



# Klimaanalyse Bären- und Waisenhausplatz

Ergebnisse der modellgestützten Evaluierung von  
Klimaanpassungsmassnahmen

## Impressum

Auftraggeber Kontaktperson Adresse	Stadt Bern, Tiefbauamt Tanja Reinmann Bundesgasse 38 CH-3001 Bern
Datum Aktuelle Version Ältere Versionen Projekt Datei	30.04.2024 Schlussbericht - 22_0150_klimamodellierung_waisenhausplatz klimaanalyse_wpbb_mt.docx
Erstellt durch Kontrolliert durch Genehmigt durch	Dr. Michael Schmutz 30.04.2024   Dr. Anne-Kathrin Weber 30.04.2024   Jan Remund
Gewährleistung	Meteotest gewährleistet ihren Kunden eine sorgfältige und fachgerechte Auftragsbearbeitung. Jegliche Haftung, insbesondere auch für Folgeschäden, wird im Rahmen des gesetzlich Zulässigen wegbedungen.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Daten und Methoden</b> .....	<b>5</b>
1.1	Meteorologisches Modellsystem PALM-4U .....	5
1.2	Dynamische Eingangsdaten .....	5
1.3	Statische Eingangsdaten .....	6
1.4	Physiologisch Äquivalente Temperatur .....	7
<b>2</b>	<b>Massnahmenkombination 1</b> .....	<b>9</b>
2.1	Klimaanpassungsmassnahmen .....	9
2.2	Ergebnisse der Modellierung .....	11
2.3	Wirksamkeit der Massnahmen .....	14
<b>3</b>	<b>Massnahmenkombination 2</b> .....	<b>16</b>
3.1	Klimaanpassungsmassnahmen .....	16
3.2	Wirksamkeit der Massnahmen .....	16

## Tabellen

Tabelle 1:	Klassierung der PET .....	8
Tabelle 2:	Wirksamkeit der Massnahmen.....	14

## Abbildungen

Abbildung 1:	Ausdehnung der Modellgebiete in den Auflösungen 50 m (links), 10 m (Mitte) und 1 m (rechts).....	5
Abbildung 2:	Temperaturmessungen in der Berner Altstadt am ausgewählten Hitzetag (Messungen MeteoSchweiz/GIUB). .....	6
Abbildung 3:	Schematische Darstellung der wichtigsten Einflussfaktoren für die PET. ....	7
Abbildung 4:	Massnahmen Kombination (Henning Larsen) .....	9
Abbildung 5:	Visualisierung der 3D Landschaft für die Modellierung mit PALM-4U. ....	10
Abbildung 6:	Referenzpunkte für die Auswertung: 1 Bundesplatz, 2 Wasserspiel, 3 Bärenplatz, 4 Bärenplatz Baum, 5 Cube A, 6 Cube B, 7 Waisenhausplatz Nord, 8 Waisenhausplatz, 9 Sonnensegel, 10 Waisenhausplatz Referenz .....	11
Abbildung 7:	Vergleich der PET, Luft- und Oberflächentemperatur an den Referenzpunkten zwischen dem Massnahmenpaket und Ist-Zustand. ....	12
Abbildung 8:	Übersicht über die Massnahmenkombination 2 .....	16
Abbildung 9:	Differenz der PET zwischen der Massnahmenkombination 2 und dem IST-Zustand für die Zeitpunkte 15:00, 20:00 und 23:00 Uhr. ....	17

Abbildung 10: Visualisierung der Massnahmenkombination 2 mit Darstellung der  
PET um 15h. ....18

# 1 Daten und Methoden

## 1.1 Meteorologisches Modellsystem PALM-4U

Meteotest modelliert Hitzesituationen mit dem Modell PALM-4U, welches speziell für die Stadthitzeproblematik entwickelt wurde. Das Modell erlaubt hoch aufgelöste Modellierungen für das heutige Klima und aktuelle Ereignisse wie auch für zukünftige geplante Situationen und Klimata.

Die Modellierung des Untersuchungsgebietes erfolgt in drei Auflösungsstufen (Abbildung 1). Ein Gebiet von 20x20 km wird in einer Auflösung von 50 m berechnet. Dadurch können auch grössere regionale Windsysteme aufgelöst werden, welche die Windverhältnisse auf lokaler Ebene bestimmen. Ein Gebiet von 2.4x2.4 km wird in einer Auflösung von 10 m berechnet. In dieser Auflösungsstufe werden lokale Windsysteme und Kaltluftregimes erfasst. Das Kerngebiet wird schliesslich mit einer Ausdehnung von 240x600 m in 1 m Auflösung modelliert. Hierbei werden Vegetation, Topografie und Gebäude detailliert abgebildet und kleinräumige Strömungen um diese Objekte können betrachtet werden. In allen Auflösungen werden detaillierte Oberflächeneigenschaften und Landnutzungsklassen differenziert.



Abbildung 1: Ausdehnung der Modellgebiete in den Auflösungen 50 m (links), 10 m (Mitte) und 1 m (rechts).

## 1.2 Dynamische Eingangsdaten

Als dynamischer Antrieb wird für das Modell das Wettermodell COSMO-1 der MeteoSchweiz verwendet. Dies bedeutet, dass aus den Daten des Wettermodells der meteorologische Ausgangszustand für den gewählten Zeitpunkt berechnet wird. Da das COSMO-1 Wettermodell die gesamte Schweiz abbildet, kann das Modellgebiet auf diese Weise in das überregionale Wettergeschehen eingebettet werden.

