

PUBLIZIERBARER ENDBERICHT

gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Kurztitel:	URBANIA			
Langtitel:	Influence of the development of outlying districts and urban growth on the urban heat island of the city of Vienna in the context of climate change			
Programm inkl. Jahr:	ACRP, 8th Call for Proposals (2015)			
Dauer:	1.06.2016 bis 30.11.2018			
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Ao.Prof.Dr.Mag. Philipp Weihs			
Kontaktperson Name:	Ao.Prof.Dr.Mag. Philipp Weihs			
Kontaktperson Adresse:	Gregor-Mendelstrasse 33, 1180 Wien			
Kontaktperson Telefon:	01 47654 81424			
Kontaktperson E-Mail:	philipp.weihs@boku.ac.at			
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	MA22 (Wien)			
Schlagwörter:	Urbane Wärmeinsel, WRF, TEB, Stadterweiterung, Verdichtung Klimawandel, Wien			
Projektgesamtkosten:	384 519 €			
Fördersumme:	295 149 €			
Klimafonds-Nr:	KR15AC8K12615			
Erstellt am:	28.2.2019			



Bitte löschen Sie die grau markierten Textteile nach Ausfüllen des Templates aus dem Dokument!

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Im Projekt URBANIA wurde der Einfluss der urbanen Entwicklung im Großraum Wien auf den Wärmeinseleffekt im Wiener Kerngebiet untersucht. Dazu wurden extreme Hitzeperioden aus der Vergangenheit, sowie Extremereignisse in zukünftigen Klimaszenarien ausgewählt und ausgewertet. Die Entwicklungsszenarien basieren auf dem erwarteten Bevölkerungswachstum. Außerdem wurden Szenarien aus unterschiedlicher Bebauungsform und Wahl der Baumaterialien erstellt.

Zur Untersuchung des Wärmeinseleffekts in der Stadt wurden die Temperaturverteilung und der thermische Komfort des Menschen in Wien und dem Umland simuliert. Dafür wurde ein Multiscale-Ansatz gewählt und es mussten zunächst Klimamodelle für unterschiedliche Skalen gekoppelt werden. "Weather Research and Forecasting" (WRF) ist ein Modell auf Mesoskala und wurde benutzt, um die meteorologischen Bedingungen zu simulieren. Um die Temperatur in Bodennähe abzuschätzen wurde das "Town Energy Balance" (TEB) Modell verwendet (Masson 2000) welches ein mikro-skaliges Modell ist. TEB ist dazu gedacht, die Energieflüsse (Strahlungsbilanz, fühlbare Wärme und Verdunstungswärme) zwischen den Oberflächen und der Atmosphäre zu simulieren und hat dabei eine Auflösung von einigen wenigen Häuserblöcken (~100 m). Dabei werden auch atmosphärische Luftströmungen und die Luftzirkulation im Straßenkanyon berücksichtigt. Es beinhaltet auch ein Energiebilanzmodell (BEM) für Gebäude. Die Gebäudestruktur wird durch vereinfachte Straßenkanyons repräsentiert. TEB wurde auch verwendet, um den UTCI (Universal Thermal Climate Index), einem Index für die Bewertung des thermischen Komforts des Menschen, abzuschätzen. Zusätzlich wurden auch Simulationen mit SOLWEIG (Solar Long-Wave Environmental Irradiance Geometry) durchgeführt. Im Gegensatz zu TEB wird in SOLWEIG mit der realen Gebäudestruktur gerechnet, was zu präziseren Ergebnissen im Straßencanyon führt. Diese Simulationen dienten dem Vergleich mit WRF-TEB Simulationen. Dafür wurde SOLWEIG um Modelle für die Windgeschwindigkeit im Canyon und für den UTCI erweitert.

Die meteorologischen Modelle wurden einerseits durch Messdaten validiert und fallweise initiiert. Die Messdaten stammen einerseits von der Zentralanstalt für Meteorologie und andererseits von im Rahmen des Projektes durchgeführten Messungen an neuen verschiedenen Orten. Die neun Standorte wurden über ganz Wien verteilt ausgewählt. Für die Studien zur Auswirkung von städtebaulichen Maßnahmen, dem Wachstum der Stadt Wien und des Umlandes und dem Klimawandel wurden die Modelle durch simulierte meteorologische Daten aus zukünftigen Klimaszenarien initiiert.

Um die Auswirkungen für extreme Hitzeperioden aufzuzeigen, wurden 15-jährige Ereignisse um 2015 und um 2050 ausgewählt. Dabei erreicht die Lufttemperatur im Straßencanyon über 5 Tage gemittelt eine maximale Tagestemperatur von 36,3 °C. Um 2050 herum könnte diese Temperatur auf 41,2 °C steigen. Während die Temperaturverteilung über das Stadtgebiet zur Tagesspitze eher homogen ist, zeigen sich deutliche Unterschiede in den Nachtstunden. Es zeigt sich, dass durch eine optimierte Bebauung im Vergleich zur herkömmlichen Auswahl der Baumaterialien innerstädtisch die Temperatur während einer Hitzewelle um mehr als 1 °C gesenkt werden kann. Dabei bedeutet eine optimierte Bebauung vorrangig eine Erhöhung der Albedo und eine starke Verbesserung der thermischen Isolierung an allen Gebäuden. Dieser Effekt bleibt auch unter den Änderungen der Klimabedingungen in dieser Größenordnung erhalten.

Im Gegensatz zur Lufttemperatur fällt eine etwaige Verbesserung des thermischen Komforts viel geringer aus. Die beträgt nur bis zu 0,5 °C auf der UTCI-Skala für die inneren Stadtbezirke. Die größten Unterschiede bestehen lediglich zwischen beschatteten und sonnigen Straßenabschnitten. Während einer Hitzeperiode um 2050 ist im Schatten mit dem Wärmeempfinden zu rechnen, das



vergleichbar mit dem bei einem heutigen Extremereignis in der Sonne ist. Das entspricht der Kategorie "Heiß". Bei einem Wechsel vom Schatten in die Sonne ändert sich das Wärmeempfinden um eine ganze Kategorie. Das bedeutet, in der Zukunft empfindet es der Mensch in der Sonne als "sehr heiß", was die höchste Kategorie ist.

Grundsätzlich kann bezüglich der Auswirkung der Bebauungsart auf den thermischen Komfort folgendes festgestellt werden: der Komfort wird durch die optimierte Bebauung um die Mittagszeit herum verschlechtert. Dabei ist der stärkste Faktor die thermische Isolierung und als zweiter Faktor die Erhöhung der Albedo. Jedoch bewirken beide Faktoren in der Nacht einen gleichermaßen positiven Effekt auf den Komfort. Ein Faktor der sich ganztägig positiv auswirkt ist die Begrünung. In dieser Studie wurde nur der Effekt einer Dachbegrünung untersucht und es ist zu erwarten, dass der Kühlungseffekt durch Bewässerung verstärkt werden kann.

2 Executive Summary

During the Project URBANIA, the influence of urban development in the region in and around Vienna on the heat island effect inside Vienna was investigated. For this purpose, extreme heatwaves during the present time and for a future climate-change scenario were selected and analysed. The urban development scenarios were based on the expected population growth. Further, different scenarios were setup for different building structures and usage of building materials.

To investigate the heat island effects inside the city of Vienna, the spatial distribution of air temperature and the human thermal comfort were simulated for Vienna and its surrounding area. For the simulations, a multiscale-model approach was chosen. For that, it was required to couple meteorological models for different scales. "Weather Research and Forecasting" (WRF) is a model on the mesoscale and was used to simulate the general meteorological condition. To simulate the air temperature inside the urban canyons the "Town Energy Balance" (TEB) model was used, which operates on microscale. TEB is developed to simulate the energy fluxes (radiative energy balance, latent and evaporative heat) between surfaces and the atmosphere and has a resolution of few neighbourhoods (~100 m). It also considers atmospheric airflow and air circulation within the urban canyon. Further, TEB contains a model for the building energy balance (BEM). The building and canyon structure is represented as simplified urban canyons.

TEB was further used within this project to calculate the Universal Thermal Climate Index (UTCI), which is an index to quantify the human thermal comfort. Additional simulations of the UTCI were done with SOLWEIG (Solar Long-Wave Environmental Irradiance Geometry). In contrast to TEB, SOLWEIG uses the real (complex) building structure, which increases the accuracy of the results in street canyons. Those results were used for a comparison with WRF-TEB. SOLWEIG was also extended by models for wind speed inside the canyons and for the UTCI.

The meteorological models were validated and for a few scenarios even initiated with measurement data. That measurement data origin for some part from the Austrian federal office for meteorology (ZAMG) and from measurements collected within this project for nine different locations. Those nine locations were distributed within the area of Vienna. To study the impact of urban development scenarios and growth of the city and its surroundings under the condition of climate change, the model was initiated from meteorological data simulated for future climate scenarios.

To study the impact for extreme heat waves, 15-year recurring events around the years 2015 and 2050 were selected. Currently, such a heat wave would have an average maximum air temperature of 36.3 °C. By 2050, the expected maximum temperature will raise to 41.2 °C. While the spatial temperature distribution over Vienna at its maximum is rather homogeneous, the differences appear during the night. The results show that by using optimised building materials the air temperature for the inner districts can be lowered by more than 1 °C, compared to using the usual building materials. The optimised choice of building materials main refers to an increase of the surface albedo and an improved thermal insulation on all buildings. This effect remains with this magnitude even under climate change.



In contrast to the air temperature, the improvements on the thermal comfort of humans on the street are significantly smaller. For the inner districts, the comfort can only be improved by up to 0.5 °C on the UTCI-scale. The largest difference lies between shaded sections of pavement compared to those in the sun. During a heat wave around 2050, the thermal comfort in the shadow corresponds to the comfort in the sun during a comparable event nowadays and has the category "hot". Moving in to the sun changes the discomfort to even "very hot" which is the highest category.

In general, the following relations about the influence of building measures on the thermal comfort can be found: the optimised building scenario causes an increase in discomfort around noon. Here the strongest factor is the thermal insulation of buildings and the second factor is the increase of the surfaces albedo. However, both factors have an equally positive effect during the night. One factor that acts positive on the thermal comfort during the whole day are green roofs or facades. In this study, only the effect of green roofs was investigated and it is expected, that the cooling effect can be increased by irrigation.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Städtisches Siedlungsgebiet ist im Vergleich zum ländlichen Raum im Allgemeinen für den hohen Anteil an versiegelten Flächen, die höhere Wärmekapazität und eine geringere Luftfeuchtigkeit bekannt. Diese Faktoren tragen unter anderem zum bekannten Phänomen der städtischen Wärmeinsel bei. Die besiedelten Gebiete in und um Wien wachsen rasant und können deshalb die Häufigkeit des Auftretens und die Stärke von Wärmestress für den Menschen erhöhen. Wärmeinseln treten aber nicht überall in der Stadt gleicher maßen auf. So gibt es Unterschiede in der Gebäudestruktur, der Verteilung, Größe und Ausstattung öffentlicher Plätze, der Gebäudehöhen und auch der Verteilung von Vegetation. Das beeinflusst die Luftzirkulation und hat letztendlich einen Einfluss auf den Wärmetransport. Außerdem zeichnen sich Städte dadurch aus, dass die Eigenschaften der Oberflächen und ihrer Materialien sehr stark variieren. Das betrifft zum Beispiel die Reflektivität und die Emissivität der Oberflächen, sowie die Wärmekapazität und die Wärmeleitfähigkeit der Materialien von Gebäuden und Böden.

