

Klimaanalyse Lokstadt Winterthur

KLIMAMODELLIERUNG

Modellierung und Wirkungsanalyse
zur Hitzeminderung für die Lokstadt Winterthur

Impressum

Herausgeberin:

Stadt Winterthur
Amt für Städtebau
Pionierstrasse 7
8403 Winterthur
staedtebau@win.ch

Ansprechpartner:

Nicolas Perrez

Die Studie ist Teil des Programms Smart City der Stadt Winterthur und wurde durch dessen Innovationskredit ermöglicht.

Konzeption:

berchtoldkrass space&options
Raumplaner, Stadtplaner. Partnerschaft

Dr.-Ing. Martin Berchtold
M.Sc. Ananada-Michael Berger
M.Sc. Patrick Salzer

Schützenstrasse 8a
D - 76137 Karlsruhe
mail@berchtoldkrass.de
www.berchtoldkrass.de



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Dipl.-Geograph Dirk Funk

Grosse Pfahlstrasse 5a
30161 Hannover
info@geo-net.de
www.geo-net.de

Layout + Gestaltung:

berchtoldkrass space&options

Abbildungen:

berchtoldkrass space&options
GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Stadt Winterthur

Stand: Oktober 2020

Inhalt

Hintergrund & Auftrag

1. GRUNDLAGEN UND ÜBERBLICK

- 1.1 Hintergrund und Allgemeines zur Simulation
- 1.2 Methodik, Eingangsdaten, Rahmenbedingungen
- 1.3 Lokstadt Winterthur: Beschreibung der Ausgangslage
- 1.4 Szenarien im Vergleich

2. KLIMAMODELLIERUNG

- 2.1 Tagsituation: PET über Oberfläche
- 2.2 Tagsituation: Lufttemperatur über Oberfläche
- 2.3 Nachtsituation: Lufttemperatur über Oberfläche

3. SCHLUSSFOLGERUNG

- 3.1 Gesamtbeurteilung
- 3.2 Handlungsempfehlungen

4. ANHANG & GLOSSAR

- 4.1 Tagsituation: PET über Grund
- 4.2 Tagsituation: Lufttemperatur über Grund
- 4.3 Nachtsituation: Lufttemperatur über Grund
- 4.4 Glossar

Hintergrund & Auftrag

Der vorliegende Bericht befasst sich mit der Klimasimulation für das neue Stadtquartier Lokstadt in Winterthur. Die Erarbeitung der Klimasimulation für die Arealentwicklung erfolgt unter dem Titel „Konzeption, Modellierung und Wirkungsanalysen von Massnahmen zur Hitzeminderung für die Lokstadt Winterthur“.

Dabei sollte auf Grundlage des projektierten Planungsstands geprüft werden, inwieweit Massnahmen zur Reduktion der Hitzebelastung umgesetzt werden können und welche Wirkung zur Entlastung des Standorts und seiner Umgebung erzielt werden kann. Bei der Lokstadt stehend bei dieser Untersuchung Massnahmen zur Reduktion der Hitzebelastung an Gebäuden und im Aussenraum im Vordergrund. Dabei sind folgende Fragen von Interesse:

- > Welche Massnahmen können im Rahmen des konkreten Projektes angewandt werden?
- > Welche dieser Massnahmen sind dabei überhaupt oder besonders gut umsetzbar?
- > Welche Wirkung entfalten die Massnahmen auf den Standort, welche gegebenenfalls auf die Umgebung?
- > Welche Massnahmen sind am Standort besonders wirksam und effektiv einsetzbar?

Für die Lokstadt gilt es einerseits den bereits projektierten Planungsstand für die erste

Realisierungsetappe in klimatischer Hinsicht zu beurteilen. Dazu dienen die vorliegenden Freiraumpläne sowie 3D-Daten der Gebäude als Grundlage. Für ein zweites Szenario werden für die noch offenen Planungsetappen hitzemindernde und realistisch umsetzbare Massnahmen vorgeschlagen, um Teilbereiche klimawirksam zu qualifizieren und um Aussagen zur spezifischen Wirkung zu erhalten. Im Rahmen eines dritten Szenarios gilt es das Optimum an Massnahmen auszuloten, mit Erkenntnissen darüber, was theoretisch alles möglich wäre.

Für die Klimamodellierung Lokstadt wurden das Planungsbüro berchtoldkrass space&options sowie die Klimatologen von GEO-NET Umweltconsulting GmbH beauftragt. Dabei wird die Konzeption mit Vorschlägen von Massnahmen sowie ihrer Verortung vom Planungsbüro erarbeitet, während die Klimatologen die Modellierung der drei Szenarien mit Aussagen zur Wirksamkeit der Massnahmen erstellen. Die Bearbeitung erfolgt in Abstimmung mit dem Auftraggeber, dem Amt für Städtebau der Stadt Winterthur.

Parallel zur kleinräumigen Klimamodellierung der Lokstadt werden ein gesamtstädtischer Rahmenplan Klima sowie ein Grundsatzpapier für die Stadt Winterthur in Zusammenarbeit mit dem Planungsbüro berchtoldkrass space&options erarbeitet.

1. Grundlagen und Überblick





1.1 Hintergrund und Allgemeines zur Simulation

Die Auswirkungen des Klimawandels rücken immer mehr ins Bewusstsein, auch in Städten in der Schweiz wie etwa in Winterthur. Spätestens mit dem Hitzesommer 2018 wurde die prognostizierte Zunahme von Hitzetagen und Tropennächten einmal mehr bestätigt. Mit jedem Jahr werden neue Hitzerekorde gemeldet, insbesondere über längere Zeiträume - wie sie etwa Monats- oder Jahresmittelwerte verdeutlichen. Besonders stark betroffen sind dicht bebaute und meist zentral gelegene Gebiete in der Stadt, die als sogenannte „Wärmeinseln“ überdurchschnittlich stark erhitzen. Gründe für die starke Erwärmung sind unter anderem ein hoher Versiegelungsgrad, eine dichte Bebauung, die eine gute Durchlüftung verhindert sowie viel Abwärme - die beispielsweise durch Verkehrsströme, Emissionen und laufende Klimaanlage entstehen kann. Der Wärmeinseleffekt wirkt sich wiederum auf das Wohlbefinden und die Gesundheit der dort lebenden und sich aufhaltenden Menschen aus. Daher braucht es Lösungsansätze, um auch in Zukunft, trotz der Auswirkungen des Klimawandels, die Lebensqualität zu erhalten und die Gesundheit der städtischen Bevölkerung zu schützen.

Diesen Herausforderungen müssen sich Planer, Architekten, Landschaftsarchitekten, Bauträger sowie die Stadt Winterthur bei Entwicklung der Lokstadt in Winterthur stellen. Denn die Lokstadt liegt in zentraler Lage, unweit der historischen Altstadt, im direkten Umfeld des Bahnhofs und des Sulzerareals. Entsprechend der Lage im dichten, urbanen Umfeld ist es möglich, dass in Sommermonaten und längeren Hitzeperioden, die Auswirkungen von Wärmeinseleffekten besonders stark zum Tragen kommen werden. Mit der

Transformation des Bestands und durch Erhalt von einzelnen, ehemaligen identitätsstiftenden Industriegebäuden und der Ergänzung durch Neubauten, ist eine sehr hohe Dichte sowie komplexe städtebauliche Struktur geplant. Es werden viele Wohneinheiten und Arbeitsplätze im urbanen Kontext hier in den kommenden Jahren entstehen. Aufgrund dieser Ausgangslage ist es sinnvoll die Planungen unter Klimagesichtspunkten einzuordnen und wo nötig Handlungsempfehlungen auszusprechen, um mit der Lokstadt ein Quartier mit hoher Wohn- und Lebensqualität im urbanen Kontext entwickeln zu können.

Um entsprechende Aussagen treffen zu können wird die bioklimatische Belastungssituation am Tag und in der Nacht für den Planungssperimeter der Lokstadt und die angrenzenden Gebiete durch Klimamodellierungen festgestellt. Im Rahmen der kantonalen Klimaanalyse (GEO-NET 2018) wurde unter anderem die Station Zürich-Stampfenbachstrasse als urbane Referenzstation für die Validierung der Modellergebnisse für die Lokstadt ausgewertet.

Abbildung 1 zeigt die jährliche Anzahl von Hitzetagen sowie das dazugehörige Jahresmaximum der Temperatur an der Station Stampfenbachstrasse. Für den ausgewerteten Zeitraum 1993 bis 2015 kann festgehalten werden, dass seit der Jahrtausendwende beide Parameter einen Trend in der Zunahme aufweisen. Dabei treten vor allem die Jahre 2003 und 2015 hervor. Während die absolute Anzahl an Hitzetagen mit 30 im Jahr 2003 zu beobachten ist, tritt im Jahr 2015 mit mehr als 36 °C die höchste Maximaltemperatur auf. Allerdings muss an dieser Stelle darauf

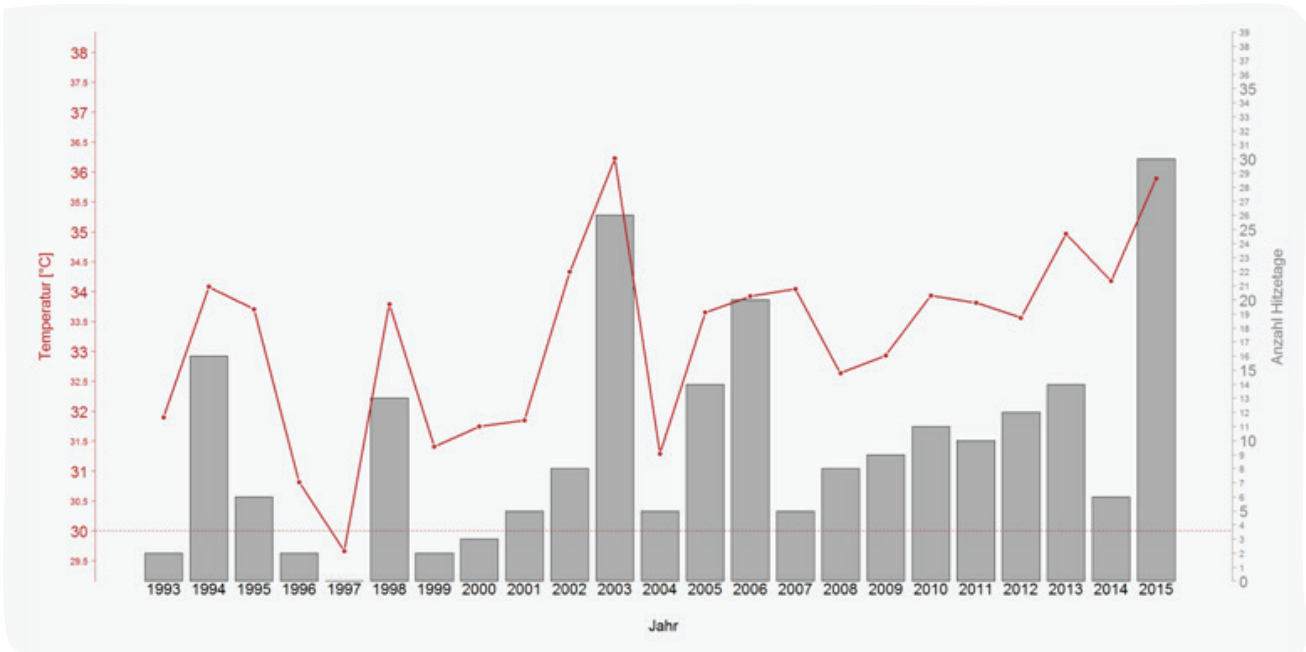


Abb. 1: Jährliche Anzahl von Hitzetagen und zugehöriges Jahresmaximum der Temperatur an der Züricher Station ‚Stampfenbachstrasse‘.

hingewiesen werden, dass die Werte über einem Freilandstandort von diesem urbanen Standort abweichen können. Gleichwohl wird deutlich, dass in Zürich, und damit auch für den Standort Lokstadt in Winterthur eine belastende sommerliche Wettersituation, wie sie im Modell simuliert wurde, im Mittel an mehr als 20 Tagen im Jahr auftreten kann.

Für die Darstellung der Modellierungsergebnisse dient die Simulation der Parameter der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) sowie der Lufttemperatur an einem heissen Hochsommer-Nachmittag sowie der nächtlichen, durchschnittlich kältesten Lufttemperatur in der Nacht desselben Tages. Konkret ist dies der 21. Juni, der Tag des Sonnenhöchststandes. Als mittlere Temperatur der Luftmasse im Modellgebiet der Lokstadt werden 29,5 °C zugrunde gelegt, wobei sich die jeweiligen Oberflächenstrukturen je nach

Beschaffenheit steigernd oder reduzierend auf die Lufttemperatur auswirken. Diese Ausgangssituation entspricht im Wesentlichen der Definition eines Hitzetages, an denen das Temperaturmaximum 30 °C erreicht oder überschritten wird.

Um die unterschiede der Effekte der Klimaanpassungsmassnahmen zu untersuchen werden zwei Szenarien (Szenarien MIDI und MAX) mit qualitativ und quantitativ unterschiedlichen Massnahmen entwickelt und der Ausgangssituation (dem sogenannten Szenario NULL) gegenübergestellt. Die Szenarien werden dafür als Geodaten aufbereitet und mit dem mikroskaligen Modell ASMUS berechnet. Diese Vorgehensweise hat sich bewährt, wie beispielsweise drei Testgebiete für die Stadt Zürich bereits eindrücklich gezeigt haben.

1.2 Methodik, Eingangsdaten und Rahmenbedingungen

Methodik

Das zur Simulation verwendete Modell, ASMUS_green (Ausbreitungs und Strömungs-Modell für Urbane Strukturen und Begrünung) ist ein numerisches Modell zur mikroskaligen Simulation der dreidimensionalen Wind- und Temperaturverteilung sowie der thermischen Behaglichkeit innerhalb von Städten. Es gehört zu einer neueren mikroskaligen Modellgeneration und verbindet die Betrachtung der Strömung im Bereich von Gebäuden und Bäumen mit der Berechnung der Energiebilanz von begrünten und unbegrünten Oberflächen.

Das Modell basiert auf den üblichen meteorologischen Grundgleichungen: Navier-Stokes- und Kontinuitäts-Gleichung, 1. Hauptsatz der Thermodynamik und einer Gleichung für die spezifische Feuchte. Gebäude und Bäume werden vom Modell explizit als dreidimensionale Körper mit impermeablem beziehungsweise semipermeablem Gittervolumen dargestellt. Ihre Oberflächentemperaturen werden in Abhängigkeit von ihrer spezifischen Orientierung und ihren physikalischen Eigenschaften über eine Energiebilanz berechnet. ASMUS_green berechnet den kurz- und langwelligen Wärmestrom inklusive diffuser mehrfach Reflektion von Strahlung an Oberflächen und atmosphärischer Gegenstrahlung, den turbulenten fühlbaren Wärmestrom, den Wärmestrom aus der darunterliegenden Fläche (Erdboden bzw. Gebäude) sowie den turbulenten Verdunstungswärmestrom bei Bäumen und Oberflächenbegrünung. Die Verdunstung ist abhängig von der relativen Feuchte der Luft, der

solaren Einstrahlung und insbesondere von dem den Pflanzen zur Verfügung stehendem Bodenwassergehalt.

Für die Lokstadt wurden die Simulationen auf einem kartesischen Gitter mit Gitterweiten von 2 m in der Horizontalen und in der Vertikalen bis in eine Höhe von 34 m durchgeführt. Darüber erfolgte eine Streckung des Gitters in der Vertikalen.

Eingangsdaten und Rahmenbedingungen

Als geographische Eingangsdaten gehen in das Modell ein: die Nutzungsklassen (gitterpunktweise), die Strukturhöhe von Gebäuden und Bäumen, die Stammraumhöhe von Bäumen, die lichte Höhe von überhängenden Gebäudestrukturen, sowie die Gebäudebegrünung. So wurden beispielsweise die Gebäudehöhen dem vorliegenden städtischen 3D-Modell entnommen und in das GIS-System übertragen. Angaben zu Bäumen wurden ebenfalls differenziert betrachtet. Es wird unterschieden zwischen Stammhöhe, Kronenhöhe und Kronenbreite. Für die Vielzahl der bereits existierende Baumstandorte wurden entsprechende Angaben übernommen, während für neue Baumstandorte Angaben aus den Freiraumplanungen berücksichtigt wurden. Für alle weiteren Bäume wurden realistische Masse angenommen.

Es wird ein heisser sommerlicher autochthoner Strahlungstag mit lediglich schwacher Anströmung aus Nordost simuliert. Es gibt keine Wolkenbedeckung und die Vegetation sowie Gebäudebegrünungen sind gut mit Wasser versorgt.

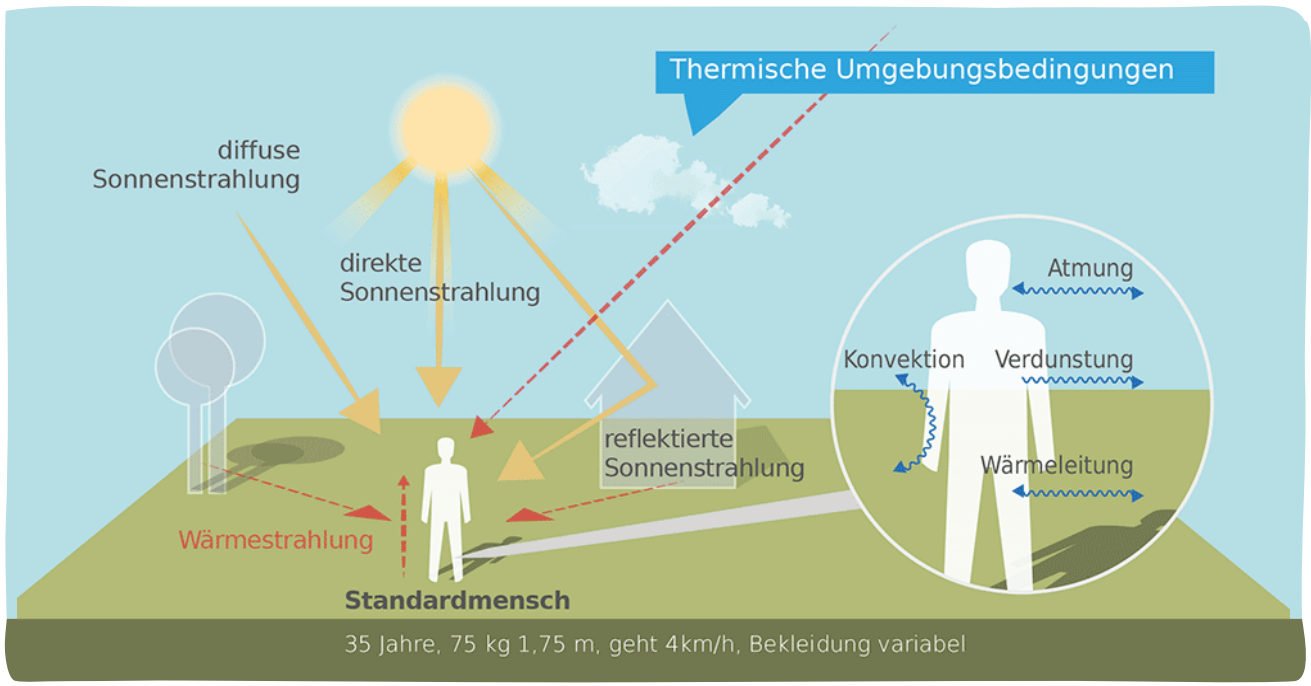


Abb. 2: Die Einflussfaktoren der Physikalisch Äquivalenten Temperatur (PET).

Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET)

Die Wärmebelastung kann auf zwei unterschiedliche Arten gemessen werden: die absolute Temperatur in Grad Celsius sowie die physiologisch äquivalente Temperatur (PET). Die PET stellt dabei die ‚tatsächlich empfundene‘ Temperatur dar. Sie beruht auf dem Wärmeaustausch des Menschen mit seiner Umgebung und beschreibt das thermische Empfinden einer ‚Standardperson‘, welche eine mittlere thermische Empfindlichkeit repräsentiert. Dabei werden die Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und thermophysiological wirksame Strahlung berücksichtigt. Für die Wirkung auf den Menschen ist sie daher die aussagekräftigere Zahl. Aufgrund des nächtlichen Ausbleibens von Strahlung wird die PET lediglich für die Tagestemperatur erhoben.

Die PET wird als thermisches Empfinden wie auch als physiologische Belastungsstufe angegeben. Sie reicht vom thermischen Empfinden ‚sehr kalt‘ bzw. einer ‚extremen Kältebelastung‘ als physiologische Belastungsstufe bei 4 °C bis hin zu ‚sehr heiss‘ bzw. einer ‚extremen Wärmebelastung‘ bei 41°. Da sich die Kategorie ‚starke Wärmebelastung‘ über einen sehr breiten Temperaturbereich erstreckt, wird sie in den Auswertungen untergliedert.

