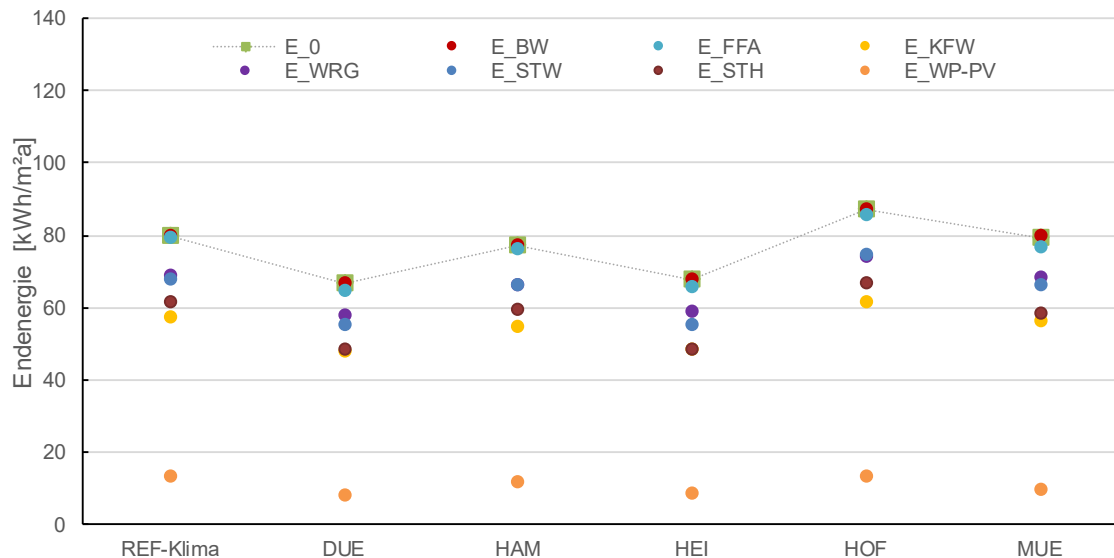
Im GEG-Gesetzentwurf (Bundesregierung 2019) wird ein komplett anderes Verfahren der PV-Berücksichtigung beschrieben. Hiernach soll es auch eine Begrenzung der Anrechenbarkeit von PV-Strom bei 20 % bzw. 25 % (bei Einsatz eines Stromspeichers) des Primärenergiebedarfs Referenzgebäudes geben.

5.5 Endenergiebedarf

Im nächsten Schritt werden die Endenergiebedarfswerte ausgewertet. Nachfolgend werden die Endenergie-Ergebnisse für das Einfamilienhaus ausführlich beschrieben und anschließend noch Besonderheiten von anderen Mustergebäudeberechnungen herausgegriffen.

Abbildung 64 zeigt die Endenergiebedarfswerte für die Varianten des Einfamilienhauses.

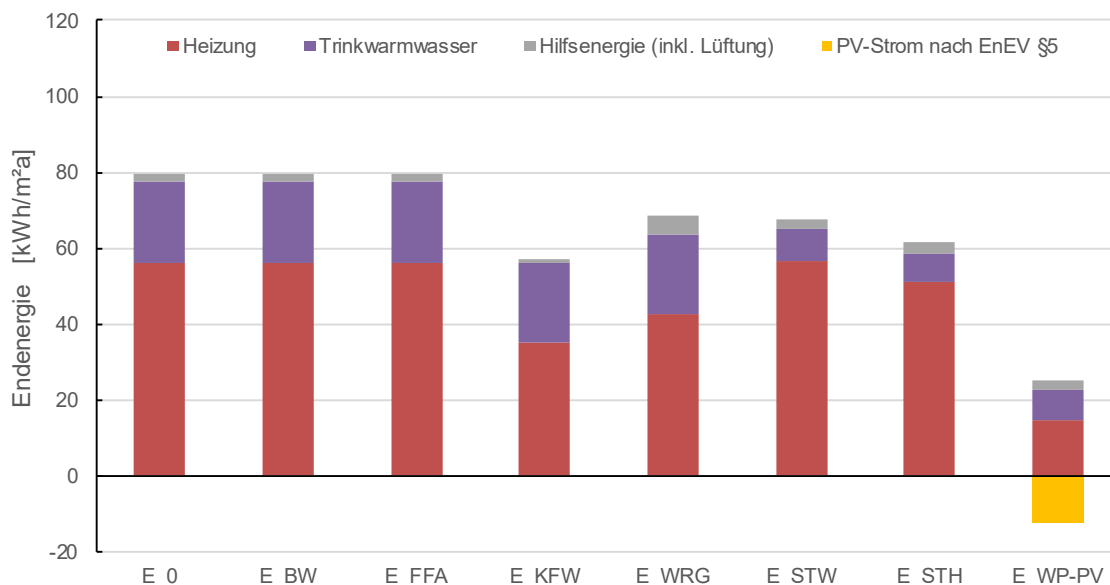
Abbildung 64: Endenergie – Einfamilienhaus



Analog der Nutzwärme-Auswertung sind die Klimaeinflüsse auch bei der Endenergieauswertung erkennbar. Die Wärmepumpen-Varianten mit PV weisen den mit Abstand geringsten Endenergiebedarf auf. Ursache hierfür ist die Umrechnung der Erzeugernutzwärme über die Jahresarbeitszahl auf die Endenergie (Wärmepumpenstrom) und der Abzug des anrechenbaren PV-Stroms. Vergleicht man die Variante Wärmerückgewinnung (E_WRG) mit der TWW-Solaranlage (E_STW), die beim REF-Klima einen nahezu identischen Endenergiebedarf aufweisen, so lässt sich feststellen, dass der Endenergiebedarf mit Wärmerückgewinnung bei den warmen Standorten (DUE, HEI) nicht entsprechend gesenkt werden kann. Hintergrund ist der geringere Anteil an zurückgewonnener Wärme an den warmen Standorten bei identischem Strombedarf für die mechanische Lüftung an allen Standorten.

Um die Endenergieergebnisse besser verstehen zu können, wird in Abbildung 65 für das EnEV-Referenzklima die Aufteilung der Endenergie-Anteile für alle Varianten gezeigt.

Abbildung 65: Endenergie-Anteile – Einfamilienhaus (REF-Klima)



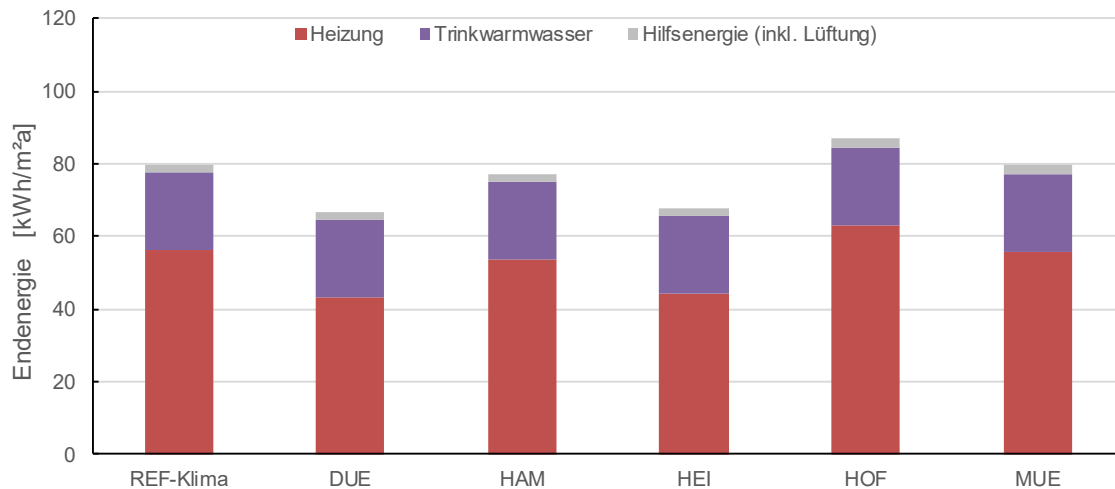
Vom Balken der Variante E_WP-PV ist noch der negative Balken des anrechenbaren PV-Strom abzuziehen, um das Endenergie-Ergebnis zu ermitteln. In Tabelle 29 sind ergänzend zur grafischen Darstellung die absoluten und prozentualen Endenergie-Anteile angegeben.

Tabelle 29: Endenergie-Anteile (REF-Klima)

	E_0	E_BW	E_FFA	E_KFW	E_WRG	E_STW	E_STH	E_WP-PV
Heizung	56 kWh/m²a (70%)	56 kWh/m²a (71%)	56 kWh/m²a (70%)	35 kWh/m²a (61%)	42 kWh/m²a (62%)	57 kWh/m²a (84%)	51 kWh/m²a (83%)	15 kWh/m²a (58%)
TWW	21 kWh/m²a (27%)	21 kWh/m²a (27%)	21 kWh/m²a (27%)	21 kWh/m²a (3%)	21 kWh/m²a (31%)	8 kWh/m²a (12%)	7 kWh/m²a (11%)	8 kWh/m²a (31%)
Hilfsenergie	2 kWh/m²a (3%)	2 kWh/m²a (2%)	2 kWh/m²a (3%)	1 kWh/m²a (1%)	5 kWh/m²a (7%)	3 kWh/m²a (4%)	3 kWh/m²a (5%)	3 kWh/m²a (10%)
PV-Strom nach EnEV §5	-	-	-	-	-	-	-	-12 kWh/m²a

Abbildung 66 veranschaulicht die Endenergieaufteilung für die Basisvariante an den untersuchten Standorten.

Abbildung 66: Endenergie-Anteile – Einfamilienhaus (E_0)



Während die Anteile für TWW und Hilfsenergie annähernd konstant sind, sind die Klimaeinflüsse beim Endenergiebedarf für die Heizung erkennbar. Tabelle 30 sind ergänzend die Endenergie-Anteile der verschiedenen Standorte zu entnehmen.

Tabelle 30: Endenergie-Anteile – Einfamilienhaus (E_0)

	REF	DUE	HAM	HEI	HOF	MUE
Heizung	56 kWh/m²a (70%)	43 kWh/m²a (65%)	54 kWh/m²a (69%)	44 kWh/m²a (65%)	63 kWh/m²a (72%)	56 kWh/m²a (70%)
TWW	21 kWh/m²a (27%)	21 kWh/m²a (32%)	21 kWh/m²a (28%)	21 kWh/m²a (32%)	21 kWh/m²a (25%)	21 kWh/m²a (27%)
Hilfsenergie	2 kWh/m²a (3%)	2 kWh/m²a (3%)	2 kWh/m²a (3%)	1 kWh/m²a (3%)	2 kWh/m²a (3%)	2 kWh/m²a (3%)

Abbildung 67 zeigt die Endenergieergebnisse für die Varianten des Mehrfamilienhauses. Auch hier sind die Klimaeinflüsse bei den Varianten M_0 und M-WRG gut sichtbar. Bei der WP-Variante mit PV hingegen sind diese geringer.

Abbildung 67: Endenergie – Mehrfamilienhaus

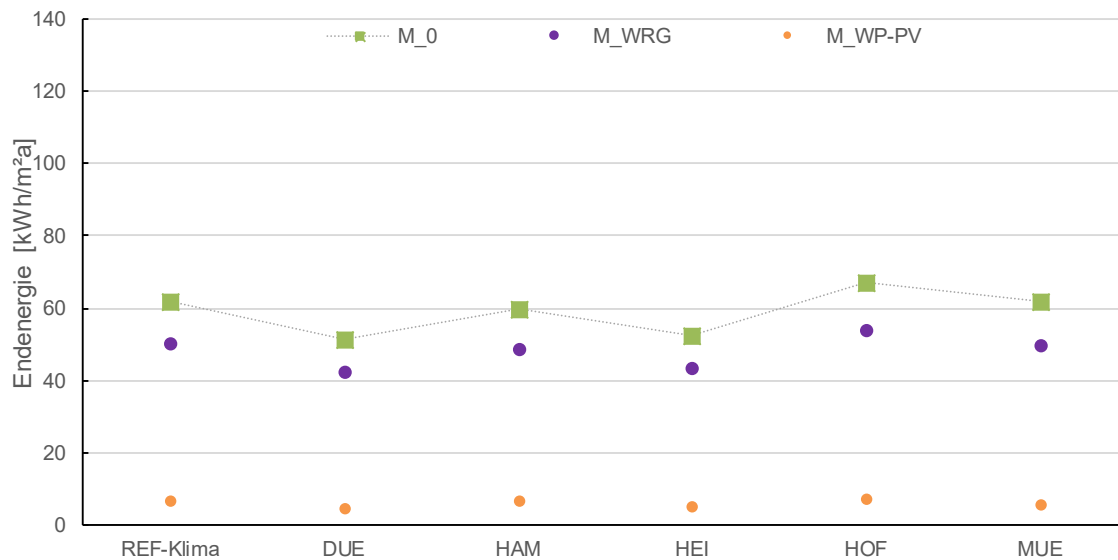
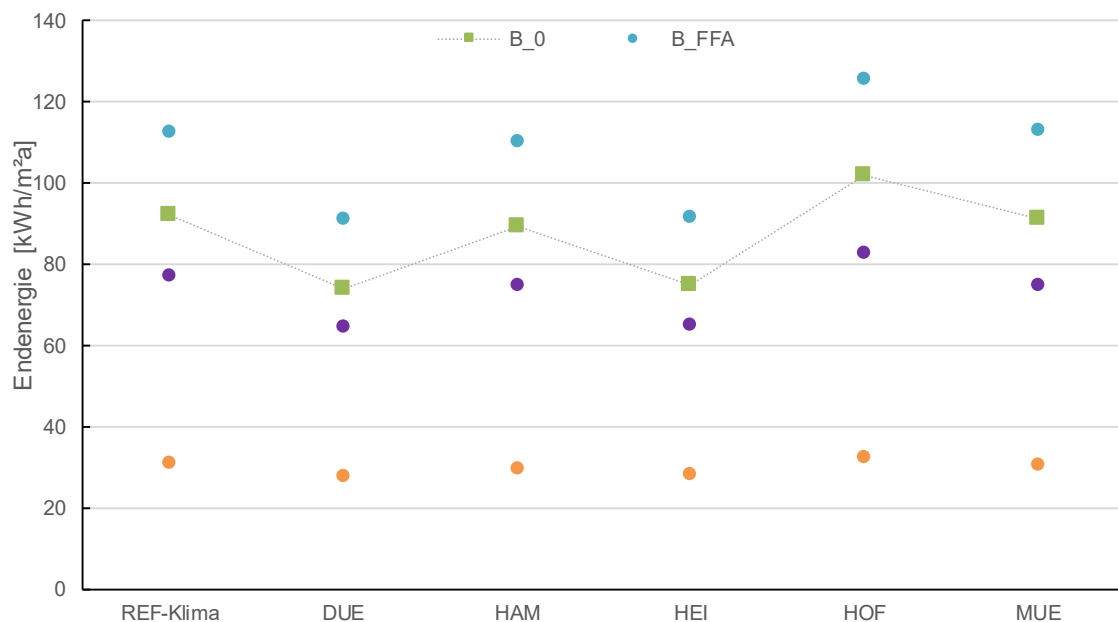


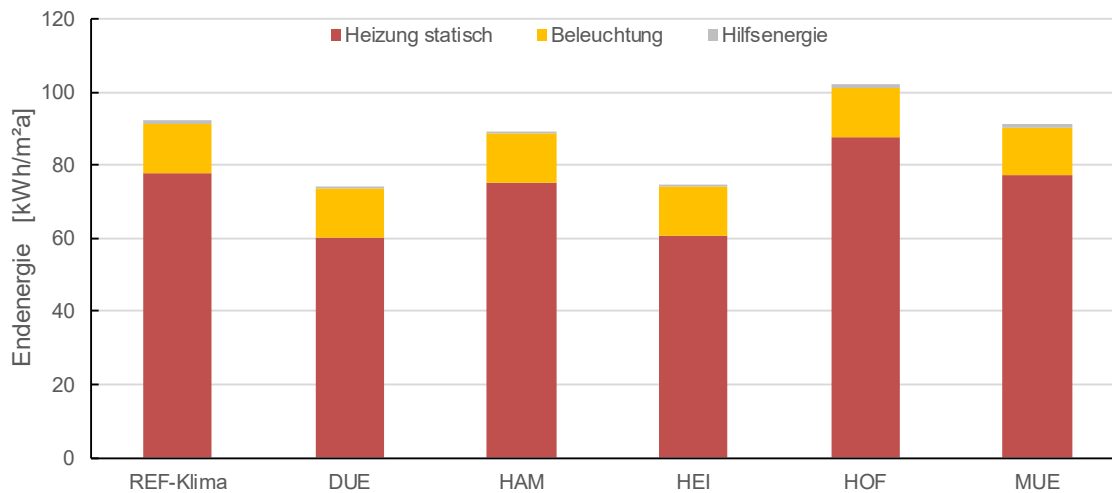
Abbildung 68 zeigt die Ergebnisse für das Bürogebäude. Auch hier liegt die Wärmepumpen-Variante deutlich unter den anderen Varianten.

Abbildung 68: Endenergie – Büro



Ergänzend wird in Abbildung 69 die Endenergie-Aufteilung für die Basisvariante des Bürogebäudes gezeigt. Hier sind die Klimaeinflüsse beim Endenergiebedarf für die Heizung deutlich sichtbar, während die Anteile für Beleuchtung und Hilfsenergie annähernd konstant sind.

Abbildung 69: Endenergie-Anteile – Büro (B_0)



In Tabelle 31 sind die entsprechenden Endenergie-Anteile der verschiedenen Standorte angegeben.

Tabelle 31: Endenergie-Anteile – Büro (B_0)

	REF	DUE	HAM	HEI	HOF	MUE
Heizung	78 kWh/m²a (85%)	60 kWh/m²a (81%)	75 kWh/m²a (84%)	61 kWh/m²a (81%)	88 kWh/m²a (86%)	77 kWh/m²a (84%)
Beleuchtung	13 kWh/m²a (14%)	13 kWh/m²a (18%)	13 kWh/m²a (15%)	13 kWh/m²a (18%)	13 kWh/m²a (13%)	13 kWh/m²a (15%)
Hilfsenergie	1 kWh/m²a (1%)	1 kWh/m²a (1%)	1 kWh/m²a (1%)	1 kWh/m²a (1%)	1 kWh/m²a (1%)	1 kWh/m²a (1%)

Abbildung 70 veranschaulicht die Endenergie-Aufteilung für die Bürogebäude-Wärmepumpen-Variante mit Kühlung. Da in die Endenergie für die Heizung die Wärmepumpen-Jahresarbeitszahl bzw. bei der Kühlung über Kompressionskälte der EER eingeht, liegen die Endenergiawerte bei dieser Variante deutlich unter denen der anderen Varianten. Dies führt dazu, dass Klimaeinflüsse weniger stark ausgeprägt sind.

Abbildung 70: Endenergie-Anteile – Büro mit Wärmepumpe und Kühlung (B_WP-K)

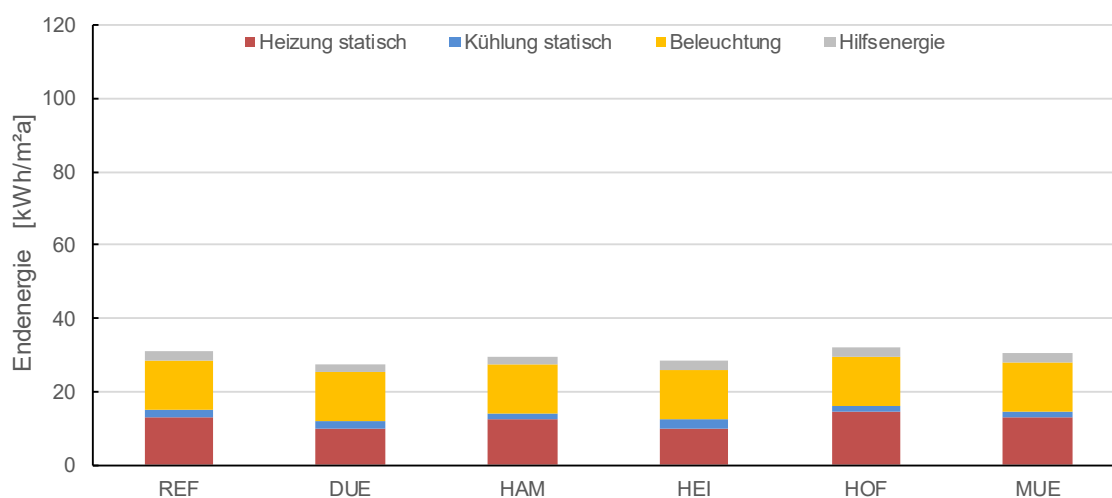


Tabelle 32 sind ergänzend die Endenergie-Anteile der verschiedenen Standorte dargestellt.

Tabelle 32: Endenergie-Anteile – Büro mit Wärmepumpe und Kühlung (B_WP-K)

	REF	DUE	HAM	HEI	HOF	MUE
Heizung	13 kWh/m²a (42%)	10 kWh/m²a (35%)	12 kWh/m²a (42%)	10 kWh/m²a (35%)	15 kWh/m²a (46%)	13 kWh/m²a (42%)
Kühlung	2 kWh/m²a (7%)	2 kWh/m²a (8%)	2 kWh/m²a (6%)	3 kWh/m²a (10%)	2 kWh/m²a (5%)	2 kWh/m²a (6%)
Beleuchtung	13 kWh/m²a (43%)	13 kWh/m²a (48%)	13 kWh/m²a (45%)	13 kWh/m²a (47%)	13 kWh/m²a (41%)	13 kWh/m²a (43%)
Hilfsenergie	3 kWh/m²a (8%)	2 kWh/m²a (8%)	2 kWh/m²a (8%)	2 kWh/m²a (8%)	3 kWh/m²a (8%)	3 kWh/m²a (8%)

Abbildung 71 sind die Ergebnisse des Schulgebäudes, Abbildung 72 die Ergebnisse der Industriehalle zu entnehmen.

Abbildung 71: Endenergie – Schule

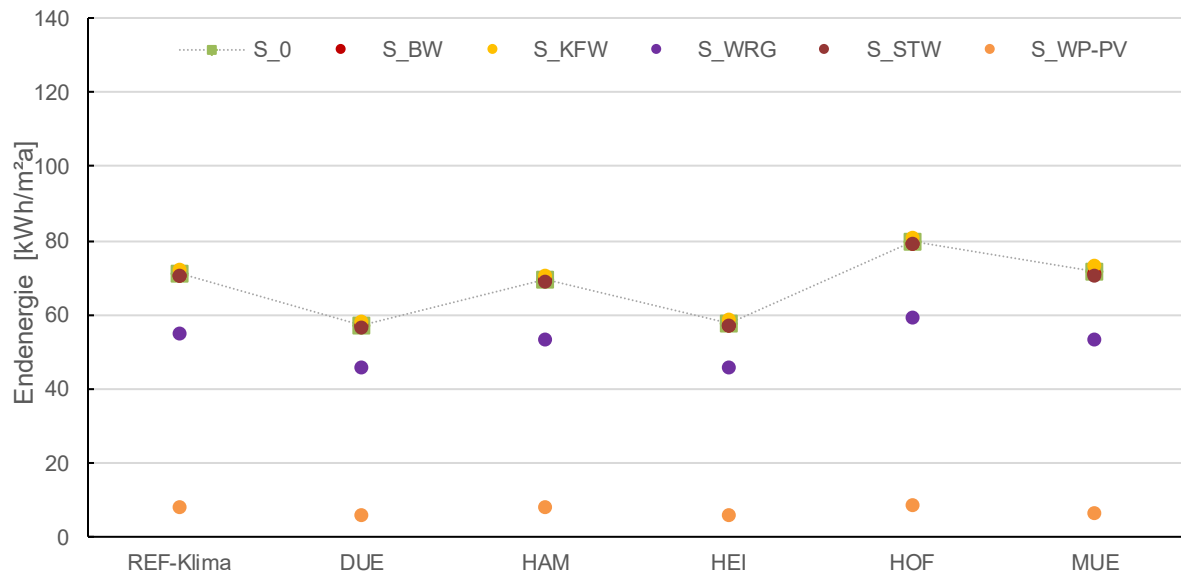


Abbildung 72: Endenergie – Industriehalle

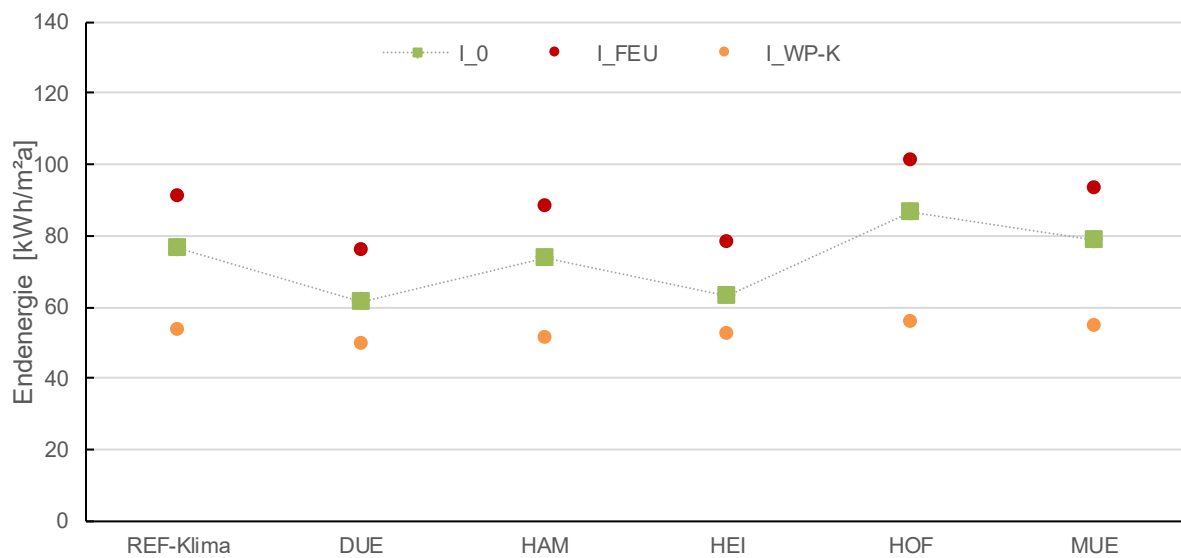


Abbildung 73 zeigt ergänzend die Aufteilung der Endenergie für die Wärmepumpe-Variante mit Kühlung der Industriehalle. Die spezifischen Werte für die Kühlung sind im Vergleich zum Bürogebäude aufgrund des anderen Nutzungsprofils deutlich höher, so dass hier Klimaeinflüsse eine Rolle spielen. Die Anteile für die RLT-Heiz- und Kühlfunktion sind so gering, dass sie kaum erkennbar sind. Die Hilfsenergie zeigt minimale Klimaeinflüsse und ist in den warmen Standorten am höchsten, die Beleuchtung ist, da hier aufgrund des geringen Fensterflächenanteils die Klimadaten nicht einfließen, bei allen Varianten gleich hoch.

Abbildung 73: Endenergie-Anteile – Industriehalle mit Dampfbefeuchtung (I_WP-K)

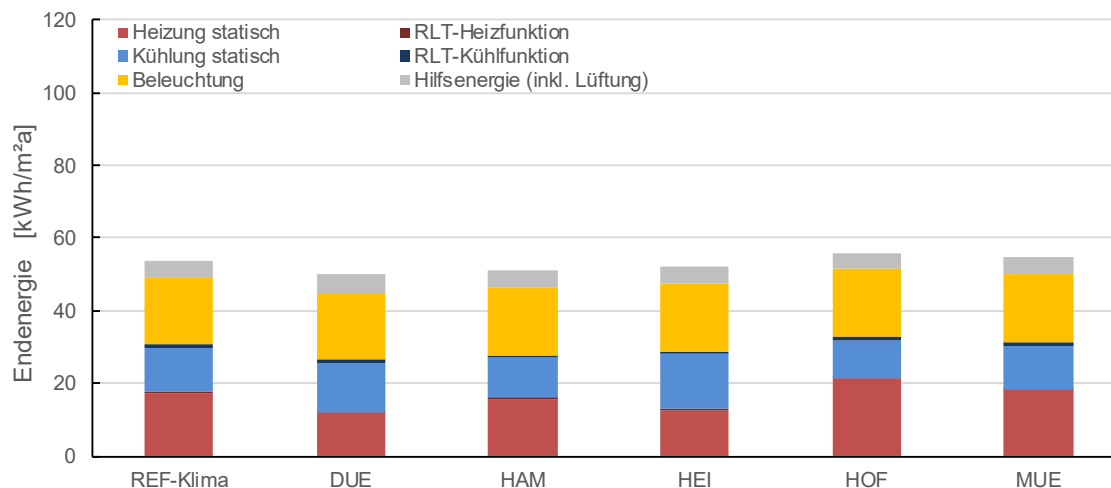


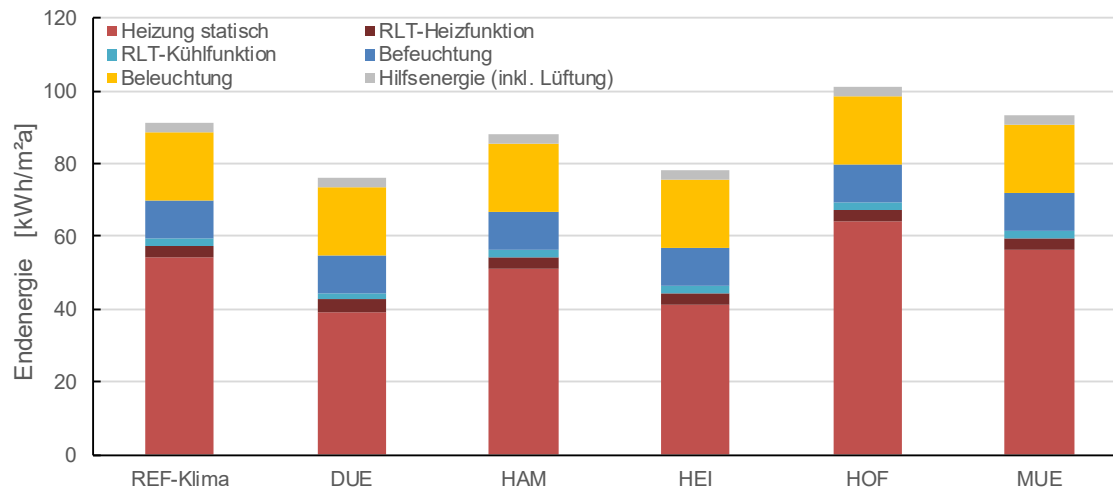
Tabelle 33 enthält ergänzend die Endenergie-Anteile der verschiedenen Standorte.

Tabelle 33: Endenergie-Anteile – Industriehalle mit Dampfbefeuchtung (I_WP-K)

	REF	DUE	HAM	HEI	HOF	MUE
Heizung	17 kWh/m²a (32%)	12 kWh/m²a (24%)	16 kWh/m²a (31%)	13 kWh/m²a (24%)	21 kWh/m²a (38%)	18 kWh/m²a (33%)
Kühlung	12 kWh/m²a (23%)	14 kWh/m²a (27%)	11 kWh/m²a (21%)	15 kWh/m²a (29%)	10 kWh/m²a (19%)	12 kWh/m²a (22%)
Beleuchtung	19 kWh/m²a (35%)	19 kWh/m²a (37%)	19 kWh/m²a (37%)	19 kWh/m²a (36%)	19 kWh/m²a (33%)	19 kWh/m²a (34%)
RLT- Kühlfunktion	1 kWh/m²a (1%)	1 kWh/m²a (2%)	1 kWh/m²a (1%)	1 kWh/m²a (1%)	1 kWh/m²a (1%)	1 kWh/m²a (1%)
Hilfsenergie	5 kWh/m²a (9%)	5 kWh/m²a (10%)	5 kWh/m²a (9%)	5 kWh/m²a (9%)	5 kWh/m²a (8%)	5 kWh/m²a (9%)

Der Abbildung 74 sind die Ergebnisse für die Industriehallen-Variante mit Befeuchtung zu entnehmen. Im Unterschied zur Wärmepumpen-Variante ist hier der Endenergiebedarf für die Heizung dominant. Wie schon im Kapitel 5.3 beschrieben, fließen die Klimadaten in den nach DIN V 18599 ermittelten Befeuchtungsenergiebedarf nicht ein.

Abbildung 74: Endenergie-Anteile – Industriehalle mit Dampfbefeuchtung (I_FEU)



Ergänzend sind in Tabelle 34 die Endenergie-Anteile der verschiedenen Standorte angegeben.

Tabelle 34: Endenergie-Anteile – Industriehalle mit Dampfbefeuchtung (I_FEU)

	REF	DUE	HAM	HEI	HOF	MUE
Heizung	54 kWh/m²a (59%)	39 kWh/m²a (51%)	51 kWh/m²a (58%)	41 kWh/m²a (53%)	64 kWh/m²a (63%)	56 kWh/m²a (60%)
RLT-Heizfunktion	3 kWh/m²a (4%)	3 kWh/m²a (4%)	3 kWh/m²a (4%)	3 kWh/m²a (4%)	3 kWh/m²a (3%)	3 kWh/m²a (4%)
RLT-Kühlfunktion	2 kWh/m²a (2%)	2 kWh/m²a (3%)	2 kWh/m²a (2%)	2 kWh/m²a (2%)	2 kWh/m²a (2%)	2 kWh/m²a (2%)
Befeuchtung	10 kWh/m²a (11%)	10 kWh/m²a (14%)	10 kWh/m²a (12%)	10 kWh/m²a (13%)	10 kWh/m²a (10%)	10 kWh/m²a (11%)
Beleuchtung	19 kWh/m²a (20%)	19 kWh/m²a (25%)	19 kWh/m²a (21%)	19 kWh/m²a (24%)	19 kWh/m²a (18%)	19 kWh/m²a (20%)
Hilfsenergie	3 kWh/m²a (3%)	2 kWh/m²a (3%)	3 kWh/m²a (3%)	3 kWh/m²a (3%)	3 kWh/m²a (3%)	3 kWh/m²a (3%)

5.6 Primärenergiebedarf

Bei der Bedarfsanforderung nach EnEV ist jedoch nicht der Endenergiebedarf, sondern der Primärenergiebedarf relevant. Dieser wird ermittelt, indem die Summe aus den Produkten der Endenergiebedarfs-
werte mit den zugehörigen Primärenergiefaktoren der Energieträger gebildet wird. Auf diese Weise fließt eine Bewertung der Umweltauswirkungen der Energieträger ein.

Die nach EnEV anzusetzenden Primärenergiefaktoren sind der DIN V 18599-1 bzw. der EnEV zu nehmen. Seit 1.1.2016 ist für den Strombedarf ein Primärenergiefaktor von 1,8 zu verwenden. Als einziger weiterer in den Varianten eingesetzter Energieträger gibt es noch Fernwärme. Für Fernwärme gibt es keinen einheitlichen Primärenergiefaktor, dieser kann entweder pauschal nach Tabelle A.1 der DIN V 18599-1 je nach Fall mit 1,3; 0,7; 0,1 oder 0 (fossiler oder erneuerbarer Brennstoff; aus Heizwerk oder aus Kraft-Wärme-Kopplung) angesetzt werden oder, falls aufgeführt, der Liste der f_p -Bescheinigungen nach FW 309-1 des Energieeffizienzverbandes für Wärme, Kälte und KWK e.V. (AGFW), entnommen werden. Auch in der AGFW-Liste der f_p -Bescheinigungen liegen die Fernwärme-Primärenergiefaktoren zwischen 0 und 1,3. Nachfolgend wird zunächst die Vorgehensweise bei der Festlegung des Fernwärme-Primärenergiefaktors in dieser Studie erläutert und anschließend die Ergebnisse anhand von einem Beispiel erläutert.

5.6.1 Vorgehensweise

Im Hinblick auf die Analysen der Auswirkungen auf die EnEV-Berechnung mit lokalen Klima-Daten sollte ein Fernwärme-Primärenergiefaktor gewählt werden, der zu einem Primärenergiebedarf führt, welcher möglichst nah beim maximal zulässigen Primärenergiebedarf liegt. Dies ermöglicht eine anschauliche Analyse welche Verschiebungen es bei der Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten im Hinblick auf die Einhaltung der EnEV gibt.

Für die Varianten mit Fernwärme wird der Primärenergiefaktor aus diesem Grund so festgelegt, dass der Gebäude-Primärenergiebedarf berechnet mit Referenzklima dem maximal zulässigen Primärenergiebedarf entspricht. Die sich auf diese Weise ergebenden Fernwärme-Primärenergiefaktoren sind Tabelle 35 zu entnehmen.

Tabelle 35: Fernwärme-Primärenergiefaktoren in Abhängigkeit der Variante

Variante	Fernwärme-Primärenergiefaktor f_p
Wohngebäude	
E_0	0,7
E_BW	0,8
E_FFA	0,8
E_KFW	0,6
E_WRG	0,8
E_STW	0,9
E_STH	1,0
M_0	0,8
M_WRG	1,0
Nichtwohngebäude	
B_0	0,7
B_FFA	0,7
B_WRG	0,8
S_0	0,9
S_BW	0,9
S_KFW	0,6
S_WRG	1,0
S_STW	0,9

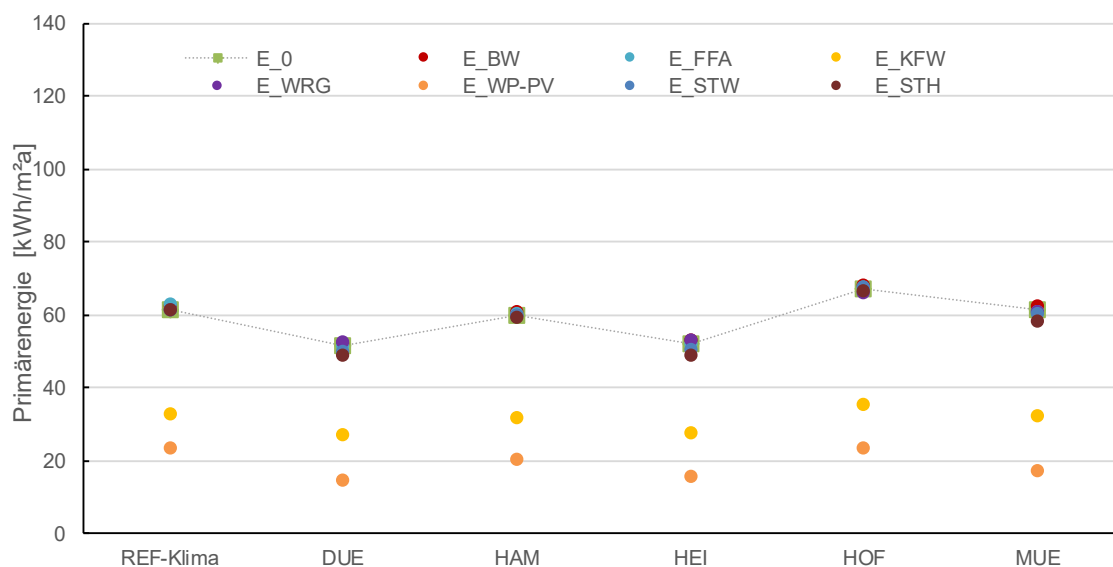
Bei der gewählten Methodik ergeben sich somit Fernwärme-Primärenergiefaktoren zwischen 0,6 (KFW-Varianten), bei denen der maximal zulässige Primärenergiefaktor nach den KFW-Anforderungen festgelegt ist, und 1,0.

5.6.2 Ergebnisse

Die gewählte Vorgehensweise, durch die sich die klimaabhängigen Verschiebungen im Vergleich zum maximal zulässigen Primärenergiebedarf gut veranschaulichen lassen (vgl. Kapitel 6.2), bringt den Nachteil mit sich, dass die Fernwärme-Varianten untereinander nicht mehr vergleichbar sind, da beispielsweise die im Vergleich zur Basis-Variante durch Solarthermie verbesserte STH-Variante über den höheren Primärenergiefaktor an den für die beiden Varianten gleichen maximal zulässigen Primärenergiebedarf angepasst wurde.

Daher sollen die Primärenergieergebnisse an einem Beispiel erläutert werden. Als Beispiel werden die Ergebnisse der Primärenergiebedarfsberechnung für die Einfamilienhaus-Varianten analysiert: In Abbildung 75 sind die Ergebnisse der Primärenergiebedarfsberechnung dargestellt. Durch die gewählte Vorgehensweise beim Primärenergiebedarf, sind - abgesehen von der Wärmepumpen- und der KFW-Variante – die Unterschiede der Varianten untereinander bezüglich der REF-Klima-Variante „gleichgeschaltet“. Jedoch lassen sich bei der Standortvariation leichte Verschiebungen erkennen, welche auch bei der Auswertung der Erzeugernutzwärme analysiert wurden.

Abbildung 75: Primärenergie – Einfamilienhaus



An der KFW-Variante wird deutlich, dass ein niedriger Fernwärme-Primärenergiefaktor dazu führt, dass die Klimaeinflüsse - primärenergetisch bewertet - weniger stark ausgeprägt sind als bei der Endenergieauswertung. Auch weisen wegen des hohen Primärenergiefaktors von Strom von 1,8 die Wärmepumpen-Varianten im Vergleich zur Endenergieauswertung nicht mehr so niedrige Werte auf.

Weitere Primärenergie-Ergebnisse sind Kapitel 6.2 zu entnehmen.

5.7 Exkurs – Geografische Breite

Wie in Kapitel 2.1.3 beschrieben, ist die Berechnung des Energiebedarfs der künstlichen Beleuchtung nicht abhängig vom Klima, jedoch von der Tageslichtversorgung im Gebäude, welche wiederum von der geografischen Breite des Standorts in Verbindung mit der täglichen Betriebszeit abhängt. Jährliche Tageslicht- und Nachtstunden sind in den Nutzungsprofilen der DIN V 18599-10 für eine geografische Breite von 50° angegeben. Da sich in Abhängigkeit der geografischen Breite die Zeiten des Sonnenauf- und -untergangs verschieben, ergeben sich bei Veränderung der geografischen Breite unterschiedliche jährliche Nutzungsstunden zur Tag- und Nachtzeit.

Die Auswirkungen auf die Bedarfswerte für die Beleuchtung und den Endenergiebedarf für die Heizung sollen am Beispiel des Büro-Mustergebäudes (B_0) für die nach DIN V 18599 angesetzten Tages- und Nachtstunden im Vergleich zu den Standorten Hamburg und München untersucht werden. Bei allen Nutzungsprofilen, die im Büro-Mustergebäude verwendet werden, ist Nutzungsbeginn mit 7:00 und Ende mit 18:00 angegeben, so dass sich für alle Nutzungen die gleichen Nutzungsstunden zur Tag- und zur Nachtzeit ergeben. Tabelle 36 fasst die Ergebnisse zusammen.

Tabelle 36: Energiebedarf Beleuchtung in Abhängigkeit der geographischen Breite (B_0)

	DIN V 18599-10	HAM	MUE
geogr. Breite	50°	53,502°	48,148°
Nutzungsstunden zur Tagzeit [h]	2.543	2.501	2.562
Nutzungsstunden zur Nachtzeit [h]	207	249	188
Endenergiebedarf Beleuchtung $Q_{l,f}$ [kWh/m²a]	13,0	13,1	12,9
Endenergiebedarf Heizung $Q_{h,f}$ [kWh/m²a]	79,6	79,6	79,6

Die Abweichungen der Tagstunden im Vergleich zur Vorgabe der DIN V 18599-10 liegen bei -2 % (HAM) bzw. +1 % (MUE). Dies wirkt sich geringfügig auf den Strombedarf für die Beleuchtung aus, welcher um 0,7 % (HAM) zunimmt bzw. um 0,3 % (MUE) abnimmt. Durch die Zunahme der Kunstlicht-Wärmequelle sinkt in Hamburg der Endenergiebedarf Heizung um 0,1%.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass der Einfluss der geografischen Breite vernachlässigbar gering ist und daher eine Berechnung mit einer mittleren geografischen Breite von 50° für alle Standorte in Deutschland vertretbar ist.

5.8 Fazit

Die Untersuchung der Mustergebäude bei Variation der Klimadaten zeigt einen relevanten Einfluss auf den Heiz- und Kühlbedarf. So zeigt sich bei der Auswertung der Erzeugernutzwärmeabgabe im Vergleich zur Berechnung mit EnEV-Referenzklima eine Abnahme zwischen 20 und 31 % für den Standort Düsseldorf, für den Standort Heidelberg zwischen 20 und 27 %. Die höchste Zunahme der Erzeugernutzwärmeabgabe weist immer der Standort Hof mit 10 bis 18 % auf. Hierbei ist die Außentemperatur die wichtigste Einflussgröße, aber auch Auswirkungen der Solarstrahlung, welche die solaren Gewinne beeinflusst, sind beispielsweise bei Varianten mit hohem Fensterflächenanteil erkennbar.

Bei Vorüberlegungen war davon ausgegangen worden, dass sich die Variation der Klimadaten stärker auf Gebäude mit hohen Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten auswirkt. Diese Annahme kann durch die Berechnungsergebnisse nicht bestätigt werden:

- Das Büro-Mustergebäude, das den höchsten spezifischen Transmissionswärmeverlust aufweist, zeigt keine erhöhte Klimasensitivität.

- Bei der Variante des KfW-Einfamilienhauses mit erhöhtem Dämmstandard wirkt sich die Klimavariation stärker aus als bei der Basisvariante.
- Die Varianten mit Wärmerückgewinnung und somit geringeren Lüftungswärmeverlusten zeigen bei den Wohngebäuden eine Zunahme bei der Klimasensitivität, bei den Nichtwohngebäuden eine geringe Abnahme.

Die Analyse der Einflussfaktoren ist komplex, da durch die Verwendung von Standort-Klimadaten gleichzeitig die Temperatur und Strahlung variiert wird. Auch die iterativen zonenweisen Berechnungsalgorithmen der DIN V 18599 sind schwierig nachzuvollziehen, wodurch keine direkten Rückschlüsse auf die Zusammenhänge möglich sind. Hierfür seien zwei Beispiele angeführt:

- Bei der Schul-Variante mit leichter Bauweise ergibt sich im Vergleich zum Basisfall mit schwerer Bauweise eine minimale Reduzierung des Heizwärmebedarfs. Eigentlich wurde hier aufgrund der geringeren Speichermassen - analog dem Ergebnis bei der Variante E_BW - eine leichte Erhöhung erwartet. Eine Analyse ergab, dass die verschiedenen Zonen unterschiedlich auf die Reduzierung der Speicherkapazität reagieren.
- Die Analyse der Zunahme der Klimasensitivität bei der Variante des KfW-Einfamilienhauses mit erhöhtem Dämmstandard wurde ergänzend für den Standort Düsseldorf separat für Außentemperaturen und Solarstrahlung untersucht. Im Vergleich zum Referenzklima wurden zunächst nur die mittleren Außentemperaturen für DUE angepasst. Es ergibt sich eine Unterschreitung des Heizwärmebedarfs von -25,5 %, danach wurden im Vergleich zum REF-Klima nur die Solarstrahlung des Standorts Düsseldorf eingegeben, was eine Unterschreitung von -2,0 % zur Folge hat. Für die Klimadaten von Düsseldorf ergibt sich insgesamt eine Unterschreitung von 28,3 %, was mehr als die Summe der einzelnen Variationen ist.

Die Erzeugernutzkälteabgabe zeigt bei den Varianten mit statischem Kühlsystem ebenfalls eine hohe Klimasensitivität. Die größte Zunahme gibt es für die Klimadaten des Standortes Heidelberg mit 22 % (Industriehalle) bzw. 34 % (Büro), die höchste Abnahme für den Standort Hof mit 14 bzw. 25 %. Auf die anderen Varianten mit RLT-Kühlfunktion über Konstantvolumenanlage bzw. mit Dampfbefeuchtung ergeben sich aufgrund der Berechnungsvorschriften der DIN V 18599-10 keine Auswirkungen der Klimadaten.

Bei der Untersuchung der aktiven Nutzung von Solarstrahlung mittels Solarthermie und Photovoltaik ergeben sich folgende klimabedingte Effekte:

- Beim Einfamilienhaus mit TWW-Solarthermieanlage variiert der solare Deckungsanteil je nach Standort zwischen 57 % und 68 % (Referenzklima 60 %), bei der Schule zwischen 34 und 41 % (Referenzklima 36 %).
- Beim Einfamilienhaus mit Solarthermieanlage zur Heizungsunterstützung ergibt sich ein Deckungsanteil der Heizwärme von 10 % bis 14 %.
- Für die Varianten mit PV-Anlage liegen die strahlungsabhängigen Erträge im Vergleich zum Referenzklima zwischen -9 % (Standort Hamburg) und +16 % (Standort München).

Auf Basis oben genannter Einflussgrößen werden anschließend die Endenergiebedarfswerte, die den Gebäude-Endenergiebedarf für Heizung, Trinkwarmwasser, Kühlung, Lüftung, Hilfsenergien und beim NWG auch die Beleuchtung umfasst, für alle Varianten berechnet und die Klimaeinflüsse ausgewertet. Im Vergleich zur jeweiligen mit Referenzklima berechneten Variante gibt es Unterschiede für den Standort Düsseldorf von -7 % (Variante Industriehalle mit Wärmepumpe und Kühlung) bis -38 % (Variante EFH mit Wärmepumpe und Photovoltaikanlage), für den Standort Hof von bis zu +13 % (z.B.

Industriehalle Basisvariante). Hieraus wird ersichtlich, dass sich manche Klima-Effekte auf Endenergieebene etwas ausgleichen (Varianten mit Heizen und Kühlen) und manche noch verstärken (z.B. Varianten mit PV).

Indem die Endenergiebedarfswerte mit dem Primärenergiefaktor des jeweiligen Energieträgers multipliziert werden, lässt sich der für die Erfüllung der Primärenergie-Anforderung der EnEV relevante Primärenergiebedarf ermitteln. Für den Primärenergiefaktor der Fernwärme werden im Hinblick auf die anschließende Auswertung der klimasensitiven Einflüsse auf die Einhaltung des zulässigen Primärenergiebedarfs variable Faktoren gewählt. Auf diese Weise wird an der KFW-Variante deutlich, dass ein niedriger Fernwärme-Primärenergiefaktor zu weniger stark ausgeprägten Auswirkungen als bei der Endenergieauswertung führt. Auch weisen wegen des hohen Primärenergiefaktors von Strom von 1,8 die Wärmepumpen-Varianten im Vergleich zur Endenergieauswertung nicht mehr ganz so niedrige Werte auf.

6.0 Analyse der Auswirkungen von Berechnungen mit ortsgenauen Klimadaten

6.1 Endenergiebedarfswerte

In Kapitel 5 werden für die Mustergebäude und die ausgewählten Standorte die sich ergebenden Unterschiede zu einer Berechnung mit EnEV-Referenzklima ausführlich analysiert und die Relevanz der Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten festgestellt.

Würde die Verwendung von örtlichen Klimadaten für die Energiebedarfsberechnung zugelassen, könnte eine Ursache für die häufig hohe Abweichung zwischen berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch beseitigt werden. Allerdings wäre auch bei Verwendung von ortsgenauen Klimadaten aufgrund der abweichenden tatsächlichen Wetterdaten weiterhin eine Witterungsbereinigung der gemessenen Verbrauchsdaten durchzuführen. Nach derzeitigem Verfahren der Witterungsbereinigung für verbrauchsbasierte Energieausweise bezieht sich die Bereinigung nur auf die von der Außenlufttemperatur abhängige Gradtagszahl.

Für die Erstellung eines verbrauchsbasierten Energieausweises wird nach den „Regeln für Energieverbrauchswerte im Wohngebäudebestand“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium für Umwelt Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit 2015a) bzw. den „Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium für Umwelt Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit 2015b) der Energieverbrauch der Heizung mit den vom DWD zum Download zur Verfügung gestellten Klimafaktoren für verschiedene Postleitzahlbezirke und Zeiträume klimabereinigt. Bei dieser Klimabereinigung bleiben jedoch die Strahlungsdaten, deren Einfluss für Gebäude mit hohen Fensterflächenanteilen oder mit aktiver Solarenergienutzung von Bedeutung ist, unberücksichtigt. Auch ist es nicht vorgesehen, für den Stromverbrauch zur Gebäudekühlung eine Witterungsbereinigung durchzuführen.

Abgesehen von den zugrunde gelegten Klimadaten gibt es aber auch noch andere relevante Einflüsse, die die Diskrepanz zwischen Bedarf und Verbrauch verursachen. Im Leitfaden zum Abgleich Energiebedarf-Energieverbrauch (Oschatz 2009) wurden generelle Unterschiede zwischen Bedarf und Verbrauch analysiert. Neben dem Witterungseinfluss sind diese:

- Nutzereinfluss: Für die Berechnung des Energiebedarfes wird ein festgelegtes Nutzerverhalten unterstellt. Dies betrifft beispielsweise die Randbedingungen für Rauminnentemperatur, Luftwechsel, räumliche und zeitliche Beheizung und Warmwasserbedarf.

- Bauliche und anlagentechnische Mängel: Hierzu zählen beispielsweise Baufeuchte, nicht berücksichtigte Wärmebrücken, der Feuchtegehalt von Wärmedämmung, ein fehlender hydraulischer Abgleich, anlagentechnische Fehleinstellungen.
- Unterschiedliche Bilanzgrenzen: Verbrauchswerte für die einzelnen Energieträger erhält man in der Regel für ein gesamtes Objekt. In der Bedarfsberechnung werden aber Verbräuche wie Kochgas oder Strom für Computer und Außenbeleuchtung etc. nicht mitbilanziert. Dieser Anteil im Energieverbrauch muss entsprechend bei der Gegenüberstellung von Energiebedarf und Verbrauch berücksichtigt werden.
- Systematische Abweichungen: Abweichungen zwischen Energiebedarf und Energieverbrauch können auch systematisch sein, d.h. die Berechnungsvorschriften führen zu systematischen Abweichungen, die bei einer Auswertung von ausreichend großen Stichproben erkennbar werden.

So zeigt eine im Auftrag des BBSR durchgeführte Studie zu Schulen (Jacobsen et al. 2015), bei welcher ein Bedarfs-Verbrauchsabgleich für drei Schulen durchgeführt wurde, einen deutlich geringeren Heizenergieverbrauch im Vergleich zum berechneten Bedarf: Der Heizenergieverbrauch dieser Schulen lag nach Witterungsbereinigung bei nur 30 %, 35 % bzw. 42 % des Heizenergiebedarfs. Eine Ursache für den zu hohen Bedarf lag nach Erkenntnissen der Studie an den Nutzungsrandbedingungen des nach DIN V 18599-10 anzusetzenden Mindestaußenluftwechsels für die Zone Klassenzimmer. Dieser liegt im Vergleich zu den recherchierten Daten zu hoch. Aber dies allein konnte die Diskrepanz nicht erklären. Weitere Hinweise, die die Diskrepanz aufgrund des Nutzerverhaltens erklären helfen, sind (BBR Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2019) zu entnehmen.

6.2 Anforderungswerte

Neubauten müssen nach EnEV 2013 neben Anforderungen an den spezifischen Transmissionswärmeverlust (WG) bzw. die Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche (NWG), auch Anforderungen an den Jahres-Primärenergiebedarf erfüllen. Der Jahres-Primärenergiebedarf des Gebäudes darf maximal 75 % des Jahres-Primärenergiebedarfs eines Referenzgebäudes gleicher Geometrie betragen. Nach EnEV wird sowohl das tatsächliche als auch das Referenzgebäude mit dem Referenzklima berechnet.

Wie sich die Primärenergie-Anforderungen für die Mustergebäude bei Verwendung der ortsgenauen Standort-Klimadaten verschiebt, wird nachfolgend untersucht. Es wird der jeweils mit ortsgenauen Klimadaten berechnete Primärenergiebedarf des Gebäudes sowie der zu unterschreitende, maximal zulässige Primärenergiebedarf berechnet, der sich seit dem 1.1.2016 aus der Berechnung des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes multipliziert mit dem Faktor 0,75 ergibt.