Die Verteilung der Wärmeinseln in Wien wird durch diese Unterschiede in der Morphologie und der physikalischen Eigenschaften der verwendeten Materialien beeinflusst, sowie der Verteilung von unversiegeltem Boden und Vegetation. Diese Aspekte beeinflussen das Stadtklima auf Mikro- wie Mesoskala. Mit dem globalen Klimawandel erhöht sich die durchschnittliche Lufttemperatur und deshalb könnte sich der thermische Komfort für die Bevölkerung im Sommer weiter verringern. Um den Wärmestress auf den Menschen in der Stadt so gering wie möglich zu halten, sollten im Rahmen dieses Projektes die Auswirkungen der Stadtentwicklung auf das Stadtklima und die mögliche Vermeidung von Wärmeinseln untersucht werden. Dazu wurde vorrangig auf die Modellierung des Stadtklimas zurückgegriffen. Historische Hitzeperioden, wie solche in zukünftigen Klimaszenarien sollten herangezogen werden. Die Auswirkungen des städtebaulichen Ist-Zustands sollte mit verschiedenen Wachstumsszenarien verglichen werden. Schlussendlich sollte es möglich sein, Empfehlungen für die Stadtplanung und –entwicklung zu geben, um den Wärmestress für eine wachsende Bevölkerung so gering wie möglich halten zu können.

Die Ziele des Projektes waren:

- Durch Modellkopplung sollte ein Multiscale-Modell entwickelt und für die Stadt Wien validiert werden. Gegebenenfalls sollten Unsicherheiten identifiziert und Verbesserungsvorschläge entwickelt werden. Es wird erhofft, dass sich dadurch Verbesserungen in der Modellierung ergeben.
- Der Einfluss vom Klimawandel, Städtewachstum und Wahl der Baumaterialien auf das Stadtklima in den Bezirken von Wien soll untersucht werden.
- Der Einfluss eines Städtewachstums in und um Wien auf das Stadtklima soll untersucht werden.



• Es sollten stadtplanerische Maßnahmen für die Entwicklung der Außenbezirke Wiens identifiziert werden, die sich eignen, um die Entstehung von Wärmeinseln in der Stadt unter Einfluss des Klimawandels zu vermeiden. Dies kann sein: geeignete Begrünung in neuen Stadtvierteln, Wahl der Gebäudehöhen und Straßenbreiten und Auswahl an geeigneten Baumaterialien.

4 Projektinhalt und Ergebnis(se)

4.1 Darstellung des Projektes

Urbane Siedlungen weisen - verglichen mit ländlichen Zonen - in der Regel einen höheren versiegelten Flächenanteil auf, der kein Wasser speichert und eine höhere Wärmekapazität aufweist. Das führt in Verbindung mit der geringeren Verdunstungskühlung wegen des geringeren Vegetationsanteils zum bekannten Wärmeinseleffekt. Die Stadterweiterung und Verdichtung des Wiener Raums schreitet voran und wird voraussichtlich zu einer Verstärkung der Häufigkeit und der Intensität von Hitzestress führen. In einer Stadt sind überhitzte Zonen aufgrund der Morphologie und der städtischen Strukturen sowie der Verteilung von versiegelten Flächen und Vegetation sehr inhomogen verteilt. Diese Inhomogenitäten werden zusätzlich durch den sehr stark schwankenden Einfluss der städtischen Strukturen auf den aerodynamischen Widerstand und den durch lokale Strömungen verursachten Wärmetransport verstärkt. Boden und Gebäudeeigenschaften unterscheiden sich außerdem sehr stark durch ihre Albedo, ihre Emissivität, ihre spezifische Wärmekapazität und ihre Wärmeleitfähigkeit. Die hier erwähnten Aspekte beeinflussen das mikround meso-skalige Klima. Des Weiteren führt der Klimawandel zu einer Erhöhung der Basistemperatur, sodass vor allem im Sommer eine starke Verschlechterung des thermischen Komforts erwartet wird. Anhand eines multi-skaligen numerischen Klimamodellansatz wurde der Einfluss von Raumplanung und Materialeigenschaften der Gebäude auf das Klima simuliert und es wurden dadurch Werkzeuge geschaffen und Empfehlungen für eine klimagerechte Raum- und Stadtplanung abgegeben.

4.2 Ziele des Projekts

Das Projekt hat sich folgende Punkte zum Ziel gesetzt:

- Die Adaptierung und Validierung eines multi-skaligen Klimamodells für die Stadt Wien und die Bestimmung der erzielten Genauigkeit des multi-skaligen Modellansatzes. Möglichkeiten zur Verbesserung der Genauigkeit des multi-skaligen Modellansatzes sollen identifiziert werden.
- Bestimmung des Einflusses des Klimawandels auf das Klima der zentralen Bezirke von Wien.
- Abschätzung des Einflusses der Erweiterung der Stadt Wien auf die einzelnen Wiener Bezirke
- Bestimmung der bestgeeigneten Planungsmaßnahmen für Verminderung der städtischen Wärmeinsel. Hier soll vor allem das Augenmerk auf die Einbeziehung von Vegetation, auf die optimale Dimensionierung der städtischen Strukturen sowie auf die richtige Wahl der Baumaterialieneigenschaften-in Bezug auf ihre Speichereigenschaften und ihre Reflexionseigenschaften gelegt werden

Folgende Hypothesen wurden bei Projektbeginn definiert:

- Wird das lokale Klima in den zentralen Bezirken einer Stadt durch das Wachstum und die Stadterweiterung beeinflusst?
- Hängt dieser Einfluss von der architektonischen Planung und der Planung der neuen Bezirke und Randbezirke ab?
- Wird die Genauigkeit der Klimamodellierung durch einen multi-skaligen Modellansatz erhöht?



- Kann die Stadtplanung einen Beitrag zur Verminderung der durch den Klimawandel erwarteten Temperaturerhöhung leisten?
- Kann eine optimale Planung der Randbezirke zu einer Verminderung der Folgen des erwarteten Klimawandels führen?
- Wird der Klimawandel zu einer stärkeren Erhöhung der Temperaturen in den zentralen Bezirken verglichen zu den Randbezirken führen?

4.3 Darstellung der wesentlichen Arbeitspakete

Arbeitspaket 1 (AP1) widmete sich der Organisation des Projekts und der Disseminierung der Ergebnisse. Regelmäßige Projektbesprechungen sorgten für ausreichenden Austausch zwischen den Projektgruppen und Partnern. Es wurde mit mehreren bekannten Gruppen der wissenschaftlichen Gemeinschaft Kommunikation aufgenommen. Zwischenergebnisse wurden außerdem im Rahmen von nationalen und internationalen Konferenzen präsentiert. Eine Projekthomepage wurde eingerichtet. Beim Ablussmeeting waren mehrere Vertreterinnen und Vertreter der Wiener Magistrate anwesend, bei dem über die Ergebnisse informiert wurde. Dies ermöglichte auch zu diskutieren, welche Schlussfolgerungen und Ergebnisse für die Stadtplanung und -entwicklung besonders relevant sind. Eine der ersten Schritte unserer Untersuchungen war die Vorbereitung der Modellinputdaten und die Adaptierung der Modelle (AP2). Eine Methode zur Vorbereitung der Landnutzungsinformationen wurde entwickelt. Die Methode wurde anhand der bestehenden Literatur, einer statistischen Analyse sowie ExpertInneninterview weiterentwickelt. Weiters wurden die Modelle WRF und TEB gekoppelt und die meteorologischen Felder für die historischen Hitzewellen vorbereitet. Das Modell TEB wurde mit Hilfe von kontinuierlichen meteorologischen Messungen und anhand von Vergleichen mit anderen Modellen (TEB, WRF, WRF-SURFEX und WRF-TEB) validiert (AP3). Nach der Validierung des Modells wurden Stadtplanungsszenarien und Klimawandelszenarien definiert (AP4).

Simulationen des gekoppelten WRF-TEB Modells wurden für drei verschieden Klimaszenarien und für zwei Stadtplanungsszenarien durchgeführt (AP5). Die zeitliche und räumliche Abhängigkeit der Lufttemperatur, des UTCI und des PET wurden analysiert und daraus Schlussfolgerungen gezogen.

4.4. Beschreibung der Ergebnisse

Modell-Kopplung:

Durch die Kopplung der meteorologischen Modelle TEB und WRF ist ein gutes Modell zur Simulation der Lufttemperatur im städtischen Bereich entstanden. Die Validierung anhand von Messungen an acht Standorten zeigt, dass die modellierte Lufttemperatur zu 96 % mit der gemessenen korreliert. Die Streuung beträgt dabei je nach Struktur der Stadt zwischen 1,1 und 1,3 °C. Schwierigkeiten bei der Modellierung bereiten derzeit noch existierende Einschränkungen bei der Einbindung vielfältiger Landnutzungsklassen. Dies zeigte sich insbesondere im ländlichen Raum und bei Grün-, bzw. Feuchtflächen.

Hitzewellen:

Zur Untersuchung der Wärmeinselvermeidung wurden extreme Hitzeperioden ausgewählt. Als moderate Hitzeperioden wurden solche festgelegt, die alle zwei Jahre auftreten und als extreme Ereignisse wurden solche, die alle 15 Jahre auftreten, festgelegt. Die bei solchen Hitzeperioden auftretenden Maximaltemperaturen sind in Tabelle 4.1 zu sehen. Bei den Extremereignissen wurde aktuell eine maximale Temperatur von 36,3 °C gemessen. Für ein Zukunftsszenario in 2050 ist dann von einer täglich maximalen Temperatur von 41,2 °C auszugehen.



Tabelle 4.1: Maximale Lufttemperatur während einer aktuellen und zukünftigen Hitzeperiode. Gemittelte Werte über einen Zeitraum von 5 Tagen.

