

Entwicklung eines Sommerreferenzjahres zur Bestimmung der sommerlichen Überhitzung von Gebäuden

Mark F Jentsch¹

¹ *Bauhaus-Universität Weimar, 99423 Weimar, E-Mail: mark.jentsch@uni-weimar.de*

Einleitung

Für Untersuchungen zum thermischen Verhalten von Gebäuden sowie der Energieeffizienz der technischen Gebäudeausrüstung mittels Gebäudesimulation werden in der Regel künstlich zusammengesetzte Referenzjahre verwendet, die „typische“ Klimabedingungen des jeweiligen Standortes repräsentieren [1]. Die genauen Methoden zur Erstellung solcher Referenzjahre variieren hierbei in verschiedenen Ländern. So werden beispielsweise die in den USA gebräuchlichen Typical Meteorological Years (TMY) [2] sowie die britischen Test Reference Years (TRY) [3] oder das niederländische Referenzklima-jahr [4] aus einzelnen Monaten langjähriger Datenreihen mithilfe der Finkelstein-Schafer-Statistik [5] zusammengesetzt, jedoch mit Unterschieden in der Gewichtung einzelner Klimaparameter. Im Gegensatz hierzu nutzt die dänische Design Reference Year (DRY) Methode [6] eine Kombination aus einer klimatologischen und mathematischen Bewertung zur Auswahl der einzelnen Monate. Die deutschen Testreferenzjahre (TRY) [7] stellen insofern eine Besonderheit dar, als dass sie nicht aus Monatsscheiben sondern aus Sequenzen von 10 bis 30 Tagen zusammengesetzt werden. Weiterhin wird die Auswahl ausschließlich auf Basis des Mittelwertes und der Streuung der stündlichen Lufttemperatur mit einer Gewichtung von 70 und 30% vorgenommen [7], während in anderen Ländern in der Regel neben der Lufttemperatur auch Solarstrahlung / Bedeckungsgrad sowie Luftfeuchte und / oder Windgeschwindigkeit betrachtet werden [2-4,6].

Ein Schwachpunkt von „typischen“ Referenzjahren ist, dass sie als repräsentative Wetterdatensätze für energetische Betrachtungen nur bedingt für die Bewertung sommerlicher Überhitzungserscheinungen in nicht klimatisierten Gebäuden geeignet sind, was durch entsprechende Studien belegt wird [8,9]. Um dieser Problematik zu begegnen, sind spezifische sommer-fokussierte Referenzjahre notwendig, die einen nah-extrem Sommer abbilden, wobei jedoch die Definition eines solchen Sommers keineswegs geklärt ist. Die Ableitung von sommer-fokussierten warmen Referenzjahren aus langjährigen Klimadaten erfolgt demnach in Europa bisher auch nach unterschiedlichen, länderspezifischen Methoden, denen jedoch gemein ist, dass sie sich allein auf die Lufttemperatur als Auswahlkriterium beziehen [3,4,7]. So stellen die 2002 in Großbritannien eingeführten Design Summer Years (DSY) [3] und die deutschen extremen TRY von 2011 [7] jeweils ein zusammenhängendes reales Jahr dar. Während jedoch in Großbritannien das DSY als das drittwärmste Jahr in einer Sequenz von Jahren auf Basis der mittleren Lufttemperatur von April bis einschließlich

September definiert ist [3], wurde das deutsche sommer-fokussierte extreme TRY aus der Rangfolge von Sommerhalbjahren (April-September) entsprechend dem 90%-Quantil der stündlichen Lufttemperatur und der Anzahl der Tage, in denen das 95%-Quantil der Tageshöchsttemperatur der Klimaregion überschritten wird, mit einer Gewichtung von 70 und 30% ermittelt [7]. In den Niederlanden gibt es hingegen gemäß der Norm NEN 5060 [4] 3 verschiedene Datensätze, die aus einzelnen Monaten zusammengesetzt wurden. Hierzu wurde für das Sommerhalbjahr eine Häufigkeitsverteilung der über fünf Tage gemittelten Lufttemperatur aufgestellt, worauf dann die Monate aus langjährigen Wetterdaten ermittelt wurden, die dem 95, 98 und 99%-Quantil für die über fünf Tage gemittelte Lufttemperatur entsprechen [4,10].

Weiterhin gibt es in Deutschland neben den sommer-fokussierten TRY auch separate winter-fokussierte TRY [7]. Diese fehlen in Großbritannien [3], während in den Niederlanden extreme Winterabschnitte direkt mit den extremen Sommerabschnitten in einem Datensatz verknüpft wurden [4,10]. Auch der Anwendungszweck der derzeitigen sommer-fokussierten Referenzjahre ist nicht identisch. Während die britischen DSY im Wesentlichen zur Bewertung sommerlicher Überhitzungserscheinungen gedacht sind [3], dienen die niederländischen und deutschen extremen TRY primär der Auslegung gebäudetechnischer Anlagen unter extremen Witterungsabschnitten [4,7]. Insgesamt wird deutlich, dass die einzelnen Methoden zur Erstellung von sommer-fokussierten Referenzjahren nur bedingt vergleichbar sind. Weiterhin stellt sich die Frage, inwieweit sie im Vergleich zu den jeweiligen Standardreferenzjahren für die Bewertung sommerlicher Überhitzungserscheinungen in natürlich belüfteten Gebäuden geeignet sind.

Unzulänglichkeiten derzeitiger sommer-fokussierter Referenzjahre

Simulationen zur sommerlichen Überhitzung von natürlich belüfteten Bürogebäuden in Großbritannien haben ergeben, dass für einige Wetterstationen die Überschreitungshäufigkeiten für die Innenraumtemperatur zu den gebräuchlichen Bezugswerten 25 und 28°C für Simulationen mit dem DSY häufig geringer sind als mit dem entsprechenden TRY für den gleichen Ort [11]. Neben der Wahl eines kompletten Halbjahres, das sowohl extrem warme als auch vergleichsweise kühle Monate beinhalten kann, liegt dies unter anderem begründet in der fehlenden Berücksichtigung der Solarstrahlung bei der Auswahl eines warmen Referenzjahres, die jedoch eine wichtige Rolle für sommerliche Überhitzungserscheinun-

gen in Gebäuden spielt [11]. Mehr noch, in Großbritannien zeigen bereits die Lufttemperaturdaten der TRY für einige Stationen höhere Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden zu den Bezugswerten 25 und 28°C als die entsprechenden DSY [11]. All dies deutet auf strukturelle Defizite der Auswahlmethode der DSY hin, die sich nachweislich auch nicht mit einer verbesserten Datengrundlage, das heißt einer größeren Anzahl von Jahren für den Selektionsprozess, überkommen lassen [12]. Insgesamt weisen 4 der 14 derzeitigen britischen Klimadatenätze für die Gebäudesimulation signifikante Unzulänglichkeiten bei den DSY auf [11].