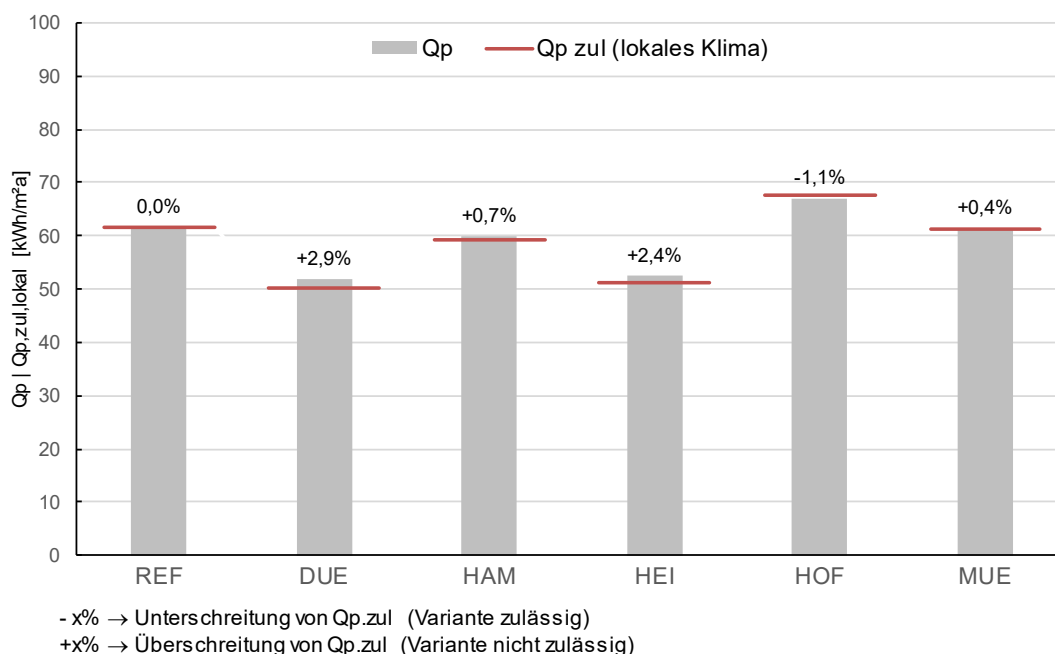
Für die Berechnung des maximal zulässigen Primärenergiebedarfs gibt es bei der Berechnung mit lokalen Klimadaten zwei mögliche Vorgehensweisen: entweder erfolgt die Berechnung des Referenzgebäudes ebenfalls mit den lokalen Klimadaten des Gebäudes, nachfolgend als „ $Q_{p\text{ zul (lokales Klima)}}$ “ bezeichnet (s. Kapitel 6.2.1) oder das Referenzgebäude wird unverändert mit dem EnEV-Referenzklima „ $Q_{p\text{ zul (REF-Klima)}}$ “ ermittelt (s. Kapitel 6.2.2).

6.2.1 Maximal zulässiger Primärenergiebedarf mit lokalen Klimadaten

Wohngebäude

Die Ergebnisse für den Primärenergiebedarf und den maximal zulässiger Primärenergiebedarf berechnet mit lokalen Klimadaten zeigt Abbildung 76 für die Einfamilienhaus-Basisvariante. Damit sich die Auswirkungen auf die EnEV-Primärenergieanforderung quantitativ einschätzen lassen, wird zusätzlich die jeweilige Unterschreitung des Gebäudes im Vergleich zum jeweiligen maximal zulässigen Primärenergiebedarf angegeben. Die Unterschreitung wird mit negativem Vorzeichen angegeben. Falls es zu einer Überschreitung kommt, was bedeutet, dass die EnEV nicht eingehalten wird, ist dies an einem positiven Vorzeichen zu erkennen.

Abbildung 76: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (lokales Klima) – E_0

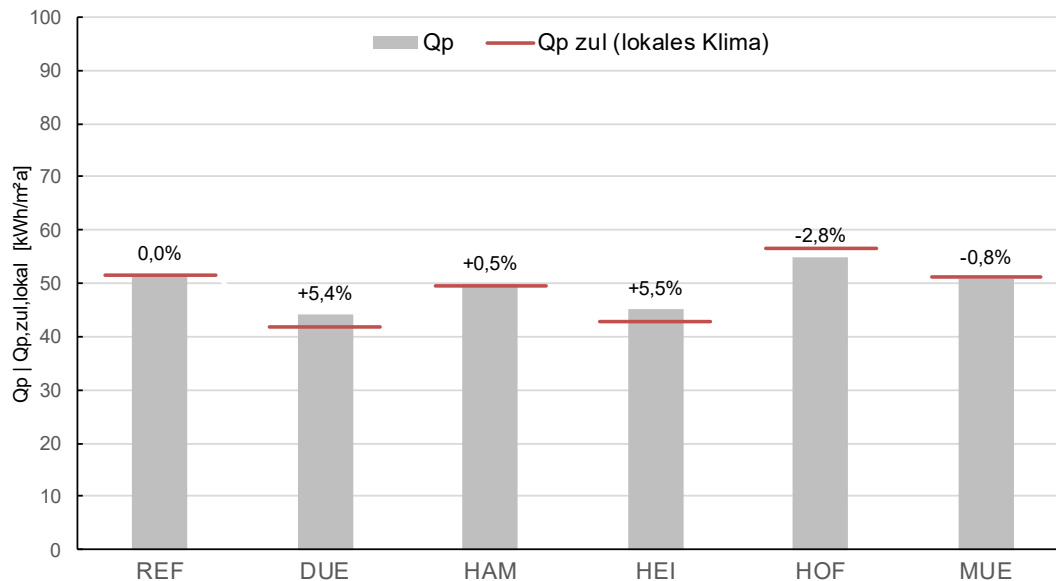


Das EFH entspricht nach dem Dämmstandard dem EnEV-Standard. Durch die entsprechende Festlegung des Primärenergiefaktors der mit Fernwärme versorgten Basisvariante entspricht der maximal zulässige Primärenergiebedarf dem Primärenergiebedarf des Gebäudes. Es lässt sich feststellen, dass die Abweichungen bei Berechnung mit den lokalen Klimadaten der Standorte eine nur sehr geringe Schwankungsbreite für die Unter- bzw. Überschreitung von -1,1 % bis 2,9 % aufweist. Dies ist verständlich, da durch das Ersetzen der Klimadaten sowohl beim Gebäude als auch beim Referenzgebäude die Relationen gleich bleiben. Erstaunlich ist jedoch, dass es nur bei den im Vergleich zum Referenzklima kälteren Temperaturen von Hof eine Unterschreitung gibt, d.h. diese Variante wäre zulässig. An allen anderen, insbesondere den sehr warmen Standorten kommt es zu einer Überschreitung von Q_p zulässig. Dies bedeutet alle Standort-Varianten außer Hof wären nicht zulässig und müssten an der thermischen Hülle oder der Anlagentechnik so nachgebessert werden, so dass sich keine Überschreitung mehr ergibt. Zur Folge hätte eine Berechnung mit lokalen Klimadaten in Kombination mit einer Berechnung des maximal zulässiger Primärenergiebedarfs mit lokalen Klimadaten also, dass die Primärenergie-Anforderung für warmen Standorte „strenger“ würde. Auch wenn der Effekt nicht sehr groß ist, wäre

eine Berechnung des maximal zulässiger Primärenergiebedarfs mit lokalen Klimadaten auf diese Weise nicht zielführend.

Eine Besonderheit weisen die Varianten mit Wärmerückgewinnung auf. Als Beispiel ist in Abbildung 77 der Primärenergiebedarf und der maximal zulässige Primärenergiebedarf mit lokalem Klima für die MFH-Variante mit Lüftungsanlage und Wärmerückgewinnung dargestellt.

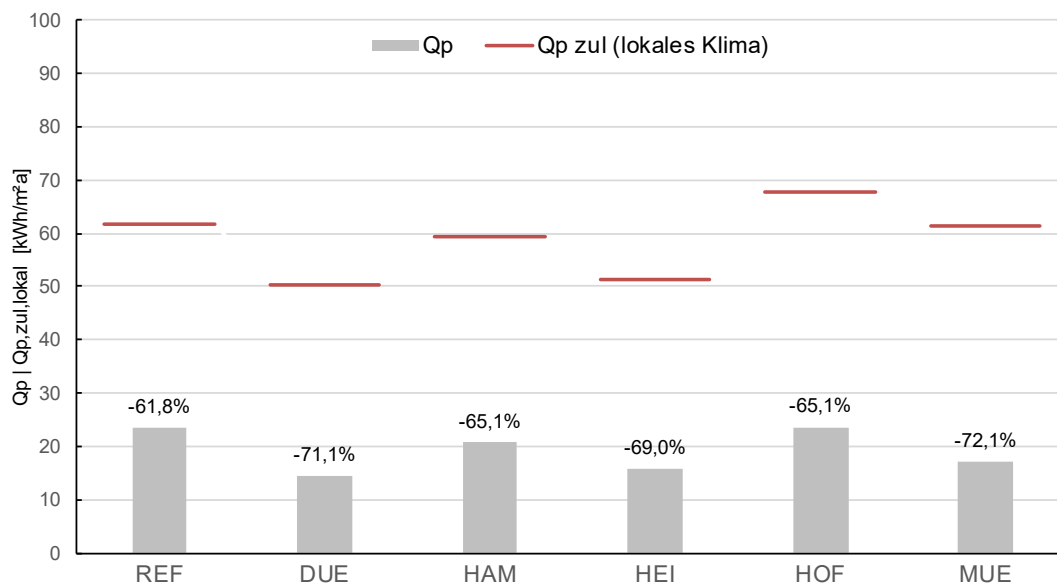
Abbildung 77: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (lokales Klima) – M_WRG



Es ist zu erkennen, dass für die warmen Standorte DUE und HEI zu hohen Überschreitungen von gut 5 % kommt, welche also deutlich nachbessern müssten, um die EnEV einzuhalten. Die Überschreitung ist bei den WRG-Varianten besonders ausgeprägt und hängt damit zusammen, dass der Energiebedarf durch die Wärmerückgewinnung an den warmen Standorten nicht in demselben Maß gesenkt werden kann wie an kühleren Standorten.

Zu gänzlich anderen Ergebnissen führt die Auswertung der Primärenergiebedarfs-Unterschreitung bei der Variante Einfamilienhaus mit Wärmepumpe und PV-Anlage, die Abbildung 78 zu entnehmen ist. Durch die Verwendung von Strom zur Wärmebereitstellung kann hier keine Anpassung der Basisvariante des Primärenergiefaktors analog zu den Fernwärme-Varianten erfolgen.

Abbildung 78: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (lokales Klima) – E_WP-PV



Infolge der energieeffizienten Anlagentechnik mit Wärmepumpe und PV-Anlage weisen alle Standort-Varianten eine deutliche Unterschreitung des Q_p zulässig auf. Die Schwankungsbreite für die Unterschreitung liegt hierbei zwischen -62 % (REF) und -72 % (MUE). Die Variante mit PV-Anlage zeigt also eine Besonderheit: die Unterschreitung im Vergleich zum REF-Klima nimmt für alle Standorte zu. Auch weisen warme Standorte eine höhere Unterschreitung als kältere Standorte auf.

Dies steht im Zusammenhang damit, dass

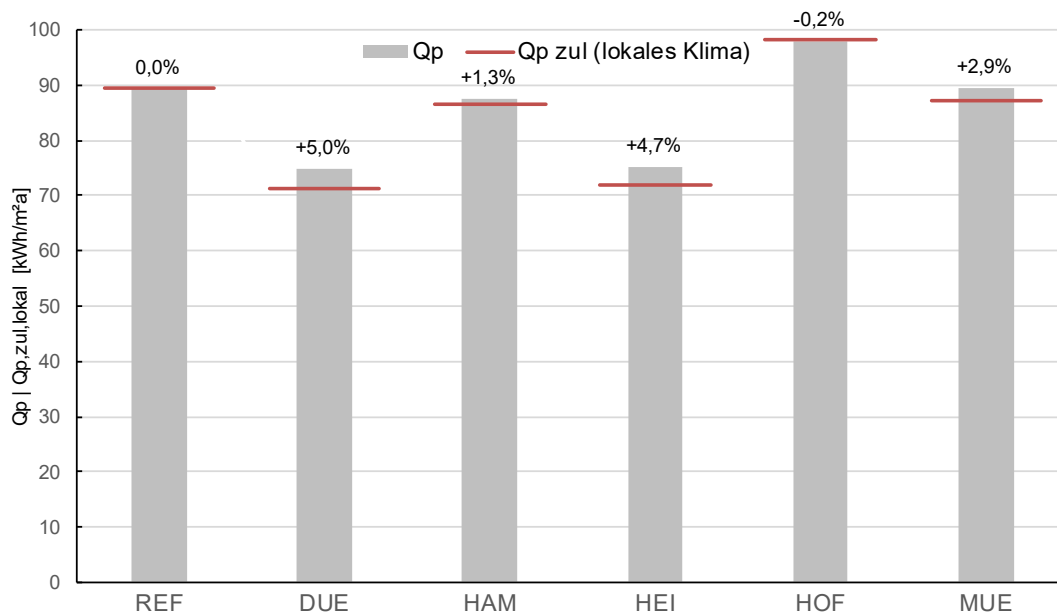
- das Referenzgebäude über keine PV-Anlage verfügt und aus diesem Grund sich höhere PV-Gutschriften an Orten mit hoher Solarstrahlung besonders stark auswirken,
- die Solarstrahlung des EnEV-Referenzklimas in den für die nach EnEV anrechenbaren Stromerträgen besonders relevanten Wintermonaten (Wärmepumpenstrom) im Vergleich zu den Strahlungsdaten der anderen Standorte relativ niedrig ist (vgl. Abbildung 44),
- sich Klimaeinflüsse bei den WP-Varianten insgesamt weniger stark auswirken.

Ein Ausblick auf den GEG- Gesetzentwurf vom 23.10.2019 (Bundesregierung 2019) zeigt, dass es bei der Berechnung des anrechenbaren PV-Stroms Änderungen geben wird. Vermutlich würde dann der oben beschriebene Effekt nicht mehr auftreten, weil durch die Kappung auf maximal höchstens 20 % des Jahres-Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes der anrechenbare PV-Strom deutlich geringer ausfällt.

Nichtwohngebäude

Bei den Ergebnis-Diagrammen der Nichtwohngebäude soll zunächst auf die Variante Büro-Mustergebäude mit hohem Fensterflächenanteil eingegangen werden (s. Abbildung 79), da diese Variante den höchsten spezifischen Transmissionswärmeverlust aller untersuchten Gebäude-Varianten hat.

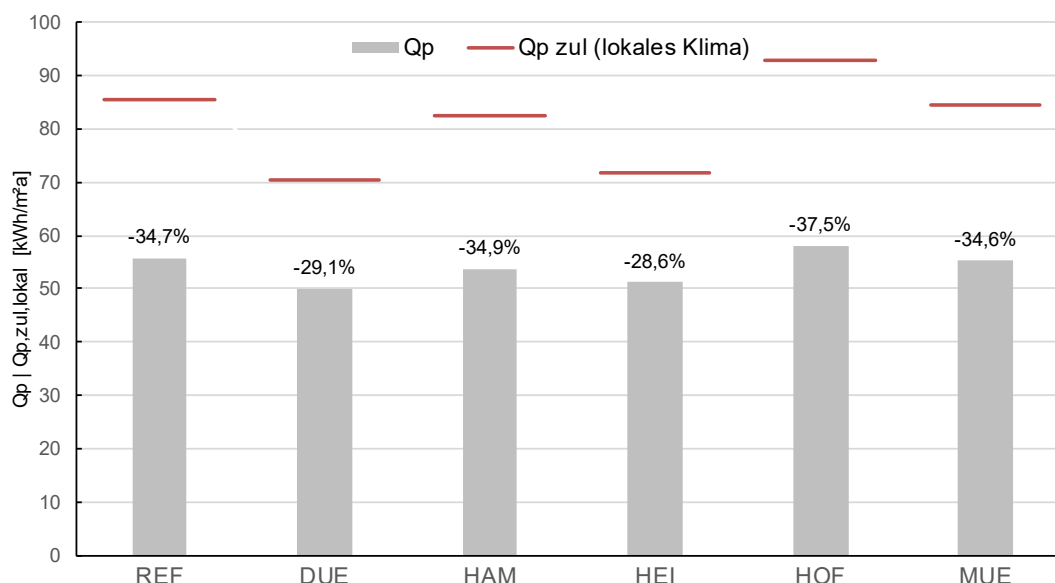
Abbildung 79: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (lokales Klima) – B_FFA



Auch hier ist der Effekt einer unzulässigen Überschreitung für die warmen Standorte zu erkennen. Wie auch schon bei der Einfamilienhaus-Basisvariante (vgl. Abbildung 76) ergibt sich nur für Hof eine zulässige Unterschreitung. Auch für den im Vergleich zum Referenzklima kälteren Standort München ergibt sich aufgrund Verschiebungen bei den solaren Gewinnen eine deutliche Überschreitung. Alle Standort-Varianten außer Hof wären demnach nicht zulässig und müssten nachgebessert werden.

Interessant ist außerdem die Betrachtung der klimabedingten Verschiebungen bei der Variante Büro mit Wärmepumpe und Kühlung, welche in Abbildung 80 dargestellt ist. Aufgrund der Anlagentechnik mit Wärmepumpe weisen - wie schon beim EFH in Abbildung 78 - alle Varianten eine deutliche Unterschreitung von Q_p zulässig auf.

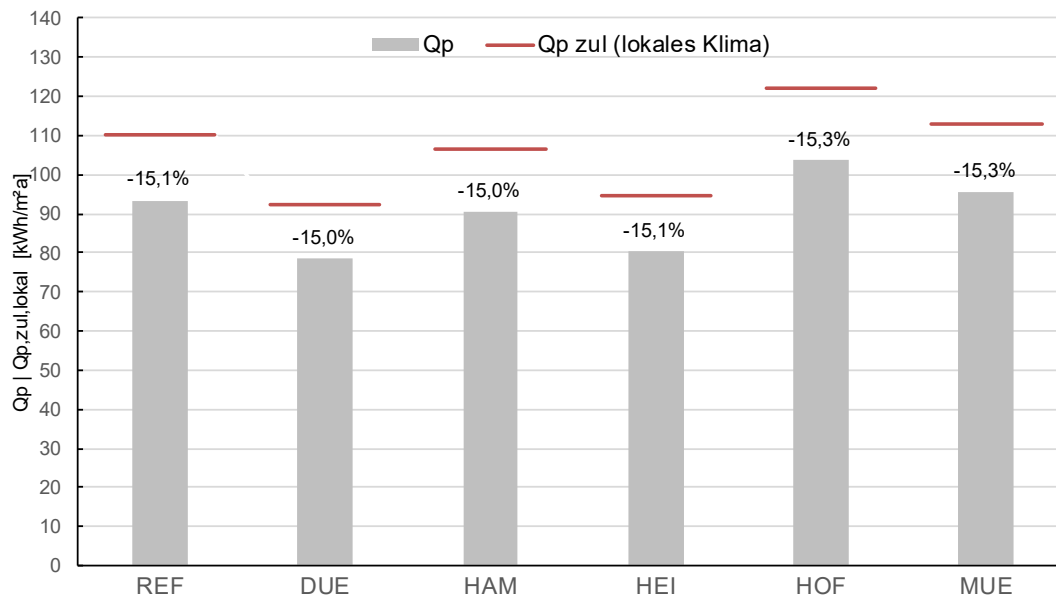
Abbildung 80: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (lokales Klima) – B_WP-K



Obwohl die Primärenergiebedarfsabweichungen zwischen den Standorten wegen der entgegengesetzten Auswirkungen der lokalen Klimadaten beim Heizen und Kühlen gering sind, gibt es bei den Unterschreitungen des maximal zulässigen Primärenergiebedarfs eine große Schwankungsbreite. Beim maximal zulässigen Primärenergiebedarf (lokales Klima) gibt es bei den warmen Standorten eine Abnahme der Unterschreitung um 6 Prozentpunkte, für den Standort Hof eine Zunahme um 3 Prozentpunkte.

Abschließend wird noch die Primärenergie-Auswertung der Basisvariante Industriehalle gezeigt. Für diese Berechnung des maximal zulässigen Primärenergiebedarfs gibt es eine Ausnahmeregelung, nach der durch den Einsatz einer dezentralen Strahlungsheizung der berechnete Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes gleich dem maximal zulässigen Primärenergiebedarf ist, also die seit dem 1.1.2016 anzuwendende 25%-Verschärfung nicht gilt (vgl. Tabelle 22 unter „Sonstiges“). Abbildung 81 sind die Ergebnisse zu entnehmen.

Abbildung 81: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (lokales Klima) – I_0



Obwohl der Primärenergiebedarf standortabhängig stark variiert, gibt es bei $Q_{p\text{ zul}}$ (lokales Klima) nahezu keine Verschiebungen in der Unterschreitung des maximal zulässigen Q_p . Diese beträgt für das Referenzgebäude und alle Standorte gerundet -15 %.

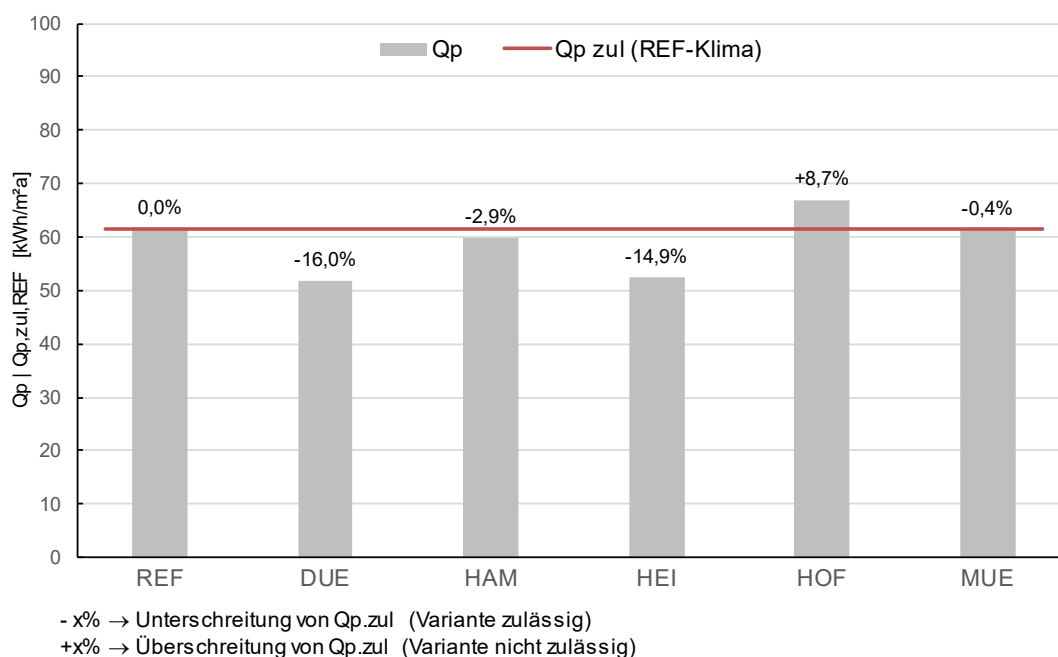
6.2.2 Maximal zulässiger Primärenergiebedarf mit Referenzklima

Nachfolgend wird die Unter- bzw. Überschreitung für die Standort-Varianten bei Berechnung des maximal zulässigen Primärenergiebedarfs unter Beibehaltung des EnEV-Referenzklima als Berechnungsgrundlage untersucht. Im Gegensatz zur vorangegangenen Untersuchung mit variablen zulässigen Primärenergiebedarf bleibt bei dieser Untersuchung der zulässige Primärenergiebedarf je Gebäude- und Anlagenvariante konstant.

Wohngebäude

Das Ergebnis für die Einfamilienhaus-Basisvariante ist in Abbildung 82 dargestellt.

Abbildung 82: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (Referenzklima) – E_0



Bei der Berechnung des maximal zulässigen Primärenergiebedarfs mit dem EnEV-Referenzklima ergibt sich verglichen mit der entsprechenden Abbildung 76 eine größere Schwankungsbreite für die Unter- bzw. Überschreitungen, welche zwischen -16 % (DUE) und +8,7 % (HOF) liegt. Bei dieser Vorgehensweise der Berechnung des maximal zulässigen Primärenergiebedarfs würden geringere Primärenergie-Anforderungen an warmen Standorten und strengere an kalten Standorten gestellt werden.

Bei den in Abbildung 83 dargestellten Ergebnissen zeigen sich die gleichen Erkenntnisse wie bei der Einfamilienbasis-Variante (vgl. Abbildung 82). Bei dieser Vorgehensweise der Berechnung des maximal zulässigen Primärenergiebedarfs nimmt die Schwankungsbreite für die Unter- bzw. Überschreitungen zu und an warmen Standorten würden geringere Primärenergie-Anforderungen und strengere an kalten Standorten gestellt werden.

Abbildung 83: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (Referenzklima) – M_WRG

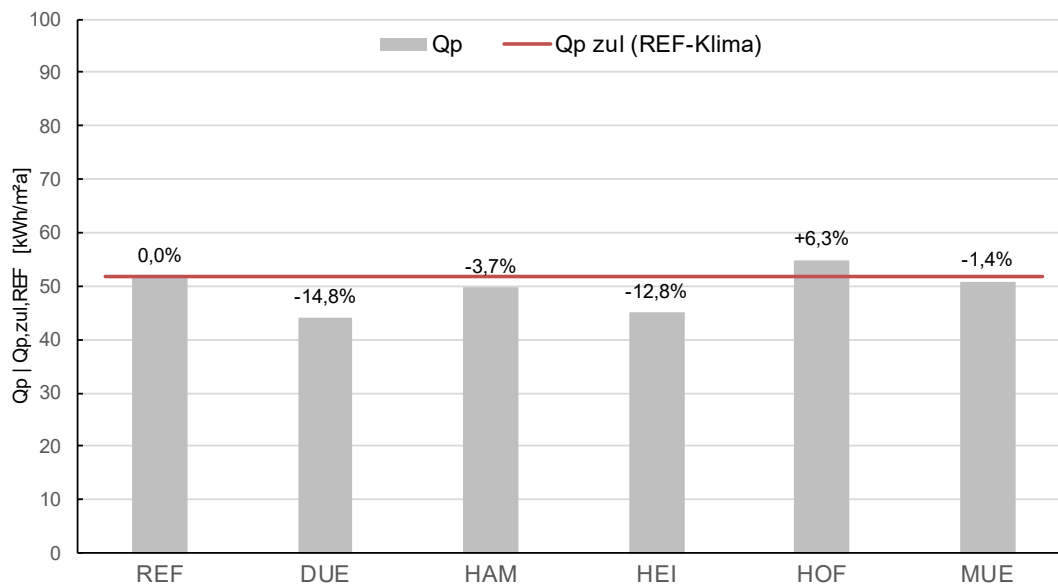
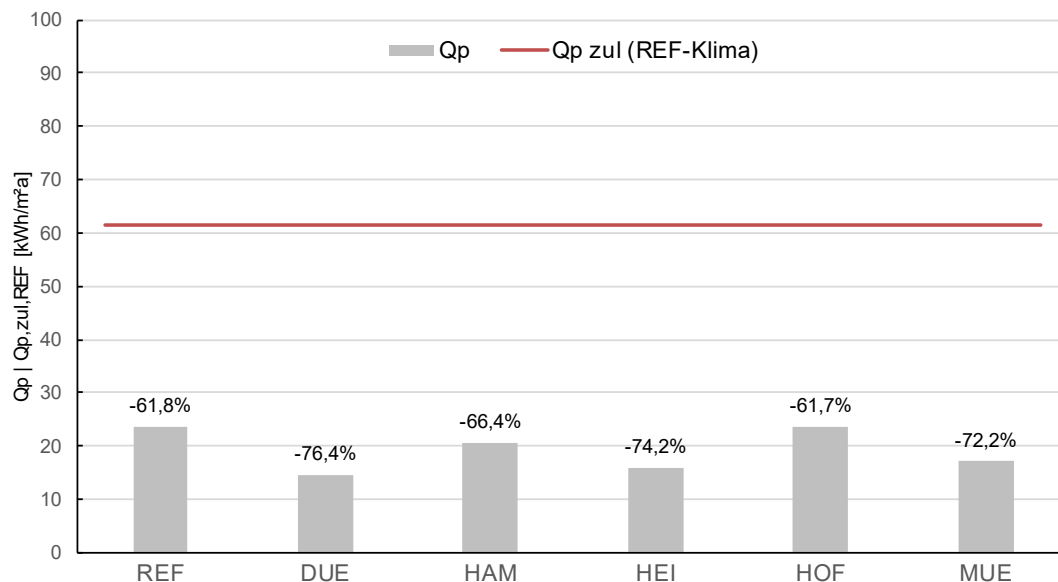


Abbildung 84 zeigt das Ergebnis für die Variante Einfamilienhaus mit Wärmepumpe und PV-Anlage, welche denen mit lokal berechnetem Q_p zulässig ähneln (vgl. Abbildung 78). Jedoch gibt es für die wärmeren Standorte noch höhere Unterschreitungen.

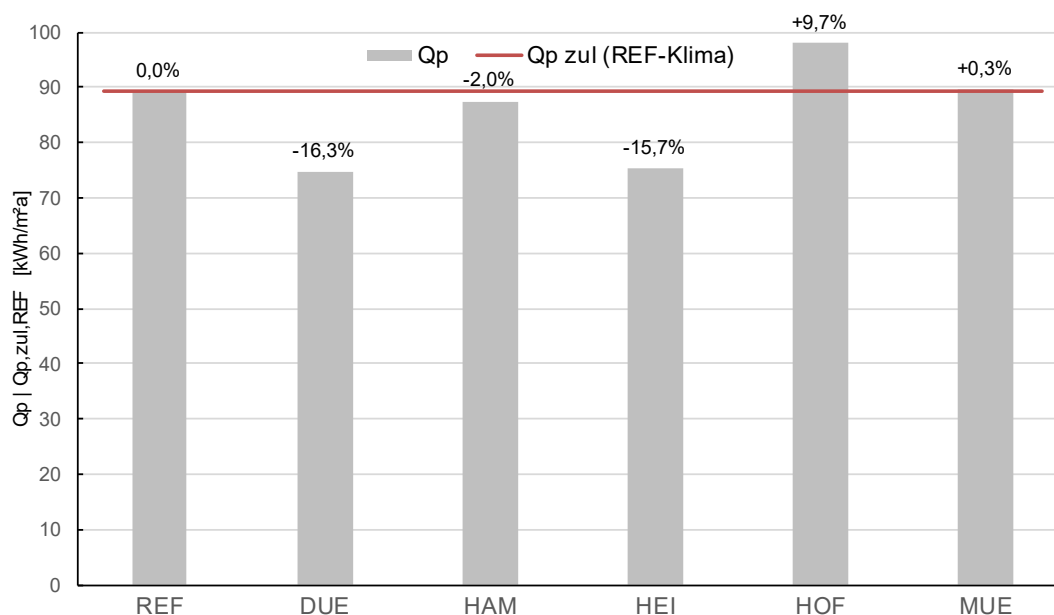
Abbildung 84: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (Referenzklima) – E_WP-PV



Nichtwohngebäude

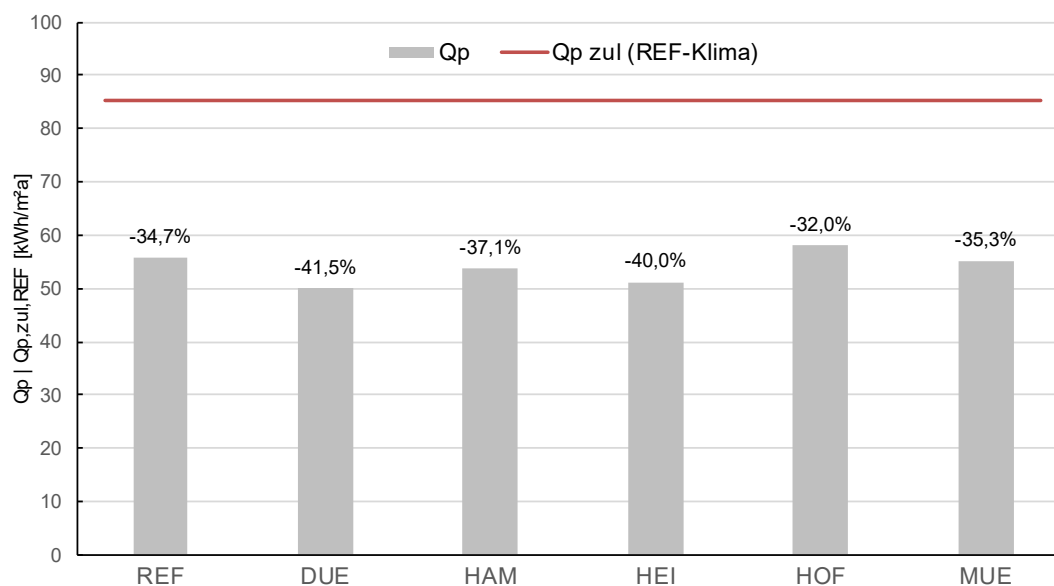
Der bei den EFH-Varianten mit Fernwärme beschriebene Effekt zeigt sich auch in den nachfolgend dargestellten Ergebnissen für die Variante Büro-Mustergebäude mit hohem Fensterflächenanteil.

Abbildung 85: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (Referenzklima) – B_FFA



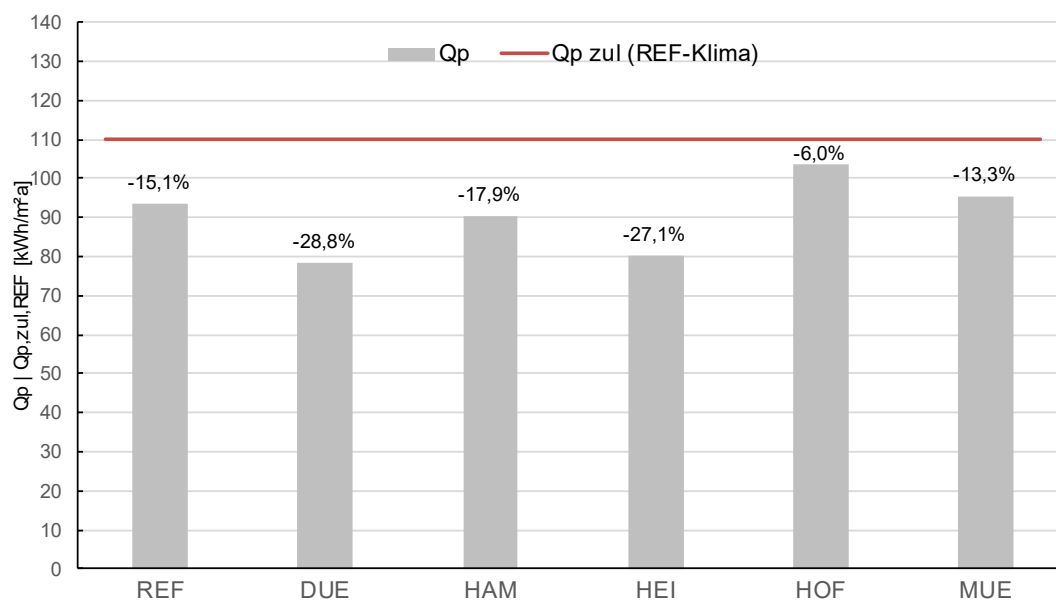
In Abbildung 86 ist die Büro-Variante mit Wärmepumpe und Kühlung dargestellt. Auch hier nimmt verglichen mit Abbildung 80 die Schwankungsbreite der Unterschreitung für die warmen Standorte zu, am kalten Standort Hof nimmt sie ab.

Abbildung 86: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (Referenzklima) – B_WP-K



Der gleiche Effekt zeigt sich für die Ergebnisse für die Industriehallen-Basisvariante in Abbildung 87, wenn man diese mit Abbildung 81 vergleicht.

Abbildung 87: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (Referenzklima) – I_0



6.3 Gesetzgebung

Diese Studie entsteht im Kontext einer noch geltenden EnEV 2013, aber schon in Erwartung eines neuen Gesetzes (GEG), das die Vorgaben der EU-Gebäuderichtlinie umsetzen soll. Ausgehend vom derzeitigen Standard der EnEV 2013 sollen mögliche Auswirkungen einer Einbindung der Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten für die Gesetzgebung diskutiert werden.

Nach EnEV 2013 müssen Neubauten Anforderungen an die thermische Hüllfläche (Transmissionswärmeverlust bzw. mittlere U-Werte) und an den Primärenergiebedarf erfüllen. Die in dieser Studie untersuchten Auswirkungen der Verwendung von ortsgenauen Klimadaten hätten allein Auswirkungen auf die Primärbedarfsberechnung, nicht auf die Höchstwerte für den Transmissionswärmeverlust bzw. die mittleren U-Werte.

Nach EnEV 2013 wird der maximal zulässige Primärenergiebedarf nicht als Grenzwert festgelegt, sondern über die Berechnung eines Referenzgebäudes gleicher Geometrie wie das zu errichtende Gebäude, jedoch mit festgelegter baulicher und technischer Ausführung. Der Vorteil dieser Berechnungsvorschrift liegt darin, dass auf diese Weise der architektonischen Gestaltung (Kubatur, Verglasungsanteil) größtmöglicher Freiraum gegeben wird. Es entstehen den Architekten von Nichtwohngebäuden keine Nachteile bei der Erfüllung der EnEV beispielsweise durch ein hohes A/V-Verhältnis oder durch eine Vollverglasung. Für die Erfüllung der Klimaziele hingegen birgt dieses Verfahren den Nachteil, dass die Primärenergiebedarfswerte nicht begrenzt sind und somit Neubauten mit hohen Energiebedarfswerten (z.B. nahezu vollverglastes Bürogebäude) gebaut werden können.

Zentraler Leitgedanke der EnEV und der DIN V 18599 ist die Festlegung von standardisierten nutzungs- und betriebsbezogenen Randbedingungen bei der Berechnung des Primärenergiebedarfs, die eine energetische Bewertung des Gebäudes unabhängig von individuellem Nutzerverhalten und lokalen Klimadaten ermöglichen. Diesem Leitgedanken widerspricht eine Berechnung mit lokalen Klimadaten. Gleichzeitig werden aber auch wirtschaftlichere Gebäudeausführungen in wärmeren Regionen verhindert. Auch der oft sehr große Unterschied zwischen errechnetem Energiebedarf und -verbrauch, der wesentlich durch die standardisierte Berechnung (Nutzungsrandbedingungen, Klima) bedingt ist, erschwert das Aufspüren von Energieeinsparmaßnahmen. Nachfolgend werden mögliche Handlungsstrategien hinsichtlich der Berechnungen mit örtlichen Klimadaten vorgestellt, kurz beschrieben, und deren Vor- und Nachteile diskutiert.

I Keine Anpassung an lokale Klimadaten

Beschreibung: Das derzeitige Berechnungsverfahren mit einem Referenzklima für ganz Deutschland wird sowohl für die Energiebedarfsberechnung für alle Gebäude als auch für den über ein Referenzgebäude ermittelten maximal zulässigen Primärenergiebedarf beibehalten.

Vorteile:

- einheitlicher Standard in ganz Deutschland
- Berechnung mit lokalen Klimadaten ist nicht notwendig, weil eine Klimabereinigung relativ einfach durchzuführen ist

Nachteile:

- Witterungsbereinigung nachzeitigem Verfahren von verbrauchsbasierten Energieausweisen umfasst nur die Bereinigung des Heizwärmeverbrauchs über die Außentemperaturen (vgl. Kapitel 6.1)
- Die in der Einleitung dieses Kapitels beschriebenen Nachteile des derzeitigen Verfahrens bleiben bestehen.

II Pflichtangabe von zusätzlich mit ortsgenauen Klimadaten berechneten Energiebedarfswerte

Beschreibung: Das derzeitige Berechnungsverfahren (s. I) wird beibehalten, gleichzeitig wird aber die Ausweisung von mit den tatsächlichen Randbedingungen (ortsgenaue Klimadaten, ggf. angepasste Nutzungsprofile) errechneten Endenergiebedarfswerten gefordert.

Vorteile:

- angepasste Bedarfsberechnung als Grundlage für Bedarfs-Verbrauchsabgleich (s. hierzu Kap. 6.1) oder Monitoring

Nachteile:

- schwierig festzulegende Anpassung der Nutzungsprofile
- EnEV-Berechnung wird für Anwender aufwendiger
- Aufwand für Software-Umstellung, welche die Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten ermöglicht
- ggf. noch zusätzliche Witterungsbereinigung bei Bedarfs-Verbrauchsabgleich notwendig

III Derzeitiges EnEV-Verfahren mit ortsgenauen Klimadaten für Gebäude und Referenzgebäude

Beschreibung: Das derzeitige Berechnungsverfahren wird umgestellt auf die Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten für das Gebäude und das Referenzgebäude.

Vorteile:

- Die Bedarfswerte lägen durch die Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten näher an den Verbrauchswerten.

Nachteile:

- Die Mustergebäudeberechnung zeigt, dass im Vergleich zum derzeitigen Verfahren in den meisten Fällen in warmen Gegenden etwas mehr und in kälteren Regionen etwas weniger gedämmt werden müsste (vgl. 6.2.1). Dies macht energiepolitisch keinen Sinn und widerspricht den Klimazielen, da die Primärenergieverbräuche – absolut betrachtet – ansteigen würden. Dieser Nachteil ist so schwerwiegend, dass diese Strategie für mögliche Handlungsempfehlungen nicht weiter in Betracht gezogen wird.

IV Derzeitiges EnEV-Verfahren mit ortsgenauen Klimadaten für Gebäude und D-Referenzklima für Referenzgebäude

Beschreibung: Das derzeitige Berechnungsverfahren wird umgestellt auf die Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten für das Gebäude. Das Referenzgebäude wird jedoch weiterhin mit einem Referenzklima für Deutschland berechnet.

Vorteile:

- Die Bedarfswerte lägen durch die Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten näher an den Verbrauchswerten.
- Verbesserungen an der energetischen Qualität der Gebäudehülle würden zielgerichteter eingesetzt, weil an warmen Standorten weniger und an kalten Standorten mehr gedämmt werden müsste. Dies beeinflusst auch den Einsatz von grauer Energie positiv.

Nachteile:

- Aufwand für Software-Umstellung der EnEV-Berechnungsprogramme
- Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Energiebedarfsberechnung ist nicht mehr in demselben Ausmaß gegeben.
- Die Durchsetzung eines klimaangepassten Bauens könnte sich als politisch schwierig herausstellen. Hintergrund ist die Frage, ob es politisch durchzusetzen ist, dass Bauherren in kälteren Regionen gegebenenfalls mehr ausgeben müssen als in wärmeren Regionen. Das Energieeinsparungsgesetz (EnEG), welches durch die Energieeinsparverordnung umgesetzt wird, enthält den wichtigen Wirtschaftlichkeitsgrundsatz. Vor diesem Hintergrund müssten für diese neue Berechnungsvorschrift umfangreiche Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen mit ungewissem Ausgang durchgeführt werden.
- Das Problem der regional unterschiedlichen Anforderungswerte wird noch schwerwiegender in der Förderpolitik. Förderbedingungen werden oft in Form von geforderten Unterschreitungen hinsichtlich des Primärenergiebedarfs definiert. Dies hätte zur Folge, dass das gleiche Gebäude in einer warmen Region ggf. gefördert werden könnte, in einer kalten Region jedoch nicht. Während die sich durch die Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten ergebenden Verschiebungen für das Erreichen des EnEV-Standards nur bei primärenergetisch ungünstiger Anlagentechnik bedeutsam würden, ist nach den derzeitigen KfW-Förderbedingungen die Primärenergieunterschreitung sehr relevant und bedingt ggf. deutliche Auswirkungen auf die Investitionen. Bei einer Umstellung auf eine Berechnung mit standortspezifischen Klimadaten müssten in einem ersten Schritt die Auswirkungen auf Förderprogramme untersucht werden, um darauf aufbauend umsetzbare Förderkriterien zu erarbeiten, die auch die politischen Ziele berücksichtigen.
- Die Akzeptanz könnte gering sein, da Vereinfachungen (z.B. EnVEasy, KfW-Effizienzhaus über ein vereinfachtes Nachweisverfahren) nicht mehr möglich wären. Dies gilt insbesondere für die Bauwirtschaft (z.B. Fertighaus-Hersteller), da die Ausführungen an den jeweiligen Standort angepasst werden müsste.
- Eine zusätzliche Witterungsbereinigung bei Bedarfs-Verbrauchsabgleichen ist weiterhin notwendig.

V Anpassung des EnEV-Verfahren auf maximal zulässige Primärenergie- bzw. CO₂-Werte und Bedarfsberechnung mit ortsgenauen Klimadaten

Beschreibung: Das derzeitige öffentlich-rechtlich Nachweisverfahren wird komplett umgestellt auf begrenzte Transmissionswärmeverlust- und Primärenergiebedarfswerte. Die Energiebedarfsberechnung erfolgt mit ortsgenauen Klimadaten, eine Berechnung eines Referenzgebäudes ist nicht mehr notwendig. (Die Bedarfsermittlung könnte durch die Möglichkeit einer Whole-Building-Simulation ergänzt werden). Ziel der Umstellung ist eine Vereinfachung des derzeitigen Verfahrens.

Hintergrund dieser Handlungsstrategie wäre, dass in vielen EU-Ländern, bei denen der Heizenergiebedarf wie in Deutschland eine Hauptemissionsquelle von Klimagasen ist, einfachere Verfahren zur Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie eingeführt haben. Daher sollte die Effektivität des derzeitigen Verfahrens bezüglich des Ziels der Reduktion von Klimagasen überprüft werden.

Vorteile:

- Die gesetzlichen Bestimmungen können vereinfacht werden.
- Eine Begrenzung der Primärenergiebedarfswerte auf einen bestimmten Wert könnte die Einhaltung von Klimazielen vereinfachen.

Nachteile:

- Festlegung und Durchsetzung eines maximalen Primärenergiebedarfswert schwierig, da der Bedarfswert gebäude- und nutzungsabhängig ist. Dies war der Hintergrund für die Einführung des Referenzgebäudes.
- Anpassung des Verfahrens sehr aufwendig
- Enormer Aufwand und langer Zeithorizont für Umstellung
- standortspezifische Klimaeinflüsse würden zu regional unterschiedlichen Maßnahmen führen.

Eine Favorisierung der möglichen Handlungsstrategien ist schwierig, da Veränderungen der Gesetzgebung komplexe Auswirkungen haben. Dennoch sollte versucht werden, auf eine Vereinfachung der Gesetzgebung hinzuwirken. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen die hohe Relevanz der Klimadaten für die Bedarfsberechnung auf.

Im Hinblick auf eine auf die Reduzierung von Klimagasen zielgerichtete Gesetzgebungspolitik darf dieser Aspekt nicht außer Acht gelassen werden. Bezogen auf die derzeitige Berechnungsvorschrift nach EnEV kann - anders ausgedrückt - die Schlussfolgerung gezogen werden, dass an kälteren Standorten nach den derzeitigen Vorschriften zu wenig hinsichtlich der Vermeidung von Transmissionswärmeverlusten verlangt wird hingegen an warmen Standorten gegebenenfalls zu viel.

6.4 Fazit

Bei der Berechnung des maximal zulässigen Primärenergiebedarfs mit standortabhängigen Klimadaten auf Basis des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes ergeben sich zwei Möglichkeiten: entweder werden die Klimadaten auch beim Referenzgebäude durch die Standortklimadaten ersetzt oder das Referenzklima beibehalten. Diese Entscheidung hat entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse.

Bei Verwendung lokaler Klimadaten auch für das Referenzgebäude zeigen sich für die Unter- bzw. Überschreitung des zulässigen Primärenergiebedarfs bei Standortvariation der Fernwärme-Varianten eine nur relativ geringe Schwankungsbreite von -2,8 (HOF M-WRG) bis +5,5 % (HEI M-WRG). Wobei

sich warme Standorte benachteiligt zeigen. In allen Fällen kommt es für die warmen Standorte Düsseldorf und Heidelberg zu Überschreitungen des maximal zulässigen Primärenergiebedarfs. Dies bedeutet, dass diese Variante bei Berechnung mit lokalen Klimadaten so nicht zulässig wäre. Für die Varianten mit Wärmepumpen ergeben sich gänzlich andere Ergebnisse: durch den Wärmepumpe-Einsatz weisen alle Standort-Varianten eine deutliche Unterschreitung des zulässigen Primärenergiebedarfs auf. Hierbei nimmt die Unterschreitung im Vergleich zum REF-Klima für alle untersuchten Standorte zu. Auch weisen warme Standorte eine höhere Unterschreitung als kältere Standorte auf.

Bei Variation der Klimadaten unter Beibehaltung des mit Referenzklima berechneten maximal zulässigen Primärenergiebedarfs zeigt sich bei den Fernwärmevarianten eine deutlich größere Schwankungsbreite bei der ausgewerteten Über- bzw. Unterschreitung für die unterschiedlichen Standorte. Diese liegt zwischen -16,3 % (DUE B_FFA) und +9,7 (HOF B_FFA). Varianten mit Standort Hof würden die Primärenergieanforderung nicht mehr einhalten, wohingegen die warmen Standorte die Anforderungen deutlich unterschreiten. Für die Varianten mit Wärmepumpen ergeben sich ähnliche Ergebnisse wie bei der Berechnung des Referenzgebäudes mit lokalen Klimadaten, wobei hier für den Standort Hof die Unterschreitung im Vergleich zur Referenzklima-Variante leicht abnimmt.

Des Weiteren werden mögliche Handlungsstrategien für eine Einführung von ortsgenauen Klimadaten aufgeführt und deren Vor- und Nachteile diskutiert: Würde das derzeitige EnEV-Verfahren beibehalten, aber die Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten für Gebäude und Referenzgebäude vorgeschrieben, hätte dies den Vorteil, dass die Bedarfswerte durch die Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten näher an den Verbrauchswerten lägen, aber den gravierenden Nachteile, dass im Vergleich zum derzeitigen Verfahren in vielen Fällen in warmen Gegenden etwas mehr und in kälteren Regionen etwas weniger gedämmt werden müsste. Dies macht energiepolitisch keinen Sinn, da die Primärenergieverbräuche gesamt ansteigen würden. Würde mit lokalen Klimadaten gerechnet und das Referenzgebäude jedoch weiterhin mit einem Referenzklima für Deutschland berechnet werden, lägen die Bedarfswerte auch näher an den Verbrauchswerten und Verbesserungen an der energetischen Qualität der Gebäudehülle würden zielgerichteter eingesetzt, weil an warmen Standorten weniger und an kalten Standorten mehr gedämmt werden müsste. Jedoch könnte sich die Durchsetzung eines klimaangepassten Bauens als politisch schwierig herausstellen. Hintergrund ist die Frage, ob es politisch durchzusetzen wäre, wenn Bauherren in kälteren Regionen gegebenenfalls mehr investieren müssen als in wärmeren Regionen. Dieses Problem würde sich noch schwerwiegender in der Förderpolitik auswirken, da sich derzeitige Förderbedingungen oft auf geforderte Unterschreitungen hinsichtlich des Primärenergiebedarfs beziehen. Bei einer Umstellung auf eine Berechnung mit standortspezifischen Klimadaten müssten daher zunächst die Auswirkungen auf Förderprogramme untersucht werden, um darauf aufbauend umsetzbare Förderkriterien zu erarbeiten, die auch die politischen Ziele berücksichtigen.

Eine weitere diskutierte Handlungsstrategie ist in der Anpassung des Verfahrens auf maximal zulässige Primärenergie- bzw. CO₂-Werte und Bedarfsberechnung mit ortsgenauen Klimadaten zu sehen. Bei dieser Option könnten finanzielle zielgerichteter eingesetzt und eine Vereinfachung des Verfahrens realisiert werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen die hohe Relevanz der Klimadaten für die Bedarfsberechnung auf, welche im Hinblick auf eine auf die Reduzierung von Klimagasen ausgerichtete Gesetzgebungspolitik nicht außer Acht gelassen werden darf.

7.0 Thermisch-dynamische Gebäudesimulation

Um die Ergebnisse der Energiebedarfsberechnungen mit EnEV-konformen Klimadaten verifizieren zu können, werden ergänzend zur Berechnung nach DIN V 18599 thermisch-dynamische Gebäudesimulationen für die Mustergebäude Mehrfamilienhaus und Bürogebäude durchgeführt. Die beiden Gebäude werden im Rahmen einer sogenannten „Whole-Building-Simulation“ in einem Computermodell nachgebildet und alle relevanten Energieströme dynamisch über ein gesamtes Jahr berechnet.

Grundlage der Gebäudesimulation ist ein geometrisches Gebäudemodell. Dann wird ein physikalisches Modell erstellt, das die Parameter und Randbedingungen (z.B. Klimadaten, Bauteilaufbauten, innere Wärmequellen, Luftwechselraten) enthält. Die Verknüpfung beider Modelle wird innerhalb der entsprechenden Simulationssoftware realisiert. Mithilfe der Simulation können auf diese Weise thermische Einflüsse auf ein Gebäude (Klima, Transmissions- und Lüftungswärme, solare Gewinne, Verschattung, innere Wärmelasten) im zeitlichen Verlauf ermittelt werden, so dass die Dynamik dieser Einflüsse berücksichtigt wird.

Untersuchungsgegenstand

Die schon dargestellten Ergebnissen des Monatsbilanzverfahrens sollen mit den Ergebnissen der thermischen Gebäudesimulation abgeglichen werden. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf der Analyse der Auswirkungen der Verwendung lokaler Klimadaten und nicht auf der Analyse der sich ergebenden Unterschiede zwischen DIN V 18599-Berechnung und Simulation. Ergänzt werden die Untersuchungen durch eine simulative Ermittlung des Anteils des bei der DIN V 18599 nicht berücksichtigten Energiebedarfes zur Entfeuchtung.

7.1 Vorgehensweise

7.1.1 Übersicht Varianten

Damit eine Vielzahl an Einflussgrößen an den Beispielgebäuden Mehrfamilienhaus und Bürogebäude untersuchen lässt, werden die in Kapitel 4.2 beschriebenen Varianten um weitere Varianten ergänzt. Um für die zusätzlichen Varianten Vergleichswerte aus dem Monatsbilanzverfahren zu erzeugen werden diese mit der EnEV-Software gemäß DIN V 18599 berechnet.

Tabelle 37 gibt eine Übersicht über die Varianten dieser Untersuchung. Ergänzte Varianten, die in den vorangegangenen Kapiteln noch nicht untersucht wurden, sind in schwarzer Schrift dargestellt, schon berechnete Varianten in grauer Schrift gekennzeichnet.

Tabelle 37: Übersicht der Varianten für den Vergleich mit thermischer Simulation

	Basisfall	Bau- weise leicht	Bau- weise schwer	Fenster- flächen- anteil	Dämm- standard	Lüftung /RLT	Solar- thermie	Kühlen	Wärme- pumpe	PV
MFH	M_0	M_BWL	M_BWS	M_FFA	M_KFW	M_WRG	M_STW		M_WP-PV	
Büro	B_0	B_BWL	B_BWS	B_FFA	B_KFW	B_WRG	-	B_WP-K		B_WP-PV

Für den Vergleich werden dieselben Standorte wie in den vorangegangenen Kapiteln verwendet (s. Abbildung 28, Tabelle 19).

Eingehende Klimadaten bei der Simulation sind die unveränderten Stundenwerte der ortsgenauen Testreferenzjahre aus dem Klimaberatungsmodul (vgl. Kap. 3.1.1), aus denen auch die EnEV-konformen Monatsmittelwerte für die Berechnung gemäß DIN V 18599 erzeugt wurden (vgl. Kapitel 3.0).

7.1.2 Berechnungsmethodik und Randbedingungen Monatsbilanzverfahren

Analog Kapitel 4.3 werden die Randbedingungen für die Berechnung nach EnEV-konformen Monatsbilanzverfahren festgelegt. Die ergänzten Randbedingungen für die zusätzlichen Varianten (in schwarzer Schrift) sowie die schon bekannten Randbedingungen (in grauer Schrift) sind Tabelle 38 zu entnehmen.

