Weatherpark GmbH
Meteorologische Forschung und Dienstleistungen
Ingenieurbüro für Meteorologie

Diagnose des Sommerkomforts in der Kirchengasse in 1070 Wien

Endbericht

im Auftrag von der Bezirksvorstehung 1070 und der MA 18

LEAD Mag. Simon Tschannett
TEAM Isabel Auer, MSc.
TEAM Alena Salvini-Plawen, MSc.

+43 1 522 37 29 **TEL**
info@weatherpark.com **MAIL**
11. Dezember 2019 **DATE**

Kontaktdaten:

Weatherpark GmbH Meteorologische Forschung und Dienstleistungen
Ingenieurbüro für Meteorologie
Gardegasse 3/3
A-1070 Wien
Tel. A: +43 1 522 37 29
Tel. D: +49 152 02 07 91 50
Fax: +43 1 522 37 29 - 11
info@weatherpark.com
www.weatherpark.com

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 4
1.1. Allgemeines zur Untersuchung 4
1.2. Beschreibung des Untersuchungsgebiets 5
1.3. Planstände 5
2. Klimatologie 6
2.1. Inputs für die Mikroklimasimulationen 6
2.2. Hitzewellentage: Definition von Kysely 6
2.3. Die 30-jährigen Zeitreihen der Kysely-Tage von 1988-2017 6
2.4. Eckpunkte des typischen Hitzewellentages 8
3. Methode der Mikroklimasimulation 9
3.1. Das Mikroklimamodell ENVI-met 9
3.2. Beschreibung der Simulation 10
3.2.1. Baukörper und Vegetation 10
3.2.2. Physikalische Eigenschaften der Oberflächen 11
3.2.3. Meteorologische Eingangsdaten 12
3.3. Das Komfortmaß PET 12
4. Diagnose des Sommerkomforts 14
4.1. Beschreibung der Maßnahmen 14
4.1.1. Variante Klassisch 14
4.1.2. Variante Maximal 15
4.1.3. Variante Radikal 16
4.2. Methode der Auswertung 17
4.3. Beschreibung der Ergebnisse 18
4.3.1. Auswertungen der PET 18
4.3.2. Auswertung Temperaturverläufe 20
5. Zusammenfassung und Empfehlungen 22
5.1. Zusammenfassung der Untersuchung 22
5.2. Wichtigste Ergebnisse 22
5.3. Empfehlungen 23
6. Anhang 25
6.1. Abbildungen 25
7. Haftungseinschränkung 32

1. Einleitung

1.1. Allgemeines zur Untersuchung

Der vorliegende Endbericht beschreibt eine Analyse des Sommerkomforts für die Kirchengasse in 1070 Wien im Zuge der Beauftragungen vom 03.04.2019 und vom 27.11.2019.

Diese Untersuchung dient zur Evaluierung der Maßnahmen, die zur Optimierung des thermischen Komforts in der Kirchengasse (u.a.: Begrünung, Entsiegelung) führen können. Dafür wurden von DnD Landschaftsplanung ZT KG (kurz: DnD) zwei mögliche Gestaltungsvarianten (Klassisch und Maximal) ausgearbeitet. Ziel war, den Sommerkomfort und somit die Verweilqualität im Straßenzug sowohl im Ist-Zustand (in weiterer Folge auch „Bestand" genannt), als auch in den beiden Maßnahmenvarianten „Klassisch" und „Maximal" mit Hilfe eines mikroklimatologischen Computersimulationsmodells (ENVI-met – siehe Kapitel 3.1.) zu analysieren. Dafür wurden folgende Schritte durchgeführt:

- Nachbildung des Untersuchungsgebiets sowie dessen Umgebung zum Ist-Zustand (Bestand) und zum letztgültigen Planstand der Varianten Klassisch und Maximal in einem mikroklimatologischen Computermodell auf Basis der 3D-Daten der Stadt Wien und der von Landschaftsplanung DnD zur Verfügung gestellten Pläne der Freiflächen (siehe Kapitel 1.3)
- Durchführung von computergestützten Simulationen der mikroklimatologischen Verhältnisse für einen typischen Tag während einer Hitzewelle für die verschiedenen Gestaltungsvarianten
- Auswertung und graphische Aufbereitung von u.a. der Verteilung des Sommerkomforts (Angabe der physiologischen Äquivalenttemperatur PET) auf Fußgängerniveau in einem Vergleich der Varianten Bestand – Klassisch – Maximal.

Im Zuge einer ersten Ergebnispräsentation am 02.07.2019 kam die Frage auf, ob eine noch intensivere Begrünung den Sommerkomfort noch weiter verbessern kann. Daher wurde eine weitere Gestaltungsvariante („Dschungelvariante", in weiterer Folge auch Variante „Radikal" genannt) von DnD entworfen. Auch diese Variante wurde mit Hilfe des mikroklimatischen Computersimulationsmodelles analysiert und mit den bisherigen Varianten, insbesondere aber mit der Variante Maximal verglichen.

Ansprechpartner für Weatherpark seitens der Bezirksvorstehung 1070 Wien war Herr BA Christoph Schuster und seitens DnD Frau DI Julia Wölcher.

1.2. Beschreibung des Untersuchungsgebiets

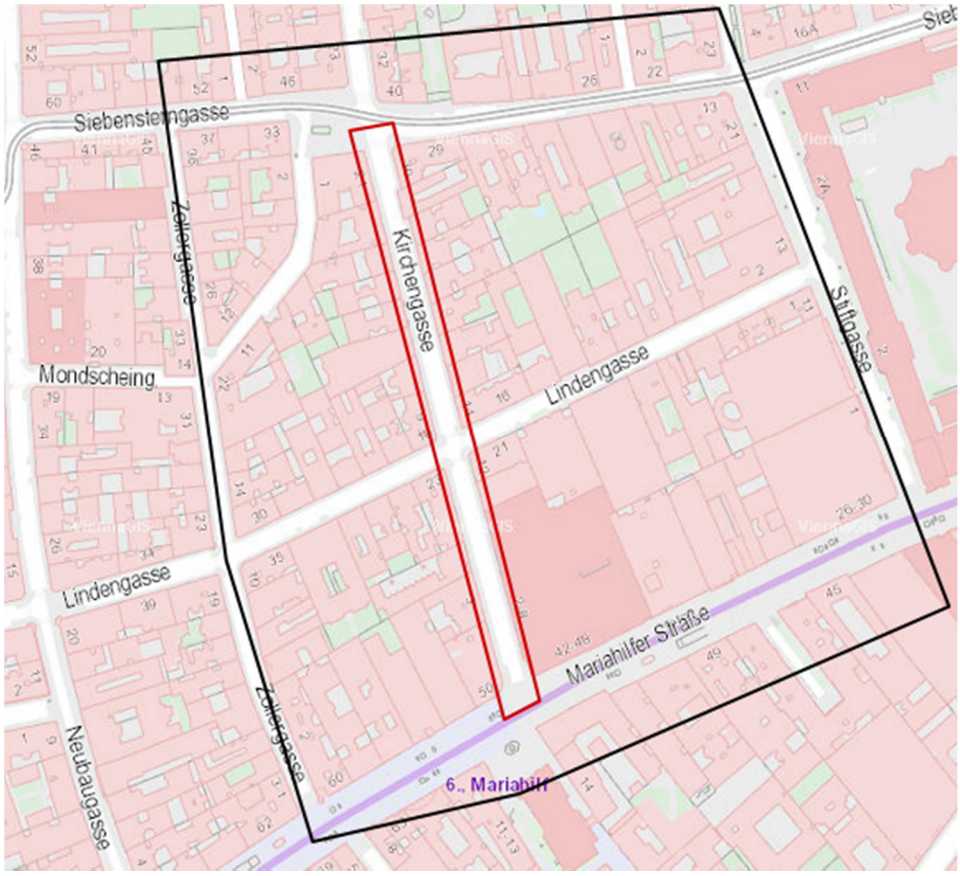

Abb. 1.1: Ausschnitt des Stadtplans von Wien im 7. Gemeindebezirk rund um die Kirchengasse[1]. Schwarz umrandet: nachgebaut im Computermodell (Modellgebiet). Rot umrandet: Untersuchungsgebiet.

Abb. 1.1 zeigt die Kirchengasse samt Umgebung im 7. Wiener Gemeindebezirk. Der schwarz umrandete Bereich gibt den Bereich an, der im Computermodell nachgebaut wurde (Modellgebiet). Das Untersuchungsgebiet ist der Teil der Kirchengasse zwischen Mariahilfer Straße und Siebensterngasse (rot umrandet), der in Kapitel 4.3. für die Interpretation der Ergebnisse herangezogen wird.

1.3. Planstände

Für die Untersuchung des Sommerkomforts wurden 3D-Modelle der Bestandsbebauung sowie die Freiflächenpläne von Landschaftsplanung DnD verwendet. Die 3D-Datei der Bestandsbebauung wurde von Weatherpark im DWG-Format von der MA 41 am 25.04.2019 bezogen (Download Geodatenvier MA 41).

Die Freiflächenpläne wurden am 24.05.2019 (Varianten Bestand, Klassisch und Maximal, „BV718_0_Kirchengasse_190524-BV718_VAR_M250.pdf“) bzw. am 02.08.2019 (Variante Radikal, „BV718_0_Kirchengasse_190802_a-BV718_VAR_M250_radikal.pdf“) von DnD im PDF-Format zur Verfügung gestellt.

[1] https://www.wien.gv.at/ma41datenviewer/public/

2. Klimatologie

2.1. Inputs für die Mikroklimasimulationen

Eine Auswertung von Klimadaten der letzten 30 Jahre liefert die Charakteristika (wie etwa Dauer und Intensität) und die zeitliche Entwicklung von Hitzewellentagen in Wien. Dreißig Jahre ist ein in der Meteorologie üblicher Zeitraum, wenn es darum geht, für das lokale Klima repräsentative Daten auszuwerten („Klimanormalperiode"). Zu diesem Zweck wurden im Zuge des Forschungsprojektes Lila4Green folgende Daten für den Zeitraum 1988-2017 ausgewertet (Datenquelle: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)):

- Liste der Kysely-Hitzetage (Definition siehe unten)
- Messdaten der Station Wien Innere Stadt an den Kysely Tagen
- Stündliche Messwerte: Lufttemperatur, Windrichtung- und Windgeschwindigkeit, relative Luftfeuchtigkeit
- Tagesminima und Tagesmaxima der Lufttemperatur an den Kysely-Tagen

Die Daten stellen eine Grundlage für die Definition von typischen Hitzewellentagen dar. Diese Informationen werden dafür verwendet, die Inputparameter für die Mikroklimasimulation dementsprechend realitätsnah festzusetzen.

2.2. Hitzewellentage: Definition von Kysely

Eine in Europa weit verbreitete Methode zur Definition von Hitzewellen stammt vom tschechischen Meteorologen Jan Kysely. Laut Kysely wird eine Hitzewelle festgestellt, sobald:

- an mindestens drei Tagen in Folge die Maximaltemperatur von 30 °C überschritten wird

und dauert an, solange:

- an keinem Tag eine Maximaltemperatur von 25 °C unterschritten wird **und**
- die mittlere Maximaltemperatur über die gesamte Periode über 30 °C liegt.

2.3. Die 30-jährigen Zeitreihen der Kysely-Tage von 1988-2017

Abb. 2.1 zeigt für die Station Wien Innere Stadt die Anzahl der Kysely-Hitzetage pro Jahr für den Zeitraum 1988 bis 2017. Anhand der linearen Regressionsgeraden (dünne blaue Linie) ist ein positiver Trend, also eine Zunahme der Hitzetage pro Jahr, gut erkennbar.

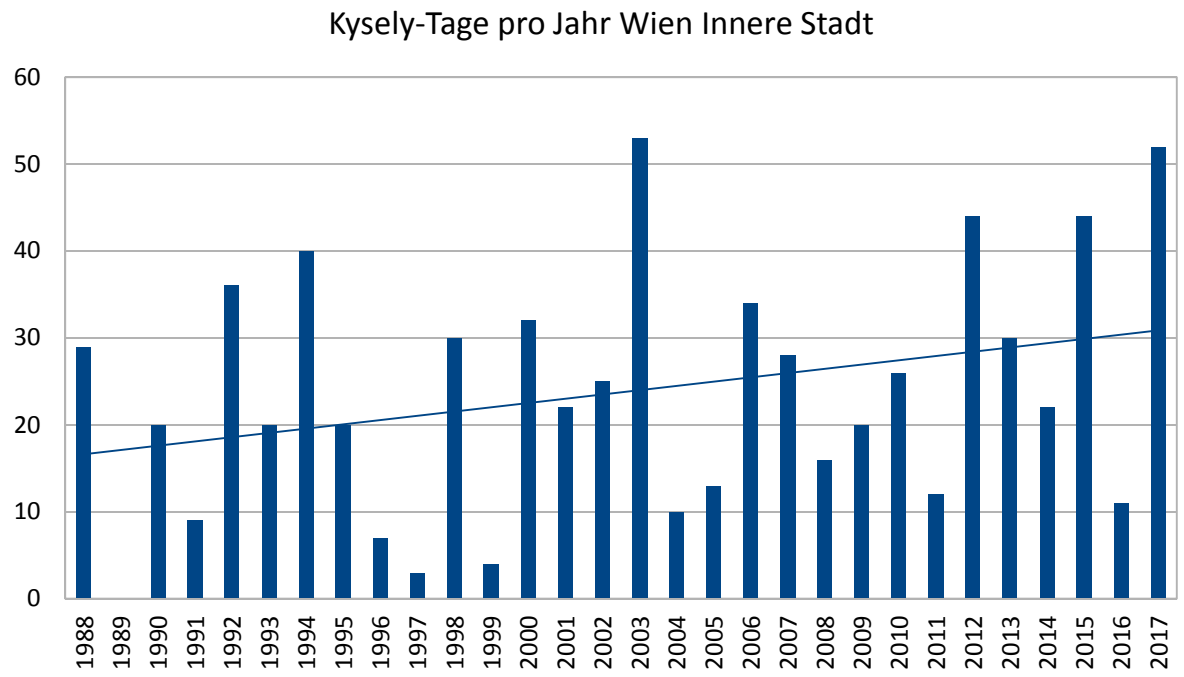

Abb. 2.1: Kysely Tage pro Jahr Wien Innere Stadt, 1988–2017

Mit der Anzahl der Tropennächte (Temperatur fällt nicht unter 20 Grad), die in Abb. 2.2 dargestellt ist, verhält es sich ähnlich. Im Laufe der Jahre haben Tropennächte stark zugenommen. Die Trendlinie zeigt hier noch deutlicher nach oben, als an Tagen während einer Hitzewelle.

