

Reihe KLIMOPASS-Berichte

Projektnr.: 4500285879/23

KlippS - Klimaplanungspass Stuttgart

von

H. Mayer, H. Lee, A. Oertel, R. Schulze Dieckhoff, M. Schmid,
B. Steinerstauch, T. Lampen, R. Kapp, U. Reuter, H. Oediger

Finanziert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Februar 2015

KLIMOPASS

– Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
KONTAKT KLIMOPASS	Dr. Kai Höpker, Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel; Tel.:0721/56001465, Kai.Hoepker@lubw.bwl.de
FINANZIERUNG	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg - Programm Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg (KLIMOPASS)
BEARBEITUNG UND VERANTWORTLICH FÜR DEN INHALT	Helmut Mayer, Hyunjung Lee, Annika Oertel Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Meteorologie und Klimatologie Robert-Schulze Dieckhoff , Hermann-Lambert Oediger, Matthias Schmid, Britta Steinerstauch, Thomas Lampen Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung der Landeshauptstadt Stuttgart, Abtei- lung Stadtentwicklung Rainer Kapp, Ulrich Reuter, Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart, Abteilung Stadtklimatologie
BEZUG	http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/ ID Umweltbeobachtung U83-W03-N17
STAND	Februar 2015, Internetausgabe Februar 2015

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autorinnen und Autoren. Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Nachdruck für kommerzielle Zwecke - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	3
ZUSAMMENFASSUNG	7
1 EINLEITUNG	11
2 HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG	13
3 METHODIK	15
3.1 Übersicht über die Projektarbeiten	15
3.2 Grundlagen für das human-biometeorologische Bewertungsverfahren	16
3.3 Grundlagen zum verwendeten Simulationsmodell	18
3.4 Allgemeine Erkenntnisse aus der urbanen Human-Biometeorologie	18
4 ERGEBNISSE	21
4.1 Kennzeichen der ausgewählten 59 NBS-Flächen	21
4.2 Human-biometeorologisches Bewertungsverfahren	29
4.2.1 Grundlagen	29
4.2.2 Anwendung	35
4.2.3 Handlungsempfehlungen	45
4.2.4 Fazit zum human-biometeorologischen Bewertungsverfahren	47
4.2.5 Erfassung der stadtklimatischen Rahmenbedingungen im Klimaplanungspass	48
4.3 Numerische Simulationen zum thermischen Komfort von Menschen im städtischen Freiraum	51
4.3.1 Randbedingungen	51
4.3.2 NBS-Fläche 818 (Nord, Bürgerhospital)	55
4.3.2.1 Grundlagen und Flächenszenarien	55
4.3.2.2 Simulationsresultate	58
4.3.2.3 Resümee aus planerischer Sicht	69
4.3.3 Zusammenfassender Vergleich der NBS-Flächen	73
4.3.3.1 Struktur	73
4.3.3.2 Bodennahe Lufttemperatur	74
4.3.3.3 Bodenoberflächentemperatur	79

4.3.3.4	Mittlere Strahlungstemperatur	85
4.3.3.5	Physiologisch äquivalente Temperatur	90
4.3.3.6	Resümee aus der Sicht der urbanen Human-Biometeorologie	95
4.3.3.7	Szenarienbezogene Zusammenfassung	96
4.3.3.8	Resümee aus planerischer Sicht	99
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN	101
	LITERATURVERZEICHNIS	105
	ANHANG	111
A1	Methodische Übersicht	111
A2	NBS-Fläche 30 (Feuerbach, Maybachstraße West (ehem. Messeparkplatz))	113
A2.1	Grundlagen und Flächenszenarien	113
A2.2	Simulationsresultate	118
A2.3	Resümee aus planerischer Sicht	125
A3	NBS-Fläche 47 (Bad Cannstatt, ehem. Bettfedernfabrik)	129
A3.1	Grundlagen und Flächenszenarien	129
A3.2	Simulationsresultate	132
A3.2	Resümee aus planerischer Sicht	137
A4	NBS-Fläche 768 (Ost, EnBW Areal Hackstraße)	141
A4.1	Grundlagen und Flächenszenarien	141
A4.2	Simulationsresultate	144
A4.3	Resümee aus planerischer Sicht	149
A5	NBS-Fläche 772 (Mitte, Kaufhof Parkhaus) und NBS-Fläche 865 (Mitte, Rathausgarage)	153
A5.1	Grundlagen und Flächenszenarien	153
A5.2	Simulationsresultate	157
A5.3	Resümee aus planerischer Sicht	163
A6	NBS-Fläche 1061 (West, W&W Johannesstraße)	167
A6.1	Grundlagen und Flächenszenarien	167
A6.1	Simulationsresultate	170
A6.3	Resümee aus planerischer Sicht	175
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	179

Zusammenfassung

Die im Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung der Landeshauptstadt Stuttgart etablierte Informationsplattform Nachhaltiges Bauflächenmanagement Stuttgart (NBS), die derzeit ca. 360 NBS-Flächen ausweist, soll um einen Klimaplanungspass Stuttgart (KlippS) erweitert werden. Hierdurch sollen u. a. auch die klimabezogenen Grundlagen für weitere planerische Entscheidungen im Sinne der Anforderungen des Baugesetzbuchs an Klimaschutz und Klimaanpassung im Rahmen der Bauleitplanung ergänzt werden.

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich das Projekt mit der auf Menschen bezogenen, d. h. human-biometeorologisch relevanten, thermischen Komponente des Stadtklimas in seiner lokalen Ausprägung auf 59 ausgewählten NBS-Flächen in Stuttgart. Davon befinden sich 19 NBS-Flächen in Tallage, 18 NBS-Flächen in Hochlage, 14 NBS-Flächen in Kessellage und 8 NBS-Flächen in Hanglage. Unter Zugrundelegung von Erkenntnissen aus der urbanen Human-Biometeorologie wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem sich die thermische Charakteristik der bodennahen Atmosphäre über den NBS-Flächen in abgestufter Weise bewerten lässt. Zielgrößen dafür sind die derzeitige human-biometeorologische Wertigkeit der 59 NBS-Flächen und der für sie derzeit bestehende human-biometeorologische Handlungsbedarf. Das Bewertungsverfahren beruht auf flächenspezifischen Eigenschaften, die bei stadtklimatischen Aufnahmen der 59 NBS-Flächen direkt vor Ort erhoben wurden, und weiteren umweltmeteorologischen Kenngrößen dieser Flächen aus anderen Untersuchungen.

Als Indikatoren für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit einer NBS-Fläche wurden verwendet: Lage/Umgebung/Nutzung der Fläche, Bebauungsdichte in der Umgebung der Fläche, Fläche als „hotspot“ tagsüber, Fläche nachts warm, Fläche als Verursacher der urbanen Wärmeinsel, Kaltluftproduktion auf der Fläche, Kaltluftverlust durch Bebauung auf der Fläche, Vulnerabilität der Umgebung der Fläche. Als Indikatoren für den human-biometeorologischen Handlungsbedarf bei einer NBS-Fläche wurden herangezogen: Lage/Umgebung der Fläche, Bebauungsdichte in der Umgebung der Fläche, Flächenumgebung als Verursacher der urbanen Wärmeinsel, Kaltluftproduktion in der Umgebung der Fläche und Vulnerabilität der Umgebung der Fläche. Das ausgeprägte Relief von Stuttgart wurde durch die Unterteilung der NBS-Flächen nach ihrer topographischen Lage (Kessellage, Tallage, Hanglage, Hochlage) berücksichtigt. Mit der zweifachen Gewichtung des kombinierten Indikators Lage/Umgebung/Nutzung der Fläche bzw. Lage/Umgebung der Fläche wurde der stadtklimatischen Bedeutung der topographischen Bedingungen in Stuttgart Rechnung getragen. Alle übrigen Indikatoren in diesem human-biometeorologischen Bewertungsverfahren wurden dagegen einfach gewichtet.

Auf der Basis der verfügbaren Flächeninformationen über ihre aktuellen thermischen Eigenschaften wurden für die 59 NBS-Flächen Indexwerte für ihre human-biometeorologische Wertigkeit und ihren human-biometeorologischen Handlungsbedarf ermittelt. Eine räumliche Differenzierung von Wertigkeit und Handlungsbedarf innerhalb der einzelnen NBS-Flächen war verfahrensbedingt nicht möglich. Die Ergebnisse zeigen, dass das auf Hitze fokussierte human-biometeorologische Bewertungsverfahren in sich stimmig ist, weil sowohl für alle ausgewählten 59 NBS-Flächen als auch die darin enthaltenen repräsentativen NBS-Flächentypen in vergleichbarer topographischer Lage die Indexwerte für den human-biometeorologischen Handlungsbedarf ansteigen, wenn die Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit abnehmen. Der Zusammenhang zwischen den Indexwerten für den Handlungsbedarf und die Wertigkeit lässt sich über eine lineare Regressionsgerade darstellen (Bestimmtheitsmaß: 0.789).

Die Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf wurden in die drei farbkodierten Klassen „hoch“, „mittel“ und „gering“ unterteilt. Für die auf topographischer Basis unterteilten vier Gruppen von NBS-Flächen ergaben sich spezifische Muster von Wertigkeit und Handlungsbedarf. Sie unterscheiden sich am stärksten zwischen den NBS-Flächen in Kessellage und in Hochlage. Bei den weitgehend versiegelten NBS-Flächen in Kessellage dominiert eine geringe Wertigkeit, die zu einem hohen Handlungsbedarf führt. Die NBS-Flächen in Hochlage weisen wegen ihrer derzeit oft grünen Flächennutzung eine mittlere bis hohe Wertigkeit auf, was keinen hohen Handlungsbedarf zur Folge hat.

Die Ergebnisse des human-biometeorologischen Bewertungsverfahrens bilden die Grundlage für die Ableitung von planerischen Handlungsempfehlungen, die - zunächst unabhängig von bestehenden Baurechten bzw. dem Charakter der NBS-Flächen als Bauflächenpotenziale - auf eine Verbesserung der derzeitigen thermischen Bedingungen für Menschen abzielen und die regionalen Konsequenzen des Klimawandels einbeziehen. Diese Vorgaben ließen sich generell durch die Umwandlung von derzeit versiegelten Flächen in eine attraktive Grünflächennutzung mit großkronigen Laubbäumen erreichen, würde es sich bei den betrachteten Flächen nicht generell um Bauflächen handeln. In jedem Fall ist zu beachten, dass der Klimaschutz mit der Novelle des Baugesetzbuchs (BauGB) 2011 als eigenständiges Ziel neben den Schutz der Umwelt getreten ist, aber dennoch der Abwägung nach §1 Absatz 7 BauGB unterliegt.

Für die zusammenfassende Darstellung der hier erzielten Ergebnisse sowie der darüber hinaus beim Amt für Umweltschutz und beim Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung der Landeshauptstadt Stuttgart bereits vorliegenden Erkenntnisse zu den einzelnen Bauflächenpotenzialen wurde eine Erfassungsmaske für den Klimaplanungspass von NBS-Flächen erstellt. Je Fläche werden dabei einzelne Bewertungsindikatoren für den Handlungsbedarf dokumentiert und anschließend daraus Planungshinweise abgeleitet. Zudem können Empfehlungen zu vertiefenden Untersuchungen gegeben werden, die sich aus einer gemeinsamen Bewertung der NBS-Flächen durch Stadtklimatologen und Planer ergeben können, und ggf. können weitere vorhandene Untersuchungsergebnisse in den flächenspezifischen Klimaplanungspass eingetragen werden.

Das in diesem Projekt entwickelte human-biometeorologische Bewertungsverfahren hat aufgrund seiner Methodik und der zugrundeliegenden Indikatoren den Charakter eines human-biometeorologischen Screenings der thermischen Bedingungen in der bodennahen Atmosphäre über den einzelnen NBS-Flächen. Dadurch lassen sich rasch diejenigen NBS-Flächen ermitteln, die eine detaillierte thermische Analyse benötigen.

Unter den 59 NBS-Flächen wurden sieben NBS-Flächen (30, 47, 768, 772, 818, 865 und 1061) identifiziert, deren stadtklimatische Rahmenbedingungen aktuell eher als unkritisch bis grenzwertig einzustufen sind, für die aber befürchtet werden muss, dass sie infolge des regionalen Klimawandels mit seiner ansteigenden Hitze zukünftig in die Kategorie „besonderer Handlungsbedarf“ fallen werden. Daher wurden diese sieben NBS-Flächen über numerische Simulationen mit dem mikrometeorologischen Modell ENVI-met, Version 4.0 BETA, vertieft untersucht.

Im Gegensatz zu früheren Versionen von ENVI-met bietet die Version 4.0 BETA zwei wesentliche Neuerungen. Zum einen kann die Topographie des Untersuchungsgebiets berücksichtigt werden. Diese Modellerweiterung ist für numerische Simulationen zur thermischen Belastung von Menschen auf NBS-Flächen im topographisch gegliederten Gelände von Stuttgart von essentieller Bedeutung. Zum anderen werden durch

die Einführung einer „forcing function“ Simulationsergebnisse erzielt, die realitätsnäher sind als Resultate aus Simulationen mit früheren Versionen von ENVI-met.

Zielgrößen bei den numerischen Simulationen sind die bodennahe Lufttemperatur T_a und die Bodenoberflächentemperatur T_s als Variable zur Quantifizierung von Hitze im meteorologischen Sinn sowie die mittlere Strahlungstemperatur T_{mrt} und die physiologisch äquivalente Temperatur PET zur Quantifizierung von Hitze bzw. der thermischen Belastung von Menschen unter dem Aspekt der urbanen Human-Biometeorologie. Dafür sind T_a und T_s allein nicht geeignet, weil diesen Variablen der thermophysiological Bezug zum Menschen fehlt. Die Simulationsergebnisse für PET werden graduell in die Bereiche „heiß“, „warm“ und „leicht warm“ des thermischen Empfindens für Menschen - nach der ASHRAE Standardskala - unterteilt.

Für die numerischen Simulationen wurde über die zu untersuchenden NBS-Flächen ein dreidimensionales Gitternetz gelegt. In Abhängigkeit von der Größe der jeweiligen NBS-Fläche lag die horizontale Gitterweite im Simulationsgebiet zwischen 2 m und 3 m. Dadurch konnte bei den Simulationsergebnissen eine deutliche Differenzierung innerhalb der NBS-Flächen erzielt werden. Damit lassen sich z. B. die human-biometeorologischen Auswirkungen der Abschattung der direkten Sonnenstrahlung durch Baumkronen gut erfassen.

Die numerischen Simulationen wurden für den 23. Juni 2011 und den 4. August 2003 durchgeführt. Der 23. Juni 2011 repräsentiert einen derzeitigen Sommertag. Für ihn waren bereits andere Simulationen in Stuttgart durchgeführt worden. Der 4. August 2003 stellt einen Hitzewellentag dar. Er ist in die extreme Hitzewelle eingebettet, die in der ersten Augushälfte 2003 das Wettergeschehen in Mittel- und Westeuropa prägte. Die Wetterbedingungen am 4. August 2003 spiegeln die zukünftigen atmosphärischen Bedingungen infolge des regionalen Klimawandels in Mitteleuropa wider. Sie repräsentieren die „Normalität“ im Sommer ab Mitte dieses Jahrhunderts.

Je ausgewählter NBS-Fläche erfolgten die numerischen Simulationen für die folgenden, unterschiedlichen Nutzungsszenarien: derzeitiger Flächenzustand (Szenario A), die gegensätzlichen hypothetischen Flächenzustände „Asphalt“ (Szenario B) und „Grün“ (Szenario C) sowie eine vorgegebene Planungsvariante mit (Szenario D) und ohne Grünausstattung (Szenario E). Das Nutzungsszenario „Grün“ repräsentiert dabei das maximal mögliche Potenzial für die Mitigation von lokalen thermischen Belastungen bei großräumig vorgegebener Hitze.

Da sich die numerischen Simulationen primär auf die Hitzebelastung von Menschen beziehen, werden die Einzelergebnisse in Form von Stundenwerten über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ gemittelt, um eine geeignete zeitliche Repräsentativität zu erzielen. Er steht für die Zeitspanne, in der im mitteleuropäischen Sommer die Wärme- bzw. Hitzebelastung für Menschen am größten ist.

Exemplarisch für die NBS-Fläche 818 (Bürgerhospital) werden im Textteil dieses Berichts die Simulationsergebnisse in Form von gitterzellenbezogenen Abbildungen für den Hitzewellentag 4. August 2003 dargestellt. Für die anderen sechs NBS-Flächen sind im Anhang nur die PET Simulationsergebnisse als gitterzellenbezogene Abbildungen enthalten. Zusätzlich zu dieser Ergebnisdarstellung werden die auf Gitterzellen bezogenen Simulationsergebnisse für T_a , T_s , T_{mrt} und PET in Mittelwerte je NBS-Fläche zusammengefasst und sowohl im Textteil als auch im Anhang präsentiert. Dabei ist zu beachten, dass die Anzahl der Gitterzellen, die den städtischen Freiraum repräsentieren, in Abhängigkeit von der Anzahl und dem Ausmaß der Gebäude je Szenario variieren kann. In Ergänzung zur Tagsituation werden für beide Simulationstage auch Mittelwer-

te von T_a , T_s , T_{mrt} und PET für die Nacht, d. h. als Mittel über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ, angegeben - allerdings nur in Form von Tabellen mit Mittelwerten für die einzelnen Szenarien je simulierter NBS-Fläche.

Die Ergebnisse für die einzelnen NBS-Flächen weisen auf die Eignung der verwendeten Modellversion für die Zielsetzung der numerischen Simulationen hin. Die Resultate zeigen (i) eine starke Abhängigkeit von den atmosphärischen Bedingungen am Simulationstag und (ii) eine unterschiedlich stark ausgeprägte räumliche Variabilität der Zielgrößen innerhalb der simulierten Flächenzustände auf den einzelnen NBS-Flächen. Wie zu erwarten war, liegt das thermische Niveau aller Simulationszielgrößen am Hitzewellentag deutlich über dem entsprechenden Niveau am Sommertag. Die auf die Gitterweite von 2 m bzw. 3 m bezogenen Ergebnisse für T_a zeigen bei allen Simulationen die geringste räumliche Variabilität, während sie bei T_{mrt} am größten ist. Die Simulationsergebnisse für alle grünen Flächenzustände und beide Simulationstage weisen darauf hin, dass sich Hitzestress für Menschen, der regional durch die herrschende Großwetterlage vorgegeben ist, lokal, d. h. kleinräumig, am effektivsten durch eine parkähnliche Grünflächennutzung reduzieren lässt. Jede Art von Bebauung erhöht bei solch einer kritischen atmosphärischen Randbedingung die lokale Hitzewirkung auf Menschen im städtischen Freiraum.

Bei den NBS-Flächen 768, 772, 818, 865 und 1061 liegt am Hitzewellentag, 10 bis 16 Uhr MEZ, die thermische Belastung für Menschen (PET Wert) im Szenario A bereits in der Klasse „heiß“. Durch das jeweilige Planungsszenario D werden auf diesen Flächen zwar die mittleren PET Werte reduziert, sie fallen aber immer noch in die Klasse „heiß“. Das über das Szenario C angegebene Mitigationspotenzial auf den einzelnen NBS-Flächen für lokale Hitze wird durch die Planungsszenarien D auf den einzelnen NBS-Flächen nicht voll ausgeschöpft. Das Szenario E führt auf allen hier untersuchten NBS-Flächen - mit Ausnahme der NBS-Flächen 772 und 865, die in Bezug auf ihre Randberücksichtigung Sonderfälle darstellen - zu einer Erhöhung der thermischen Belastung für Menschen gegenüber dem derzeitigen Flächenzustand. Bei einer human-biometeorologisch orientierten Bewertung der Szenarien D und E ist zu beachten, dass bei den numerischen Simulationen für das Szenario D von adulten Bäumen ausgegangen wurde. Dieses Stadium wird in der Realität erst nach einer gewissen Wachstumszeit erreicht. Somit ist bei der human-biometeorologischen Bewertung der Planung auf den einzelnen NBS-Flächen das Szenario E der Ausgangszustand, der sich im Laufe der Wachstumsphase der Bäume in das Szenario D ändert.

Die Ergebnisse aus den numerischen Simulationen werden je NBS-Fläche durch ein Resümee aus planerischer Sicht vervollständigt. Dabei wird immer wieder auf die Bedeutung einer ausreichenden Grünausstattung dieser Flächen hingewiesen. Sie fördert tagsüber die Aufrechterhaltung von thermischem Komfort für Menschen bei thermisch ungünstigen Hintergrundbedingungen, wie sie durch das regionale Phänomen der Hitzewellen repräsentiert werden. Sie werden aufgrund von Hinweisen aus regionalen Klimasimulationen ab ca. Mitte dieses Jahrhunderts die Normalität im Sommer darstellen. Auf diese veränderte Situation hat sich die Stadtplanung präventiv einzustellen.

Für jede NBS-Fläche, die über numerische Simulationen zur thermischen Belastung von Menschen bei verschiedenen Flächennutzungsszenarien detailliert untersucht wurde, konnte unter Einbeziehung der Resultate aus dem human-biometeorologischen Bewertungsverfahren (Screeningverfahren) und weiteren umweltmeteorologischen Informationen ein eigener Klimaplanungspass in übersichtlicher Form erstellt werden, der zusätzlich noch ein Fazit bzw. Planungshinweise enthält. Obwohl der Klimaschutz mit der Novellierung des Baugesetzbuchs einen angemessenen Stellenwert erhalten hat, ist aber in diesem Zusammenhang daran zu erinnern, dass keiner der in die Abwägung einzustellenden Belange einen absoluten Vorrang beanspruchen kann.

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund des kommunalen Klimaanpassungskonzepts (KLIMAKS) soll die in Stuttgart etablierte Informationsplattform Nachhaltiges Bauflächenmanagement Stuttgart (NBS) (Landeshauptstadt Stuttgart, 2011) um einen Klimaplanungspass Stuttgart (KlippS) (Landeshauptstadt Stuttgart, 2010a) erweitert werden. In der GIS-gestützten Informationsplattform NBS erfasst die Landeshauptstadt Stuttgart seit 2001 kontinuierlich sämtliche größere Bauflächenpotenziale. Aktuell beinhaltet diese Plattform ca. 360 Bauflächenpotenziale mit einer Gesamtfläche von ca. 550 ha.

Im Hinblick auf eine doppelte Innenentwicklung, die auch Belangen des regionalen Klimawandels, des Klimaschutzes und der Grünausstattung in den einzelnen Stadtbezirken gerecht wird, soll die Informationsplattform NBS um einen Klimaplanungspass als klimabezogene Grundlage für weitere planerische Entscheidungen im Sinne der Anforderungen des Baugesetzbuchs an Klimaschutz und Klimaanpassung im Rahmen der Bauleitplanung ergänzt werden. Der Klimaplanungspass soll Auskunft über die klimatischen Rahmenbedingungen auf der jeweiligen NBS-Fläche geben. Hinsichtlich einer „qualifizierten Dichte“ sollen für die vorliegenden Bauflächenpotenziale konkrete Planungshinweise und Handlungsempfehlungen im Kontext einer gesamtstädtischen Klimaschutz- und Klimaanpassungsstrategie entwickelt und dokumentiert werden. KlippS stellt dabei einen Baustein für eine mittelfristig zu entwickelnde Dichtekonzeption zur Sicherung städtebaulicher und stadökologischer Qualitäten sowie zu den Möglichkeiten und Grenzen einer nachhaltigen Innenentwicklung dar.

In den hier dokumentierten Projektarbeiten stand die derzeitige thermische Situation in der bodennahen Atmosphäre über den näher untersuchten NBS-Flächen in ihrer Relevanz für Menschen im Mittelpunkt. Daraus ergab sich die Notwendigkeit eines human-biometeorologischen Untersuchungsansatzes, der an Wärme bzw. Hitze orientiert war. Der regionale Klimawandel, der sich nicht nur durch eine langfristige Zunahme der bodennahen Lufttemperatur, sondern auch durch darin eingelagerte, extreme Hitzewellen auszeichnet (Ballester et al., 2010), stellt die zentrale Rahmenbedingung für dieses Projekt dar. Diese Hitzewellen werden zukünftig häufiger auftreten, länger andauern und eine höhere Intensität erreichen (Meehl und Tebaldi, 2004; Beniston et al., 2007; Beniston, 2013).

Für den planerischen Umgang mit den Auswirkungen des regionalen Klimawandels auf die umweltmeteorologischen Bedingungen in deutschen Städten existieren bereits Handlungsempfehlungen, wie z. B. in der Städtebaulichen Klimafibel (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2012) oder im Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2010). Sie beruhen auf Resultaten aus zahlreichen umweltmeteorologischen Untersuchungen, die in Städten über die Anwendung verschiedener Methoden durchgeführt wurden. Allerdings beziehen sich diese Handlungsempfehlungen meistens nur auf einzelne meteorologische Variable wie die bodennahe Lufttemperatur oder die bodennahe Strömung. Sie weisen daher den human-biometeorologischen Bezug nicht im notwendigen Ausmaß auf, der erforderlich ist, wenn die Handlungsempfehlungen auf Menschen in der Stadt ausgerichtet sein sollen - wie etwa die lokale Aufrechterhaltung ihres thermischen Komforts während Hitzewellen, bei denen es sich um großräumig vorgegebene, meteorologische Erscheinungen handelt. Da sie nach den Ensembleergebnissen aus regionalen Klimasimulationen die „Normalität“ im mitteleuropäischen Sommer ab Mitte dieses Jahrhunderts darstellen werden (Koffi und Koffi, 2008;

Christidis et al., 2015), sollte sich der Umgang mit Hitzewellen schon jetzt in der Stadtplanung widerspiegeln.

Das Projekt KlippS wurde gemeinsam durch das Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung der Landeshauptstadt Stuttgart, Abteilung Stadtentwicklung, das Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart, Abteilung Stadtklimatologie, und die Professur für Meteorologie und Klimatologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg durchgeführt.

2 Hintergrund und Zielsetzung

Mit dem aktuell wirksamen Flächennutzungsplan Stuttgart (genehmigt 2000 bzw. 2001) hat die Landeshauptstadt Stuttgart den Vorrang der Innenentwicklung vor der Außenentwicklung beschlossen. Im Laufe des Verfahrens wurden über 60 ha geplante Bauflächen im Außenbereich zurückgenommen, da der rechnerische Nachweis erbracht wurde, dass der allergrößte Teil der künftig erforderlichen zusätzlichen Bauflächen auf vorhandenen Bauflächenpotenzialen im Innenbereich realisiert werden kann.

Eine Begründung für diese Innenentwicklungsstrategie war, dass die für das lokale Stadtklima wichtigen Kaltluftentstehungsgebiete im unbebauten Außenbereich gesichert werden sollten, um die sommerliche Erwärmung des Stuttgarter Talkessels in erträglichen Ausmaßen zu halten.

Seit dem Jahr 2001 werden - zunächst als gefördertes Forschungsprojekt und seit 2003 in den Verwaltungsalltag integriert - systematisch sämtliche größere Bauflächenpotenziale in der Informationsplattform des Nachhaltigen Bauflächenmanagements Stuttgart (NBS) erfasst. Ziel ist es, diese ungenutzten, untergenutzten oder umzunutzenden Bauflächenpotenziale einer adäquaten Bebauung zuzuführen und dies in möglichst kurzen Planungszeiträumen. Dies auch vor dem Hintergrund, dass die Landeshauptstadt Stuttgart im interkommunalen Wettbewerb steht und hier weiterhin Flächen „auf der grünen Wiese“ vermarktet werden.

In der Informationsplattform NBS sollen möglichst frühzeitig möglichst alle zur Entwicklung der Flächen relevanten Informationen zur Verfügung stehen, um somit eine zielgerichtete, zeitnahe Entwicklung der Flächen zu erreichen.

Bei den im Projekt KlippS untersuchten NBS Flächen handelt es sich also per Definition um Bauflächen. In den allermeisten Fällen besteht bereits ein Baurecht. Für Stuttgart sind diese NBS Flächen die strategische Baulandreserve, deren bauliche Entwicklung erforderlich ist, um die weiter steigende Flächennachfrage ohne Außenentwicklungsflächen befriedigen zu können.

Es sollen die vorhandenen Daten der Informationsplattform NBS durch die Aufnahme stadtklimatologischer Randbedingungen, insbesondere human-biometeorologischer Aspekte einer Fläche geschärft werden, um somit frühzeitig Prioritäten zu erkennen und durch vertiefte Untersuchungen praktikable Planungshinweise zu erhalten, die dann in die komplexen Planungsprozesse eingespeist werden können.

Die stadtklimatologischen Randbedingungen, insbesondere die human-biometeorologischen Aspekte auf einer NBS Fläche werden in dem neu geschaffenen „Klimaplanungspass“ zusammengefasst und stehen somit „auf Knopfdruck“ jedem NBS Nutzer zur Verfügung.

Das Projekt KlippS hat folgende generelle Zielsetzungen:

- Entwicklung und Anwendung eines allgemein gültigen human-biometeorologisch basierten Verfahrens,
- mit dem sich die derzeitige thermische Situation in der bodennahen Atmosphäre über Bauflächenpotenzialen im Bestand (NBS-Flächen) in abgestufter Weise so bewerten lässt,
- dass sie eine Relevanz für Menschen im städtischen Freiraum hat und

- dass sie in einen ebenfalls zu entwickelnden Klimaplanungspass Stuttgart (KlippS) geeignet aufgenommen werden kann,
- um konkrete Planungshinweise und Handlungsempfehlungen zur Reduzierung des lokalen Ausmaßes von regional vorgegebener Hitze ableiten zu können.

Dies geschieht auch vor dem Hintergrund, dass der Klimaschutz mit der Novelle des Baugesetzbuchs 2011 als eigenständiges Ziel aufgenommen wurde. Als Ziel und Inhalt von Bauleitplänen unterstreicht die Neufassung des Satzes 2 die Bedeutung des Klimaschutzes und tritt als eigenständiges Ziel neben den Schutz der Umwelt. §1 Abs. 5 Satz 2 BauGB bestimmt nunmehr, dass Bauleitpläne dazu beitragen sollen:

- „eine menschenwürdige Umwelt zu sichern,
- die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln
- sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern
- sowie die städtebauliche Gestalt und das Orts- und Landschaftsbild baukulturell zu erhalten und zu entwickeln“.

Obwohl der Klimaschutz mit der Novellierung des Baugesetzbuchs einen angemessenen Stellenwert erhalten hat, ist in diesem Zusammenhang daran zu erinnern, dass keiner der in die Abwägung einzustellenden Belange einen absoluten Vorrang beanspruchen kann.

Unter Bezug auf die Zielsetzungen beschäftigt sich das Projekt KlippS mit der auf Menschen bezogenen thermischen Komponente des Stadtklimas in seiner lokalen Ausprägung auf NBS-Flächen in Stuttgart. Neben flächenspezifischen Eigenschaften ist dabei auch das ausgeprägte Relief von Stuttgart zu berücksichtigen. Infolge des Wirkungsbezugs auf Menschen bilden Erkenntnisse aus der urbanen Human-Biometeorologie die methodische Untersuchungsbasis. Die thermischen Bedingungen, die sowohl einzeln als auch kombiniert behandelt werden, umfassen:

- lokale Hitze im Sommer, insbesondere akkumulierende Hitze während regionaler Hitzewellen,
- lokale Kaltluft durch bodennahe Luftströmungen wie Hangabwinde und Bergwinde oder infolge von kleinräumigen Abkühlungsprozessen.

3 Methodik

3.1 ÜBERSICHT ÜBER DIE PROJEKTARBEITEN

Die Landeshauptstadt Stuttgart hat die Planungshoheit unter anderem für die NBS-Flächen. Das heißt, sie kann die städtebauliche Entwicklung dieser Flächen durch das Aufstellen von Bebauungsplänen und den Flächennutzungsplan eigenverantwortlich gestalten. Die Planungshoheit wird durch das Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung wahrgenommen. Zu Beginn der Untersuchung wurden vom Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung der Landeshauptstadt Stuttgart, Abteilung Stadtentwicklung, aufgrund seiner Fachkompetenz und Erfahrung gemeinsam mit der Abteilung Stadtklimatologie im Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart aus den ca. 360 Bauflächenpotenzialen 59 stadtklimatisch sensible NBS-Flächen ausgewählt, die thermische und/oder lufthygienische Nachteile aufweisen. Für sie war eine Bewertungs- und Handlungssystematik zu erarbeiten, die Abhängigkeiten von der jeweiligen Lage der einzelnen NBS-Flächen im Stadtgebiet berücksichtigte. Dabei war auch zu prüfen, inwieweit die verfügbaren Grundlagen für die Bewertungssystematik ausreichen, um konkrete Planungshinweise und Handlungsempfehlungen für die einzelnen NBS-Flächen zu erarbeiten, die auf eine Verbesserung der derzeitigen thermischen Bedingungen in der bodennahen Atmosphäre über diesen NBS-Flächen abzielen. Die hierfür zu entwickelnde Methodik sollte nach Abschluss des Projektes die Abteilung Stadtklimatologie im Amt für Umweltschutz und die Abteilung Stadtentwicklung im Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung in die Lage versetzen, solche Hinweise zukünftig selbst zu generieren.

Die Auswahl von sieben NBS-Flächen, für die vertiefende numerische Simulationen mit dem ENVI-met Modell durchgeführt wurden, erfolgte unter der Maßgabe, eine möglichst repräsentative Auswahl an NBS-Flächen zu erhalten und praktikable und belastbare Planungsempfehlungen aus den Ergebnissen der ENVI-met Simulationen ableiten zu können. Hierbei wurden auch Flächen untersucht, bei denen faktisch keine Handlungsmöglichkeiten mehr bestehen (z. B. NBS 30 Maybachstraße), die aber eine beispielhafte Fragestellung abbilden. Hinzu kommt, dass das ENVI-met Verfahren umso präzisere Ergebnisse liefert, je detaillierter die vorliegende Planung ausgearbeitet ist. Auch hier wurde versucht, alle auftretenden Fragestellungen abzubilden: Flächen, die an einem sehr frühen Entwicklungsstand stehen und für die außer skizzenhaften Überlegungen kaum Grundlagen vorliegen, über Flächen, bei denen eine Präzisierung auf Rahmenplanebene existiert, bis hin zu Flächen, deren Bebauung genehmigt ist und somit sehr präzise Angaben in das Simulationsmodell einfließen können.

Die Flächenauswahl berücksichtigt auch Areale, bei denen die Rahmenbedingungen aktuell eher als unkritisch bis grenzwertig einzustufen sind, für die aber befürchtet werden muss, dass sie infolge des regionalen Klimawandels mit seiner ansteigenden Hitze zukünftig in die Kategorie „hoher Handlungsbedarf“ fallen werden. Für diese NBS-Flächen wurden die entsprechenden Bewertungen auf der Basis von Ergebnissen aus den numerischen Simulationen durchgeführt. Auch für die Flächen sollten Planungsmaßnahmen empfohlen werden, die die derzeitigen thermischen Bedingungen in der bodennahen Atmosphäre über diesen NBS-Flächen möglichst verbessern bzw. nicht verschlechtern.

Die Überlegung, die begrenzten Projektressourcen für die Simulation unterschiedlicher Planungsvarianten für eine einzelne NBS-Fläche einzusetzen, wurde zugunsten des oben beschriebenen, breiteren Ansatzes verworfen, da die Projektpartner hiervon zielführendere Ergebnisse erwarteten.

In der Kurzbeschreibung der Einzelflächen werden auch die jeweiligen Gründe genannt, die zur Auswahl geführt haben.

Da der Zeitraum für Arbeiten zu KLIMOPASS Teil 2 (2013) knapp bemessen war, konnten im Rahmen der KlippS Projektarbeiten keine gesonderten experimentellen Untersuchungen erfolgen. Für die Erreichung der Zielsetzung von KlippS wurden daher im Einzelnen folgende Arbeiten durchgeführt:

- Besichtigung und Aufnahme stadtklimatisch relevanter Aspekte für die ausgewählten 59 NBS-Flächen;
- Zuordnung von bereits verfügbaren thermischen Eigenschaften in der bodennahen Atmosphäre zu den 59 NBS-Flächen und ihrer Umgebung im derzeitigen Zustand;
- Zuordnung von bereits verfügbaren soziologischen Eigenschaften (z. B. Altersstruktur im Hinblick auf Empfindlichkeitsanalysen) zu den 59 NBS-Flächen und ihrer Umgebung;
- Entwicklung eines human-biometeorologisch basierten, möglichst abgestuften, allgemein gültigen Bewertungsverfahrens - mit den Zielgrößen human-biometeorologische Wertigkeit und human-biometeorologischer Handlungsbedarf - für die derzeitige thermische Situation in der bodennahen Atmosphäre über den NBS-Flächen;
- Anwendung des Bewertungsverfahrens auf die ausgewählten 59 NBS-Flächen;
- Entwicklung von Vorschlägen zu Maßnahmen, um die thermische Bedingungen für Menschen in der bodennahen Atmosphäre über den 59 NBS-Flächen vor dem Hintergrund von Hitze zu verbessern bzw. nicht zu verschlechtern;
- Aufbereitung dieser Vorschläge zur Übernahme in den „Klimaplanungspass Stuttgart“;
- Prüfung der allgemeinen Anwendbarkeit des abgestuften Bewertungsverfahrens;
- Durchführung von numerischen Simulationen mit dem mikrometeorologischen Modell ENVI-met, Version 4.0 BETA, zum thermischen Komfort auf sieben ausgewählten NBS-Flächen an einem Sommertag (23. Juni 2011) und einem Hitzewellentag (4. August 2003);
- Simulationen für (i) derzeitiger Flächenzustand, (ii) derzeitiger Flächenzustand → reine Asphaltfläche, (iii) derzeitiger Flächenzustand → reine Grünfläche (Grasland mit Bäumen) und (iv) derzeitiger Flächenzustand → eine Planungsvariante;
- problemspezifische Analyse der Simulationsergebnisse und Entwicklung von Vorschlägen zu konkreten Maßnahmen für diese sieben NBS-Flächen, um die thermische Bedingungen für Menschen in der bodennahen Atmosphäre über diesen NBS-Flächen vor dem Hintergrund von Hitze zu verbessern bzw. nicht zu verschlechtern.

3.2 GRUNDLAGEN FÜR DAS HUMAN-BIOMETEOROLOGISCHE BEWERTUNGSVERFAHREN

Die Besichtigung und stadtklimatisch relevante Aufnahme der ausgewählten 59 NBS-Flächen erfolgte gemeinsam durch die Projektbeteiligten von Oktober bis Dezember 2013. Für die stadtklimatisch relevante Aufnahme, die einen qualitativen Charakter hatte, wurde ein Erhebungsbogen auf der Grundlage von Erkenntnissen aus der urbanen Human-Biometeorologie (u. a. Mayer, 1993; Ali-Toudert und Mayer, 2006, 2007; Emmanuel et al., 2007; Mayer et al., 2008; Fahmy und Sharples, 2009; Holst und Mayer, 2010, 2011; Mayer und Holst, 2011; Chen and Ng, 2012; Andreou, 2013; Goldberg et al., 2013; Ketterer et al., 2013; Lee and Mayer, 2013; Lee et al., 2013; Yang et al., 2013) und von Informationen über das Stadtklima von Stutt-

gart (Verband Region Stuttgart, 2008; Landeshauptstadt Stuttgart, 2010b; Kapp und Reuter, 2011; Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2012; LUBW, 2013) erarbeitet, der folgende Indikatoren enthielt:

- Nummer und Name der NBS-Fläche sowie Besichtigungsdatum;
- Lage der Fläche, unterteilt nach Kessellage, Tallage, Hanglage und Hochlage;
- Umgebung der Fläche, unterteilt nach versiegelt, brach und grün;
- derzeitige Nutzung der Fläche, unterteilt nach versiegelt, brach und grün;
- Bebauungsdichte in der Umgebung der Fläche, unterteilt nach Wohnbebauung und Bürogebäude sowie jeweils nach dicht, mittel und gering;
- Industrie/Gewerbe/Kraftwerk in der Umgebung der Fläche, unterteilt nach den vier Himmelsrichtungen O, S, W und N;
- verkehrsreiche Straße in der Umgebung der Fläche, unterteilt nach den vier Himmelsrichtungen O, S, W und N;
- Fläche als "hotspot" tagsüber, unterteilt nach ja oder nein;
- Fläche nachts warm, unterteilt nach ja oder nein;
- Fläche als Verursacher einer urbanen Wärmeinsel (UHI), unterteilt nach stark, mittel und schwach;
- Fläche in einer Luftleitbahn nachts, unterteilt nach stark, mittel und schwach;
- Fläche in einer Luftleitbahn tagsüber, unterteilt nach stark, mittel und schwach;
- Bodeninversion über der Fläche, unterteilt nach stark, mittel und schwach;
- nächtlicher Kaltluftstau durch die Fläche, unterteilt nach ja oder nein.

Zusätzlich wurde für jede Fläche ein Fish-eye-Foto aufgenommen, um den aktuellen flächenspezifischen Zustand der Horizonteinengung durch die Umgebung festzuhalten. Ergänzend zu den Informationen über die Flächenindikatoren, die bei den Besichtigungen der 59 NBS-Flächen aufgenommen wurden, standen weitere GIS-basierte Flächeninformationen durch das Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart, Abteilung Stadtklimatologie, zur Verfügung:

- Kaltluftschichtdicke 1 Stunde nach Beginn der Kaltluftbildung;
- Kaltluftschichtdicke 4 Stunden nach Beginn der Kaltluftbildung;
- Kaltluftproduktion;
- Kaltluftverlust durch Bebauung;
- Vulnerabilität in fünf Klassen (Weis et al., 2011).

3.3 GRUNDLAGEN ZUM VERWENDETEN SIMULATIONSMODELL

Für die numerischen Simulationen wurde das mikrometeorologische Modell ENVI-met (Bruse und Fleer, 1998) in der Version 4.0 BETA aus dem Jahr 2013 (Yang et al., 2013) eingesetzt. Der Literatur (u. a. Ali-Toudert und Mayer, 2006, 2007; Emmanuel et al., 2007; Fahmy and Sharples, 2009; Ketterer et al., 2013) kann entnommen werden, dass sich bereits frühere Versionen dieses Modells bei bisherigen stadtklimatischen Untersuchungen bewährt haben. Physikalische Modelldetails sind u. a. bei Huttner (2012), Goldberg et al. (2013), Middel et al. (2014) und Skelhorn et al. (2014) detailliert beschrieben, so dass sie hier nicht wiederholt werden sollen.

Im Gegensatz zu früheren Versionen von ENVI-met bietet die Version 4.0 BETA folgende Neuerungen:

- Die Topographie des Untersuchungsgebiets kann berücksichtigt werden, d. h. die Voraussetzung der horizontalen Geländehomogenität entfällt. Diese Modellerweiterung ermöglicht Simulationen auf NBS-Flächen auch im heterogenen Gelände von Stuttgart.
- Über die Einführung einer „forcing function“ werden die Simulationsergebnisse realitätsnaher. „forcing function“ bedeutet, dass für jede Stunde eines Simulationstages gemessene Einstundenmittelwerte von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte in den Simulationsablauf miteinbezogen werden.

Bei den Simulationen im Rahmen des KlippS-Projekts stammten die Messwerte für die „forcing function“ von der Messstation Schwabenzentrum der Abteilung Stadtklimatologie im Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart.

3.4 ALLGEMEINE ERKENNTNISSE AUS DER URBANEN HUMAN-BIOMETEOROLOGIE

Die Beurteilung und Quantifizierung von thermischer Belastung bzw. des thermischen Komforts für Menschen im städtischen Freiraum beruht auf einem anerkannten human-biometeorologischen Bewertungsverfahren (Mayer, 1993; Höppe, 1999; Mayer et al., 2008), das in der urbanen Human-Biometeorologie erfolgreich eingesetzt wird (Holst und Mayer, 2010, 2011; Lee and Mayer, 2013; Lee et al., 2013, 2014). Zur Kennzeichnung des thermischen Komforts werden hier folgende Parameter verwendet:

- mittlere Strahlungstemperatur T_{mrt} ,
- physiologisch äquivalente Temperatur PET.

Die Lufttemperatur T_a als allgemein bekannte thermische Variable beschreibt das Niveau der fühlbaren Wärme in der bodennahen Atmosphäre, hat aber für die Wahrnehmung von Wärme durch Menschen nur eine untergeordnete Bedeutung. Grundlage dafür ist die menschliche Energiebilanz (u. a. Mayer und Höppe, 1987; Mayer, 1993; Höppe, 1999), die in Bezug auf meteorologische Parameter nicht nur von T_a allein, sondern noch von der Strahlungswärme aus der dreidimensionalen Umgebung, der Windgeschwindigkeit und der Luftfeuchte in Form des Dampfdrucks abhängt. T_{mrt} (Thorsson et al., 2007; Lindberg und Grimmond, 2011, Lee et al., 2014) stellt ein Maß für die von Menschen absorbierte Strahlungswärme dar. Über den thermophysiologisch basierten Bewertungsindex PET (Mayer und Höppe, 1987; Höppe, 1999), der aus der menschlichen Energiebilanz abgeleitet ist (Mayer, 1993), lässt sich die Wahrnehmung von Wärme bzw. Hitze durch ein Kollektiv von Menschen quantifizieren.

Auf der Grundlage von Befragungen konnten Holst und Mayer (2010) Resultate für PET aus experimentellen Untersuchungen zum thermischen Komfort für Menschen, die an typischen Sommertagen in Freiburg durchgeführt wurden, graduell abstufen (Tab. 1). Diese Abstufung von PET in drei warme Bereiche, die in Anlehnung an die standardisierte Unterteilung der thermischen Empfindung durch die ASHRAE (American Society Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) erfolgte, kann als repräsentativ für Hitze im Sommer in Mitteleuropa aufgefasst werden.

Tab. 1: Graduelle Abstufung von Werten für den thermophysiologicalen Bewertungsindex PET in verschiedene Bereiche des thermischen Empfindens von Menschen, Bereichseinteilung nach der ASHRAE Standardskala (Holst und Mayer, 2010)

thermisches Empfinden		PET Bereich (°C)
Bezeichnung	Indexwert	
leicht warm	+1	30 - 34
warm	+2	35 - 40
heiß	+3	> 40

Der Einfluss der einzelnen meteorologischen Parameter auf die über thermische Indizes quantifizierte Wahrnehmung von Wärme oder Hitze durch Menschen ist in Abhängigkeit von der Lage einer Stadt unterschiedlich groß. Auf der Basis von umfangreichen experimentellen Untersuchungen zum thermischen Komfort von Menschen, die an Strahlungstagen im Sommer 2007 bis 2010 in verschiedenen Stadtquartieren in Freiburg durchgeführt wurden, ermittelten Holst und Mayer (2011) sowie Lee et al. (2013), dass PET bei diesen Randbedingungen tagsüber am stärksten durch T_{mrt} beeinflusst wird (siehe Werte für das Bestimmtheitsmaß R^2 in Tab. 2). Der Einfluss von T_a auf PET ist deutlich geringer. In der Nacht jedoch, d. h. wenn keine kurzwellige Strahlung vorhanden ist, kehren sich diese Zuordnungen um. Infolge des relativ hohen R^2 Wertes für die lineare Regression zwischen T_{mrt} und T_a wird jetzt nachts PET stärker durch T_a bestimmt.

Tab. 2: Bestimmtheitsmaß R^2 für lineare Regressionsfunktionen f zwischen Einstundenmittelwerten von verschiedenen human-biometeorologischen Variablen (PET: physiologisch äquivalente Temperatur, T_{mrt} : mittlere Strahlungstemperatur, T_a : Lufttemperatur, VP: Wasserdampfdruck, v : Windgeschwindigkeit), bezogen auf Strahlungstage im Sommer 2007 bis 2010 sowie unterteilt nach Tag (10-16 Uhr MEZ) und Nacht (22-5 Uhr MEZ); n: Anzahl der Werte (Holst und Mayer, 2011; Lee et al., 2013)

Funktion f	R^2	
	10-16 Uhr MEZ n = 200	22-5 Uhr MEZ n = 40
PET = $f(T_{mrt})$	0.892	0.616
PET = $f(T_a)$	0.589	0.892
PET = $f(VP)$	0.023	0.006
PET = $f(v)$	0.029	0.013
$T_{mrt} = f(T_a)$	0.308	0.825

Hitze stellt ein regionales atmosphärisches Phänomen dar, das durch die vorherrschende Wetterlage verursacht wird. In mitteleuropäischen Städten tritt Hitze im Sommer auf. In dieser Jahreszeit sind die Tageslicht-

stunden länger als die Nachtstunden. Aus regionalen Klimasimulationen für Mitteleuropa folgt in belastbarer Weise, dass sich Hitzeereignisse zukünftig in Bezug auf Frequenz, Andauer und Stärke intensivieren werden (u. a. Ballester et al., 2010). Daran sind die Strukturen und Bewohner von Städten in Mitteleuropa nicht angepasst. Dazu kommt der demographische Wandel, der sich durch ein Anwachsen der Risikogruppe der Senioren auszeichnet. Hitze belastet Menschen in vielfältiger Weise. Sie reicht von Beeinträchtigungen des Wohlbefindens und der Leistungsfähigkeit bis zu einer erhöhten Morbiditäts- und Mortalitätsrate (Kovats und Hajat, 2008). Vor diesem Hintergrund besteht in Städten ein zunehmender Handlungsbedarf im Umgang mit der Hitze. Er bezieht sich über Hitzewarnungen auf die aktuelle Situation (LUBW, 2013), schließt aber auch in langfristig präventiver Weise spezifische Planungsansätze ein.

Da es sich bei Hitze um ein Sommerphänomen handelt, kann über eine Doppelstrategie von Planungsmaßnahmen der thermische Komfort für Stadtbewohner im lokalen Bereich trotz regional dominierender Hitze aufrechterhalten werden (Holst und Mayer, 2010; Mayer und Holst, 2011; Lee et al., 2013). Wegen der längeren Tageslichtstunden haben Maßnahmen bei Tag, die zur Reduzierung des Eintrags von Hitze in alle Räume einer Stadt, d. h. Frei- und Innenräume, führen, eine erste Priorität. Zielführend sind hier hauptsächlich alle Abschattungsstrategien, die eine Reduzierung der direkten Sonnenstrahlung und deswegen auch eine Verringerung der langwelligen Strahlungsflussdichten im abgeschatteten Bereich bewirken. In diesem Zusammenhang stellten Lee et al. (2013) auf der Grundlage von experimentellen Untersuchungen an Strahlungstagen im Sommer in Freiburg fest, dass - bezogen auf Mittelwerte für den Zeitraum zwischen 10 und 16 Uhr - eine Erhöhung der Abschattung um 10% zu einer Reduzierung von T_a um 0.2 °C , von T_{mrt} um 3.8 °C und von PET um 1.4 °C führt.

Atmosphärische Phänomene in der Nacht haben aufgrund der kürzeren Nachtstunden eine zweite Priorität. Dazu zählt die Sicherung von ausreichender Belüftung und Abkühlung durch tagesperiodische Windsysteme wie Hangabwind oder Bergwind. Unter diesem Aspekt sollten die Bahnen für diese Windsysteme (stadtklimarelevante Luftleitbahnen) eine niedrige aerodynamische Oberflächenrauigkeit aufweisen, d. h. sie sind von Bebauung freizuhalten (Matzarakis und Mayer, 1992; Mayer et al. 1994). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich durch effektive Planungsmaßnahmen, die auf die Tageslichtstunden bezogen sind, eine reduzierte thermische Ausgangssituation für die nächtliche Belüftung erzielen lässt.

4 Ergebnisse

4.1 KENNZEICHEN DER AUSGEWÄHLTEN 59 NBS-FLÄCHEN

Die ausgewählten 59 NBS-Flächen, die im Projekt KlippS näher untersucht wurden, sind in der Tab. 3 über verschiedene Kenngrößen beschrieben. Sie können unter städtebaulichen und stadtklimatischen Aspekten als repräsentativ für alle NBS Flächen aufgefasst werden. Ihrer Auswahl lagen folgende Kriterien zugrunde:

- Flächen mit mittelfristiger Verfügbarkeit (1 bis 5 Jahre) und kritischster klimatischer Einstufung als "bebaute Gebiete mit klimatisch-lufthygienischen Nachteilen";
- Neubauf Flächen;
- Flächen, die im kommunalen Wohnungsbauprogramm als Baupotenziale aufgenommen sind;
- eine Teilfläche des Städtebauprojektes Stuttgart 21.

Tab. 3: Zusammenstellung der ausgewählten 59 NBS-Flächen

NBS-Nr.	Gebietsname	Straße	Stadtbezirk	Lage	FNPDarstellung	Flächentyp	Flächengröße (m ²)
7	Hegel-/Seidenstraße (Rothmann-Block)	Hegel-/Seidenstraße	Mitte	1	M-Fläche	II	6834
10	Hospitalstraße (Wirtschaftsministerium)	Hospitalstraße	Mitte	1	M-Fläche	III	2420
23	Güterbahnhofsgelände Feuerbach südl. Teil	Wernerstraße	Feuerbach	2	G-Fläche	V	29103
28	City Prag Maybachstraße (3)	Maybachstraße	Feuerbach	4	MV-Fläche	III	11612
29	City Prag Mitte (4)	Rheinstahlstraße	Feuerbach	4	MV-Fläche	III	9361
30	Maybachstraße West (ehem. Messeparkplatz)	Maybach-/Rüdigerstraße	Feuerbach	4	W-Fläche	III	25483
32	ehem. Jaus-Areal	Stammheimer/Strohgäustraße	Zuffenhause	4	M-Fläche	IV	69827
42	Kapuzinerweg	Sommerrainstraße / Kapuzinerweg	Bad Cannstatt	4	G-Fläche	III	11809
43	Sulzerrainstraße	Sulzerrainstraße	Bad Cannstatt	2	W-Fläche	III	941
47	ehem. Bettfedernfabrik	Hofener Straße/Zuckerleweg	Bad Cannstatt	2	M-Fläche	IV	16007
503	ehem. Wasserwerk Berg	Poststraße	Ost	2	Ver- und Entsorgungsfläche	V	31421
513	Schwieberdinger/Korntaler Straße	Schwieberdinger/Korntaler Straße	Stammheim	4	G-Fläche	III	21156
567	ehem. Post-Areal	Möhringer Landstraße/Emilienstraße	Vaihingen	4	M-Fläche	V	8096

NBS-Nr.	Gebietsname	Straße	Stadtbezirk	Lage	FNP-Darstellung	Flächentyp	Flächen-größe (m ²)
580	M+W Zander / Roßbachstraße	Roßbachstraße 37, 38, 38 a+b	Weilimdorf	4	M-Fläche	III	9820
581	Arrondierung Wallgraben-West (ehem. Aurelis/ Bahnhof Vaihingen Süd)	Liebknechtstraße	Vaihingen	4	Verkehrsfläche	II	20805
600	Feuerbach-Ost / BASF-Areal	Sieglestraße	Feuerbach	2	G-Fläche	IV	9437
604	Bludener Straße (2)	Bludener/Wiener Straße	Feuerbach	2	M-Fläche	III	4684
607	Gleisdreieck Zuffenhausen	Zahn-Nopper-Straße	Zuffenhausen	4	MV-Fläche	III	33925
608	Strohgäu-/Adestraße	Strohgäu-/Ade-/Schützenbühlstraße	Zuffenhausen	4	G-Fläche	III	24381
615	Böckinger Straße	Böckinger Straße	Zuffenhausen	3	W-Fläche (geplant)	VI	37438
619	Schwieberdinger Straße West (1)	Schwieberdinger Straße	Zuffenhausen	4	M-Fläche	III	18455
621	Schwieberdinger Straße West (3)	Schwieberdinger Straße	Zuffenhausen	4	MV-Fläche	III	19545
625	Stuttgart 21/Teilgebiet C1	Innerer Nordbahnhof	Nord	3	M-Fläche	V	114859
637	Neckarpark - Wohnen	Mercedesstraße	Bad Cannstatt	2	G-Fläche	V	60673
639	Beim Schafhaus	Weidenbrunnenstraße	Mühlhausen	3	W-Fläche (geplant)	VI	68887
640	Mittlere Wohlfahrt	Kochelseeweg	Mühlhausen	3	W-Fläche (geplant)	VI	16749
689	Parkplatz Mineralbad Berg	Am Schwanenplatz	Ost	2	FNP-Sonst	III	10304
763	Schoch-Areal	Wiener Platz/ Dornbirner Straße	Feuerbach	2	M-Fläche	V	20058
768	EnBW-Areal Hackstraße	Stöckachstraße	Ost	3	M-Fläche	V	42091
772	Kaufhof Parkhaus	Steinstraße	Mitte	1	M-Fläche	V	1361
779	Kriegsberg-/ Ossietzkystraße	Kriegsberg-/ Ossietzkystraße	Mitte	1	MV-Fläche	III	8337
795	Olga-Areal (Olgäle)	Schloß-/Hasenbergstraße	West	1	GBD-Fläche	III	16283
799	Eszet-Areal	Augsburger/Biklenstraße	Untertürkheim	2	M-Fläche	V	8127
818	Bürgerhospital	Türlen-/ Tunzhofer Straße	Nord	3	GBD-Fläche	V	39377
831	LVA Schwab-/Rotebühlstraße	Schwab-/Rotebühlstraße	West	1	M-Fläche	III	5743
844	Am Kochenhof (ehem. Szenario) Rote Wand	Am Kochenhof	Nord	4	MV-Fläche	III	10207
848	Feuerwache Süd	Katharinenstraße 12	Mitte	1	GBD-Fläche	III	2686
855	Fasanenhof/Ehrlichweg	Ehrlich-/Sautterweg	Möhringen	4	W-Fläche	III	25064
865	Rathausgarage	Eichstraße	Mitte	1	GBD-Fläche	V	1709

NBS-Nr.	Gebietsname	Straße	Stadtbezirk	Lage	FNP-Darstellung	Flächentyp	Flächen-größe (m ²)
873	Balthasar-Neumann-Straße	Balthasar-Neumann-Straße	Mühlhausen	4	FNP-Sonst	III	23010
891	Hauswirtschaftliche Schule Ost + Tankstelle	Hackstraße 2	Ost	3	GBD-Fläche	III	7507
900	Sigmaringer Straße (ehem. Hansa)	Sigmaringer Straße 107	Möhringen	4	G-Fläche	III	47371
901	Dorotheenquartier (ehem. Quartier am Karlsplatz, ehem. Da Vinci)	Dorotheen-/Münzstraße	Mitte	1	M-Fläche	III	9466
904	Renault Autohaus von der Weppen	Neckarstraße	Ost	2	M-Fläche	III	2582
914	Citroen (Neckarstraße/ Metzstraße)	Neckar-/Metzstraße	Ost	2	M-Fläche	III	10174
942	Eberhardstraße 65 (ehem. Teppich-Galerie)	Eberhardstraße 63/65	Mitte	1	M-Fläche	III	2237
975	Holzgartenstraße Nord	Holzgartenstraße	Mitte	1	GBD-Fläche	III	4005
1009	Waiblinger Straße (Burger King)	Waiblinger Straße 14	Bad Cannstatt	2	MV-Fläche	III	1747
1010	Aral-Tankstelle	Waiblinger/ Daimlerstraße	Bad Cannstatt	2	W-Fläche	III	3021
1011	Kaufhof-Areal	Bad-/Marktstraße	Bad Cannstatt	1	MV-Fläche	III	3930
1017	Mausierstraße/ Borsigstraße	Mausier-/Borsig-/ Siemensstraße	Feuerbach	2	G-Fläche	III	20178
1041	Hahn-Kolb Feuerbach	Borsig-/Heilbronner Straße	Feuerbach	2	G-Fläche	V	12207
1049	Hausenring	Hausenring	Weilimdorf	4	W-Fläche	III	19799
1061	W&W Johannesstraße	Johannesstraße 1-9	West	1	MV-Fläche	III	14431
1063	Silberburgstraße 175-177	Silberburgstraße 175-177	West	1	MV-Fläche	III	2284
1074	Neckarpark - SWSG	Reichenbachstraße	Bad Cannstatt	2	M-Fläche	III	11849
1076	Neckarpark - DRK/DIBAG	Fracht-/ Reichenbach-/ Daimlerstraße	Bad Cannstatt	2	G-Fläche	III	116775
1079	Studentenwohnen/ Heilmannstraße 3-7	Heilmannstraße 3-7	Ost	2	MV-Fläche	III	1463
1085	Duale Hochschule	Jägerstraße 56/ 58	Mitte	3	MV-Fläche	III	8597

Nach der Klassifizierung in der Tab. 4 lassen sich die 59 NBS-Flächen in sechs Flächentypen unterteilen. Aus den Ergebnissen einer Häufigkeitsanalyse (Abb. 1) folgt, dass der Flächentyp III (untergenutzte Flächen) mit 67.8% dominiert, gefolgt vom Flächentyp V (Umnutzungs-, Konversionsflächen) mit 18.6%, dem Flächentyp IV (ungenutzte Betriebs-/Reserveflächen) mit 6.8% sowie den Flächentypen II (Brachflächen, nicht mehr genutzt) und VI (Neubauf Flächen im Flächennutzungsplan Stuttgart) mit jeweils 3.4%. Der Flächentyp I (traditionelle Baulücke im Innenbereich) ist unter den ausgewählten 59 NBS-Flächen nicht vertreten.

Tab. 4: Typen von NBS-Flächen in Stuttgart

Flächentyp	Beschreibung
Typ I	traditionelle Baulücke im Innenbereich
Typ II	Brachflächen (nicht mehr genutzt)
Typ III	untergenutzte Flächen
Typ IV	ungenutzte Betriebs-/Reserveflächen
Typ V	Umnutzungs-, Konversionsflächen
Typ VI	Neubauf Flächen im FNP Stuttgart

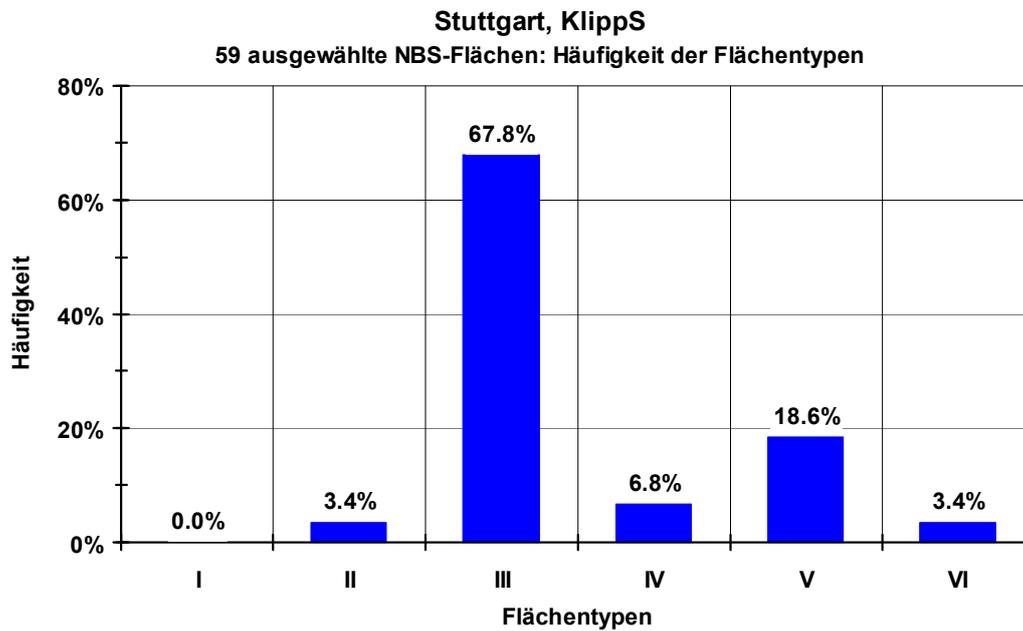


Abb. 1: Häufigkeit von Flächentypen unter den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

Eine weitere Möglichkeit zur Klassifizierung der 59 NBS-Flächen (Tab. 5) bietet ihre Zuordnung zur Darstellung im Flächennutzungsplan (FNP). Die Häufigkeitsanalyse für FNP-Darstellungen unter den ausgewählten 59 NBS-Flächen (Abb. 2) weist eine etwas ausgeglichenerere Verteilung auf als die Häufigkeitsverteilung von Flächentypen in der Abb. 1. Die FNP-Darstellung Gemischte Baufläche (M) dominiert mit 32.2%, gefolgt von den FNP-Darstellungen Gewerbliche Baufläche (G) und MV Gemischte Baufläche Verwaltung (MV) mit jeweils 18.6%, der FNP-Darstellung Wohnbaufläche (W) mit 13.6% und der FNP-Darstellung Flächen für den Gemeinbedarf (GBD) mit 10.2%. Die Anteile der drei restlichen FNP-Darstellungen liegen jeweils unter 4%.

Tab. 5: FNP-Darstellungen in Stuttgart (Landeshauptstadt Stuttgart, 2011)

FNP-Darstellung	Bezeichnung	Beschreibung
W	Wohnbaufläche	
G	gewerbliche Baufläche	
GBD	Gemeinbedarfsfläche	größere Einrichtungen für den Gemeinbedarf
M	gemischte Baufläche	Baufläche für Wohnen und Gewerbe/Dienstleistungen; der Wohnanteil soll mindestens 40 % betragen
MV	gemischte Baufläche Verwaltung	Baufläche für nicht störende Arbeitsstätten mit hoher Arbeitsplatzdichte vorwiegend für überörtlich bedeutsame Verwaltungen, ohne größere Wohnnutzungsanteile
Ver- und Entsorgungsfläche		z. B. Deponie, Klärwerk, Abfallverbrennungsanlage
Verkehrsfläche		Fläche, die dem Straßen- und Schienenverkehr dient
FNP-Sonst.		z. B. Parkieranlagen

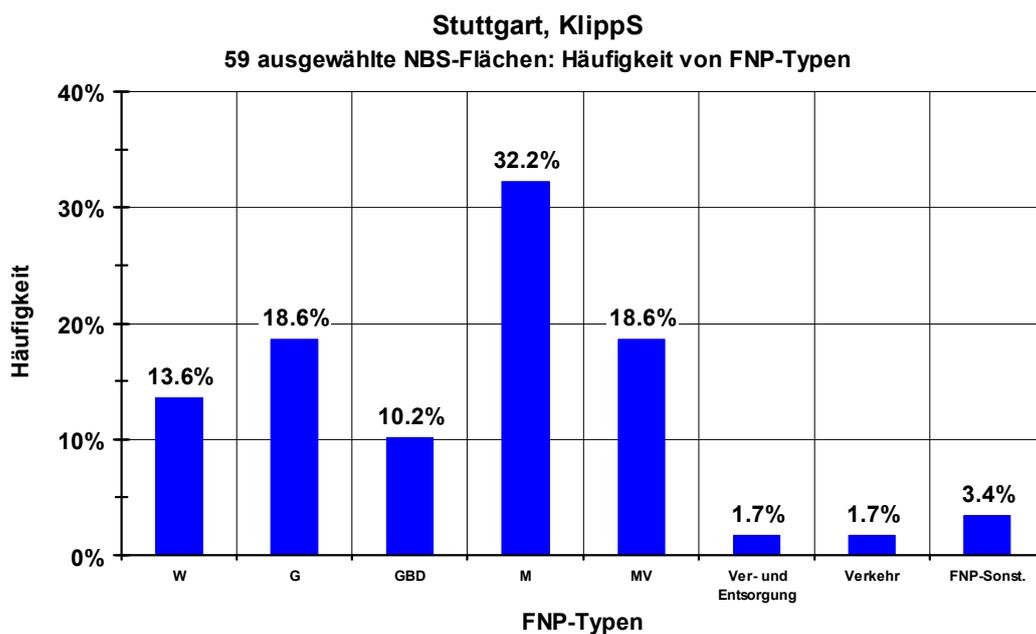


Abb. 2: Häufigkeit von FNP-Darstellungen unter den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

In Bezug auf die räumliche Ausdehnung (Abb. 3) der ausgewählten 59 NBS-Flächen liegt bei 42.4% der Flächen die Größe unter 1 ha. Nach der Definition des idealen Stadtklimas (Mayer, 1989) sollten stadtklimatisch homogene Flächentypen eine Größe von mindestens 1 ha aufweisen und im regelmäßigen Wechsel von Grünflächen und versiegelten Flächen, z. B. in Form eines Schachbretts, angeordnet sein, um der Zielsetzung des idealen Stadtklimas nahezukommen. 39.0% der ausgewählten 59 NBS-Flächen haben eine Größe zwischen 1 und 3 ha. Die NBS-Flächen mit einer Größe zwischen 3 und 5 ha haben einen Anteil von 10.2% und 5.1% der ausgewählten NBS-Flächen haben eine Größe zwischen 5 und 7 ha.