Tabelle 38: Ergänzte Randbedingungen für den Vergleich mit thermischer Simulation

Basisfall	MFH (M_0)	Büro (B_0)
Bauweise (Wirksame Wärmekapazität)	mittel (90 Wh/m²K)	mittel (90 Wh/m²K)
Fensterflächenanteil	21 %	Fensterflächenanteil 45% Zweifachverglasung, U-Wert 1,3 W/m²K, g-Wert 0,6, außenliegender Sonnenschutz
Dämmstandard	EnEV-Standard ($H'_{T,-3\% \text{ Ref. } H'_T}$) $H'_{T,-3\%} = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K} \leq \text{Ref. } H'_T = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$	vorh. mittl. U-Wert opake Außen-Bauteile: 0,23 W/m²K transparente Fenster: 1,31 W/m²K Oberlichtsysteme: 2,00 W/m²K $H'_{T,-3\%} = 0,58 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Ref. $H'_T = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$)
Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB}	Pauschal 0,1 W/m²K	Pauschal 0,05 W/m²K
Luftdichtheit n_{50}	1 h⁻¹ (mit Dichtheitsprüfung)	0,8 h⁻¹ (mit Dichtheitsprüfung)
Wärmeerzeuger	Fernwärme	Fernwärme
Heizung Kreis	VL 37° C, RL 30° C Heizkreispumpe optimiert, hydraulischer Abgleich	VL 37° C, RL 30° C Heizkreispumpe optimiert, hydraulischer Abgleich
Heizung Übergabe	Fußbodenheizung Nasssystem, PI-Regler	Fußbodenheizung Nasssystem, PI-Regler, Ausnahme Zone Besprechungsräume: Heizsegel
Heizung Verteilung	Netztyp II, Leitungen innerhalb, Standardleitungslängen keine Anbindeleitung	Netztyp II, Gruppe 1 Verteilleitungen außerhalb, Strang-/Anbindeleitungen innerhalb, Anbindeleitung FBH 20m, Heizsegel 500m, ansonsten Standardleitungslängen
Warmwasser	indirekt über Heizungswärmeerzeuger, beheizter Speicher, mit Zirkulation, Verteilung: Netztyp I, Gruppe 1 Wohnen Leitungen innerhalb, Zirkulationspumpe optimiert, geregelt	Der Warmwasserbedarf für Handwaschbecken, Putzräume, Teeküchen wird gemäß DIN V 18599-10 Tabelle 6 Fußnote b vernachlässigt.
Lüftung	bedarfsgeführte Abluftanlage, Betriebszeit ganzjährig, $n_{\text{mech}} = 0,35 \text{ 1/h}$, DC-Motor	natürlich belüftet

Variante BWL	M_BWL	B_BWL
Bauweise leicht	Leichte Bauweise (50 Wh/m²K)	Leichte Bauweise (50 Wh/m²K)
Variante BWS	M_BWS	B_BWS
Bauweise schwer	Schwere Bauweise (130 Wh/m²K)	Schwere Bauweise (130 Wh/m²K)
Variante FFA	M_FFA	B_FFA
Fensterflächenanteil	Verdopplung Fensterflächenanteil auf 41 % $H'_{T}=0,50 \text{ W/m}^2\text{K} \leq H'_{T_{zul.}}=0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$	Fensterflächenanteil 75 % $H'_{T}=0,78 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Ref. $H'_{T}=0,79 \text{ W/m}^2\text{K}$) Sommerlicher Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2:2013 eingehalten durch: ergänzend 2- Scheiben-Sonnenschutzverglasung mit $g = 0,33$
Variante KfW	M_KfW	B_KfW
Dämmstandard	KfW-Effizienzhaus 40 $H'_{T}=0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ (H'_{T} : -45% Ref. H'_{T}) Für KfW-Standard muss $f_p \leq 0,4$ (Ergebnisse mit $f_p=0,4$: Q_p : 20,6 kWh/m²a (Q_p : -60% Ref. Q_p))	KfW-Effizienzhaus 55 vorh. mittl. U-Wert (zulässig) 0,21 W/m²K (0,22 W/m²K) 1,0 W/m²K (1,2 W/m²K) $H'_{T}=0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Ref. $H'_{T}=0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$) Für KfW-Standard muss $f_p \leq 0,4$ (Ergebnisse mit $f_p=0,5$: Q_p : 60 kWh/m²a (Q_p höchst 110 kWh/m²a))
Variante WRG	M_WRG	B_WRG
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	bedarfsgeführt, ganzjährig Wärmebereitstellungsgrad 0,75 DC-Motor, ohne Heizfunktion	RLT-Anlage zur vollständigen Deckung des Mindestaußenluftvolumenstroms. Keine Befeuchtung, Wärmerückgewinnung ohne Feuchte- und Stoffaustausch 75 %, mit Nachheiz-, ohne Kühlfunktion Leistungsaufnahme Ventilatoren entsprechend Ökodesignrichtlinie ab 2018: 0,55 Wh/m³ 2018 entspr. 1190 Pa bei Gesamtwirkungsgrad Ventilator 0,6, bedarfsabhängige Volumenstromregelung, mech. Belüftung nur während Nutzungszeit, Regelung IDA-C3
Variante STW	M_STW	-
Solarthermische Anlage zur Warmwasserbereitung	Auslegung nach Standardwert nach DIN V 18599 (42,4 m²), Flachkollektor (45° Neigung, Süd), Standardwerte für Solarkreis-Pumpe (Hilfsstrom 735 kWh/a) und Bivalenter TW-Speicher (3000 l)	
Variante K	-	B_WP-K
		Eingabe der reversiblen Wärmepumpe als a) Grundwasser-Wärmepumpe mit Standardwerten, Heizkreispufferspeicher 1.500l b) wassergekühlte Kompressionskältemaschine mit Kältespeicher (Standardwerte) mit freier Kühlung in Rückkühlung, Übergabe über Kühlsegele an Zonen 1_Büro, 2_Besprechung, 4_Sonstige Aufenthaltsr. VL 15° C, RL 19 °C
Variante WP/PV	M_WP-PV	B_WP-PV
WP - Wärmepumpen	Grundwasser-Wärmepumpe 75 kW, monovalent, Heizkreispufferspeicher (700 l)	analog. B_WP-K a)
PV – Photovoltaik-Anlage	PV-Anlage 70 kWp aufgeständert auf Flachdach (O/W, 10°, mäßig belüftet), Zelltyp monokristallines Silizium, Berechnung nach DIN V 18599-9 (da nur Anstellwinkel von 0°, 30°, 45°, ... gewählt werden können, wird mit 0° gerechnet)	PV-Anlage 56 kWp aufgeständert auf Flachdach (O/W, 10°, mäßig belüftet), Zelltyp monokristallines Silizium, Berechnung nach DIN V 18599-9 (Da nur Anstellwinkel von 0°, 30°, 45°, ... gewählt werden können, wird mit 0° gerechnet)

7.1.3 Randbedingungen Simulation

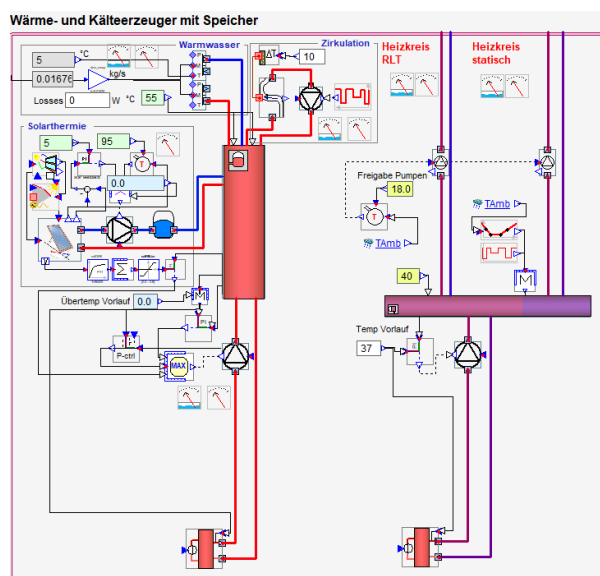
Die Simulation wird mit der Software IDA Indoor Climate and Energy, Version 4.8 SP1 von EQUA Simulation AB, Stockholm, Schweden durchgeführt. In die Simulationssoftware werden die beiden Mustergebäude auf Basis der Architektenpläne analog der Eingabe in das EnEV-Berechnungsprogramm (vgl. Kapitel 4.1) mit der identischen Zonierung und den entsprechenden Bauteilaufbauten eingegeben. Innenwände, die sich innerhalb einer Zone befinden, werden nicht eingegeben, da sie bei allen Varianten als Trockenbauwände geplant sind, deren Speichermasse vernachlässigbar ist. Innenwände zwischen den Zonen und zum unbeheizten Keller oder zur Tiefgarage werden als solche berücksichtigt. Als Klima-Varianten werden für die ausgewählten Standorte (vgl. Abbildung 28) die ortsgenauen Testreferenzjahre aus dem Klimaberatungsmodul (vgl. Kap. 3.1.1) verwendet.

Die U-Werte der Bauteile zum unbeheizten Keller werden mit einem Fx-Wert von 0,6 angepasst, diejenigen erdberührender Bauteile mit einem Fx-Wert von 0,5. Der Wärmebrückenverlustkoeffizient wird analog der entsprechenden Monatsbilanz-Variante angesetzt. Für die internen Wärmeeinträge durch Personen und Geräte werden die täglichen Wärmemengen der jeweiligen Nutzungsprofile der DIN V 18599 gleichmäßig auf die tägliche Nutzungszeit (0-24 Uhr beim Wohngebäude, 7-18 Uhr bei den betreffenden Nutzungen des Nichtwohngebäudes) verteilt. Die natürliche Lüftung wird ebenfalls konstant auf die tägliche Nutzungszeit verteilt. Beim Bürogebäude werden bei Varianten mit mechanischer Lüftung zwei Stunden Vorlauf gemäß DIN V 18599 berücksichtigt. Als Windmodell werden Standardwerte für urbane Umgebung angewendet.

Alle weiteren Randbedingungen werden analog der Berechnung nach DIN V 18599 angesetzt. Dies betrifft beispielsweise Nutzungs- und Betriebszeiten, Raumklimaanforderungen und interne Wärmequellen, Luftwechsel und Infiltration oder auch den Trinkwarmwasser-Nutzenergiebedarf. Alle verwendeten Nutzungsprofile des Bürogebäudes haben 250 jährliche Nutzungstage. Es wird davon ausgegangen, dass das Jahr mit Montag, den 1. Januar beginnt. Da eine Wochentagnutzung (Mo-Fr über das gesamte Jahr) 260 Nutzungstage pro Jahr ergibt, werden die folgenden zehn Feiertage (ohne Nutzung) an Wochentagen berücksichtigt: 1.1., 29.3., 1.4., 1.5., 9.5., 20.5., 3.10., 25.12., 26.12., 31.12..

Auch die Anlagentechnik wird analog der Kennwerte der Berechnung nach DIN V 18599 eingegeben. Beispielhaft zeigt Abbildung 88 das Eingabe-Modul für die Wärmeerzeugung.

Abbildung 88: Eingabe Anlagentechnik



Um das Prinzip der Whole-Building-Simulation verdeutlichen, werden in Abbildung 89 und Abbildung 90 am Beispiel einer Zone des Bürogebäudes die sich gegenseitig beeinflussenden Parameter für eine Woche im Winter und eine im Sommer dargestellt.

Abbildung 89: Darstellung sich gegenseitig beeinflussender Parameter bei einer Whole-Building-Simulation (Winterwoche, Variante B_WP_K; Zone Besprechung)

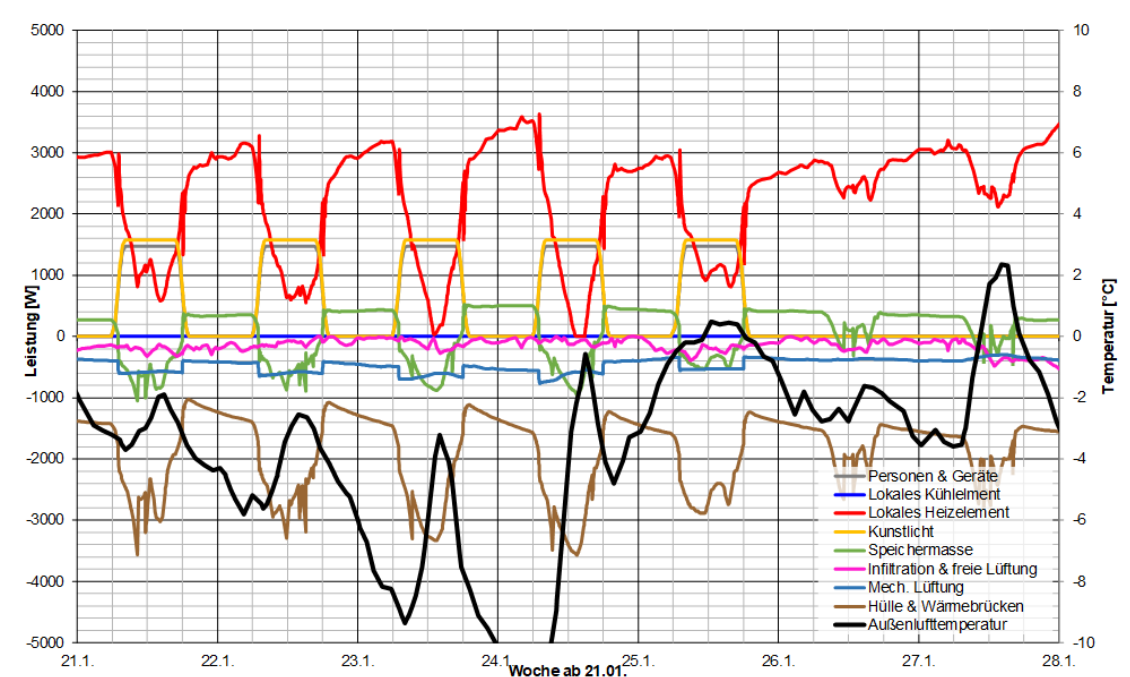
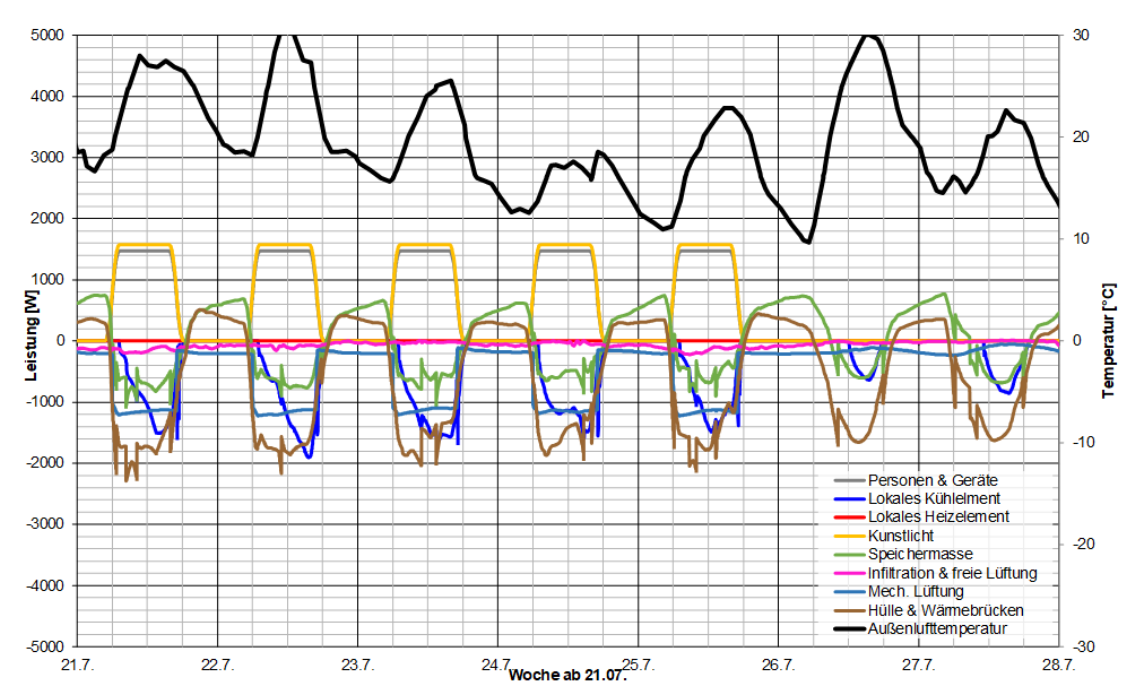


Abbildung 90: Darstellung sich gegenseitig beeinflussender Parameter bei einer Whole-Building-Simulation (Sommerwoche, Variante B_WP_K; Zone Besprechung)



7.2 Ergebnisse Wohngebäude

In Analogie zu Kapitel 5.0 soll in einem ersten Schritt die Erzeugernutzwärme für Heizung ausgewertet werden und anschließend die Endenergiebedarfswerte Heizung, Trinkwarmwasser, Kälte und PV-Strom für die Ergebnisse der EnEV-Berechnungssoftware und der thermisch-dynamischen Gebäudesimulation miteinander verglichen werden.

7.2.1 Erzeugernutzwärme Heizung

Die Ergebnisse der EnEV-Berechnung und der Gebäudesimulation für die Erzeugernutzwärme Heizung bei Variation der Klimaeingangsdaten sind in Abbildung 91 für die DIN V 18599-Berechnung und die Whole-Building-Simulation dargestellt. Es ist ersichtlich, dass sich nur geringfügige Unterschiede von wenigen Prozent ergeben: beim Referenzklima und beim Standort Hof liegt das Ergebnis der Simulation um -2,1 % bzw. -0,4 % unter der EnEV-Berechnung, bei den anderen Standorten um +2,3 % (München) bis +6,1 % (Hamburg) über der EnEV-Berechnung.

Abbildung 91: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_0)



Daraus lässt sich ableiten, dass sich im Vergleich zu den gemittelten Klimadaten des Monatsbilanzverfahrens durch Verwendung der TRY-Stundenwerte bei der Simulation einige kleinere Verschiebungen ergeben. Nur beim Standort Hamburg sind die Unterschiede mit über 6 % erstaunlich hoch.

Als nächstes werden die Ergebnisse der Erzeugernutzwärme Heizung bei Variation der Speicherkapazität für schwere und leichte Bauweise in Abbildung 92 bzw. Abbildung 93 ausgewertet. Wie zu erwarten war, steigt die Erzeugernutzwärme bei leichter Bauweise an und sinkt bei schwerer Bauweise: Die Bauweise führt nach DIN V 18599-Berechnung unter Variation der Klimadaten zu einer Zunahme von 2,7 bis 4,2 % bei leichter Bauweise bzw. einer Abnahme zwischen 0,5 und 0,8 % bei schwerer Bauweise im Vergleich zum jeweiligen Basisfall. Die größten Abweichungen (+4,2 % bzw. -0,8 %) ergeben sich jeweils für den Standort Düsseldorf. Im Vergleich dazu fallen bei der Simulation die klimaabhängigen Abweichungen, die zwischen +1,5 und +2,1 % bei leichter Bauweise bzw. nur bis zu -0,2 % bei schwerer Bauweise liegen, geringer aus. Beim Vergleich ENEC-Berechnung und Simulation ergeben sich für die Standorte Düsseldorf (29,4 bzw. 29,6 kWh/m²a) und Heidelberg (30,4 bzw. 30,6 kWh/m²a) bei leichter Bauweise bzw. für den Standort Hof (43,4 bzw. 43,5 kWh/m²a) bei schwerer Bauweise annähernd identische Werte.

Abbildung 92: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_BWL)

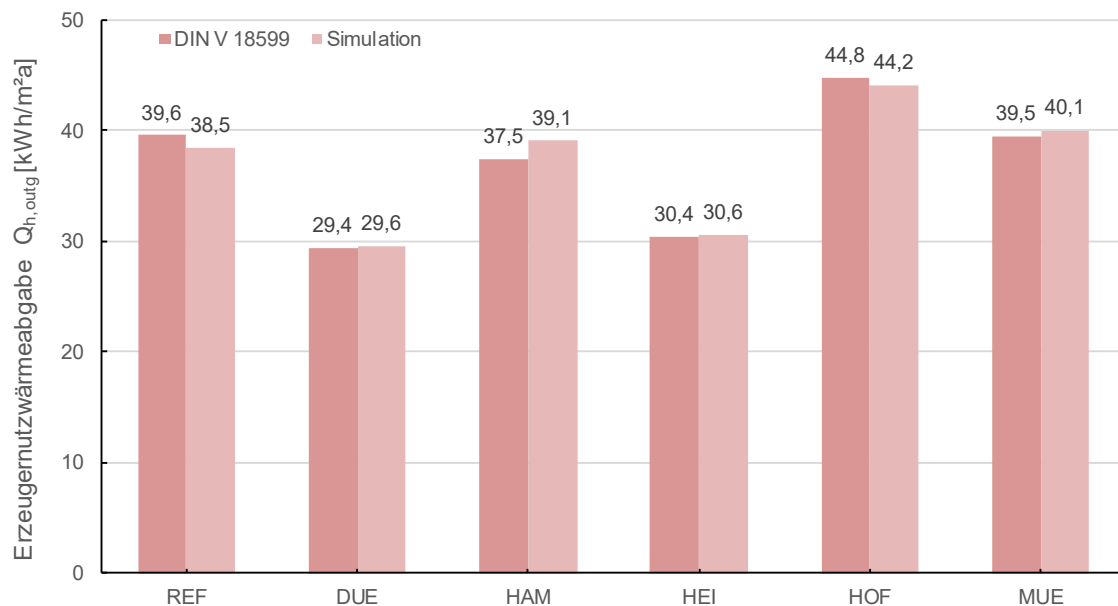


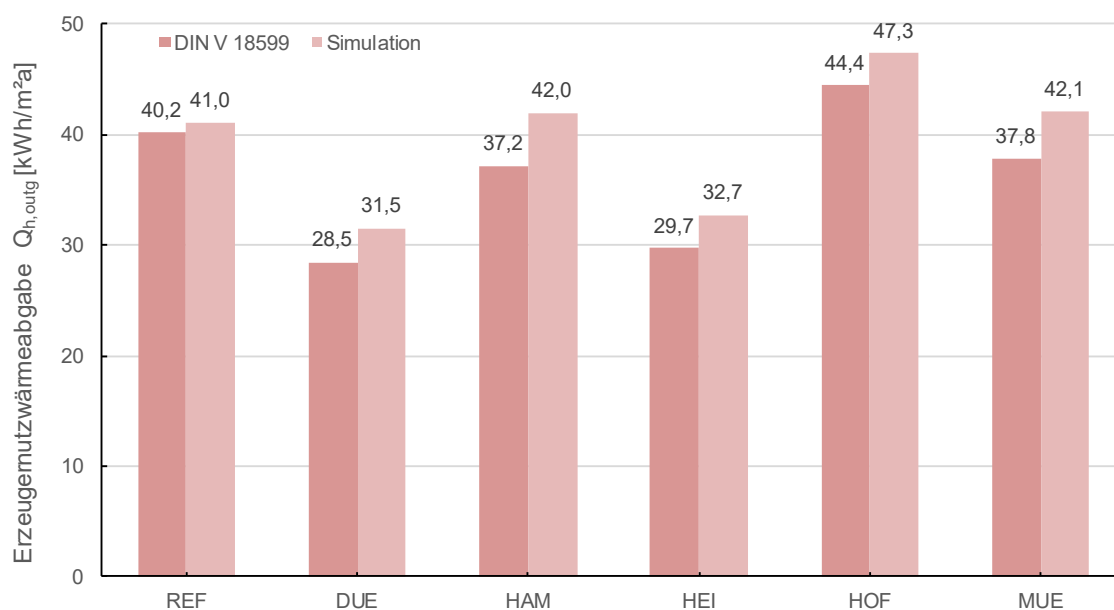
Abbildung 93: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_BWS)



Entgegen der Erwartung, dass die Speicherkapazität des Gebäudes bei der thermisch-dynamischen Gebäudesimulation durch die Berücksichtigung der zeitlichen Dynamik eine größere Rolle spielt, lässt sich feststellen, dass der Einfluss geringer ausfällt.

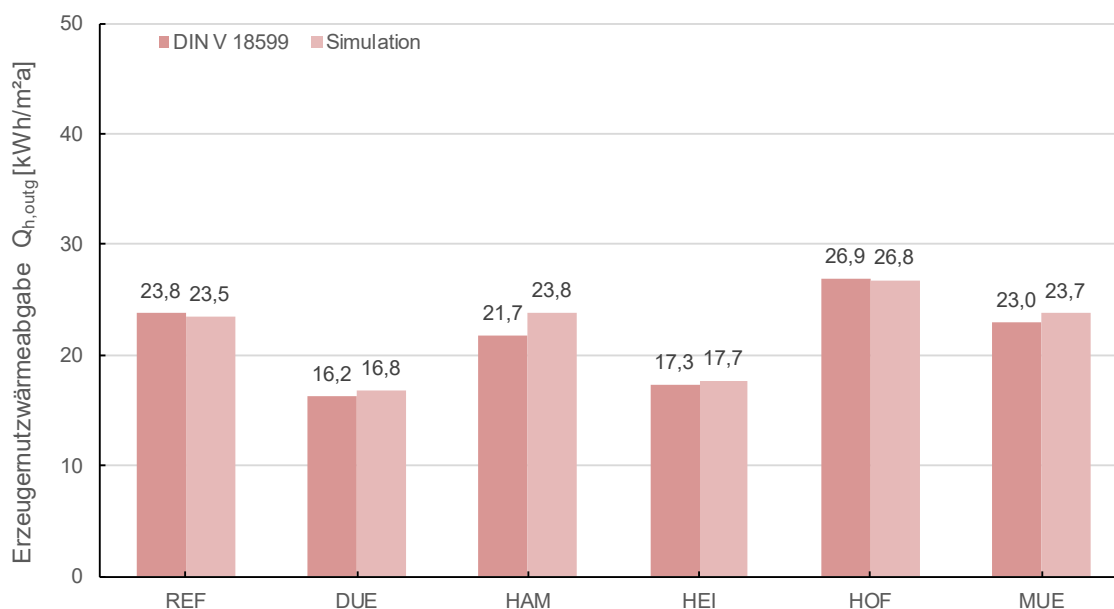
Abbildung 94 zeigt die Erzeugernutzwärme Heizung für die Variante mit erhöhtem Fensterflächenanteil. Hier ergeben sich größere Abweichungen zwischen Monatsbilanzverfahren und Simulation. Nach dem Monatsbilanzverfahren erhöht sich die Erzeugernutzwärme Heizung um 1 bis 4 % bzw. sinkt in München wegen der solaren Gewinne um 1 %. Bei der Gebäudesimulation steigt diese um zwischen 7 % (München) und 9 % (Hamburg, Heidelberg) an. Dies führt beim Vergleich EnEV-konformer Berechnung zu Gebäudesimulation für den Standort Hamburg zu einer Erhöhung um fast 13 %.

Abbildung 94: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_FFA)



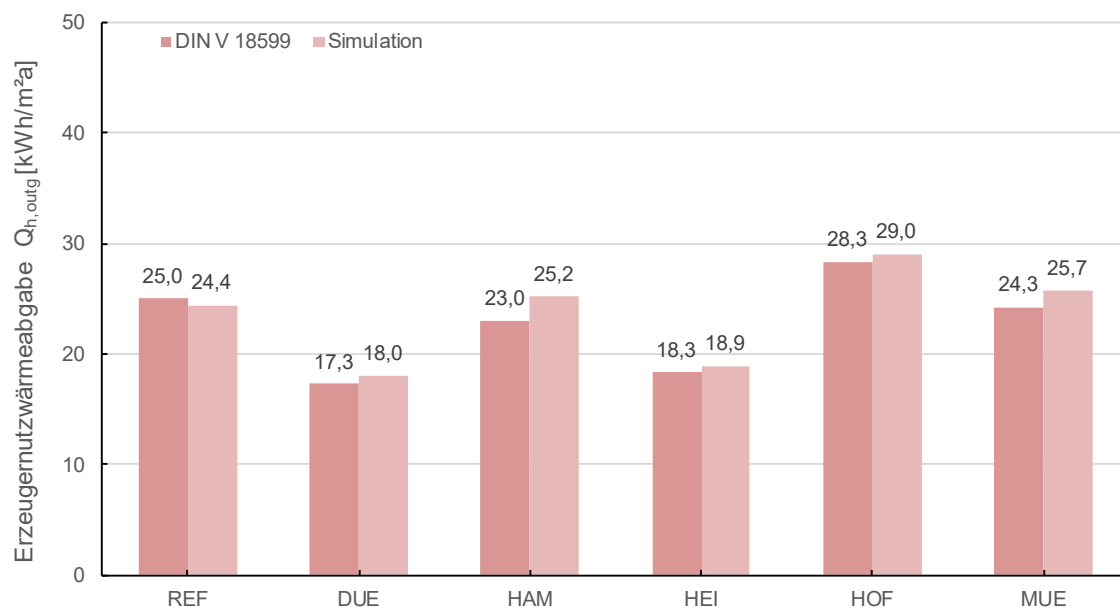
In Abbildung 95 ist die KfW-Variante dargestellt. Bei der im Vergleich zu den anderen Varianten deutlich geringen Erzeugernutzwärme Heizung zeigen sich abgesehen von Hamburg (+9 %) für EnEV-Berechnung und Simulation sehr ähnliche Werte.

Abbildung 95: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_KfW)



Für die Variante Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zeigt sich in Abbildung 96 ein ähnliches Bild, wobei hier neben Hamburg (+9 %) auch der Standort München mit (+6 %) größere Abweichungen aufweist.

Abbildung 96: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_WRG)



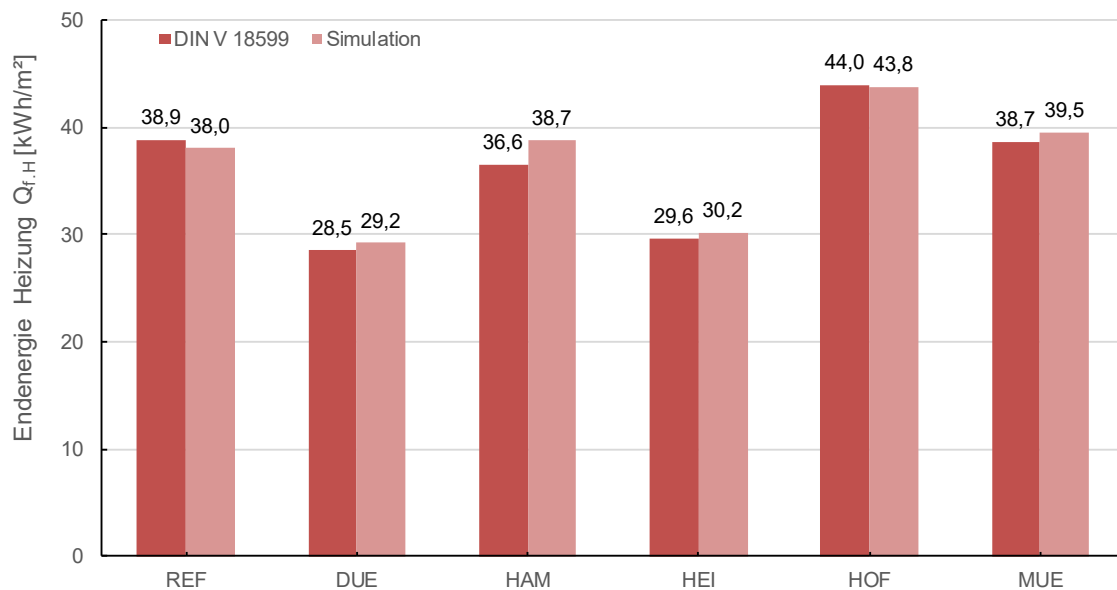
Da die Variante Solarthermie zur Trinkwarmwasser-Bereitung und die Wärmepumpen-Variante im Vergleich zur Basis-Variante nahezu keine Auswirkungen auf die Erzeugernutzwärme Heizung haben, wird auf die Darstellung dieser Varianten verzichtet.

Zusammenfassend lässt sich über den Vergleich der Erzeugernutzwärme Heizung von Monatsbilanzverfahren und Whole-Building-Simulation sagen, dass sich größtenteils nur geringfügige Abweichungen ergeben. Ausnahmen bilden hier zum einen der Standort Hamburg, der bei der Simulation leicht über den Ergebnissen der Referenzvariante liegt, beim Monatsbilanzverfahren jedoch 5 bis 8 % unter dieser. Zum anderen verringern sich die Ergebnisse für die Standorte Düsseldorf und Heidelberg bei der Simulation durchschnittlich um 4 % weniger als beim Monatsbilanzverfahren.

7.2.2 Endenergie Heizung

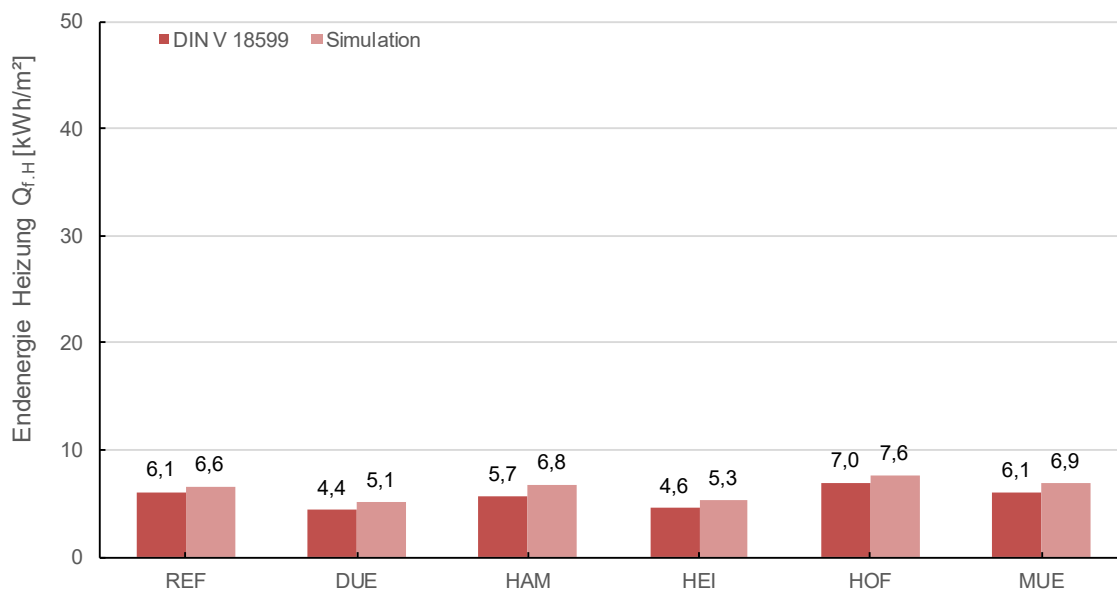
Für den Basisfall und die Wärmepumpen-Variante soll nachfolgend der sich ergebende Endenergiebedarf für die Heizung angegeben werden. Dieser ist in Abbildung 97 für den Basisfall, in Abbildung 98 für die Wärmepumpen-Variante dargestellt. Im Vergleich zur Darstellung der Erzeugernutzwärme (vgl. Abbildung 91) ergibt sich durch die Verluste der Fernwärme-Übergabestation eine Erhöhung des spezifischen Bedarfs wenige Prozent.

Abbildung 97: Endenergie Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_0)



Durch die Umrechnung auf Endenergie zeigt sich bei der Wärmepumpenvariante durch den Einsatz von Umweltwärme, die nicht betrachtet wird, und Wärmepumpenstrom und ein viel niedrigeres Endenergie-Niveau. Stromgutschriften durch die PV-Anlage werden in dieser Auswertung nicht mit einbezogen.

Abbildung 98: Endenergie Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_WP-PV)



7.2.3 Endenergie Trinkwarmwasser

Nachfolgend wird die Untersuchung der Klimaeinflüsse hinsichtlich des Vergleichs zwischen DIN V 18599-Berechnung und Gebäudesimulation auf den Endenergiebedarf für die Trinkwarmwasserbereitung ausgeweitet. Die Auswertung beschränkt sich hierbei auf die klimarelevante MFH-Variante mit Solarthermie zur Trinkwarmwasserbereitung (s. Abbildung 99).

Abbildung 99: Endenergie Trinkwarmwasser – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_STW)

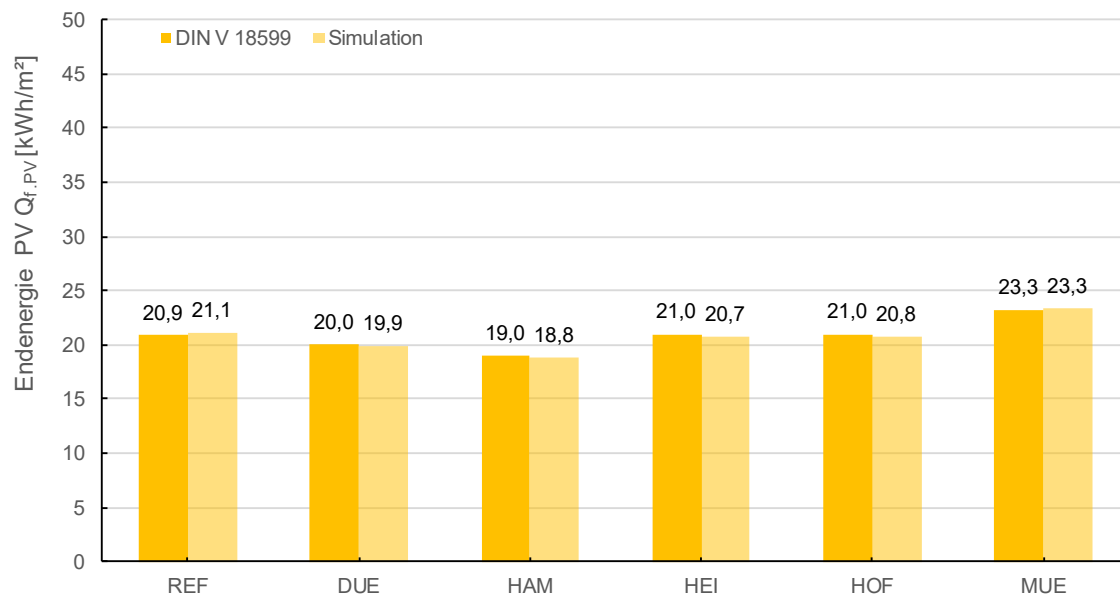


Die Ergebnisse der Simulation liegen hier für alle Standorte über dem der DIN V 18599-Berechnung. Die Zunahme liegt zwischen +4 % (Referenzklima) und +8 % für Hamburg.

7.2.4 PV-Stromerzeugung

In Abbildung 100 ist die PV-Stromerzeugung im Vergleich angegeben. Es ergeben sich nur minimale Unterschiede von +/- 1%. Dies hängt mit den auch für die Simulation auf Basis der DIN V 18599 angesetzten PV-Kennwerte sowie der sich anscheinend bei der PV-Erzeugung weniger stark auszuwirkenden Klimadatengrundlage (Monatsmittelwerte versus Stundenwerte) zusammen.

Abbildung 100: PV-Stromerzeugung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_WP-PV)



7.2.5 Endenergie

Schließlich soll noch die Endenergieauswertung in Summe für die Basisvariante M_0 aufgeführt werden (s. Abbildung 101). Die Summe aus der für Heizung und Trinkwarmwasser dargestellten Endenergie entspricht hierbei dem Fernwärme-Bedarf.

Abbildung 101: Endenergieanteile – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_0)

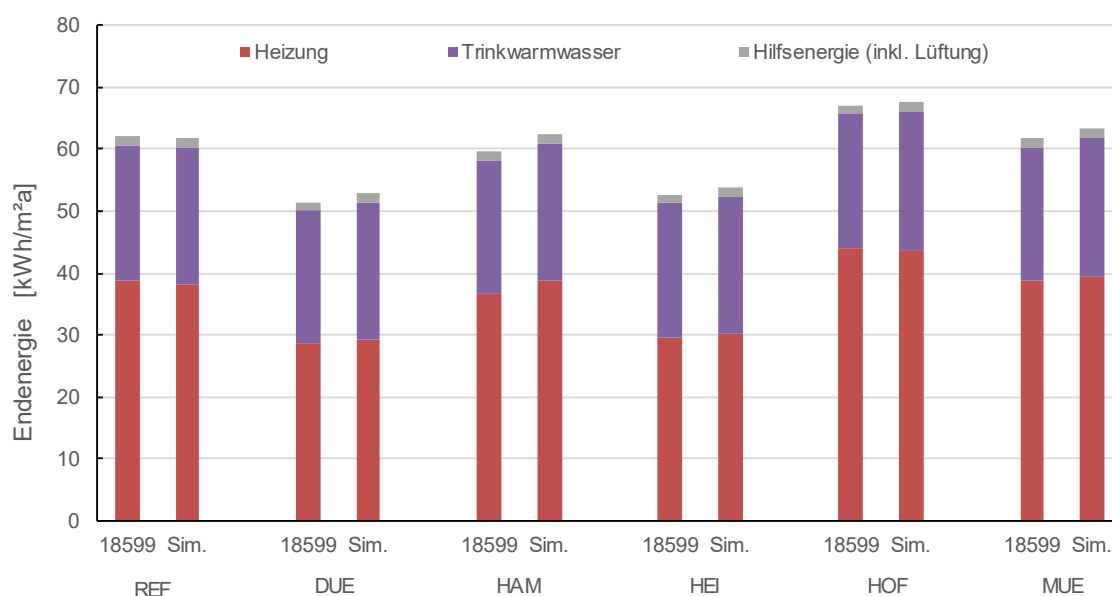
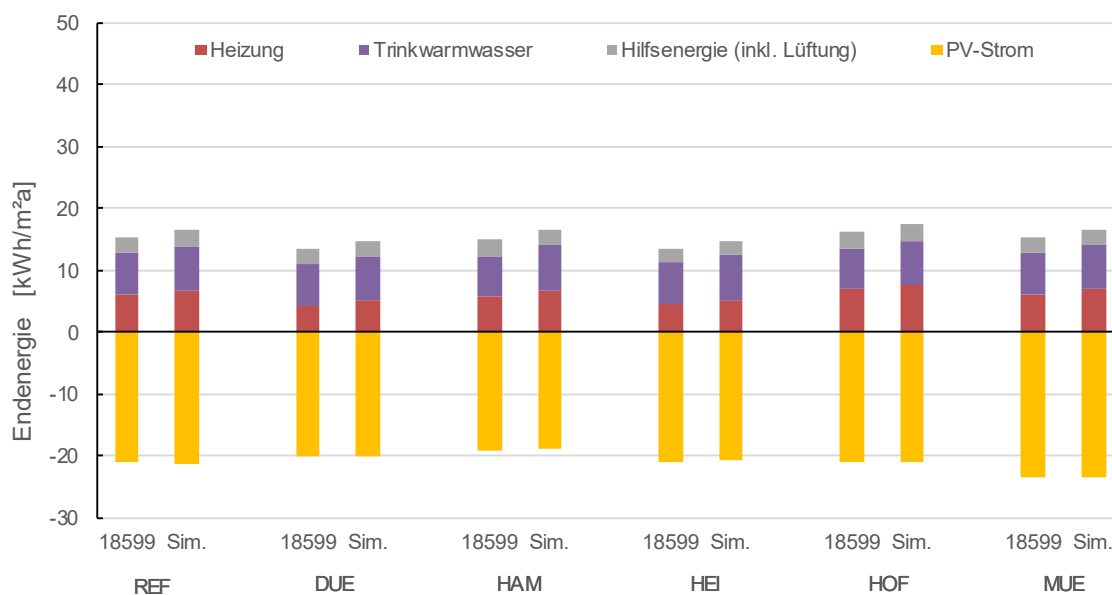


Abbildung 102 zeigt im Vergleich hierzu die Endenergieanteile für die Wärmepumpen-Variante.

Abbildung 102: Endenergieanteile – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_WP-PV)



Auch an dieser Art der Darstellungen wird die Bedeutung der Klimaeinflüsse bei der Endenergie für Heizung deutlich, wobei sich nur geringe Unterschiede zwischen der EnEV-konformen Berechnung und der Simulation ergeben.

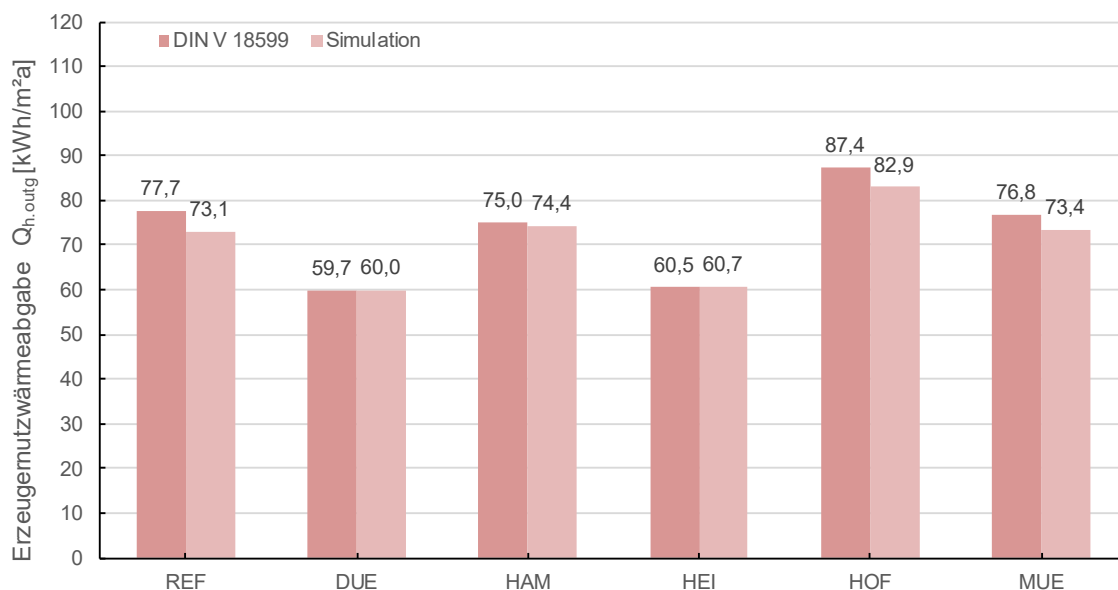
7.3 Ergebnisse Nichtwohngebäude

In Analogie zu Kapitel 5.0 soll in einem ersten Schritt die Erzeugernutzwärme für Heizung ausgewertet werden und anschließend die Endenergiebedarfswerte Heizung, Trinkwarmwasser, Kälte und PV-Strom für die Ergebnisse der EnEV-Berechnungssoftware und der thermisch-dynamischen Gebäudesimulation ausgewertet und miteinander verglichen werden.

7.3.1 Erzeugernutzwärme Heizung

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Erzeugernutzwärme Heizung $Q_{h,outg}$ der Bürogebäude-Varianten verglichen. Abbildung 103 zeigt den Vergleich zwischen Monatsbilanzverfahren und Simulation für die Basisvariante B_0.

Abbildung 103: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_0)



Die Basisvariante mit Referenzklima liegt bei der Simulation im Vergleich zur DIN V 18599-Berechnung 6% niedriger. Die Standortberechnungen für DUE, HAM und HEI stimmen dagegen gut überein. Dies lässt sich dadurch erklären, dass bei der Berechnung nach DIN V 18599 die Erzeugernutzwärme Heizung für Düsseldorf 23 % und für Heidelberg 22 % unter der jeweiligen Basisvariante liegt, es bei der Simulation dagegen nur 18 % (DUE) bzw. 17 % (HEI) sind.

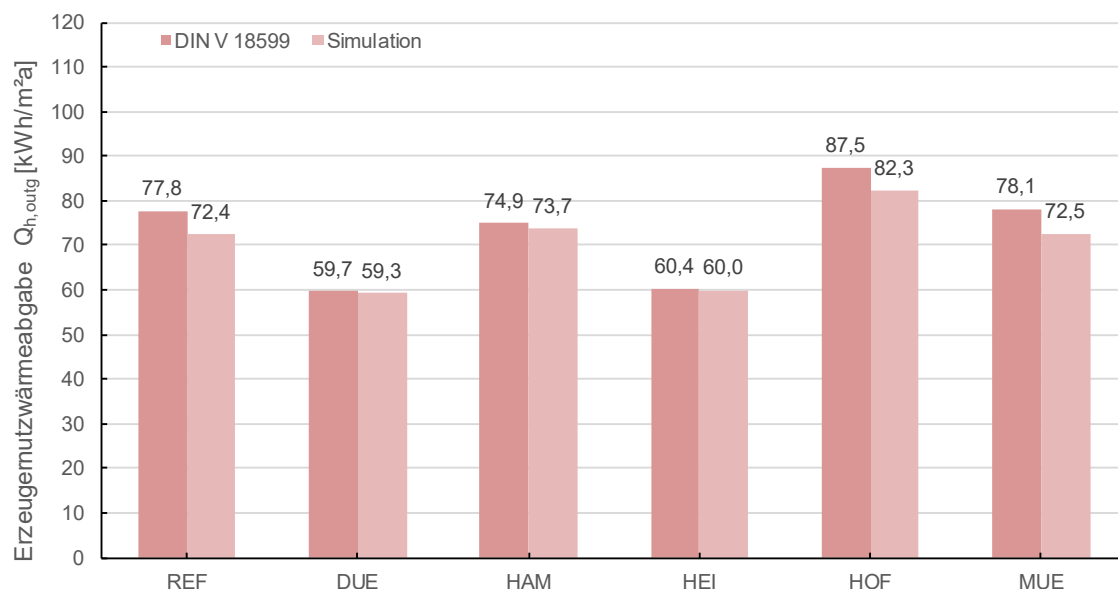
Die Erzeugernutzwärme für die Variante mit leichter Bauweise wird in Abbildung 104, für die Variante mit schwerer Bauweise in Abbildung 105 ausgewiesen. Bei leichter Bauweise nimmt die Erzeugernutzwärme bei allen Varianten gegenüber der Basisvariante zu – allerdings nur um 0,2% für die EnEV-konformen Berechnung. Bei der Simulation beträgt die Zunahme hingegen zwischen 2,7 und 3,7 %.

Abbildung 104: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_BWL)



Auch bei schwerer Bauweise verändern sich die Werte für die Erzeugernutzwärme im Vergleich zur Basisvariante. Allerdings nur minimal: für die Simulation nehmen die Werte um 1 % ab. Hingegen gibt es bei der DIN V 18599-Berechnung uneinheitliche Tendenzen zwischen -0,2 bis +0,1 %.

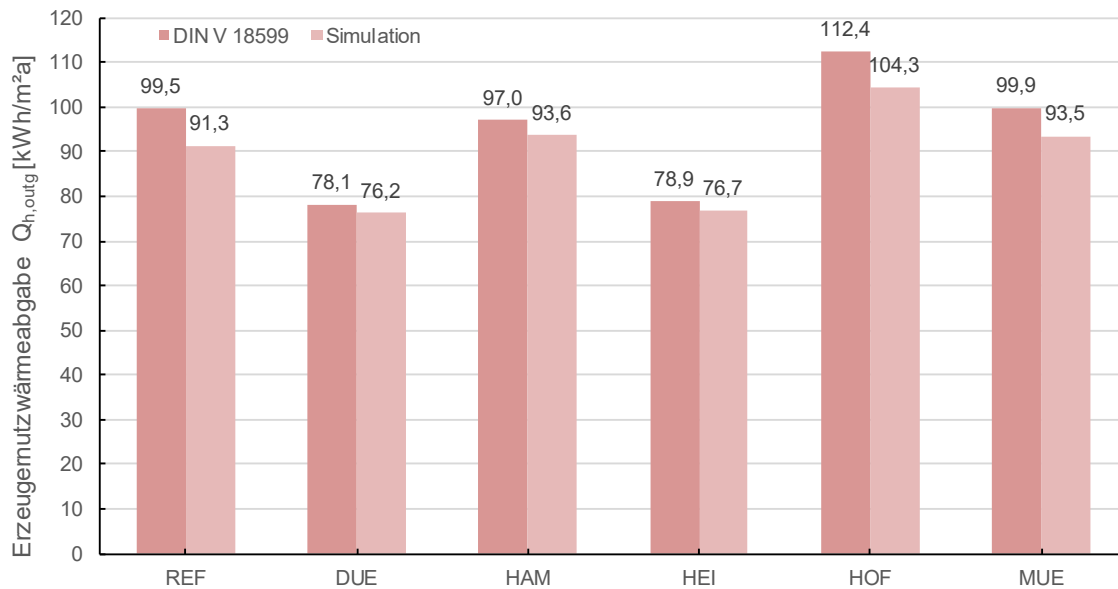
Abbildung 105: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_BWS)



Auch bei der Simulation zeigt sich somit, dass die Speicherkapazität des Gebäudes eine untergeordnete Rolle für den Heizwärmebedarf spielt.

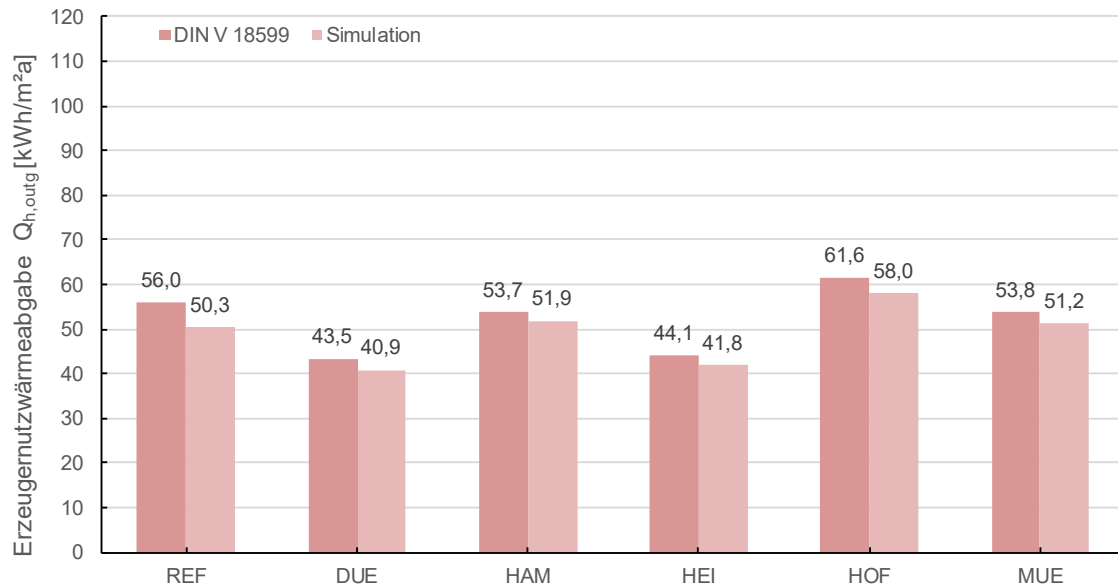
Abbildung 106 zeigt die spezifische Erzeugernutzwärme Heizung für die Variante mit erhöhtem Fensterflächenanteil. Während beim MFH diese Variante für die Simulation durchgehend höhere Werte ergibt, sind es beim Bürogebäude an allen Standorten niedriger.

Abbildung 106: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_FFA)



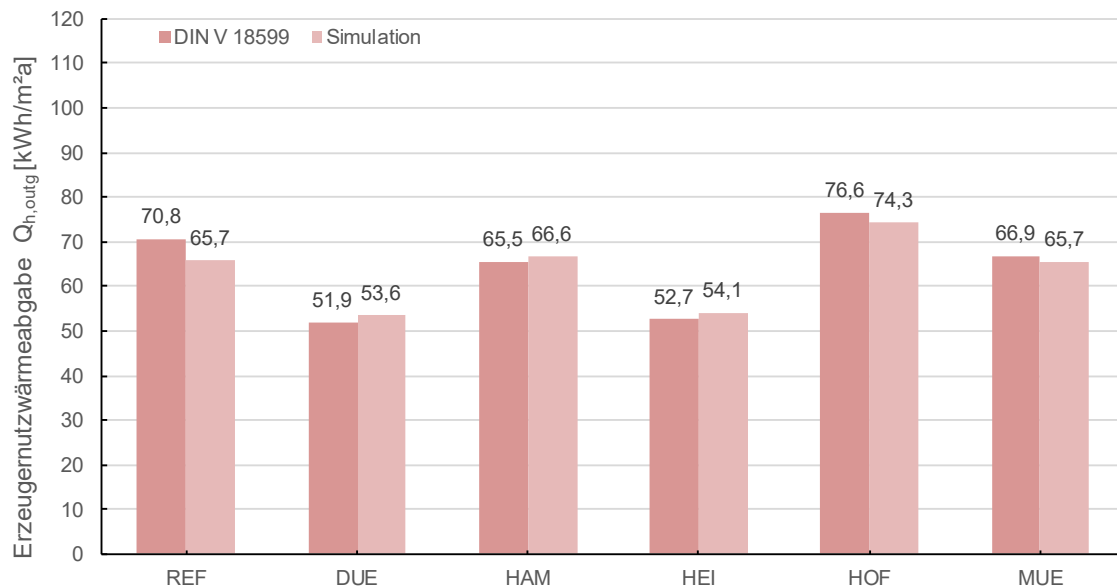
Für die Variante Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zeigt sich in Abbildung 107 ein ähnliches Bild.

Abbildung 107: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_WRG)



Den Vergleich der Erzeugernutzwärme Heizung ist abschließend in Abbildung 108 die KfW-Variante dargestellt. Auch hier zeigen sich die für das Monatsbilanzverfahren beschriebenen Effekte.

Abbildung 108: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_KFW)



Da die Wärmepumpen-Varianten im Vergleich zur Basis-Variante nahezu keine Auswirkungen auf die Erzeugernutzwärme Heizung haben, wird auf die Darstellung dieser Varianten verzichtet.

Insgesamt lässt sich auch bei der Auswertung der Erzeugernutzwärme Heizung für das Bürogebäude feststellen, dass sich im Vergleich zu den gemittelten Klimadaten des Monatsbilanzverfahrens durch Simulation und Verwendung der TRY-Stundenwerte Verschiebungen ergeben.