PET	Empfinden	Phys. Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mässige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwäche Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mässige Wärmebelastung
35 °C	Heiss	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiss	Extreme Wärmebelastung

1.3 Lokstadt Winterthur: Beschreibung der Ausgangslage

Lokstadt Winterthur

Mit der Lokstadt entsteht in den kommenden Jahren ein neues, urbanes Quartier in zentraler Lage, mit einem Ensemble aus Gebäuden und Plätzen. Vielfältig, bunt und nachhaltig soll es sein und ein Miteinander von Wohnen, Arbeiten und Freizeit mit kurzen Wegen ermöglichen. Dabei wird eine hohe städtebauliche Dichte angestrebt, während grosszügige, urbane und gut gestaltete öffentliche Räume für genügend Ausgleich sorgen sollen. Öffentliche Plätze werden zu Orten der Begegnung und des Aufenthalts. Den Anwohnern, Passanten und Gästen stehen künftig Sport- und Freizeitangebote, Einkaufsmöglichkeiten, kulturelle Nutzungen sowie Gastronomie und Hotellerie zur Verfügung. Das neue Stadtquartier setzt auf Diversität mit einem vielfältigen Wohnungsangebot. Mit einem Mix aus Mietwohnungen, Genossenschaften, Studentenwohnen, Stockwerkeigentum und Stadthäusern soll für alle Bevölkerungsschichten das Passende dabei sein. Das Thema Nachhaltigkeit wird gross geschrieben. So verpflichtet der Gestaltungsplan das Areal nach den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft zu realisieren. So entsprechen die Gebäudehüllen den heutigen Standards und einzelne Gebäude werden beispielsweise in Holzständerbauweise geplant und gebaut. Darüber hinaus werden mehrheitlich Dachflächen mit PV-Anlagen zur Energiegewinnung genutzt sowie extensiv begrünt sein.

Den Wettbewerb der Testplanung konnten damals die Architekten Gigon/Guyer in Zusammenarbeit mit Vogt Landschaftsarchitekten für sich entscheiden. Renommierte Architekturbüros wie beispielsweise EM2N, Gigon/Guyer, Baumberger + Stegmeier sowie KilgaPopp Architekten planen und bauen die verschiedenen Gebäude, während Vogt Landschaftsarchitekten für die Gestaltung des öffentlichen Raums verantwortlich ist.

Öffentliche Räume

Das neue Areal der Lokstadt entsteht im Zentrum von Winterthur und wird im Norden durch die „Zürcherstrasse“, im Osten durch den „Katharina-Sulzer-Platz“, im Süden durch die Strasse „Zur Kesselschmiede“ und im Westen durch die „Jägerstrasse“ eingerahmt. An zentraler Stelle in der Lokstadt ist der Dialogplatz. Der längliche, grosszügige Platz mit 6.000 m² Fläche ist städtischer Freiraum und belebter Knotenpunkt in einem. Er ist von drei Seiten zugänglich, über die Emil-Krebs-Strasse, die Robert-Sulzer-Strasse und die Charles-Brown-Gasse. Ein dichtes Baumdach, bestehend aus Baumkronen von über 150 Einzelbäumen, ist markantes Merkmal des öffentlichen Raums und spendet Schatten an heissen Sommertagen. Die Oberflächen sind in Teilen asphaltiert sowie chaussiert. Sitzmöglichkeiten und Aussengastronomien laden zur Begegnung und



Abb. 3: Lokstadt Winterthur: Situationsplan / Ausgangslage

zum Verweilen ein. Auch die weiteren öffentlichen Räume weisen mit dem vorliegenden Planungsstand bereits eine hohe Aufenthalts- und vielfältige Nutzungsqualität vor. Das Verkehrsaufkommen sowie die Stellplätze sind auf ein Minimum reduziert. Vielmehr sollen Passanten und Velofahrer im Vordergrund stehen. In den Gassen sollen unter dem Namen „flexible Zone“ Bereiche für den Aufenthalt geschaffen werden. Sie grenzen sich in der Ausgestaltung mit Hecken, kleinen Baumgruppen, begrünten Gartenbändern und chaussierten Oberflächen von den Bewegungsräumen ab. Eine entsprechende Gestaltung soll

es in der Emil-Krebs-Strasse und in der Robert-Sulzer-Strasse geben. An den Schnittstellen zu den angrenzenden Arealen sollen sogenannte „Eingangsplätze“ räumlich vermitteln, wie etwa an der Zürcherstrasse, an der Jägerstrasse sowie am „Drehscheibenplatz“. Sie fungieren kleine Pocket-parks und sind mit Baumgruppen und chaussierten Flächen gestaltet und laden Passanten zum kurzen Aufenthalt und Verweilen ein. Insgesamt wird aufgrund der hohen städtebaulichen Dichte der Gestaltung des öffentlichen Freiraums eine grosse Bedeutung beigemessen.

Bausteine Lokstadt

Wo heute die Lokstadt entsteht, befanden sich einst die Werkshallen der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik (SLM). Ein Teil der Gebäude - die auch unter Denkmalschutz stehen - bleibt erhalten. Sie werden in den neuen Kontext eingebunden, während neue Bausteine das städtebauliche Ensemble ergänzen. Die Kombination aus unterschiedlichen Gebäudetypologien werden künftig das Areal prägen: Blöcke, Langbauten, Stadthäuser, Hochpunkte und die erhaltenen und umgenutzten Hallenstrukturen. Dabei tragen die verschiedenen Gebäude die Namen von bekannten Lokomotiven aus früheren Zeiten, die zum Teil auch hier entstanden sind.

„Krokodil“ Das Gebäude ist das erste in der neuen Lokstadt, was realisiert sein wird. Bezugsbereit ist es bereits ab Herbst 2020. Es umfasst über 250 Wohneinheiten und ist als Holzständerbauweise geplant und gebaut. Der 2.000 m² grosse Innenhof wird als grüne Oase gestaltet.

„Rocket“ Das Hochhaus wird fast 100 m Gebäudehöhe das weithin sichtbare Wahrzeichen der Lokstadt. Das Dachgeschoss wird öffentlich zugänglich sein. Der „Rocket“ ist zusammen mit dem Gebäude „Tigerli“ als Ensemble geplant.

„Tigerli“ Das Gebäude ist als Sockelbau konzipiert und ergänzt das Hochhaus „Rocket“. Es soll günstigeren Wohnraum bieten, unter anderem auch für Studenten. Der kleine Innenhof, abgeschirmt vom öffentlichen Raum, kann als grüne Oase gestaltet werden. Die Dachflächen bieten das Potenzial für eine klimawirksame Gestaltung und Nutzung durch die Bewohner der Gebäude.

„Stadthäuser“ Die Stadthäuser an der Jägerstrasse mit ihren historischen Fassaden eignen sich für individuelle Wohn- und Lebensformen. Die Dachflächen können von den Bewohnern genutzt werden und Teilbereiche bieten das Potenzial für eine klimawirksame Gestaltung.

„Bigboy“ und „Tender“ Das Gebäude „Bigboy“ mit circa 130 Mietwohnungen bildet mit einer Höhe von 50 m die Stirnseite des Dialogplatzes. Es vervollständigt zusammen mit den Gebäuden „Krokodil“ und „Rocket“ das Gebäude-Trio um den zentralen Stadtplatz. Der „Tender“ schliesst an den „Bigboy“ an. Beide sind architektonisch miteinander verbunden und bilden zusammen eine Einheit. Die Dachflächen des etwas niedrigeren Verbindungsbaus eignen sich für eine klimawirksame Gestaltung sowie Nutzung durch die Bewohner der beiden Gebäude.

„Habersack“ und „Rapide“ Die ehemaligen Produktionshallen werden vollständig erhalten bleiben und zusammen das gesellschaftliche Zentrum der Lokstadt bilden. Das Gebäude „Habersack“ soll künftig als Markthalle und als Co-Working-Space dienen, während im Gebäude „Rapide“ Hotellerie-Angebote unterkommen sollen. Die Gebäude sind denkmalgeschützt und bieten entsprechend wenig Potenzial für eine gestalterische, klimawirksame Anpassung. Möglicherweise kann aber die grosser Dachfläche von „Habersack“ genutzt werden.

„Elefant“ Der Gebäudekomplex umfasst mehrere Gebäude für die Nutzung für Büros und Dienstleistung. Teile der Fassade sind denkmalgeschützt und bleiben bestehen, während neue Baukörper das Ensemble ergänzen.

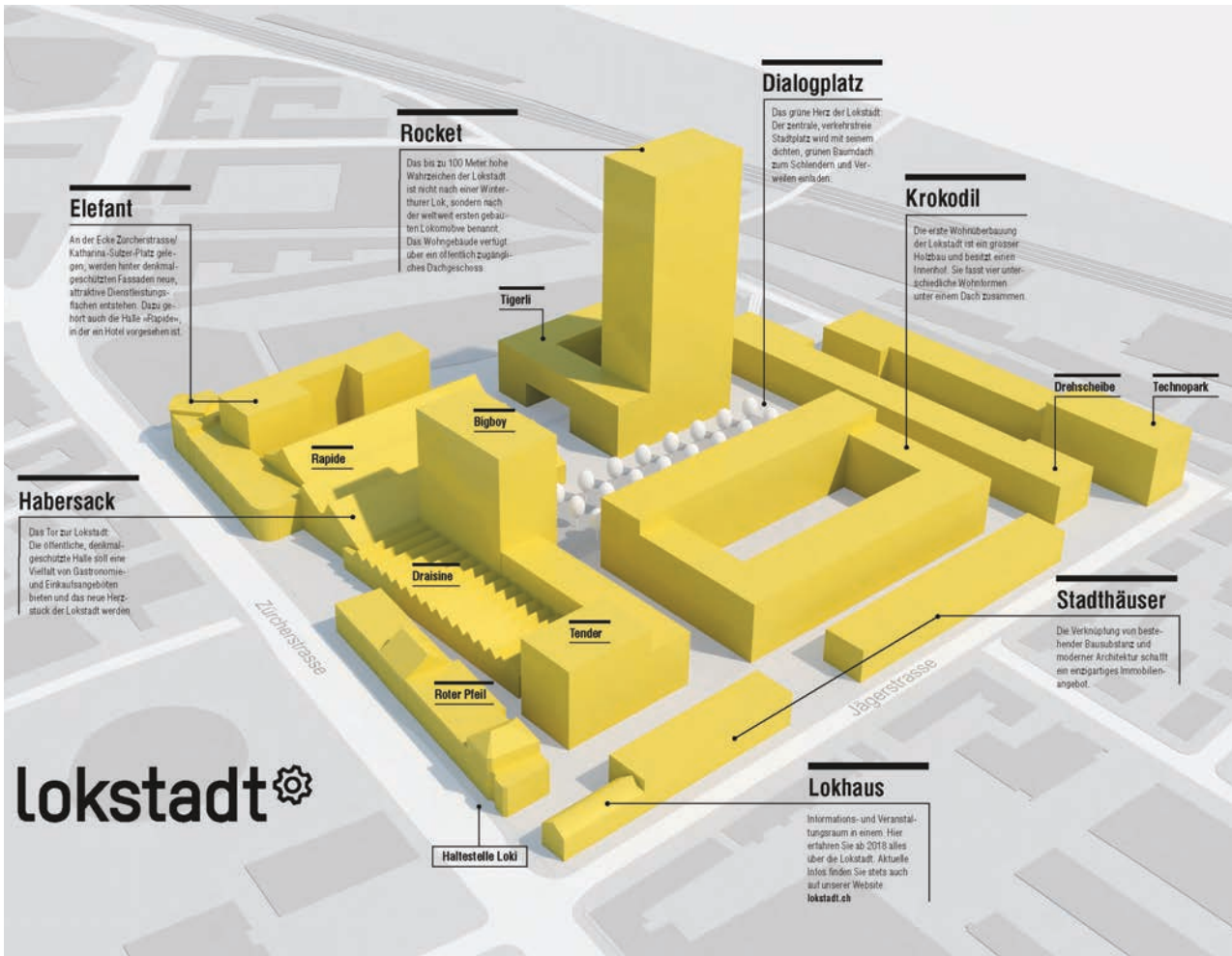


Abb. 4: Lokstadt Winterthur: Bausteine

„**Draisine**“ Die Sheddachhalle gehört zum historischen Erbe der Lokstadt. Neue, innovative Arbeitsformen und Startups finden dort künftig ihren Platz.

„**Lokhaus**“ Seit 2018 ist das Lokhaus Informations- und Veranstaltungsort in einem. Während der Planungs- und Realisierungszeit informieren Ausstellungen die Öffentlichkeit über den Transformationsprozess.

„**Roter Pfeil**“ Das historische Backsteingebäude an der Zürcherstrasse ist repräsentativer Vertreter der Lokstadt. Es dient als Zentrale für die Entwicklung des Areals.

„**Drehscheibe**“ und „**Technopark**“ Die beiden länglichen gewerblich genutzten Gebäude sind im südlichen Bereich des Areals der Lokstadt. Das Gebäude „Drehscheibe“ ist ein Büro- und Geschäftshaus mit rund 13.000 m² Nutzfläche, während im „Technopark“ innovative Unternehmen, Startups und Forschungsinstitute der ZHAW ihren Platz gefunden haben. Insbesondere das Bürohaus „Drehscheibe“ bietet mit seinen begehbaren Dachflächen noch Potenzial zur klimawirksamen Aufwertung, wie auch der zwischen den beiden Gebäuden liegende Hof.

1.4 Szenarien im Vergleich

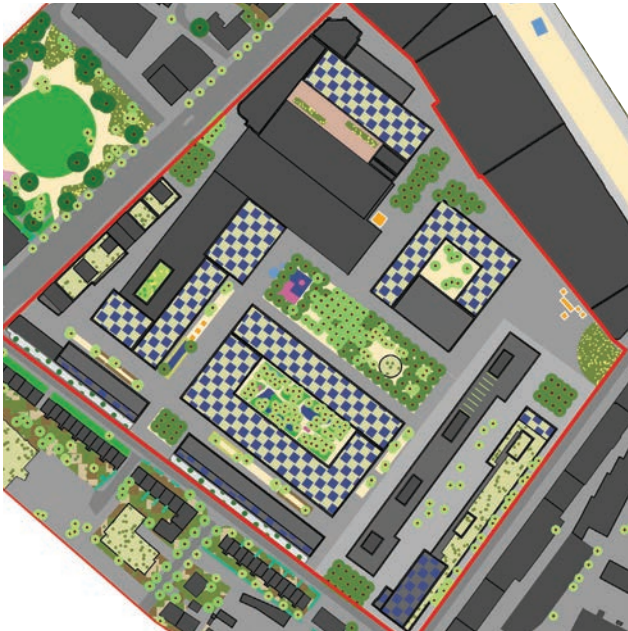


Abb. 4: Geodatenaufbereitung Szenario NULL

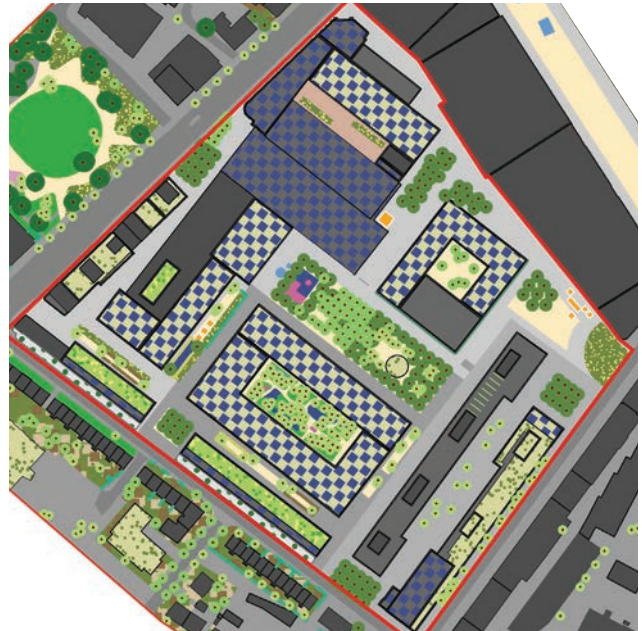


Abb. 5: Geodatenaufbereitung Szenario MIDI

SZENARIO NULL

Überblick

0

Das Szenario NULL basiert auf den bestehenden Planungen, die bereits einige für das lokale Klima positive Elemente bereithält.

Besonders markant sind dabei an zentraler Stelle der Dialogplatz sowie an den Rändern des Areals die Eingangsplätze an der Drehscheibe, der Zürcherstrasse und der Jägerstrasse, jeweils mit schattenspendenden Baumdächern. Auch Baumgruppen und einzelne Bäume sollten einen positiven Effekt auf das kleinräumige Klima haben. Darüber hinaus sind die Innenhöfe der Gebäude Tigerli und Krokodil sowie viele Aufenthaltsbereiche begrünt. Schmale Gartenbänder laufen entlang der wichtigsten Achsen und werden durch eine grüne Wiese an der Drehscheibe ergänzt. Einige Dächer sind teilweise extensiv begrünt und / oder mit PV-Anlagen ausgestattet.

SZENARIO MIDI

Überblick

Mi

Im Szenario MIDI werden im Vergleich zum Szenario NULL einige zusätzliche Massnahmen zur Klimaanpassung ergänzt.

Dazu wird am Eingangsplatz an der Drehscheibe eine Baumgruppe vorgeschlagen und anstelle von der geplanten durchgängigen Asphaltfläche in Teilbereichen eine helle Chaussierung geschaffen. Im Norden, Nordwesten und Nordosten ersetzt aufgehellter Sickerasphalt den bisherigen dunklen Asphalt. In der Emil-Krebs-Gasse sowie der Ernst-Jung-Gasse werden die Gartenbänder breiter angelegt und ermöglichen so mehr Grün im öffentlichen Raum und eine Teilentsiegelung der Oberflächen. Auf den bisher blanken Sheddächern der Hallenstruktur des Gebäudes „Häbersack“ im nördlichen Teil der Lokstadt werden PV-Anlagen ergänzt.



Abb. 6: Geodatenaufbereitung Szenario MAX

Legende

- Baumscheibe - klein
- Baumscheibe - mittel
- Baumscheibe - gross
- Hecken
- Fassadenbegrünung
- Schwarzasphalt, Strasse
- Schwarzasphalt, Gehweg
- heller Sickerasphalt
- chausierte Fläche
- Pflasterung
- Wiese, Buschwerk, Stauden
- Wiese
- Spielfläche, Sand
- Spielfläche, Möblierung
- Spielfläche, Tartan
- Wasserfläche
- Pergola
- Sonnenschutz
- Dachfläche, unbegrünt
- Dachterrasse
- Dachfläche, mit PV
- Dachfläche, extensiv begrünt
- Dachfläche, extensiv begrünt, mit PV
- Dachfläche, intensiv begrünt
- Dachgarten
- blaugrünes Dach

ohne Massstab

SZENARIO MAX

Überblick



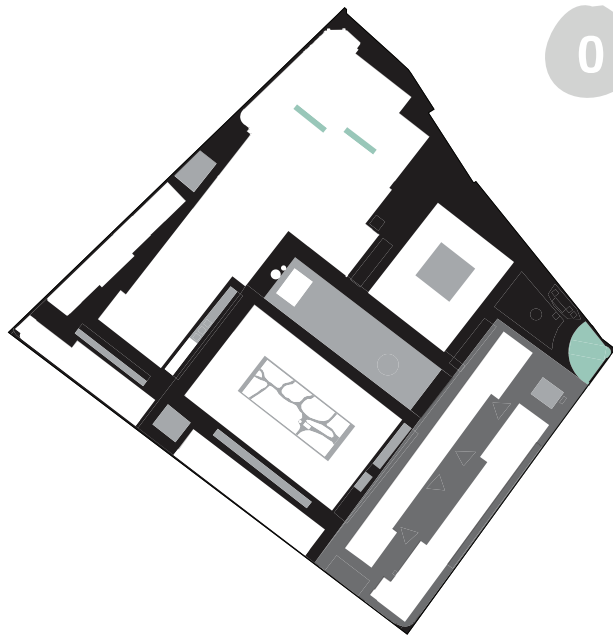
Das Szenario MAX lotet nahezu das Maximum an möglichen Massnahmen für die Lokstadt aus.

In der Robert-Sulzer-Strasse sowie in der Ernst-Jung-Strasse werden weitere Baumreihen vorgeschlagen. An der Drehscheibe wird die Baumgruppe vergrössert und durch eine begrünte Pergola sowie ein Wasserspiel ergänzt. Im öffentlichen Raum sind nun Asphaltflächen mit hellem Sickerasphalt versehen. Das Geschäftshaus an der Drehscheibe erhält Sonnensegel im Innenhof sowie eine Verschattung der Dachflächen durch Pergolen. Blaugüne Dächer bzw. Dachgärten entstehen auf dem Verbindungsbau zwischen Tender und Big Boy und dem Tigerli. Auf den Gebäuden und im Freiraum werden an geeigneten Stellen Pergolen und Sonnensegel ergänzt. Darüber hinaus werden ausserdem alle südwestlich und südausgerichteten Fassaden begrünt.