Als meteorologisches Szenario wurde ein charakteristischer sommerlicher Hitzetag selektiert. Als Kriterien wurden die Maximal- und Minimaltemperaturen ( $T_{min}$ ,  $T_{max}$ ), die Sonneneinstrahlung (GH) sowie die Niederschlagsdaten (rr) berücksichtigt:

- $T_{min} > 18^{\circ}\text{C}$
- $T_{max} > 28^{\circ}\text{C}$
- $\text{GH}_{\text{day,avg}} > 300 \text{ Wm}^{-2}$
- $rr < 1 \text{ mm}$

Tage, welche diese Kriterien erfüllen, werden zudem in Bezug auf die vorherrschende Grosswetterlage beurteilt. Aufgrund der Analyse von Messdaten in Bern wurde der 26.06.2019 als repräsentativer Hitzetag ausgewählt (Abbildung 2). In der vorliegenden Studie wurde der Zeitraum zwischen 14:00 und 24:00 Uhr modelliert. Das Zeitfenster deckt den Zeitpunkt der maximalen Hitzebelastung am Nachmittag sowie den Zeitraum der öffentlichen Nutzung der Plätze in den frühen Abendstunden ab. Da lokale Kaltluftströmungen innerhalb der Altstadt von untergeordneter Relevanz sind, wurde keine Analyse der Kaltluftströmungen durchgeführt.

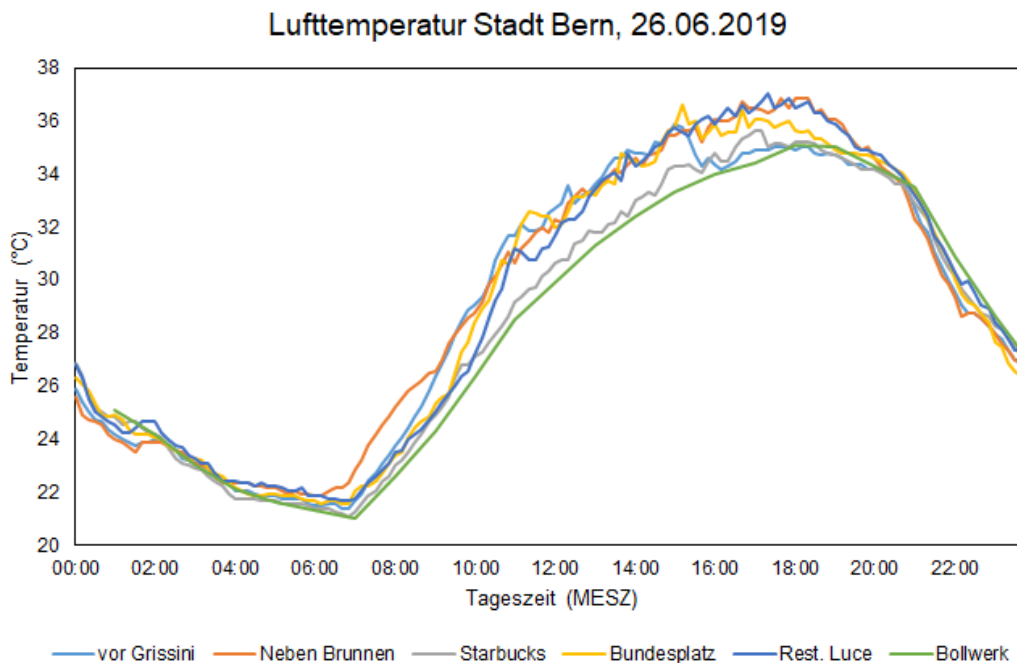


Abbildung 2: Temperaturmessungen in der Berner Altstadt am ausgewählten Hitzetag (Messungen MeteoSchweiz/GIUB).

### 1.3 Statische Eingangsdaten

Für die detailgetreue Nachbildung der aktuellen Situation wird der Gebäudedatensatz swissBUILDINGS3D<sup>1</sup> verwendet. Das Gelände wird durch den swissALTI3D<sup>1</sup> Datensatz definiert. Baumarten wurden aus dem Baumkataster der Stadt Bern entnommen und Verschattungs- und Verdunstungseigenschaften sowie standardisierte Kronenform und Höhe je Baumgattung zugewiesen. Die so geschaffenen 3D-Objekte (Gelände, Gebäude und Bäume) wurden in 1 m

<sup>1</sup> <https://www.swisstopo.admin.ch/>

Auflösung in das Modell integriert und die Umgebungsgestaltung mit verschiedenen Oberflächentypen nachgebildet. Als Datenquelle für die Oberflächenbedeckung der Umgebung werden Datensätze der Amtlichen Vermessung des Kantons Bern und swissTLM3D<sup>1</sup> Daten verwendet. Die Oberflächen wurden weiter verfeinert durch Daten des Generellen Entwässerungsplans der Stadt Bern (GEP-Daten).