Folgende Auffälligkeiten lassen sich erkennen:

- Die jeweiligen Varianten mit Referenzklima liegen bei der Simulation im Vergleich zur DIN V 18599-Berechnung um durchschnittlich 6% niedriger. Dafür stimmen die Standortberechnungen für DUE, HAM und HEI bei vielen Varianten gut überein.
- Während bei der DIN V 18599-Berechnung die Erzeugernutzwärme Heizung für Düsseldorf bei im Schnitt 23 % und für Heidelberg 22 % unter der jeweiligen Basisvariante liegt, sind es bei der Simulation nur durchschnittlich 18 % (DUE) bzw. 17 % (HEI). Dieser Effekt war auch schon bei der Auswertung des MFH sichtbar.
- Für den Standort Hamburg ergeben sich im Vergleich zur Basisvariante kleine Verringerungen zwischen 3 und 4 % bei der DIN V 18599-Berechnung, bei der Simulation Zunahmen zwischen 1 und 3 %. Auch für den Standort München ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse für den Erzeugernutzwärmebedarf im Vergleich zur jeweiligen Basisvariante: bei der DIN V 18599-Berechnung kommt zu einer Veränderung um durchschnittlich -1 %, bei der Simulation von +2 %. Die Unterschiede für die Klimadaten von Hamburg und München stehen vermutlich im Zusammenhang mit der Nutzbarkeit von passiven solaren Wärmegewinnen.

7.3.2 Endenergie Heizung

Es werden für den jeweiligen Basisfall und eine WP-Variante nachfolgend der sich ergebende Endenergiebedarf für die Heizung gezeigt (s. Abbildung 109 und Abbildung 110).

Abbildung 109: Endenergie Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_0)

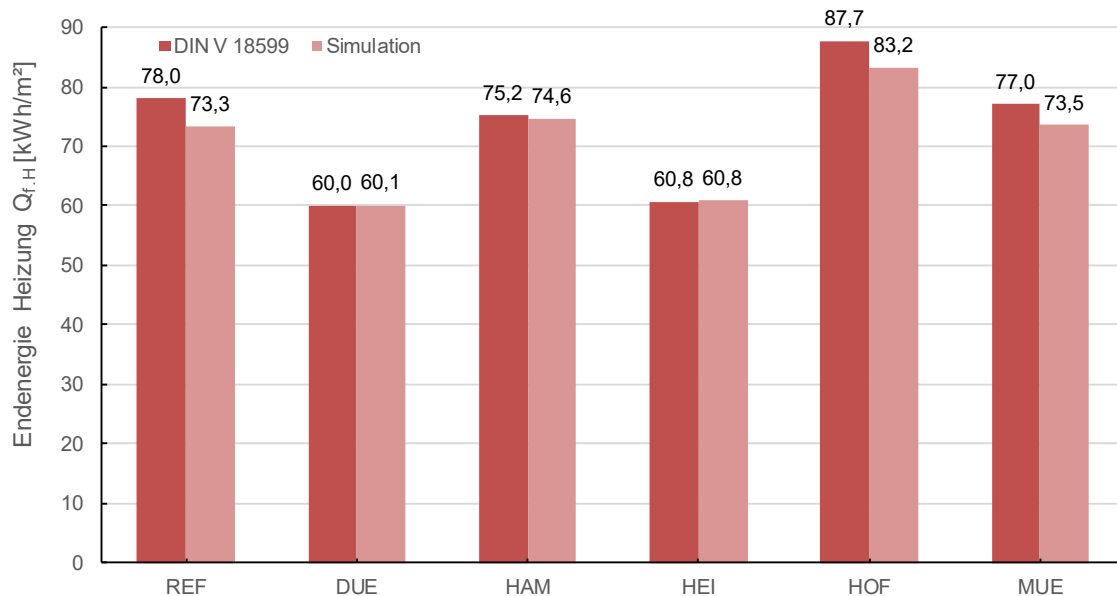
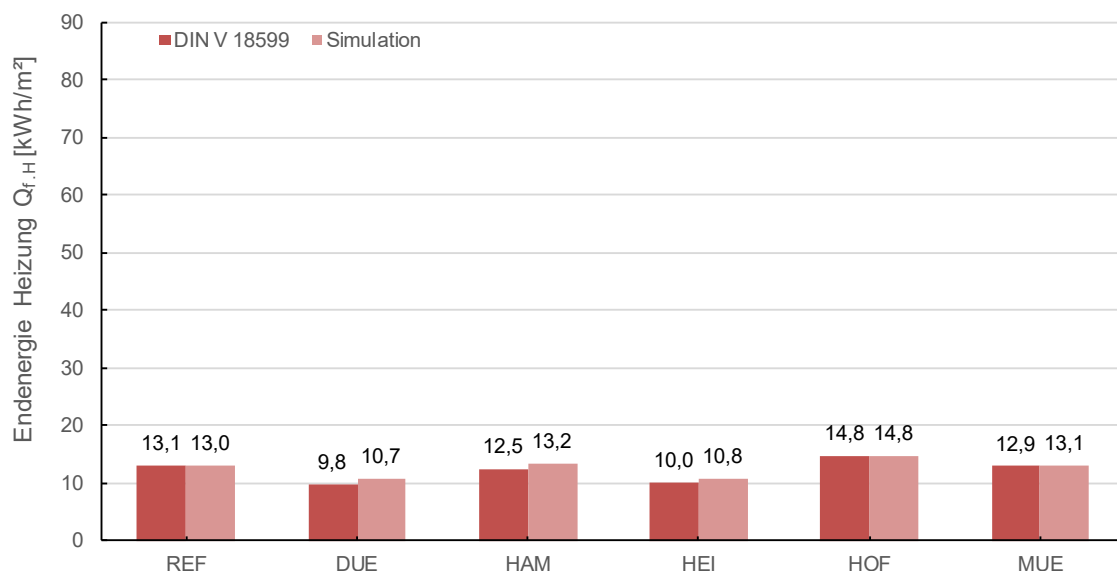


Abbildung 110: Endenergie Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_WP-PV)

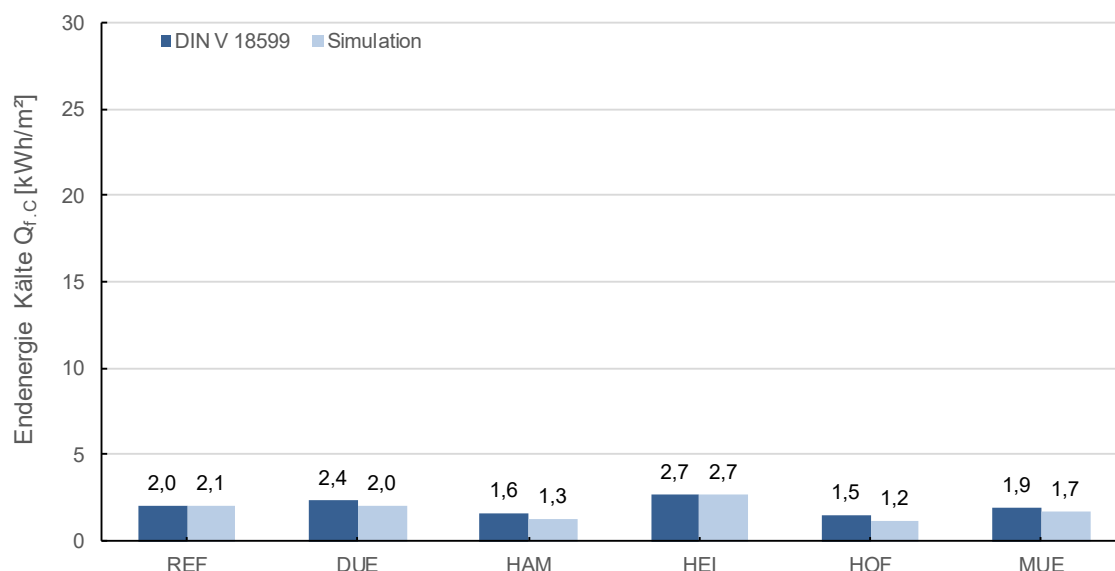


Es sind die gleichen Effekte wie bei dem Endenergiebedarf vom MFH zu erkennen: Bei der Basisvariante mit Fernwärme erhöhen sich die Werte im Vergleich zur Erzeugernutzwärme Heizung nur minimal, wohingegen sich beim Einsatz von Wärmepumpentechnologie unter Einbeziehung der Jahresarbeitszahl ein deutlich geringes Niveau ergibt. Allerdings bleibt zu beachten, dass es sich um verschiedene Endenergeträger Fernwärme (B_0) und Strom (B_WP-PV) handelt.

7.3.3 Endenergie Kälte

Abbildung 111 zeigt den Vergleich für die Endenergie Kälteerzeugung. Bei der Endenergieauswertung ist zu beachten, dass es sich hier um den Stromeinsatz für die elektrisch betriebene Kompressionskältemaschine und nicht um den Kühlenergiebedarf handelt.

Abbildung 111: Endenergie Kälteerzeugung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_WP-K)

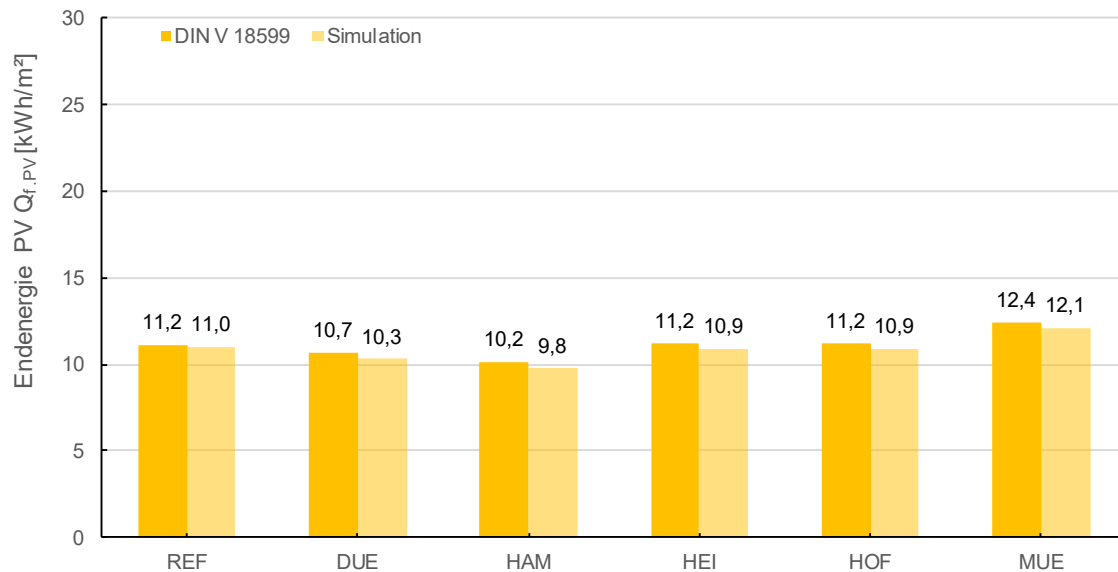


Für die im Sommer kühleren Standorte (HAM, HOF) zeigt sich bei der Simulation eine deutlich stärkere Abnahme des für die Kühlung einzusetzenden Stroms. Während für Heidelberg die Zunahme bei Monatsbilanzverfahren und Simulation identisch ausfällt, gibt es beim Standort Düsseldorf bei der Simulation der Strombedarf für die Kälteerzeugung keine Zunahme im Vergleich zum Referenzklima. Es ist zu vermuten, dass der Kühlenergiebedarf im Vergleich zum Heizenergiebedarf stärker auf die Variabilität der Strahlungsdaten bei der thermischen Simulation reagiert und sich so die Unterschiede zwischen Monatsbilanzverfahren und Simulation erklären lassen.

7.3.4 PV-Stromerzeugung

In Abbildung 112 ist der Vergleich für die PV-Stromerzeugung angegeben. Die Werte liegen für die Simulation 3 % niedriger. Dies könnte damit zusammen hängen, dass die nach DIN V 18599 angesetzte Berechnungsmethode über die PV-Kennwerte nicht ganz exakt in die Simulation übertragen werden kann. Betrachtet man die Auswirkung der Klimadaten, so ergibt sich ein relativ ähnliches Bild für die Simulation und die DIN V 18599-Berechnung.

Abbildung 112: PV-Stromerzeugung – Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_WP-PV)



7.3.5 Endenergie

Abschließend soll noch die Endenergieauswertung in Summe für die Basisvariante B_0 (s. Abbildung 113) sowie die Wärmepumpen-Varianten mit PV-Anlage B_WP-PV (s. Abbildung 114) bzw. mit Kühlung B_WP-K (s. Abbildung 115) aufgeführt werden.

Abbildung 113: Endenergieanteile – Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_0)

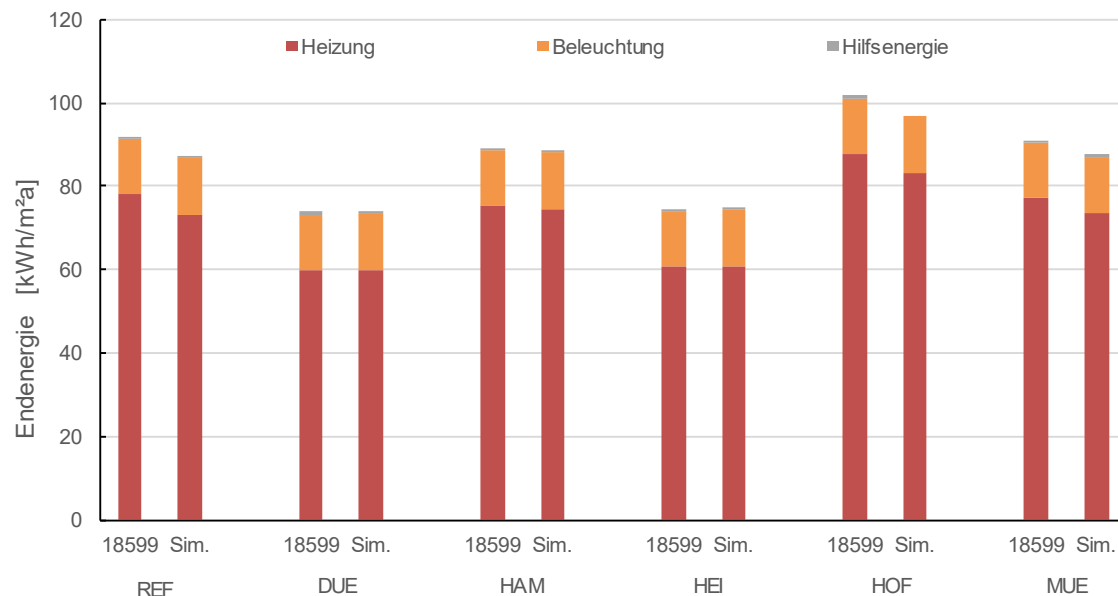


Abbildung 114: Endenergieanteile – Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_WP-PV)

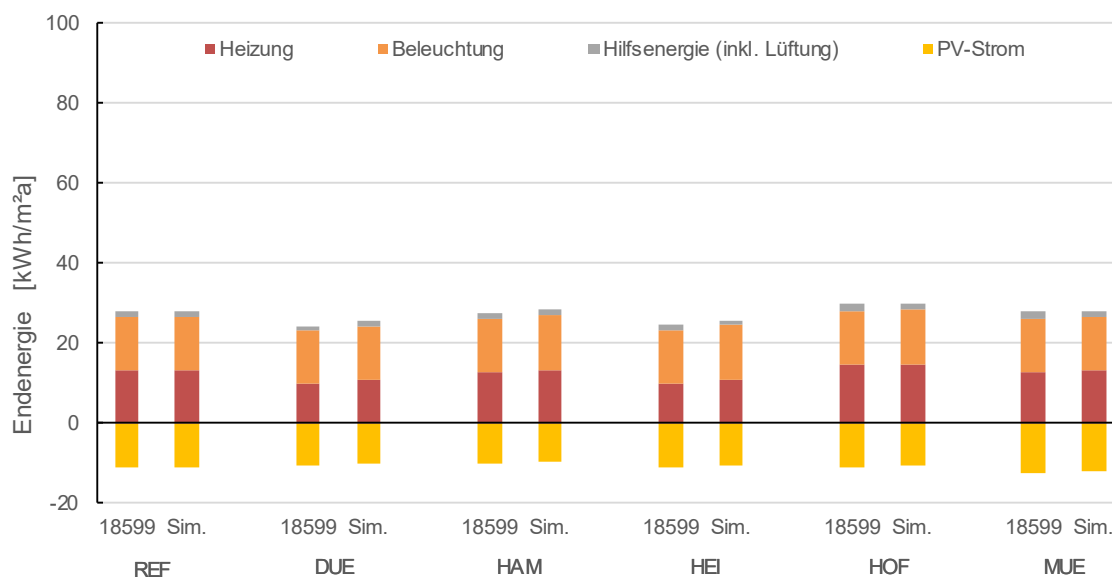
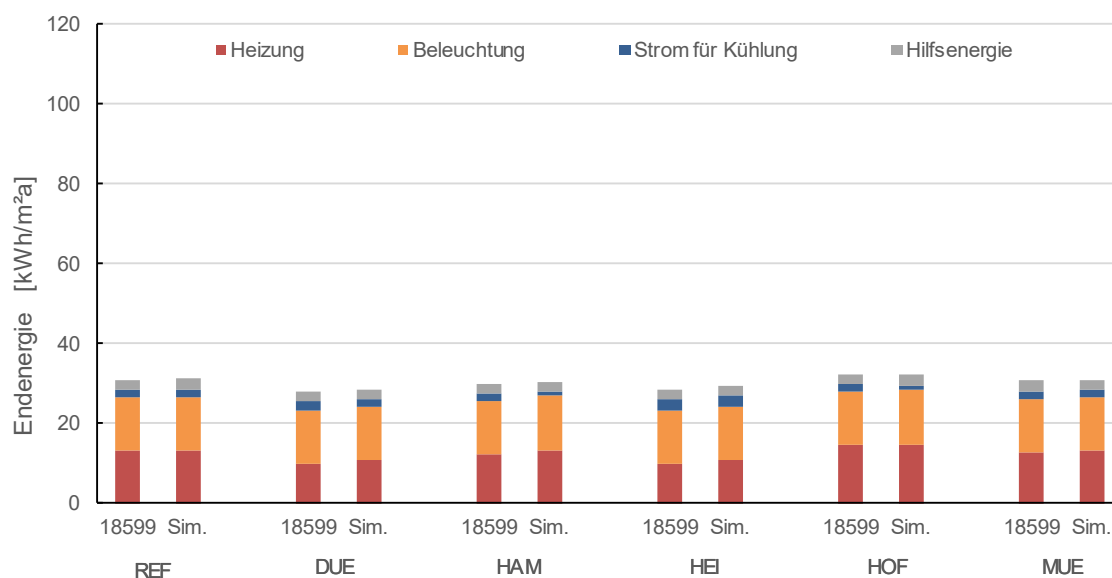


Abbildung 115: Endenergieanteile – Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_WP-K)



Insgesamt lässt sich an diesen Darstellungen die große Bedeutung der Klimaeinflüsse bei dem Endenergiebedarf Heizung verdeutlichen, wobei sich die analysierten Unterschiede zwischen der EnEV-konformer Berechnung und der Simulation in der Gesamtendenergiebilanz nur geringfügig auswirken.

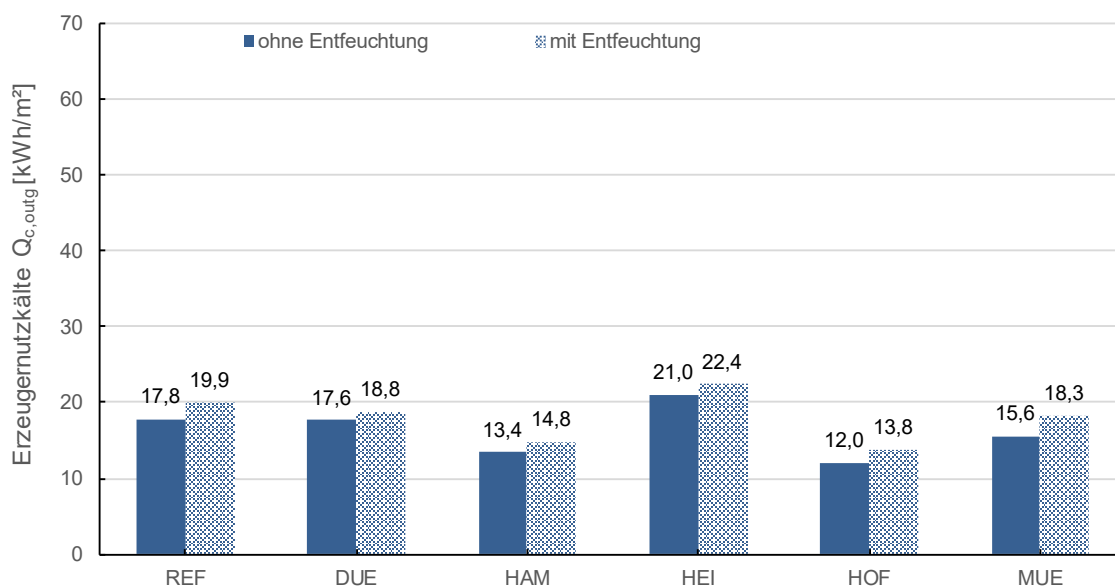
7.3.6 Exkurs Entfeuchtung

Zum Abschluss des Vergleichs der EnEV-Berechnung mit der Whole-Building-Simulation sollen am Beispiel des Büro-Mustergebäudes die Folgen einer Entfeuchtung für den Energiebedarf untersucht werden. Hintergrund der Untersuchung ist, dass sich nach DIN V 18599 (Teil 3) der Energiebedarf zur Entfeuchtung nicht bestimmen lässt, da über das Kennwertverfahren nur der Nutzenergiebedarf für Wärme, Dampf (Befeuchtung) und Kälte ermittelt wird, nicht aber für eine Entfeuchtung. Daher sollen über eine Simulation die Auswirkungen einer Entfeuchtung unter Variation der Klimadaten ermittelt werden.

Hierfür wird eine neue Variante gebildet, welche die Büro-Varianten B_WRG und B_WP_K kombiniert, so dass sich eine Variante sowohl mit RLT-Anlage (mit Wärmerückgewinnung) als auch mit Kühlung über Kompressionskältemaschine ergibt. Bei dieser Anlagenkonfiguration wird die RLT-Anlage in Kombination mit der Kältemaschine aus Komfortgründen häufig auch zur Entfeuchtung genutzt. Dies geschieht durch zusätzliche Abkühlung der Zuluft. Die Abkühlung wird über die Zuluftfeuchte geregelt. In der Simulation wird hierfür die Zuluftfeuchte auf maximal 10 g Wasserdampf begrenzt.

Abbildung 118 zeigt die Ergebnisse der Whole-Building-Simulation für den Vergleich mit und ohne Entfeuchtung. Es ist die gesamte Erzeugernutzkälte dargestellt, die sich aus der über Kühlregel und über Abkühlung der Zuluft eingebrachten Kälte zusammensetzt.

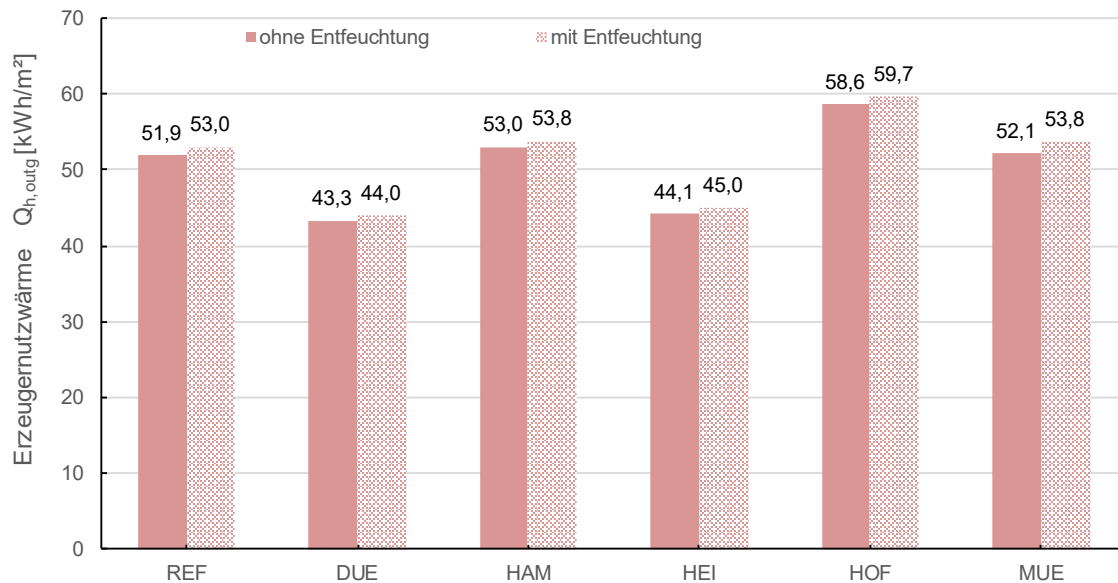
Abbildung 116: Erzeugernutzkälteabgabe mit und ohne Entfeuchtung (B_WRG-K)



In Abhängigkeit des Klimas erhöht sich die Erzeugernutzkälte bei zusätzlicher Entfeuchtung um zwischen 7 % (DUE, HEI) und 17 % (MUC). Endenergetisch entspricht dies einem Strommehrverbrauch zwischen 0,2 und 0,5 kWh/m²a.

Anschließend an die Unterkühlung der Zuluft muss diese bei einer Entfeuchtung wieder auf die Solltemperatur aufgeheizt werden. Hierdurch entsteht ein zusätzlicher Wärmebedarf. Abbildung 117 zeigt die Unterschiede für den gesamten Erzeugernutzwärmebedarf ohne und mit Entfeuchtung. Dieser steigt um 2 bis 3 % (MUC) an, was umgerechnet über die Jahresarbeitszahl einem Strommehrverbrauch von 0,2 bis 0,4 kWh/m²a entspricht.

Abbildung 117: Erzeugernutzwärmeabgabe mit und ohne Entfeuchtung (B_WRG-K)



Für diesen Fall würde demnach für die Entfeuchtung die Endenergie um insgesamt 0,4 bis 0,9 kWh/m² ansteigen. Bezogen auf die gesamte Endenergie der Referenzklima-Variante (Strom für Wärmepumpe, Lüftungs- und Hilfsstrom, Beleuchtungsstrom) beträgt der Anstieg durch die Berücksichtigung der Entfeuchtung 2 %.

7.4 Fazit

Die Ergebnisse des Monatsbilanzverfahrens werden hinsichtlich der Verwendung lokaler Klimadaten mit Ergebnissen von thermischen Gebäudesimulationen verglichen, welche für das Mehrfamilienhaus und das Bürogebäude durchgeführt werden. Für den Ergebnisvergleich zeigt sich hinsichtlich klimabedingter Verschiebungen eine relativ gute Übereinstimmung zwischen Monatsbilanzverfahren und Whole-Building-Simulation. Unterschiede ergeben sich beispielsweise bei der Erzeugernutzwärme Heizung ($Q_{h,outg}$) für die wärmeren Standorte Düsseldorf und Heidelberg, bei welchen die MFH-Ergebnisse des Monatsbilanzverfahrens im Schnitt 28 % (DUE) bzw. 25 % (HEI) unter der jeweiligen Basisvariante liegen, während es bei der Simulation „nur“ durchschnittlich 24 % (DUE) bzw. 21 % (HEI) sind. Auch beim Bürogebäude liegen die diesbezüglichen Unterschreitungen bei den Simulationsergebnissen für $Q_{h,outg}$ durchschnittlich 4 %-Punkte unter der jeweiligen DIN V 18599-Berechnung mittels Monatsbilanzverfahren. Für die Standorte Hamburg und München ergeben sich im Vergleich zur jeweiligen Basisvariante ebenfalls unterschiedliche $Q_{h,outg}$ -Ergebnisse: für Hamburg bei der DIN V 18599-Berechnung Verringerungen um 7 % (MFH) bzw. 3 % (Büro), für die Simulation Zunahmen um durchschnittlich 2 % (MFH und Büro); für München bei der DIN V 18599-Berechnung leichte Verringerungen um 1 bis 2 %, für die Simulation Zunahmen um durchschnittlich knapp 4 % (MFH) bzw. 1 % (Büro).

Auch bei der Endenergiebilanz-Auswertung, die alle nach der DIN V 18599 zu erfassenden Energiebedarfe einbezieht, lässt sich die Relevanz der Klimaeinflüsse erkennen, die sich bei der Endenergie für Heizung, Kühlung und PV-Stromerzeugung zeigen. Die analysierten Unterschiede wirken sich hingegen zwischen der EnEV-konformen Berechnung und der Simulation in der Gesamtendenergiebilanz nur noch geringfügig aus.

8.0 Simulationsrechnungen als Nachweisinstrument

Nach den vorangegangenen Berechnungen auf Basis des nach EnEV zugelassenen Monatsbilanzverfahrens und dem Vergleich mit Simulationsergebnissen sollen Vorteile und Hindernisse einer Zulassung von „Whole-Building-Simulationen“ als Nachweisinstrument diskutiert werden.

In der Planungspraxis ist es schon derzeit üblich, Komfortfragestellungen sowie Lastverläufe und den Energiebedarf für die Raumkonditionierung mittels zusätzlich beauftragter Gebäude- und Anlagensimulationen zu beurteilen. Die energetischen Berechnungen nach DIN V 18599 werden dann nur für die Nachweise, aber nicht als Werkzeug für eine Energieberatung eingesetzt.

Auch wird insbesondere bei der Planung von größeren Nichtwohngebäuden zunehmend BIM („Building Information Modeling“) eingesetzt. Darunter ist die vernetzte Planung von Architekten und Fachingenieuren an einem 3D-Gebäudemodell zu verstehen.

Die Flächenermittlung, die insbesondere bei zonierten Nichtwohngebäuden sehr zeitaufwendig sein kann, würde sich am 3D-Simulationsmodell weniger fehleranfällig und schnell erheben lassen. Auf einer BIM-Basis würde sich so die Gebäudesimulation vereinfacht durchführen lassen, so dass der Aufwand für eine Nachweisführung mittels „Whole-Building-Simulationen“ mittelfristig - insbesondere für Bauphysikbüros, die viel mit Gebäudesimulationen arbeiten - keine besonders hohe Hürde mehr darstellen würde. Auch könnte auf Basis des Nachweis-Simulationsmodells eine vertiefte Energieberatung erfolgen.

Großes Hemmnis für die Einführung einer Nachweisführung über eine „Whole-Building-Simulationen“ besteht in der Vielzahl der bei thermisch- dynamischen Simulationsrechnungen zu berücksichtigenden Randbedingungen. All diese müssten festgelegt werden, damit die Ergebnisse nachvollziehbar und vergleichbar sind. Ein einheitlicher Ansatz der Berechnungsrandbedingungen wäre daher die Grundvoraussetzung für eine Zulassung. Dies wäre bei der Vielzahl an Eingabeparametern eine nur schwer zu lösende Aufgabe für die Entwicklung entsprechender Normenwerke.

Gleichzeitig ist die Komplexität der Berechnungen nach DIN V 18599 seit ihrer Einführung ein beständiger Kritikpunkt. Insbesondere bei der Anlagentechnik hat eine Vielzahl der Eingabeparameter vernachlässigbar kleine Auswirkungen auf das Ergebnis; viele weitere Eingabeparameter liegen zum Zeitpunkt der Nachweiserstellung noch nicht vor, da sie erst im Zuge der Ausführungsplanung geplant werden. Würde das Nachweisverfahren vom Monatsbilanzverfahren zu einer dynamischen Simulation geändert werden, würde dies die Komplexität tendenziell noch weiter erhöhen. Das Ziel sollte daher sein, die Vorteile der Simulation zu nutzen, gleichzeitig aber die Randbedingungen zu vereinfachen und die Anzahl der Eingabeparameter zu reduzieren.

9.0 Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutzes mit regionalen Klimadaten

9.1 Einführung

Der Einfluss von lokalen Klimadaten für den öffentlich-rechtlichen Nachweis der Energieeinsparverordnung könnte über die Energiebedarfsberechnung hinaus auch für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes Anwendung finden. Nach Energieeinsparverordnung §3 bzw. §4 sind Wohn- und Nichtwohngebäude so auszuführen, dass die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2 eingehalten werden. Ziel des sommerlichen Wärmeschutzes ist es, an heißen Sommertagen die Behaglichkeit der Räume durch Vermeiden eines übermäßigen Aufheizens der Räume zu gewährleisten, aber auch den Kühlenergiebedarf von Gebäuden gering zu halten.

Folgende Einflussfaktoren bestimmen entscheidend den sommerlichen Wärmeschutz:

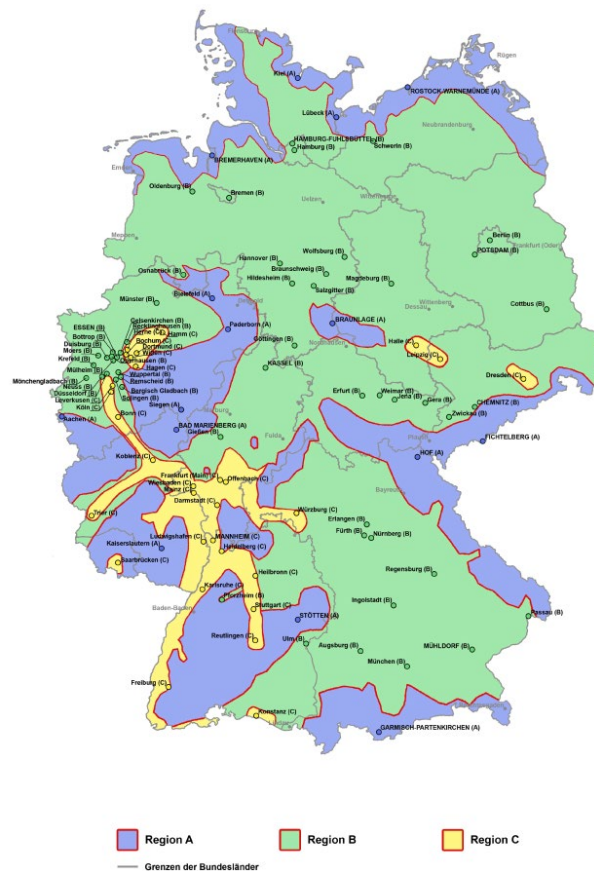
- Sommerklimaregion,
- Fenstergröße, -orientierung und -neigung sowie das Flächenverhältnis der Fensterfläche zur Grundfläche,
- Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) der Verglasung,
- Wirksamkeit der Sonnenschutzvorrichtung (Fc-Wert),
- Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Flächen,
- Möglichkeit zur Nachtlüftung,
- Einsatz einer passiven Kühlung.

Die EnEV 2013 schreibt vor, den Nachweis gemäß der in DIN 4108-2 : 2013-02 beschriebenen „Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz“ durchzuführen. Dazu werden entweder die Sonneneintragskennwerte (vereinfachtes Kennwertverfahren) oder bei Durchführung einer dynamisch-thermischen Simulationsrechnung die Übertemperatur-Gradstunden begrenzt.

Im Gegensatz zur Energiebedarfsberechnung, bei dem das ganze Gebäude betrachtet wird, reicht es für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes aus, die Berechnungen auf die Räume oder Raumbereiche zu beschränken, für welche die Berechnung zu den höchsten Anforderungen führen würde.

Um nach DIN 4108-2 die regionalen Unterschiede der sommerlichen Klimaverhältnisse zu berücksichtigen, wird das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland hinsichtlich der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz in die Sommerklimaregionen A, B und C eingeteilt (s. Abbildung 118).

Abbildung 118: Sommerklimaregionen nach DIN 4108-2: 2013-02



Da bei dem Sonneneintragskennwerteverfahren die Klimaverhältnisse nur indirekt einfließen, ist dieses nicht für eine Analyse des Einflusses von lokalen Klimadaten geeignet. Aus diesem Grund wird die Untersuchung mittels Simulation durchgeführt. Das Simulationsverfahren nach DIN 4108-2 Kapitel 8.4 wird nachfolgend kurz erläutert.

Für die Bewertung der thermischen Behaglichkeit in Innenräumen werden zur Nachweisführung über Simulation die Bezugswerte der operativen Innentemperaturen in Abhängigkeit der drei Sommer-Klimaregionen (25 °C für A, 26 °C für B und 27 °C für C) vorgegeben. Unter Zugrundelegung der jeweils geltenden Bezugswerte der operativen Innentemperatur ist nun nachzuweisen, dass im kritischen Raum des zu bewertenden Gebäudes der Tabelle 39 angegebene Übertemperaturgradstunden-Anforderungswert nicht überschritten wird. In Abhängigkeit von der Nutzungsart wird die übliche Anwesenheitszeit (Wohnnutzung 24 h/d; Nichtwohnnutzung Montag bis Freitag 7 Uhr bis 18 Uhr) als Bezugszeit für den zu bestimmenden Übertemperaturgradstundenwert zugrunde gelegt. Weitere Randbedingungen wie die zu verwendenden Klimadaten, internen Wärmegegewinne und Luftwechselraten werden ebenfalls in Kapitel 8.4 der DIN 4108-2 festgelegt.

Tabelle 39: Anforderungswert Übertemperaturgradstunden (nach DIN 4108-2:2013-02 Tabelle 9)

Wohngebäude	Nichtwohngebäude
1.200 Kh/a	500 Kh/a

9.2 Vorgehensweise

Die Berechnungen zum sommerlichen Wärmeschutz werden analog den Randbedingungen der DIN 4108-2:2013-02 durchgeführt. Bei den Referenzvarianten der jeweiligen Sommerklimaregion werden die vorgeschriebenen Testreferenzjahre (TRY2011) verwendet. Bei den anderen Standorten werden dagegen ortsgenaue Testreferenzjahre (TRY2017) verwendet.

Unter Berücksichtigung der durch die DIN 4108-2 vorgegebenen Randbedingungen wird für diese Räume der Raumtemperaturverlauf für ein ganzes Jahr simuliert und die Überschreitungshäufigkeit und -höhe des zulässigen Temperaturgrenzwertes ausgewertet.

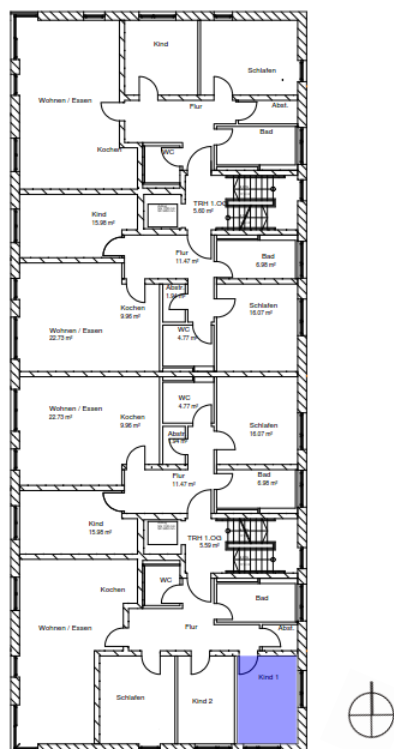
Analog der Whole-Building-Simulation werden auch die Raum-Simulationen mit der Software IDA Indoor Climate and Energy, Version 4.8 SP1 von EQUA Simulation AB, Stockholm, Schweden durchgeführt.

Auf Basis der für die Whole-Building-Simulation vorgenommenen Eingaben von Bauteilen, Fenstern und Sonnenschutzsystemen wird jeweils ein Raum vom Mehrfamilienhaus und ein Raum vom Bürogebäude ausgewählt. Die Räume würden jeweils im Hinblick auf das sommerliche Verhalten zu den höchsten Anforderungen führen und sind daher repräsentativ für das Verfahren zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes.

9.2.1 Raumauswahl

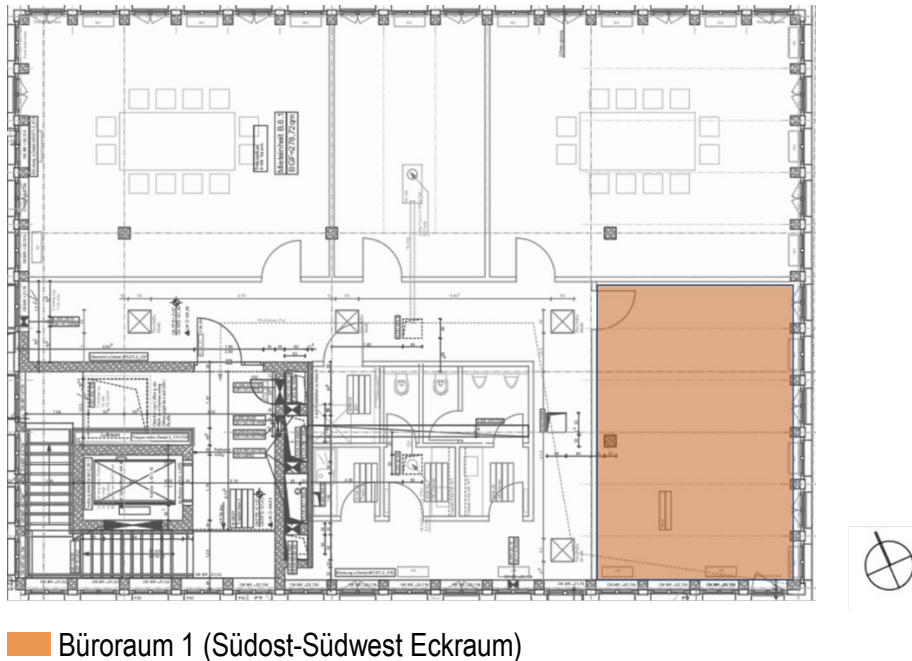
Für das Mehrfamilienhaus und das Bürogebäude wird jeweils ein kritischer Raum ausgewählt. In Abbildung 119 ist die Raumauswahl für das Wohngebäude, in Abbildung 120 die für das Nichtwohngebäude in dem jeweiligen Grundriss markiert.

Abbildung 119: Raumauswahl – Wohngebäude: MFH-Grundriss 4. OG (Krämmel Bauplan GmbH 2015)



■ Wohnraum 1 (Süd-Ost Eckraum)

Abbildung 120: Raumauswahl – Nichtwohngebäude: Bürogebäude 6.OG (Steidle Architekten - Gesellschaft von Architekten und Stadtplanern mbH 2015)

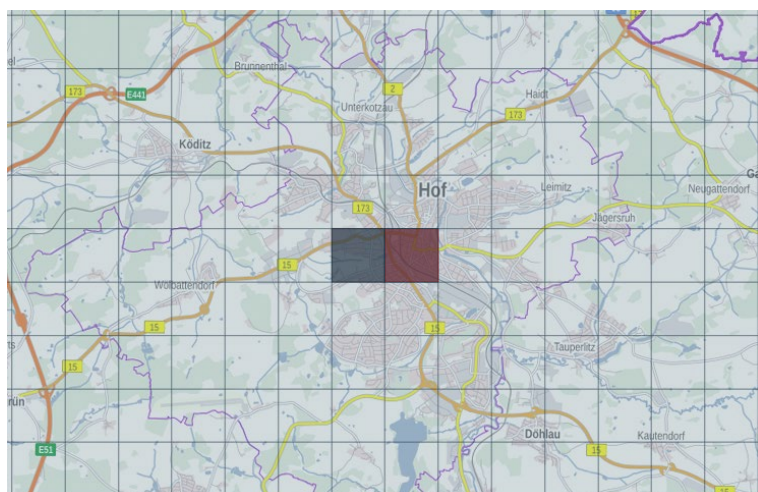
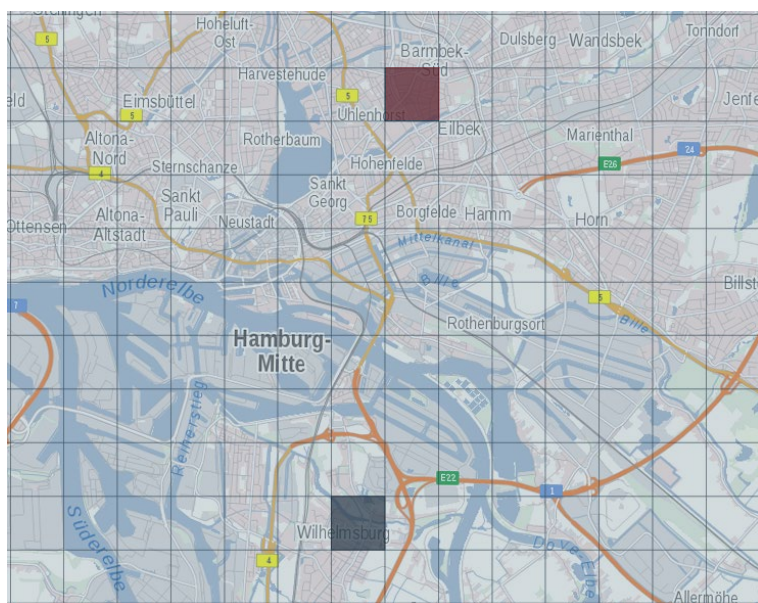
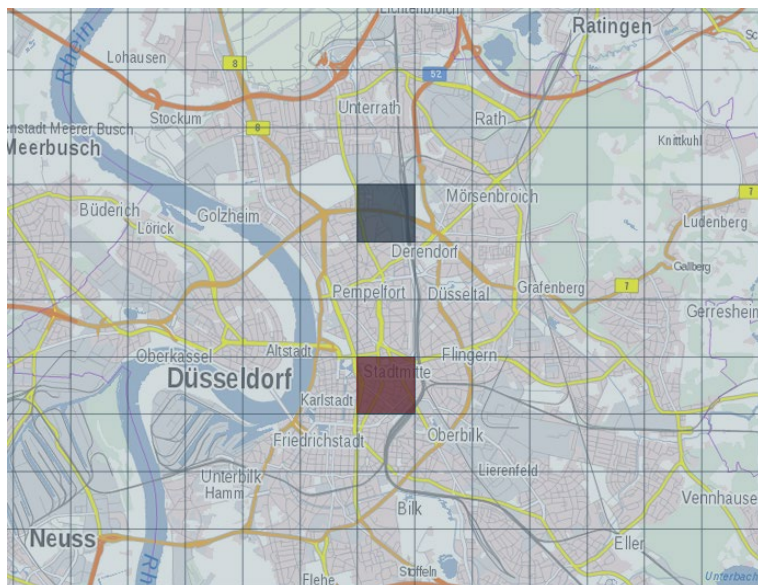


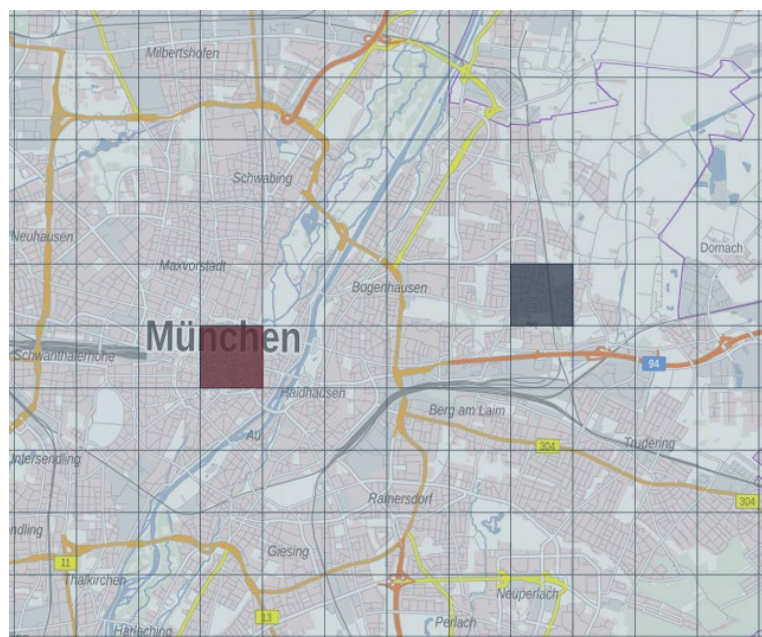
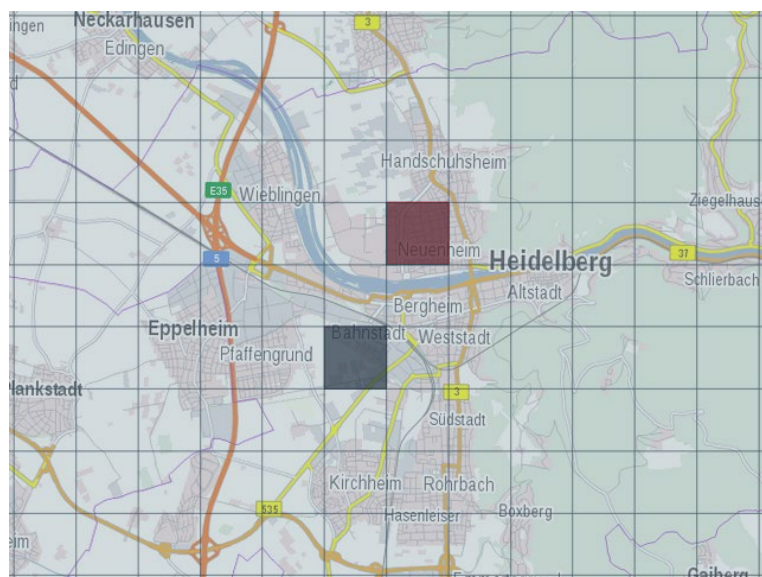
9.2.2 Standortauswahl

Für die Referenzvarianten werden die nach DIN 4108-2:2013-02 vorgeschriebenen Testreferenzjahre (TRY2011) für die jeweilige Sommerklimaregion verwendet. Für die Variation lokaler Klimadaten wird auf die Standortauswahl des DWD-Klimaberatungsmodul mit TRY2017 (vgl. Kapitel 3.2.3) zurückgegriffen. Somit werden die Testreferenzjahre analog der Whole-Building-Simulationen (Kapitel 7.0) bzw. der Grundlage für die Berechnung der EnEV-konformen Klimadatensätzen verwendet (Kapitel 3.2.3).

Da die Situation hinsichtlich Überhitzung in den Innenstädten besonders prekär ist, wird neben den bislang im DWD-Klimaberatungsmodul ausgewählten TRY zusätzlich für jeden Standort ein „1km²-Quadrat“ für das Innenstadt-Zentrum ausgewählt. Die Auswahl der Klimadatensätze ist Abbildung 121 zu entnehmen.

Abbildung 121: Gewählte Klimadatensätze (DWD Deutscher Wetterdienst 2018)





■ ausgewählte Klimadatenansätze analog Kapitel 3.2.3

■ ausgewählte Klimadatenansätze Stadtzentren

Tabelle 40 sind die verwendeten Standort-Kürzel zu entnehmen. Um einen Vergleich mit dem derzeit vorgeschriebenen Verfahren nach DIN 4108-2:2013-02 zu ermöglichen, werden die Standorte zudem den entsprechenden Sommerklimaregionen zugeordnet.

Tabelle 40: Übersicht der Standort-Kürzel und Zuordnung zu den Sommerklimaregionen

Sommerklimaregion A	Sommerklimaregion B	Sommerklimaregion C
REF-A (TRY-Region 2 - Rostock)	REF-B (TRY-Region 4 - Potsdam)	REF-C (TRY-Region 12 - Mannheim)
HOF (Hof)	DUE (Düsseldorf)	HEI (Heidelberg)
HOF-Z (Stadtzentrum Hof)	DUE-Z (Stadtzentrum Düsseldorf)	HEI-Z (Stadtzentrum Heidelberg)
	HAM (Hamburg)	
	HAM-Z (Stadtzentrum Hamburg)	
	MUE (München)	
	MUE-Z (Stadtzentrum München)	

9.3 Wohngebäude

9.3.1 Randbedingungen und Varianten

Die Raumgeometrie und umschließenden Bauteile werden analog des in der Whole-Building-Simulation erstellten Gebäudes beibehalten. Jedoch werden zusätzlich für die Simulation des sommerlichen Wärmeschutzes relevante Eingaben ergänzt. Wesentliche Randbedingungen sind in Tabelle 41 zusammengestellt.

Tabelle 41: Kenngrößen für Simulation des Sommerlichen Wärmeschutzes (MFH)

MFH	Randbedingungen
Raum	4.OG SO-Eckraum
Nettogrundfläche	14 m ²
Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	35 %
Bezugswert Innentemperatur	in Abhängigkeit der zugeordneten Klimazone
Simulationszeitraum	ganzes Jahr
Speichermassen	über schichtweisen Aufbau der raumumschließenden Bauteile; entspricht mittelschwerer Bauweise
Verglasungsart	Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung, g = 0,50
Sonnenschutz	Rollläden, Fc = 0,3
Verschattung durch Umgebungsbebauung	nicht berücksichtigt
Erhöhte Nachtlüftung	mittels Fensterlüftung
Luftwechsel erhöhte Nachtlüftung	2 h ⁻¹

Als Variante soll wiederum die FFA-Variante mit erhöhtem Fensterflächenanteil aufgegriffen werden, da der Fensterflächenanteil eine der wichtigsten Eingangsgrößen beim sommerlichen Wärmeschutz ist. Ferner wird auch eine Variante betrachtet, bei der eine natürliche Nachtlüftung nicht möglich ist, wie es bei hoher nächtlicher Außenlärmbelastung der Fall sein kann. Schließlich wird die Situation untersucht, wenn sich die Fenster nicht durch einen außenliegenden Sonnenschutz verschatten lassen.

Tabelle 42: Varianten für die Simulation des Sommerlichen Wärmeschutzes (MFH)

Fensterflächenanteil	Basisfall	FFA
Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	35 %	70 %
Nachtlüftung	Basisfall	oNL
Nachtlüftung	erhöhte Nachtlüftung	ohne erhöhte Nachtlüftung
Sonnenschutz	Basisfall	oS
Sonnenschutz	Rollläden	ohne Sonnenschutz

9.3.2 Ergebnisse

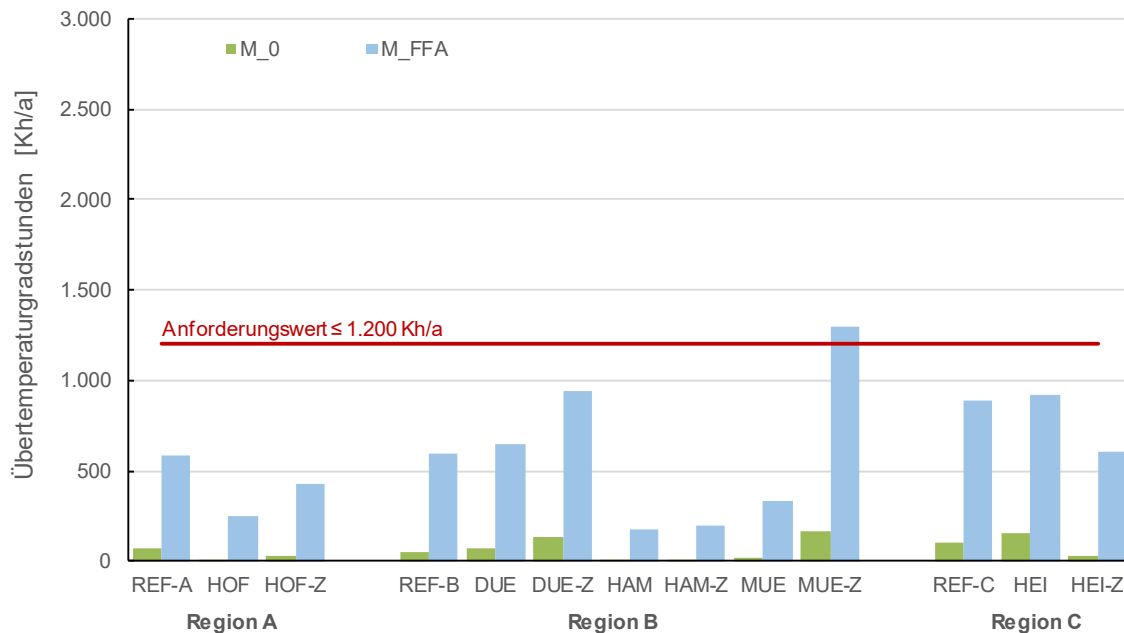
Als Ergebnisse der Simulationen ergeben sich die Übertemperaturgradstunden. Diese stellen pro Stunde in Kelvin die Überschreitungshöhe der Bezugs-Raumtemperatur dar, welche über das Simulationsjahr aufsummiert wird. Die Ergebnisse werden nach Sommerklimaregion untergliedert in Abbildung 122 dargestellt.

Für den Basisfall ergibt sich nur eine geringe Höhe der Übertemperaturgradstunden von unter 200 Kh/a, für die FFA-Variante hingegen liegen die Übertemperaturgradstunden zwischen 174 (HAM) und 1.296 Kh/a (MUE-Z). Im Zentrum von München ist die höchste Anzahl an Übertemperaturgradstunden zu erwarten und der Grenzwert wird überschritten.