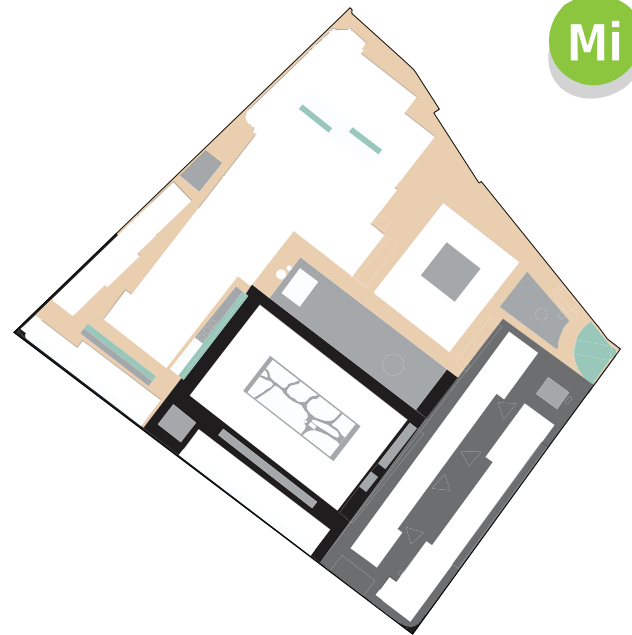
ZUSAMMENFASSUNG

Zum Vergleich der Wirkung zusätzlicher Massnahmen zur Klimaanpassung werden drei unterschiedliche Szenarien untersucht: Das Szenario NULL beschäftigt sich mit dem gegenwärtigen Entwurf. Dieser verfügt bereits über klimatisch vorteilhafte Planungen und Elemente. Im Szenario MIDI werden kleinere Klimaoptimierungsmassnahmen hinzugefügt: Dach- und Freiraumbegrünung, Verschattung durch Bäume, Pergolen und Sonnensegel, Massnahmen zur Bodenaufhellung und Bodenentsiegelung sowie PV-Flächen. Das Szenario MAX zeichnet sich durch seine ausgeprägte Klimaoptimierungsmassnahmen aus: weitere Dach- und Freiraumbegrünung mit Verschattung durch Baumgruppen, ein zusätzliches Wasserelement, grünblaue Dächer in einigen Bereichen und eine konsequente Fassadenbegrünung sowie Fassadenaufhellung.

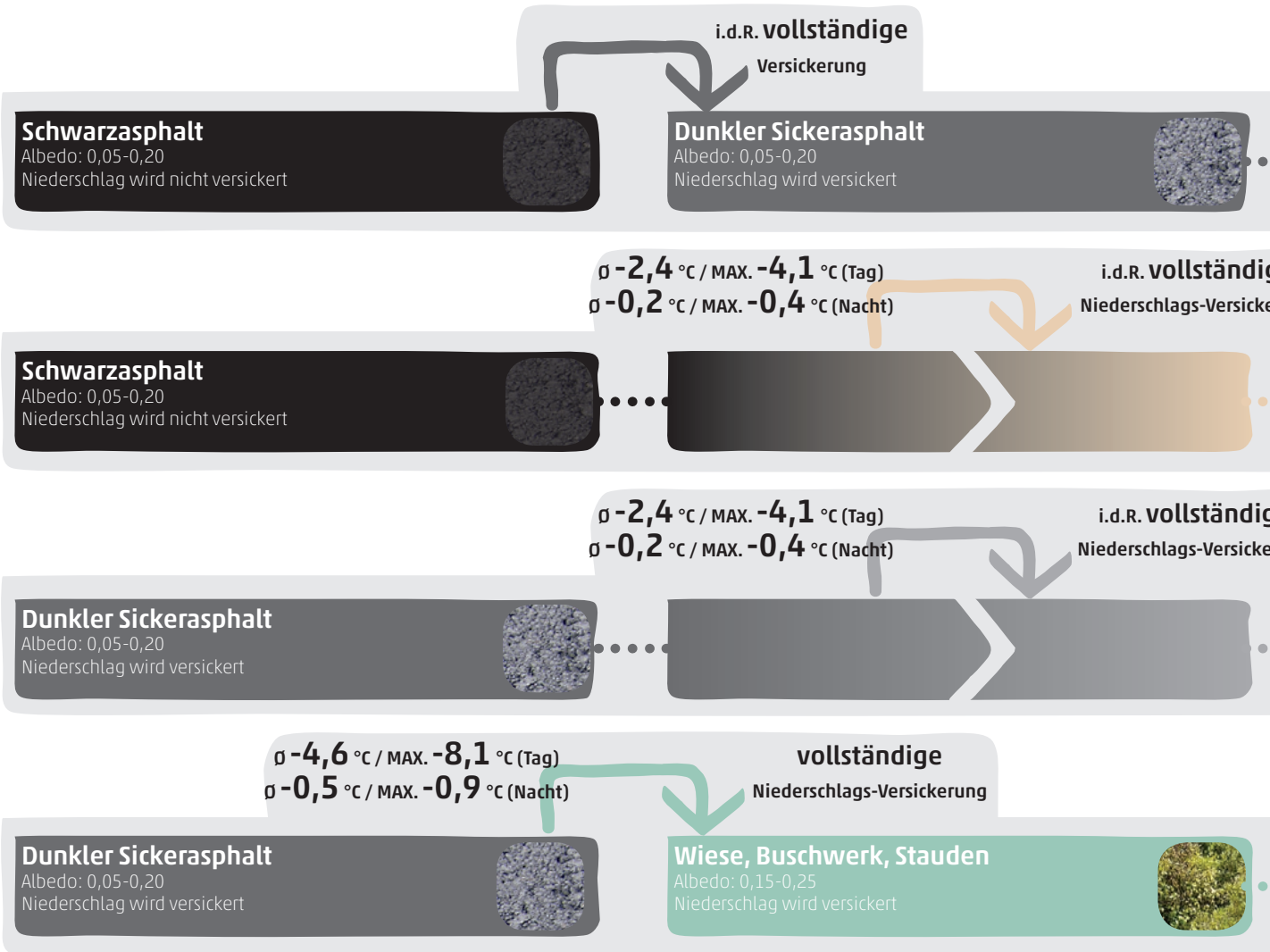
Szenarien & Elemente im Vergleich: Bodenoberflächen



0

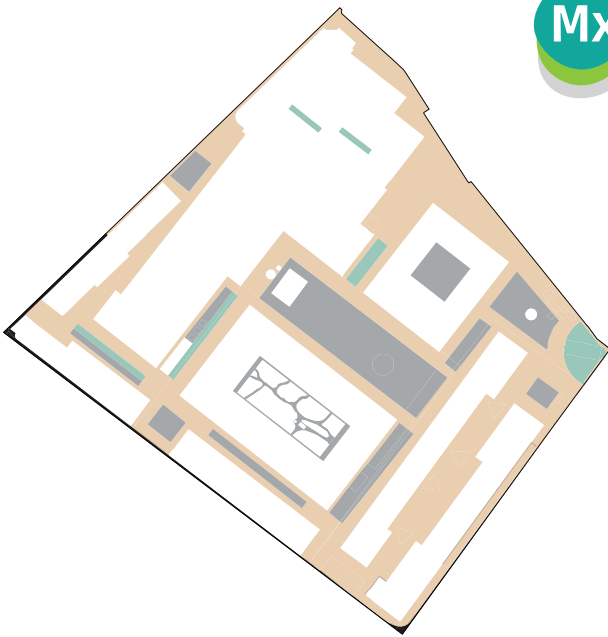


Mi







SZENARIO NULL

SZENARIO MIDI

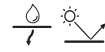


Legende stadtklimatischer begünstigender Effekte

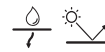
-  Bodenbelag lässt Niederschlag versickern
-  Bodenbelag reflektiert Sonnenstrahlung effektiver
-  Bodenbelag lässt Wasser (besser) verdunsten
-  Bodenbelag wirkt verschattend



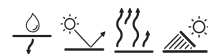
Dunkler Sickerasphalt lässt (anders als Schwarzasphalt) Niederschlagswasser versickern, heizt sich aber ebenso stark auf. Dieser Belag ist uneingeschränkt barrierefrei.



Heller Sickerasphalt lässt Niederschlagswasser versickern und heizt sich im Vergleich zu Schwarzasphalt deutlich weniger auf. Dieser Belag ist uneingeschränkt barrierefrei.




Chaussierte Flächen lassen Niederschlagswasser versickern und heizen sich geringer aus als Schwarzasphalt. Sie sind nicht uneingeschränkt barrierefrei.



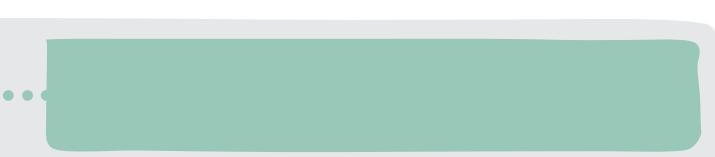
Oberflächen mit Wiesen, Buschwerk und Stauden begünstigen lokale Versickerung und Verdunstung von Wasser, sind jedoch nicht als Aufenthaltsfläche geeignet. Ökologisch betrachtet stellen sie den wertvollsten Bodenbelag dar (jedoch mit deutlichen Unterschieden untereinander). Durch Verdunstung von Wasser und die natürliche Verschattung ist ein Abkühlungseffekt vorhanden und nahezu doppelt so hoch wie beispielsweise im Vergleich zu hellen Sickerasphalt-Flächen.



Heller Sickerasphalt
 Albedo: 0,47
 Niederschlag wird versickert

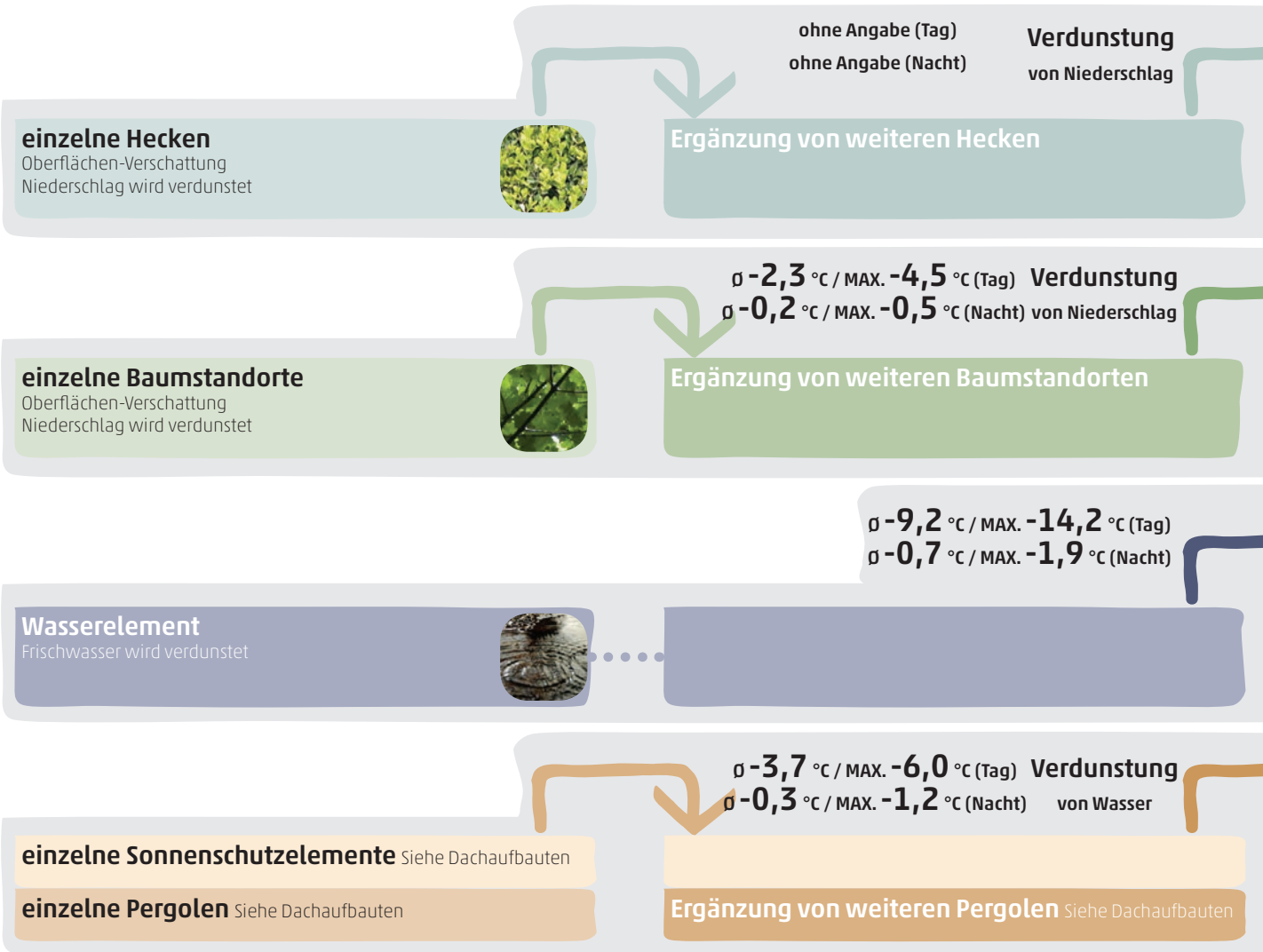
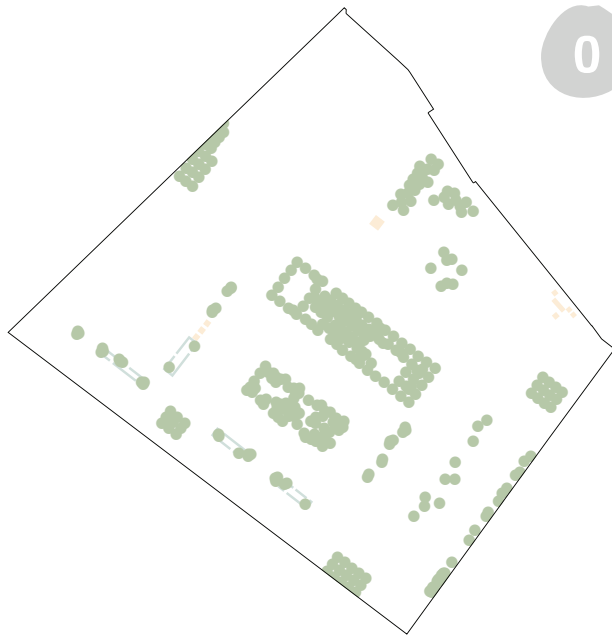


Chaussierung
 Albedo: 0,55-0,65
 Niederschlag wird versickert

SZENARIO MAX

Szenarien & Elemente im Vergleich: Grün- und Freiraumgestaltung



SZENARIO NULL

SZENARIO MIDI



Maximierung der Anzahl der Hecken

Maximierung der Anzahl der Baumstandorte

Verdunstung
von Wasser


Ergänzung durch weiteres Wasserelement

Einbindung v. Sonnenschutzelementen s. Dachaufbauten

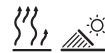
Maximierung der Anzahl der Pergolen Siehe Dachaufbauten

SZENARIO MAX

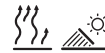
Legende stadtklimatischer begünstigender Effekte

 Element wirkt verschattend

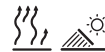
 Element lässt Wasser (besser) verdunsten



Hecken dienen wie begrünte Böden, Dächer und Bäume der Reduzierung von Hitze und der lokalen Verdunstung von Niederschlägen. Sie besitzen eine Verschattungsfunktion, ihr Effekt ist aufgrund ihrer Größe allerdings geringer als bei Bäumen. Sie können zur natürlichen Gliederung und Abgrenzung von Freiräumen verwendet werden.



Wichtige Eigenschaften von Bäumen sind die Verschattungsfunktion sowie die Entstehung von Verdunstungskühle. Bäume nehmen CO₂ und andere Treibhausgase auf und versorgen im Gegenzug die Umwelt mit Sauerstoff. Insbesondere dichtbewachsene Bereiche lassen regelrecht Baumdächer entstehen und erzielen einen grossen Effekt. Ein weiterer Aspekt ist der Lichteinfall in den Wintermonaten, wenn Bäume ihre Blätter verloren haben.



Tagsüber stellen bewegte Wasserelemente eine effektive Massnahme im Freiraum in Bezug auf die Abkühlung dar, benötigen aber in den meisten Fällen Frischwasser und eignen sich hauptsächlich als punktuelle Elemente. In den Nachtstunden kehrt sich in der Regel der Effekt um, indem Wasser als Wärmespeicher fungiert, wenn die Lufttemperatur geringer ist als die Wassertemperatur.



(Siehe →Aufbauten auf den Seiten 26/27)

Szenarien & Elemente im Vergleich: Fassaden



0

Mi

σ -4,8 °C / MAX. -6,6 °C (Tag)
 σ -1,3 °C / MAX. -1,7 °C (Nacht)

Verdunstung
 von Niederschlag

Standardfassade

Unterschiedlich niedrige Albedo-Werte



σ -4,8 °C / MAX. -6,6 °C (Tag)
 σ -1,3 °C / MAX. -1,7 °C (Nacht)

Standardfassade

Unterschiedlich niedrige Albedo-Werte



σ -1,0 °C / MAX. -1,8 °C (Tag)
 σ -0,1 °C / MAX. -0,2 °C (Nacht)

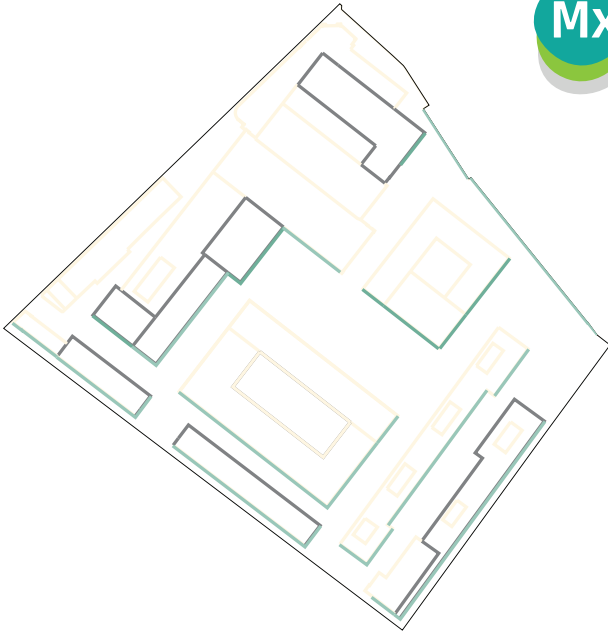
Standardfassade

Unterschiedlich niedrige Albedo-Werte



SZENARIO NULL

SZENARIO MIDI



Bodengebundene Fassadenbegrünung

Verschattung der Fassaden
Verdunstung von Feuchtigkeit



Verdunstung von Feuchtigkeit

Fassadengebundene Fassadenbegrünung

Verschattung der Fassaden
Verdunstung von Feuchtigkeit




Helle Fassade, z.B. helle Holzfassade


Unterschiedlich hohe Albedo-Werte

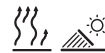


Legende stadtklimatischer begünstigender Effekte

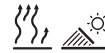
 Fassade reflektiert Sonnenstrahlung effektiver

 Fassade lässt Wasser verdunsten

 Fassade wirkt verschattend



Begrünte Fassaden leisten einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des Stadtklima. Zwar ist die Senkung der Lufttemperatur kaum modellierbar aufgrund der geringen räumlichen Tiefe, allerdings hat eine Fassadenbegrünung einen positiven Effekt auf das Innenraumklima. Eine bodengebundene Begrünung bezieht für den Wachstums das notwendige Wasser aus dem Boden, und wächst mit der Zeit an der Fassade empor. Maximal 20 Meter Fassadenhöhe können auf diese begrünt werden.