Typische Maximaltemperatur [°C]	2-jährig	15-jährig
Aktuell	31,6	36,3
Extremszenario 2050	35,4	41,2

Stadtentwicklungsszenarien:

Für die Entwicklung der Szenarien wurden die Bestimmungen und Entwicklungspläne der Gemeinde-, bzw. Landesregierungen herangezogen, wie auch statistische Daten. So wurden Daten der Planungsgemeinschaft Ost (2011) für das zu erwartende Bevölkerungswachstum bis 2030 und 2050 verwendet. Die Verteilung von zusätzlichem Siedlungsgebiet stammt ebenso aus Quellen der Planungsgemeinschaft Ost (2009, 2011), sowie dem "Leitbild Siedlungsentwicklung" der STEP 2025, Vorhersagen der ÖROK und MA32 und dem Strategieplan der MA21. Es wurde aber auch auf Schutzgebiete Rücksicht genommen, in denen Siedlungsgebiete nicht wachsen dürfen (STEP 2005, Natura 2000, "Naturschutzgebiete" NÖ, Strategie Niederösterreich – Landesentwicklungskonzept 2004 / Regionale Raumordnungsprogramme, Landesentwicklungsplan Burgenland 2011). Insgesamt wurde die potentielle Entwicklung für die gesamte "Stadtregion+" berücksichtigt. Damit würde sich das Siedlungswachstum außerhalb Wiens vor allem auf die von Wien ausgehenden Hauptachsen konzentrieren. Jedenfalls berücksichtigt wurden bereits bekannte Stadtentwicklungsprojekte, wie zum Beispiel die Seestadt Aspern oder die dritte Piste für den Flughafen Wien. Die angenommenen zusätzlichen Siedlungsgebiete sind in Abbildung 4.1 dargestellt. Grün sind bereits bekannte Wachstumsgebiete und rot sind jene Flächen die als zusätzliches Wachstum angenommen wurden.

Statt flächigem Wachstum wurde auch die Option gewählt, die Stadt Wien zu verdichten, ohne bestehende Grünflächen zu verbauen. Dies wäre nur durch Dachgeschoßausbau oder Umgestaltung von Industrieflächen zu gemischten Industrie-/Wohngebieten möglich. Wohngebiete, in denen auf Grund der Gebäudehöhe kein weiter Ausbau möglich ist, wurden von der weiteren Verdichtung ausgenommen. Die Abschätzung der Verdichtung basiert allerdings fast vollständig auf Annahmen, da die fast ausschließlich eine Angelegenheit von privaten Eigentümern oder Investoren ist. Laut Daten der Planungsgemeinschaft Ost wird bis 2030 ein Bevölkerungswachstum in der gesamten "Stadtregion+" von 400000 Einwohnern und bis 2050 sogar 800000 Einwohner erwartet. Darauf aufbauend wurde die Brutto-Geschoßfläche bestimmt, die notwendig wäre, um die zusätzliche Bevölkerung und zusätzlichen Platz für Arbeits- oder Produktionsstätten aufnehmen zu können.

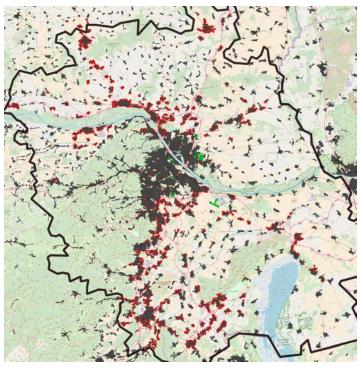
Auf diese Daten und Annahmen aufbauend wurden in diesem Projekt folgende drei Stadtentwicklungsszenarien erstellt: Eine Referenz (REF) mit derzeitigem Bebauungszustand, ein in der Fläche ausbreitendes Entwicklungsszenario "sprawl" (SPR) und ein auf Verdichtung basiertes Szenario unter Einbeziehung von baulichen Maßnahmen, die als Mittel zur Verringerung von Wärmeinseln diskutiert werden, "optimised" (OPT).

Das Entwicklungsszenario SPR beinhaltet im Vergleich zur Referenz, unter Berücksichtigung des oben genannten Wachstums und der Einschränkungen, als zusätzliche Bebauung jene Flächen, die in Abbildung 4.1 rot und grün markiert sind. Die derzeit für Gebäude typischen Werte für die Wärmeleitfähigkeit von Gebäudehüllen und Böden, sowie der Albedo aller Oberflächen wurden ebenso für dieses Szenario angenommen. Die Werte sind der Tabelle 4.2 zu entnehmen. Das optimierte Szenario OPT nimmt ausschließlich ein Flächenwachstum in den bekannten Entwicklungsgebieten an (siehe Abb. 4.1, grüne Flächen). Die übrige notwendige Geschoßfläche wird durch Aufstockung und Umgestaltung von Industriegebieten geschaffen. Wie bereits erwähnt



werden bestehende Grünflächen in Wien nicht verringert. Zusätzlich werden aber auch die verwendeten Materialien optimiert. Dabei werden die Albedo der Gebäudeaußenflächen und der Verkehrsflächen auf praktikable Werte erhöht. Außerdem wird die Wärmeleitfähigkeit der Gebäudehülle verringert. Die dabei angenommenen Parameter sind in der Tabelle 4.2 aufgelistet. Zu guter Letzt wurde auch eine Teilweise Entsiegelung der Böden angenommen. All diese Maßnahmen sind bereits als Mittel zur Verringerung von Wärmeinseln bekannt.

Für die detaillierte Analyse der Auswirkungen wurden neun Gebiete innerhalb der Stadt Wien definiert. Dadurch lassen sich verschiedene Regionen mit unterschiedlichen Charakteristika besser vergleichen. Die zwei wichtigsten Regionen sind die inneren Bezirke (CE) und das ländliche, unbewohnte Gebiet (RU). Durch den Vergleich dieser zwei Gebiete lässt sich der Effekt der Wärmeinsel sehr gut quantifizieren. Ein weiteres Gebiet ist um das neue Entwicklungsgebiet Seestadt Aspern (SA). Dadurch lassen sich die Auswirkungen eines neu errichteten Stadtteils untersuchen. Die Gebiete North Rim (NO), South Industrial (SI) und South East Rim (SE) weisen einen höheren Anteil an Gewerbe- und Industriegebieten auf. Dort ist es auch am wahrscheinlichsten, dass die Gebiete in der Zukunft verdichtet werden. Weitere Gebiete sind noch South Expansion (SX), West-Elevated (WE) und das Wiental (VW). Bei den letzten zwei Gebieten ist der durch den Wienerwald dominierte Effekt von Interesse. Die ausgewählten Gebiete sind in Abb. 4.3 dargestellt.



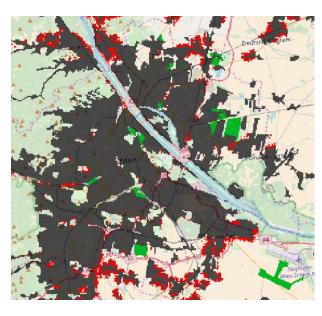


Abbildung 4.1: Räumliche Verteilung der zusätzlichen Siedlungsgebiete in der "Stadtregion (grün: bekannte Entwicklungsgebiete, rot: zusätzliche abgeschätzte Stadterweiterungen). Links: Gesamtes Gebiet "Stadtregion+"; rechts: Vergrößerter Ausschnitt auf Wien. Für das Szenario SPR wurden die zusätzlichen und bekannten Gebiete angenommen (grün + rot), für OPT nur die bekannte Stadtentwicklung (grüne Flächen).



Tabelle 4.2: Liste der städtebaulichen Parameter, die für die drei Szenarien "Referenz", "sprawl" und "optimiert" mit WRF-TEB verwendet wurden.

			"REF"	"SPR"	"OPT"
Siedlungsgebiete: Gesamte verbaute Fläche [km²] (Fläche im Vergleich zu REF [%])			929 (100)	1115 (120)	939 (101)
Bebauungsanteil je Bebauungsart [%]	Geringe bewohnt	Dichte,	22	22	24.2
	Hohe Dichte, b	ewohnt	46	46	46
	Gewerbe		16	16	24.2
Wärme- Leitfähigkeit [W/mK]	Dach		1.7	1.7	0.1
	Fassaden		1.4	1.4	0.1
	Boden		0.9	0.9	0.4
	Fenster				0.9
Albedo [-]	Dach		0.15	0.15	0.68
	Fassaden		0.2	0.2	0.3
	Boden		0.138	0.3	0.3



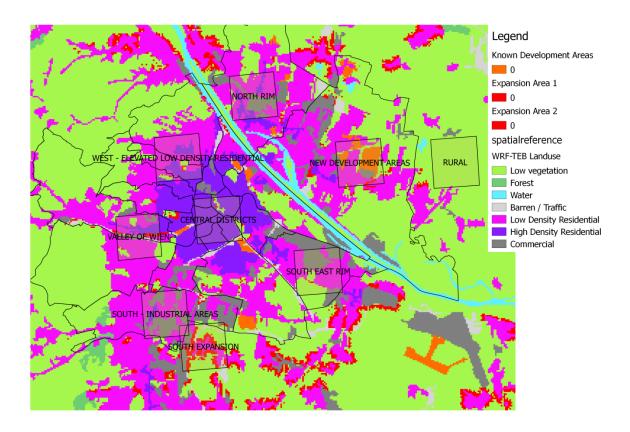


Abbildung 4.3: Auswahl bestimmter Untersuchungsgebiete in Wien.

Auswirkung auf die Lufttemperatur

Das Tagesmaximum der Lufttemperatur einer 15-jährig auftretenden Hitzeperiode weist nur geringe regionale Unterschiede auf. Das ändert sich auch mit dem Klimawandel für ein Szenario in 2050 nicht, wie in Abbildung 4.4 oben zu sehen ist. Für ein aktuelles Extremereignis, zum Beispiel für das Jahr 2015, liegt der Median der maximalen Tagestemperatur für alle Regionen um etwa 34 °C und unterscheidet sich lediglich um etwa 1 °C (siehe Abb. 4.5 oben). Es zeigt sich auch, dass das ländliche Gebiet (RU) und die Seestadt Aspern (SA) wärmer sind als das zentrale Stadtgebiet (CE). Das kann dadurch erklärt werden, dass besonders in der Stadt ähnlich heiße Luft wie außerhalb unmittelbar über den Dächern liegt und die 2 m Temperatur in den Straßenzügen durch Abschattung geringer ist.

Der größte Einfluss auf die Lufttemperatur ist in der Nacht zu sehen (Tagesminima). Zu dieser Zeit ist das Zentrum (CE) mit Werten nur knapp unter 25 °C deutlich wärmer als das Umland mit Werten um die 22 °C. Das sieht man deutlich in Abb. 4.4 unten links und auch Abb. 4.5 unten.