Auch in den Zentren von Düsseldorf und Hof ist der Effekt einer wärmeren Innenstadt zu erkennen. Für Hof ist dies erstaunlich, da die ausgewählten Standorte für Hof und Hof-Zentrum direkt nebeneinander liegen. In Hamburg sind keine Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Standorten erkennbar. Das Zentrum von Heidelberg hingegen weist weniger Übertemperaturgradstunden als der ein bis zwei Kilometer entfernte Standort auf. Dass es in Hamburg und in Heidelberg in den Stadtzentrum nicht wärmer ist, hängt vor allem damit zusammen, dass in diesen Städten wegen Gewässern nicht der Quadratmeter mit der Altstadt ausgewählt werden konnte und die nahen Gewässer zusätzlich einen abkühlenden Effekt haben.

Die für den Nachweis relevanten Referenzvarianten unterschreiten den Anforderungswert in allen Fällen.

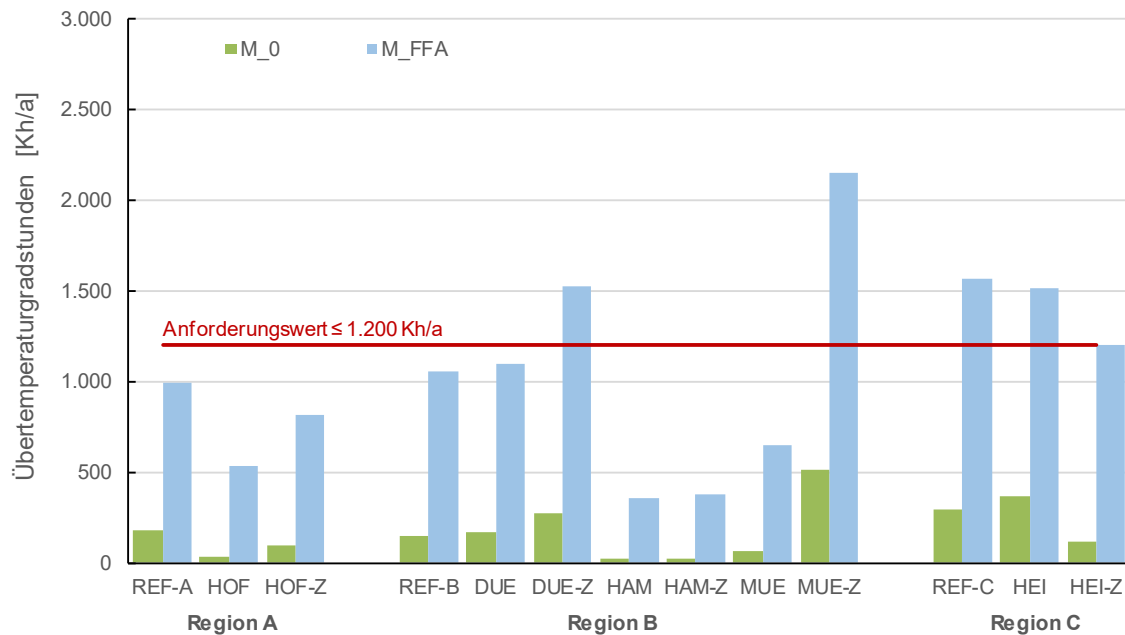
Abbildung 122: Übertemperaturgradstunden (MFH, SO-Eckraum 4.OG)



Simuliert man unter den gleichen Randbedingungen wie in Abbildung 122, entfernt jedoch die Möglichkeit der erhöhten Nachtlüftung, ergibt sich das in Abbildung 123 dargestellte Bild. Für M_0 ergeben sich Übertemperaturgradstunden zwischen 18 (HAM) und 513 Kh/a (MUE-Z). Auch hier liegen die Varianten mit erhöhtem Fensterflächenanteil um ein Vielfaches über der jeweiligen Basisvariante, nämlich zwischen 355 (HAM) und 2.145 Kh/a (MUE-Z). Hierbei wird der Anforderungswert für die Klimadaten von DUE-Z, MUE-Z, REF-C und HEI überschritten.

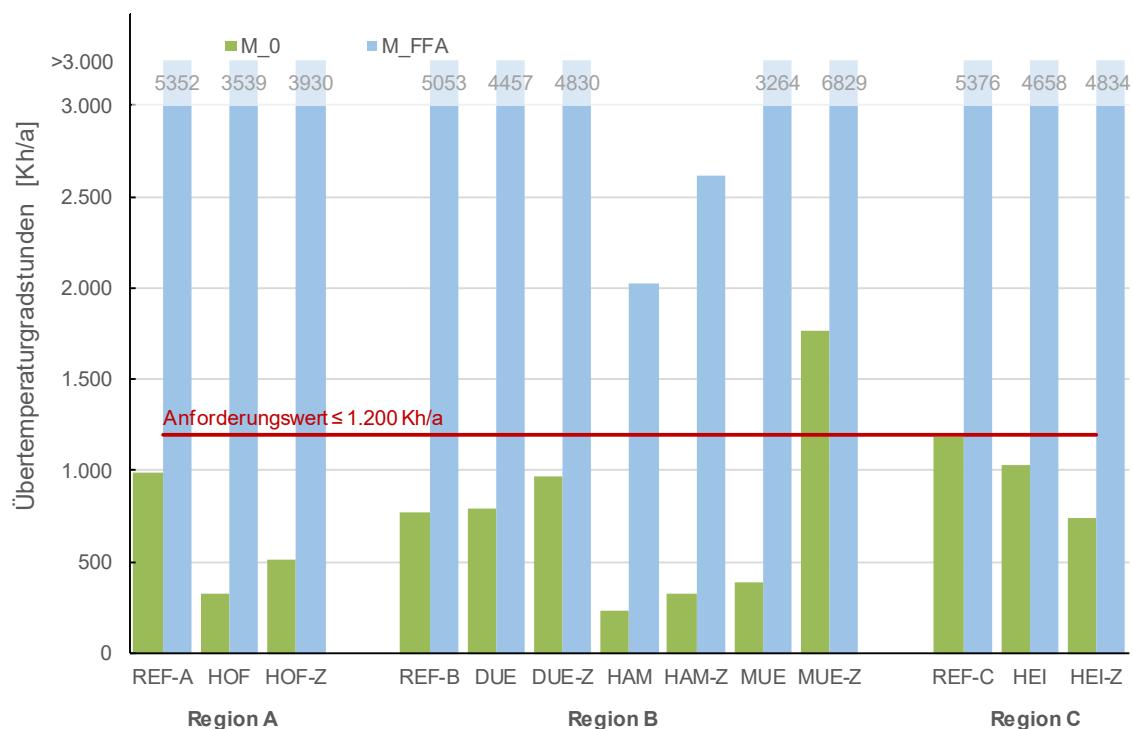
Des Weiteren fällt auf, dass die Standorte der Sommerklimaregion A und C sich gut für eine Berechnung über das zugeordnete Referenzklima eignen. Bei der Region B hingegen liegen die Übertemperaturgradstunden von Hamburg deutlich unter denen des zugeordneten Referenzklimas, die von München Zentrum jedoch deutlich darüber.

Abbildung 123: Übertemperaturgradstunden Variante oNL (MFH, SO-Eckraum 4.OG)



Zusätzlich zeigt Abbildung 124 die Ergebnisse für die Varianten mit erhöhter Nachtlüftung, aber ohne außenliegenden Sonnenschutz. Die Bedeutung eines außenliegenden Sonnenschutzes zeigt sich anhand der sich ergebenden Übertemperaturgradstunden für die FFA-Variante, welche zwischen 2.030 und 6.830 Kh/a liegen und somit den Anforderungswert weit übersteigen.

Abbildung 124: Übertemperaturgradstunden Variante oS (MFH, SO-Eckraum 4.OG)



9.4 Nichtwohngebäude

9.4.1 Randbedingungen und Varianten

Wesentliche Randbedingungen für den zur Simulation des Sommerlichen Wärmeschutzes ausgewählten Raum sind in Tabelle 43 zusammengestellt.

Tabelle 43: Kenngrößen für Simulation des Sommerlichen Wärmeschutzes (Büro)

Büro	Randbedingungen
Raum	6.OG Südost-Südwest Büro
Nettogrundfläche	38 m ²
Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	35 %
Bezugswert Innentemperatur	in Abhängigkeit der zugeordneten Klimazone
Simulationszeitraum	ganzes Jahr
Speichermassen	über schichtweisen Aufbau der raumumschließenden Bauteile; entspricht mittelschwerer Bauweise
Verglasungsart	Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung, g = 0,60
Sonnenschutz	Außenliegende Jalousie, Fc = 0,25
Verschattung durch Umgebungsbebauung	nicht berücksichtigt
Erhöhte Nachtlüftung	mittels Fensterlüftung
Luftwechsel erhöhte Nachtlüftung	2 h ⁻¹

Als Variante soll auch hier zusätzlich die Variante mit erhöhtem Fensterflächenanteil untersucht werden. Hier gibt es eine Besonderheit: Bei der FFA-Variantenbildung wurde der Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutzes nach dem Sonneintragskennwertverfahren durchgeführt. Hieraus ergab sich, dass für die Variante mit erhöhtem Fensterflächenanteil eine Sonnenschutzverglasung mit einem g-Wert kleiner gleich 0,33 notwendig ist. Diese wird auch bei den Simulationen angesetzt, obwohl sie hier teilweise nicht erforderlich wäre.

Ferner soll auch eine Variante betrachtet werden, bei der eine erhöhte Nachtlüftung nicht möglich ist.

Tabelle 44: Varianten für die Simulation des Sommerlichen Wärmeschutzes (Büro)

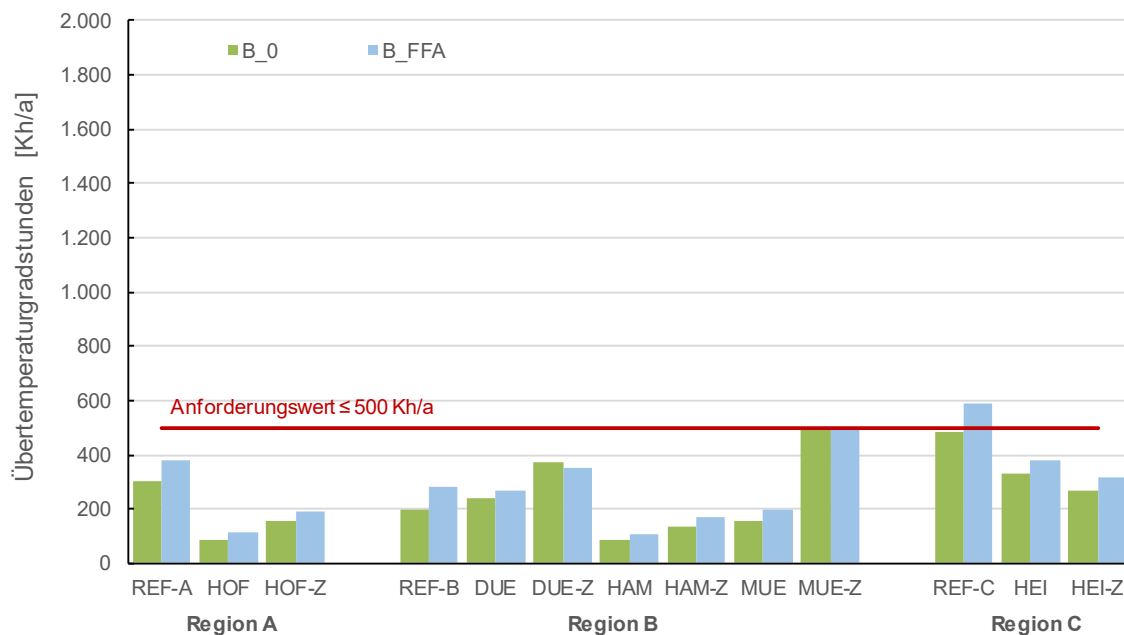
Fensterflächenanteil	Basisfall	FFA
Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	35 %	75 %
g-Wert	0,60	0,33
Fc	0,25	0,30
Nachtlüftung	Basisfall	oNL
Nachtlüftung	erhöhte Nachtlüftung	ohne erhöhte Nachtlüftung

9.4.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Übertemperaturgradstunden für den Büro-Eckraum werden in Abbildung 125 dargestellt. Für den Basisfall ergeben sich Übertemperaturgradstunden zwischen 86 (HAM) und 497 Kh/a (MUE-Z), für die FFA-Variante zwischen 106 (HAM) und 587 Kh/a (REF-C). Bei der FFA-Variante nehmen die Übertemperaturgradstunden durch den erhöhten Fensterflächenanteil zu, durch die angesetzte

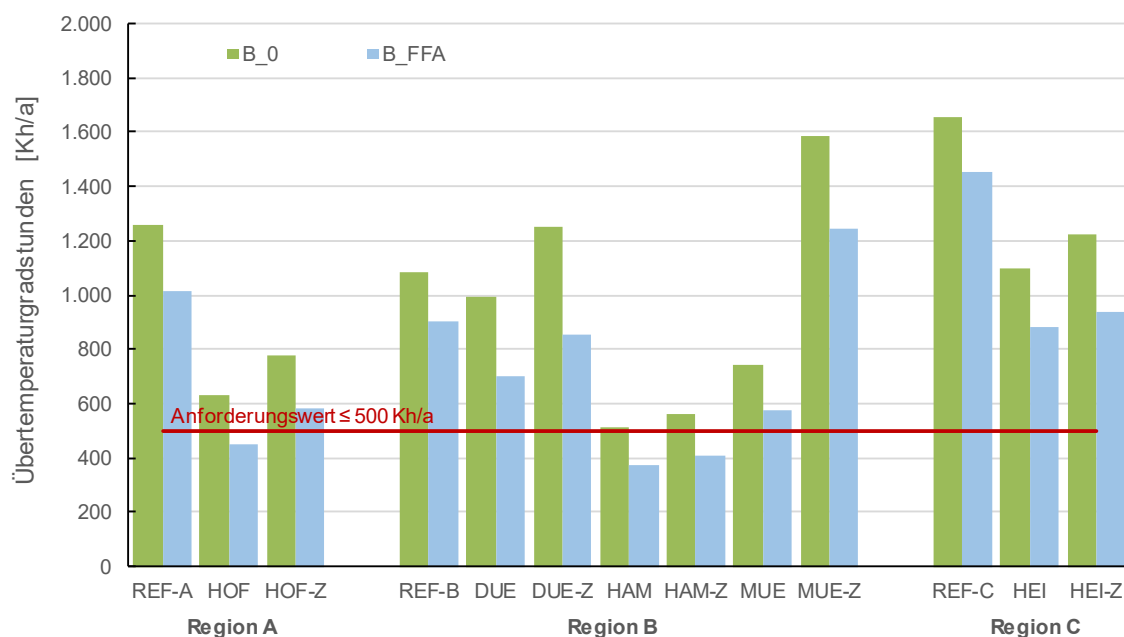
Sonnenschutzverglasung fällt der Anstieg aber nur mäßig aus. Hierbei gibt es jedoch für die Düsseldorfer Innenstadt eine Ausnahme. Die Basisvariante weist um 18 Kh/a mehr Übertemperaturgradstunden als die Variante mit erhöhtem Fensterflächenanteil auf. Diese Verschiebung ist erstaunlich und steht vermutlich im Zusammenhang mit Schwellwerten für die Nachtlüftung und/oder den erhöhten Transmissionswärmeverlusten der FFA-Variante, die sich im Sommerfall günstig auswirken.

Abbildung 125: Übertemperaturgradstunden (Büro, Eckraum mit Südausrichtung, 6.OG)



Um diesen Effekt weiter zu untersuchen wird in Abbildung 126 die vorherige Simulation wiederholt, dieses Mal jedoch ohne erhöhte Nachtlüftung. Hierdurch verstärkt sich der angesprochene Effekt, so dass die FFA-Varianten durchweg niedrigere Übertemperaturgradstunden aufweist als im Basisfall.

Abbildung 126: Übertemperaturgradstunden Variante oNL (Büro, Eckraum mit Südausrichtung, 6.OG)



Diese unerwartete Verschiebung, die nicht Thema der vorliegenden Untersuchung ist, bedarf einer noch detaillierten Analyse unter Variation der Einflussparameter der grundflächenbezogenen Fensterflächenanteile, g-Werte und U-Werte, um die Zusammenhänge besser verstehen zu können. Dies geht jedoch über die Aufgabenstellung im Rahmen dieser Studie hinaus, die nur eine erste Einschätzung der Auswirkungen eines Nachweises des sommerlichen Wärmeschutzes mit regionalen Klimadaten geben soll.

9.5 Fazit

Ziel des nach EnEV vorgeschriebenen Nachweises des sommerlichen Wärmeschutzes ist es, an heißen Sommertagen die Behaglichkeit der Räume durch Vermeiden eines übermäßigen Aufheizens der Räume zu gewährleisten und den Kühlenergiebedarf von Gebäuden gering zu halten. Der Nachweis nach DIN 4108-2 kann über eine dynamisch-thermischen Simulationsrechnung von kritischen Räumen erfolgen, wobei die Übertemperatur-Gradstunden begrenzt werden. In Abhängigkeit des Gebäudestandortes erfolgt eine Zuordnung zu einer der drei Sommerklimaregionen. Die Auswirkungen einer Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten auf die Ergebnisse im Vergleich zu den Ergebnissen mit zugeordnetem Sommerklima-Region-Klima werden bei Beibehaltung der nach DIN 4108-2 vorgeschriebenen Randbedingungen analysiert. Um die Problematik von im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz besonders kritischen Innenstadtbereichen einbeziehen zu können, wird neben den fünf untersuchten Standorten zusätzlich jeweils ein Standort im Zentrum ausgewertet.

An den Ergebnissen zeigt sich, dass die Klimadaten des Standortes wesentlichen Einfluss auf die Zahl der Übertemperaturgradstunden haben. Für den Standort München liegen diese für die Münchner Innenstadt um ein Vielfaches höher verglichen mit dem ca. 6 km entfernten gewählten Neubaugebiet und der zugeordneten Referenzvariante. Auch in den Zentren von Düsseldorf und Hof ist der Effekt einer wärmeren Innenstadt deutlich zu erkennen. Für Hof ist dies erstaunlich, da die ausgewählten Standorte für Hof und Hof-Zentrum direkt nebeneinander liegen. Bei der Auswertung der Übertemperaturgradstunden des Büroraumes waren diese Effekte durch die Sonnenschutzverglasung deutlich weniger ausgeprägt als beim MFH-Zimmer.

An diesen Beispielen wird deutlich, dass für die Planung des Konzeptes für den sommerlichen Wärmeschutz die Klimadaten des jeweiligen Standortes entscheidenden Einfluss haben und eine stärkere Berücksichtigung finden sollten. Die Unterteilung in drei Sommerklimaregionen in der DIN 4108-2 scheint durch das Vorliegen der lokalen Klimadaten nicht mehr zielführend zu sein.

10.0 Zusammenfassung

Energiebedarfsberechnungen werden nach den Vorgaben der Energieeinsparverordnung standardisiert durchgeführt. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts werden die Auswirkungen von einer EnEV-konformen Energiebedarfsberechnung untersucht, die jedoch nicht mit dem festgelegten Referenzklima sondern mit ortsgenauen Klimadaten durchgeführt wird. Die vorliegende Untersuchung wird durch das vom BBSR geförderte Projekt "Ortsgenaue Testreferenzjahre" des Deutschen Wetterdienstes möglich, welches für jeden Standort in Deutschland stündliche Klimadaten mit einem Raster von 1 km² zum kostenlosen Internet-Download zur Verfügung stellt. Diese ortsgenauen stündlichen Klimadaten können jedoch nicht direkt Eingang in die Energiebedarfsberechnung nach EnEV finden, da für das Monatsbilanzverfahren Monatsmittelwerte für Außentemperatur und Strahlungsintensität benötigt werden. Daher wird im Rahmen dieses Forschungsprojektes ein Tool entwickelt, um aus den Stundenwerten der ortsgenauen Klimadaten die für die Berechnung nach DIN V 18599 benötigten monatlichen Klimadaten zu erzeugen. Über eine Validierung konnte nachgewiesen werden, dass das entwickelte Tool korrekte Ergebnisse liefert.

Mit Hilfe des Tools werden anschließend die Auswirkungen unterschiedlicher Klimadaten auf die Energiebedarfsberechnungen analysiert. Die Untersuchung erfolgt anhand fünf klimatisch stark unterschiedlicher Standorte (Düsseldorf, Hamburg, Heidelberg, Hof, München) sowie dem nach EnEV zu verwendendem Referenzklima. Die Variation der Klimadaten erfolgt beispielhaft für fünf Mustergebäude: einem Ein- und einem Mehrfamilienhaus, einem Bürogebäude, einer Schule und einer Industriehalle. Zusätzlich werden Varianten hinsichtlich Bauweise, Fensterflächenanteil, Dämmstandard und Anlagentechnik gebildet. Die Berechnungen werden mit einer EnEV-konformen Software durchgeführt, die jedoch so modifiziert wurde, dass die Variation der Klimadaten möglich ist.

Die umfangreiche Auswertung der 144 Variantenkombinationen zeigt einen relevanten Einfluss der Klimadaten auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf. So zeigt sich bei der Auswertung der Erzeugernutzwärmeabgabe ($Q_{h,outg}$) im Vergleich zur Berechnung mit EnEV-Referenzklima je nach Gebäudevariante eine Abnahme zwischen -20 % (Schule) und -31 % (MFH) für den Standort Düsseldorf und zwischen -20 % (Schule) und -27 % (MFH) für den Standort Heidelberg. Die höchste Zunahme der Erzeugernutzwärmeabgabe weist der Standort Hof mit +10 % (Büro) bis +18 % (Industriehalle) auf. Die Analyse der Einflussfaktoren ist komplex, da durch die Verwendung von lokalen Klimadaten gleichzeitig die Temperatur und Solarstrahlung variiert wird. Die Außentemperatur stellt die wichtigste Einflussgröße dar. Aber auch Auswirkungen der Solarstrahlung, durch welche die solaren Gewinne beeinflusst werden, sind insbesondere beim Standort München, bei Varianten mit hohem Fensterflächenanteil und bei der Solarthermie erkennbar. Die Auswertung der Erzeugernutzkälteabgabe ($Q_{h,outg}$) zeigt bei den Varianten mit statischem Kühlsystem ebenfalls eine hohe Klimasensitivität: Die größte Zunahme im Vergleich zur Berechnung mit Referenzklima erhält man für den Standort Heidelberg mit +22 % (Industriehalle) bzw. +34 % (Büro), die höchste Abnahme für den Standort Hof mit -14 % (Industriehalle) bzw. -24 % (Büro). Auf die anderen Varianten mit RLT-Kühlfunktion über Konstantvolumenanlage bzw. mit Dampfbefeuchtung ergeben sich aufgrund der Berechnungsvorschriften der DIN V 18599-10 keine Auswirkungen der Klimadaten. Bei der Untersuchung der aktiven Nutzung von Solarstrahlung mittels Solarthermie und Photovoltaik hingegen ergeben sich deutliche klimabedingte Effekte. So variiert beim Einfamilienhaus mit Solarthermieranlage zur Trinkwarmwasserbereitung der solare Deckungsanteil je nach Standort zwischen 57 % und 68 % (Referenzklima 60 %), bei der Schule zwischen 34 und 41 % (Referenzklima 36 %). Beim Einfamilienhaus mit Solarthermieranlage zur Heizungsunterstützung ergibt sich eine klimabedingte Schwankungsbreite beim Deckungsanteil der Heizwärme zwischen 10 % und 14 %. Für die Varianten mit PV-Anlage liegen die strahlungsabhängigen Erträge im Vergleich zum Referenzklima zwischen -9 % (Standort Hamburg) und +16 % (Standort München).

Bei der Auswertung der Endenergiebedarfswerte, die den Gebäude-Endenergiebedarf für Heizung, Trinkwarmwasser, ggf. Kühlung, Lüftung, Hilfsenergien und bei den Nichtwohngebäuden auch die

Beleuchtung umfasst, ergeben sich im Vergleich zur mit Referenzklima berechneten Variante analog deutliche Unterschiede. Beispielsweise für den Standort Düsseldorf bei der Variante EFH mit Wärmepumpe und Photovoltaikanlage eine Abnahme von -38 %, für den Standort Hof bei der Industriehalle-Basisvariante dagegen eine Zunahme von +13 %. Insgesamt lassen sich bei der Auswertung auf Endenergieebene sowohl ausgleichende Effekte bei den Varianten mit Heizen und Kühlen als auch verstärkende Effekte bei den Varianten mit Photovoltaikanlage finden.

Die derzeit nach EnEV vorgeschriebene Verwendung des Referenzklimas bedingt, dass neben den Vorgaben zu Transmissionswärmeverlusten bzw. mittleren U-Werten auch der zulässige Primärenergiebedarf unabhängig der tatsächlichen vorherrschenden Klimabedingungen festgelegt wird. Aus diesem Grund werden als weiterer Schwerpunkt die Auswirkungen auf die Einhaltung der EnEV für den Fall einer Zulassung der Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten untersucht. Bei der Berechnung des maximal zulässigen Primärenergiebedarfs auf Basis des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes ergeben sich zwei Möglichkeiten: entweder werden die Klimadaten auch beim Referenzgebäude durch die Standortklimadaten ersetzt oder das Referenzklima für die Referenzgebäude-Berechnung beibehalten. Diese Entscheidung hat wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse. Bei Verwendung lokaler Klimadaten auch für das Referenzgebäude zeigen sich für die Unter- bzw. Überschreitung des zulässigen Primärenergiebedarfs bei Standortvariation der Fernwärme-Varianten eine nur relativ geringe Schwankungsbreite von bis zu -2,8 % (Hof) bzw. +5,5 % (Heidelberg). In allen Fällen kommt es für die warmen Standorte Düsseldorf und Heidelberg zu Überschreitungen des maximal zulässigen Primärenergiebedarfs. Dies würde bedeuten, dass bei Berechnung mit lokalen Klimadaten diese Gebäude so nicht zulässig wären und paradoxerweise der (Dämm-)Standard verbessert werden müsste. Für die Varianten mit Wärmepumpen ergeben sich andere Ergebnisse: alle Standorte weisen eine deutliche Unterschreitung des zulässigen Primärenergiebedarfs auf. Hierbei nimmt die Unterschreitung im Vergleich zum REF-Klima für alle Standorte zu. Auch weisen warme Standorte eine höhere Unterschreitung als kältere Standorte auf. Bei Variation der Klimadaten unter Beibehaltung des mit Referenzklima berechneten maximal zulässigen Primärenergiebedarfs zeigt sich bei den Fernwärmevarianten eine deutlich größere Schwankungsbreite bei der ausgewerteten Über- bzw. Unterschreitung. Diese liegt zwischen -16 % (Düsseldorf) und +10 % (Hof) jeweils für die Bürogebäude-Variante mit erhöhtem Fensterflächenanteil. Somit würden nun Varianten mit Standort Hof die Primärenergieanforderung nicht mehr einhalten, wohingegen die warmen Standorte die Anforderungen deutlich unterschreiten. Für die Varianten mit Wärmepumpen ergeben sich ähnliche Ergebnisse wie bei der Berechnung des Referenzgebäudes mit lokalen Klimadaten.

Auf Basis dieser Ergebnisse werden mögliche Handlungsstrategien für eine Einführung von ortsgenauen Klimadaten aufgeführt und deren Vor- und Nachteile diskutiert. Würde das derzeitige EnEV-Verfahren beibehalten, aber die Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten für Gebäude *und* Referenzgebäude vorgeschrieben, hätte dies den Vorteil, dass die Bedarfswerte durch die Berechnung mit ortsgenauen Klimadaten näher an den Verbrauchswerten lägen, aber den gravierenden Nachteil, dass im Vergleich zum derzeitigen Verfahren in den meisten Fällen in warmen Gegenden wärmetechnische Verbesserungen notwendig werden. Dies wäre im Hinblick auf die Senkung von Kohlendioxidemissionen energiepolitisch nicht sinnvoll. Würde mit lokalen Klimadaten gerechnet, das Referenzgebäude jedoch weiterhin mit einem Referenzklima für Deutschland berechnet werden, lägen die Bedarfswerte ebenso näher an den Verbrauchswerten und Verbesserungen an der energetischen Qualität der Gebäudehülle würden zielgerichteter eingesetzt, weil sich an warmen Standorten ein geringeres und an kalten Standorten höheres Anforderungsniveau ergäbe. Jedoch könnte sich die Durchsetzung eines klimaangepassten Bauens als politisch schwierig herausstellen. Hintergrund ist die Frage, ob es politisch durchzusetzen wäre, wenn Bauherren in kälteren Regionen gegebenenfalls mehr investieren müssen als in wärmeren Regionen. Dieses Problem würde sich noch schwerwiegender in der Förderpolitik auswirken, da sich derzeitige Förderbedingungen oft auf geforderte Unterschreitungen des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes beziehen. Bei einer Umstellung auf eine Berechnung mit standortspezifischen

Klimadaten müssten daher zunächst die Auswirkungen auf Förderprogramme untersucht werden, um darauf aufbauend umsetzbare Förderkriterien zu erarbeiten, die auch die politischen Ziele berücksichtigen. Obwohl die Ergebnisse der Untersuchung für eine Einführung einer genaueren Berechnung des Energiebedarfs über ortsgenaue Klimadaten sprechen, ist eine Umsetzung nach dem derzeitigen Verfahren schwierig. Aus diesem Grund sollte auch in Erwägung gezogen werden, das derzeitige öffentlich-rechtlich Nachweisverfahren komplett auf maximal zulässige Primärenergie- beziehungsweise Kohlendioxid-Werte umzustellen, um das Verfahren zu vereinfachen, aber auch energiepolitische Ziele besser umsetzen zu können.

Um die Ergebnisse der klimatischen Einflüsse zu verifizieren, werden anschließend die Ergebnisse der Varianten-Untersuchung des Monatsbilanzverfahrens mit Ergebnissen von thermischen Gebäudesimulationen verglichen. Dieser Vergleich wird für Varianten des Mehrfamilienhauses und des Bürogebäudes durchgeführt. Hinsichtlich klimabedingter Verschiebungen zeigt sich eine relativ gute Übereinstimmung zwischen Monatsbilanzverfahren und Whole-Building-Simulation. Geringe Unterschiede ergeben sich beispielsweise bei der Erzeugernutzwärme Heizung für die wärmeren Standorte Düsseldorf und Heidelberg, bei welchen die Ergebnisse für die Unterschreitung im Vergleich zum Referenzklima ca. 4 %-Punkte geringer ausfallen. Ferner werden Vor- und Nachteile einer möglichen zukünftigen Erweiterung des Nachweisverfahrens auf Gebäudesimulationen diskutiert. Als großes Hemmnis für die Einführung einer Nachweisführung über eine „Whole-Building-Simulation“ wird die Vielzahl der bei thermisch-dynamischen Simulationsrechnungen zu berücksichtigenden Randbedingungen gesehen. Ein einheitlicher Ansatz der Berechnungsrandbedingungen wäre daher die Grundvoraussetzung für eine Zulassung, damit die Ergebnisse nachvollziehbar und vergleichbar sind.

Abschließend wird die Betrachtung noch um einen Ausblick auf mögliche Auswirkungen bezüglich der Verwendung ortsgenauer Standort-Klimadaten auf den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes über thermische Gebäudesimulation nach DIN 4108-2 ergänzt. Aufgrund der starken Abhängigkeit vom zugrunde gelegten Klimadatensatz – hier ergeben sich teilweise große Unterschiede für Innenstadt und Stadtrandlage und gegenüber des Referenzklimas der jeweiligen Sommerklimaregion – sprechen die Ergebnisse für die Anwendung der ortsgenauen Klimadaten insbesondere auch für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes.

Verzeichnisse

Abkürzungsverzeichnis

BW	Bauweise
COP	Leistungszahl Wärmepumpe (Coefficient of Performance)
DWD	Deutscher Wetterdienst
EnEV	Energieeinsparverordnung
EFH	Einfamilienhaus
FFA	Fensterflächenanteil
FW	Fernwärme
GEG	Gebäudeenergiegesetz
KfW	KfW-Effizienzhaus
NWG	Nichtwohngebäude
PV	Photovoltaik-Anlage
Qp	Primärenergiebedarf
REF	Referenzklima nach EnEV ()
RLT	Raumluftechnik
STH	Solarthermieranlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung
STW	Solarthermieranlage zur Warmwasserbereitung
TRY	Testreferenzjahr (= speziell zusammengestellte Klima-Datensätze, die für jede Stunde eines Jahres verschiedene meteorologische Daten enthalten und einen typischen Witterungsverlauf repräsentieren.)
WF	Wohnfläche innerhalb thermischer Hülle berechnet nach Wohnflächenverordnung
WG	Wohngebäude
WP	elektrische Wärmepumpe mit Wärmequelle Außenluft
WRG	RLT-Anlage bzw. Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Literaturverzeichnis

BBR Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2019: Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen. BBSR-Online-Publikation 04/2019.

BBR Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2011: Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre (TRY) von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse. Zugriff: https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Regelungen/Testreferenzjahre/Testreferenzjahre/TRY2011_Datensatz.html [abgerufen am 1.11.18].

BBR Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH; DWD Deutscher Wetterdienst 2014: Handbuch - Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse.

BBR Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; DWD Deutscher Wetterdienst 2017: Handbuch - Ortsgenaue Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse.

BBR Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; DWD Deutscher Wetterdienst 2016: Projektbericht - Ortsgenaue Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium für Umwelt Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit 2015a: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte im Wohngebäudebestand.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium für Umwelt Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit 2015b: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand.

Bundesregierung 2019: GEG - Entwurf eines Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude vom 23.10.2019.

DWD Deutscher Wetterdienst 2018: Klimaberatungsmodul. Beratungskategorie Energie- und Bauwesen. Zugriff: <https://kunden.dwd.de/obt/index.jsp> [abgerufen am 1.11.18].

Hartmann, Thomas; Hirschberg, Rainer; Oschatz, Bert; Maas, Anton; Schilling, Jürgen; Mailach, Bettina; Knaus, Christine 2016: Fertigstellung eines vereinfachten Verfahrens für Wohngebäude zu DIN V 18599 für die EnEV 2017. Forschungsprogramm Zukunft Bau, Aktenzeichen 10.08.17.7-15.50.

Jacobsen, Cornelia; Hutter, Christina; Erhorn, Hans; Hauser, Gerd; Hegger, Manfred 2015: Untersuchung der Maßnahmen- kombinationen mit denen unter verschiedenen Standort- und Nutzungsvoraussetzungen eine Plusenergieschule realisiert werden kann. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

kplan AG 2011: Ausführungsplanung - FOS/BOS Erding. Abensberg.

Krämmel Bauplan GmbH 2015: Eingabeplanung - Neubau von 5 Mehrfamilienhäusern. Wolfratshausen.

Lam, J; Hiller, M 2014: Schwierigkeiten bei der Verwendung der TRY Daten 2011 für Deutschland in der thermischen Simulation, BauSIM2014 , Fifth German-Austrian IBPSA Conference RWTH Aachen University. Aachen.

OpenStreetMap Deutschland 2018: Die freie Wiki-Weltkarte. Zugriff: <https://www.openstreetmap.de/> [abgerufen am 15.9.18].

Oschatz, Bert 2009: Erarbeitung eines Leitfadens zum Abgleich Energiebedarf-Energieverbrauch. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

Perez, Richard; Ineichen, Pierre 1999: Derivation of Cloud Index from Geostationary Satellites and Application to the Production of Solar Irradiance and Daylight Illuminance Data. Theoretical and Applied Climatology 64, 119–130.

Perez, Richard; Stewart, Ronald; Seals, Robert; Guertin, Ted 1988: The Development and Verification of the Perez Diffuse Radiation Model. Sandia Report SAND88-7030.

Remund, Jan; Müller, Stefan; Studer, Christian; Cattin, René 2018: Meteonorm Handbuch. Bern.

Steidle Architekten - Gesellschaft von Architekten und Stadtplanern mbH 2015: Ausführungsplanung - Neubau des DEHOGA-Verwaltungsgebäudes. München.

Wikipedia 2018: Liste der Großstädte in Deutschland. Zugriff:

https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Großstädte_in_Deutschland [abgerufen am 15.9.18].

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klimadaten in der Berechnung des öffentlich-rechtlichen Wärmeschutz-Nachweis (Rückblick und Ausblick)

Abbildung 2: Referenzstandorte und Klimaregionen nach Bild E.1 des Anhangs E DIN V 18599-10

Abbildung 3: Eingang der Klimadaten aus Teil 10 (Monatsmittelwerte) in die DIN V 18599-Gebäude-Berechnung

Abbildung 4: Indirekter Einfluss von Klimadaten auf die DIN V 18599-Gebäude-Berechnung

Abbildung 5: Beispielhafter Außentemperaturverlauf und Monatsmitteltemperatur im Monat März für die TRY-Region 2

Abbildung 6: Beispielhafter Außentemperaturverlauf und Monatsmitteltemperatur im Monat März für die TRY-Region 13

Abbildung 7: Solare Einstrahlung im Monat März für die TRY-Region 2

Abbildung 8: Solare Einstrahlung im Monat März für die TRY-Region 13

Abbildung 9: Simulierter Nutzenergiebedarf für einen Büroraum für den Monat März

Abbildung 10: Simulierter Nutzenergiebedarf für einen Büroraum ohne Solarstrahlung für den Monat März

Abbildung 11: Monatlicher Verlauf der Temperatur und des Heizwärmebedarfs für die Stundenwerte von Rostock

Abbildung 12: Monatlicher Verlauf der Temperatur und des Heizwärmebedarfs für die Stundenwerte von Mühldorf/Inn

Abbildung 13: Monatlicher Verlauf der Temperatur und des Heizwärmebedarfs für den Monatsmittelwert der Außentemperatur

Abbildung 14: Klimaberatungsmodul auf der Internetseite des DWD (DWD Deutscher Wetterdienst 2018), Screenshot vom 27.09.2018

Abbildung 15: Datensatz TRY2015 durchschnittliches Jahr für die WGS084-Koordinaten 50,6767° N / 7,179° O

Abbildung 16: Schematische Darstellung des Tools zur Erzeugung EnEV-konformer Klimadaten

Abbildung 17: Darstellung der Flächen, für welche die solare Strahlungsintensität ermittelt wird.

Abbildung 18: Beispiel eines Klimadatensatzes für EnEV-Berechnungsprogramme

Abbildung 19: Solare Einstrahlung an einem klaren Sommertag in Hof (TRY2011 mit unkorrigiertem Strahlungsdatenzeitbezug)

Abbildung 20: Solare Einstrahlung an einem klaren Sommertag in Hof (TRY2011 mit korrigiertem Strahlungsdatenzeitbezug)

Abbildung 21: Solare Einstrahlung an einem klaren Sommertag in Hof (TRY2017 mit Verwendung des TRNSYS17-Strahlungsprozessors)

Abbildung 22: Solare Einstrahlung an einem klaren Sommertag in Hof (TRY2017 mit Verwendung des TRNSYS18-Strahlungsprozessors)

Abbildung 23: Geografische Übersicht der Standorte zur Erzeugung EnEV-konformer Klimadaten

Abbildung 24: Ausgewählter Quadrant im Klimaberatungsmodul für den Standort Potsdam (DWD Deutscher Wetterdienst 2018)

Abbildung 25 Verlauf der horizontalen Strahlung von allen Standorten

Abbildung 26: Außentemperaturverlauf von allen Standorten

Abbildung 27: Verlauf der Gradtage (f. 12°C) aller Standorte

Abbildung 28: Ausgewählte Standorte zur Untersuchung der Mustergebäude

Abbildung 29: Darstellung Süd- und Ostseite des EFH-Mustergebäudes (Hartmann et al. 2016)

Abbildung 30: Schnitt des EFH (Hartmann et al. 2016)

Abbildung 31: Grundriss Obergeschoss des EFH (Hartmann et al. 2016)

Abbildung 32: Grundriss EG des EFH (Hartmann et al. 2016)

Abbildung 33: Grundriss Keller des EFH (Hartmann et al. 2016)

Abbildung 34: Ansicht Westseite des MFH-Mustergebäudes

Abbildung 35: Ansicht Nordseite des MFH-Mustergebäudes

Abbildung 36: Grundrisse UG, EG und OGs des MFH-Mustergebäudes (Krämmel Bauplan GmbH 2015)

Abbildung 37: Foto der Südost- und Nordostfassade des Büro-Mustergebäudes (Quelle: Energieausweis)

Abbildung 38: Grundrisse mit Zonierung (Ingenieurbüro Hausladen) und Schnitt des Muster-Bürogebäudes (Steidle Architekten - Gesellschaft von Architekten und Stadtplanern mbH 2015)

Abbildung 39: Foto der Südansicht des Schul-Mustergebäudes (kplan AG 2011)

Abbildung 40: Grundrisse und Schnitt Schul-Mustergebäudes (kplan AG 2011)

Abbildung 41: Grundriss, Schnitte und Ansicht der Muster-Industriehalle (Quelle: IBH)

Abbildung 42: Mittlere monatliche Außentemperatur der untersuchten Standorte

Abbildung 43: Globalstrahlung der untersuchten Standorte

Abbildung 44: Einstrahlung auf eine 45° geneigte Südfläche für die untersuchten Standorte

Abbildung 45: Einstrahlung auf eine 90° geneigte Südfläche für die untersuchten Standorte

Abbildung 46: Erzeugernutzwärme Heizung – Einfamilienhaus

Abbildung 47: Erzeugernutzwärme Heizung (monatlich) – Einfamilienhaus Basisfall

Abbildung 48: Erzeugernutzwärme Heizung – Mehrfamilienhaus

Abbildung 49: Erzeugernutzwärme Heizung – Büro

Abbildung 50: Erzeugernutzwärme Heizung – Schule

Abbildung 51: Erzeugernutzwärme Heizung – Industriehalle

Abbildung 52: Erzeugernutzwärme Trinkwarmwasser (monatlich) – EFH mit Solarthermie zur TWW-Bereitung (E_STW)

Abbildung 53: Erzeugernutzwärme Trinkwarmwasser (monatlich) – EFH mit Solarthermie für TWW/Heizung (E_STH)

Abbildung 54: Erzeugernutzwärme Trinkwarmwasser (monatlich) – Schule mit Solarthermie für TWW-Bereitung (S_STW)

Abbildung 55: Erzeugernutzwärme Heizung (monatlich) – Einfamilienhaus mit Solarthermie für TWW/Heizung (E_STH)

Abbildung 56: Erzeugernutzkälte – Büro mit Wärmepumpe und Kühlung (B_WP-K)

Abbildung 57: Erzeugernutzkälte (monatlich) – Büro mit Wärmepumpe und Kühlung (B_WP-K)

Abbildung 58: Erzeugernutzkälte – Industriehalle ohne/mit Dampfbefeuchtung (I_0/I_FEU) und statischer Kühlung (I_WP-K)

Abbildung 59: Erzeugernutzkälte (monatlich) – Industriehalle ohne/mit Dampfbefeuchtung (I_0/I_FEU)

Abbildung 60: Erzeugernutzkälte (monatlich) – Industriehalle mit statischer Kühlung (I_WP-K)

Abbildung 61: PV-Stromertrag (monatlich) – Einfamilienhaus (E_WP-PV)

Abbildung 62: PV-Stromertrag – Mehrfamilienhaus (M_WP-PV)

Abbildung 63: PV-Stromertrag – Schule (S_WP-PV)

Abbildung 64: Endenergie – Einfamilienhaus

Abbildung 65: Endenergie-Anteile – Einfamilienhaus (REF-Klima)

Abbildung 66: Endenergie-Anteile – Einfamilienhaus (E_0)

Abbildung 67: Endenergie – Mehrfamilienhaus

Abbildung 68: Endenergie – Büro

Abbildung 69: Endenergie-Anteile – Büro (B_0)

Abbildung 70: Endenergie-Anteile – Büro mit Wärmepumpe und Kühlung (B_WP-K)

Abbildung 71: Endenergie – Schule

Abbildung 72: Endenergie – Industriehalle

Abbildung 73: Endenergie-Anteile – Industriehalle mit Dampfbefeuchtung (I_WP-K)

Abbildung 74: Endenergie-Anteile – Industriehalle mit Dampfbefeuchtung (I_FEU)

Abbildung 75: Primärenergie – Einfamilienhaus

Abbildung 76: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (lokales Klima) – E_0

Abbildung 77: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (lokales Klima) – M_WRG

Abbildung 78: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (lokales Klima) – E_WP-PV

Abbildung 79: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (lokales Klima) – B_FFA

Abbildung 80: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (lokales Klima) – B_WP-K

Abbildung 81: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (lokales Klima) – I_0

Abbildung 82: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (Referenzklima) – E_0

Abbildung 83: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (Referenzklima) – M_WRG

Abbildung 84: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (Referenzklima) – E_WP-PV

Abbildung 85: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (Referenzklima) – B_FFA

Abbildung 86: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (Referenzklima) – B_WP-K

Abbildung 87: Primärenergiebedarf und maximal zulässiger Primärenergiebedarf (Referenzklima) – I_0

Abbildung 88: Eingabe Anlagentechnik

Abbildung 89: Darstellung sich gegenseitig beeinflussender Parameter bei einer Whole-Building-Simulation (Winterwoche, Variante B_WP_K; Zone Besprechung)

Abbildung 90: Darstellung sich gegenseitig beeinflussender Parameter bei einer Whole-Building-Simulation (Sommerwoche, Variante B_WP_K; Zone Besprechung)

Abbildung 91: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_0)

Abbildung 92: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_BWL)

Abbildung 93: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_BWS)

Abbildung 94: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_FFA)

Abbildung 95: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_KFW)

Abbildung 96: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_WRG)

Abbildung 97: Endenergie Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_0)

Abbildung 98: Endenergie Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_WP-PV)

Abbildung 99: Endenergie Trinkwarmwasser – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_STW)

Abbildung 100: PV-Stromerzeugung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_WP-PV)

Abbildung 101: Endenergieanteile – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_0)

Abbildung 102: Endenergieanteile – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (M_WP-PV)

Abbildung 103: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_0)

Abbildung 104: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_BWL)

Abbildung 105: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_BWS)

Abbildung 106: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_FFA)

Abbildung 107: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_WRG)

Abbildung 108: Erzeugernutzwärme Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_KFW)

Abbildung 109: Endenergie Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_0)

Abbildung 110: Endenergie Heizung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_WP-PV)

Abbildung 111: Endenergie Kälteerzeugung – Vergleich Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_WP-K)

Abbildung 112: PV-Stromerzeugung – Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_WP-PV)

Abbildung 113: Endenergieanteile – Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_0)

Abbildung 114: Endenergieanteile – Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_WP-PV)

Abbildung 115: Endenergieanteile – Monatsbilanzverfahren und Simulation (B_WP-K)

Abbildung 116: Erzeugernutzkälteabgabe mit und ohne Entfeuchtung (B_WRG-K)

Abbildung 117: Erzeugernutzwärmeabgabe mit und ohne Entfeuchtung (B_WRG-K)

Abbildung 118: Sommerklimaregionen nach DIN 4108-2: 2013-02

Abbildung 119: Raumauswahl – Wohngebäude: MFH-Grundriss 4. OG (Krämmel Bauplan GmbH 2015)

Abbildung 120: Raumauswahl – Nichtwohngebäude: Bürogebäude 6.OG (Steidle Architekten - Gesellschaft von Architekten und Stadtplanern mbH 2015)

Abbildung 121: Gewählte Klimadatensätze (DWD Deutscher Wetterdienst 2018)

Abbildung 122: Übertemperaturgradstunden (MFH, SO-Eckraum 4.OG)

Abbildung 123: Übertemperaturgradstunden Variante oNL (MFH, SO-Eckraum 4.OG)

Abbildung 124: Übertemperaturgradstunden Variante oS (MFH, SO-Eckraum 4.OG)

Abbildung 125: Übertemperaturgradstunden (Büro, Eckraum mit Südausrichtung, 6.OG)

Abbildung 126: Übertemperaturgradstunden Variante oNL (Büro, Eckraum mit Südausrichtung, 6.OG)

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Mittlere Außenlufttemperaturen der Referenzstandorte (Tabelle E.1 DIN V 18599-10)
- Tabelle 2: Regionen und Referenzorte der DIN V 18599-10, ergänzt um Gewässer
- Tabelle 3: Übersicht der Standorte zur Erzeugung EnEV-konformer Klimadaten
- Tabelle 4: Übersicht der Standorte mit ausgewählten EnEV-Klimadaten
- Tabelle 5: Vollständige EnEV-Klimadaten für den Standort Hamburg (TRY2017)
- Tabelle 6: Vollständige EnEV-Klimadaten für den Standort Düsseldorf (TRY2017)
- Tabelle 7: Vollständige EnEV-Klimadaten für den Standort Hof (TRY2017)
- Tabelle 8: Vollständige EnEV-Klimadaten für den Standort Heidelberg (TRY2017)
- Tabelle 9: Vollständige EnEV-Klimadaten für den Standort München (TRY2017)
- Tabelle 10: Mittlere monatliche Strahlungsintensitäten und Außenlufttemperaturen für den Referenzort Potsdam (Tabelle E.6 der DIN V 18599-10:2018-09)
- Tabelle 11: Klimadaten für den Referenzort Potsdam (durchschnittliches Testreferenzjahr 2011 Region 4)
- Tabelle 12: vollständige EnEV-Klimadaten für den Standort Potsdam (TRY2017)
- Tabelle 13: Allgemeine Gebäudedaten des EFH-Mustergebäudes
- Tabelle 14: Allgemeine Gebäudedaten des MFH-Mustergebäudes
- Tabelle 15: Kenndaten des Büro-Mustergebäudes
- Tabelle 16: Kenndaten des Schul-Mustergebäudes
- Tabelle 17: Kenndaten der Muster-Industriehalle
- Tabelle 18: Übersicht der Varianten
- Tabelle 19: Übersicht über Standorte und Kürzel
- Tabelle 20: Randbedingungen für den Basisfall der Muster-Wohngebäude
- Tabelle 21: Randbedingungen für die Varianten-Berechnung der Muster-Wohngebäude
- Tabelle 22: Randbedingungen für den Basisfall der Nichtwohngebäude
- Tabelle 23: Randbedingungen für die Varianten-Berechnung der Nichtwohngebäude
- Tabelle 24: Trinkwarmwasser - Solarer Deckungsanteil in Abhängigkeit des Standorts
- Tabelle 25: Erzeugernutzwärme Trinkwarmwasser [kWh/m²a]
- Tabelle 26: PV-Ertrag (E_WP-PV) [kWh/m²a]
- Tabelle 27: PV-Ertrag (M_WP-PV) [kWh/m²a]
- Tabelle 28: PV-Ertrag (S_WP-PV) [kWh/m²a]
- Tabelle 29: Endenergie-Anteile (REF-Klima)
- Tabelle 30: Endenergie-Anteile – Einfamilienhaus (E_0)
- Tabelle 31: Endenergie-Anteile – Büro (B_0)
- Tabelle 32: Endenergie-Anteile – Büro mit Wärmepumpe und Kühlung (B_WP-K)
- Tabelle 33: Endenergie-Anteile – Industriehalle mit Dampfbefeuchtung (I_WP-K)
- Tabelle 34: Endenergie-Anteile – Industriehalle mit Dampfbefeuchtung (I_FEU)
- Tabelle 35: Fernwärme-Primärenergiefaktoren in Abhängigkeit der Variante
- Tabelle 36: Energiebedarf Beleuchtung in Abhängigkeit der geographischen Breite (B_0)
- Tabelle 37: Übersicht der Varianten für den Vergleich mit thermischer Simulation

Tabelle 38: Ergänzte Randbedingungen für den Vergleich mit thermischer Simulation

Tabelle 39: Anforderungswert Übertemperaturgradstunden (nach DIN 4108-2:2013-02 Tabelle 9)

Tabelle 40: Übersicht der Standort-Kürzel und Zuordnung zu den Sommerklimaregionen

Tabelle 41: Kenngrößen für Simulation des Sommerlichen Wärmeschutzes (MFH)

Tabelle 42: Varianten für die Simulation des Sommerlichen Wärmeschutzes (MFH)

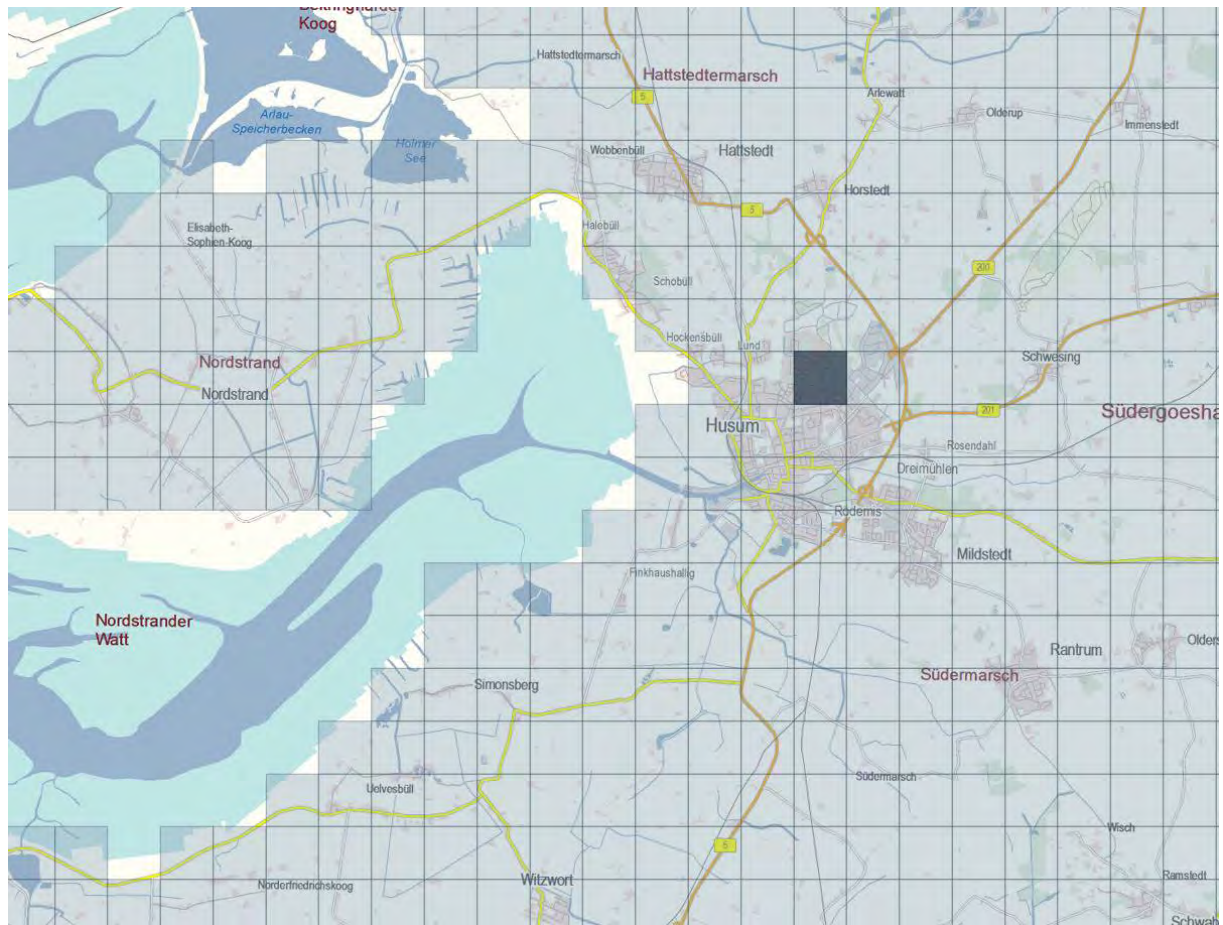
Tabelle 43: Kenngrößen für Simulation des Sommerlichen Wärmeschutzes (Büro)

Tabelle 44: Varianten für die Simulation des Sommerlichen Wärmeschutzes (Büro)

