



**Mobiles Grün – Bericht Stadtrat zu Postulat «Mobiles Grün in Liestal»  
von Sibylle Schenker und Vreni Baumgartner der Grünen Fraktion**

|                        |   |                    |                    |                 |                 |
|------------------------|---|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Kurzinformation</b> | <p>Die Klimaerwärmung betrifft auch mitteleuropäische Städte, wie Liestal. Um das Leben bei Hitze erträglicher zu machen, wird die Einführung von mobilem Grün in Betracht gezogen. Dieses Konzept umfasst bepflanzte Behälter, die auf versiegeltem Untergrund eingesetzt werden können. Sie dienen nicht nur der Kühlung, sondern auch der Verkehrsberuhigung und können als Quartierskräutergärten genutzt werden. Bereits in anderen Schweizer Städten gibt es erfolgreich umgesetzte Projekte mit mobilen bepflanzten Containern. Die Einwohnerrat Liestal lädt den Stadtrat ein, potenzielle Flächen und Orte für mobiles Grün im Stadtzentrum und in den Quartieren zu prüfen, den Zeitpunkt und die Umsetzungsmöglichkeiten zu ermitteln sowie die Möglichkeit von Patenschaften für die Pflege und Bewirtschaftung zu untersuchen. Eine Studie zur Hitzestressreduktion im Stedtli zeigt, dass beschattete Gassen ein angenehmes Mikroklima schaffen. Einzelbäume und Baumtröge entlang von Straßen haben den stärksten Effekt auf die Reduzierung von Hitzestress. Weitere Maßnahmen wie begrünte Flachdächer, Baumpflanzungen und die Schaffung von Mikroparks werden ebenfalls umgesetzt, um die Hitzeeinseleffekte zu minimieren. Die Finanzierung der Maßnahmen erfolgt innerhalb der Projektkosten, während kleinere Maßnahmen aus dem bestehenden Budget und den vorhandenen Ressourcen umgesetzt werden.</p> |                    |                    |                 |                 |
| <b>Anträge</b>         | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Der Einwohnerrat nimmt die Beantwortung zum Postulat Nr. 2023-165 «Mobiles Grün in Liestal» zur Kenntnis.</li><li>2. Der Einwohnerrat schreibt das Postulat Nr. 2023-165 «Mobiles Grün in Liestal» als erfüllt ab.</li></ol>   |                    |                    |                 |                 |
|                        | <p>Liestal, 31. Oktober 2023</p> <p style="text-align: center;">Für den Stadtrat Liestal</p> <table style="width: 100%;"><tr><td style="width: 50%;">Der Stadtpräsident</td><td style="width: 50%;">Der Stadtverwalter</td></tr><tr><td style="text-align: center;">Daniel Spinnler</td><td style="text-align: center;">Marcel Meichtry</td></tr></table>   | Der Stadtpräsident | Der Stadtverwalter | Daniel Spinnler | Marcel Meichtry |
| Der Stadtpräsident     | Der Stadtverwalter  |                    |                    |                 |                 |
| Daniel Spinnler        | Marcel Meichtry   |                    |                    |                 |                 |

## DETAILINFORMATIONEN

### 1. Ausgangslage / Rechtsgrundlage

Die Klimaerwärmung ist heute Realität und trifft auch in den mitteleuropäischen Städten Bewohnerinnen und Bewohner, welche empfindlich auf Hitze reagieren. Zwar ist die durchschnittliche Sommertemperatur in Liestal tiefer, als in der Stadt Basel. Trotzdem überlegt man sich in der Hauptstadt der Landschaft, ob mit mobilem Grün das Leben hier erträglicher gestaltet werden kann.

#### *Postulat Mobiles Grün für Liestal*

*Der nächste Sommer steht vor der Tür. Heiss wird er wohl auch werden. Die versiegelten Bodenflächen im urbanen Raum treiben das Thermometer zusätzlich nach oben.*

*Versiegelte Bodenflächen sind leider vielerorts nicht vermeidbar und schattenspendende Bäume nicht immer realisierbar. Neben Fassadenbegrünungen und Bäumen gibt es in verschiedenen Städten als Ergänzung das «mobile Grün».*