Da bei den deutschen sommer-fokussierten TRY ähnlich wie bei den britischen DSY ein zusammenhängendes Jahr ausgewählt wird, liegt die Vermutung nahe, dass es hier zu ähnlichen Problemen zwischen den mittleren und den sommer-fokussierten TRY kommt wie in Großbritannien. Eine Simulationsstudie mit Varianten für einen Büro- und einen Wohnraum, bei der die Simulationsergebnisse für die Übertemperaturgradstunden zu den Bezugswerten 25, 26 und 27°C zwischen den beiden Klimadatenätzen verglichen wurden, hat jedoch ergeben, dass die sommer-fokussierten TRY grundsätzlich eine größere jährliche Überhitzung erzeugen als die dazugehörigen TRY der gleichen Klimaregion [13]. Die einzige Ausnahme in den 15 Klimaregionen bildet der Datensatz für Rostock-Warnemünde, wo für einzelne Simulationsvarianten die Übertemperaturgradstunden der Bezugswerte 26 und 27°C des TRY die des sommer-fokussierten TRY überstiegen [13]. Die Studie scheint dennoch darauf hinzudeuten, dass die Auswahlmethode basierend auf dem 90%-Quantil der stündlichen Lufttemperatur sowie dem 95%-Quantil der Tageshöchsttemperatur der Klimaregion insgesamt der DSY Auswahlmethode überlegen ist. Dies mag jedoch, zumindest in Teilen, auch daran liegen, dass in Deutschland sowohl die mittleren als auch die extremen TRY allein auf Basis von Lufttemperaturdaten ausgewählt wurden [7] womit eine gewisse Vergleichbarkeit der Methoden gegeben ist. Diese existiert in Großbritannien nicht, wo die TRY auf Basis der Finkelstein-Schafer Statistik [5] zusammengesetzt wurden [3].

Es hat sich bei der Auswertung von Simulationsergebnissen zu Übertemperaturgradstunden in Gebäuden, die mit den mittleren und sommer-fokussierten deutschen TRY erzielt wurden, jedoch auch gezeigt, dass es keine Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Wetterstationen im Sinne einer prozentualen Veränderung zwischen mittleren und extremen TRY gibt [13]. Dies deckt sich mit den Analysen zu den britischen TRY und DSY [11] und gilt insbesondere dann, wenn einzelne Monate miteinander verglichen werden [11,13]. Wie der in Abbildung 1 für Birmingham, Mannheim und De Bilt gezeigte Vergleich zwischen den mittleren monatlichen Lufttemperaturen für 40 einzelne Jahre, den TRY sowie den jeweiligen sommer-fokussierten / extremen nationalen Referenzjahren

verdeutlicht, liegt das TRY, wie zu erwarten wäre, im mittleren Bereich der einzelnen Jahresdaten. Hiergegen zeigen die sommer-fokussierten Jahre für Birmingham und Mannheim als reale Jahre Fluktuationen zwischen den einzelnen Monaten. Dies wirkt sich dementsprechend auf Simulationen zu Überschreitungshäufigkeiten und Übertemperaturgradstunden aus [11,13]. Es muss daher festgehalten werden, dass eine monatsweise oder abschnittsweise Betrachtung von Überhitzung mit den extremen Daten nicht statthaft ist.

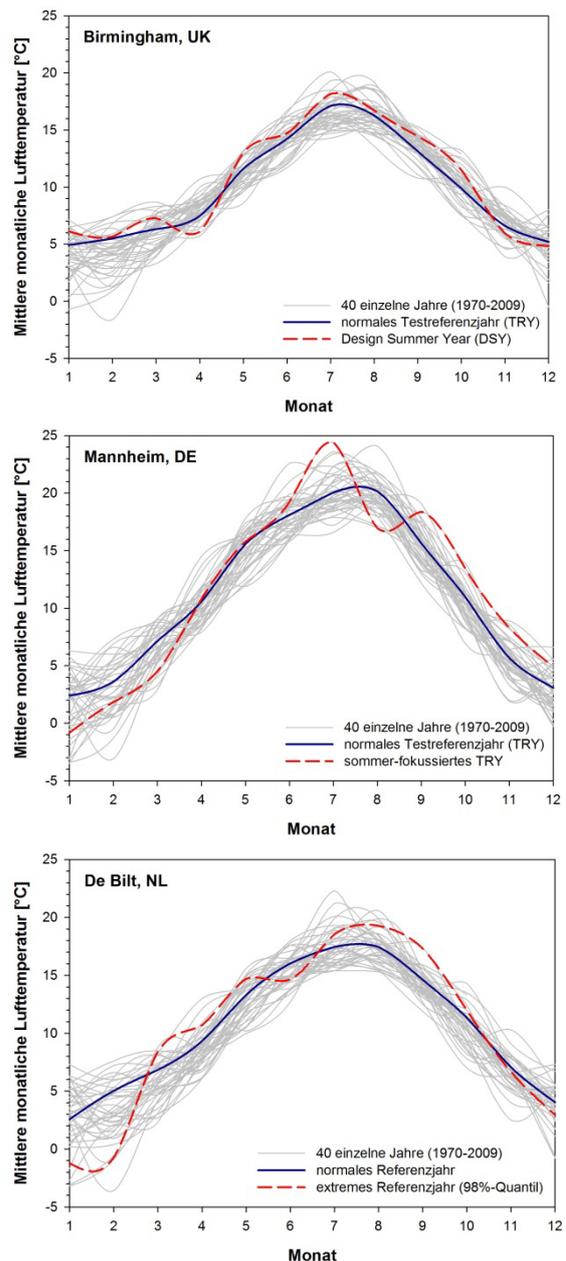


Abbildung 1: Monatliche Durchschnittstemperaturen für (a) Birmingham, (b) Mannheim und (c) De Bilt für 40 Jahre von 1970 bis 2009 im Vergleich zu den TRY-Daten und den jeweiligen sommer-fokussierten / extremen nationalen Referenzjahren (Datenquellen Klimadaten: [4,14-17])

Weiterhin zeigt das Beispiel Mannheim in Abbildung 1 deutlich, dass einzelne, sehr extreme Monate die Auswahlliste des sommer-fokussierten TRY beeinflussen können. Überraschend ist jedoch, dass, wie für De Bilt in Abbildung 1 gezeigt, das Zusammenfügen von einzelnen Monaten, wie es für die niederländischen extremen Referenzjahre vollzogen wird, hier offenbar keine Abhilfe schafft. Insgesamt wird deutlich, dass es keine direkte Vergleichbarkeit zwischen Simulationsergebnissen, die mithilfe von TRY und nah-extremen TRY erzielt wurden, geben kann. Weiterhin können sommer-fokussierte Referenzjahre nur für jahresweise Auswertungen des sommerlichen Wärmeschutzes herangezogen werden.