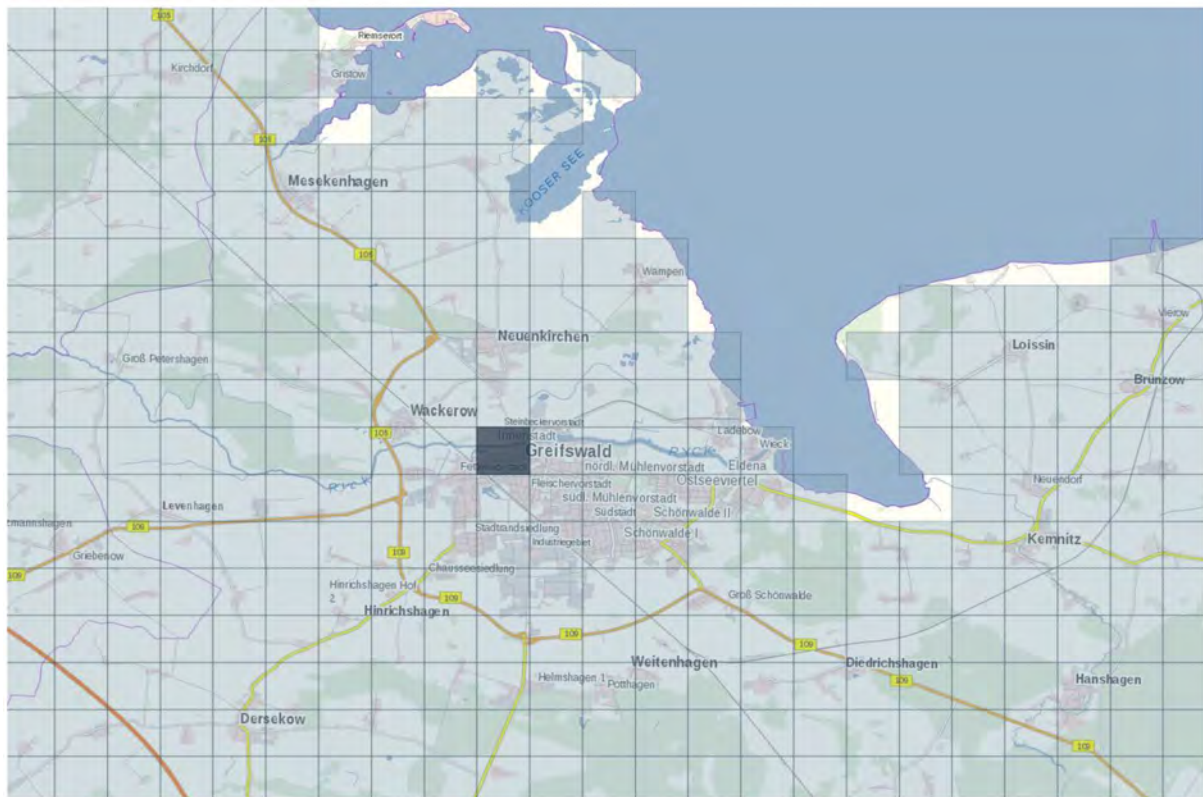
Anlage**Anlage A: EnEV-konforme Klimadaten für ausgewählte Standort**

Inhalt

Standort Husum	A2
Standort Greifswald	A4
Standort Lübeck	A6
Standort Hamburg	A8
Standort Cloppenburg	A0
Standort Wolfsburg	A2
Standort Potsdam	A4
Standort Osnabrück	A16
Standort Magdeburg	A18
Standort Münster	A20
Standort Paderborn	A22
Standort Düsseldorf	A24
Standort Dresden	A26
Standort Köln	A28
Standort Jena	A30
Standort Bonn	A32
Standort Gießen	A34
Standort Hof	A36
Standort Frankfurt a.M.	A38
Standort Würzburg	A40
Standort Trier	A42
Standort Mannheim	A44
Standort Heidelberg	A46
Standort Saarbrücken	A48
Standort Stuttgart	A50
Standort Böblingen	A52
Standort München	A54
Standort Freiburg	A56
Standort Memmingen	A58



Husum		54,493° nördliche Breite, 9,067° östliche Länge, 10 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	20	50	100	166	202	220	195	176	117	68	30	15	995
Süd	30°	32	79	136	196	218	227	204	197	146	101	52	29	1181
	45°	36	87	143	197	211	214	194	193	149	110	59	34	1188
	60°	38	91	143	187	194	191	175	179	146	113	63	37	1138
	90°	36	85	121	142	135	126	119	129	117	100	60	36	879
Süd-Ost	30°	27	69	123	184	207	216	202	187	135	91	44	25	1106
	45°	29	75	127	183	199	204	195	183	136	96	48	28	1098
	60°	29	76	125	174	183	185	180	171	131	96	49	29	1045
	90°	26	67	103	136	134	132	131	129	105	83	44	28	817
Süd-West	30°	29	69	126	188	215	228	197	191	137	90	46	25	1126
	45°	31	74	130	187	209	219	187	187	138	95	50	27	1122
	60°	32	75	129	179	194	201	170	175	133	95	52	29	1070
	90°	30	66	107	139	144	145	122	133	106	82	48	27	840
Ost	30°	18	50	97	157	185	198	189	165	112	68	29	16	939
	45°	18	49	94	150	172	183	178	156	107	67	28	15	889
	60°	17	46	89	140	157	166	163	144	99	64	26	15	823
	90°	13	38	71	109	119	125	124	112	78	53	21	12	640
West	30°	20	49	100	162	196	216	181	170	113	67	31	15	966
	45°	20	48	97	155	186	205	168	162	109	65	30	15	922
	60°	19	45	93	146	171	189	153	151	102	63	28	14	860
	90°	16	37	76	118	133	146	117	118	80	52	23	12	679
Nord-Ost	30°	13	32	68	123	159	178	166	137	85	44	17	10	756
	45°	13	29	58	105	134	150	145	117	73	39	16	9	650
	60°	11	26	52	92	116	129	126	103	64	35	15	9	569
	90°	9	21	42	71	89	97	95	80	51	28	12	7	441
Nord-West	30°	13	31	70	127	168	193	162	141	86	44	18	10	778
	45°	13	28	61	110	145	169	138	122	74	39	16	9	677
	60°	12	26	55	99	127	148	121	108	66	35	15	9	601
	90°	9	21	45	79	98	114	94	85	53	29	12	7	473
Nord	30°	13	27	50	108	153	179	157	127	70	31	16	10	688
	45°	12	26	41	74	118	145	126	93	52	30	15	9	543
	60°	11	24	39	62	88	106	95	72	48	28	14	9	437
	90°	9	20	34	54	71	79	73	59	41	24	12	7	353
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
Außentemperatur °C		1,7	2,0	4,0	8,0	12,0	15,0	17,4	17,6	14,3	10,1	5,8	2,2	9,2
Grad- tage Kd	10°	568	503	496	300	56	0	0	0	0	201	399	553	3075
	12°	568	503	496	328	159	26	0	0	34	245	417	553	3329
	15°	568	503	496	360	247	104	28	38	131	308	425	553	3760
Feuchtkugeltemp. °C		1,2	1,4	2,9	5,9	9,6	12,7	15,0	15,1	12,6	8,8	5,0	1,8	7,7
Enthalpie kJ/kg		11,7	12,0	14,7	20,6	28,5	36,2	42,0	42,7	35,7	26,8	19,0	12,7	25,3
Abs. Luftfeuchte g/kg		4,0	4,0	4,3	5,0	6,6	8,4	9,7	9,9	8,4	6,7	5,2	4,2	6,4
Windgeschw. m/s		3,2	3,3	4,7	3,0	3,3	2,6	2,8	2,5	3,1	3,1	3,4	3,4	3,2
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	161	182	232	226	234	226	234	234	226	212	171	150	2487
	$t_{\text{Nacht},i}$	72	29	1	0	0	0	0	0	0	22	55	83	263
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	113	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	112	1387
	$t_{\text{Nacht},i}$	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	13
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	152	161	202	220	250	258	264	241	203	178	145	139	2413
	$t_{\text{Nacht},i}$	180	138	129	101	81	62	68	90	118	153	175	192	1487
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	148	150	176	170	176	170	176	176	170	176	157	138	1983
	$t_{\text{Nacht},i}$	27	9	0	0	0	0	0	0	0	0	13	38	87
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	236	266	358	414	489	508	512	458	378	323	249	219	4412
	$t_{\text{Nacht},i}$	508	406	386	306	255	212	232	286	342	421	471	525	4348



Greifswald		54,098° nördliche Breite, 13,375° östliche Länge, 7 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	24	49	91	172	207	242	216	184	122	72	30	14	1041
Süd	30°	43	72	122	204	220	248	226	209	151	107	53	20	1226
	45°	50	78	129	205	212	234	215	206	154	116	60	22	1230
	60°	53	80	129	195	194	209	195	192	150	119	64	23	1172
	90°	52	73	109	146	133	135	130	138	119	106	62	22	893
Süd-Ost	30°	37	66	112	192	217	248	218	204	147	101	47	19	1176
	45°	41	70	115	190	209	237	208	202	150	108	53	21	1173
	60°	43	71	113	181	194	217	191	191	145	109	55	21	1120
	90°	40	62	93	139	143	157	139	147	118	96	51	20	881
Süd-West	30°	37	62	111	196	213	243	224	198	135	91	43	17	1150
	45°	41	65	114	196	204	231	215	193	134	95	47	18	1136
	60°	42	64	112	187	187	210	197	181	127	94	48	18	1074
	90°	39	55	92	145	137	152	143	137	99	79	43	15	831
Ost	30°	24	50	89	163	198	233	200	181	125	77	32	15	1015
	45°	24	50	85	155	187	221	187	175	122	78	33	15	973
	60°	23	48	80	144	172	205	171	164	115	76	32	14	909
	90°	19	40	64	114	132	160	131	130	92	63	27	12	719
West	30°	24	46	88	168	194	226	207	172	110	67	28	12	982
	45°	23	44	84	161	181	213	196	162	103	64	27	12	930
	60°	22	41	79	150	166	196	180	150	95	60	26	11	862
	90°	18	34	62	120	129	153	140	119	75	49	21	8	680
Nord-Ost	30°	15	34	63	127	170	207	175	148	95	50	18	10	814
	45°	14	30	54	108	147	179	149	128	82	44	16	10	704
	60°	13	27	49	94	127	157	129	113	73	40	15	9	620
	90°	11	22	39	75	97	122	98	89	57	32	12	7	483
Nord-West	30°	15	32	62	131	168	202	182	140	84	45	17	10	797
	45°	14	29	54	111	144	173	157	119	71	39	16	10	685
	60°	13	26	48	98	126	151	137	105	63	36	14	9	605
	90°	10	21	38	78	99	118	107	83	50	29	12	7	478
Nord	30°	15	28	47	111	160	197	170	129	73	33	16	10	724
	45°	14	26	41	73	125	159	135	93	52	32	15	10	567
	60°	13	24	38	60	91	115	97	71	48	30	14	9	447
	90°	10	20	33	52	73	86	75	59	41	26	12	7	362

Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		0,6	1,5	3,8	8,0	12,4	15,7	18,3	18,2	14,8	9,9	5,2	1,1	9,2
Grad- tage Kd	10°	602	518	501	300	79	0	0	0	0	183	436	585	3204
	12°	602	518	501	347	97	0	0	0	54	281	445	585	3430
	15°	602	518	501	359	228	77	5	11	113	314	445	585	3758
Feuchtkugeltemp. °C		0,0	0,6	2,3	5,7	9,8	12,7	15,3	15,1	12,5	8,1	4,2	0,6	7,3
Enthalpie kJ/kg		9,6	10,6	13,7	20,3	29,2	36,2	42,9	42,4	35,4	25,2	17,2	10,7	24,5
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,6	3,6	3,9	4,9	6,7	8,1	9,7	9,6	8,2	6,1	4,8	3,8	6,1
Windgeschw. m/s		3,0	3,9	3,5	2,9	3,4	3,1	3,4	3,1	3,0	3,5	3,1	2,7	3,2

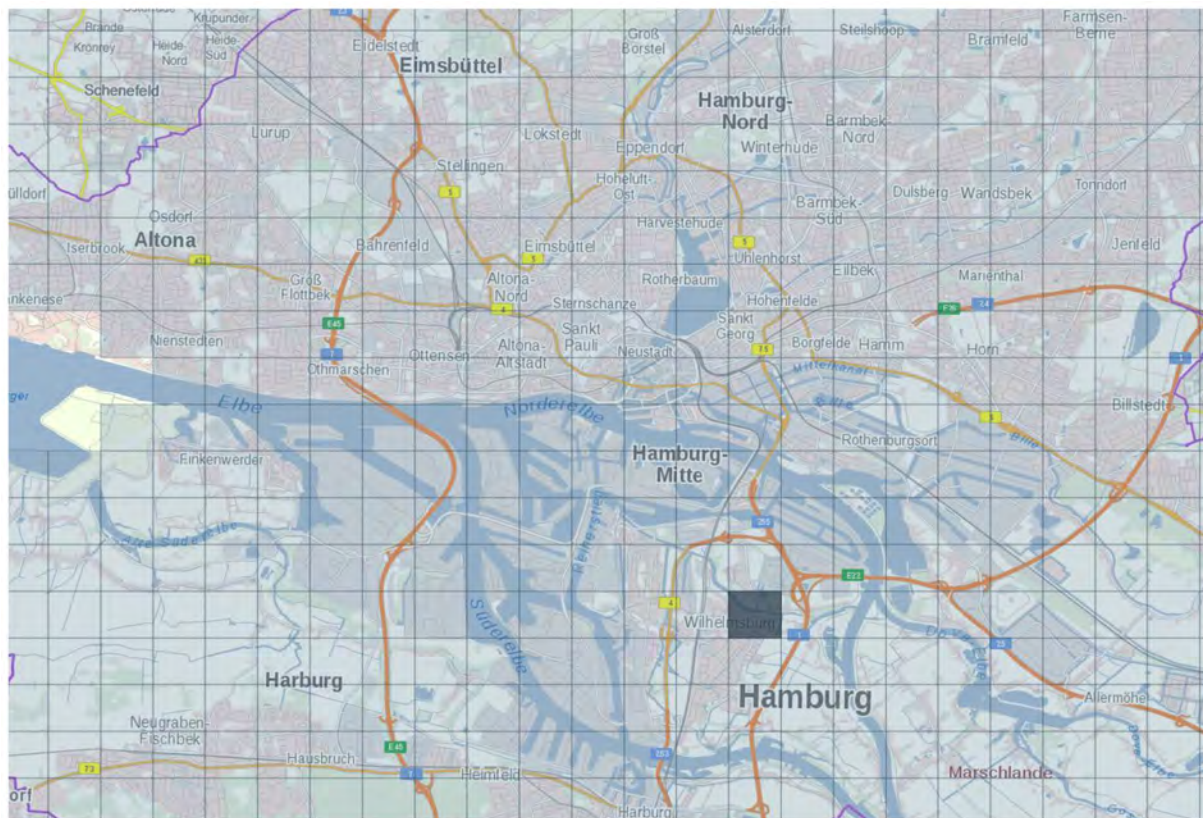
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag,i}}$	163	183	232	226	234	226	234	234	226	212	172	152	2493
	$t_{\text{Nacht,i}}$	71	28	1	0	0	0	0	0	0	21	54	82	257
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag,i}}$	114	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	113	1389
	$t_{\text{Nacht,i}}$	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	11
Küche	$t_{\text{Tag,i}}$	153	161	202	219	250	257	263	241	203	178	146	140	2413
	$t_{\text{Nacht,i}}$	179	138	129	101	82	63	69	91	118	153	174	191	1487
Industrie- halle	$t_{\text{Tag,i}}$	150	151	176	170	176	170	176	176	170	176	158	140	1988
	$t_{\text{Nacht,i}}$	26	8	0	0	0	0	0	0	0	0	12	36	82
Wohnen	$t_{\text{Tag,i}}$	238	267	358	414	487	506	509	457	378	324	251	222	4411
	$t_{\text{Nacht,i}}$	506	405	386	306	257	214	235	287	342	420	469	522	4349



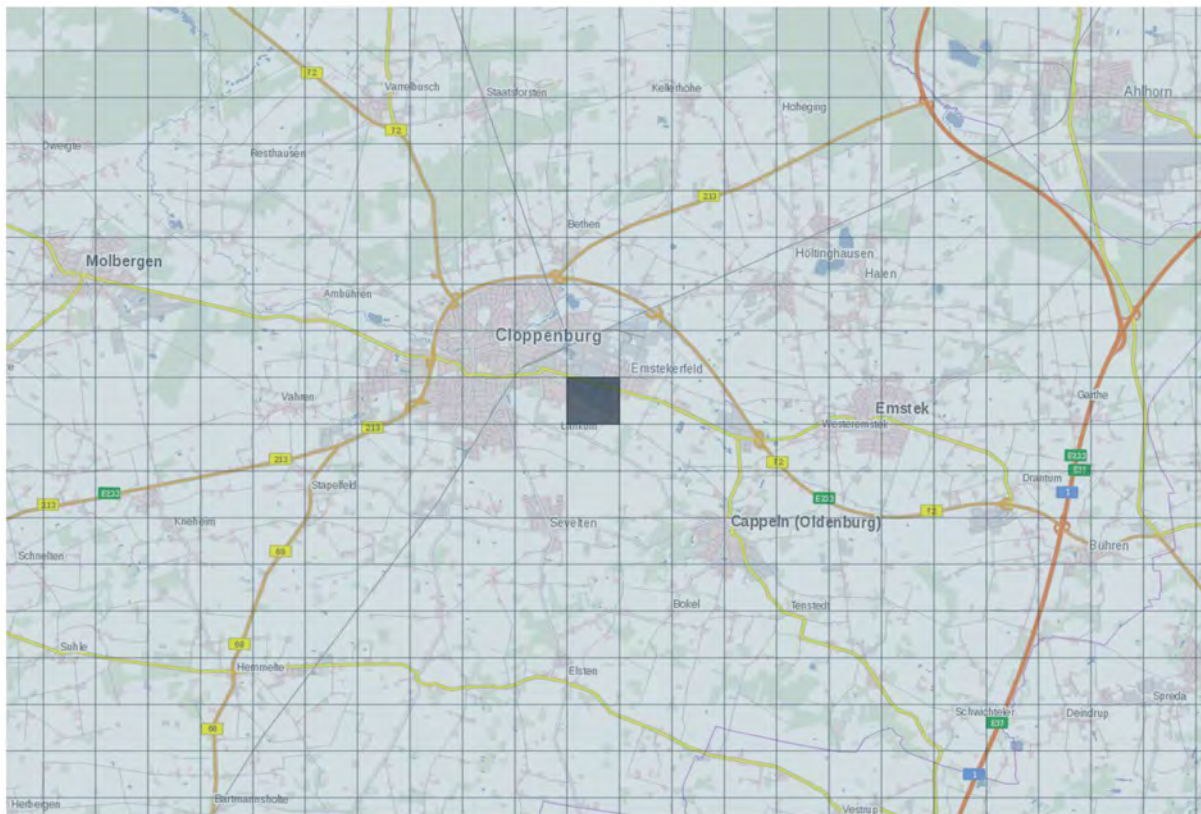
Lübeck		53,854° nördliche Breite, 10,637° östliche Länge, 13 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	23	47	91	152	205	226	197	163	118	75	27	16	980
Süd	30°	36	71	123	177	218	233	207	180	144	111	43	28	1148
	45°	41	78	130	176	209	219	197	175	147	121	47	32	1149
	60°	43	81	130	167	190	196	178	162	142	124	50	35	1094
	90°	41	74	110	125	128	128	118	116	112	110	46	34	835
Süd-Ost	30°	32	61	113	169	210	228	207	176	143	101	38	24	1098
	45°	34	65	117	167	201	216	200	172	146	107	41	26	1092
	60°	35	65	115	158	185	198	185	163	142	107	41	28	1040
	90°	32	56	96	123	135	142	135	124	116	93	37	26	814
Süd-West	30°	32	64	112	168	215	230	198	172	128	98	37	25	1082
	45°	35	69	115	166	207	219	188	167	126	103	40	27	1069
	60°	36	70	113	156	190	200	172	155	119	103	41	28	1012
	90°	33	62	93	120	139	142	124	117	93	87	36	27	785
Ost	30°	22	44	90	146	190	212	193	159	124	75	27	15	950
	45°	21	42	87	140	178	199	183	153	121	74	26	15	908
	60°	20	40	83	130	163	182	170	143	115	71	25	14	847
	90°	16	32	67	101	125	139	131	112	94	58	21	11	664
West	30°	22	48	88	146	197	215	180	153	105	72	27	16	928
	45°	22	47	85	138	185	202	167	144	98	70	26	16	879
	60°	21	45	80	128	171	185	153	134	91	66	24	15	815
	90°	17	37	65	102	132	143	117	106	71	54	20	12	642
Nord-Ost	30°	15	29	63	118	165	190	168	134	95	48	19	10	772
	45°	14	27	55	101	140	163	146	118	84	42	17	10	671
	60°	13	25	49	88	121	141	128	104	75	38	16	9	591
	90°	10	20	40	68	92	107	98	80	59	31	13	7	457
Nord-West	30°	15	31	62	118	170	193	158	129	82	46	19	10	757
	45°	14	28	54	101	146	166	133	112	70	40	17	10	654
	60°	13	25	49	90	127	144	115	99	63	37	16	9	577
	90°	10	20	40	72	99	112	90	79	50	30	12	7	455
Nord	30°	15	25	46	103	158	184	155	121	73	33	18	10	691
	45°	14	24	39	73	123	150	122	92	53	32	17	10	548
	60°	13	23	37	61	88	109	88	71	49	30	15	9	435
	90°	10	19	32	52	69	82	68	58	42	26	12	7	350

Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
		1,4	2,2	4,9	8,8	13,3	16,2	18,4	18,4	14,6	9,9	5,5	1,7	9,7
Grad- tage Kd	10°	575	497	460	238	42	0	0	0	0	206	418	566	3002
	12°	575	497	469	302	95	27	0	0	60	260	428	566	3280
	15°	575	497	469	330	180	101	18	5	127	308	436	566	3613
Feuchtkugeltemp. °C		0,9	1,0	3,3	6,5	10,3	12,7	15,2	15,6	12,2	8,1	4,7	1,1	7,7
Enthalpie kJ/kg		11,1	11,4	15,6	22,0	30,2	36,1	42,7	44,0	34,7	25,3	18,2	11,6	25,3
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,9	3,6	4,3	5,2	6,7	7,9	9,6	10,1	8,0	6,1	5,1	3,9	6,2
Windgeschw. m/s		2,0	3,5	2,3	2,3	2,1	2,3	2,5	2,5	2,3	1,7	2,2	2,4	2,3

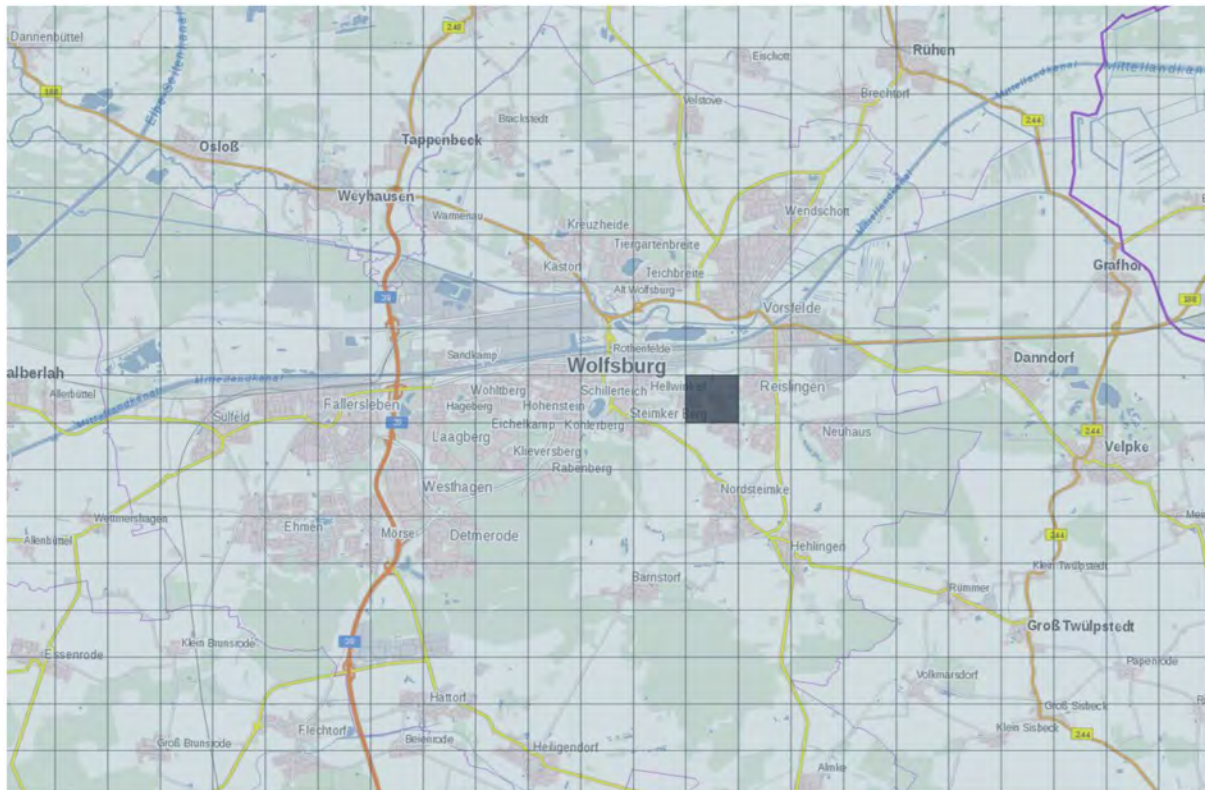
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
	$t_{\text{Nacht},i}$	164	183	232	226	234	226	234	234	226	212	173	153	2496
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	70	28	1	0	0	0	0	0	0	21	53	81	254
	$t_{\text{Nacht},i}$	114	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	114	1390
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10
	$t_{\text{Nacht},i}$	153	162	202	219	249	257	262	240	203	178	147	141	2413
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	178	138	129	102	82	64	69	91	118	153	174	191	1487
	$t_{\text{Nacht},i}$	150	151	176	170	176	170	176	176	170	176	159	141	1990
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	11	35	80
	$t_{\text{Nacht},i}$	239	268	358	413	486	504	508	456	378	325	252	223	4411
		505	404	386	307	258	216	236	288	342	419	468	521	4349



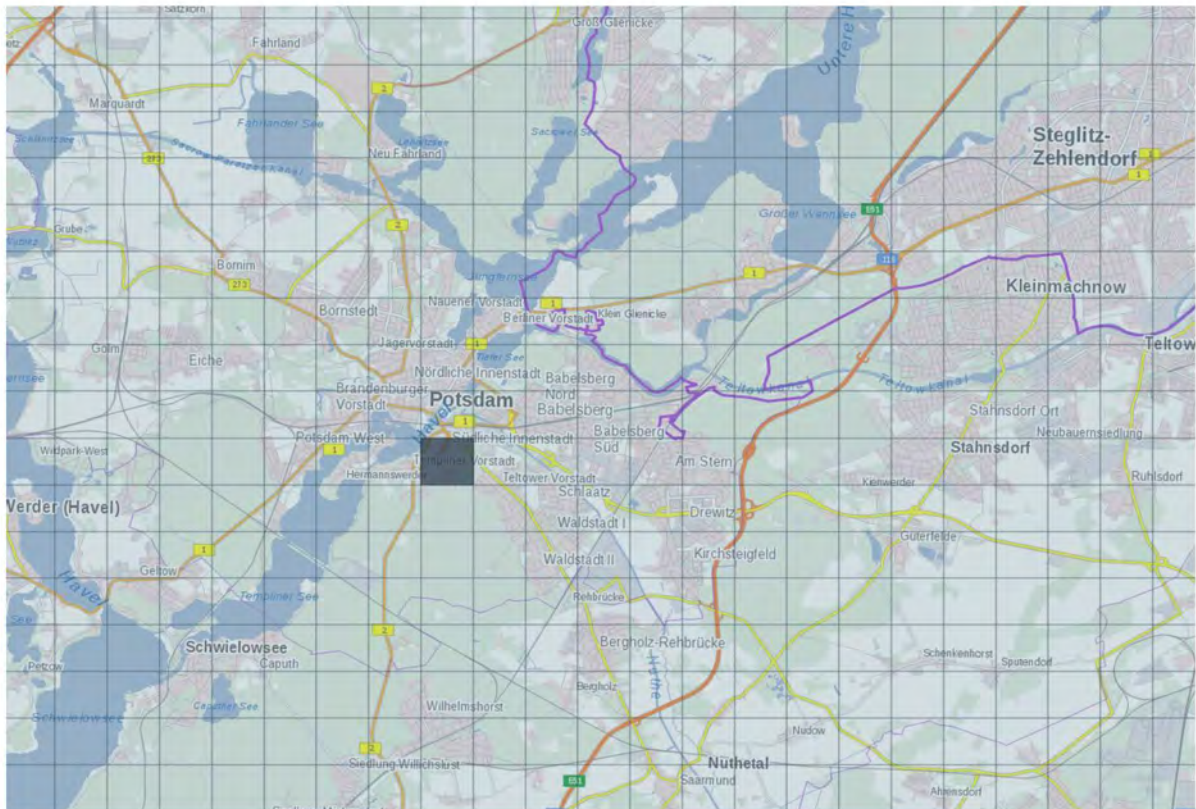
Hamburg		53,502° nördliche Breite, 10,023° östliche Länge, 2 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	20	50	93	149	196	208	215	170	120	63	31	16	974
Süd	30°	30	75	125	171	209	208	224	188	148	88	52	26	1131
	45°	33	83	132	170	200	194	213	184	150	94	59	30	1128
	60°	34	86	132	161	182	173	192	171	146	96	63	32	1072
	90°	32	78	111	120	125	113	127	122	116	84	59	31	816
Süd-Ost	30°	27	65	115	162	203	216	221	182	141	83	44	23	1084
	45°	29	69	118	159	195	208	212	178	142	87	48	25	1075
	60°	30	69	116	150	180	193	195	167	138	87	49	26	1024
	90°	27	60	97	115	133	142	142	127	111	74	44	24	800
Süd-West	30°	26	68	115	166	205	199	218	181	136	77	47	23	1070
	45°	27	73	119	165	198	186	207	177	136	79	51	25	1056
	60°	27	74	117	157	183	167	189	165	131	78	53	26	1000
	90°	24	65	97	123	136	120	136	124	104	65	48	24	780
Ost	30°	21	47	91	140	185	211	205	163	120	65	30	15	946
	45°	21	45	89	133	174	203	193	155	116	64	29	15	906
	60°	20	43	84	124	161	191	178	145	110	61	28	14	846
	90°	16	34	68	98	124	151	136	113	88	49	23	11	667
West	30°	19	50	91	147	188	185	201	161	114	58	32	15	925
	45°	18	50	89	142	179	172	187	153	109	56	32	15	879
	60°	17	47	84	134	166	158	172	142	102	52	31	14	819
	90°	14	39	69	107	129	124	132	113	82	42	26	11	650
Nord-Ost	30°	15	31	65	115	160	191	181	136	92	45	19	10	775
	45°	14	28	56	99	138	172	156	118	81	39	17	10	679
	60°	13	26	50	89	121	155	135	103	72	35	16	9	602
	90°	10	21	40	70	93	119	102	79	57	28	13	7	467
Nord-West	30°	15	33	65	119	163	171	178	135	88	41	19	10	760
	45°	14	29	57	105	142	147	152	117	76	36	17	10	661
	60°	13	26	51	94	125	130	132	104	69	33	16	9	588
	90°	10	21	42	73	98	102	102	82	55	27	13	7	462
Nord	30°	14	26	47	104	153	177	171	124	74	32	17	10	696
	45°	13	25	39	75	120	148	137	93	54	30	16	10	556
	60°	12	24	37	63	89	114	99	71	50	29	15	9	447
	90°	10	20	32	52	70	84	75	58	42	24	13	7	356
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		1,8	2,5	4,6	8,9	12,7	15,4	18,1	18,0	14,2	10,2	5,5	2,0	9,5
Grad- tage Kd	10°	564	490	477	247	82	0	0	0	224	417	559		3060
	12°	564	490	477	283	125	26	0	0	53	250	435	559	3263
	15°	564	490	477	333	204	94	6	16	146	301	435	559	3626
Feuchtkugeltemp. °C		1,3	1,4	2,9	6,5	10,1	12,5	15,0	15,4	12,1	8,8	4,7	1,4	7,7
Enthalpie kJ/kg		11,9	12,0	14,9	21,9	29,9	35,7	42,2	43,3	34,3	27,0	18,3	12,1	25,4
Abs. Luftfeuchte g/kg		4,0	3,8	4,1	5,2	6,8	8,0	9,5	10,0	8,0	6,7	5,1	4,0	6,3
Windgeschw. m/s		3,7	4,1	4,9	3,2	3,3	3,6	3,1	3,1	3,8	4,4	3,9	3,9	3,8
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	165	184	232	226	234	226	234	234	226	212	174	154	2501
	$t_{\text{Nacht},i}$	69	27	1	0	0	0	0	0	0	21	52	79	249
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	114	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	114	1391
	$t_{\text{Nacht},i}$	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	9
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	154	162	202	219	249	256	261	240	203	179	147	142	2412
	$t_{\text{Nacht},i}$	177	137	129	102	83	65	70	91	118	153	173	190	1488
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	151	151	176	170	176	170	176	176	170	176	160	142	1993
	$t_{\text{Nacht},i}$	25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	10	34	77
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	241	269	359	412	485	502	506	455	378	325	254	226	4411
	$t_{\text{Nacht},i}$	503	403	385	308	259	218	238	289	342	419	466	518	4349



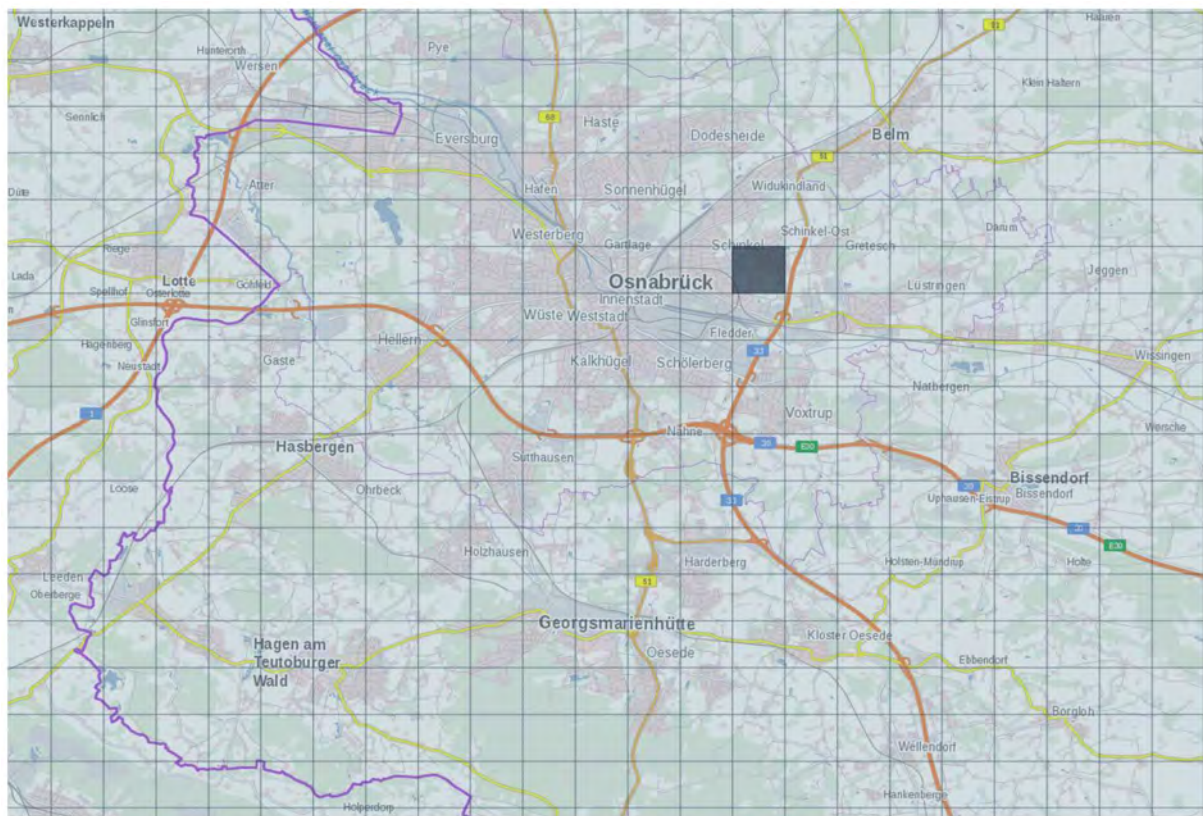
Cloppenburg		52,836° nördliche Breite, 8,072° östliche Länge, 44 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I _S W/m²												Jahreswert kWh/(m²a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	24	41	91	168	237	212	207	173	124	76	32	15	1025
Süd	30°	39	54	117	196	253	216	212	192	153	109	55	26	1188
	45°	44	58	122	195	242	203	200	187	157	118	62	29	1184
	60°	46	58	121	184	220	181	179	174	152	120	66	31	1122
	90°	44	51	100	137	147	119	119	125	120	106	63	30	849
Süd-Ost	30°	34	50	107	183	245	212	210	188	145	99	47	22	1128
	45°	36	51	108	180	236	200	201	184	146	103	51	24	1115
	60°	37	50	105	170	219	182	185	172	141	103	52	25	1057
	90°	34	43	86	131	161	129	134	130	113	88	47	23	819
Süd-West	30°	34	50	111	191	248	212	207	183	143	98	48	23	1134
	45°	37	51	114	189	240	200	195	177	144	103	53	25	1120
	60°	38	50	113	180	222	182	178	164	138	102	55	26	1061
	90°	35	43	94	140	163	129	128	122	110	87	50	24	823
Ost	30°	24	40	87	157	223	198	197	168	122	75	32	15	980
	45°	23	38	84	149	210	184	186	160	118	73	31	15	931
	60°	22	36	79	138	194	166	171	148	111	69	30	14	864
	90°	17	29	64	107	150	124	130	115	88	56	25	12	672
West	30°	24	40	92	167	228	199	193	162	120	74	32	16	986
	45°	23	38	90	161	216	185	180	152	115	72	32	15	938
	60°	22	36	86	152	200	168	165	139	108	68	31	15	873
	90°	18	29	71	123	157	127	128	108	87	56	26	12	690
Nord-Ost	30°	16	30	64	125	191	179	176	141	93	50	20	11	803
	45°	14	28	56	106	163	154	153	122	81	43	18	10	696
	60°	13	25	51	93	142	132	134	107	72	39	16	9	610
	90°	11	20	41	71	109	99	100	82	56	31	13	7	468
Nord-West	30°	16	30	67	133	195	181	174	136	92	50	20	11	810
	45°	15	28	59	116	168	156	151	117	80	44	18	10	704
	60°	13	25	54	104	148	135	132	102	72	40	16	9	624
	90°	11	20	43	83	116	102	103	79	58	33	13	7	490
Nord	30°	15	27	50	113	181	174	169	127	76	36	18	10	731
	45°	14	25	40	79	140	143	138	96	53	34	17	10	578
	60°	13	24	38	63	99	106	103	74	49	32	16	9	458
	90°	11	19	32	54	78	79	77	61	43	28	13	7	366
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		1,7	2,7	5,0	9,4	12,9	16,1	17,7	17,7	14,1	10,0	5,5	2,1	9,6
Grad- tage Kd	10°	567	485	456	184	66	0	0	0	0	181	436	554	2929
	12°	567	485	466	257	120	0	0	0	44	243	436	554	3172
	15°	567	485	466	317	198	84	5	24	147	299	436	554	3583
Feuchtkugelttemp. °C		1,1	2,1	3,7	7,5	9,8	13,4	14,6	15,2	12,0	8,8	4,8	1,7	7,9
Enthalpie kJ/kg		11,5	13,4	16,4	24,1	29,0	38,1	41,2	42,9	34,2	27,0	18,5	12,6	25,8
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,9	4,3	4,6	5,8	6,4	8,7	9,3	10,0	7,9	6,7	5,2	4,2	6,4
Windgeschw. m/s		3,7	4,4	4,5	4,0	3,2	3,1	3,4	3,5	3,7	3,3	3,5	4,0	3,7
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	t _{Tag,i}	167	185	232	226	234	226	234	234	226	213	176	157	2509
	t _{Nacht,i}	66	26	1	0	0	0	0	0	0	21	50	76	241
Klassen- zimmer	t _{Tag,i}	115	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	115	1393
	t _{Nacht,i}	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	7
Küche	t _{Tag,i}	155	163	202	218	247	254	260	239	203	179	148	143	2412
	t _{Nacht,i}	176	137	129	102	84	66	71	92	118	152	172	188	1488
Industrie- halle	t _{Tag,i}	152	152	176	170	176	170	176	176	170	176	161	145	1999
	t _{Nacht,i}	24	7	0	0	0	0	0	0	0	0	9	31	71
Wohnen	t _{Tag,i}	244	270	359	411	482	498	502	453	377	326	256	230	4410
	t _{Nacht,i}	500	402	385	309	262	222	242	291	343	418	464	514	4350



Wolfsburg		52,421° nördliche Breite, 10,829° östliche Länge, 66 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	21	43	93	158	207	192	224	185	113	75	30	21	999
Süd	30°	30	61	121	183	221	193	232	207	136	105	46	39	1153
	45°	33	65	126	182	212	181	219	202	138	112	51	45	1147
	60°	34	66	125	172	193	162	197	187	133	114	53	48	1087
	90°	31	59	104	128	132	106	129	133	106	99	49	47	822
Süd-Ost	30°	27	56	111	176	219	188	230	200	130	95	41	31	1102
	45°	28	59	114	174	211	176	220	195	130	99	43	34	1088
	60°	29	60	111	164	196	160	203	183	125	98	44	36	1031
	90°	25	52	91	127	145	114	147	137	99	83	39	33	799
Süd-West	30°	27	53	112	173	211	194	225	197	127	95	41	35	1091
	45°	29	55	115	170	201	184	213	191	126	98	44	39	1073
	60°	29	54	112	160	183	168	194	178	120	97	45	41	1012
	90°	25	45	93	123	134	121	140	132	94	81	40	39	781
Ost	30°	21	45	91	153	201	176	215	177	111	74	30	19	962
	45°	20	44	88	146	191	163	203	168	106	72	29	18	914
	60°	19	42	84	135	176	148	187	155	98	68	28	17	848
	90°	16	35	67	106	135	112	144	119	77	54	23	14	661
West	30°	21	41	92	149	190	185	207	174	107	72	31	22	946
	45°	20	39	89	141	176	174	194	163	101	70	30	22	894
	60°	19	37	84	131	161	160	177	150	93	66	29	22	827
	90°	16	30	68	102	124	122	137	116	73	54	24	18	648
Nord-Ost	30°	16	32	68	123	174	162	190	147	87	50	21	12	793
	45°	15	29	59	106	151	139	165	125	76	43	19	12	688
	60°	14	26	53	93	131	121	144	108	67	39	18	11	604
	90°	11	20	43	71	99	91	109	82	52	31	14	9	463
Nord-West	30°	16	30	68	120	166	169	185	145	85	50	21	12	782
	45°	15	27	60	103	141	149	158	123	73	44	19	12	676
	60°	14	25	54	91	122	130	138	107	65	40	17	11	596
	90°	10	20	43	71	95	99	106	83	51	32	14	9	464
Nord	30°	16	26	52	108	160	161	179	133	73	37	19	12	716
	45°	15	25	43	76	125	134	144	98	56	34	18	12	571
	60°	13	23	40	62	91	102	104	72	51	32	17	11	454
	90°	10	19	34	52	72	75	78	59	43	27	13	9	360
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		1,2	2,3	4,6	9,2	13,5	16,4	18,7	18,5	14,4	10,1	5,5	1,6	9,7
Grad- tage Kd	10°	583	495	471	251	21	0	0	0	0	187	411	572	2991
	12°	583	495	471	298	57	0	0	0	28	267	421	572	3190
	15°	583	495	479	319	188	66	10	6	137	299	435	572	3587
Feuchtkugeltemp. °C		0,7	1,5	2,9	6,6	10,4	13,7	14,3	14,4	12,5	8,5	4,4	0,9	7,6
Enthalpie kJ/kg		10,8	12,4	14,9	22,3	30,5	38,9	40,4	40,7	35,6	26,3	17,8	11,2	25,2
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,8	4,0	4,1	5,2	6,7	8,9	8,6	8,8	8,4	6,4	4,9	3,9	6,1
Windgeschw. m/s		3,6	4,2	4,6	3,8	2,9	3,4	3,6	3,1	3,5	4,9	4,8	3,6	3,8
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	169	186	232	226	234	226	234	234	226	213	177	159	2515
	$t_{\text{Nacht},i}$	65	25	1	0	0	0	0	0	0	20	49	75	235
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	116	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	116	1394
	$t_{\text{Nacht},i}$	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	156	163	202	218	247	253	259	239	202	179	149	144	2412
	$t_{\text{Nacht},i}$	175	136	129	103	85	67	72	93	118	152	171	187	1488
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	153	152	176	170	176	170	176	176	170	176	162	146	2002
	$t_{\text{Nacht},i}$	23	7	0	0	0	0	0	0	0	0	8	30	68
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	247	271	359	410	480	496	500	452	377	327	258	232	4409
	$t_{\text{Nacht},i}$	497	401	385	310	264	224	244	292	343	417	462	512	4351



Potsdam		52,385° nördliche Breite, 13,065° östliche Länge, 88 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	31	46	100	176	213	232	207	204	141	65	33	20	1074
Süd	30°	56	67	133	207	227	234	214	231	177	90	53	35	1262
	45°	65	73	139	206	218	220	203	227	182	97	59	40	1264
	60°	70	75	138	195	197	195	182	211	176	98	62	44	1202
	90°	67	67	115	145	133	125	120	149	138	85	58	42	911
Süd-Ost	30°	49	61	119	197	226	235	210	228	170	86	48	31	1214
	45°	55	64	121	195	219	224	200	224	174	90	51	34	1209
	60°	58	64	117	185	203	205	183	211	169	90	53	36	1152
	90°	54	55	95	142	150	148	132	159	137	77	47	33	900
Süd-West	30°	47	60	125	195	216	228	210	215	161	79	46	30	1179
	45°	52	63	128	193	206	214	200	208	161	81	49	33	1161
	60°	54	63	126	182	187	193	182	192	154	79	49	34	1094
	90°	49	54	104	140	136	137	131	142	121	65	43	32	844
Ost	30°	32	46	94	169	208	224	195	202	143	68	34	20	1051
	45°	32	45	90	161	199	212	183	193	140	67	33	20	1006
	60°	31	43	84	150	183	195	167	179	133	65	31	19	938
	90°	26	36	67	118	141	150	128	138	108	53	25	16	736
West	30°	30	45	101	167	194	212	195	185	130	60	32	19	1003
	45°	29	45	98	158	180	197	182	171	124	57	30	19	945
	60°	28	42	93	147	164	180	166	156	116	53	28	18	872
	90°	23	35	75	115	126	138	128	120	94	43	22	15	683
Nord-Ost	30°	18	31	68	134	179	202	174	164	105	47	21	12	847
	45°	17	28	58	114	156	176	149	140	91	42	19	11	734
	60°	16	26	52	100	135	154	129	121	80	38	18	11	643
	90°	13	20	42	78	102	116	98	93	62	30	14	9	495
Nord-West	30°	18	31	72	132	169	194	174	152	97	43	21	12	816
	45°	16	27	62	111	142	165	149	125	83	38	19	11	696
	60°	15	25	56	97	123	143	129	107	74	35	18	11	609
	90°	13	20	44	76	96	111	98	84	60	28	14	9	477
Nord	30°	17	25	53	116	164	192	166	143	81	34	19	12	749
	45°	16	24	42	79	128	157	134	102	51	32	19	11	582
	60°	15	22	40	63	91	117	97	72	47	30	17	11	455
	90°	13	18	35	54	71	84	73	61	42	25	14	9	365
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		0,1	1,7	4,4	9,9	14,4	16,9	19,0	19,1	14,7	10,0	4,5	0,9	9,7
Grad- tage Kd	10°	618	512	465	182	30	0	0	0	0	174	465	593	3039
	12°	618	512	483	263	39	0	0	0	36	258	465	593	3267
	15°	618	512	483	300	155	40	5	11	122	306	465	593	3610
Feuchtkugeltemp. °C		-0,4	0,8	2,5	6,9	10,9	13,1	15,3	14,9	11,9	8,6	3,9	0,4	7,4
Enthalpie kJ/kg		9,0	11,1	14,2	22,8	31,8	37,3	43,0	42,0	34,0	26,4	16,7	10,4	25,0
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,6	3,7	3,9	5,1	6,9	8,1	9,5	9,0	7,6	6,5	4,8	3,8	6,1
Windgeschw. m/s		2,7	3,6	2,9	3,4	2,7	2,5	2,9	2,8	3,0	4,0	3,0	3,8	3,1
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	169	186	232	226	234	226	234	234	226	213	177	159	2515
	$t_{\text{Nacht},i}$	65	25	1	0	0	0	0	0	0	20	49	75	235
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	116	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	116	1394
	$t_{\text{Nacht},i}$	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	156	163	202	218	247	253	259	238	202	179	149	144	2412
	$t_{\text{Nacht},i}$	175	136	129	103	85	67	72	93	118	152	171	187	1488
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	153	152	176	170	176	170	176	176	170	176	162	146	2002
	$t_{\text{Nacht},i}$	23	7	0	0	0	0	0	0	0	0	8	30	68
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	247	271	359	410	480	496	500	452	377	327	258	232	4409
	$t_{\text{Nacht},i}$	497	401	385	310	264	224	244	292	343	417	462	512	4351



Osnabrück		52,278° nördliche Breite, 8,096° östliche Länge, 69 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	28	49	94	153	199	220	212	175	124	77	33	20	1013
Süd	30°	48	72	122	172	209	221	217	192	151	118	54	37	1183
	45°	55	79	128	169	199	207	204	187	154	130	61	42	1182
	60°	59	81	126	159	181	184	183	173	149	134	64	46	1125
	90°	57	74	104	116	121	118	120	122	117	120	60	45	859
Süd-Ost	30°	41	65	113	167	204	221	216	185	143	108	48	31	1128
	45°	44	69	115	165	195	209	207	179	144	115	52	34	1119
	60°	46	70	112	156	180	191	190	167	139	117	54	36	1066
	90°	41	62	91	121	130	137	138	125	111	102	48	33	834
Süd-West	30°	43	63	114	164	205	219	211	186	142	103	47	32	1119
	45°	48	67	117	160	196	207	200	181	142	108	50	36	1106
	60°	50	67	114	150	180	188	182	169	137	109	52	38	1050
	90°	46	58	94	115	131	135	131	126	109	93	46	35	819
Ost	30°	26	50	92	149	188	210	204	165	122	80	34	19	980
	45°	25	49	89	143	176	198	193	155	117	80	34	19	936
	60°	24	47	84	134	161	183	179	143	110	77	33	18	872
	90°	20	39	67	105	123	141	138	110	88	64	27	15	685
West	30°	29	47	93	145	188	207	197	167	120	74	33	21	966
	45°	29	46	90	138	177	194	184	158	115	72	32	20	918
	60°	28	44	85	128	162	178	169	147	108	69	30	20	856
	90°	23	36	70	102	125	137	131	114	86	57	25	16	676
Nord-Ost	30°	17	34	68	123	165	191	183	139	94	49	21	12	801
	45°	16	30	59	108	142	166	160	119	82	42	19	11	698
	60°	14	27	52	95	123	146	141	104	73	38	17	10	616
	90°	12	22	41	73	94	113	107	79	57	31	14	9	476
Nord-West	30°	17	33	68	120	166	188	178	142	92	46	21	12	792
	45°	16	30	59	105	143	163	154	122	80	40	19	11	689
	60°	14	27	54	94	124	142	135	108	72	36	17	10	611
	90°	12	22	43	75	95	109	104	84	57	30	14	9	479
Nord	30°	16	28	52	109	157	184	174	130	77	32	18	12	723
	45°	15	26	41	81	125	152	143	98	54	30	17	11	581
	60°	14	25	38	65	91	114	106	73	50	29	16	10	463
	90°	12	20	33	54	70	83	79	60	43	26	14	9	366
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		2,4	3,1	5,6	9,8	13,5	16,3	18,3	18,0	14,5	10,5	6,2	2,3	10,1
Grad- tage Kd	10°	547	473	428	223	72	0	0	0	203	400	549		2894
	12°	547	473	446	250	115	9	0	0	70	400	549		3099
	15°	547	473	446	303	163	69	17	17	129	281	415	549	3410
Feuchtkugeltemp. °C		1,7	2,1	3,9	7,5	10,5	13,1	14,7	14,9	12,3	8,8	5,5	1,7	8,1
Enthalpie kJ/kg		12,8	13,5	16,8	24,1	31,0	37,4	41,5	41,9	35,1	26,9	19,8	12,5	26,2
Abs. Luftfeuchte g/kg		4,2	4,1	4,5	5,7	6,9	8,3	9,2	9,5	8,2	6,5	5,4	4,1	6,4
Windgeschw. m/s		3,6	4,0	3,7	3,3	3,3	3,4	3,1	2,9	3,7	3,5	3,1	3,6	3,4
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag,i}}$	169	186	232	226	234	226	234	234	226	213	177	159	2516
	$t_{\text{Nacht,i}}$	64	25	1	0	0	0	0	0	0	20	49	74	234
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag,i}}$	116	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	116	1394
	$t_{\text{Nacht,i}}$	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6
Küche	$t_{\text{Tag,i}}$	156	163	202	218	246	253	259	238	202	179	149	145	2412
	$t_{\text{Nacht,i}}$	175	136	129	103	85	68	73	93	118	152	171	187	1488
Industrie- halle	$t_{\text{Tag,i}}$	153	152	176	170	176	170	176	176	170	176	162	147	2003
	$t_{\text{Nacht,i}}$	23	7	0	0	0	0	0	0	0	0	8	29	67
Wohnen	$t_{\text{Tag,i}}$	247	272	359	410	479	495	500	451	377	327	259	233	4409
	$t_{\text{Nacht,i}}$	497	400	385	310	265	225	244	293	343	417	461	511	4351



Magdeburg		52,115° nördliche Breite, 11,595° östliche Länge, 60 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	31	50	101	159	195	217	226	189	134	68	30	22	1041
Süd	30°	58	74	132	183	207	220	236	210	167	95	45	36	1217
	45°	67	81	137	182	198	206	224	205	172	102	50	41	1217
	60°	72	83	136	171	180	183	201	190	167	103	53	44	1158
	90°	70	75	113	127	122	118	133	134	132	90	49	42	881
Süd-Ost	30°	50	67	120	178	199	217	227	202	161	86	42	32	1156
	45°	55	71	122	176	190	206	214	196	164	89	46	34	1144
	60°	58	71	119	167	175	187	195	183	159	89	47	36	1086
	90°	53	62	97	129	128	133	139	137	128	75	42	33	845
Süd-West	30°	49	66	123	170	202	216	234	202	151	86	38	32	1150
	45°	55	70	126	166	194	203	224	197	151	89	40	35	1134
	60°	57	70	123	155	177	183	204	184	144	88	40	36	1070
	90°	53	60	101	117	130	129	147	138	113	74	35	33	827
Ost	30°	32	50	97	156	181	205	207	179	136	66	31	21	996
	45°	31	50	93	149	169	191	191	169	132	64	31	21	945
	60°	31	47	87	139	155	174	173	156	124	61	29	20	875
	90°	26	39	70	108	117	131	130	121	100	49	24	16	681
West	30°	32	50	100	146	186	203	218	180	122	66	27	22	989
	45°	31	49	97	136	174	188	204	170	116	63	26	21	935
	60°	30	47	92	125	159	171	187	157	107	60	24	20	864
	90°	25	38	75	97	123	130	142	124	84	49	19	16	676
Nord-Ost	30°	18	34	71	127	159	185	184	149	101	46	20	14	812
	45°	17	30	62	109	136	160	156	127	87	40	19	13	699
	60°	15	27	55	96	117	137	133	111	78	36	17	12	611
	90°	13	22	44	73	87	101	100	85	61	29	14	10	466
Nord-West	30°	18	34	74	120	163	185	193	150	92	46	19	14	811
	45°	17	30	65	102	140	159	166	128	78	40	18	13	700
	60°	16	27	58	89	122	137	144	113	68	36	17	12	615
	90°	13	22	46	70	94	105	109	88	54	29	13	10	477
Nord	30°	17	26	56	110	152	179	180	137	79	35	19	14	734
	45°	16	25	45	79	120	147	144	101	53	32	18	13	581
	60°	15	24	43	65	87	109	104	75	49	30	16	12	461
	90°	13	20	36	54	68	78	78	62	43	25	13	10	366
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		0,9	2,3	5,3	10,0	14,5	17,4	19,2	19,3	15,1	10,2	5,4	1,5	10,1
Grad- tage Kd	10°	592	494	439	180	23	0	0	0	0	191	437	573	2929
	12°	592	494	457	263	70	18	0	0	62	255	437	573	3221
	15°	592	494	457	289	145	47	7	0	112	294	437	573	3446
Feuchtkugeltemp. °C		-0,1	1,4	3,4	7,3	11,3	14,3	15,2	15,0	12,0	8,4	4,5	0,7	7,8
Enthalpie kJ/kg		9,7	12,1	15,8	23,7	32,7	40,5	43,0	42,2	34,6	26,1	17,9	11,0	25,8
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,5	3,9	4,2	5,4	7,2	9,1	9,4	9,0	7,7	6,3	5,0	3,8	6,2
Windgeschw. m/s		3,1	3,5	3,1	1,8	2,3	1,7	2,0	2,0	1,7	2,2	2,0	2,1	2,3
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag,i}}$	170	186	232	226	234	226	234	234	226	213	178	160	2518
	$t_{\text{Nacht,i}}$	64	25	1	0	0	0	0	0	0	20	48	73	232
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag,i}}$	116	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	116	1395
	$t_{\text{Nacht,i}}$	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5
Küche	$t_{\text{Tag,i}}$	157	163	203	218	246	253	258	238	202	179	150	145	2412
	$t_{\text{Nacht,i}}$	174	136	129	103	85	68	73	93	118	152	171	186	1488
Industrie- halle	$t_{\text{Tag,i}}$	153	152	176	170	176	170	176	176	170	176	162	147	2004
	$t_{\text{Nacht,i}}$	22	7	0	0	0	0	0	0	0	0	8	29	66
Wohnen	$t_{\text{Tag,i}}$	248	272	359	410	479	494	499	451	377	328	259	234	4409
	$t_{\text{Nacht,i}}$	496	400	385	310	265	226	245	293	343	416	461	510	4351