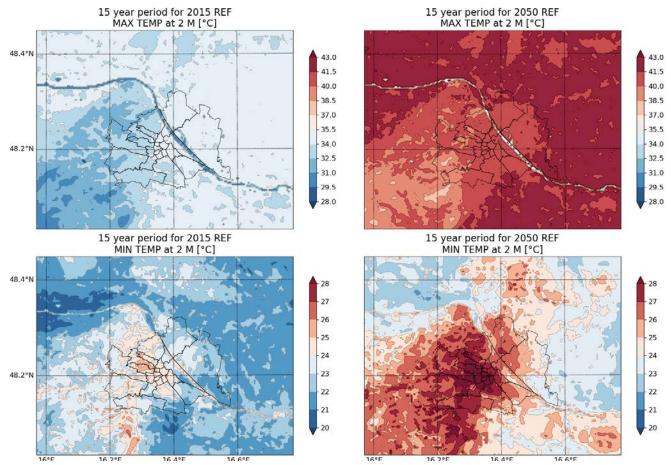
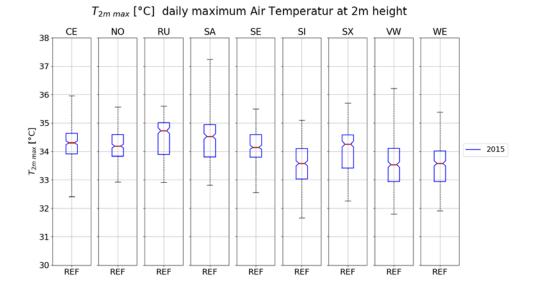


Abbildung 4.4: Temperaturverteilung 2 m über Boden für 15-jährig auftretende Hitzeperioden. Obere Zeile: Tagesmaximum der Temperatur, untere Zeile Tagesminimum; Linke Spalte: Extremereignis für 2015, rechte Spalte: Extremereignis für 2050. Die Farbskalen sind jeweils für die oberen und die unteren Abbildungen normiert.





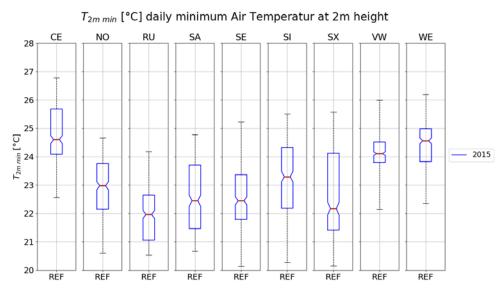
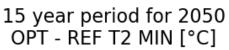


Abbildung 4.5: Auswertung der täglichen Maximal- und Minimaltemperatur für die neun untersuchten Gebiete in Wien für das Referenzszenario während einer 15-jährig auftretenden Hitzeperiode in 2015. Tägliches Maximum (oben) und tägliches Minimum (unten).

In den Abbildungen 4.6 und 4.7 kann man auch deutlich den EInfluss der der Bebauungsszenarien sehen. Ein Wachstum in und um die Stadt Wien führt durchaus zu einer leichten Erhöhung der Lufttemperatur für alle Regionen. Wie in Abb. 4.6 zu sehen ist, kann durch die optimierte Bebauung im Vergleich zur Referenz die Temperatur über große Flächen Wiens um bis zu 1 °C gesenkt werden. Für eine wachsende Stadt ohne Optimierung der Bauweise (SPR) ist der Unterschied zum optimierten Szenario (OPT) noch deutlicher. In diesem Vergleich zeigt sich, dass die Optimierung besonders für die inneren Bezirke etwas Abkühlung mit knapp über 1 °C bringt (siehe Abb. 4.7).





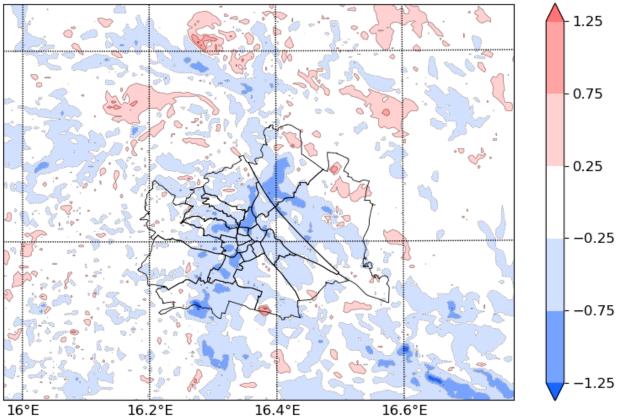


Abbildung 4.6: Differenz der 2 m Lufttemperatur des Optimierten und dem Referenzszenario für ein 15-jähriges Ereignis einer Hitzeperiode in 2050. Negative Werte zeigen, dass das optimierte Szenario kühler ist, als das Referenzszenario.



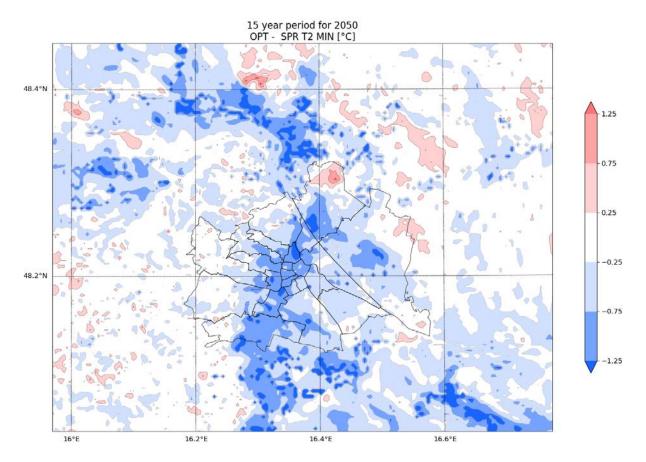


Abbildung 4.7: Differenz der 2 m Lufttemperatur des Optimierten und dem Sprawlszenario für ein 15-jähriges Ereignis einer Hitzeperiode in 2050. Negative Werte zeigen, dass das optimierte Szenario kühler ist, als das Sprawlszenario.

Auswirkung auf den thermischen Komfort des Menschen

Zurzeit gibt es drei anerkannte Indizes zur Bewertung des menschlichen thermischen Komforts: PET, dessen Nachfolger mPET und den UTCI. Der wichtigste Unterschied zwischen UTCI und PET liegt in der Definition der Referenzbedingung. PET geht Grundsätzlich von einer in einem Raum sitzenden Person mit festgesetzter Bekleidung, vergleichbar mit Anzug und Hemd, aus (Höppe, 1993). Der UTCI hingegen geht von einer gehenden Person aus, die eine der Umgebungsbedingung angepasste Bekleidung trägt (Broede et al., 2012; Havenith et al., 2012). mPET ist eine Weiterentwicklung von PET, die ebenfalls auf variable Bekleidung setzt. Aus diesem Grund ist zumindest PET umstritten, im Vergleich zu Fortgeschrittenen Modellen (Chen, 2018). Dieser Umstand durch eine Reihe von vergleichenden Simulationen mit Rayman (Matzarakis et al., 2007, 2010) bestätigt. Weil in diesem Projekt der thermische Komfort während einer Hitzeperiode Untersucht werden sollte, wurde nur der UTCI für die Hitzeperioden simuliert. Dafür musste der UTCI auch zuerst in TEB eingebaut werden.



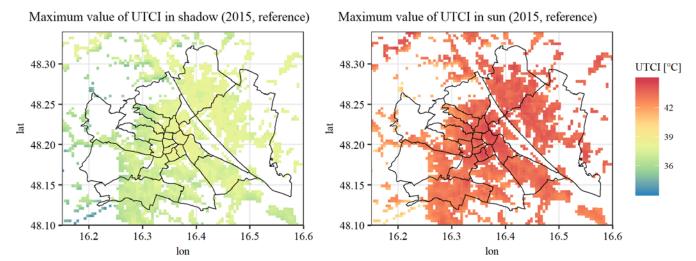


Abbildung 4.8: Karte des Tagesmaximums vom UTCI im Schatten (links) und in der Sonne (rechts) während einer 15-jährigen Hitzeperiode in 2015 für das Referenzszenario.

Der UTCI wurde mit TEB offline simuliert, das bedeutet, dass die meteorologischen Bedingungen aus Simulationen mit WRF-TEB stammen und diese dem TEB aufgezwungen wurden. Der UTCI wurde nur für Siedlungsgebiete, nicht aber für Grün-, Wald- oder Ackerland, berechnet. Es wurde für den thermischen Komfort Zwischen den zwei Situationen einer Person im Schatten und in der Sonne unterschieden.

Abbildung 4.8 zeigt die Verteilung des thermischen Komfort Index UTCI zum Tagesmaximum für eine 15-jährig wiedergehrende Hitzeperiode für die Referenzbebauung. Links sind die Werte für den Schatten, rechts für eine Person in der Sonne. Im Schatten in den inneren Bezirken, sowie Teilweise in den nördlichen Bezirken, würde eine Person sehr starken Wärmestress empfinden. In den äußeren Randbezirken jedoch nur starken Wärmestress. Würde man sich jedoch in der Sonne aufhalten so steigt der Stress auf die obere Grenze der Kategorie sehr starker Wärmestress.

Durch den Klimawandel würde der Wärmestress bis 2050 in allen Fällen um eine Kategorie bzw. um etwa 5-6 °C auf der UTCI-Skala ansteigen. Der Wärmestress im Schatten entspräche demselben Niveau, wie bei einer extremen Hitzewelle heute. In der Sonne würde man überall extremem Wärmestress ausgesetzt sein, was die höchste Kategorie darstellt. Durch die Optimierung der Materialien in der Stadt (Szenario OPT), um den Effekt der Wärmeinseln zu verringern, zeigt sich im Vergleich zu "sprawl" nur eine leichte Tendenz eines geringeren Wärmestresses. Die Wirkung ist aber mit lediglich 0,5 °C auf der UTCI-Skala sehr gering. Diese Wirkung zum Tagesmaximum ist in den Tabellen 4.9 und 4.10 jeweils für Schatten und in der Sonne dargestellt.

Ähnlich wie bei der Lufttemperatur, wird besonders in der Nacht der Stress durch eine optimale Bebauung im Vergleich zu SPR für große Teile Wiens verringert. Dies betrifft besonders den Süden, den Norden und das Zentrum Wiens, wie in Abb. 4.11 zu sehen ist.



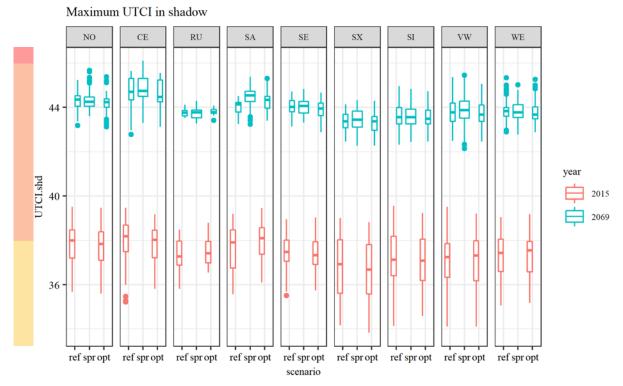


Abbildung 4.9: Tagesmaximum des UTCI im Schatten: Vergleich der Szenarien REF, SPR und OPT jeweils für eine 15-jährige Hitzeperiode heute (2015) (rot) und in 2050 (türkis) für die neuen untersuchten Stadtgebiete. Die färbigen Balken markieren die Stressbereiche starker, sehr starker und extremer Wärmestress.