Detaillierte Informationen über die Massnahmenkombination wurden durch Henning Larsen zur Verfügung gestellt. Die Daten für die Massnahmenkombination 2 wurden durch Maurus Schifferli Landschaftsarchitekten zur Verfügung gestellt. Diese Planungsdaten, welche sowohl 3D-Objekte als auch 2D-Oberflächen beinhalten wurden jeweils in die bestehende Situation eingearbeitet und entsprechende Oberflächeneigenschaften zugewiesen.

## 1.4 Physiologisch Äquivalente Temperatur

Die Hitzebelastung auf den menschlichen Metabolismus kann über verschiedene Indizes beurteilt werden. Für die vorliegende Studie wird die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) verwendet, welche vereinfacht den Einfluss der Lufttemperatur, Luftfeuchte, Sonnenstrahlung und der Windgeschwindigkeit berücksichtigt. Die PET gibt an, welche Lufttemperatur unter Standardbedingungen in einem Innenraum dieselbe Hitzebelastung bewirkt, wie die Kombination der genannten Einflussfaktoren im Aussenbereich (Abbildung 3).

In Kombination mit den anderen genannten Einflussfaktoren ist am Nachmittag mit der maximalen Hitzebelastung zu rechnen. Aus der PET kann die physiologische Belastung gemäss Tabelle 1 klassiert werden.

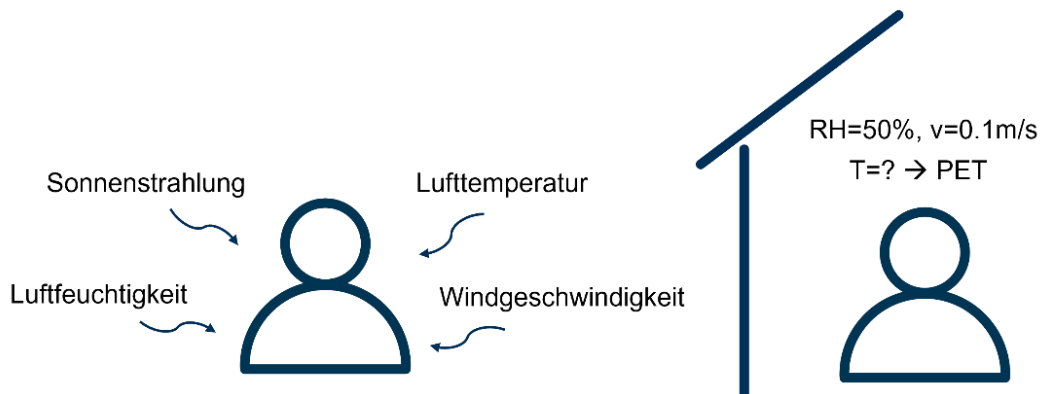


Abbildung 3: Schematische Darstellung der wichtigsten Einflussfaktoren für die PET.

Tabelle 1: Klassierung der PET

<b>PET (°C)</b>	<b>Wärmewahrnehmung</b>	<b>physiologischen Belastung</b>
18.1 - 23.0	komfortabel	keine thermische Belastung
23.1 - 29.0	leicht warm	leichte thermische Belastung
29.1 - 35.0	warm	mässige thermische Belastung
35.1 - 41.0	heiss	starke thermische Belastung
> 41.0	sehr heiss	extreme thermische Belastung



## 2 Massnahmenkombination 1

### 2.1 Klimaanpassungsmassnahmen

Das Landschaftsarchitekturteam von Henning Larsen in Zusammenarbeit mit der Stadt Bern (Stadtgrün Bern/Tiefbauamt), Kontur Projektmanagement und Meteotest einen Katalog an Klimaanpassungsmassnahmen für die Neugestaltung des Bären- und Waisenhausplatzes ausgearbeitet. Die Massnahmen lassen sich dabei in folgende fünf Kategorien einteilen:

1. Nutzungsverteilung
2. Oberflächen
3. Bäume
4. Wasser
5. Ausstattung

Bei der Neugestaltung der vielseitig genutzten Flächen zwischen Waisen- und Bundesplatz gilt es die Anforderungen verschiedener Interessensvertreter zu berücksichtigen. Dies beinhaltet beispielsweise Auflagen des Denkmalschutzes, Verkehrsführung für den motorisierten und öffentlichen Verkehr als auch Fussgänge und Velowege, Anlieferungswege für Gewerbe und Gastronomie, Nutzung der öffentlichen Räume für Märkte und Events, Wartung und Pflege der öffentlichen Räume durch die Stadt und nicht zuletzt auch Bedürfnisse der Anwohner.



Abbildung 4: Massnahmen Kombination (Henning Larsen)

Ungeachtet möglicher Ausschlusskriterien durch beispielsweise den Denkmalschutz wurde aus dem Katalog an zur Verfügung stehender Klimaanpassungsmassnahmen ein kombiniertes Paket geschnürt, um die Wirksamkeit einzelner Massnahmen mittels modellgestützter Klimaanalyse zu prüfen. Die Ergebnisse

sollen den Diskurs über die Umgestaltung des öffentlichen Raumes dabei unterstützen, möglichst effektive und mit der vielseitigen Nutzung harmonisierende Massnahmen zu identifizieren.

Die ausgearbeitete Massnahme Kombination (Abbildung 4) gibt dabei in einem einzigen Szenario einen Überblick über verfügbaren Massnahmen und deren Wirksamkeit. In Abbildung 5 ist eine 3D Visualisierung dargestellt.

