

Hitzestress und Stadtplanung

Am Beispiel „Platz der Alten Synagoge“ in Freiburg im Breisgau

D. Fröhlich, A. Matzarakis

Zusammenfassung In der Stadt Freiburg im Breisgau im südlichen Oberrheingraben ist die Neugestaltung eines städtischen Platzes geplant. Im Vorfeld der Umgestaltung sollte mithilfe von Modellen die Auswirkung des Umbaus auf die in den Sommermonaten auf dem Platz ggf. auftretende Hitzebelastung für Menschen untersucht und quantifiziert werden. Dabei wurden die Modelle SkyHelios, RayMan und ENVI-met komplementär eingesetzt. SkyHelios diente dabei zur Darstellung des Sky-View-Faktors und zur Datenaufbereitung für RayMan. Mit RayMan selbst wurde die Veränderung des thermischen Bioklimas des Platzes anhand meteorologischer Daten der letzten zehn Jahre berechnet, während mit ENVI-met räumliche Unterschiede untersucht wurden. RayMan errechnete dabei eine Zunahme der Hitzebelastung durch die Umgestaltung. Die Ergebnisse der Berechnungen mit ENVI-met zeigten, dass sich die neue Platzfläche aus Naturstein sehr viel stärker und schneller aufheizt als die heutige Rasenfläche und somit sommerlichen Hitzestress zusätzlich verstärkt.

Heat stress and city planning – The example of the „Platz der Alten Synagoge“ in Freiburg in Breisgau

Abstract The „Platz der Alten Synagoge“, an urban place in Freiburg in Breisgau, a city in the southern part of the Rheingraben (Germany), is going to be redesigned. In the runup to the redesign its influence on thermal heat stress on humans on the place in the summer month was analyzed and quantified using micro scale models. For this study the models SkyHelios, RayMan and ENVI-met were used adaptively. SkyHelios was used for calculating the spatial sky view factor, and for creating fisheye-images when using RayMan. RayMan itself was used to calculate the differences in the thermal bioclimate of the place between the current and the redesigned place, based on meteorological data of the past ten years. By use of ENVI-met, the differences in spatial distribution of thermal stress between the current and the redesigned place have been analyzed. While the results of the RayMan calculations show an increase of heat stress in the summer months caused by the redesign, the results of the ENVI-met calculations predict additional increase in heat stress by the change in ground coverage.

1 Einleitung

Die Aufenthaltsqualität eines städtischen Platzes wird nicht allein durch ansprechende Architektur, sondern auch durch die mikroklimatischen Bedingungen bestimmt. Eine große Bedeutung kommt hierbei dem thermischen Bioklima zu. Bietet ein Platz für Menschen angenehme thermische Bedingungen, halten sie sich dort gerne auf. Liegt dagegen thermischer Stress vor, wird der Aufenthalt als belastend und unangenehm empfunden. Das thermische Bioklima ist hierbei jedoch nicht nur als Frage des thermischen Komforts zu betrachten. Vielmehr wirkt es sich auch auf Arbeitseffizienz,

Dominik Fröhlich, Prof. Dr. Andreas Matzarakis,
Meteorologisches Institut der Albert-Ludwigs-
Universität Freiburg.



Bild 1. Derzeitige Ausgestaltung des „Platz der Alten Synagoge“.
Datengrundlage: Ortofotos der Stadt Freiburg

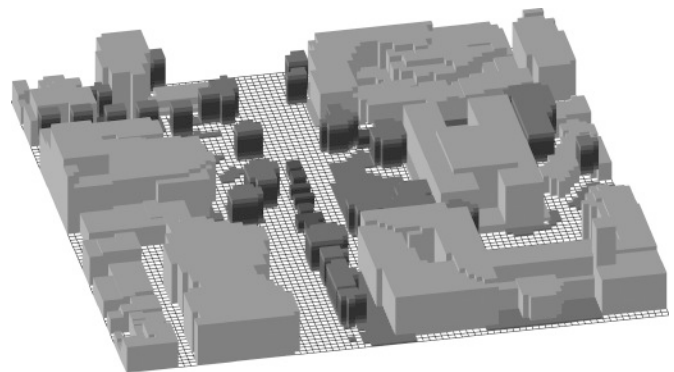


Bild 2. ENVI-met-Oberflächenmodell „Platz der Alten Synagoge“ in seiner derzeitigen Ausgestaltung. Blick aus Südwesten.
Datengrundlage: Fa. IMA Richter & Röckle; Darstellung mit Leonardo

Wohlbefinden und Gesundheit der ihm ausgesetzten Individuen aus [1]. Es hat sich gezeigt, dass die Anfälligkeit gegenüber sommerlicher Hitze dabei größer ist als die gegenüber Kälte. Der Vermeidung von Hitzestress sollte somit in der Stadtplanung, beispielsweise durch die verstärkte Schaffung verschatteter Bereiche [2], eine hohe Bedeutung zukommen [2; 3]. Die Häufigkeit von Hitzestress ist zurzeit zwar relativ gering, wird jedoch im Zuge des Klimawandels auch in Freiburg zunehmen, wie u. a. eine Untersuchung von Matzarakis und Endler [4] zeigt.