Münster		51,981° nördliche Breite, 7,596° östliche Länge, 60 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	31	47	90	142	183	216	207	162	128	68	38	21	976
Süd	30°	57	65	119	158	190	217	212	176	157	97	65	38	1136
	45°	66	70	125	155	181	203	199	170	161	104	74	43	1135
	60°	71	71	124	145	164	181	178	157	155	106	79	47	1081
	90°	69	63	104	107	111	117	117	111	122	93	75	45	829
Süd-Ost	30°	47	59	108	155	186	217	208	168	149	88	56	32	1077
	45°	52	61	110	152	178	206	198	162	150	92	61	35	1066
	60°	55	61	107	144	164	187	182	150	145	92	63	36	1013
	90°	50	52	88	111	120	134	132	112	115	78	57	33	792
Süd-West	30°	50	60	112	149	186	214	209	173	147	87	57	33	1082
	45°	56	63	116	144	178	202	199	169	146	90	62	37	1070
	60°	59	62	114	134	162	184	181	158	140	90	65	39	1015
	90°	55	53	95	100	118	131	131	119	111	76	59	37	793
Ost	30°	30	47	86	139	173	206	196	151	125	68	37	20	935
	45°	29	46	84	134	162	194	184	142	121	66	36	20	890
	60°	28	43	79	124	149	178	169	131	113	63	34	19	827
	90°	23	35	64	95	113	136	130	101	89	51	28	15	644
West	30°	32	47	91	131	173	203	197	158	122	66	37	22	938
	45°	32	46	90	123	161	190	185	151	116	64	37	22	891
	60°	32	44	86	113	148	173	171	141	109	61	35	21	830
	90°	27	37	71	89	114	133	133	111	87	50	29	18	658
Nord-Ost	30°	17	34	63	117	153	187	176	129	96	47	21	13	771
	45°	16	31	55	103	133	163	153	112	82	41	19	12	674
	60°	15	28	50	90	116	142	134	98	72	36	18	11	593
	90°	12	22	40	67	87	109	101	75	56	29	15	9	454
Nord-West	30°	18	34	66	112	154	185	178	135	94	46	21	13	773
	45°	16	31	59	97	133	160	155	119	81	40	19	12	676
	60°	15	29	53	87	117	140	137	106	72	37	18	11	601
	90°	12	23	43	69	90	107	106	83	58	30	15	9	472
Nord	30°	16	28	48	104	147	181	171	123	78	34	19	13	704
	45°	15	27	40	79	119	150	140	95	54	32	18	12	573
	60°	14	25	38	66	89	113	105	73	50	30	17	11	462
	90°	12	20	32	53	68	82	78	59	43	26	14	9	364
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		2,2	3,3	5,7	9,8	14,0	16,7	18,4	18,6	14,8	10,5	6,2	2,6	10,3
Grad- tage Kd	10°	552	469	432	201	55	0	0	0	152	405	539		2806
	12°	552	469	442	248	90	8	0	0	25	216	414	539	3004
	15°	552	469	442	304	154	66	6	10	123	292	414	539	3372
Feuchtkugeltemp. °C		1,4	2,3	4,0	7,7	11,4	13,2	14,7	14,7	12,4	9,1	5,2	1,9	8,2
Enthalpie kJ/kg		12,1	13,7	16,9	24,4	33,0	37,7	41,4	41,3	35,3	27,7	19,3	12,9	26,4
Abs. Luftfeuchte g/kg		4,0	4,2	4,4	5,8	7,5	8,3	9,1	9,0	8,1	6,8	5,2	4,1	6,4
Windgeschw. m/s		3,3	4,0	4,6	3,6	3,1	3,5	3,2	2,8	2,3	3,3	3,0	3,3	3,3
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	170	187	232	226	234	226	234	234	226	213	178	161	2520
	$t_{\text{Nacht},i}$	63	24	1	0	0	0	0	0	0	20	48	73	230
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	117	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	117	1395
	$t_{\text{Nacht},i}$	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	157	163	203	218	246	252	258	238	202	180	150	145	2412
	$t_{\text{Nacht},i}$	174	136	129	103	85	68	73	93	118	152	171	186	1488
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	154	152	176	170	176	170	176	176	170	176	162	148	2005
	$t_{\text{Nacht},i}$	22	7	0	0	0	0	0	0	0	0	8	28	65
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	249	272	359	410	478	494	498	450	377	328	260	234	4409
	$t_{\text{Nacht},i}$	495	400	385	310	266	226	246	294	343	416	460	510	4351



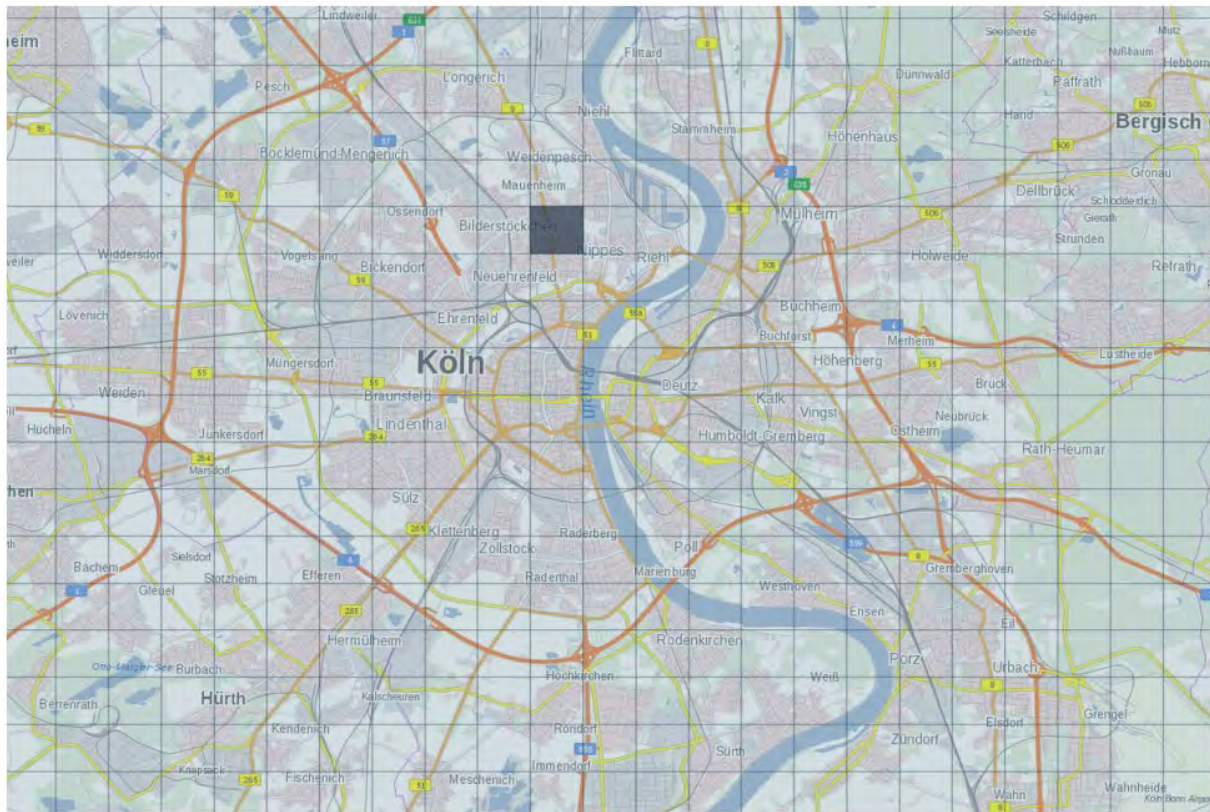
Paderborn		51,738° nördliche Breite, 8,748° östliche Länge, 110 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	26	50	106	167	207	216	199	185	120	73	28	22	1026
Süd	30°	40	73	138	194	219	219	204	206	148	107	45	43	1198
	45°	45	79	144	193	209	206	192	200	152	116	50	50	1197
	60°	47	82	142	182	189	183	172	186	147	118	53	55	1138
	90°	45	73	115	135	127	119	113	131	117	105	50	54	865
Süd-Ost	30°	35	63	129	183	213	214	199	197	141	93	39	35	1128
	45°	38	65	131	180	204	201	188	192	142	98	41	39	1112
	60°	38	65	128	171	188	182	172	179	137	97	42	40	1053
	90°	34	54	104	131	138	128	125	134	110	82	37	37	815
Süd-West	30°	36	68	127	187	216	218	203	198	137	99	40	38	1147
	45°	39	73	128	186	207	206	194	193	137	105	44	43	1138
	60°	40	74	124	176	191	186	178	181	131	106	45	46	1081
	90°	36	65	100	137	140	132	130	135	103	91	41	44	844
Ost	30°	25	46	105	158	195	200	185	175	118	69	27	21	970
	45°	24	45	101	150	184	184	174	165	114	67	26	20	918
	60°	23	42	95	139	169	166	160	152	107	63	25	20	850
	90°	19	34	75	108	130	124	124	118	85	51	20	16	662
West	30°	26	53	101	163	199	205	192	177	113	76	29	25	995
	45°	26	53	96	157	188	192	181	168	107	74	29	25	949
	60°	25	51	90	147	174	174	168	155	100	72	27	25	884
	90°	20	43	72	116	136	132	131	121	78	59	23	21	697
Nord-Ost	30°	17	32	76	126	170	181	167	146	91	46	18	13	795
	45°	16	29	64	108	146	155	144	125	78	40	17	12	685
	60°	15	26	56	95	127	132	127	109	70	37	15	11	600
	90°	12	21	45	74	97	98	97	83	55	30	12	9	463
Nord-West	30°	17	35	73	131	174	187	172	148	87	49	19	13	810
	45°	16	31	63	113	151	162	151	127	74	43	17	12	703
	60°	15	28	56	100	132	140	134	111	66	39	16	11	621
	90°	12	23	45	79	103	106	103	86	52	32	12	9	484
Nord	30°	16	26	58	113	163	178	163	135	73	34	17	12	724
	45°	15	25	41	79	129	147	134	100	53	32	16	12	573
	60°	14	23	39	63	93	109	100	73	49	31	15	11	455
	90°	11	19	35	54	72	79	74	61	42	26	12	9	362
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		2,4	2,8	5,5	9,9	14,0	16,8	18,6	18,5	15,0	10,7	6,2	2,6	10,3
Grad- tage Kd	10°	535	481	412	193	34	0	0	0	0	194	387	538	2773
	12°	545	481	449	230	86	0	0	0	18	246	413	538	3006
	15°	545	481	449	284	163	64	17	18	101	279	413	538	3351
Feuchtkugeltemp. °C		1,5	1,7	3,4	6,7	10,6	13,5	14,8	14,8	12,6	8,8	4,9	1,8	8,0
Enthalpie kJ/kg		12,4	12,6	15,8	22,5	31,1	38,6	41,9	41,8	35,9	27,1	18,9	12,8	26,0
Abs. Luftfeuchte g/kg		4,0	3,9	4,1	5,0	6,8	8,6	9,2	9,2	8,3	6,5	5,0	4,0	6,2
Windgeschw. m/s		3,4	3,2	2,7	2,8	2,7	3,0	2,9	1,9	2,3	3,1	2,5	2,6	2,8
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	171	187	233	226	234	226	234	234	226	213	179	162	2523
	$t_{\text{Nacht},i}$	62	24	1	0	0	0	0	0	0	20	47	72	227
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	117	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	117	1396
	$t_{\text{Nacht},i}$	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	158	164	203	217	245	252	258	238	202	180	150	146	2412
	$t_{\text{Nacht},i}$	174	135	129	103	86	69	74	94	118	152	170	185	1488
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	154	152	176	170	176	170	176	176	170	176	163	149	2007
	$t_{\text{Nacht},i}$	22	6	0	0	0	0	0	0	0	0	8	27	63
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	250	273	359	409	477	492	497	450	377	328	261	236	4409
	$t_{\text{Nacht},i}$	494	399	385	311	267	228	247	294	343	416	459	508	4351



Düsseldorf		51,254° nördliche Breite, 6,788° östliche Länge, 41 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I _S W/m²												Jahreswert kWh/(m²a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	30	55	95	142	197	215	221	194	126	67	33	25	1026
Süd	30°	54	81	122	161	205	217	229	217	157	91	49	48	1194
	45°	62	88	127	160	194	203	216	211	161	97	54	55	1191
	60°	67	90	125	150	175	180	194	196	156	97	56	60	1131
	90°	64	81	103	111	116	115	126	138	124	84	51	58	857
Süd-Ost	30°	46	74	114	152	195	212	226	210	142	83	44	40	1125
	45°	50	78	115	148	185	200	216	206	142	86	47	44	1109
	60°	52	78	112	139	169	180	197	194	135	84	47	47	1049
	90°	47	68	91	105	121	128	141	147	106	71	41	43	811
Süd-West	30°	48	72	113	158	206	216	223	208	151	83	44	41	1144
	45°	53	75	115	155	199	204	211	202	153	86	46	46	1132
	60°	55	75	112	147	183	185	192	190	149	85	46	48	1074
	90°	51	64	91	114	134	132	136	143	120	71	40	45	835
Ost	30°	29	56	93	132	178	199	210	187	116	66	33	25	970
	45°	29	55	90	124	165	185	197	179	109	64	32	24	916
	60°	27	52	84	114	150	168	179	168	100	60	30	23	846
	90°	23	42	67	87	113	128	135	132	78	47	24	19	656
West	30°	32	53	93	140	194	206	206	184	127	65	32	26	994
	45°	31	52	90	134	184	193	192	175	123	63	31	25	946
	60°	31	49	84	125	171	176	174	163	116	60	29	25	880
	90°	25	40	68	99	133	135	132	129	92	49	24	20	692
Nord-Ost	30°	18	37	69	109	158	182	186	155	88	47	22	14	795
	45°	17	33	60	93	134	157	159	134	74	41	20	13	685
	60°	15	30	53	81	115	135	136	117	65	37	18	12	598
	90°	12	24	42	62	87	102	102	90	52	29	15	10	459
Nord-West	30°	18	36	69	115	171	188	184	152	96	47	22	14	814
	45°	17	32	60	101	150	163	156	131	82	42	20	13	709
	60°	15	29	54	89	132	142	134	115	73	38	18	12	624
	90°	13	24	43	69	101	108	102	91	58	31	15	10	487
Nord	30°	17	29	54	100	157	179	177	140	75	36	20	14	730
	45°	16	28	43	73	125	149	141	102	53	34	19	13	582
	60°	15	26	40	59	91	112	101	74	49	32	17	12	460
	90°	12	21	34	50	69	80	75	61	42	26	14	10	362
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		3,3	4,3	7,3	10,7	15,1	17,7	19,6	19,2	15,6	11,6	7,5	3,7	11,3
Grad- tage Kd	10°	490	440	371	125	11	0	0	0	0	129	286	495	2346
	12°	517	440	380	216	54	0	0	0	8	184	361	504	2665
	15°	517	440	395	275	136	41	0	0	100	245	374	504	3027
Feuchtkugeltemp. °C		2,0	2,8	5,2	8,2	11,5	14,0	15,3	15,2	12,9	9,5	6,1	2,4	8,8
Enthalpie kJ/kg		13,3	14,7	19,1	25,7	33,1	39,5	43,2	42,6	36,6	28,7	21,3	13,8	27,7
Abs. Luftfeuchte g/kg		4,0	4,2	4,7	5,9	7,1	8,6	9,3	9,3	8,3	6,8	5,5	4,0	6,5
Windgeschw. m/s		3,8	3,6	3,7	2,9	3,2	2,7	3,1	2,5	2,3	3,8	3,0	2,9	3,1
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	t _{Tag,i}	173	188	233	226	234	226	234	234	226	214	180	163	2529
	t _{Nacht,i}	61	23	1	0	0	0	0	0	0	20	46	70	221
Klassen- zimmer	t _{Tag,i}	117	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	118	1397
	t _{Nacht,i}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
Küche	t _{Tag,i}	158	164	203	217	245	251	257	237	202	180	151	147	2411
	t _{Nacht,i}	173	135	129	103	87	70	75	94	118	151	170	184	1489
Industrie- halle	t _{Tag,i}	155	153	176	170	176	170	176	176	170	176	163	150	2010
	t _{Nacht,i}	21	6	0	0	0	0	0	0	0	0	7	26	60
Wohnen	t _{Tag,i}	252	274	360	408	475	490	494	448	376	329	262	238	4408
	t _{Nacht,i}	492	398	384	312	269	230	250	296	344	415	458	506	4352



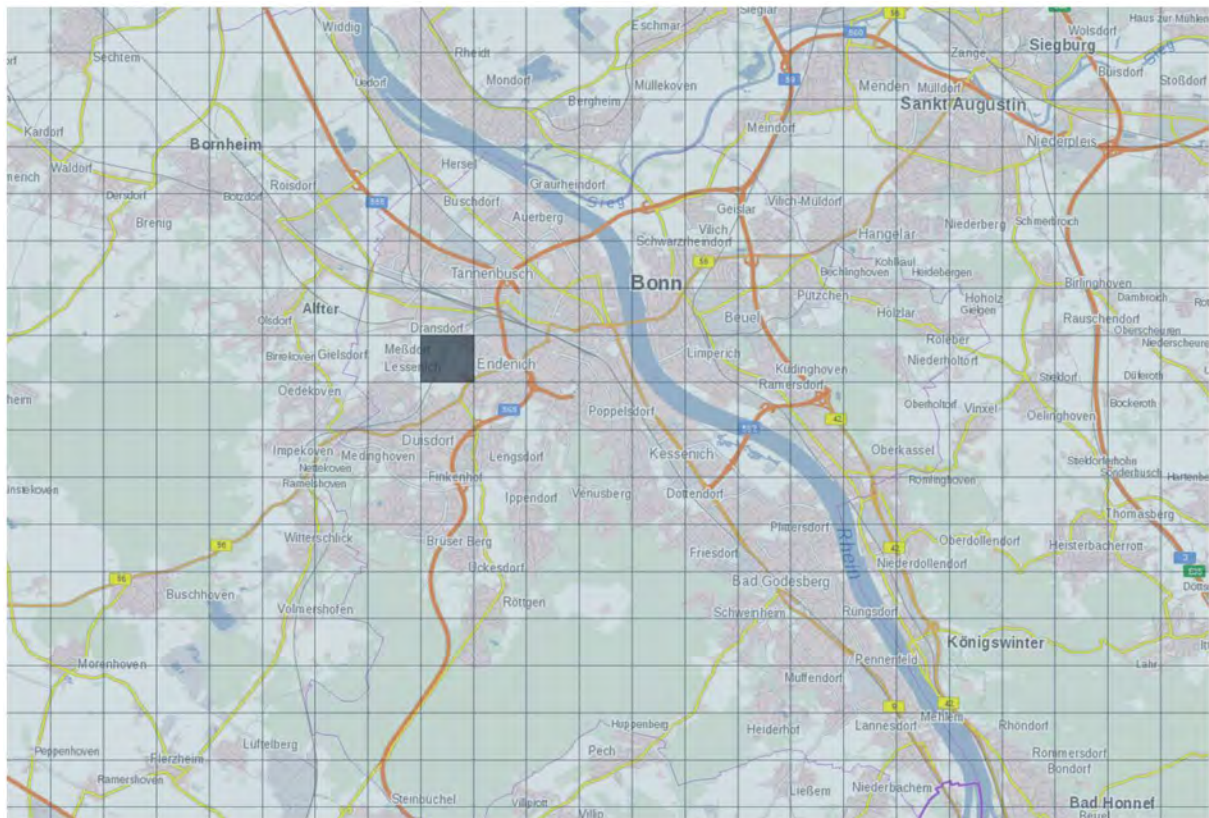
Dresden		51,081° nördliche Breite, 13,704° östliche Länge, 110 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I _S W/m²												Jahreswert kWh/(m²a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	34	54	90	154	204	242	224	193	137	81	36	28	1081
Süd	30°	61	80	112	174	217	246	232	216	171	114	56	53	1268
	45°	70	87	116	172	208	230	220	211	175	123	62	61	1269
	60°	75	89	113	161	188	203	197	196	170	125	65	66	1206
	90°	72	80	92	118	125	128	129	138	134	109	61	65	914
Süd-Ost	30°	54	75	107	172	212	244	234	212	162	106	51	45	1225
	45°	60	80	109	170	204	230	225	208	165	111	55	51	1219
	60°	63	81	105	161	187	209	206	195	159	111	56	54	1161
	90°	58	72	86	125	136	147	148	147	126	94	50	50	907
Süd-West	30°	50	68	103	161	211	240	221	204	157	101	48	44	1177
	45°	55	71	103	156	201	225	207	197	158	105	51	49	1155
	60°	57	71	99	145	184	202	186	182	150	103	52	52	1085
	90°	52	60	79	108	133	142	131	135	118	86	46	48	832
Ost	30°	36	58	90	153	193	229	220	189	135	82	37	29	1062
	45°	36	58	87	148	181	214	208	180	130	80	36	29	1016
	60°	36	57	82	138	166	195	191	167	121	77	35	28	945
	90°	30	48	66	108	126	147	144	130	97	63	29	24	740
West	30°	33	51	85	139	192	224	201	178	128	77	34	28	1002
	45°	32	50	81	130	179	207	184	166	122	74	33	27	939
	60°	30	47	76	118	164	188	165	151	112	69	31	26	862
	90°	25	39	60	91	126	142	124	117	88	56	25	22	669
Nord-Ost	30°	20	38	69	126	167	207	194	156	101	55	23	16	859
	45°	18	34	61	110	142	178	169	134	85	48	21	15	744
	60°	17	31	54	96	122	152	146	117	75	43	19	14	649
	90°	14	25	43	74	91	113	108	89	59	35	16	11	496
Nord-West	30°	19	35	66	116	167	203	180	148	96	52	22	16	821
	45°	18	32	57	98	141	173	150	124	81	45	20	15	699
	60°	17	29	51	86	122	148	127	107	71	41	19	14	608
	90°	13	23	40	67	94	111	97	83	56	33	15	11	471
Nord	30°	18	28	55	109	157	198	179	138	80	39	20	15	759
	45°	17	27	44	79	122	161	143	101	52	35	20	14	597
	60°	16	25	41	64	85	118	102	73	48	34	18	14	466
	90°	13	21	34	53	66	82	76	61	43	29	15	11	369
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		0,6	2,1	5,3	9,8	14,8	17,6	19,8	19,7	15,4	10,5	5,3	1,2	10,2
Grad- tage Kd	10°	600	502	431	183	36	10	0	0	0	191	442	582	2978
	12°	600	502	448	264	62	36	0	0	27	235	442	582	3199
	15°	600	502	455	297	127	63	24	0	79	288	442	582	3458
Feuchtkugeltemp. °C		-0,4	1,0	3,7	7,0	11,2	13,5	15,8	15,3	11,9	8,2	4,1	0,6	7,7
Enthalpie kJ/kg		9,1	11,4	16,6	23,1	32,4	38,3	44,5	43,3	34,2	25,5	17,2	10,7	25,6
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,4	3,7	4,5	5,3	7,0	8,2	9,8	9,3	7,5	6,0	4,8	3,8	6,1
Windgeschw. m/s		4,7	4,6	5,4	3,8	3,7	3,5	3,1	3,5	4,0	4,6	4,1	4,1	4,1
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	t _{Tag,i}	173	188	233	226	234	226	234	234	226	214	180	164	2531
	t _{Nacht,i}	60	23	1	0	0	0	0	0	0	20	46	70	219
Klassen- zimmer	t _{Tag,i}	118	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	118	1398
	t _{Nacht,i}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Küche	t _{Tag,i}	159	164	203	217	244	250	256	237	202	180	151	147	2411
	t _{Nacht,i}	172	135	129	104	87	70	75	94	118	151	169	184	1489
Industrie- halle	t _{Tag,i}	155	153	176	170	176	170	176	176	170	176	163	151	2011
	t _{Nacht,i}	21	6	0	0	0	0	0	0	0	0	7	25	59
Wohnen	t _{Tag,i}	253	274	360	408	474	489	494	448	376	329	263	239	4408
	t _{Nacht,i}	491	398	384	312	270	231	250	296	344	415	457	505	4352



Köln		50,969° nördliche Breite, 6,955° östliche Länge, 47 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	29	45	95	176	182	212	213	168	133	68	44	25	1017
Süd	30°	48	59	122	206	189	213	220	183	164	92	77	49	1187
	45°	54	62	127	206	179	199	208	177	167	98	87	57	1186
	60°	57	63	124	195	162	177	186	163	162	99	93	62	1128
	90°	54	55	101	146	108	115	122	114	127	85	88	61	859
Süd-Ost	30°	40	54	114	195	185	217	219	175	153	85	66	41	1128
	45°	42	55	116	192	177	206	210	170	154	88	72	45	1117
	60°	43	54	113	182	162	188	191	158	148	87	74	48	1059
	90°	38	45	93	140	117	135	137	118	118	73	66	44	822
Süd-West	30°	44	55	113	198	185	204	211	180	155	84	67	42	1124
	45°	48	56	115	196	176	190	198	175	155	86	73	48	1109
	60°	50	56	111	186	160	170	178	164	150	85	76	50	1050
	90°	46	47	90	143	116	119	125	124	119	70	69	47	816
Ost	30°	27	43	94	167	172	207	205	157	128	67	43	25	977
	45°	26	42	92	158	161	195	193	148	123	65	42	24	928
	60°	24	39	87	146	146	179	175	137	116	61	40	24	859
	90°	19	31	70	113	110	134	132	106	92	49	33	19	664
West	30°	31	44	93	170	172	191	193	163	130	65	45	26	969
	45°	31	43	90	163	160	174	177	156	126	63	44	26	917
	60°	30	41	85	152	147	157	159	146	119	59	42	26	850
	90°	25	33	70	120	112	119	119	115	96	47	35	22	668
Nord-Ost	30°	18	33	70	132	153	188	183	133	98	48	24	14	801
	45°	16	30	61	112	132	165	158	114	84	42	22	13	695
	60°	15	27	54	97	114	143	136	100	74	38	20	12	607
	90°	12	21	42	75	85	105	100	77	58	30	17	10	462
Nord-West	30°	18	33	69	135	154	177	174	139	99	47	25	14	794
	45°	17	30	61	116	133	150	147	121	87	42	22	13	687
	60°	15	28	55	102	117	129	125	107	78	38	21	12	604
	90°	13	22	45	80	90	99	94	84	62	30	17	10	473
Nord	30°	16	28	54	116	147	177	171	125	81	37	21	13	723
	45°	16	27	40	79	119	147	138	95	55	35	21	13	574
	60°	15	25	38	64	88	111	100	71	50	33	19	12	458
	90°	12	20	33	55	67	79	74	57	44	27	16	10	362
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		3,2	4,4	7,1	11,1	15,3	18,1	19,5	19,5	16,1	12,0	7,1	3,6	11,5
Grad- tage Kd	10°	521	438	355	139	34	0	0	0	0	86	350	481	2403
	12°	521	438	399	202	51	0	0	0	8	159	386	509	2675
	15°	521	438	399	260	103	39	0	0	54	234	386	509	2943
Feuchtkugelt. °C		1,9	3,0	4,8	7,2	12,2	14,5	15,5	15,7	12,9	10,1	5,7	2,3	8,9
Enthalpie kJ/kg		13,0	14,9	18,4	23,5	34,9	41,0	43,7	44,3	36,6	29,8	20,2	13,8	27,9
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,9	4,2	4,5	4,9	7,7	9,1	9,5	9,8	8,1	7,1	5,2	4,1	6,5
Windgeschw. m/s		2,8	2,6	2,9	2,7	2,2	2,4	2,3	2,1	2,2	2,2	1,9	2,5	2,4
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	174	188	233	226	234	226	234	234	226	214	181	164	2532
	$t_{\text{Nacht},i}$	60	23	1	0	0	0	0	0	0	20	46	69	218
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	118	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	118	1398
	$t_{\text{Nacht},i}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	159	164	203	217	244	250	256	237	202	180	151	147	2411
	$t_{\text{Nacht},i}$	172	135	129	104	87	70	75	94	118	151	169	184	1489
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	155	153	176	170	176	170	176	176	170	176	163	151	2012
	$t_{\text{Nacht},i}$	21	6	0	0	0	0	0	0	0	0	7	25	58
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	254	275	360	408	474	488	493	447	376	329	264	240	4408
	$t_{\text{Nacht},i}$	490	397	384	312	270	232	251	297	344	415	456	504	4352



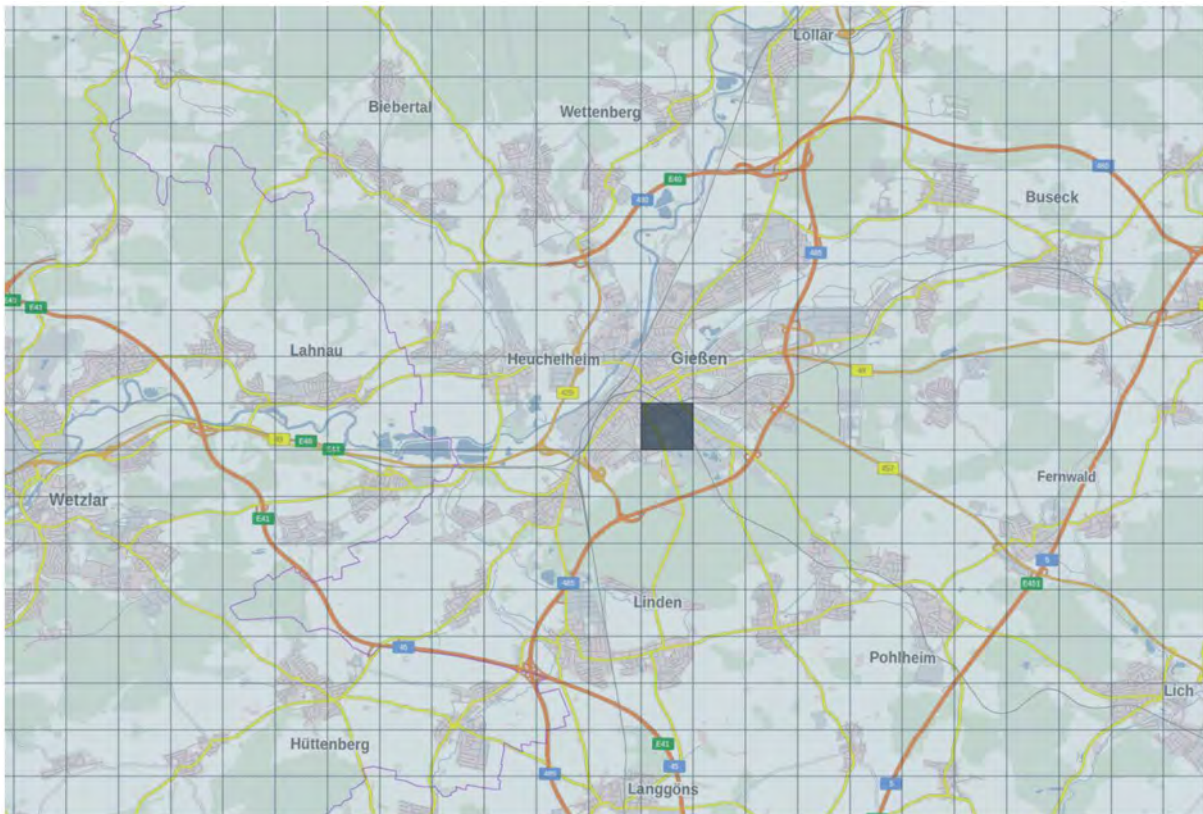
Jena		50,951° nördliche Breite, 11,614° östliche Länge, 148 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	31	52	117	148	229	220	212	166	149	73	36	26	1069
Süd	30°	54	74	153	166	243	222	219	183	192	105	57	51	1259
	45°	61	80	159	164	233	207	206	178	199	113	64	59	1262
	60°	65	82	157	153	211	183	184	165	194	115	67	64	1202
	90°	63	73	128	112	141	117	119	117	154	101	63	63	916
Süd-Ost	30°	48	67	141	163	240	221	217	176	179	96	51	43	1202
	45°	53	70	144	160	231	210	206	171	182	101	55	48	1195
	60°	55	70	140	151	213	191	189	160	176	101	56	51	1137
	90°	51	60	114	116	156	136	135	121	140	86	51	47	888
Süd-West	30°	45	67	141	156	235	216	212	177	178	93	50	43	1182
	45°	49	71	144	152	224	202	200	173	181	97	53	48	1168
	60°	50	71	140	141	205	182	181	161	176	96	54	51	1104
	90°	46	61	113	106	148	129	128	121	140	81	48	48	856
Ost	30°	33	52	114	145	220	210	203	158	145	74	36	27	1037
	45°	33	51	110	139	207	197	190	150	140	73	36	27	989
	60°	32	48	103	129	191	181	174	138	131	70	34	26	920
	90°	27	40	82	100	146	137	131	107	105	57	28	22	720
West	30°	30	52	114	136	213	203	197	159	145	71	35	27	1011
	45°	29	51	109	127	198	188	182	151	139	69	34	27	956
	60°	28	49	103	117	181	171	165	140	131	65	32	26	884
	90°	23	41	83	91	140	131	126	109	105	53	26	22	695
Nord-Ost	30°	19	36	82	120	189	191	181	133	105	50	23	15	837
	45°	18	32	70	104	162	166	156	115	88	43	21	14	724
	60°	16	29	61	91	140	144	134	101	78	39	19	13	633
	90°	13	23	49	69	105	107	100	77	62	32	16	11	486
Nord-West	30°	19	37	82	114	184	187	177	135	104	48	23	15	822
	45°	17	33	70	97	156	160	150	117	87	42	21	14	706
	60°	16	30	63	85	135	138	129	103	77	38	19	13	619
	90°	13	24	50	67	104	105	98	80	61	31	15	11	483
Nord	30°	17	29	63	105	176	183	171	123	81	35	21	14	746
	45°	17	27	45	77	136	151	138	93	50	33	20	13	587
	60°	16	26	43	62	94	113	100	71	47	31	18	13	464
	90°	13	21	38	51	74	80	73	58	43	27	15	11	368
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		0,8	2,2	5,0	9,6	14,0	16,6	19,1	18,8	14,7	10,2	5,5	1,3	9,9
Grad- tage Kd	10°	596	489	423	226	43	0	0	0	11	179	435	579	2982
	12°	596	499	458	280	96	9	0	0	56	234	435	579	3242
	15°	596	499	464	306	157	73	0	5	132	299	435	579	3546
Feuchtkugeltemp. °C		0,0	1,1	3,1	7,3	10,3	13,5	15,0	15,7	11,3	8,4	4,5	0,6	7,6
Enthalpie kJ/kg		9,7	11,7	15,3	23,9	30,5	38,7	42,6	44,4	33,1	26,1	17,9	10,9	25,5
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,6	3,8	4,1	5,7	6,5	8,7	9,3	10,1	7,3	6,3	4,9	3,8	6,2
Windgeschw. m/s		2,7	3,9	2,6	3,1	2,5	2,4	2,7	1,9	2,2	3,2	2,3	2,9	2,7
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	174	188	233	226	234	226	234	234	226	214	181	164	2532
	$t_{\text{Nacht},i}$	60	23	1	0	0	0	0	0	0	20	45	69	218
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	118	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	118	1398
	$t_{\text{Nacht},i}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	159	164	203	217	244	250	256	237	202	180	151	148	2411
	$t_{\text{Nacht},i}$	172	135	129	104	87	70	75	94	118	151	169	184	1489
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	155	153	176	170	176	170	176	176	170	176	163	151	2012
	$t_{\text{Nacht},i}$	21	6	0	0	0	0	0	0	0	0	7	25	58
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	254	275	360	408	474	488	493	447	376	329	264	240	4408
	$t_{\text{Nacht},i}$	490	397	384	312	270	232	251	297	344	415	456	504	4352



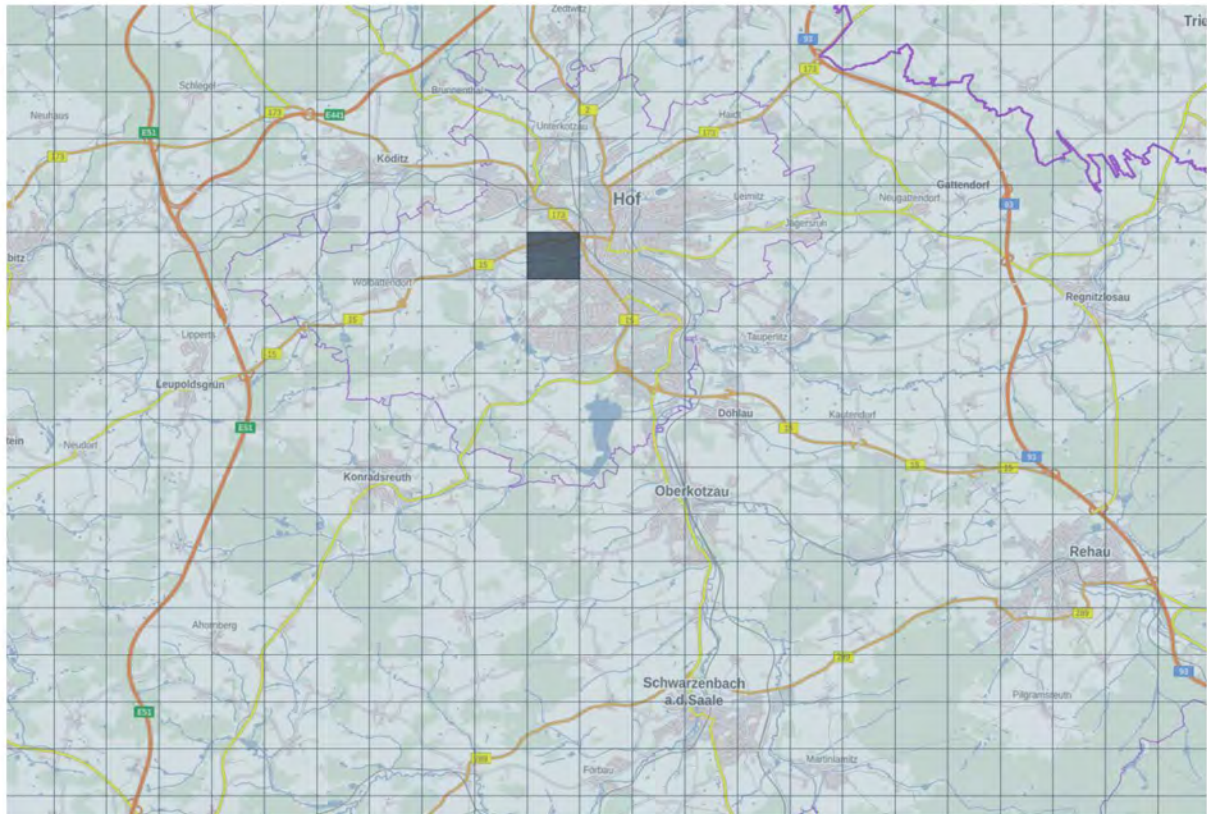
Bonn		50,730° nördliche Breite, 7,058° östliche Länge, 73 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	27	53	111	164	187	249	229	171	121	73	38	24	1060
Süd	30°	42	76	144	185	194	252	235	187	145	99	59	42	1215
	45°	46	82	150	181	184	235	221	182	147	105	65	48	1204
	60°	49	83	148	169	166	208	197	168	141	106	68	52	1136
	90°	45	74	121	122	111	130	127	118	110	90	63	50	849
Süd-Ost	30°	37	68	130	176	188	246	232	178	133	93	52	37	1149
	45°	39	71	131	172	180	231	220	172	132	97	55	40	1126
	60°	39	70	127	162	164	209	201	159	125	96	56	42	1060
	90°	35	60	102	123	118	146	144	117	97	81	49	39	811
Süd-West	30°	38	69	136	180	191	252	231	183	141	89	53	36	1169
	45°	40	72	140	177	181	239	219	177	142	90	56	40	1150
	60°	41	71	137	167	165	217	199	165	136	88	57	41	1086
	90°	37	61	112	128	119	154	143	122	108	72	50	38	836
Ost	30°	27	52	104	155	174	230	216	159	112	75	37	24	999
	45°	26	50	98	148	162	213	203	148	106	73	36	24	941
	60°	24	47	92	137	146	193	186	134	97	69	34	23	867
	90°	19	38	73	108	109	147	143	101	75	56	27	19	668
West	30°	27	52	111	160	177	239	216	165	122	69	38	23	1025
	45°	27	51	108	153	165	225	202	156	118	66	37	23	973
	60°	26	48	102	144	151	206	185	143	110	62	35	22	903
	90°	21	39	83	114	115	158	143	110	88	50	29	18	708
Nord-Ost	30°	19	36	76	128	154	208	193	136	89	53	24	15	828
	45°	17	32	64	111	133	177	166	115	76	46	22	14	712
	60°	16	29	57	98	113	151	144	99	67	41	20	12	619
	90°	12	23	45	76	84	114	108	74	52	32	16	10	473
Nord-West	30°	19	36	81	132	158	216	193	141	96	50	25	15	850
	45°	17	32	70	115	137	188	166	121	84	44	22	14	739
	60°	16	30	62	102	119	163	144	106	75	40	20	13	649
	90°	13	24	49	79	91	123	110	81	59	32	16	10	504
Nord	30°	18	29	60	117	149	206	186	128	79	39	21	14	766
	45°	17	28	45	85	121	168	150	98	56	35	20	13	611
	60°	15	26	42	65	89	123	108	72	51	33	19	12	481
	90°	12	21	37	54	68	86	78	59	43	27	15	10	375

Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		2,7	3,9	7,1	10,3	14,8	17,5	19,2	18,8	15,0	11,5	6,7	3,3	10,9
Grad- tage Kd	10°	537	450	371	201	45	0	0	0	0	118	364	519	2605
	12°	537	450	380	238	63	0	0	0	25	199	392	519	2802
	15°	537	450	393	281	115	49	6	0	118	260	399	519	3126
Feuchtkugeltemp. °C		1,6	2,5	4,9	6,9	12,1	13,4	15,3	16,0	12,8	9,7	5,4	2,5	8,6
Enthalpie kJ/kg		12,6	14,2	18,8	22,9	34,8	38,1	43,2	45,1	36,5	28,9	19,7	14,1	27,5
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,9	4,1	4,7	5,0	7,9	8,2	9,5	10,3	8,5	6,9	5,2	4,3	6,6
Windgeschw. m/s		4,7	4,0	4,1	4,0	3,7	3,8	3,8	4,3	4,1	5,0	5,0	4,0	4,2

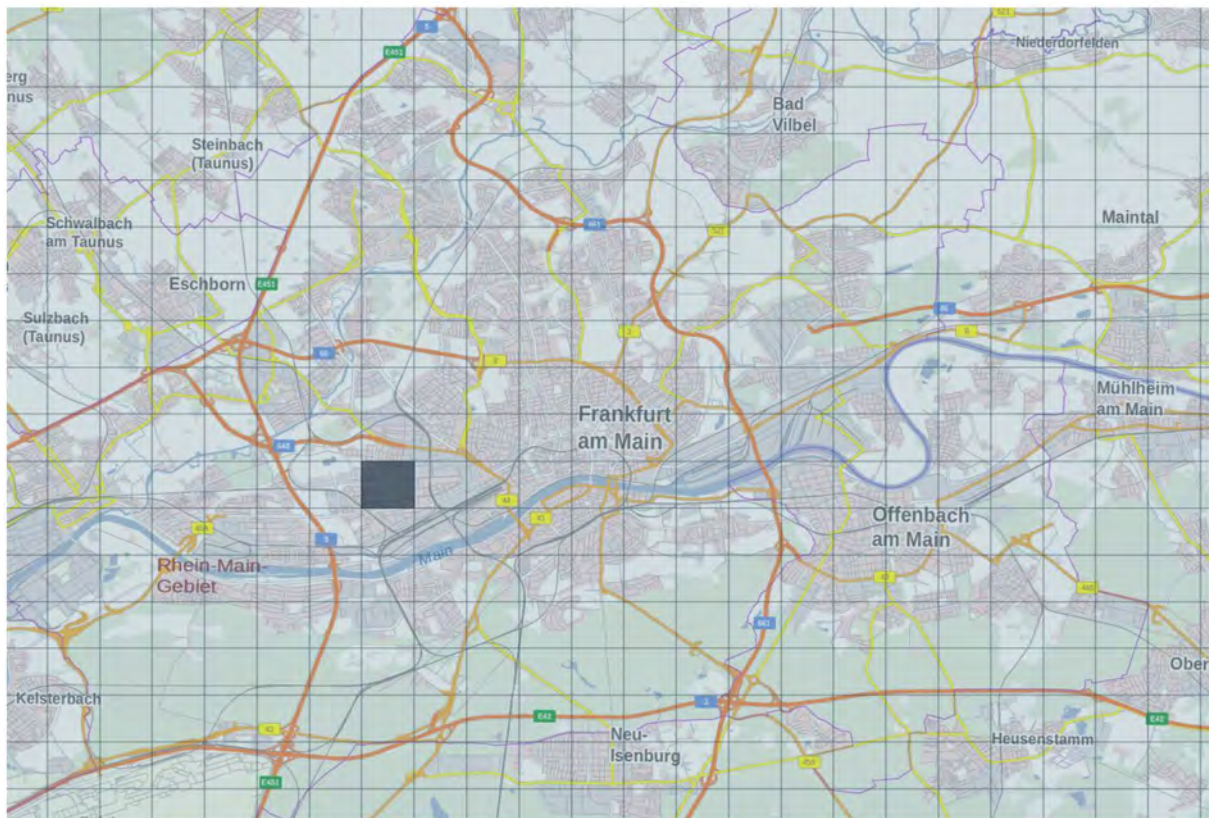
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	174	189	233	226	234	226	234	234	226	214	181	165	2535
	$t_{\text{Nacht},i}$	59	22	1	0	0	0	0	0	0	20	45	68	215
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	118	107	119	115	119	115	119	115	119	119	115	118	1399
	$t_{\text{Nacht},i}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	159	165	203	217	244	250	256	237	202	180	152	148	2411
	$t_{\text{Nacht},i}$	172	135	128	104	87	71	76	95	119	151	169	183	1489
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	155	153	176	170	176	170	176	176	170	176	164	152	2014
	$t_{\text{Nacht},i}$	20	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	24	56
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	255	275	360	407	473	487	492	447	376	330	264	241	4407
	$t_{\text{Nacht},i}$	489	397	384	313	271	233	252	297	344	414	456	503	4353



Gießen		50,573° nördliche Breite, 8,677° östliche Länge, 174 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	28	54	100	159	228	245	212	195	115	76	32	25	1076
Süd	30°	43	82	124	183	242	247	218	214	136	104	48	42	1231
	45°	47	89	127	181	231	231	205	207	137	111	52	48	1218
	60°	49	92	124	170	209	204	183	191	132	112	54	51	1149
	90°	46	84	100	125	138	129	119	133	103	96	49	49	856
Süd-Ost	30°	37	73	115	171	239	248	209	207	127	94	41	36	1169
	45°	39	77	115	166	230	236	197	201	127	97	43	39	1146
	60°	39	78	111	156	212	214	178	187	121	95	43	40	1079
	90°	35	68	89	118	154	152	126	138	95	80	37	36	824
Süd-West	30°	39	73	117	178	233	241	218	207	131	96	44	37	1181
	45°	41	77	118	176	222	226	208	200	132	99	47	41	1162
	60°	42	78	114	167	202	204	190	186	127	98	48	43	1097
	90°	38	67	93	129	145	142	136	137	102	83	43	39	844
Ost	30°	27	54	96	147	220	237	193	185	109	73	30	24	1022
	45°	26	53	92	138	207	223	178	175	104	71	29	23	966
	60°	24	51	86	127	191	204	161	160	98	67	28	22	891
	90°	19	42	69	98	145	155	121	122	77	54	22	18	689
West	30°	29	54	98	157	211	225	206	185	114	75	33	25	1035
	45°	28	53	95	151	196	209	193	175	111	73	33	25	983
	60°	27	50	89	141	179	189	177	161	105	69	32	24	910
	90°	22	41	71	111	138	142	134	124	84	56	26	20	710
Nord-Ost	30°	19	36	74	120	190	214	175	156	87	51	22	15	850
	45°	18	32	65	101	163	187	148	133	76	45	20	14	734
	60°	16	29	58	88	140	161	127	115	69	40	18	13	641
	90°	13	23	47	69	104	122	96	87	55	32	15	11	492
Nord-West	30°	20	36	76	128	184	205	184	157	91	52	23	16	858
	45°	18	32	67	111	155	175	160	134	80	45	21	14	742
	60°	17	29	60	98	133	149	139	117	72	41	19	13	649
	90°	13	23	47	75	103	113	104	90	57	33	15	11	501
Nord	30°	19	28	61	110	176	203	173	144	75	38	20	15	779
	45°	18	27	48	78	137	167	140	109	55	34	19	14	620
	60°	16	26	45	62	95	124	103	78	50	32	18	13	485
	90°	13	21	38	53	73	87	75	64	42	28	14	11	379
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		1,2	2,3	6,1	9,9	14,4	17,1	18,8	18,9	14,6	10,1	5,4	1,9	10,1
Grad- tage Kd	10°	573	495	424	161	11	0	0	0	0	184	420	561	2829
	12°	583	495	424	244	57	18	0	8	9	267	437	561	3103
	15°	583	495	431	297	140	54	10	31	140	307	437	561	3486
Feuchtkugeltemp. °C		0,3	1,5	4,2	7,5	10,7	13,6	15,6	14,9	12,9	8,8	5,1	1,3	8,1
Enthalpie kJ/kg		10,5	12,3	17,5	24,4	31,4	38,9	44,4	42,4	36,9	27,1	19,2	12,0	26,5
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,7	4,0	4,5	5,7	6,7	8,6	10,1	9,3	8,8	6,8	5,5	4,0	6,5
Windgeschw. m/s		3,0	2,6	3,6	2,0	2,3	2,5	2,3	1,7	1,8	2,4	2,0	2,2	2,4
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag,i}}$	175	189	233	226	234	226	234	234	226	214	181	166	2536
	$t_{\text{Nacht,i}}$	59	22	1	0	0	0	0	0	0	19	45	68	214
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag,i}}$	118	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1399
	$t_{\text{Nacht,i}}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Küche	$t_{\text{Tag,i}}$	160	165	203	217	244	249	255	236	202	180	152	148	2411
	$t_{\text{Nacht,i}}$	171	134	128	104	88	71	76	95	119	151	169	183	1489
Industrie- halle	$t_{\text{Tag,i}}$	156	153	176	170	176	170	176	176	170	176	164	152	2015
	$t_{\text{Nacht,i}}$	20	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	23	55
Wohnen	$t_{\text{Tag,i}}$	255	276	360	407	472	486	491	446	376	330	265	242	4407
	$t_{\text{Nacht,i}}$	489	396	384	313	272	234	253	298	344	414	455	502	4353



Hof		50,314° nördliche Breite, 11,898° östliche Länge, 527 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	29	57	106	157	219	230	211	196	135	77	33	22	1079
Süd	30°	46	90	137	179	232	232	215	217	164	112	51	36	1251
	45°	51	100	142	177	221	217	202	212	167	121	56	41	1247
	60°	53	104	140	166	200	192	180	195	161	123	59	43	1180
	90°	49	95	115	122	132	120	117	135	126	107	54	41	885
Süd-Ost	30°	41	81	126	174	231	230	213	213	154	102	46	32	1202
	45°	44	88	128	172	223	216	202	209	154	107	49	35	1190
	60°	45	90	124	162	206	196	184	196	147	106	50	36	1128
	90°	40	80	101	125	151	138	132	147	115	90	44	33	875
Süd-West	30°	39	77	127	168	223	229	211	207	153	100	45	31	1179
	45°	42	82	129	164	212	215	200	200	153	105	47	34	1159
	60°	42	83	125	154	194	194	182	186	145	104	48	35	1091
	90°	37	72	101	117	140	136	131	138	113	88	42	31	838
Ost	30°	30	59	102	154	213	217	200	192	130	77	34	23	1047
	45°	29	60	98	147	203	202	188	184	123	76	33	22	999
	60°	28	58	92	137	188	184	172	171	113	72	32	21	929
	90°	23	49	73	108	145	139	132	134	89	60	27	18	728
West	30°	28	55	103	146	203	215	198	183	128	76	33	22	1017
	45°	27	54	99	138	189	200	185	172	121	74	32	22	961
	60°	26	52	93	127	174	182	170	158	111	70	30	20	888
	90°	21	43	74	100	135	138	130	123	86	57	25	17	694
Nord-Ost	30°	20	36	75	126	184	196	180	160	100	51	22	15	854
	45°	18	32	64	109	159	169	157	138	85	44	20	14	739
	60°	16	29	57	96	138	144	136	121	74	40	18	13	647
	90°	13	23	45	74	104	108	104	93	58	33	15	10	498
Nord-West	30°	19	34	76	120	177	196	179	153	99	50	22	15	835
	45°	18	30	66	103	150	168	155	130	84	43	20	14	717
	60°	16	27	59	90	130	144	134	113	73	39	18	13	627
	90°	13	23	47	70	101	108	102	88	56	31	15	10	486
Nord	30°	18	25	59	110	170	190	173	143	84	35	19	14	763
	45°	17	24	45	79	133	156	142	106	58	32	18	14	603
	60°	16	23	43	62	92	114	105	75	53	30	17	13	471
	90°	13	20	37	52	71	80	76	61	45	26	14	10	370
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		-1,3	-0,3	3,1	8,0	12,8	15,5	17,1	17,1	13,0	8,3	3,5	-0,6	8,1
Grad- tage Kd	10°	662	569	515	280	69	21	0	0	63	263	495	639	3576
	12°	662	569	524	333	106	65	0	0	126	335	495	639	3853
	15°	662	569	524	359	189	99	58	31	177	363	495	639	4166
Feuchtkugeltemp. °C		-1,6	-1,3	1,4	5,7	8,6	12,1	14,1	13,6	11,0	7,1	2,9	-1,1	6,1
Enthalpie kJ/kg		7,4	8,0	12,6	21,2	27,4	36,0	41,5	40,0	33,3	24,1	15,4	8,4	23,0
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,5	3,3	3,8	5,2	5,8	8,1	9,6	9,0	8,0	6,3	4,8	3,6	5,9
Windgeschw. m/s		2,5	3,4	2,6	1,9	1,8	1,6	1,9	2,2	2,0	1,9	2,7	3,1	2,3
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	176	189	233	226	234	226	234	234	226	214	182	167	2539
	$t_{\text{Nacht},i}$	58	22	1	0	0	0	0	0	0	19	44	67	211
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht},i}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	160	165	203	216	243	249	255	236	202	181	152	149	2411
	$t_{\text{Nacht},i}$	171	134	128	104	88	72	77	95	119	151	168	182	1489
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	156	153	176	170	176	170	176	176	170	176	164	153	2016
	$t_{\text{Nacht},i}$	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	6	22	54
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	257	276	360	407	471	485	490	446	376	330	266	243	4407
	$t_{\text{Nacht},i}$	487	396	384	313	273	235	254	298	344	414	454	501	4353