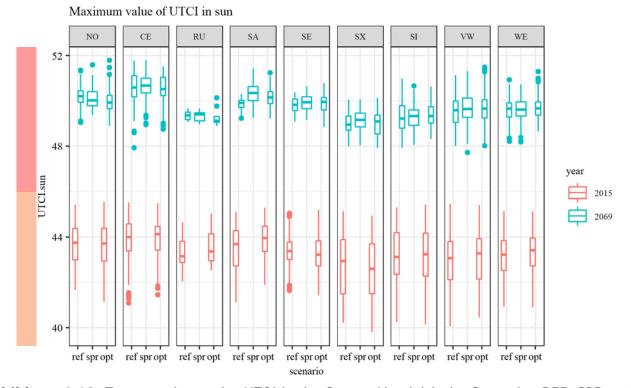
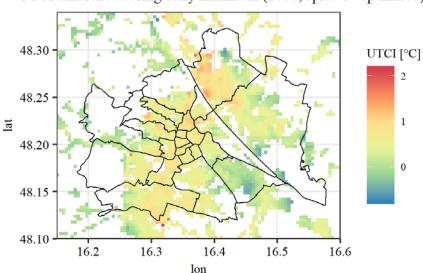


Abbildung 4.10: Tagesmaximum des UTCI in der Sonne: Vergleich der Szenarien REF, SPR und OPT jeweils für eine 15-jährige Hitzeperiode heute (2015) (rot) und in 2050 (türkis) für die neuen untersuchten Stadtgebiete. Die färbigen Balken markieren die Stressbereiche sehr starker und extremer Wärmestress.





UTCI difference during daily minimum (2050, sprawl - optimised)

Abbildung 4.11: Differenz des Tagesminimums vom UTCI während einer Hitzeperiode in 2050 aus den Szenarien SPR und OPT. Positive Werte stellen eine Verbesserung im Falle des optimierten Szenarios (OPT) dar.

Auswirkung einzelner Optimierungsparameter auf den Wärmestress

Um die Wirkung der einzelnen Parameter, die zur Optimierung der Stadtentwicklung verändert wurden und auch weitere, auf den thermischen Komfort zu untersuchen, wurden diese unabhängig voneinander simuliert. Diese Ergebnisse wurden mit dem Referenzszenario verglichen. Dazu wurden nacheinander die jeweiligen Parameter Albedo, Wärmeleitfähigkeit (d.h. verbesserte Wärmedämmung), Gebäudedichte, Gründachanlage und Photovoltaik-Dachanlage auf den jeweiligen Wert im OPT-Szenario verändert, während alle anderen Parametern auf den Werten im Referenzszenario verblieben (Parameter, siehe Tabelle 4.2). Eine Ausnahme bilden jedoch das Gründach und die Photovoltaikanlage, da diese nicht im optimierten Szenario vorgekommen sind. Diese beiden wurden zusätzlich getestet. Die Ergebnisse wurden für den Innenstadtbereich (CE) ausgewertet, mit Ausnahme der Verdichtung. Diese wurde für die südliche Industrieregion (SI) ausgewertet, da nur dort das größte Verdichtungspotential vorhanden war.

Die Ergebnisse sind in Abb. 4.12 für eine Person in der Sonne gezeigt. Die Auswirkungen im Schatten sind allerdings qualitativ und quantitativ gleich. Es wurde festgestellt, dass im allgemeinen die größten Effekte von der Änderung der Albedo und der Wärmedämmung ausgehen (die Photovoltaikanlage sei hier zunächst unbeachtet). Dies um die Mittags-, wie auch Nachtspitze. Die Verdichtung der Stadt hat dabei keinen signifikanten Einfluss. Die höhere Albedo bewirkt einen höheren thermischen Stress gegen Mittag, weil zunächst mehr Einstrahlung durch die Reflexion vorhanden ist. In der Nacht sinkt der Stress wegen der verringerten Lufttemperatur. Deutlich stärker sind die Effekte der Gebäudeisolierung, d.h. Verringerung der Wärmeleitfähigkeit. Hier stiegt der Stress stark an, weil die Lufttemperatur durch den fehlenden Wärmespeicher der Fassaden ansteigt. Umgekehrt sinkt die Belastung für den Menschen in der Nacht, weil die auch viel weniger Wärmestrahlung abgeben können, als ohne eine Wärmedämmung. Gründächer, hier kann man von einer ähnlichen Wirkung bei Fassadenbegrünung ausgehen, haben zwar nur einen recht geringen Einfluss, aber über den gesamten Tag hinweg eine positive Wirkung. Da hier keine zusätzliche Bewässerung simuliert wurde, wird vermutet, dass Bewässerung den Effekt deutlich verstärkt.



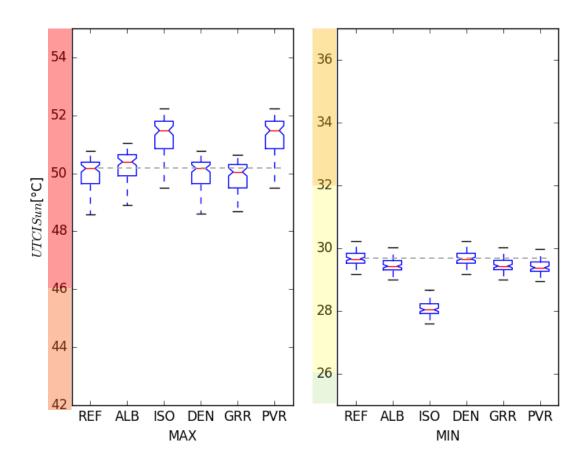


Abbildung 4.12: Wirkung verschiedener baulicher Maßnahmen auf den thermischen Komfort des Menschen in der Sonne während einer 15-jährigen Hitzeperiode um 2050. Wirkung von Erhöhung der Albedo (ALB), Senkung der Wärmeleitfähigkeit durch Wärmedämmung (ISO), Erhöhung der Gebäudedichte (DEN), Dachbegrünung ohne zusätzlicher Bewässerung (GRR) und installieren einer Dach-Photovoltaik-Anlage (PVR). Links: Tagesmaximum, rechts: Tagesminimum. Die färbigen Balken markieren die Stressbereiche kein Stress, moderater, starker, sehr starker und extremer Wärmestress.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Karten der land cover zones, der sky view faktors, der Albedo, des Höhen/Breiten Verhältnisses von Straßenschluchten, der physikalischen Eigenschaften der Gebäude (Emissionskoeffizienten, thermische Leitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität) und des Verhältnisses der versiegelten zu den unversiegelten Flächen sind vorhanden für den Status Quo und für die zukünftige Stadtentwicklung (2050).

Klimakarten für vergangene Hitzeperioden und Zeitperioden (2015 und 2017) und zukünftige Hitzeperioden (2050) sind für verschiedene Stadterweiterungsszenarien vorhanden und verfügbar. Die Kopplung der Modelle WRF und TEB zeigte zufriedenstellende Ergebnisse. Es wurde eine gute Übereinstimmung mit Messwerte erzielt. Diese multiskalige Modellkopplung erweist sich als wertvolles Werkzeug für zukünftige Klimastudien für urbane Räume.

Der größte zu erwartende Einfluss auf die Lufttemperatur wird in Zukunft vor allem durch den Klimawandel stattfinden und kann bis 2050 im "worst case" Szenario bis zu 5°C betragen. Die Stadterweiterungsszenarien zeigen, dass eine Verdichtung der Stadt nicht unbedingt zu höheren Lufttemperaturen führt. Die Wärmedämmung von Gebäuden in Verbindung mit einer erhöhten Albedo führt zu niedrigeren Lufttemperaturen von bis zu 1°C während des ganzen Tages aber speziell während der Nacht. Während der Mittagszeit werden bei allen Stadtplanungsszenarien



fast dieselben Temperaturen erreicht. Eine große Hitzeentwicklung bildet sich während länger andauernden Hitzeperioden im Osten von Wien über den ausgetrockneten Agrarflächen, die sich durch Verdunstungskühlung nicht mehr dementsprechend abkühlen können. Dies zeigen sowohl die WRF Simulationen wie auch die INCA Daten und die LANDSAT

Oberflächentemperaturmessungen. Eine mögliche Bewässerung dieser Agrarflächen wurde aber nicht in Betracht gezogen. Eine Erhöhung der Verdunstungskühlung durch Bewässerung oder eine Pflanzung von Wäldern, die auch während der Hitzeperioden sich mit Wasser vom Grundwasser versorgen könnten würde zu einer Abkühlung führen.

Die jetzige Studie bestätigt den abkühlenden Effekt einer höheren Albedo für das Stadtklima. Zusätzlich wurde der positive Effekt der Wärmedämmung von Gebäuden gezeigt. Diese Ergebnisse bestätigen die Ergebnisse des Projekts KELVIN (Schwaiger et al., 2015) die eine Zunahme der Albedo von Dachflächen um +0.5 simulierten und eine daraus resultierende Abnahme der Sommertage (Tage an denen die Lufttemperatur 25°C überschreitet) im Jahr zwischen 10 und 12 Tagen im Stadtzentrum von Wien. Dies bestätigen auch Ergebnisse des Projekts PVOPTI_Ray (Weihs et al., 2018) die bei einer Zunahme der Albedo um 0,43 (auf 0,56) eine Abnahme der Temperatur um etwa 2°C und gleichzeitig eine Zunahme des thermischen Stressindex UTCI mit Werten von 2°C angaben. Santamouris berichten von einer Abnahme der Temperatur von 0.2°C bei einer Zunahme der mittleren Albedo der Stadt um 0.05.

Die Abnahme der Maximumtagestemperatur zeigt bei einer Zunahme der Stadtalbeo um 0.05 sogar eine Zunahme um 0.5°C.

Alle Studien (Santamouris, 2014; Schwaiger et al. 2015) zeigen auch auf die Bedeutung der Verdunstungskühlung durch Vegetation auf. Die Simulationen von Schwaiger et al. zeigten z.B, dass wenn alle Dächer der Stadt Wien Gründächer wären, man eine Abnahme von Sommertagen zwischen 5 und 6 Tagen im Jahr erzielen könnte. Santamouris fasste Ergebnisse von verschiedenen Studien zusammen und quantifiziert den kühlenden Einfluss von Dachgärten auf das Stadtklima mit Lufttemperaturabnahmen zwischen 0.3 und 3°C.

Vorsicht ist geboten bei der Zunahme der Albedo von Wänden und von Verkehrsflächen. Die Zunahme der Reflexion von Wänden und Verkehrsflächen führt einerseits zu einer Abnahme der Lufttemperatur, andererseits führt die Zunahme der Boden und Wandreflexion zu einer Zunahme der dem Körper zugeführten Energie und in weiterer Folge zu einer Zunahme des thermischen Stresses beim Menschen. Weihs et al. (2015) zeigten aber, dass auch bei höherreflektierenden Straßen (realistische Werte sind ca. eine Albedo von 0.55) die Fußgänger, durch einen Asphaltgehsteig der weniger reflektiert (Albedo = 0.13) vor thermischem Stress geschützt sind.