In diesem Beitrag wird der Einfluss der Neugestaltung des „Platz der Alten Synagoge“ in Freiburg auf dessen thermisches Bioklima mithilfe der zur Verfügung stehenden Methoden (Daten und Modelle) untersucht. Hierbei sollten belastbare Informationen für stadtplanerische Zwecke gewonnen werden. Bei der Umgestaltung des „Platz der Alten Synagoge“ handelt es sich um eine langgeführte Planung mit großem öffentlichen Interesse. Da der Planentwurf eine Änderung der Oberflächenbedeckung sowie veränderte Beschattungsverhältnisse vorsieht, sind Unterschiede im thermischen Komfort zu erwarten [5; 6], insbesondere während heißer Sommertage wie beispielsweise im Sommer 2003.

2 Untersuchungsgebiet

Die Stadt Freiburg gilt mit ihrer Lage im südlichen Teil des Rheingrabens als wärmste Stadt Deutschlands [1] und weist somit eine relativ große Häufigkeit von Hitzestress auf. Der „Platz der Alten Synagoge“ (**Bilder 1 und 2**) befindet sich am südwestlichen Ende der Innenstadt Freiburgs. Er ist umgeben von den Kollegiengebäuden I und II der Universität im Osten und Süden, der Universitätsbibliothek sowie dem Stadttheater im Westen und mehrstöckigen Wohn- und Geschäftshäusern im Norden.

Über den Platz verlaufen derzeit zwei Straßen. Auf seiner Westseite wird er von Nord nach Süd vom Rotteckring und am nördlichen Ende von West nach Ost von der Bertholdstraße überquert. Der Rotteckring ist eine asphaltierte ehemals vierspurige Hauptverkehrsstraße. Zusammen mit dem angrenzenden ebenfalls asphaltierten Fahrradparkplatz nimmt er mehr als die Hälfte der Fläche des Platzes ein. Als Allee verfügt er auf dem Gebiet des Platzes über zehn Bäume unterschiedlicher Größe. Die Bertholdstraße, auf der auch die Gleise der Straßenbahn verlaufen, nimmt als schmalere gepflasterte Fußgängerzone nur einen geringen Teil der Platzfläche ein. Auf diesem befinden sich vier kleinere Bäume. Nicht mit Straßen überbaut sind der kleine Theatervorplatz und eine größere Fläche vor dem Kollegiengebäude II. Der Theatervorplatz weist durch seine gepflasterte Auffahrt und seine breite Treppe einen recht hohen Versiegelungsgrad auf, verfügt aber auch über Rasenflächen zu beiden Seiten der Auffahrt mit einem Baum. Der Platz vor dem Kollegiengebäude II besteht dagegen überwiegend aus Rasenfläche mit einem sehr geringen Anteil an gepflasterten Fußwegen. Er weist derzeit sieben, teilweise sehr große Bäume auf.

Die geplante Ausgestaltung des „Platz der Alten Synagoge“ sieht die vollständige Versiegelung vor. Der Rotteckring, der in eine Fußgängerzone umgewandelt werden soll, erhält wie der Mittelteil des Platzes eine Decke aus großformatigen, hellen Natursteinplatten. Die sieben Bäume auf der Ostseite des Rotteckrings, drei der großen Bäume auf der bisherigen Rasenfläche vor dem Kollegiengebäude II und die vier Bäume entlang der Bertholdstraße werden entfernt. Neu gepflanzt werden sollen ein Baum nördlich der Theaterauffahrt und acht kleinkronige Bäume am Südostrand des Platzes. Der Theatervorplatz soll zukünftig fast vollständig von Basaltplaster bedeckt sein. Entlang der Theaterauffahrt sollen außerdem zwei Wasserbecken entstehen. Ein weiteres Wasserbecken ist im Süden des Platzes geplant. Im Norden soll hingegen ein neun Meter hohes „Platzhaus“ in Form eines Sprungbretts erstellt werden.

3 Methodik und Daten

Zur Abschätzung der Veränderungen in der zeitlichen und räumlichen Verteilung von Hitzestress durch die Umgestaltung des Platzes wurden sowohl für dessen derzeitige Ausgestaltung als auch für den Entwurf der Neugestaltung numerische Simulationen durchgeführt, die anschließend vergleichend gegenübergestellt wurden. Verwendet wurden dabei die Modelle RayMan [7; 8] und ENVI-met [9]. RayMan, ein Modell des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs Universität Freiburg, ist in der Lage, Strahlungsflüsse in einfachen und komplexen Umgebungen zu berechnen. Hieraus kann durch das Modell die mittlere Strahlungs-

temperatur, d. h. die Temperatur einer perfekt schwarzen Umgebung, die zum gleichen Strahlungsenergiegewinn führt wie die aktuell vorherrschende, bestimmt werden. Diese Temperatur ist die Grundlage der Berechnung thermischer Indices (z. B. der „Physiologisch Äquivalenten Temperatur“ PET) und kann durch RayMan direkt berechnet werden.