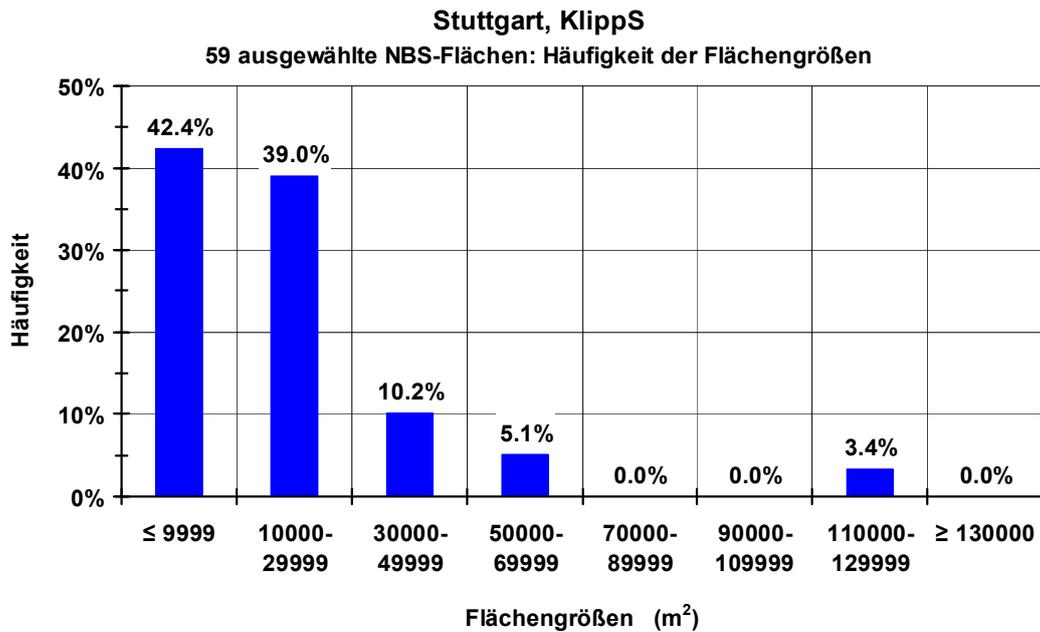


Abb. 3: Häufigkeit der Größen der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

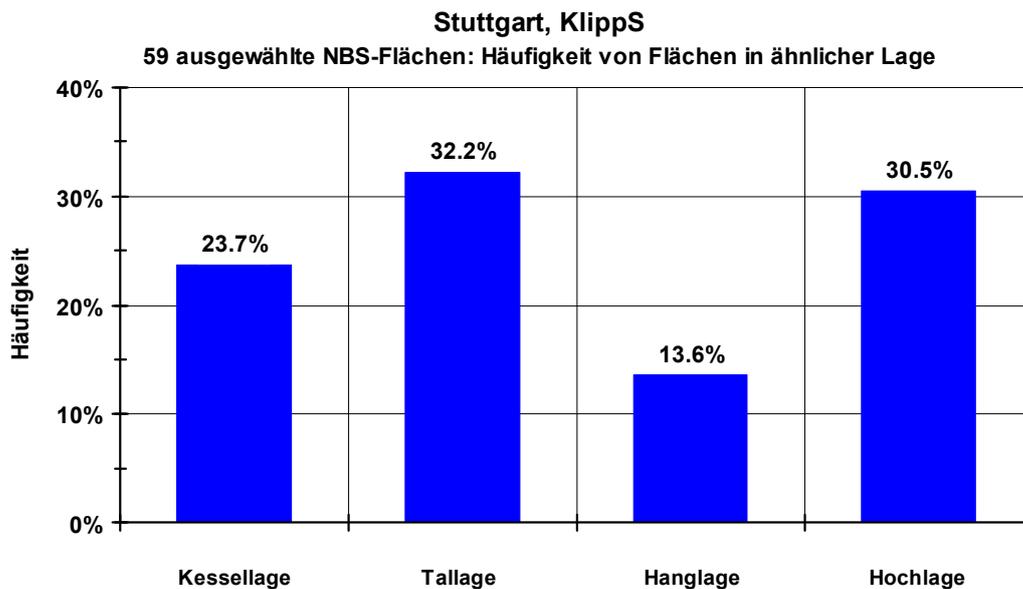


Abb. 4: Häufigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in vergleichbarer topographischer Lage in Stuttgart

Die komplexe topographische Lage von Stuttgart (Verband Region Stuttgart, 2008; Landeshauptstadt Stuttgart, 2010b; Kapp und Reuter, 2011) mit den stadtklimatischen Konsequenzen für die ausgewählten 59 NBS-Flächen bildet die Grundlage für ihre Aufteilung in vergleichbare topographische Lagen (Abb. 4). 19 dieser Flächen (32.2%) liegen in Tallage. In Hochlage befinden sich 18 Flächen (30.5%). Eine Kessellage weisen 14 Flächen (23.7%) auf und in Hanglage befinden sich 8 Flächen (13.6%).

Tab. 6: Aufteilung der ausgewählten 59 NBS-Flächen nach ihrer Größe und topographischen Lage

Flächengröße (m ²)	topographische Lage der 59 NBS-Flächen			
	Kessellage	Tallage	Hanglage	Hochlage
≤ 9999	12 (85.7%)	8 (42.1%)	2 (25.0%)	3 (16.7%)
10000 - 29999	2 (14.3%)	8 (42.1%)	1 (12.5%)	12 (66.7%)
30000 - 49999	0	1 (5.3%)	3 (37.5%)	2 (11.1%)
50000 - 69999	0	1 (5.3%)	1 (12.5%)	1 (5.5%)
70000 - 89999	0	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
90000 - 109999	0	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
110000 - 129999	0	1 (5.2%)	1 (12.5%)	0 (0.0%)
≥ 130000	0	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Summe	14 (100.0%)	19 (100.0%)	8 (100.0%)	18 (100.0%)

In Ergänzung zur Abb. 4 enthält die Tab. 6 eine Aufteilung der Größe der ausgewählten 59 NBS-Flächen nach ihrer topographischen Lage. Sie weist darauf hin, dass bei den NBS-Flächen in Kessellage diejenigen mit einer Größe unter 1 ha deutlich dominieren (85.7%), während bei den NBS-Flächen in Hochlage diejenigen mit einer Größe zwischen 1 und 3 ha am häufigsten vorkommen (66.7%). Bei den NBS-Flächen in Hanglage weisen diejenigen mit einer Größe zwischen 3 und 5 ha die größte Häufigkeit auf (37.5%). Bei den NBS-Flächen in Tallage kommen diejenigen mit einer Fläche unter 1 ha und diejenigen mit einer Fläche zwischen 1 und 3 ha in gleicher Häufigkeit (42.1%) vor.

4.2 HUMAN-BIOMETEOROLOGISCHES BEWERTUNGSVERFAHREN

4.2.1 GRUNDLAGEN

Das human-biometeorologische Bewertungsverfahren zielt auf

- die human-biometeorologische Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in ihrem derzeitigen thermischen Zustand,
- den human-biometeorologischen Handlungsbedarf bei den ausgewählten 59 NBS-Flächen in ihrem derzeitigen thermischen Zustand

ab. Eine räumliche Differenzierung von Wertigkeit und Handlungsbedarf innerhalb der einzelnen NBS-Flächen ist verfahrensbedingt nicht möglich. Wertigkeit und Handlungsbedarf werden über Indexwerte quantifiziert und graduell in die drei farbkodierte Klassen "gering", "mittel" und "hoch" unterteilt.

Nach verschiedenen Tests wurden aus den Indikatoren (siehe Kapitel 3), die für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der 59 NBS-Flächen zur Verfügung standen, die in der Tab. 7 enthaltenen acht Indikatoren verwendet. Mit der zweifachen Gewichtung des kombinierten Indikators Lage/Umgebung/Nutzung der Fläche wurde der stadtklimatischen Bedeutung der topographischen Bedingungen in Stuttgart Rechnung getragen. Die human-biometeorologische Bewertung der einzelnen Indikatoren (Tab. 8 bis Tab. 15) erfolgte in einer abgestuften numerischen Weise mit anschließender Normierung. Die human-biometeorologische Wertigkeit der einzelnen NBS-Flächen in ihrem derzeitigen thermischen Zustand ist umso größer, je höher ihr spezifischer Indexwert ist.

Tab. 7: Indikatoren für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

Indikator	Gewichtung
Lage/Umgebung/Nutzung der Fläche	zweifach
Bebauungsdichte in der Umgebung der Fläche	einfach
Fläche als „hotspot“ tagsüber	einfach
Fläche nachts warm	einfach
Fläche als Verursacher der urbanen Wärmeinsel	einfach
Kaltluftproduktion auf der Fläche	einfach
Kaltluftverlust durch Bebauung auf der Fläche	einfach
Vulnerabilität der Umgebung der Fläche	einfach

Tab. 8: Bewertung des Indikators Lage/Umgebung/Nutzung der Fläche für die Ausweisung der human-bio-meteorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

Lage/Umgebung/Nutzung der Fläche			Bewertung	normierte Bewertung
Lage	Umgebung	Nutzung		
Kessellage	versiegelt	versiegelt	1	0.1
Tallage	versiegelt	versiegelt	2	0.2
Hanglage	versiegelt	versiegelt	3	0.3
Hochlage	versiegelt	versiegelt	4	0.4
Kessellage	brach	versiegelt	2	0.2
Tallage	brach	versiegelt	3	0.3
Hanglage	brach	versiegelt	4	0.4
Hochlage	brach	versiegelt	5	0.5
Kessellage	grün	versiegelt	3	0.3
Tallage	grün	versiegelt	4	0.4
Hanglage	grün	versiegelt	5	0.5
Hochlage	grün	versiegelt	6	0.6
Kessellage	versiegelt	brach	2	0.2
Tallage	versiegelt	brach	3	0.3
Hanglage	versiegelt	brach	4	0.4
Hochlage	versiegelt	brach	5	0.5
Kessellage	brach	brach	3	0.3
Tallage	brach	brach	4	0.4
Hanglage	brach	brach	5	0.5
Hochlage	brach	brach	6	0.6
Kessellage	grün	brach	4	0.4
Tallage	grün	brach	5	0.5
Hanglage	grün	brach	6	0.6
Hochlage	grün	brach	7	0.7
Kessellage	versiegelt	grün	3	0.3
Tallage	versiegelt	grün	4	0.4
Hanglage	versiegelt	grün	5	0.5
Hochlage	versiegelt	grün	6	0.6
Kessellage	brach	grün	4	0.4
Tallage	brach	grün	5	0.5
Hanglage	brach	grün	6	0.6
Hochlage	brach	grün	7	0.7
Kessellage	grün	grün	7	0.7
Tallage	grün	grün	8	0.8
Hanglage	grün	grün	9	0.9
Hochlage	grün	grün	10	1.0

Tab. 9: Bewertung des Indikators Bebauungsdichte in der Umgebung der Fläche für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

	Bebauungsdichte in der Umgebung		
Abstufung	dicht	mittel	gering
Bewertung	1	2	3
normierte Bewertung	0.333	0.667	1.000

Tab. 10: Bewertung des Indikators Fläche als „hotspot“ tagsüber für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

	„hotspot“ tagsüber	
Abstufung	ja	nein
Bewertung	1	3
normierte Bewertung	0.333	1.000

Tab. 11: Bewertung des Indikators Fläche nachts warm für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

	Fläche nachts warm	
Abstufung	ja	nein
Bewertung	1	3
normierte Bewertung	0.333	1.000

Tab. 12: Bewertung des Indikators Fläche als Verursacher der urbanen Wärmeinsel für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

	urbane Wärmeinsel		
Abstufung	stark	mittel	schwach
Bewertung	1	2	3
normierte Bewertung	0.333	0.667	1.000

Tab. 13: Bewertung des Indikators Kaltluftproduktion auf der Fläche für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

	Kaltluftproduktion auf der Fläche ($m^3/(h m^2)$)					
Abstufung	≤ 3.0	3.1-6.0	6.1-9.0	9.1-12.0	12.1-15.0	> 15.0
Bewertung	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
normierte Bewertung	0.167	0.333	0.500	0.667	0.833	1.000

Tab. 14: Bewertung des Indikators Kaltluftverlust durch Bebauung auf der Fläche für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

	Kaltluftverlust durch Bebauung auf der Fläche (m³/(s m))					
Abstufung	≤ 4.0	4.1-8.0	8.1-12.0	12.1-16.0	16.1-20.0	> 20.0
Bewertung	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5
normierte Bewertung	1.000	0.833	0.667	0.500	0.333	0.167

Tab. 15: Bewertung des Indikators Vulnerabilität der Umgebung der Fläche für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

	Vulnerabilität				
Abstufung	1	2	3	4	5
Bewertung	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5
normierte Bewertung	0.833	0.667	0.500	0.333	0.167

Die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs bei den 59 NBS-Flächen beruht auf den in der Tab. 16 enthaltenen fünf Indikatoren. Sie beziehen sich nicht auf die derzeitige thermische Flächensituation, sondern primär auf die Lage und thermisch relevante Umgebung der jeweiligen Fläche. Der kombinierte Indikator Lage/Umgebung wurde wieder zweifach gewichtet, um die stadtklimatische Bedeutung der topographischen Bedingungen in Stuttgart zu berücksichtigen.

Tab. 16: Indikatoren für die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs bei den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

Indikator	Gewichtung
Lage/Umgebung der Fläche	zweifach
Bebauungsdichte in der Umgebung der Fläche	einfach
Flächenumgebung als Verursacher der urbanen Wärmeinsel	einfach
Kaltluftproduktion in der Umgebung der Fläche	einfach
Vulnerabilität der Umgebung der Fläche	einfach

Wie bei den einzelnen Indikatoren zur Ausweisung der human-biometeorologische Wertigkeit der NBS-Flächen erfolgte auch die human-biometeorologische Bewertung der einzelnen Indikatoren für die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs der NBS-Flächen in einer abgestuften numerischen Weise mit anschließender Normierung (Tab. 17 bis Tab. 21). Der human-biometeorologische Handlungsbedarf bei den einzelnen NBS-Flächen ist umso größer, je höher der dafür ermittelte spezifische Indexwert ist.

Tab. 17: Bewertung des Indikators Lage/Umgebung der Fläche für die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs bei den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

Lage/Umgebung der Fläche		Bewertung	normierte Bewertung
Lage	Umgebung		
Kessellage	versiegelt	6	1.000
Tallage	versiegelt	5	0.833
Hanglage	versiegelt	4	0.667
Hochlage	versiegelt	3	0.500
Kessellage	brach	5	0.833
Tallage	brach	4	0.667
Hanglage	brach	3	0.500
Hochlage	brach	2	0.333
Kessellage	grün	4	0.667
Tallage	grün	3	0.500
Hanglage	grün	2	0.333
Hochlage	grün	1	0.167

Tab. 18: Bewertung des Indikators Bebauungsdichte in der Umgebung der Fläche für die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs bei den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

Abstufung	Bebauungsdichte in der Umgebung		
	dicht	mittel	gering
Bewertung	3	2	1
normierte Bewertung	1.000	0.667	0.333

Tab. 19: Bewertung des Indikators Flächenumgebung als Verursacher der urbanen Wärmeinsel für die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs bei den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

Abstufung	urbane Wärmeinsel		
	stark	mittel	schwach
Bewertung	3	2	1
normierte Bewertung	1.000	0.667	0.333

Tab. 20: Bewertung des Indikators Kaltluftproduktion in der Umgebung der Fläche für die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs bei den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

	Kaltluftproduktion auf der Fläche (m ³ /(h m ²))					
Abstufung	≤ 3.0	3.1-6.0	6.1-9.0	9.1-12.0	12.1-15.0	> 15.0
Bewertung	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5
normierte Bewertung	1.000	0.833	0.667	0.500	0.333	0.167

Tab. 21: Bewertung des Indikators Vulnerabilität der Umgebung der Fläche für die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs bei den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart

	Vulnerabilität				
Abstufung	1	2	3	4	5
Bewertung	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
normierte Bewertung	0.167	0.333	0.500	0.667	0.833

Der Indexwert für die human-biometeorologische Wertigkeit der einzelnen 59 NBS-Flächen wurde wie folgt aus den normierten Werten der einzelnen Indikatoren (Tab. 7 bis Tab. 15) berechnet:

Indexwert_{human-biometeorologische Wertigkeit} =

$$(2 \cdot \text{Indikatorwert}_{\text{Lage/Umgebung/Nutzung}} + \text{Indikatorwert}_{\text{Bebauungsdichte}} + \text{Indikatorwert}_{\text{"hotspot" tagsüber}} + \text{Indikatorwert}_{\text{nachts warm}} + \text{Indikatorwert}_{\text{urbane Wärmeinsel}} + \text{Indikatorwert}_{\text{Kaltluftproduktion}} + \text{Indikatorwert}_{\text{Kaltluftverlust}} + \text{Indikatorwert}_{\text{Vulnerabilität}}) / 9$$

Der Indexwert für den human-biometeorologischen Handlungsbedarf bei den einzelnen 59 NBS-Flächen wurde wie folgt aus den normierten Werten der einzelnen Indikatoren (Tab. 16 bis Tab. 21) ermittelt:

Indexwert_{human-biometeorologischer Handlungsbedarf} =

$$(2 \cdot \text{Indikatorwert}_{\text{Lage/Umgebung}} + \text{Indikatorwert}_{\text{Bebauungsdichte}} + \text{Indikatorwert}_{\text{urbane Wärmeinsel}} + \text{Indikatorwert}_{\text{Kaltluftproduktion}} + \text{Indikatorwert}_{\text{Vulnerabilität}}) / 6$$

Auf der Grundlage der Bewertungsmethodik ergeben sich folgende Grenzen für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf, innerhalb derer planungsbedingte Veränderungen möglich sind:

- human-biometeorologische Wertigkeit:
Maximum: 0.981, Minimum: 0.226
- human-biometeorologischer Handlungsbedarf:
Maximum: 0.972, Minimum: 0.222

Die Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit der 59 NBS-Flächen in Stuttgart und der Indexwerte für ihren human-biometeorologischen Handlungsbedarf wurden in drei Klassen eingeteilt und in Anlehnung an die Farbauswahl für die Planungshinweise im Klimaatlas Region Stuttgart (Verband Region

Stuttgart, 2008) farbkodiert (Tab. 22). Aufgrund des Charakters des human-biometeorologischen Bewertungsverfahrens war eine stärker differenzierte Klassifizierung der beiden Indexwerte nicht möglich. Bei der Zuordnung von Indexwerten zur Klasse „gering“ wurden die minimalen Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf berücksichtigt.

Tab. 22: Farbkodierte Klassen der Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit der 59-NBS-Flächen in Stuttgart und der Indexwerte für ihren human-biometeorologischen Handlungsbedarf

Klasse	human-biometeorologische Wertigkeit	human-biometeorologischer Handlungsbedarf
gering	< 0.40	< 0.40
mittel	0.40 – 0.70	0.40 – 0.70
hoch	> 0.70	> 0.70

4.2.2 ANWENDUNG

Das human-biometeorologische Bewertungsverfahren wurde auf die ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart angewandt, um ihre human-biometeorologische Wertigkeit und den bei ihnen vorhandenen human-biometeorologischen Handlungsbedarf festzustellen. Dabei sei hier noch einmal darauf hingewiesen, dass das Bewertungsverfahren nur auf die thermischen Bedingungen in der bodennahen Atmosphäre über den NBS-Flächen bezogen ist. Sie erlangen vor dem Hintergrund von Simulationsresultaten zum regionalen Klimawandel in Mitteleuropa eine ansteigende Bedeutung.

Für jede der 59 NBS-Flächen sind in der Tab. 23 detailliert die Indexwerte und farbkodierten Klassen für die Wertigkeit und den Handlungsbedarf angegeben. Um einen ersten Überblick über die räumliche Verteilung dieser Flächenqualitäten zu erhalten, sind in der Abb. 5 die entsprechend farbkodierten Flächen in ihrer Lage in Stuttgart dargestellt. Zusätzlich enthalten die Tab. 24 bis Tab. 27 die Ergebnisse für die Indexwerte einschließlich ihrer farbkodierten Klasse für NBS-Flächen in vergleichbarer topographischer Lage. In den Abb. 6 bis Abb. 10 sind die einzelnen Ergebnisse aus den Tab. 23 bis Tab. 27 in Form von Graphiken zusammengefasst, in denen für alle ausgewählten 59 NBS-Flächen bzw. für die darin enthaltenen NBS-Flächen in vergleichbarer topographischer Lage die Indexwerte für die Wertigkeit denjenigen für den Handlungsbedarf gegenübergestellt sind.

Tab. 23: Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf der 59 NBS-Flächen in Stuttgart sowie farbkodierte Klassen von Wertigkeit und Handlungsbedarf

NBS-Nr.	Gebietsname	Indexwert Wertigkeit	Indexwert Handlungsbedarf	Klasse Wertigkeit	Klasse Handlungsbedarf
7	Hegel-/Seidenstraße (Rothmann-Block)	0.585	0.778	mittel	hoch
10	Hospitalstraße (Wirtschaftsministerium)	0.430	0.806	mittel	hoch
23	Güterbahnhofsgelände Feuerbach südl. Teil	0.507	0.611	mittel	mittel
28	City Prag Maybachstraße (3)	0.656	0.583	mittel	mittel

NBS-Nr.	Gebietsname	Indexwert Wertigkeit	Indexwert Handlungsbedarf	Klasse Wertigkeit	Klasse Handlungsbedarf
29	City Prag Mitte (4)	0.656	0.583	mittel	mittel
30	Maybachstraße West (ehem. Messeparkplatz)	0.674	0.528	mittel	mittel
32	ehem. Jaus-Areal	0.515	0.611	mittel	mittel
42	Kapuzinerweg	0.719	0.417	hoch	mittel
43	Sulzerrainstraße	0.378	0.861	gering	hoch
47	ehem. Bettfedernfabrik	0.674	0.667	mittel	mittel
503	ehem. Wasserwerk Berg	0.707	0.556	hoch	mittel
513	Schwieberdinger/Korntaler Straße	0.552	0.556	mittel	mittel
567	ehem. Post-Areal	0.441	0.639	mittel	mittel
580	M+W Zander /Roßbachstraße	0.796	0.361	hoch	gering
581	Arrondierung Wallgraben-West (ehem. Aurelis / Bahnhof Vaihingen Süd)	0.515	0.583	mittel	mittel
600	Feuerbach-Ost / BASF-Areal	0.507	0.667	mittel	mittel
604	Bludener Straße (2)	0.507	0.667	mittel	mittel
607	Gleisdreieck Zuffenhausen	0.589	0.472	mittel	mittel
608	Strohgäu-/Adestraße	0.552	0.556	mittel	mittel
615	Böckinger Straße	0.756	0.472	hoch	mittel
619	Schwieberdinger Straße West (1)	0.515	0.583	mittel	mittel
621	Schwieberdinger Straße West (3)	0.478	0.639	mittel	mittel
625	Stuttgart 21/Teilgebiet C1	0.572	0.667	mittel	mittel
637	Neckarpark - Wohnen	0.574	0.694	mittel	mittel
639	Beim Schafhaus	0.837	0.333	hoch	gering
640	Mittlere Wohlfahrt	0.804	0.500	hoch	mittel
689	Parkplatz Mineralbad Berg	0.493	0.667	mittel	mittel
763	Schoch-Areal	0.526	0.639	mittel	mittel
768	EnBW-Areal Hackstraße	0.422	0.722	mittel	hoch
772	Kaufhof Parkhaus	0.393	0.861	gering	hoch
779	Kriegsberg-/Ossietskystraße	0.374	0.861	gering	hoch
795	Olga-Areal (Olgäle)	0.319	0.889	gering	hoch
799	Eszet-Areal	0.489	0.750	mittel	hoch
818	Bürgerhospital	0.400	0.694	mittel	mittel
831	LVA Schwab-/Rotebühlstraße	0.281	0.917	gering	hoch
844	Am Kochenhof (ehem. Scenario) Rote Wand	0.780	0.389	hoch	gering
848	Feuerwache Süd	0.300	0.972	gering	hoch

NBS-Nr.	Gebietsname	Indexwert Wertigkeit	Indexwert Handlungsbedarf	Klasse Wertigkeit	Klasse Handlungsbedarf
855	Fasanenhof/Ehrlichweg	0.663	0.639	mittel	mittel
865	Rathausgarage	0.393	0.861	gering	hoch
873	Balthasar-Neumann-Straße	0.756	0.500	hoch	mittel
891	Hauswirtschaftliche Schule Ost + Tankstelle	0.563	0.695	mittel	mittel
900	Sigmaringer Straße (ehem. Hansa)	0.613	0.444	mittel	mittel
901	Dorotheenquartier (ehem. Quartier am Karlsplatz, ehem. Da Vinci)	0.396	0.861	gering	hoch
904	Renault Autohaus von der Weppen	0.378	0.861	gering	hoch
914	Citroen (Neckarstraße/Metzstraße)	0.378	0.861	gering	hoch
942	Eberhardstraße 65 (ehem. Teppich-Galerie)	0.356	0.917	gering	hoch
975	Holzgartenstraße Nord	0.741	0.583	hoch	mittel
1009	Waiblinger Straße (Burger King)	0.378	0.861	gering	hoch
1010	Aral-Tankstelle	0.378	0.861	gering	hoch
1011	Kaufhof-Areal	0.356	0.917	gering	hoch
1017	Mauserstraße/Borsigstraße	0.489	0.694	mittel	mittel
1041	Hahn-Kolb Feuerbach	0.489	0.694	mittel	mittel
1049	Hausenring	0.678	0.500	mittel	mittel
1061	W&W Johannesstraße	0.485	0.833	mittel	hoch
1063	Silberburgstraße 175-177	0.430	0.806	mittel	hoch
1074	Neckarpark - SWSG	0.519	0.778	mittel	hoch
1076	Neckarpark - DRK/DIBAG	0.556	0.722	mittel	hoch
1079	Studentenwohnen/ Heilmannstraße 3-7	0.463	0.750	mittel	hoch
1085	Duale Hochschule	0.400	0.806	mittel	hoch

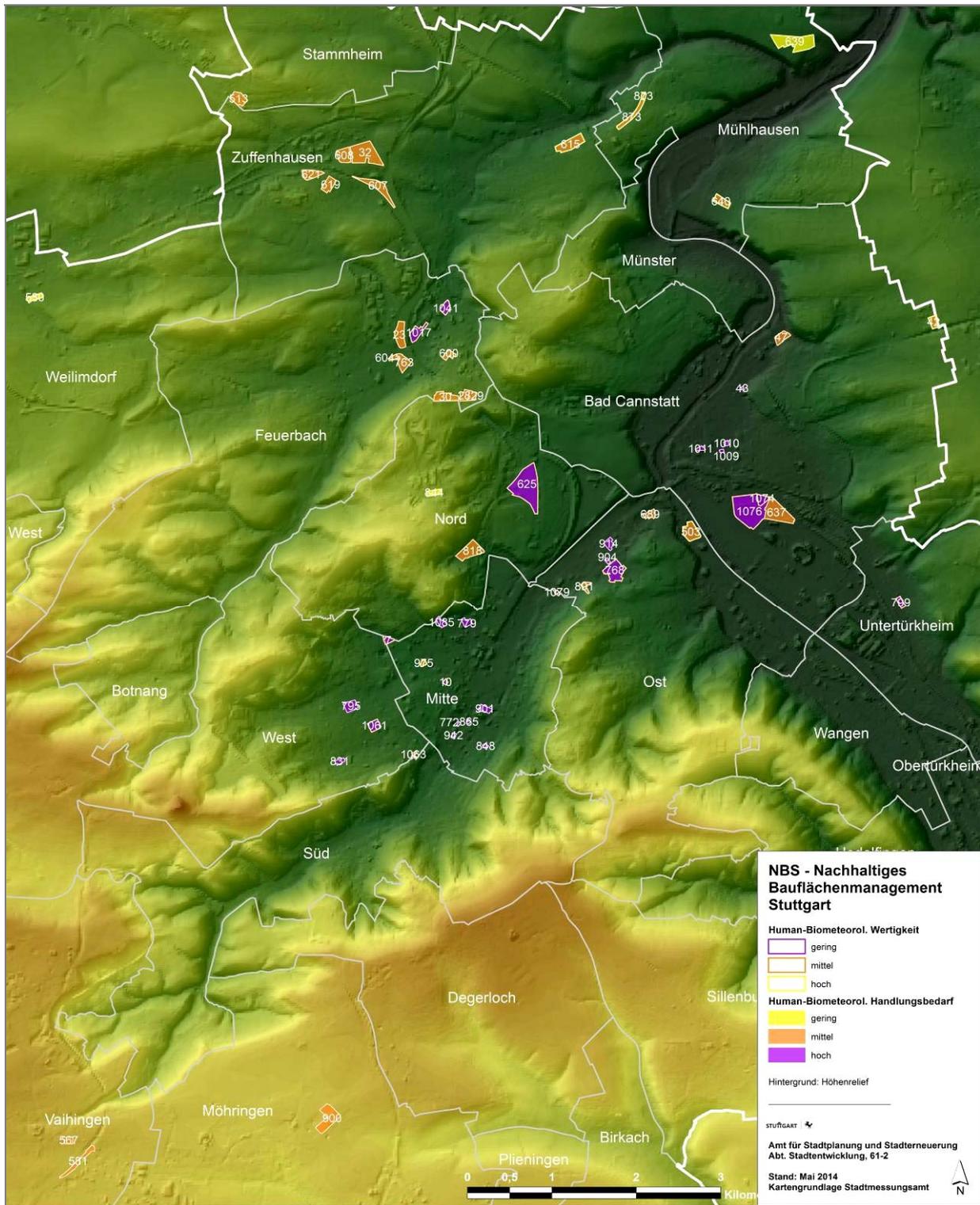


Abb. 5: Human-biometeorologische Wertigkeit und human-biometeorologischer Handlungsbedarf unter dem Aspekt „Hitze“ für 59 NBS-Flächen in Stuttgart

Tab. 24: Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf der ausgewählten NBS-Flächen in KESSELLAGE sowie farbkodierte Klassen von Wertigkeit und Handlungsbedarf

NBS-Nr.	Gebietsname	Indexwert Wertigkeit	Indexwert Handlungsbedarf	Klasse Wertigkeit	Klasse Handlungsbedarf
7	Hegel-/Seidenstraße (Rothmann-Block)	0.585	0.778	mittel	hoch
10	Hospitalstraße (Wirtschaftsministerium)	0.430	0.806	mittel	hoch
772	Kaufhof Parkhaus	0.393	0.861	gering	hoch
779	Kriegsberg-/Ossietzkystraße	0.374	0.861	gering	hoch
795	Olga-Areal (Olgäle)	0.319	0.889	gering	hoch
831	LVA Schwab-/Rotebühlstraße	0.281	0.917	gering	hoch
848	Feuerwache Süd	0.300	0.972	gering	hoch
865	Rathausgarage	0.393	0.861	gering	hoch
901	Dorotheenquartier (ehem. Quartier am Karlsplatz, ehem. Da Vinci)	0.396	0.861	gering	hoch
942	Eberhardstraße 65 (ehem. Teppich-Galerie)	0.356	0.917	gering	hoch
975	Holzgartenstraße Nord	0.741	0.583	hoch	mittel
1011	Kaufhof-Areal	0.356	0.917	gering	hoch
1061	W&W Johannesstraße	0.485	0.833	mittel	hoch
1063	Silberburgstraße 175-177	0.430	0.806	mittel	hoch

Die Ergebnisse in Abb. 5 bis Abb. 10 sowie in den Tab. 23 bis Tab. 27 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das auf Hitze fokussierte human-biometeorologische Bewertungsverfahren ist in sich stimmig, weil sowohl für alle ausgewählten 59 NBS-Flächen als auch die darin enthaltenen NBS-Flächen in vergleichbarer topographischer Lage die Indexwerte für den human-biometeorologischen Handlungsbedarf ansteigen, wenn die Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit abnehmen.
- Der Zusammenhang zwischen den Indexwerten für den human-biometeorologischen Handlungsbedarf und die human-biometeorologische Wertigkeit lässt sich über eine lineare Regressionsgerade darstellen. Für alle ausgewählten 59 NBS-Flächen liegt das entsprechende Bestimmtheitsmaß (R^2) bei 0.789. Werden diese 59 NBS-Flächen nach ihrer topographischen Lage unterteilt, schwankt R^2 zwischen 0.893 (für die NBS-Flächen in Kessellage) und 0.555 (für die NBS-Flächen in Hochlage). Dabei ist allerdings die unterschiedlich große Anzahl von NBS-Flächen in den ausgewählten topographischen Lagen zu beachten. So befinden sich 19 NBS-Flächen in Tallage, 18 NBS-Flächen in Hochlage, 14 NBS-Flächen in Kessellage und 8 NBS-Flächen in Hanglage.
- Unter human-biometeorologischen Aspekten - fokussiert auf die Intensivierung von lokaler Hitze in der Zukunft - weisen die NBS-Flächen in Kessellage aufgrund ihrer derzeitigen thermischen Situation überwiegend eine geringe bis mittlere Wertigkeit auf. Daraus leitet sich ihr relativ hoher human-biometeorologischer Handlungsbedarf ab.

Tab. 25: Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf der ausgewählten NBS-Flächen in TALLAGE sowie farbkodierte Klassen von Wertigkeit und Handlungsbedarf

NBS-Nr.	Gebietsname	Indexwert Wertigkeit	Indexwert Handlungsbedarf	Klasse Wertigkeit	Klasse Handlungsbedarf
23	Güterbahnhofsgelände Feuerbach südl. Teil	0.507	0.611	mittel	mittel
43	Sulzerrainstraße	0.378	0.861	gering	hoch
47	ehem. Bettfedernfabrik	0.674	0.667	mittel	mittel
503	ehem. Wasserwerk Berg	0.707	0.556	hoch	mittel
600	Feuerbach-Ost / BASF-Areal	0.507	0.667	mittel	mittel
604	Bludenzer Straße (2)	0.507	0.667	mittel	mittel
637	Neckarpark - Wohnen	0.574	0.694	mittel	mittel
689	Parkplatz Mineralbad Berg	0.493	0.667	mittel	mittel
763	Schoch-Areal	0.526	0.639	mittel	mittel
799	Eszet-Areal	0.489	0.750	mittel	hoch
904	Renault Autohaus von der Weppen	0.378	0.861	gering	hoch
914	Citroen (Neckarstraße/Metzstraße)	0.378	0.861	gering	hoch
1009	Waiblinger Straße (Burger King)	0.378	0.861	gering	hoch
1010	Aral-Tankstelle	0.378	0.861	gering	hoch
1017	Mauserstraße/Borsigstraße	0.489	0.694	mittel	mittel
1041	Hahn-Kolb Feuerbach	0.489	0.694	mittel	mittel
1074	Neckarpark - SWSG	0.519	0.778	mittel	hoch
1076	Neckarpark - DRK/DIBAG	0.556	0.722	mittel	hoch
1079	Studentenwohnen/Heilmannstraße 3-7	0.463	0.750	mittel	hoch

- Bei der human-biometeorologischen Wertigkeit der NBS-Flächen in Tallage dominiert die Klasse „mittel“, während nur 5 Flächen in der Klasse „gering“ liegen. Von den 19 NBS-Flächen in dieser topographischen Lage wurde für 10 Flächen ein mittlerer und für die restlichen 9 Flächen ein hoher human-biometeorologischer Handlungsbedarf ermittelt.
- Unter human-biometeorologischen Aspekten weisen 5 der 8 NBS-Flächen in Hanglage eine mittlere Wertigkeit auf. Für die restlichen 3 Flächen eine hohe Wertigkeit ermittelt. Bei 5 Flächen liegt ein mittlerer Handlungsbedarf vor. Für 2 Flächen wurde ein hoher Handlungsbedarf ausgewiesen, während er bei einer Fläche in der Klasse "gering" liegt.
- Bei einer human-biometeorologischen Betrachtungsweise haben 14 der 18 NBS-Flächen in Hochlage eine mittlere Wertigkeit. Bei den restlichen 4 Flächen liegt eine hohe Wertigkeit vor. Der Handlungsbedarf ist bei 16 dieser Flächen der Klasse "mittel" und bei den übrigen 2 Flächen der Klasse "gering" zuzuordnen.

Tab. 26: Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf der ausgewählten NBS-Flächen in HANGLAGE sowie farbkodierte Klassen von Wertigkeit und Handlungsbedarf

NBS-Nr.	Gebietsname	Indexwert Wertigkeit	Indexwert Handlungsbedarf	Klasse Wertigkeit	Klasse Handlungsbedarf
615	Böckinger Straße	0.756	0.472	hoch	mittel
625	Stuttgart 21 / Teilgebiet C1	0.572	0.667	mittel	mittel
639	Beim Schafhaus	0.837	0.333	hoch	gering
640	Mittlere Wohlfahrt	0.804	0.500	hoch	mittel
768	EnBW-Areal Hackstraße	0.422	0.722	mittel	hoch
818	Bürgerhospital	0.400	0.694	mittel	mittel
891	Hauswirtschaftliche Schule Ost + Tankstelle	0.563	0.695	mittel	mittel
1085	Duala Hochschule	0.400	0.806	mittel	hoch

Tab. 27: Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf der ausgewählten NBS-Flächen in HOCHLAGE sowie farbkodierte Klassen von Wertigkeit und Handlungsbedarf

NBS-Nr.	Gebietsname	Indexwert Wertigkeit	Indexwert Handlungsbedarf	Klasse Wertigkeit	Klasse Handlungsbedarf
28	City Prag Maybachstraße (3)	0.656	0.583	mittel	mittel
29	City Prag Mitte (4)	0.656	0.583	mittel	mittel
30	Maybachstraße West (ehem. Messeparkplatz)	0.674	0.528	mittel	mittel
32	ehem. Jaus-Areal	0.515	0.611	mittel	mittel
42	Kapuzinerweg	0.719	0.417	hoch	mittel
513	Schwieberdinger/Korntaler Straße	0.552	0.556	mittel	mittel
567	ehem. Post-Areal	0.441	0.639	mittel	mittel
580	M+W Zander /Roßbachstraße	0.796	0.361	hoch	gering
581	Arrondierung Wallgraben-West (ehem. Aurelis / Bahnhof Vaihingen Süd)	0.515	0.583	mittel	mittel
607	Gleisdreieck Zuffenhausen	0.589	0.472	mittel	mittel
608	Strohgäu-/Adestraße	0.552	0.556	mittel	mittel
619	Schwieberdinger Straße West (1)	0.515	0.583	mittel	mittel
621	Schwieberdinger Straße West (3)	0.478	0.639	mittel	mittel
844	Am Kochenhof (ehem. Scenario) Rote Wand	0.780	0.389	hoch	gering
855	Fasanenhof/Ehrlichweg	0.663	0.639	mittel	mittel

NBS-Nr.	Gebietsname	Indexwert Wertigkeit	Indexwert Handlungsbedarf	Klasse Wertigkeit	Klasse Handlungsbedarf
873	Balthasar-Neumann-Straße	0.756	0.500	hoch	mittel
900	Sigmaringer Straße (ehem. Hansa)	0.613	0.444	mittel	mittel
1049	Hausenring	0.678	0.500	mittel	mittel

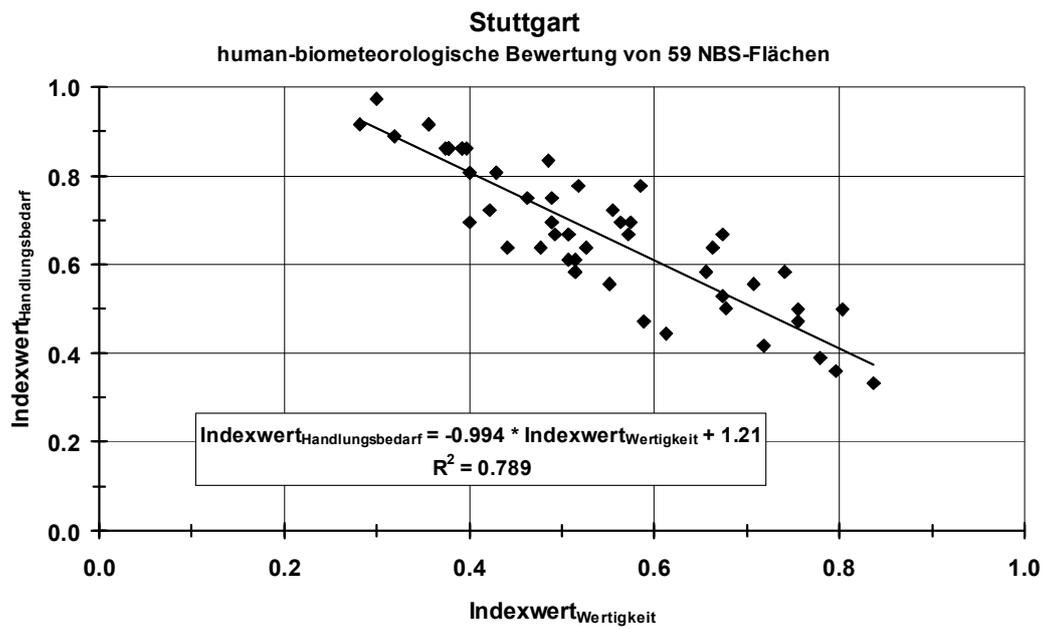


Abb. 6: Gegenüberstellung von human-biometeorologischer Wertigkeit und human-biometeorologischem Handlungsbedarf für 59 ausgewählte NBS-Flächen in Stuttgart

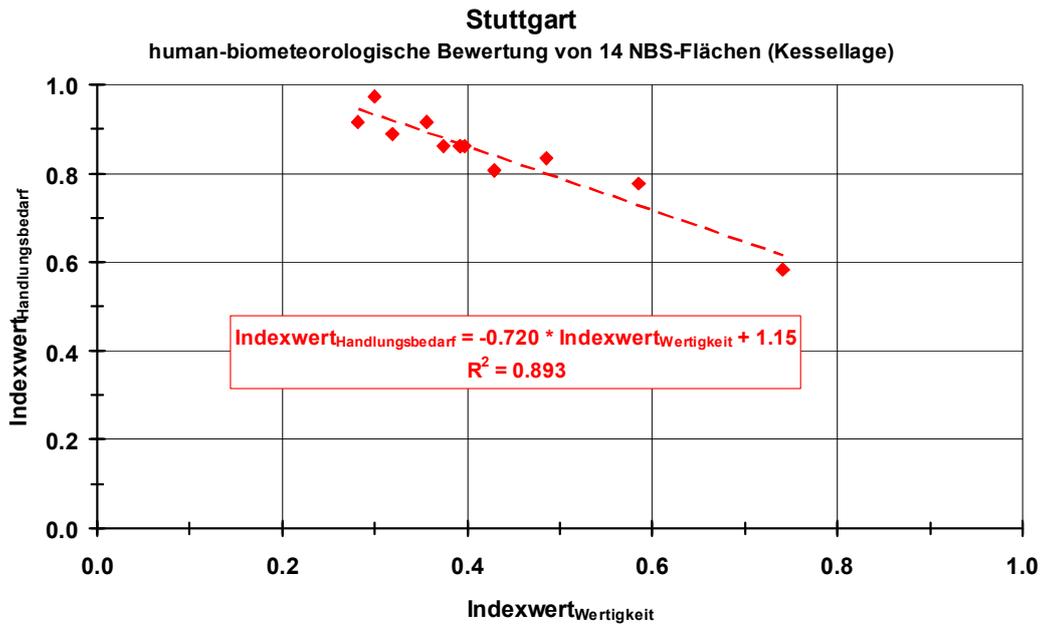


Abb. 7: Gegenüberstellung von human-biometeorologischer Wertigkeit und human-biometeorologischem Handlungsbedarf für 14 ausgewählte NBS-Flächen in KESSELLAGE in Stuttgart

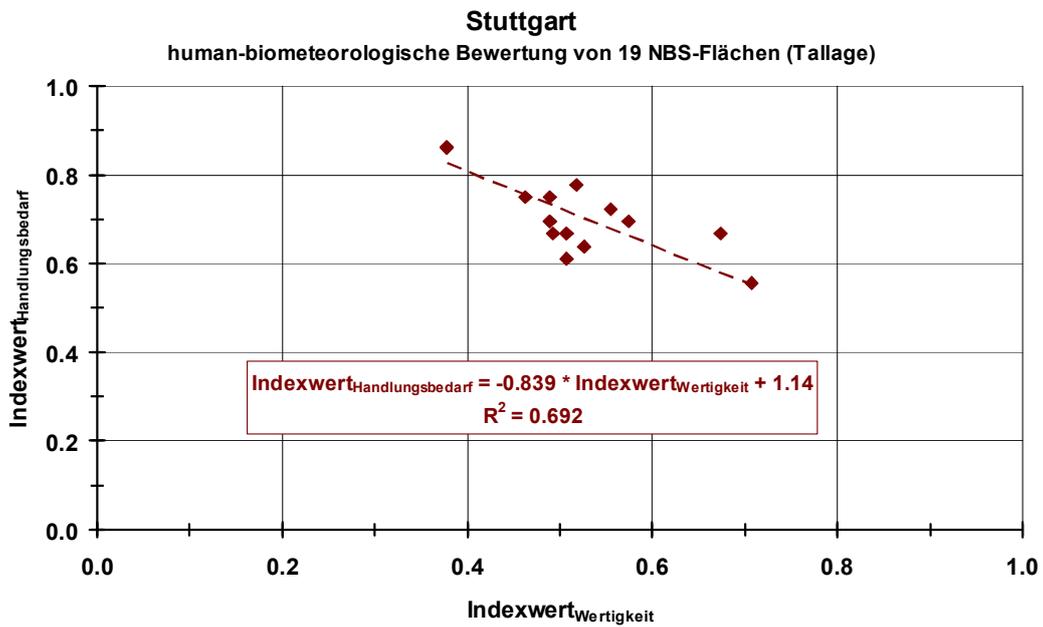


Abb. 8: Gegenüberstellung von human-biometeorologischer Wertigkeit und human-biometeorologischem Handlungsbedarf für 19 ausgewählte NBS-Flächen in TALLAGE in Stuttgart

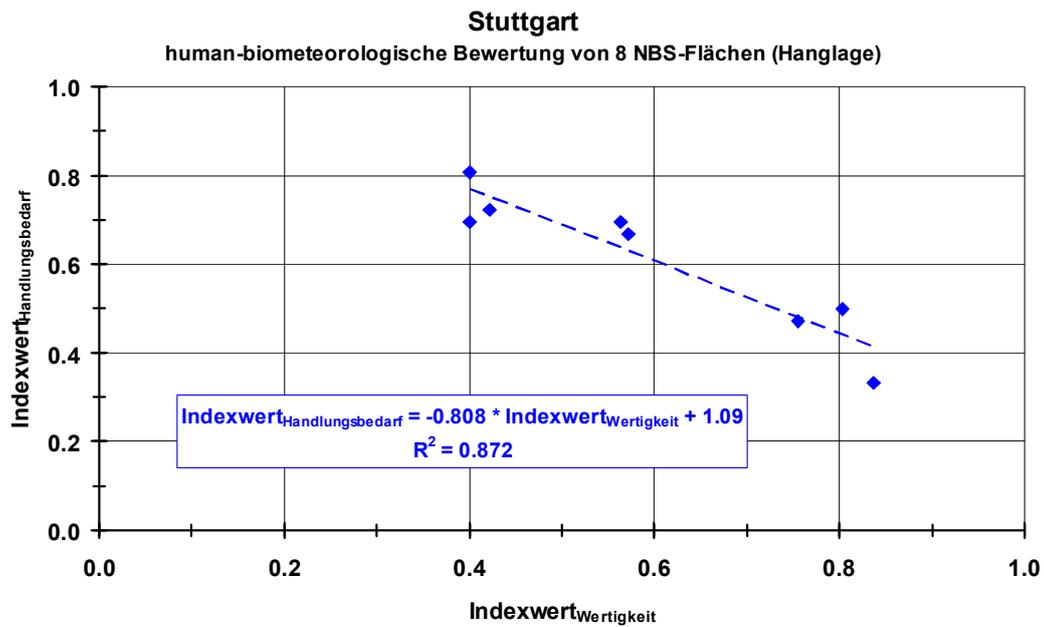


Abb. 9: Gegenüberstellung von human-biometeorologischer Wertigkeit und human-biometeorologischem Handlungsbedarf für 8 ausgewählte NBS-Flächen in HANGLAGE in Stuttgart

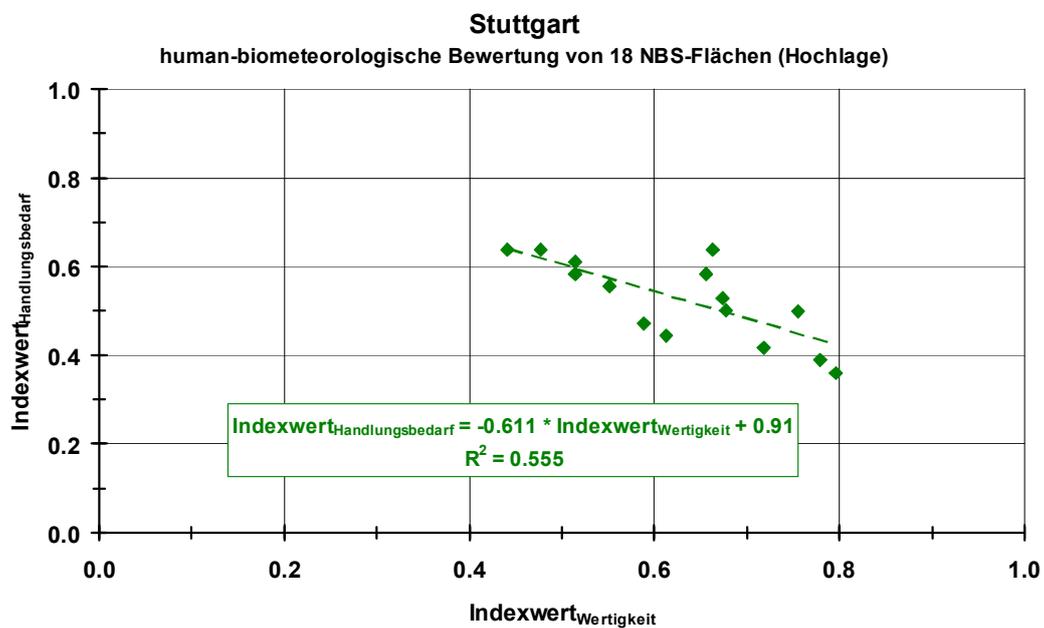


Abb. 10: Gegenüberstellung von human-biometeorologischer Wertigkeit und human-biometeorologischem Handlungsbedarf für 18 ausgewählte NBS-Flächen in HOCHLAGE in Stuttgart

4.2.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Bei der Analyse des human-biometeorologischen Bewertungsverfahrens und seiner Resultate vor dem Hintergrund des Spielraums, daraus planerische Handlungsempfehlungen ableiten zu können, die ausschließlich an einer lokalen Reduzierung der großräumig vorgegebenen Hitze für Menschen orientiert sind, müssen folgende Randbedingungen beachtet werden:

- Infolge des Klimawandels wird sich die regionale Hitze in Baden-Württemberg intensivieren. Die dadurch hervorgerufenen negativen Auswirkungen auf die Gesundheit von Menschen erfordern im Umgang mit dieser meteorologischen Gefährdung, dass neben lokalen Maßnahmen wie Hitzewarnsysteme auch die Stadtplanung in präventiv vorbeugender Art versucht, die lokalen Auswirkungen der regionalen Hitze auf Menschen in städtischen Räumen zu reduzieren. Dazu tragen Handlungsempfehlungen bei, die sich ausschließlich auf die lokale Verbesserung der derzeitigen thermischen Bedingungen im Sommer für Menschen im Bereich der ausgewählten NBS-Flächen beziehen.
- Die Handlungsempfehlungen beruhen auf der hier ermittelten human-biometeorologischen Wertigkeit dieser NBS-Flächen und den für sie ausgewiesenen human-biometeorologischen Handlungsbedarf.
- Für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf wurde ein Bewertungsverfahren auf der Grundlage von verfügbaren qualitativen und quantitativen Indikatoren zur derzeitigen thermischen Flächensituation speziell im Sommer entwickelt und auf die ausgewählten 59 NBS-Flächen angewandt. Bedingt durch diese Indikatoren konnte dabei als Zielgröße nur die bodennahe Lufttemperatur T_a angesprochen werden. Ihre Relevanz ist tagsüber für das lokale thermischen Empfinden von Menschen geringer als bei den human-biometeorologischen Variablen mittlere Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalente Temperatur PET. Die Bedeutung von T_a liegt darin, dass diese Variable ein Maß für den mittleren Zustand an fühlbarer Wärme in der bodennahen Atmosphäre über einer NBS-Fläche darstellt.
- Durch Handlungsempfehlungen für einzelne NBS-Flächen lassen sich nicht alle Bewertungsindikatoren verändern.
- Bei den Bewertungsindikatoren, die für planerische Handlungsmaßnahmen zur Reduzierung von Wärme bzw. Hitze im Sommer sensibel sind, lässt sich nicht immer in der notwendigen Genauigkeit die Veränderung eines Bewertungsindikators durch eine konkrete Handlungsmaßnahme angeben.
- Damit stellt das hier entwickelte human-biometeorologische Bewertungsverfahren eine Art von „Screening“ der auf Menschen bezogenen thermischen Bedingungen im Sommer auf den NBS-Flächen dar.

Daraus ergibt sich, dass für die 59 NBS-Flächen keine kleinräumig detaillierten, flächenscharfen Handlungsempfehlungen in Bezug auf den Umgang mit Hitze abgegeben werden können. Unabhängig von bestehenden Baurechten und dem Charakter von Bauflächenpotenzialen haben die mehr allgemeinen Handlungsempfehlungen das Ziel,

- den Indexwert für die human-biometeorologische Wertigkeit bei den NBS-Flächen, die derzeit hauptsächlich eine geringe Wertigkeit aufweisen, zu erhöhen,
- den Indexwert für den human-biometeorologischen Handlungsbedarf bei den NBS-Flächen, die derzeit hauptsächlich einen hohen Handlungsbedarf zeigen, zu reduzieren.

Es gibt eine Vielzahl von Maßnahmen und Möglichkeiten, mit denen im Rahmen der Bauleitplanung dem Klimawandel entgegenwirkt bzw. die Anpassung an den Klimawandel erreicht werden kann. Die Städtebauliche Klimafibel (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2012) enthält konkrete Empfehlungen für die Planung, die mit den im Baugesetzbuch vorgesehenen Rechtsinstrumenten, speziell

mit den Darstellungen im Flächennutzungsplan, den rechtsverbindlichen Festsetzungen des Bebauungsplans, im Vorhaben- und Erschließungsplan sowie durch die Vereinbarungen in einem „Städtebaulichen Vertrag“ umgesetzt werden können:

Mit Blick auf den planerischen Handlungsbedarf sollten folgende Ziele klimagerechter Planung verfolgt werden (siehe auch Düttemeyer et al., 2013a, 2013b):

- Verbesserung der Aufenthaltsbedingungen bzgl. der thermischen Behaglichkeitssituation für Menschen bzw. der human-biometeorologischen Bedingungen,
- Verbesserung der Siedlungsdurchlüftung,
- Förderung der Frischluftzufuhr durch lokale Windsysteme,
- Verminderung der Freisetzung von Luftschadstoffen und Treibhausgasen,
- Ermittlung und sachgerechte Bewertung vorhandener oder zu erwartender Belastungen,
- sachgerechte Reaktion auf Belastungssituationen durch Anpassung von Nutzungskonzepten.

Dabei ist zu beachten, dass jede Art von Bebauung einer derzeit unbebauten bzw. untergenutzten NBS-Fläche ihre human-biometeorologische Wertigkeit reduziert und den dadurch verursachten human-biometeorologischen Handlungsbedarf erhöht. Das jeweils exakte Ausmaß lässt sich nur über flächen- und nutzungs-spezifische Simulationen mit einem dafür geeigneten Modell, wie dem nachfolgend eingesetzten ENVI-met, ermitteln. Grenzwerte, z. B. für ein Minimum an notwendiger human-biometeorologischer Wertigkeit oder ein Minimum an notwendigem human-biometeorologischem Handlungsbedarf, existieren derzeit nicht.

Für die 59 NBS-Flächen, auf die das hier entwickelte human-biometeorologische Bewertungsverfahren angewandt wurde, lassen sich daher nur folgende allgemeinen Handlungsempfehlungen angeben, die ausschließlich an günstigen thermischen Bedingungen für Menschen in der bodennahen Atmosphäre bei groß-räumig vorgegebenem Hitzestress orientiert sind:

- versiegelte NBS-Flächen:
Umwandlung der derzeit vorhandenen Versiegelung durch Bebauung und Asphaltflächen in eine attraktive Grünflächennutzung mit großkronigen Laubbäumen,
- brachliegende NBS-Flächen:
Umwandlung der derzeit vorhandenen Brachen in eine attraktive Grünflächennutzung mit großkronigen Laubbäumen
- Gleisflächen und vergleichbare Sonderflächen:
Umwandlung der derzeitigen Flächennutzung in eine attraktive Grünflächennutzung mit großkronigen Laubbäumen
- Grünflächen:
Beibehaltung der Grünflächennutzung mit dem Ziel der Steigerung ihrer Attraktivität und der Ausstattung mit großkronigen Laubbäumen.

Inwieweit solche Idealvorstellungen aus der urbanen Human-Biometeorologie umsetzbar sind, bleibt der Abwägung in der Bauleitplanung vorbehalten. Die Anwendung dieser Handlungsempfehlungen auf NBS-Flächen in Stuttgart innerhalb eines variablen Zeitrahmens sollte neben der für sie ermittelten Klasseneinteilung auch die für sie bestimmten Indexwerte zur Wertigkeit und zum Handlungsbedarf berücksichtigen.

Da die Ausbildung des Stadtklimas - wie in der zitierten Städtebaulichen Klimafibel (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2012) und im Klimaatlas Region Stuttgart (Verband Region Stuttgart, 2008) ausführlich beschrieben - überwiegend auf der Umwandlung von Vegetationsflächen zu gebauter Stadt beruht, liegt in der Erhaltung und Wiedergewinnung der natürlichen Vegetation ein Schwerpunkt klimagerechter Stadtplanung.

Hierbei ist allerdings zu beachten, dass es sich bei der Mehrzahl der untersuchten Flächen um Bauflächen handelt, für die das vorhandene Baurecht eine Überbauung ermöglicht. Obwohl die Belange Klimaschutz und Klimaanpassung mit der Novellierung des Baugesetzbuchs einen höheren Stellenwert erhalten haben, ist in diesem Zusammenhang daran zu erinnern, dass sie weiter der Abwägung unterliegen und keiner der Belange einen absoluten Vorrang beanspruchen kann.

4.2.4 FAZIT ZUM HUMAN-BIOMETEOROLOGISCHEN BEWERTUNGSVERFAHREN

Es wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem sich Wärme bzw. Hitze in der bodennahen Atmosphäre über NBS-Flächen in Stuttgart in Bezug auf Menschen beurteilen lässt. Es beruht auf abgestuften Eigenschaften für thermische Indikatoren von 59 ausgewählten NBS-Flächen in Stuttgart, die über Ortsbegehungen aufgenommen wurden bzw. aus anderen Untersuchungen zum Stadtklima in Stuttgart zur Verfügung standen. Dieses human-biometeorologische Bewertungsverfahren, das sich weitgehend an der Lufttemperatur orientiert, liefert normierte Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf im derzeitigen Flächenzustand. Sie werden graduell in die Klassen „gering“, „mittel“ und „hoch“ unterteilt. Das Bewertungsverfahren wurde auf die 59 ausgewählten NBS-Flächen angewandt. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass das Bewertungsverfahren in sich stimmig ist. Regressionsanalytisch haben NBS-Flächen mit einer niedrigen Wertigkeit einen hohen Handlungsbedarf.

Unter Berücksichtigung der topographischen Bedingungen in Stuttgart ließen sich die 59 NBS-Flächen nach Kessellage, Tallage, Hanglage und Hochlage gruppieren. Für diese vier Gruppen ergaben sich spezifische Muster von Wertigkeit und Handlungsbedarf. Sie unterscheiden sich am stärksten zwischen den NBS-Flächen in Kessellage und in Hochlage. Bei den weitgehend versiegelten NBS-Flächen in Kessellage dominiert eine geringe Wertigkeit, die zu einem hohen Handlungsbedarf führt. Die NBS-Flächen in Hochlage weisen wegen ihrer derzeit oft grünen Flächennutzung eine mittlere bis hohe Wertigkeit auf, was keinen hohen Handlungsbedarf initiiert.

Aufgrund der Methodik des Bewertungsverfahrens, das ein auf Menschen bezogenes Screening der derzeitigen thermischen Eigenschaften im Sommer in der bodennahen Atmosphäre über den NBS-Flächen darstellt, können daraus nur allgemeine planerische Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Sie sind an der Verbesserung von derzeit ungünstigen thermischen Bedingungen bzw. Beibehaltung von bereits günstigen thermischen Bedingungen orientiert. Sie erfolgen ungeachtet aktuellen Baurechts bzw. des Charakters von Bauflächenpotenzialen. Die planerischen Handlungsempfehlungen, die auf die Reduzierung des lokalen Ausmaßes von großräumig vorgegebener Hitze abzielen, beziehen sich auf die Einrichtung von attraktiven Grünflächen mit großkronigen Laubbäumen bzw. die thermische Optimierung bestehender Grünflächen. Dadurch werden ein Anstieg der Wertigkeit bzw. eine Beibehaltung von bereits hoher Wertigkeit erzielt, was einen mittleren bis geringen Handlungsbedarf zur Folge hat.

Bei den meisten untersuchten Flächen handelt es sich um rechtskräftige Bauflächen, so dass die klimabezogenen Handlungsempfehlungen auf Grund des angewandten human-biometeorologischen Bewertungsverfahrens bei einer Neu- oder Umplanung von Flächen der Abwägung nach §1 Absatz 7 BauGB unterliegen. Obwohl der Klimaschutz mit der Novellierung des Baugesetzbuchs einen angemessenen Stellenwert erhalten hat, ist in diesem Zusammenhang daran zu erinnern, dass keiner der in die Abwägung einzustellenden Belange einen absoluten Vorrang beanspruchen kann.

Über das Screening lassen sich NBS-Flächen identifizieren, für die ein hoher Handlungsbedarf besteht. Aus den jeweiligen Indikatorenwerten lassen sich einfache, dennoch konkrete Handlungsempfehlungen ableiten. Im Falle einer hohen thermischen Belastung für Menschen kann das Screeningverfahren durch numerische Simulationen zum thermischen Komfort ergänzt werden. Die Informationen, die notwendig sind, um Planungsvarianten unter Berücksichtigung zukünftiger klimawandelbedingter Verschlechterungen zu optimieren, lassen sich damit in einer räumlich hohen und zeitlich geeigneten Auflösung erzeugen.

4.2.5 ERFASSUNG DER STADTKLIMATISCHEN RAHMENBEDINGUNGEN IM KLIMAPLANUNGSPASS

Entsprechend der Zielsetzung des Projekts (vgl. Kapitel 2) werden die Ergebnisse des human-biometeorologischen Bewertungsverfahrens, d. h. die den drei Klassen (gering - mittel - hoch) zugeordneten Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf in den KlippS - Klimaplanungspass zum jeweiligen Bauflächenpotenzial übernommen. Mittels der im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten Maske (Abb. 11) werden darüber hinaus die beim Amt für Umweltschutz und beim Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung bereits vorliegenden Erkenntnisse zu den einzelnen Bauflächenpotenzialen sowie weitere im Rahmen des Forschungsprojektes generierte Ergebnisse zusammenfassend dargestellt. Dabei werden einzelne Bewertungsindikatoren für den Handlungsbedarf dokumentiert und anschließend daraus Planungshinweise abgeleitet. Zudem können Empfehlungen zu vertiefenden Untersuchungen gegeben werden, die sich aus einer gemeinsamen Bewertung der Flächen durch Stadtklimatologen und Planer ergeben können, und ggf. weitere vorhandene Untersuchungsergebnisse eingetragen werden.

Folgende Inhalte sind im Klimaplanungspasszusammengefasst beschrieben und bewertet:

- thermischer Komfort: humanbiometeorologische Wertigkeit der Fläche und Handlungsbedarf für die Fläche
Bewertungsindikatoren: Bebauungsdichte, urbane Wärmeinsel, Kaltluftproduktion, Vulnerabilität, Lage/Umgebung,
- Luftqualität: Luftbelastungsindex
Bewertungsindikatoren: Feinstaubkonzentration, Stickstoffdioxidkonzentration,
- vertiefende Untersuchungen zum thermischen Komfort und zur Luftqualität,
- Fazit/Planungshinweise zum thermischen Komfort und zur Luftqualität,
- Ansprechpartner: Stadtklima und Stadtplanung,
- Karte Klimaatlas und human-biometeorologische Bewertung,
- Karte Kaltluftverhalten Umgebung.



KlippS – Erfassungsmaske

NBS Name

NBS Nr. xxx

Stadtbezirk: [Quelle: Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung \(61-2\), NBS Datenbank](#)
 Grundstücksfläche: ca. xx ha Verfügbarkeit:
 Eigentümer: Adresse: Flächennutzung:

Thermischer Komfort (TK) [Quelle: Forschungsbericht KLIMOPASS „KlippS-Klimaplanungspass Stuttgart“](#)

Bewertungsindikatoren:

Lage / Umgebung: ; Bebauungsdichte Umgebung:
 Urbane Wärmeinsel: ; Kaltluftproduktion: Vulnerabilität:
 → human-biometeorologische Wertigkeit: xx (.....) von max. 1.0
 → human-biometeorologischer Handlungsbedarf: xx (.....) von max. 1.0

Luftqualität (LQ)

[Quelle: Amt für Umweltschutz \(36-4\)](#)

Bewertungsindikatoren:

Feinstaubkonzentration (Jahresmittel): XX µg/m³
 Stickstoffdioxidkonzentration (Jahresmittel): XX µg/m³
 → Luftbelastungsindex: xx (.....) (1.0 bedeutet Grenzwert erreicht!)

Vertiefende Untersuchungen:

TK: [Quelle: Forschungsbericht KLIMOPASS „KlippS-Klimaplanungspass Stuttgart“](#) ; Material einsehen: (link - Medien/NBS)

LQ: [Quelle: Amt für Umweltschutz \(36-4\)](#) ; Material einsehen: (link - Medien/NBS)

Fazit/ Planungshinweise:

[Quelle: Amt für Umweltschutz \(36-4\) und Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung \(61-2\)](#)

TK: [Quelle: Forschungsbericht KLIMOPASS „KlippS-Klimaplanungspass Stuttgart“](#)

LQ: : [Quelle: Amt für Umweltschutz \(36-4\)](#)

Ansprechpartner Stadtklima:

Name
 (0711) 216 – 88 xxx
 Name@stuttgart.de

Ansprechpartner Stadtplanung:

Name
 (0711) 216 – 20 xxx
 Name@stuttgart.de

KlimaAtlas u. human-biomet. Bewertung

Kaltluftverhalten Umgebung

[Quelle: Forschungsbericht KLIMOPASS „KlippS-Klimaplanungspass Stuttgart“](#) ,
 Amt für Umweltschutz (36-4), KlimaAtlas Region Stuttgart

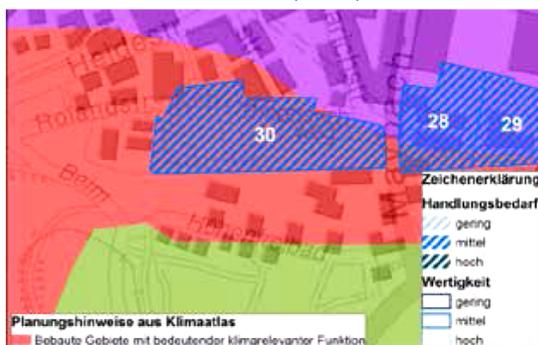


Abb. 11: Erfassungsmaske für den Klimaplanungspass

Die Ermittlung und Darstellung der human-biometeorologischen Rahmenbedingungen für die Um-/Wiedernutzung der Bauflächenpotenziale ist im Hinblick auf eine klimagerechte Stadtentwicklung und einer späteren Priorisierung der Flächenentwicklung unter klimatischen Gesichtspunkten von Bedeutung.