Von den aufgeführten Massnahmen können mittels der modellgestützten Klimanalyse die folgenden Punkte umgesetzt und geprüft werden:

- **2c Helle Pflasterung:** Helle Pflasterung mit einer Albedo von 30% auf dem Bärenplatz (Standard-Albedo ist 20%)
- **3e Maximierung der Baumgruppen:** Platzierung zusätzlicher Bäume gemäss Plan
- **4d Bewässerung der Beläge:** Bewässerung des nördlichen Bereichs des Waisenhausplatzes um 20:00 inkl. Oberflächenabfluss und Verdunstung des Restwassers.
- **5b Sonnensegel:** Sonnensegel im nördlichen Bereich des Waisenhausplatzes
- **5f Mobiles Verschattungselement:** drei mobile Verschattungselemente «Cube» auf dem Waisenhausplatz
- **5h Vordach Pavillon:** Pavillon mit grossem Vordach bei der Einfahrt Metro-Parking

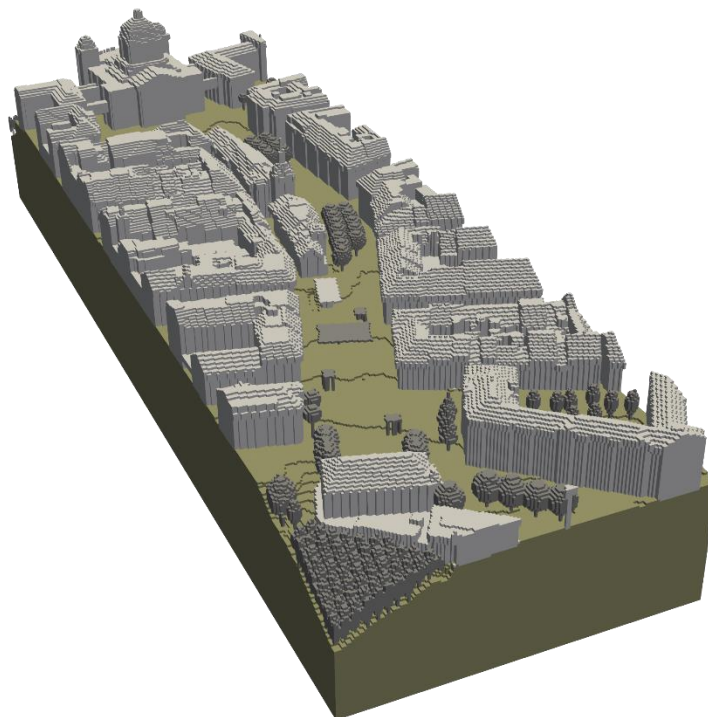


Abbildung 5: Visualisierung der 3D Landschaft für die Modellierung mit PALM-4U.

## 2.2 Ergebnisse der Modellierung

Für die Auswertung der Modellergebnisse wurden innerhalb des modellierten Perimeters verschiedene Referenzpunkte für die einzelnen Massnahmen gesetzt (Abbildung 6). Für diese Punkte sind in Abbildung 7 die Differenzen der PET, der Lufttemperatur sowie der Oberflächentemperatur zwischen dem Massnahmepaket und dem Ist-Zustand im zeitlichen Verlauf dargestellt. Die gestrichelte Linie kennzeichnet den Zeitpunkt der Bewässerung des Waisenhausplatzes und der blau markierte Bereich das Zeitfenster Abtrocknung. Der Referenzpunkt 10 in grau zeigt die Differenz an einem nicht von Massnahmen betroffenen Punkt und dient zur Abschätzung der Signifikanz der Unterschiede an den anderen Punkten. Negative Differenzen bedeuten höhere Temperaturen im Ist-Zustand und damit wirksame Massnahmen.

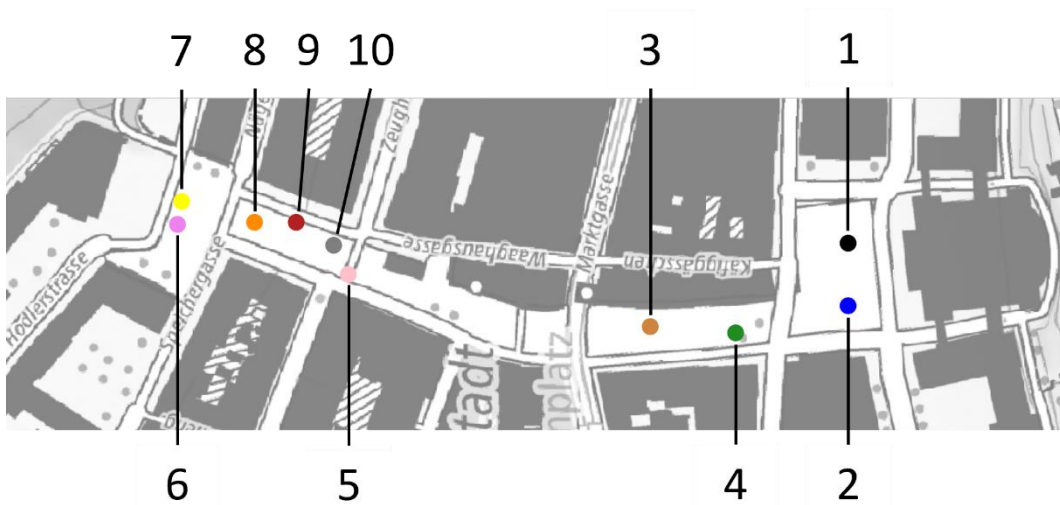


Abbildung 6: Referenzpunkte für die Auswertung: 1 Bundesplatz, 2 Wasserspiel, 3 Bärenplatz, 4 Bärenplatz Baum, 5 Cube A, 6 Cube B, 7 Waisenhausplatz Nord, 8 Waisenhausplatz, 9 Sonnensegel, 10 Waisenhausplatz Referenz