ENVI-met ist ein prognostisches dreidimensionales mikroskaliges Modell zur Berechnung meteorologischer Zustände. Es setzt sich aus einem Atmosphären-, einem Boden- und einem Vegetationsmodell zusammen. Räumlich besteht ENVI-met aus einem Modellkern, der in Gitterzellen unterteilt ist, und einer ihn umgebenden Randzelle. Trotz seiner Komplexität bietet die verwendete Version 3.1 jedoch nur die Möglichkeit zur Berechnung des thermischen Indexes PMV (Predicted Mean Vote). Mithilfe eines zusätzlichen externen Moduls kann jedoch auch PET berechnet werden.

Da sie einige wichtige Vorteile bietet, sollte für diese Untersuchung als thermischer Index die „Physiologisch Äquivalente Temperatur“ verwendet werden. PET beschreibt den thermischen Komfort eines Menschen auf der Grundlage seiner Energiebilanz. Definiert ist PET als Lufttemperatur eines typischen Innenraums, bei der ein Mensch unter identischer Schweißverdunstung und Hautoberflächentemperatur, wie sie die gegebenen Bedingungen verursachen, eine ausgeglichene Energiebilanz aufweist [10; 11]. Dabei nutzt der Index als Einheit °C, was die Ergebnisse auch für Laien leicht interpretierbar macht. Ein weiterer großer Vorteil von PET liegt in ihrer großen Verbreitung und der damit verbundenen Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Mithilfe von RayMan wurde PET von sieben über den Platz verteilten Messpunkten berechnet. Als meteorologische Datengrundlage fanden Daten der Meteorologischen Stadtstation des Meteorologischen Instituts der Universität Freiburg [12; 13] aus dem Zeitraum vom 1. September 1999 bis 30. April 2010 Verwendung. Die Ergebnisse der Berechnungen wurden anschließend in Klassen thermischer Belastung [14] eingeteilt (**Tabelle**).

Mit ENVI-met wurde PET jeweils für den derzeitigen und den umgestalteten Platz für einen Zeitraum von sieben Tagen ab dem 4. August 2005 berechnet, der im Zeitraum der extremen Hitzewelle im Jahr 2005 lag. Dies ermöglicht die Bestimmung der Verteilung von stärksten thermischen Belastungen in einem bestimmten Raum. Ziel dieser Berechnungen war vorrangig, den Einfluss verschiedener Oberflächenbedeckungen zu erfassen. Dieser wurde aus dem Vergleich der Ergebnisse beider Modellläufe bestimmt.

Für die Arbeit mit beiden Modellen werden außer meteorologischen auch räumliche Eingangsdaten des Untersuchungsgebiets benötigt, die durch die Stadt Freiburg zur Verfügung gestellt wurden. Diese bestanden aus einem Höhenraster in einer Auflösung von 1 m x 1 m, Orthofotos des derzeitigen Platzes, dem Planentwurf des umgestalteten Platzes und einem Shapefile der derzeitigen Gebäude. Zur Verwendung mit den Modellen RayMan und ENVI-met waren die Daten in dieser Form jedoch ungeeignet. So können in RayMan beispielsweise nur ein Höhenraster, eine RayMan Obstacle-Datei, oder ein Fisheye-Bild importiert werden. Da mehrere Eingangsdaten kombiniert werden mussten, kam für diese Untersuchung nur die Verwendung der Fisheye-Bilder infrage. Zur Erstellung der Fisheye-Bilder kam das Programm SkyHelios [15] des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg zum Ein-

satz. Für sieben Messpunkte auf dem Platz wurden so jeweils zwei Fisheye-Bilder, eines für die derzeitige Situation und eines für den Planfall erstellt, mit denen anschließend die Berechnungen durchgeführt werden konnten. Eine direkte Erstellung der Oberflächenmodelle für ENVI-met aus den vorhandenen Daten wäre nicht möglich gewesen. Auf die aufwendige Erstellung der Modelle von Hand konnte jedoch verzichtet werden, da die Fa. iMA Richter & Röckle diese zur Verfügung stellte.

Bereiche der Physiologisch Äquivalenten Temperatur für verschiedene Grade thermischen Stresses bei Menschen. Berechnet unter Annahme einer inneren Wärmeproduktion von 80 W sowie einem Wärmedurchgangswiderstand der Kleidung von 0,9 clo (nach Matzarakis und Mayer [14]).

PET	Thermisches Empfinden	Grad des physiologischen Stresses
< 4 °C	sehr kalt	extremer Kältestress
4 bis 8 °C	kalt	starker Kältestress
8 bis 13 °C	kühl	moderater Kältestress
13 bis 18 °C	etwas kühl	leichter Kältestress
18 bis 23 °C	komfortabel	kein thermischer Stress
23 bis 29 °C	etwas warm	leichter Hitzestress
29 bis 35 °C	warm	moderater Hitzestress
35 bis 41 °C	heiß	starker Hitzestress
> 41 °C	sehr heiß	extremer Hitzestress