Die Daten sollen auch zukünftig entsprechend der Erfassungsmaske (Abb. 11) und auf Basis vorhandener Quellen sowie ggf. vertiefender Untersuchungen in enger Abstimmung zwischen dem Amt für Umweltschutz und dem Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung über die NBS-Plattform erfasst und in das städtische geographische Informationssystem SIAS eingepflegt und aktuell gehalten werden. Umgekehrt können Eingangsdaten zur Flächenbewertung innerhalb des geographischen Informationssystems zur Verfügung gestellt werden. Die Klimaplanungspässe sollen zukünftig browserbasiert dargestellt werden und zunächst nur verwaltungsintern zugänglich sein. Beispielhaft wird der Klimaplanungspass für die im Zuge des Forschungsprojektes vertieft untersuchten NBS-Flächen erstellt und in den jeweiligen Kapiteln abgebildet. Aufgrund des Projektauftrags liegen für die sieben Beispielflächen durch die ENVI-met Simulationen vertiefte Informationen vor, die für die „normale“ NBS-Fläche nicht angenommen werden können. Von daher beschränkt sich der Klimaplanungspass auf eine Informationstiefe, die standardmäßig angenommen werden kann.

4.3 NUMERISCHE SIMULATIONEN ZUM THERMISCHEN KOMFORT VON MENSCHEN IM STÄDTISCHEN FREIRAUM

4.3.1 RANDBEDINGUNGEN

Für die numerischen Simulationen zum thermischen Komfort von Menschen im städtischen Freiraum wurde das mikrometeorologische Modell ENVI-met in der Version 4.0 BETA eingesetzt. Die horizontale Gitterweite wurde auf 3 m festgesetzt bzw. bei kleineren NBS-Flächen auf 2 m reduziert. Bei einer Verfügbarkeit von maximal 150 horizontalen Gitterzellen umfassen damit die Simulationsgebiete eine Fläche von maximal 450 m · 450 m bzw. 300 m · 300 m. Die vertikale Gitterweite beträgt 3 m in einer Schicht, die von der Bodenoberfläche bis in ca. 50 m Höhe reicht. In höheren Schichten wurde für die vertikale Auflösung ein „telescoping“ Verfahren angewandt, das die vertikale Gitterweite bei jeder Gitterzelle um jeweils 20% erhöht. Die Obergrenze des Simulationsgebiets liegt immer bei ca. 150 m über Grund.

Für die physikalischen Eigenschaften der Gebäude, Straßenflächen, Grasflächen und Bäume wurden Standardwerte verwendet, die im ENVI-met Setup enthalten sind. Zur Strömungsinitialisierung wurden Werte für Windrichtung (250°, d. h. WSW) und Windgeschwindigkeit (1.1 m), jeweils in 10 m Höhe über Grund, verwendet, mit denen bereits frühere ENVI-met Simulationen für Gebiete in Stuttgart erfolgten (Ketterer et al., 2013). Damit ist eine Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erfüllt.

Die numerischen Simulationen wurden für sieben ausgewählte NBS-Flächen durchgeführt. Zur ersten human-biometeorologischen Einschätzung sind ihnen die Ergebnisse aus dem human-biometeorologischen Bewertungsverfahren (siehe Kapitel 4.2.2) zugeordnet. Zusätzlich sind die sieben Flächen nach dem neuen internationalen Konzept der 'local climate zones (LCZ)' (Stewart and Oke, 2012; Stewart et al., 2014) klassifiziert, das auf spezifischen Mustern der bodennahen Lufttemperatur beruht. Bei diesen Flächen handelt es sich um:

- NBS-Fläche 30 (Feuerbach, Maybachstraße West (ehem. Messeparkplatz)), mittlere Wertigkeit, mittlerer Handlungsbedarf, LCZ: Kombination aus LCZ A ('dense trees') und LCZ E ('bare rock or paved');
- NBS-Fläche 47 (Bad Cannstatt, ehem. Bettfedernfabrik), mittlere Wertigkeit, mittlerer Handlungsbedarf, LCZ 5 ('open mid-rise');
- NBS-Fläche 768 (Ost, EnBW Areal Hackstraße), mittlere Wertigkeit, hoher Handlungsbedarf, LCZ 2 ('compact mid-rise');
- NBS-Fläche 772 (Mitte, Kaufhof Parkhaus), geringe Wertigkeit, hoher Handlungsbedarf, LCZ 2 ('compact mid-rise'); da sich die NBS-Fläche 865 (Mitte, Rathausgarage; geringe Wertigkeit, hoher Handlungsbedarf, LCZ 2 ('compact mid-rise')) im Simulationsgebiet für die NBS-Fläche 772 befindet, wurde die NBS-Fläche 865 in die Simulationen einbezogen;
- NBS-Fläche 818 (Nord, Bürgerhospital), mittlere Wertigkeit, mittlerer Handlungsbedarf, LCZ 2 ('compact mid-rise');
- NBS-Fläche 1061 (West, W&W Johannesstraße), mittlere Wertigkeit, hoher Handlungsbedarf, LCZ 2 ('compact mid-rise').

Bei allen sieben NBS-Flächen wurden numerische Simulationen für die folgenden Szenarien durchgeführt:

- Szenario A: derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche;
- Szenario B: NBS-Fläche hypothetisch in eine reine Asphaltfläche umgenutzt;
- Szenario C: NBS-Fläche hypothetisch in eine reine Grünfläche mit Grasland und Laubbäumen umgenutzt;
- Szenario D: Planungsvariante mit Grün für die NBS-Fläche;
- Szenario E: Planungsvariante ohne Grün für die NBS-Fläche.

Für die sieben NBS-Flächen wurde die jeweilige Planungsvariante in den Szenarien D und E vom Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung der Landeshauptstadt Stuttgart, Abteilung Stadtentwicklung, auf der Grundlage von existierenden Planungsentwürfen bereitgestellt. Zusätzlich erfolgten für die NBS-Fläche 30 numerische Simulationen in Bezug auf den Standort von Straßenbäumen.

Die Bäume im Szenario C sind Laubbäume mit kugelförmiger Krone. Sie sind zeilenweise wie folgt in Zellen angeordnet:

- 8 Zellen Abstand zwischen zwei benachbarten Bäumen in longitudinaler Richtung;
- 10 Zellen Abstand zwischen zwei benachbarten Bäumen in lateraler Richtung;
- Baumdimensionen variieren abwechselnd zeilenweise;
- Bäume in der oberen Zeile mit einer Höhe von 18 m und einem maximalen horizontalen Kronendurchmesser von 13 m;
- Bäume in der nächsten „Baumzeile“, d. h. nach 10 Zellen Abstand, mit einer Höhe von 15 m und einem maximalen horizontalen Kronendurchmesser von 11 m.

Aus technischen Gründen sind die Simulationsgebiete meistens nicht genordet. Damit lässt sich erreichen, dass die Gebäude so weit wie möglich parallel bzw. orthogonal zum Gitternetz liegen. Zur Orientierung enthalten die Abbildungen Nordpfeile.

Da Hitze im Sommer die dominierende atmosphärische Rahmenbedingung für diese Untersuchung bildet, wurden die numerischen Simulationen für zwei Sommertage durchgeführt, die sich durch die Intensität von Hitze unterscheiden:

- 23. Juni 2011 als Beispiel für einen Sommertag unter der derzeitigen atmosphärischen Situation, für den bereits Ergebnisse aus anderen Untersuchungen zum Stadtklima in Stuttgart vorliegen;
- 4. August 2003 (innerhalb der zweiten Hitzewelle 2003 in Mittel- und Westeuropa) als Beispiel für einen sehr heißen Sommertag, wie er zukünftig aufgrund der Resultate aus regionalen Klimasimulationen für Mitteleuropa häufiger auftreten wird.

Als Zielgrößen für die Beschreibung des thermischen Komforts für Menschen im städtischen Freiraum dienen hier die Variablen T_a , T_{mrt} und PET, die auf eine Höhe von 1.5 m über Grund bezogen werden. Damit wird die human-biometeorologische Referenzhöhe von 1.1 m über Grund näherungsweise erreicht. Für die

Einschätzung der thermischen Unterschiede der Bodenoberfläche werden zusätzlich Simulationsresultate für die Bodenoberflächentemperatur T_s herangezogen.

Um eine geeignete zeitliche Repräsentativität zu erzielen, wurden die Einzelergebnisse in Form von Stundenwerten über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ gemittelt. Er steht für eine Zeitspanne, in der im mitteleuropäischen Sommer die Wärme- bzw. Hitzebelastung für Menschen im städtischen Freiraum am größten ist (Holst und Mayer, 2011; Lee et al., 2013, 2014).

In den folgenden Abbildungen, die Ergebnisse aus den ENVI-met Simulationen enthalten, sind

- die Ränder der NBS-Flächen rot bzw. schwarz markiert;
- die Grundrisse von Gebäuden weiß dargestellt.

Exemplarisch für die NBS-Fläche 818 (Nord, Bürgerhospital) werden im Textteil dieses Berichts die Simulationsergebnisse in Form von gitterzellenbezogenen Abbildungen für den Hitzewellentag 4. August 2003 dargestellt. Für die anderen sechs NBS-Flächen sind im Anhang nur die PET Simulationsergebnisse als gitterzellenbezogene Abbildungen enthalten.

Zusätzlich zu dieser Ergebnisdarstellung werden die auf Gitterzellen bezogenen Simulationsergebnisse für T_a , T_s , T_{mrt} und PET in Mittelwerte je NBS-Fläche zusammengefasst und sowohl im Textteil als auch im Anhang präsentiert. Dabei ist zu beachten, dass die Anzahl der Gitterzellen, die den städtischen Freiraum repräsentieren, in Abhängigkeit von der Anzahl und dem Ausmaß der Gebäude je Szenario variieren kann.

In Ergänzung zur Tagsituation werden für beide Simulationstage auch Mittelwerte von T_a , T_s , T_{mrt} und PET für die Nacht, d. h. als Mittel über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ, angegeben - allerdings nur in Form von Tabellen mit Mittelwerten für die einzelnen Szenarien je simulierter NBS-Fläche.

4.3.2 NBS-FLÄCHE 818 (NORD, BÜRGERHOSPITAL)

4.3.2.1 GRUNDLAGEN UND FLÄCHENSZENARIEN

Die NBS-Fläche 818 (ca. 3.94 ha) befindet sich in Hanglage nordnordwestlich des Zentrums von Stuttgart. Diese Innenentwicklungsfläche liegt in topographisch bewegter Lage am unmittelbaren Rand der Stuttgarter City und den Entwicklungsflächen des Projekts Stuttgart 21. Die Potenzialfläche ist durch den „Patientengarten“ mit erhaltenswertem Bestandsgrün geprägt und ansonsten dicht bebaut. Aufgrund der Zentralisierung der städtischen Kliniken wird dieses Areal frei. Ein Rahmenplan mit drei alternativen Bebauungsvarianten wurde erarbeitet und in den gemeinderätlichen Gremien vorgestellt. Mit der Variante „Wohnen am Park“ des Rahmenplans liegt eine hinreichend klare planerische Vorstellung vor, deren human-biometeorologische Auswirkungen beispielhaft über numerische Simulationen ermittelt werden sollen. Es handelt sich hierbei um eine typische Planungsaufgabe, da hier - ausgelöst durch den Strukturwandel im Gesundheitswesen - größere, bisher für Gemeinbedarfe vorgehaltene Areale frei werden.

Für diese Fläche wurden über das human-biometeorologische Bewertungsverfahren folgende Indexwerte ermittelt:

- human-biometeorologische Wertigkeit: 0.400 (Klasse „mittel“),
- human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.694 (Klasse „mittel“).

Diese Indexwerte liegen bei der Wertigkeit relativ nahe an der Klasse „gering“ bzw. beim Handlungsbedarf relativ nahe an der Klasse „hoch“.



Abb. 12: Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 818 (lila umrandet) anhand eines Luftbilds

Die Abb. 12 gibt einen Überblick über den derzeitigen Zustand auf dieser NBS-Fläche. In der Abb. 13 sind die topographischen Bedingungen auf der NBS-Fläche 818 und in ihrer näheren Umgebung dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass auf dieser Fläche Höhenunterschiede von maximal 40 m auftreten. Unter Berücksichtigung der näheren Umgebung weist das Gelände Höhenunterschiede von maximal 55 m auf.

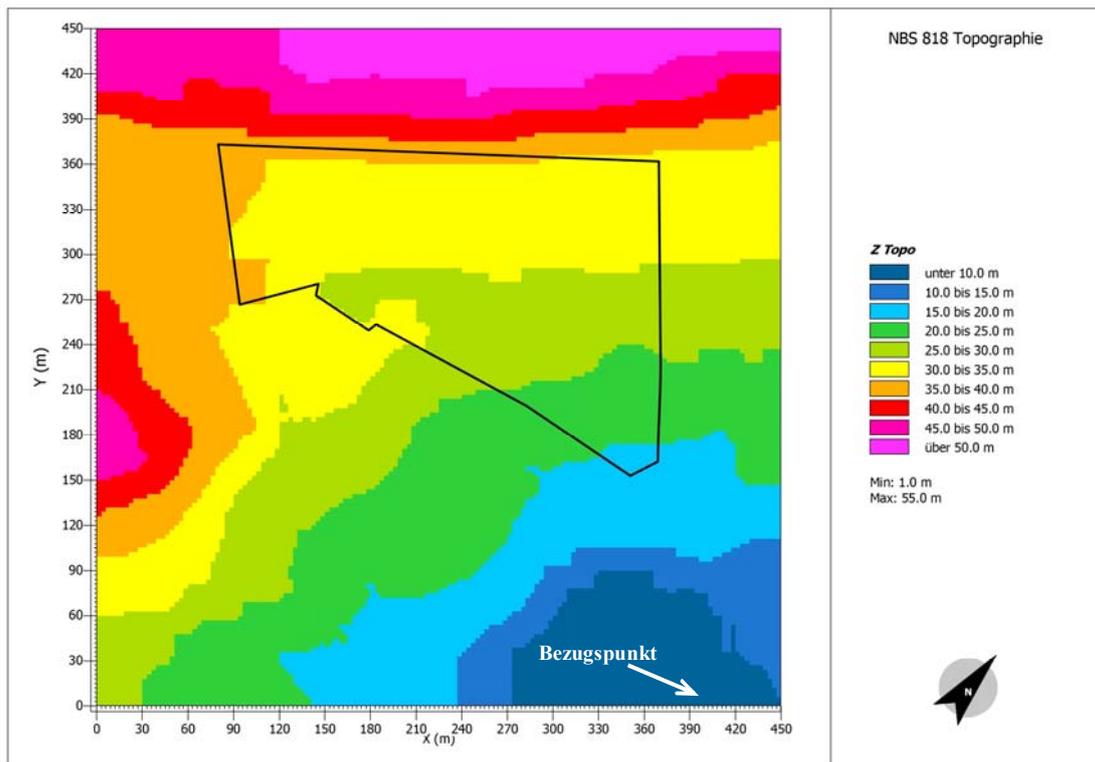


Abb. 13: Topographische Situation auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Bezugspunkt: unten rechts in 247 m über NN

Für die ENVI-met Simulationen wurde der derzeitige Zustand auf der NBS-Fläche 818 und in ihrer Umgebung (Szenario A) in ein gitterzellenbezogenes „area input file“ umgewandelt, das in der Abb. 14 visualisiert ist. Die Abb. 15 und Abb. 16 zeigen die Flächenszenarien Szenario B (NBS-Fläche 818 als reine Asphaltfläche) und C (NBS-Fläche 818 als reine Grünfläche, bestehend aus Grasland und Laubbäumen). Die Abb. 17 und Abb. 18 enthalten eine Planungsvariante, die im Bereich der NBS-Fläche 818 grüne Flächen berücksichtigt (Szenario D) bzw. komplett ausschließt (Szenario E). Die Höhe der Gebäude in der Planungsvariante schwankt zwischen 12 und 18 m. Lediglich zwei Gebäude in der linken oberen Ecke der NBS-Fläche haben eine Höhe von 21 m. Die Höhe der Bäume variiert zwischen 6 m (maximaler horizontaler Kronendurchmesser: 5 m) und 15 m (maximaler horizontaler Kronendurchmesser: 11 m)



Abb. 14: NBS-Fläche 818 (rot umrandet) in der derzeitigen Flächensituation (Szenario A) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 15: NBS-Fläche 818 (rot umrandet) als reine Asphaltfläche (Szenario B) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 16: NBS-Fläche 818 (rot umrandet) als reine Grünfläche (Szenario C) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 17: NBS-Fläche 818 (rot umrandet) in einer Planungsvariante mit Grün (Szenario D) für die ENVI-met Simulationen

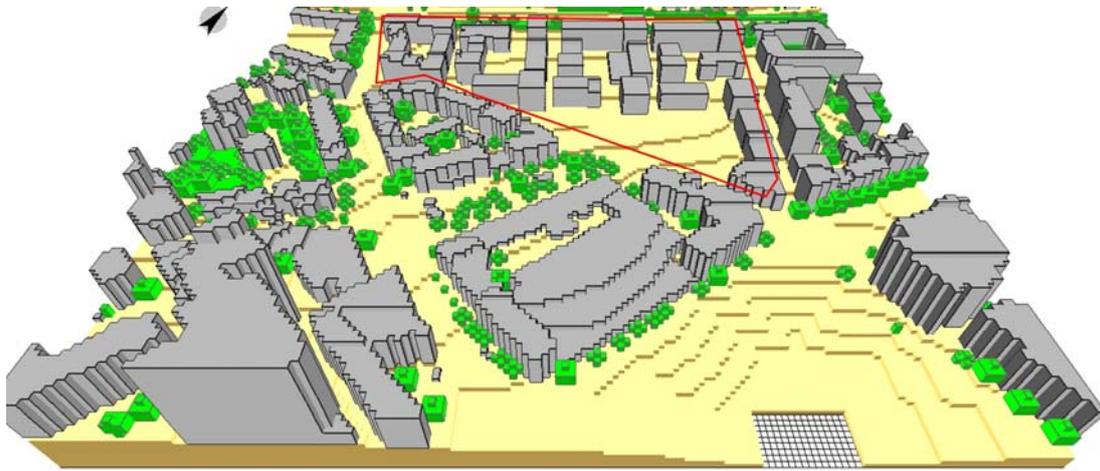


Abb. 18: NBS-Fläche 818 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber ohne Grün (Szenario E) für die ENVI-met Simulationen

Um eine Übersicht über die Größenordnungen der Landnutzungen in den einzelnen Szenarien zu erhalten, sind in der Tab. 28 die prozentualen Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und der maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten NBS-Fläche 818 zusammengestellt. Daraus wird deutlich, dass in den Szenarien D und E der Anteil der Gebäudeflächen gegenüber dem Szenario A leicht erhöht ist. Im Gegensatz zum Szenario A weist das Szenario D einen geringeren Anteil an Asphaltflächen, aber einen größeren Anteil an Graslandflächen auf. Die maximale horizontale Kronenquerschnittsfläche von Bäumen ist im Szenario D geringfügig erhöht.

Tab. 28: Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (3.94 ha) von NBS 818

Szenario	Gebäude	Asphalt	Gras	Stammquerschnittsflächen	maximale Kronenquerschnittsflächen
A (derzeitig)	32%	42%	24%	2%	10%
B (Asphalt)	0%	100%	0%	0%	0%
C (Grün)	0%	0%	98%	2%	25%
D (Planung mit Grün)	34%	33%	30%	3%	12%
E (Planung ohne Grün)	34%	66%	0%	0%	0%

4.3.2.2 SIMULATIONSRESULTATE

Die gitterzellenbezogenen Ergebnisse der numerischen Simulationen für den Hitzewelltag 4. August 2003 sind in Abb. 19 bis Abb. 32 enthalten. Für den Hitzewelltag werden folgende Ergebnisse in Form von Mittelwerten über 10 bis 16 Uhr MEZ präsentiert:

- T_a für das Szenario A (Abb. 19),
- T_a Differenz zwischen den Szenarien B und C (Abb. 20),

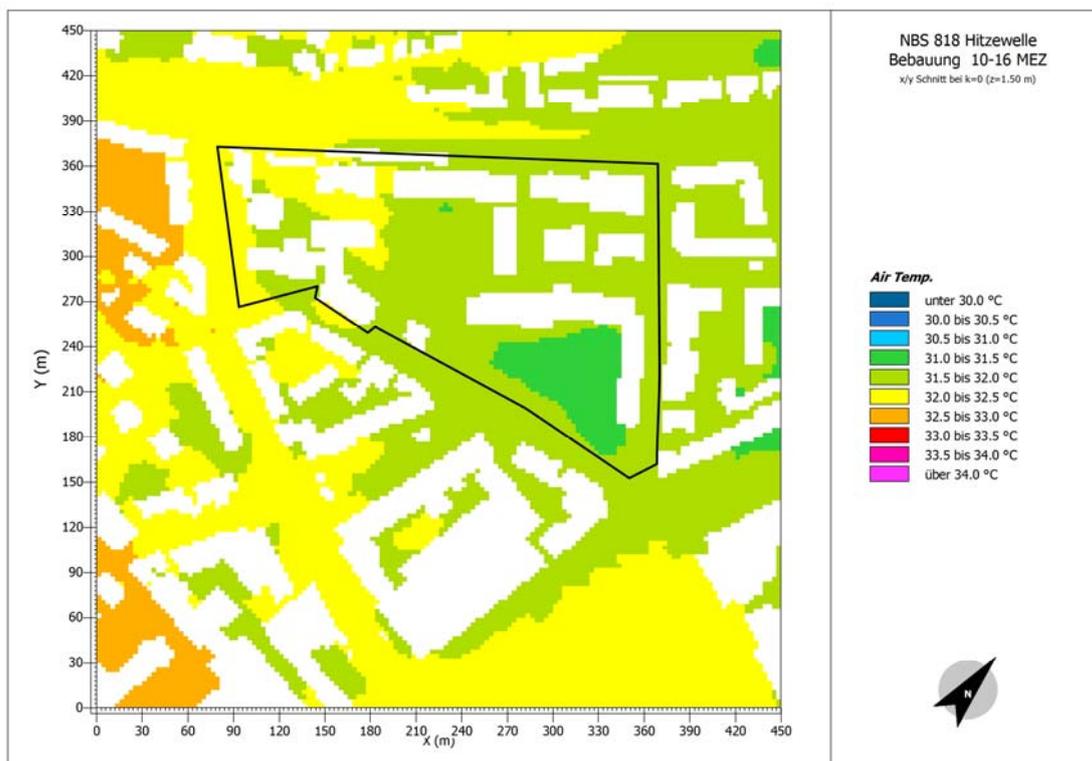


Abb. 19: Simulation der Lufttemperatur T_a in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003

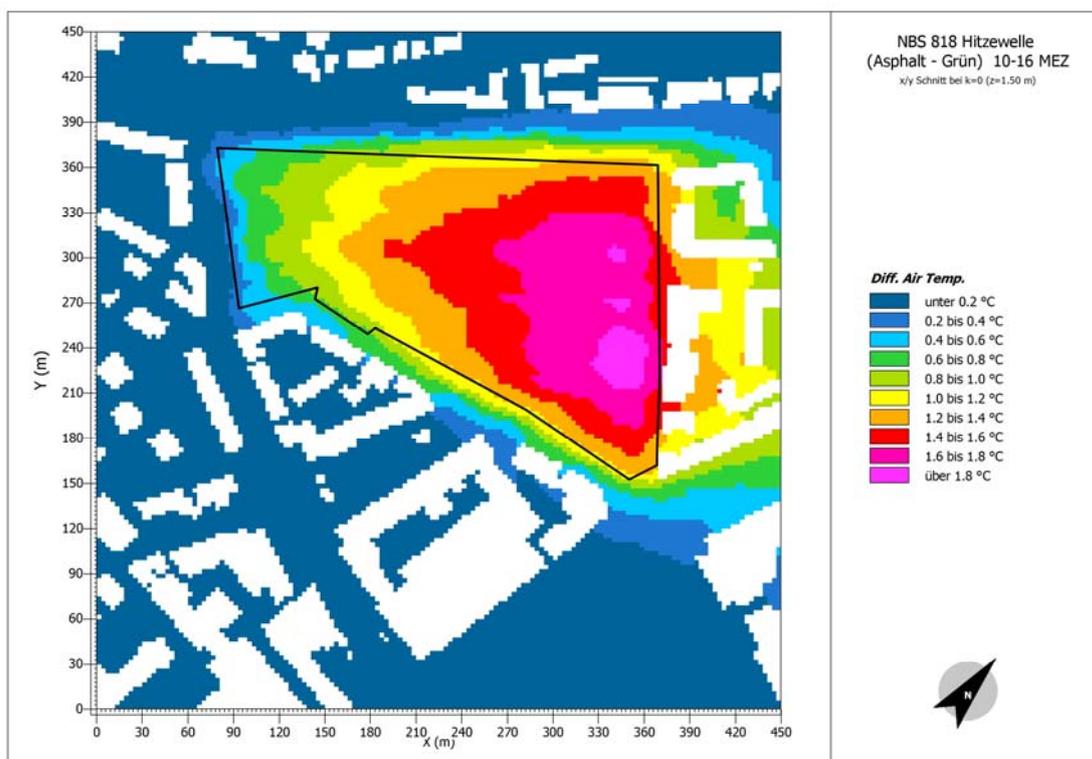


Abb. 20: Simulation der mittleren Differenz der Lufttemperatur T_a in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

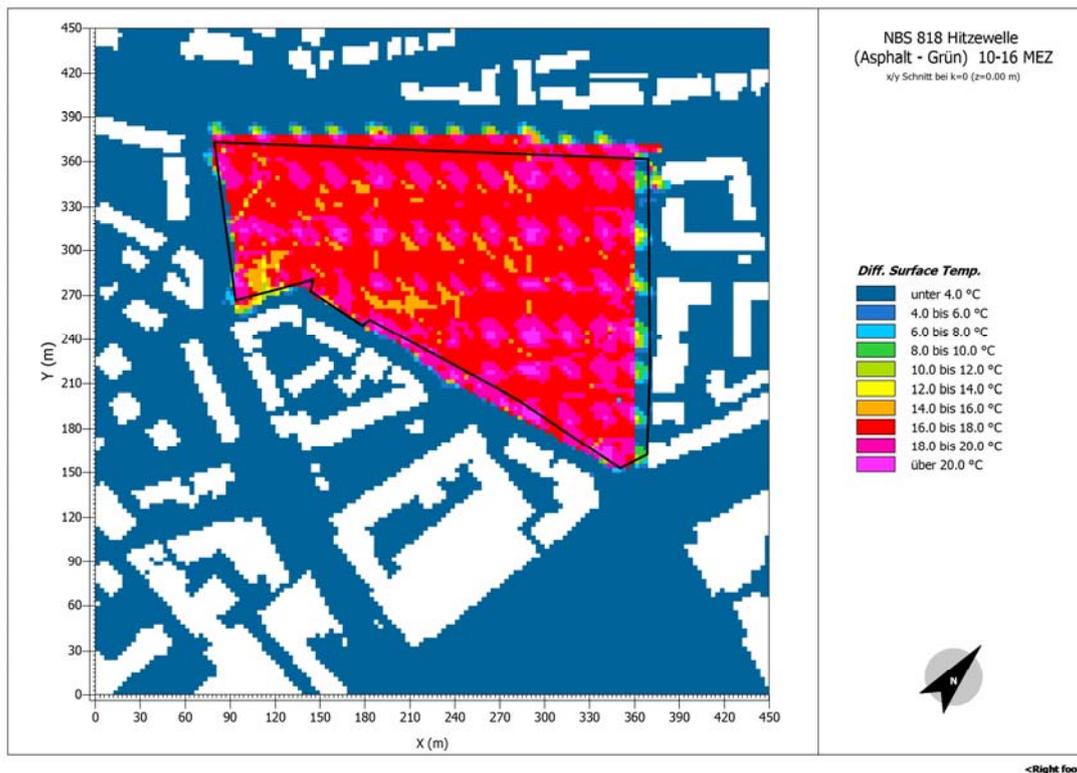


Abb. 21: Simulation der mittleren Differenz der Bodenoberflächentemperatur T_s zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

- T_s Differenz zwischen den Szenarien B und C (Abb. 21),
- T_{mrt} für das Szenario A (Abb. 22),
- T_{mrt} Differenz zwischen den Szenarien B und C (Abb. 23),
- PET für das Szenario A (Abb. 24),
- PET Differenz zwischen den Szenarien B und C (Abb. 25),
- T_a für das Szenario D (Abb. 26),
- T_a Differenz zwischen den Szenarien E und D (Abb. 27),
- T_s Differenz zwischen den Szenarien E und D (Abb. 28),
- T_{mrt} für das Szenario D (Abb. 29),
- T_{mrt} Differenz zwischen den Szenarien E und D (Abb. 30),
- PET für das Szenario D (Abb. 31),
- PET Differenz zwischen den Szenarien E und D (Abb. 32).

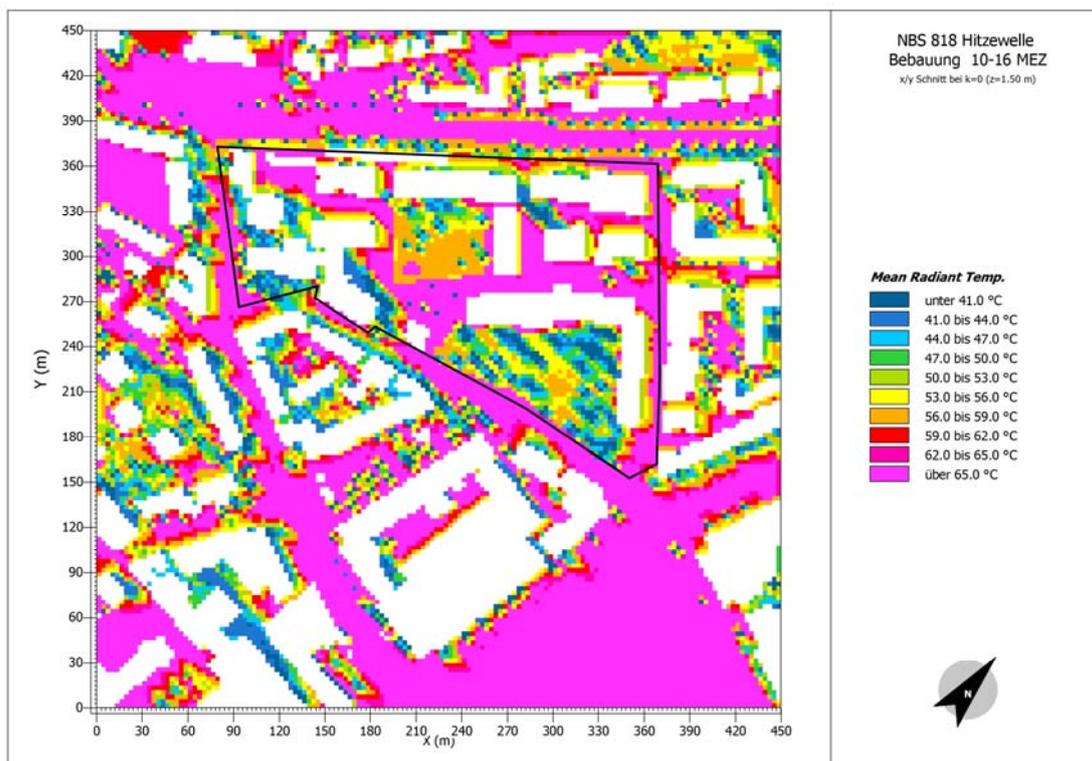


Abb. 22: Simulation der mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003

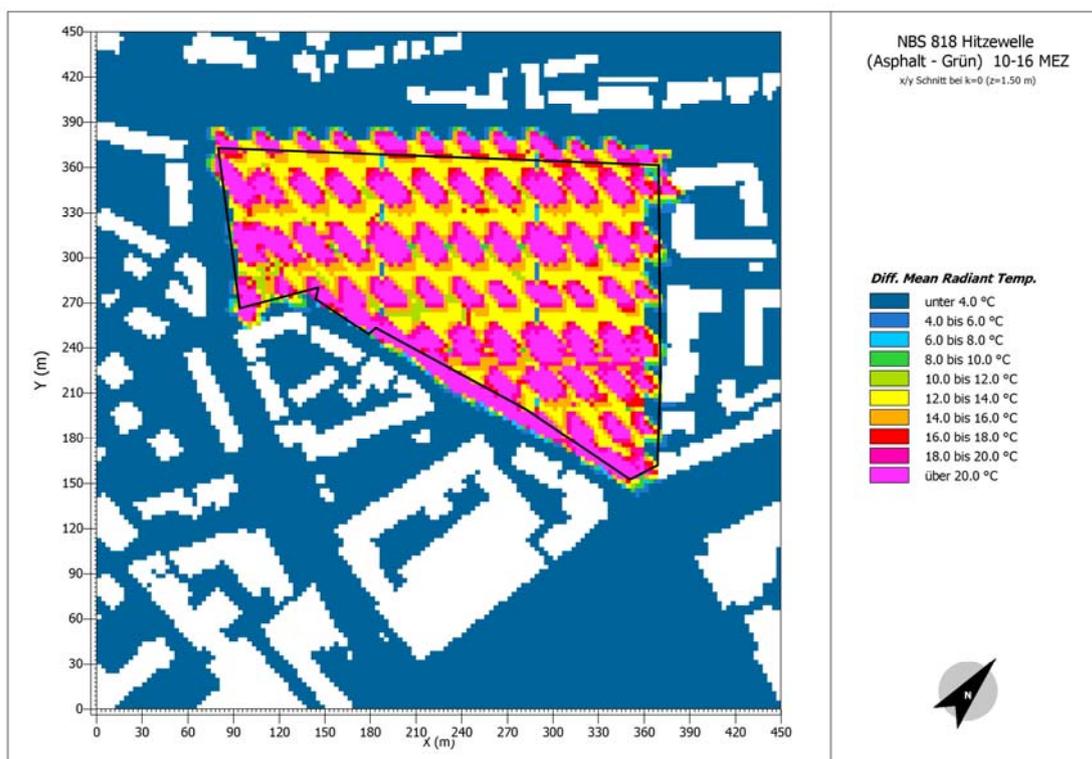


Abb. 23: Simulation der mittleren Differenz der mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

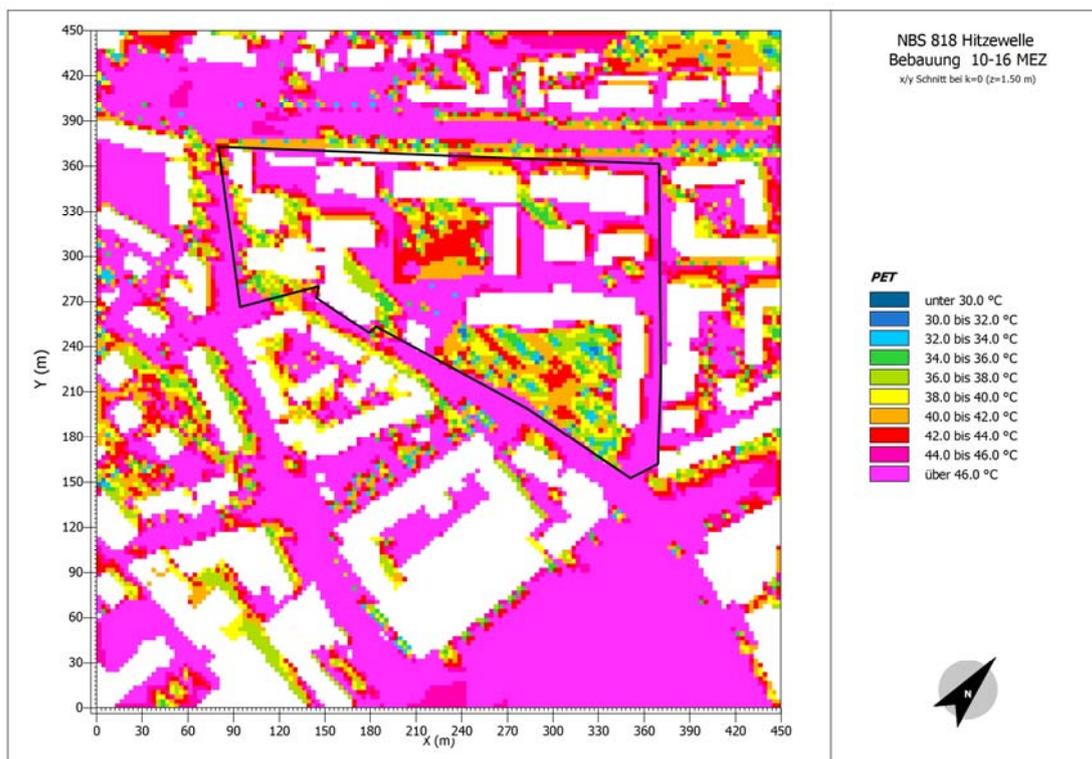


Abb. 24: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003

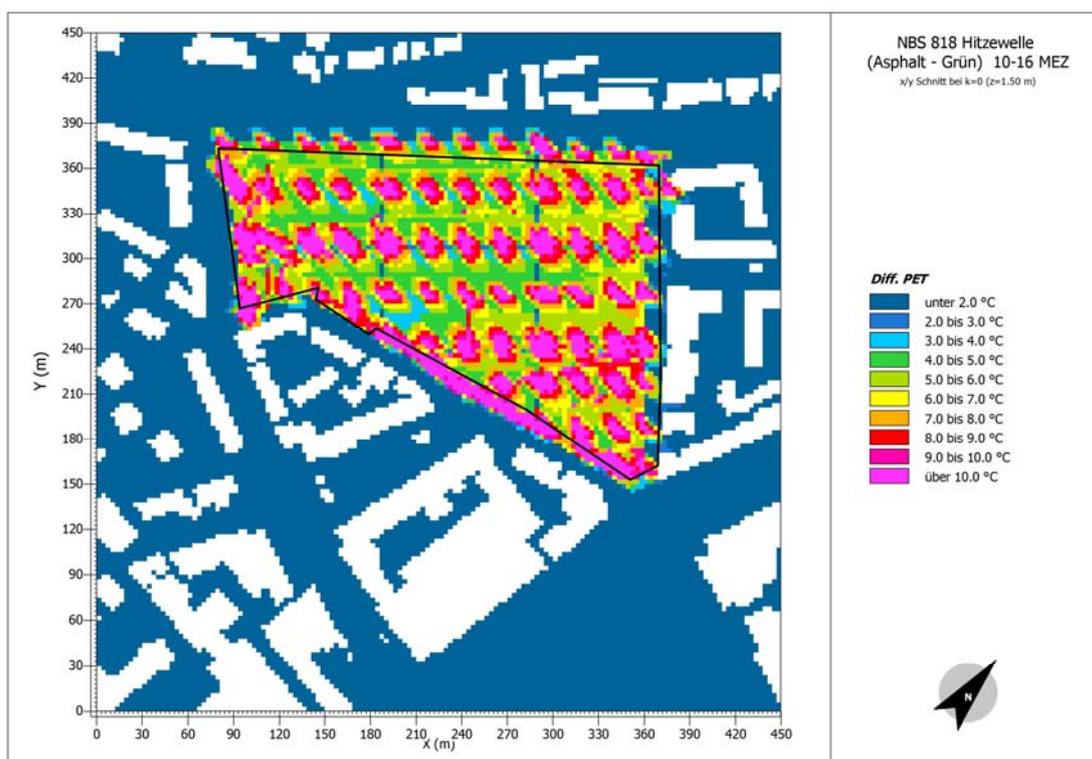


Abb. 25: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

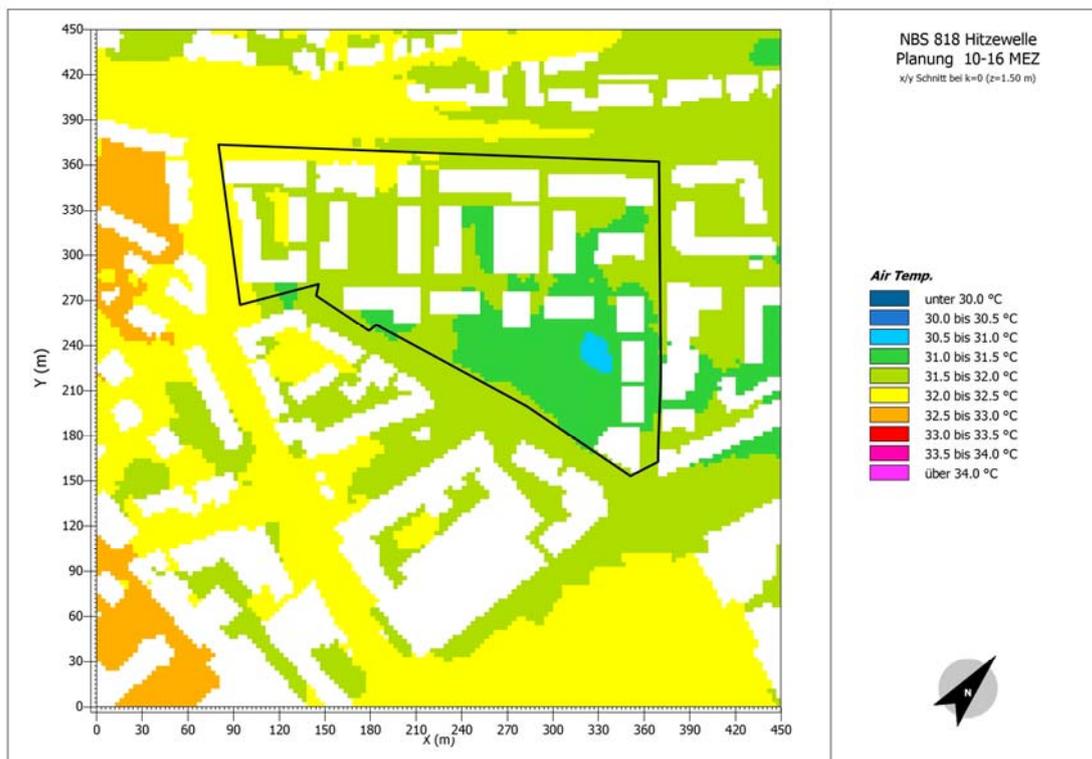


Abb. 26 Simulation der Lufttemperatur T_a in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003

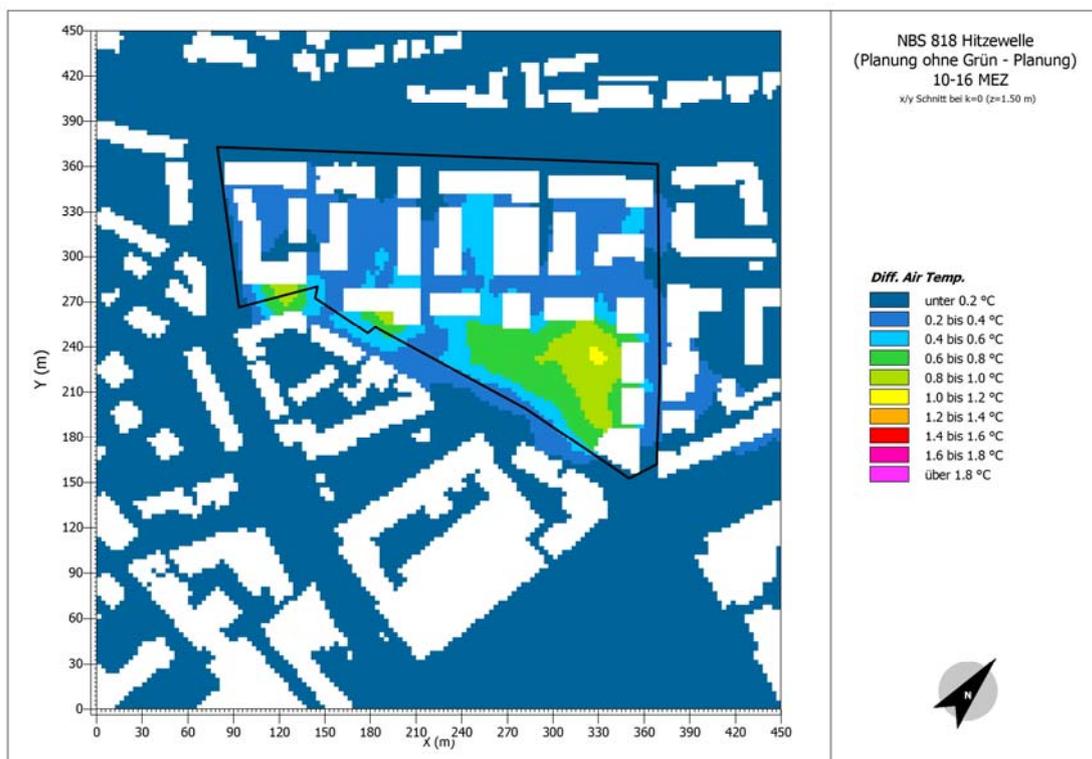


Abb. 27: Simulation der mittleren Differenz der Lufttemperatur T_a in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

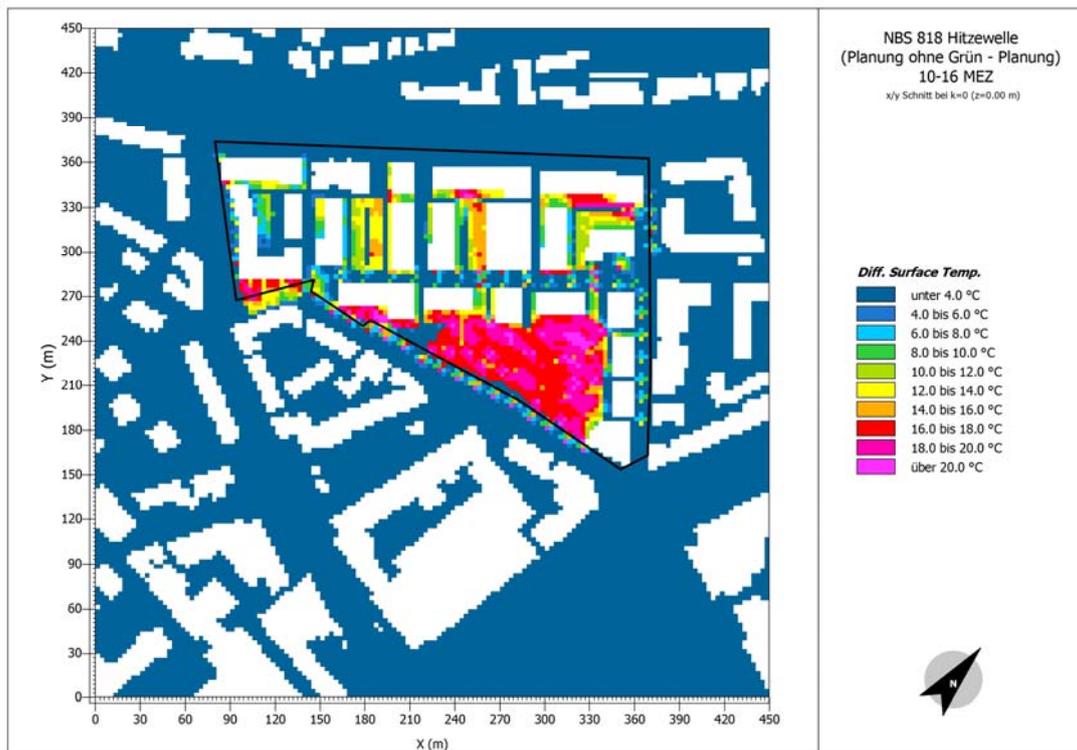


Abb. 28: Simulation der mittleren Differenz der Bodenoberflächentemperatur T_s zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

Die in Abb. 19 bis Abb. 32 enthaltenen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Im Szenario A (derzeitiger Flächenzustand) liegt die räumliche Variation von T_a bei maximal ca. 1.6 °C sowie von T_{mrt} und PET bei maximal ca. 14 °C.
- Die Differenzen zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) beschränken sich bei T_s , T_{mrt} und PET auf die NBS-Fläche selbst, während sie bei T_a infolge der vorgegebenen Windrichtung und der damit zusammenhängenden Austauschprozesse in der bodennahen Atmosphäre, die für T_a relevant sind, in das Lee der Fläche reichen. Aus diesem Grund treten bei T_a die maximalen Differenzen im nordöstlichen Bereich der NBS-Fläche 818 auf.
- Das Szenario B weist für die hier untersuchten Zielgrößen höhere Werte als das Szenario C auf. Der Unterschied zwischen den Szenarien B und C beträgt für T_a maximal 1.9 °C, für T_s maximal 21 °C, für T_{mrt} maximal 22 °C und für PET maximal 12 °C.
- Im Szenario D (Planungsvariante mit Grün) liegen die räumlichen Variationen von T_a bei maximal 2 °C, von T_{mrt} bei maximal 24 °C und von PET bei maximal 15 °C.
- Die Differenzen zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D erreichen bei T_a maximal 1.2 °C, bei T_s und T_{mrt} maximal 21 °C sowie bei PET maximal 11 °C.

Es zeigt sich, dass eine grüne Flächennutzung aus Grasland und genügend großkronigen Bäumen die lokale thermische Belastung (Stufe „heiß“), die für Menschen tagsüber im städtischen Freiraum vorhanden ist, um ein bis zwei thermische Empfindungsstufen (Tab. 1) reduziert.

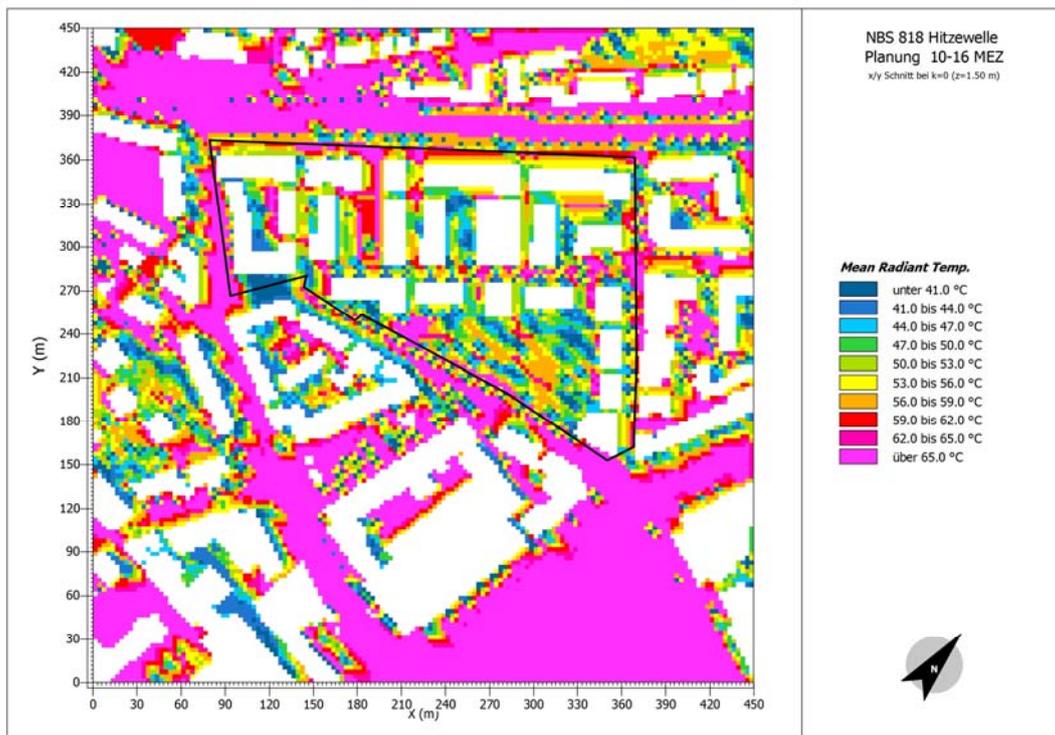


Abb. 29: Simulation der mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003

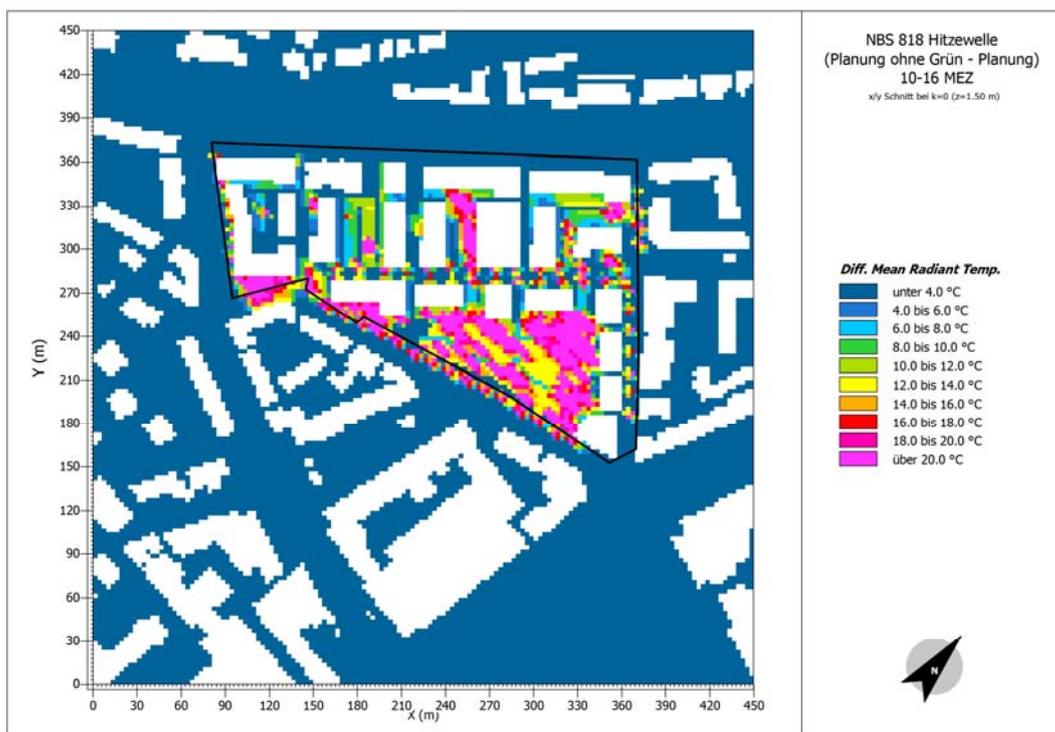


Abb. 30: Simulation der mittleren Differenz der mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

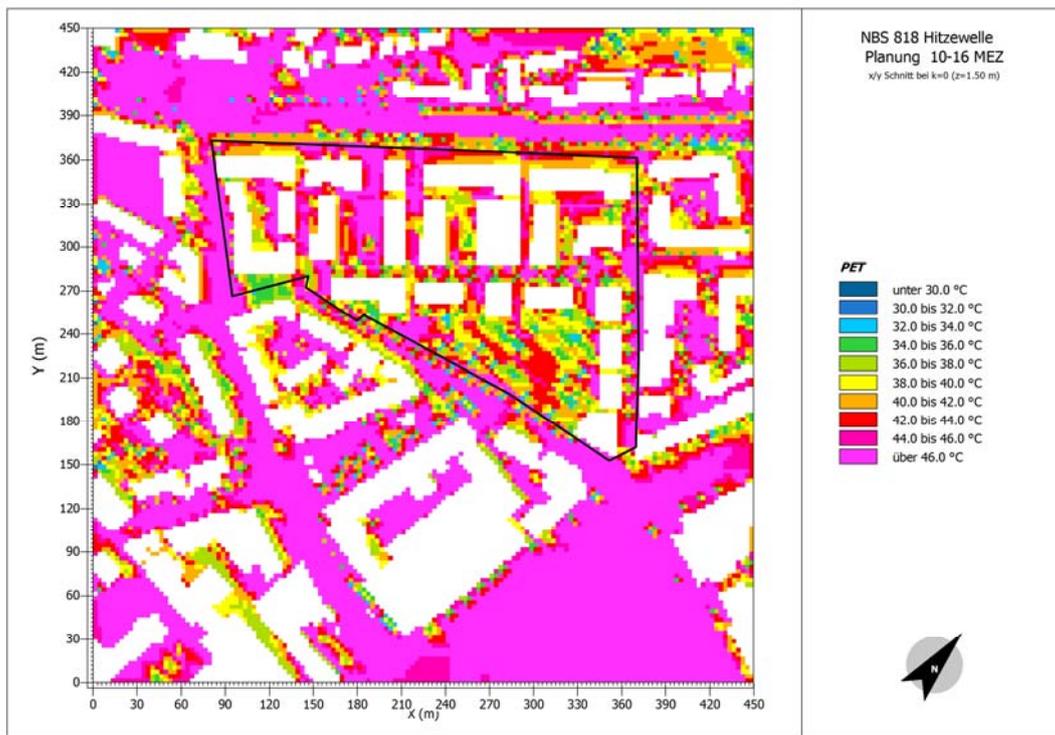


Abb. 31: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003

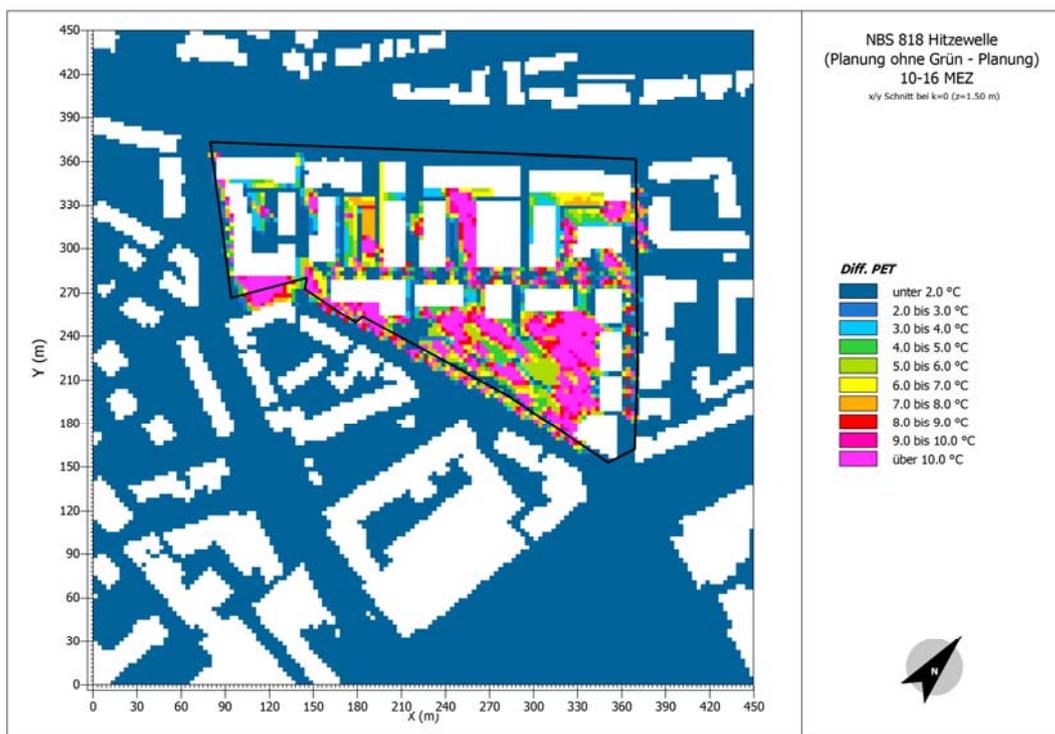


Abb. 32: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

Die gitterzellenbezogenen Simulationsergebnisse, die für die NBS-Fläche 818 am Hitzewellentag 4. August 2003 (Abb. 19 bis Abb. 32) als Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ erzielt wurden, sind in der Tab. 29 als Flächenmittelwerte für die Zielgrößen T_a , T_s , T_{mrt} und PET einschließlich der jeweiligen Standardabweichungen zusammengefasst. Ergänzend dazu enthält die

- Tab. 30 Flächenmittelwerte für die Zielgrößen T_a , T_s , T_{mrt} und PET über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ einschließlich der jeweiligen Standardabweichungen am Sommertag 23. Juni 2011,
- Tab. 31 Flächenmittelwerte für die Zielgrößen T_a , T_s , T_{mrt} und PET über den nächtlichen Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ einschließlich der jeweiligen Standardabweichungen am Hitzewellentag 4. August 2003,
- Tab. 32 Flächenmittelwerte für die Zielgrößen T_a , T_s , T_{mrt} und PET über den nächtlichen Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ einschließlich der jeweiligen Standardabweichungen am Sommertag 23. Juni 2011.

Tab. 29: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 818 am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	31.7	0.24	39.8	7.83	56.6	10.11	43.2	4.96
B (Asphalt)	32.4	0.09	48.5	0.93	68.3	0.82	46.4	1.35
C (Grün)	31.1	0.33	30.9	1.17	50.0	5.76	39.0	2.57
D (Planung mit Grün)	31.6	0.30	37.0	6.24	53.1	8.11	42.2	4.38
E (Planung ohne Grün)	32.0	0.14	45.0	5.58	62.5	7.66	47.1	4.12
B-C	1.3	0.36	17.6	1.27	18.3	5.78	7.4	2.73
E-D	0.4	0.26	8.0	7.61	9.4	9.58	4.9	4.92

Tab. 30: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 818 am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	20.5	0.15	32.3	7.87	49.0	9.86	31.5	4.85
B (Asphalt)	21.0	0.11	41.0	0.88	59.2	0.80	32.8	1.77
C (Grün)	20.0	0.18	23.8	1.48	42.6	6.23	27.0	2.72
D (Planung mit Grün)	20.4	0.18	29.2	6.55	46.0	8.20	31.2	4.61
E (Planung ohne Grün)	20.6	0.10	37.5	5.50	55.1	7.08	35.7	4.39
B-C	1.0	0.27	17.2	1.60	16.6	6.27	5.8	2.86
E-D	0.2	0.14	8.3	7.82	9.1	9.36	4.5	4.67

Tab. 31: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 818 am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	28.3	0.30	23.8	1.87	18.3	0.76	23.2	0.27
B (Asphalt)	28.6	0.25	26.2	0.45	18.6	0.23	23.4	0.22
C (Grün)	26.4	2.41	21.4	0.45	18.2	0.42	21.7	1.95
D (Planung mit Grün)	28.1	0.39	23.2	1.71	17.9	0.81	23.0	0.34
E (Planung ohne Grün)	28.7	0.23	24.6	1.23	17.8	0.44	23.4	0.21
B-C	2.2	2.41	4.8	0.85	0.4	0.53	1.7	1.96
E-D	0.6	0.38	1.4	1.60	-0.1	0.66	0.4	0.33

Tab. 32: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 818 am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	16.6	0.11	17.2	1.46	9.9	1.08	11.9	0.84
B (Asphalt)	16.7	0.10	17.6	0.17	7.6	0.32	10.6	0.31
C (Grün)	16.3	0.11	15.2	0.31	9.7	0.51	11.4	0.38
D (Planung mit Grün)	16.5	0.14	17.1	1.41	10.3	0.84	12.4	0.89
E (Planung ohne Grün)	16.7	0.10	18.1	0.91	9.5	0.90	12.2	0.98
B-C	0.4	0.12	2.4	0.22	-2.1	0.50	-0.8	0.22
E-D	0.2	0.16	1.0	1.25	-0.8	0.98	-0.2	0.42

Aus Tab. 29 bis Tab. 32 folgt insgesamt:

- Erwartungsgemäß weisen für alle Flächenszenarien die Zielgrößen am Hitzewellentag deutliche höhere Mittelwerte als am Sommertag auf. Bei T_a sind die Standardabweichungen am Hitzewellentag tendenziell leicht größer als am Sommertag, d. h. die Streuung der einzelnen T_a Gitterwerte ist am Hitzewellentag etwas größer. Dieses Muster besteht bei T_s und T_{mrt} nicht. Bei PET deutet sich die Tendenz von höheren Standardabweichungen am Sommertag an.
- Die Streuung der T_a Mittelwerte zwischen den verschiedenen Flächenszenarien ist relativ gering. Die T_a Differenz zwischen den beiden extremen Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) beträgt am Hitzewellentag 1.3 °C.
- Unter den Zielgrößen weist T_{mrt} die höchsten Mittelwerte und Standardabweichungen je Szenario auf.
- Wie zu erwarten war, reagieren von den Zielgrößen T_s und T_{mrt} am stärksten auf Veränderungen der Flächennutzung. So beträgt am Hitzewellentag die Differenz zwischen den Flächenszenarien B und C bei T_s 17.6 °C und bei T_{mrt} 18.3 °C.

- Die Hitzereduzierung auf lokaler Basis durch eine grüne Flächennutzung spiegelt sich nicht nur bei den Differenzen der Zielgrößen zwischen den Flächenszenarien B und C wider, sondern zeigt sich - wenn auch in abgeschwächter Form - ebenfalls bei den Differenzen der Zielgrößen zwischen den Flächenszenarien E (Planung ohne Grün) und D (Planung mit Grün). Sie betragen am Hitzewellentag bei T_s 8.0 °C, bei T_{mrt} 9.4 °C und bei PET 4.9 °C. Bei T_a beläuft sich diese Differenz nur auf 0.4 °C, was darauf hinweist, dass T_a zur Beurteilung von human-biometeorologisch relevanter Hitze ungeeignet ist.
- Am Hitzewellentag überschreitet der PET Mittelwert bei fast allen Flächenszenarien den Schwellenwert von 40 °C, ab dem das thermische Empfinden von Menschen in der Stufe „heiß“ beginnt. Lediglich für das Flächenszenario C liegt der PET Mittelwert von 39.0 °C knapp unter 40 °C. Am Sommertag sind die PET Mittelwerte zwar deutlich niedriger. Kurzfristige PET Werte, z. B. als Mittelwert über eine Stunde, überschreiten jedoch auch die Schwelle von 40 °C.
- Gegenüber dem Flächenszenario A (derzeitiger Zustand) reduzieren sich bei der vorgesehenen Planung (Szenario D, d. h. mit Grün) am Hitzewellentag die Mittelwerte von der T_a um 0.1 °C, von T_s um 2.8 °C, von T_{mrt} um 3.5 °C und von PET um 1.0 °C. Bei der vorgesehenen Planung, aber ohne Grün (Szenario E), erhöhen sich die Mittelwerte der Zielgrößen gegenüber dem Szenario D (T_a : 0.4 °C, T_s : 8.0 °C, T_{mrt} : 9.4 °C, PET: 4.9 °C).
- Das Flächenszenario E für die NBS-Fläche 818 führt bei allen Zielgrößen zu Mittelwerten, die über diejenigen für das Flächenszenario A liegen. Diese Erhöhungen betragen bei T_a 0.3 °C, bei T_s 5.2 °C, bei T_{mrt} 5.9 °C und bei PET 3.9 °C.
- Bezogen auf den thermophysiologicalen Bewertungsindex PET ergibt sich, dass die für die NBS-Fläche 818 vorgesehene Planung (Flächenszenario D) am Hitzewellentag den PET Mittelwert gegenüber dem Flächenszenario A zwar leicht reduziert, die „heißen“ Bedingungen über den kompletten Zeitraum von 10 bis 16 Uhr bleiben allerdings bestehen. Am Sommertag verringert sich die thermische Belastung für Menschen durch die vorgesehene Planung ebenfalls leicht. „Heiße“ Bedingungen treten dann aber immer noch kurzfristig auf. Das Flächenszenario E, d. h. kein „Grün“ bei der Planung, führt an beiden Simulationstagen gegenüber dem Szenario A zu einem Anstieg der über PET quantifizierten thermischen Belastung für Menschen.
- Im Gegensatz zur Tagesperiode 10 bis 16 Uhr MEZ sind sowohl am Hitzewellen- als auch am Sommertag die Mittelwerte der Zielgrößen über den nächtlichen Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ deutlich niedriger. Bezogen auf PET reduziert sich der am Hitzewellentag tagsüber vorhandene, ausgeprägte Hitzestress für Menschen in der Nacht auf thermisch komfortable Bedingungen (PET Mittelwerte in allen Szenarien unter 24.0 °C). Dabei ist allerdings zu beachten, dass sich die Simulationsergebnisse für PET nur auf den städtischen Freiraum, d. h. nicht auf Innenräume, beziehen.
- Am Hitzewellentag schwanken die T_a Mittelwerte in der Nacht für alle Szenarien - außer dem „grünen“ Szenario C - zwischen 28.0 °C und 29.0 °C. Bezogen auf die T_a Mittelwerte tagsüber variiert die nächtliche T_a Absenkung bei allen Szenarien zwischen 3.3 °C und 3.8 °C. Lediglich beim Szenario C beträgt sie 4.7 °C, was aufgrund der ausschließlich grünen Flächennutzung zu erwarten war. Am Sommertag liegt die nächtliche T_a Reduzierung in der gleichen Größenordnung wie am Hitzewellentag.
- Human-biometeorologisch relevante Beurteilungen des Ausmaßes von räumlichen bzw. zeitlichen T_a Reduzierungen sind aufgrund fehlender Kriterien bis jetzt nicht möglich.