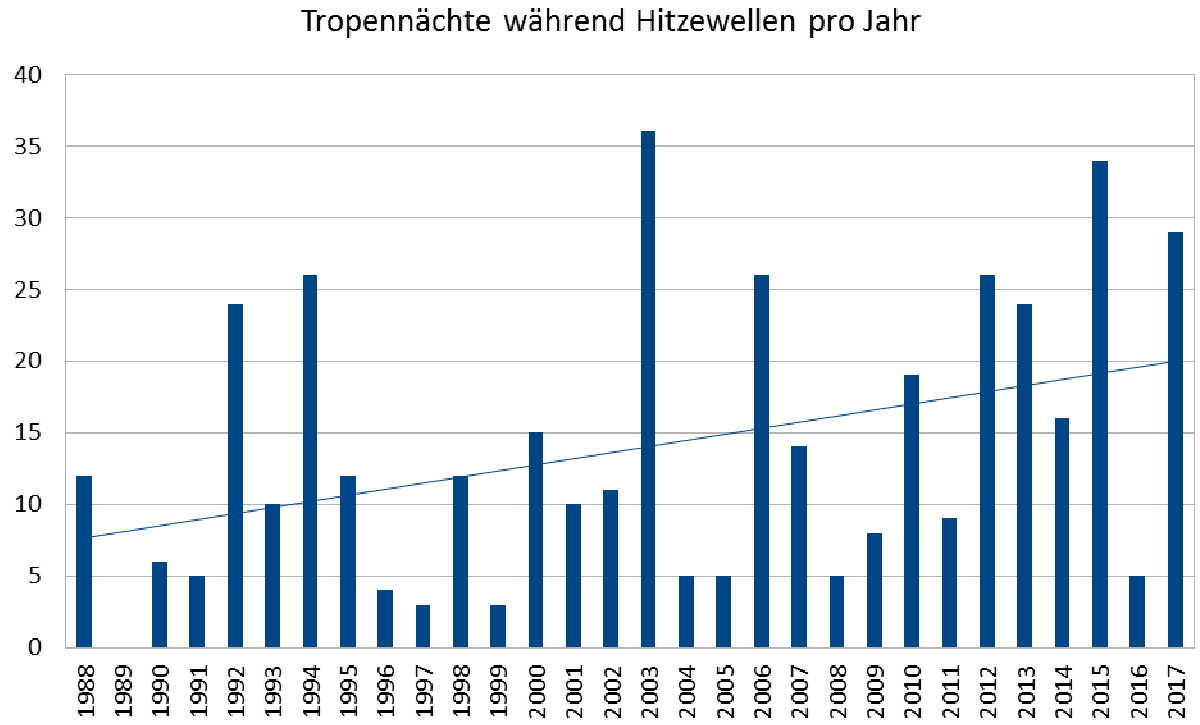

Abb. 2.2: Anzahl der Tropennächte pro Jahr während Hitzewellen an der Station Wien Innere Stadt

2.4. Eckpunkte des typischen Hitzewellentages

Um den Temperaturverlauf eines „typischen Hitzetages“ beschreiben zu können, wurden für jede Stunde des Tages die in dieser Stunde gemessenen Temperaturwerte aller Kysely-Tage von 1988 bis 2017 gemittelt. Das Ergebnis ist ein durchschnittlicher Tagesverlauf der Temperaturkurve während eines Kysely-Hitzetages.

Abb. 2.3 zeigt diesen Tagesgang der Lufttemperatur eines durchschnittlichen Hitzetages für die Station Wien Innere Stadt.

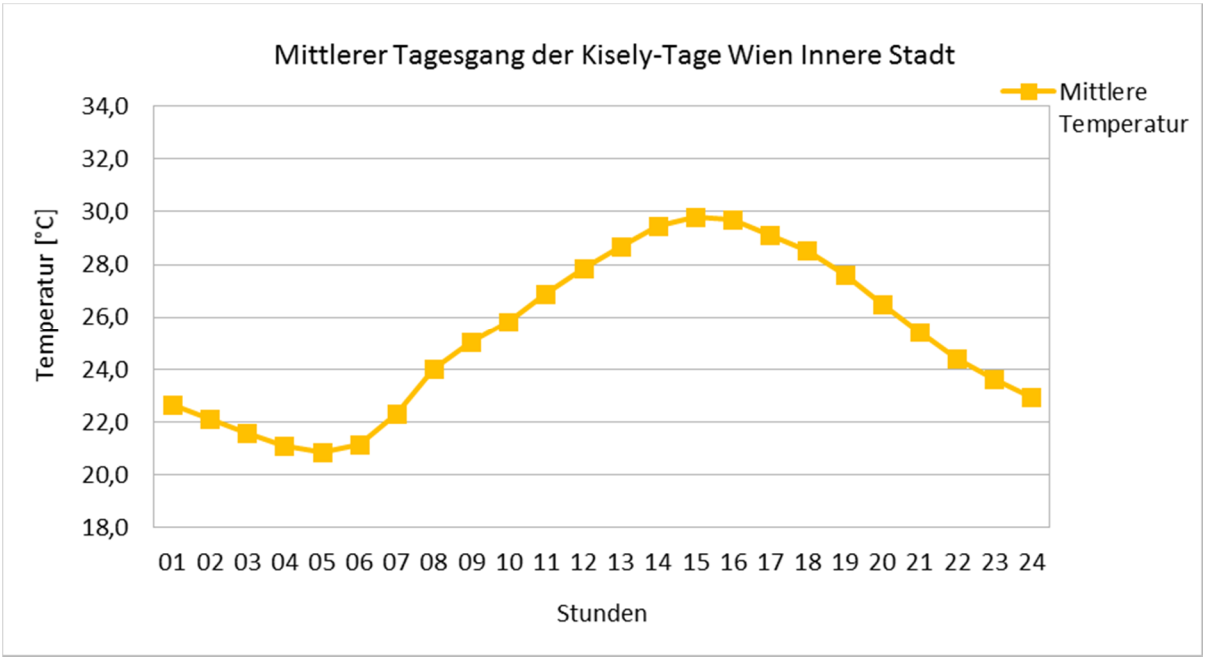

Abb. 2.3: Mittlerer Temperaturverlauf zur Darstellung eines durchschnittlichen Hitzetages für die Station Wien Innere Stadt

Die Tatsache, dass das höchste Mittel um 15 Uhr knapp unter 30 °C liegt, widerspricht der Definition eines Kysely-Tages, da ja die mittlere Maximaltemperatur über 30 °C liegen muss. Grund dafür ist die von der ZAMG verwendete Methode der Bestimmung des Tagesmaximums[2].

Das mittlere Minimum in der Nacht liegt bei rund 21 °C. Demzufolge ist eine Nacht eines Kysely-Tages in der Innenstadt von Wien im Durchschnitt auch eine Tropennacht.

[2] Abweichend von der üblichen Definition eines Tages von 00 bis 24 Uhr wertet die ZAMG die Maximaltemperatur im Zeitraum 19 Uhr des vorangegangenen Tages bis 19 Uhr des betreffenden Tages aus.

3. Methode der Mikroklimasimulation

3.1. Das Mikroklimamodell ENVI-met

Für diese Untersuchung wurde das Mikroklimamodell ENVI-met in der Version 4.4 zur Simulation verwendet. Dabei handelt es sich um ein kommerzielles Produkt der ENVI_MET GmbH.

ENVI-met ist ein dreidimensionales, numerisches, gekoppeltes Strömungs- und Energiebilanzmodell, mit dem das Mikroklima und die Luftqualität in städtischen Strukturen simuliert werden kann. Die physikalischen Grundlagen basieren auf den Gesetzen der Strömungsmechanik (Windfeld), der Thermodynamik (Temperaturberechnungen) und der allgemeinen Atmosphärenphysik. Das Modell wird häufig zur Simulation urbaner Strukturen und zur Bewertung der Auswirkungen grüner Infrastrukturmaßnahmen verwendet. Es ist für Mikroskalen mit einer typischen horizontalen Auflösung von 0,5 bis 5 Metern und einem typischen Zeitraum von 24 bis 48 Stunden mit einem Zeitschritt von 1 bis 5 Sekunden ausgelegt. Diese zeitlichen und räumlichen Auflösungen ermöglichen die Analyse kleinräumiger Wechselwirkungen zwischen einzelnen Gebäuden, Oberflächen und Pflanzen. Die Ergebnisse der Simulation ermöglichen Aussagen über die Verteilung der einzelnen klimatologischen Parameter (z.B. Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, relative Luftfeuchtigkeit, u.v.m.) im Untersuchungsgebiet.

Prinzipiell ist die Vorgehensweise einer Mikroklimasimulation die folgende:

- Nachbilden der Gebäudestrukturen, Vegetation und Oberflächenmaterialien im Untersuchungsgebiet.
- Einstellen der physikalischen Rahmenbedingungen, Wahl von Parametern und Entscheidung, welche Prozesse berücksichtigt werden sollen (Modell-Setup).
- Auswahl des Zeitraums, für den die Simulation durchgeführt werden soll.
- Vorgabe von meteorologischen Bedingungen am Beginn des Zeitraums.
- Das Modell berechnet auf Basis der vorgegebenen Informationen und der programmierten Modellphysik den zeitlichen und räumlichen Verlauf von meteorologischen Parametern wie z.B. Temperatur, Wind, Strahlung.
- Die berechneten Daten werden einer zeitlichen und räumlichen Auswertung unterzogen.
- Interpretationen werden durchgeführt und Empfehlungen abgegeben.

Bei gegenständlicher Untersuchung wurde die Simulation nach dieser Vorgehensweise durchgeführt.

Das in Kapitel 1 beschriebene Gebiet wurde im Computermodell nachgebildet (Planstände siehe Kapitel 1.3.). In den Abb. 3.1 und Abb. 3.2 sind Ansichten des Untersuchungsgebiets im Ist-Zustand im Computermodell dargestellt.

3.2. Beschreibung der Simulation

3.2.1. Baukörper und Vegetation

Zur mathematischen Darstellung und Lösung der Modellgleichungen wird das Untersuchungsgebiet als dreidimensionaler Raum, aufgeteilt in rechtwinkelige Gitterzellen, dargestellt. Das Modellgitter enthält 229 x 203 x 26 Zellen, wobei eine Gitterzelle einer Abmessung von 2 x 2 x 2 Meter in der Realität entspricht.

Baukörper und Vegetation sind an die rechtwinkelige Gitterstruktur gebunden und werden durch Aneinanderreihung und Stapelung von Blöcken in Größe der Gitterzellen nachgebildet. Objekte, die kleiner als die Gittermaschenweite (2 m) sind, können nicht dargestellt werden. Die genauen Abmessungen der Baukörper wurden dem Baukörpermodell der Stadtvermessung Wien (Download Geodatenviewer) entnommen. Da schräg verlaufende Strukturen nur durch einen stufenförmigen Verlauf approximiert werden können, wurde das gesamte Modellgebiet zur Geometrieerstellung um 64 Grad gegen den Uhrzeigersinn gedreht. Dadurch konnte der in Realität schräg zu den Nord-Süd - Achsen verlaufende Straßenzug im Modellgitter als parallel zu den Achsen und somit exakter nachgebildet werden. Die Y-Achse des Modellgitters zeigt in diesem Fall nicht mehr nach Norden, sondern nach Nordosten.

Die räumlichen Randzonen, also Bereiche außerhalb des Untersuchungsgebiets (in den Ergebnisabbildungen in Kapitel 6.1 halbtransparent dargestellt), können von Randeffekten beeinflusst werden und werden nicht in die eigentliche Ergebnisbetrachtung miteinbezogen. Daher wurde auch der Bereich von hohem Interesse (Straßenzug Kirchengasse) ins Zentrum des Modellgebiets gelegt.

Die Höhenunterschiede im Gelände variieren im Untersuchungsgebiet nur gering und wurden bei der Geometrieerstellung vernachlässigt.

Information über Lage, Art der Vegetation, Höhe und Kronendurchmesser wurden dem Baumkataster der Stadt Wien[3] entnommen. Zusätzliche Abgleichungen und Validierungen aller gesammelten Informationen erfolgten über Luftbilder der Stadt Wien sowie Google Earth Pro und durch einen Lokalaugenschein am 21.05.2019.

Abb. 3.1 zeigt das Modellgebiet im Ist-Zustand im Computermodell. Die Baukörper sind in dieser Darstellung als graue Flächen, Grasflächen als durchgängige grüne Fläche zu erkennen. Bäume sind als grüne Vierecke mit Kreisen in Größe der Krone dargestellt.