4 Ergebnisse

4.1 Veränderung des Himmelssichtfaktors (Sky-View-Faktor)

Durch den Umbau des „Platz der Alten Synagoge“ ergeben sich Änderungen im Anteil des sichtbaren Himmels am oberen Halbraum. Diese können sich über die mittlere Strahlungstemperatur auf PET auswirken. Bei Kälte werden Bereiche ohne Strahlungsminderung, bei Hitze Bereiche mit Strahlungsminderung als angenehmer empfunden. Große Bereiche ohne oder mit nur geringem Strahlungsschutz können sich bei sommerlichen Bedingungen sehr belastend auswirken. Große Plätze weisen in ihrer Mitte häufig derartige Bereiche auf. Dies gilt auch für den untersuchten Platz, dessen Fläche weder in der derzeitigen Ausführung noch im Planentwurf nennenswerten Strahlungsschutz erfährt (Bild 2). Die schattenfreie Fläche vergrößert sich im Planentwurf gegenüber dem heutigen Zustand sogar noch durch das Entfernen der Bäume entlang des Rotteckrings, was durch Neupflanzungen entlang des Kollegiengebäudes 2 nicht kompensiert wird. Es findet jedoch hauptsächlich eine Verschiebung des Bereichs mit kleinem Sky-View-Faktor nach Nordwesten statt.

Ein gemäßigteres Bild zeigt sich dagegen in den Monaten März und April. Hier nehmen vor allem Stunden mit leichtem Kältestress, thermischem Komfort und leichtem Hitzestress zu. Reduziert werden dafür die Häufigkeiten von Stunden mit starkem und moderatem Kältestress. Allerdings steigt im April auch die Anzahl an Stunden mit extremem Kältestress an.

Im Mai sowie im Oktober ist der Trend weniger eindeutig. So nehmen im Mai extremer und starker Kältestress leicht zu. Moderater und leichter Kältestress gehen jedoch stark zu-

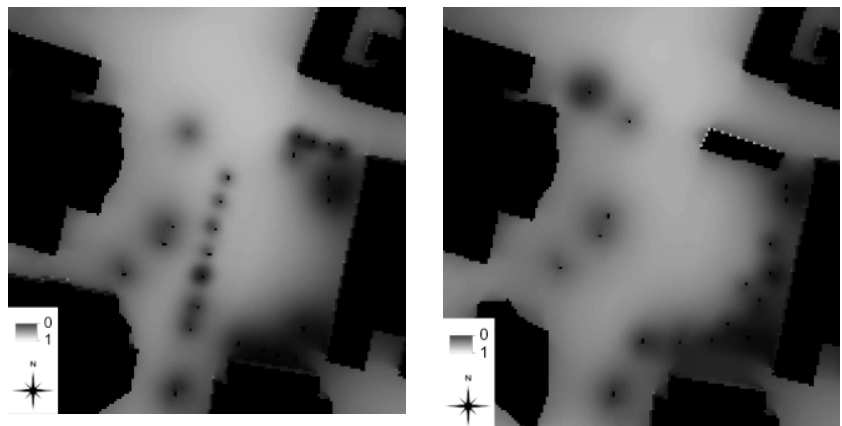


Bild 3. Darstellung des Sky-View-Faktors für den „Platz der Alten Synagoge“. Darstellung für den derzeitigen Platz (links) und den Planentwurf (rechts). Errechnet durch SkyHelios.

4.2 Veränderung der Häufigkeit von thermischem Stress

Zwischen der thermischen Belastung vor und nach der Umgestaltung zeigen sich in den Ergebnissen der Berechnungen mit RayMan im direkten Vergleich der addierten absoluten Häufigkeiten der Belastungsklassen aller Messpunkte deutliche Unterschiede (Bilder 3 und 4). Es ist zu erkennen, dass die Häufigkeiten von Klassen mit stärkerer thermischer Belastung zunehmen und Perioden mit geringer thermischer Belastung oder thermisch komfortablen Bedingungen seltener werden. Dies gilt sowohl für das Sommerhalbjahr in Bezug auf Hitzestress als auch das Winterhalbjahr in Bezug auf Kältestress.

Im Einzelnen ist in den Monaten November, Dezember, Januar und Februar eine Zunahme von Stunden mit extremem Kältestress zu beobachten. Hierfür reduzieren sich Stunden mit nur starkem oder moderatem Kältestress.

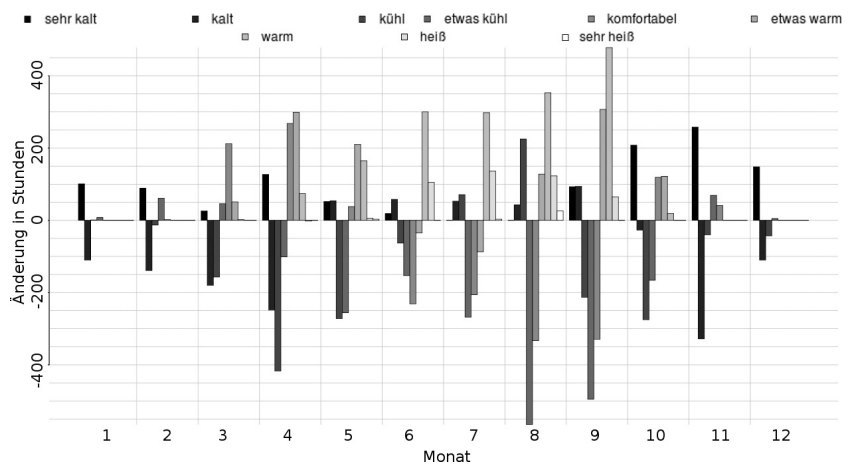


Bild 4. Differenz der absoluten Anzahl an Stunden des Auftretens der jeweiligen PET-Klassen zwischen der Simulation für den Planentwurf und der des derzeitigen Platzes für alle Messpunkte.