*Mit «mobilem Grün» kann versiegeltem Untergrund getrotzt werden. Die Pflanzbehälter können zugleich kühlend, verkehrsberuhigend und als Quartierskräutergarten eingesetzt werden. Die bepflanzten Hochbeete, die je nach Konstruktion gleich auch noch eine Sitzfläche anbieten, könnte mit relativ wenig Aufwand im Herbst eingelagert werden. So halten sie der Witterung stand und stehen keinem Chienbäse im Weg.*

*In diversen Schweizer Städten bestehen bereits umgesetzte Projekte mit mobilen bepflanzten Containern. Zum Beispiel in der Stadt Winterthur: <https://stadt.winterthur.ch/ge-meinde/verwaltung/technische-betriebe/stadtgruen-winterthur/laufende-projekte/mobiles-gruen>*

*Wir sind überzeugt, dass solche Mini-Oasen auch in Liestal zum Wohlfühl und zur erhöhten Lebensqualität beitragen können. Städte, in denen wir schon solche bepflanzten Container gesehen haben, strahlen Freundlichkeit und Offenheit aus und laden zum Verweilen ein.*

*Wir laden den Stadtrat ein, zu prüfen und berichten:*

*-Wo es im Stadtzentrum und in Quartieren mögliche Flächen und Orte gibt, die durch «mobiles Grün» aufgewertet werden können.*

*-Wann und wie «mobiles Grün» in Liestal eingeführt werden kann.*

*-Ob Patenschaften für die Pflege bzw. die Bewirtschaftung des «moblien Grüns» möglich sind.*