Die PET als auch die Oberflächentemperatur werden an einem sonnigen Tag sehr stark durch die direkte Sonneneinstrahlung beeinflusst und reagieren entsprechend am stärksten auf Beschattungsmassnahmen. Dies zeigt sich sehr deutlich an den Punkten mit neu zusätzlicher Beschattung beispielsweise innerhalb der mobilen Verschattungselemente oder unter dem grossen Sonnensegel. Unter dem Sonnensegel ist der Abkühlungseffekt basierend auf der PET um rund 3-5°C grösser als unter den Verschattungselementen. Dies dürfte vor allem grossflächigeren Beschattung durch das Sonnensegel zu erklären sein.

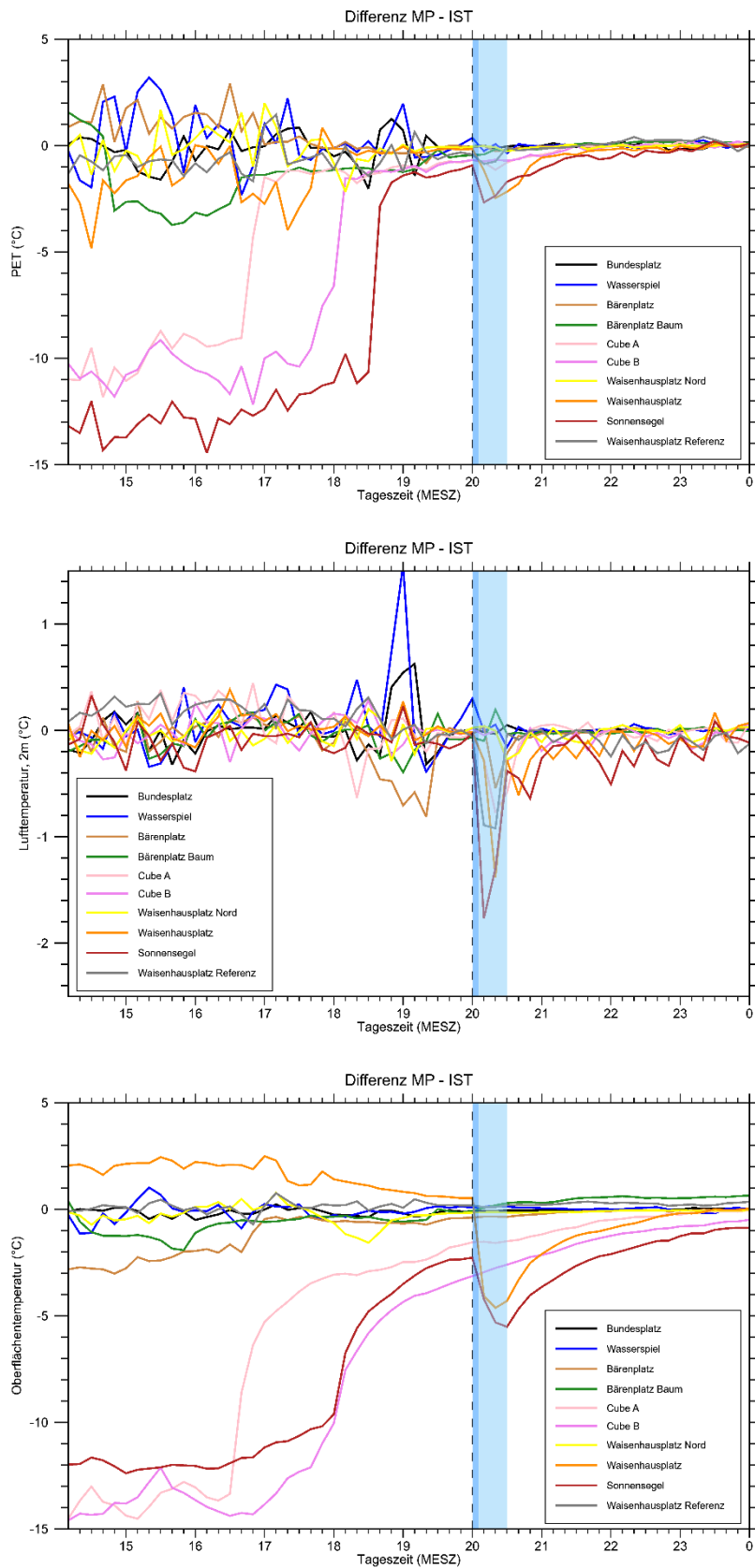


Abbildung 7: Vergleich der PET, Luft- und Oberflächentemperatur an den Referenzpunkten zwischen dem Massnahmenpaket und Ist-Zustand.