[3] https://www.wien.gv.at/umweltgut/public/grafik.aspx?ThemePage=11

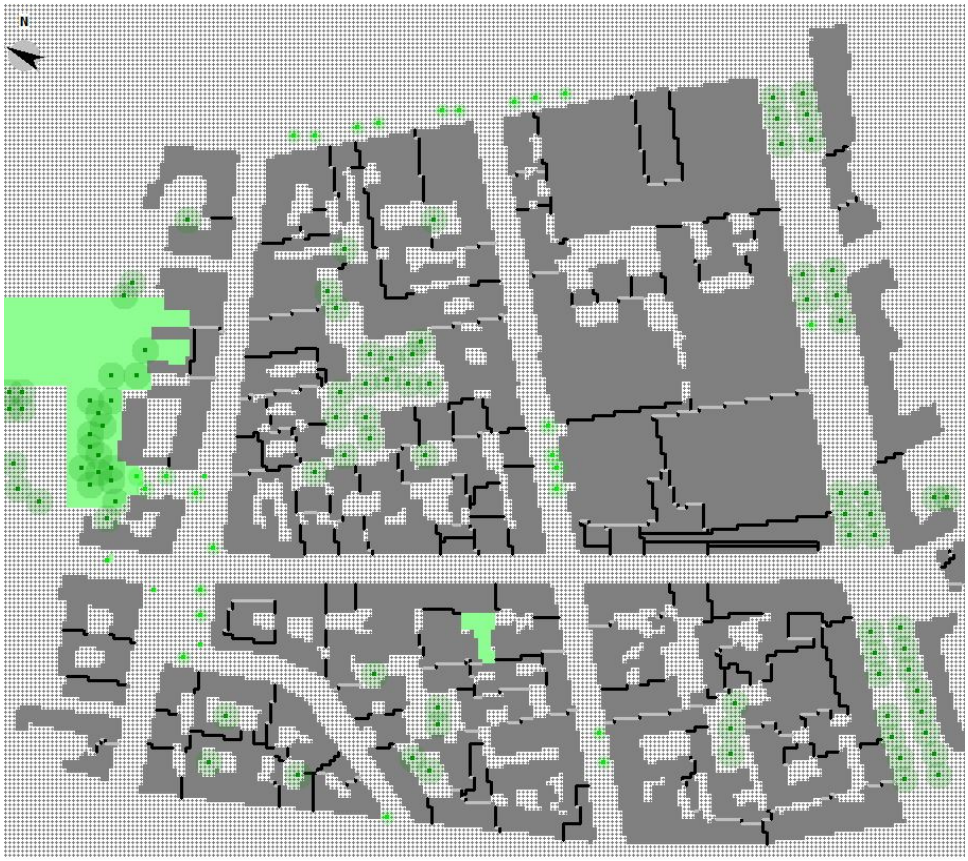

Abb. 3.1: Darstellung der Geometrie und Vegetation des gesamten Modellgebiets im Ist-Zustand im Computermodell.

3.2.2. Physikalische Eigenschaften der Oberflächen

Die physikalischen Eigenschaften aller im Modell verwendeten Objekte sind genau definiert. Bei Gebäudeoberflächen und Bodenbelägen sind unterschiedliche physikalische Eigenschaften entscheidend für die Charakteristika des resultierenden Mikroklimas.

- Gebäudeoberflächen: Absorptionsgrad, Transmissionsgrad, Reflexionsgrad, Wärmeleitfähigkeit sowie Emissivität[4] des Materials
- Bodenbelag: Rauigkeitslänge[5], Albedo[6] und Emissivität

Bei den physikalischen Eigenschaften der Gebäudeoberflächen im Ist-Zustand wurden die voreingestellten Materialien aus der ENVI-met Datenbank übernommen und keine spezifischen Materialienkataloge für die Kirchengasse erstellt.

Abb. 3.2 zeigt die 3D-Darstellung der Kirchengasse (Untersuchungsgebiet) im Ist-Zustand im Computermodell, wobei wieder in grau die Gebäudeblöcke zu sehen sind. Zudem sind in dieser Abbildung die unterschiedlichen Bodenbeläge farbig dargestellt. Dunkelgraue Flächen kennzeichnen Asphaltstraßen (Albedo = 0.2). Weitere versiegelte Flächen sind in grau (Albedo = 0.4) und hellgrau (Albedo = 0.3) zu erkennen. Unversiegelte Flächen (Albedo = 0.5) sind dunkelgrün gekennzeichnet. Unversiegeltes Bodenprofil befindet sich u.a. unterhalb von Vegetation.

---

[4] Die Emissivität (auch Emissionsgrad genannt) gibt an, wie viel elektromagnetische Strahlung das Material emittiert.
[5] Die Rauigkeitslänge charakterisiert den Grad der Unebenheit der Erdoberfläche und der Hindernishöhe für den Wind.
[6] Die Albedo ist ein Maß für das Rückstrahlvermögen von Oberflächen. Sie wird als Verhältnis von reflektierter zu einfallender kurzwelliger Strahlung (= Sonneneinstrahlung) angegeben. Je heller eine Oberfläche, desto höher die Albedo.

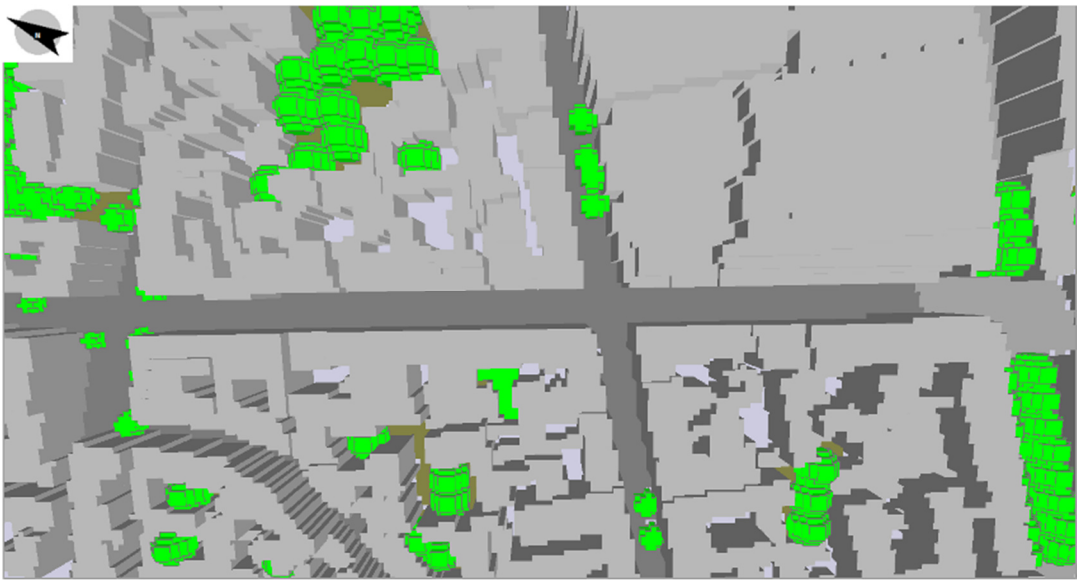

Abb. 3.2: 3D-Darstellung des Untersuchungsgebiets im Ist-Zustand im Computermodell.

3.2.3. Meteorologische Eingangsdaten

Anfangs- und Endzeitpunkt der Simulation wurden so gewählt, dass ganze Tagesverläufe abgedeckt werden, jedoch keine unnötigen Rechenzeiten entstehen. Als Anfangszeitpunkt wurde 05:00 Uhr Früh (MEZ, Normalzeit) festgelegt, also knapp nach Sonnenaufgang, wenn Bewegung und Vermischung der Atmosphäre in Gang kommen. Die ersten ~20 h dienen als spin-up time. Diese zeitliche Randzone wurde nicht in die Ergebnisbetrachtung miteinbezogen.

Simuliert wurde das Szenario eines durchschnittlichen Hitzetages.

Um 5 Uhr Früh an einem 10.07., der Startzeit des Modells, wurden folgende Anfangsbedingungen vorgegeben:

Temperatur: 22 °C

Wind: 2 m/s aus SO (135 Grad)

Luftfeuchtigkeit: 70 %

Strahlung: Stündliche Sonnenstände vom Simulationszeitraum (10.-12. Juli) bei wolkenlosem Himmel.

Für die Vorgabe der Temperatur um 5 Uhr früh wurde die Auswertung eines typischen Hitzewellentages in der Innenstadt von Wien (Kapitel 2.4., Abb. 2.3) herangezogen.

Aus diesen Eingangswerten und der im Modell programmierten physikalischen Prozesse berechnet das Modell stündliche räumliche Ergebnisfelder von verschiedenen meteorologischen Parametern.

3.3. Das Komfortmaß PET

Um Aussagen über human-biometeorologische Aspekte des Klimas treffen zu können, bedient man sich thermischer Indizes. Diese Indizes dienen zur Bestimmung und Vorhersage des thermischen Wohlbefindens (Komfort) des Menschen. Der Komfort im Freien hängt nicht nur von der aktuellen Lufttemperatur, sondern auch ganz maßgeblich von Strahlung, Wind und Luftfeuchtigkeit. ab. Neben diesen meteorologischen Parametern werden auch Eigenschaften (Alter, Größe, Gewicht, Geschlecht, Bekleidung, metabolische Rate) und Energiebilanz des Menschen in die Berechnung eines thermischen Indizes miteinbezogen. Ein solcher Index, der im Folgenden als Maß für den Sommerkomfort eingesetzt wird, ist die physiologische äquivalente Temperatur (physiological

equivalent temperature = PET). PET ist für eine beliebige Stelle im Freien definiert als jene Lufttemperatur, bei der in einem typischen Innenraum die Wärmebilanz eines Menschen bei gleichen Werten der Haut- und Kerntemperatur ausgeglichen ist, wie bei Bedingungen im Freien (VDI 3787 2008).

Für die Körpereigenschaften werden folgende Annahmen getroffen:

Alter: 35 Jahre

Größe:1.75 m

Gewicht: 75 kg

Geschlecht: männlich

Bekleidungsgrad: 0.9 clo (=clothing insulation; entspricht z.B.: Anzug)

metabolische Rate: 80 W (gehend mit 1 m/s)

Abb. 3.3 zeigt die Skala der PET in Grad Celsius sowie die thermische Wahrnehmung des Menschen und den daraus resultierenden physiologischen Stress.

PET	Thermisches Empfinden	Thermophysiologische Belastungsstufe
bis 4 °C	sehr kalt	extreme Kältebelastung
4 - 8 °C	kalt	starke Kältebelastung
8 - 13 °C	kühl	mäßige Kältebelastung
13 - 18 °C	leicht kühl	schwache Kältebelastung
18 - 23 °C	behaglich	keine thermische Belastung
23 - 29 °C	leicht warm	schwache Wärmebelastung
29 - 35 °C	warm	mäßige Wärmebelastung
35 - 41 °C	heiß	starke Wärmebelastung
ab 41 °C	sehr heiß	extreme Wärmebelastung

Abb. 3.3: PET-Skala nach Matzarakis und Mayer, 1996: Another kind of environmental stress: Thermal stress. WHO Newsletter No. 18, 7-10

4. Diagnose des Sommerkomforts

4.1. Beschreibung der Maßnahmen

Der Bereich der Kirchengasse zwischen Mariahilfer Straße und Siebensterngasse birgt großes Potential zur Verbesserung des Mikroklimas. Derzeit ist er komplett versiegelt (durchgehende dunkle Asphaltfläche) und weist keine Begrünung auf. Die beste Wirkung ist zu erwarten, wenn möglichst viele Maßnahmen gemeinsam eingesetzt werden. Einzelne Maßnahmen zeigen in der Regel nur schwache bzw. stark lokal begrenzte Wirkung.

Folgende Varianten der Freiflächengestaltung wurden von DnD ausgearbeitet (Planstände siehe Kapitel 1.3.) und in den Simulationen für den Vergleich mit dem Bestand berücksichtigt.

4.1.1. Variante Klassisch

Bei der Variante Klassisch sind im Vergleich zum Bestand einseitig (östliche Straßenseite) 19 Baumpflanzungen innerhalb kleiner Grünflächen geplant. Bäume führen einerseits zu mehr Schattenbildung, andererseits erhöhen Pflanzen allgemein die Evapotranspiration und liefern dadurch einen zusätzlichen kühlenden Effekt (Verdunstungskühlung). Die geplanten kleinkronigen (Höhe 6 m, Kronenweite 5 m) und großkronigen (Höhe 12 m, Kronenweite 9 m) Bäume sind in Abb. 4.1 erkennbar.

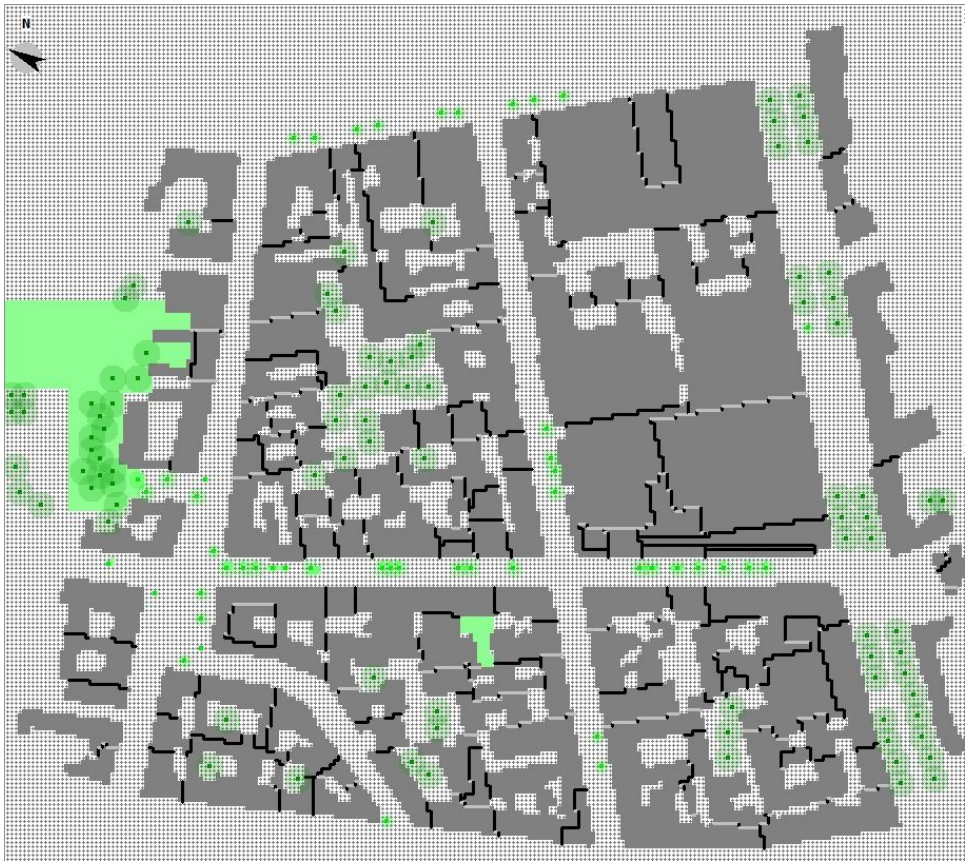

Abb. 4.1: Darstellung der Geometrie und Vegetation des Modellgebiets in der Variante Klassisch im Computermodell.