rück. Eine leichte Zunahme ist im Bereich des thermischen Komforts zu verzeichnen. Leichter und moderater Hitzestress nehmen dagegen stärker zu. Eine sehr geringe Zunahme gibt es auch beim starken und extremen Hitzestress. Im Oktober nimmt die Anzahl an Stunden mit extremem Kältestress zwar ebenfalls zu, starker Kältestress nimmt dagegen leicht ab. Stärker fällt die Abnahme im Bereich des moderaten Kältestresses aus. Auch leichter Kältestress geht zurück. Ein mäßiger Anstieg ist dafür im thermisch komfortablen Bereich sowie in der Anzahl an Stunden mit leichtem Hitzestress zu erwarten. Auch Stunden mit moderatem Hitzestress nehmen leicht zu. Insgesamt sind für beide Monate sowohl positive als auch negative Veränderungen zu erwarten, die sich in ihrem Umfang nahezu gleichen und so keine eindeutige Tendenz erkennen lassen.

Diese Tendenz tritt in den Sommermonaten Juni, Juli, August und September dafür umso deutlicher zutage. Während Stunden mit nur leichtem thermischem Stress sowie mit thermisch komfortablen Bedingungen abnehmen, nehmen Stunden mit stärkerer thermischer Belastung zu. Hier von profitieren vorrangig Stunden mit Hitzestress. Jedoch nehmen auch die Stunden mit Kältebelastung zu. Insgesamt ist für diese Monate somit eindeutig eine negative Entwicklung des thermischen Bioklimas zu erwarten.

4.3 Veränderung der räumlichen Verteilung von Hitzestress

Zusammenfassend werden durch ENVI-met folgende Veränderungen des thermischen Bioklimas durch die Umgestaltung errechnet. Zum einen zeigen die Ergebnisse eine deutliche Reduzierung des Hitzestresses an Stellen, die auf dem gegenwärtigen Platz strahlungsexponiert, im Planentwurf jedoch verschattet sind. Diese finden sich vorrangig unter Bäumen, jedoch auch im Schatten des „Platzhauses“. Im gleichen Umfang ist jedoch auch eine Verstärkung der Hitzebelastung an Stellen zu beobachten, die auf dem gegenwärtigen Platz im Schatten und auf dem umgestalteten Platz in der Sonne liegen. Eine Reduzierung des Hitzestresses findet sich auch im Bereich der Wasserbecken, die auf dem neuen Platz entstehen sollen. Diese beträgt für die geplanten Wasserbecken vor dem Stadttheater, die derzeitige Rasenflächen ersetzen sollen, ca. 4 bis 6 °C. Im Vergleich mit der Asphaltfläche des derzeitigen Platzes ist die PET innerhalb des Wasserbeckens im Süden des umgestalteten Platzes sogar um ca. 8 °C reduziert. Diese Reduzierung bleibt jedoch auf die Wasserbecken selbst beschränkt. Ein Einfluss über den Rand der Becken hinaus wird nicht prognostiziert.

Veränderungen in den Bodenbelägen des Platzes durch die Umgestaltung ergeben mehrere Veränderungen bei dessen thermischem Komfort. Der Bodenbelag aus hellem Naturstein als Ersatz für die Asphaltflächen wirkt sich leicht erhöhend auf den dort zu verzeichnenden Hitzestress aus, was durch die erhöhte Reflexion kurzweiliger Strahlung bedingt ist. Lediglich an verschatteten Stellen ist durch das Ersetzen von Asphalt durch hellen Naturstein ein leichter Rückgang von PET zu erwarten. Gravierender wirkt sich hingegen das Ersetzen der Rasenflächen durch Natursteinplatten aus. Dies führt zu einer starken Erhöhung der PET in den betroffenen Bereichen. Mit zunehmender Dauer einer Hitzewelle wird der Unterschied im thermischen Stress zwischen Rasen und Natursteinplatten jedoch geringer. Da dies auf ein Austrocknen der Rasenfläche zurückzuführen ist, ließe sich dieser positive Einfluss der Rasenflächen auf den thermischen

Komfort durch Bewässerung der Rasenfläche dauerhaft erhalten.

Insgesamt lässt sich durch den Wechsel der Bodenbedeckung im Zuge der Umgestaltung des Platzes eine Erhöhung sommerlichen Hitzestresses feststellen. Diese ist, bezogen auf das ideale Stadtklima [5], als negativ zu bewerten.

5 Diskussion

In dieser Untersuchung wurde eine Reihe von Methoden aus der angewandten Stadtklimatologie verwendet. Jede von ihnen hat spezifische Vor- und Nachteile. So ist die Darstellung des Sky-View-Faktors prinzipiell eine gute Möglichkeit, einen schnellen Überblick über die Veränderung der Strahlungsverhältnisse zu erlangen. Da diese jedoch durch eine Reihe von Faktoren, wie beispielsweise die direkte Sonneneinstrahlung, in weit größerem Ausmaß modifiziert werden können, sollte auf der Grundlage des Sky-View-Faktors als alleinigem Parameter keine Aussage über deren Veränderungen getroffen werden. Die getroffenen Aussagen basieren somit vorrangig auf den Ergebnissen der Modelle RayMan und ENVI-met, die durch die zusätzliche Berücksichtigung sehr vieler weiterer Faktoren eine detailliertere Einschätzung erlauben.