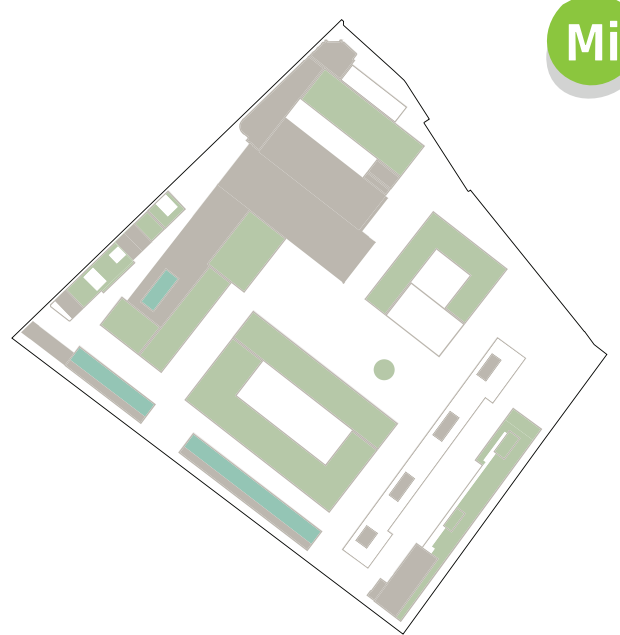
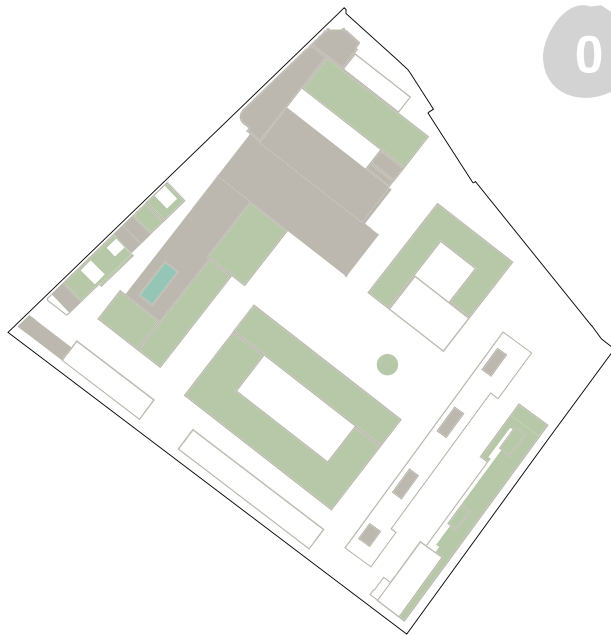


Begrünte Fassaden leisten einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des Stadtklima. Zwar ist die Senkung der Lufttemperatur kaum modellierbar aufgrund der geringen räumlichen Tiefe, allerdings hat eine Fassadenbegrünung einen positiven Effekt auf das Innenraumklima. Eine fassadengebundene Begrünung ist konstruktiv / architektonisch aufwendiger als eine bodengebundene und muss in der Regel bewässert werden, ist aber dafür in der Höhe weniger eingeschränkt.



Helle Fassaden sowie Holzfassaden strahlen deutlich mehr Sonnenlicht ab als herkömmliche dunkle bzw. verglaste Fassaden. Insbesondere Fassaden aus Holz bieten darüber hinaus relativ gute Dämmeigenschaften.

Szenarien & Elemente im Vergleich: Dachflächen



σ -0,8 °C / MAX. -1,5 °C (Tag)
 σ -0,8 °C / MAX. -1,1 °C (Nacht)

Verdunstung
 von Niederschlag

Konventionelles Dach

Unterschiedlich niedrige Albedo-Werte
 Niederschlag wird ins Abwasser abgeleitet



Extensive Dachbegrünung

Albedo: ca. 0,15-0,25
 Niederschlag wird verdunstet



σ -1,0 °C / MAX. -1,8 °C (Tag)
 σ -0,1 °C / MAX. -0,2 °C (Nacht)

Verdunstung
 von Niederschlag

Konventionelles Dach

Unterschiedlich niedrige Albedo-Werte
 Niederschlag wird ins Abwasser abgeleitet



begrünte Dachterrasse

Albedo: ca. 0,15-0,25
 Niederschlag wird verdunstet und teils abgeleitet



σ -1,0 °C / MAX. -1,8 °C (Tag)
 σ -0,1 °C / MAX. -0,2 °C (Nacht)

Extensive Dachbegrünung

Albedo: ca. 0,15-0,25
 Niederschlag wird verdunstet



σ -3,1 °C / MAX. -6,6 °C (Tag)
 σ -0,3 °C / MAX. -0,4 °C (Nacht)

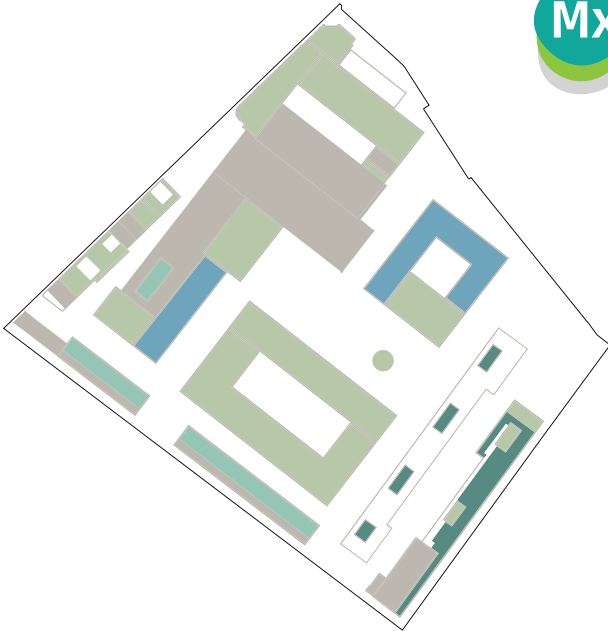
Extensive Dachbegrünung

Albedo: ca. 0,15-0,25
 Niederschlag wird verdunstet





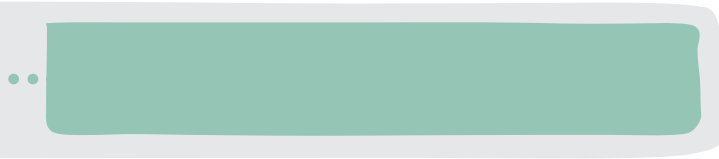
SZENARIO NULL

SZENARIO MIDI




Legende stadtklimatischer begünstigender Effekte

-  Dachoberfläche wirkt verschattend
-  Dachoberfläche lässt Wasser (besser) verdunsten




Verdunstung von Niederschlag

Intensive Dachbegrünung
 Albedo: ca. 0,15-0,25
 Niederschlag wird verdunstet



Verdunstung von Niederschlag

Blaugrünes Dach
 Albedo: ca. 0,15-0,25
 Niederschlag wird verdunstet



SZENARIO MAX



Extensiv begrünte Dächer sorgen dafür, dass sich Dachflächen nicht zu stark aufheizen. Sie halten Niederschlagswasser zurück, wodurch Verdunstungskühle entsteht und die Temperatur gesenkt werden kann. Weitere positive Aspekte sind die Absorption von Schadstoffen aus der Luft sowie die Pufferfunktion, was dem Innenraumklima zugute kommt. Desweiteren ist der Unterhaltsaufwand sehr gering.



Bei begrünten Dachterrassen gibt es Grünbereiche und Aufenthaltsbereiche gleichermaßen. Insbesondere die begrünten Bereiche heizen sich weniger stark auf, halten Teile des Niederschlagswasser zurück, wodurch Verdunstungskühle entstehen kann. Der Unterhaltsaufwand ist aber im Vergleich zu extensiver Begrünung deutlich höher.

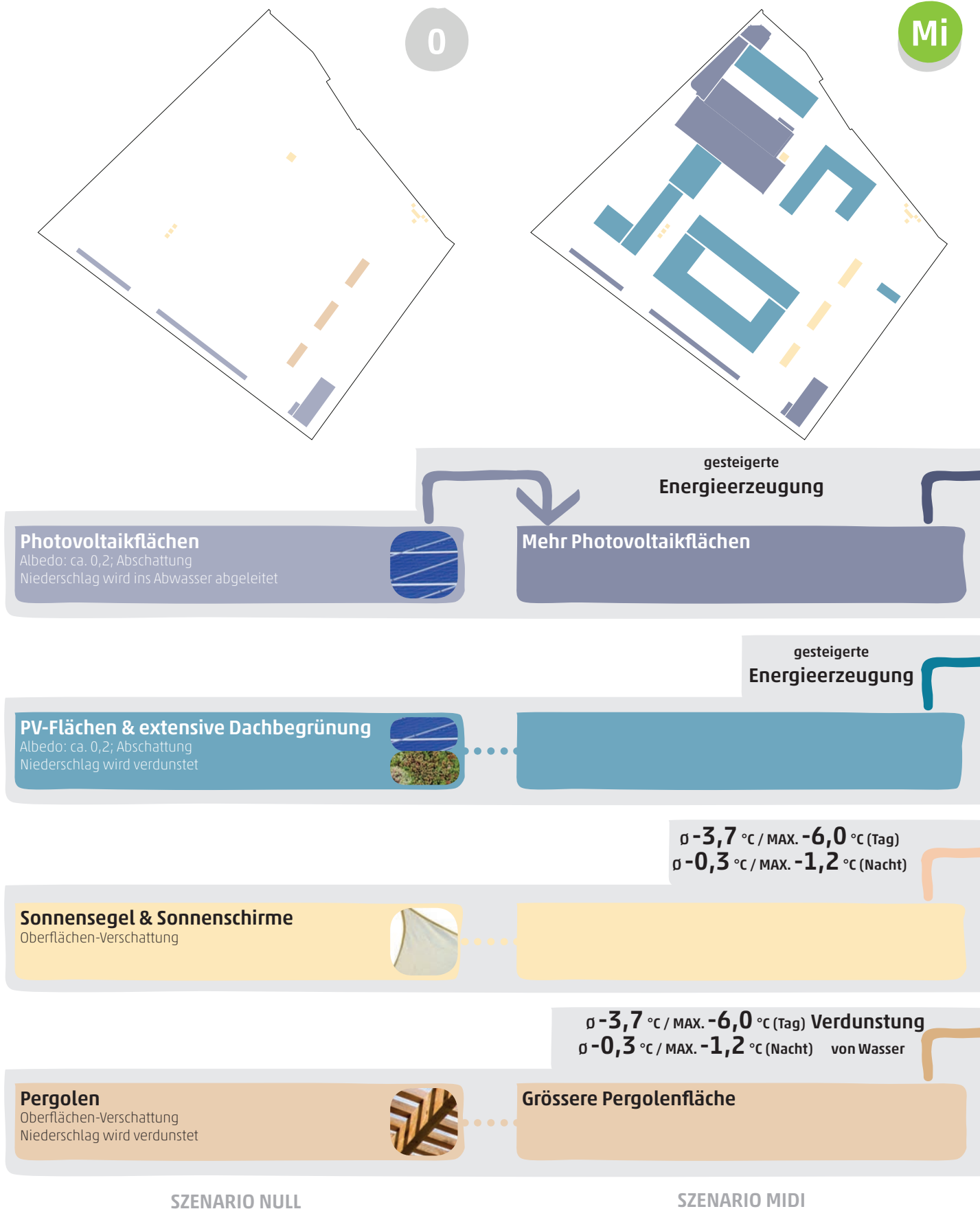


Intensiv begrünte Dächer sorgen dafür, dass sich Dachflächen noch weniger stark aufheizen als bei extensiver Begrünung. Sie halten Niederschlagswasser zurück, wodurch Verdunstungskühle entsteht und die Temperatur gesenkt werden kann. Weitere positive Aspekte sind die stärkere Absorption von Schadstoffen aus der Luft sowie die Pufferfunktion, was dem Innenraumklima zugute kommt. Allerdings ist der Unterhaltsaufwand im Vergleich zu extensiver Begrünung deutlich höher.



Blaugüne Dächer sind intensiv begrünte Dächer mit Wasserelementen. Sie stellen - zumindest tagsüber - die effektivste Gründachlösung dar. Sie speichern und verdunsten Niederschlagswasser und reduzieren damit Abwassereinträge auf ein Minimum. Darüber hinaus dienen sie als ausgeprägte natürliche Dämmung. Herausfordernd sind die erforderlichen grösseren statischen Aufwände, wegen des höheren Dachaufbaus.

Szenarien & Elemente im Vergleich: Aufbauten





Maximierung der Photovoltaikflächen




PV-Flächen & extensive Dachbegrünung
in grösserem Ausmass

Mehr Sonnensegel & Sonnenschirme

Maximierung der Pergolenfläche

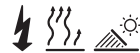
SZENARIO MAX

Legende stadtklimatischer begünstigender Effekte

-  Element wirkt verschattend
-  Element lässt Wasser (besser) verdunsten
-  Element erzeugt erneuerbare Energie



Aufgeständerte Photovoltaikmodule auf Dächern machen Sonnenenergie nutzbar und erzielen zudem einen Verschattungseffekt auf die darunterliegende Fläche. Von konventionelle Dächern mit PV-Flächen wird Niederschlagswasser ungenutzt und ohne Verzögerung ins Abwasser geleitet.



Extensiv begrünte Dächer mit aufgeständerten Photovoltaik-Elementen besitzen alle Vorzüge extensiv begrünter Dächer (Verdunstung und Speicherung von Niederschlägen, Kühlung) in Kombination mit den Vorteilen von Photovoltaik-Anlagen (Energieerzeugung). Darüber hinaus ergibt sich ein Synergieeffekt, da durch die Kühlung der PV-Anlagen deren Wirkungsgrad steigt.



Sonnensegel und -schirme sind eine flexible und einfache Variante der Beschattung und damit effektiven Kühlung von öffentlichen Freiräumen, Balkonen und Terrassen.



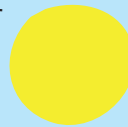
Pergolen funktionieren im öffentlichen Freiraum, auf Balkonen und Terrassen und können begrünt werden. Sie dienen der Verschattung, die begrünte Variante darüber hinaus auch der Verdunstung von Niederschlag und/oder Leitungswasser.

2.

Klimamodellierung

Das folgende Kapitel widmet sich den Ergebnissen der Klimasimulation. Analysiert werden:

Die **Tagsituation**, d.h. die Temperatur am durchschnittlich wärmsten Zeitpunkt des Tages, um 14.00 Uhr.



Modelliert wurde dabei einerseits die physiologisch Äquivalente Temperatur (PET)...
...2 m über Grund (bodennaher Bereich)
...2 m über Oberfläche (über Boden und Dach)

Sowie andererseits die Lufttemperatur...
... 2 m über Grund (bodennaher Bereich)
... 2 m über Oberfläche (über Boden und Dach).

Die **Nachtsituation**, d.h. die Temperatur zum durchschnittlich kühlestem Zeitpunkt der Nacht, um 04.00 Uhr.



Modelliert wurde dabei die Lufttemperatur...
... 2 m über Grund (bodennaher Bereich)
... 2 m über Oberfläche (über Boden und Dach)



2.1 Tagsituation: PET über Oberfläche

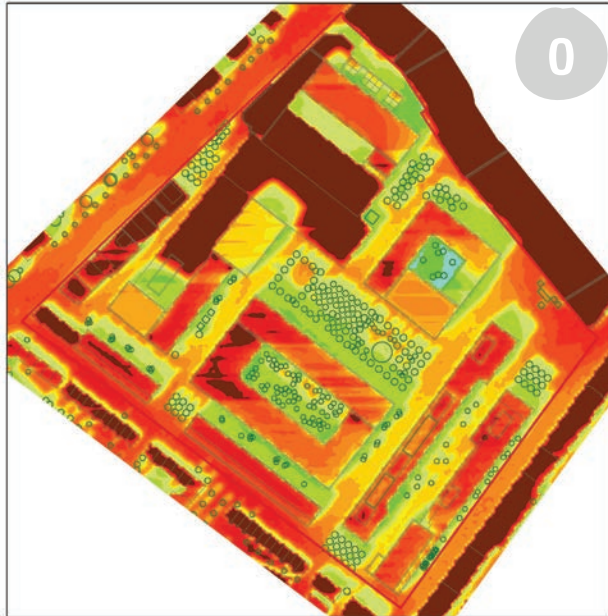


Abb. 12: Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche in Szenario NULL

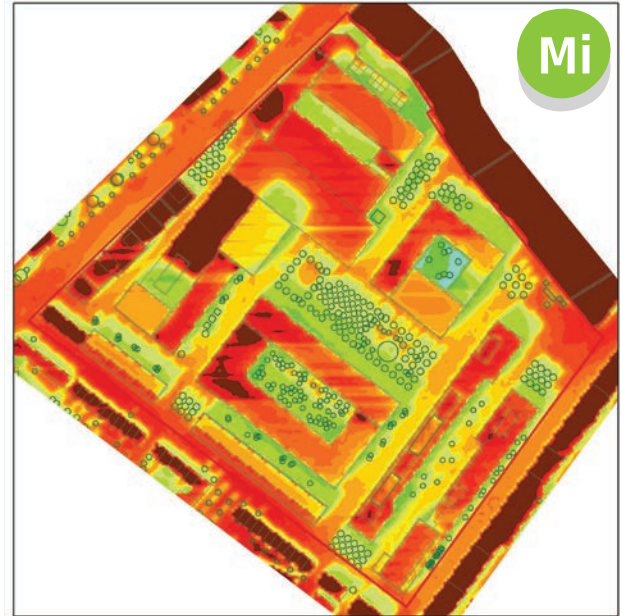


Abb. 13: Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche in Szenario MIDI

NULL → MIDI

Das Szenario NULL
ist Grundlage für
beide Vergleiche

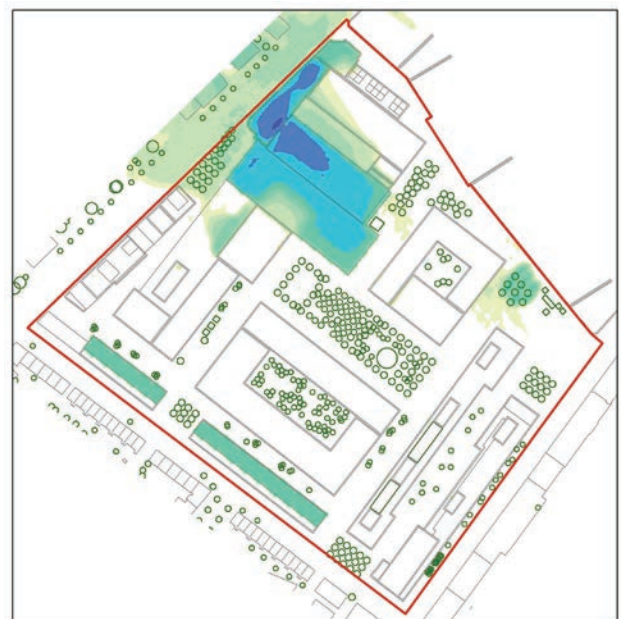
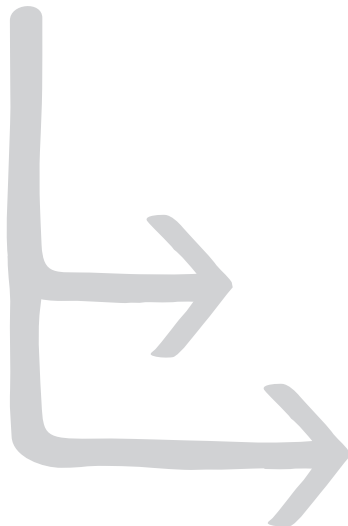
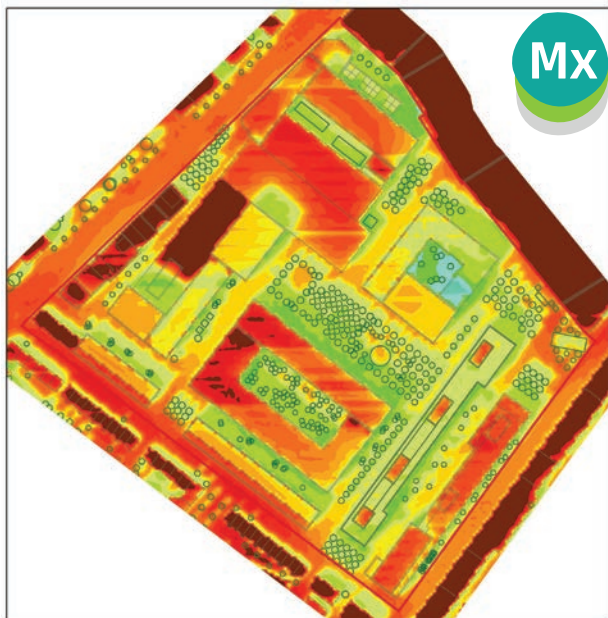


Abb. 15: Unterschiede der Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche zwischen den Szenarien NULL und MIDI



- Gebäude
- Beschattung (Bäume, Pergolen)

Lufttemperatur um 14.00 Uhr
2 m über Oberfläche, in °C

- Keine Wärmebelastung
 - < 23
- Schwache Wärmebelastung
 - 23 bis 25
 - 26 bis 28
- Mässige Wärmebelastung
 - 29 bis 31
 - 32 bis 34
- Starke Wärmebelastung
 - 35
 - 36
 - 37
- Sehr starke Wärmebelastung
 - 38
 - 39
 - 40
- Extreme Wärmebelastung
 - 41
 - 42

ohne Massstab

Abb. 14: Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche in Szenario MAX

NULL → MAX



- Gebäude
- Beschattung (Bäume, Pergolen)

Differenz PET (K)

- < -12,0
- 12,0 bis -10,0
- 10,0 bis -8,0
- 8,0 bis -6,0
- 6,0 bis -4,0
- 4,0 bis -2,0
- 2,0 bis -1,0
- 1,0 bis -0,5
- 0,5 bis -0,25
- 0,25 bis 0

ohne Massstab

Abb. 16: Unterschiede der Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche zwischen den Szenarien NULL und MAX

Tagsituation: PET über Oberfläche

Bewertung von Szenario NULL

0

Die PET kann als massgeblichen Parameter für die Einschätzung der Massnahmenwirkung auf die Wärmebelastung am Tage angesehen werden, wobei deren Ausprägung stark von der solaren Einstrahlung abhängig ist. Dies zeigt sich deutlich über den stark besonnten und unbegrüntem Dachflächen, über denen eine PET von mehr als 43 °C zu beobachten ist (Dunkelrot). Bei den Dachflächen mit PV-Anlagen über extensivem Dachgrün sind die Werte mit 38 °C bis 41 °C deutlich geringer ausgeprägt. Niedrigere Werte von 36 °C bis 38 °C sind beispielsweise unter den Pergolen auf der Dachterrasse des Drehscheibenhauses anzutreffen. Am Beispiel der Hochhäuser zeigt sich der Einfluss der Gebäudehöhe auf die Werteausprägung, die PET nimmt mit zunehmender Höhe ab (20 m Höhe: ca. 41 °C; 35 m Höhe: ca. 38 °C; 50 m Höhe: ca. 36 °C). Dies ist im Wesentlichen auf die mit der Höhe zunehmende Windgeschwindigkeit zurückzuführen, welche eine stärkere Verdunstungskühlung beim Menschen bewirkt. Im bodennahen Bereich in 2 m über Grund zeichnen sich die verschatteten Flächenanteile mit Werten von weniger als 35 °C ab, hier liegt lediglich eine mässige Wärmebelastung vor (Grün). Grundsätzlich ist das Modellgebiet durch einen hohen Grad an gebäudebedingter Verschattung gekennzeichnet. Aber auch die Baumgruppen im öffentlichen Raum tragen neben dem Schattenwurf durch ihre Verdunstungskühlung zu einer lokal hohen Aufenthaltsqualität bei. Allerdings weisen Teilbereiche des öffentlichen Raums eine hohe PET von mehr als 35 °C auf (Orange). Die Wärmebelastung am Tage ist an diesen Stellen als stark anzusehen.