Wie die Beispiele Birmingham und Mannheim in Abbildung 1 zeigen, können die verwendeten Klimadaten sowohl ein insgesamt warmes Sommerhalbjahr (Birmingham) oder aber auch ein Jahr mit einer Extremperiode / Hitzewelle (Mannheim) repräsentieren. So stellt der Juli im sommer-fokussierten TRY für Mannheim, das das Jahr 2006 repräsentiert, den mit Abstand wärmsten Juli der in Abbildung 1 gezeigten 40 Jahre dar, gefolgt von einem der kühlest Auguste. Hier stellt sich die Frage, inwieweit dies ein repräsentatives Jahr ist für die Bewertung der zu erwartenden Übertemperaturgradstunden in Gebäuden in einem nah-extremen Sommer, da die Simulationen auf Basis einer sehr ungewöhnlichen Extremperiode erfolgen. Im Extremfall kann es sogar dazu kommen, dass auf Grundlage der Klimadatenbasis einzelne Klimaregionen in Simulationsstudien benachteiligt werden. Dies ist beispielsweise bei dem DSY für Leeds der Fall, das neben ungewöhnlich hohen Temperaturen auch eine hohe Solarstrahlung aufweist und damit in Gebäudesimulationen im Vergleich zur nächst gelegenen Station Manchester für die Region ungewöhnlich starke Überhitzungserscheinungen erzeugt [11]. Bei der niederländischen Methode der Auswahl von extremen Einzelmonaten aus der Periode von 1986 bis 2005 [4] gibt es außerdem die Gefahr, dass zwei Monate verknüpft werden, die jeweils mit durchschnittlichen Lufttemperaturen beginnen und mit einer Hitzewelle enden, so dass keine Kontinuität zwischen den einzelnen Monaten besteht und die Sequenz klimatologisch unwahrscheinlich erscheint.

Insgesamt wird deutlich, dass die derzeitigen Methoden für die Ableitung von sommer-fokussierten Referenzjahren einen Ansatz darstellen, die Bewertung von sommerlichen Überhitzungserscheinungen in Gebäuden zu ermöglichen. Es zeigt sich jedoch auch, dass diese Methoden auch mit Ungereimtheiten behaftet sind, insbesondere bezüglich ihrer Vergleichbarkeit mit den TRY des gleichen Ortes und der fehlenden Berücksichtigung von solaren Strahlungsdaten. Eine verlässliche, übertragbare Methode zur Erstellung von sommer-fokussierten Referenzjahren für die Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes scheint daher auch im Hinblick auf die rechtlichen Rahmenbedingungen in der Europäischen Union,

die Strategien zur natürlichen Belüftung sowie passiven Kühlung von Neubauten und Sanierungen begünstigen [18], erforderlich. Idealerweise sollte solch ein Datensatz die folgenden Kriterien erfüllen [11,12]:

1. einen nah-extremen, warmen Sommer darstellen und nicht einen extremen, um Wiederkehrzeiten abzubilden, die der typischen Lebensdauer von Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung entsprechen;
2. in Lufttemperatur und Solarstrahlung in einer klaren Relation zum TRY des gleichen Ortes stehen, um eine Vergleichbarkeit von Simulationsergebnissen zu gewährleisten;
3. mindestens eine zusammenhängende, warme Periode beinhalten, aber gleichzeitig keine ungewöhnlichen Extremmonate, um für die Überhitzung wichtige Warmperioden abzubilden, ohne aber absolute Extreme aufzuzeigen;
4. ab dem 95%-Quantil der nach Größe geordneten Lufttemperatur grundsätzliche höhere Temperaturen aufweisen als das TRY, da die Absolutwerte am Ende des Temperaturbereichs für sommerliche Überhitzungserscheinungen in Gebäuden von zentraler Bedeutung sind.

Methodik des Sommerreferenzjahres

Im Folgenden wird auf Grundlage der oben aufgeführten Kriterien ein Ansatz zur Erstellung eines Sommerreferenzjahres (Summer Reference Year – SRY) aus dem TRY eines gegebenen Ortes und langjährigen Klimadaten präsentiert. Dies geschieht in verkürzter Form am Beispiel der Klimadaten für Nottingham in Großbritannien, da das derzeitige DSY für diesen Ort vor allem aufgrund der ungewöhnlich niedrigen Solarstrahlung in Simulationen weniger Überhitzung erzeugt als das dazugehörige TRY [11]. Ausführliche Informationen zur Methodik des SRY finden sich in Jentsch et al. [12].

Grundprinzip des SRY

Der Ausgangspunkt der SRY-Methode ist die Annahme, dass es sich bei dem TRY eines Ortes um einen in sich konsistenten Datensatz handelt, der aufgrund seiner Zusammensetzung aus einzelnen Monaten / Witterungsabschnitten repräsentativ für die mittleren Klimabedingungen des Ortes ist. Das Grundprinzip der Methode ist eine Skalierung der existierenden TRY-Daten, um den Bedingungen für Lufttemperatur und Solarstrahlung von nah-extremen Kandidatenjahren zu entsprechen, die separat über einen statistischen Ansatz ausgewählt werden. Hieran anschließend werden Feuchttemperatur (Luftfeuchte), Windgeschwindigkeit und Luftdruck des TRY durch lineare Korrelationen mit der Lufttemperatur angepasst, um die entsprechenden SRY-Daten zu erhalten. Betrachtet werden für das SRY ausschließlich die Daten des Sommerhalbjahres (April bis September), während die Daten der Monate Oktober bis März unverändert zum TRY bleiben.