Eine klimafreundliche Stadtplanung sollte deswegen:

- den Anteil von Vegetation (Dachbegrünung, Wandbegrünung, Parkflächen) soweit wie möglich erhöhen.
- eine bessere Wärmedämmung von Gebäuden führt erstens zu einer Energieeinsparung, zweitens auch zu einem Schutz vor der Hitze in den Gebäuden selber und drittens zu einer Verminderung der Lufttemperaturen in der Stadt.
- Die Albedo von Dächern sollte soweit es geht, wenn keine Gründächer oder Solaranlagen geplant sind erhöht werden. Die Albedo innerhalb der Straßencanyons sollte erhöht, wobei man aber auf den Schutz der Fußgänger achten sollte. Weihs et al. zeigten, dass ein ausreichender Schutz vor thermischen Stress für Fußgänger gewährleistet ist, wenn die Albedo der Verkehrsflächen erhöht



C) Projektdetails

6 Methodik

Wie bereits erwähnt sind überhitzte Zonen in Städten aufgrund der Morphologie und der städtischen Strukturen sowie der Verteilung von versiegelten Flächen und Vegetation sehr inhomogen verteilt. Diese Inhomogenitäten werden zusätzlich durch den sehr stark schwankenden Einfluss der städtischen Strukturen auf den aerodynamischen Widerstand und den durch lokale Strömungen verursachten Wärmetransport verstärkt. Boden und Gebäudeeigenschaften unterscheiden sich durch ihre Albedo, ihre Emissivität, ihre spezifische Wärmekapazität und ihre Wärmeleitfähigkeit außerdem sehr stark. Die hier erwähnten Aspekte beeinflussen das Mikro- und Mesoskalige Klima.

Das Stadtklima wird einerseits durch kleinskalige Phänomene auf den Massstabsbereich einer Straßenschlucht beeinflusst unterliegt aber auch mesoskaligen und makroskaligen meteorologischen Einflüssen. Die Einbeziehung der makroskaligen, mesoskaligen und mikroskaligen Einflüsse erreicht man nur durch eine Kopplung von Mikroskaligen und meso und makroskaligen Modellen.

Deswegen wurde ein multi-skaliger numerischer Klimamodellansatz gewählt um den Einfluss von Raumplanung und Gebäude Materialeigenschaften im Kontext des fortschreitenden Klimawandels auf das Klima der Stadt zu untersuchen.

Kopplung und Adaptierung der Modelle

Kleinskalige Modell: Town Energy Balance Modell: Das Modell TEB berücksichtigt alle Energieflüsse, d.h. die kurzwelligen und langwelligen Strahlungsflüsse, die fühlbare und latente Wärme sowie die aerodynamischen Widerstände, welche die Luftströmungen im Canyon beeinflussen. Energieflüsse zwischen den einzelnen Flächen (Wand, Dach, Boden) und der Luft werden berechnet. Lufttemperaturen und Oberflächentemperaturen sowie der Energieaustausch mit den über dem Canyon liegenden atmosphärischen Schichten werden simuliert. Das TEB berücksichtigt das Höhen/Breiten Verhältnis der Straßenschlucht. Es erfolgt die Berechnung für eine typische Straßenschlucht. Komplexere Stadtstrukturen (z.B. einzeln stehende Häuser) können nicht berücksichtigt werden (Abb.6.1). Das TEB modelliert die Verhältnisse und die meteorologischen Größen (u.a. Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind, Oberflächentemperatur, Strahlung) in der Grenzschicht und innerhalb des Straßenschlucht.

Als darüber gelagertes mesoskaliges Modell wurde das Modell "Weather Research and Forecasting Modell" WRF gewählt. Das WRF ist ein Computerprogramm, das sowohl für die Wettervorhersage als auch in der Forschung für die Klimamodellierung dient. Es ist das neueste numerische Computermodell, das sowohl weltweit von Forschern, Wetterdiensten verwendet wird. Da WRF auch eine nichthydrostatische Version anbietet, kann man mit diesem Modell auch sehr hochaufgelöste (< 1 km) Modellierungen durchführen, was für die Kopplung mit einem hochaufgelösten Stadtmodel notwendig ist.

In der Vergangenheit wurde das Modell TEB bereits mit anderen mesoskaligen Modellen wie z.B. das COSMO-CLM (Consortium for Small Scale Modelling-Community Land Model) Trusilova et al. (2008, 2009, 2013)) gekoppelt. Die Kopplung zwischen TEB und WRF erfolgte nach der Methode von Trusilova et al. (2013), wobei diese jedoch für WRF adaptiert werden musste.



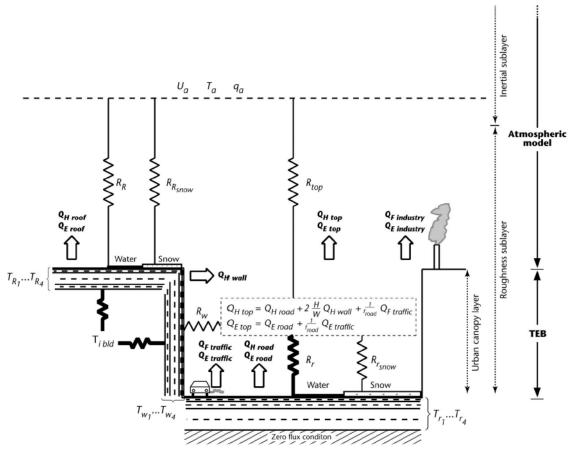


Abbildung. 6.1: Typische Straßenschlucht im TEB Modell. Schematischer Überblick über die Energieflüsse in einem typischen Straßencanyon. QH = fühlbare Wärme, QE = latente Wärme, R = aerodynamischer Widerstand (Quelle: Masson, 2002)

Folgende Parameter von der niedrigsten atmosphärischen Schicht werden vom WRF an das TEB übergeben: potentielle Lufttemperatur, Mischungsverhältnis, Windgeschwindigkeit, direkte und diffuse Strahlung sowie langwellige Strahlung und vice versa vom TEB werden die Lufttemperatur in 2 m Höhe, die reflektierte kurzwellige Strahlung, die reflektierte und emittierte langwellige Strahlung, die latente und fühlbare Wärme sowie die Windgeschwindigkeit an das WRF übergeben.

Vorbereitung der Modelleingabeparameter

Karten der land cover zones, der Albedo (Abb. 6.2), der sky view faktors (Abb. 6.3), des Höhen/Breiten Verhältnisses von Straßenschluchten, der physikalischen Eigenschaften der Gebäude (Emissionskoeffizienten, thermische Leitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität) und des Verhältnisses der versiegelten zu den unversiegelten Flächen für den Status Quo wurden erstellt.





Abbildung. 6.2. Verteilung der Albedo im Großraum Wien. Daten stammen von LANDSAT8

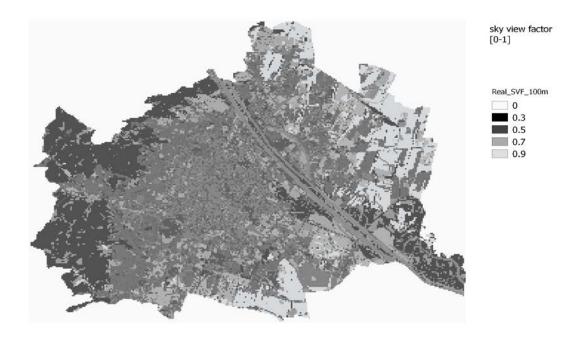


Abbildung. **6.3**: Berechneter sky view factor in Wien. Berechnungen wurden mit QGIS/SOLWEIG durchgeführt. Die Zahl 0 bedeutet, dass der Horizont frei ist, 1 wäre eine völlige Horizontüberschattung (nicht realistischer Wert)



Die landcover zones für Wien und Umgebung sowie der Anteil an versiegelten Flächen wurden vor allem anhand der CORINE Daten und der Realnutzungskartierung von Wien erstellt. Mit Hilfe des digitalen Oberflächen und Gebäudemodells das mit 50cm frei zur Verfügung steht wurden der Sky View Factor mit dem Modell SOLWEIG (eingebettet in QGIS) berechnet. Die Albedoverteilung im Großraum Wien stammt aus LANDSAT8 Daten. Um die Materialeigenschaften der einzelnen Gebäude zu bestimmen wurden Daten und Informationen der Stadt Wien verwendet.

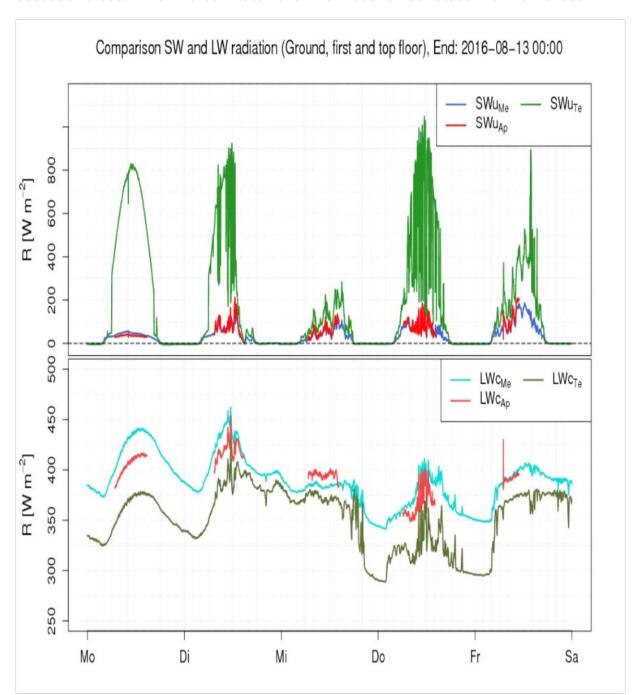


Abbildung. 6.4. Messungen der nach unten gerichteten kurzwelligen (SW) (obere Abbildung) und langwelligen (LW) (untere Abbildung) in drei verschiedenen Niveaus in der Straßenschlucht zwischen Exnerhaus und Schwackhöferhaus (BOKU). Das oberste Niveau (grün bei der SW in grün bei der LW) ist auf Dachhöhe, das mittlere ((rot bei der SW und rot bei der LW) entspricht dem 2 Stock (von den 3 Stöckigen Gebäuden) und das unterste Niveau (dunkelblau bei der SW und hellblau bei der LW) ist auf Bodenniveau.



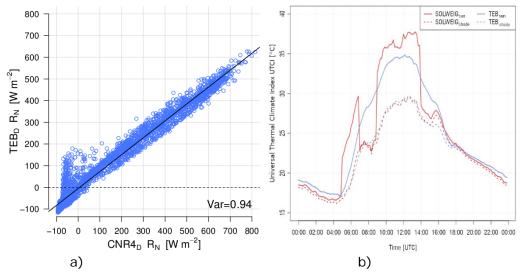


Abbildung.6.5, Validierung der im TEB Modell berechneten Strahlungsflüsse a) mit Messungen b) durch einen Vergleich mit dem Modell SOLWEIG in Abb.6.2b bedeutet (—) für sonnenbeschienene Bedingungen und (- - -) für beschattete Plätze.