Bewertung von Szenario MIDI

Mi

Dieses Szenario ist von einer Begrünung auf Dachniveau und Ausstattung mit PV-Anlagen geprägt. Darüber hinaus werden Massnahmen zur Freiraumbegrünung / Verschattung sowie Aufhellung und Entsiegelung der Bodenoberfläche umgesetzt. Die PET über Oberfläche im Szenario MIDI zeigt Abb. 13. Die PET der Dachfläche des Gebäudeteils ‚Rapide‘ senkt sich deutlich unter 43 °C. Noch grösser ist die Wirkung auf den Dachflächen der Stadthäuser, wo die Dachterrassen zu Dachgärten umgewandelt werden. Die PET sinkt hier von etwa 42 °C auf ca. 37 °C ab. Im ebenerdigen Bereich führt vor allem der Schattenwurf der Baumgruppe am Drehscheibenplatz zu einer lokalen Absenkung der Werte.

Vergleich der Szenarien NULL und MIDI

Die Differenzkarten machen die Massnahmenwirkung noch deutlicher und zeigen die Abweichung der Absolutwerte zwischen den Szenarien MIDI bzw. MAX gegenüber dem Szenario NULL. Wie sich in Abb. 15 zeigt, ist im Szenario MIDI ein flächenhafter Effekt vorwiegend im Dachniveau der Gebäudeteile Rapide / Habersack festzustellen. Die Grössenordnung der Abnahme beträgt hier 6 bis 8 °C. Es ist auch eine Wirkung über die Zürcherstrasse hinaus durch die Abkühlung der über das Dach streichenden Luft zu beobachten. Die Wirkung über den Dachgärten der Stadthäuser ist mit minus 4 bis 6 °C etwas geringer ausgeprägt. Im Bereich des Drehscheibenplatzes wird die Schattenwirkung der Baumgruppe sichtbar.

Bewertung von Szenario MAX



Das Szenario MAX implementiert weitere Massnahmen wie Grünblaue Dächer, Wasserelemente, Verschattung und aufgehellte bzw. begrünte Fassaden. In Abb. 14 treten insbesondere weitere Dachflächen mit nun deutlich abgesenkter PET hervor, insbesondere die Grünblauen Dächer von Tigerli und Tender. Der vom Gebäude Rocket verschattete Flächenanteil weist sogar eine geringe Wärmebelastung auf. Zudem ist unter der Pergola des Gebäudeteils Drehscheibe nun eine flächenhaft mässige Wärmebelastung anzutreffen. Im bodennahen Bereich ist insbesondere im Umfeld der Drehscheibe durch Verschattung und Aufhellung der Bodenoberfläche eine flächenhafte Wirkung zu beobachten.

Vergleich der Szenarien NULL und MAX

Im Szenario MAX zeigt sich deutlich die Wirkung der Massnahmen auf Dachniveau. Vor allem die Dachflächen im Bereich Rapide / Habersack treten mit Abnahmen von teilweise mehr als 10 °C gegenüber dem Szenario NULL hervor. Ein ähnlich starker Effekt ist auch unter der Pergola der Drehscheibe zu verzeichnen. Im bodennahen Bereich bewirkt die Gesamtheit der hier vorgesehenen Massnahmen vor allem im Umfeld des Drehscheiben-Gebäudes eine flächenhafte Abnahme der Wärmebelastung. Es zeigt sich, dass der grösste Beitrag von den Verschattungselementen ausgeht und damit die Wärmebelastung gegenüber dem Szenario MIDI auf ein mässiges Niveau abgesenkt werden kann.

Tagsituation: PET über Oberfläche - Bilanzierung

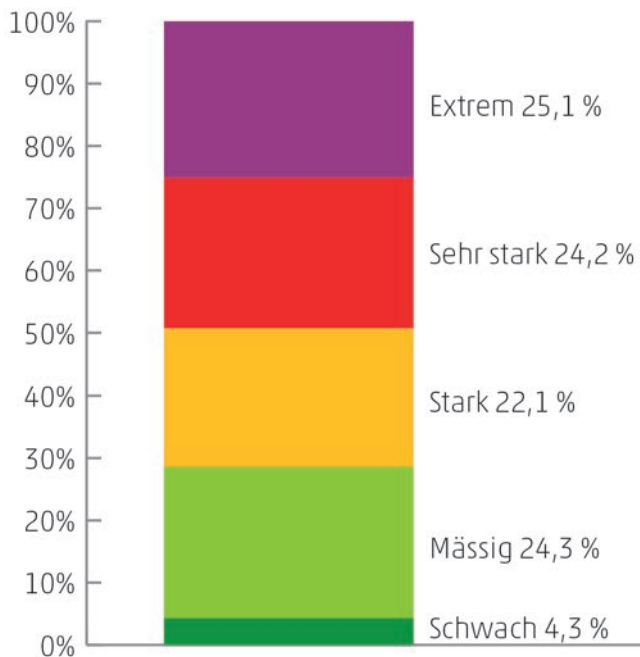


Abb. 17: Belastungsstufen PET ü. Oberfläche, prozentuale Verteilung, Tagsituation, Szenario NULL

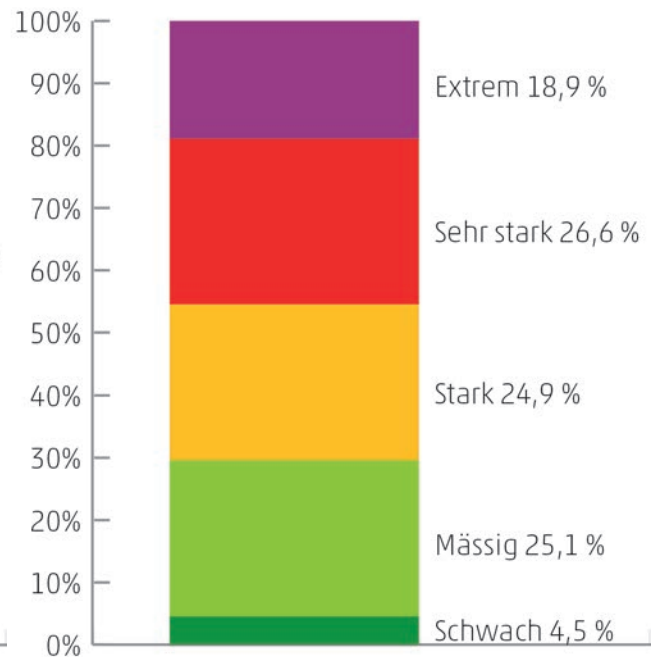


Abb. 18: Belastungsstufen PET ü. Oberfläche, prozentuale Verteilung, Tagsituation, Szenario MIDI

SZENARIO NULL

0

In der Ausgangssituation / in Szenario NULL liegt auf ca. 25 % der Fläche eine extreme Wärmebelastung vor (über 41°C, violett). Bereiche mit starker und sehr starker Belastung machen mit etwa 46 % einen hohen Flächenanteil aus (Orange/Rot). Grund dafür sind vor allem die unbegrüntedachflächen. Durch die Einbeziehung der Dachflächen in die Bilanz beträgt der Anteil von Areas mit hoher Aufenthaltsqualität nur 29 %.

SZENARIO MIDI

Mi

Die Differenzendarstellung der PET zwischen den Szenarien NULL und MIDI macht die flächenhafte Wirkung der Massnahmen deutlich: Der Anteil mit extremer Belastung sinkt gegenüber Szenario NULL um 6,2 %, während gleichzeitig der Anteil starker und sehr starker Belastung um 5,2 % zunimmt. Hier erfolgt also eine weitestgehende Verlagerung in die sich anschliessenden schwächeren Belastungskategorien. Lokal sinkt die PET im Dachniveau und bodennahen Bereich um bis zu 10 °C. Die Massnahmen wirken auch über die Zürcherstrasse hinaus durch die Abkühlung der über das Dach streichenden Luftmasse.

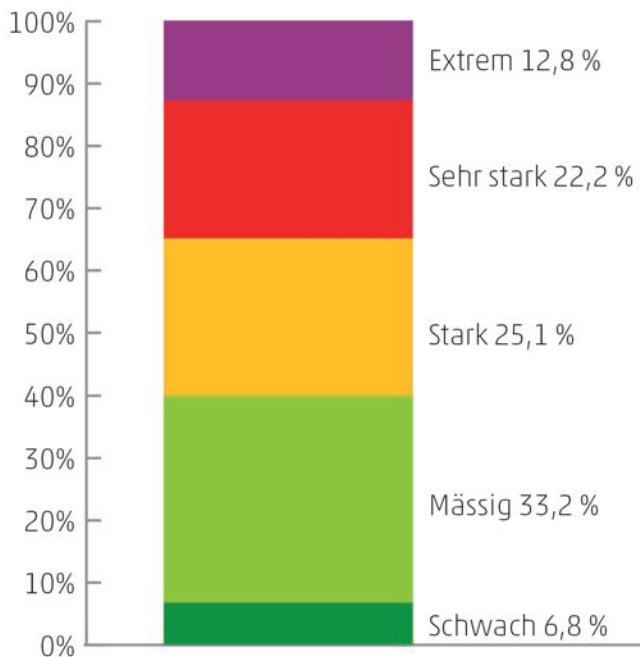


Abb. 19: Belastungsstufen PET ü. Oberfläche, prozentuale Verteilung, Tagsituation, Szenario MAX

SZENARIO MAX



Auf Dachniveau gibt es Abnahmen von bis zu 12 °C (PV-Anlagen mit extensiver Dachbegrünung) und 10 °C (umfassende Pergolenflächen). Bodennah gibt es Abnahmen von bis zu 8 °C durch die Entsiegelung und Pflanzung von weiteren Baumgruppen. Die Flächenbilanz weist durch unveränderte Dachstrukturen einen verbleibenden hohen Anteil extremer / sehr starker Belastung auf. Gleichzeitig steigt der Anteil von Flächen mit mässiger / schwacher Belastung signifikant - um 8,1 %-Punkte auf 33,2 %.

ÜBERBLICK & ZUSAMMENFASSUNG

Die Ausgangssituation bzw. das Szenario NULL weist mit 37,9 °C über das gesamte Plangebiet eine überdurchschnittlich hohe mittlere PET auf. Grund dafür sind vor allem auf die ausgedehnten unbegrünteren Dachflächen. Die MIDI-Massnahmen auf Dachniveau zeigen eine lokal starke Wirkung, haben aber wenig Einfluss auf den Freiraum mit Abnahme um 0,8 °C, bezogen auf das Gebietsmittel der PET. Im Szenario MAX konnte die flächendeckende PET insgesamt um 1,9 °C gesenkt werden. Insgesamt gesehen ist ein flächenhafter Einsatz von aufgeständerten PV-Anlagen auf den Dachflächen positiv zu beurteilen und kann einen wirksamen Beitrag zur Absenkung der Wärmebelastung leisten. Auf den Aussenraum haben sie jedoch keinen nennenswerten Klimaeffekt.

2.2 Tagsituation: Lufttemperatur über Oberfläche

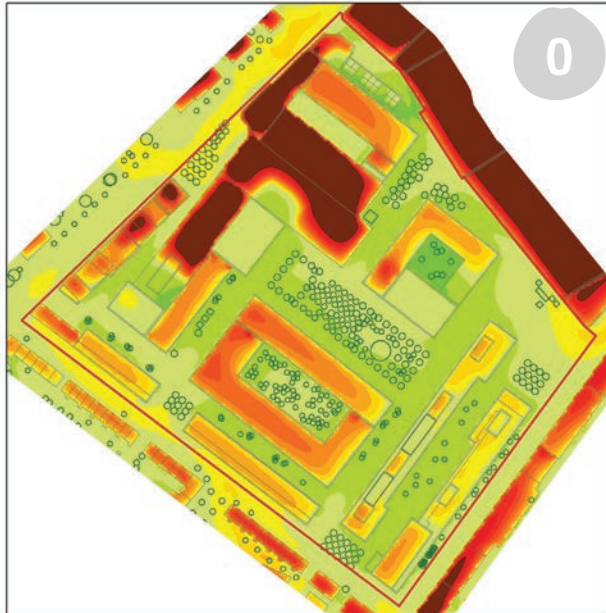


Abb. 20: Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche in Szenario NULL

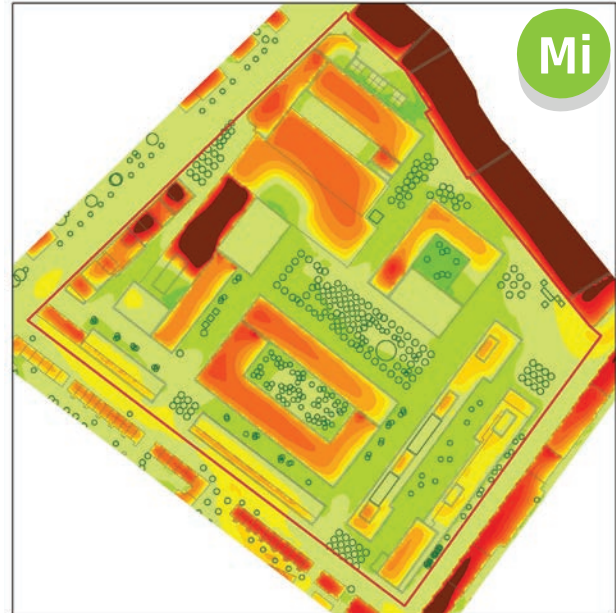


Abb. 21: Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche in Szenario MIDI

NULL → MIDI

Das Szenario NULL
ist Grundlage für
beide Vergleiche

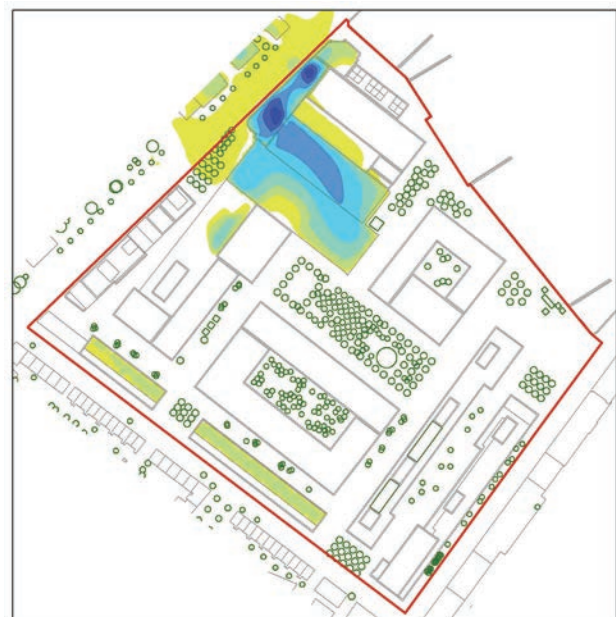
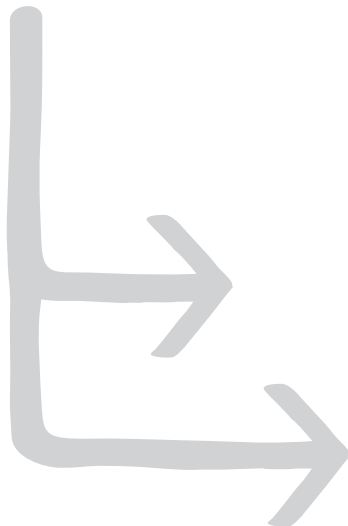
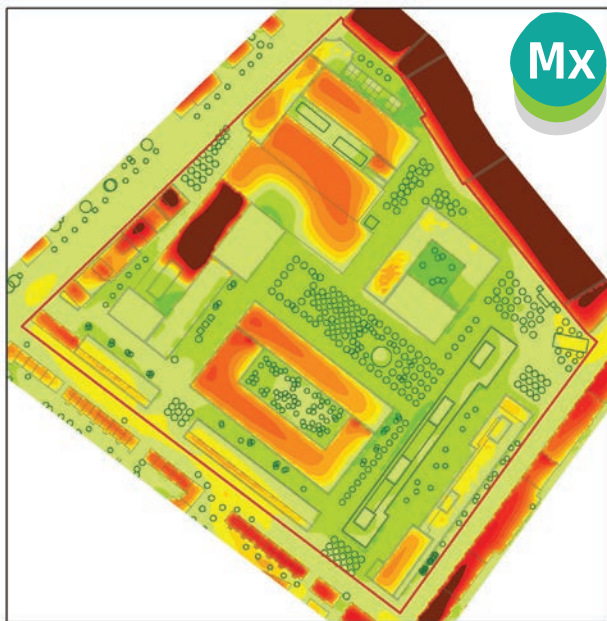


Abb. 23: Unterschiede der Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche zwischen den Szenarien NULL und MIDI



- ▭ Gebäude
- Beschattung (Bäume, Pergolen)

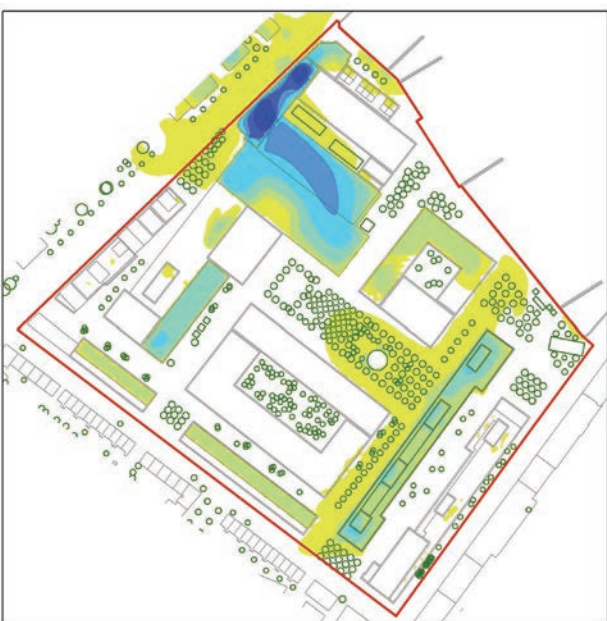
Lufttemperatur um 14.00 Uhr
2 m über Oberfläche, in °C

- Keine Wärmebelastung
 - < 23
- Schwache Wärmebelastung
 - 23 bis 25
 - 26 bis 28
- Mässige Wärmebelastung
 - 29 bis 31
 - 32 bis 34
- Starke Wärmebelastung
 - 35
 - 36
 - 37
- Sehr starke Wärmebelastung
 - 38
 - 39
 - 40
- Extreme Wärmebelastung
 - 41
 - 42

ohne Massstab

Abb. 22: Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche in Szenario MAX

NULL → MAX



- ▭ Gebäude
- Beschattung (Bäume, Pergolen)

Differenz PET (K)

- < -12
- 11,9 bis -10
- 9,9 bis -8
- 7,9 bis -6
- 5,9 bis -4
- 3,9 bis -2
- 1,9 bis -1
- 0,9 bis 0

ohne Massstab

Abb. 24: Unterschiede der Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche zwischen den Szenarien NULL und MAX

Tagsituation: Lufttemperatur über Oberfläche

Bewertung Szenario NULL

0

Die räumliche Verteilung der Lufttemperatur geht im Wesentlichen mit der PET einher, wobei sie weniger stark von der solaren Einstrahlung bzw. Schatten beeinflusst wird als die PET. Im Szenario NULL treten vergleichsweise niedrige Werte von 30 °C bis 32 °C bodennah im Innenhof auf, der durch einen Wechsel von besonnten und verschatteten Flächenanteilen charakterisiert ist (grüne Farben; (Abb. 20). Über den intensiv besonnten Dachflächen ist abhängig von der jeweiligen Oberflächenart ein breites Spektrum an Temperaturen anzutreffen. Während über den PV-Anlagen auf extensivem Gründach (z.B. „Tender“) oder Dachterrasse (Stadthäuser) Werte zwischen 37 °C bis 38°C auftreten, steigen sie über den konventionellen Dachflächen von Halle 53 und Draisine auf bis zu 49 °C an. Gleichzeitig kann eine mit der Höhe abnehmende Temperatur festgestellt werden, was sich an den Gebäudeteilen „Rocket“, „Bigboy“ und „Tender“ zeigt. Hier sind in 2 m über der Dachoberfläche Werte von weniger als 35 °C zu beobachten, was mit dem abnehmenden Einfluss im Energieumsatz der Stadtstruktur auf die Luftmasse zurückzuführen ist.