Die veränderten Bodenbeläge sind in Abb. 4.2 ersichtlich. Anstelle der durchgehenden, versiegelten Asphaltfläche (dunkelgrau, Albedo = 0.2) ist auf den Gehwegen und den Stellplätzen ein hellerer Plattenbelag (weiß, Albedo = 0.6) vorgeschlagen. Durch diese Veränderung im Bodenbelag kommt es zu einer Albedoerhöhung. Dies führt dazu, dass mehr einfallende Sonneneinstrahlung vom Boden reflektiert wird als im Bestand.

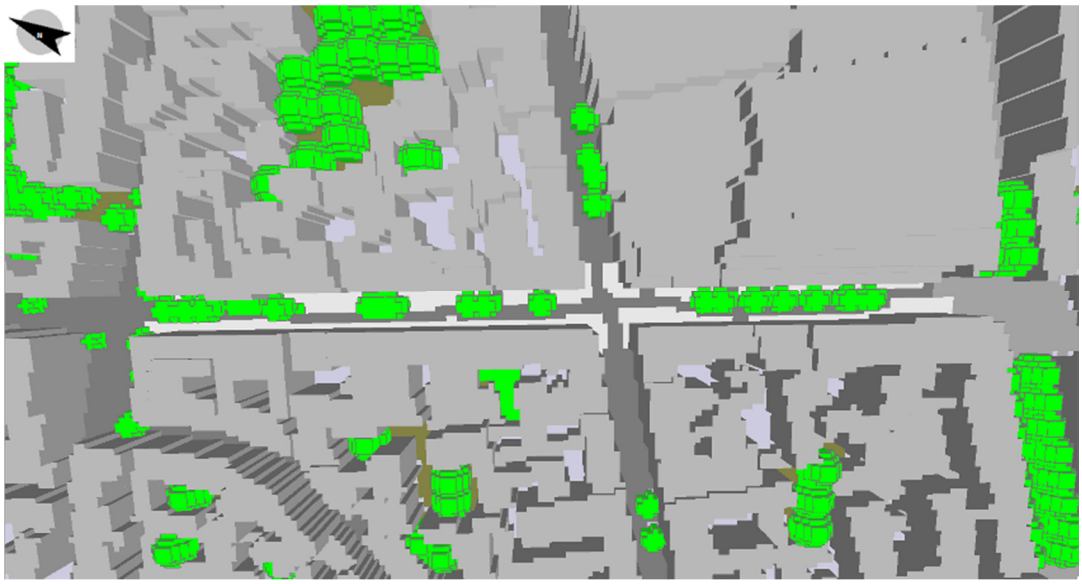

Abb. 4.2: 3D-Darstellung des Untersuchungsgebiets in der Variante Klassisch im Computermodell.

4.1.2. Variante Maximal

In der Variante Maximal ist der Bereich der Kirchengasse als Begegnungszone geplant. Somit sind mehr Baumpflanzungen und größere Grünflächen möglich als in der Variante Klassisch. Statt 19 Bäumen gibt es in dieser Variante 26 klein- und großkronige Bäume, die erneut alle auf der östlichen Straßenseite gepflanzt werden. Dadurch ergeben sich größere begrünte Flächen. Außerdem ist in diesem Planstand durchgehend heller Plattenbelag (Albedo = 0.6, weiß dargestellt in Abb. 4.4) möglich. Die Veränderungen im Modell sind in Abb. 4.3 und Abb. 4.4 dargestellt.

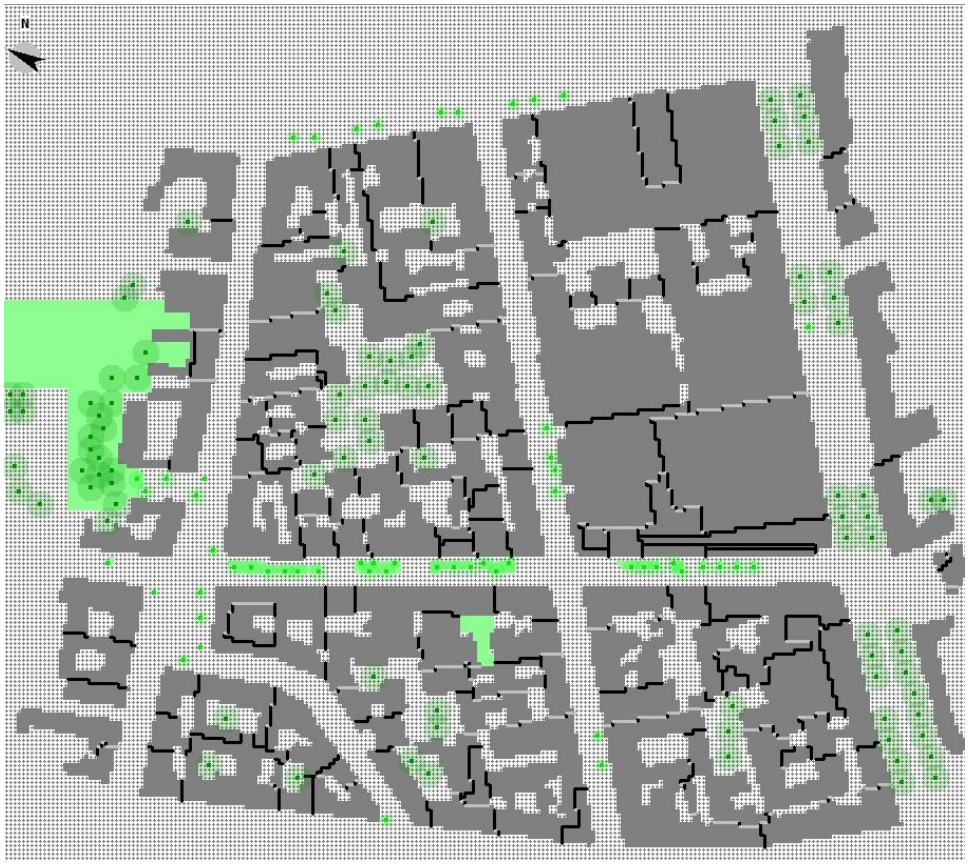

Abb. 4.3: Darstellung der Geometrie und Vegetation des Modellgebiets in der Variante Maximal im Computermodell.

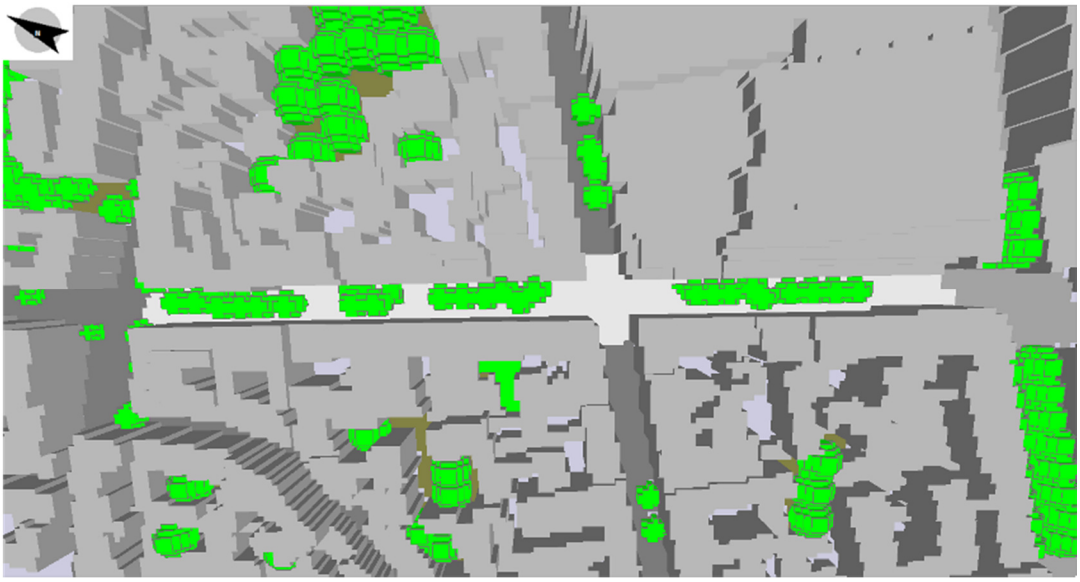

Abb. 4.4: 3D-Darstellung des Untersuchungsgebiets in der Variante Maximal im Computermodell.

4.1.3. Variante Radikal

Bei der Variante Radikal ist eine beidseitige Baumbepflanzung mit insgesamt 41 Bäumen und größeren Grünflächen geplant (siehe Abb. 4.5).

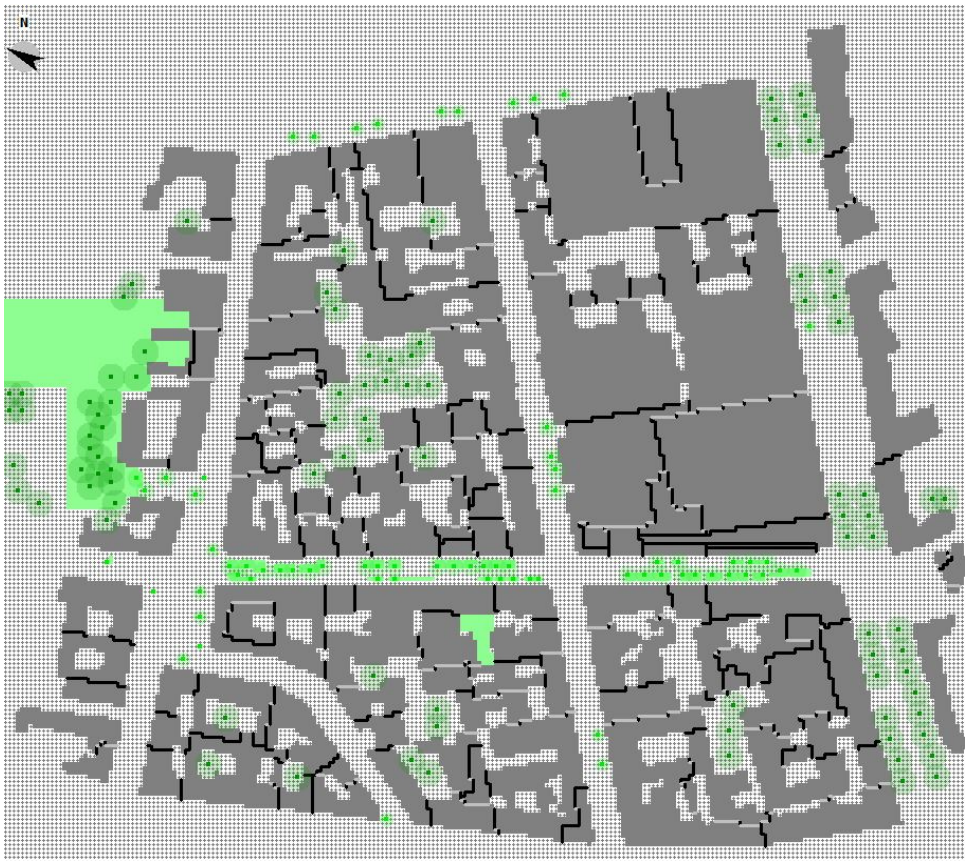

Abb. 4.5: Darstellung der Geometrie und Vegetation des Modellgebiets in der Variante Radikal im Computermodell.

Das Bodenmaterial ist im Vergleich zur Variante Maximal unverändert: ein durchgehender, heller Plattenbelag mit einer Albedo von 0.6 (weiß dargestellt in Abb. 4.6).

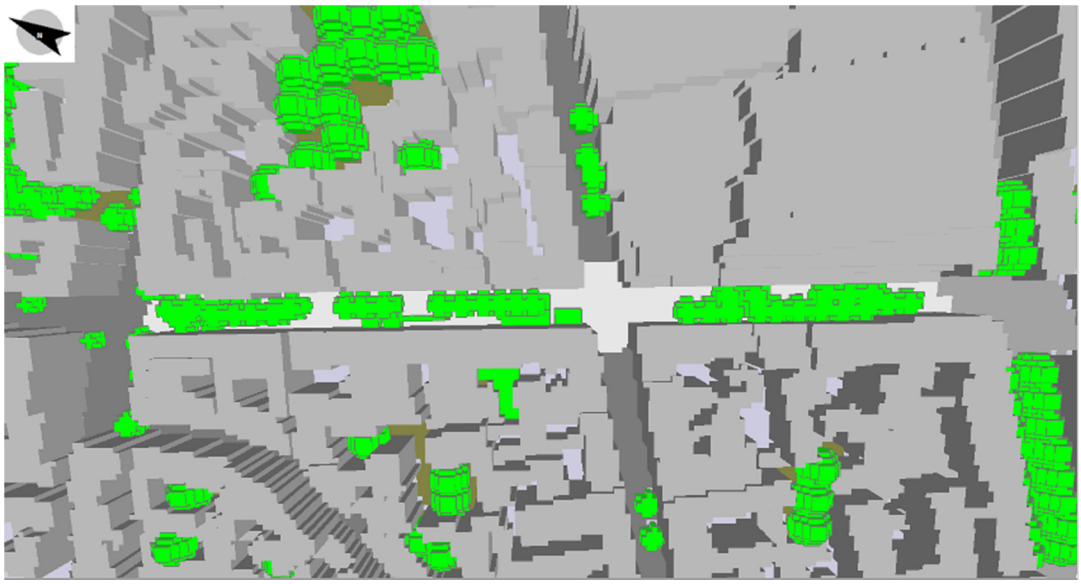

Abb. 4.6: 3D-Darstellung des Untersuchungsgebiets in der Variante Radikal im Computermodell.

4.2. Methode der Auswertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Simulation grafisch dargestellt und interpretiert. Basierend auf den Erkenntnissen der Simulation wird der Sommerkomfort und somit die Verweilqualität in der Kirchengasse sowohl im Ist-Zustand (Bestand), als auch in den Varianten Klassisch, Maximal und Radikal analysiert und dadurch die geplanten Maßnahmen evaluiert.

Exemplarisch dargestellt wird die räumliche Verteilung des in Kapitel 3.3. beschriebenen Komfortmaßes PET an ausgewählten Uhrzeiten. So werden die Veränderungen der mikroklimatischen Verhältnisse im Tagesverlauf veranschaulicht. Es ist nicht sinnvoll, einen Satz Karten für jede Stunde zu erstellen, da die jeweiligen Unterschiede zu gering wären, um zusätzliche Informationen zu gewinnen.