Frankfurt a. M.		50,107° nördliche Breite, 8,632° östliche Länge, 96 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	30	60	94	152	204	232	233	193	119	78	37	27	1069
Süd	30°	48	88	119	171	214	234	238	212	142	107	54	50	1226
	45°	53	95	122	168	203	218	223	206	143	113	58	57	1216
	60°	56	98	120	158	184	193	198	190	138	114	60	62	1147
	90°	53	87	98	116	121	121	126	132	107	98	55	60	857
Süd-Ost	30°	42	77	111	165	211	232	236	201	133	95	48	43	1166
	45°	45	80	113	162	202	219	225	194	132	97	51	48	1146
	60°	46	80	109	153	185	198	205	180	126	95	51	50	1080
	90°	41	68	89	117	133	139	147	132	99	78	44	46	828
Süd-West	30°	42	80	110	163	207	230	234	209	136	100	48	43	1171
	45°	45	85	110	158	197	216	222	204	136	103	51	47	1151
	60°	46	85	107	148	179	195	202	191	130	102	51	49	1085
	90°	41	74	86	112	127	137	144	142	103	86	44	45	834
Ost	30°	29	57	93	147	195	219	222	178	113	73	36	27	1017
	45°	28	55	89	140	182	204	209	167	108	70	35	27	963
	60°	26	53	84	130	166	186	192	152	101	65	33	26	889
	90°	21	43	66	100	125	141	147	116	80	52	27	21	687
West	30°	29	61	91	142	190	216	219	189	117	79	37	27	1022
	45°	29	60	86	134	176	200	205	180	113	76	36	27	967
	60°	27	57	81	124	159	182	188	167	106	72	34	25	894
	90°	22	47	64	97	121	137	145	130	85	58	27	21	699
Nord-Ost	30°	19	39	71	121	171	199	198	150	89	52	26	16	843
	45°	17	34	61	106	146	171	172	127	78	45	24	14	729
	60°	16	31	55	92	125	147	149	109	68	41	22	13	635
	90°	13	25	43	70	93	110	112	83	53	33	17	11	485
Nord-West	30°	19	40	69	119	168	196	197	159	92	55	26	15	847
	45°	17	35	60	102	143	168	169	137	81	48	24	14	731
	60°	16	32	53	91	122	144	147	120	72	43	21	13	641
	90°	13	26	42	71	93	107	112	94	57	34	17	11	496
Nord	30°	18	30	56	108	161	191	190	142	77	41	23	15	771
	45°	17	29	44	80	127	157	154	107	54	37	22	14	616
	60°	16	27	41	64	90	115	112	77	49	34	21	13	483
	90°	13	23	35	53	69	79	80	63	42	29	16	11	375
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		2,1	3,3	7,1	11,1	15,3	18,6	20,2	20,0	15,4	10,8	6,5	2,6	11,1
Grad- tage Kd	10°	554	467	344	120	11	0	0	0	0	160	368	538	2560
	12°	554	467	391	173	38	0	0	0	0	214	405	538	2780
	15°	554	467	399	258	109	23	0	0	101	279	405	538	3131
Feuchtkugeltemp. °C		1,1	1,9	5,2	8,2	11,7	14,3	15,3	15,7	12,8	9,2	5,4	1,7	8,6
Enthalpie kJ/kg		11,6	12,9	19,3	25,7	33,5	40,3	43,2	44,2	36,3	27,8	19,8	12,6	27,4
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,8	3,8	4,8	5,8	7,2	8,6	9,1	9,5	8,3	6,7	5,3	3,9	6,4
Windgeschw. m/s		3,1	3,9	3,8	3,3	3,9	3,2	3,1	2,9	3,5	2,3	3,0	3,1	3,3
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag,i}}$	176	189	233	226	234	226	234	234	226	214	183	167	2542
	$t_{\text{Nacht,i}}$	57	22	1	0	0	0	0	0	0	19	43	66	208
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag,i}}$	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht,i}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag,i}}$	161	165	203	216	243	248	254	236	202	181	153	149	2411
	$t_{\text{Nacht,i}}$	171	134	128	104	88	72	77	95	119	150	168	182	1489
Industrie- halle	$t_{\text{Tag,i}}$	156	153	176	170	176	170	176	176	170	176	164	154	2018
	$t_{\text{Nacht,i}}$	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	6	22	52
Wohnen	$t_{\text{Tag,i}}$	257	277	360	406	471	484	489	445	376	331	267	244	4407
	$t_{\text{Nacht,i}}$	487	395	384	314	273	236	255	299	344	413	453	500	4353



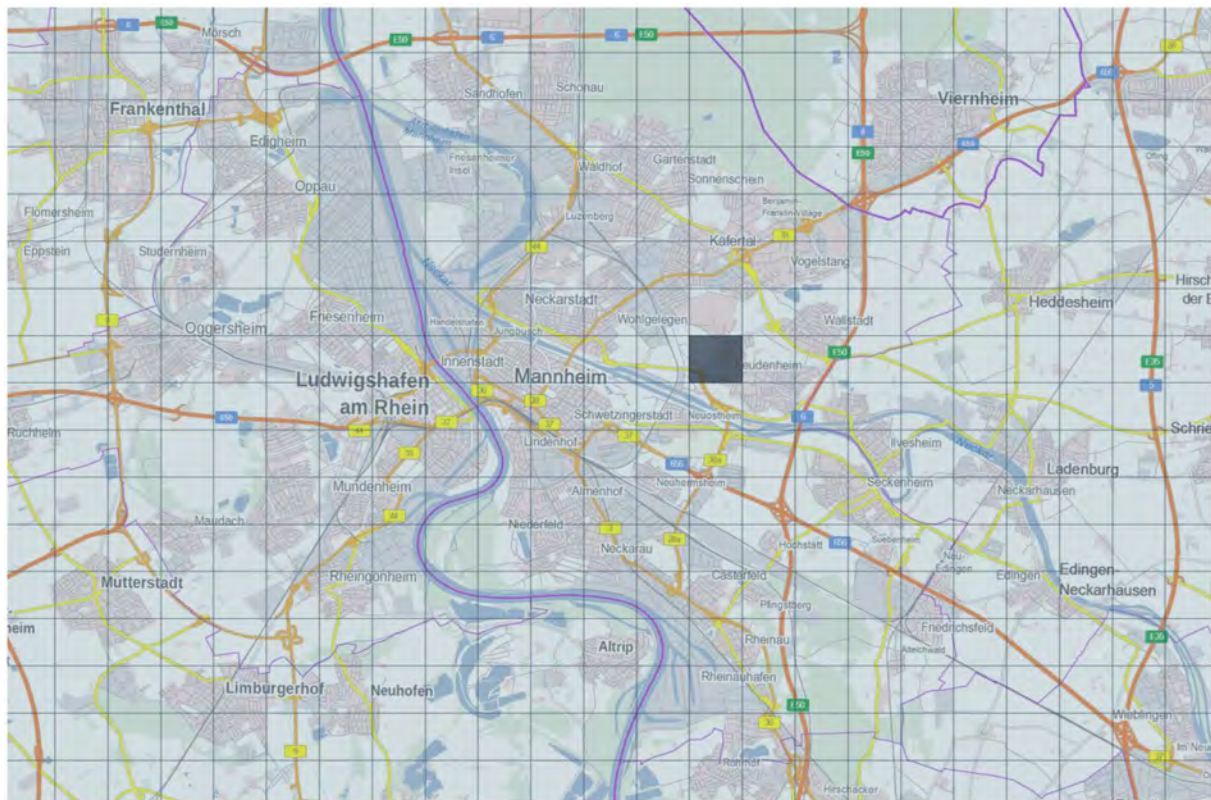
Würzburg		49,789° nördliche Breite, 9,964° östliche Länge, 252 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	37	56	100	174	239	259	212	181	139	75	39	28	1126
Süd	30°	66	77	124	199	252	262	217	199	169	101	57	51	1298
	45°	75	82	127	196	240	244	204	193	171	107	62	59	1288
	60°	80	83	124	184	216	216	182	178	165	108	64	63	1217
	90°	77	73	100	135	141	134	117	124	129	92	58	61	908
Süd-Ost	30°	56	71	116	188	249	256	214	189	162	92	50	43	1233
	45°	61	73	117	183	239	240	203	182	163	95	52	48	1212
	60°	64	73	113	172	220	216	186	169	157	93	52	50	1144
	90°	58	62	92	129	159	151	133	125	126	77	44	46	879
Süd-West	30°	57	69	116	192	244	262	213	195	156	93	52	44	1239
	45°	63	72	117	189	233	247	201	190	155	96	55	49	1220
	60°	66	71	113	178	212	224	182	177	147	95	56	51	1151
	90°	60	60	91	136	153	157	129	133	115	79	49	47	885
Ost	30°	37	56	97	163	230	240	201	167	138	72	37	28	1072
	45°	37	55	94	153	217	221	188	157	133	70	36	27	1015
	60°	36	52	88	141	200	200	172	144	125	65	33	26	938
	90°	29	43	70	109	154	151	130	110	99	53	27	21	728
West	30°	38	55	97	169	223	248	199	176	130	74	40	28	1080
	45°	38	53	94	160	208	232	185	167	123	71	39	28	1024
	60°	37	50	89	149	190	212	169	155	115	67	37	26	948
	90°	32	41	72	116	146	161	129	121	91	54	30	22	742
Nord-Ost	30°	21	40	74	133	200	217	181	141	106	51	26	15	884
	45°	19	35	65	113	172	184	157	120	92	45	24	14	761
	60°	18	32	58	99	149	156	135	103	81	40	22	13	663
	90°	15	25	45	76	112	117	101	78	63	33	17	11	507
Nord-West	30°	21	39	75	138	195	225	180	148	101	53	27	15	891
	45°	19	35	66	118	165	194	155	128	87	46	24	14	770
	60°	18	32	60	103	142	167	134	112	77	41	22	13	674
	90°	15	25	48	80	109	125	102	87	61	32	18	11	521
Nord	30°	19	31	60	121	187	214	174	133	87	39	23	14	807
	45°	18	29	46	86	146	175	142	100	60	35	22	14	639
	60°	17	27	43	68	102	127	104	72	54	33	21	13	499
	90°	14	22	36	57	77	88	75	59	47	28	17	11	388
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		0,6	2,3	5,9	10,1	15,0	18,0	19,0	19,3	14,6	10,3	5,3	1,3	10,2
Grad- tage Kd	10°	602	496	425	160	11	0	0	0	11	172	432	579	2887
	12°	602	496	433	244	38	9	0	0	11	217	440	579	3069
	15°	602	496	433	290	124	35	23	0	132	296	440	579	3449
Feuchtkugelt. °C		-0,2	1,5	3,8	7,2	11,1	13,5	14,6	15,8	12,1	8,8	4,5	0,6	7,8
Enthalpie kJ/kg		9,5	12,4	16,7	23,8	32,5	39,2	41,6	45,2	35,3	27,4	18,2	10,7	26,1
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,6	4,1	4,3	5,5	6,9	8,4	8,9	10,2	8,2	6,8	5,1	3,8	6,3
Windgeschw. m/s		3,3	4,0	4,7	3,0	2,7	3,0	3,0	2,7	2,8	2,3	2,9	2,8	3,1
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	177	190	233	226	234	226	234	234	226	214	183	168	2545
	$t_{\text{Nacht},i}$	56	21	1	0	0	0	0	0	0	19	43	65	205
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht},i}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	161	165	203	216	242	248	254	235	202	181	153	150	2411
	$t_{\text{Nacht},i}$	170	134	128	105	89	73	77	96	119	150	168	181	1489
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	157	154	176	170	176	170	176	176	170	176	165	155	2020
	$t_{\text{Nacht},i}$	19	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	21	50
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	259	277	360	406	470	482	488	444	376	331	268	246	4406
	$t_{\text{Nacht},i}$	485	395	384	314	274	238	256	300	344	413	452	498	4354



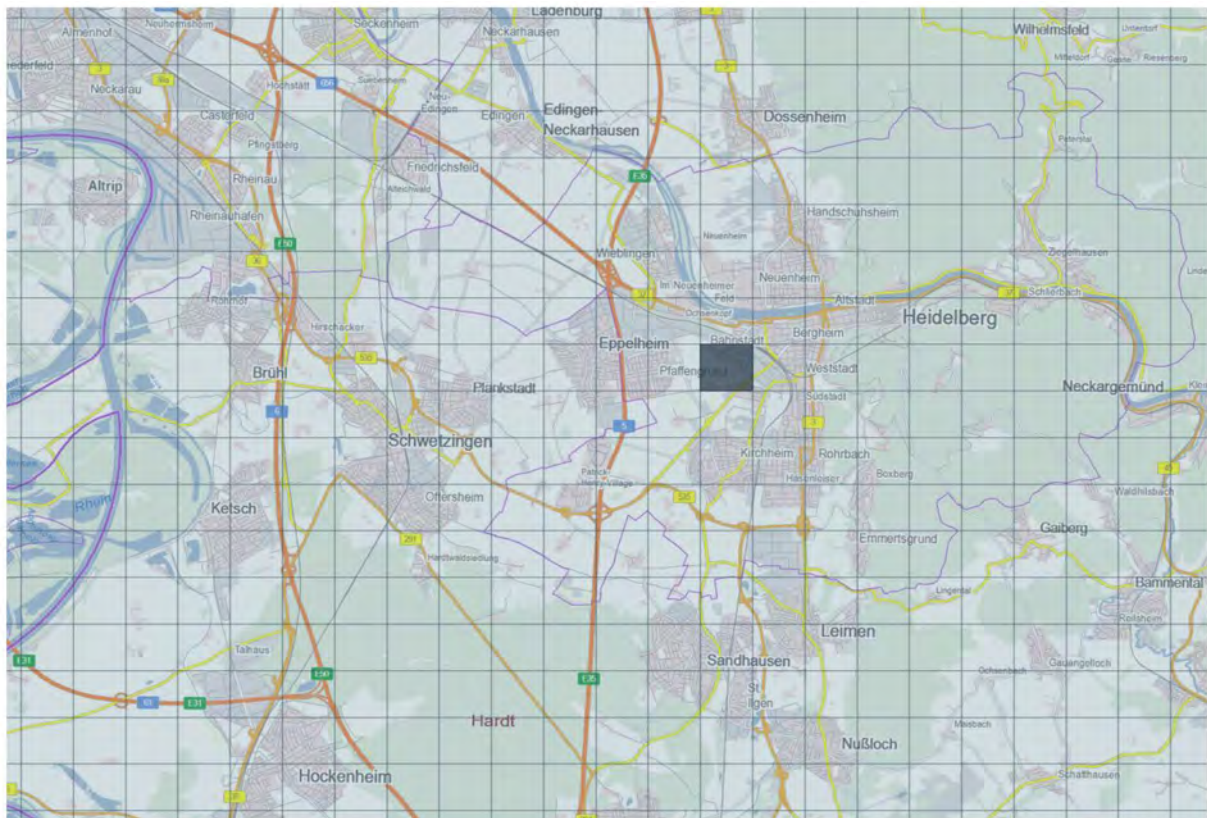
Trier		49,721° nördliche Breite, 6,632° östliche Länge, 234 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	31	68	105	176	206	232	210	192	140	82	40	26	1104
Süd	30°	53	109	141	201	215	230	214	212	176	119	63	49	1303
	45°	60	122	148	199	204	213	201	206	180	128	70	56	1305
	60°	64	127	147	186	183	188	180	190	174	130	73	61	1243
	90°	60	116	122	135	121	118	116	132	137	113	68	59	946
Süd-Ost	30°	45	95	129	192	209	233	213	201	161	103	55	40	1224
	45°	49	101	133	188	199	221	202	193	161	106	58	44	1210
	60°	50	103	130	177	182	201	184	179	154	104	59	46	1145
	90°	45	89	107	133	129	144	130	131	121	86	51	42	882
Süd-West	30°	47	97	129	193	210	225	209	208	167	111	57	43	1240
	45°	51	105	133	189	200	210	196	202	169	117	61	48	1229
	60°	53	107	130	177	182	189	177	189	164	118	63	51	1168
	90°	48	94	107	134	129	134	124	141	131	101	56	48	909
Ost	30°	31	66	103	167	193	223	200	177	132	75	39	25	1047
	45°	30	64	100	158	179	211	187	165	124	72	38	25	989
	60°	28	62	94	145	162	194	170	150	115	67	36	24	912
	90°	23	51	76	111	119	148	126	114	90	53	29	20	702
West	30°	32	69	103	169	195	213	194	187	140	86	41	28	1065
	45°	32	68	100	160	181	198	179	178	135	84	41	28	1011
	60°	31	65	94	148	164	180	161	165	127	81	39	28	938
	90°	26	54	76	115	124	139	121	127	101	66	33	23	735
Nord-Ost	30°	19	38	73	136	170	204	180	150	99	51	25	14	848
	45°	17	33	62	115	145	179	155	126	82	43	22	13	728
	60°	16	30	56	99	123	156	133	108	72	39	20	12	632
	90°	13	25	45	75	90	116	98	82	56	32	17	10	482
Nord-West	30°	19	39	73	138	173	197	176	158	104	56	26	15	859
	45°	17	33	63	118	148	170	150	136	89	48	23	14	738
	60°	16	30	56	103	127	147	128	118	79	42	21	13	644
	90°	13	26	45	80	97	113	97	91	63	34	17	11	502
Nord	30°	17	26	54	122	164	195	171	141	82	37	21	14	765
	45°	16	25	41	87	131	163	139	106	53	34	20	13	607
	60°	15	24	40	66	94	123	102	75	49	32	19	12	478
	90°	12	22	35	56	70	84	74	62	44	28	16	10	376

Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		1,7	3,3	6,0	10,0	13,9	16,9	18,7	18,6	14,3	10,2	6,0	2,3	10,2
Grad- tage Kd	10°	568	468	395	158	59	0	0	0	10	191	374	540	2765
	12°	568	468	433	233	76	26	0	0	55	220	393	549	3022
	15°	568	468	433	296	144	64	6	6	135	295	420	549	3385
Feuchtkugeltemp. °C		0,9	2,0	4,1	7,5	11,0	13,6	15,5	15,2	12,3	8,9	5,4	1,8	8,2
Enthalpie kJ/kg		11,4	13,3	17,4	24,2	32,4	39,1	44,4	43,1	35,8	27,6	20,2	13,0	26,9
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,9	4,0	4,5	5,7	7,3	8,8	10,1	9,7	8,5	6,9	5,7	4,3	6,6
Windgeschw. m/s		2,1	3,0	3,5	3,1	2,4	1,9	2,6	1,8	1,9	2,2	2,6	2,9	2,5

Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	177	190	233	226	234	226	234	234	226	215	184	169	2546
	$t_{\text{Nacht},i}$	56	21	1	0	0	0	0	0	0	19	42	65	204
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	119	107	119	115	119	115	119	115	119	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht},i}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	161	166	203	216	242	248	254	235	202	181	153	150	2411
	$t_{\text{Nacht},i}$	170	134	128	105	89	73	78	96	119	150	167	181	1489
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	157	154	176	170	176	170	176	176	170	176	165	155	2020
	$t_{\text{Nacht},i}$	19	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	21	50
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	259	277	360	406	469	482	487	444	376	331	268	246	4406
	$t_{\text{Nacht},i}$	485	395	384	314	275	238	257	300	344	413	452	498	4354



Mannheim		49,491° nördliche Breite, 8,521° östliche Länge, 102 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	36	73	106	170	205	223	221	216	119	97	43	29	1126
Süd	30°	61	122	136	197	217	225	226	241	138	142	69	53	1336
	45°	69	136	141	195	207	210	213	234	138	154	77	62	1341
	60°	74	143	138	184	187	186	190	216	131	157	81	66	1280
	90°	70	131	112	135	124	117	122	149	100	137	75	64	976
Süd-Ost	30°	53	105	127	185	211	227	222	233	133	127	61	47	1264
	45°	58	113	129	181	201	215	209	227	131	133	65	52	1253
	60°	60	115	125	170	184	195	190	212	125	132	66	55	1190
	90°	55	101	101	129	132	137	134	158	98	111	59	51	922
Süd-West	30°	53	107	126	190	211	216	222	230	130	129	61	45	1257
	45°	57	117	127	187	201	200	210	223	128	135	65	49	1243
	60°	59	120	123	177	184	178	190	208	122	135	67	51	1178
	90°	53	106	98	136	131	123	133	154	95	113	59	47	911
Ost	30°	36	72	104	159	193	217	206	207	116	94	42	30	1080
	45°	36	70	100	150	179	203	191	196	112	90	41	30	1023
	60°	34	67	93	138	163	185	172	182	104	85	39	29	944
	90°	28	56	74	106	122	138	128	141	82	68	32	24	730
West	30°	35	75	102	166	193	200	208	203	113	96	42	28	1069
	45°	35	74	97	158	179	182	193	191	107	92	41	27	1008
	60°	33	71	91	147	162	162	174	177	100	88	39	26	929
	90°	27	59	72	115	123	120	131	137	78	71	32	21	722
Nord-Ost	30°	21	40	77	129	169	197	185	171	95	60	26	16	868
	45°	20	34	65	109	144	172	158	146	83	50	23	14	745
	60°	18	31	57	94	123	147	134	126	74	44	21	13	647
	90°	15	26	46	72	91	108	99	96	58	36	17	11	494
Nord-West	30°	21	41	76	134	169	184	187	169	92	61	26	15	862
	45°	19	34	65	115	144	155	161	143	80	51	23	14	736
	60°	18	31	57	101	123	130	137	124	71	46	21	13	639
	90°	15	26	46	79	92	97	103	95	55	37	17	11	493
Nord	30°	19	26	60	116	160	185	179	155	82	40	22	14	776
	45°	18	25	44	81	126	152	145	113	59	36	21	14	612
	60°	17	25	42	64	89	113	106	77	52	35	20	13	477
	90°	14	23	36	55	68	79	76	64	43	31	17	11	378
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		2,2	3,7	7,1	11,2	15,7	19,0	20,3	20,3	16,1	11,3	6,3	2,8	11,4
Grad- tage Kd	10°	542	457	368	125	0	0	0	0	0	127	387	533	2539
	12°	551	457	387	208	27	0	0	0	8	209	406	533	2787
	15°	551	457	401	258	84	10	0	0	76	261	412	533	3046
Feuchtkugeltemp. °C		0,9	1,9	4,8	7,9	12,1	14,7	15,1	15,3	12,7	8,7	4,8	1,7	8,4
Enthalpie kJ/kg		11,5	12,9	18,4	25,0	34,8	41,6	42,7	43,3	36,2	26,9	18,6	12,6	27,1
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,7	3,7	4,5	5,5	7,5	8,9	8,8	9,1	7,9	6,2	4,9	3,9	6,2
Windgeschw. m/s		3,9	2,5	3,0	2,7	2,7	2,6	2,6	2,4	2,9	2,5	3,0	2,9	2,8
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag,i}}$	178	190	233	226	234	226	234	234	226	215	184	169	2548
	$t_{\text{Nacht,i}}$	55	21	1	0	0	0	0	0	0	19	42	64	202
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag,i}}$	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht,i}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag,i}}$	162	166	203	216	242	247	253	235	202	181	153	151	2411
	$t_{\text{Nacht,i}}$	170	133	128	105	89	73	78	96	119	150	167	181	1489
Industrie- halle	$t_{\text{Tag,i}}$	157	154	176	170	176	170	176	176	170	176	165	156	2022
	$t_{\text{Nacht,i}}$	19	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	20	48
Wohnen	$t_{\text{Tag,i}}$	260	278	360	405	468	481	486	443	375	332	269	247	4406
	$t_{\text{Nacht,i}}$	484	394	384	315	276	239	258	301	345	412	451	497	4354



Heidelberg		49,400° nördliche Breite, 8,666° östliche Länge, 108 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	31	53	109	183	197	214	215	188	131	79	44	27	1077
Süd	30°	47	77	139	208	206	215	219	206	158	108	70	50	1246
	45°	51	84	144	204	196	200	205	200	159	115	79	57	1239
	60°	53	86	141	190	177	177	183	184	152	116	83	61	1172
	90°	49	76	114	136	117	112	117	128	117	99	77	59	877
Süd-Ost	30°	42	67	128	200	201	217	216	198	151	99	62	43	1189
	45°	45	70	130	196	191	206	205	192	151	102	67	48	1172
	60°	46	69	126	185	174	187	186	179	145	101	68	50	1108
	90°	41	58	101	140	124	132	132	133	114	84	60	46	852
Süd-West	30°	41	72	130	198	202	207	215	201	148	98	62	42	1182
	45°	43	76	132	194	193	192	203	195	147	101	66	46	1162
	60°	43	77	129	182	176	171	184	182	140	99	68	48	1096
	90°	37	67	105	138	126	119	130	135	110	82	60	44	842
Ost	30°	31	50	105	176	185	208	202	177	129	77	43	28	1035
	45°	31	48	101	168	172	195	189	168	125	74	42	28	981
	60°	29	45	95	156	156	178	171	155	117	70	41	27	907
	90°	23	37	76	121	117	133	129	119	93	56	33	22	702
West	30°	29	55	107	174	187	193	202	181	125	76	43	27	1024
	45°	28	55	104	165	174	176	188	171	120	73	42	26	967
	60°	26	53	98	153	159	157	171	158	112	68	40	25	893
	90°	21	44	79	120	120	117	130	124	89	55	33	20	696
Nord-Ost	30°	21	35	78	143	164	190	182	149	101	54	27	15	849
	45°	19	31	67	122	140	166	156	128	88	46	24	14	733
	60°	18	28	60	106	120	143	134	111	77	41	22	13	639
	90°	14	22	47	82	90	105	99	85	61	33	18	11	488
Nord-West	30°	21	37	79	141	166	178	183	152	98	53	27	15	843
	45°	19	33	69	120	143	151	157	131	84	46	24	14	725
	60°	17	30	61	105	123	128	135	114	75	41	22	13	632
	90°	14	24	49	82	92	95	102	89	59	33	18	11	489
Nord	30°	19	27	62	127	157	179	176	139	84	40	22	14	766
	45°	18	26	44	90	125	148	143	104	57	35	22	14	605
	60°	17	24	41	65	91	111	105	75	50	33	20	13	472
	90°	14	20	36	55	69	77	74	61	43	28	17	11	370
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		1,9	3,7	7,6	11,8	15,9	19,1	20,4	20,5	15,9	11,4	6,3	2,9	11,5
Grad- tage Kd	10°	560	456	325	138	0	0	0	0	0	146	374	530	2529
	12°	560	456	363	165	36	0	0	0	9	198	412	530	2729
	15°	560	456	375	231	83	5	0	0	71	253	412	530	2975
Feuchtkugelt. °C		0,9	2,1	4,9	8,0	12,4	14,9	15,6	16,3	12,5	9,5	5,0	1,9	8,7
Enthalpie kJ/kg		11,2	13,4	19,0	25,2	35,5	42,0	44,2	46,1	35,7	28,6	19,0	13,1	27,8
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,7	3,9	4,5	5,3	7,8	9,0	9,3	10,1	7,8	6,8	5,1	4,0	6,5
Windgeschw. m/s		2,4	2,5	3,2	2,6	2,2	2,3	2,3	2,2	2,4	1,9	2,1	2,2	2,4
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	178	190	233	226	234	226	234	234	226	215	184	170	2549
	$t_{\text{Nacht},i}$	55	20	1	0	0	0	0	0	0	19	42	64	201
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht},i}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	162	166	203	216	242	247	253	235	202	181	154	151	2411
	$t_{\text{Nacht},i}$	169	133	128	105	89	74	78	96	119	150	167	180	1489
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	157	154	176	170	176	170	176	170	176	165	156	156	2022
	$t_{\text{Nacht},i}$	19	5	0	0	0	0	0	0	0	5	20	20	48
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	260	278	360	405	468	481	486	443	375	332	269	248	4406
	$t_{\text{Nacht},i}$	484	394	384	315	276	239	258	301	345	412	451	496	4354



Saarbrücken		49,236° nördliche Breite, 6,964° östliche Länge, 189 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I _S W/m²												Jahreswert kWh/(m²a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	32	61	114	161	205	236	221	184	141	76	41	28	1098
Süd	30°	52	88	147	181	214	237	227	200	176	103	64	50	1272
	45°	58	95	152	178	203	220	213	194	180	109	72	57	1265
	60°	61	97	149	165	183	194	190	178	174	110	75	61	1197
	90°	57	86	120	119	121	121	122	123	136	95	69	59	897
Süd-Ost	30°	45	79	134	174	206	239	223	191	165	92	56	42	1203
	45°	48	83	135	170	195	226	211	183	166	95	60	47	1182
	60°	48	83	130	160	177	206	191	169	159	93	60	48	1114
	90°	43	71	103	121	125	145	134	124	126	77	53	44	852
Süd-West	30°	46	80	138	175	212	229	222	197	166	96	58	43	1215
	45°	50	84	140	171	203	213	210	190	166	100	62	48	1197
	60°	51	84	136	160	186	191	190	177	160	99	63	50	1131
	90°	46	72	109	121	135	133	134	131	126	83	56	46	872
Ost	30°	31	60	107	153	188	228	208	170	137	73	40	28	1041
	45°	30	59	102	146	173	215	193	158	131	70	39	27	982
	60°	29	56	95	135	156	196	174	144	122	66	37	26	903
	90°	23	46	74	105	117	148	130	109	96	52	30	22	696
West	30°	33	61	112	155	197	215	207	178	137	77	41	29	1055
	45°	33	60	107	147	185	197	192	169	131	75	41	28	999
	60°	31	57	101	137	169	178	174	156	123	71	39	27	924
	90°	26	47	80	108	128	134	130	120	98	58	32	23	721
Nord-Ost	30°	20	41	78	127	167	208	186	145	102	53	26	16	856
	45°	18	36	65	109	141	182	159	123	86	46	23	15	735
	60°	17	33	57	95	120	157	135	106	75	41	21	14	637
	90°	14	26	45	72	91	116	100	80	59	33	17	12	485
Nord-West	30°	21	41	81	128	174	198	186	152	103	55	26	17	865
	45°	19	36	68	110	151	169	159	131	87	48	23	15	744
	60°	17	33	60	97	130	144	135	114	77	44	21	14	649
	90°	14	27	48	76	97	109	101	88	62	35	17	12	501
Nord	30°	18	31	62	115	162	197	179	138	83	41	22	15	779
	45°	17	29	41	84	129	163	144	105	52	37	21	15	614
	60°	16	28	39	62	93	122	104	76	47	35	20	14	480
	90°	13	23	35	52	70	83	74	61	43	29	16	12	375
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		2,0	3,3	6,9	10,4	14,9	17,8	19,3	19,4	15,5	10,9	6,5	2,7	10,8
Grad- tage Kd	10°	559	469	382	176	23	0	0	0	0	123	381	535	2649
	12°	559	469	391	255	51	0	0	0	9	206	399	535	2873
	15°	559	469	396	287	113	41	11	23	84	272	406	535	3194
Feuchtkugeltemp. °C		1,3	2,0	4,9	7,3	11,9	13,7	15,7	15,6	12,8	9,4	5,4	2,1	8,5
Enthalpie kJ/kg		12,1	13,2	18,9	23,8	34,5	39,0	44,7	44,2	36,8	28,6	19,9	13,4	27,5
Abs. Luftfeuchte g/kg		4,0	4,0	4,8	5,3	7,7	8,4	10,0	9,8	8,4	7,0	5,3	4,2	6,6
Windgeschw. m/s		3,6	3,0	3,4	3,4	3,1	2,9	2,8	2,7	2,6	2,9	3,0	3,7	3,1
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	t _{Tag,i}	179	191	233	226	234	226	234	234	226	215	185	170	2551
	t _{Nacht,i}	55	20	1	0	0	0	0	0	0	19	41	63	199
Klassen- zimmer	t _{Tag,i}	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	t _{Nacht,i}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	t _{Tag,i}	162	166	203	216	242	247	253	235	202	181	154	151	2411
	t _{Nacht,i}	169	133	128	105	90	74	78	96	119	150	167	180	1489
Industrie- halle	t _{Tag,i}	157	154	176	170	176	170	176	176	170	176	165	157	2023
	t _{Nacht,i}	18	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	19	47
Wohnen	t _{Tag,i}	261	278	361	405	468	480	485	443	375	332	270	249	4406
	t _{Nacht,i}	483	394	383	315	276	240	259	301	345	412	450	495	4354



Stuttgart		48,790° nördliche Breite, 9,190° östliche Länge, 238 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	37	61	103	162	191	269	209	189	152	95	49	31	1132
Süd	30°	64	85	130	186	199	272	214	208	188	137	75	57	1327
	45°	73	91	134	185	188	253	201	202	191	148	83	66	1325
	60°	77	92	131	173	169	223	179	185	185	150	87	71	1259
	90°	73	80	105	127	112	136	115	128	143	130	79	69	948
Süd-Ost	30°	55	76	120	179	192	267	209	200	179	126	66	49	1256
	45°	61	78	120	176	181	251	197	194	180	132	70	54	1239
	60°	63	77	116	165	164	225	178	180	174	131	71	57	1171
	90°	56	64	93	124	117	155	124	132	138	111	61	53	899
Süd-West	30°	56	78	122	176	197	269	211	200	174	121	67	49	1258
	45°	61	81	124	171	187	254	200	194	173	126	72	54	1241
	60°	63	81	120	159	171	228	182	180	166	124	73	57	1172
	90°	57	69	97	118	123	157	128	132	130	102	64	52	898
Ost	30°	37	58	99	156	176	251	194	179	150	95	47	31	1078
	45°	37	56	95	147	163	232	180	168	145	93	46	31	1017
	60°	35	53	89	134	147	209	161	154	137	88	43	30	936
	90°	29	43	70	100	110	156	120	117	111	72	35	25	722
West	30°	37	61	102	151	183	253	199	179	144	90	49	31	1081
	45°	37	60	98	140	172	236	185	168	137	86	47	31	1021
	60°	35	57	93	127	156	213	168	154	128	81	45	30	940
	90°	29	46	74	96	119	159	125	118	102	65	37	25	728
Nord-Ost	30°	22	42	75	127	158	227	176	150	113	62	30	17	875
	45°	20	37	65	106	135	192	150	127	97	52	26	15	748
	60°	18	33	57	90	115	162	127	109	85	46	24	14	644
	90°	15	26	45	68	85	120	95	82	68	37	20	12	492
Nord-West	30°	22	44	77	124	163	229	179	150	109	59	30	17	880
	45°	19	38	66	103	142	195	154	127	92	50	27	15	753
	60°	18	35	59	88	122	165	132	110	81	44	24	14	653
	90°	15	27	47	68	92	122	98	84	64	36	20	12	501
Nord	30°	19	33	60	112	153	220	171	138	91	41	24	15	790
	45°	18	31	44	79	124	179	139	103	58	36	24	15	621
	60°	17	29	42	61	90	129	102	71	51	34	22	14	484
	90°	14	24	36	52	68	86	73	58	46	31	19	12	379
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		2,2	3,4	6,8	10,8	15,4	18,6	20,4	20,1	15,9	11,4	6,5	2,7	11,2
Grad- tage Kd	10°	552	464	369	122	22	0	0	0	0	84	375	527	2515
	12°	552	464	406	202	32	0	0	0	16	208	392	536	2810
	15°	552	464	406	272	92	18	0	0	86	253	399	536	3080
Feuchtkugeltmp. °C		1,1	2,0	4,3	7,7	11,9	14,0	16,3	15,9	12,3	9,3	5,3	1,6	8,5
Enthalpie kJ/kg		11,7	13,4	17,6	24,8	34,5	40,1	46,6	45,4	35,6	28,2	19,8	12,8	27,6
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,8	4,0	4,3	5,5	7,6	8,5	10,3	10,0	7,8	6,6	5,3	4,0	6,5
Windgeschw. m/s		2,7	3,0	3,1	2,5	2,7	2,7	2,4	2,6	2,3	1,9	2,3	2,6	2,6
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	180	191	233	226	234	226	234	234	226	215	186	172	2556
	$t_{\text{Nacht},i}$	53	20	1	0	0	0	0	0	0	19	40	62	194
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht},i}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	163	166	203	215	241	246	252	234	202	182	154	152	2410
	$t_{\text{Nacht},i}$	168	133	128	105	90	75	79	97	119	150	166	179	1490
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	158	154	176	170	176	170	176	176	170	176	166	158	2026
	$t_{\text{Nacht},i}$	18	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	18	44
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	263	279	361	404	466	478	483	442	375	333	271	251	4405
	$t_{\text{Nacht},i}$	481	393	383	316	278	242	261	302	345	411	449	493	4355

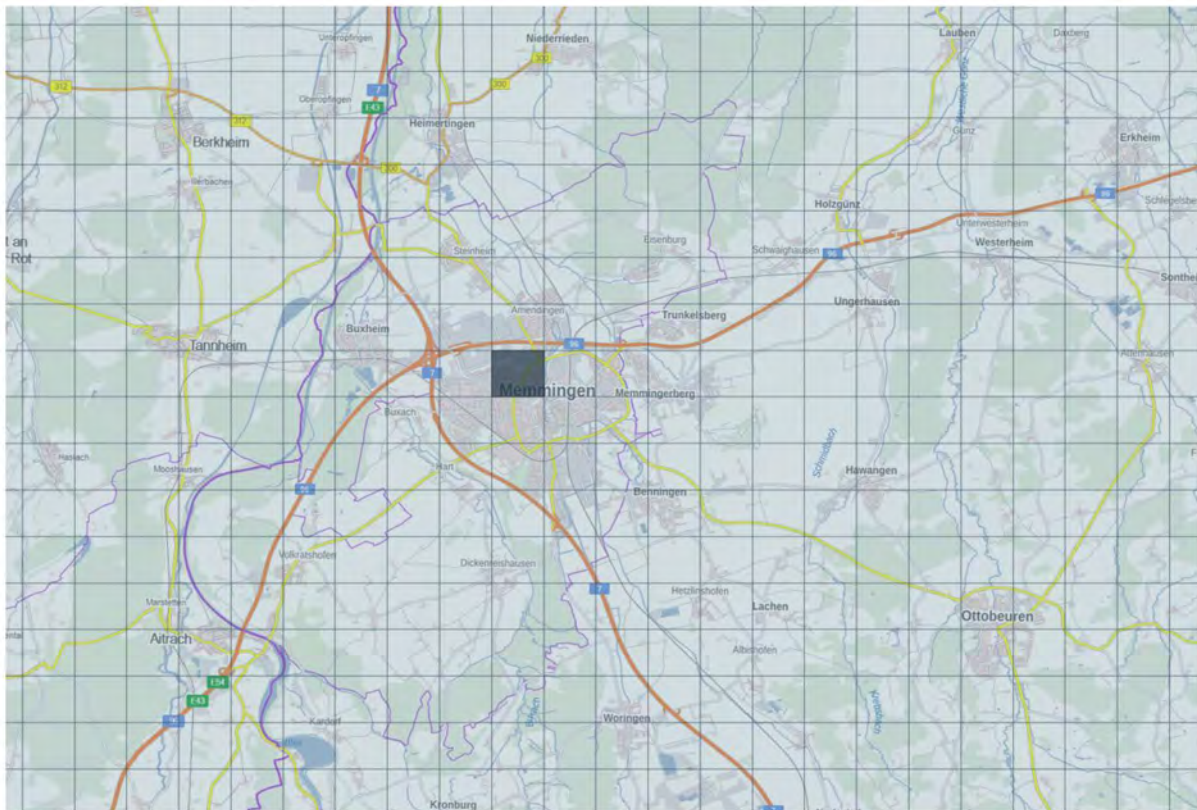


Böblingen		48,677° nördliche Breite, 9,023° östliche Länge, 452 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	36	68	114	159	202	247	209	193	146	86	47	29	1122
Süd	30°	58	101	148	181	212	246	211	210	181	125	74	49	1313
	45°	65	109	154	178	201	228	197	202	185	136	82	56	1310
	60°	68	113	152	167	181	200	175	185	178	138	86	59	1243
	90°	64	100	123	122	119	122	111	126	138	121	80	57	936
Süd-Ost	30°	49	89	136	176	212	245	206	203	171	109	64	43	1247
	45°	53	93	138	174	204	232	194	196	173	114	69	47	1232
	60°	54	93	135	164	188	209	176	181	166	112	70	49	1167
	90°	48	79	108	125	137	147	124	133	132	94	61	45	900
Süd-West	30°	52	91	137	169	203	243	211	203	169	116	66	42	1244
	45°	56	97	139	164	192	227	199	195	169	123	71	46	1227
	60°	58	97	135	152	174	204	181	181	162	124	73	48	1160
	90°	52	84	108	113	124	142	130	132	127	106	64	43	895
Ost	30°	34	66	110	156	198	233	194	182	143	81	45	30	1077
	45°	34	64	105	149	187	218	180	171	138	78	44	29	1022
	60°	32	60	99	137	173	199	163	157	130	73	42	28	945
	90°	26	49	78	104	133	150	124	119	103	60	34	23	733
West	30°	37	69	110	146	185	230	200	183	140	89	47	28	1071
	45°	37	67	105	135	171	214	188	172	133	88	46	28	1013
	60°	36	64	99	123	155	195	172	158	125	85	44	27	937
	90°	30	53	78	94	118	149	131	122	100	71	37	22	734
Nord-Ost	30°	22	43	80	127	173	212	177	155	108	53	28	18	876
	45°	20	37	67	109	150	183	152	132	91	45	25	16	753
	60°	19	34	59	94	130	157	131	113	80	41	23	15	655
	90°	15	27	47	71	98	115	98	85	63	33	19	12	500
Nord-West	30°	23	44	80	120	163	212	182	156	105	58	29	18	871
	45°	21	39	68	100	137	181	159	133	89	50	26	16	746
	60°	19	35	60	87	118	156	138	116	78	45	24	15	651
	90°	15	29	48	68	89	119	104	89	63	37	19	12	506
Nord	30°	20	32	62	111	159	206	173	145	87	37	24	17	785
	45°	19	30	44	79	126	170	143	110	54	34	23	16	621
	60°	18	29	42	61	88	125	107	76	48	33	22	15	486
	90°	15	24	37	52	66	83	75	61	44	29	18	12	377
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		0,2	1,8	5,0	9,2	13,8	17,2	18,5	18,6	14,2	9,9	4,6	1,0	9,5
Grad- tage Kd	10°	613	511	466	194	57	0	0	10	22	178	451	588	3089
	12°	613	511	466	303	107	18	0	29	74	267	461	588	3436
	15°	613	511	466	324	158	71	18	29	139	314	461	588	3690
Feuchtkugeltemp. °C		-0,7	0,5	3,2	6,5	10,0	13,3	15,2	14,6	11,5	8,4	3,6	0,4	7,2
Enthalpie kJ/kg		9,0	10,8	15,9	22,7	30,5	39,1	44,0	42,4	34,3	26,9	16,8	10,6	25,3
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,5	3,6	4,4	5,4	6,6	8,6	10,1	9,4	7,9	6,7	4,8	3,8	6,3
Windgeschw. m/s		2,8	2,4	2,6	2,3	2,1	2,0	2,2	1,9	1,8	2,1	2,2	2,4	2,2
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag,i}}$	180	191	233	226	234	226	234	234	226	215	186	172	2557
	$t_{\text{Nacht,i}}$	53	19	1	0	0	0	0	0	0	19	40	61	193
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag,i}}$	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht,i}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag,i}}$	163	166	203	215	241	246	252	234	202	182	155	152	2410
	$t_{\text{Nacht,i}}$	168	133	128	105	90	75	79	97	119	150	166	179	1490
Industrie- halle	$t_{\text{Tag,i}}$	158	154	176	170	176	170	176	176	170	176	166	158	2026
	$t_{\text{Nacht,i}}$	18	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	17	44
Wohnen	$t_{\text{Tag,i}}$	264	280	361	404	466	477	483	441	375	333	271	251	4405
	$t_{\text{Nacht,i}}$	480	392	383	316	278	243	261	303	345	411	449	493	4355



München		48,148° nördliche Breite, 11,648° östliche Länge, 521 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	39	70	127	183	246	254	213	179	150	81	51	37	1193
Süd	30°	59	105	168	210	259	253	217	194	185	106	78	69	1390
	45°	65	115	175	208	246	234	203	187	188	110	86	80	1386
	60°	67	118	173	195	220	204	180	171	181	110	90	87	1311
	90°	62	105	141	140	140	124	115	118	140	92	82	84	980
Süd-Ost	30°	54	94	157	202	257	249	213	183	170	96	70	60	1320
	45°	58	100	162	198	246	233	201	175	169	97	75	66	1301
	60°	59	100	158	186	225	210	181	160	160	94	76	69	1227
	90°	52	86	129	139	161	147	128	117	124	76	67	64	941
Süd-West	30°	51	93	152	199	248	252	213	192	177	98	68	59	1317
	45°	53	99	153	194	235	236	201	186	179	101	72	66	1297
	60°	54	99	149	181	212	213	181	173	172	98	73	69	1222
	90°	46	84	120	135	148	149	127	128	136	81	63	63	935
Ost	30°	40	69	127	176	238	236	200	163	139	77	51	38	1138
	45°	40	68	123	166	223	219	186	151	131	73	50	38	1074
	60°	38	64	116	152	205	199	168	136	121	68	48	38	990
	90°	31	53	93	116	155	151	126	103	95	54	39	32	766
West	30°	37	69	120	172	224	239	200	176	149	80	49	38	1136
	45°	35	67	114	160	206	224	186	166	143	77	48	38	1072
	60°	33	63	107	146	185	204	168	153	134	72	45	37	987
	90°	27	51	84	113	139	156	126	118	106	57	36	31	763
Nord-Ost	30°	26	44	90	142	206	216	182	140	106	58	33	20	925
	45°	24	39	76	119	176	185	157	118	88	50	29	19	790
	60°	22	35	67	101	150	158	134	101	76	45	26	17	682
	90°	17	29	54	77	111	117	99	76	60	35	21	15	521
Nord-West	30°	25	45	86	139	195	220	182	150	112	60	32	20	927
	45°	23	38	72	116	162	189	157	131	95	52	28	18	791
	60°	21	34	63	99	135	163	134	113	82	46	26	17	683
	90°	17	28	51	77	101	122	100	86	64	36	21	14	523
Nord	30°	23	32	66	125	190	212	176	135	89	46	27	18	834
	45°	22	31	46	87	146	174	144	104	56	41	26	18	654
	60°	20	29	44	63	98	129	107	74	49	38	24	17	506
	90°	16	25	39	55	71	83	75	60	44	31	20	14	391
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		-0,7	1,1	4,4	8,9	13,8	16,8	18,0	18,2	13,6	9,2	4,0	0,2	9,0
Grad- tage Kd	10°	642	528	456	242	62	21	0	0	11	260	455	613	3290
	12°	642	528	475	304	114	30	0	0	82	278	465	613	3531
	15°	642	528	482	326	170	68	22	17	151	326	480	613	3825
Feuchtkugeltemp. °C		-1,4	-0,1	2,2	6,0	10,0	13,1	15,0	15,1	11,6	7,8	2,9	-0,4	6,9
Enthalpie kJ/kg		7,9	10,1	14,2	22,0	31,0	38,7	43,6	44,2	34,7	25,8	15,8	9,4	24,9
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,5	3,6	3,9	5,2	6,8	8,6	10,1	10,3	8,4	6,6	4,7	3,7	6,3
Windgeschw. m/s		3,9	3,0	3,3	3,0	3,0	2,3	3,0	2,5	2,6	2,5	3,1	3,3	3,0
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag,i}}$	182	192	233	226	234	226	234	234	226	215	187	174	2562
	$t_{\text{Nacht,i}}$	52	19	1	0	0	0	0	0	0	18	39	60	188
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag,i}}$	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht,i}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag,i}}$	164	167	203	215	240	245	251	234	201	182	155	153	2410
	$t_{\text{Nacht,i}}$	167	132	128	106	91	76	80	97	119	149	165	178	1490
Industrie- halle	$t_{\text{Tag,i}}$	159	155	176	170	176	170	176	176	170	176	167	160	2029
	$t_{\text{Nacht,i}}$	17	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	16	41
Wohnen	$t_{\text{Tag,i}}$	266	281	361	403	464	475	481	440	375	333	273	254	4405
	$t_{\text{Nacht,i}}$	478	391	383	317	280	245	263	304	345	411	447	490	4355

Freiburg		48,009° nördliche Breite, 7,844° östliche Länge, 264 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	35	64	98	175	203	215	200	191	137	87	39	35	1083
Süd	30°	59	95	126	199	209	214	203	207	166	122	56	63	1257
	45°	66	104	130	196	196	198	190	200	168	131	60	72	1250
	60°	70	106	128	183	175	174	168	183	162	133	62	78	1184
	90°	66	95	104	132	111	108	107	124	124	115	55	75	888
Süd-Ost	30°	50	84	114	189	207	207	198	203	156	108	50	55	1186
	45°	54	88	115	185	197	193	186	197	156	112	52	61	1167
	60°	56	88	111	174	181	173	167	183	149	110	51	64	1102
	90°	50	75	88	132	130	120	118	134	117	91	44	59	845
Süd-West	30°	52	86	119	192	205	216	202	197	158	113	51	53	1202
	45°	57	91	121	189	194	203	191	189	157	118	53	58	1186
	60°	59	91	118	178	176	184	173	174	151	118	53	60	1122
	90°	53	79	96	135	126	129	123	126	118	99	46	55	865
Ost	30°	35	62	92	166	194	195	185	184	132	82	38	36	1025
	45°	34	60	88	157	183	179	171	174	126	78	36	36	968
	60°	33	57	82	146	168	161	154	160	118	73	34	35	891
	90°	27	46	64	113	127	119	115	121	92	57	27	29	686
West	30°	37	64	98	169	191	208	191	176	133	87	39	34	1045
	45°	37	63	95	161	179	195	179	164	128	85	38	33	992
	60°	36	60	90	150	164	178	163	149	120	80	36	32	920
	90°	30	49	72	119	127	135	124	114	96	65	29	26	721
Nord-Ost	30°	21	41	69	135	172	181	168	156	102	56	27	20	841
	45°	19	35	59	116	148	154	144	134	87	47	24	18	721
	60°	18	32	52	100	128	130	122	114	75	42	22	16	624
	90°	15	26	41	77	95	96	91	85	58	34	18	14	474
Nord-West	30°	22	42	73	138	171	192	174	151	103	59	28	19	857
	45°	20	36	64	119	146	168	151	127	88	50	25	17	741
	60°	18	33	57	104	127	146	131	109	78	45	23	16	648
	90°	15	27	45	82	98	109	98	84	63	37	18	13	503
Nord	30°	19	30	57	122	164	181	165	142	86	41	24	17	767
	45°	18	29	43	87	131	151	136	107	57	37	23	17	612
	60°	17	27	40	64	93	115	101	74	49	35	21	16	478
	90°	14	23	35	55	66	77	71	60	43	30	17	13	369
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		2,2	3,5	7,2	11,3	15,8	18,9	20,3	20,2	16,0	11,6	6,2	3,2	11,4
Grad- tage Kd	10°	526	453	344	97	10	0	0	0	0	89	361	511	2391
	12°	553	462	381	182	46	9	0	0	18	161	406	521	2739
	15°	553	462	396	244	104	21	0	0	71	258	414	521	3043
Feuchtkugelt. °C		0,8	2,2	5,0	7,9	11,7	15,2	16,6	16,4	12,4	9,8	5,3	2,0	8,8
Enthalpie kJ/kg		11,4	13,7	19,1	25,4	34,1	43,5	47,5	46,7	35,9	29,5	19,8	13,4	28,4
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,7	4,1	4,7	5,6	7,3	9,7	10,7	10,4	7,8	7,1	5,4	4,1	6,7
Windgeschw. m/s		5,0	3,6	3,6	4,0	3,7	3,5	3,3	3,2	3,1	2,8	3,4	3,8	3,6
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag,i}}$	182	192	233	226	234	226	234	234	226	215	187	174	2564
	$t_{\text{Nacht,i}}$	51	19	1	0	0	0	0	0	0	18	39	59	186
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag,i}}$	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht,i}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag,i}}$	164	167	203	215	240	244	251	234	201	182	155	153	2410
	$t_{\text{Nacht,i}}$	167	132	128	106	91	76	81	98	119	149	165	178	1490
Industrie- halle	$t_{\text{Tag,i}}$	159	155	176	170	176	170	176	176	170	176	167	160	2030
	$t_{\text{Nacht,i}}$	17	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	16	40
Wohnen	$t_{\text{Tag,i}}$	266	281	361	403	463	474	480	440	375	334	274	254	4405
	$t_{\text{Nacht,i}}$	478	391	383	317	281	246	264	304	345	410	446	490	4355



Memmingen		47,993° nördliche Breite, 10,173° östliche Länge, 597 m ü.NN												TRY2015J
Einstrahlung		Mittlere monatliche Strahlungsintensität I_s W/m ²												Jahreswert kWh/(m ² a) Jan bis Dez
Orientier.	Neigung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
horizontal	0°	40	62	121	185	242	219	216	208	125	99	46	26	1163
Süd	30°	67	88	159	209	252	218	219	230	146	143	70	42	1350
	45°	76	95	167	206	239	202	205	223	146	154	77	46	1343
	60°	80	97	165	192	213	178	182	205	138	156	80	49	1270
	90°	76	85	136	137	137	110	116	140	104	135	73	46	948
Süd-Ost	30°	59	79	144	205	247	214	213	221	140	124	62	38	1277
	45°	64	82	146	201	234	199	200	214	139	128	66	41	1256
	60°	66	82	142	190	214	178	181	199	132	125	67	42	1183
	90°	59	69	114	143	153	123	127	145	103	104	59	38	905
Süd-West	30°	58	80	149	196	248	217	219	221	137	133	62	36	1286
	45°	63	84	153	190	235	204	208	214	134	141	65	38	1267
	60°	65	84	149	177	214	183	189	198	126	141	66	39	1194
	90°	59	72	122	131	152	127	135	144	97	120	58	34	915
Ost	30°	41	60	114	181	227	202	199	197	122	91	46	27	1104
	45°	40	59	108	173	212	186	183	185	117	87	44	27	1040
	60°	39	56	101	160	194	167	166	169	109	81	43	26	958
	90°	33	45	79	123	147	124	124	128	85	65	35	22	740
West	30°	40	62	120	170	229	207	208	196	117	103	45	25	1116
	45°	40	61	116	158	213	192	196	183	111	101	43	24	1055
	60°	39	58	109	145	195	174	179	168	102	97	41	23	973
	90°	32	48	86	113	150	130	136	128	79	79	34	19	757
Nord-Ost	30°	25	42	82	148	200	187	180	164	99	59	30	18	903
	45°	22	37	69	127	170	160	154	138	85	50	26	16	772
	60°	20	33	61	110	145	135	131	118	75	44	24	15	667
	90°	17	27	49	82	107	99	97	88	58	37	19	12	507
Nord-West	30°	24	43	86	140	201	191	189	165	95	66	29	17	913
	45°	22	37	73	118	171	165	165	138	81	55	26	16	782
	60°	20	34	64	102	147	141	143	118	71	49	24	15	679
	90°	16	27	51	79	112	104	108	90	55	40	19	12	522
Nord	30°	21	32	64	129	190	184	178	151	85	42	24	16	818
	45°	20	30	47	93	150	152	146	111	60	36	23	15	647
	60°	19	28	45	68	104	115	108	74	51	35	22	14	500
	90°	16	24	40	58	76	77	76	61	43	31	18	12	388
Außentemperatur/ weitere Kennwerte		Monatsmittelwerte												Jahreswert Jan bis Dez
Außentemperatur °C		-0,8	0,6	4,0	8,6	13,6	17,0	17,8	17,8	13,6	9,2	3,4	0,0	8,8
Grad- tage Kd	10°	644	543	495	257	10	10	0	0	46	214	499	622	3340
	12°	644	543	495	309	127	28	8	0	82	279	499	622	3634
	15°	644	543	495	342	171	73	44	46	163	334	499	622	3976
Feuchtkugelt. °C		-1,4	-0,6	2,0	5,5	9,1	13,6	13,7	14,2	11,2	7,6	2,5	-0,7	6,4
Enthalpie kJ/kg		7,7	9,1	13,9	20,8	28,7	40,2	40,4	41,7	33,8	25,7	14,8	9,2	23,9
Abs. Luftfeuchte g/kg		3,4	3,4	3,9	4,9	6,0	9,2	8,9	9,5	8,0	6,5	4,6	3,7	6,0
Windgeschw. m/s		2,4	2,4	2,2	2,0	1,6	1,5	1,7	1,3	1,7	1,5	2,2	2,3	1,9
Nutzung		Tag- und Nachtstunden je Monat in h												Jahreswert Jan bis Dez
Büro	$t_{\text{Tag},i}$	182	192	233	226	234	226	234	234	226	215	187	174	2564
	$t_{\text{Nacht},i}$	51	19	1	0	0	0	0	0	0	18	39	59	186
Klassen- zimmer	$t_{\text{Tag},i}$	119	107	119	115	119	115	119	119	115	119	115	119	1400
	$t_{\text{Nacht},i}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Küche	$t_{\text{Tag},i}$	164	167	203	215	240	244	251	234	201	182	155	153	2410
	$t_{\text{Nacht},i}$	167	132	128	106	91	76	81	98	119	149	165	178	1490
Industrie- halle	$t_{\text{Tag},i}$	159	155	176	170	176	170	176	176	170	176	167	160	2030
	$t_{\text{Nacht},i}$	17	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	16	40
Wohnen	$t_{\text{Tag},i}$	266	281	361	403	463	474	480	440	375	334	274	254	4405
	$t_{\text{Nacht},i}$	478	391	383	317	281	246	264	304	345	410	446	490	4355