Skalierung Lufttemperatur und Solarstrahlung

Der Ansatz zur Skalierung der Lufttemperatur erfolgt in zwei grundlegenden Schritten. Zunächst werden für die Jahre, die für die Erstellung des TRY herangezogen worden sind, die Übertemperaturgradstunden über 18°C ermittelt und diese dann in absteigender Reihe geordnet. Für Nottingham entspricht dies den Jahren 1983 bis 2004. Das Kandidatenjahr ist dann das 90%-Quantil Jahr in dieser Reihe, im Falle Nottinghams das Jahr 1983. Im zweiten Schritt wird dieses Kandidatenjahr dazu genutzt, die Lufttemperaturdaten des TRY zu skalieren, um die höheren Temperaturen des Kandidatenjahres abzubilden. Hierzu werden zunächst die Tagesmaximaltemperaturen des TRY und des Kandidatenjahres für das Sommerhalbjahr ermittelt und die Werte anschließend für beide Datensätze in absteigender Reihenfolge geordnet. Für die daraus resultierenden Datenpaare wird dann die Temperaturdifferenz ermittelt und, wie aus Abbildung 2 ersichtlich ist, eine Regression 6. Ordnung durch diese Daten gelegt. Anschließend wird die Differenz der zu den jeweiligen Datenpaaren gehörigen Tagesminimaltemperaturen ermittelt und, wie in Abbildung 3 für Nottingham gezeigt, wiederum eine Regression 6. Ordnung durch diese Daten gelegt. Die Regressionsgleichungen werden dann dazu verwendet, die Werte für die Verschiebung der Tagesmaximal- und Tagesminimaltemperaturen des TRY zu ermitteln. So ist der erste Tag, der im TRY von Nottingham verändert werden muss, der 29. Juli, gefolgt vom 4. Juli und dem 5. Juli. Der letzte Tag, der eine Skalierung erfährt, ist der, wo die Regressionsgleichung für die Tagesmaximaltemperatur noch ein positives Ergebnis liefert. Im Falle Nottingham liegt dies beim 80. Tag in der Sequenz (Abbildung 2). Wie aus Abbildung 3 ersichtlich wird, kann dieses Verfahren im Fall der Minimaltemperatur auch zu einer Reduktion führen. Dies ist jedoch vor dem Hintergrund, dass auf einen warmen und damit wahrscheinlich sonnigen Tag eine eher klare Nacht folgt, stichhaltig. Für die Stunden zwischen den Tagesminima und -maxima werden die Werte für die Skalierung dann durch lineare Interpolation ermittelt. Wenn der vorherige oder folgende Tag keine Skalierung erfährt, erstreckt sich die lineare Interpolation auf die 12 Stunden vor beziehungsweise nach dem jeweils letzten Minimal- / Maximalwert. Die resultierenden stündlichen Werte für die Verschiebung werden dann zum bestehenden TRY addiert, um die Lufttemperaturen für das SRY zu erhalten.

Die Skalierung der Solarstrahlungsdaten erfolgt in zwei grundlegenden Schritten nach einem ähnlichen Prinzip wie für die Lufttemperatur. Zunächst werden die dem TRY zugrunde liegenden Jahre entsprechend der mittleren täglichen Globalstrahlungssumme des Sommerhalbjahres sortiert und das 90%-Quantil Jahr als Kandidatenjahr für die mittlere tägliche Globalstrahlungssumme festgelegt. Gleichzeitig werden für jedes Jahr in der Sequenz die täglichen Globalstrahlungssummen ermittelt und die Tage dann in absteigender Reihe geordnet. Für

das 95%-Quantil, das heißt die 10 sonnigsten Tage, wird dann die Globalstrahlungssumme ermittelt und die einzelnen Jahre nach diesem Wert geordnet. Das 90%-Quantil Jahr in diesem Datensatz ist dann das Kandidatenjahr für die sonnigsten Abschnitte. Die Werte für die beiden resultierenden Kandidatenjahre werden dann als Zielwerte mit einem Faktor von 1 belegt und alle verbleibenden Jahre in der Sequenz entsprechend ihrer Abweichung vom Kandidatenjahr mit einem Faktor von 1 weniger der prozentualen Abweichung vom Zielwert belegt. Für jedes aufgeführte Jahr werden die beiden Faktoren dann multipliziert und das Jahr mit dem höchsten Gesamtwert als Kandidatenjahr für die Anpassung des TRY ausgewählt. Für Nottingham sind die beiden grundlegenden Kandidatenjahre beispielsweise 1990 und 2001. Ausgewählt wurde aber schlussendlich 1989, da dieses Jahr beide Kriterien am besten erfüllt. Der Grund für dieses komplizierte Auswahlverfahren liegt darin, dass für die Abbildung von nah-extremen Sommerbedingungen sowohl die mittleren Solarstrahlungsbedingungen als auch die sonnigsten Tage eine Rolle spielen.

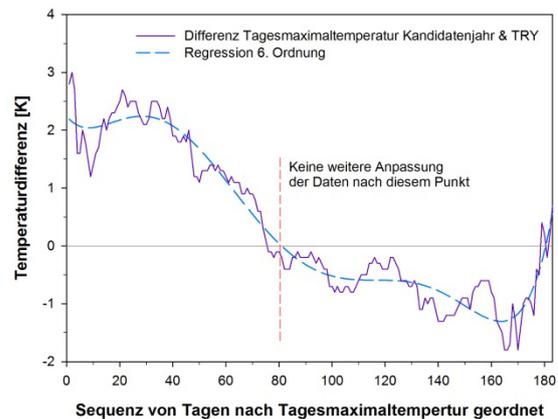


Abbildung 2: Differenz für die Tagesmaximaltemperatur im Sommerhalbjahr zwischen dem Kandidatenjahr für das SRY und dem TRY für Nottingham, absteigend geordnet

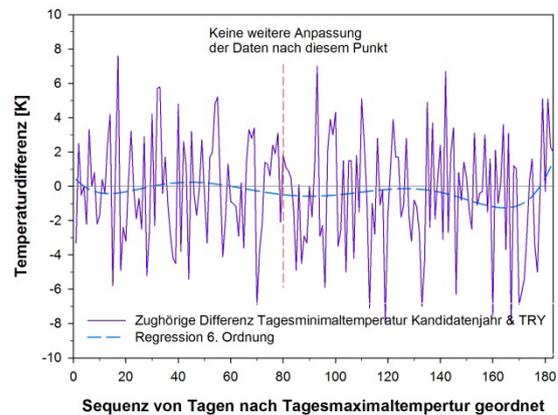


Abbildung 3: Differenz der Tagesminimaltemperatur im Sommerhalbjahr zwischen dem Kandidatenjahr für das SRY und dem TRY für Nottingham, entsprechend der Sequenz der Daten für die Tagesmaximaltemperatur geordnet