*Liestal, den 26. März 2023*

*Unterzeichnet:*

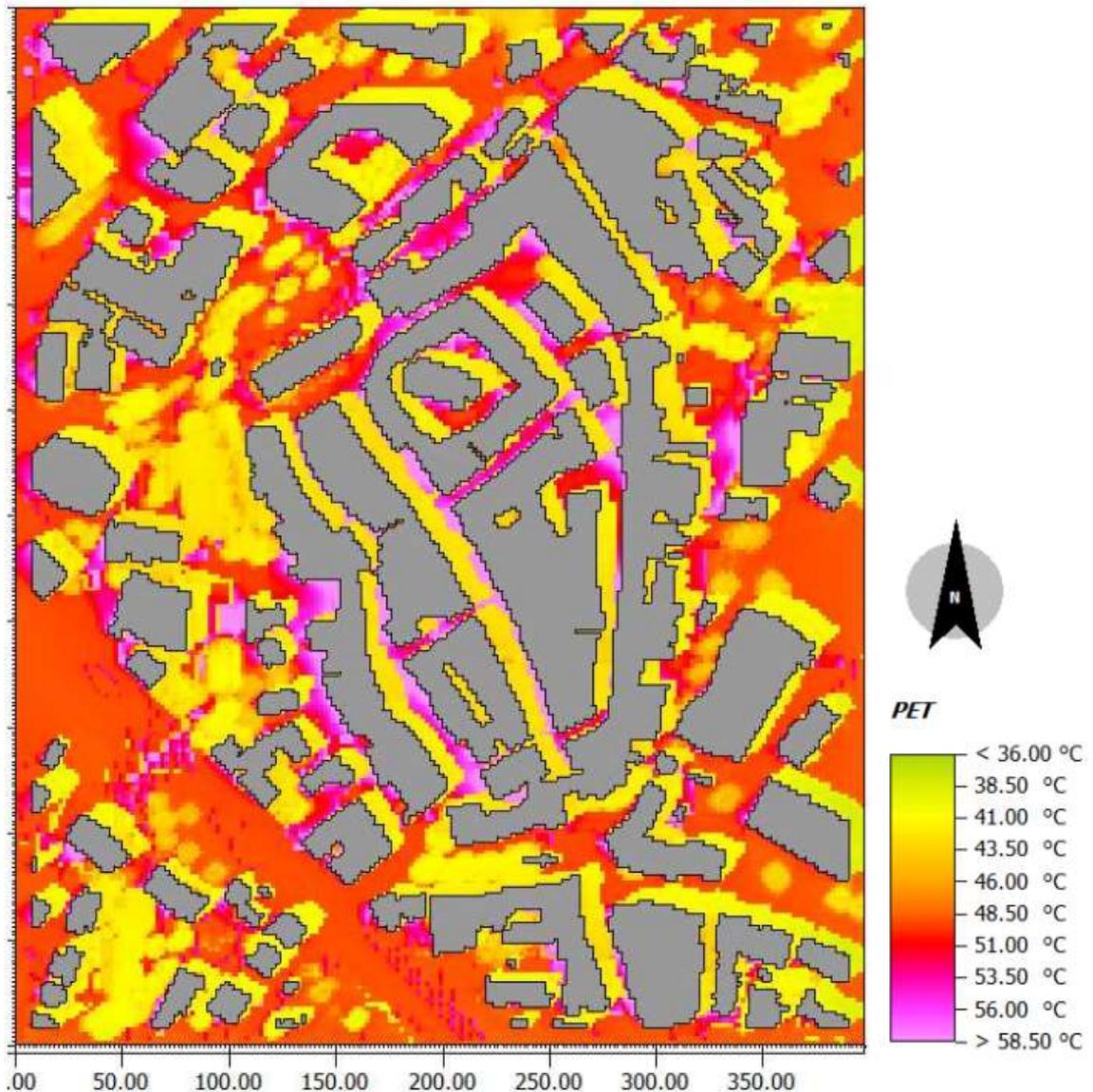
*Einwohnerrat Liestal*

*Sibylle Schenker GL, Vreni Baumgartner GL*

Bereits heute weist das Erscheinungsbild des Städtlis bereits deutlich mehr Bäume und mobiles Grün aus, als noch vor 20 Jahren. Erwähnenswert erscheinen die Pflanzkübel mit Buchspflanzen am Törlplatz, der Kirchenhof, die weisse Gasse, der Zeughausplatz speziell vor dem Tapeo.

Leider gibt es auch vernachlässigtes mobiles Grün an der Kasernenstrasse, an der Meyer wiggli-Strasse und am Zeughausplatz. Ohne entsprechende Pflege verkommen solche Installationen innerhalb weniger Tage.

Wieviel tragen Bäume oder Brunnen im Stedtli zur Hitzestressreduktion bei? Um Antworten auf diese Fragen zu erhalten, wurde ein Mikroklimamodell des Stedtli 2021 erschaffen.



Der Zustand an einem Hitzetag vom 25. Juli 2029 wurde für die Altstadtregion modelliert.

Das Fazit:

#### **Angenehmes Mikroklima durch Beschattung**

Die Altstadt funktioniert an heissen Sommertagen so lange gut, wie die Gassen verschattet werden. Baumpflanzungen innerhalb der engen Altstadt sind aus stadtklimatischer Sicht wenig ergiebig, da die Beschattung durch die Häuser bereits einen markanten Effekt hat und zudem in engen Gassen kaum Platz für Bäume besteht. Auf offenen Plätzen, die direkt an die enge Altstadt grenzen, sind Bäume für die Reduktion von Hitzestress viel besser eingesetzt. Einige – besonders Ost-West-gerichtete – Gassen könnten durch zusätzliche Massnahmen wie z.B. Sonnensegel/Sonnenschirme beschattet werden.

#### **Effekt der vier getestete Optimierungsmassnahmen am Tag**

1. Fontänen am Fischmarkt
2. Baumtröge an Rheinstrasse
3. Baum am Zeughausplatz
4. Fassadenbegrünung in der Altstadt

Von den vier getesteten Optimierungsmassnahmen haben die Einzelbäume bzw. Baumtröge auf den Plätzen und entlang von Strassen tagsüber den stärksten Reduktionseffekt auf den Hitzestress erzielt. Massgebend ist hier die Beschattung, die durch die Bäume entsteht. Die flächendeckende Fassadenbegrünung der Altstadt bringt kaum eine Verringerung des Hitzestress auf der Strasse (im Gebäudeinnern hingegen schon). Auch die Wasserfontänen können tagsüber den Hitzestress nicht verringern (es sei denn, eine Person hat direkt Kontakt mit dem Wasser).

Die im Postulat zur Prüfung empfohlenen 'mobile bepflanzte Hochbeete' werden gemäss dieser Studie nicht explizit empfohlen. Jedoch können diese mit der Massnahme 'Mikroparks schaffen' kombiniert werden.

## 2. Lösungsvorschlag / Projektbeschreibung

### **Mobiles Grün im Stedtli**

Die Wirkung des mobilen Grüns auf die Hitzeentwicklung wurde untersucht. Nachgewiesen werden positive Effekte vor dem Tertianum an der Rheinstrasse. Die Verkehrsinsel vor dem Lüdin-Bau gehört dem Kanton und dort wurde ein Standort für mobiles Grün bereits vom Kanton abgelehnt.