4.3.2.3 RESÜMEE AUS PLANERISCHER SICHT

Aus den Simulationsergebnissen lassen sich für die Planung folgende generelle Schlussfolgerungen ziehen:

- Großkronige Bäume haben aufgrund ihrer Schattenwirkung einen positiven Effekt auf den thermischen Komfort von Menschen. Die größte Wirkung wird erzielt, wenn mehrere Bäume ein geschlossenes Kro-

nendach ausbilden.

- Die Pflanzung von Bäumen bewirkt eine deutliche Reduzierung der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) als Indikator für das thermische Empfinden und die thermische Belastung von Menschen.
- Es lässt sich ein positiver Effekt auf das thermische Empfinden von Menschen feststellen, wenn eine angemessene Grünausstattung eingeplant wird.
- Im Vergleich zum derzeitigen (teilbegrünt, bebauten) Nutzungszustand hat die PET Simulation ergeben, dass das thermische Empfinden von Menschen an einem Hitzewellentag durch die Planung einer Bebauung mit angemessener Grünausstattung leicht positiv beeinflusst wird. Das trifft auch in sehr geringfügigem Ausmaß auf einem durchschnittlichen Sommertag zu.
- Die Grünflächen im Südosten tragen positiv zum thermischen Komfort bei und sind aus human-biometeorologischer Sicht zu erhalten.
- Nordwestlich der Bestandsbebauung als Riegel mit Barrierewirkung kann ein Hitzestau vermutet werden, der problematisch zu sehen ist. Durch die in der simulierten Planungsvariante ersetzende Einzelhausbebauung in Form von Punkthäusern mit Gebäudeabständen kann diese Barrierewirkung aufgelöst werden.
- Die Bereiche, die sich in Abb. 32 durch kleinere Differenzen bei der Zielgröße PET auszeichnen, sind im städtebaulichen Entwurf gesondert hinsichtlich von Verbesserungspotenzial zu prüfen (Gebäudeabstand vergrößern, Baumpflanzungen, etc.).
- Für die Bereiche, die sich in der Abb. 32 durch große Differenzen bei der Zielgröße PET auszeichnen, muss gelten, dass die bei der Simulation berücksichtigten Maßnahmen bauplanungsrechtlich zu sichern sind, da sie einen hohen Wert für den thermischen Komfort von Menschen haben.

Weitere spezielle Schlussfolgerungen sind:

- *Mittlere* Betrachtung des Hitzetags als Synonym für zukünftige klimatische Randbedingungen:

Eine konsequente Begrünung der gesamten Fläche würde sich im Vergleich zum (teilbegrüntem) Ist-Zustand positiv auswirken, eine reine Asphaltfläche deutlich negativ. Dies sind auch die möglichen Grenzen mit PET Differenz von 7.0 °C. Bebauungs-/Begrünungsvarianten liegen im PET Bereich dazwischen.
Eine (realistische) Bebauung mit Grünanteil wirkt sich im Vergleich zum Ist-Zustand in Bezug auf den thermischen Komfort leicht positiv aus. Eine Bebauung ohne Grünausstattung würde sich negativ auswirken.
Art und Maß der Begrünung bestimmen den Grad der positiven Auswirkungen.
In der Nachtbetrachtung ergeben sich erwartungsgemäß nur sehr geringe PET Unterschiede. Dennoch lässt sich der PET Mittelwerte durch eine umfangreiche Begrünung etwas senken.
- *Mittlere* Betrachtung des Sommertags:

Insgesamt ergeben sich für die Tagbetrachtung geringere PET Unterschiede.
Eine Bebauung mit Begrünung führt dennoch zu einer leichten Verbesserung des thermischen Komforts im Vergleich zum (teilbegrüntem) Istzustand.
Die Nacht ist unkritisch.

Die vorangegangene Bewertung (siehe Abschnitt 4.2.2) des Ist-Zustands (teilbegrünt, keine Bebauung) kommt für diese Fläche zu einer mittleren human-biometeorologischen Wertigkeit bzw. zu einem mittleren human-biometeorologischen Handlungsbedarf. Dennoch lässt sich auch hier durch ausreichende Begrünungsmaßnahmen im Mittel ein Teil der voraussichtlichen thermischen Verschlechterung (Hitzetag) wieder zurücknehmen. Die Detailsimulationen PET (Hitzetag) zeigen die Notwendigkeit auf, durch Begrünung -

insbesondere mit großkronigen Bäumen - kleinräumig Ausgleichs-/Erholungsbereiche zu schaffen bzw. durch eine entsprechende Begrünung entlang der Tutzdorferstraße den Hitzeeintrag zu verringern. Empfehlung wäre hier also das Szenario D. Idealerweise wären im weiteren Verfahren auch Bebauungsvarianten mit Hilfe von numerischen Simulationen hinsichtlich des Hitzetags zu prüfen, um eine weitere (notwendige) Optimierung zu ermöglichen. Dies erfordert eine enge konstruktive Zusammenarbeit zwischen Planung und Umweltsimulation.

Auf der Grundlage der hier erzielten Ergebnisse und unter Einbeziehung von Informationen zur Luftqualität (siehe auch Kapitel 4.2.5) wurde der Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 818 (Abb. 33) erstellt.



KlippS - Klimaplanungspass Stuttgart

Bürgerhospital

NBS Nr. 818

Stadtbezirk:	Nord	Adresse:	Türlestraße
Grundstücksfläche:	ca. 3,93 ha	Verfügbarkeit:	mittelfristig
Eigentümer:	LH Stuttgart	Flächennutzung:	Kliniknutzungen

Thermischer Komfort (TK)

Bewertungsindikatoren:

Lage / Umgebung: Hanglage / z.T. versiegelt;	Bebauungsdichte Umgebung: mittel	Vulnerabilität: gering bis mittel
Urbane Wärmeinsel: mittel;	Kaltluftproduktion Umgebung: sehr gering	
→ human-biometeorologische Wertigkeit: 0.40 (mittel) von max. 1.0		
→ human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.694 (mittel) von max. 1.0		

Luftqualität (LQ)

Bewertungsindikatoren:

Feinstaubkonzentration (PM ₁₀ Jahresmittel):	19-22 µg/m ³
Stickstoffdioxidkonzentration (NO ₂ Jahresmittel):	28-32 µg/m ³
→ Luftbelastungsindex: 0.65 (mittel) (1.0 bedeutet Grenzwert erreicht!)	

Vertiefende Untersuchungen:

TK: numerische Simulationen zum thermischen Komfort liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
weitere Optimierung und Vergleich von Planungsvarianten möglich

LQ: numerische Simulationen zur Lufthygiene liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
mikroskalige Simulation bei Bedarf möglich.

Fazit / Planungshinweise:

Bestehende Versiegelung und Bebauung verursachen eine mittlere thermische Belastung. Trotz sehr geringer Kaltluftproduktion in der Umgebung profitiert die Fläche von tw. vorhandenen Kaltluftabflüssen, die es zu unterstützen gilt. Es herrscht eine mittlere, entlang der Türlestraße auch hohe Luftschadstoffbelastung. Die NO₂-Belastung ist im Verhältnis zu Feinstaub etwas ausgeprägter. TK: Nur mäßig dicht bebauen, Versiegelungsgrad nicht erhöhen im Vergleich zur Ist-Situation, es wird eine gut durchströmbare, weniger riegelartige Bebauungsstruktur empfohlen. Baumpflanzungen sowie Dach- und Fassadenbegrünung zur Reduzierung des Hitzeeintrags tagsüber empfohlen. Die Detailberechnungen zeigen das thermische Verbesserungspotential zur Begrünungsmaßnahmen auf und geben Hinweise auf sinnvolle Baumstandorte. LQ: Entlang der Türlestraße und an der Ecke Tunzdorfer Str. zur Heilbronner Str. hin abriegelnde Bauweise bzw. Abstand bzw. Aufenthaltsräume auf die straßenabgewandte Gebäudeseite zu legen, möglichst lokal emissionsfreie Wärmeversorgung.

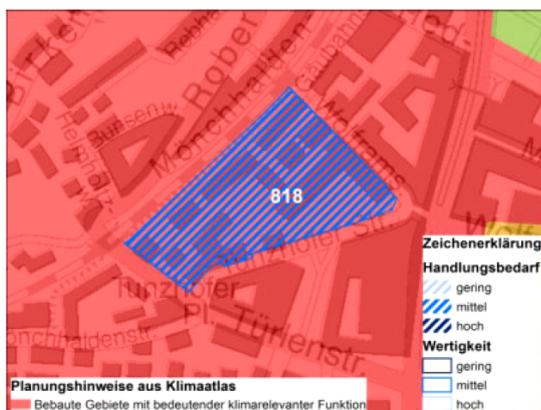
Ansprechpartner Stadtklima:

Herr Kapp
(0711) 216 – 88 685
rainer.kapp@stuttgart.de

Ansprechpartner Stadtplanung:

Herr Schmid
(0711) 216 – 20 056
matthias.schmid@stuttgart.de

Klimaatlas u. human-biomet. Bewertung



Kaltluftverhalten Umgebung



Abb. 33: Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 818 in Stuttgart

4.3.3 ZUSAMMENFASSENDE VERGLEICH DER NBS-FLÄCHEN

4.3.3.1 STRUKTUR

Für die sieben ausgewählten NBS-Flächen 30, 47, 768, 772, 818, 865 und 1061 in Stuttgart wurden mit dem mikrometeorologischen Modell ENVI-met, Version 4.0 BETA, numerische Simulationen über die Auswirkungen von verschiedenen Flächennutzungen auf die thermischen Bedingungen für Menschen in der bodennahen Atmosphäre durchgeführt. Zielgrößen waren T_a und T_s , die Wärme im meteorologischen Sinn repräsentieren, sowie T_{mrt} und PET als human-biometeorologische Variable, mit denen sich die verschiedenen Niveaus des thermischen Komforts für Menschen vor einem thermophysiological Hintergrund quantifizieren lassen. Die Simulationen erfolgten für einen Sommertag (23. Juni 2011) und einen Hitzewellentag (4. August 2003). Topographische Unterschiede konnten bei der zur Verfügung stehenden Modellversion berücksichtigt werden.

Um eine höhere Repräsentativität zu erlangen, wurden die gitterzellenbezogenen Simulationsergebnisse, die ursprünglich als Stundenwerte vorliegen, in Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ zusammengefasst. Er steht für eine Zeitspanne, in der im mitteleuropäischen Sommer die Wärme- bzw. Hitzebelastung für Menschen im städtischen Freiraum am größten ist (Holst und Mayer, 2011; Lee et al., 2013, 2014).

In Ergänzung zur graphischen Ergebnisdarstellung wurden die Simulationsergebnisse für die Zielgrößen in Mittelwerte für die einzelnen NBS-Flächen zusammengefasst, und zwar differenziert nach

- Zielgröße,
- Simulationstag,
- Tageszeit.

Das bedeutet, dass zu den Mittelwerten für den Tag (10 bis 16 Uhr MEZ) auch Mittelwerte für die Nacht (22 bis 5 Uhr MEZ) in Form von Tabellen hinzugefügt wurden. Die zusätzlich zu den Mittelwerten angegebenen, entsprechenden Standardabweichungen σ weisen auf das Ausmaß der gitterzellenbezogenen, d. h. räumlichen, Variabilität der einzelnen Zielgrößen je Flächenszenario, Simulationstag und Tageszeit hin. Im Kapitel 4.3.2.2 dieses Abschlussberichts sind die Simulationsergebnisse in Form von ausführlichen Graphiken und Tabellen exemplarisch für die NBS-Fläche 818 dargestellt und in zusammengefasster Form interpretiert. Für die anderen NBS-Flächen enthält der Anhang zu diesem Abschlussbericht nur entsprechende PET Graphiken sowie - in Form von Tabellen - Mittelwerte für alle Zielgrößen.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Tabellen beziehen sich nur auf die Flächenszenarien A, B, C, D und E, da sie in den Simulationen für alle NBS-Flächen berücksichtigt wurden. Die tabellarischen Resultate vermitteln einen flächenübergreifenden Überblick über die Auswirkungen der jeweiligen Flächennutzungen und topographischen Verhältnisse auf ausgewählte Zielgrößen zur Beschreibung der thermischen Bedingungen in der bodennahen Atmosphäre. Bei den NBS-Flächen 772 (Mitte, Kaufhof Parkhaus) und 865 (Mitte, Rathausgarage) ist zu bemerken, dass sie sich in den Szenarien A (derzeitig) und E (Planung ohne Grün) komplett nur auf Gebäudeflächen beschränken. Dennoch enthalten die nachfolgenden Tabellen Mittelwerte der Zielgrößen für beide Szenarien, allerdings nur für den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ. Diese Mittelwerte beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die jeweilige NBS-Fläche.

4.3.3.2 BODENNAHE LUFTTEMPERATUR

Die Ergebnisse für die T_a Mittelwerte - über 10 bis 16 Uhr MEZ - am Hitzewellentag (Tab. 33) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Trotz gleicher atmosphärischer Randbedingungen streuen die T_a Mittelwerte für das Szenario A (derzeitig) unter den NBS-Flächen zwischen 30.9 °C (NBS 30) und 33.1 °C (NBS 47), d. h. die Streubreite beträgt 2.2 °C. Die σ Werte variieren zwischen 0.12 °C (NBS 768) und 0.49 °C (NBS 47), d. h. auf der NBS-Fläche 47 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten.
- Für das Szenario B (Asphalt) liegen die T_a Mittelwerte zwischen 31.8 °C (NBS 30 und 865) und 32.6 °C (NBS 47 und 1061). Somit beträgt der Unterschied 0.8 °C. Die σ Werte variieren zwischen 0.01 °C (NBS 772 und 865) und 0.16 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten.

Tab. 33: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten Lufttemperatur T_a auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ
A	30.9	0.40	33.1	0.49	32.2	0.12	<i>32.0</i>	<i>0.13</i>	31.7	0.24	<i>31.8</i>	<i>0.08</i>	32.0	0.19
B	31.8	0.16	32.6	0.12	32.5	0.08	32.1	0.01	32.4	0.09	31.8	0.01	32.6	0.04
C	30.4	0.21	31.6	0.32	31.5	0.29	31.6	0.09	31.1	0.33	31.4	0.08	31.6	0.28
D	30.9	0.33	32.0	0.23	32.0	0.18	-	-	31.6	0.30	-	-	31.8	0.20
E	31.1	0.40	32.4	0.12	32.3	0.15	<i>31.9</i>	<i>0.13</i>	32.0	0.14	<i>31.7</i>	<i>0.08</i>	32.4	0.04
B-C	1.4	0.26	1.0	0.34	1.0	0.31	0.5	0.08	1.3	0.36	0.4	0.09	1.0	0.30
E-D	0.2	0.18	0.4	0.17	0.3	0.13	-	-	0.4	0.26	-	-	0.6	0.20

Kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche

- Für das Szenario C (Grün) liegen die T_a Mittelwerte zwischen 30.4 °C (NBS 30) und 31.6 °C (NBS 47, 772 und 1061), d. h. die Streubreite beträgt 1.2 °C. Die σ Werte variieren zwischen 0.08 °C (NBS 865) und 0.33 °C (NBS 818), d. h. auf der NBS-Fläche 818 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten.
- Für das Szenario D (Planung mit Grün) liegen die T_a Mittelwerte zwischen 30.9 °C (NBS 30) und 32.0 °C (NBS 47 und 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 1.1 °C. Die σ Werte variieren zwischen 0.18 °C (NBS 768) und 0.33 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten.
- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) streuen die T_a Mittelwerte zwischen 31.1 °C (NBS 30) und 32.4 °C (NBS 47 und 1061), d. h. die Variationsbreite beträgt 1.3 °C. Die σ Werte variieren zwischen 0.04 °C (NBS 1061) und 0.40 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten.
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen 0.0 °C (NBS 865) und 0.9 °C (NBS 30), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 0.9 °C.
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen 0.4 °C (NBS 772, 865 und 1061) und 1.5 °C (NBS 47), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 1.1 °C.

- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen 0.4 °C (NBS 865) und 1.4 °C (NBS 30), d. h. der Streubereich beläuft sich auf 1.0 °C.
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen 0.0 °C (NBS 30) und 1.1 °C (NBS 47), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 1.1 °C.
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -0.4 °C (NBS 1061) und 0.7 °C (NBS 47), d. h. der Streubereich beläuft sich auf 1.1 °C.
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen 0.2 °C (NBS 30) und 0.6 °C (NBS 1061), d. h. ihr Schwankungsbereich beträgt 0.4 °C

Die Ergebnisse für die T_a Mittelwerte - über 22 bis 5 Uhr MEZ - am Hitzewellentag (Tab. 34) lauten zusammengefasst:

- Für das Szenario A (derzeitig) streuen die T_a Mittelwerte unter den NBS-Flächen zwischen 26.1 °C (NBS 47) und 28.3 °C (NBS 30 und 818), d. h. die Streubreite beträgt - wie für die Tagsituation - 2.2 °C. Die σ Werte variieren zwischen 0.18 °C (NBS 768) und 0.30 °C (NBS 818), d. h. auf der NBS-Fläche 818 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Wie zu erwarten war, ist der Variationsbereich der σ Werte nachts (0.12 °C) geringer als tagsüber (0.37 °C).

Tab. 34: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten Lufttemperatur T_a auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ
A	28.3	0.28	26.1	0.27	27.8	0.18	-	-	28.3	0.30	-	-	27.7	0.25
B	28.4	0.25	27.4	0.22	27.8	0.20	28.2	0.08	28.6	0.25	28.6	0.04	27.7	0.17
C	27.2	0.48	27.0	0.12	27.2	0.14	27.7	0.05	26.4	2.41	28.1	0.07	27.1	0.07
D	27.4	0.54	27.2	0.19	27.3	0.22	-	-	28.1	0.39	-	-	27.5	0.12
E	27.6	0.64	27.5	0.27	27.9	0.23	-	-	28.7	0.23	-	-	27.8	0.19
B-C	1.2	0.40	0.4	0.17	0.6	0.16	0.5	0.11	2.2	2.41	0.5	0.10	0.6	0.16
E-D	0.2	0.26	0.3	0.17	0.6	0.20	-	-	0.6	0.38	-	-	0.3	0.11

- Für das Szenario B (Asphalt) liegen die T_a Mittelwerte zwischen 27.4 °C (NBS 47) und 28.6 °C (NBS 818), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 1.2 °C und ist damit doppelt so groß wie für die Tagsituation (0.6 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.04 °C (NBS 865) und 0.25 °C (NBS 30 und 818), d. h. auf den NBS-Flächen 30 und 818 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.21 °C) etwas größer als tagsüber (0.15 °C).
- Für das Szenario C (Grün) liegen die T_a Mittelwerte zwischen 26.4 °C (NBS 818) und 28.1 °C (NBS 865), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 1.7 °C und ist damit etwas größer als für die Tagsituation (1.2 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.05 °C (NBS 772) und 0.48 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.43 °C) deutlich größer als tagsüber (0.25 °C).
- Für das Szenario D (Planung mit Grün) liegen die T_a Mittelwerte zwischen 27.2 °C (NBS 47) und 28.1 °C (NBS 818), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 0.9 °C und ist damit geringfügig kleiner als für die Tagsituation (1.1 °C). Die σ Werte liegen zwischen 0.12 °C (NBS 1061) und 0.54 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Für

dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.42 °C) mehr als doppelt so groß wie tagsüber (0.15 °C).

- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) variieren die T_a Mittelwerte zwischen 27.5 °C (NBS 47) und 28.7 °C (NBS 818), d. h. die Variationsbreite beträgt 1.2 °C und ist damit geringfügig kleiner als für die Tagsituation (1.3 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.19 °C (NBS 1061) und 0.64 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.45 °C) etwas größer als tagsüber (0.36 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen 0.0 °C (NBS 768 und 1061) und 1.3 °C (NBS 47), d. h. ihr Streubereich (1.3 °C) ist etwas größer als für die Tagsituation (0.9 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen -0.9 °C (NBS 47) und 1.9 °C (NBS 818), d. h. ihr Streubereich (2.8 °C) ist mehr als doppelt so groß wie für die Tagsituation (1.1 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen 0.4 °C (NBS 47) und 2.2 °C (NBS 818), d. h. ihr Streubereich (1.8 °C) ist deutlich größer als für die Tagsituation (1.0 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen -1.1 °C (NBS 47) und 0.9 °C (NBS 30), d. h. ihr Schwankungsbereich (2.0 °C) ist fast doppelt so groß wie für die Tagsituation (1.1 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -1.4 °C (NBS 47) und 0.7 °C (NBS 30), d. h. ihr Streubereich (2.1 °C) ist fast doppelt so groß wie für die Tagsituation (1.1 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen 0.2 °C (NBS 30) und 0.6 °C (NBS 768 und 818), d. h. ihr Streubereich (0.4 °C) weist die gleiche Größenordnung wie für die Tagsituation auf.

Die Ergebnisse für die T_a Mittelwerte - über 10 bis 16 Uhr MEZ - am Sommertag (Tab. 35) lauten zusammengefasst:

- Für das Szenario A (derzeitig) streuen die T_a Mittelwerte unter den NBS-Flächen zwischen 19.9 °C (NBS 30) und 20.7 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 0.8 °C und ist damit deutlich kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (2.2 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.07 °C (NBS 865) und 0.34 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (0.27 °C) ist kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (0.37 °C). Auch sind die σ Werte am Sommertag tendenziell niedriger als am Hitzewellentag.
- Für das Szenario B (Asphalt) variieren die T_a Mittelwerte zwischen 20.4 °C (NBS 865) und 21.0 °C (NBS 818), d. h. die Variationsbreite beträgt - wie für die Tagsituation am Hitzewellentag - 0.6 °C. Die σ Werte streuen zwischen 0.01 °C (NBS 865) und 0.19 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (0.18 °C) ist etwas größer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (0.15 °C). Die σ Werte weisen am Sommertag und am Hitzewellentag näherungsweise die gleiche Größenordnung auf.
- Für das Szenario C (Grün) streuen die T_a Mittelwerte zwischen 19.5 °C (NBS 30) und 20.3 °C (NBS 772), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 0.8 °C und ist damit etwas kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (1.2 °C). Die σ Werte liegen zwischen 0.04 °C (NBS 865) und 0.19 °C (NBS 768), d. h. auf der NBS-Fläche 768 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (0.15 °C) ist geringer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (0.25 °C). Auch sind die σ Werte am Sommertag tendenziell niedriger als am Hitzewellentag.

Tab. 35: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten Lufttemperatur T_a auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ
A	19.9	0.34	20.5	0.28	20.7	0.09	20.5	0.09	20.5	0.15	20.3	0.07	20.5	0.13
B	20.5	0.19	20.9	0.08	20.9	0.05	20.6	0.01	21.0	0.11	20.4	0.01	20.9	0.03
C	19.5	0.12	20.2	0.18	20.2	0.19	20.3	0.05	20.0	0.18	20.1	0.04	20.2	0.18
D	19.9	0.26	20.5	0.11	20.6	0.12	-	-	20.4	0.18	-	-	20.3	0.13
E	20.1	0.31	20.8	0.06	20.8	0.09	20.5	0.09	20.6	0.10	20.3	0.07	20.8	0.03
B-C	1.0	0.20	0.7	0.22	0.7	0.21	0.3	0.04	1.0	0.27	0.3	0.05	0.7	0.19
E-D	0.2	0.13	0.3	0.09	0.2	0.09	-	-	0.2	0.14	-	-	0.5	0.14

Kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche

- Für das Szenario D (Planung mit Grün) liegen die T_a Mittelwerte zwischen 19.9 °C (NBS 30) und 20.6 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 0.7 °C und ist damit etwas kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (1.1 °C). Die σ Werte liegen zwischen 0.11 °C (NBS 47) und 0.26 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (0.15 °C) ist für die Tagsituation sowohl am Sommer- als auch am Hitzewellentag gleich groß. Tendenziell sind die σ Werte am Sommertag niedriger als am Hitzewellentag.
- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) variieren die T_a Mittelwerte zwischen 20.1 °C (NBS 30) und 20.8 °C (NBS 47, 768 und 1061), d. h. die Variationsbreite beträgt 0.7 °C und ist damit etwas kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (1.3 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.03 °C (NBS 1061) und 0.31 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (0.28 °C) ist geringer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (0.36 °C). Auch sind die σ Werte am Sommertag tendenziell leicht niedriger als am Hitzewellentag.
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen 0.1 °C (NBS 772 und 865) und 0.6 °C (NBS 30), d. h. ihr Streubereich (0.5 °C) ist kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (0.9 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen 0.2 °C (NBS 865) und 0.5 °C (NBS 768 und 818), d. h. ihr Streubereich (0.3 °C) ist kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (1.1 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen 0.3 °C (NBS 772 und 865) und 1.0 °C (NBS 30 und 818), d. h. ihr Streubereich (0.7 °C) ist kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (1.0 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen 0.0 °C (NBS 30 und 47) und 0.2 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (0.2 °C) ist deutlich kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (1.1 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -0.3 °C (NBS 47 und 1061) und 0.0 °C (NBS 772 und 865), d. h. ihr Streubereich (0.3 °C) ist deutlich kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (1.1 °C).

- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen 0.2 °C (NBS 30, 768 und 818) und 0.5 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (0.3 °C) ist geringfügig kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (0.4 °C).

Die Ergebnisse für die T_a Mittelwerte - über 22 bis 5 Uhr MEZ - am Sommertag (Tab. 36) werden wie folgt zusammengefasst:

- Für das Szenario A (derzeitig) streuen die T_a Mittelwerte unter den NBS-Flächen zwischen 16.1 °C (NBS 47) und 16.6 °C (NBS 818), d. h. die Streubreite beträgt 0.5 °C und ist damit etwas kleiner als für die Tagsituation am Sommertag (0.8 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.07 °C (NBS 768) und 0.19 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Wie zu erwarten war, ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.12 °C) geringer als tagsüber (0.27 °C). Auch sind die σ Werte in der Nacht Sommertag tendenziell leicht niedriger als tagsüber.
- Für das Szenario B (Asphalt) variieren die T_a Mittelwerte zwischen 16.3 °C (NBS 47) und 16.7 °C (NBS 818), d. h. die Schwankungsbreite beträgt 0.4 °C und ist damit etwas kleiner als für die Tagsituation (0.6 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.02 °C (NBS 865) und 0.11 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.09 °C) halb so groß wie für die Tagsituation (0.18 °C).

Tab. 36: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten Lufttemperatur T_a auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ	T_a	σ
A	16.2	0.19	16.1	0.10	16.4	0.07	-	-	16.6	0.11	-	-	16.4	0.11
B	16.6	0.11	16.3	0.09	16.5	0.09	16.6	0.03	16.7	0.10	16.8	0.02	16.4	0.08
C	16.1	0.14	16.0	0.04	16.1	0.07	16.4	0.03	16.3	0.11	16.5	0.04	16.1	0.04
D	16.2	0.19	16.1	0.07	16.3	0.10	-	-	16.5	0.14	-	-	16.2	0.05
E	16.3	0.23	16.3	0.10	16.5	0.10	-	-	16.7	0.10	-	-	16.4	0.08
B-C	0.5	0.12	0.3	0.10	0.4	0.10	0.2	0.05	0.4	0.12	0.3	0.05	0.3	0.10
E-D	0.1	0.10	0.2	0.07	0.2	0.07	-	-	0.2	0.16	-	-	0.2	0.07

- Für das Szenario C (Grün) liegen die T_a Mittelwerte zwischen 16.0 °C (NBS 47) und 16.5 °C (NBS 865), d. h. die Streubreite beträgt 0.5 °C und ist damit etwas geringer als für die Tagsituation (0.8 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.03 °C (NBS 772) und 0.14 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.11 °C) kleiner als tagsüber (0.15 °C).
- Für das Szenario D (Planung mit Grün) schwanken die T_a Mittelwerte zwischen 16.1 °C (NBS 47) und 16.5 °C (NBS 818), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 0.4 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (0.7 °C). Die σ Werte liegen zwischen 0.05 °C (NBS 1061) und 0.19 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.14 °C) fast in der gleichen Größenordnung wie für die Tagsituation (0.15 °C).
- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) variieren die T_a Mittelwerte zwischen 16.3 °C (NBS 30 und 47) und 16.7 °C (NBS 818), d. h. die Variationsbreite beträgt 0.4 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (0.7 °C). Die σ Werte liegen zwischen 0.08 °C (NBS 1061) und 0.23 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_a Werte am größten. Für dieses

Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.15 °C) auch kleiner als tagsüber (0.28 °C).

- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen 0.0 °C (NBS 1061) und 0.4 °C (NBS 47), d. h. ihr Streubereich (0.4 °C) ist geringfügig kleiner als für die Tagsituation (0.5 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen 0.1 °C (NBS 30 und 47) und 0.3 °C (NBS 768, 818 und 1061), d. h. ihr Streubereich (0.2 °C) ist geringfügig kleiner als für die Tagsituation (0.3 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen 0.2 °C (NBS 772) und 0.5 °C (NBS 30), d. h. ihr Streubereich (0.3 °C) ist etwa halb so groß wie für die Tagsituation (0.7 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen 0.0 °C (NBS 30 und 47) und 0.2 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (0.2 °C) ist ebenso groß wie für die Tagsituation.
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -0.2 °C (NBS 47) und 0.0 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (0.2 °C) ist geringfügig kleiner als für die Tagsituation (0.3 °C).
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen 0.1 °C (NBS 30) und 0.2 °C (NBS 47, 768, 818 und 1061), d. h. ihr Streubereich (0.1 °C) ist etwas kleiner als für die Tagsituation (0.3 °C).

4.3.3.3 BODENOBERTFLÄCHENTEMPERATUR

Im Gegensatz zur Lufttemperatur T_a , die den Zustand an fühlbarer Wärme in einem Atmosphärenvolumen - hier in der bodennahen Atmosphäre innerhalb der einzelnen NBS-Flächen - quantifiziert und daher von verschiedenen, meteorologisch relevanten Energieflussdichten abhängt, wird über die Bodenoberflächentemperatur T_s der Wärmezustand an der jeweiligen NBS-Fläche quantifiziert. Neben dem Eintrag an meteorologisch relevanter Energie hängt T_s von der Art der Oberfläche und physikalischen Bodeneigenschaften ab, d. h. T_s reagiert viel deutlicher als T_a auf diese Bodenkenngößen und Abschattungseffekte. Deshalb weisen die Ergebnisse für die T_s Mittelwerte vor allem tagsüber eine ausgeprägte Variabilität unter den untersuchten Szenarien auf.

Die Ergebnisse für die T_s Mittelwerte - über 10 bis 16 Uhr MEZ - am Hitzewellentag (Tab. 37) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die T_s Mittelwerte für das Szenario A (derzeitig) streuen unter den NBS-Flächen zwischen 38.2 °C (NBS 30) und 47.8 °C (NBS 768), d. h. die Streubreite beträgt 9.6 °C. Die σ Werte variieren zwischen 3.85 °C (NBS 768) und 8.48 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten.
- Für das Szenario B (Asphalt) liegen die T_s Mittelwerte zwischen 47.9 °C (NBS 30) und 50.3 °C (NBS 772). Somit beträgt der Unterschied 2.4 °C. Die σ Werte variieren zwischen 0.70 °C (NBS 772) und 2.94 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten.
- Für das Szenario C (Grün) liegen die T_s Mittelwerte zwischen 30.6 °C (NBS 30) und 32.4 °C (NBS 772), d. h. die Streubreite beträgt 1.8 °C. Die σ Werte variieren zwischen 0.87 °C (NBS 772) und 2.78 °C

(NBS 47), d. h. auf der NBS-Fläche 47 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten.

Tab. 37: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten **Bodenoberflächentemperatur T_s auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den **Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003****

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ
A	38.2	8.48	40.2	8.45	47.8	3.85	46.4	4.17	39.8	7.83	46.7	3.92	40.8	7.00
B	47.9	2.94	48.3	1.71	48.8	1.01	50.3	0.70	48.5	0.93	49.0	1.68	48.8	0.86
C	30.6	1.71	31.6	2.78	31.5	1.09	32.4	0.87	30.9	1.17	31.6	1.02	31.5	1.05
D	35.3	6.66	40.6	8.07	42.1	7.02	-	-	37.0	6.24	-	-	33.5	2.78
E	40.4	7.78	48.9	2.34	47.9	3.54	46.0	4.19	45.0	5.58	46.2	4.22	48.4	3.13
B-C	17.3	3.24	16.7	2.97	17.3	1.25	17.9	0.84	17.6	1.27	17.4	1.90	17.3	1.23
E-D	5.1	6.39	8.3	8.20	5.8	6.96	-	-	8.0	7.61	-	-	14.9	4.82

Kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche

- Für das Szenario D (Planung mit Grün) liegen die T_s Mittelwerte zwischen 33.5 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 1061) und 42.1 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 8.6 $^{\circ}\text{C}$. Die σ Werte variieren zwischen 2.78 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 1061) und 8.07 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 47), d. h. auf der NBS-Fläche 47 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten.
- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) streuen die T_s Mittelwerte zwischen 40.4 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 30) und 48.9 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 47), d. h. die Variationsbreite beträgt 8.5 $^{\circ}\text{C}$. Die σ Werte variieren zwischen 2.34 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 47) und 7.78 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten.
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen 1.0 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 768) und 9.7 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 30), d. h. ihr Schwankungsbereich beträgt 8.7 $^{\circ}\text{C}$.
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen 7.6 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 30) und 16.3 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 768), d. h. ihr Streubereich beläuft sich auf 8.7 $^{\circ}\text{C}$.
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen 16.7 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 47) und 17.9 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 772), d. h. ihr Schwankungsbereich beträgt 1.2 $^{\circ}\text{C}$.
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen -0.4 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 47) und 7.3 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich beläuft sich auf 7.7 $^{\circ}\text{C}$.
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -8.7 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 47) und 0.5 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 865), d. h. ihr Schwankungsbereich beträgt 9.2 $^{\circ}\text{C}$.
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen 5.1 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 30) und 14.9 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich beläuft sich auf 9.8 $^{\circ}\text{C}$.

Die Resultate für die T_s Mittelwerte - über 22 bis 5 Uhr MEZ - am Hitzewellentag (Tab. 38) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Für das Szenario A (derzeitig) streuen die T_s Mittelwerte unter den NBS-Flächen zwischen 23.6 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 1061) und 25.7 $^{\circ}\text{C}$ (NBS 47), d. h. die Streubreite (2.1 $^{\circ}\text{C}$) ist deutlich niedriger als für die Tagsi-

tuation (9.6 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.31 °C (NBS 47) und 1.87 °C (NBS 818), d. h. auf der NBS-Fläche 818 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Wie zu erwarten war, ist der Variationsbereich der σ Werte nachts (1.56 °C) geringer als tagsüber (4.63 °C).

Tab. 38: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten Bodenoberflächentemperatur T_s auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ
A	24.0	1.82	25.7	0.31	25.2	0.60	-	-	23.8	1.87	-	-	23.6	1.53
B	25.9	0.77	25.7	0.29	25.7	0.29	25.1	0.22	26.2	0.45	25.3	0.41	25.6	0.26
C	22.0	0.89	21.3	0.89	21.4	0.37	21.8	0.22	21.4	0.45	21.6	0.36	21.4	0.39
D	22.8	1.38	23.8	1.84	24.4	1.44	-	-	23.2	1.71	-	-	21.5	0.95
E	23.8	0.99	25.3	0.41	25.2	0.46	-	-	24.6	1.23	-	-	25.2	0.49
B-C	3.9	1.40	4.4	1.03	4.3	0.62	3.3	0.41	4.8	0.85	3.7	0.75	4.2	0.57
E-D	1.0	1.43	1.5	1.92	0.8	1.50	-	-	1.4	1.60	-	-	3.7	1.32

- Für das Szenario B (Asphalt) liegen die T_s Mittelwerte zwischen 25.1 °C (NBS 772) und 25.9 °C (NBS 30), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 0.8 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (2.4 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.22 °C (NBS 772) und 0.77 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.55 °C) kleiner als tagsüber (2.24 °C).
- Für das Szenario C (Grün) liegen die T_s Mittelwerte zwischen 21.3 °C (NBS 47) und 22.0 °C (NBS 30), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 0.7 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (1.8 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.22 °C (NBS 772) und 0.89 °C (NBS 30 und 47), d. h. auf den NBS-Flächen 30 und 47 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.67 °C) ebenfalls kleiner als tagsüber (1.91 °C).
- Für das Szenario D (Planung mit Grün) liegen die T_s Mittelwerte zwischen 21.5 °C (NBS 1061) und 24.4 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 2.9 °C und ist damit deutlich kleiner als für die Tagsituation (8.6 °C). Die σ Werte schwanken zwischen 0.95 °C (NBS 1061) und 1.84 °C (NBS 47), d. h. auf der NBS-Fläche 47 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.89 °C) ebenfalls deutlich kleiner als tagsüber (5.29 °C).
- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) variieren die T_s Mittelwerte zwischen 23.8 °C (NBS 30) und 25.3 °C (NBS 47), d. h. die Schwankungsbreite beläuft sich auf 1.5 °C und ist damit erheblich kleiner als für die Tagsituation (8.5 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.41 °C (NBS 47) und 1.23 °C (NBS 818), d. h. auf der NBS-Fläche 818 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.82 °C) kleiner als tagsüber (5.44 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen 0.0 °C (NBS 47) und 2.4 °C (NBS 818), d. h. ihr Streubereich (2.4 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (8.7 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen 2.0 °C (NBS 30) und 4.4 °C (NBS 47), d. h. ihr Streubereich (2.4 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (8.7 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen 3.3 °C (NBS 772) und 4.4 °C (NBS 47), d. h. ihr Streubereich (1.1 °C) ist nur geringfügig kleiner als für die Tagsituation (1.2 °C).

- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen 0.6 °C (NBS 818) und 2.1 °C (NBS 1061), d. h. ihr Schwankungsbereich (1.5 °C) ist deutlich kleiner als für die Tagsituation (7.7 °C)
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -2.0 °C (NBS 1061) und 0.4 °C (NBS 47), d. h. ihr Streubereich (2.4 °C) ist ebenfalls deutlich kleiner als für die Tagsituation (9.2 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen 0.8 °C (NBS 768) und 3.7 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (2.9 °C) ist kleiner als für die Tagsituation auf (9.8 °C).

Die Ergebnisse für die T_s Mittelwerte - über 10 bis 16 Uhr MEZ - am Sommertag (Tab. 39) lauten zusammengefasst:

- Für das Szenario A (derzeitig) streuen die T_s Mittelwerte unter den NBS-Flächen zwischen 30.2 °C (NBS 30) und 40.0 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 9.8 °C und liegt damit in der gleichen Größenordnung wie für die Tagsituation am Hitzewellentag (9.6 °C). Die σ Werte streuen zwischen 4.06 °C (NBS 865) und 9.28 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (5.22 °C) ist etwas größer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (4.63 °C).
- Für das Szenario B (Asphalt) variieren die T_s Mittelwerte zwischen 40.4 °C (NBS 30) und 42.7 °C (NBS 772), d. h. die Variationsbreite beträgt 2.3 °C und liegt damit in der gleichen Größenordnung wie für die Tagsituation am Hitzewellentag (2.4 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.88 °C (NBS 818) und 2.73 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (1.85 °C) ist etwas kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (2.24 °C).

Tab. 39: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten Bodenoberflächentemperatur T_s auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ
A	30.2	9.28	32.3	8.52	40.0	4.07	<i>38.6</i>	<i>4.36</i>	32.3	7.87	<i>38.9</i>	<i>4.06</i>	32.9	6.95
B	40.4	2.73	41.0	1.69	41.4	0.99	42.7	1.11	41.0	0.88	41.6	1.96	41.4	0.90
C	22.7	2.45	24.6	2.87	24.5	1.27	24.9	1.44	23.8	1.48	24.3	1.42	24.5	1.29
D	27.4	7.83	32.9	8.02	34.4	7.23	-	-	29.2	6.55	-	-	26.2	2.83
E	32.6	8.81	41.2	2.34	40.3	3.49	<i>38.5</i>	<i>4.44</i>	37.5	5.50	<i>38.4</i>	<i>4.33</i>	40.6	3.33
B-C	17.7	3.49	16.4	3.05	16.9	1.42	17.8	1.62	17.2	1.60	17.3	2.09	16.9	1.48
E-D	5.2	6.57	8.3	8.26	5.9	7.21	-	-	8.3	7.82	-	-	14.4	4.65

Kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche

- Für das Szenario C (Grün) streuen die T_s Mittelwerte zwischen 22.7 °C (NBS 30) und 24.6 °C (NBS 47), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 1.9 °C und liegt damit in der gleichen Größenordnung wie für die Tagsituation am Hitzewellentag (1.8 °C). Die σ Werte liegen zwischen 1.27 °C (NBS 768) und 2.87 °C (NBS 47), d. h. auf der NBS-Fläche 47 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (1.60 °C) ist etwas geringer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (1.91 °C).

- Für das Szenario D (Planung mit Grün) liegen die T_s Mittelwerte zwischen 26.2 °C (NBS 1061) und 34.4 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 8.2 °C und ist damit geringfügig kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (8.6 °C). Die σ Werte liegen zwischen 2.83 °C (NBS 1061) und 8.02 °C (NBS 47), d. h. auf der NBS-Fläche 47 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (5.19 °C) ist etwas niedriger als für die Tagsituation am Hitzewellentag (5.29 °C).
- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) variieren die T_s Mittelwerte zwischen 32.6 °C (NBS 30) und 41.2 °C (NBS 47, 768 und 1061), d. h. die Variationsbreite beträgt 8.6 °C und liegt damit in der gleichen Größenordnung wie für die Tagsituation am Hitzewellentag (8.5 °C). Die σ Werte variieren zwischen 2.34 °C (NBS 47) und 8.81 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (6.47 °C) ist größer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (5.44 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen 2.7 °C (NBS 865) und 10.2 °C (NBS 30), d. h. ihr Streubereich (7.5 °C) ist kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (8.7 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen 7.5 °C (NBS 30) und 15.5 °C (NBS 768), d. h. ihr Streubereich (8.0 °C) ist etwas kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (8.7 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen 16.4 °C (NBS 47) und 17.8 °C (NBS 772), d. h. ihr Streubereich (1.4 °C) ist leicht größer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (1.2 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen -0.6 °C (NBS 47) und 6.7 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (7.3 °C) ist etwas kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (7.7 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -8.9 °C (NBS 47) und 0.5 °C (NBS 865), d. h. ihr Streubereich (9.4 °C) ist geringfügig größer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (9.2 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen 5.2 °C (NBS 30) und 14.4 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (9.2 °C) ist geringfügig kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (9.8 °C).

Die Ergebnisse für die T_s Mittelwerte - über 22 bis 5 Uhr MEZ - am Sommertag (Tab. 40) werden wie folgt zusammengefasst:

- Für das Szenario A (derzeitig) streuen die T_s Mittelwerte unter den NBS-Flächen zwischen 16.8 °C (NBS 30) und 18.1 °C (NBS 768), d. h. die Streubreite beträgt 1.3 °C und ist damit deutlich kleiner als für die Tagsituation am Sommertag (9.8 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.39 °C (NBS 768) und 1.46 °C (NBS 818), d. h. auf der NBS-Fläche 818 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Wie zu erwarten war, ist der Streubereich der σ Werte nachts (1.07 °C) geringer als tagsüber (5.22 °C).
- Für das Szenario B (Asphalt) variieren die T_s Mittelwerte zwischen 17.5 °C (NBS 47 und 1061) und 18.1 °C (NBS 772), d. h. die Schwankungsbreite beträgt 0.6 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (2.3 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.14 °C (NBS 772) und 0.35 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.21 °C) deutlich kleiner als für die Tagsituation (1.85 °C).
- Für das Szenario C (Grün) liegen die T_s Mittelwerte zwischen 15.2 °C (NBS 818) und 15.8 °C (NBS 772), d. h. die Streubreite beträgt 0.6 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (1.9 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.23 °C (NBS 772) und 0.56 °C (NBS 47), d. h. auf der NBS-Fläche 47 ist die

räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.33 °C) deutlich kleiner als tagsüber (1.60 °C).

- Für das Szenario D (Planung mit Grün) schwanken die T_s Mittelwerte zwischen 15.5 °C (NBS 1061) und 17.9 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 2.4 °C und ist damit ebenfalls deutlich kleiner als für die Tagsituation (8.2 °C). Die σ Werte liegen zwischen 0.88 °C (NBS 1061) und 1.41 °C (NBS 818), d. h. auf der NBS-Fläche 818 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.53 °C) erneut deutlich kleiner als für die Tagsituation (5.19 °C).

Tab. 40: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten Bodenoberflächentemperatur T_s auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ	T_s	σ
A	16.8	1.09	17.1	1.23	18.1	0.39	-	-	17.2	1.46	-	-	17.3	1.23
B	17.6	0.35	17.5	0.21	17.6	0.18	18.1	0.14	17.6	0.17	18.0	0.18	17.5	0.18
C	15.6	0.55	15.3	0.56	15.3	0.25	15.8	0.23	15.2	0.31	15.7	0.34	15.3	0.25
D	16.7	1.12	17.1	1.36	17.9	1.18	-	-	17.1	1.41	-	-	15.5	0.88
E	17.6	1.03	17.8	0.21	18.1	0.34	-	-	18.1	0.91	-	-	17.8	0.26
B-C	2.0	0.50	2.2	0.51	2.3	0.21	2.3	0.13	2.4	0.22	2.3	0.25	2.2	0.21
E-D	0.9	1.17	0.7	1.32	0.2	1.15	-	-	1.0	1.25	-	-	2.3	0.76

- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) variieren die T_s Mittelwerte zwischen 17.6 °C (NBS 30) und 18.1 °C (NBS 768 und 818), d. h. die Variationsbreite beträgt 0.5 °C und ist damit erheblich kleiner als für die Tagsituation (8.6 °C). Die σ Werte liegen zwischen 0.21 °C (NBS 47) und 1.03 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_s Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.82 °C) auch kleiner als tagsüber (6.47 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen -0.5 °C (NBS 768) und 0.8 °C (NBS 30), d. h. ihr Streubereich (1.3 °C) ist deutlich kleiner als für die Tagsituation (7.5 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen 1.2 °C (NBS 30) und 2.8 °C (NBS 768), d. h. ihr Streubereich (1.6 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (8.0 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen 2.0 °C (NBS 30) und 2.4 °C (NBS 818), d. h. ihr Streubereich (0.4 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (1.4 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen 0.0 °C (NBS 47) und 1.8 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (1.8 °C) kleiner als für die Tagsituation (7.3 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -0.9 °C (NBS 818) und 0.0 °C (NBS 768), d. h. ihr Streubereich (0.9 °C) ist deutlich kleiner als für die Tagsituation (9.4 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen 0.2 °C (NBS 768) und 2.3 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (2.1 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (9.2 °C).

4.3.3.4 MITTLERE STRAHLUNGSTEMPERATUR

Die Ergebnisse für die mittlere Strahlungstemperatur T_{mrt} in Form von Mittelwerten über 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag (Tab. 41) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die T_{mrt} Mittelwerte für das Szenario A (derzeitig) streuen unter den NBS-Flächen zwischen 51.9 °C (NBS 30) und 65.9 °C (NBS 768), d. h. die Streubreite beträgt 14.0 °C. Die σ Werte variieren zwischen 6.70 °C (NBS 768) und 14.12 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten.
- Für das Szenario B (Asphalt) liegen die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 66.8 °C (NBS 30) und 69.8 °C (NBS 772). Somit beträgt der Unterschied 3.0 °C. Die σ Werte variieren zwischen 0.82 °C (NBS 818) und 5.36 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten.
- Für das Szenario C (Grün) liegen die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 44.8 °C (NBS 30) und 52.9 °C (NBS 772), d. h. die Streubreite beträgt 8.1 °C. Die σ Werte variieren zwischen 4.92 °C (NBS 768) und 8.87 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten.

Tab. 41: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	T_{mrt}	σ												
A	51.9	14.12	55.8	12.29	65.9	6.70	62.5	8.37	56.6	10.11	63.3	8.02	59.2	8.80
B	66.8	5.36	67.3	2.88	68.0	1.08	69.8	1.53	68.3	0.82	67.8	3.92	67.8	1.26
C	44.8	8.87	51.5	5.64	52.0	4.92	52.9	5.19	50.0	5.76	50.9	5.18	51.7	5.18
D	48.9	10.86	57.6	10.57	57.8	10.77	-	-	53.1	8.11	-	-	57.3	5.42
E	53.5	13.01	67.8	3.82	66.3	6.31	61.7	8.29	62.5	7.66	62.2	8.44	67.0	5.39
B-C	22.0	9.45	15.8	5.46	16.0	4.93	16.9	4.98	18.3	5.78	16.9	5.53	16.1	5.30
E-D	4.6	6.73	10.2	10.50	8.5	10.12	-	-	9.4	9.58	-	-	9.7	5.62

Kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche

- Für das Szenario D (Planung mit Grün) liegen die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 48.9 °C (NBS 30) und 57.8 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 8.9 °C. Die σ Werte variieren zwischen 5.42 °C (NBS 1061) und 10.86 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten.
- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) streuen die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 53.5 °C (NBS 30) und 67.8 °C (NBS 47), d. h. die Variationsbreite beträgt 14.3 °C. Die σ Werte variieren zwischen 3.82 °C (NBS 47) und 13.01 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten.
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen 2.1 °C (NBS 768) und 14.9 °C (NBS 30), d. h. ihr Schwankungsbereich beträgt 12.8 °C.
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen 4.3 °C (NBS 47) und 13.9 °C (NBS 768), d. h. ihr Streubereich beläuft sich auf 9.6 °C.

- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen 15.8 °C (NBS 47) und 22.0 °C (NBS 30), d. h. ihr Schwankungsbereich beträgt 6.2 °C.
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen -1.8 °C (NBS 47) und 8.1 °C (NBS 768), d. h. ihr Streubereich beläuft sich auf 9.9 °C.
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -12.0 °C (NBS 47) und 1.1 °C (NBS 865), d. h. ihr Schwankungsbereich beträgt 13.1 °C.
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen 4.6 °C (NBS 30) und 10.2 °C (NBS 47), d. h. ihr Streubereich beläuft sich auf 5.6 °C.

Die Resultate für die T_{mrt} Mittelwerte - über 22 bis 5 Uhr MEZ - am Hitzewellentag (Tab. 42) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Für das Szenario A (derzeitig) streuen die T_{mrt} Mittelwerte unter den NBS-Flächen zwischen 18.0 °C (NBS 1061) und 19.3 °C (NBS 30), d. h. die Streubreite (1.3 °C) ist deutlich niedriger als für die Tagsituation (14.0 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.43 °C (NBS 768) und 1.03 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Wie zu erwarten ist der Variationsbereich der σ Werte nachts (0.60 °C) deutlich geringer als tagsüber (7.42 °C).

Tab. 42: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	T_{mrt}	σ												
A	19.3	1.03	18.8	0.86	18.4	0.43	-	-	18.3	0.76	-	-	18.0	0.50
B	18.5	0.46	18.6	0.28	18.4	0.15	18.1	0.09	18.6	0.23	18.3	0.20	18.4	0.16
C	19.0	1.13	18.1	0.48	18.0	0.37	17.8	0.19	18.2	0.42	18.0	0.28	18.3	0.42
D	18.0	1.32	17.4	0.81	18.7	0.83	-	-	17.9	0.81	-	-	17.1	0.56
E	18.2	1.20	18.3	0.26	18.2	0.20	-	-	17.8	0.44	-	-	18.2	0.18
B-C	-0.5	1.20	0.5	0.53	0.4	0.44	0.3	0.22	0.4	0.53	0.3	0.38	0.1	0.44
E-D	0.2	0.67	0.9	0.75	-0.5	0.84	-	-	-0.1	0.66	-	-	1.1	0.62

- Für das Szenario B (Asphalt) liegen die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 18.1 °C (NBS 772) und 18.6 °C (NBS 47), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 0.5 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (3.0 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.09 °C (NBS 772) und 0.46 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.37 °C) kleiner als tagsüber (4.54 °C).
- Für das Szenario C (Grün) liegen die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 17.8 °C (NBS 772) und 19.0 °C (NBS 30), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 1.2 °C und ist damit deutlich kleiner als für die Tagsituation (8.1 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.19 °C (NBS 772) und 1.13 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Flächen 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.94 °C) ebenfalls kleiner als tagsüber (3.95 °C).
- Für das Szenario D (Planung mit Grün) liegen die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 17.1 °C (NBS 1061) und 18.7 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 1.6 °C und ist damit deutlich kleiner als für die Tagsituation (8.9 °C). Die σ Werte schwanken zwischen 0.56 °C (NBS 1061) und 1.32 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größ-

ten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.76 °C) kleiner als tagsüber (5.44 °C).

- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) variieren die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 17.8 °C (NBS 818) und 18.3 °C (NBS 47), d. h. die Schwankungsbreite beläuft sich auf 0.5 °C und ist damit erheblich kleiner als für die Tagsituation (14.3 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.18 °C (NBS 1061) und 1.20 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (1.02 °C) ebenfalls deutlich kleiner als tagsüber (9.19 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen -0.8 °C (NBS 30) und 0.4 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (1.2 °C) ist auch erheblich kleiner als für die Tagsituation (12.8 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen 0.1 °C (NBS 818) und 0.7 °C (NBS 47), d. h. ihr Streubereich (0.6 °C) ist ebenfalls deutlich kleiner als für die Tagsituation (9.6 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen -0.5 °C (NBS 30) und 0.5 °C (NBS 47), d. h. ihr Streubereich (1.0 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (6.2 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen -0.3 °C (NBS 768) und 1.4 °C (NBS 47), d. h. ihr Schwankungsbereich (1.7 °C) ist deutlich kleiner als für die Tagsituation (9.9 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -0.2 °C (NBS 1061) und 1.1 °C (NBS 30), d. h. ihr Streubereich (1.3 °C) ist ebenfalls deutlich kleiner als für die Tagsituation (13.1 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen -0.5 °C (NBS 768) und 1.1 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (1.6 °C) ist kleiner als für die Tagsituation auf (5.6 °C).

Die Ergebnisse für die T_{mrt} Mittelwerte - über 10 bis 16 Uhr MEZ - am Sommertag (Tab. 43) lauten zusammengefasst:

- Für das Szenario A (derzeitig) streuen die T_{mrt} Mittelwerte unter den NBS-Flächen zwischen 43.6 °C (NBS 30) und 57.6 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 14.0 °C und ist damit ebenso groß wie für die Tagsituation am Hitzewellentag. Die σ Werte streuen zwischen 6.47 °C (NBS 768) und 14.00 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (7.53 °C) ist geringfügig größer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (7.42 °C).
- Für das Szenario B (Asphalt) variieren die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 58.0 °C (NBS 30) und 61.3 °C (NBS 772), d. h. die Variationsbreite beträgt 3.3 °C und ist damit geringfügig größer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (3.0 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.80 °C (NBS 818) und 4.76 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (3.96 °C) ist etwas kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (4.54 °C).
- Für das Szenario C (Grün) streuen die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 37.2 °C (NBS 30) und 45.0 °C (NBS 772), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 7.8 °C und ist damit geringfügig kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (8.1 °C). Die σ Werte liegen zwischen 5.24 °C (NBS 768) und 9.21 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (3.97 °C) liegt in der Größenordnung wie für die Tagsituation am Hitzewellentag (3.95 °C).

Tab. 43: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	T_{mrt}	σ												
A	43.6	14.00	47.7	12.02	57.6	6.47	54.7	8.30	49.0	9.86	55.5	7.60	52.2	8.41
B	58.0	4.76	58.3	2.63	59.0	1.03	61.3	1.57	59.2	0.80	59.1	3.81	58.5	1.35
C	37.2	9.21	44.0	5.90	44.6	5.24	45.0	6.03	42.6	6.23	43.1	5.93	44.3	5.25
D	42.2	11.88	49.5	10.46	50.3	10.58	-	-	46.0	8.20	-	-	49.8	5.27
E	46.7	13.66	59.1	3.20	58.5	5.59	54.6	8.32	55.1	7.08	54.8	8.07	58.6	4.70
B-C	20.8	9.62	14.3	5.75	14.4	5.23	16.3	5.89	16.6	6.27	16.0	6.26	14.2	5.40
E-D	4.5	6.71	9.6	10.46	8.2	10.16	-	-	9.1	9.36	-	-	8.8	5.31

Kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche

- Für das Szenario D (Planung mit Grün) liegen die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 42.2 °C (NBS 30) und 50.3 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 8.1 °C und ist damit etwas kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (8.9 °C). Die σ Werte liegen zwischen 5.27 °C (NBS 1061) und 11.88 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (6.61 °C) ist größer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (5.44 °C).
- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) schwanken die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 46.7 °C (NBS 30) und 59.1 °C (NBS 47), d. h. die Variationsbreite beträgt 12.4 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (14.3 °C). Die σ Werte variieren zwischen 3.20 °C (NBS 47) und 13.66 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (10.46 °C) ist größer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (9.19 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen 6.3 °C (NBS 1061) und 14.4 °C (NBS 30), d. h. ihr Streubereich (8.1 °C) ist kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (12.8 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen 3.7 °C (NBS 47) und 13.0 °C (NBS 768), d. h. ihr Streubereich (9.3 °C) ist geringfügig kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (9.6 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen 14.2 °C (NBS 1061) und 20.8 °C (NBS 30), d. h. ihr Streubereich (6.6 °C) ist leicht größer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (6.2 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen -1.8 °C (NBS 47) und 7.3 °C (NBS 768), d. h. ihr Streubereich (9.1 °C) ist kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (9.9 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -11.4 °C (NBS 47) und 0.7 °C (NBS 865), d. h. ihr Streubereich (12.1 °C) ist kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (13.1 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen 4.5 °C (NBS 30) und 9.6 °C (NBS 47), d. h. ihr Streubereich (5.1 °C) ist etwas kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (5.6 °C).

Die Ergebnisse für die T_{mrt} Mittelwerte - über 22 bis 5 Uhr MEZ - am Sommertag (Tab. 44) werden wie folgt zusammengefasst:

- Für das Szenario A (derzeitig) streuen die T_{mrt} Mittelwerte unter den NBS-Flächen zwischen 8.9 °C (NBS 768) und 10.3 °C (NBS 30), d. h. die Streubreite beträgt 1.4 °C und ist damit deutlich kleiner als für die Tagsituation am Sommertag (14.0 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.74 °C (NBS 1061) und 1.86 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Wie zu erwarten war, ist der Streubereich der σ Werte nachts (1.12 °C) geringer als tagsüber (7.53 °C).
- Für das Szenario B (Asphalt) variieren die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 7.2 °C (NBS 1061) und 8.6 °C (NBS 772), d. h. die Schwankungsbreite beträgt 1.4 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (3.3 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.32 °C (NBS 818) und 0.72 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.40 °C) kleiner als für die Tagsituation (3.96 °C).
- Für das Szenario C (Grün) liegen die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 9.4 °C (NBS 47, 768 und 1061) und 10.7 °C (NBS 30), d. h. die Streubreite beträgt 1.3 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (7.8 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.44 °C (NBS 772) und 1.46 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (1.02 °C) kleiner als tagsüber (3.97 °C).

Tab. 44: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	T_{mrt}	σ												
A	10.3	1.86	9.8	1.47	8.9	1.02	-	-	9.9	1.08	-	-	9.6	0.74
B	7.8	0.72	7.7	0.50	7.6	0.37	8.6	0.43	7.6	0.32	8.2	0.51	7.2	0.42
C	10.7	1.46	9.4	0.56	9.4	0.51	9.6	0.44	9.7	0.51	9.8	0.46	9.4	0.57
D	10.7	1.14	9.6	1.05	10.3	1.37	-	-	10.3	0.84	-	-	8.3	0.93
E	10.5	1.25	8.1	0.60	8.9	0.97	-	-	9.5	0.90	-	-	8.3	0.85
B-C	-2.9	1.26	-1.7	0.55	-1.8	0.55	-1.0	0.29	-2.1	0.50	-1.6	0.41	-2.2	0.59
E-D	-0.2	0.79	-1.5	1.00	-1.4	1.28	-	-	-0.8	0.98	-	-	0.0	0.72

- Für das Szenario D (Planung mit Grün) schwanken die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 39.8 °C (NBS 30) und 44.6 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 4.8 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (8.1 °C). Die σ Werte liegen zwischen 0.84 °C (NBS 818) und 1.14 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.30 °C) deutlich kleiner als für die Tagsituation (6.61 °C).
- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) variieren die T_{mrt} Mittelwerte zwischen 8.1 °C (NBS 47) und 10.5 °C (NBS 30), d. h. die Variationsbreite beträgt 2.4 °C und ist damit deutlich kleiner als für die Tagsituation (12.4 °C). Die σ Werte liegen zwischen 0.60 °C (NBS 47) und 1.25 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen T_{mrt} Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.65 °C) auch erheblich kleiner als tagsüber (10.46 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen -2.5 °C (NBS 30) und -1.3 °C (NBS 30), d. h. ihr Streubereich (1.2 °C) ist deutlich kleiner als für die Tagsituation (8.1 °C).

- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen -0.5 °C (NBS 768) und 0.4 °C (NBS 47), d. h. ihr Streubereich (0.9 °C) ist deutlich kleiner als für die Tagsituation (9.3 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen -2.9 °C (NBS 30) und -1.0 °C (NBS 772), d. h. ihr Streubereich (1.9 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (6.6 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen -1.4 °C (NBS 768) und 1.3 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (2.7 °C) kleiner als für die Tagsituation (9.1 °C).
- Die Differenz der T_{mrt} Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -0.2 °C (NBS 30) und 1.7 °C (NBS 47), d. h. ihr Streubereich (1.9 °C) ist deutlich kleiner als für die Tagsituation (12.1 °C).
- Die Differenz der T_s Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D schwankt - soweit verfügbar - zwischen -1.5 °C (NBS 47) und 0.0 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (1.5 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (5.1 °C).

4.3.3.5 PHYSIOLOGISCH ÄQUIVALENTE TEMPERATUR

Die Ergebnisse für die physiologisch äquivalente Temperatur PET in Form von Mittelwerten über 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag (Tab. 45) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die PET Mittelwerte für das Szenario A (derzeitig) streuen unter den NBS-Flächen zwischen 39.7 °C (NBS 30) und 48.5 °C (NBS 865), d. h. die Streubreite beträgt 8.8 °C . Die σ Werte variieren zwischen 2.56 °C (NBS 865) und 6.24 °C (NBS 47), d. h. auf der NBS-Fläche 47 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten.
- Für das Szenario B (Asphalt) liegen die PET Mittelwerte zwischen 45.8 °C (NBS 30) und 49.7 °C (NBS 772). Somit beträgt der Unterschied 3.9 °C . Die σ Werte variieren zwischen 1.23 °C (NBS 768) und 2.82 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten.

Tab. 45: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten **physiologisch äquivalenten Temperatur PET auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003**

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ
A	39.7	6.00	42.9	6.24	48.0	3.52	46.6	4.38	43.2	4.96	48.5	2.56	46.2	5.27
B	45.8	2.82	46.7	1.81	47.1	1.23	49.7	1.31	46.4	1.35	47.6	1.68	47.1	1.27
C	36.6	3.84	39.9	2.60	40.2	2.30	41.6	2.60	39.0	2.57	40.1	2.38	40.1	2.33
D	39.8	5.61	44.0	5.57	44.6	5.58	-	-	42.2	4.38	-	-	43.9	3.00
E	42.4	6.92	48.4	2.56	48.5	3.43	46.2	4.24	47.1	4.12	46.7	4.20	48.5	2.75
B-C	9.2	4.69	6.8	2.55	6.9	2.29	8.1	2.50	7.4	2.73	7.5	2.63	7.0	2.44
E-D	2.6	3.51	4.4	4.97	3.9	5.07	-	-	4.9	4.92	-	-	4.6	2.67

Kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche

- Für das Szenario C (Grün) liegen die PET Mittelwerte zwischen 36.6°C (NBS 30) und 41.6 °C (NBS 772), d. h. die Streubreite beträgt 5.0 °C. Die σ Werte variieren zwischen 2.30 °C (NBS 768) und 3.84 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten.
- Für das Szenario D (Planung mit Grün) liegen die PET Mittelwerte zwischen 39.8 °C (NBS 30) und 44.6 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 4.8 °C. Die σ Werte variieren zwischen 3.00 °C (NBS 1061) und 5.61 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten.
- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) streuen die PET Mittelwerte zwischen 42.4 °C (NBS 30) und 48.5 °C (NBS 768 und 1061), d. h. die Variationsbreite beträgt 6.1 °C. Die σ Werte variieren zwischen 2.56 °C (NBS 47) und 6.92 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten.
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen -0.9 °C (NBS 768 und 865) und 6.1 °C (NBS 30), d. h. ihr Schwankungsbereich beträgt 7.0 °C.
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen 3.0 °C (NBS 47) und 8.4 °C (NBS 865), d. h. ihr Streubereich beläuft sich auf 5.4 °C.
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen 6.8 °C (NBS 47) und 9.2 °C (NBS 30), d. h. ihr Schwankungsbereich beträgt 2.4 °C.
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen -1.1 °C (NBS 47) und 3.4 °C (NBS 768), d. h. ihr Streubereich beläuft sich auf 4.5 °C.
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -5.5 °C (NBS 47) und 1.8 °C (NBS 865), d. h. ihr Schwankungsbereich beträgt 7.3 °C.
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen 2.6 °C (NBS 30) und 4.9 °C (NBS 818), d. h. ihr Streubereich beläuft sich auf 2.3 °C.

Die Resultate für die PET Mittelwerte - über 22 bis 5 Uhr MEZ - am Hitzewellentag (Tab. 46) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Für das Szenario A (derzeitig) streuen die PET Mittelwerte unter den NBS-Flächen zwischen 22.7 °C (NBS 47) und 23.7 °C (NBS 30), d. h. die Streubreite (1.0 °C) ist deutlich niedriger als für die Tagsituation (8.8 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.23 °C (NBS 768) und 0.46 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Wie zu erwarten ist der Variationsbereich der σ Werte nachts (0.23 °C) geringer als tagsüber (3.68 °C).
- Für das Szenario B (Asphalt) liegen die PET Mittelwerte zwischen 22.4 °C (NBS 47) und 23.4 °C (NBS 818 und 865), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 1.0 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (3.9 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.04 °C (NBS 865) und 0.23 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.19 °C) kleiner als tagsüber (1.59 °C).
- Für das Szenario C (Grün) liegen die PET Mittelwerte zwischen 21.7 °C (NBS 818) und 22.9 °C (NBS 865), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 1.2 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (5.0 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.11 °C (NBS 772) und 1.95 °C (NBS 818), d. h. auf der NBS-Flächen 818 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (1.84 °C) etwas größer als tagsüber (1.54 °C).
- Für das Szenario D (Planung mit Grün) liegen die PET Mittelwerte zwischen 22.0 °C (NBS 47) und 23.0 °C (NBS 818), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 1.0 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (4.8 °C). Die σ Werte schwanken zwischen 0.30 °C (NBS 47 und 1061) und 0.46 °C (NBS 30), d. h. auf

der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.16 °C) kleiner als tagsüber (2.61 °C).

- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) variieren die PET Mittelwerte zwischen 22.6 °C (NBS 47) und 23.4 °C (NBS 818), d. h. die Schwankungsbreite beläuft sich auf 0.8 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (6.1 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.20 °C (NBS 1061) und 0.34 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.14 °C) ebenfalls kleiner als tagsüber (4.36 °C).

Tab. 46: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten physiologisch äquivalenten Temperatur PET auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ
A	23.7	0.46	22.7	0.45	22.9	0.23	-	-	23.2	0.27	-	-	22.8	0.37
B	23.2	0.23	22.4	0.22	22.7	0.18	23.1	0.05	23.4	0.22	23.4	0.04	22.6	0.17
C	22.8	0.50	22.0	0.26	22.2	0.19	22.6	0.11	21.7	1.95	22.9	0.14	22.2	0.21
D	22.6	0.46	22.0	0.30	22.8	0.38	-	-	23.0	0.34	-	-	22.2	0.30
E	22.9	0.34	22.6	0.23	22.9	0.23	-	-	23.4	0.21	-	-	22.8	0.20
B-C	0.4	0.54	0.4	0.21	0.5	0.21	0.5	0.13	1.7	1.96	0.5	0.17	0.4	0.19
E-D	0.3	0.27	0.6	0.30	0.1	0.34	-	-	0.4	0.33	-	-	0.6	0.23

- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen -0.5 °C (NBS 30) und 0.2 °C (NBS 818), d. h. ihr Streubereich (0.7 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (7.0 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen 0.6 °C (NBS 1061) und 1.5 °C (NBS 818), d. h. ihr Streubereich (0.9 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (5.4 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen 0.4 °C (NBS 30, 47 und 1061) und 1.7 °C (NBS 818), d. h. ihr Streubereich (1.3 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (2.4 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen 0.1 °C (NBS 768) und 1.1 °C (NBS 47), d. h. ihr Schwankungsbereich (1.0 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (4.5 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -0.2 °C (NBS 818) und 0.8 °C (NBS 30), d. h. ihr Streubereich (1.0 °C) ist ebenfalls kleiner als für die Tagsituation (7.3 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen 0.1 °C (NBS 768) und 0.6 °C (NBS 47 und 1061), d. h. ihr Streubereich (0.5 °C) ist deutlich kleiner als für die Tagsituation auf (7.5 °C).