Bewertung Szenario MIDI

Mi

Die Situation im Szenario MIDI zeigt Abb. 21. Die beschriebenen Massnahmen im Dachniveau führen über den betreffenden Gebäuden auch zu einer Abnahme der Lufttemperatur („Habersack“, „Rapide“ sowie Stadthäuser), welche analog zur PET auch in die Zürcherstrasse einwirkt. Die übrigen Massnahmen bewirken allerdings keine nennenswerten Abnahmen darüber hinaus.

Vergleich der Szenarien NULL und MIDI

Die Differenz zwischen dem Szenario MIDI und NULL zeigt Abb. 23. Dabei zeigt sich entsprechend zur PET die stärkste Wirkung über den Dachflächen der Gebäudeteile „Habersack“ und „Draisine“. Die Wirkung über den Dachgärten der Stadthäuser ist mit $-1,8$ °C bis $2,3$ °C etwas geringer.

Bewertung Szenario MAX



Etwas ausgeprägter ist hingegen das Bild im Szenario MAX (Abb. 22). Hier führen insbesondere die Blaugrünen Dächer sowie die Pergola auf dem Drehscheiben-Gebäude zu einer deutlichen Reduktion der Lufttemperatur gegenüber dem Szenario NULL. Auch im bodennahen Bereich ist vor allem im Bereich Rocket/Drehscheiben-Haus ein Änderungssignal von knapp 2 °C zu beobachten.

Vergleich der Szenarien NULL und MAX

Im Szenario MAX ist eine Abnahme der Lufttemperatur vor allem über den Blaugrünen Dachflächen sowie unter der umfassenden Pergola des Drehscheiben-Hauses festzustellen (Abb. 24). Zudem wirken sich auch die zahlreichen ebenerdigen Massnahmen zur Verschattung, Aufhellung & Entsigelung absenkend auf die Lufttemperatur aus.

2.3 Nachtsituation: Lufttemperatur über Oberfläche

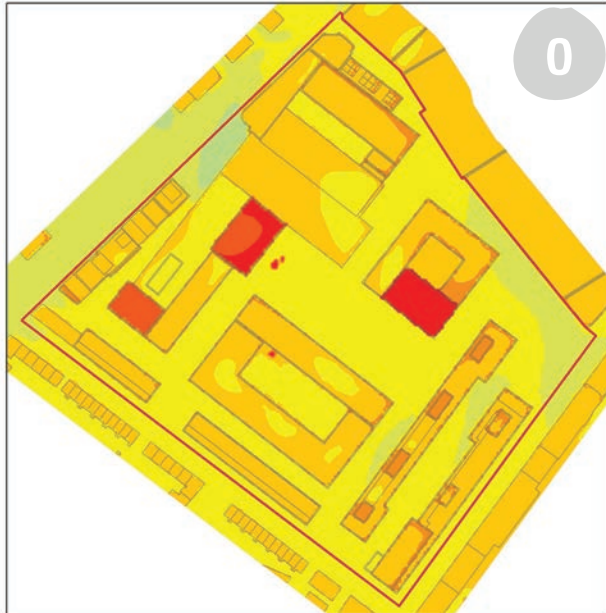


Abb. 25: Nachtsituation (04.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche in Szenario NULL

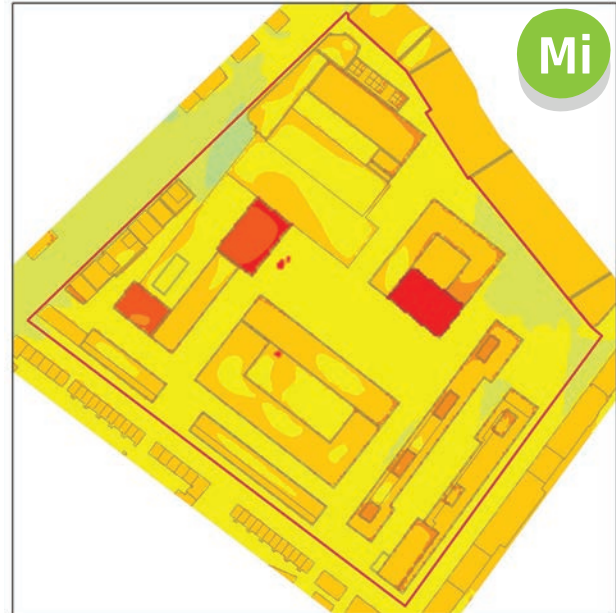


Abb. 26: Nachtsituation (04.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche in Szenario MIDI

NULL → MIDI

Das Szenario NULL
ist Grundlage für
beide Vergleiche

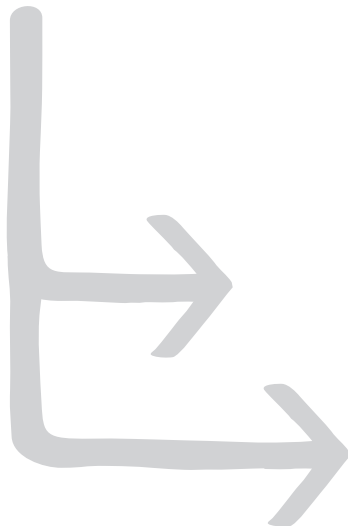
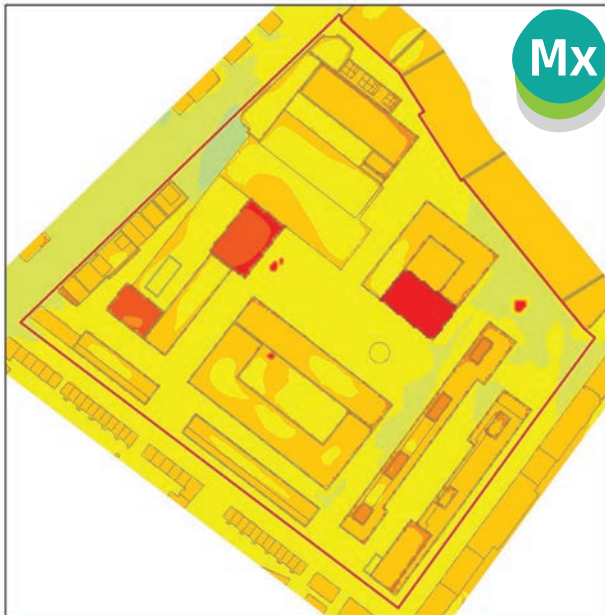


Abb. 28: Unterschiede der Nachtsituation (04.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche zwischen Szenarien NULL und MIDI



- ▭ Gebäude
- Beschattung (Bäume, Pergolen)

Lufttemperatur um 04.00 Uhr
2 m über Oberfläche, in °C

- 18 - 19
- 19 - 20
- 20 - 21
- 21 - 22
- 22 - 23
- 23 - 24
- > 24

ohne Massstab

Abb. 27: Nachtsituation (04.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche in Szenario MAX

NULL → MAX



- ▭ Gebäude
- Beschattung (Bäume, Pergolen)

Differenz PET (K)

- < -0,3
- 0,3 - -0,2
- 0,2 - -0,1
- 0,1 - 0

ohne Massstab

Abb. 29: Unterschiede der Nachtsituation (04.00 Uhr) Lufttemperatur über Oberfläche zwischen den Szenarien NULL und MAX

In Szenario NULL ergibt sich ein Flächenmittel der nächtlichen Lufttemperatur über Oberfläche von 21,0 °C. Die nächtliche Massnahmenwirkung ist im Vergleich zur Berechnung um 14.00 Uhr generell schwächer ausgeprägt. Grund dafür ist der grosse Einfluss der Solarstrahlung auf das lokale Klima. Gegenüber Szenario NULL ist eine Senkung der Lufttemperatur um 0,3 °C zu erwarten.

Nachtsituation: Lufttemperatur über Oberfläche

Bewertung Szenario NULL

0

Die Lufttemperatur in 2 m über Oberfläche zeigt Abb. 25 für das Szenario NULL. Das in der zweiten Nachthälfte anzutreffende Temperaturniveau umfasst Werte zwischen 18,6 °C westlich vom Gebäude „Habersack“ und 27 °C über der Dachfläche der „Rocket“. Bei den betrachteten wind-schwachen Witterungssituationen kommt es zu einer Temperaturinversion, die zu vergleichsweise niedrigen Werte im bodennahen Bereich führen. Dies ist auf die Abkühlung der bodennahen Luftschicht zurückzuführen, die aufgrund ihrer höheren Dichte die wärmeren Luftmassen gewissermassen „anhebt“. Mit der Höhe steigt daher die Lufttemperatur an, so dass auf Dachniveau zumeist mehr als 20 °C zu beobachten sind. Während über dem „Tender“ in 35 m Höhe 23 °C auftreten, nimmt die Lufttemperatur über dem „Bigboy“ mit 24 °C weiter zu beträgt in gut 100 m Höhe über der „Rocket“ schliesslich 27 °C. Im Innenhof des Quartiers treten verbreitet 20 °C bis 21 °C auf. Nur über den auch in den Nachtstunden recht warmen Wasserflächen nördlich der Halle 53 bzw. östlich „Bigboy“ ist kleinräumig eine Temperatur von bis zu 27 °C anzutreffen.

Bewertung Szenario MIDI

Mi

Im Szenario MIDI führen die dachbezogenen Massnahmen zu einer leichten Abnahme über den betreffenden Dächern der Stadthäuser sowie „Habersack“ und „Rapide“ (Abb. 26). Zudem ist im bodennahen Bereich nördlich des Drehscheiben-Gebäudes eine leichte Abnahme der Werte anzutreffen, welche auf die Teilentsiegelung und Begrünung zurückzuführen ist.

Vergleich der Szenarien NULL und MIDI

Die Massnahmenwirkung zeichnet sich deutlich in den Differenzenabbildungen ab. Wie Abb. 28 für das Szenario MIDI zeigt, ist die Wirkung auf die nächtliche Lufttemperatur über den Dächern von „Rapide“ und „Habersack“ sowie den Stadthäusern gegenüber dem Szenario NULL mit bis zu minus 0,3 °C am stärksten ausgeprägt. Im bodennahen Bereich führt die Aufhellung der Oberflächen zu einer leichten Abnahme um 0,15 °C westlich „Tigerli“ sowie östlich der Halle 53 (Hellblau). Über dem Drehscheibenplatz ist eine Reduktion um bis zu 0,23 °C festzustellen.

Bewertung Szenario MAX



Ein wesentlich stärkeres Änderungssignal vor allem im bodennahen Bereich ist im Szenario MAX zu beobachten (Abb. 27). Hier führen Aufhellung, Entsiegelung und Verschattung zu einer flächenhaften Abnahme der nächtlichen Lufttemperatur. Gleichzeitig bildet sich die am Drehscheibenplatz vorgesehene Wasserfläche mit Werten $> 24\text{ °C}$ ab (Rot).

Vergleich der Szenarien NULL und MAX

Im Szenario MAX treten die Blaugrünen Dachflächen mit noch stärkeren Abnahmen bis minus $0,38\text{ °C}$ hervor (Abb. 29). Während die Aufhellung der Bodenoberfläche östlich der Halle 53 entfällt, führen Begrünung, Entsiegelung und Verschattung im Bereich Tigerli/Drehscheibenhaus zu einer deutlichen Wirkung im bodennahen Bereich bis $-0,27\text{ °C}$. Eine etwas geringere Wirkung von $-0,12\text{ °C}$ liegt zudem im Umfeld des Gebäudeteils Krokodil vor.

3. Schlussfolgerung



3.1 Gesamtbeurteilung

Die Lokstadt ist städtebaulich-strukturell äusserst komplex und vielschichtig. Das liegt zum Einen an den unterschiedlichen Gebäudetypologien, mit grossen, flächigen Hallen, eingestellten Blöcke mit Innenhöfen und lineare Strukturen (Stadthäuser, Büro- und Verwaltungsgebäude, etc.) sowie punktuell Hochpunkten. Der öffentliche Raum, der durch die Position und Stellung der Baukörper definiert wird, ist sehr vielfältig. Plätze unterschiedlicher Grösse, Gassen und Aufweitungen lassen zusammen ein Kontinuum des Stadtraums entstehen. Zum Anderen gibt es eine sehr differenzierte Höhenentwicklung der Gebäude. Da in der Lokstadt eine sehr hohe Dichte angestrebt wird, liegt das mittlere Level der Gebäudehöhe bei ca. 20 m. Hinzu kommen Hochpunkte wie etwa Bigboy und Tender mit jeweils ca. 50 m und Rocket mit fast 100 m Höhe. Ein weiterer Aspekt ist unter Berücksichtigung der hochauflösenden Modellierung die Grösse des Modellierungsgebiets von über 6 Hektar Fläche. Diese Faktoren sind es, die die Klimamodellierung so komplex und langwierig gemacht haben.

Schlussendlich scheinen die Ergebnisse etwas ernüchternd zu sein. Die Unterschiede zwischen den drei Szenarien, insbesondere zwischen Szenario NULL und Szenario MIDI – der realistischen Variante – sind entgegen den Erwartungen nur marginal. Doch woran mag das liegen?

Alles ist relativ

Ein zentraler Punkt ist, dass das Szenario NULL als Ausgangslage bereits als relativ positiv zu bewerten ist. Das liegt unter anderem an der Eigenverschattung der Gebäude innerhalb der Lokstadt. Durch die dichte Bebauung und die zum

Teil relativ grossen Gebäudehöhen liegen einige Bereiche des öffentlichen Raums über einen längeren Zeitraum im Tagesverlauf im Schatten. Über den Tag verändern sich stündlich die besonnten - und im Umkehrschluss auch die verschatteten Bereiche. So gesehen gibt es nur wenige exponierte Bereiche im öffentlichen Raum, die über einen längeren Zeitraum der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind und sich somit stark aufheizen können. Durch die bautypologisch bedingte Eigenverschattung des Gebiets kommen daher die klimatischen Effekte mancher Massnahmen weniger stark zur Geltung. Aufgehellte Asphaltflächen bleiben im Schatten ohne nennenswerte Wirkung und der kühlende Effekt von Grünflächen und Bäumen beschränkt sich zum Teil nur auf bestimmte Zeiten und auf ihre Evapotranspiration. Nichtsdestotrotz werden die deutlichsten Effekte dort erzielt, wo sich gebäudebedingte Verschattung mit Klimaanpassungsmassnahmen überschneiden. Gute Beispiele hierfür sind die beiden begrünten und abgeschotteten Innenhöfe in den Blöcken von „Krokodil“ und „Tigerli“

Verschattung durch Bäume

Gerade an den Eingangsplätzen und insbesondere am Dialogplatz sind die schattenspendenden Baumdächer sehr wertvoll. Gartenbänder mit kleingewachsenen Bäumen in den Gassen sowie weitere Bäume im öffentlichen Raum wirken sich ebenfalls positiv auf das lokale Klima in der Lokstadt aus. Neben der Verschattung und Verdunstungskühle sind Bäume auch Gestaltungselemente. Sie steigern die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum. Zudem verbessern sie die lufthygienische und akustische Qualität in der Stadt und fördern Gesundheit und Wohlbefinden

der Menschen, die sich unter Bäumen aufhalten. Desweiteren kommen Bäume der ökologischen Vernetzung und Biodiversität zugute, denn Baumkronen sind Lebensraum für eine Vielzahl an Tieren und Insekten. Ein weiterer positiver Aspekt ist die Wandelbarkeit des Baumes im Jahresverlauf. In den Sommermonaten spenden Bäume Schatten, während in den Wintermonaten Sonnenlicht einfallen kann, wenn die Blätter gefallen sind. Herausfordernd ist dagegen die Wahl der Baumstandorte. Leitungen, Kanäle und Unterbauungen im Erdreich schränken oft dies stark ein und es können Nutzungskonflikte entstehen, beispielsweise in der (flexiblen) Nutzbarkeit des öffentlichen Raums. Desweiteren vergehen Jahre oder gar Jahrzehnte bis ein Baum eine gewisse Grösse erreicht hat und somit seine annähernd volle klimatische Wirkung durch Verschattung und Verdunstungskühle erlangt. Ausserdem erfordern Bäume oft einen intensiveren Unterhalt, insbesondere bei langandauernder Hitze und Trockenheit, um die Wirkungsfähigkeiten der Vegetation aufrecht zu erhalten. Bäume sind einem immer grösser werdenden Stress ausgesetzt, indem sie Hitze, Dürre und Stürmen trotzen müssen. Daher ist die Wahl der richtigen Baumart wichtig, um den Auswirkungen des Klimawandels begegnen zu können.

Die Wahl der Oberflächenmaterialien

Auch die Verwendung unterschiedlicher Oberflächen und Materialien leistet einen wichtigen Beitrag für einen qualitätvollen Aussenraum und eine klimawirksame Gestaltung in der Lokstadt. Begrünte und (teil-) entsiegelte Flächen, beispielsweise in den Gartenbändern, steigern bereits in der Ausgangslage die Aufenthaltsqualität

im öffentlichen Raum und dienen der Regenwasserversickerung. Der Boden kann Wasser aufnehmen und später wieder verdunsten lassen. Neben der Entstehung von Verdunstungskühle heizen sich entsiegelte Oberflächen auch bei intensiver Sonneneinstrahlung weniger stark auf. Auch wenn die Wirkung des aufgehellten Sickerasphalts relativ marginal ausfällt, kann auch diese Massnahme ihren Beitrag leisten. Während im Szenario MIDI nur Teilbereiche entsprechend ausführt sind, ist im Szenario MAX durch eine vollflächige Optimierung eine flächenhafte Wirkung zu erkennen. Durchaus gelungen scheint der Mix aus unterschiedlichen Oberflächenmaterialien, die den öffentlichen Raum zonieren und Aufenthaltsbereiche von Bewegungsflächen abgrenzen, ohne dass räumliche Barrieren entstehen. Herausforderungen bestehen möglicherweise durch eingeschränkte Nutz- und Begehbarkeit zu Fuss oder mit dem Velo (Barrierefreiheit, Sicherheitsaspekte). Bei aufgehellten Flächen kommt hinzu, dass für Passanten Blendwirkungen wegen erhöhter Reflexion entstehen können. Allgemein ist mit höheren finanziellen Aufwänden bei Realisierung, Unterhalt und Reinigung bei den verschiedenen (teil-) entsiegelten Flächen gegenüber konventionell ausgeführten Flächen zu rechnen.

Fassadenbegrünung

Für die Klimamodellierung wurden in Szenario MAX alle süd- und südwest-ausgerichteten Fassaden der neuen Baukörper mit Fassadenbegrünung versehen. Mit Ausnahme des Rocket-Hochhauses sind bodengebundene Fassadenbegrünungen berücksichtigt worden. Beim Rocket-Hochhaus war es ein fassadengebundenes System. Trotz

der grosszügigen Begrünung der Fassaden fällt gemäss der Modellierung die Wirkung auf den öffentlichen Raum so gut wie gar nicht ins Gewicht. Grund hierfür ist der grössere Einfluss der Eigenverschattung der Gebäude, bzw. die sich permanent verändernde Sonneneinstrahlung, sodass Oberflächen sich im Tagesverlauf verhältnismässig wenig aufheizen. Desweiteren kann es sein, dass aufgrund der geringen Wirkungstiefe der Fassadenbegrünung die Wirksamkeit im Modell nicht abbildbar ist. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass sich Fassaden durch Begrünung spürbar weniger aufheizen und der Wärmeeintrag auf das Gebäude, bzw. das Gebäudeinnere geringer ausfällt. Neben der Begünstigung für das Innenraumklima fördert eine begrünte Fassade die Biodiversität, denn sie bietet Lebensraum für eine Vielzahl kleiner Tiere und Insekten. Bei der bodengebundenen Fassadenbegrünung ist bei 20 m Höhe das Maximum der vertikalen Ausdehnung erreicht. Realistisch ist wahrscheinlich eine etwas geringere Höhe, sodass nur untere Geschosse von einer Begrünung profitieren würden. Von der Gebäudehöhe unabhängiger sind fassadengebundene Begrünungen, allerdings müssen dann auch die konstruktiven und statischen Voraussetzungen geschaffen werden. Zudem ist in trockenen Sommern eine intensive Bewässerung notwendig und bei Inventar- oder Schutzobjekten eine Interessenabwägung mit dem Denkmalschutz erforderlich.