Mit dem Wegfallen der direkten Sonneneinstrahlung an den einzelnen Punkten zwischen 16:30 und 18:00 Uhr verringert sich auch die Differenz in der PET und der Oberflächentemperatur. Während die PET sehr zeitnah auf die Veränderung in der Sonneneinstrahlung reagiert, so zeigt sich in der Oberflächentemperatur bis weit in die Nacht hinein ein deutlicher Unterschied zwischen den nachmittags sonnenbeschienenen und durch die neuen Massnahmen beschatteten Punkten.

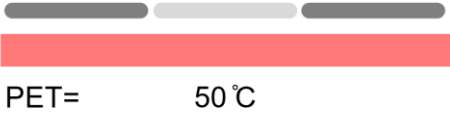
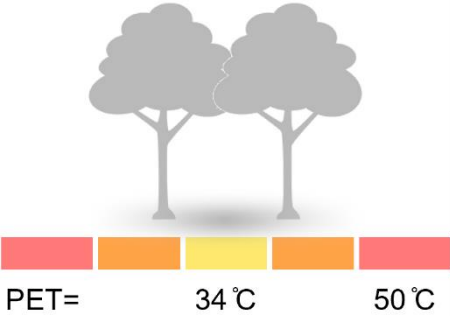
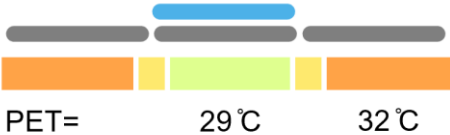
Die Unterschiede in der Lufttemperatur zwischen dem Massnahmenpaket und dem Ist-Zustand sind an allen Referenzpunkten nicht signifikant. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die Luftmasse kleinräumig gut durchmischt und horizontale Temperaturunterschiede kaum aufrechterhalten werden können.

Der Effekt der Bewässerung des Waisenhausplatzes um 20:00 Uhr lässt sich in allen drei betrachteten Grössen erkennen. Die Oberflächentemperatur wird durch die Bewässerung kurzzeitig um bis zu 5°C reduziert. Der Effekt ist jedoch nicht sehr nachhaltig und wird durch den grossen Wärmespeicher im Boden innerhalb der folgenden 1-2 Stunden fast komplett kompensiert. Die PET und die Lufttemperatur werden durch die Bewässerung kurzzeitig um bis zu 2°C reduziert. Auch dieser Effekt ist jedoch nur kurzfristig und zeigt sich nach 1-2 Stunden nicht mehr in einer signifikanten Differenz. Für eine nachhaltige Wirkung müsste die Bewässerung in regelmässigen Intervallen oder über grössere Zeiträume stattfinden. Dies würde jedoch eine gleichzeitige Nutzung als Aufenthaltsraum erschweren.

## 2.3 Wirksamkeit der Massnahmen

Die Wirksamkeit der verschiedenen Massnahmen wird anhand der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) beurteilt gemäss Klassierung in Tabelle 1. In Tabelle 2 ist die Wirksamkeit der modellierten Massnahmen zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 2: Wirksamkeit der Massnahmen

Massnahme	$\Delta$ PET (°C)	Bemerkung
<b>2c Helle Pflästerung</b>  	0	Erhöhung der Albedo um 10% gegenüber den angrenzenden Oberflächenbelägen.  Wenig Effekt auf die PET  Leichte Reduktion der Oberflächentemperatur
<b>3e Maximierung der Baumgruppen</b>  	-16	Beschattung durch Vegetation ist sehr effektiv  Dichte/grosse Baumgruppen zeigen stärkeren Effekt  Saisonalität der Beschattung durch Blattfall  Gut kombinierbar mit Massnahmen zur Verbesserung des Wassermanagements (Retention)
<b>4d Bewässerung der Beläge</b>  	-3	Effekt durch kurzzeitige Bewässerung der Beläge nach Sonnenuntergang ist kurzfristig lokal spürbar  Nach Verdunstung (30-60min) Ausgleich der Bedingungen gegenüber angrenzenden Flächen  Zeitlich und räumlich beschränkter Effekt

Massnahme	$\Delta$ PET (°C)	Bemerkung
<b>5b Sonnensegel</b>  PET=      36°C      50°C	-14	Beschattung durch Sonnensegel ist sehr effektiv Grossflächige Beschattung zeigt eine Verbesserung der Aufenthaltsbedingungen vergleichbar mit der Beschattung durch Vegetation
<b>5f Mobiles Verschattungselement</b>  PET= 35°C      50°C	-15	Mobile Verschattungselement können durch lokale Beschattung kleinräumig effektiv sein Ausrichtung der Öffnung ist relevant in Bezug auf die Beschattung
<b>5h Vordach Pavillon</b>  PET= 34°C      34°C      50°C	-16	Vergrösserung des Vordachs erzeugt effektive aber kleinräumige Beschattung Grösse und Ausrichtung des Vordachs ist relevant in Bezug auf den Schattenwurf