Die Ergebnisse für die PET Mittelwerte - über 10 bis 16 Uhr MEZ - am Sommertag (Tab. 47) lauten zusammengefasst:

- Für das Szenario A (derzeitig) streuen die PET Mittelwerte unter den NBS-Flächen zwischen 27.8 °C (NBS 30) und 36.0 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 8.2 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (8.8 °C). Die σ Werte streuen zwischen 3.82 °C (NBS 768) und 6.10 °C (NBS 47), d. h. auf der NBS-Fläche 47 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (2.28 °C) ist kleiner als für die Tagsituation am

Hitzewellentag (3.68 °C).

- Für das Szenario B (Asphalt) variieren die PET Mittelwerte zwischen 32.6 °C (NBS 30) und 37.7 °C (NBS 772), d. h. die Variationsbreite beträgt 5.1 °C und ist damit größer als für die Tagsituation am Hitzewellentag (3.9 °C). Die σ Werte streuen zwischen 1.42 °C (NBS 772) und 2.85 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (1.43 °C) ist etwas kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (1.59 °C).
- Für das Szenario C (Grün) streuen die PET Mittelwerte zwischen 25.3 °C (NBS 30) und 30.2 °C (NBS 772), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 4.9 °C und ist damit fast ebenso groß wie für die Tagsituation am Hitzewellentag (5.0 °C). Die σ Werte liegen zwischen 2.45 °C (NBS 768) und 3.62 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (1.17 °C) ist kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (1.54 °C).

Tab. 47: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten physiologisch äquivalenten Temperatur PET auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ
A	27.8	5.39	31.1	6.10	36.0	3.82	<i>35.1</i>	<i>4.49</i>	31.5	4.85	<i>35.5</i>	<i>4.02</i>	35.5	5.51
B	32.6	2.85	33.6	2.01	34.1	1.52	37.7	1.42	32.8	1.77	35.3	1.64	34.0	1.52
C	25.3	3.62	27.9	2.76	28.3	2.45	30.2	3.03	27.0	2.72	28.5	2.78	28.3	2.37
D	29.3	5.94	32.1	5.70	33.2	5.64	-	-	31.2	4.61	-	-	32.5	3.35
E	31.7	7.08	36.0	2.76	36.7	3.58	<i>35.0</i>	<i>4.45</i>	35.7	4.39	<i>35.5</i>	<i>3.95</i>	36.5	2.92
B-C	7.3	4.43	5.7	2.63	5.8	2.36	7.5	2.95	5.8	2.86	6.8	3.00	5.7	2.44
E-D	2.4	3.34	3.9	4.91	3.5	5.03	-	-	4.5	4.67	-	-	4.0	2.52

Kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche

- Für das Szenario D (Planung mit Grün) liegen die PET Mittelwerte zwischen 29.3 °C (NBS 30) und 33.2 °C (NBS 768), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 3.9 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (4.8 °C). Die σ Werte liegen zwischen 3.35 °C (NBS 1061) und 5.94 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (2.59 °C) ist fast ebenso groß wie für die Tagsituation am Hitzewellentag (2.61 °C).
- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) schwanken die PET Mittelwerte zwischen 31.7 °C (NBS 30) und 36.7 °C (NBS 768), d. h. die Variationsbreite beträgt 5.0 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (6.1 °C). Die σ Werte variieren zwischen 2.76 °C (NBS 47) und 7.08 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Der Streubereich der σ Werte (4.32 °C) ist fast ebenso groß wie für die Tagsituation am Hitzewellentag (4.36 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen -1.9 °C (NBS 768) und 4.8 °C (NBS 30), d. h. ihr Streubereich (6.7 °C) ist etwas kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (7.0 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen 2.5 °C (NBS 30) und 7.7 °C (NBS 768), d. h. ihr Streubereich (5.2 °C) ist fast so groß wie für die Tagsituation am Hitzewellentag (5.4 °C).

- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen 5.7 °C (NBS 47 und 1061) und 7.5 °C (NBS 772), d. h. ihr Streubereich (1.8 °C) ist kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (2.4 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen -1.5 °C (NBS 30) und 3.0 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (4.5 °C) ist ebenso groß wie für die Tagsituation am Hitzewellentag (4.5 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -4.9 °C (NBS 47) und 0.1 °C (NBS 772), d. h. ihr Streubereich (5.0 °C) ist kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (7.3 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D liegt - soweit verfügbar - zwischen 2.4 °C (NBS 30) und 4.5 °C (NBS 818), d. h. ihr Streubereich (2.1 °C) ist etwas kleiner als für die Tagsituation am Hitzewellentag (2.3 °C).

Die Ergebnisse für die PET Mittelwerte - über 22 bis 5 Uhr MEZ - am Sommertag (Tab. 48) werden wie folgt zusammengefasst:

- Für das Szenario A (derzeitig) streuen die PET Mittelwerte unter den NBS-Flächen zwischen 11.6 °C (NBS 768) und 12.3 °C (NBS 1061), d. h. die Streubreite beträgt 0.7 °C und ist damit deutlich kleiner als für die Tagsituation am Sommertag (8.2 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.84 °C (NBS 818) und 1.19 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Wie zu erwarten war, ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.35 °C) geringer als tagsüber (2.28 °C).
- Für das Szenario B (Asphalt) variieren die PET Mittelwerte zwischen 10.5 °C (NBS 47 und 1061) und 11.5 °C (NBS 772), d. h. die Schwankungsbreite beträgt 1.0 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (5.1 °C). Die σ Werte streuen zwischen 0.30 °C (NBS 768 und 772) und 0.49 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.19 °C) kleiner als für die Tagsituation (1.43 °C).
- Für das Szenario C (Grün) liegen die PET Mittelwerte zwischen 11.2 °C (NBS 47) und 12.1 °C (NBS 30), d. h. die Streubreite beträgt 0.9 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (4.9 °C). Die σ Werte variieren zwischen 0.34 °C (NBS 768) und 1.01 °C (NBS 30), d. h. auf der NBS-Fläche 30 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.67 °C) kleiner als tagsüber (1.17 °C).
- Für das Szenario D (Planung mit Grün) schwanken die PET Mittelwerte zwischen 11.4 °C (NBS 1061) und 12.5 °C (NBS 30), d. h. der Schwankungsbereich beträgt 1.1 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (3.9 °C). Die σ Werte liegen zwischen 0.65 °C (NBS 47) und 0.96 °C (NBS 768), d. h. auf der NBS-Fläche 768 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.31 °C) kleiner als für die Tagsituation (2.59 °C).
- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) variieren die PET Mittelwerte zwischen 11.0 °C (NBS 47) und 12.4 °C (NBS 30), d. h. die Variationsbreite beträgt 1.4 °C und ist damit kleiner als für die Tagsituation (5.0 °C). Die σ Werte liegen zwischen 0.63 °C (NBS 47) und 0.98 °C (NBS 818), d. h. auf der NBS-Fläche 818 ist die räumliche Variabilität der gitterzellenbezogenen PET Werte am größten. Für dieses Szenario ist der Streubereich der σ Werte nachts (0.35 °C) auch kleiner als tagsüber (4.32 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien B und A liegt zwischen -1.8 °C (NBS 1061) und -1.0 °C (NBS 768), d. h. ihr Streubereich (0.8 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (6.7 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien A und C streut zwischen -0.3 °C (NBS 30) und 1.0 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (1.3 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (5.2 °C).

Tab. 48: Flächenmittelwerte (°C) und entsprechende Standardabweichungen σ (°C) der simulierten **physiologisch äquivalenten Temperatur PET auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am **Sommertag 23. Juni 2011****

Szenario	NBS 30		NBS 47		NBS 768		NBS 772		NBS 818		NBS 865		NBS 1061	
	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ	PET	σ
A	11.8	1.19	11.7	0.87	11.6	0.94	-	-	11.9	0.84	-	-	12.3	0.91
B	10.7	0.49	10.5	0.36	10.6	0.30	11.5	0.30	10.6	0.31	11.3	0.40	10.5	0.33
C	12.1	1.01	11.2	0.40	11.3	0.34	12.0	0.35	11.4	0.38	12.0	0.47	11.3	0.35
D	12.5	0.83	11.7	0.65	12.2	0.96	-	-	12.4	0.89	-	-	11.4	0.81
E	12.4	0.85	11.0	0.63	11.6	0.93	-	-	12.2	0.98	-	-	11.3	0.87
B-C	-1.4	0.76	-0.7	0.21	-0.7	0.22	-0.5	0.12	-0.8	0.22	-0.6	0.16	-0.8	0.24
E-D	-0.1	0.35	-0.7	0.41	-0.6	0.54	-	-	-0.2	0.42	-	-	-0.1	0.28

- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien B und C variiert zwischen -1.4 °C (NBS 30) und -0.5 °C (NBS 772), d. h. ihr Streubereich (0.9 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (1.8 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien A und D liegt zwischen -0.7 °C (NBS 30) und 0.9 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (1.6 °C) kleiner als für die Tagsituation (4.5 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien A und E streut zwischen -0.6 °C (NBS 30) und 1.0 °C (NBS 1061), d. h. ihr Streubereich (1.6 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (5.0 °C).
- Die Differenz der PET Mittelwerte zwischen den Szenarien E und D schwankt - soweit verfügbar - zwischen -0.7 °C (NBS 47) und -0.1 °C (NBS 30 und 1061), d. h. ihr Streubereich (0.6 °C) ist kleiner als für die Tagsituation (2.1 °C).

4.3.3.6 RESÜMEE AUS DER SICHT DER URBANEN HUMAN-BIOMETEOROLOGIE

Aus den Ergebnissen in Tab. 33 bis Tab. 48 lässt sich im Hinblick auf die urbane Human-Biometeorologie folgendes Resümee ableiten:

- Bezogen auf den derzeitigen Flächenzustand (Szenario A) wird bei den NBS-Flächen 30 und 47 die thermische Belastung für Menschen, quantifiziert über PET, durch das Planungsszenario D sowohl am Hitzewelltag als auch am Sommertag, gemittelt über den Zeitabschnitt 10-16 Uhr MEZ, größer. Sie wird bei der NBS-Fläche 47 am Hitzewelltag in der Klasse „heiß“ intensiviert. Das deutet sich für diese NBS-Fläche bereits über T_{mrt} und T_{s} , nicht aber über T_a an.
- Die NBS-Flächen 768, 772, 818, 865 und 1061 weisen im Szenario A für den Tageszeitraum am Hitzewelltag bereits thermische Belastungen für Menschen in der Klasse „heiß“ (Tab. 1) auf. Durch das jeweilige Planungsszenario D werden auf diesen Flächen zwar die mittleren PET Werte reduziert, sie liegen aber immer noch in der Klasse „heiß“.
- Das Mitigationspotenzial auf den einzelnen NBS-Flächen für lokale Hitze wird durch das Szenario C angegeben. Es wird durch die Planungsszenarien D auf den einzelnen NBS-Flächen nicht voll ausgeschöpft.
- Das Szenario E (Planung ohne Grün) führt auf allen hier untersuchten NBS-Flächen - mit Ausnahme der NBS-Flächen 772 und 865, die simulationstechnisch gesehen Sonderfälle darstellen - zu einer Erhöhung

der thermischen Belastung für Menschen gegenüber dem derzeitigen Flächenzustand.

- Bei einer human-biometeorologisch orientierten Bewertung der Szenarien D und E ist zu beachten, dass bei den numerischen Simulationen für das Szenario D von adulten Bäumen ausgegangen wurde. Dieses Stadium wird in der Realität erst nach einem gewissen Wachstumszeitraum erreicht. Somit ist bei der human-biometeorologischen Bewertung der Planung auf den einzelnen NBS-Flächen das Szenario E der Ausgangszustand, der sich im Laufe der Wachstumsphase der Bäume in das Szenario D ändert.

4.3.3.7 SZENARIENBEZOGENE ZUSAMMENFASSUNG

Die Flächenmittelwerte in Tab. 33 bis Tab. 48 für die Variablen T_a , T_s , T_{mrt} und PET bei verschiedenen Szenarien beziehen sich auf die sieben NBS-Flächen, für die numerische Simulationen mit dem ENVI-met Modell für den Hitzewellentag 4. August 2003 und den Sommertag 23. Juni 2011 durchgeführt wurden. Diese Resultate werden in Tab. 49 bis Tab. 52 durch szenariobezogene Extremwerte Min und Max, d. h. Minimum und Maximum, sowie Δ Werte (= Maximum - Minimum) für die Flächenmittelwerte von T_a , T_s , T_{mrt} und PET aus dem Kollektiv dieser sieben NBS-Flächen ergänzt. Bei den Differenzen zwischen verschiedenen Szenarien ist zu beachten, dass sie sich nicht einfach aus den Werten für die einzelnen Szenarien ableiten lassen, weil unterschiedliche NBS-Flächen die Grundlage bilden.

Aus den Ergebnissen in Tab. 49 bis Tab. 52 folgt:

- Erwartungsgemäß sind für beide Simulationstage die mittleren Min und Max Werte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ größer als über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ.
- Wie ebenfalls zu erwarten ist, sind die mittleren Min und Max Werte am Hitzewellentag über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ deutlich größer als am Sommertag über den gleichen Zeitraum.
- Die mittleren Min und Max Werte am Hitzewellentag über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ sind ebenfalls deutlich größer als am Sommertag über den gleichen Zeitraum.
- Die Unterschiede der mittleren Min und Max Werte zwischen dem Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ und dem Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ erreichen an beiden Simulationstagen in erster Näherung die gleiche Größenordnung.
- Die mittleren Δ Werte für T_a weisen am Hitzewellentag für beide Zeiträume näherungsweise die gleiche Größenordnung auf. Das trifft auch auf den Sommertag zu. Allerdings sind die Δ Werte für T_a am Hitzewellentag größer als am Sommertag.
- Für die Zielgrößen T_s und T_{mrt} liegen die mittleren Δ Werte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ an beiden Simulationstagen je Szenario in der gleichen Größenordnung. Das trifft auch für den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ an beiden Simulationstagen zu. Allerdings sind die mittleren Δ Werte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ deutlich größer als über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ. In der Nachtperiode weist PET an beiden Simulationstagen ein ähnliches Muster wie für T_s und T_{mrt} auf. Über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ besteht bei PET die Tendenz eines Musters wie für T_s und T_{mrt} .
- Während die mittleren Δ Werte für T_a , T_s , T_{mrt} und PET an beiden Simulationstagen über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ eine vergleichbare Größenordnung zeigen, sind die mittleren Δ Werte für T_s , T_{mrt} und PET an beiden Simulationstagen über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ deutlich größer als die entsprechenden mittleren Δ Werte für T_a .

Tab. 49: Szenariobezogene Extremwerte Min und Max sowie Δ Werte (= Max-Min) für T_a , T_s , T_{mrt} und PET aus dem Kollektiv der NBS-Flächen 30, 47, 768, 772, 818, 865 und 1061, Flächenmittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)			T_s (°C)			T_{mrt} (°C)			PET (°C)		
	Min	Max	Δ	Min	Max	Δ	Min	Max	Δ	Min	Max	Δ
A	30.9	33.1	2.2	38.2	47.8	9.6	51.9	65.9	14.0	39.7	48.5	8.8
B	31.8	32.6	0.8	47.9	50.3	2.4	66.8	69.8	3.0	45.8	49.7	3.9
C	30.4	31.6	1.2	30.6	32.4	1.8	44.8	52.9	8.1	36.6	41.6	5.0
D	30.9	32.0	1.1	33.5	42.1	8.6	48.9	57.8	8.9	39.8	44.6	4.8
E	31.1	32.4	1.3	40.4	48.9	8.5	53.5	67.8	14.3	42.4	48.5	6.1
B-A	0.0	0.9	0.9	1.0	9.7	8.7	2.1	14.9	12.8	-0.9	6.1	7.0
A-C	0.4	1.5	1.1	7.6	16.3	8.7	4.3	13.9	9.6	3.0	8.4	5.4
B-C	0.4	1.4	1.0	16.7	17.9	1.2	15.8	22.0	6.2	6.8	9.2	2.4
A-D	0.0	1.1	1.1	-0.4	7.3	7.7	-1.8	8.1	9.9	-1.1	3.4	4.5
A-E	-0.4	0.7	1.1	-8.7	0.5	9.2	-12.0	1.1	13.1	-5.5	1.8	7.3
E-D	0.2	0.6	0.4	5.1	14.9	9.8	4.6	10.2	5.6	2.6	4.9	7.5

Tab. 50: Szenariobezogene Extremwerte Min und Max sowie Δ Werte (= Max-Min) für T_a , T_s , T_{mrt} und PET aus dem Kollektiv der NBS-Flächen 30, 47, 768, 772, 818, 865 und 1061, Flächenmittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)			T_s (°C)			T_{mrt} (°C)			PET (°C)		
	Min	Max	Δ	Min	Max	Δ	Min	Max	Δ	Min	Max	Δ
A	26.1	28.3	2.2	23.6	25.7	2.1	18.0	19.3	1.3	22.7	23.7	1.0
B	27.4	28.6	1.2	25.1	25.9	0.8	18.1	18.6	0.5	22.4	23.4	1.0
C	26.4	28.1	1.7	21.3	22.0	0.7	17.8	19.0	1.2	21.7	22.9	1.2
D	27.2	28.1	0.9	21.5	24.4	2.9	17.1	18.7	1.6	22.0	23.0	1.0
E	27.5	28.7	1.2	23.8	25.3	1.5	17.8	18.3	0.5	22.6	23.4	0.8
B-A	0.0	1.3	1.3	0.0	2.4	2.4	-0.8	0.4	1.2	-0.5	0.2	0.7
A-C	-0.9	1.9	2.8	2.0	4.4	2.4	0.1	0.7	0.6	0.6	1.5	0.9
B-C	0.4	2.2	1.8	3.3	4.4	1.1	-0.5	0.5	1.0	0.4	1.7	1.3
A-D	-1.1	0.9	2.0	0.6	2.1	1.5	-0.3	1.4	1.7	0.1	1.1	1.0
A-E	-1.4	0.7	2.1	-2.0	0.4	2.4	-0.2	1.1	1.3	-0.2	0.8	1.0
E-D	0.2	0.6	0.4	0.8	3.7	2.9	-0.5	1.1	1.6	0.1	0.6	0.5

- Die Ergebnisse für die gegensätzlichen Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) repräsentieren in etwa die flächennutzungsbedingte Variationsmöglichkeit für die Zielgrößen T_a , T_s , T_{mrt} und PET. In Bezug auf T_a ist sie tagsüber an beiden Simulationstagen weniger stark ausgeprägt als für T_s , T_{mrt} und PET. Wie zu erwarten war, erreicht bei allen Zielgrößen diese Variationsmöglichkeit an beiden Simulationstagen in der Nachtperiode ein deutlich schwächeres Ausmaß als in der Tagesperiode.
- Da die mittleren Extremwerte Min und Max sowie Δ Werte an beiden Simulationstagen im Tageszeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ größer als in der Nachtperiode 22 bis 5 Uhr MEZ sind, reicht es unter Aspekten der urbanen Human-Biometeorologie aus, die Interpretation der szenariobezogenen Extremwerte und Δ Werte primär auf den Tageszeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag (Tab. 49) zu reduzieren.

Tab. 51: Szenariobezogene Extremwerte Min und Max sowie Δ Werte (= Max-Min) für T_a , T_s , T_{mrt} und PET aus dem Kollektiv der NBS-Flächen 30, 47, 768, 772, 818, 865 und 1061, Flächenmittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)			T_s (°C)			T_{mrt} (°C)			PET (°C)		
	Min	Max	Δ	Min	Max	Δ	Min	Max	Δ	Min	Max	Δ
A	19.9	20.7	0.8	30.2	40.0	9.8	43.6	57.6	14.0	27.8	36.0	8.2
B	20.4	21.0	0.6	40.4	42.7	2.3	58.0	61.3	3.3	32.6	37.7	5.1
C	19.5	20.3	0.8	22.7	24.6	1.9	37.2	45.0	7.8	25.3	30.2	4.9
D	19.9	20.6	0.7	26.2	34.4	8.2	42.2	50.3	8.1	29.3	33.2	3.9
E	20.1	20.8	0.7	32.6	41.2	8.6	46.7	59.1	12.4	31.7	36.7	5.0
B-A	0.1	0.6	0.5	2.7	10.2	7.5	6.3	14.4	8.1	-1.9	4.8	6.7
A-C	0.2	0.5	0.3	7.5	15.5	8.0	3.7	13.0	9.3	2.5	7.7	5.2
B-C	0.3	1.0	0.7	16.4	17.8	1.4	14.2	20.8	6.6	5.7	7.5	1.8
A-D	0.0	0.2	0.2	-0.6	6.7	7.3	-1.8	7.3	9.1	-1.5	3.0	4.5
A-E	-0.3	0.0	0.3	-8.9	0.5	9.4	-11.4	0.7	12.1	-4.9	0.1	5.0
E-D	0.2	0.5	0.3	5.2	14.4	9.2	4.5	9.6	5.1	2.4	4.5	2.1

Tab. 52: Szenariobezogene Extremwerte Min und Max sowie Δ Werte (= Max-Min) für T_a , T_s , T_{mrt} und PET aus dem Kollektiv der NBS-Flächen 30, 47, 768, 772, 818, 865 und 1061, Flächenmittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)			T_s (°C)			T_{mrt} (°C)			PET (°C)		
	Min	Max	Δ	Min	Max	Δ	Min	Max	Δ	Min	Max	Δ
A	16.1	16.6	0.5	16.8	18.1	1.3	8.9	10.3	1.4	11.6	12.3	0.7
B	16.3	16.7	0.4	17.5	18.1	0.6	7.2	8.6	1.4	10.5	11.5	1.0
C	16.0	16.5	0.5	15.2	15.8	0.6	9.4	10.7	1.3	11.2	12.1	0.9
D	16.1	16.5	0.4	15.5	17.9	2.4	39.8	44.6	4.8	11.4	12.5	1.1
E	16.3	16.7	0.4	17.6	18.1	0.5	8.1	10.5	2.4	11.0	12.4	1.4
B-A	0.0	0.4	0.4	-0.5	0.8	1.3	-2.5	-1.3	1.2	-1.8	-1.0	0.8
A-C	0.1	0.3	0.2	1.2	2.8	1.6	-0.5	0.4	0.9	-0.3	1.0	1.3
B-C	0.2	0.5	0.3	2.0	2.4	0.4	-2.9	-1.0	1.9	-1.4	-0.5	0.9
A-D	0.0	0.2	0.2	0.0	1.8	1.8	-1.4	1.3	2.7	-0.7	0.9	1.6
A-E	-0.2	0.0	0.2	-0.9	0.0	0.9	-0.2	1.7	1.9	-0.6	1.0	1.6
E-D	0.1	0.2	0.1	0.2	2.3	2.1	-1.5	0.0	1.5	-0.7	-0.1	0.6

- Die Ergebnisse für T_a in den Szenarien A bis E erlauben keine eindeutigen Rückschlüsse auf Szenarioabhängigkeiten. Das spiegelt sich auch in den T_a Differenzen zwischen verschiedenen Szenarien wider. Dieses Phänomen ist nicht überraschend, wenn die physikalischen Prozesse berücksichtigt werden, aus deren Zusammenwirken die T_a Werte resultieren.
- Über T_s deuten sich Szenarioabhängigkeiten an, die unter der erforderlichen human-biometeorologischen Betrachtungsweise bei T_{mrt} klar hervortreten und sich in Analogie dazu beim thermischen Bewertungsindex PET fortsetzen.

- Bei den sieben näher untersuchten NBS-Flächen sind für T_s , T_{mrt} und PET die mittleren Δ Werte im Szenario A - bezogen auf alle Szenarien - fast immer am größten. Dies reflektiert die deutlichen humanbiometeorologischen Unterschiede durch die ausgeprägte Differenzierung in der derzeitigen Nutzung der NBS-Flächen.
- Die über die mittleren Min und Max Werte abgegrenzten Größenordnungen zeigen in der Tendenz für T_s , T_{mrt} und PET, dass sich die derzeitige Nutzung der NBS-Flächen (Szenario A) thermisch näher am Szenario B (Asphalt) als am Szenario C (Grün) befindet.
- Durch die für die einzelnen NBS-Flächen vorgesehene Planung (Szenario D) verbessert sich im Mittel die thermische Situation für Menschen gegenüber dem Szenario A. Allerdings wird nicht ein so großes Ausmaß erreicht, dass der Übergang von "heiß" in "warm" nach der Einteilung des thermischen Empfindens (Tab. 1) erreicht wird.
- Die relativ hohen mittleren Δ Werte für das Szenario D, insbesondere für T_s und T_{mrt} aber auch in etwas abgeschwächter Form für PET, weisen auf ausgeprägte flächenspezifische Variabilitäten hin. In diesem Zusammenhang ist noch einmal auf die bereits erwähnte Rolle von Bäumen hinzuweisen, die in der Planung als adult dargestellt sind. Der längere Zeitraum von der Pflanzung bis zum adulten Stadium bleibt unberücksichtigt. Deswegen ist es realitätsnaher, bei der Planung zunächst vom Szenario E (Planung ohne Grün) auszugehen, das sich im Lauf des Baumwachstums in das Szenario D ändert.
- Das Szenario D führt gegenüber dem Szenario A im Mittel über die untersuchten NBS-Flächen zu einer leichten Erhöhung der thermischen Belastungen für Menschen. Sie erreicht aber nicht die über das Szenario B angegebene Größenordnung. Verantwortlich dafür sind die Gebäude mit ihren sonnenstandsabhängigen Schattenflächen. Sie fehlen im Szenario B komplett.
- Wie bereits im Kapitel 4.3.3.6 erwähnt, wird im Mittel über die untersuchten NBS-Flächen das lokale thermische Mitigationspotenzial, das sich über das Szenario C abschätzen lässt, durch die flächenspezifischen Planungen (Szenario D) nicht ausgeschöpft. Eine geeignete Optimierung der Grünausstattung in den Planungen würde dazu beitragen, unter großräumig vorgegebener, extremer Hitze den lokalen thermischen Komfort für Menschen aufrechtzuerhalten. Die Grundlage für solche Optimierungen lassen sich durch geeignete numerische Simulationen, z. B. mit dem ENVI-met Modell, bereitstellen.

4.3.3.8 RESÜMEE AUS PLANERISCHER SICHT

Aus den Simulationsergebnissen lassen sich für die Planung folgende generelle Schlussfolgerungen ziehen:

- Großkronige Bäume haben aufgrund ihrer Schattenwirkung einen positiven Effekt auf den thermischen Komfort von Menschen. Die größte Wirkung wird erzielt, wenn mehrere Bäume ein geschlossenes Kronendach ausbilden.
- Die Pflanzung von Bäumen insbesondere vor den Südfassaden von Gebäuden bewirkt eine Reduzierung von T_a und PET, die betragsmäßig bei PET als Indikator für das thermische Empfinden und die thermische Belastung des Menschen erheblich stärker ausfällt.
- Es lässt sich ein positiver Effekt auf das thermische Empfinden von Menschen feststellen, wenn eine angemessene Grünausstattung eingeplant wird.
- Die Simulation hat ergeben, dass das thermische Empfinden von Menschen an einem Hitzewellentag durch die Planung einer Bebauung mit angemessener Grünausstattung in der Regel leicht positiv beeinflusst wird - verglichen mit den derzeitigen Nutzungszuständen. Selbst für einen durchschnittlichen Sommertag ergibt sich noch eine sehr geringfügige positive Beeinflussung des thermischen Empfinden von Menschen.

- Für die Zielgröße PET sind am Hitzewellentag bei der simulierten Planungsvariante mit Grün in der Regel tendenziell niedrigere Werte (→ Reduzierung der thermischen Belastung) feststellbar als für die simulierte Ist-Situation und insbesondere als für die simulierte Planungsvariante ohne Grün.
- Grünflächen tragen positiv zum thermischen Komfort von Menschen in der Stadt bei.
- Städtebauliche Entwürfe können hinsichtlich des Verbesserungspotenzials geprüft und bewertet werden (z. B. Gebäudestellungen und -abstände anpassen, Baumstandorte prüfen, usw.).
- Die bei der Simulation berücksichtigten Maßnahmen können bauplanungsrechtlich gesichert werden, wenn sie einen hohen Wert für den thermischen Komfort haben.

Weitere spezielle Schlussfolgerungen sind:

- *Mittlere* Betrachtung des Hitzetags als Synonym für zukünftige klimatische Randbedingungen:

Eine konsequente Begrünung von Flächen würde sich auf das thermische Empfinden von Menschen in der Regel positiv auswirken, eine reine Asphaltfläche deutlich negativ. Bebauungs-/Begrünungsvarianten liegen meist dazwischen.

Eine Bebauung mit Grünanteil wirkt sich in der Regel im Vergleich zum Ist-Zustand positiv aus. Eine Bebauung ohne Grünausstattung würde sich negativ auswirken.

Art und Maß der Begrünung und der Bebauung bestimmen den Grad der positiven Auswirkungen.

In der Nachtbetrachtung ergeben sich erwartungsgemäß nur sehr geringe Unterschiede, dennoch lässt sich die sehr hohe Lufttemperatur durch umfangreiche Begrünung etwas senken.

- *Mittlere* Betrachtung des Sommertags:

Insgesamt ergeben sich für die Tagbetrachtung geringere thermische Unterschiede. Auch hier wirkt sich eine Bebauung ohne Grün in der Regel negativ aus.

Eine Bebauung mit Begrünung führt in der Regel zu leichten Verbesserungen im Vergleich zum Istzustand.

Die Nacht ist in der Regel unkritisch.

Durch ausreichende Begrünungsmaßnahmen lässt sich im Mittel ein Teil der voraussichtlichen klimatischen Verschlechterungen im Bereich der thermischen Bedingungen (Hitzetag) wieder zurücknehmen. Die Detailsimulationen zur Zielgröße PET (Hitzetag) zeigen die Notwendigkeit auf, durch Begrünung insbesondere mit großkronigen Bäumen z. B. kleinräumig Ausgleichs-/Erholungsbereiche zu schaffen. Empfehlung wäre in der Regel also das Szenario D. Idealerweise könnten im weiteren Verfahren auch Bebauungsvarianten über den Einsatz des ENVI-met Modells vertieft untersucht werden, um eine weitere (notwendige, geeignete) Optimierung zu ermöglichen. Dies erfordert eine enge konstruktive Zusammenarbeit zwischen Planung und Umweltsimulation.

5 Schlussfolgerungen

Im Rahmen dieses Projekts wurden zwei aufeinander abgestimmte methodische Ansätze angewendet. Sie sind auf die Erstellung von Grundlagen für das Modul Klimaplanungspass Stuttgart (KlippS) ausgerichtet. Damit soll die Informationsplattform Nachhaltiges Bauflächenmanagement Stuttgart (NBS) erweitert werden. Sie weist derzeit ca. 360 NBS-Flächen aus. Damit sollen u. a. auch die klimabezogenen Grundlagen für weitere planerische Entscheidungen im Sinne der Anforderungen des Baugesetzbuchs an Klimaschutz und Klimaanpassung im Rahmen der Bauleitplanung ergänzt werden. Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich das Projekt mit der auf Menschen bezogenen, d. h. human-biometeorologisch relevanten, thermischen Komponente des Stadtklimas in seiner lokalen Ausprägung.

Da es innerhalb dieses zeitlich limitierten Projektes unmöglich war, für alle NBS Flächen spezifische Klimaplanungspässe aufzustellen, wurden 59 NBS-Flächen ausgewählt, die als repräsentativ für die ca. 360 NBS-Flächen aufgefasst werden konnten. Das Kollektiv von 59 NBS-Flächen war immer noch relativ umfangreich, um im vorgegebenen Projektzeitraum eine human-biometeorologische Bewertung der thermischen Bedingungen in einer räumlichen Differenzierung durchführen zu können, die den Anforderungen aus der Planung gerecht wird. Daher wurde im Rahmen des ersten methodischen Ansatzes zunächst ein einfaches human-biometeorologisches Bewertungsverfahren zur Beurteilung der derzeitigen thermischen Bedingungen in der bodennahen Atmosphäre über den 59 NBS-Flächen auf der Grundlage von geeigneten, verfügbaren Indikatoren entwickelt und anschließend auch auf diese Flächen angewendet. Unabhängig vom Charakter eines Screenings hat sich dieses Bewertungsverfahren, das für die einzelnen NBS-Flächen ihre human-biometeorologische Wertigkeit und ihren human-biometeorologischen Handlungsbedarf als Zielgrößen aufweist, als sehr effektiv erwiesen, wenn die derzeitigen thermischen Bedingungen einer größeren Anzahl von NBS-Flächen im Rahmen eines Screenings zu untersuchen sind.

Der für die einzelnen NBS-Flächen ermittelte Handlungsbedarf ist auf Menschen bezogen, d. h. er ist ausschließlich human-biometeorologisch begründet. Vor dem Hintergrund des regionalen Klimawandels, insbesondere der zu erwartenden Intensivierung von Hitze im Sommer, sollte der human-biometeorologische Aspekt in der Flächenbewertung durch die Planungspraxis eine zunehmende Bedeutung erlangen.

Planerische Vorgaben, Festsetzungen, Einschränkungen usw. lassen sich beim entwickelten und angewandten human-biometeorologischen Bewertungsverfahren nicht berücksichtigen. Sie beziehen sich z. B. auf:

- Bei den NBS-Flächen handelt es sich um Bauflächenpotenziale. Für die allermeisten dieser Flächen bestehen Baurechte.
- Bei NBS-Flächen mit vorhandenem und zum jeweiligen Bauvorhaben „passenden“ Baurecht reduziert sich der kommunale Einfluss auf das Baugenehmigungsverfahren. Entspricht das Baugesuch den Vorgaben des Bebauungsplans, „muss“ die Gemeinde genehmigen.
- Anders ist dies bei Projekten und Flächen, bei denen der Bau- bzw. Entwicklungswunsch dem bestehenden Baurecht nicht entspricht. Hier wird in der Regel ein neuer Bebauungsplan aufgestellt. Diesem Bebauungsplanverfahren vorgeschaltet ist ein abgeschichteter, komplexer Prozess, der ein schrittweises Heranführen an das Planungsziel bewirkt.
- Die Innenentwicklung als ein wesentliches Ziel der Stadtentwicklung zugunsten des Schutzes von Freiflächen und Kaltluftentstehungsgebieten im Außenbereich ist grundsätzlich positiv zu sehen. Dabei ist

auf eine klimaoptimierte Verdichtung zu achten. Hier ist allerdings anzumerken, dass jede Verdichtung und die damit verbundene Flächenversiegelung negative human-biometeorologische Auswirkungen zur Folge hat. Insofern ist der Begriff „klimaoptimiert“ im Hinblick auf die urbane Human-Biometeorologie erst mit Inhalt zu füllen.

- Durch den seit Jahren dynamischen Bodenmarkt in Stuttgart kann auf eine Vielzahl von Innenentwicklungsprojekten zurückgeschaut werden. Gleichzeitig sind erhebliche Flächenreserven in Form von Bauflächenpotenzialen weiterhin verfügbar, deren Entwicklung ansteht.
- Zur Erreichung einer „qualifizierten Dichte“ im Sinne einer „doppelten Innenentwicklung“ steht in Stuttgart z. B. mit dem Stuttgarter Innenentwicklungsmodell (SIM) grundsätzlich ein geeignetes Instrument zur Sicherung von Mindestqualitätsstandards bei der Realisierung neuer Bauvorhaben zur Verfügung. Das SIM soll zukünftig durch ein städtebaulich-stadtökologisches Dichtekonzept ergänzt werden und so an die unterschiedlichen stadträumlichen Gegebenheiten angepasst werden. Die vorliegenden Forschungsergebnisse können hier mit einfließen.
- Unterschiedliche Belange fließen in den Planungsprozess ein, der meistens in einen rechtskräftigen Bebauungsplan mündet. Mit dem Satzungsbeschluss zum Bebauungsplan schafft die Gemeinde - nach sorgfältiger Abwägung der privaten und öffentlichen Belange - neues Baurecht und setzt damit auch den Rahmen der künftig möglichen Bebauung.

Die Erfahrung zeigt, dass die einzelnen Belange dann eine größere Chance auf Berücksichtigung in der Gesamtabwägung haben, je früher sie in den Planungsprozess einfließen. Der Belang „Stadtklima“ sollte also möglichst frühzeitig bekannt sein. Je konkreter Planungshinweise benannt werden können, umso realistischer ist, dass diese in der Projektentwicklung beachtet werden. Das bedeutet z. B., dass der Belang „Stadtklima“ wirkungsbezogen, d. h. auf Menschen in der Stadt, quantifiziert werden muss, was über die Anwendung von human-biometeorologischen Verfahren gewährleistet ist.

Das human-biometeorologische Bewertungsverfahren in Form eines Screenings ermöglicht aufgrund seiner zugrundeliegenden Methodik keine Analyse des auf Menschen bezogenen thermischen Komforts bzw. des thermischen Stresses, die innerhalb einer NBS-Fläche die vorhandene räumliche Differenzierung aufzeigt. Ihre Kenntnis ist jedoch für die human-biometeorologische Beurteilung von Planungsvorhaben notwendig. Für diesen Zweck wurden im Rahmen dieses Projekts numerische Simulationen mit einem geeigneten mikrometeorologischen Modell als zweiter methodischer Ansatz durchgeführt. Da sie (zeit)aufwändig sind, konnten sie in diesem Projekt für „nur“ sieben NBS-Flächen durchgeführt werden, die auf der Grundlage von Ergebnissen für die human-biometeorologische Bewertung der 59 NBS-Flächen ausgewählt worden waren.

Aus verschiedenen Gründen wurde das Modell ENVI-met in der Version 4.0 BETA für die numerischen Simulationen herangezogen. Es ist für die topographischen Bedingungen in Stuttgart und die Zielsetzung der numerischen Simulationen bestens geeignet. Die gewählten Zielgrößen T_a und T_s als Maß für Wärme bzw. Hitze im meteorologischen Sinn sowie T_{mrt} und PET zur Quantifizierung von thermischem Komfort bzw. thermischer Belastung unter human-biometeorologischem Aspekt ermöglichten eine flächendifferenzierte thermische Analyse der vorgegebenen Flächennutzungsszenarien. Sie bezog sich sowohl auf einen derzeitigen Sommertag als auch auf einen Hitzewellentag sowie an beiden Simulationstagen auf zwei unterschiedliche zeitliche Perioden, einen Tageszeitraum und einen Nachtzeitraum. Dadurch ließ sich eine ausreichende Repräsentativität der Ergebnisse erzielen.

In den Flächennutzungsszenarien war je NBS-Fläche eine vorgegebene Planungsvariante eingeschlossen. Die dafür erzielten Simulationsergebnisse führen zur Diskussion einer human-biometeorologischen

Optimierungen im Planungsentwurf, z. B. durch Veränderung in der Orientierung und Dimension von Gebäuden oder Anordnung von Bäumen. Ihre Notwendigkeit steigt vor dem Hintergrund des regionalen Klimawandels an. Diese Optimierung lässt sich über die angewandte Modellversion in geeigneter Weise simulieren, so dass belastbare quantitative Ergebnisse erreicht werden, die sinnvoll in den Abwägungsprozess eingebracht werden können. Die Untersuchung der beiden zentral gelegenen Bauflächenpotenziale Kaufhof Parkhaus (NBS 772) und Rathausgarage (NBS 865) hat gezeigt, dass der gewählte Ansatz, die Bauflächen ungeachtet des Überbauungsgrades zu betrachten, in diesen Fällen an Grenzen stößt. In solchen Sonderfällen müsste diskutiert werden, wie das Umfeld der jeweiligen Fläche bei der numerischen Simulation mit einbezogen ist, um Ergebnisse zu erhalten.

Insgesamt wurden mit den Resultaten des Projekts KlippS die methodischen Voraussetzungen geschaffen, die auf Menschen bezogenen thermischen Bedingungen auf den einzelnen NBS Flächen sehr frühzeitig zu erheben und über ein Screeningverfahren den human-biometeorologisch begründeten Handlungsbedarf abzuschätzen (Abb. 34). Die Ergebnisse wurden exemplarisch in den im Rahmen des Projekts entwickelten Klimaplanungspass eingepflegt. Über eine Priorisierung anhand dieses Screenings, sowie anderer Merkmale, wie z. B. der zeitlichen Einordnung des Entwicklungshorizontes einer Fläche, kann dann herausgearbeitet werden, für welche der NBS-Flächen vertiefte Untersuchungen im Rahmen von numerischen Simulationen erforderlich sind bzw. bei welchen Flächen in den weiteren Planungsschritten vertieft auf die Belange des Stadtklimas in seiner thermischen Ausprägung eingegangen werden soll. Es wäre u. a. vorstellbar, dass bei einem künftigen Wettbewerbsverfahren von den Teilnehmern verlangt wird, die human-biometeorologischen Folgen eines Entwurfes durch Simulationen zu erheben, um bereits zu diesem frühen Planungsstand die auf Menschen bezogenen Auswirkungen abschätzen zu können, die durch die Beeinflussung der thermischen Bedingungen in der bodennahen Atmosphäre durch unterschiedliche Entwürfe entstehen.



Abb. 34: Schematische Übersicht über Kennzeichen des Forschungsprojektes KlippS und ihre Einbindung in den NBS-Verwaltungsalltag

Literaturverzeichnis

Ali-Toudert F, Mayer H, 2006

Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment* 41: 94-108

Ali-Toudert F, Mayer H, 2007

Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy* 81: 742-754

Andreou E, 2013

Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate. *Renewable Energy* 55: 182-188

Ballester J, Rodó X, Giorgi F, 2010

Future changes in Central Europe heat waves expected to mostly follow summer mean warming. *Climate Dynamics* 35: 1191-1205

Beniston M, 2013

Exploring the behaviour of atmospheric temperatures under dry conditions in Europe: evolution since the mid-20th century and projections for the end of the 21st century. *International Journal of Climatology* 33: 457-462

Beniston M, Stephensen DB, Christensen OB, Ferro CAT, Frei C, Goyette S, Halsnaes K, Holt T, Jylhä K, Koffi B, Palutikof J, Schöll R, Semmler T, Woth K, 2007

Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* 81: 71-95

Bruse M, Fleer H, 1998

Simulating surface-plant-atmosphere interactions inside urban environments with a three-dimensional numerical model. *Environmental Modelling and Software* 13: 373-384

Chen L, Ng E, 2012

Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. *Cities* 29: 118-125

Christidis N, Jones GS, Stott PA, 2015

Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 European heatwave. *Nature Climate Change* 5: 46-50

Dütemeyer D, Barlag A-B, Kuttler W, Axt-Kittner U, 2013a

Stadtklimatisches Flächenmanagement in der kommunalen Umweltplanung. *UVP-report* 27: 173-179

Dütemeyer D, Barlag A-B, Kuttler W, Axt-Kittner U, 2013b

Measures against heat stress in the city of Gelsenkirchen, Germany. *DIE ERDE* 144: 181-201

Emmanuel R, Rosenlund H, Johansson E, 2007

Urban shading - a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Climatology* 27: 1995-2004

Fahmy M, Sharples S, 2009

On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt. *Building an Environment* 44: 1907-1916

Goldberg V, Kurbjuhn C, Bernhofer C, 2013

How relevant is urban planning for the thermal comfort of pedestrians? Numerical case studies in two districts of the City of Dresden (Saxony/Germany). *Meteorologische Zeitschrift* 22: 739-751

Holst J, Mayer H, 2010

Urban human-biometeorology: Investigations in Freiburg (Germany) on human thermal comfort. *Urban Climate News* 38: 5-10

Holst J, Mayer H, 2011

Impacts of street design parameters on human-biometeorological variables. *Meteorologische Zeitschrift* 20: 541-552

Höppe P, 1999

The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology* 43: 71-75

Huttner S, 2012

Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVI-met. Dissertation Universität Mainz

Kapp R, Reuter U, 2011

Stadtklima und Planung in Stuttgart. *CONTUREC* 4: 53-66

Ketterer C, Ghasemi I, Reuter U, Rinke R, Kapp R, Bertram A, Matzarakis A, 2013

Veränderung des thermischen Bioklimas durch stadtplanerische Umgestaltung - Beispiel Stuttgart-West. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* 73: 323-329

Koffi B, Koffi E, 2008

Heat waves across Europe by the end of the 21st century: multiregional climate simulations. *Climate Research* 36: 153-168

Kovats RS, Hajat S, 2008

Heat stress and public health: a critical review. *Annual Review of Public Health* 29: 41-55

Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung (Hrsg.), 2010a

Grundlagenarbeit Klimaplanungspass Stuttgart (Klipps). Stuttgart, 35 S.

Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie (Hrsg.), 2010b
Der Klimawandel - Herausforderung für die Stadtklimatologie. Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, Stuttgart, Heft 3/2010, 87 S.

Landeshauptstadt Stuttgart, 2011

Nachhaltiges Bauflächenmanagement Stuttgart, Lagebericht 2011. Stuttgart, Beiträge zur Stadtentwicklung 41

Lee H, Mayer H, 2013

Urban human-biometeorology supports urban planning to handle the challenge by increasing severe heat. Proc. PLEA2013 - 29th Conference, Session I.3, 1-6

Lee H, Holst J, Mayer H, 2013

Modification of human-biometeorologically significant radiant flux densities by shading as local method to mitigate heat stress in summer within urban street canyons. Advances in Meteorology 2013, article ID 312572, 13 pages, doi:10.1155/2013/312572

Lee H, Mayer H, Schindler D, 2014

Importance of 3-D radiant flux densities for outdoor human thermal comfort on clear-sky summer days in Freiburg, Southwest Germany. Meteorologische Zeitschrift 23: 315-330

Lindberg F, Grimmond CSB, 2011

The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: model development and evaluation. Theoretical and Applied Climatology 105: 311-323

LUBW (Hrsg.), 2013

- HITWIS - Optimierung der Hitzewarnung in Stuttgart. Forschungsbericht KLIMOPASS, Stuttgart, 54 S.

Matzarakis A, Mayer H, 1992

Mapping of urban air paths for planning in Munich. Wissenschaftliche Berichte des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung an der Universität Karlsruhe Nr. 16: 13-22.

Mayer H, 1989

Workshop „Ideales Stadtklima“ am 26. Oktober 1988 in München. Mitteilungen der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft 3/89: 52-54

Mayer H, 1993

Urban bioclimatology. Experientia 49: 957-963

Mayer H, Höppe P, 1987

Thermal comfort of man in different urban environments. Theoretical and Applied Climatology 38: 43-49

Mayer H, Holst J, 2011

Hitzestress im Stadtquartier. CONTUREC 4: 27-36.

Mayer H, Beckröge W, Matzarakis A, 1994

Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. UVP-Report 5/94: 265-268.

Mayer H, Holst J, Dostal P, Imbery F, Schindler D, 2008

Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe. Meteorologische Zeitschrift 17: 241-250

Meehl GA, Tebaldi C, 2004

More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. Science 305: 994–997

Middel A, Häb K, Brazel AJ, Martin CA, Guhathakurta S, 2014

Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. Landscape and Urban Planning 122: 16-28

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), 2010

Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Essen, 286 S.

Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (Hrsg.), 2012

Städtebauliche Klimafibel Online - Hinweise für die Bauleitplanung. Stuttgart, 274 S.

Skelhorn C, Lindley S, Levermore G, 2014

The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. Landscape and Urban Planning 121: 129-140

Stewart ID, Oke TR, 2012

Local climate zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society 93: 1879-1900

Stewart ID, Oke TR, Krayenhoff ES, 2014

Evaluation of the 'local climate zone' scheme using temperature observations and model simulations. International Journal of Climatology 34: 1062-1080

Thorsson S, Lindberg F, Eliasson I, Holmer B, 2007

Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. International Journal of Climatology 27:1983-1993

Verband Region Stuttgart (Hrsg.), 2008

Klimaatlas Region Stuttgart. Schriftenreihe Verband Region Stuttgart, 167 S.

Weis M, Siedentop S, Minnich L, 2011

Vulnerabilitätsbericht der Region Stuttgart. Verband Region Stuttgart, 50 S.

Yang X, Zhao L, Bruse M, Meng Q, 2013

Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces.

Building and Environment 60: 93-104

Anhang

A1 METHODISCHE ÜBERSICHT

Dieser Anhang enthält Resultate aus weiteren Simulationen mit dem ENVI-met Modell für die NBS-Flächen, die im Textteil nicht über spezifische Graphiken erläutert wurden. Bei diesen NBS-Flächen handelt es sich um (siehe auch Kap. 4.3.1):

- NBS-Fläche 30 (Feuerbach, Maybachstraße West (ehem. Messeparkplatz)),
- NBS-Fläche 47 (Bad Cannstatt, ehem. Bettfedernfabrik),
- NBS-Fläche 768 (Ost, EnBW Areal Hackstraße),
- NBS-Fläche 772 (Mitte, Kaufhof Parkhaus) und NBS-Fläche 865 (Mitte, Rathausgarage),
- NBS-Fläche 1061 (West, W&W Johannesstraße).

Die folgenden gitterzellenbezogenen Ergebnisse beziehen sich auf die Zielgröße „physiologisch äquivalente Temperatur PET“, wobei Mittelwerte über 10 bis 16 Uhr MEZ für den Hitzewellentag 4. August 2003 für folgende Szenarien dargestellt sind:

- die derzeitige Flächennutzung (Szenario A),
- eine hypothetischen Flächennutzung als reine Asphaltfläche (Szenario B),
- eine hypothetische Flächennutzung als reine Grünfläche (Szenario C),
- eine vorgegebene Planungsvariante mit Grün (Szenario D),
- die vorgegebene Planungsvariante ohne Grün (Szenario E).

Weitere Simulationsergebnisse für die

- bodennahe Lufttemperatur T_a ,
- Bodenoberflächentemperatur T_s ,
- mittlere Strahlungstemperatur T_{mrt}

sind in Form von Flächenmittelwerten - auch für PET - in ergänzenden Tabellen zusammengefasst. Sie beziehen sich auf die beiden Simulationstage

- Hitzewellentag 4. August 2003,
- Sommertag 23. Juni 2011.

Je Simulationstag wird dabei zwischen dem Tageszeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ und dem Nachtzeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ unterschieden. Wie bei den Ergebnissen in Kapitel 4.3 werden auch hier die nachfolgenden

Resultate nur als Mittelwerte über die beiden ausgewählten Zeiträume präsentiert und nicht z. B. als Einstundenmittelwerte. Dadurch erreichen die Ergebnisse eine höhere Repräsentativität.

Auf der Grundlage der erzielten Resultate zum thermischen Komfort für Menschen und verfügbarer Informationen zur Luftqualität wurde für jede der hier aufgeführten NBS-Flächen die Erfassungsmaske für den Klimaplanungspass (Abb. 11) zum flächenspezifischen Klimaplanungspass ergänzt.

A2 NBS-FLÄCHE 30 (FEUERBACH, MAYBACHSTRASSE WEST (EHM. MESSEPARKPLATZ))

A2.1 GRUNDLAGEN UND FLÄCHENSZENARIEN

Die NBS-Fläche 30 (ca. 2.54 ha) befindet sich in einer Hochlage in Feuerbach im Nordwesten des Stadtzentrums von Stuttgart. Für diese Fläche wurden über das human-biometeorologische Bewertungsverfahren folgende Indexwerte ermittelt:

- human-biometeorologische Wertigkeit: 0.674 (Klasse „mittel“),
- human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.528 (Klasse „mittel“).

Durch den Umzug der Messe Stuttgart an den neuen Standort auf den Fildern wird diese, ehemals als Messeparkplatz genutzte Fläche für eine Nachnutzung frei. Das Ergebnis eines Investorenwettbewerbes wurde in einen rechtskräftigen Bebauungsplan überführt, der Baubeginn wird unmittelbar erwartet.

Dieses, am Rande des Höhenparks Killesberg gelegene Projekt wurde für eine ENVI-met Simulation ausgewählt, um die Auswirkungen der typischen, mehrgeschossigen Wohnbebauung in einer Übergangssituation von der stark städtisch geprägten Situation an der „City Prag“ und dem hohen Freiflächenanteil des Höhenparks Killesberg zu ermitteln.

Die Abb. 35 gibt anhand eines Luftbilds einen Überblick über den derzeitigen Zustand auf dieser NBS-Fläche. In der Abb. 36 sind die topographischen Bedingungen auf der NBS-Fläche 30 und in ihrer näheren Umgebung dargestellt. Daraus wird ein Gefälle von Südwesten nach Norden und Nordosten ersichtlich, wobei es direkt auf der NBS-Fläche 30 mehr von Westen nach Osten orientiert ist und einen Höhenunterschied von maximal 20 m aufweist. Aufgrund der Größe dieser NBS-Fläche und ihrer notwendigen Einbettung in die nähere Umgebung musste für die numerischen Simulationen eine horizontale Gitterweite von 3 m gewählt werden.



Abb. 35: Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 30 (rot umrandet) anhand eines Luftbilds

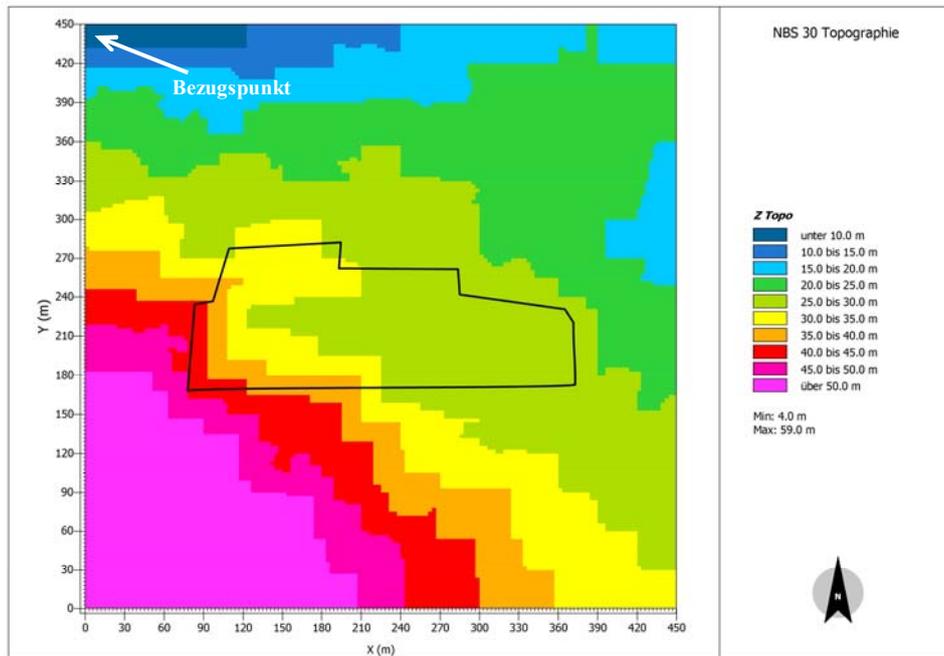


Abb. 36: Topographische Situation auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet), Bezugspunkt: Gitterzelle links oben in 286 m über NN

Für die ENVI-met Simulationen wurde der derzeitige Zustand auf der NBS-Fläche 30 und in ihrer Umgebung (Szenario A) in ein gitterzellenbezogenes „area input file“ umgewandelt, das in der Abb. 37 visualisiert ist. Die Abb. 38 und Abb. 39 zeigen die Flächenszenarien B (NBS-Fläche 30 als reine Asphaltfläche) und C (NBS-Fläche 30 als reine Grünfläche, bestehend aus Grasland und Laubbäumen).



Abb. 37: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) in der derzeitigen Flächensituation (Szenario A) für die ENVI-met Simulationen

Die Abb. 40 und Abb. 41 enthalten eine Planungsvariante, die die NBS-Fläche 30 als Grünfläche (Szenario D) bzw. Asphaltfläche (Szenario E) berücksichtigt. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Grünfläche im südwestlichen Bereich der NBS-Fläche 30 bereits in ihrem derzeitigen Flächenzustand (Szenario A) enthalten ist und daher nicht der Planungsvariante zugerechnet wird.



Abb. 38: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) als reine Asphaltfläche (Szenario B) für die ENVI-met Simulationen

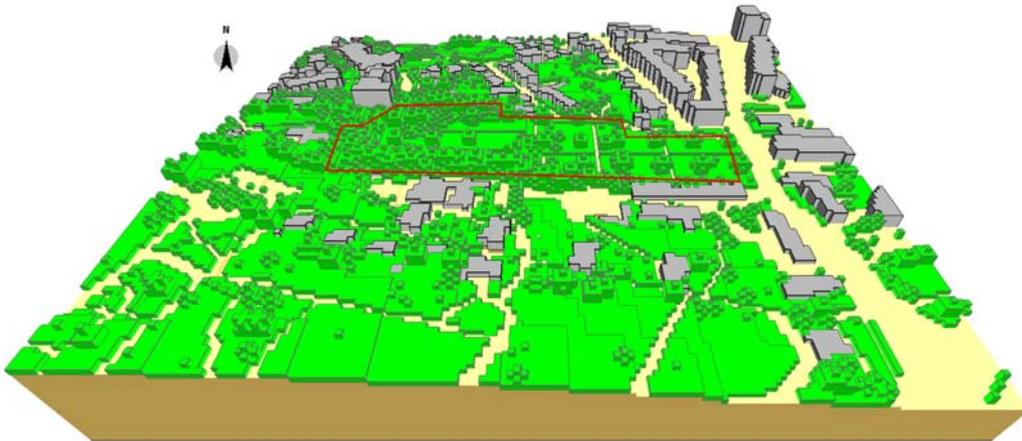


Abb. 39: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) als reine Grünfläche (Szenario C) für die ENVI-met Simulationen

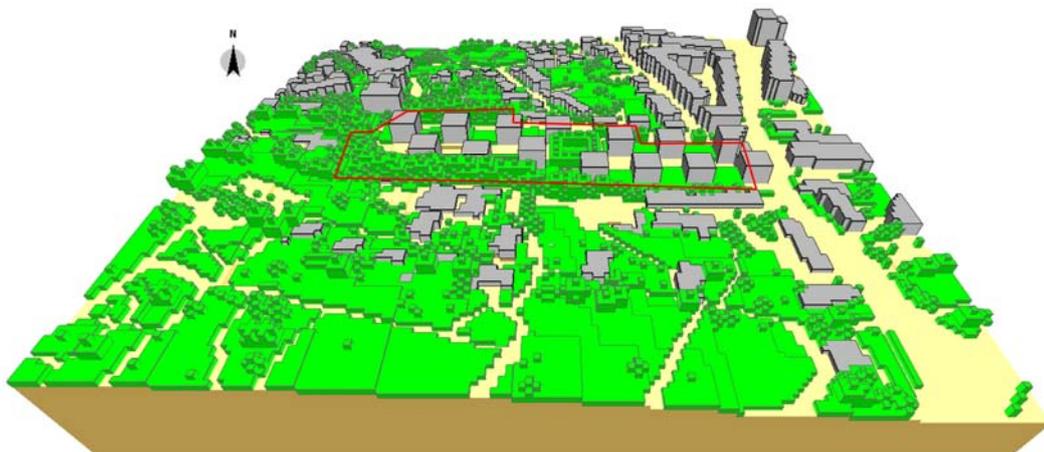


Abb. 40: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) in einer Planungsvariante mit Grün (Szenario D) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 41: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber ohne Grün (Szenario E) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 42: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber mit Bäumen auf der südlichen Straßenseite (Szenario F) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 43: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber mit Bäumen auf der nördlichen Straßenseite (Szenario G) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 44: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber mit Bäumen auf der südlichen und nördlichen Straßenseite (Szenario H) für die ENVI-met Simulationen

Die Höhe der Gebäude in der Planungsvariante liegt zwischen 9 und 21 m. Die Höhe der Bäume variiert zwischen 9 m (maximaler horizontaler Kronendurchmesser: 7 m) und 15 m (maximaler horizontaler Kronendurchmesser: 11 m). Für diese NBS-Fläche wurde exemplarisch der Einfluss von zusätzlichen Straßenbäumen auf den thermischen Komfort von Stadtbewohnern untersucht. Grundlage dafür sind die Szenarien F (Abb. 42), G (Abb. 43) und H (Abb. 44), in denen die Planungsvariante (Szenario D) um Straßenbäume (Höhe: 15 m, maximaler horizontaler Kronendurchmesser: 11 m, Baumabstand: 15 m) auf der südlichen Straßenseite (nach Norden exponiert, Szenario F), auf der nördlichen Straßenseite (nach Süden exponiert, Szenario G) und auf beiden Straßenseiten (Szenario H) ergänzt wurde.

Um eine Übersicht über die Größenordnungen der Flächennutzungen in den einzelnen Szenarien zu erhalten, sind in der Tab. 53 die prozentualen Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten NBS-Fläche 30 zusammengestellt. Wie bereits erwähnt, ist beim Szenario E zu beachten, dass die Grünfläche im südwestlichen Bereich der NBS-Fläche 30 bereits in ihrem derzeitigen Flächenzustand (Szenario A) enthalten ist und daher nicht der Planungsvariante zugerechnet wird. Dadurch erklären sich die prozentualen Grünflächenanteile beim Szenario E.

Tab. 53: Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (2.54 ha) von NBS 30

Szenario	Gebäude	Asphalt	Gras	Stammquerschnittsflächen	maximale Kronenquerschnittsflächen
A (derzeitig)	0%	56%	31%	13%	52%
B (Asphalt)	0%	100%	0%	0%	0%
C (Grün)	0%	0%	87%	13%	59%
D (Planung mit Grün)	18%	30%	44%	8%	44%
E (Planung ohne Grün)	18%	53%	22%	7%	36%
F (Planung, Bäume, Südseite)	18%	29%	45%	8%	47%
G (Planung, Bäume, Nordseite)	18%	29%	45%	8%	47%
H (Planung, Bäume, Nord- und Südseite)	18%	28%	45%	9%	51%

A2.2 SIMULATIONSRESULTATE

Die in Abb. 45 bis Abb. 51 enthaltenen PET Simulationsergebnisse für den Hitzewellentag 4. August 2003, die für verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 30 als Mittelwerte über 10 bis 16 Uhr MEZ präsentiert werden, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Unter Bezug auf die Einteilung von PET in verschiedene Bereiche des thermischen Empfindens von Menschen (Tab. 1) treten beim Szenario A auf dem größten Teil dieser NBS-Fläche „heiße“ Bedingungen auf (Abb. 45). Lediglich unter den Baumkronen, d. h. im westlichen und südwestlichen Bereich, reduzieren sie sich auf „leicht warm“.
- Wie infolge physikalischer Prozesse zu erwarten war, weist das Szenario B höhere PET Mittelwerte als das Szenario C auf. Die PET Differenz zwischen den Szenarien B und C beträgt maximal ca. 16 °C (Abb. 46).
- Im Szenario D (Planungsvariante mit Grün) liegen die mittleren räumlichen Variationen von PET bei maximal ca. 14 °C (Abb. 47). Im Vergleich zum Szenario A deutet sich beim Szenario D die Tendenz einer geringfügigen Reduzierung der räumlichen Variation von PET an.
- Die räumlichen Differenzen zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D erreichen bei PET maximal ca. 8 °C (Abb. 48).
- Bäume in einer O-W orientierten Straßenschlucht, die dem Szenario D hinzugefügt wurden, haben sowohl auf der südlichen Straßenseite (Szenario F; Abb. 49) als auch auf der nördlichen Straßenseite (Szenario G; Abb. 50) nur eine räumlich eng begrenzte Wirkung auf PET.
- Flächen, die von der Abschattung der direkten Sonnenstrahlung durch Baumkronen profitieren und damit eine lokale PET Reduzierung aufweisen, liegen im Zeitraum zwischen 10 und 16 Uhr MEZ im nördlichen Halbraum um die jeweiligen Straßenbäume (Abb. 51).