Deshalb wurden repräsentative Uhrzeiten (Lokalzeit, MESZ) ausgewählt: 11:00 Uhr, 13:00 Uhr und 15:00 Uhr. Diese Uhrzeiten wurden aus folgenden Gründen gewählt:

- Die Kirchengasse ist aufgrund ihrer nahezu exakten Nord-Süd Ausrichtung und dem Verhältnis Gebäudehöhen zur Straßenbreite bis ca. 9 Uhr abgeschattet. Daher werden zur Illustration der Effekte der zunehmenden Aufheizung des Untersuchungsgebiets erst die Karten von 11:00 Uhr herangezogen.
- Die Karten von 13:00 Uhr liefern ein für die heißeste Zeit des Tages über Mittag repräsentatives Bild. Die Uhrzeit eignet sich daher am besten, um die geplanten Maßnahmen zur Verbesserung des Sommerkomforts zu analysieren und miteinander zu vergleichen.
- Um 15:00 Uhr ist das Untersuchungsgebiet schon wieder fast gänzlich durch die Gebäude abgeschattet. Um den Effekt der bereits wieder abnehmenden Sonneneinstrahlung zu zeigen, werden die Varianten Bestand, Klassisch und Maximal auch um diese Uhrzeit gezeigt.

Diese Auswertungen erfolgten sowohl für den Ist-Zustand (Bestand) als auch für die drei Maßnahmenvarianten (Klassisch, Maximal und Radikal). Für die bessere Vergleichbarkeit sind zunächst die räumlichen Ergebnisfelder von Bestand und der Maßnahmenvarianten Klassisch und Maximal für die ausgewählten Uhrzeiten untereinander dargestellt (Abb. 6.1 bis 6.3). Danach werden die Varianten Maximal und Radikal um 11:00 und um 13:00 Uhr miteinander verglichen (Abb. 6.4 und 6.5).

Außerdem wurden an drei ausgewählten Standorten Tagesverläufe der Lufttemperatur und/oder der PET ausgewertet (Abb. 6.6 bis 6.9).

4.3. Beschreibung der Ergebnisse

Alle Abbildungen befinden sich im Anhang zu diesem Bericht.

Anmerkung: Bei einem ersten Simulationslauf (Juni 2019) der Varianten Bestand, Klassisch und Maximal wurde im Modell mit falschen Baummaßen (zu großer Stamm) gerechnet. Daher wurden diese Varianten (Bestand, Klassisch und Maximal) im August 2019 mit korrigierten Einstellungen gerechnet. Auf die Kernaussage der Auswertungen hatte dies keine Auswirkung. Lediglich im Nahbereich der Bäume kam es lokal zu geringfügigen Änderungen der PET. Im Folgenden werden nur die Ergebnisse des zweiten, korrigierten Simulationslaufes gezeigt und interpretiert.

4.3.1. Auswertungen der PET

Abbildungen 6.1 bis 6.5 zeigen die räumliche Verteilung des gefühlten Komfortmaßes PET auf Fußgängerniveau (1.4 m Höhe über Grund) zu den angegebenen Uhrzeiten. Die Gebäudegrundrisse sind in Weiß zu erkennen, Grasflächen sind grün strichliert. Die Umrisse der Baumkronen sind in grün eingezeichnet. Die Legende am rechten Bildrand liefert die Information zu den verschiedenen PET-Bereichen im Untersuchungsgebiet. Die Werte sind in Grad Celsius angegeben. Je höher die PET-Werte, umso größer der Hitzestress (siehe Abb. 3.3).

Vergleich der Varianten Bestand – Klassisch – Maximal

Die Verteilung der PET um **11 Uhr** (Abb. 6.1) zeigt im Bestand fast durchgehend PET-Werte von 37 bis 41 ˚C. Das entspricht bereits am Vormittag starkem Hitzestress. Lediglich an der östlichen Straßenseite, welche weiterhin abgeschattet wird, sind angenehmere Verhältnisse mit maximal 33 ˚C PET zu verzeichnen. Die klassische (Planungs-)Variante bringt im Vergleich zum Bestand bereits eine sichtbare Verbesserung. Die Bereiche mit PET-Werten von maximal 33 ˚C (mäßiger Hitzestress) haben sich, insbesondere im südlichen Teil der Kirchengasse Richtung Mariahilfer Straße (rechts im Bild), vergrößert. Aber auch Richtung Siebensterngasse (links im Bild) schafft die Begrünung „Erholungsinseln“ mit angenehmeren Komfortverhältnissen (schwach bis mäßig statt starker Hitzestress). Zwischen diesen „Erholungsinseln“ gibt es jedoch weiterhin noch größere Bereiche mit starkem Hitzestress, da die geplanten Bäume nicht so weit wirken können. Die maximale Variante ist im Vergleich zur klassischen noch wesentlich großräumiger und intensiver wirksam. Hier weist ein großer Teil des Untersuchungsgebiets PET-Werte von nur mehr maximal 29 ˚C (schwacher Hitzestress) auf. In allen Varianten liegt die Lufttemperatur bei rund 27 ˚C.
Auffallend ist im Kreuzungsbereich Kirchengasse/Lindengasse, dass die Varianten Klassisch und Maximal im Vergleich zum Bestand zu einer Verschlechterung der Komfortverhältnisse führen (Erhöhung der PET). Dies liegt einerseits daran, dass Bäume als Hindernisse wirken und somit im Vergleich zum Bestand die Durchlüftung verringern. Dieser negative Effekt macht sich vor allem dort bemerkbar, wo die positive Wirkung des Baumes (Abschattung, kühlende Evapotranspiration) nicht (mehr) wirken kann. Genau das ist im Kreuzungsbereich der Fall. Die geplanten Bäume sind zu weit entfernt, sodass ihre positive Wirkung dort nicht überwiegen kann. Andererseits wurde im Vergleich zum Bestand auch die Albedo (Reflektivität) des Bodens erhöht. Das bedeutet, dass dort, wo die Sonneneinstrahlung ungehindert eintreffen kann (z.B.: Kreuzungsbereich), mehr Strahlung reflektiert wird und somit mehr Strahlung auf die NutzerInnen im Freien einwirkt als im Bestand. Dies führt zu höheren PET-Werten. Hierbei sei außerdem vermerkt, dass die Erhöhung der PET im Kreuzungsbereich maximal 8 ˚C beträgt (eine Farbstufe). Die beschriebene Reduktion der PET durch die Varianten Klassisch bzw. Maximal beträgt hingegen bis zu 16 ˚C (zwei Farbstufen).

Um 13 Uhr (Abb. 6.2) hat sich der Straßenzug der Kirchengasse noch weiter aufgeheizt. Aufgrund des Sonnenstandes ist nun die westliche Straßenseite abgeschattet und somit bereits im Bestand begünstigt (PET maximal 33 ˚C, mäßiger Hitzestress). Ansonsten ist im Untersuchungsgebiet fast durchgehend mit PET-Werten von über 41 ˚C und somit mit extremem Hitzestress im Bestand zu rechnen. Bei der klassischen Variante ist in der Nähe der Bäume der Sommerkomfort lokal verbes-

sert. Mit PET-Werten von nur max. 37 ˚C handelt es sich dort um starken Hitzestress. Sehr vereinzelt führen die Maßnahmen der klassischen Variante zu einer gefühlten Temperatur von max. 33 ˚C (mäßiger Hitzestress). Die maximale Variante ist auch zu dieser Uhrzeit intensiver und in einem größeren Bereich wirksam als die klassische. Während die klassische Variante im Vergleich zum Bestand lokal zu einer PET-Reduktion von 4–8 ˚C führt, bringt die maximale Variante eine weiträumige Reduktion von mindestens 8 ˚C. In der Variante Maximal gibt es dadurch nur mehr kleine Bereiche mit extremem Hitzestress (PET > 41 ˚C). Hot-Spots Bereiche sind jedoch weiterhin die Kreuzungen. Hier treten sowohl im Bestand als auch in den Maßnahmenvarianten Klassisch und Maximal Werte von über 45 ˚C PET auf.

Um 15 Uhr (Abb. 6.3) zeigt sich im Untersuchungsgebiet ein anderes Bild. Die Kirchengasse profitiert von ihrer Ausrichtung und ihrer Struktur (Verhältnis Straßenbreite – Gebäudehöhen). Sie ist um 15 Uhr im Bestand bereits vollständig abgeschattet und somit ist die Verweilqualität deutlich höher als in den Stunden zuvor. Der Hitzestress ist im Bestand nur mehr mäßig bis stark anstatt extrem. Dadurch kommt es auch nur mehr zu geringfügigen Unterschieden zwischen Bestand, Klassisch und Maximal. Bei allen Varianten liegen die PET-Werte fast im gesamten Straßenzug bei maximal 37 ˚C. Sie unterscheiden sich lediglich sehr lokal um maximal eine Farbstufe (max. 8 ˚C PET-Differenz).

In dieser Abbildung ist auch zu erkennen, dass die angrenzenden Ost-West ausgerichteten Straßen (z.B.: Lindengasse) zu dieser Tageszeit aufgrund ihrer Ausrichtung stark benachteiligt sind. Die Komfortverhältnisse sind deutlich geringer als in der Kirchengasse.
Die eingezeichneten Standorte A, B und C wurden – siehe Kapitel 4.3.2. - für exemplarische Zeitverläufe herangezogen.

Vergleich der Varianten Maximal – Radikal

In Abbildung 6.4 sind die PET-Werte der beiden Varianten Maximal und Radikal um **11 Uhr** gegenübergestellt. Jene Bereiche mit starkem Hitzestress (37-41 ˚C) sind in der radikalen Variante nochmals deutlich kleiner als in der maximalen. Stattdessen sind großflächig – insbesondere im Abschnitt zwischen Siebensterngasse und Lindengasse – Bereiche mit Werten von 25-29 ˚C zu finden. Das bedeutet, dass im Vergleich zum Bestand (Abb. 6.1) überwiegend nur mehr leichter anstatt starker Hitzestress herrscht. Im Abschnitt zwischen Lindengasse und Mariahilfer Str. bietet die Variante Radikal auch noch eine deutliche Verbesserung des Sommerkomforts. Hier haben sich die Bereiche mit Werten von 25-33 ˚C PET (leichter bis mäßiger Hitzestress) im Vergleich zur Variante Maximal noch weiter vergrößert. Auch in der radikalen Variante kommt es im Kreuzungsbereich Kirchengasse/Lindengassse zu einer Erhöhung der PET im Vergleich zum Bestand. Betrachtet man die Ecke Siebensterngasse/Kirchengasse und Lindengasse/Kirchengasse, ist jedoch ersichtlich, dass die radikale Variante im Vergleich zur klassischen und maximalen Variante am wirksamsten ist. Die PET-Werte werden noch am weitesten in den Kreuzungsbereich hinein reduziert.

Auch um **13 Uhr** (Abb. 6.5) führt die radikale Variante im Vergleich zur maximalen zu noch angenehmeren Verhältnisse für die NutzerInnen im Freien. Es kommt nur mehr sehr lokal zu PET-Werten von 41-45 ˚C und somit ist extremer Hitzestress kaum noch vorhanden. Ansonsten liegen die Werte hauptsächlich unter 37 ˚C PET. Das bedeutet, dass es fast im gesamten Untersuchungsgebiet im Vergleich zum Bestand zu einer deutlichen PET-Reduktion von 4 bis 16 ˚C kommt. Es ist daher vorrangig mit mäßigem (bis starkem) anstatt extremem Hitzestress wie im Bestand (siehe Abb. 6.2) zu rechnen.
Die eingezeichneten Standorte A, B und C wurden für die folgende Auswertung der Zeitverläufe herangezogen.

Beim Vergleich der Varianten Bestand – Klassisch – Maximal um 15 Uhr (Abb. 6.3) wurde ersichtlich, dass zu diesem Zeitpunkt die Kirchengasse bereits vollständig abgeschattet ist und dadurch die Unterschiede in der Verweilqualität nur sehr gering sind. Daher erfolgt hier kein Vergleich der Varianten Maximal und Radikal um 15 Uhr.

4.3.2. Auswertung Temperaturverläufe

Die Abbildungen 6.6 bis 6.9 zeigen stündliche Werte von PET (durchgezogen) bzw. Lufttemperatur (strichliert) in Grad Celsius im Tagesverlauf (3 Uhr Früh bis 3 Uhr Früh am Folgetag) an den angegebenen Standorten. Die Farben kennzeichnen die Ergebnisse für die verschiedenen Varianten Bestand, Klassisch, Maximal und Radikal.

Der ausgewählte **Standort A** (Abb. 6.6) befindet sich im Bestand (dunkelrot) am Vormittag im Häuserschatten. Dadurch steigt die gefühlte Temperatur zunächst nur langsam. Um 12 Uhr kommt es jedoch zu einem abrupten Anstieg der PET auf 40 ˚C. Bis 14 Uhr steigt der Wert sogar noch auf ca. 42 ˚C an. Dies entspricht extremem Hitzestress. Ab 15 Uhr ist – wie bereits weiter oben analysiert – die gesamte Kirchengasse und somit auch Standort A abgeschattet. Die PET fällt dadurch im Bestand auf ca. 32 ˚C ab. Danach sinkt sie stetig, bis sie sich ab 21 Uhr bei rund 20 ˚C PET einpendelt. Die Unterschiede zwischen den Maßnahmenvarianten und dem Bestand kommen aufgrund der Ausrichtung und Struktur der Kirchengasse insbesondere zwischen 11 und 15 Uhr zum Tragen. Die klassische Variante (orange) weist in dieser Zeitspanne gering höhere PET-Werte auf als der Bestand. Das liegt an der bereits erwähnten Hinderniswirkung der Bäume. Da in der klassischen Variante nur sehr vereinzelt Bäume geplant sind, reicht deren positive Wirkung (Abschattung, Verdunstungskühlung) nicht bis zum Standort A. Erst bei der maximalen Variante (grün) überwiegt der positive Effekt der Bäume und es kommt im Vergleich zum Bestand zu einer Reduktion der PET von ca. 5 ˚C. Die radikale Variante (blau) führt zwischen 11 und 15 Uhr sogar zu bis zu 10 ˚C niedrigeren PET-Werten als im Bestand. Die PET-Werte liegen damit maximal bei 32 ˚C. Das bedeutet es ist nur mäßiger anstatt extremer Hitzestress vorhanden. Vor 11 Uhr bzw. nach 15 Uhr sind die Unterschiede in den Varianten sehr gering (max. 2 ˚C). In allen Varianten liegt die PET in den Nachtstunden bei rund 20 ˚C und somit ist die Verweilqualität hoch. Es herrscht kein thermischer Stress. Zu erkennen ist jedoch, dass der Bestand tendenziell die niedrigsten PET-Werte aufweist. Das liegt daran, dass in der Nacht einerseits der negative Effekt der Bäume (geringere Durchlüftung) tragend wird. Zudem verhindern die Baumkronen die nächtliche Abstrahlung und somit auch die Abkühlung. Unter den Baumkronen wird die Strahlung „eingefangen“, was zu gering höheren PET-Werten führt.