Das Modell RayMan wurde für diese Untersuchung als wichtigstes Instrument für die Einschätzung der Veränderungen des thermischen Bioklimas durch die Umgestaltung ausgewählt. Dies ist in mehreren Vorzügen des Modells begründet. RayMan ist ein sehr schnelles Modell, das die Möglichkeit der Berechnung sehr langer repräsentativer Zeitreihen unter Verwendung echter Messdaten bietet. So konnten für diese Arbeit vorhandene Daten der Stadtstation des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg zum Einsatz kommen.

Aus der Verwendung dieser Daten ergeben sich jedoch auch Ungenauigkeiten. So befindet sich die Stadtstation Freiburg in einer horizontalen Entfernung von ca. 800 m zum Untersuchungsgebiet. Dies mag für relativ träge Größen wie die Lufttemperatur eine sehr geringe Rolle spielen, kann jedoch bei lokal sehr variablen Größen, wie beispielsweise der Windgeschwindigkeit, zu deutlichen Abweichungen führen. Ein weiteres Problem bei der Verwendung dieser Daten ergibt sich aus dem Höhenunterschied zwischen dem Messniveau (ca. 55 m) und dem Modellniveau von 1,1 m über Grund. Dieser erfordert eine Höhenkorrektur der Messdaten. Da die hierfür verwendeten Formeln Vereinfachungen enthalten, können durch die Höhenkorrektur Ungenauigkeiten entstanden sein. Da in dieser Untersuchung jedoch der derzeitige mit dem umgestalteten Platz verglichen wird, heben sich derartige Fehler wieder auf.

Ein weiterer großer Vorteil des Modells RayMan ist die große Vielfalt an Möglichkeiten, die Horizonteinschränkung in das Modell einzulesen. Die für diese Arbeit gewählte Methode des Imports von Fisheye-Bildern ist dabei ein sehr einfacher, aber auch sehr genauer Weg. Da es sich bei den verwendeten Fisheye-Bildern jedoch nicht um Fotos, sondern um berechnete Grafiken handelt, sind einige Fehlerquellen zu beachten. Zum einen könnten bei der Erstellung der Grafik mit dem verwendeten Programm SkyHelios selbst Fehler entstanden sein, zum anderen können die zugrunde liegenden Daten Ungenauigkeiten aufweisen.

Nicht zuletzt sind selbstverständlich auch Fehler durch die Berechnung mit RayMan selbst nicht ausgeschlossen. Da Ergebnisse von RayMan Berechnungen im Zuge zahlreicher anderer Arbeiten [6] validiert wurden, kann aber eine hohe Genauigkeit angenommen werden.

Verglichen mit RayMan ist ENVI-met ein komplexes Modell. Es ermöglicht die Berechnung von sehr vielen stadtklimatologischen und lufthygienischen Parametern. Seine große Komplexität erhöht jedoch die Wahrscheinlichkeit von Bedienungsfehlern und macht das Modell sehr langsam. So erstreckt sich der Berechnungszeitraum nicht über mehrere Jahre, sondern liegt lediglich im Bereich weniger Tage. Da das Modell in dieser Untersuchung vorrangig zur Untersuchung der flächenhaften Verteilung des Hitzestresses auf dem Platz verwendet wurde, war der zeitliche Rahmen jedoch ausreichend.

In den Ergebnissen sichtbar vorhanden sind dagegen modellbedingte Schwächen. So kommt es aufgrund der groben horizontalen Auflösung des verwendeten Oberflächenmodells von 3 m x 3 m zu einigen Ungenauigkeiten. Diese zeigen sich vorrangig an schrägen Wänden, wo durch die Modellauflösung Ecken entstehen. Objekte mit einer Kantenlänge < 3 m können zudem nur als Quader mit horizontaler Kantenlänge von 3 m oder gar nicht berücksichtigt werden. Gleiches gilt für die vertikale Auflösung. Da sich die Gebäude in der derzeitigen Ausgestaltung und der untersuchten Variante jedoch kaum unterscheiden und die Schlussfolgerungen aus dem vergleichenden Gegenüberstellen der beiden Modellläufe gezogen werden, wirken sich diese Ungenauigkeiten nicht wesentlich auf das Ergebnis der Untersuchung aus.

6 Schlussfolgerungen

Die Arbeit zeigt für den hier untersuchten Fall, dass sich die Umgestaltung des „Platz der Alten Synagoge“ in Freiburg modifizierend auf das thermische Bioklima der Menschen, die sich dort aufhalten, auswirkt. Legt man dabei die Definition des idealen Stadtklimas als Maßstab an, muss in der Summe von einer Verschlechterung des thermischen Bioklimas des Platzes ausgegangen werden. Dies bedeutet eine Zunahme von Situationen mit Kältestress sowie vor allem eine Zunahme von Hitzestress. Letztere betrifft vorrangig die Sommermonate und sollte, da eine Anpassung an Hitzestress nur schwer möglich ist, besondere Berücksichtigung finden.