### 3 Massnahmenkombination 2

#### 3.1 Klimaanpassungsmassnahmen

Basierend auf den Erkenntnissen aus der Modellierung der Massnahmenkombination 1 hat der Auftraggeber eine finale Massnahmenkombination festgelegt. Die Massnahmenkombination 2 wurde unter Berücksichtigung der verschiedenen Interessensgruppen ausgearbeitet und soll in dieser Form nach Möglichkeit umgesetzt werden. Nebst Massnahmen zur Verbesserung des Wassermanagements sind die folgenden in Bezug auf das Thema Hitze relevante Massnahmen vorgesehen:

- **1 Helle Pflasterung:** Helle Pflasterung mit einer Albedo von 30% auf dem Waisenhausplatz im Bereich des Meret-Oppenheim-Brunnens
- **2 Sonnenschirme:** Beschattung durch grosse Sonnenschirme auf dem Waisenhausplatz
- **3 Maximierung der Baumgruppen:** Platzierung zusätzlicher Bäume gemäss Plan im Bereich Bärenplatz (zwei bestehende Bäume werden entfernt bzw. in eine Grünanlage verpflanzt)



Abbildung 8: Übersicht über die Massnahmenkombination 2

#### 3.2 Wirksamkeit der Massnahmen

In Abbildung 9 ist die Differenz in der PET zwischen der Massnahmenkombination 2 und dem IST-Zustand dargestellt. Negative Werte (blau) bedeuten «kühlere» Bedingungen und positive Werte (rot) eine stärkere Wärmebelastung mit den geplanten Klimaanpassungsmassnahmen. Abbildung 10 zeigt eine 3D Visualisierung mit Darstellung der PET um 15:00 Uhr.

Es zeigt sich deutlich, dass die starke Ausdehnung der Baumgruppen im Bereich des Bärenplatzes für eine grossflächige Beschattung sorgt, wodurch grosse zusammenhängende Flächen mit deutlich verbesserter Aufenthaltsqualität ergeben. Die beiden entfernten Bäume am südlichen und nördlichen Ende des Bärenplatzes wirken sich durch die wegfallende Beschattung im Vergleich zum IST-



Zustand natürlich punktuell negativ aus. Dies mindert jedoch nicht den Effekt der erweiterten Baumgruppen auf dem Bärenplatz. Der Abkühlungseffekt in der PET der zusätzlich beschatteten Bereiche unter den Bäumen liegt in Übereinstimmung mit den Erkenntnissen aus der Massnahmenkombination 1 in der Grössenordnung von 15°C (PET).

Deutlich lässt sich auch der Beschattungseffekt der Sonnenschirme auf dem Waisenhausplatz erkennen. Die beschatteten Flächen durch die Schirme sind kleiner als durch die geschlossenen Baumgruppen. Punktuell lässt sich mit den Sonnenschirmen jedoch ebenfalls eine Reduktion der Wärmebelastung um bis zu -15°C PET erreichen.

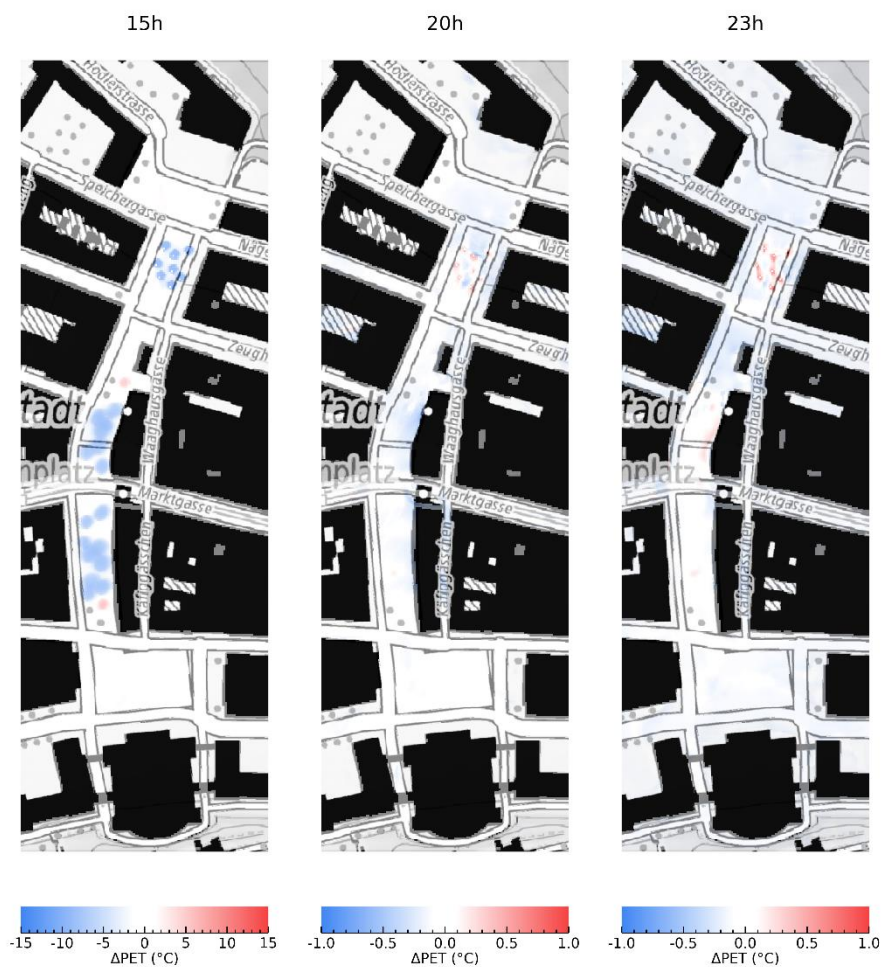


Abbildung 9: Differenz der PET zwischen der Massnahmenkombination 2 und dem IST-Zustand für die Zeitpunkte 15:00, 20:00 und 23:00 Uhr.