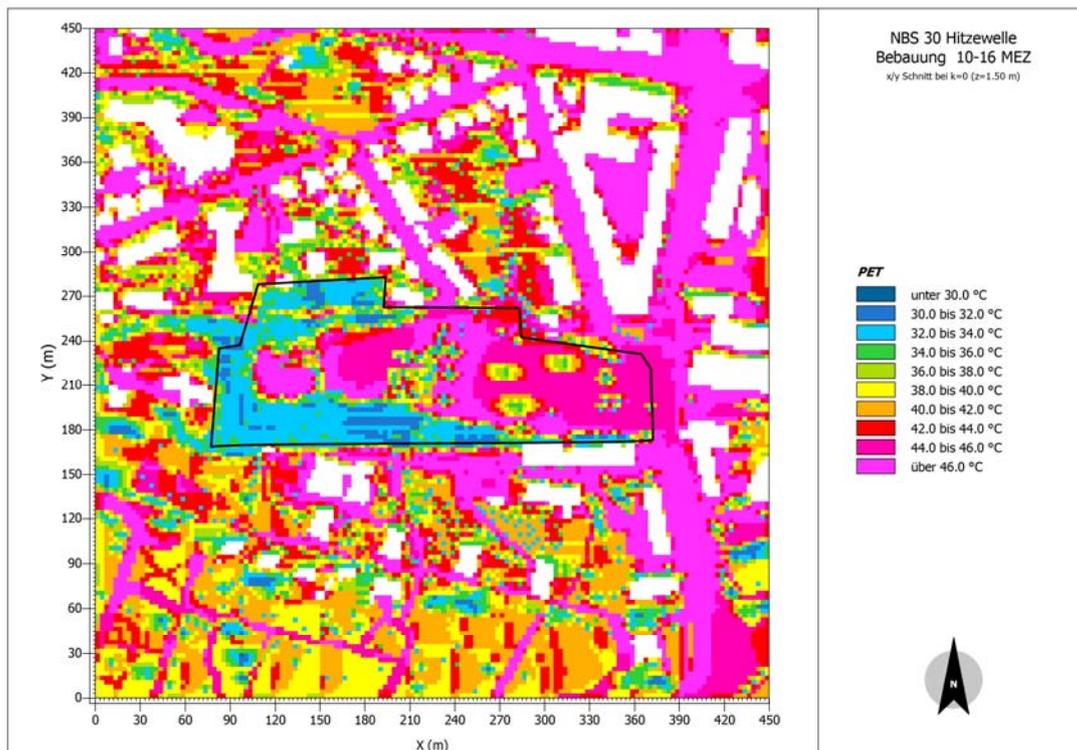


Abb. 45 Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003

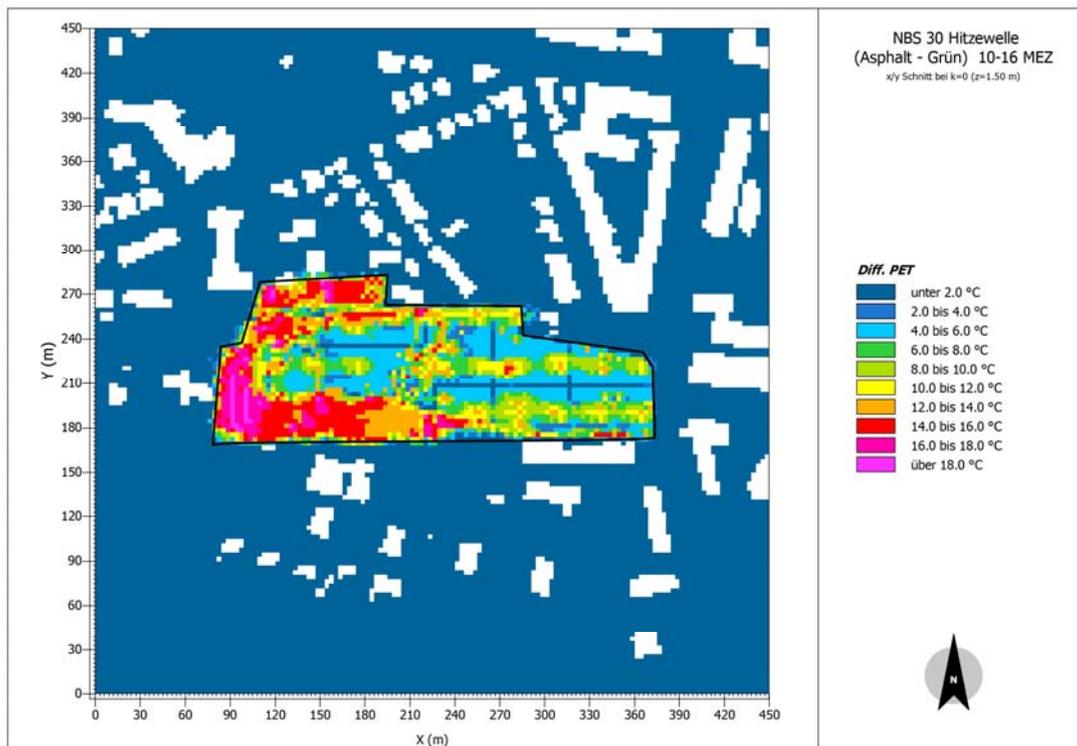


Abb. 46: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

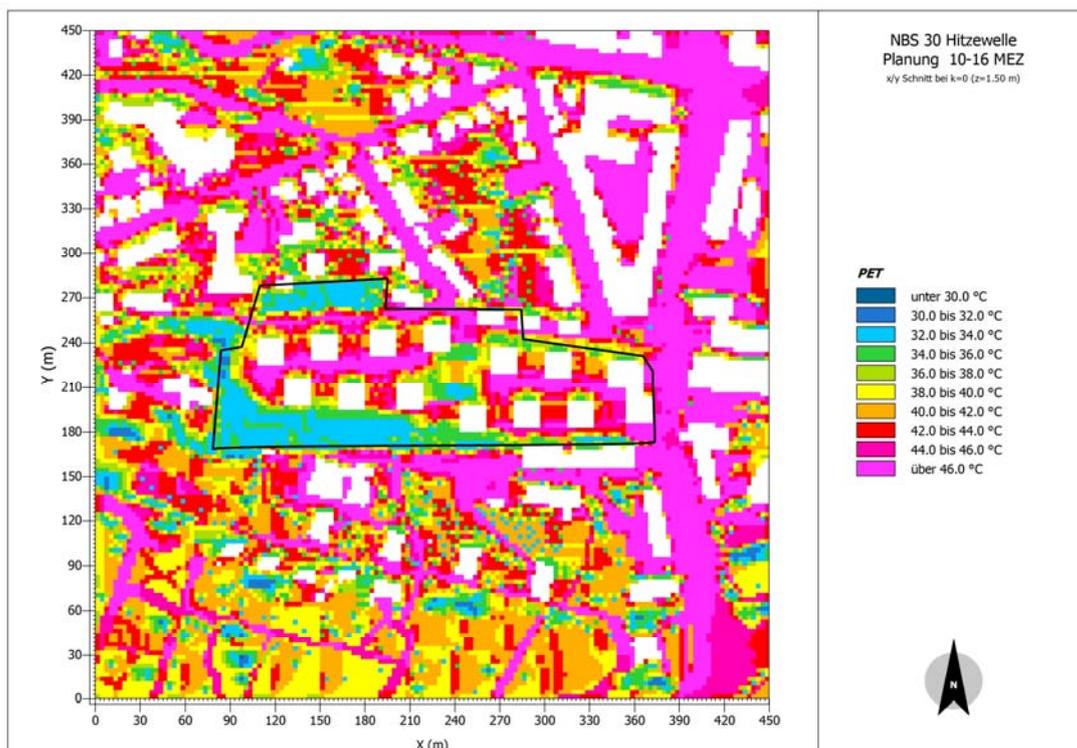


Abb. 47: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003

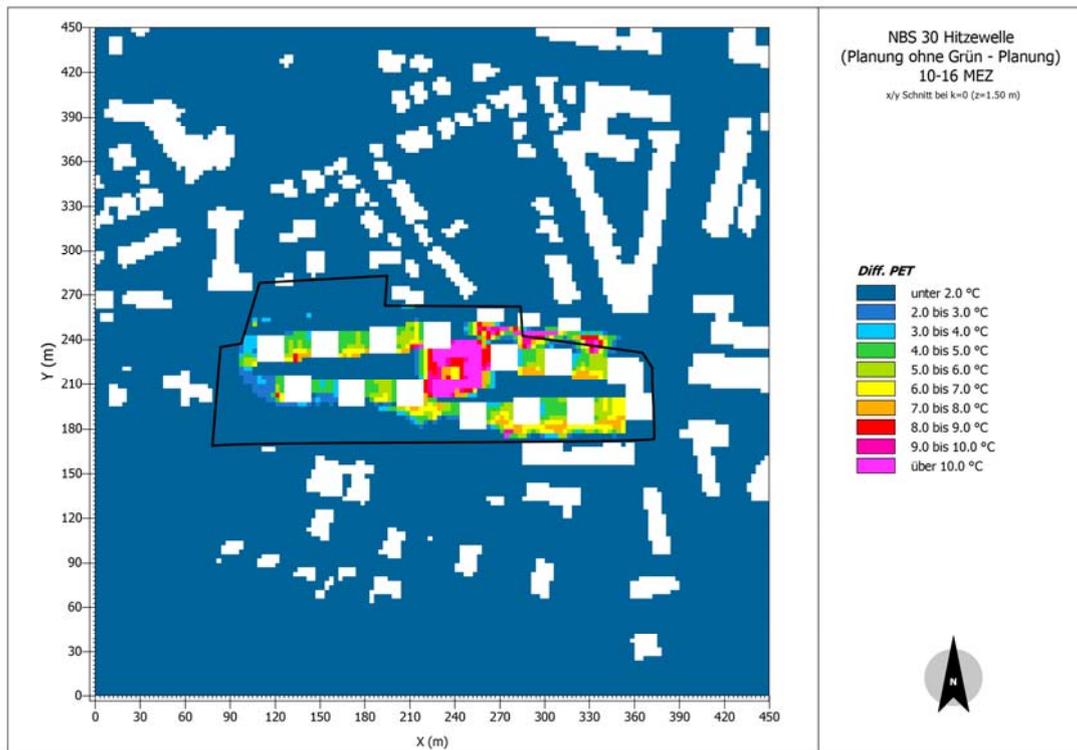


Abb. 48: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

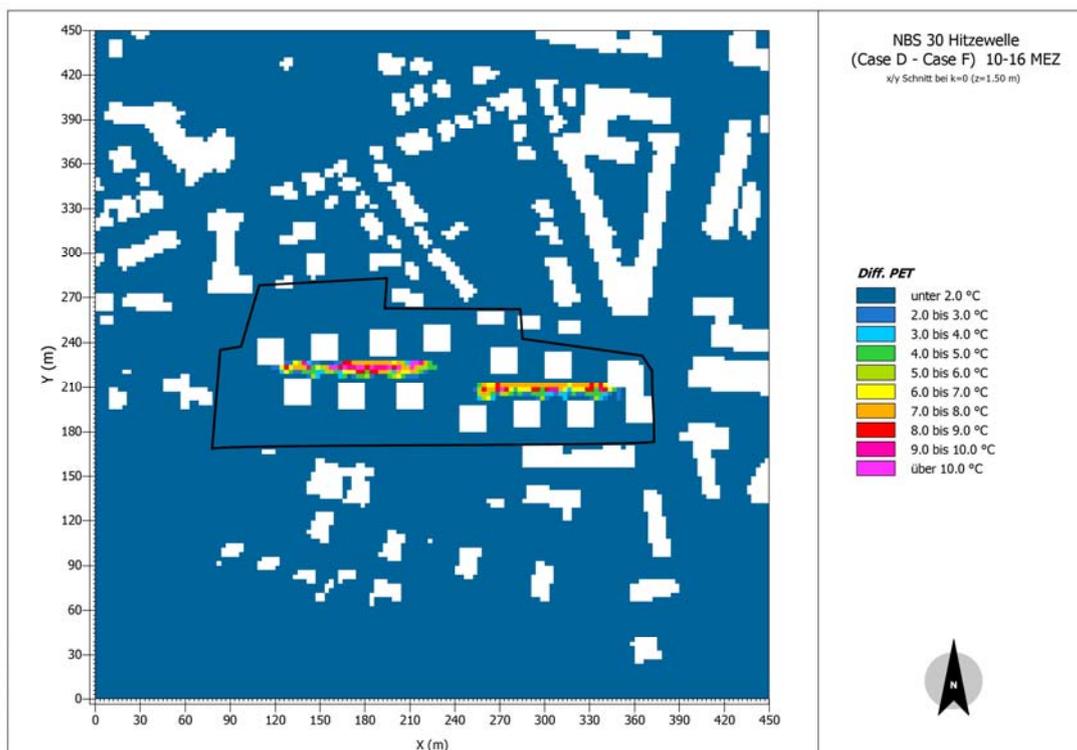


Abb. 49: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien D (Planungsvariante mit Grün) und F (Planungsvariante D und Straßenbäume auf der südlichen Straßenseite) auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

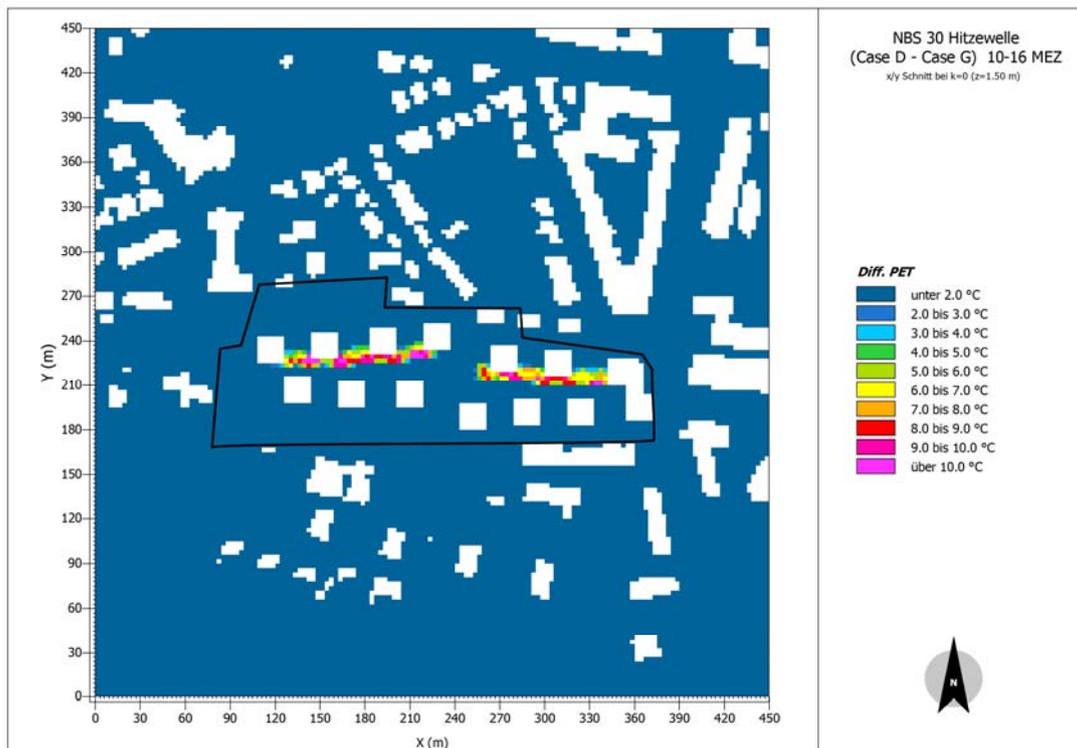


Abb. 50: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien D (Planungsvariante mit Grün) und G (Planungsvariante D und Straßenbäume auf der nördlichen Straßenseite) auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

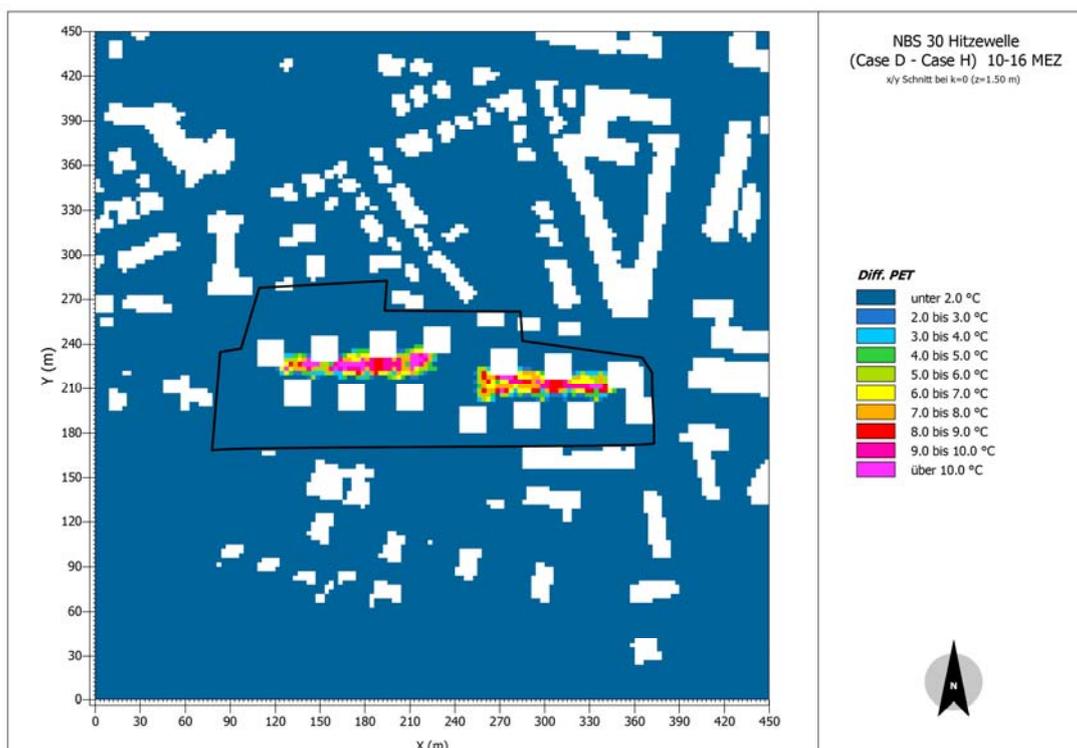


Abb. 51: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien D (Planungsvariante mit Grün) und H (Planungsvariante D und Straßenbäume auf der südlichen und nördlichen Straßenseite) auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

- In den Szenarien F, G und H wird PET gitterzellenspezifisch im Einflussbereich der Abschattungswirkung durch die Baumkronen um maximal 10 °C reduziert.
- Für den thermischen Komfort von Menschen bei regional vorgegebener Hitze haben Bäume auf beiden Seiten einer O-W orientierten Straßenschlucht eine größere Flächenwirkung als Bäume auf nur einer Straßenseite. In Bezug auf ausschließlich Bürgersteige sind für die Aufrechterhaltung des thermischen Komforts für Menschen bei heißem Sommerwetter Bäume auf dem nördlichen Bürgersteig, d. h. in einer Südexposition, effektiver.
- Unter Berücksichtigung der Zuordnung von PET Werten zu Bereichen des thermischen Empfindens von Menschen (Tab. 1) zeigt sich, dass eine Flächennutzung aus Grasland und Bäumen die thermische Belastung, die tagsüber für Menschen im städtischen Freiraum bei regional vorgegebener Hitze vorhanden ist, um ein bis zwei Stufen reduziert, d. h. von „heiß“ auf „warm“ bzw. „leicht warm“. Das Ausmaß der Flächen, die davon betroffen sind, hängt primär von der Dimension der abschattenden Baumkronen ab. Abkühlungseffekte durch die Verdunstung der Baumkronen wirken sich auf PET nicht aus.

Die gitterzellenbezogenen Simulationsergebnisse über 10 bis 16 Uhr MEZ sind als Flächenmittelwerte der Zielgrößen T_a , T_s , T_{mrt} und PET einschließlich ihrer Standardabweichungen in der Tab. 54 für den Hitzewellentag 4. August 2003 und in der Tab. 55 für den Sommertag 23. Juni 2011 zusammengefasst. Zusätzlich enthalten die Tab. 56 und Tab. 57 die analogen Mittelwerte und Standardabweichungen für den Nachtzeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ. Bei den Resultaten für den Sommertag (Tab. 55 und Tab. 57) reicht es aus, nur die Szenarien A bis E zu berücksichtigen.

Tab. 54: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 30 am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	30.9	0.40	38.2	8.48	51.9	14.12	39.7	6.00
B (Asphalt)	31.8	0.16	47.9	2.94	66.8	5.36	45.8	2.82
C (Grün)	30.4	0.21	30.6	1.71	44.8	8.87	36.6	3.84
D (Planung mit Grün)	30.9	0.33	35.3	6.66	48.9	10.86	39.8	5.61
E (Planung ohne Grün)	31.1	0.40	40.4	7.78	53.5	13.01	42.4	6.92
F (Planung D + Bäume, Südseite)	30.8	0.33	34.7	5.82	47.7	9.73	39.2	5.20
G (Planung D + Bäume, Nordseite)	30.8	0.33	34.8	5.99	47.7	9.62	39.2	5.12
H (Planung D + Bäume, Nord- und Südseite)	30.7	0.32	34.3	5.31	46.7	8.80	38.7	4.79
B-C	1.4	0.26	17.3	3.24	22.0	9.45	9.2	4.69
E-D	0.2	0.18	5.1	6.39	4.6	6.73	2.6	3.51
D-F	0.1	0.06	0.6	1.99	1.2	3.96	0.6	1.95
D-G	0.1	0.06	0.5	2.14	1.2	4.27	0.6	2.11
D-H	0.2	0.13	1.0	2.77	2.2	5.40	1.1	2.61

Tab. 55: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 30 am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	19.9	0.34	30.2	9.28	43.6	14.00	27.8	5.39
B (Asphalt)	20.5	0.19	40.4	2.73	58.0	4.76	32.6	2.85
C (Grün)	19.5	0.12	22.7	2.45	37.2	9.21	25.3	3.62
D (Planung mit Grün)	19.9	0.26	27.4	7.83	42.2	11.88	29.3	5.94
E (Planung ohne Grün)	20.1	0.31	32.6	8.81	46.7	13.66	31.7	7.08
B-C	1.0	0.20	17.7	3.49	20.8	9.62	7.3	4.43
E-D	0.2	0.13	5.2	6.57	4.5	6.71	2.4	3.34

Tab. 56: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 30 am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	28.3	0.28	24.0	1.82	19.3	1.03	23.7	0.46
B (Asphalt)	28.4	0.25	25.9	0.77	18.5	0.46	23.2	0.23
C (Grün)	27.2	0.48	22.0	0.89	19.0	1.13	22.8	0.50
D (Planung mit Grün)	27.4	0.54	22.8	1.38	18.0	1.32	22.6	0.46
E (Planung ohne Grün)	27.6	0.64	23.8	0.99	18.2	1.20	22.9	0.34
F (Planung D + Bäume, Südseite)	27.3	0.51	22.8	1.35	18.1	1.27	22.6	0.47
G (Planung D + Bäume, Nordseite)	27.2	0.49	22.8	1.36	18.1	1.27	22.5	0.48
H (Planung D + Bäume, Nord- und Südseite)	27.1	0.48	22.7	1.33	18.1	1.25	22.5	0.49
B-C	1.2	0.40	3.9	1.40	-0.5	1.20	0.4	0.54
E-D	0.2	0.26	1.0	1.43	0.2	0.67	0.3	0.27
D-F	0.1	0.11	0.0	0.25	-0.1	0.22	0.0	0.08
D-G	0.2	0.14	0.0	0.28	-0.1	0.26	0.1	0.10
D-H	0.3	0.25	0.1	0.35	-0.1	0.37	0.1	0.14

Die Ergebnisse der flächenbezogenen Mittelwerte für die Zielgrößen T_a , T_s , T_{mrt} und PET lauten in zusammengefasster Form:

- Erwartungsgemäß weisen die Zielgrößen für alle Flächenszenarien am Hitzewellentag - sowohl tagsüber als auch nachts - wesentlich höhere Mittelwerte als am Sommertag auf. Die Variabilität der Zielgrößen unter den analysierten Flächenszenarien ist an beiden Simulationstagen deutlich kleiner als die Unterschiede der Zielgrößen je Flächenszenario zwischen dem Hitzewellentag und dem Sommertag. Daraus wird die dominante Rolle der atmosphärischen Hintergrundsituation für Flächenmittelwerte deutlich.

Tab. 57: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 30 am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	16.2	0.19	16.8	1.09	10.3	1.86	11.8	1.19
B (Asphalt)	16.6	0.11	17.6	0.35	7.8	0.72	10.7	0.49
C (Grün)	16.1	0.14	15.6	0.55	10.7	1.46	12.1	1.01
D (Planung mit Grün)	16.2	0.19	16.7	1.12	10.7	1.14	12.5	0.83
E (Planung ohne Grün)	16.3	0.23	17.6	1.03	10.5	1.25	12.4	0.85
B-C	0.5	0.12	2.0	0.50	-2.9	1.26	-1.4	0.76
E-D	0.1	0.10	0.9	1.17	-0.2	0.79	-0.1	0.35

- Tagsüber (10 bis 16 Uhr MEZ) sind am Hitzewellentag die T_a Mittelwerte - je nach Flächenszenario - zwischen 10.9 °C und 11.3 °C höher als am Sommertag. Bei T_s liegen die Erhöhungen zwischen 7.5 °C und 8.0 °C, bei T_{mrt} zwischen 6.7 °C und 8.8 °C sowie bei PET zwischen 10.5 °C und 13.2 °C. Für T_a , T_{mrt} und PET treten die oberen Bereichsgrenzen beim Szenario B (Asphalt) auf. Die unteren Bereichsgrenzen fallen bei T_{mrt} und PET auf das Szenario D (Planung mit Grün) sowie bei T_a auf das Szenario C (Grün). Für T_s liegt die obere Bereichsgrenze beim Szenario A (derzeitig) und die untere Bereichsgrenze beim Szenario B (Asphalt). Daraus lässt sich in Bezug auf T_a , T_{mrt} und PET ableiten, dass sich eine Erhöhung des thermischen Niveaus in den atmosphärischen Hintergrundbedingungen stärker auf das Szenario B als auf die Szenarien C oder D auswirkt. Die Unterschiede bei den einzelnen Zielgrößen zwischen dem Hitzewellentag und dem Sommertag schwanken unter den verschiedenen Szenarien in einem Ausmaß, das vordergründig nicht als erheblich bezeichnet werden kann. Allerdings ist dabei zu beachten, dass es sich um Flächenmittelwerte handelt, für deren wirkungsbezogene Einschätzung derzeit keine Kriterien existieren.
- Nachts (22 bis 5 Uhr MEZ) sind am Hitzewellentag die T_a Mittelwerte - je nach Flächenszenario - zwischen 11.1 °C und 12.1 °C höher als am Sommertag. Bei T_s liegen diese Erhöhungen zwischen 6.1 °C und 8.3 °C, bei T_{mrt} zwischen 7.3 °C und 10.7 °C sowie bei PET zwischen 10.1 °C und 12.5 °C. Bei T_a zeigt sich die obere Bereichsgrenze für das Szenario A (derzeitig), während für T_{mrt} und PET die oberen Bereichsgrenzen beim Szenario B (Asphalt) auftreten. Die unteren Bereichsgrenzen fallen bei T_{mrt} und PET auf das Szenario D (Planung mit Grün) sowie bei T_a auf das Szenario C (Grün). Für T_s liegt die obere Bereichsgrenze beim Szenario B (Asphalt) und die untere Bereichsgrenze beim Szenario D (Planung mit Grün). Je Zielgröße liegen somit in erster Näherung die Unterschiede zwischen dem Hitzewellentag und dem Sommertag sowohl tagsüber als auch in der Nacht in einer vergleichbaren Größenordnung. Sie ist bei den Flächenmittelwerten fast unabhängig vom Flächenszenario, da sie weitgehend nur von den atmosphärischen Hintergrundbedingungen abhängt. Bis auf PET deutet sich aber die Tendenz an, dass die nutzungsspezifischen Differenzbereiche in der Nacht leicht größer sind.
- Wie zu erwarten weisen die Unterschiede zwischen Tag (10 bis 16 Uhr MEZ) und Nacht (22 bis 5 Uhr MEZ) zielgrößenspezifische Muster auf, die für den Hitzewellentag und den Sommertag vergleichbar sind. Sie liegen bei T_a zwischen 3 °C und 4 °C, bei T_s zwischen 9 und 23 °C, bei T_{mrt} zwischen 27 °C und 50 °C sowie bei PET zwischen 14 °C und 23 °C. Die Größenordnung dieser Unterschiede hängt also von der Zielgröße ab, was auf der Grundlage der physikalischen Basis der Zielgrößen unter Einbeziehung des jeweiligen Flächenszenarios nachvollziehbar ist. Für die wirkungsbezogene Einschätzung der Größenordnung dieser Unterschiede von Flächenmittelwerten zwischen Tag und Nacht fehlt es bisher, wie bereits erwähnt, an geeigneten Kriterien.

- Für T_s , T_{mrt} und PET treten an beiden Simulationstagen der größte Unterschied zwischen Tag und Nacht für das Szenario B (Asphalt) und der geringste Unterschied für das Szenario C (Grün) auf. Bei T_a ergeben sich für die Unterschiede zwischen Tag und Nacht an beiden Simulationstagen keine Differenzierungen zwischen den Szenarien D (Planung mit Grün) und E (Planung ohne Grün). Für T_s , T_{mrt} und PET hingegen sind an beiden Simulationstagen die Unterschiede zwischen Tag und Nacht beim Szenario E erwartungsgemäß größer als beim Szenario D.
- An beiden Simulationstagen sind tagsüber (10 bis 16 Uhr MEZ) die Flächenmittelwerte aller Zielgrößen beim Szenario B (Asphalt) am größten und beim Szenario C (Grün) am niedrigsten. Für das Szenario E (Planung ohne Grün) liegen tagsüber die Flächenmittelwerte aller Zielgrößen über den entsprechenden Vergleichswerten für das Szenario D (Planung mit Grün).
- Am Hitzewellentag sind unter Berücksichtigung der graduellen Abstufung von PET (Tab. 1) tagsüber die thermophysiologicalen Bedingungen für Menschen bei den Szenarien B (Asphalt) und E (Planung ohne Grün) als „heiß“ einzustufen, während sie für die Szenarien A (derzeitig) und D (Planung mit Grün) zwar im Bereich „warm“, aber sehr nahe an der Grenze zu „heiß“ liegen. Das Szenario C (Grün) zeichnet sich durch thermophysiologicale Verhältnisse im unteren Bereich von „warm“ aus. Im Gegensatz zum Szenario D sind die Flächenmittelwerte von PET bei den Szenarien F (Planung D + Bäume, Südseite) und G (Planung D + Bäume, Nordseite) um 0.6 °C und beim Szenario H (Planung D + Bäume, Nord- und Südseite) sogar um 1.1 °C reduziert, d. h. die bei der gitterzellenbezogenen Ergebnisdarstellung erkennbare deutliche Verbesserung der thermischen Bedingungen für Menschen bei diesen drei Szenarien mit ihrem verstärkten „grünen“ Akzent wirkt sich ebenfalls bei den Flächenmittelwerten von PET aus - wenn auch in abgeschwächter Form infolge der Mittelwertbildung.
- Die Resultate für die Flächenmittelwerte von PET und die gitterzellenbezogenen PET Ergebnisse werfen die Frage auf, ob die graduelle Abstufung von PET in drei warme Klassen nach der ASHRAE Standardskala (Tab. 1) für Planungszwecke ausreicht oder ob sie um zwei bis drei warme Klassen differenziert bzw. erweitert werden müsste. Grundlage dafür wäre die kombinierte Methodik, die bereits von Holst und Mayer (2010) für die lokale Zuordnung von PET Bereichen zu den drei warmen Klassen Bereichen der ASHRAE Standardskala angewandt wurde. Nur damit lassen sich Akklimatisations- und Adaptationseffekte bei Menschen geeignet berücksichtigen.
- Die Standardabweichungen σ für die Mittelwerte in der Tab. 54 bis zur Tab. 57 können als Quantifizierung für die räumliche Variabilität der einzelnen Zielgrößen aufgefasst werden. Sie zeigte sich bereits gitterzellenbezogen in Abb. 45 bis Abb. 51. An beiden Simulationstagen weist T_a tagsüber die niedrigsten Mittelwerte und die niedrigsten σ Werte auf, während beide Größen für T_{mrt} am höchsten sind. Die T_a Mittelwerte unterscheiden sich nicht zwischen den Szenarien A (derzeitig) und D (Planung mit Grün). Für T_{mrt} und PET hingegen liegen sie beim Szenario D unter den Vergleichswerten für das Szenario A. Die T_{mrt} und PET Mittelwerte für das Szenario E (Planung ohne Grün) sind jedoch höher als für das Szenario A, was eine Erhöhung der thermischen Belastung für Menschen tagsüber im städtischen Freiraum bedeutet. Die T_a Mittelwerte sind für das Szenario E um 0.2 °C höher als für das Szenario A, wobei allerdings die Frage offen bleibt, wie diese auf den ersten Blick relativ geringe Erhöhung unter Bezug auf Menschen einzuschätzen ist.

A2.3 RESÜMEE AUS PLANERISCHER SICHT

Aus den Simulationsergebnissen lassen sich für die Planung folgende generellen Schlussfolgerungen ziehen:

- Großkronige Bäume haben aufgrund ihrer Schattenwirkung einen positiven Effekt auf den thermischen Komfort von Menschen; die größte Wirkung wird erzielt, wenn mehrere Bäume ein geschlossenes Kronendach ausbilden.
- Die Pflanzung von Bäumen vor den Nord- und Südfassaden der Gebäude bewirkt eine deutliche Reduzierung der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) als Indikator für das thermische Empfinden

bzw. die thermische Belastung von Menschen.

- Es lässt sich ein positiver Effekt auf das thermische Empfinden von Menschen feststellen, wenn eine angemessene Grünausstattung eingeplant wird.

Weitere spezielle Schlussfolgerungen sind:

- Die Simulation hat ergeben, dass das thermische Empfinden von Menschen an einem Hitzewellentag durch die Berücksichtigung einer Bebauung mit angemessener Grünausstattung nicht negativ beeinflusst wird - verglichen mit dem derzeitigen (teilbegrüntem, nicht bebauten) Nutzungszustand, wohl aber an einem durchschnittlichen Sommertag.
- Die topographische und Grünausstattungssituation am Südwestrand des Baugebietes (nordgerichteter, baumbestandener Hang zum Killesberg) erweist sich bei allen untersuchten human-biometeorologischen Zielgrößen als positiv: es treten die geringsten thermischen Belastungen auf.
- Die Grünflächen im Südwesten und im nördlichen Bereich tragen positiv zum thermischen Komfort bei und sind zu erhalten.
- *Mittlere Betrachtung des Hitzetags als Synonym für zukünftige klimatische Randbedingungen:*

Eine reine konsequente Begrünung würde sich im Vergleich zum (teilbegrüntem) Istzustand positiv auswirken, eine reine Asphaltfläche deutlich negativ. Dies sind auch die möglichen Grenzen mit immerhin einer PET Differenz von fast 10 °C. Bebauungs-/Begrünungsvarianten liegen dazwischen.

Eine (realistische) Bebauung mit Grünanteil ist im Vergleich zum Istzustand thermisch neutral, eine Bebauung ohne Grünausstattung wirkt sich thermisch negativ aus.

Art und Maß der Begrünung bestimmen den Grad der positiven thermischen Auswirkungen.

In der Nachtbetrachtung ergeben sich erwartungsgemäß nur sehr geringe Unterschiede.

- *Mittlere Betrachtung des Sommertags:*

Insgesamt ergeben sich für die Tagbetrachtung nur vergleichsweise geringe thermische Unterschiede. Bebauung mit Begrünung führt zu keiner Verbesserung im Vergleich zum (teilbegrüntem) Istzustand. Die Nacht ist unkritisch.

Die vorangegangene Bewertung des Istzustands (teilbegrünt, keine Bebauung) kommt für diese Fläche zu einer mittleren human-biometeorologischen Wertigkeit bzw. zu einem mittleren human-biometeorologischen Handlungsbedarf (siehe Kapitel 4.2.2). Dennoch lässt sich auch hier durch ausreichende Begrünungsmaßnahmen im Mittel ein kleiner Teil einer voraussichtlichen thermischen Verschlechterung (Hitzetag) wieder zurücknehmen. Die Detailsimulationen PET (Hitzetag) zeigen einerseits die Notwendigkeit auf, durch Begrünung, insbesondere großkronige Bäume, kleinräumig Ausgleichs-/Erholungsbereiche zu schaffen. Andererseits zeigen sie das Potenzial auf, das sich durch unterschiedliche Begrünungsmaßnahmen ergibt. Empfehlung wäre hier also das Szenario H. Idealerweise wären auch Bebauungsvarianten mit ENVI-met hinsichtlich des Hitzetags zu prüfen, um eine weitere (notwendige) Optimierung zu ermöglichen. Dies erfordert eine enge konstruktive Zusammenarbeit zwischen Planung und Umweltsimulation.

Auf der Grundlage der hier erzielten Ergebnisse und unter Einbeziehung von Informationen zur Luftqualität (siehe auch Kapitel 4.2.5) wurde der Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 30 (Abb. 52) erstellt.



KlippS - Klimaplanungspass Stuttgart

Maybachstraße West

NBS Nr. 30

Stadtbezirk:	Feuerbach	Adresse:	Maybachstraße
Grundstücksfläche:	ca. 2,55 ha	Verfügbarkeit:	kurzfristig
Eigentümer:	privat	Flächennutzung:	Parkplatz, Brachfläche

Thermischer Komfort (TK)

Bewertungsindikatoren:

Lage / Umgebung: Hochlage / z.T versiegelt	Bebauungsdichte Umgebung: mittel	
Urbane Wärmeinsel: schwach	Kaltluftproduktion Umgebung: sehr gering	Vulnerabilität: hoch
→ human-biometeorologische Wertigkeit: 0.674 (mittel) von max. 1.0		
→ human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.528 (mittel) von max. 1.0		

Luftqualität (LQ)

Bewertungsindikatoren:

Feinstaubkonzentration (PM ₁₀ Jahresmittel):	22-25 µg/m ³
Stickstoffdioxidkonzentration (NO ₂ Jahresmittel):	32-36 µg/m ³
→ Luftbelastungsindex: 0.72 (hoch) (1.0 bedeutet Grenzwert erreicht!)	

Vertiefende Untersuchungen:

TK: numerische Simulationen zum thermischen Komfort liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
weitere Optimierung und Vergleich von Planungsvarianten möglich

LQ: numerische Simulationen zur Lufthygiene liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
mikroskalige Simulation bei Bedarf möglich.

Fazit / Planungshinweise:

Die nur teilweise starke Versiegelung verursacht insgesamt eine mittlere thermische Belastung. Allerdings führen die sehr geringe Kaltluftproduktion in der Umgebung bzw. geringer Kaltluftabfluss über die Fläche mit zu einer hohen Luftschadstoffbelastung. Die NO₂-Belastung ist im Verhältnis zu Feinstaub etwas ausgeprägter.

TK: Die vorhandene Grünausstattung sollte beibehalten werden. Eine mäßig dichte Bebauung und die Schaffung zusätzlicher begrünter Freiflächen sorgen für weiteren thermischer Ausgleich. Durch Pflanzung großkroniger Bäume sollten kleinräumige Ausgleichs-/Erholungsbereiche geschaffen werden, außerdem verringern sie den Hitzeeintrag in die Gebäude. Gebäudereihen quer zum Hang sollten mit großzügigen Lücken versehen werden, um eine Durchströmbbarkeit zu gewährleisten.

LQ: Fläche zur Maybachstraße hin abriegelnd bebauen und dort Aufenthaltsräume auf die straßenabgewandte Gebäudeseite legen, Hausbrandemissionen minimieren

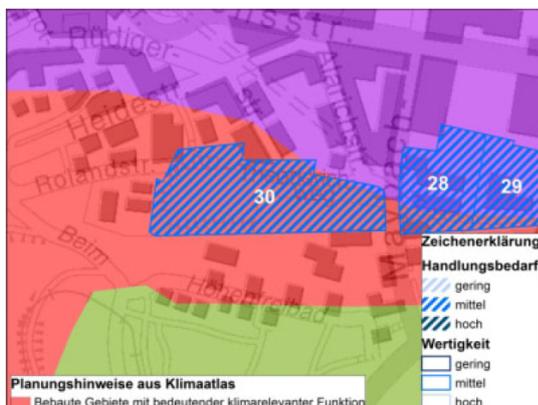
Ansprechpartner Stadtklima:

Herr Kapp
(0711) 216 – 88 685
rainer.kapp@stuttgart.de

Ansprechpartner Stadtplanung:

Frau Steinerstauch
(0711) 216 – 20 055
britta.steinerstauch@stuttgart.de

Klimaatlas u. human-biomet. Bewertung



Kaltluftverhalten Umgebung



Abb. 52: Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 30 in Stuttgart

A3 NBS-FLÄCHE 47 (BAD CANNSTATT, EHEM. BETTFEDERNFABRIK)

A3.1 GRUNDLAGEN UND FLÄCHENSZENARIEN

Die NBS-Fläche 47 (ca. 1.60 ha) befindet sich in einer Tallage in Bad Cannstatt im Nordosten des Stadtzentrums von Stuttgart. Hier handelt es sich um ein Beispiel einer kleineren, isoliert liegenden Gewerbefläche, die einer Umnutzung zugeführt werden soll. Sie befindet sich am Siedlungsrand im Übergangsbereich stark städtisch geprägter Gebiete. Das Ergebnis eines kooperativen Planungsverfahrens liegt vor. Die Auswahl dieser NBS-Fläche für numerische Simulationen mit dem ENVI-met Modell erfolgte aufgrund der häufig auftretenden Aufgabenstellung: der Umnutzung einer kleineren, bisher weitgehend versiegelten Gewerbefläche innerhalb einer städtischen Umgebungsbebauung mit Bezügen zum unbebauten Siedlungsrand.

Für diese NBS-Fläche wurden über das human-biometeorologische Bewertungsverfahren folgende Indexwerte ermittelt:

- human-biometeorologische Wertigkeit: 0.674 (Klasse „mittel“),
- human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.667 (Klasse „mittel“).

Die Abb. 53 gibt einen Überblick über den derzeitigen Zustand auf dieser NBS-Fläche. In der Abb. 54 sind die topographischen Bedingungen auf der NBS-Fläche 47 und in ihrer näheren Umgebung dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass auf dieser Fläche die Höhenunterschiede maximal 8 m betragen. Unter Berücksichtigung der näheren Umgebung weist das Gelände Höhenunterschiede von maximal 41 m auf.



Abb. 53: Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 47 (rot umrandet) anhand eines Luftbilds

Für die ENVI-met Simulationen wurde der derzeitige Zustand auf der NBS-Fläche 47 und in ihrer Umgebung (Szenario A) in ein gitterzellenbezogenes „area input file“ umgewandelt, das in der Abb. 55 visualisiert ist. Die Abb. 56 und Abb. 57 zeigen die Flächenszenarien Szenario B (NBS-Fläche 47 als reine Asphaltfläche) und C (NBS-Fläche 47 als reine Grünfläche, bestehend aus Grasland und Laubbäumen).

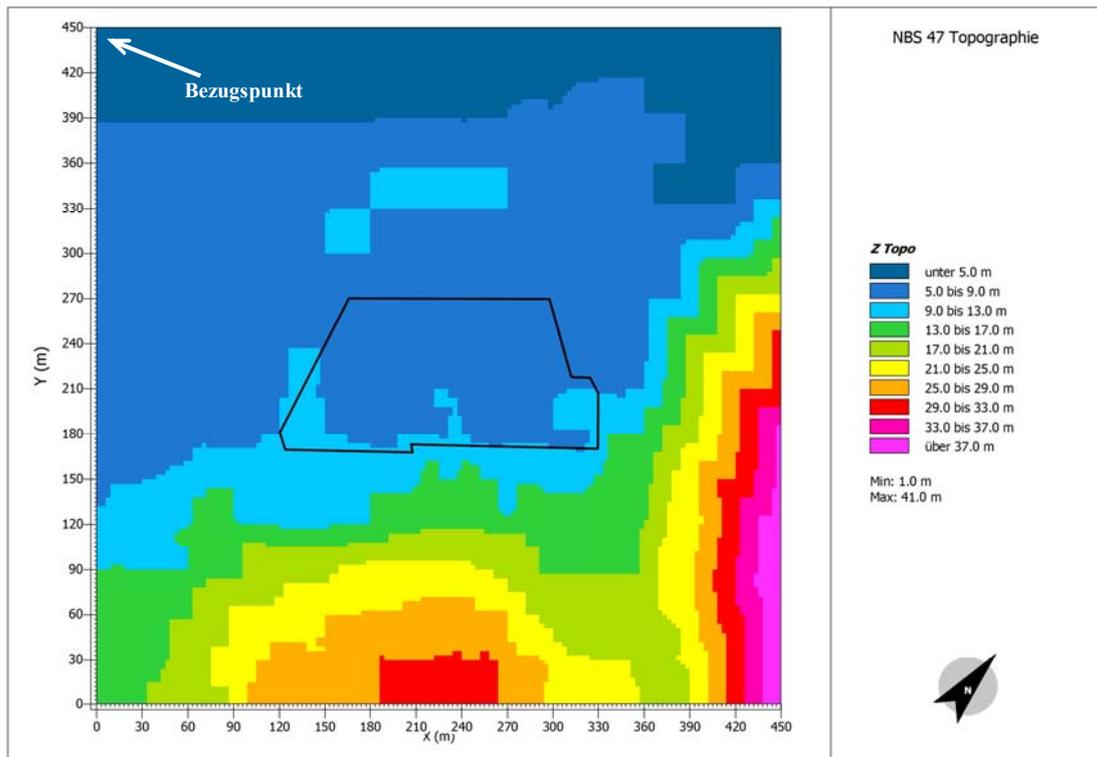


Abb. 54: Topographische Situation auf der NBS-Fläche 47 (schwarz umrandet), Bezugspunkt: Gitterzelle links oben in 213 m über NN



Abb. 55: NBS-Fläche 47 (rot umrandet) in der derzeitigen Flächensituation (Szenario A) für die ENVI-met Simulationen

Die Abb. 58 und Abb. 59 enthalten eine Planungsvariante, die im Bereich der NBS-Fläche 47 einen Grünflächenanteil berücksichtigt (Szenario D) bzw. komplett ausschließt (Szenario E). Die Höhe der Gebäude in der Planungsvariante liegt zwischen 9 und 12 m. Lediglich das Gebäude in der linken oberen Ecke der NBS-Fläche hat eine Höhe von 21 m. Die Höhe der Bäume variiert zwischen 9 m (maximaler horizontaler Kronendurchmesser: 7 m) und 15 m (maximaler horizontaler Kronendurchmesser: 11 m)



Abb. 56: NBS-Fläche 47 (rot umrandet) als reine Asphaltfläche (Szenario B) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 57: NBS-Fläche 47 (rot umrandet) als reine Grünfläche (Szenario C) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 58: NBS-Fläche 47 (rot umrandet) in einer Planungsvariante mit Grün (Szenario D) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 59: NBS-Fläche 47 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber ohne Grün (Szenario E) für die ENVI-met Simulationen

Um eine Übersicht über die Größenordnungen der Flächennutzungen in den einzelnen Szenarien zu erhalten, sind in der Tab. 58 die prozentualen Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten NBS-Fläche 47 zusammengestellt.

Tab. 58: Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (1.60 ha) von NBS 47

Szenario	Gebäude	Asphalt	Gras	Stammquerschnittsflächen	maximale Kronenquerschnittsflächen
A (derzeitig)	37%	36%	24%	3%	15%
B (Asphalt)	0%	100%	0%	0%	0%
C (Grün)	0%	0%	98%	2%	16%
D (Planung mit Grün)	31%	40%	26%	3%	12%
E (Planung ohne Grün)	31%	69%	0%	0%	0%

A3.2 SIMULATIONSRESULTATE

Die nachfolgenden gitterzellenbezogenen Simulationsergebnisse für PET in Form von Mittelwerten über 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003 beziehen sich:

- in der Abb. 60 auf das Szenario A,
- in der Abb. 61 auf die Differenz zwischen den Szenarien B und C,
- in der Abb. 62 auf das Szenario D,
- in der Abb. 63 auf die Differenz zwischen den Szenarien E und D.

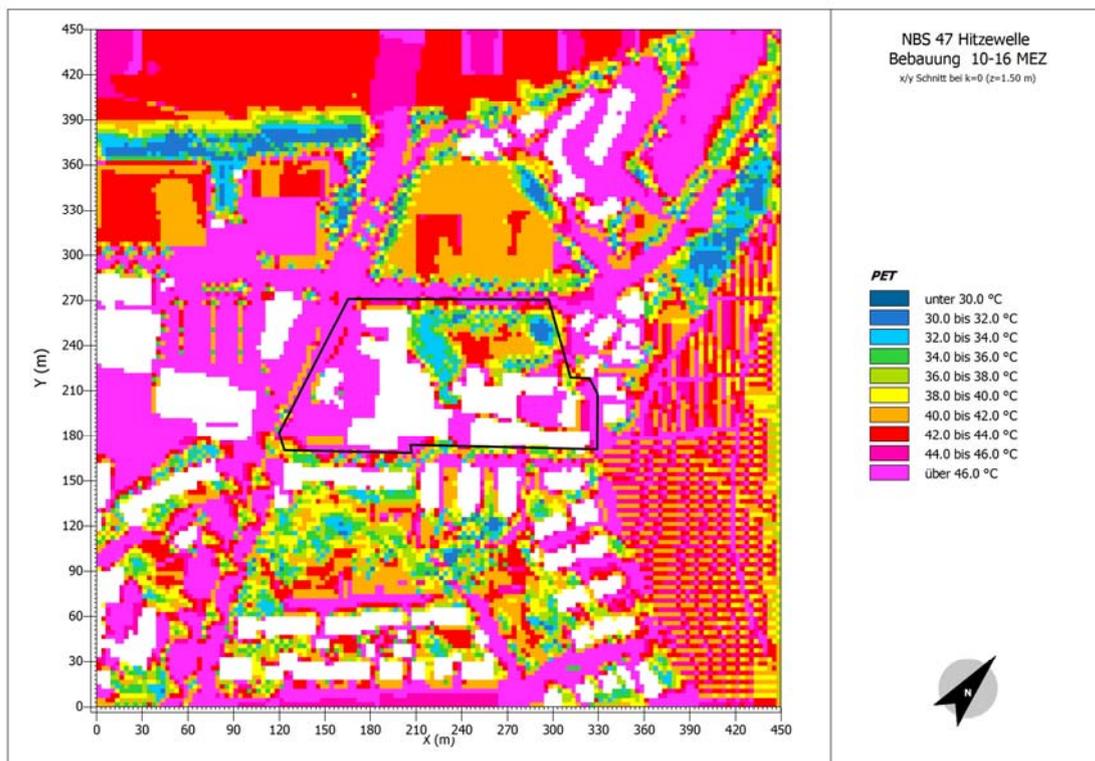


Abb. 60: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 47 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003

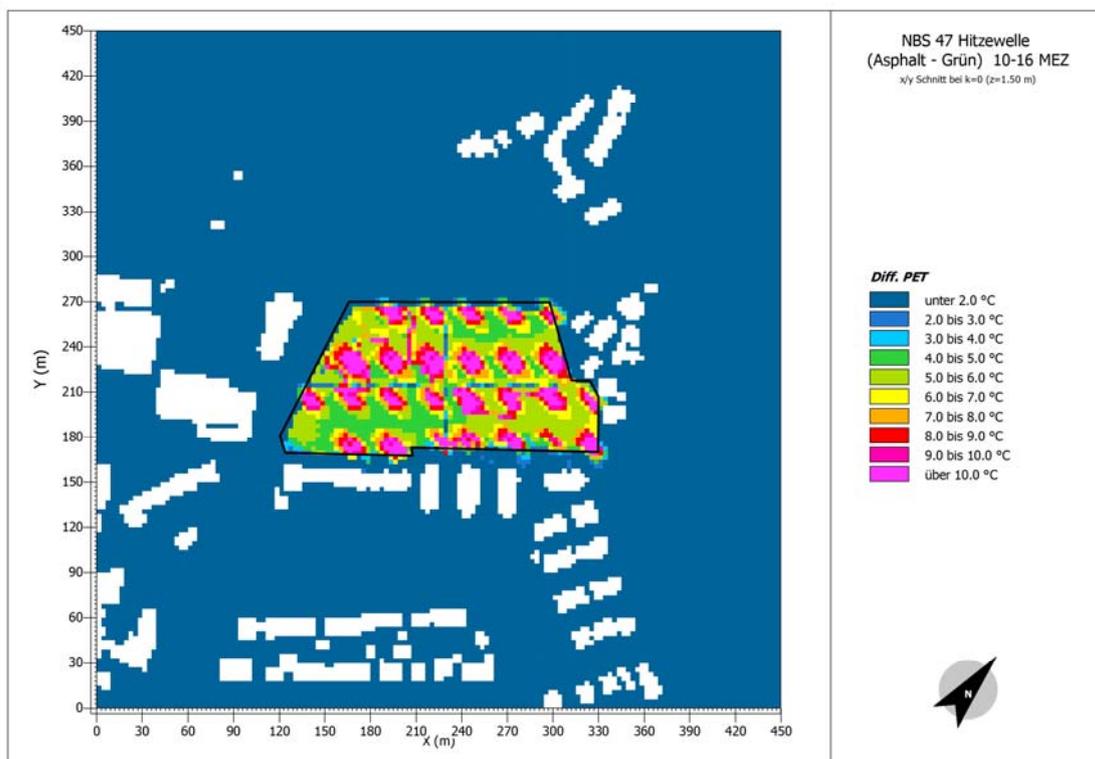


Abb. 61: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 47 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

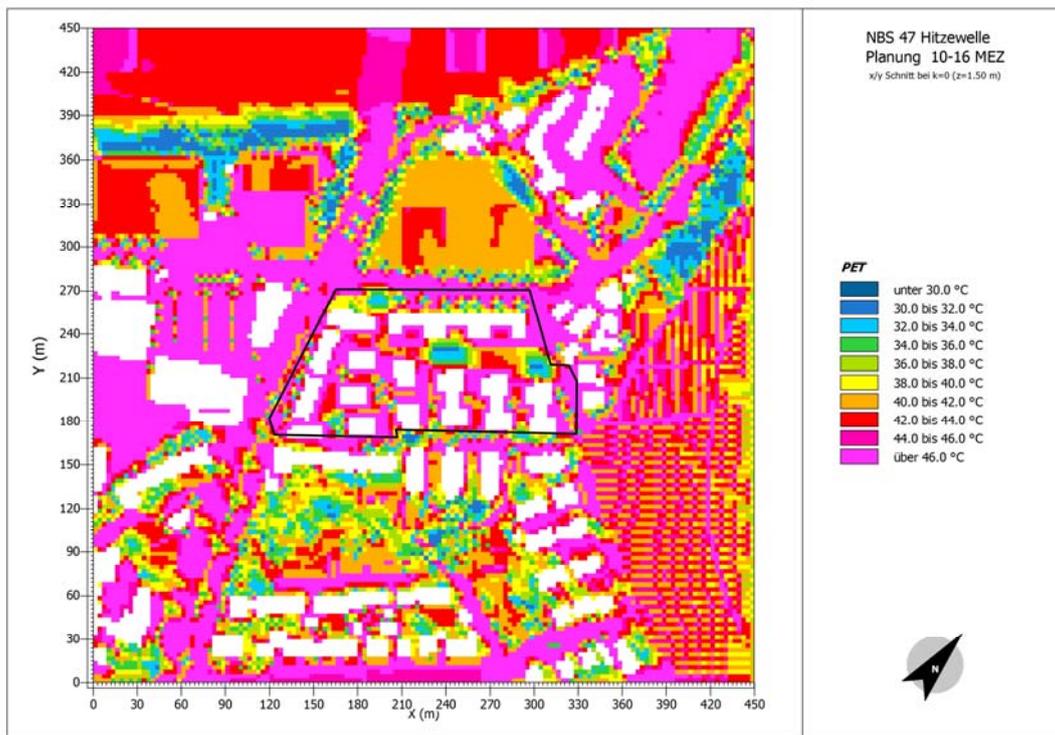


Abb. 62: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 47 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003

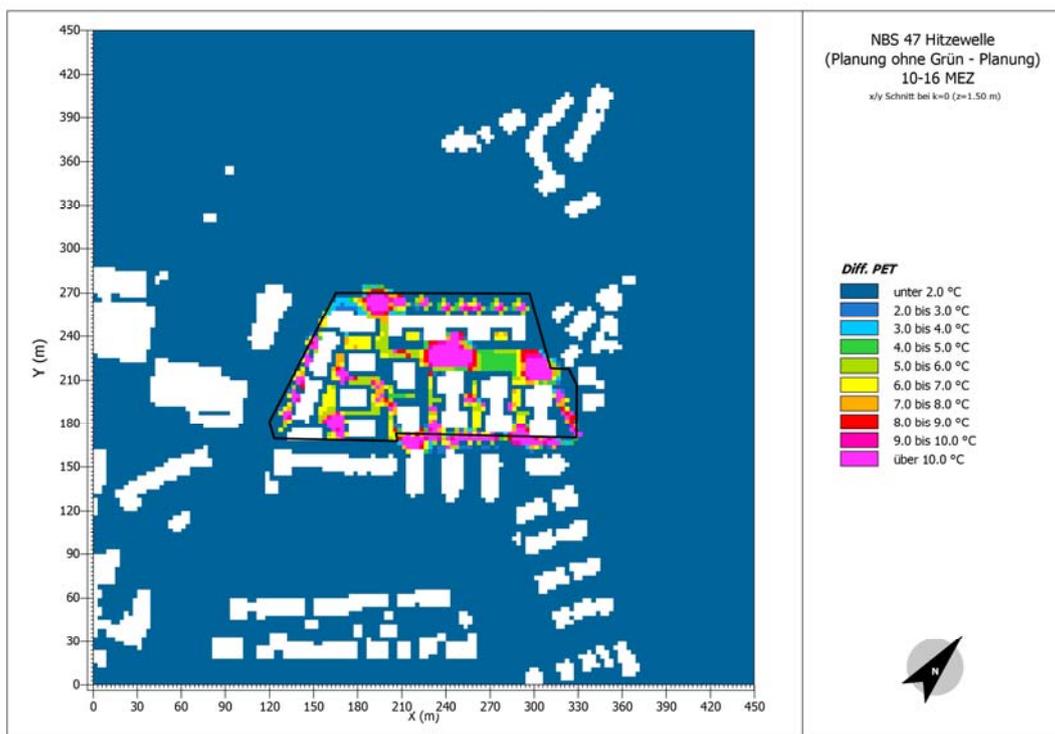


Abb. 63: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 47 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

Die gitterzellenbezogenen PET Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Im Szenario A (derzeitiger Flächenzustand) liegt die räumliche Variation von PET bei maximal ca. 14 °C.
- Das Szenario B weist für PET höhere Werte als das Szenario C auf. Der Unterschied zwischen den Szenarien B und C beträgt für PET maximal 12 °C.
- Im Szenario D (Planungsvariante mit Grün), in dem gegenüber dem Szenario A der Anteil der Gebäudeflächen von 37% auf 31% zurückgeht, allerdings die Anteile der Asphaltflächen von 36% auf 40% und der Grasflächen von 24% auf 26% anwachsen, liegen die räumlichen Variationen von PET bei maximal 16 °C.
- Die Differenzen zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D erreichen bei PET maximal 11 °C.

Unter Berücksichtigung der Zuordnung von PET Werten zu Bereichen des thermischen Empfindens von Menschen (Tab. 1) zeigt sich auch hier, dass eine grüne Flächennutzung aus Grasland und Bäumen die thermische Belastung, die für Menschen tagsüber im städtischen Freiraum, insbesondere an einem Hitzewellentag, vorhanden ist, um ein bis zwei thermische Empfindungsstufen reduziert, d. h. von „heiß“ zu „warm“ bzw. „leicht warm“.

Die gitterzellenbezogenen Simulationsergebnisse über 10 bis 16 Uhr MEZ sind als Flächenmittelwerte der Zielgrößen T_a , T_s , T_{mrt} und PET einschließlich ihrer Standardabweichungen in der Tab. 59 für den Hitzewellentag 4. August 2003 und in der Tab. 60 für den Sommertag 23. Juni 2011 zusammengefasst. Zusätzlich enthalten die Tab. 61 und Tab. 62 die analogen Mittelwerte und Standardabweichungen für den Nachtzeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ.

Tab. 59: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 47 am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	33.1	0.49	40.2	8.45	55.8	12.29	42.9	6.24
B (Asphalt)	32.6	0.12	48.3	1.71	67.3	2.88	46.7	1.81
C (Grün)	31.6	0.32	31.6	2.78	51.5	5.64	39.9	2.60
D (Planung mit Grün)	32.0	0.23	40.6	8.07	57.6	10.57	44.0	5.57
E (Planung ohne Grün)	32.4	0.12	48.9	2.34	67.8	3.82	48.4	2.56
B-C	1.0	0.34	16.7	2.97	15.8	5.46	6.8	2.55
E-D	0.4	0.17	8.3	8.20	10.2	10.50	4.4	4.97

Tab. 60: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 47 am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	20.5	0.28	32.3	8.52	47.7	12.02	31.1	6.10
B (Asphalt)	20.9	0.08	41.0	1.69	58.3	2.63	33.6	2.01
C (Grün)	20.2	0.18	24.6	2.87	44.0	5.90	27.9	2.76
D (Planung mit Grün)	20.5	0.11	32.9	8.02	49.5	10.46	32.1	5.70
E (Planung ohne Grün)	20.8	0.06	41.2	2.34	59.1	3.20	36.0	2.76
B-C	0.7	0.22	16.4	3.05	14.3	5.75	5.7	2.63
E-D	0.3	0.09	8.3	8.26	9.6	10.46	3.9	4.91

Tab. 61: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 47 am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	26.1	0.27	25.7	0.31	18.8	0.86	22.7	0.45
B (Asphalt)	27.4	0.22	25.7	0.29	18.6	0.28	22.4	0.22
C (Grün)	27.0	0.12	21.3	0.89	18.1	0.48	22.0	0.26
D (Planung mit Grün)	27.2	0.19	23.8	1.84	17.4	0.81	22.0	0.30
E (Planung ohne Grün)	27.5	0.27	25.3	0.41	18.3	0.26	22.6	0.23
B-C	0.4	0.17	4.4	1.03	0.5	0.53	0.4	0.21
E-D	0.3	0.17	1.5	1.92	0.9	0.75	0.5	0.30

Tab. 62: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 47 am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	16.1	0.10	17.1	1.23	9.8	1.47	11.7	0.87
B (Asphalt)	16.3	0.09	17.5	0.21	7.7	0.50	10.5	0.36
C (Grün)	16.0	0.04	15.3	0.56	9.4	0.56	11.2	0.40
D (Planung mit Grün)	16.1	0.07	17.1	1.36	9.6	1.05	11.7	0.65
E (Planung ohne Grün)	16.3	0.10	17.8	0.21	8.1	0.60	11.0	0.63
B-C	0.3	0.10	2.2	0.51	-1.7	0.55	-0.7	0.21
E-D	0.2	0.07	0.7	1.32	-1.5	1.00	-0.7	0.41

Aus Tab. 59 bis Tab. 62 folgt:

- Wie zu erwarten war, weisen für alle Flächenszenarien die Zielgrößen am Hitzewellentag deutliche höhere Mittelwerte als am Sommertag auf. Bei T_a sind die Standardabweichungen am Hitzewellentag etwas größer als am Sommertag, d. h. die Streuung der einzelnen T_a Gitterwerte auf der NBS-Fläche ist am Hitzewellentag etwas größer. Dieses Muster besteht bei T_s und T_{mrt} nicht im gleichen Ausmaß. Bei PET deutet sich die Tendenz von höheren Standardabweichungen am Sommertag an.
- Die Streuung der T_a Mittelwerte zwischen den verschiedenen Flächenszenarien ist relativ gering. Die T_a Differenz zwischen den beiden extremen Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) beträgt am Hitzewellentag 1.0 °C. Für eine human-biometeorologische Beurteilung der Größenordnung dieser Differenz existieren bis kein allerdings keine geeigneten Kriterien.
- Unter den Zielgrößen weist tagsüber T_{mrt} die höchsten Mittelwerte und Standardabweichungen je Szenario auf.
- Wie zu erwarten war, reagieren von den Zielgrößen T_s und T_{mrt} am stärksten auf Veränderungen der Flächennutzung. So beträgt am Hitzewellentag tagsüber die Differenz zwischen den Flächenszenarien B und C bei T_s 16.7 °C und bei T_{mrt} 15.8 °C. Am Sommertag beläuft sich diese Differenz bei T_s auf 16.4 °C und bei T_{mrt} auf 14.3 °C.
- Die Hitzereduzierung auf lokaler Basis durch eine grüne Flächennutzung spiegelt sich nicht nur bei den Differenzen der Zielgrößen zwischen den Flächenszenarien B und C wider, sondern zeigt sich - wenn auch in abgeschwächter Form - ebenfalls bei den Differenzen der Zielgrößen zwischen den Flächenszenarien E (Planung ohne Grün) und D (Planung mit Grün). Sie betragen am Hitzewellentag bei T_s 8.3 °C, bei T_{mrt} 10.2 °C und bei PET 4.4 °C. Bei T_a beläuft sich diese Differenz nur auf 0.4 °C, was darauf hinweist, dass T_a zur Beurteilung von human-biometeorologisch relevanter Hitze ungeeignet ist.
- Am Hitzewellentag überschreitet der PET Mittelwert bei fast allen Flächenszenarien den Schwellenwert von 40 °C, ab dem das thermische Empfinden von Menschen in der Stufe „heiß“ beginnt. Lediglich für das Flächenszenario C liegt der PET Mittelwert knapp unter 40 °C. Am Sommertag sind die PET Mittelwerte zwar deutlich niedriger. Kurzfristige PET Werte, z. B. als Mittelwert über eine Stunde, überschreiten jedoch auch die Schwelle von 40 °C.
- Gegenüber dem Flächenszenario A (derzeitiger Zustand) reduziert sich tagsüber am Hitzewellentag der T_a Mittelwert bei der vorgesehenen Planung (Szenario D, d. h. mit Grün) um 1.1 °C. Die Mittelwerte von T_s , T_{mrt} und PET sind dagegen höher (T_s : 0.4 °C, T_{mrt} : 1.8 °C, PET: 1.1 °C). Bei der vorgesehenen Planung, aber ohne Grün (Szenario E), erhöhen sich die Mittelwerte der Zielgrößen erwartungsgemäß gegenüber dem Szenario D (T_a : 0.4 °C, T_s : 8.3 °C, T_{mrt} : 10.2 °C, PET: 4.4 °C).
- Bezogen auf den thermophysiologischen Bewertungsindex PET ergibt sich, dass die für die NBS-Fläche 47 vorgesehene Planung am Hitzewellentag zu einer Intensivierung der über den kompletten Zeitraum von 10 bis 16 Uhr bestehenden „heißen“ Bedingungen führt. Am Sommertag steigt die thermische Belastung für Menschen durch die vorgesehene Planung ebenfalls an. „Heiße“ Bedingungen treten dann aber nur kurzfristig auf.

A3.2 RESÜMEE AUS PLANERISCHER SICHT

Aus den Simulationsergebnissen lassen sich für die Planung folgende generelle Schlussfolgerungen ziehen:

- Grünstrukturen und Bäume wirken sich günstig auf das thermische Empfinden von Menschen (PET) aus.

- Das thermische Empfinden von Menschen ist am Hitzewellentag deutlich ungünstiger als am Sonntag.
- Großkronige Bäume haben aufgrund ihrer Schattenwirkung einen positiven Effekt auf den thermischen Komfort von Menschen. Die größte Wirkung wird erzielt, wenn mehrere Bäume ein geschlossenes Kronendach ausbilden.
- Die Pflanzung von Bäumen vor den Nord- und Südfassaden der Gebäude bewirkt eine deutliche Reduzierung der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) als Indikator für das thermische Empfinden bzw. die thermische Belastung von Menschen.
- Es lässt sich ein positiver Effekt auf das thermische Empfinden von Menschen feststellen, wenn eine angemessene Grünausstattung eingeplant wird.

Weitere spezielle Schlussfolgerungen sind:

- Die Simulation hat ergeben, dass das thermische Empfinden von Menschen an einem Hitzewellentag durch die Berücksichtigung einer Bebauung mit angemessener Grünausstattung leicht negativ beeinflusst wird - verglichen mit dem derzeitigen (teils begrünten, teils bebauten) Nutzungszustand. Dies gilt auch für einen durchschnittlichen Sommertag.
- Die Abnahme der Streuwerte der einzelnen Gitterzellen (Standardabweichung) für alle Zielgrößen beim Vergleich der Planung mit dem derzeitigen Zustand deutet auf eine homogenere Verteilung der Nutzungen bei der geplanten Bebauung als beim heutigen Zustand hin.
- Die topographischen Bedingungen und Grünausstattungssituation im nördlichen Teil des Baugebietes (nach Norden abfallender Hang, südlich davon relativ hohe Bebauung) erweist sich bei allen untersuchten human-biometeorologischen Zielgrößen als positiv: es treten die geringsten thermischen Belastungen auf.
- Die vorhandenen Grünflächen tragen positiv zum thermischen Komfort bei und sind möglichst zu erhalten.
- *Mittlere* Betrachtung des Hitzetags als Synonym für zukünftige klimatische Randbedingungen:

Eine reine konsequente Begrünung würde sich im Vergleich zum (teilbegrünten) Istzustand positiv auswirken, eine reine Asphaltfläche negativ und eine Neubebauung (Planung) ohne Grün sehr negativ. Dies sind auch die möglichen Grenzen mit immerhin einer PET Differenz von 8.5 °C. Bebauungs-/Begrünungsvarianten liegen dazwischen.

Eine (realistische) Bebauung mit Grünanteil ist im Vergleich zum Istzustand thermisch immer noch leicht negativ, eine Bebauung ohne Grünausstattung wirkt sich thermisch sehr negativ aus.

Art und Maß der Begrünung bestimmen den Grad der positiven thermischen Auswirkungen. Anzustreben wäre eine Grünausstattung, die im Mittel zu einer Verbesserung führt.

In der Nachtbetrachtung ergeben sich erwartungsgemäß nur sehr geringe Unterschiede.

- *Mittlere* Betrachtung des Sommertags:

Insgesamt ergeben sich für die Tagbetrachtung geringere thermische Unterschiede. Auch hier wirkt sich eine Bebauung ohne Grün aber sehr negativ aus. Eine Bebauung mit Begrünung führt zu einer leichten Verschlechterung im Vergleich zum (teilbegrünten) Istzustand.

Die Nacht ist unkritisch.

Die vorangegangene Bewertung des Istzustands (teils begrünt, teils Bebauung) kommt für diese Fläche zu einer mittleren human-biometeorologischen Wertigkeit bzw. zu einem mittleren human-biometeorologischen Handlungsbedarf (siehe Kapitel 4.2.2). Dennoch lässt sich auch hier durch ausreichende Begrünungsmaßnahmen im Mittel ein kleiner Teil einer voraussichtlichen thermischen Verschlechterung (Hitzetag) wie-

der zurücknehmen. Die Detailsimulationen PET (Hitzetag) zeigen einerseits die Notwendigkeit auf, durch Begrünung, insbesondere großkronige Bäume, kleinräumig Ausgleichs-/Erholungsbereiche zu schaffen. Andererseits zeigen sie das Potenzial auf, das sich durch unterschiedliche Begrünungsmaßnahmen ergibt. Empfehlung wäre hier also das Szenario D, das aber noch weiterer Optimierung in der Grünausstattung bedarf, um eine (notwendige) Verbesserung gegenüber dem Istzustand zu erreichen. Dies erfordert eine enge konstruktive Zusammenarbeit zwischen Planung und Umweltsimulation.

Auf der Grundlage der hier erzielten Ergebnisse und unter Einbeziehung von Informationen zur Luftqualität (siehe auch Kapitel 4.2.5) wurde der Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 47 (Abb. 64) erstellt.