Der zweite Schritt erfolgt dann ähnlich wie bei der Lufttemperatur. Da die Unterschiede zwischen einem mittleren und sonnigen Jahr vor allem im direkten Strahlungsanteil liegen [11] wird zunächst aus der horizontalen Global- und Diffusstrahlung die horizontale Direktstrahlung ermittelt. Dann werden für das Sommerhalbjahr die täglichen horizontalen Direktstrahlungssummen des TRY und des Kandidatenjahres berechnet und die Werte anschließend für beide Datensätze in absteigender Reihenfolge geordnet. Durch die hieraus resultierenden Daten zur Strahlungsdifferenz wird, wie in Abbildung 4 zu sehen ist, wiederum eine Regression 6. Ordnung gelegt, die dazu dient, die Anpassung der täglichen horizontalen Direktstrahlung im TRY vorzunehmen. Aus Abbildung 4 wird auch ersichtlich, dass die Skalierung der Solarstrahlungsdaten im Falle Nottinghams erst nach einigen Tagen in der Sequenz anfängt zu greifen. Auch wenn das Profil für verschiedene Wetterstationen unterschiedlich ausfällt, sind die Werte für die sonnigsten ersten Tage in der Sequenz zwischen TRY und Kandidatenjahr oftmals vergleichbar, so dass die Regression wie im Falle Nottinghams sogar negative Werte für die ersten zwei bis drei Tage annehmen kann (Abbildung 4). Solche negativen Werte in den ersten Tagen werden bei der Skalierung ignoriert. Um die Daten für die Anpassung der täglichen horizontalen Direktstrahlung auf die stündlichen Werte des TRY zu verteilen, wird zunächst die stündliche horizontale Direktstrahlung des TRY mit dem Bedeckungsgrad multipliziert. Wo dieser 0 (= keine Wolken) ist, wird ein Wert von 1 eingesetzt. Anschließend wird für alle Tage, für die entsprechend der Regressionsgleichung eine Anpassung der Strahlungsdaten notwendig ist, der Anteil der skalierten stündlichen horizontalen Direktstrahlung an der täglichen Summe dieser Daten ermittelt. Der Grund für diese Methode ist, dass hiermit Stunden mit einer höheren Wolkendecke ein höheres Gewicht für die Anpassung erhalten, um dem Ziel der Erstellung eines sonnigeren Tages zu genügen. Durch Multiplikation der stündlichen Anteile mit dem Wert für die Anpassung der täglichen horizontalen Direktstrahlung erhält man dann die Anpassungswerte, die zu den stündlichen horizontalen Globalstrahlungsdaten des TRY addiert werden. Um auszuschließen, dass die resultierenden stündlichen Werte die bei klarem Himmel physikalisch an einem gegebenen Ort erzielbare horizontale Globalstrahlung übersteigen, werden die Werte mit Berechnungen entsprechend des „clear sky models“ von Perrin de Brichambaut und Vaugéas, wie durch Rigollier et al. [19] dargelegt, verglichen und gegebenenfalls angepasst. Die Veränderung der horizontalen Globalstrahlung und damit schlussendlich der Wolkendecke im SRY hat auch Auswirkungen auf die horizontale Diffusstrahlung. Um dem zu begegnen, wird die horizontale Diffusstrahlung des SRY daher mit dem Boland-Ridley-Lauret (BRL) Modell [20] neu berechnet. Gleiches gilt für den Bedeckungsgrad, der mithilfe des Modells von Gul et al. [21] neu berechnet wird [12].

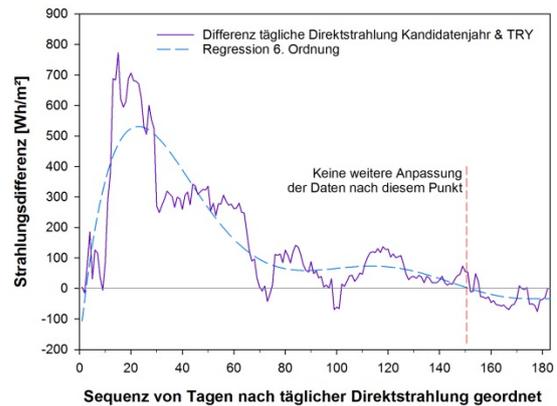


Abbildung 4: Differenz der täglichen horizontalen Direktstrahlung im Sommerhalbjahr zwischen dem Kandidatenjahr für das SRY und dem TRY für Nottingham, absteigend geordnet

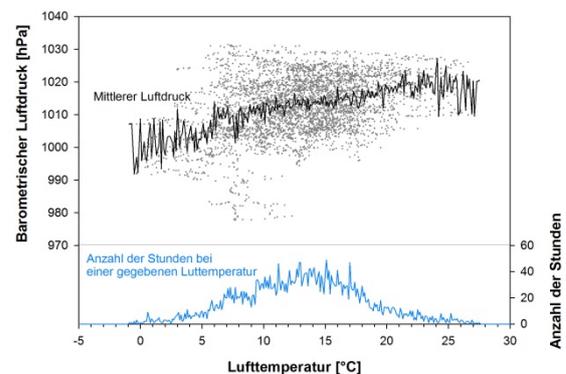


Abbildung 5: Luftdruck im Sommerhalbjahr im TRY für Nottingham in Abhängigkeit der Lufttemperatur nebst der Anzahl der Stunden bei einer gegebenen Lufttemperatur

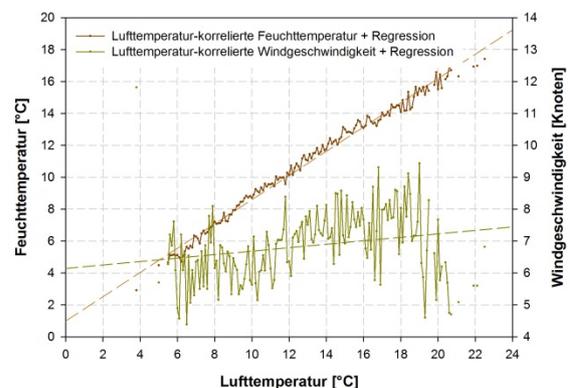


Abbildung 6: Lufttemperatur-korrelierte Feuchttemperatur und Windgeschwindigkeit im Sommerhalbjahr im TRY für Nottingham mit Regressionen (für Lufttemperatur-korrelierte Daten mit 10 oder mehr Werten)