Nicht überraschend ist die Zunahme des Hitzestresses durch das Ersetzen von Rasenflächen gegen Natursteinplatten, die im Niveau von zwei thermophysologischen Belastungsklassen liegt (Unterschiede von PET bis ca. 8 °C).

Sehr überraschend dagegen ist die durch ENVI-met prognostizierte Erhöhung von PET durch das Ersetzen der Asphaltflächen gegen den Belag aus Natursteinplatten. Dass diese nur an strahlungsexponierten Stellen und nicht in verschatteten Bereichen zu beobachten ist, zeigt, dass sie der größeren Albedo des Natursteinbelags zuzuschreiben ist.

Der stärkste Einfluss auf das thermische Bioklima ist jedoch in den Ergebnissen beider Modelle durch Verschattung zu erkennen. RayMan berechnet vor allem für Messpunkte, die sowohl auf dem derzeitigen Platz als auch auf dem umgestalteten unter Bäumen liegen, einen sehr hohen Anteil an Stunden thermischen Komforts, während Stunden mit thermischem Stress gegenüber Messpunkten ohne Strahlungs-

schutz deutlich reduziert sind. Auch in den Ergebnissen der Berechnungen mit ENVI-met weisen schattige Bereiche ein thermisch deutlich komfortableres Klima auf. Umgekehrt berechnet RayMan für den Messpunkt, der in der Mitte des Platzes die geringste Abschattung erfährt, die größten Anteile an Stunden mit thermischer Belastung. ENVI-met zeigt für die Platzfläche ebenfalls extremen Hitzestress. Im Hinblick auf eine ganzjährige Nutzbarkeit des Platzes sollte somit über Möglichkeiten der Reduzierung der Hitzebelastung auf der Platzfläche nachgedacht werden.

Methodisch konnte in dieser Untersuchung auf der Grundlage eines populären und vieldiskutierten Beispiels gezeigt werden, dass sich die verwendeten Modelle SkyHelios, RayMan und ENVI-met hervorragend ergänzen. Jedes der Modelle weist zwar eigene Schwächen auf. Durch die Kombination konnten jedoch einige dieser Schwächen kompensiert und trotzdem die jeweiligen Vorteile genutzt werden. Dies ermöglichte sowohl die Gewinnung neuer Erkenntnisse als auch die Reduzierung des Arbeitsaufwands verglichen mit der separaten Nutzung der Modelle.

Die Studie zeigt, dass für Um- oder Neugestaltungen von urbanen Flächen kurze Simulationszeiträume oder Fallstudien weniger geeignet sind, eine ganzjährige Situation repräsentativ darzustellen. Ziel der Analyse war nicht das Aufzeigen der besten Planungsvariante für den konkreten Platz, sondern die Quantifizierung der möglichen Auswirkungen.

Literatur

- [1] Mayer, H.: KLIMES – a joint research project on human thermal comfort in cities. Ber. Meteorol. Inst. Univ. Freiburg (2008) Nr. 17, S. 101-117.
- [2] Ender, C.; Matzarakis, M.: Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. Int. J. Biometeor. 54 (2010), S. 479-483.
- [3] Mayer, H.: Workshop „Ideales Stadtklima“ am 26. Oktober 1988 in München. DMG-Mitteilungen 3 (1989), S. 52-54.
- [4] Matzarakis, A.; Ender, C.: Physiologically equivalent temperature and climate change in Freiburg. 8th Symposium on the Urban Environment. American Meteorological Society, Phoenix/Arizona, 10. to 15. January 2009, S. 1-8.
- [5] Lin, T.-P.; Matzarakis, A.; Hwang, R.-L.: Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. Building Environm. 45 (2010), S. 213-211.
- [6] Lin, T.-P.; Matzarakis, A.; Hwang, R.-L.; Huang, Y.-C.: Effect of pavements albedo on long-term outdoor thermal comfort. In: Matzarakis, A.; Mayer, H.; Chmielewski, F.-M. (Hrsg.): Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology. Ber. Meteorol. Inst. Univ. Freiburg (2010) Nr. 20, S. 498-504.
- [7] Matzarakis, A.; Rutz, F.; Mayer, H.: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model. Int. J. Biometeorol. 51 (2007), S. 323-334.
- [8] Matzarakis, A.; Rutz, F.; Mayer, H.: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – Basics of the RayMan model. Int. J. Biometeorol. 54 (2010), S. 131-139.
- [9] Bruse, M.: Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima. Entwicklung des prognostischen numerischen Modells ENVI-met zur Simulation der Wind-, Temperatur-, und Feuchtverteilung in städtischen Strukturen. Dissertation Universität Bochum 1999.