Potenzial Dachflächen

So gut wie alle Dachflächen der neu geplanten Baukörper in der Lokstadt sind extensiv begrünt und mit PV-Anlagen ausgestattet. Die Dachflächen der erhaltenen Bestandsgebäude bleiben

dagegen in der Regel unangetastet. Grund hierfür ist vor allem der Denkmalschutz, den es zu berücksichtigen gilt. Die enormen Dachflächen der bestehenden Hallen sind so sehr der Sonneneinstrahlung ausgesetzt, dass sie sich stark aufheizen. Die bioklimatische Belastung ist extrem. Unter dem Aspekt des städtischen Wärmeinseleffekts ist die ab Szenario MIDI zu beobachtende Hitzeminderung über den Dachflächen mit PV-Anlagen - beispielsweise beim Hallengebäude „Haber-sack“ und bei den Stadthäusern an der Jägerstrasse - aus gesamtstädtischer Sicht positiv zu sehen. Allerdings ist die Wirkung auf die Aufenthaltsqualität im Aussenraum des Quartiers quasi „entkoppelt“ und damit nur gering ausgeprägt. Zu gross sind die Höhendifferenzen zwischen Dachflächen und Aufenthaltsbereichen im öffentlichen Raum. Dachflächen bieten dafür unterschiedliche Nutzungspotenziale. Mit PV-Anlagen lässt sich Energie gewinnen. Aufgeständerte PV-Anlagen steigern nochmals die Effizienz und in Kombination mit extensiver Dachbegrünung heizen sich die Dachflächen weniger stark auf. Positive Merkmale bei Dachbegrünung sind die Förderung der Biodiversität, der geringere Wärmeeintrag in das Gebäude sowie die Wasserspeicherfähigkeit. Mit intensiver Dachbegrünung lassen sich diese Merkmale nochmals steigern. Im Rahmen von Szenarion MAX wurde vorgeschlagen die Dachflächen des Zwischenbaus von Bigboy und Tender sowie die des Tigerli für die Bewohner und Nutzer der Gebäude zugänglich zu machen und als Dachgärten, bzw. als blaugüne Dächer auszugestalten. Damit werden neue Qualitäten für die Nutzer geschaffen und die Biodiversität nochmals deutlich gestärkt. Herausfordernd sind dagegen statische Aspekte wegen des deutlich höheren

Dachaufbaus, was bereits auch für intensiv begrünte Dächer gilt. Desweiteren erfordern diese Formen einen deutlich grösseren Unterhalt als beispielsweise ein extensiv begrüntes Dach.

Pergolen und Sonnensegel

Sonnenexponierte Bereiche, bei denen es beispielsweise aus statischen Gründen nicht möglich ist Bäume zu pflanzen, können Pergolen oder Sonnenschutzelemente wie etwa Sonnensegel, eine gute und günstige Alternative bieten. So wurden beispielsweise für den Hofbereich zwischen dem Bürohaus Drehscheibe und dem Technopark Sonnensegel zur Verschattung sonnenbeschienener Flächen vorgeschlagen. Sehr effektiv scheint die Wirkung von berankten Pergolen wie etwa auf dem Bürohaus Drehscheibe und im Bereich der Blumenwiese Drehscheibe in Szenario MAX, zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität.

Zusammenfassung

Es kann Folgendes festgehalten werden: Bereits Szenario NULL als Ausgangslage ist mit seiner Ausgestaltung des öffentlichen Raums stadtklimatisch gut aufgestellt. Die (minimalen) Veränderungen in Szenario MIDI sind zwar stadtklimatisch wertvoll, wirken aber überwiegend auf den Dächern und kaum im öffentlichen Raum. Signifikant und in der Fläche wirken sich dort erst die in Szenario MAX vorgesehenen Massnahmen aus.

3.2 Handlungsempfehlungen

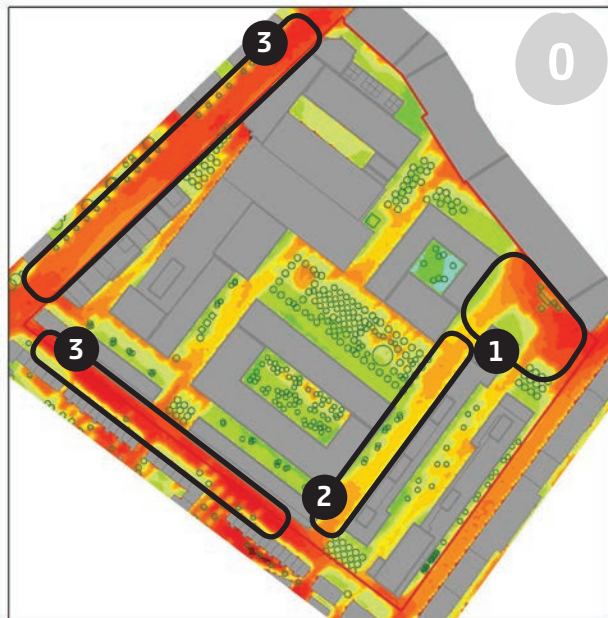


Abb. 30: Tagsituation (14.00 Uhr) PET über Grund in Szenario NULL

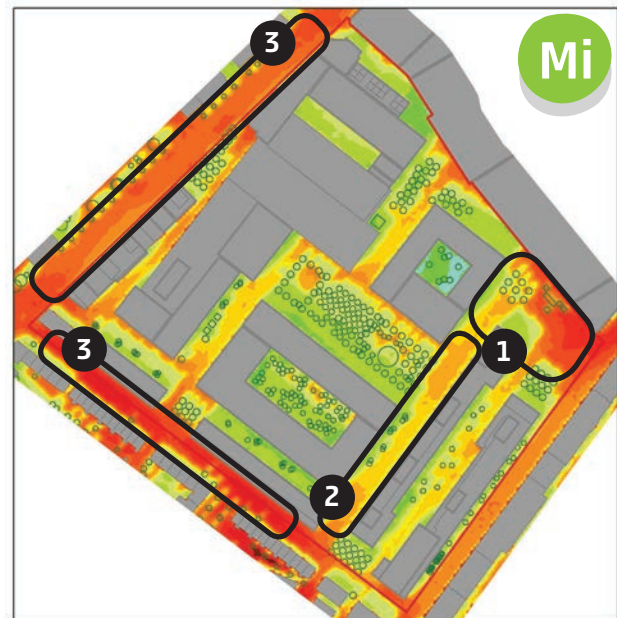


Abb. 31: Tagsituation (14.00 Uhr) PET über Grund in Szenario MIDI

Während die Ergebniskarten der Klimamodellierung auf den vorderen Seiten die PET für Dachflächen und bodennahen Bereich gleichermassen zeigen, lenken die hier abgebildeten Grafiken den Fokus auf den Aufenthaltsraum des Menschen, also den bodennahen Bereich im öffentlichen Raum. Hier zeigt die Grafik zu Szenario NULL, dass bereits die Ausgangslage als durchaus positiv zu bewerten ist. Dennoch fallen ein paar tieferere Bereiche innerhalb, bzw. am Rande des Perimeters der Lokstadt auf. Daher können folgende Handlungsempfehlungen genannt werden, die insbesondere den öffentlichen Raum betreffen:

1. Verschattung Platzsituation Drehscheibe

Auch wenn mit dem Eingangsplatz an der Drehscheibe bereits in Szenario NULL einige Baumstandorte geplant sind, zeigt die Grafik, dass der exponierte Bereich unmittelbar um die

Drehscheibe eine extreme bioklimatische Belastung aufweist. Für etwas Entlastung sorgt die in Szenario MIDI vorgeschlagene Baumgruppe. Durch die Maximierung der Baumgruppe in Szenario MAX und der Einbindung von weiteren Baumstandorten sowie einer berankten Pergola auf der Wiese an der Drehscheibe kann ein neu entstandener „Coolspot“ nachgewiesen werden.

2. Verschattung Robert-Sulzer-Strasse

Auch wenn die Robert-Sulzer-Strasse nicht so eine extreme bioklimatische Belastung aufweist, wie beispielsweise die Platzsituation Drehscheibe, so zeigen auch hier die in Szenario MAX vorgeschlagenen Massnahmen eine durchaus positive Wirkung. Durch Verbreiterung der Gartenbänder und Einbindung von neuen Baumreihen kann die Strasse als Bewegungsraum klimatisch und freiräumlich aufgewertet werden.

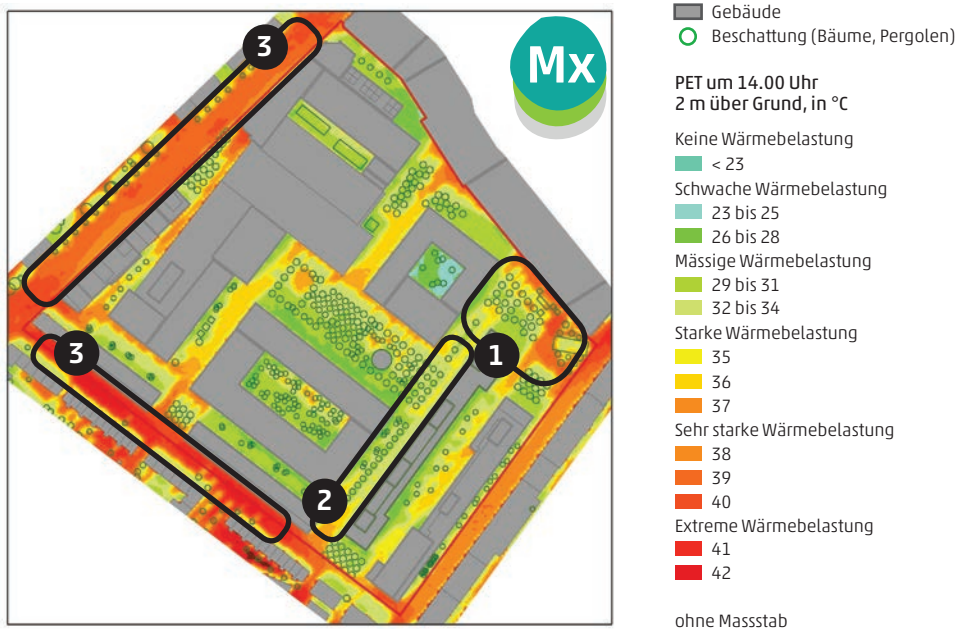


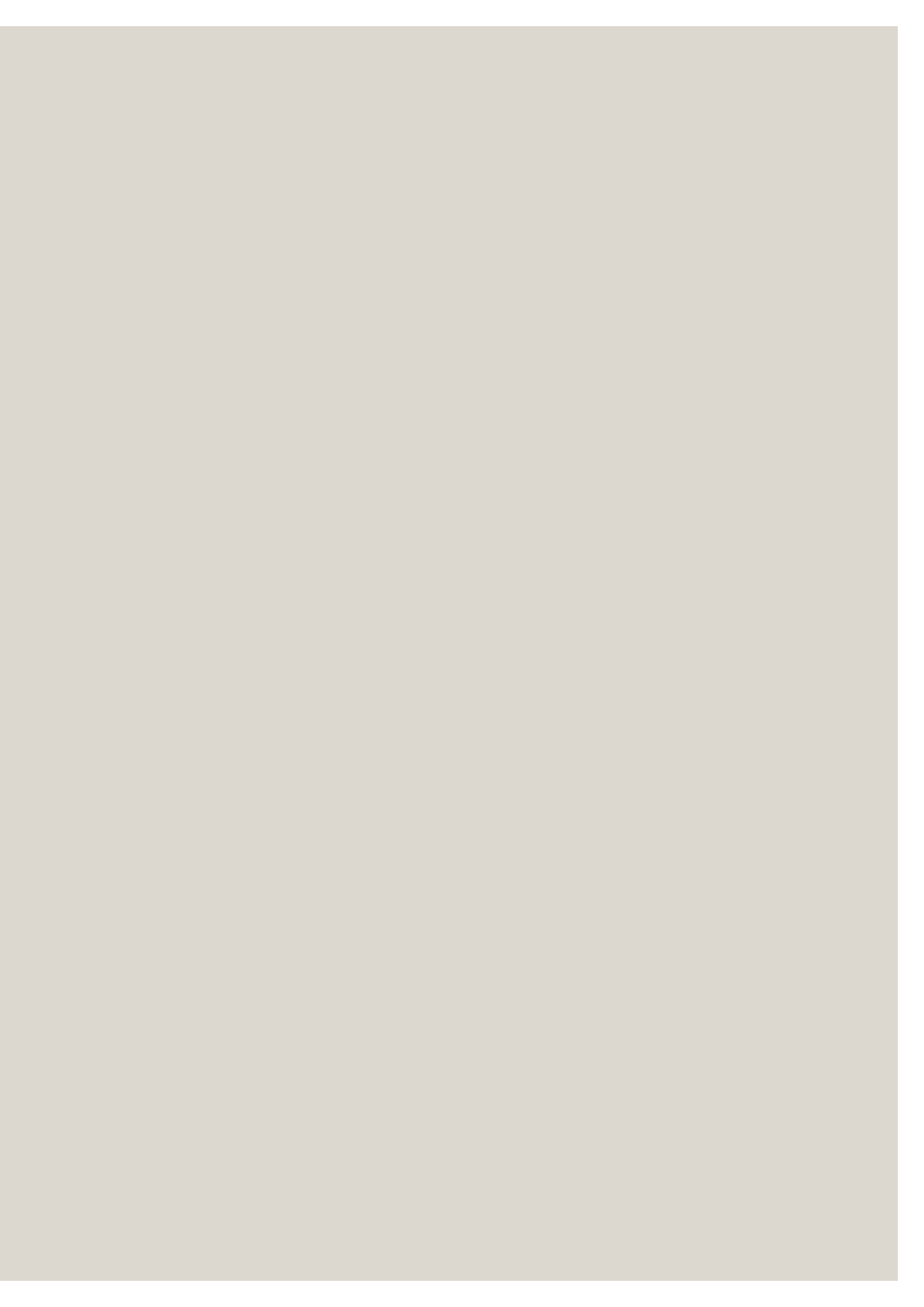
Abb. 32: Tagsituation (14.00 Uhr) PET über Grund
in Szenario MAX

3. Verschattung angrenzender Strassenräume

Auch wenn die Strassenräume nördlich, südlich und westlich der Lokstadt nicht Teil des Bearbeitungsperimeters sind, so lautet die Empfehlung künftig dafür sensibilisiert zu sein, welche klimatisch bedeutsame Wirkung Bäume entfalten. Die wenigen bestehenden Bäume in Zürcherstrasse und Jägerstrasse spenden kaum Schatten und die breiten Strassenräume sind in gänzlicher Breite asphaltiert. Entsprechend heizen sich diese Räume im Tagesverlauf stark auf, sodass die bioklimatische Belastung extrem ist. Durchgängige Baumreihen würden Schatten spenden, die Aufenthaltsqualität steigern und den Strassenraum attraktiver erscheinen lassen sowie der ökologischen Vernetzung zugute kommen.

4.

Anhang & Glossar



4.1 Tagsituation: PET über Grund

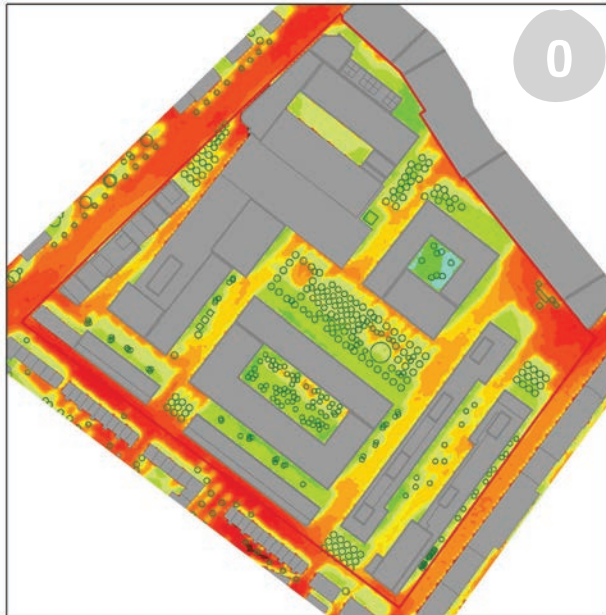


Abb. 33: Tagsituation (14.00 Uhr) PET über Grund
in Szenario NULL

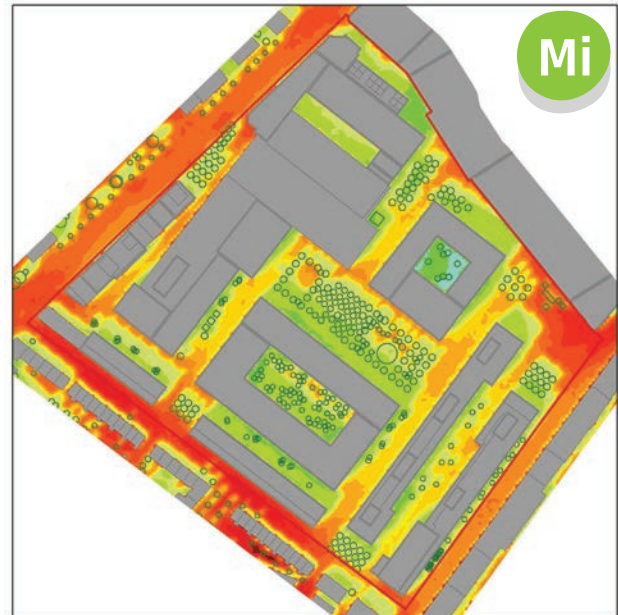


Abb. 34: Tagsituation (14.00 Uhr) PET über Grund
in Szenario MIDI

NULL → MIDI

Das Szenario NULL
ist Grundlage für
beide Vergleiche

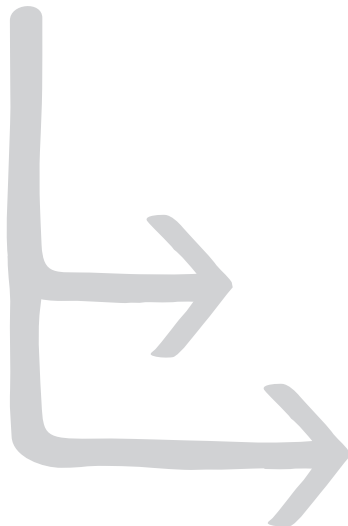


Abb. 36: Unterschiede der Tagsituation (14.00 Uhr)
PET ü. Grund zw. Szenarien NULL und MIDI



- Gebäude
 - Beschattung (Bäume, Pergolen)
- PET um 14.00 Uhr
2 m über Grund, in °C**
- Keine Wärmebelastung
 - < 23
 - Schwache Wärmebelastung
 - 23 bis 25
 - 26 bis 28
 - Mässige Wärmebelastung
 - 29 bis 31
 - 32 bis 34
 - Starke Wärmebelastung
 - 35
 - 36
 - 37
 - Sehr starke Wärmebelastung
 - 38
 - 39
 - 40
 - Extreme Wärmebelastung
 - 41
 - 42
- ohne Massstab

Abb. 35: Tagsituation (14.00 Uhr) PET über Grund in Szenario MAX

NULL → MAX



- Gebäude
 - Beschattung (Bäume, Pergolen)
- Differenz PET (K)**
- < -12,0
 - 12,0 bis -10,0
 - 10,0 bis -8,0
 - 8,0 bis -6,0
 - 6,0 bis -4,0
 - 4,0 bis -2,0
 - 2,0 bis -1,0
 - 1,0 bis -0,5
 - 0,5 bis -0,25
 - 0,25 bis 0
- ohne Massstab

Abb. 37: Unterschiede der Tagsituation (14.00 Uhr) PET ü. Grund zw. Szenarien NULL und MAX

Tagsituation: PET über Grund - Bilanzierung



Abb. 38: Belastungsstufen PET ü. Grund, prozentuale Verteilung, Tagsituation, Szenario NULL

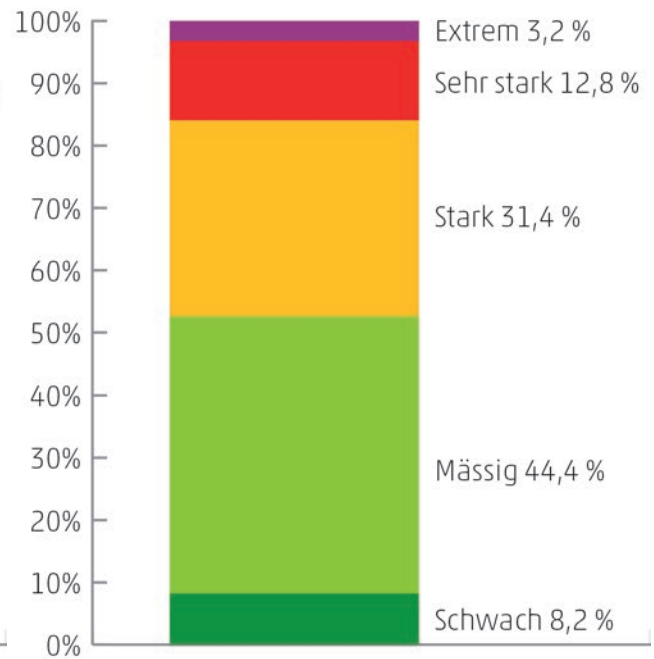


Abb. 39: Belastungsstufen PET ü. Grund, prozentuale Verteilung, Tagsituation, Szenario MIDI

SZENARIO NULL

0

In der Ausgangssituation / im Szenario NULL ist auf ca. 51 % der Fläche (und damit einem recht hohen Anteil) eine schwache bis mässige Wärmebelastung anzutreffen. Grund dafür ist die starke, gebäudebedingte Verschattung und bereits vorhandene Massnahmen zur Hitzeminderung. Begrünter Quartiersplatz sowie die übrigen Baumgruppen ermöglichen schon im Basisszenario für eine lediglich moderate Wärmebelastung.