Skalierung der übrigen Klimaparameter

Die übrigen Klimaparameter des TRY, das heißt im Falle der britischen TRY die Feuchttemperatur, der Luftdruck und die Windgeschwindigkeit werden, wie eingangs erwähnt, über eine lineare Korrelation mit der Lufttemperatur angepasst. Hierzu werden zunächst die April bis September Daten des zu skalierenden Parameters im TRY der in der gleichen Stunde gemessenen Lufttemperatur in Schritten von 0,1°C zugeordnet und dann, wie in Abbil-

dung 5 für den Luftdruck in Nottingham gezeigt, der Mittelwert bei der jeweiligen Lufttemperatur ermittelt. Um zu verhindern, dass Schritte mit sehr wenigen Werten einen überproportionalen Einfluss gewinnen, werden bei weniger als 10 einer Lufttemperatur zugeordneten Werte, die Mittelwerte in der weiteren Betrachtung ignoriert. Durch die verbleibenden Mittelwerte wird, wie in Abbildung 6 für die Feuchttemperatur und Windgeschwindigkeit für Nottingham gezeigt, eine lineare Regression gelegt. Anschließend werden die stündlichen Werte für die Verschiebung der Lufttemperatur vom TRY zum SRY mit der Steigung der linearen Regression multipliziert. Die so erhaltenen Werte für die Anpassung der stündlichen Daten für Feuchttemperatur, Windgeschwindigkeit und Luftdruck werden dann zu den entsprechenden Daten des TRY addiert. Die Windrichtung des TRY wird unverändert in das SRY übernommen.

Übertragbarkeit der Methode auf Deutschland

Die SRY Methode hat den Vorteil, dass wenn die Regressionskoeffizienten für die Anpassung der Lufttemperatur und der Strahlungsdaten sowie die Steigungen der linearen Regressionen bekannt sind, das TRY eines gegebenen Ortes auch ohne die zugrundeliegenden Klimadaten für Lufttemperatur und Solarstrahlung in ein SRY transferiert werden kann. Dies kann insbesondere dort sinnvoll sein, wo Rohklimadaten nicht frei zur Verfügung stehen oder Fragen der Lizenzierung einer direkten Nutzung entgegenstehen. Für die 14 britischen TRY wurden diese Informationen daher zur Verfügung gestellt [12].

Da, wie oben beschrieben, auch die deutschen sommerfokussierten TRY nur bedingt in Relation zum mittleren TRY stehen und damit kein direkter Vergleich zwischen Simulationen angestellt werden kann, stellt sich die Frage, inwieweit die SRY Methode übertragbar ist. Grundsätzlich lassen sich hierzu die Datenbanken heranziehen, die zur Erstellung der TRY verwendet wurden [7]. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) stellt über das „Climate Data Center“ [16] online langjährige Wetterdaten für eine große Anzahl von Wetterstationen frei zur Verfügung. Für die 15 TRY Repräsentanzstationen [7] sind Daten zur stündlichen Lufttemperatur verfügbar [16], so dass die Voraussetzungen für die Erstellung von SRY auf Grundlage der TRY Basisperiode 1988 – 2007 gegeben sind. Bei den für die Erstellung eines SRY benötigten Solarstrahlungsdaten der TRY Basisperiode stellt sich die Situation schwieriger dar, da nur für einen Teil der Repräsentanzstationen Strahlungsmessstationen verfügbar sind [7,16]. Für die verbleibenden Repräsentanzstationen müsste die Solarstrahlung berechnet werden. Um die Vergleichbarkeit mit den mittleren TRY zu gewährleisten, sollte hierzu die im TRY-Handbuch angegebene Methode nach VDI 3789-2 verwendet werden [7,22]. Hierzu werden stündliche Daten für den Luftdruck und den Bedeckungsgrad benötigt, die über das „Climate Data Center“ zur Verfügung stehen [16]. Es lässt sich also

festhalten, dass die Anwendung der SRY Methode für die deutschen TRY Repräsentanzstationen grundsätzlich möglich ist. Hierbei sollte jedoch auch angemerkt werden, dass die Solarstrahlungsdaten der deutschen TRY aufgrund ihres Zeitbezuges, der zudem zwischen gemessenen und berechneten TRY nicht konsistent zu sein scheint, in die Kritik geraten sind [23].

Simulationsvergleich

Der maßgebende Vorteil der SRY Methode liegt darin, dass das grundlegende Wettermuster des TRY erhalten bleibt und somit eine klare Relation zwischen SRY und TRY besteht, die eine Vergleichbarkeit von Simulationsergebnissen gewährleistet [12]. Dies wird im Folgenden anhand eines Beispielbüroraums demonstriert.

Simulationsparameter

Die Simulationen wurden mit TRNSYS mit dem in Abbildung 7 gezeigten, nach Süden orientierten Büroraum in der obersten Etage eines modernen Bürogebäudes durchgeführt. Die Temperatur in den Nebenräumen sowie dem darunterliegenden Geschoss wurde als identisch zur simulierten Zone angenommen. Tabelle 1 fasst die Rahmenparameter des Simulationsmodells zusammen.

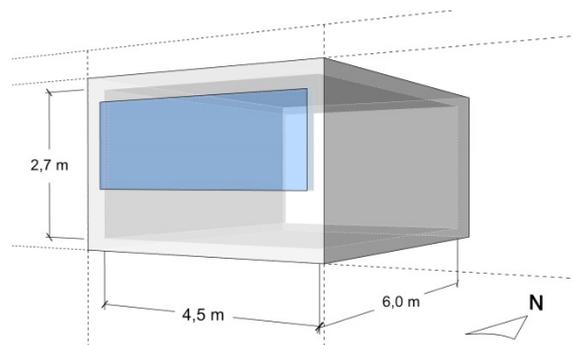


Abbildung 7: Geometrie des Büroraums für die Simulationen

Tabelle 1: Rahmenparameter für das Simulationsmodell

(a) Rahmendaten Raumgeometrie Fensterflächenanteil	Fläche 27 m ² / Vol. 72,9 m ³ 59 % (7,2 m ²)
(b) Konstruktion Außenwand Fenster (15% Rahmen) Dach Innenwände	U = 0,15 W/m ² K U = 1,1 W/m ² K g = 0,6 U = 0,2 W/m ² K schwere Bauart, MW 17,5 cm
(c) Sonnenschutz externe Lamellen	F _c = 0,3 bei 150 W/m ² auf Fassadenebene geschlossen
(d) interne Lasten Belegung Beleuchtung Geräte	2 Pers. (8-12 & 13-17 Uhr) 10 W/m ² tageslichtabhängig 2 x PC 80 W (8-17 Uhr)
(e) Lüftung Infiltration Grundluftwechsel	0,2 h ⁻¹ 10 l/s/Pers (36 m ³ /h/Pers)