Der Effekt der helleren Pflasterung auf im Bereich des Meret-Oppenheimer-Brunnens zeigt sich in der Modellierung analog zur Massnahmenkombination nicht in einer signifikanten Differenz in der PET. Allenfalls positiv wirkt sich eine leicht reduzierte Oberflächentemperatur aus.

Die zusätzliche Beschattung auf dem Bären- und Waisenhausplatz zeigt am Nachmittag bei direkter Sonneneinstrahlung die grösste Wirkung. Es zeigt sich jedoch auch noch um 20:00 Uhr, dass die nachmittags beschatteten Flächen grundsätzlich leicht kühlere Bedingungen bieten als die besonnten Bereiche. Am späteren Abend zeigen sich unter den Bäumen und insbesondere auch unter den Sonnenschirmen tendenziell leicht wärmere Bedingungen. Dies begründet sich damit, dass das Kronendach der Bäume und die Sonnenschirme die Wärmeabstrahlung der darunterliegenden Flächen reduzieren und somit eine weniger effiziente Abkühlung als dies auf offenen Flächen der Fall ist. Der Effekt ist jedoch mit  $\pm 1^\circ\text{C}$  PET sehr klein und kann gerade im Fall der Sonnenschirme durch Zuklappen der Schirme nach Sonnenuntergang auch eliminiert werden.

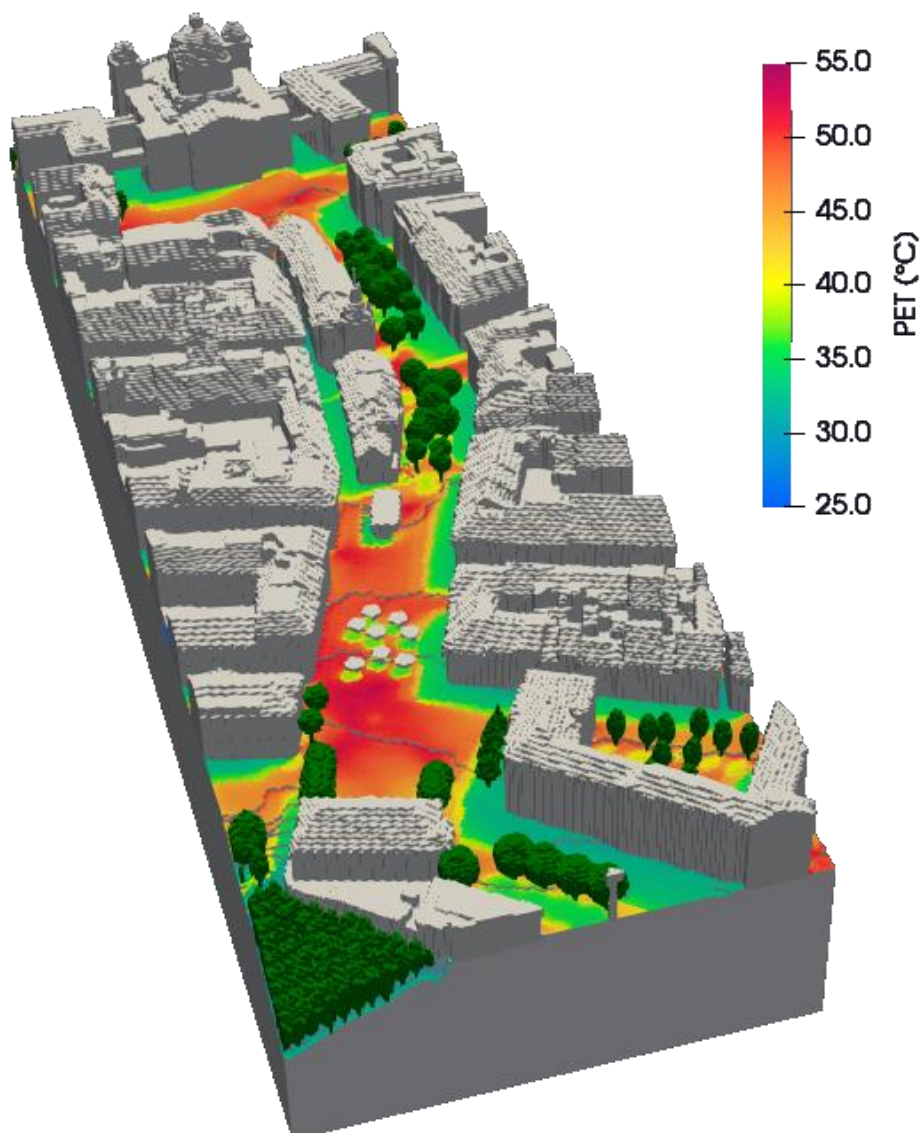


Abbildung 10: Visualisierung der Massnahmenkombination 2 mit Darstellung der PET um 15h.