Betrachtet man den Tagesverlauf der Lufttemperatur am Standort A (Abb. 6.7), so wird deutlich, dass es für die Analyse des gefühlten Komforts nicht ausreichend ist, lediglich die Lufttemperatur zu betrachten. Die markanten Unterschiede in der gefühlten Temperatur (PET) zwischen Bestand, Klassisch, Maximal und Radikal sind im Verlauf der Temperatur nicht zu erkennen. Die Temperatur Linien von allen Varianten sind nahezu identisch. Im Bestand (dunkelrot) treten tendenziell die höchsten Werte auf, die Differenz zu den Maßnahmenvarianten beträgt jedoch maximal 1 ˚C (um 13 Uhr). Hiermit zeigt sich, dass durch die geplanten Maßnahmen nicht die Lufttemperatur verändert werden kann. Es kann jedoch die gefühlte Temperatur deutlich gesenkt und somit die Verweilqualität erhöht werden.

Standort B (Abb. 6.8) befindet sich nur wenige Meter von Standort A entfernt. Dennoch zeigt sich im Vergleich zu Standort A im Tagesverlauf der PET ein stark verändertes Bild. Hier sind die Maßnahmenvarianten zwischen 10 und 14 Uhr wirksam. Alle Maßnahmenvarianten führen in diesen 4 Stunden zu einer deutlichen Reduktion der PET im Vergleich zum Bestand (bis zu 10 ˚C). Die PET erreicht dadurch maximal 32 ˚C (mäßiger Hitzestress) anstatt 41 ˚C (extremer Hitzestress). Das liegt daran, dass sich der Standort B an einem Punkt befindet, wo in allen Maßnahmenvarianten Bäume in direkter Umgebung geplant sind. Auffallend ist vor allem, dass hier auch die klassische Variante zu einer Reduktion der PET im Vergleich zum Bestand führt. Nur um 13 Uhr scheint der Standort B bei der klassischen Variante kurzzeitig nicht abgeschattet zu werden, was sich sofort in einer Erhöhung der PET niederschlägt. Dies verdeutlicht, dass die klassische Variante (wenige Bäume) zeitlich und räumlich nur sehr lokal wirksam ist.

Als **Standort C** wurde ein Punkt auf der westlichen Straßenseite gewählt, der daher am Vormittag bereits früher (ab 9 Uhr) direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist. An diesem Standort weisen die Varianten Bestand, Klassisch und Maximal einen nahezu identischen Tagesverlauf der PET auf (Abb. 6.9). Die PET erreicht in diesen drei Varianten durch die Einstrahlung bereits um 10 Uhr einen Wert von ca. 37 °C, was starkem Hitzestress entspricht. Das Maximum von ca. 41 °C wird um 12 Uhr erreicht. Ab 13 Uhr profitiert Standort C vom Häuserschatten und die PET sinkt auf 32 °C ab. Lediglich durch die Maßnahmenvariante Radikal wird an diesem Standort die PET zwischen 9 und 13 Uhr reduziert. Dies liegt daran, dass nur bei der radikalen Variante genügend Bäume gepflanzt sind, um großflächig zu wirken. Bei der Variante Radikal wird ein maximaler PET-Wert von 34 °C nicht überschritten. Somit kommt es bei dieser Variante nur mehr zu mäßigem anstatt extremem Hitzestress.

5. Zusammenfassung und Empfehlungen

5.1. Zusammenfassung der Untersuchung

Diese Untersuchung dient zur Evaluierung der Maßnahmen, die zur Optimierung des thermischen Komforts in der Kirchengasse im Bereich zwischen Mariahilfer Straße und Siebensterngasse in 1070 Wien ausgearbeitet wurden. Ziel war, den Sommerkomfort und somit die Verweilqualität sowohl im Ist-Zustand („Bestand"), als auch in den Maßnahmenvarianten Klassisch, Maximal und Radikal mit Hilfe eines mikroklimatologischen Computermodells zu analysieren.

Eine Auswertung von Klimadaten der letzten 30 Jahre liefert die Charakteristika (wie etwa Dauer und Intensität) und die zeitliche Entwicklung von Hitzewellentagen in Wien. Die Daten stellen eine Grundlage für die Definition von „typischen" Hitzewellentagen dar. Diese Informationen werden dafür verwendet, die Inputparameter für die Mikroklimasimulation dementsprechend realitätsnah festzusetzen.

Für dieses Projekt wurde das Mikroklimamodell ENVI-met in der Version 4.4 zur Simulation verwendet. Dabei handelt es sich um ein kommerzielles Produkt der ENVI_MET GmbH. ENVI-met ist ein dreidimensionales Strömungs- und Energiebilanzmodell, mit dem das Mikroklima und die Luftqualität in städtischen Strukturen berechnet werden kann.

Die Kirchengasse birgt großes Potential zur Verbesserung des Mikroklimas. Derzeit ist sie komplett versiegelt und weist keine Begrünung auf. Die beste Wirkung ist zu erwarten, wenn möglichst viele Maßnahmen gemeinsam eingesetzt werden. Einzelne Maßnahmen zeigen in der Regel nur schwache bzw. stark lokal begrenzte Wirkung. Folgende Maßnahmenvarianten wurden ausgearbeitet und in den Simulationen für den Vergleich mit dem Bestand berücksichtigt:

- Klassische Variante: einseitig Baumpflanzungen (19 Stück) innerhalb kleiner Grünflächen, heller Plattenbelag auf den Fußwegen und den Stellplätzen anstatt Asphalt
- Maximale Variante: einseitig Baumpflanzungen (26 Stück) mit größeren Grünflächen, durchgehend heller Plattenbelag anstatt Asphalt
- Radikale Variante: beidseitig Baumpflanzungen (41 Stück) mit größeren Grünflächen, durchgehend heller Plattenbelag anstatt Asphalt

Wichtig ist, dass die hier gefundenen Ergebnisse auf folgenden Annahmen für die Bäume beruhen: Kleinkronig: Höhe: 6 m, Kronenweite: 5 m. Großkronig: Höhe: 12 m, Kronenweite: 9 m.

5.2. Wichtigste Ergebnisse

Die Auswertungen des Mikroklimas hinsichtlich des Komforts der Menschen erfolgten mit Hilfe der gefühlten Temperatur PET in Fußgängerniveau (1.4 m) in der Kirchengasse. Der Vergleich vom Bestand mit den Maßnahmenvarianten Klassisch, Maximal und Radikal lasst folgende wesentliche Schlüsse zu:

- An einem Hitzetag ist der Sommerkomfort im Bestand untertags generell gering. Es herrscht schwacher bis extremer Hitzestress für Personen.
- Deutliche Reduktion der PET durch die Maßnahmen zwischen 9 und 14 Uhr. Reduktion im **Vergleich zum Bestand**:
    - Klassische Variante: kleinräumig in Baumnähe um ca. 8 °C, punktuell bis zu 10 °C
    - Maximale Variante: großräumig um ca. 10 °C, punktuell bis zu 12 °C
    - Radikale Variante: großräumig um ca. 12 °C, punktuell bis zu 15 °C

- Zwischen 10 und 14 Uhr bringt die radikale Variante im **Vergleich zur maximalen** eine weitere Verbesserung des Sommerkomforts:
    - Die radikale Variante ist noch großräumiger wirksam.
    - Größtenteils geringere PET-Werte als in der maximalen Variante. Nur sehr vereinzelt weist die radikale Variante höhere PET-Werte (abhängig vom Baumstandort) auf.
- Die radikale Variante bringt vor allem im Abschnitt zwischen Lindengasse und Mariahilfer Straße eine zusätzliche Verbesserung.
- Bei zu wenigen Bäumen (klassische Variante): Da die Durchlüftung verringert wird (negativer Effekt), aber gleichzeitig zu wenig abgeschattet wird bzw. die Verdunstungskühlung noch zu gering ist, kann lokal der negative Effekt der Bäume überwiegen. Dies führt dazu, dass die klassische Variante im Nahbereich der Bäume vereinzelt zu schlechteren Ergebnissen führt als der Bestand.
- In den Nachtstunden ist die PET im Bestand etwas geringer (1-2 °C) als in den Maßnahmenvarianten. Das liegt einerseits an der geringeren Durchlüftung durch die Hinderniswirkung der Bäume. Andererseits wird die nächtliche Ausstrahlung vom Boden unter den Baumkronen „eingefangen". Dadurch ist die Ausstrahlung und somit die Abkühlung geringer als im Bestand (keine Bäume).
- Hot Spots sind sowohl im Bestand als auch in allen Maßnahmenvarianten die Kreuzungsbereiche. In der Variante Radikal ist die PET-Reduzierung jedoch noch am weitesten in die Kreuzungsbereiche Kirchengasse/Lindengasse bzw. Kirchengasse/Siebensterngasse wirksam.
- U-Bahn Bauten: Die geplanten U-Bahn Gebäude können den Hitzestress – je nach Position und Gestaltung - noch lokal verändern und sind in dieser Studie nicht berücksichtigt worden.

5.3. Empfehlungen

Für die Planung ergeben sich folgende Empfehlungen:

- Die hier beschriebenen Ergebnisse können nur erreicht werden, wenn die entsprechenden Baummaße erreicht werden. Dafür und um zu gewährleisten, dass die Bäume auch über Jahrzehnte vital bleiben und wirken können, muss für ausreichend Wurzelraum und Wasserverfügbarkeit gesorgt sein.
- Die Variante Radikal umsetzen. Sie ist am wirksamsten, da sie großflächig zu einer deutlichen Reduktion der PET führt.
- Kreative Lösungen für die Kreuzungsbereiche finden:
    - Lange Wartezeiten im Kreuzungsbereich verhindern: Schutzwege errichten anstelle von Ampeln
    - Mechanischen bzw. textilen Sonnenschutz an Ampeln oder über dem Kreuzungsbereich installieren.
- Übergangslösungen finden. Bis junge Bäume ausreichend gewachsen sind, um ihre volle positive Wirkung entfalten zu können, dauert es Jahre. Um bis dahin bereits für angenehmere Komfortverhältnisse zu sorgen, können beispielsweise Sonnensegel (oder anderer textiler/technischer Sonnenschutz) verwendet werden. Die Sonnensegel sollten nur bei tatsächlicher Sonneneinstrahlung ausgerollt werden. Vor allem in der Nacht sollten sie eingerollt werden, da sie sonst die Abstrahlung und somit die Abkühlung verringern.

- U-Bahn Bauten möglichst gut (durch Bäume) abschatten, sodass sie sich nicht aufheizen können. Außerdem auf passendes Gebäudematerial achten.

6. Anhang

6.1. Abbildungen

Auf den folgenden Seiten befinden sich die Abbildungen der Ergebnisse aus Kapitel 4.3.

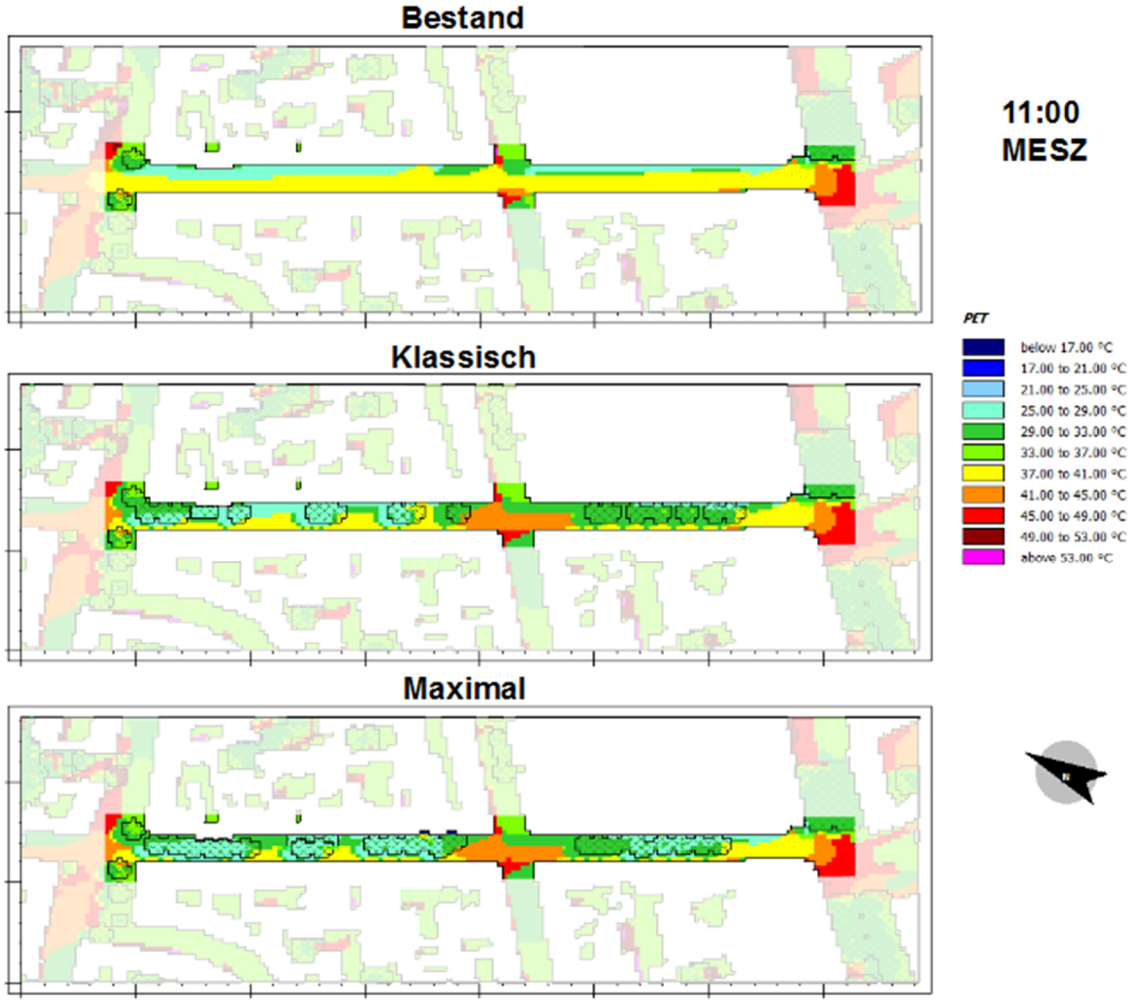

Abb. 6.1: Kirchengasse Bestand (oben), Klassisch (Mitte) und Maximal (unten) – PET in 1.4 m Höhe am 11.07., 11 Uhr. Der Bereich außerhalb des Untersuchungsgebietes ist halbtransparent dargestellt.