- [10] Mayer, H.; Höppe, P.: Thermal comfort of man in different urban environments. *Theor. Appl. Climatol.* 38 (1987), S. 43-49.
- [11] Höppe, P. R.: The physiological equivalent temperature – a universal index for the bioclimatological assessment of the thermal environment. *Int. J. Biometeorol.* 43 (1999), S. 71-75.
- [12] Matzarakis, A.; Mahlau, F.; Mayer, H.: Online-Visualisierung von meteorologischen Daten im Internet – Meteorologische Stadtstation Freiburg. *Fachtagung Mettools IV*, S. 150-152.
- [13] Matzarakis, A.; Mayer, H.: Importance of urban meteorological stations – the example of Freiburg, Germany. *Ber. Meteorol. Inst. Univ. Freiburg* (2008) Nr. 17, S. 119-128.
- [14] Matzarakis, A.; Mayer, H.: Another kind of environmental stress: Thermal stress. *WHO Newsletter* (1996) Nr. 18, S. 7-10.
- [15] Matzarakis, A.; Matuschek, O.: Sky View Factor as a parameter in applied climatology – Rapid estimation by the SkyHeli Model. *Meteorol. Z.* 20 (2011) S. 39-45.

Herausgebermitteilungen

Aus der Arbeit der KRdL

VDI 2267 Blatt 1 Entwurf: Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft – Messen der Elementkonzentration nach Filterprobenahme – Bestimmung von Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, V und Zn mithilfe der Atomabsorptionsspektrometrie (AAS), der optischen Emissionsspektrometrie (OES) und der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS). Juli 2011. Die Ausgabe von April 1999 bleibt zunächst gültig. Einsprüche bis 31. Oktober 2011. € 68,10.

Die Richtlinie beschreibt ein Probenahmeverfahren für Metalle und Halbmetalle als Bestandteil des PM₁₀-Aerosols, einen Mikrowellendruckaufschluss der Probe in oxidierendem Säuregemisch und die Analyse mit folgenden Techniken: Grafitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie (GF-AAS), Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS), optischer Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES). Das vollständige und validierte Messverfahren kann zur Bestimmung von partikelgebundenem Pb, Cd, Ni und As im Rahmen der Europäischen Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa eingesetzt werden. Darüber hinaus kann dieses Verfahren zur Bestimmung weiterer partikelgebundener Elemente in verschiedenen Schwebstaubfraktionen eingesetzt werden. Zur Bestimmung von partikelgebundenem Pb, Cd, Ni und As sowie weiterer Schwermetalle als Bestandteil des PM₁₀-Aerosols hat sich der Einsatz der Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) und der Grafitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie (GF-AAS) als nachweisempfindliche Analysemethoden bewährt. Die optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) wird vorwiegend zur Analyse von Alkali-, Erdalkalimetallen sowie Fe, Mn, Al und Zn eingesetzt. Die Richtlinie stellt in einer Übersicht die geeigneten Analysetechniken mit ihren typischen unteren Arbeitsbereichsbereichen zur Bestimmung von Metallen und Halbmetallen im Schwebstaub (PM₁₀) zusammen.

Richtlinie VDI 3867 Blatt 4: Messen von Partikeln in der Außenluft – Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration und Anzahlgrößenverteilung von Aerosolen – Optisches Aerosolspektrometer. Juni 2011. Erscheint in deutsch/englischer Fassung. Ersetzt den Entwurf von Januar 2008. € 83,70.

Die Bedeutung von Aerosolpartikeln mit Durchmessern < 1 µm für die menschliche Gesundheit, aber auch für klimatische Effekte wird mehr und mehr erkannt. Blatt 4 der Richtlinie VDI 3867 gibt einen Überblick über Grundlagen, Messprinzipien und Anwendungsmöglichkeiten von optischen Partikelzählern zur Messung der Partikelanzahlkonzentration und der Anzahlgrößenverteilung. Dieser Gerätetyp ermöglicht die Absolutmessung der Anzahlkonzentration und die kontinuierliche Bestimmung der Größenverteilung. Der erfassbare Partikelgrößenbereich erstreckt sich von etwa 0,07 bis etwa 25 µm Durchmesser. Dabei können Anzahlkonzentrationen von weniger als 10⁻⁵ bis maximal etwa 10⁵ cm⁻³ gemessen werden.

VDI 4285 Blatt 2: Messtechnische Bestimmung der Emissionen diffuser Quellen – Industriehallen und Tierhaltungsanlagen. März 2011. Erscheint in deutsch/englischer Fassung. Ersetzt den Entwurf von September 2006. € 105,80.

Die Richtlinie legt Verfahren zur Ermittlung diffuser Emissionen aus Industriehallen und den Gebäuden von Tierhaltungsanlagen fest. Sie erlaubt die Ermittlung der Quellstärke durch indirekte und direkte Methoden zur Emissionsbestimmung. Bei den direkten Methoden erfolgt die Emissionsermittlung unmittelbar an der Quelle und beruht stets auf der Messung des Volumenstroms und der Konzentration. Als indirekte Methoden werden Emissionsermittlungen in einem gewissen Abstand zur diffusen Quelle unter Berücksichtigung der meteorologischen Randparameter verstanden. Diese Richtlinie behandelt nicht die diffusen Emissionen von Flächen in der Umgebung der Hallen oder Gebäuden, die zum Anlagenbereich gehören, sowie diffuse Feinstaubemissionen. Die Anwendung dieser Richtlinie setzt die Kenntnis der VDI 4285 Blatt 1 voraus, die die Grundlagen der messtechnischen Ermittlung von Emissionen aus diffusen Quellen beschreibt.

Hrsg.: KRdL im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, Vertrieb: Beuth Verlag, 10772 Berlin