KlippS - Klimaplanungspass Stuttgart

Ehem. Bettfedernfabrik

NBS Nr. 47

Stadtbezirk:	Bad Cannstatt	Adresse:	Hofener Straße
Grundstücksfläche:	ca. 1,60 ha	Verfügbarkeit:	mittelfristig
Eigentümer:	Privat	Flächennutzung:	Gewerbe, Leerstand

Thermischer Komfort (TK)

Bewertungsindikatoren:

Lage / Umgebung: Tallage / z.T. versiegelt; Bebauungsdichte Umgebung: mittel
 Urbane Wärmeinsel: schwach; Kaltluftproduktion Umgebung: sehr hoch; Vulnerabilität: hoch

→ human-biometeorologische Wertigkeit: 0.674 (mittel) von max. 1.0

→ human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.667 (mittel) von max. 1.0

Luftqualität (LQ)

Bewertungsindikatoren:

Feinstaubkonzentration (PM₁₀ Jahresmittel): 19-22 µg/m³
 Stickstoffdioxidkonzentration (NO₂ Jahresmittel): 32-34 µg/m³

→ Luftbelastungsindex: 0.67 (mittel) (1.0 bedeutet Grenzwert erreicht!)

Vertiefende Untersuchungen:

TK: numerische Simulationen zum thermischen Komfort liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
weitere Optimierung und Vergleich von Planungsvarianten möglich

LQ: numerische Simulationen zur Lufthygiene liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
mikroskalige Simulation bei Bedarf möglich.

Fazit / Planungshinweise:

Die teilweise starke Versiegelung verursacht insgesamt eine mittlere thermische Belastung. Sehr hohe Kaltluftproduktion in der Umgebung und entsprechender Kaltluftabfluss über die Fläche bewirken nächtliche Abkühlung. Es besteht eine mittlere, in hohem Maße lokal verkehrsbedingte Luftschadstoffbelastung. Die NO₂-Belastung ist im Verhältnis zu Feinstaub etwas ausgeprägter.
 TK: Nur mäßig dicht bebauen, insbesondere muss die Bebauungsstruktur in der Lage sein, die hangseitig (von Ost-Nordost) einströmende Kaltluft aufzunehmen. Die Detailberechnungen zeigen, dass eine (realistische) Bebauung mit Grünanteil im Vergleich zum Istzustand thermisch immer noch leicht negativ ist, anzustreben wäre eine intensive Grünausstattung, die im Mittel zu einer Verbesserung führt, alternativ Erhalt der bisherigen Grünausstattung und dichtere begrünte Bebauung auf der Restfläche.
 LQ: Entlang der Gnesener Str. abriegelnde Bebauung, Aufenthaltsräume sind auf die straßenabgewandte Gebäudeseite zu legen, Hausbrandemissionen minimieren, z.B. Fernwärmeversorgung

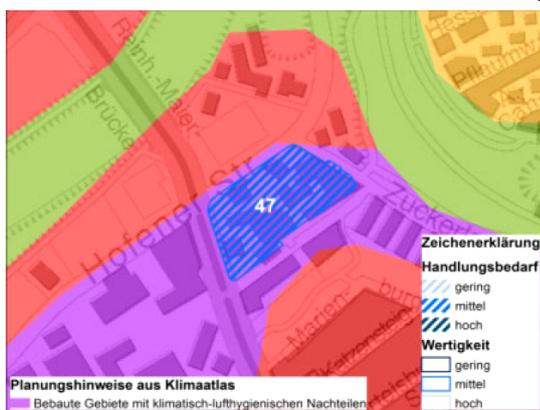
Ansprechpartner Stadtklima:

Herr Kapp
 (0711) 216 – 88 685
 rainer.kapp@stuttgart.de

Ansprechpartner Stadtplanung:

Herr Schulze Dieckhoff
 (0711) 216 – 20 053
 robert.schulze.dieckhoff@stuttgart.de

Klimaatlas u. human-biomet. Bewertung



Kaltluftverhalten Umgebung

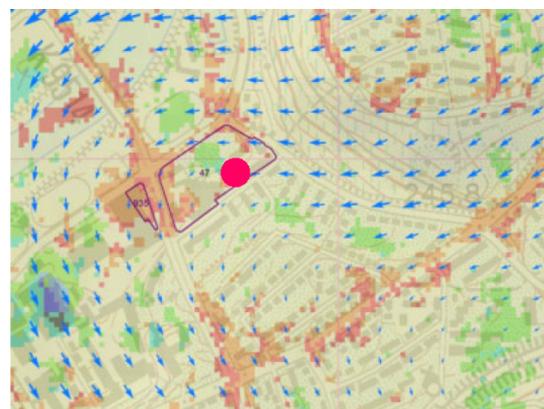


Abb. 64: Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 47 in Stuttgart

A4 NBS-FLÄCHE 768 (OST, ENBW AREAL HACKSTRASSE)

A4.1 GRUNDLAGEN UND FLÄCHENSZENARIEN

Die NBS-Fläche 768 (ca. 4.21 ha) befindet sich in Hanglage im Nordosten des Stadtzentrums von Stuttgart. Die Umnutzung der Fläche wird durch Verlagerungsabsichten und Zentralisierungen des bisherigen Nutzers möglich. Die Fläche liegt zentral im Stuttgarter Osten und ist von 4-5 geschossiger Mischnutzung mit hohen Wohnanteilen umgeben. Das topographisch bewegte Gelände hat einen Höhensprung von ca. 18 m. Die Fläche ist im Regionalplan als Wohnungsbauschwerpunkt festgelegt. Die Auswahl dieser Fläche für numerische Simulationen mit dem ENVI-met Modell erfolgte aufgrund der übertragbar typischen Lage in topographisch bewegtem Gelände. Die bisherigen Umnutzungsüberlegungen sehen einen Teilabriss und eine teilweise Umnutzung bestehender Gebäude vor. In der Summe soll eine künftig geringere Versiegelung angestrebt werden.

Für die NBS-Fläche 768 wurden über das human-biometeorologische Bewertungsverfahren folgende Indexwerte ermittelt:

- human-biometeorologische Wertigkeit: 0.422 (Klasse „mittel“),
- human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.722 (Klasse „hoch“).



Abb. 65: Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 768 (rot umrandet) anhand eines Luftbilds

Die Abb. 65 gibt einen Überblick über den derzeitigen Zustand auf dieser NBS-Fläche. In der Abb. 66 sind die topographischen Bedingungen auf der NBS-Fläche 768 und in ihrer näheren Umgebung dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass auf dieser Fläche die Höhenunterschiede maximal 18 m betragen. Unter Berücksichtigung der näheren Umgebung weist das Gelände Höhenunterschiede von maximal 36 m auf. Für die ENVI-met Simulationen wurde der derzeitige Zustand auf der NBS-Fläche 768 und in ihrer Umgebung (Szenario A) in ein gitterzellenbezogenes „area input file“ umgewandelt, das in der Abb. 67 visualisiert ist.

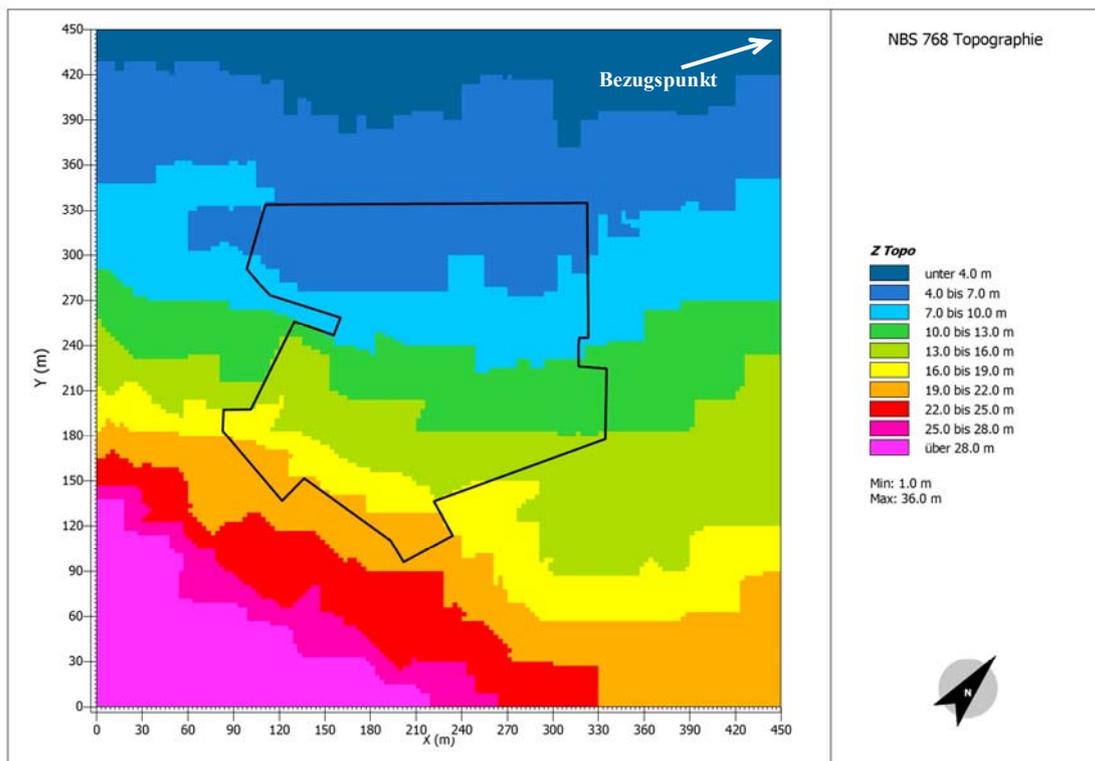


Abb. 66: Topographische Situation auf der NBS-Fläche 768 (schwarz umrandet), Bezugspunkt: Gitterzelle rechts oben in 233 m über NN

Die Abb. 68 und Abb. 69 zeigen die Flächenszenarien Szenario B (NBS-Fläche 768 als reine Asphaltfläche) und C (NBS-Fläche 768 als reine Grünfläche, bestehend aus Grasland und Laubbäumen). Die Abb. 70 und Abb. 71 enthalten eine Planungsvariante, die im Bereich der NBS-Fläche 768 Grünflächenanteile berücksichtigt (Szenario D) bzw. komplett ausschließt (Szenario E). Die Höhe der Gebäude in der Planungsvariante liegt zwischen 7 und 16 m. Lediglich das Gebäude am nordwestlichen Rand der NBS-Fläche hat eine Höhe von 22 m. Die Höhe der Bäume variiert zwischen 6 m (maximaler horizontaler Kronendurchmesser: 5 m) und 15 m (maximaler horizontaler Kronendurchmesser: 11 m).

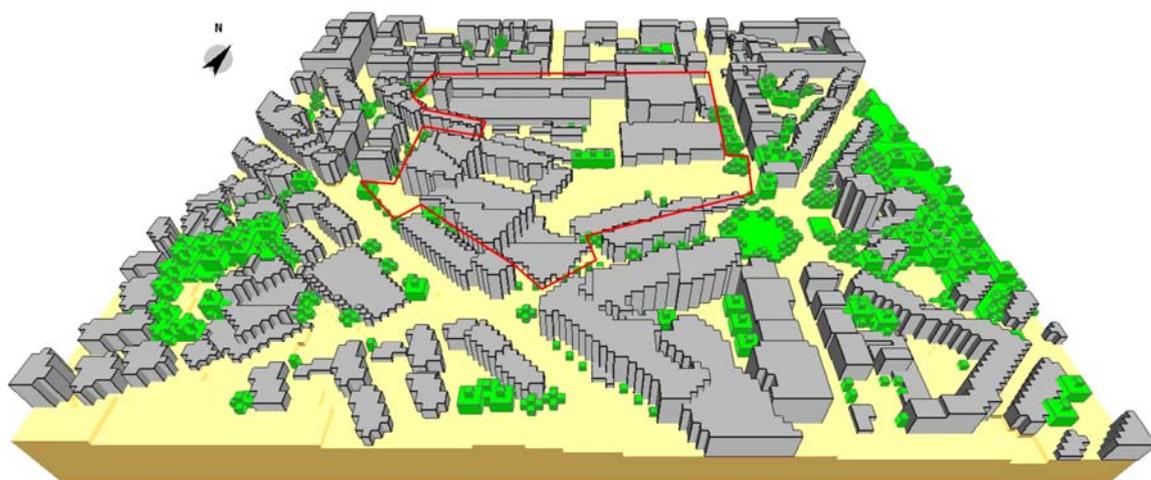


Abb. 67: NBS-Fläche 768 (rot umrandet) in der derzeitigen Flächensituation (Szenario A) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 68: NBS-Fläche 768 (rot umrandet) als reine Asphaltfläche (Szenario B) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 69: NBS-Fläche 768 (rot umrandet) als reine Grünfläche (Szenario C) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 70: NBS-Fläche 768 (rot umrandet) in einer Planungsvariante mit Grün (Szenario D) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 71: NBS-Fläche 768 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber ohne Grün (Szenario E) für die ENVI-met Simulationen

Um eine Übersicht über die Größenordnungen der Flächennutzungen in den einzelnen Szenarien zu erhalten, sind in der Tab. 63 die prozentualen Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten NBS-Fläche 768 zusammengestellt.

Tab. 63: Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (4.21 ha) von NBS 768

Szenario	Gebäude	Asphalt	Gras	Stammquerschnittsflächen	maximale Kronenquerschnittsflächen
A (derzeitig)	54%	46%	0%	0%	1%
B (Asphalt)	0%	100%	0%	0%	0%
C (Grün)	0%	0%	99%	1%	11%
D (Planung mit Grün)	34%	51%	11%	4%	10%
E (Planung ohne Grün)	34%	66%	0%	0%	0%

A4.2 SIMULATIONSRESULTATE

Die gitterzellenbezogenen Simulationsergebnisse für PET in Form von Mittelwerten über 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003 sind wie folgt angeordnet:

- in der Abb. 72 für das Szenario A,
- in der Abb. 73 als Differenz zwischen den Szenarien B und C,
- in der Abb. 74 für das Szenario D,
- in der Abb. 75 als Differenz zwischen den Szenarien E und D.

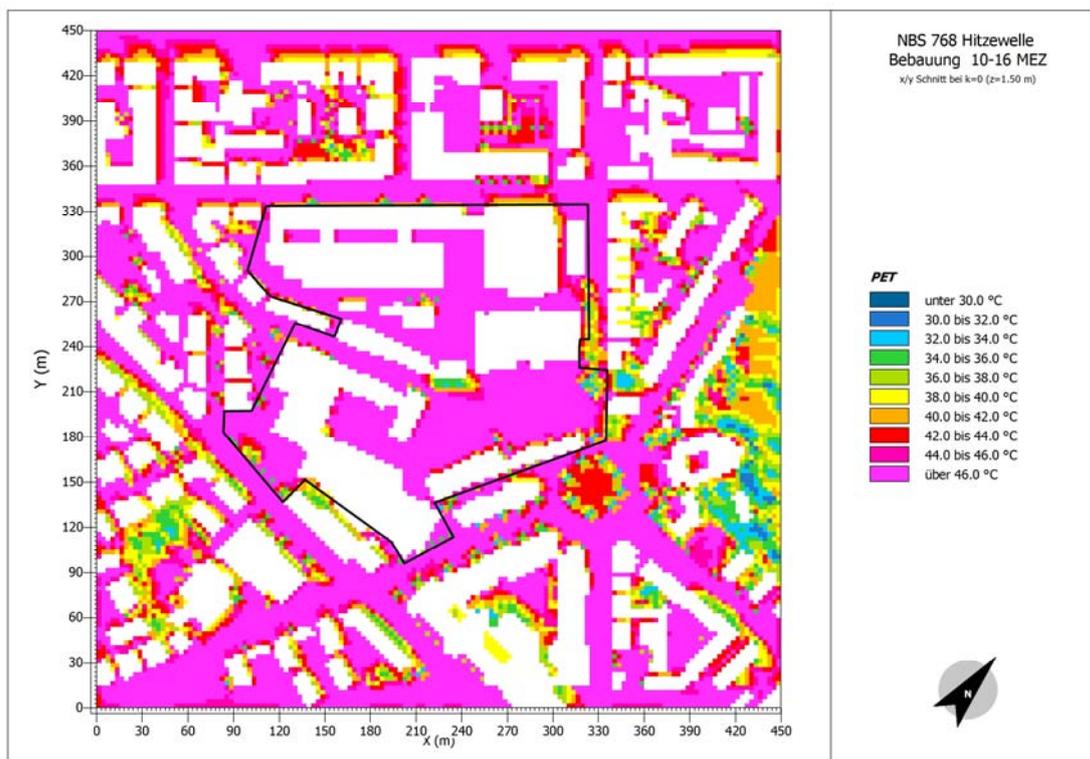


Abb. 72: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 768 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003

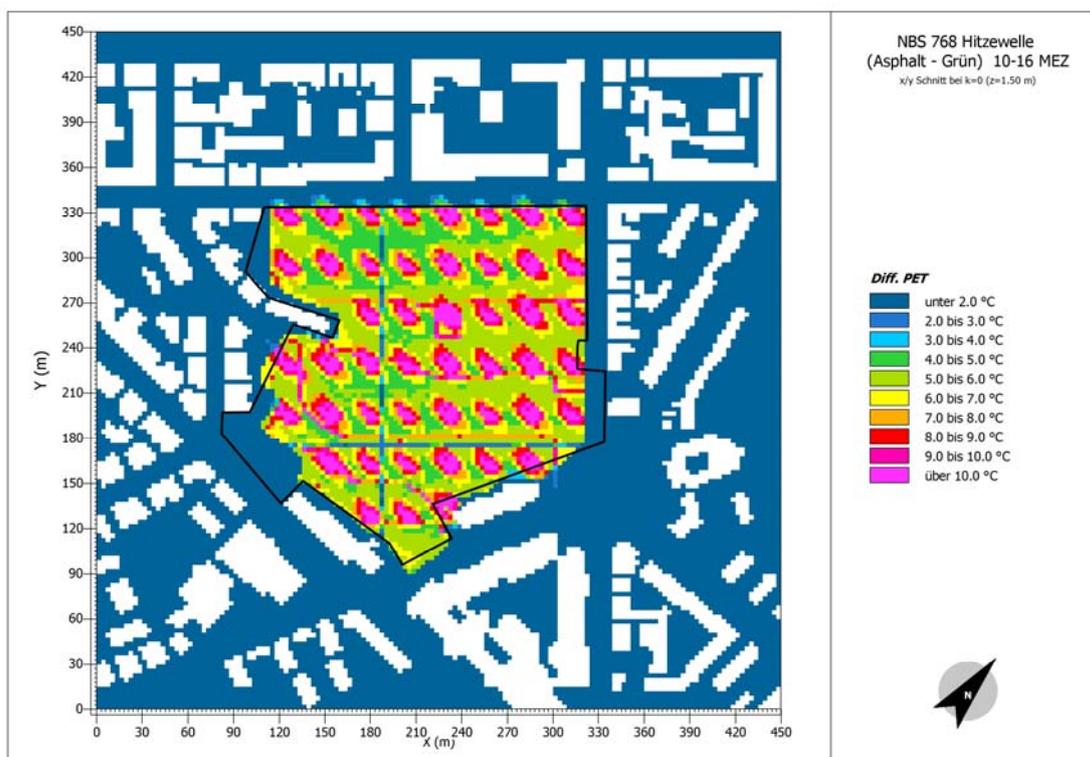


Abb. 73: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 768 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

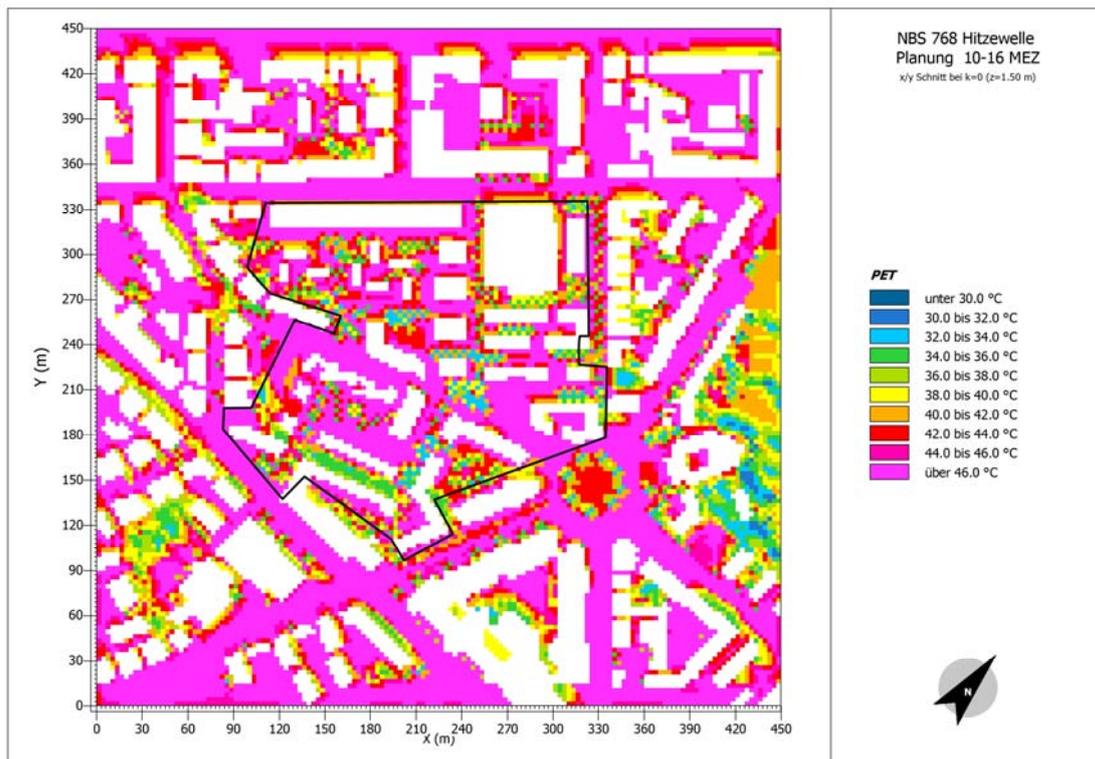


Abb. 74: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 768 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003

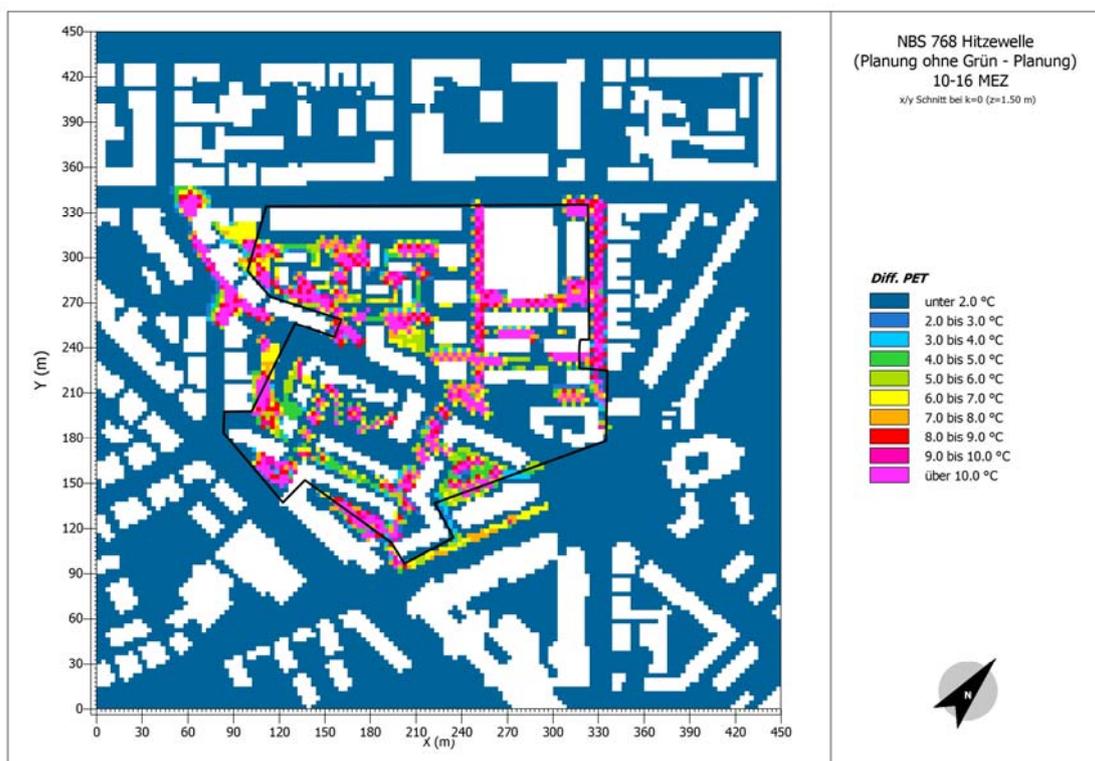


Abb. 75: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 768 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

Insgesamt zeigen die gitterzellenbezogenen PET Ergebnisse:

- Im Szenario A (derzeitiger Flächenzustand) belaufen sich die räumlichen Variationen von PET auf maximal ca. 14 °C.
- Erwartungsgemäß weist das Szenario B höhere PET Werte als das Szenario C auf. Der Unterschied zwischen den Szenarien B und C beträgt für PET maximal 10 °C.
- Im Szenario D (Planungsvariante mit Grün) liegen die räumlichen Variationen von PET bei maximal 16 °C.
- Die Differenzen zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D erreichen bei PET maximal 11 °C.

Wie bereits bei den PET Resultaten für die NBS-Flächen 30, 47 und 818 angegeben, zeigt sich auch für die NBS-Fläche 768, dass sich die über PET quantifizierte thermische Belastung, die für Menschen tagsüber insbesondere an einem Hitzewellentag vorhanden ist, durch eine grüne Flächennutzung aus Grasland und Bäumen um ein bis zwei thermische Empfindungsstufen reduzieren lässt.

Die gitterzellenbezogenen Simulationsergebnisse über 10 bis 16 Uhr MEZ sind als Flächenmittelwerte der Zielgrößen T_a , T_s , T_{mrt} und PET einschließlich ihrer Standardabweichungen in der Tab. 64 für den Hitzewellentag 4. August 2003 und in der Tab. 65 für den Sommertag 23. Juni 2011 zusammengefasst. Zusätzlich enthalten die Tab. 66 und Tab. 67 die analogen Mittelwerte und Standardabweichungen für den Nachtzeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ. Diese Resultate lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Zielgrößen weisen für alle Flächenszenarien am Hitzewellentag deutlich höhere Mittelwerte als am Sommertag auf. Diese wetterlagenabhängigen Unterschiede sind größer als die Unterschiede zwischen den einzelnen Flächenszenarien je Wetterlage. Das unterstreicht die Dominanz der atmosphärischen Hintergrundbedingungen in der planungsbezogenen Erzielung von lokalem thermischem Komfort bei großräumig vorgegebenem Hitzestress.
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den verschiedenen Flächenszenarien ist relativ gering. Zwischen den beiden extremen Szenarien B und C beträgt sie am Hitzewellentag tagsüber 1.0 °C und nachts 0.6 °C sowie am Sommertag tagsüber 0.7 °C und nachts 0.4 °C.

Tab. 64: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 768 am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	32.2	0.12	47.8	3.85	65.9	6.70	48.0	3.52
B (Asphalt)	32.5	0.08	48.8	1.01	68.0	1.08	47.1	1.23
C (Grün)	31.5	0.29	31.5	1.09	52.0	4.92	40.2	2.30
D (Planung mit Grün)	32.0	0.18	42.1	7.02	57.8	10.77	44.6	5.58
E (Planung ohne Grün)	32.3	0.15	47.9	3.54	66.3	6.31	48.5	3.43
B-C	1.0	0.31	17.3	1.25	16.0	4.93	6.9	2.29
E-D	0.3	0.13	5.8	6.96	8.5	10.12	3.9	5.07

Tab. 65: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 768 am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	20.7	0.09	40.0	4.07	57.6	6.47	36.0	3.82
B (Asphalt)	20.9	0.05	41.4	0.99	59.0	1.03	34.1	1.52
C (Grün)	20.2	0.19	24.5	1.27	44.6	5.24	28.3	2.45
D (Planung mit Grün)	20.6	0.12	34.4	7.23	50.3	10.58	33.2	5.64
E (Planung ohne Grün)	20.8	0.09	40.3	3.49	58.5	5.59	36.7	3.58
B-C	0.7	0.21	16.9	1.42	14.4	5.23	5.8	2.36
E-D	0.2	0.09	5.9	7.21	8.2	10.16	3.5	5.03

Tab. 66: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 768 am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	27.8	0.18	25.2	0.60	18.4	0.43	22.9	0.23
B (Asphalt)	27.8	0.20	25.7	0.29	18.4	0.15	22.7	0.18
C (Grün)	27.2	0.14	21.4	0.37	18.0	0.37	22.2	0.19
D (Planung mit Grün)	27.3	0.22	24.4	1.44	18.7	0.83	22.8	0.38
E (Planung ohne Grün)	27.9	0.23	25.2	0.46	18.2	0.20	22.9	0.23
B-C	0.6	0.16	4.3	0.62	0.4	0.44	0.5	0.21
E-D	0.6	0.20	0.8	1.50	-0.5	0.84	0.1	0.34

- Unter den Zielgrößen weist tagsüber T_{mrt} die höchsten Mittelwerte und Standardabweichungen je Szenario auf. Bezogen auf die verschiedenen Szenarien ist der T_{mrt} Flächenmittelwert beim Szenario B (Asphalt) immer am größten (Hitzewellentag: 68.0 °C; Sommertag: 59.0 °C), gefolgt von den T_{mrt} Flächenmittelwerten für das Szenario E (Planung ohne Grün).
- Erwartungsgemäß reagieren unter den Zielgrößen T_s und T_{mrt} am stärksten auf Veränderungen der Flächennutzung. So beträgt am Hitzewellentag tagsüber die Differenz zwischen den Szenarien B und C bei T_s 17.3 °C und bei T_{mrt} 16.0 °C. Am Sommertag, tagsüber, erreicht sie bei T_s 16.9 °C und bei T_{mrt} 14.4 °C.
- Die lokale Hitzereduzierung durch eine Grünflächennutzung spiegelt sich nicht nur bei den Differenzen der Zielgrößen zwischen den Flächenszenarien B und C wider, sondern zeigt sich - wenn auch in abgeschwächter Form - ebenfalls bei den Differenzen der Zielgrößen zwischen den Flächenszenarien E (Planung ohne Grün) und D (Planung mit Grün). Sie betragen tagsüber am Hitzewellentag bei T_s 5.8 °C, bei T_{mrt} 8.5 °C und bei PET 3.9 °C. Bei T_a beläuft sich diese Differenz nur auf 0.3 °C. Am Sommertag, tagsüber, betragen die Differenzen zwischen den Szenarien E und D 5.9 °C für T_s , 8.2 °C für T_{mrt} , 3.5 °C für PET und nur 0.2 °C für T_a .

Tab. 67: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 768 am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	16.4	0.07	18.1	0.39	8.9	1.02	11.6	0.94
B (Asphalt)	16.5	0.09	17.6	0.18	7.6	0.37	10.6	0.30
C (Grün)	16.1	0.07	15.3	0.25	9.4	0.51	11.3	0.34
D (Planung mit Grün)	16.3	0.10	17.9	1.18	10.3	1.37	12.2	0.96
E (Planung ohne Grün)	16.5	0.10	18.1	0.34	8.9	0.97	11.6	0.93
B-C	0.4	0.10	2.3	0.21	-1.8	0.55	-0.7	0.22
E-D	0.2	0.07	0.2	1.15	-1.4	1.28	-0.6	0.54

- Am Hitzewellentag überschreitet der PET Mittelwert tagsüber den Schwellenwert von 40 °C, am stärksten für das Szenario E (Planung ohne Grün) und am schwächsten für das Szenario C (Grün). Am Sommertag liegen die PET Mittelwerte tagsüber um ein bis zwei thermische Empfindungsstufen niedriger als am Hitzewellentag.
- Bei der vorgesehenen Planung (Szenario D, d. h. mit Grün) reduzieren sich gegenüber dem Flächenszenario A (derzeitiger Zustand) am Hitzewellentag tagsüber der T_a Mittelwert nur um 0.2 °C, jedoch der T_s Mittelwert um 5.7 °C, der T_{mrt} Mittelwert um 8.1 °C und der PET Mittelwert um 3.4 °C. Dieser Trend zeigt sich auch für den Sommertag tagsüber. Ausschlaggebend dafür sind die Reduzierung der Gebäudflächen von 54% im Szenario A auf 34% im Szenario D und die Erhöhung der Grasflächen von 0% im Szenario A auf 11% im Szenario D einschließlich des Zuwachses der maximalen Kronenquerschnittsflächen. Bei der vorgesehenen Planung, aber ohne Grün (Szenario E), erhöhen sich jedoch die Mittelwerte der Zielgrößen erwartungsgemäß gegenüber dem Szenario D (T_a : 0.3 °C, T_s : 5.8 °C, T_{mrt} : 8.5 °C, PET: 3.9 °C).
- Bezogen auf den thermophysiologicalen Bewertungsindex PET ergibt sich, dass die für die NBS-Fläche 768 vorgesehene Planung am Hitzewellentag zwar zu einer Reduzierung der über den kompletten Zeitraum von 10 bis 16 Uhr bestehenden „heißen“ Bedingungen für Menschen führt. Sie erreicht allerdings nicht das Ausmaß, das notwendig wäre, um in die nächst niedrigere thermophysiologicalische Belastungsstufe zu gelangen.

A4.3 RESÜMEE AUS PLANERISCHER SICHT

Für die Planung lassen sich aus den Simulationsergebnissen folgende generelle Schlussfolgerungen ziehen:

- Die Verbesserungen im thermischen Empfinden von Menschen (PET) beim Vergleich des derzeitigen Zustandes mit der Planung unterstreichen einerseits die Bedeutung einer ausreichenden Grünausstattung für das human-biometeorologische Komfortempfinden und verdeutlicht andererseits den absoluten Mangel an Grün beim heutigen Zustand der Fläche.
- Großkronige Bäume haben aufgrund ihrer Schattenwirkung einen positiven Effekt auf den thermischen Komfort von Menschen. Die größte Wirkung wird erzielt, wenn mehrere Bäume ein geschlossenes Kronendach ausbilden.

- Die Pflanzung von Bäumen vor den Nord- und Südfassaden der Gebäude bewirkt eine deutliche Reduzierung der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) als Indikator für das thermische Empfinden bzw. die thermische Belastung von Menschen.
- Es lässt sich ein positiver Effekt auf das thermische Empfinden von Menschen feststellen, wenn eine angemessene Grünausstattung eingeplant wird.

Weitere spezielle Schlussfolgerungen sind:

- Die Simulation hat ergeben, dass das thermische Empfinden von Menschen an einem Hitzewellentag durch die Berücksichtigung einer Bebauung mit angemessener Grünausstattung positiv beeinflusst wird - verglichen mit dem derzeitigen (bebauten) Nutzungszustand. Dies gilt ebenso für einen durchschnittlichen Sommertag.
- Die mangelhafte Grünausstattungssituation des Baugebietes (nach Nordwesten abfallender Hang) erweist sich bei allen untersuchten human-biometeorologischen Zielgrößen als negativ: es treten überall relativ hohe thermischen Belastungen auf.
- *Mittlere* Betrachtung des Hitzetags als Synonym für zukünftige klimatische Randbedingungen:

Eine reine konsequente Begrünung würde sich im Vergleich zum Istzustand sehr positiv auswirken, eine reine Asphaltfläche immer noch leicht positiv. Am schlechtesten schneidet eine Planung/Bebauung ohne Grün ab. Dies sind auch die möglichen Grenzen mit einer PET Differenz von über 8°C. Bebauungs-/Begrünungsvarianten liegen dazwischen.

Eine (realistische) Bebauung mit Grünanteil ist im Vergleich zum Istzustand thermisch deutlich positiv, eine Bebauung ohne Grünausstattung wirkt sich thermisch negativ aus.

Art und Maß der Begrünung bestimmen den Grad der positiven thermischen Auswirkungen.

In der Nachtbetrachtung ergeben sich erwartungsgemäß nur sehr geringe Unterschiede.

- *Mittlere* Betrachtung des Sommertags:

Insgesamt ergeben sich für die Tagbetrachtung geringere thermische Unterschiede.

Bebauung mit Begrünung führt zu einer deutlichen Verbesserung im Vergleich zum Istzustand. Bebauung ohne Grün ist auch hier leicht negativ. Die Nacht ist unkritisch.

Die vorangegangene Bewertung des Istzustands (teilbegrünt, keine Bebauung) kommt für diese Fläche zu einer mittleren human-biometeorologischen Wertigkeit bzw. zu einem hohen human-biometeorologischen Handlungsbedarf (siehe Kapitel 4.2.2). Durch ausreichende Begrünungsmaßnahmen im Zuge einer Bebauung besteht erhebliches Verbesserungspotential und damit die Möglichkeit, im Mittel einen Teil einer voraussichtlichen thermischen Verschlechterung (Hitzetag) wieder zurückzunehmen. Die Detailsimulationen PET (Hitzetag) zeigen einerseits die Notwendigkeit auf, durch Begrünung, insbesondere auch großkronige Bäume, kleinräumig Ausgleichs-/Erholungsbereiche zu schaffen. Andererseits zeigen sie das Potenzial auf, das sich durch unterschiedliche Begrünungsmaßnahmen ergibt. Empfehlung wäre hier also das Szenario D. Idealerweise wären auch Bebauungsvarianten über numerische Simulationen mit dem ENVI-met Modell hinsichtlich des Hitzetags zu prüfen, um eine weitere (notwendige) Optimierung zu ermöglichen. Dies erfordert eine enge konstruktive Zusammenarbeit zwischen Planung und Umweltsimulation.

Auf der Grundlage der hier erzielten Ergebnisse und unter Einbeziehung von Informationen zur Luftqualität (siehe auch Kapitel 4.2.5) wurde der Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 768 (Abb. 76) erstellt.



KlippS - Klimaplanungspass Stuttgart

EnBW – Hackstraße

NBS Nr. 768

Stadtbezirk:	Ost	Adresse:	Stöckachstraße
Grundstücksfläche:	ca. 4,21 ha	Verfügbarkeit:	mittelfristig
Eigentümer:	EnBW	Flächennutzung:	Gewerbe, kleinteilig

Thermischer Komfort (TK)

Bewertungsindikatoren:

Lage / Umgebung: Tallage / versiegelt; Bebauungsdichte Umgebung: dicht
 Urbane Wärmeinsel: mittel; Kaltluftproduktion Umgebung: sehr gering; Vulnerabilität: hoch

→ human-biometeorologische Wertigkeit: 0.422 (mittel) von max. 1.0

→ human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.722 (hoch) von max. 1.0

Luftqualität (LQ)

Bewertungsindikatoren:

Feinstaubkonzentration (PM₁₀ Jahresmittel): 22-25 µg/m³
 Stickstoffdioxidkonzentration (NO₂ Jahresmittel): 36-44 µg/m³

→ Luftbelastungsindex: 0.8 (hoch) (1.0 bedeutet Grenzwert erreicht!)

Vertiefende Untersuchungen:

TK: numerische Simulationen zum thermischen Komfort liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
weitere Optimierung und Vergleich von Planungsvarianten möglich

LQ: numerische Simulationen zur Lufthygiene liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
mikroskalige Simulation bei Bedarf möglich.

Fazit / Planungshinweise:

Starke Versiegelung und dichte Bebauung verursachen in Sommernächten, gemessen an der Vulnerabilität, eine hohe thermische Belastung. Sehr geringe Kaltluftproduktion in der Umgebung bzw. fehlender Kaltluftabfluss über die Fläche unterstützen dies und führen mit zu einer hohen, stark verkehrsbedingten Luftschadstoffbelastung. Die NO₂-Belastung ist im Verhältnis zu Feinstaub etwas ausgeprägter und entlang der Hackstraße im Bereich des Grenzwertes.

TK: Nur mäßig dicht bebauen, thermischer Ausgleich durch Schaffung von begrünten Freiflächen notwendig, Baumpflanzungen sowie Dach- und Fassadenbegrünung zur Reduzierung des Hitzeeintrags tagsüber empfohlen, keine Vorgaben zur Lage zukünftig überbaubarer Flächen.

LQ: Entlang der Hackstraße abriegelnde Bebauung, Aufenthaltsräume sind dort auf die straßenabgewandte Gebäudeseite zu legen, Hausbrandemissionen minimieren, Fernwärmeversorgung empfohlen.

Ansprechpartner Stadtklima:

Herr Kapp
(0711) 216 – 88 685
rainer.kapp@stuttgart.de

Ansprechpartner Stadtplanung:

Herr Schmid
(0711) 216 – 20 056
matthias.schmid@stuttgart.de

Klimaatlas u. human-biomet. Bewertung



Kaltluftverhalten Umgebung



Abb. 76: Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 768 in Stuttgart

A5 NBS-FLÄCHE 772 (MITTE, KAUFHOF PARKHAUS) UND NBS-FLÄCHE 865 (MITTE, RATHAUSGARAGE)

A5.1 GRUNDLAGEN UND FLÄCHENSZENARIEN

Die NBS-Flächen 772 (ca. 0.14 ha) und 865 (ca. 0.17 ha) befinden sich in Kessellage im Zentrum von Stuttgart, d. h. in zentralster City-Lage. Stellplatzanlagen können laut Verkehrsentwicklungskonzept (VEK) langfristig entfallen. Hier bieten sich Möglichkeiten der „Stadtreparatur“ an, um Fehlentwicklungen der Planungen der autogerechten Stadt zu korrigieren. Für das Kaufhof Parkhaus liegen Vorüberlegungen vor, während für die Rathausgarage das Bebauungsplanverfahren weitgehend abgeschlossen ist und ein Wettbewerb durchgeführt wurde. Die Überplanung beider Flächen kann als typische Aufgabenstellungen im City-Kern-Bereich gelten, in denen Umnutzungen und Erneuerungen auf sehr kleinen Flächen vorgenommen werden.

Für diese Flächen wurden über das human-biometeorologische Bewertungsverfahren folgende Indexwerte ermittelt:

- NBS-Fläche 772: human-biometeorologische Wertigkeit: 0.393 (Klasse „gering“), human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.861 (Klasse „hoch“)
- NBS-Fläche 865: human-biometeorologische Wertigkeit: 0.393 (Klasse „gering“), human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.861 (Klasse „hoch“).

Die human-biometeorologische Wertigkeit bei beiden NBS-Flächen liegt an der Grenze zur Klasse „mittel“.

Die Abb. 77 und Abb. 78 geben einen Überblick über den derzeitigen Zustand auf diesen NBS-Flächen. In der Abb. 79 sind die topographischen Bedingungen auf den NBS-Fläche 772 und 865 und in ihrer näheren Umgebung dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass auf der Fläche 772 die Höhenunterschiede mit maximal 4 m relativ gering sind, während die Fläche 865 fast keine Höhendifferenzierung zeigt. Unter Berücksichtigung der näheren Umgebung weist die gesamte Simulationsfläche Höhenunterschiede von maximal 11 m auf.



Abb. 77: Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 772 (rot umrandet) anhand eines Luftbilds



Abb. 78: Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 865 (violett umrandet) anhand eines Luftbilds

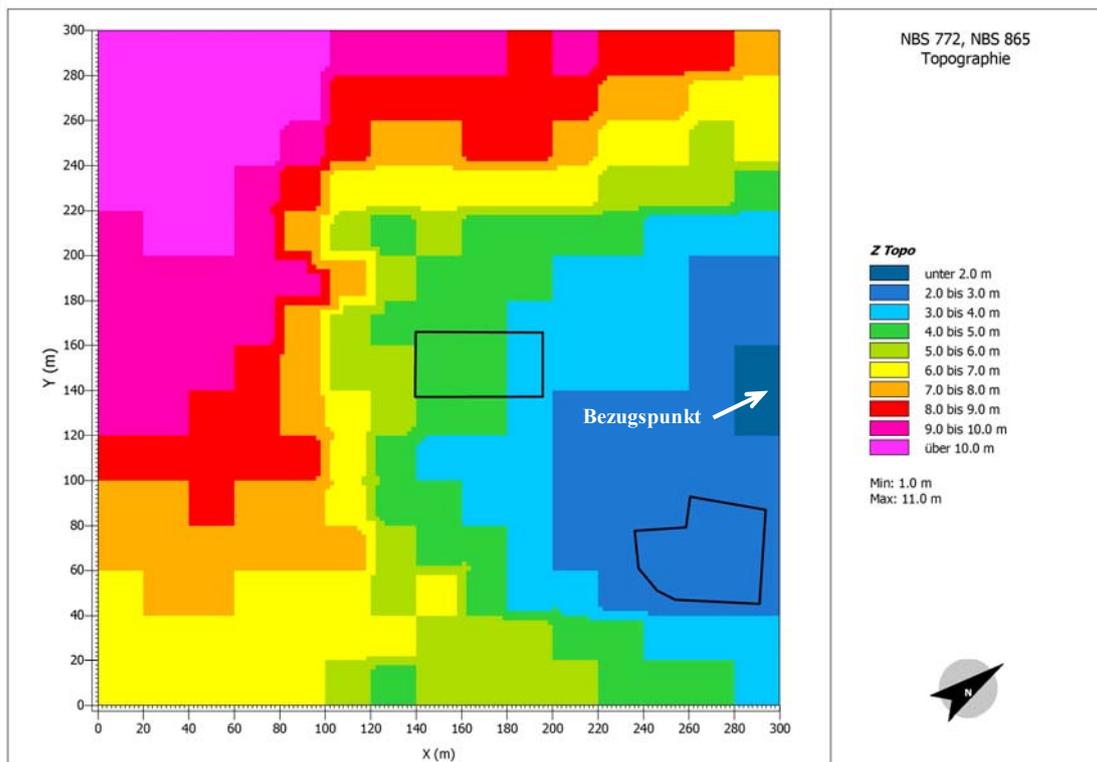


Abb. 79: Topographische Situation auf den schwarz umrandeten NBS-Flächen 772 (Mitte) und 865 (rechts), Bezugspunkt: Gitterzelle am rechten Rand in der Mitte in 244 m über NN

Für die ENVI-met Simulationen wurde der derzeitige Zustand auf den NBS-Flächen 768 und 865 sowie in ihrer Umgebung (Szenario A) in ein gitterzellenbezogenes „area input file“ umgewandelt, das in der Abb. 80 visualisiert ist.



Abb. 80: NBS-Flächen 772 (rot umrandet) und 865 (blau umrandet) in der derzeitigen Flächensituation (Szenario A) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 81: NBS-Flächen 772 (rot umrandet) und 865 (blau umrandet) als reine Asphaltflächen (Szenario B) für die ENVI-met Simulationen

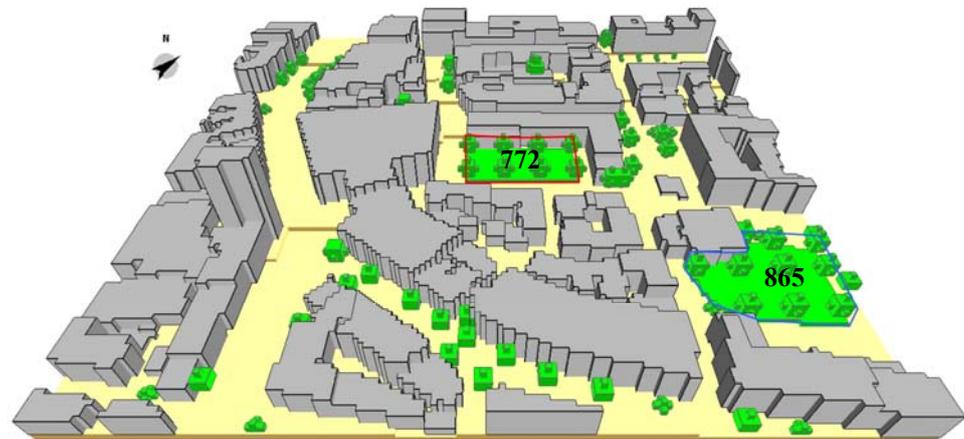


Abb. 82: NBS-Flächen 772 (rot umrandet) und 865 (blau umrandet) als reine Grünflächen (Szenario C) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 83: NBS-Flächen 772 (rot umrandet) und 865 (blau umrandet) in Planungsvarianten ohne Grün (Szenario E) für die ENVI-met Simulationen

Die Abb. 81 und Abb. 82 zeigen die Flächenszenarien Szenario B (beide NBS-Flächen als reine Asphaltflächen) und C (beide NBS-Fläche 768 als reine Grünflächen, bestehend aus Grasland und Laubbäumen). Die Abb. 83 enthält Planungsvarianten für beide NBS-Flächen (Szenario E), die durch das Fehlen von Grün charakterisiert sind. Um eine Übersicht über die Größenordnungen der Flächennutzungen in den einzelnen Szenarien zu erhalten, sind in der Tab. 68 die prozentualen Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten NBS-Fläche 772 zusammengestellt. Vergleichbare Informationen für die NBS-Fläche 865 sind in der Tab. 69 zusammengefasst.

Tab. 68: Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (0.14 ha) von NBS 772

Szenario	Gebäude	Asphalt	Gras	Stammquerschnittsflächen	maximale Kronenquerschnittsflächen
A (derzeitig)	100%	0%	0%	0%	0%
B (Asphalt)	0%	100%	0%	0%	0%
C (Grün)	0%	0%	98%	2%	62%
D (Planung mit Grün)	-	-%	-	-	-
E (Planung ohne Grün)	100%	0%	0%	0%	0%

Tab. 69: Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (0.17 ha) von NBS 865

Szenario	Gebäude	Asphalt	Gras	Stammquerschnittsflächen	maximale Kronenquerschnittsflächen
A (derzeitig)	100%	0%	0%	0%	0%
B (Asphalt)	0%	100%	0%	0%	0%
C (Grün)	0%	0%	98%	2%	60%
D (Planung mit Grün)	-	-%	-	-	-
E (Planung ohne Grün)	100%	0%	0%	0%	0%

A5.2 SIMULATIONSRESULTATE

Die gitterzellenbezogenen Simulationsergebnisse für PET in Form von als Mittelwerten über 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003 sind wie folgt angeordnet:

- in der Abb. 84 für das Szenario A,
- in der Abb. 85 als Differenz zwischen den Szenarien B und C,
- in der Abb. 86 für das Szenario E.

Die gitterzellenbezogenen PET Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Für das Szenario A (derzeitiger Flächenzustand) existieren keine PET Werte, weil beide NBS-Flächen komplett bebaut sind und somit keinen städtischen Freiraum aufweisen.
- Für das Szenario B (Asphalt) sind die PET Werte höher als für das Szenario C (Grün). Der Unterschied beträgt maximal ca. 10 °C.
- Für das Szenario E (Planung ohne Grün) lassen sich keine PET Werte ermitteln, weil beide NBS-Flächen komplett bebaut werden sollen, womit ebenfalls städtische Freiräume auf beiden Flächen fehlen.

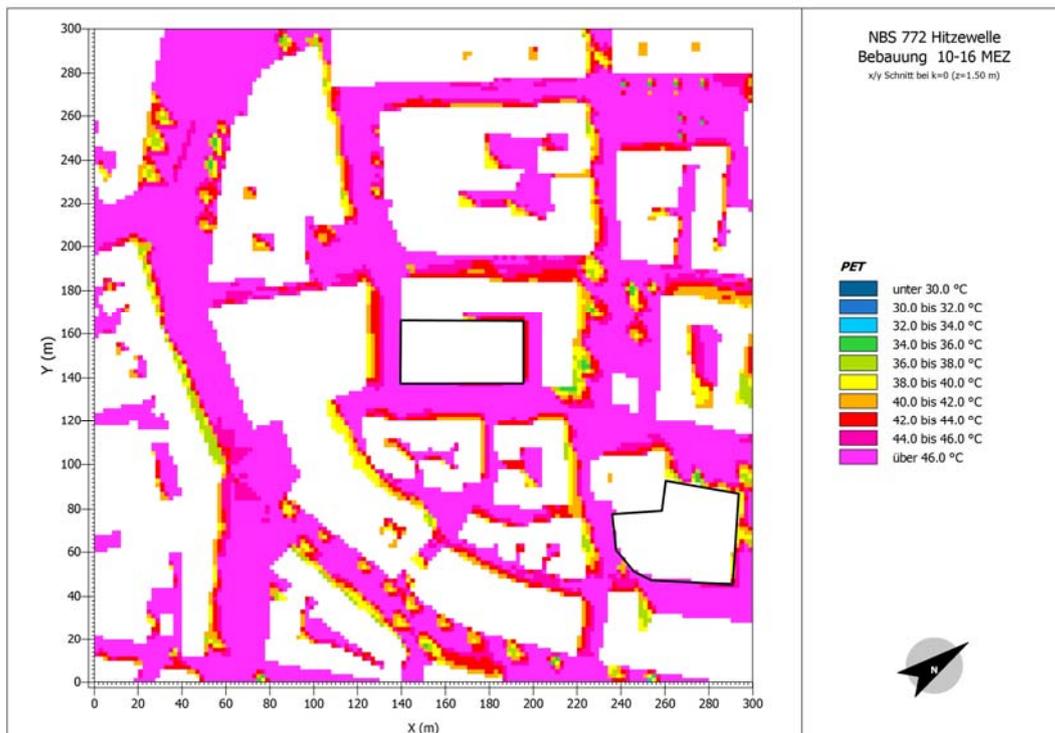


Abb. 84: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund im Bereich der schwarz umrandeten NBS-Flächen 772 (Mitte) und 865 (rechts), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003

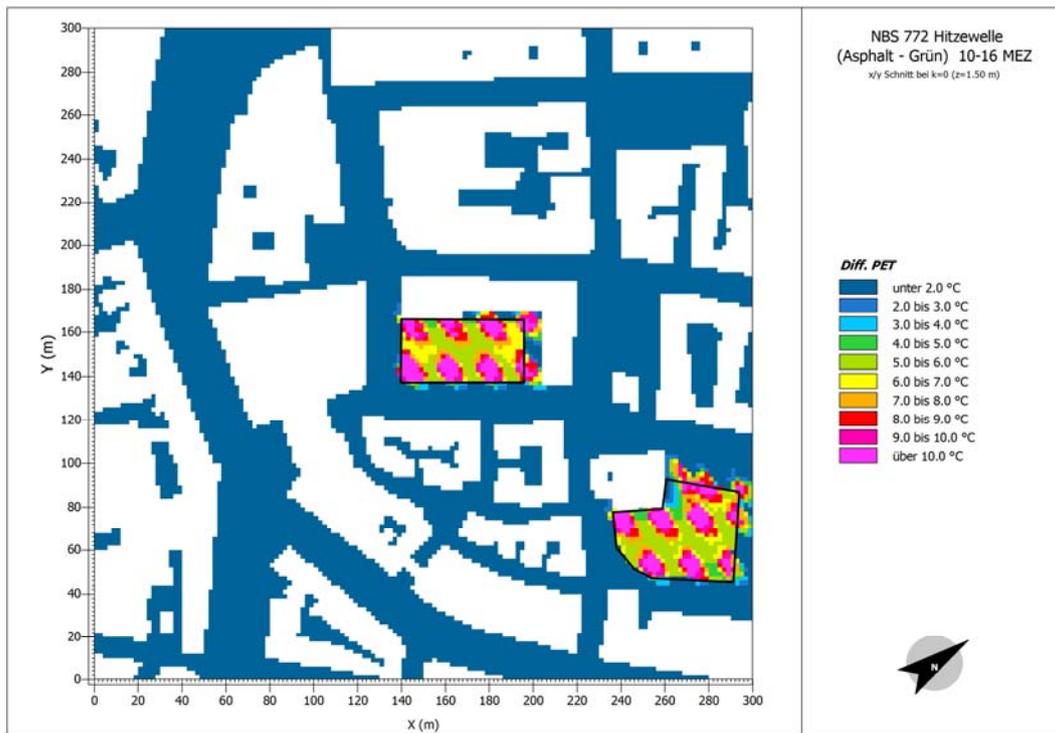


Abb. 85: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf den schwarz umrandeten NBS-Flächen 772 (Mitte) und 865 (rechts) am Hitzewellentag 4. August 2003

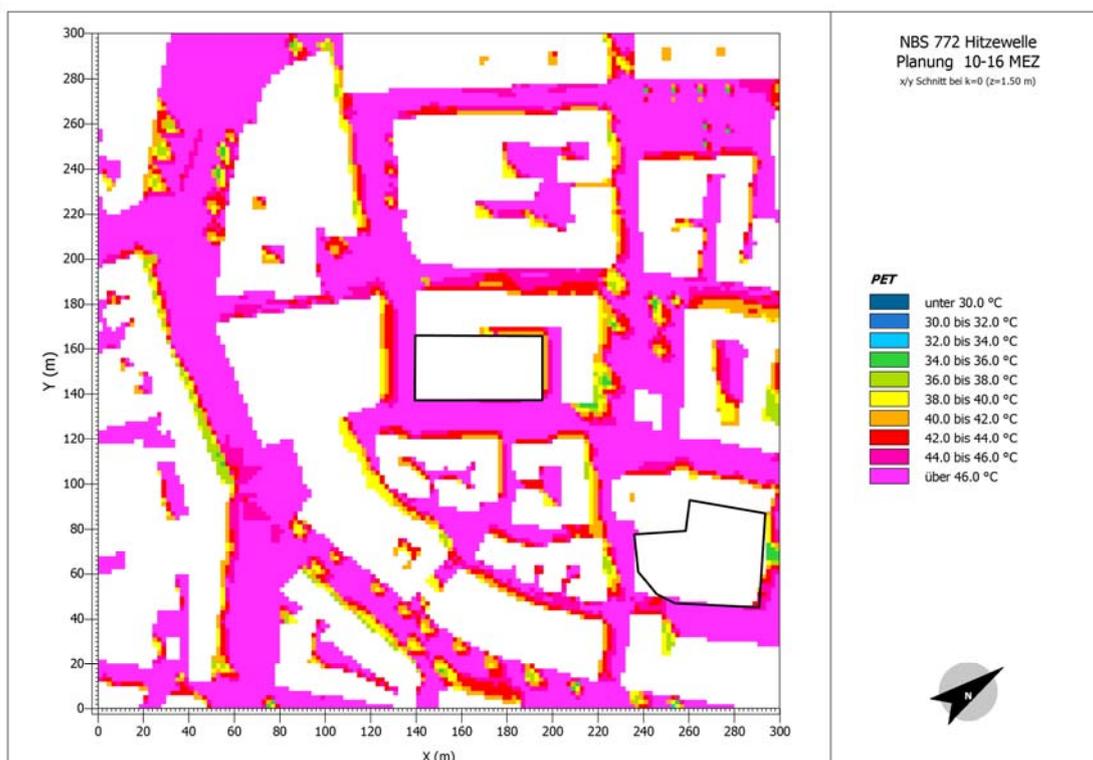


Abb. 86: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund im Bereich der schwarz umrandeten NBS-Flächen 772 (Mitte) und 865 (rechts), Szenario E (Planungsvariante ohne Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003

Für beide NBS-Flächen gibt es derzeit keine Planung mit Grün. Aufgrund der kompletten Überbauung beider NBS-Flächen in den Szenarien A (derzeitiger Flächenzustand) und E (Planung ohne Grün) durch Gebäude wurde für sie ein 10 m breiter Bereich um die jeweilige NBS-Fläche gelegt, für den Mittelwerte in 1.5 m Höhe über Grund im Zeitabschnitt 10-16 Uhr MEZ bestimmt werden konnten.

Die gitterzellenbezogenen Simulationsergebnisse für die NBS-Fläche 772, gemittelt über 10-16 Uhr MEZ, sind als Flächenmittelwerte für die Zielgrößen T_a , T_s , T_{mrt} und PET einschließlich ihrer Standardabweichungen in der Tab. 70 für den Hitzewellentag 4. August 2003 und in der Tab. 71 für den Sommertag 23. Juni 2011 zusammengefasst. Ergänzend enthalten die Tab. 72 und Tab. 73 die analogen Mittelwerte und Standardabweichungen für den Nachtzeitraum von 22 bis 5 Uhr MEZ.

Die Ergebnisse für die NBS-Fläche 772 in Tab. 70 bis Tab. 73 können wie folgt zusammengefasst werden:

- Alle Zielgrößen weisen für alle Flächenszenarien am Hitzewellentag deutlich höhere Mittelwerte als am Sommertag auf. Die Bedeutung der atmosphärischen Hintergrundbedingungen in der planungsrelevanten Erzielung von lokalem thermischen Komfort bei großräumig vorgegebener Hitze zeigt sich darin, dass je Zielgröße die wetterlagenabhängigen Unterschiede fast größer als die Unterschiede zwischen den einzelnen Flächenszenarien je Wetterlage sind.
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den verschiedenen Flächenszenarien ist relativ klein. Zwischen den beiden extremen Szenarien B und C beträgt sie am Hitzewellentag sowohl tagsüber als auch nachts 0.5 °C. Am Sommertag beläuft sie sich tagsüber auf 0.3 °C und nachts auf 0.2 °C.
- Unter den Zielgrößen weist tagsüber T_{mrt} die höchsten Mittelwerte und Standardabweichungen je Szenario auf. Bezogen auf die verschiedenen Szenarien ist der T_{mrt} Flächenmittelwert beim Szenario B (Asphalt) immer am größten (Hitzewellentag: 69.8 °C; Sommertag: 61.3 °C).
- Wie bei den bisherigen NBS-Flächen reagieren unter den Zielgrößen T_s und T_{mrt} am stärksten auf Veränderungen der Flächennutzung. Am Hitzewellentag beträgt tagsüber die Differenz zwischen den Szenarien B und C bei T_s 17.9 °C und bei T_{mrt} 16.9 °C. Am Sommertag erreicht sie tagsüber bei T_s 17.8 °C und bei T_{mrt} 16.3 °C.

Tab. 70: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 772 am Hitzewellentag 4. August 2003 (kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche)

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	<i>32.0</i>	<i>0.13</i>	<i>46.4</i>	<i>4.17</i>	<i>62.5</i>	<i>8.37</i>	<i>46.6</i>	<i>4.38</i>
B (Asphalt)	32.1	0.01	50.3	0.70	69.8	1.53	49.7	1.31
C (Grün)	31.6	0.09	32.4	0.87	52.9	5.19	41.6	2.60
D (Planung mit Grün)	-	-	-	-	-	-	-	-
E (Planung ohne Grün)	<i>31.9</i>	<i>0.13</i>	<i>46.0</i>	<i>4.19</i>	<i>61.7</i>	<i>8.29</i>	<i>46.2</i>	<i>4.24</i>
B-C	0.5	0.08	17.9	0.84	16.9	4.98	8.1	2.50

Tab. 71: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 772 am Sommertag 23. Juni 2011 (kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche)

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	<i>20.5</i>	<i>0.09</i>	<i>38.6</i>	<i>4.36</i>	<i>54.7</i>	<i>8.30</i>	<i>35.1</i>	<i>4.49</i>
B (Asphalt)	20.6	0.01	42.7	1.11	61.3	1.57	37.7	1.42
C (Grün)	20.3	0.05	24.9	1.44	45.0	6.03	30.2	3.03
D (Planung mit Grün)	-	-	-	-	-	-	-	-
E (Planung ohne Grün)	<i>20.5</i>	<i>0.09</i>	<i>38.5</i>	<i>4.44</i>	<i>54.6</i>	<i>8.32</i>	<i>35.0</i>	<i>4.45</i>
B-C	0.3	0.04	17.8	1.62	16.3	5.89	7.5	2.95

Tab. 72: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 772 am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	-	-	-	-	-	-	-	-
B (Asphalt)	28.2	0.08	25.1	0.22	18.1	0.09	23.1	0.05
C (Grün)	27.7	0.05	21.8	0.22	17.8	0.19	22.6	0.11
D (Planung mit Grün)	-	-	-	-	-	-	-	-
E (Planung ohne Grün)	-	-	-	-	-	-	-	-
B-C	0.5	0.11	3.3	0.41	0.3	0.22	0.5	0.13

Tab. 73: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 772 am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	-	-	-	-	-	-	-	-
B (Asphalt)	16.6	0.03	18.1	0.14	8.6	0.43	11.5	0.30
C (Grün)	16.4	0.03	15.8	0.23	9.6	0.44	12.0	0.35
D (Planung mit Grün)	-	-	-	-	-	-	-	-
E (Planung ohne Grün)	-	-	-	-	-	-	-	-
B-C	0.2	0.05	2.3	0.13	-1.0	0.29	-0.5	0.12

- Die PET Mittelwerte liegen am Hitzewellentag tagsüber für alle Szenarien, auch für das Planungsszenario, über 40 °C, was unter Bezug auf die thermische Bereichseinteilung in der Tab. 1 „heiße“ thermische Bedingungen für Menschen im städtischen Freiraum bedeutet. Am Sommertag liegen tagsüber für alle Szenarien „warme“ Bedingungen vor. An beiden Tagen deuten die PET Flächenmittelwerte für den Nachtzeitraum keinen mittleren thermischen Stress im städtischen Freiraum an.

Die gitterzellenbezogenen Simulationsergebnisse für die NBS-Fläche 865, gemittelt über 10-16 Uhr MEZ, sind als Flächenmittelwerte für die Zielgrößen T_a , T_s , T_{mrt} und PET einschließlich ihrer Standardabweichungen in der Tab. 74 für den Hitzewellentag 4. August 2003 und in der Tab. 75 für den Sommertag 23. Juni 2011 zusammengefasst. Ergänzend enthalten die Tab. 76 und Tab. 77 die analogen Mittelwerte und Standardabweichungen für den Nachtzeitraum von 22 bis 5 Uhr MEZ.

Die Ergebnisse für die NBS-Fläche 865 in Tab. 74 bis Tab. 77 können wie folgt zusammengefasst werden:

- Wie für die NBS-Fläche 772 weisen am Hitzewellentag alle Zielgrößen bei allen Flächenszenarien deutlich höhere Mittelwerte als am Sommertag auf. Die Bedeutung der atmosphärischen Hintergrundbedingungen in der planungsrelevanten Erzielung von lokalem thermischen Komfort bei großräumig vorgegebener Hitze zeigt sich darin, dass erneut je Zielgröße die wetterlagenabhängigen Unterschiede fast durchwegs größer als die Unterschiede zwischen den einzelnen Flächenszenarien je Wetterlage sind.
- Die Differenz der T_a Mittelwerte zwischen den verschiedenen Flächenszenarien ist relativ klein. Zwischen den beiden extremen Szenarien B und C beträgt sie am Hitzewellentag tagsüber 0.4 °C und nachts 0.5 °C. Am Sommertag beläuft sie sich sowohl tagsüber als auch nachts auf 0.3 °C.
- Unter den Zielgrößen weist tagsüber T_{mrt} die höchsten Mittelwerte und Standardabweichungen je Szenario auf. Bezogen auf die verschiedenen Szenarien ist der T_{mrt} Flächenmittelwert beim Szenario B (Asphalt) immer am größten (Hitzewellentag: 67.8 °C; Sommertag: 59.1 °C).
- Wie bei den bisherigen NBS-Flächen reagieren unter den Zielgrößen T_s und T_{mrt} am stärksten auf Veränderungen der Flächennutzung. Am Hitzewellentag beträgt tagsüber die Differenz zwischen den Szenarien B und C 17.4 °C für T_s und 16.9 °C für T_{mrt} . Am Sommertag erreicht sie tagsüber T_s 17.3 °C für T_s und 16.0 °C für T_{mrt} . Die Unterschiede zur NBS-Fläche 772 sind marginal.