© 2019 Weatherpark GmbH

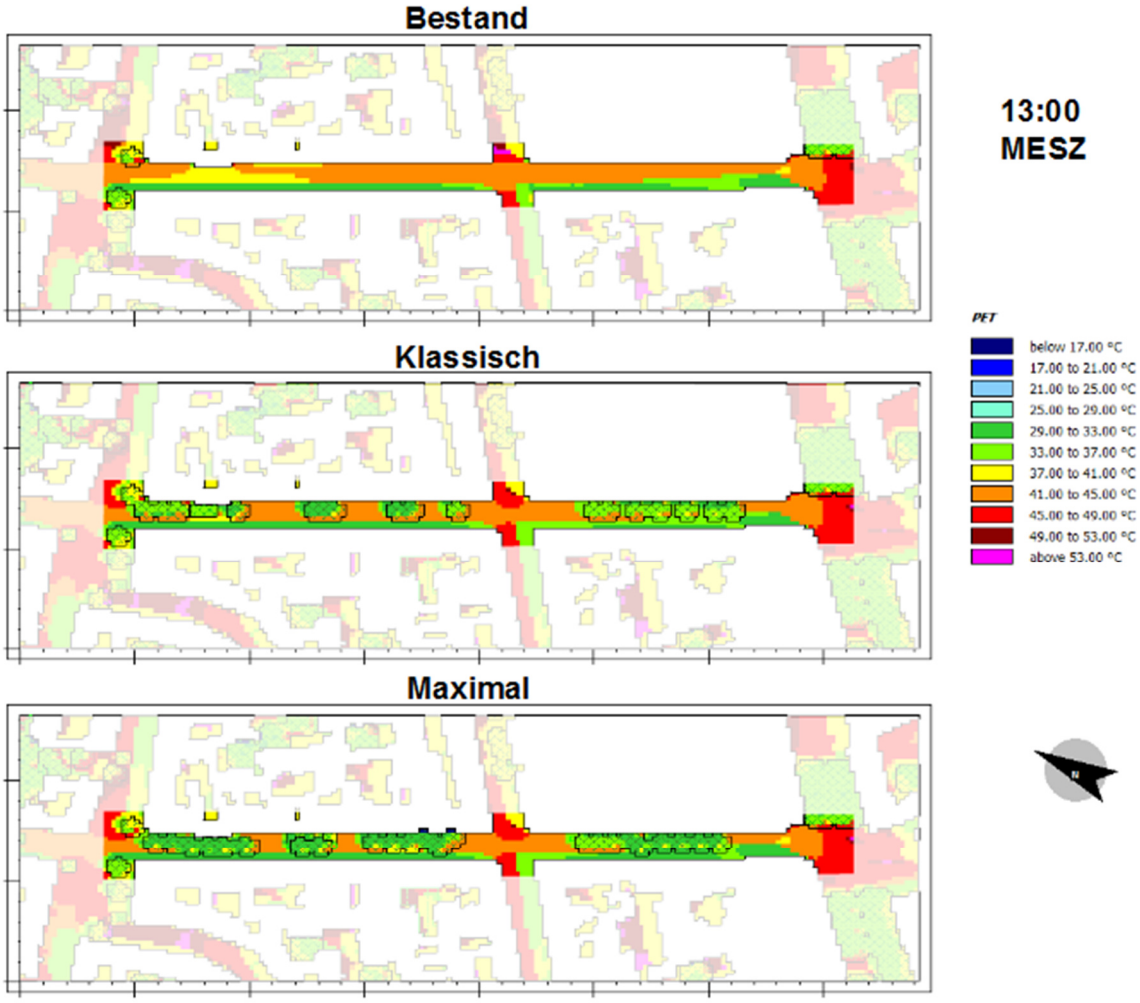

Abb. 6.2: Kirchengasse Bestand (oben), Klassisch (Mitte) und Maximal (unten) – PET in 1.4 m Höhe am 11.07., 13 Uhr. Der Bereich außerhalb des Untersuchungsgebietes ist halbtransparent dargestellt.

© 2019 Weatherpark GmbH

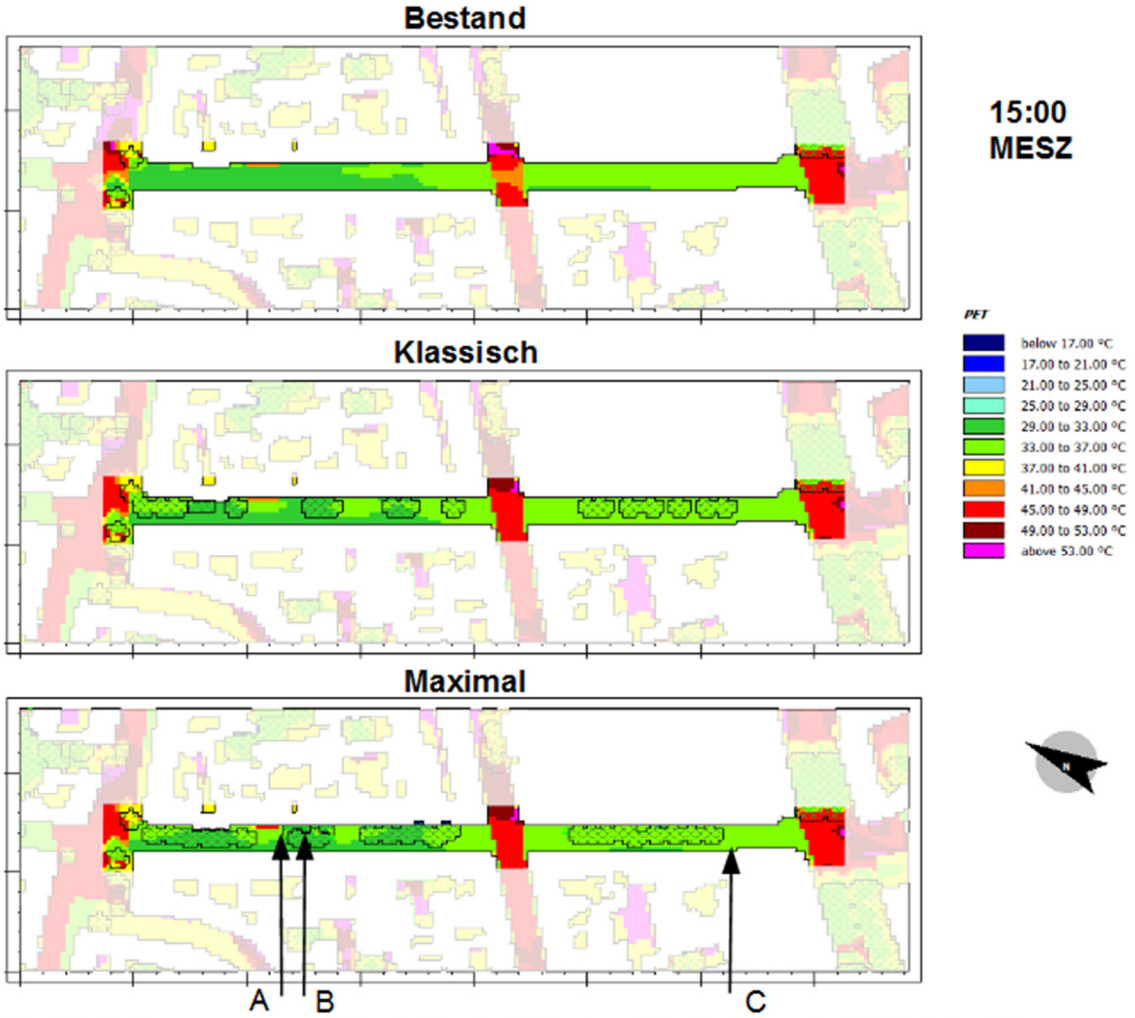

Abb. 6.3: Kirchengasse Bestand (oben), Klassisch (Mitte) und Maximal (unten) – PET in 1.4 m Höhe am 11.07., 15 Uhr. Der Bereich außerhalb des Untersuchungsgebietes ist halbtransparent dargestellt.

© 2019 Weatherpark GmbH

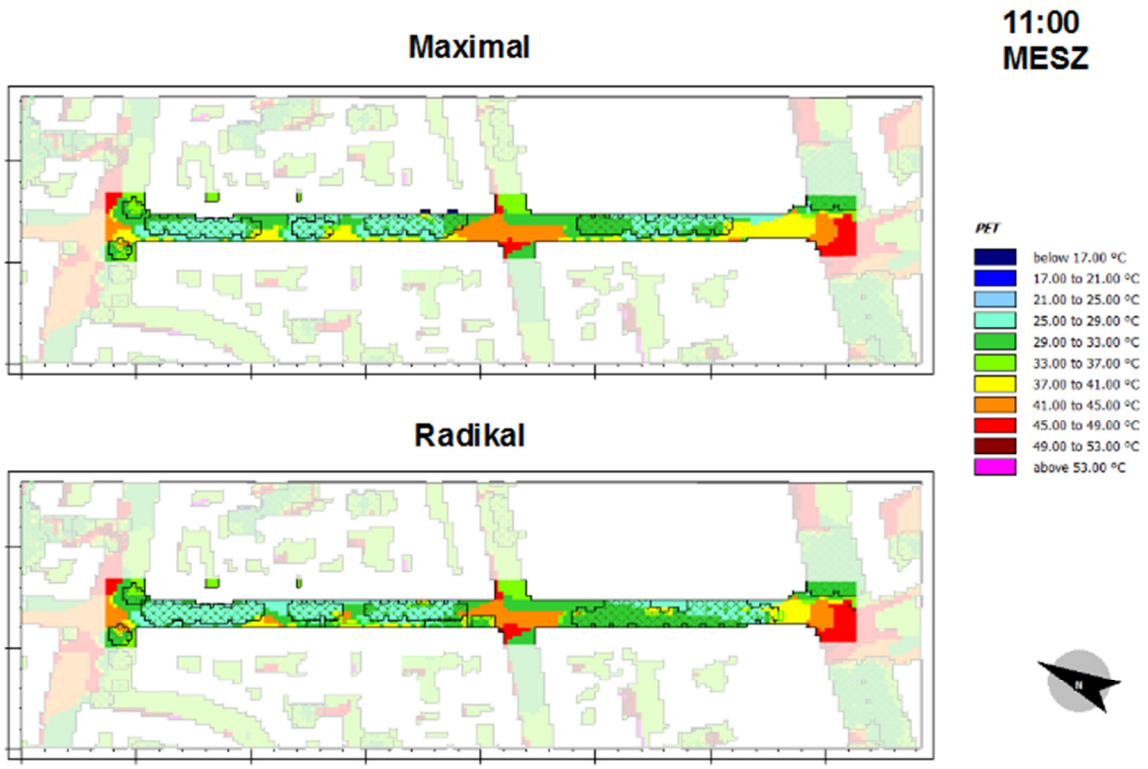

Abb. 6.4: Kirchengasse Maximal (oben) und Radikal (unten) – PET in 1.4 m Höhe am 11.07., 11 Uhr. Der Bereich außerhalb des Untersuchungsgebietes ist halbtransparent dargestellt. © 2019 Weatherpark GmbH

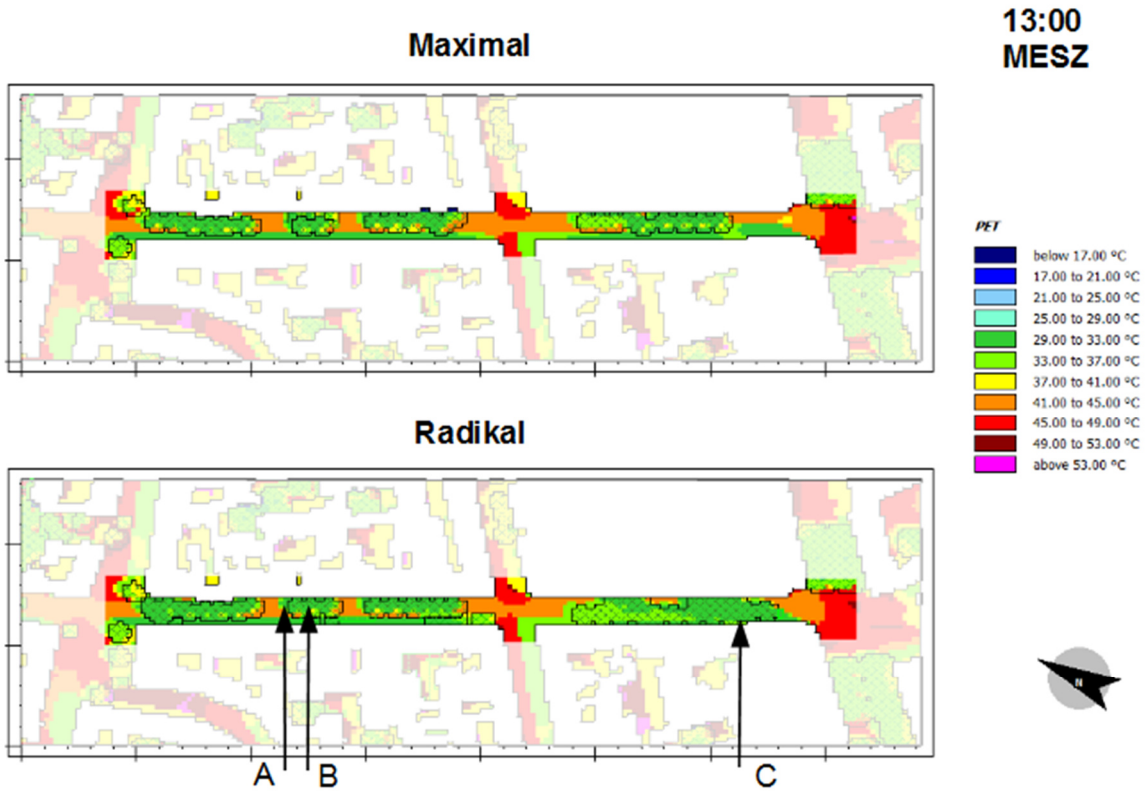

Abb. 6.5: Kirchengasse Maximal (oben) und Radikal (unten) – PET in 1.4 m Höhe am 11.07., 13 Uhr. Der Bereich außerhalb des Untersuchungsgebietes ist halbtransparent dargestellt. © 2019 Weatherpark GmbH