Die Konstruktionsweise entspricht der eines modernen Bürogebäudes mit außenliegendem Sonnenschutz. Für den zur Belüftung notwendigen Grundluftwechsel wurden 10 l/s pro Person während der Belegungszeiten des Büros angesetzt, was einem Kategorie A Gebäude nach dem Standard PD CR 1752:1999 [24] entspricht. Simuliert wurde mit den TRY, DSY und SRY für Nottingham, Leeds und Birmingham, da diese Wetterstationen jeweils ein DSY repräsentieren, das als zu wenig extrem (Nottingham), zu extrem (Leeds) und nah-extrem / geeignet (Birmingham) bewertet wurde [11].

Simulationsergebnisse

Abbildung 8 zeigt die jährlichen Übertemperaturgradstunden zu den Bezugswerten 25, 26 und 27°C für die operative Innentemperatur des Büroraums für die drei simulierten Orte. Während die TRY relativ ähnliche Werte aufweisen, was entsprechend der geographischen Lage auch zu erwarten wäre, gibt es keinen erkennbaren Zusammenhang zwischen den TRY und den DSY. Das Nottingham DSY erzeugt sogar weniger Übertemperaturgradstunden als das TRY, während das Leeds DSY extrem hohe Werte aufweist, was Gebäudeplanungen auf Grundlage von Gebäudesimulationen benachteiligt. Hiergegen besitzt das SRY, das für die Bezugswerte 25 und 26°C etwa den doppelten bis vierfachen Wert des TRY aufweist, eine klarere Relation zu den TRY. Dies erhöht die Vergleichbarkeit zwischen Simulationen mit mittleren und sommer-fokussierten Referenzjahren.

Durch die Skalierung des TRY mit Daten von Kandidatenjahren wie oben beschrieben, ist es zudem möglich, das Innenraumklima eines simulierten Objektes unter mittleren und sommer-fokussierten Klimabedingungen monats-scharf miteinander zu vergleichen. Dies wird in Abbildung 9 deutlich, die für die drei untersuchten Orte die mittlere tägliche operative Innentemperatur des Büroraums zeigt. Es ist klar ersichtlich, an welchen Tagen das TRY skaliert wurde und welche Auswirkungen dies auf die operative Temperatur hat, da der simulierte Temperaturverlauf des SRY analog zum TRY verläuft. Im Falle Birmingham sind weiterhin die Temperaturspitzen mit denen des als geeignet bewerteten DSY vergleichbar.

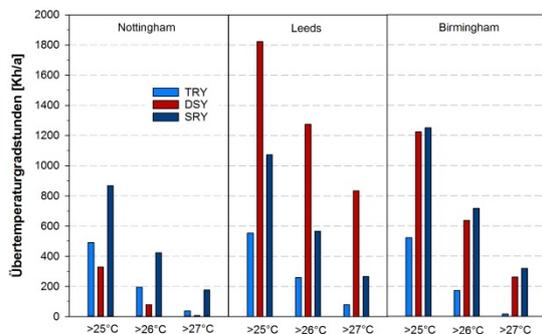


Abbildung 8: Jährliche Übertemperaturgradstunden im Büro- raum zu den Bezugswerten 25, 26 und 27°C für das TRY, DSY und SRY für Nottingham, Leeds und Birmingham

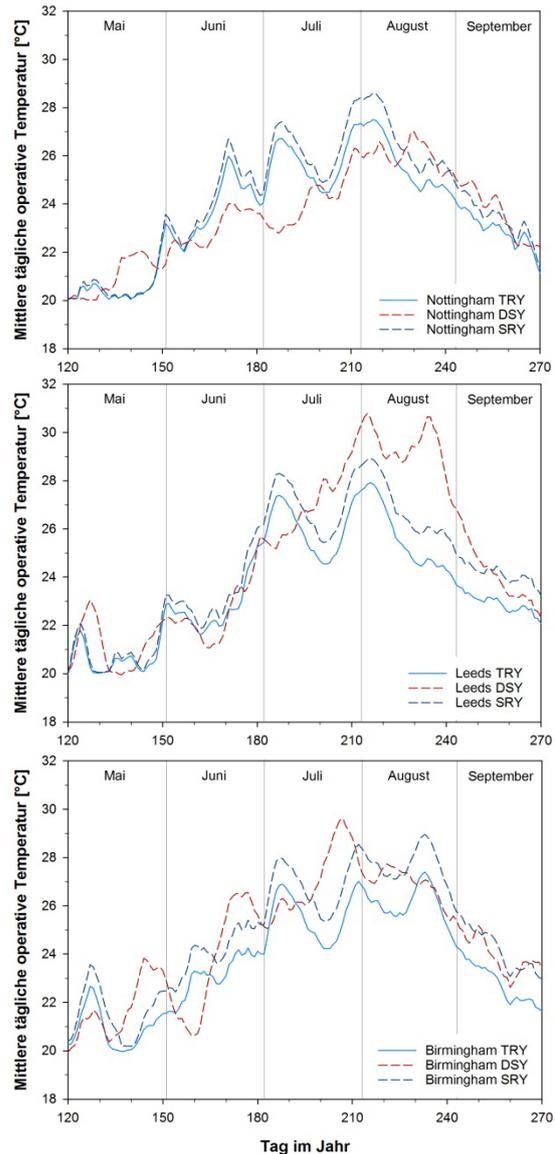


Abbildung 9: Simulierte mittlere tägliche operative Temperatur im Büro- raum für das TRY, DSY und SRY für Nottingham, Leeds und Birmingham