Tab. 74: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 865 am Hitzewellentag 4. August 2003 (kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche)

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	<i>31.8</i>	<i>0.08</i>	<i>46.7</i>	<i>3.92</i>	<i>63.3</i>	<i>8.02</i>	<i>48.5</i>	<i>2.56-</i>
B (Asphalt)	31.8	0.01	49.0	1.68	67.8	3.92	47.6	1.68
C (Grün)	31.4	0.08	31.6	1.02	50.9	5.18	40.1	2.38
D (Planung mit Grün)	-	-	-	-	-	-	-	-
E (Planung ohne Grün)	<i>31.7</i>	<i>0.08</i>	<i>46.2</i>	<i>4.22</i>	<i>62.2</i>	<i>8.44</i>	<i>46.7</i>	<i>4.20</i>
B-C	0.4	0.09	17.4	1.90	16.9	5.53	7.5	2.63

Tab. 75: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 865 am Sommertag 23. Juni 2011 (kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche)

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	<i>20.3</i>	<i>0.07</i>	<i>38.9</i>	<i>4.06</i>	<i>55.5</i>	<i>7.60</i>	<i>35.5</i>	<i>4.02</i>
B (Asphalt)	20.4	0.01	41.6	1.96	59.1	3.81	35.3	1.64
C (Grün)	20.1	0.04	24.3	1.42	43.1	5.93	28.5	2.78
D (Planung mit Grün)	-	-	-	-	-	-	-	-
E (Planung ohne Grün)	<i>20.3</i>	<i>0.07</i>	<i>38.4</i>	<i>4.33</i>	<i>54.8</i>	<i>8.07</i>	<i>35.5</i>	<i>3.95</i>
B-C	0.3	0.05	17.3	2.09	16.0	6.26	6.8	3.00

Tab. 76: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 865 am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	-	-	-	-	-	-	-	-
B (Asphalt)	28.6	0.04	25.3	0.41	18.3	0.20	23.4	0.04
C (Grün)	28.1	0.07	21.6	0.36	18.0	0.28	22.9	0.14
D (Planung mit Grün)	-	-	-	-	-	-	-	-
E (Planung ohne Grün)	-	-	-	-	-	-	-	-
B-C	0.5	0.10	3.7	0.75	0.3	0.38	0.5	0.17

Tab. 77: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 865 am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	-	-	-	-	-	-	-	-
B (Asphalt)	16.8	0.02	18.0	0.18	8.2	0.51	11.3	0.40
C (Grün)	16.5	0.04	15.7	0.34	9.8	0.46	12.0	0.47
D (Planung mit Grün)	-	-	-	-	-	-	-	-
E (Planung ohne Grün)	-	-	-	-	-	-	-	-
B-C	0.3	0.05	2.3	0.25	-1.6	0.41	-0.7	0.16

- Wie bei der NBS-Fläche 772 liegen die PET Mittelwerte am Hitzwellentag tagsüber für alle Szenarien, auch für das Planungsszenario, über 40 °C, was unter Bezug auf die thermische Bereichseinteilung in der Tab. 1 „heiße“ thermische Bedingungen für Menschen im städtischen Freiraum bedeutet. Am Sommertag liegen tagsüber für die Szenarien A, B und E „warme“ Bedingungen vor. An beiden Tagen deuten die PET Flächenmittelwerte für den Nachtzeitraum keinen mittleren thermischen Stress im städtischen Freiraum an.

A5.3 RESÜMEE AUS PLANERISCHER SICHT

Aus den Simulationsergebnissen lassen sich folgende generelle Schlussfolgerungen ziehen, die für beide Flächen Gültigkeit haben:

- Die Verbesserungen des thermischen Empfindens von Menschen (PET) beim Vergleich zwischen dem derzeitigen Zustand sowie der Planung einerseits und einer Grünfläche andererseits unterstreichen die Bedeutung einer ausreichenden Grünausstattung für das thermische Komfortempfinden. Zugleich wird dadurch der absolute Mangel an Grün beim heutigen Zustand der Fläche in der gesamten Umgebung verdeutlicht.
- Die Simulation hat ergeben, dass das thermische Empfinden von Menschen an einem Hitzwellentag durch die Berücksichtigung einer potenziellen Neubebauung im unmittelbaren Gebäudeumfeld leicht positiv beeinflusst wird - verglichen mit dem derzeitigen (bebauten) Nutzungszustand. Dies gilt grundsätzlich auch für einen durchschnittlichen Sommertag.
- Die mangelhafte Grünausstattungssituation des Plangebietes und seiner Umgebung erweist sich bei allen untersuchten human-biometeorologischen Zielgrößen als negativ: es treten überall relativ hohe thermischen Belastungen auf.
- *Mittlere Betrachtung des Hitzetags als Synonym für zukünftige klimatische Randbedingungen:* Eine reine konsequente Begrünung der Baufläche würde sich im Vergleich zum Istzustand auf die Fläche selbst und die unmittelbare Umgebung sehr positiv auswirken. Die Neuplanung bietet minimale Vorteile in der unmittelbaren Umgebung (Nordostseite).
- *Mittlere Betrachtung des Sommertags:* Insgesamt ergeben sich für die Tagbetrachtung geringste thermische Unterschiede. Die Nacht ist unkritisch.

Die vorangegangene Bewertung des Istzustands (bebaut) kommt für diese Flächen zu einer geringen human-biometeorologischen Wertigkeit bzw. zu einem hohen human-biometeorologischen Handlungsbedarf (siehe Kapitel 4.2.2). Durch ausreichende Begrünungsmaßnahmen im Zuge einer Bebauung bestehen erhebliches Verbesserungspotential und damit die Möglichkeit, im Mittel einen Teil einer voraussichtlichen thermischen Verschlechterung (Hitzetag) wieder zurückzunehmen. Durch komplette Bebauung wird dieses Potential verschenkt. Umso bedeutsamer sind hier Gebäudebegrünungsmaßnahmen bzw. begrünte Innenhöfe etc.. Damit können wenigstens lokal und kleinräumig Verbesserungen z. B. der Aufenthaltsqualität erzielt werden. Dies erfordert eine enge konstruktive Zusammenarbeit zwischen (Gebäude-)Planung und Umweltsimulation.

Auf der Grundlage der hier erzielten Ergebnisse und unter Einbeziehung von Informationen zur Luftqualität (siehe auch Kapitel 4.2.5) wurden die Klimaplanungspässe für die NBS-Flächen 772 (Abb. 87) und 865 (Abb. 88) erstellt.



KlippS - Klimaplanungspass Stuttgart

Kaufhof - Parkhaus

NBS Nr. 772

Stadtbezirk:	Mitte	Adresse:	Steinstraße
Grundstücksfläche:	ca. 0,35 ha	Verfügbarkeit:	mittelfristig
Eigentümer:	Privat	Flächennutzung:	Parkhaus

Thermischer Komfort (TK)

Bewertungsindikatoren:

Lage / Umgebung: Kessellage / versiegelt; Bebauungsdichte Umgebung: dicht
 Urbane Wärmeinsel: stark; Kaltluftproduktion Umgebung: sehr gering; Vulnerabilität: hoch
 → human-biometeorologische Wertigkeit: 0.393 (gering) von max. 1.0
 → human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.861 (hoch) von max. 1.0

Luftqualität (LQ)

Bewertungsindikatoren:

Feinstaubkonzentration (PM₁₀ Jahresmittel): 22-25 µg/m³
 Stickstoffdioxidkonzentration (NO₂ Jahresmittel): 36-40 µg/m³
 → Luftbelastungsindex: 0.77 (hoch) (1.0 bedeutet Grenzwert erreicht!)

Vertiefende Untersuchungen:

TK: numerische Simulationen zum thermischen Komfort liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
 weitere Optimierung und Vergleich von Planungsvarianten möglich
 LQ: numerische Simulationen zur Lufthygiene liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
 mikroskalige Simulation bei Bedarf möglich.

Fazit / Planungshinweise:

Starke Versiegelung und dichte Bebauung verursachen sehr hohe thermische Belastungen auf der Fläche und im umgebenden Gebiet. Eine fehlende bzw. unterbundene nächtliche Frisch- bzw. Kaltluftversorgung unterstützt dies. Die Luftqualität bewegt sich verkehrsbedingt ebenfalls auf hohem Niveau, wobei die NO₂-Belastung im Bereich des Grenzwertes liegt.
 TK: Es ist bereits *kleinräumig* thermischer Ausgleich zu schaffen. Da auf der sehr kleinen Fläche selbst und in der Umgebung kaum Möglichkeiten bestehen, sind hier Gebäudebegrünungsmaßnahmen bzw. begrünte Innenhöfe etc. dringend erforderlich. Damit können wenigstens lokal und kleinräumig Verbesserungen z.B. der Aufenthaltsqualität erzielt werden. Dies erfordert u. U. weitere Simulationen in enger, konstruktiver Zusammenarbeit zwischen (Gebäude-)Planung und Umweltsimulation.
 LQ: Spezielle bauliche Immissionsschutzmaßnahmen sind hier nicht möglich, jedoch sind Hausbrandemissionen zu minimieren, beispielsweise durch Fernwärmeversorgung

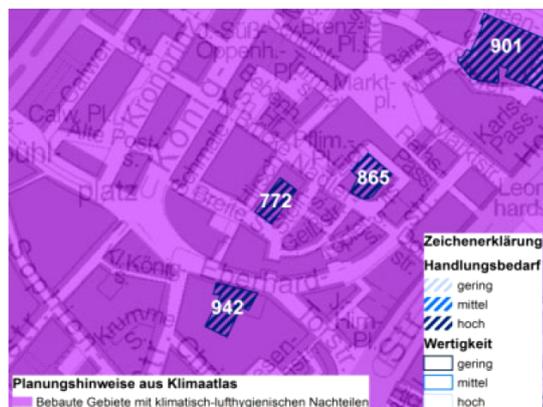
Ansprechpartner Stadtklima:

Herr Kapp
 (0711) 216 – 88 685
 rainer.kapp@stuttgart.de

Ansprechpartner Stadtplanung:

Frau Steinerstauch
 (0711) 216 – 20 055
 britta.steinerstauch@stuttgart.de

Klimaatlas u. human-biomet. Bewertung



Kaltluftverhalten Umgebung

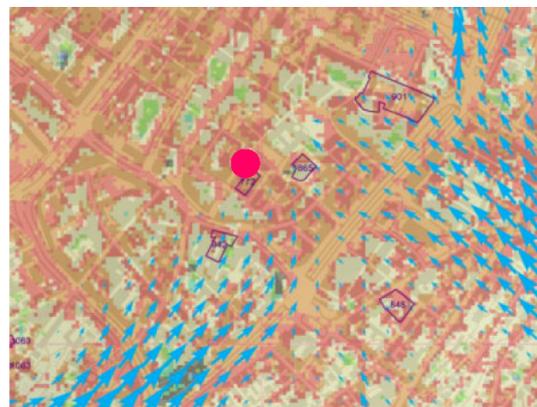


Abb. 87: Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 772 in Stuttgart



KlippS - Klimaplanungspass Stuttgart

Rathausgarage

NBS Nr. 865

Stadtbezirk:	Mitte	Adresse:	Nadlerstraße
Grundstücksfläche:	ca. 0,17 ha	Verfügbarkeit:	kurzfristig
Eigentümer:	LH Stuttgart	Flächennutzung:	Parkhaus

Thermischer Komfort (TK)

Bewertungsindikatoren:

Lage / Umgebung:	Kessellage / versiegelt;	Bebauungsdichte Umgebung:	dicht	Vulnerabilität:	hoch
Urbane Wärmeinsel:	stark	Kaltluftproduktion Umgebung:	sehr gering		
→ human-biometeorologische Wertigkeit: 0.393 (gering) von max. 1.0					
→ human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.861 (hoch) von max. 1.0					

Luftqualität (LQ)

Bewertungsindikatoren:

Feinstaubkonzentration (PM ₁₀ Jahresmittel):	22-25 µg/m ³
Stickstoffdioxidkonzentration (NO ₂ Jahresmittel):	36-40 µg/m ³
→ Luftbelastungsindex: 0.77 (hoch) (1.0 bedeutet Grenzwert erreicht!)	

Vertiefende Untersuchungen:

TK: numerische Simulationen zum thermischen Komfort liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
weitere Optimierung und Vergleich von Planungsvarianten möglich

LQ: numerische Simulationen zur Lufthygiene liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
mikroskalige Simulation bei Bedarf möglich.

Fazit / Planungshinweise:

Starke Versiegelung und dichte Bebauung verursachen sehr hohe thermische Belastungen auf der Fläche und im umgebenden Gebiet. Eine fehlende bzw. unterbundene nächtliche Frisch- bzw. Kaltluftversorgung unterstützt dies. Die Luftqualität bewegt sich verkehrsbedingt ebenfalls auf hohem Niveau, wobei die NO₂-Belastung im Bereich des Grenzwertes liegt.

TK: Es ist bereits *kleinräumig* thermischer Ausgleich zu schaffen. Da auf der sehr kleinen Fläche selbst und in der Umgebung kaum Möglichkeiten bestehen, sind hier Gebäudebegrünungsmaßnahmen bzw. begrünte Innenhöfe etc. dringend erforderlich. Damit können wenigstens lokal und kleinräumig Verbesserungen z.B. der Aufenthaltsqualität erzielt werden. Dies erfordert u. U. weitere Simulationen in enger, konstruktiver Zusammenarbeit zwischen (Gebäude-)Planung und Umweltsimulation..

LQ: Spezielle bauliche Immissionsschutzmaßnahmen sind hier nicht möglich, jedoch sind Hausbrandemissionen zu minimieren, beispielsweise durch Fernwärmeversorgung

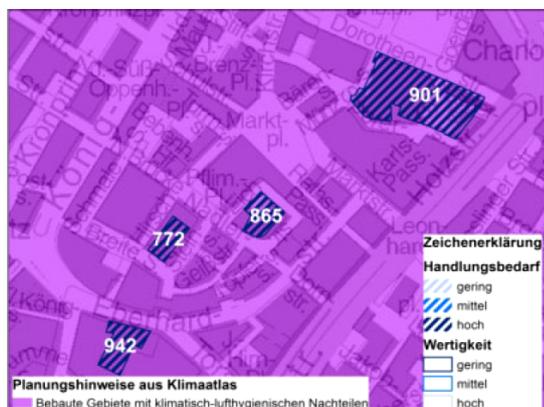
Ansprechpartner Stadtklima:

Herr Kapp
(0711) 216 – 88 685
rainer.kapp@stuttgart.de

Ansprechpartner Stadtplanung:

Herr Schulze Dieckhoff
(0711) 216 – 20 053
robert.schulze.dieckhoff@stuttgart.de

Klimaatlas u. human-biomet. Bewertung



Kaltluftverhalten Umgebung

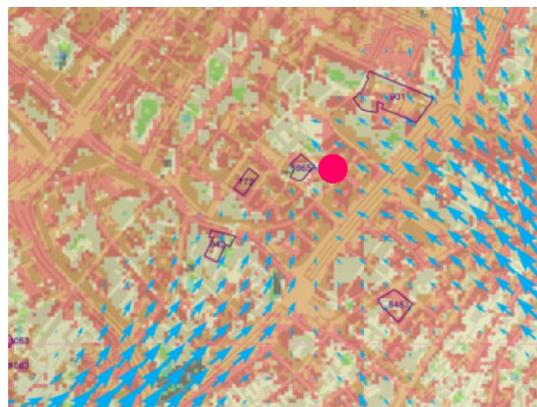


Abb. 88: Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 865 in Stuttgart

A6.1 GRUNDLAGEN UND FLÄCHENSZENARIEN

Die NBS-Fläche 1061 (ca. 1.44 ha) befindet sich in Kessellage im westlichen Zentrum von Stuttgart. Diese Fläche wird durch einen zentral am Feuersee gelegenen Baublock repräsentiert. Der Eigentümer prüft Standortalternativen für die bisherige Büronutzung. Bei einer Neuordnung des Areals böte sich die Chance, im Sinne der historischen Baustaffel 2 eine gemischte Nutzung mit bis zu 100 Wohneinheiten zu realisieren. Aufgrund der für die Innenstadtbezirke typischen Planungsaufgabe wurde die Fläche für ENVI-met Simulationen ausgewählt. Die Simulationsergebnisse sollen auch in den in Aufstellung befindlichen „Rahmenplan Talgrund“ einfließen.

Für diese Fläche wurden über das human-biometeorologische Bewertungsverfahren folgende Indexwerte ermittelt:

- human-biometeorologische Wertigkeit: 0.485 (Klasse „mittel“),
- human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.833 (Klasse „hoch“).

Die Abb. 89 gibt einen Überblick über den derzeitigen Zustand auf dieser NBS-Fläche. In der Abb. 90 sind die topographischen Bedingungen auf der NBS-Fläche 1061 und in ihrer näheren Umgebung dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass auf dieser Fläche die Höhenunterschiede mit maximal 5 m relativ gering sind. Unter Berücksichtigung der näheren Umgebung weist das Gelände Höhenunterschiede von maximal 9 m auf.



Abb. 89: Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 1061 (rot umrandet) anhand eines Luftbilds

Für die ENVI-met Simulationen wurde der derzeitige Zustand auf der NBS-Fläche 1061 und in ihrer Umgebung (Szenario A) in ein gitterzellenbezogenes „area input file“ umgewandelt, das in der Abb. 91 visualisiert ist. Die Abb. 92 und Abb. 93 zeigen die Flächenszenarien Szenario B (NBS-Fläche 1061 als reine Asphaltfläche) und C (NBS-Fläche 1061 als reine Grünfläche, bestehend aus Grasland und Laubbäumen). Die Abb. 94 und Abb. 95 enthalten die Planungsvarianten D und E.

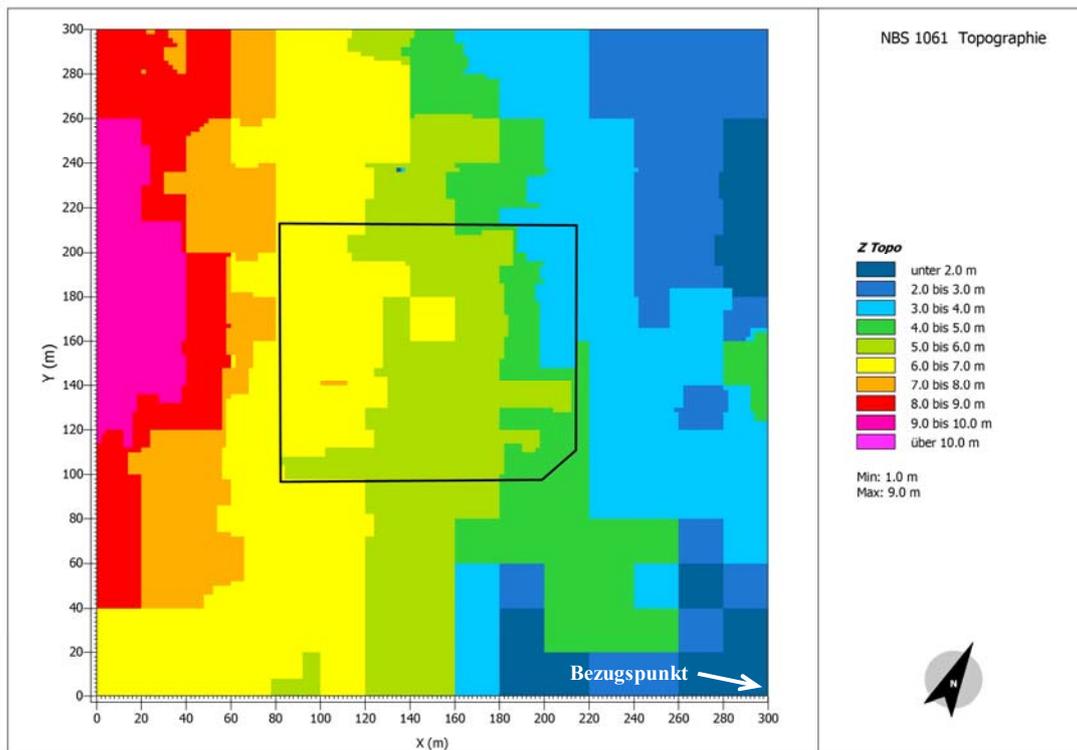


Abb. 90: Topographische Situation auf der NBS-Fläche 1061 (schwarz umrandet), Bezugspunkt: Gitterzelle rechts unten in 271 m über NN



Abb. 91: NBS-Fläche 1061 (rot umrandet) in der derzeitigen Flächensituation (Szenario A) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 92: NBS-Fläche 1061 (rot umrandet) als reine Asphaltfläche (Szenario B) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 93 NBS-Fläche 1061 (rot umrandet) als reine Grünfläche (Szenario C) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 94: NBS-Fläche 1061 (rot umrandet) in einer Planungsvariante mit Grün (Szenario D) für die ENVI-met Simulationen



Abb. 95: NBS-Fläche 1061 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber ohne Grün (Szenario E) für die ENVI-met Simulationen

Die Höhe des Blockrands in den Planungsvarianten D und E beträgt 15 m. Die innen liegenden Punkthäuser weisen in den Planungsvarianten D und E eine Höhe von jeweils 12 m auf. Die Bäume in der Planungsvariante D haben eine Höhe von 15 m und einen maximalen Kronendurchmesser von 10 m.

Um eine Übersicht über die Größenordnungen der Flächennutzungen in den einzelnen Szenarien zu erhalten, sind in der Tab. 78 die prozentualen Anteile der Flächen von Gebäuden, Asphalt, Gras und Lehm sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten NBS-Fläche 1061 zusammengestellt.

Tab. 78: Anteile der Flächen von Gebäuden, Asphalt, Gras und Lehm sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (1.44 ha) von NBS 1061

Szenario	Gebäude	Asphalt	Gras	Lehmboden	Stammquerschnittsflächen	maximale Kronenquerschnittsflächen
A (derzeitig)	57%	28%	14%	-	1%	6%
B (Asphalt)	0%	100%	0%	-	0%	0%
C (Grün)	0%	0%	99%	-	1%	29%
D (Planung mit Grün)	27%	5%	34%	34%	0%	6%
E (Planung ohne Grün)	27%	73%	0%	0%	0%	0%

A6.1 SIMULATIONSRESULTATE

Die gitterzellenbezogenen Simulationsergebnisse für PET in Form von Mittelwerten über 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003 sind wie folgt angeordnet:

- in der Abb. 96 für das Szenario A,

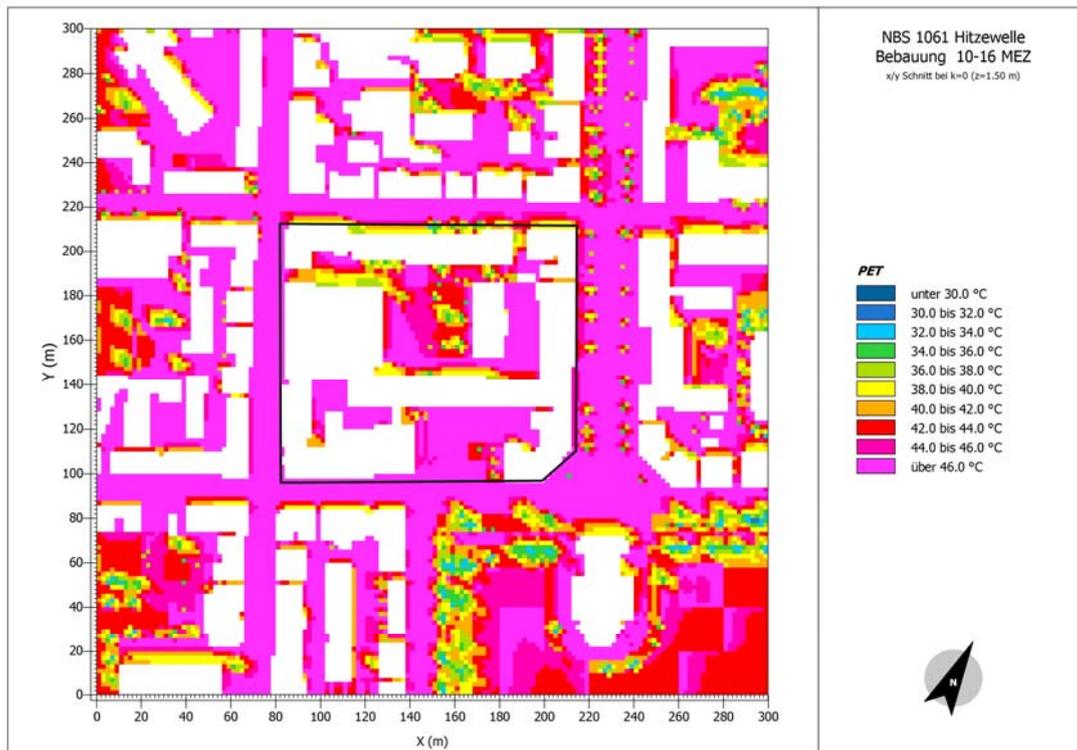


Abb. 96: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 1061 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003

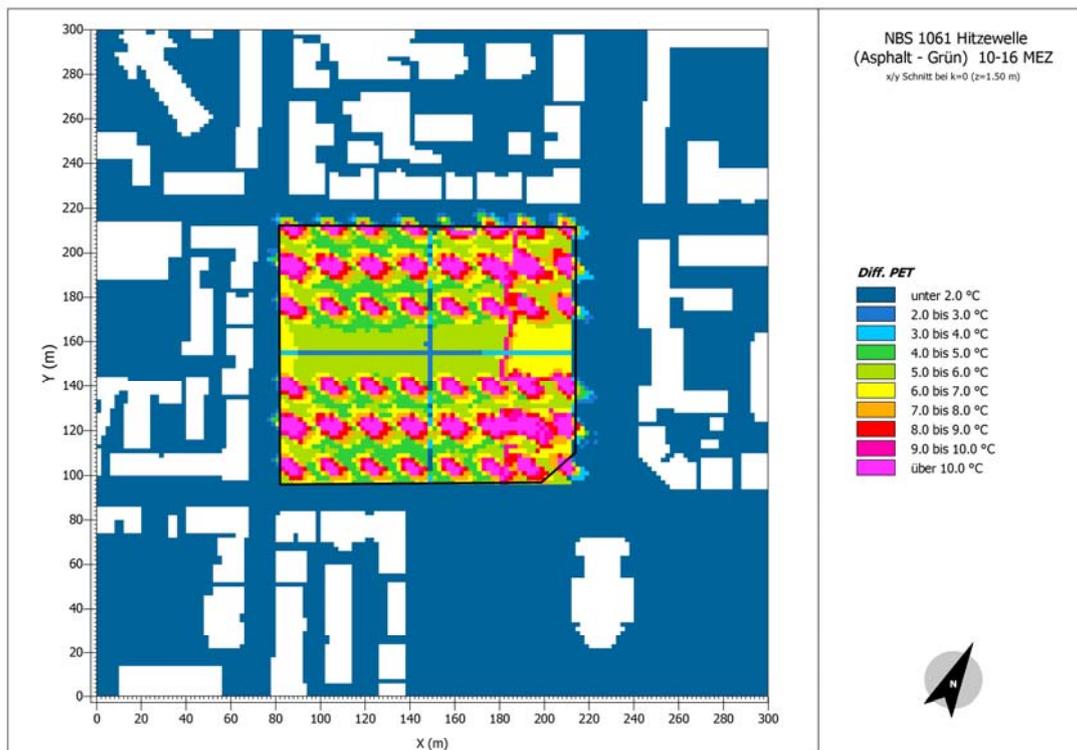


Abb. 97: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 1061 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

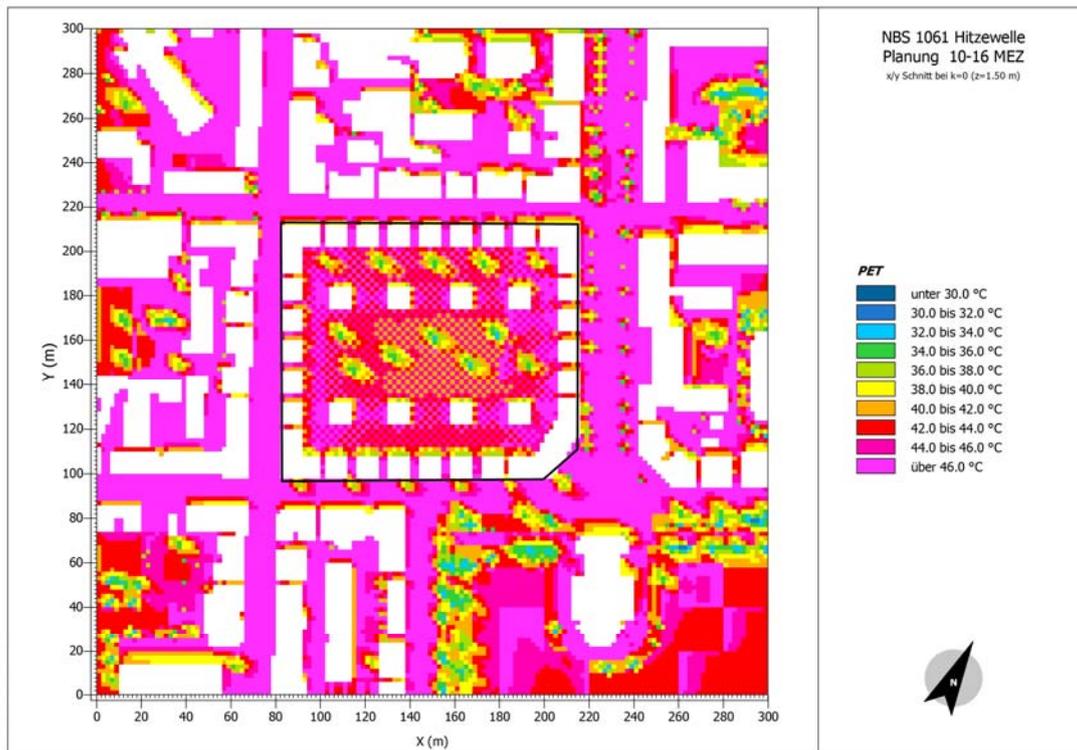


Abb. 98: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 1061 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003

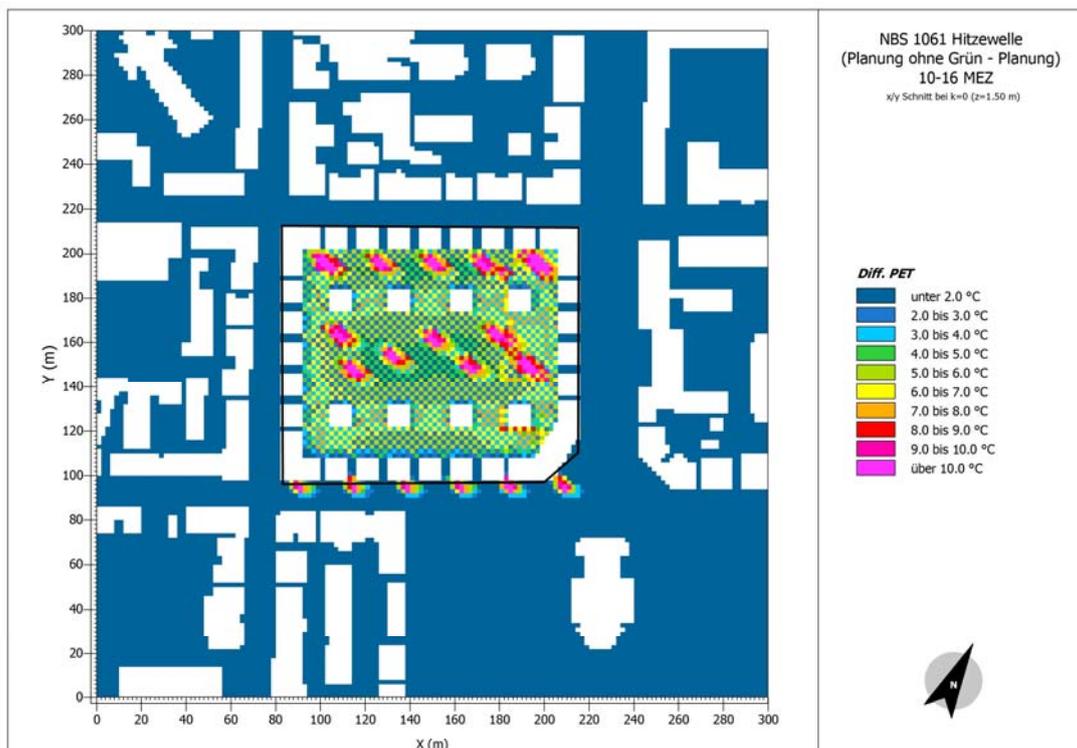


Abb. 99: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 1061 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003

- in der Abb. 97 als Differenz zwischen den Szenarien B und C,
- in der Abb. 98 für das Szenario D,
- in der Abb. 99 als Differenz zwischen den Szenarien E und D.

Die gitterzellenbezogenen PET Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Im Szenario A (derzeitiger Flächenzustand) liegen die räumlichen Variationen von PET bei maximal ca. 14 °C.
- Das Szenario B weist für PET höhere gitterzellenbezogene Werte als das Szenario C auf. Der Unterschied zwischen den Szenarien B und C beträgt für PET maximal 12 °C.
- Im Szenario D (Planungsvariante mit Grün) betragen die räumlichen Variationen von PET, wie beim Szenario A, ebenfalls maximal 14 °C. Im Szenario E (Planungsvariante ohne Grün) sind die gitterzellenbezogenen PET Werte um maximal bis zu 10 °C höher als im Szenario D.

Die gitterzellenbezogenen Simulationsergebnisse für die NBS-Fläche 1061, gemittelt über den Zeitraum 10-16 Uhr MEZ, sind als Flächenmittelwerte der Zielgrößen T_a , T_s , T_{mrt} und PET einschließlich ihrer Standardabweichungen in der Tab. 79 für den Hitzewellentag 4. August 2003 und in der Tab. 80 für den Sommertag 23. Juni 2011 zusammengefasst. Zusätzlich enthalten die Tab. 81 und Tab. 82 die analogen Mittelwerte und Standardabweichungen für den Nachtzeitraum von 22 bis 5 Uhr MEZ. Aus diesen Tabellen folgt:

- Erwartungsgemäß weisen für alle Flächenszenarien die Zielgrößen am Hitzewellentag deutliche höhere Mittelwerte als am Sommertag auf. Bei T_a und T_{mrt} sind die Standardabweichungen am Hitzewellentag tendenziell etwas größer als am Sommertag, d. h. die Streuung der einzelnen T_a und T_{mrt} Gitterwerte ist am Hitzewellentag etwas größer. Bei T_s und PET sind die Standardabweichungen für fast alle Flächenszenarien am Sommertag größer.

Tab. 79: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 1061 am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	32.0	0.19	40.8	7.00	59.2	8.80	46.2	5.27
B (Asphalt)	32.6	0.04	48.8	0.86	67.8	1.26	47.1	1.27
C (Grün)	31.6	0.28	31.5	1.05	51.7	5.18	40.1	2.33
D (Planung mit Grün)	31.8	0.20	33.5	2.78	57.3	5.42	43.9	3.00
E (Planung ohne Grün)	32.4	0.04	48.4	3.13	67.0	5.39	48.5	2.75
B-C	1.0	0.30	17.3	1.23	16.1	5.30	7.0	2.44
E-D	0.6	0.20	14.9	4.82	9.7	5.62	4.6	2.67

- Die Streuung der T_a Mittelwerte zwischen den verschiedenen Flächenszenarien ist relativ gering. Die T_a Differenz ist am Hitzewellentag zwischen den beiden extremen Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) am größten (1.0 °C).

- Bedingt durch die Definition und die analysierten Flächenszenarien weist unter den Zielgrößen T_{mrt} die höchsten Mittelwerte und Standardabweichungen je Szenario auf. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Flächenszenarien ist der T_{mrt} Flächenmittelwert tagsüber bei den Szenarien ohne Grün immer am größten. Er beträgt am Hitzewellentag 67.8 °C für das Szenario B und 67.0 °C für das Szenario E. Die höchsten Flächenmittelwerte von T_{mrt} wurden am Sommertag für das Szenario E (58.6 °C) und das Szenario B (58.5 °C) erzielt.
- Wie zu erwarten war, reagieren von den Zielgrößen T_s und T_{mrt} am stärksten auf Veränderungen der Flächennutzung. So beträgt am Hitzewellentag die Differenz zwischen den Flächenszenarien B und C bei T_s 17.3 °C und bei T_{mrt} 16.1 °C, während sie sich bei PET auf 7.0 °C beläuft. Am Sommertag beträgt diese Differenz bei T_s 16.9 °C, bei T_{mrt} 14.2 °C und bei PET 5.7 °C
- Am Hitzewellentag überschreiten die PET Mittelwerte bei allen Flächenszenarien den Schwellenwert von 40 °C, ab dem das thermische Empfinden von Menschen im städtischen Freiraum als „heiß“ einzustufen ist. Am Sommertag sind die PET Mittelwerte zwar deutlich niedriger. Kurzfristige PET Werte, z. B. als Mittelwert über eine Stunde, überschreiten jedoch auch die Schwelle von 40 °C.

Tab. 80: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 1061 am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	20.5	0.13	32.9	6.95	52.2	8.41	35.5	5.51
B (Asphalt)	20.9	0.03	41.4	0.90	58.5	1.35	34.0	1.52
C (Grün)	20.2	0.18	24.5	1.29	44.3	5.25	28.3	2.37
D (Planung mit Grün)	20.3	0.13	26.2	2.83	49.8	5.27	32.5	3.35
E (Planung ohne Grün)	20.8	0.03	40.6	3.33	58.6	4.70	36.5	2.92
B-C	0.7	0.19	16.9	1.48	14.2	5.40	5.7	2.44
E-D	0.5	0.14	14.4	4.65	8.8	5.31	4.0	2.52

Tab. 81: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 1061 am Hitzewellentag 4. August 2003

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	27.7	0.25	23.6	1.53	18.0	0.50	22.8	0.37
B (Asphalt)	27.7	0.17	25.6	0.26	18.4	0.16	22.6	0.17
C (Grün)	27.1	0.07	21.4	0.39	18.3	0.42	22.2	0.21
D (Planung mit Grün)	27.5	0.12	21.5	0.95	17.1	0.56	22.2	0.30
E (Planung ohne Grün)	27.8	0.19	25.2	0.49	18.2	0.18	22.8	0.20
B-C	0.6	0.16	4.2	0.57	0.1	0.44	0.4	0.19
E-D	0.3	0.11	3.7	1.32	1.1	0.62	0.6	0.23

Tab. 82: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 1061 am Sommertag 23. Juni 2011

Szenario	T_a (°C)		T_s (°C)		T_{mrt} (°C)		PET (°C)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
A (derzeitig)	16.4	0.11	17.3	1.23	9.6	0.74	12.3	0.91
B (Asphalt)	16.4	0.08	17.5	0.18	7.2	0.42	10.5	0.33
C (Grün)	16.1	0.04	15.3	0.25	9.4	0.57	11.3	0.35
D (Planung mit Grün)	16.2	0.05	15.5	0.88	8.3	0.93	11.4	0.81
E (Planung ohne Grün)	16.4	0.08	17.8	0.26	8.3	0.85	11.3	0.87
B-C	0.3	0.10	2.2	0.21	-2.2	0.59	-0.8	0.24
E-D	0.2	0.07	2.3	0.76	0.0	0.72	-0.1	0.28

- Gegenüber dem Flächenszenario A (derzeitiger Zustand) reduzieren sich am Hitzewellentag beim Flächenszenario D (Planung mit Grün) tagsüber die Flächenmittelwerte von T_a um 0.2 °C, von T_s um 7.3 °C, von T_{mrt} um 1.9 °C und von PET um 2.3 °C.
- Bezogen auf das Flächenszenario A (derzeitiger Zustand) erhöhen sich beim Flächenszenario E (Planung ohne Grün) tagsüber am Hitzewellentag die Flächenmittelwerte von T_a um 0.4 °C, von T_s um 7.6 °C, von T_{mrt} um 7.8 °C und von PET um 2.3 °C.
- Bei der für die NBS-Fläche 1061 vorgesehenen Planung (Flächenszenario D) bleiben tagsüber am Hitzewellentag die „heißen“ Bedingungen über den kompletten Zeitraum von 10 bis 16 Uhr, die für das Szenario A bereits ermittelt wurden, trotz reduziertem PET Flächenmittelwert erhalten. Wird bei der Planung das Flächenszenario D durch das Flächenszenario E ersetzt, erhöht sich am Hitzewellentag tagsüber die über den PET Mittelwert quantifizierte thermische Belastung für Menschen gegenüber dem Flächenszenario A.

A6.3 RESÜMEE AUS PLANERISCHER SICHT

Die Verbesserungen im thermischen Empfinden von Menschen (PET) beim Vergleich zwischen dem derzeitigen Zustand und der Planung (Flächenszenario D) unterstreichen einerseits die Bedeutung einer ausreichenden Grünausstattung für das thermische Komfortempfinden und verdeutlichen andererseits den absoluten Mangel an Grün beim heutigen Zustand der Fläche. Gleichzeitig zeigt sich, dass in stark verdichteten Quartieren eine Blockstruktur möglich ist, die eine Verbesserung der bisherigen thermischen Situation ermöglicht.

Aus den Simulationsergebnissen lassen sich für die Planung folgende generellen Schlussfolgerungen ziehen:

- Großkronige Bäume haben aufgrund ihrer Schattenwirkung einen positiven Effekt auf den thermischen Komfort von Menschen. Die größte Wirkung wird erzielt, wenn mehrere Bäume ein geschlossenes Kronendach ausbilden.
- Die Pflanzung von Bäumen vor den Südfassaden der Gebäude bewirkt eine deutliche Reduzierung der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) als Indikator für das thermische Empfinden und die ther-

mische Belastung von Menschen.

- Es lässt sich ein positiver Effekt auf das thermische Empfinden von Menschen feststellen, wenn eine angemessene Grünausstattung eingeplant wird.

Weitere spezielle Schlussfolgerungen sind:

- Die Simulation hat ergeben, dass das thermische Empfinden von Menschen an einem Hitzewellentag durch die Berücksichtigung einer Bebauung mit angemessener Grünausstattung (Flächenszenario D) positiv beeinflusst wird - verglichen mit dem derzeitigen (bebauten) Nutzungszustand (Flächenszenario A). Dies gilt ebenso für einen durchschnittlichen Sommertag.
- Die mangelhafte Grünausstattungssituation des Baugebietes erweist sich bei allen untersuchten human-biometeorologischen Zielgrößen als negativ: es treten überall relativ hohe thermischen Belastungen auf.

- *Mittlere Betrachtung des Hitzetags als Synonym für zukünftige klimatische Randbedingungen:*

Eine reine konsequente Begrünung würde sich im Vergleich zum Istzustand sehr positiv auswirken, eine reine Asphaltfläche immer noch leicht positiv. Am schlechtesten schneidet eine Planung/Bebauung ohne Grün (Flächenszenario E) ab. Dies sind auch die möglichen Grenzen mit einer PET Differenz von über 8 °C. Bebauungs-/Begrünungsvarianten liegen dazwischen.

Eine (realistische) Bebauung mit Grünanteil ist im Vergleich zum Istzustand thermisch deutlich positiv, eine Bebauung ohne Grünausstattung wirkt sich thermisch negativ aus.

Art und Maß der Begrünung bestimmen den Grad der positiven thermischen Auswirkungen.

In der Nachtbetrachtung ergeben sich erwartungsgemäß nur sehr geringe Unterschiede.

- *Mittlere Betrachtung des Sommertags:*

Insgesamt ergeben sich für die Tagbetrachtung geringere thermische Unterschiede.

Bebauung mit Begrünung führt zu einer deutlichen Verbesserung im Vergleich zum Istzustand, Bebauung ohne Grün ist auch hier leicht negativ. Die Nacht ist unkritisch.

Die vorangegangene Bewertung des Istzustands (dicht bebaut, wenig Grün) kommt für diese Fläche zu einer mittleren human-biometeorologischen Wertigkeit bzw. zu einem hohen human-biometeorologischen Handlungsbedarf (siehe Kapitel 4.2.2). Durch ausreichende Begrünungsmaßnahmen im Zuge einer Bebauung (Flächenszenario D) bestehen erhebliches Verbesserungspotential und damit die Möglichkeit, im Mittel einen Teil einer voraussichtlichen thermischen Verschlechterung (Hitzetag) wieder zurückzunehmen. Die Detailsimulationen für den thermischen Index PET am Hitzewellentag zeigen die Notwendigkeit auf, durch Begrünung, insbesondere auch großkronige Bäume, kleinräumig Ausgleichs-/Erholungsbereiche zu schaffen. Mit dem Szenario D ist ein guter Kompromiss hinsichtlich Dichte und Begrünung gefunden worden, der als modellhaft für eine optimierte Blockstruktur auf Basis der hier geltenden Baustaffel 2 gelten kann. Weitere denkbare Optimierungen erfordern eine enge konstruktive Zusammenarbeit zwischen Planung und Umweltsimulation.

Auf der Grundlage der hier erzielten Ergebnisse und unter Einbeziehung von Informationen zur Luftqualität (siehe auch Kapitel 4.2.5) wurde der Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 1061 (Abb. 100) erstellt.



KlippS - Klimaplanungspass Stuttgart

W&W Johannesstraße

NBS Nr. 1061

Stadtbezirk:	West	Adresse:	Johannesstraße
Grundstücksfläche:	ca. 1,44 ha	Verfügbarkeit:	mittelfristig
Eigentümer:	privat	Flächennutzung:	Büronutzung

Thermischer Komfort (TK)

Bewertungsindikatoren:

Lage / Umgebung:	Kessellage / versiegelt;	Bebauungsdichte Umgebung:	mittel	Vulnerabilität:	sehr hoch
Urbane Wärmeinsel:	stark	Kaltluftproduktion Umgebung:	sehr gering		
→ human-biometeorologische Wertigkeit: 0.485 (mittel) von max. 1.0					
→ human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.833 (hoch) von max. 1.0					

Luftqualität (LQ)

Bewertungsindikatoren:

Feinstaubkonzentration (PM ₁₀ Jahresmittel):	19-22 µg/m ³
Stickstoffdioxidkonzentration (NO ₂ Jahresmittel):	28-32 µg/m ³
→ Luftbelastungsindex: 0.63 (mittel) (1.0 bedeutet Grenzwert erreicht!)	

Vertiefende Untersuchungen:

TK: numerische Simulationen zum thermischen Komfort liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
weitere Optimierung und Vergleich von Planungsvarianten möglich

LQ: numerische Simulationen zur Lufthygiene liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
mikroskalige Simulation bei Bedarf möglich.

Fazit / Planungshinweise:

Starke Versiegelung und dichte Bebauung verursachen sehr hohe thermische Belastungen auf der Fläche und im umgebenden Gebiet. Eine fehlende nächtliche Frisch- bzw. Kaltluftversorgung unterstützt dies. Die Luftqualität bewegt sich auf dem hier hohen Niveau des stadträumlichen Hintergrunds, wobei die NO₂-Belastung ist im Verhältnis zu Feinstaub etwas ausgeprägter ist.

TK: Es ist bereits auf *Blockebene* thermischer Ausgleich zu schaffen durch Herstellung von begrünten Freiflächen, Baumpflanzungen, sowie Dach- und Fassadenbegrünung zur Reduzierung des Hitzeeintrags tagsüber. Ergebnisse der vertiefenden Untersuchung bestätigen das Potential einer optimierten Blockbebauung auf Basis Baustaffel 2 und zeigen geeignete Baumstandorte auf. Die Blockrandbebauung sollte aus Durchlüftungsgründen die ursprüngliche Lückigkeit aufweisen.

LQ: Spezielle Immissionsschutzmaßnahmen sind nicht erforderlich, jedoch sind Hausbrandemissionen zu minimieren, beispielsweise durch Fernwärmeversorgung

Ansprechpartner Stadtklima:

Herr Kapp
(0711) 216 – 88 685
rainer.kapp@stuttgart.de

Ansprechpartner Stadtplanung:

Frau Steinerstauch
(0711) 216 – 20 055
britta.steinerstauch@stuttgart.de

Klimaatlas u. human-biomet. Bewertung



Kaltluftverhalten Umgebung

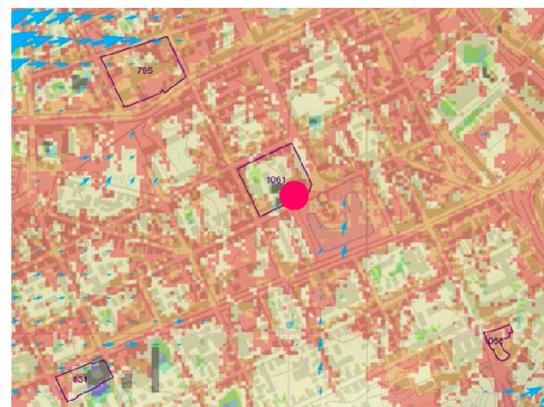


Abb. 100: Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 1061 in Stuttgart

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Häufigkeit von Flächentypen unter den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	24
Abb. 2:	Häufigkeit von FNP-Darstellungen unter den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart	25
Abb. 3:	Häufigkeit der Größen der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	26
Abb. 4:	Häufigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in vergleichbarer topographischer Lage in Stuttgart	26
Abb. 5:	Human-biometeorologische Wertigkeit und human-biometeorologischer Handlungsbedarf unter dem Aspekt „Hitze“ für 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	38
Abb. 6:	Gegenüberstellung von human-biometeorologischer Wertigkeit und human-biometeorologischem Handlungsbedarf für 59 ausgewählte NBS-Flächen in Stuttgart.....	42
Abb. 7:	Gegenüberstellung von human-biometeorologischer Wertigkeit und human-biometeorologischem Handlungsbedarf für 14 ausgewählte NBS-Flächen in KESSELLAGE in Stuttgart.....	43
Abb. 8:	Gegenüberstellung von human-biometeorologischer Wertigkeit und human-biometeorologischem Handlungsbedarf für 19 ausgewählte NBS-Flächen in TALLAGE in Stuttgart	43
Abb. 9:	Gegenüberstellung von human-biometeorologischer Wertigkeit und human-biometeorologischem Handlungsbedarf für 8 ausgewählte NBS-Flächen in HANGLAGE in Stuttgart.....	44
Abb. 10:	Gegenüberstellung von human-biometeorologischer Wertigkeit und human-biometeorologischem Handlungsbedarf für 18 ausgewählte NBS-Flächen in HOCHLAGE in Stuttgart.....	44
Abb. 11:	Erfassungsmaske für den Klimaplanungspass	49
Abb. 12:	Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 818 (lila umrandet) anhand eines Luftbilds.....	55
Abb. 13:	Topographische Situation auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Bezugspunkt: unten rechts in 247 m über NN	56
Abb. 14:	NBS-Fläche 818 (rot umrandet) in der derzeitigen Flächensituation (Szenario A) für die ENVI-met Simulationen	56
Abb. 15:	NBS-Fläche 818 (rot umrandet) als reine Asphaltfläche (Szenario B) für die ENVI-met Simulationen	57
Abb. 16:	NBS-Fläche 818 (rot umrandet) als reine Grünfläche (Szenario C) für die ENVI-met Simulationen	57

Abb. 17:	NBS-Fläche 818 (rot umrandet) in einer Planungsvariante mit Grün (Szenario D) für die ENVI-met Simulationen	57
Abb. 18:	NBS-Fläche 818 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber ohne Grün (Szenario E) für die ENVI-met Simulationen	58
Abb. 19:	Simulation der Lufttemperatur T_a in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003	59
Abb. 20:	Simulation der mittleren Differenz der Lufttemperatur T_a in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	59
Abb. 21:	Simulation der mittleren Differenz der Bodenoberflächentemperatur T_s zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	60
Abb. 22:	Simulation der mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003	61
Abb. 23:	Simulation der mittleren Differenz der mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	61
Abb. 24:	Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003	62
Abb. 25:	Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	62
Abb. 26:	Simulation der Lufttemperatur T_a in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003	63
Abb. 27:	Simulation der mittleren Differenz der Lufttemperatur T_a in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	63
Abb. 28:	Simulation der mittleren Differenz der Bodenoberflächentemperatur T_s zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	64

Abb. 29: Simulation der mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003	65
Abb. 30: Simulation der mittleren Differenz der mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003.....	65
Abb. 31: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003	66
Abb. 32: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 818 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	66
Abb. 33: Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 818 in Stuttgart	72
Abb. 34: Schematische Übersicht über Kennzeichen des Forschungsprojektes KlippS und ihre Einbindung in den NBS-Verwaltungsalltag	103
Abb. 35: Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 30 (rot umrandet) anhand eines Luftbilds	113
Abb. 36: Topographische Situation auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet), Bezugspunkt: Gitterzelle links oben in 286 m über NN.....	114
Abb. 37: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) in der derzeitigen Flächensituation (Szenario A) für die ENVI-met Simulationen	114
Abb. 38: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) als reine Asphaltfläche (Szenario B) für die ENVI-met Simulationen	115
Abb. 39: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) als reine Grünfläche (Szenario C) für die ENVI-met Simulationen	115
Abb. 40: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) in einer Planungsvariante mit Grün (Szenario D) für die ENVI-met Simulationen	115
Abb. 41: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber ohne Grün (Szenario E) für die ENVI-met Simulationen	116
Abb. 42: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber mit Bäumen auf der südlichen Straßenseite (Szenario F) für die ENVI-met Simulationen	116
Abb. 43: NBS-Fläche 30 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber mit Bäumen auf der nördlichen Straßenseite (Szenario G) für die ENVI-met Simulationen.....	116

Abb. 44:	NBS-Fläche 30 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber mit Bäumen auf der südlichen und nördlichen Straßenseite (Szenario H) für die ENVI-met Simulationen.....	117
Abb. 45	Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003	118
Abb. 46:	Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	119
Abb. 47:	Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003	119
Abb. 48:	Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	120
Abb. 49:	Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien D (Planungsvariante mit Grün) und F (Planungsvariante D und Straßenbäume auf der südlichen Straßenseite) auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	120
Abb. 50:	Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien D (Planungsvariante mit Grün) und G (Planungsvariante D und Straßenbäume auf der nördlichen Straßenseite) auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	121
Abb. 51:	Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien D (Planungsvariante mit Grün) und H (Planungsvariante D und Straßenbäume auf der südlichen und nördlichen Straßenseite) auf der NBS-Fläche 30 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	121
Abb. 52:	Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 30 in Stuttgart.....	127
Abb. 53:	Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 47 (rot umrandet) anhand eines Luftbilds	129
Abb. 54:	Topographische Situation auf der NBS-Fläche 47 (schwarz umrandet), Bezugspunkt: Gitterzelle links oben in 213 m über NN.....	130
Abb. 55:	NBS-Fläche 47 (rot umrandet) in der derzeitigen Flächensituation (Szenario A) für die ENVI-met Simulationen	130
Abb. 56:	NBS-Fläche 47 (rot umrandet) als reine Asphaltfläche (Szenario B) für die ENVI-met Simulationen	131

Abb. 57: NBS-Fläche 47 (rot umrandet) als reine Grünfläche (Szenario C) für die ENVI-met Simulationen	131
Abb. 58: NBS-Fläche 47 (rot umrandet) in einer Planungsvariante mit Grün (Szenario D) für die ENVI-met Simulationen	131
Abb. 59: NBS-Fläche 47 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber ohne Grün (Szenario E) für die ENVI-met Simulationen	132
Abb. 60: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 47 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003	133
Abb. 61: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 47 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	133
Abb. 62: Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 47 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003	134
Abb. 63: Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 47 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	134
Abb. 64: Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 47 in Stuttgart	140
Abb. 65: Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 768 (rot umrandet) anhand eines Luftbilds	141
Abb. 66: Topographische Situation auf der NBS-Fläche 768 (schwarz umrandet), Bezugspunkt: Gitterzelle rechts oben in 233 m über NN	142
Abb. 67: NBS-Fläche 768 (rot umrandet) in der derzeitigen Flächensituation (Szenario A) für die ENVI-met Simulationen	142
Abb. 68: NBS-Fläche 768 (rot umrandet) als reine Asphaltfläche (Szenario B) für die ENVI-met Simulationen	143
Abb. 69: NBS-Fläche 768 (rot umrandet) als reine Grünfläche (Szenario C) für die ENVI-met Simulationen	143
Abb. 70: NBS-Fläche 768 (rot umrandet) in einer Planungsvariante mit Grün (Szenario D) für die ENVI-met Simulationen	143
Abb. 71: NBS-Fläche 768 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber ohne Grün (Szenario E) für die ENVI-met Simulationen	144

Abb. 72:	Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 768 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003	145
Abb. 73:	Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 768 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	145
Abb. 74:	Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 768 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003	146
Abb. 75:	Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 768 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	146
Abb. 76:	Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 768 in Stuttgart	151
Abb. 77:	Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 772 (rot umrandet) anhand eines Luftbilds	153
Abb. 78:	Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 865 (violett umrandet) anhand eines Luftbilds.....	154
Abb. 79:	Topographische Situation auf den schwarz umrandeten NBS-Flächen 772 (Mitte) und 865 (rechts), Bezugspunkt: Gitterzelle am rechten Rand in der Mitte in 244 m über NN	154
Abb. 80:	NBS-Flächen 772 (rot umrandet) und 865 (blau umrandet) in der derzeitigen Flächensituation (Szenario A) für die ENVI-met Simulationen	155
Abb. 81:	NBS-Flächen 772 (rot umrandet) und 865 (blau umrandet) als reine Asphaltflächen (Szenario B) für die ENVI-met Simulationen.....	155
Abb. 82:	NBS-Flächen 772 (rot umrandet) und 865 (blau umrandet) als reine Grünflächen (Szenario C) für die ENVI-met Simulationen	155
Abb. 83:	NBS-Flächen 772 (rot umrandet) und 865 (blau umrandet) in Planungsvarianten ohne Grün (Szenario E) für die ENVI-met Simulationen	156
Abb. 84:	Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund im Bereich der schwarz umrandeten NBS-Flächen 772 (Mitte) und 865 (rechts), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003.....	157
Abb. 85:	Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf den schwarz umrandeten NBS-Flächen 772 (Mitte) und 865 (rechts) am Hitzewellentag 4. August 2003	158

Abb. 86:	Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund im Bereich der schwarz umrandeten NBS-Flächen 772 (Mitte) und 865 (rechts), Szenario E (Planungsvariante ohne Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003.....	158
Abb. 87:	Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 772 in Stuttgart	164
Abb. 88:	Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 865 in Stuttgart	165
Abb. 89:	Derzeitiger Zustand auf der NBS-Fläche 1061 (rot umrandet) anhand eines Luftbilds	167
Abb. 90:	Topographische Situation auf der NBS-Fläche 1061 (schwarz umrandet), Bezugspunkt: Gitterzelle rechts unten in 271 m über NN	168
Abb. 91:	NBS-Fläche 1061 (rot umrandet) in der derzeitigen Flächensituation (Szenario A) für die ENVI-met Simulationen	168
Abb. 92:	NBS-Fläche 1061 (rot umrandet) als reine Asphaltfläche (Szenario B) für die ENVI-met Simulationen	169
Abb. 93:	NBS-Fläche 1061 (rot umrandet) als reine Grünfläche (Szenario C) für die ENVI-met Simulationen	169
Abb. 94:	NBS-Fläche 1061 (rot umrandet) in einer Planungsvariante mit Grün (Szenario D) für die ENVI-met Simulationen	169
Abb. 95:	NBS-Fläche 1061 (rot umrandet) in der Planungsvariante „Szenario D“, aber ohne Grün (Szenario E) für die ENVI-met Simulationen	170
Abb. 96:	Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 1061 (schwarz umrandet), Szenario A (derzeitig), am Hitzewellentag 4. August 2003	171
Abb. 97:	Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien B (Asphalt) und C (Grün) auf der NBS-Fläche 1061 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003.....	171
Abb. 98:	Simulation der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund auf der NBS-Fläche 1061 (schwarz umrandet), Szenario D (Planungsvariante mit Grün), am Hitzewellentag 4. August 2003	172
Abb. 99:	Simulation der mittleren Differenz der physiologisch äquivalenten Temperatur PET in 1.5 m Höhe über Grund zwischen den Szenarien E (Planungsvariante ohne Grün) und D (Planungsvariante mit Grün) auf der NBS-Fläche 1061 (schwarz umrandet) am Hitzewellentag 4. August 2003	172
Abb. 100:	Klimaplanungspass für die NBS-Fläche 1061 in Stuttgart	177

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Graduelle Abstufung von Werten für den thermophysiologicalen Bewertungsindex PET in verschiedene Bereiche des thermischen Empfindens von Menschen, Bereichseinteilung nach der ASHRAE Standardskala (Holst und Mayer, 2010).....	19
Tab. 2: Bestimmtheitsmaß R^2 für lineare Regressionsfunktionen f zwischen Einstundenmittelwerten von verschiedenen human-biometeorologischen Variablen (PET: physiologisch äquivalente Temperatur, T_{mit} : mittlere Strahlungstemperatur, T_a : Lufttemperatur, VP: Wasserdampfdruck, v : Windgeschwindigkeit), bezogen auf Strahlungstage im Sommer 2007 bis 2010 sowie unterteilt nach Tag (10-16 Uhr MEZ) und Nacht (22-5 Uhr MEZ); n : Anzahl der Werte (Holst und Mayer, 2011; Lee et al., 2013).....	19
Tab. 3: Zusammenstellung der ausgewählten 59 NBS-Flächen.....	21
Tab. 4: Typen von NBS-Flächen in Stuttgart.....	24
Tab. 5: FNP-Darstellungen in Stuttgart (Landeshauptstadt Stuttgart, 2011).....	25
Tab. 6: Aufteilung der ausgewählten 59 NBS-Flächen nach ihrer Größe und topographischen Lage.....	27
Tab. 7: Indikatoren für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	29
Tab. 8: Bewertung des Indikators Lage/Umgebung/Nutzung der Fläche für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	30
Tab. 9: Bewertung des Indikators Bebauungsdichte in der Umgebung der Fläche für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	31
Tab. 10: Bewertung des Indikators Fläche als „hotspot“ tagsüber für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	31
Tab. 11: Bewertung des Indikators Fläche nachts warm für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	31
Tab. 12: Bewertung des Indikators Fläche als Verursacher der urbanen Wärmeinsel für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	31
Tab. 13: Bewertung des Indikators Kaltluftproduktion auf der Fläche für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	31

Tab. 14: Bewertung des Indikators Kaltluftverlust durch Bebauung auf der Fläche für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	32
Tab. 15: Bewertung des Indikators Vulnerabilität der Umgebung der Fläche für die Ausweisung der human-biometeorologischen Wertigkeit der ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	32
Tab. 16: Indikatoren für die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs bei den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	32
Tab. 17: Bewertung des Indikators Lage/Umgebung der Fläche für die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs bei den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	33
Tab. 18: Bewertung des Indikators Bebauungsdichte in der Umgebung der Fläche für die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs bei den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	33
Tab. 19: Bewertung des Indikators Flächenumgebung als Verursacher der urbanen Wärmeinsel für die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs bei den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart	33
Tab. 20: Bewertung des Indikators Kaltluftproduktion in der Umgebung der Fläche für die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs bei den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	34
Tab. 21: Bewertung des Indikators Vulnerabilität der Umgebung der Fläche für die Ausweisung des human-biometeorologischen Handlungsbedarfs bei den ausgewählten 59 NBS-Flächen in Stuttgart.....	34
Tab. 22: Farbkodierte Klassen der Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit der 59-NBS-Flächen in Stuttgart und der Indexwerte für ihren human-biometeorologischen Handlungsbedarf.....	35
Tab. 23: Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf der 59 NBS-Flächen in Stuttgart sowie farbkodierte Klassen von Wertigkeit und Handlungsbedarf.....	35
Tab. 24: Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf der ausgewählten NBS-Flächen in KESSELLAGE sowie farbkodierte Klassen von Wertigkeit und Handlungsbedarf	39
Tab. 25: Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf der ausgewählten NBS-Flächen in TALLAGE sowie farbkodierte Klassen von Wertigkeit und Handlungsbedarf.....	40

Tab. 26: Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf der ausgewählten NBS-Flächen in HANGLAGE sowie farbkodierte Klassen von Wertigkeit und Handlungsbedarf	41
Tab. 27: Indexwerte für die human-biometeorologische Wertigkeit und den human-biometeorologischen Handlungsbedarf der ausgewählten NBS-Flächen in HOCHLAGE sowie farbkodierte Klassen von Wertigkeit und Handlungsbedarf	41
Tab. 28: Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (3.94 ha) von NBS 818.....	58
Tab. 29: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 818 am Hitzewellentag 4. August 2003	67
Tab. 30: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 818 am Sommertag 23. Juni 2011	67
Tab. 31: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 818 am Hitzewellentag 4. August 2003	68
Tab. 32: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 818 am Sommertag 23. Juni 2011	68
Tab. 33: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten Lufttemperatur T_a auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003	74
Tab. 34: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten Lufttemperatur T_a auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003	75
Tab. 35: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten Lufttemperatur T_a auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011.....	77

Tab. 36: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten Lufttemperatur T_a auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011	78
Tab. 37: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten Bodenoberflächentemperatur T_s auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003	80
Tab. 38: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten Bodenoberflächentemperatur T_s auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003	81
Tab. 39: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten Bodenoberflächentemperatur T_s auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011	82
Tab. 40: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten Bodenoberflächentemperatur T_s auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011	84
Tab. 41: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003.....	85
Tab. 42: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003	86
Tab. 43: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011.....	88
Tab. 44: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011.....	89
Tab. 45: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten physiologisch äquivalenten Temperatur PET auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003	90
Tab. 46: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten physiologisch äquivalenten Temperatur PET auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003	92

Tab. 47: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten physiologisch äquivalenten Temperatur PET auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011	93
Tab. 48: Flächenmittelwerte ($^{\circ}\text{C}$) und entsprechende Standardabweichungen σ ($^{\circ}\text{C}$) der simulierten physiologisch äquivalenten Temperatur PET auf NBS-Flächen bei verschiedenen Szenarien, Mittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011	95
Tab. 49: Szenariobezogene Extremwerte Min und Max sowie Δ Werte (= Max-Min) für T_a , T_s , T_{mrt} und PET aus dem Kollektiv der NBS-Flächen 30, 47, 768, 772, 818, 865 und 1061, Flächenmittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003.....	97
Tab. 50: Szenariobezogene Extremwerte Min und Max sowie Δ Werte (= Max-Min) für T_a , T_s , T_{mrt} und PET aus dem Kollektiv der NBS-Flächen 30, 47, 768, 772, 818, 865 und 1061, Flächenmittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Hitzewellentag 4. August 2003.....	97
Tab. 51: Szenariobezogene Extremwerte Min und Max sowie Δ Werte (= Max-Min) für T_a , T_s , T_{mrt} und PET aus dem Kollektiv der NBS-Flächen 30, 47, 768, 772, 818, 865 und 1061, Flächenmittelwerte über den Zeitraum 10 bis 16 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011	98
Tab. 52: Szenariobezogene Extremwerte Min und Max sowie Δ Werte (= Max-Min) für T_a , T_s , T_{mrt} und PET aus dem Kollektiv der NBS-Flächen 30, 47, 768, 772, 818, 865 und 1061, Flächenmittelwerte über den Zeitraum 22 bis 5 Uhr MEZ am Sommertag 23. Juni 2011	98
Tab. 53: Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (2.54 ha) von NBS 30	117
Tab. 54: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 30 am Hitzewellentag 4. August 2003	122
Tab. 55: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 30 am Sommertag 23. Juni 2011	123
Tab. 56: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 30 am Hitzewellentag 4. August 2003	123
Tab. 57: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur	

T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 30 am Sommertag 23. Juni 2011	124
Tab. 58: Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (1.60 ha) von NBS 47	132
Tab. 59: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 47 am Hitzewellentag 4. August 2003	135
Tab. 60: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 47 am Sommertag 23. Juni 2011	136
Tab. 61: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 47 am Hitzewellentag 4. August 2003	136
Tab. 62: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 47 am Sommertag 23. Juni 2011	136
Tab. 63: Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (4.21 ha) von NBS 768.....	144
Tab. 64: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 768 am Hitzewellentag 4. August 2003	147
Tab. 65: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 768 am Sommertag 23. Juni 2011	148
Tab. 66: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 768 am Hitzewellentag 4. August 2003	148

Tab. 67: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 768 am Sommertag 23. Juni 2011	149
Tab. 68: Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (0.14 ha) von NBS 772.....	156
Tab. 69: Anteile der Gebäude-, Asphalt- und Grasflächen sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (0.17 ha) von NBS 865.....	156
Tab. 70: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 772 am Hitzewellentag 4. August 2003 (kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche)	159
Tab. 71: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 772 am Sommertag 23. Juni 2011 (kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche).....	160
Tab. 72: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 772 am Hitzewellentag 4. August 2003	160
Tab. 73: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 772 am Sommertag 23. Juni 2011	160
Tab. 74: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 865 am Hitzewellentag 4. August 2003 (kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche)	161
Tab. 75: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur	

T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 865 am Sommertag 23. Juni 2011 (kursive Zahlen in Blau beziehen sich auf die Höhe von 1.5 m über Grund in einem 10 m breiten Bereich um die NBS-Fläche).....	162
Tab. 76: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 865 am Hitzewellentag 4. August 2003	162
Tab. 77: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 865 am Sommertag 23. Juni 2011	162
Tab. 78: Anteile der Flächen von Gebäuden, Asphalt, Gras und Lehm sowie der Stammquerschnittsflächen und maximalen horizontalen Kronenquerschnittsflächen von Bäumen an der gesamten Fläche (1.44 ha) von NBS 1061	170
Tab. 79: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 1061 am Hitzewellentag 4. August 2003	173
Tab. 80: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (10 bis 16 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 1061 am Sommertag 23. Juni 2011	174
Tab. 81: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 1061 am Hitzewellentag 4. August 2003	174
Tab. 82: Flächenmittelwerte M und entsprechende Standardabweichungen σ für die zeitlichen Mittelwerte (22 bis 5 Uhr MEZ) der simulierten Lufttemperatur T_a , Bodenoberflächentemperatur T_s , mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} und physiologisch äquivalenten Temperatur PET bei verschiedenen Szenarien auf der NBS-Fläche 1061 am Sommertag 23. Juni 2011	175