SZENARIO MIDI

Mi

In Szenario MIDI steigt der Anteil von Flächen mit schwacher/mässiger Belastung im bodennahen Bereich auf gut 53 %. Durch die Fokussierung des Szenarios auf Änderungen auf Dachniveau (Dachgärten, grossflächige PV-Anlagen) sind kaum thermische Effekte auf Bodenniveau zu beobachten. Die Abnahme des Flächenanteils von extremer und sehr starker Belastung um etwa 1,8 % kommt durch den Einsatz von hellem Sickersphalt im Nordteil und Abschattung durch zusätzliche Baumgruppen zustande.

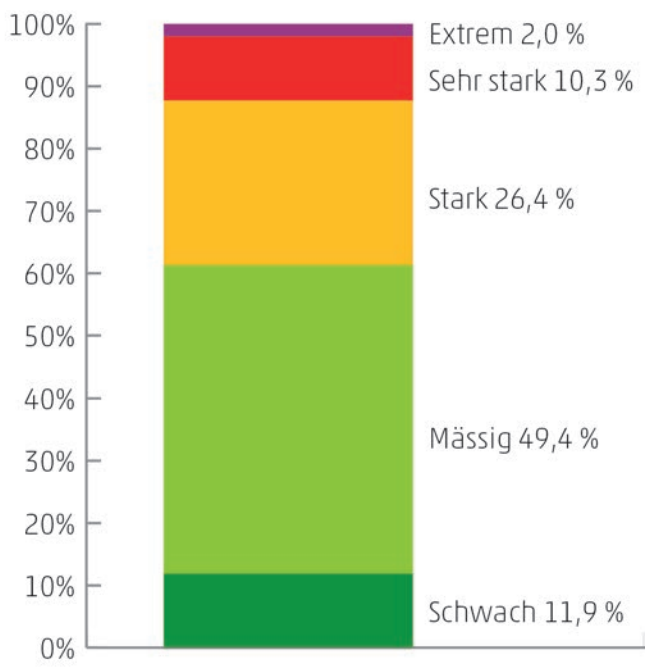


Abb. 40: Belastungsstufen PET ü. Grund, prozentuale Verteilung, Tagsituation, Szenario MAX

SCENARIO MAX



Das Szenario MAX weist eine signifikante Zunahme von Flächen mit hoher Aufenthaltsqualität auf, ihr Anteil steigt auf über 61 %, gleichzeitig schrumpft der mit extremer bzw. sehr starker Wärmebelastung im Aussenraum auf weniger als 12 %. Gründe dafür sind einerseits weitere gebäudebezogene Massnahmen zur Hitzeminderung. Ebenerdig ist ein Grossteil der Flächen mit heller Oberfläche ausgestattet und weitere Bereiche entsiegelt, begrünt und durch noch mehr Bäume verschattet.

ÜBERBLICK & ZUSAMMENFASSUNG

Im bodennahen Bereich in 2 m über Grund als eigentlichen Aufenthaltsbereich der Menschen liegt im Flächenmittel mit 34,4 °C eine mässige Wärmebelastung vor. Dazu tragen die bereits im Basisszenario vorhandenen begrünt und beschatteten Bereiche bei. In Szenario MIDI nimmt die PET im Aussenraum um lediglich 0,1 °C ab. Mit dem Szenario MAX kann die bodennahe PET um 0,6 °C gesenkt werden. Am kühlsten ist es im begrüntem Schatten des „Rocket“. Die flächendeckend positive, aber insgesamt relativ geringe Wirkung der Massnahmen auf Bodenniveau kommt durch die relativ gute Grünausstattung des Ausgangsszenarios zustande.

4.2 Tagsituation: Lufttemperatur über Grund



Abb. 41: Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Grund in Szenario NULL



Abb. 42: Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Grund in Szenario MIDI

NULL → MIDI

Das Szenario NULL
ist Grundlage für
beide Vergleiche

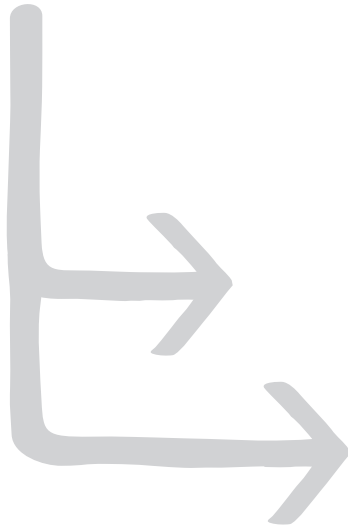


Abb. 44: Unterschiede der Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Grund zwischen den Szenarien NULL und MIDI



- Gebäude
 - Beschattung (Bäume, Pergolen)
- Lufttemperatur um 14.00 Uhr
2 m über Grund, in °C**
- Keine Wärmebelastung
 - < 23
 - Schwache Wärmebelastung
 - 23 bis 25
 - 26 bis 28
 - Mässige Wärmebelastung
 - 29 bis 31
 - 32 bis 34
 - Starke Wärmebelastung
 - 35
 - 36
 - 37
 - Sehr starke Wärmebelastung
 - 38
 - 39
 - 40
 - Extreme Wärmebelastung
 - 41
 - 42

ohne Massstab

Abb. 43: Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Grund in Szenario MAX

NULL → MAX



- Gebäude
 - Beschattung (Bäume, Pergolen)
- Differenz PET (K)**
- < -12
 - 11,9 bis -10
 - 9,9 bis -8
 - 7,9 bis -6
 - 5,9 bis -4
 - 3,9 bis -2
 - 1,9 bis -1
 - 0,9 bis 0

ohne Massstab

Abb. 45: Unterschiede der Tagsituation (14.00 Uhr) Lufttemperatur über Grund zwischen den Szenarien NULL und MAX

4.3 Nachtsituation: Lufttemperatur über Grund

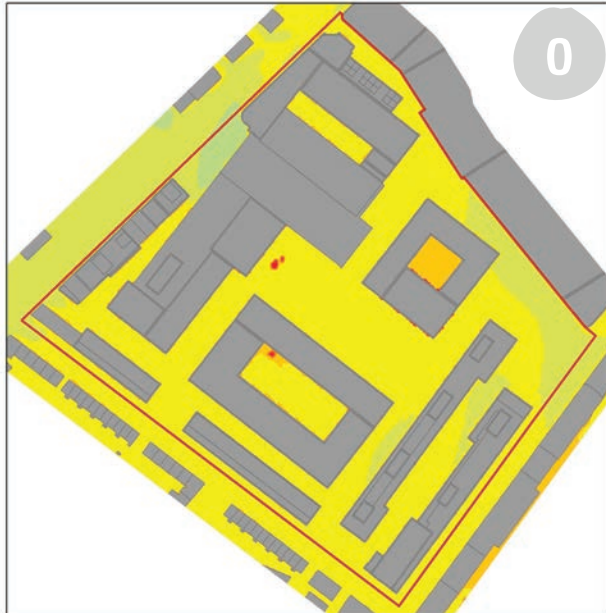


Abb. 46: Nachtsituation (04.00 Uhr) Lufttemperatur über Grund in Szenario NULL

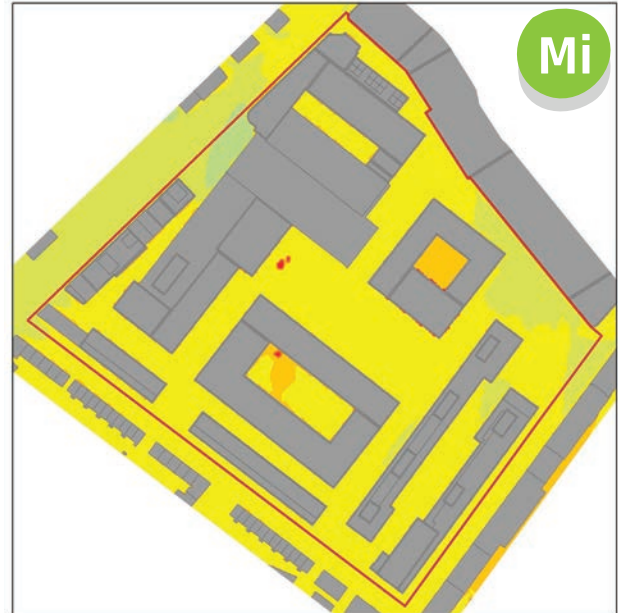


Abb. 47: Nachtsituation (04.00 Uhr) Lufttemperatur über Grund in Szenario MIDI

NULL → MIDI

Das Szenario NULL
ist Grundlage für
beide Vergleiche

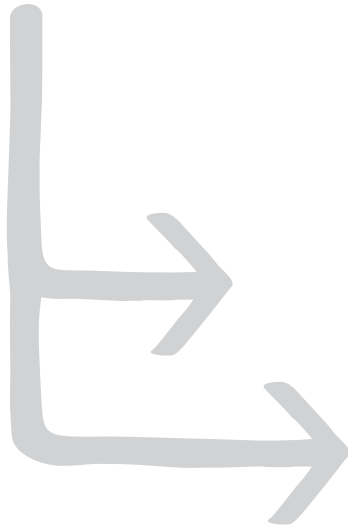
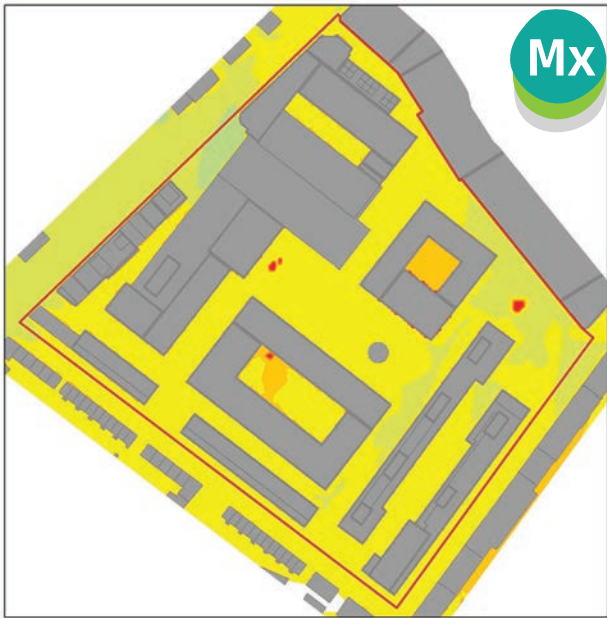


Abb. 49: Unterschiede der Nachtsituation (04.00 Uhr) Lufttemperatur über Grund zwischen den Szenarien NULL und MIDI



- Gebäude
- Beschattung (Bäume, Pergolen)

PET um 04.00 Uhr
2 m über Grund, in °C

- Keine Wärmebelastung
 - < 23
- Schwache Wärmebelastung
 - 23 bis 25
 - 26 bis 28
- Mässige Wärmebelastung
 - 29 bis 31
 - 32 bis 34
- Starke Wärmebelastung
 - 35
 - 36
 - 37
- Sehr starke Wärmebelastung
 - 38
 - 39
 - 40
- Extreme Wärmebelastung
 - 41
 - 42

ohne Massstab

Abb. 48: Nachtsituation (04.00 Uhr) Lufttemperatur über Grund in Szenario MAX

NULL → MAX



- Gebäude
- Beschattung (Bäume, Pergolen)

Differenz PET (K)

- < -0,3
- -0,3 - -0,2
- -0,2 - -0,1
- -0,1 - 0

ohne Massstab

Abb. 50: Unterschiede der Nachtsituation (04.00 Uhr) Lufttemperatur über Grund zwischen den Szenarien NULL und MAX

In Szenario NULL ergibt sich ein Flächenmittel der nächtlichen Lufttemperatur über Grund von 20,3 °C, ein für die urbane Gesamtsituation typisches Niveau. In Szenario MIDI ergibt sich eine Abkühlung von 0,15 °C, in Szenario MAX geht sie auf unter 20 °C zurück und unterschreitet mit 19,9 °C nur knapp den Schwellenwert für die Definition einer Tropennacht.

4.4 Glossar

Autochthone Wetterlage: Durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Strahlung gekennzeichnet ist. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Masse durch die Luftmasse geprägt, sodass sich lokale Klimate wie das Stadtklima bzw. lokale Windsysteme wie z.B. Berg- und Talwinde am stärksten ausprägen können.

Bioklima: Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (= atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf die lebenden Organismen in den verschiedenen Landschaftsteilen, insbesondere auf den Menschen (Humanbioklima). Die Beurteilung des Bioklimas in Bewertungskarten wird in der deutschen VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 beschrieben (Quelle: VDI 2008: VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1. Umwelt- meteorologie. Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima.).

Dachbegrünung, extensiv: einfache Dachbegrünung auf einer dünnen Vegetationstragschicht von 80 bis 200mm, normalerweise ohne Bewässerung, die eine anspruchslose, sich selbst regenerierende, pflegearme Vegetation aus Moosen, Sukkulente, Kräutern und Gräsern ermöglicht. Extensive Dachbegrünungen sind Extremstandorte, die von länger andauernden Trockenheiten, Extremtemperaturen, starken Windbewegungen, kurzzeitigen Überflutungen und fehlendem

Boden- anschluss geprägt werden.

Dachbegrünung, intensiv: nach gestalterischen Zielvorstellungen angelegte, aufwändige Dachbegrünung mit dickem Aufbau der Vegetationstragschicht von 200 bis über 500mm, die entsprechend der grösseren Wasserrückhaltung einen anspruchsvollem Bewuchs mit Kräutern, Gräsern, Sträucher und Kleinbäumen ermöglicht und auf kontinuierliche Pflegemassnahmen inkl. Bewässerung angewiesen ist. Die Gestaltungsmöglichkeiten für Dachgärten sind nahezu unbegrenzt, ähnlich bodengebundenen Freiräumen.

Kaltluft: Luftmasse, die im Vergleich zu ihrer Umgebung bzw. zur Obergrenze der entsprechenden Bodeninversion eine geringere Temperatur aufweist und sich als Ergebnis des nächtlichen Abkühlungsprozesses der bodennahen Atmosphäre ergibt. Der ausstrahlungsbedingte Abkühlungsprozess der bodennahen Luft ist umso stärker, je geringer die Wärmekapazität des Untergrundes ist, und über Wiesen, Acker- und Brachflächen am höchsten. Konkrete Festlegungen über die Mindesttemperaturdifferenz zwischen Kaltluft und Umgebung oder etwa die Mindestgrösse des Kaltluftvolumens, die das Phänomen quantitativ charakterisieren, gibt es bisher nicht (VDI 2003).

Kaltluftvolumenstrom: Vereinfacht ausgedrückt das Produkt der Fliessgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts einer 25 m Rasterzelle (Durchflussbreite). Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in

der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Kaltluftleitbahn fliesst. Anders als das Strömungsfeld berücksichtigt der Kaltluftvolumenstrom somit auch Fließbewegungen oberhalb der bodennahen Schicht.

Klimamodell «ASMUS_green»: Bei der Wirkungsanalyse (u.a. für die Testgebiete) werden mit einem dreidimensionalen Klimamodell kleinere Gebiete («mikroskalig») detailliert untersucht. Das hierfür eingesetzte Klimamodell «ASMUS_green» (Ausbreitungs- und Strömungs-Modell für Urbane Strukturen und Begrünung) ist ein numerisches Modell zur Simulation der dreidimensionalen Wind- und Temperaturverteilung sowie der thermischen Behaglichkeit innerhalb von Städten. Es gehört zu einer neueren Modellgeneration und verbindet die Betrachtung der Strömung im Bereich von Gebäuden und Bäumen mit der Berechnung der Energiebilanz von begrünten und unbegrünten Oberflächen. ASMUS_green wurde gemäss der Anforderungen der VDI-Richtlinie 3783/9 an mikroskalige prognostische Windfeldmodelle validiert und mit den Ergebnissen der Klimaanalyse Zürich abgeglichen. ASMUS_green wird ausführlich in verschiedenen begutachteten wissenschaftlichen Publikationen beschrieben und in einem Forschungsprojekt angewendet. Beispielsweise:

- > Gross, G. (2012): „Numerical simulation of greening effects for idealised roofs with regional climate forcing“, Meteorologische Zeitschrift, 21, pp. 173-181
- > Gross, G. (2012): „Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment. Micro-scale numerical experiments“,

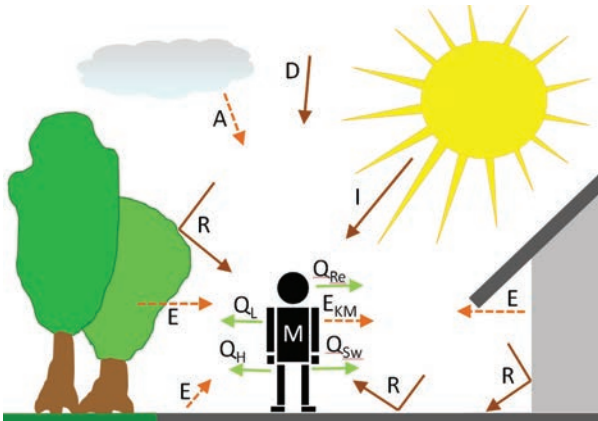
Meteorologische Zeitschrift, 21, pp. 399-412

- > Günther, R. (2014): „The role of soil water content for microclimatic effects of green roofs and urban trees – a case study from Berlin, Germany“, Journal of Heat Island Institute International, 9-2
- > KURAS – Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme, finanziert vom Bundesministerium für Forschung und Entwicklung (2013-2016)

Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET):

Die PET stellt eine Kenngrösse für die Bewertung des Bioklimas am Tage dar und berücksichtigt Parameter wie Lufttemperatur und -feuchte, Windgeschwindigkeit und die Strahlungsflüsse der Umgebung. Über Wärmehaushaltsmodelle kann der Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung berechnet und die Wärmebelastung eines Menschen abgeschätzt werden. Gegenüber vergleichbaren Indizes hat dieser den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit auch von Nichtfachleuten besser nachvollzogen werden zu können. Darüber hinaus handelt es sich bei der PET um eine Grösse, die sich in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt hat, sodass sich die Ergebnisse aus den Vertiefungsgebieten mit denen anderer Städte vergleichen lassen. Die PET bezieht sich auf aussenklimate Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur. Sie wird darüber hinaus über die Lufttemperatur, Windverhältnisse und Luftfeuchte (Schwülesituation) beeinflusst. Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar. Die wichtigsten Einflussfaktoren der PET sind in der direkten und diffusen

Sonnenstrahlung (z.B. bei Bewölkung) sowie in der von Oberflächen (z.B. Gebäude) reflektierten Strahlung zu sehen. Die Abbildung zeigt beispielhaft die verschiedenen Energieflüsse, welchen auf den menschlichen Körper einwirken.



- M metabolische Rate (Energieumsatz des Menschen)
- D diffuse Sonnenstrahlung
- I direkte Sonnenstrahlung
- R reflektierte Sonnenstrahlung
- A atmosphärische Gegenstrahlung
- E langwellige Emission der Umgebungsoberfläche
- Q_H turbulenter Fluss von fühlbarer Wärme
- Q_{Sw} turbulenter Fluss von latenter Wärme
- Q_L Fluss latenter Wärme durch Wasserdampfdiffusion
- Q_{Re} Wärmefluss durch Atmung
- E_{KM} Infrarotstrahlung von der Oberfläche des Menschen

Die PET um 14 Uhr wird für die Massnahmenbewertung in den Vertiefungsgebieten herangezogen. In den Nachtstunden entfallen jedoch die solaren Strahlungskomponenten. Dann kommt die von den unterschiedlichen Oberflächen ausgehende Wärmeabstrahlung und ihre Wirkung auf die Lufttemperatur zum Tragen.

Strömungsfeld: Für den Analysezeitpunkt 04:00 Uhr morgens simulierte flächendeckende Angabe zur Geschwindigkeit und Richtung der Flurwinde sowie Kaltluftabflüsse und Kaltluftleitbahnen in 2 m über Grund während einer autochthonen Wetterlage.

VDI-Richtlinie: Diese Richtlinien definieren Empfehlungen und Regeln im Bereich der Ingenieurwissenschaften und bilden den derzeitigen Stand der Technik ab. Sie werden vom Verein Deutscher Ingenieure in ehrenamtlicher Arbeit von Experten aus den jeweiligen Bereichen aufgestellt.