Schlussfolgerungen und Ausblick

Über vergleichende Gebäudesimulationen mit den TRY, DSY und SRY von drei ausgewählten Orten in Großbritannien wurde nachgewiesen, dass sich das SRY zur Ermittlung sommerlicher Überhitzungserscheinungen in natürlich belüfteten Gebäuden eignet. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass das SRY im Gegensatz zur direkten Nutzung eines Kandidatenjahres wie zum Beispiel eines DSY die Möglichkeit eines monats-scharfen Vergleichs mit dem TRY erlaubt und frei von wenig repräsentativen Besonderheiten ist, die in den entsprechenden Kandidatenjahren vorhanden sein können (siehe Abbildung 9). Grundsätzlich lässt sich auch aus den deutschen TRY ein SRY entwickeln, auch wenn hier die Dringlichkeit eines neuen Datensatzes als weniger ausgeprägt als für die britischen DSY angesehen werden kann [11-13]. Nichts- destotrotz wären auch in Deutschland Daten, die einen

Simulationsvergleich über die reinen jährlichen Übertemperaturgradstunden hinaus erlauben, vorteilhaft. Um jedoch abschließend bewerten zu können, inwieweit das SRY tatsächlich als Ersatz für die bisherigen Methoden zur Ableitung sommer-fokussierter Referenzjahre dienen kann, sind noch weitere Analysen erforderlich, insbesondere im Vergleich zu Simulationen mit sämtlichen Jahren der TRY Basisperiode.

Literatur

- [1] Barnaby CS, Crawley DB: Weather data for building performance simulation, In: Hensen JLM, Lamberts R (Eds.): Building Performance Simulation for Design and Operation, Spon Press, Abingdon, 2011.
- [2] Wilcox S, Marion W: Users Manual for TMY3 Data Sets. Technical Report NREL/TP-581-43156, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA, 2008.
- [3] Levermore GJ, Parkinson JB: Analyses and algorithms for new Test Reference Years and Design Summer Years for the UK, Building Services Engineering Research and Technology 27 (4) (2006), 311-325.
- [4] NEN 5060:2008: Hygrothermische eigenschappen van gebouwen – Referentieklimaatgegevens (Hygrothermal performance of buildings - Climatic reference data), Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 2008.
- [5] Finkelstein JM, Schafer RE: Improved goodness-of-fit tests, Biometrika 58 (3) (1971), 641-645.
- [6] Lund H: The Design Reference Year Users Manual. Report No. 274, Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 1995.
- [7] BBR: Handbuch zu den neuen Testreferenzjahren 2011 (TRY), Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Berlin, 2011.
- [8] Pültz G, Hoffmann S: Zur Aussagekraft von Simulationsergebnissen auf Basis der Testreferenzjahre (TRY) über die Häufigkeit sommerlicher Überhitzung, Bauphysik 29 (2) (2007), 99-109.
- [9] Rozynski M: Passive Kühlung und sommerliche Überhitzung – Sind Simulationen auf der Grundlage des Test Reference Year (TRY) ein geeignetes Bewertungskriterium?, Bauphysik 28 (5) (2006), 330-332.
- [10] Struck C, de Wilde PJ, Evers JEJ, Hensen JLM, Plokker W: On selecting weather data sets to estimate a building design's robustness to climate variations, Proceedings 11th IBPSA Building Simulation Conference, Glasgow, 2009, pp. 513-520.
- [11] Jentsch MF, Levermore GJ, Parkinson JB, Eames ME: Limitations of the CIBSE design summer year approach for delivering representative near-extreme summer weather conditions, Building Services Engineering Research and Technology 35 (2) (2014) 155-169.
- [12] Jentsch MF, Eames ME, Levermore GJ: Generating near-extreme Summer Reference Years for building performance simulation, Building Services Engineering Research and Technology (2015).
- [13] Raschik D: Vergleich zwischen Testreferenzjahren (TRY) und sommer-fokussierten extremen TRY bei der Nutzung in thermischen Gebäudesimulationen im Hinblick auf die Übertemperaturgradstunden, Masterarbeit Bauhaus-Universität Weimar, 2015.
- [14] Food and Agriculture Organization of the United Nations: FAOclim-NET agroclimatic database management system, URL: <http://geonetwork3.fao.org/climpag>
- [15] CIBSE: Current and Future CIBSE TRY/DSY Hourly Weather Data Set - 14 sites [CD-ROM], The Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 2008.
- [16] Deutscher Wetterdienst: Klimadaten Deutschland | Climate Data Center, URL: <http://www.dwd.de>
- [17] BBSR: Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre (TRY) von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Berlin, 2013, URL: <http://www.bbsr-energieeinsparung.de>
- [18] Directive 2010/31/EU of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings, European Parliament and Council, Brussels, 2010.
- [19] Rigollier C, Bauer O, Wald L: On the clear sky model of the ESRA — European Solar Radiation Atlas — with respect to the heliosat method, Solar Energy 68 (1) (2000) 33-48.
- [20] Ridley B, Boland J, Lauret P: Modelling of diffuse solar fraction with multiple predictors, Renewable Energy 35 (2) (2010) 478-483.
- [21] Gul MS, Muneer T, Kambezidis HD: Models for obtaining solar radiation from other meteorological data, Solar Energy 64 (1-3) (1998) 99-108.
- [22] VDI 3789-2:1994: Umweltmeteorologie - Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen, Berechnung der kurz- und der langwelligen Strahlung, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 1994.
- [23] Lam J, Hiller M: Schwierigkeiten bei der Verwendung der TRY Daten 2011 für Deutschland in der thermischen Simulation, Proceedings 5th German-Austrian IBPSA Conference - BauSIM2014, Aachen, 2014, pp. 395-401.
- [24] PD CR 1752:1999: Ventilation for buildings - Design criteria for the indoor environment, European Committee for Standardization, Brussels, 1999.

Curriculum Vitae

**Jun.-Prof. Dr.
Mark Jentsch**

Ausbildung:

- | | |
|-----------|---|
| 1995 | Abitur an der Dahlmansschule Bad Segeberg |
| 1995-2001 | Studium der Architektur an der Hochschule Wismar |
| 2004-2009 | Promotion an der University of Southampton zu natürlich belüfteten Gebäuden unter den zu erwartenden Veränderungen des Klimawandels |

Beruflicher Werdegang:

- | | |
|-----------|--|
| 2001-2004 | Hochschule Wismar, Mitarbeiter |
| 2004-2012 | University of Southampton, wissenschaftlicher Mitarbeiter |
| Ab 2012 | Bauhaus-Universität Weimar, Juniorprofessur Urban Energy Systems, Lehrstuhlinhaber |