Validierung

Bei der Modellvalidierung wurde zuerst nur das TEB validiert. Hier wurden die Strahlungsflüsse und die Strahlungsbilanz im Canyon mit im Straßencanyon zwischen Exnerhaus und Schwackhöferhaus (BOKU) gemessenen Strahlungsflüssen verglichen (Abb. 6.4 und Abb 6.5a). Eine leichte Unterschätzung der Strahlungsbilanz durch das TEB is ersichtlich. Der Korrelationskoeffizient ist aber mit 0.94 extrem gut. Ein zweites mikroskaliges Modell, das Modell SOLWEIG (Lindberg et al., 2008) wurde für die Validierung herangezogen (Abb. 6.5.b). SOLWEIG berücksichtigt die Stadtstrukture viel genauer. Es verwendet ein genaues Gebäudemodell im Gegensatz zu TEB, das nur für eine typische Straßenschlucht simuliert. Der Vergleich zwischen TEB und SOLWEIG schaut trotzdem vielversprechend aus. Die von WRF-TEB simulierte Lufttemperatur wurde anhand von Messungen und der INCA Reanalysedaten validiert. Abb. 6.6. zeigt die zur Verfügung stehende Bodenstationen für die WRF-TEB Validierung. Bereits vorhandene meteorologische Stationen der Zentralanstalt für Meteorologie oder der Universität für Bodenkultur, die im Rahmen von URBANIA zur Verfügung standen sind als blaue Punkte ersichtlich. Es wurden zusätzliche Stationen (rote Punkte) an den Projektinitiatoren wichtigen Standorten installiert.



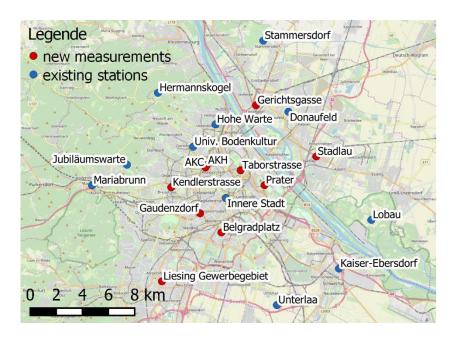


Abbildung. 6.6.: Überblick über die für Validierung zur Verfügung stehenden Messstationen. Rot sind neu installiert Messsensoren, blau sind bereits existierend meteorologische Stationen.

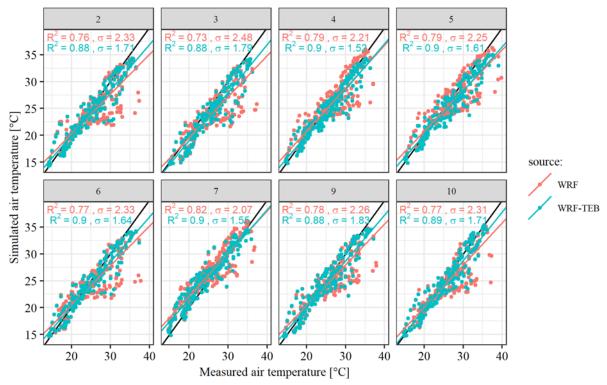


Abbildung. 6.7. Vergleich der gemessenen mit den mit WRF-TEB und WRF modellierten Lufttemperaturen an 8 Stationen.



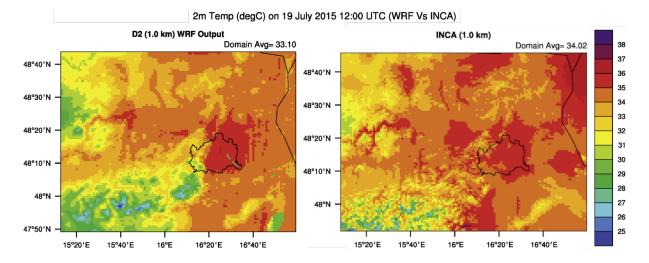


Abbildung. 6.8: Validierung der WRF-TEB Simulation. Vergleich der WRF-TEB Simulation mit INCA Daten. Die räumliche Auflösung ist 1 km.

Abb. 6.7 zeigt den Vergleich der bodengebundenen Messungen mit den mit WRF-TEB und WRF modellierten Lufttemperaturen. an 8 Stationen. Wir erzielten an allen 8 Stationen eine Verbesserung des Korrelationskoeffizienten durch eine Verringerung der Abweichung der Ausreißer. Abweichungen betrugen ca. \pm 1 Grad. Abweichungen nehmen mit zunehmender Temperatur leicht zu. Der Vergleich der WRF-TEB Simulationen mit den INCA Reanalyse Daten ist in Abb. 6.8 repräsentativ für den 19 Juli 2015 dargestellt. Die von WRF-TEB modellierten höheren Temperaturen im Osten von Wien stimmen gut mit den INCA Daten überein. Sowohl die Verteilung der Temperaturisolinien sowie die Magnitude der Temperatur (zw. 35-36°C) zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Ein leichte Abweichung ist am südöstlichen Rand von Wien ersichtlich, an den Wienerwaldausläufern, wo das WRF-TEB die Lufttemperaturen leicht unterschätzt. Dies könnte jedoch daran liegen, dass bei der Interpolation der INCA Daten die Landnutzung sowie die Stadtstruktur nicht einfließen. Die reale räumliche Auflösung von INCA hängt im Flachland daher nur von der Stationsdichte ab und ist damit deutlich geringer als die des Modells.

Erstellung der Stadtplanungszenarien

Die Ergebnisse der Stadtplanungszenarien wurden bereits in Kapitel 4 gezeigt. Hier werden zusätzliche Informationen zu der Entstehung der Szenarien in Bezug auf die Wärmedämmung, auf die Albedo auf den Anteil der versiegelten Flächen und auf die Gebäudeeigenschaften angegeben.

Wärmedämmung (ISO):

Im optimierten Szenario (OPT) wurde die Wärmeleitfähigkeit der Dächer und der Fassaden auf 0.1 W/(m.K) reduziert. Die Wärmeleitfähigkeit der Fenster wurde auf 0.9 W/(mK) Amtmann M and Altmann-Mavaddat N (2014)) reduziert und die Wärmeleitfähigkeit der Straßen wurde auf 0.4 W/(mK) (https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html, last access: 11.6.2018) reduziert. Diese Änderungen bei den Materialeigenschaften verlangsamen die Speicherung der Wärme und der durch die städtischen Strukturen gespeicherten Energie. Die Wärmespeichermöglichkeiten durch die versiegelten Flächen untertags sind reduziert. Dies führt zu einer leichten Erwärmung untertags (weniger Wärme aufgenommen wird und in der Luft bleibt) aber zu einer beträchtlichen Abkühlung während der Nacht.



Albedo (ALB):

Die zweite Maßnahme in der optimierten Version bezieht sich auf die Albedo. Diese führt zu einem der Wärmedämmung umgekehrten Effekt. Die Albedo der Wände und des Bodens wurden auf 0.3 erhöht. Dieser Wert entspricht der Albedo von konventionellem Beton und führt zu keiner Verschlechterung des visuellen und thermischen Komforts (Weihs et al., 2018). Die Albedo der Dächer wurde auf 0.68 erhöht. Dieser Wert ist technisch möglich und kann aufgrund seiner Höhe den visuellen und thermischen Komfort nicht beeinträchtigen.

Die erhöhte Albedo führt zu einer Erhöhung der Richtung Atmosphäre reflektierten Strahlung. Weniger Strahlungsenergie bleibt im System Stadt gefangen. Die negativen Effekte der erhöhten Wärmedämmung werden reduziert.

Die Erhöhung der Albedo spielt hat keinen Einfluss auf das zur Verfügung stehende Wasser und auf den Raumbedarf. Der Einfluss der Albedo wurde in mehreren Studien untersucht (KELVIN Project, Morini et al. 2016, Taha et al.1997) und es zeigte sich, dass eine Albedoerhöhung keinen Einfluss auf die urbane Grenzschicht und auf die Schadstoffkonzentration aufweist.

Entsiegelung von Flächen:

Das Umweltbundesamt (2017) weist darauf hin, dass die versiegelte Fläche pro Person in Österreich eine Zunahme von 25% zwischen 2001 und 2012/2017 aufweist. Der Anteil der versiegelten Flächen, welcher Verkehrsflächen, Gehsteige, Parkplätze einschließt, betrug in Wien im Jahr 2017 43%. Diese Flächen könnten beträchtlich reduziert werden, da Versiegelung nur auf den Straßen absolut notwendig ist. (Communication with TU-Landscape). Um diesen Einfluss zu studieren wurde eine Abnahme der versiegelten Dachflächen höherer Gebäude und gewerblicher Gebäude von 20% angenommen. Für niedrigere Wohnhäuser wurde eine Abnahme der versiegelten Dachflächen von 15% angenommen. Diese Änderungen wurden in das OPT Szenario inkludiert.

Änderungen des Höhen/Breiten Verhältnisses der Stadtstrukturen und Verdichtung

In verdichteten Wohngebieten ist keine Gebäudeverdichtung wahrscheinlich. Die Gebäudedichte wurde in weniger verdichteten Wohngebieten von 0.22 auf 0.242 erhöht. In Geschäftsvierteln wurde die Verdichtung von 0.16 auf 0.242 erhöht.

Zusätzliche Änderungen der Materialeigenschaften bei Offline Simulationen Grüne Dächer (GRR) und Photovoltaik auf Dächern (PVR)

Manche zusätzlichen Stadtplanungsoptionen, welche Änderungen der Materialeigenschaften beinhalten, konnten mit WRF-TEB nicht simuliert werden. Zu diesen Maßnahmen zählen die Installation von Gründächern und Photovoltaikmodulen (PV). Obwohl viele geschützte Zonen und Gebäude existieren, der Denkmalschutz bezieht vor allem auf Fassaden und weniger auf die Dächer. Es ist deswegen mehr Gestaltungsfreiheit für die Installation von Solaranlagen auf Dächern als auf Fassaden gegeben. PV integrierte Fassaden sind deswegen nur in ungeschützten Zonen möglich, während PVR und Gründächer auf praktisch allen Gebäuden möglich sind. Dies wurde bei den Offline Simulationen angenommen, wobei für Gründächer eine extensive Sedumschicht gewählt wurde. Bei PVR wurden ein Wirkungsgrad von 20% und eine Albedo von 10% angenommen.



Referenzen:

Amtmann M and Altmann-Mavaddat N (2014) Eine Typology österreichischer Wohngebäude, Österreichische Energieargentur – Austrian Energy Agency, TABULA/EPISCOPE

Bechtel B, Alexander P, Böhner J, et al (2015) Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. ISPRS Int J Geo-Inf 4:199–219. doi: 10.3390/ijqi4010199

T. Berger, H. Formayer, R. Smutny, C. Neururer, R. Passawa (2012) Auswirkungen des Klimawandelsauf den thermischen Komfort in Bürogebäuden, Berichte aus Energie- und Umweltforschung

Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K. et al. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). Int J Biometeorol 56: 481. https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1

Chen Y.C. and Matzarakis A (2018) Modified physiologically equivalent temperature – basics and application for western European climate. Theor. Appl. Climatol. 132, 1275 – 1289. https://doi.org/10.1007/s00704-017-2158-x

Cordeau, Erwan / Les îlots morphologiques urbains (IMU) / IAU îdF / 2016

Corine land cover data set 2012, https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover, last access: 2018.05.23.