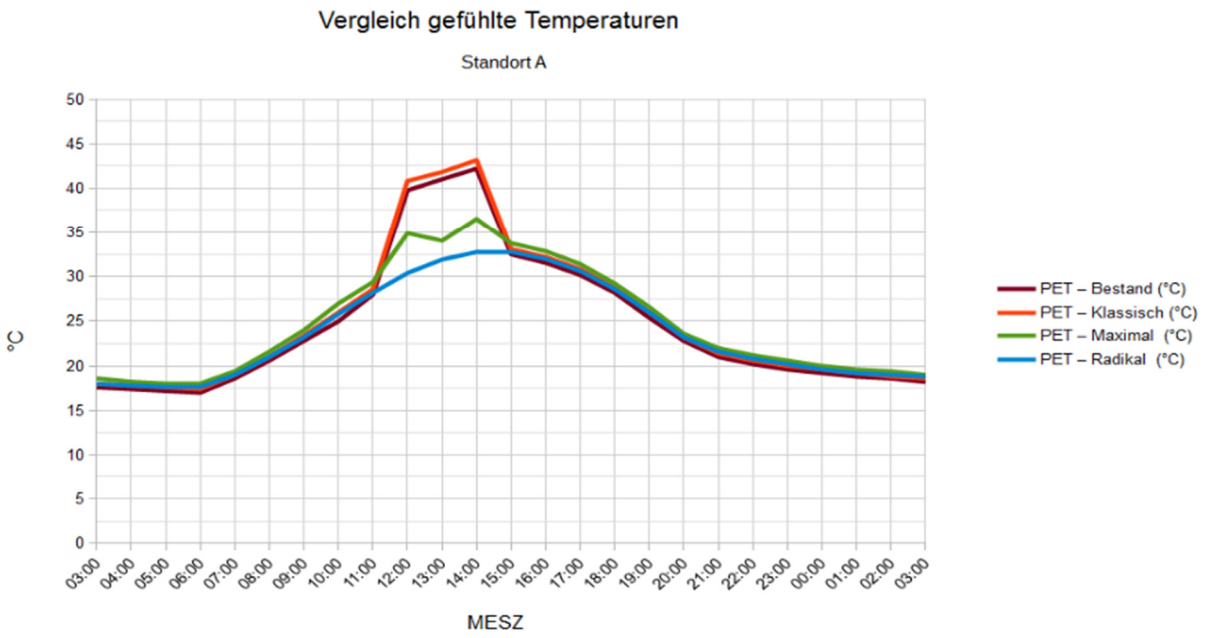

Abb. 6.6: Kirchengasse: Vergleich der PET für die Varianten Bestand, Klassisch, Maximal und Radikal am Standort A

© 2019 Weatherpark GmbH

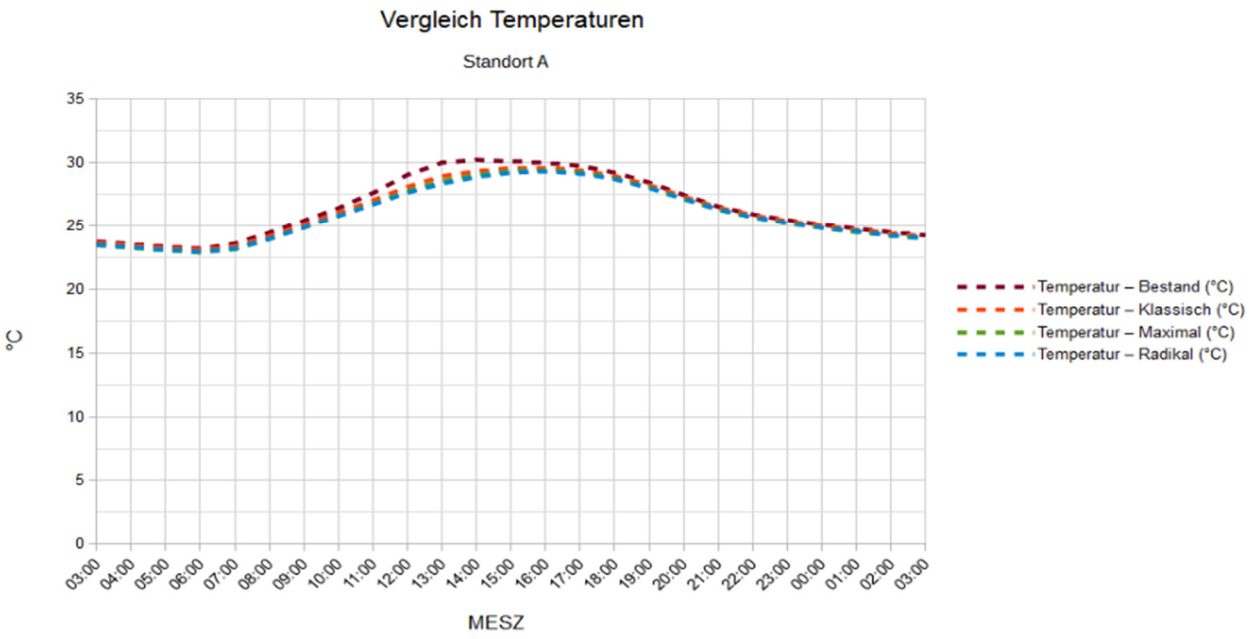

Abb. 6.7: Kirchengasse: Vergleich der Temperaturen für die Varianten Bestand, Klassisch, Maximal und Radikal am Standort A

© 2019 Weatherpark GmbH

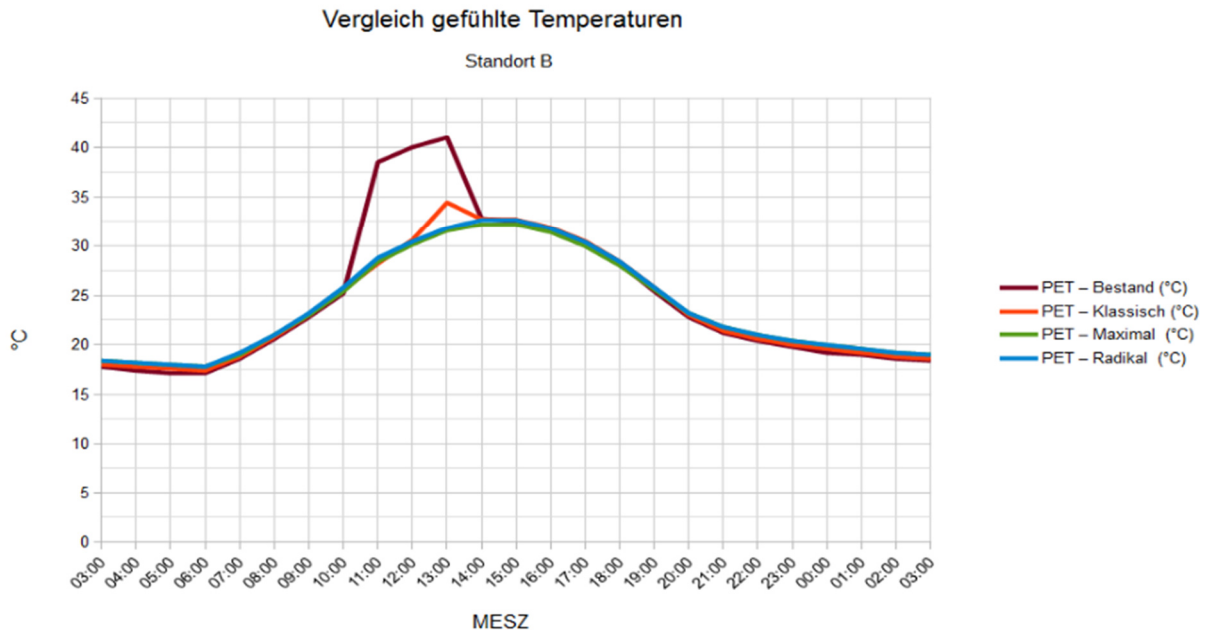

Abb. 6.8: Kirchengasse: Vergleich der PET für die Varianten Bestand, Klassisch, Maximal und Radikal am Standort B
© 2019 Weatherpark GmbH

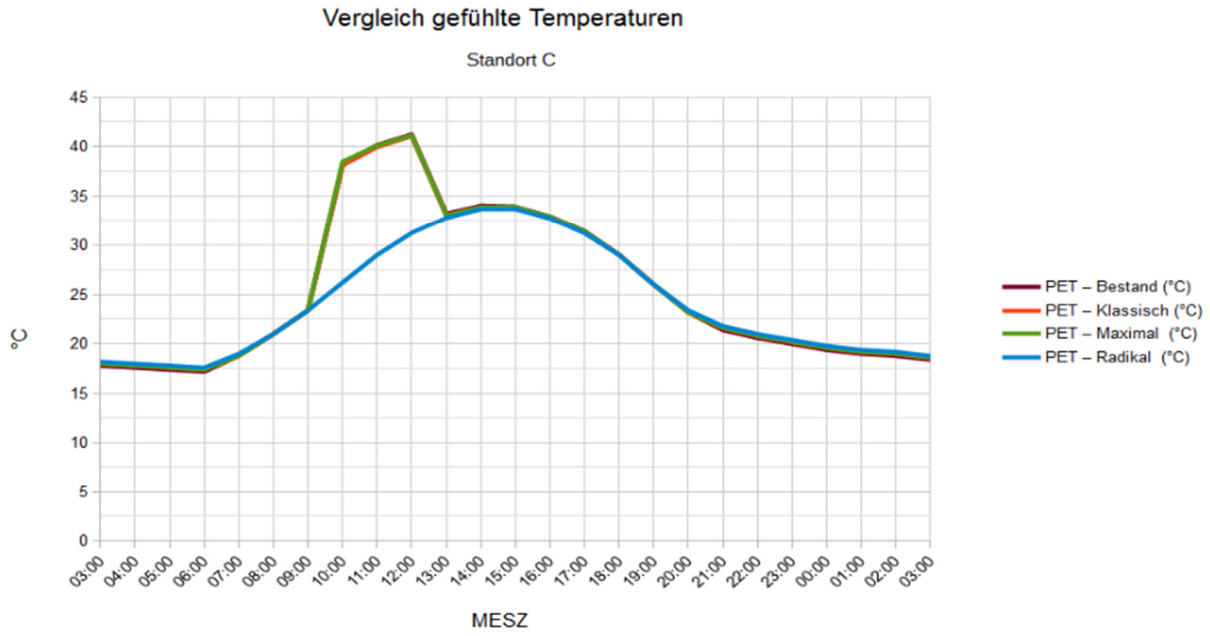

Abb. 6.9: Kirchengasse: Vergleich der PET für die Varianten Bestand, Klassisch, Maximal und Radikal am Standort C
© 2019 Weatherpark GmbH

7. Haftungseinschränkung

Ausgehend von der vom Auftraggeber vorgegebenen Aufgabenstellung führt Weatherpark GmbH Meteorologische Forschung und Dienstleistungen (kurz: Weatherpark) Modellberechnungen und/oder Beurteilungen im Bereich der Meteorologie durch und erarbeitet so Lösungsvorschläge für den Auftraggeber. Weatherpark verpflichtet sich, im Rahmen dieser Tätigkeit die den Modellberechnungen und/oder Beurteilungen zugrunde gelegten tatsächlichen Gegebenheiten und meteorologischen Einflussfaktoren mit der gebotenen Sorgfalt zu ermitteln und/oder einzuschätzen und bei der Durchführung der Modellberechnungen und/oder Beurteilungen die Methoden anzuwenden, die dem Stand der Technik und der meteorologischen Wissenschaft entsprechen. Dessen ungeachtet sind aufgrund der Ergebnisse der Modellrechnungen und/oder der Beurteilungen nur meteorologische Prognosen möglich, wobei es dafür der Interpretation der Berechnungsergebnisse und/oder der Beurteilungsergebnisse durch Weatherpark selbst bedarf. Weatherpark kann daher nur die Haftung dafür übernehmen, dass sie die von ihr übernommenen Modellberechnungen und/oder Beurteilungen mit der gebotenen Sorgfalt erstellt und durchgeführt und dabei die dem Stand der Technik und der meteorologischen Wissenschaft entsprechenden Methoden angewendet hat. Jedoch entspricht es dem Wesen der Leistung von Weatherpark, dass eine Haftung dafür, dass die abgegebenen Prognosen auch eintreten, nicht übernommen werden kann.

Da den Modellberechnungen und/oder Beurteilungen teilweise auch Annahmen und Schätzungen zugrunde gelegt werden müssen, kann Weatherpark auch keine Haftung für Zwischenergebnisse der Berechnungen und/oder der Beurteilungen übernehmen. Im Übrigen bleibt es Weatherpark vorbehalten, eine Interpretation der Ergebnisse der Modellrechnungen und/oder der Beurteilungen vorzunehmen und so Lösungsvorschläge für den Auftraggeber zu erstellen; keinesfalls übernimmt Weatherpark eine Haftung für Schlussfolgerungen, die der Auftraggeber selbst oder Dritte aus den Berechnungsergebnissen und/oder Beurteilungsergebnissen ziehen.

Weatherpark übernimmt keine Haftung für die Richtigkeit von Daten und Auswertungen Dritter.