Dong, Y., Varquez, A. C. G., & Kanda, M. (2017). Global anthropogenic heat flux database with high spatial resolution. Atmospheric Environment, 150, 276–294. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.040

Fallmann, J., Forkel, R., & Emeis, S. (2016). Secondary effects of urban heat island mitigation measures on air quality. Atmospheric Environment, 125, 199–211. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.094

Fisher R., Tippett L. (1928), Limiting forms of the frequency distributions of the largest or smallest meber of a sample. Proc Camb Philos Soc 24: 180-190.

Flughafen Wien Schwechat – 3te Piste (as sealed surface // barren and unvegetated) (https://www.viennaairport.com/unternehmen/flughafen_wien_ag/3_piste/bauprojekt_3_piste last access: 18.6.2018)

Havenith G, Fiala D, Blazejczyk K, Richards M, Bröde P, Holmér I, Rintamäki H, Benshabat Y, Jendritzky G. The UTCI-clothing model. Int J Biometeorol 56-3: 461-470, 2012.

Höppe P.R. (1993) Heat balance modelling. Experientia 49(9): 741 – 746. https://doi.org/10.1007/BF01923542

LEP 2011, Landesentwicklungsgrogramm Burgenland LEP 2011 – Raumordnung Burgenland.

Lindberg, Fredrik, Björn Holmer, and Sofia Thorsson 2008: SOLWEIG 1.0 – Modelling Spatial Variations of 3D Radiant Fluxes and Mean Radiant Temperature in Complex Urban Settings. International Journal of Biometeorology 52(7): 697–713.

MA 18 (2005) STEP05 – Stadtentwicklungsplan 2005

MA 18 (2011) Siedlungsformen für die Stadterweiterung

MA 18 (2012) Smart City Wien - Vision 2050, Roadmap for 2020 and beyond, Action Plan for 2012-15

MA 18 (2014a) Smart City Wien - Rahmenstrategie

MA 18 (2014b) Stadtentwicklungsplan STEP 2025, www.step.wien.at

MA21 (2013) Strategieplan für das Zielgebiet U2 – Donaustadt

MA23 (2013) kleinräumige Bevölkerungsprognose für Wien



Masson V (2000) A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. Bound-Layer Meteorol 94:357–397. doi: 10.1023/A:1002463829265

Matzarakis, A.; Rutz, F.; and Mayer, H., 2007: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - application of the RayMan model. International Journal of Biometeorology 51(4), 323–334. doi: 10.1007/s00484-006-0061-8.

Matzarakis, A.; Rutz, F.; and Mayer, H., 2010: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. International Journal of Biometeorology 54(2), 131–139. doi: 10.1007/s00484-009-0261-0.

Morini, E., Touchaei, A., Castellani, B., Rossi, F., & Cotana, F. (2016). The Impact of Albedo Increase to Mitigate the Urban Heat Island in Terni (Italy) Using the WRF Model. Sustainability, 8(10), 999. https://doi.org/10.3390/su8100999

Nadeem, I. and Formayer, H. (2015): Regionales Klimaszenario basierend auf dem GFDL-CM3 RCP 8.5 Lauf In: Climate Change Center Austria, Tagugsband 16. Klimatag Aktuelle Klimaforschung in Österreich

Loibl W., Giffinger, R., Sedlacek S., Kramar H., Schuh B.: "STAU-Wien", Stadt-Umlandbeziehungen in der Region Wien: Siedlungsentwicklung, Interaktionen und Stofflüsse, Endbericht Teil A, Seibersdorf research Report, ARC---S-0181a, BV, 67pp., September 2008.

PGO (2009), Fassmann H, Görgl P, Helbich M, Atlas der wachsenden Stadtregion

PGO (2011) stadtregion +, Planungskooperation zur räumlichen Entwicklung der Stadtregion Wien Niederösterreich Burgenland.

PGO (2017), P. Görgl, J. Eder, E. Gruber, H. Fassmann, Monitoring der Siedlungsentwicklung in der Stadtregion+, Strategien zur räumlichen Entwicklung der Ostregion, ÖAW – Institut für Stadt- und Regionalforschung, Modul 5 Raumforschung und Raumkommunikation

Santamouris, 2014: Cooling the cities- A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments Solar Energy, 103, 682-703.

Hannes Schwaiger, David Neil Bird, Heinz Gallaun, Maja Zuvela-Aloise, Konrad Andre, 2015: KELVIN Reduktion städtischer Wärmeinseln durch Verbesserung der Abstrahleigenschaften von Gebäuden und Quartieren, Berichte aus Energie- und Umweltforschung. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Stewart ID, Oke TR (2012) Local climate zones for urban temperature studies. Bull Am Meteorol Soc 93:1879–1900.

Trusilova, K., M. Jung, G. Churkina, U. Karstens, M. Heimann, and M. Claussen, 2008: Urbanization impacts on the climate in Europe: Numerical experiments by the PSU–NCAR Mesoscale Model (MM5). J. Appl. Meteor. Climatol., 47, 1442–1455

Trusilova, K., M. Jung, and G. Churkina, 2009: On climate impacts of a potential expansion of urban land in Europe. J. Appl. Meteor. Climatol., 48, 1971–1980.

Trusilova, K., B. Früh, S. Brienen, A. Walter, V. Masson, G. Pigeon, and P. Becker, 2013: Implementation of an Urban Parameterization Scheme into the Regional Climate Model COSMO-CLM. J. Appl. Meteor. Climatol., 52, 2296–2311, https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0209.1

Umweltbundesamt 2017, Bodenversiegelung,

http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/raumordnung/rp_flaecheninanspruchnahme/bod enversiegelung/ last access: 2018.07.17

Umweltbundesamt 2018, Flächeninanspruchnahmein Österreich 2017,

http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/raumplanung/Pdfs/Flaecheninanspr_2017.pdf, last access: 2018.07.17



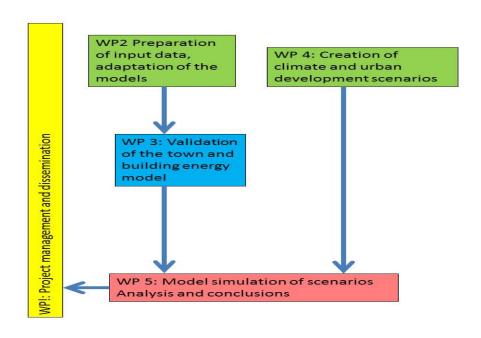
Weihs, P., Zamini S., S. Krispel, S. Oswald, M. Peyerl, M. Revesz, A. Schneider, H. Trimmel: Optimierung reflektierender Materialien und Photovoltaik im Stadtraum bezüglich Strahlungsbilanz und Bioklimatik (PVOPTI-Ray), Berichte aus Energie- und Umweltforschung 18/2018 Nachhaltig wirtschaften, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2018.

Philipp Weihs, Stefan Hasel, Erich Mursch-Radlgruber, Christian Gützer, Markus Brandmaier, Matthaeus Plaikner, Stefan Krispel, Martin Peyerl. (2015): Investigation of the effect of different sealed surfaces on local climate and thermal stress In: Meteo France, UCP6: Radiation processes, https://www.conftool.com/icuc9/index.php?page=browseSessions&presentations=hide&search=Weihs



7 Arbeits- und Zeitplan

.



	Month 1-4	Month 5-8	Month 9-12	Month 13-16	Month 17-20	Month 21-24	Month 25-30
WP1							
WP2							
WP3							
WP4							
WP5							



8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Website: http://urbania.boku.ac.at

Publikationen: Oswald, SM; Revesz, M; Trimmel, H; Weihs, P; Zamini, S; Schneider, A; Peyerl, M; Krispel, S; Rieder, HE; Mursch-Radlgruber, E; Lindberg, F; . (2019): Coupling of urban energy balance model with 3-D radiation model to derive human thermal (dis)comfort. Int J Biometeorol. 2019; in press

Präsentationen auf nationalen und internationalen Konferenzen:

Trimmel H., H. Formayer, E. Mursch-Radlgruber, I. Nadeem, S. Oswald, P. Weihs, S. Faroux, A. Lemonsu, V. Masson, and R. Schoetter (2018): Evolution of the Viennese Urban Heat Island and Mitigation Strategies in the Context of Urban Growth, Compacting and Climate Change by optimizing the Urban Surface Energy Balance, ICUC-10, New York, 6-10 Aug 2018 – [Oral Presentation] accepted.

Trimmel, Heidelinde and Formayer, Herbert and Masson, Valéry and Mursch-Radlgruber, Erich and Nadeem, Imran and Oswald, Sandro and Schoetter, Robert and Weihs, Philipp (2018): Entwicklung der Urbanen Wärmeinsel Wiens bis 2030/2050 bei Berücksichtigung der Erweiterung der Stadt Wien, Tagungsband, 19. Österreichischer Klimatag, 2018, 23-15. April, Salzburg. [Poster]

Heidelinde Trimmel, Herbert Formayer, Christian Gützer, Imran Nadeem, Sandro Oswald, Philipp Weihs, Stéphanie Faroux, Aude Lemonsu, Valéry Masson, and Robert Schoetter (2018): Evolution of the Viennese Urban Heat Island caused by expected Reduction of Vegetation Fraction in favour of Built-Up Land until 2030/2050.[European Geophysical Union, Wien, 8.-13.4.2018] [Oral Presentation] In: EGU General Assembly 2018, Geophysical Research Abstracts Vol. 20, EGU2018-7927-3, 2018, © Author(s) 2018. CC Attribution 4.0 license

Weihs, P., Formayer, H., Mursch-Radlgruber, E., Trimmel H., Oswald, S., Nadeem, I., Preiss, J., Masson, V., 2017: Einfluß von Stadterweiterung auf die Wärmeinsel der Stadt Wien im Kontext des Klimwandels, [Vortrag] [Klimatag, Vienna, AUSTRIA, MAY 22 – 24, 2017]

Trimmel, H., P.Weihs, S. Oswald, V. Masson, R. Schoetter, 2017: Land use and urban morphology parameter for Vienna required for initialization of the urban canopy model TEB derived via the concept of "local climate zones". [Poster] [EGU - European Geoscience Union General Assembly, Vienna, AUSTRIA, APR 23-28, 2017]

Oswald, S., Trimmel, H., Revesz, M., Nadeem I., Weihs, P. First characterization and comparison of TEB model simulations with in situ measurements regarding radiation balance in a single urban canyon at the BOKU site (Vienna) [Poster] [EGU - European Geoscience Union General Assembly, Vienna, AUSTRIA, APR 23-28, 2017]

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.