Einen einladenden Effekt kann Blumenschmuck in den 'Sombbrero Bänkli' auf der Rathausstrasse haben. Da die Bänkli der Stadt gehören ist sie hier handlungsfähig.

Mögliche weitere Standorte auf dem Fischmarkt gehen zu Lasten der Parkplätze. Hier möchte die Stadt noch keine Veränderung anstossen, bevor das Verkehrsregime Altstadt nicht umgesetzt ist.

### **Mobiles Grün ausserhalb Stedtli**

Mögliche Standorte für mobiles Grün ausserhalb der Altstadt sieht die Stadt auf der Fläche der projektierten Mehrzweckstreifen der Rheinstrasse und der Kasernenstrasse. Im Vernehmlassungsentwurf wird dem Kanton die Idee weitergegeben, diese 2-3 m breiten Streifen mit mobilem Grün aufzuwerten und damit die breiten Verkehrsachsen siedlungsverträglicher zu gestalten. Hier können Flächen von 2-3'000m<sup>2</sup> umgestaltet werden, was die kleinen Massnahmenflächen im Stedtli um ein zig-faches übersteigt.

### **Weitere Massnahmen zur Reduktion der Hitzeinseleffekte werden laufend umgesetzt.**

-Nach dem Prinzip der Schwammstadt wird überall nach Möglichkeiten gesucht, damit Regenwasser und Feuchtigkeit gespeichert werden kann.

-Begrünte Flachdächer mit dem neuen Typ der Buswartehäuschen an der Gasstrasse, Heidenlochstrasse und Gitterlibad.

-Baumpflanzungen im Rahmen neuer Strassenprojekte. An der Heidenlochstrasse wurde im Frühjahr 2023 und an der Gasstrasse im Herbst 2023 nachträglich Bäume gepflanzt, welche in den Projekten 2019 noch nicht vorgesehen waren.

-Mikroparks schaffen: kleine Parkanlagen mit üppiger Bepflanzung, Sitzgelegenheiten, Brunnen. Wie Z.B. Wasserturmplatz, Zeughausplatz, Göschke-Brunnen, Lüdin-Pärkli, Grienmattplatz, Bücheli-Platz, Friedhof Begegnungsort 2022

Der Klimagasbericht, welcher zusätzliche Massnahmen der Stadt im Zusammenhang mit dem Klimaschutz erwähnt, wird voraussichtlich in den nächsten Sitzungen dem Einwohner-rat vorgestellt.

### **3. Massnahmen / Termine**

- Weiterhin umsetzen von mikroklimaverbessernden Massnahmen im Rahmen der laufenden Projekte.
- Einfordern der Umsetzung von mikroklimaverbessernden Massnahmen bei Investoren von Quartierplänen und kantonalen Projekten.

### **4. Finanzierung**

Die erwähnten Massnahmen werden innerhalb der Projektkosten umgesetzt. Kleiner Massnahmen wie etwa einladender Blumenschmuck in den Bänklis der Rathausstrasse werden im Rahmen des laufenden Budget und mit den bestehenden personellen Ressourcen umgesetzt.

### **5. Beilagen / Anhänge**

Mikroklimaanalyse Stadt Liestal vom 11. Mai 2021

Stadt Liestal  
Tiefbau  
Nonnenbodenweg  
4410 Liestal

# Mikroklimaanalyse Stadt Liestal: Modellierungsstudien in unter- schiedlichen Räumen

## Schlussbericht

**11. Mai 2021**

## **Impressum**

### **Mikroklimaanalyse Stadt Liestal: Modellierungsstudien in unterschiedlichen Räumen**

Auftraggeber: Stadt Liestal, Tiefbauamt  
Projektverantwortliche: Martin Strübin, Thomas Noack

Auftragnehmer: GEO Partner AG, Basel  
Projektleitung: Dr. Andreas Wicki  
Fachbearbeitung: Dr. Andreas Wicki  
Qualitätssicherung: Regula Winzeler

## Inhaltsverzeichnis

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1      | Einleitung .....  | 4  |
| 1.1    | Ausgangslage und Projektziel .....                          | 4  |
| 1.2    | Betrachtete Räume .....                                     | 4  |
| 2      | Klimatische Ausgangslage .....                              | 6  |
| 2.1    | Hitzewellen und Klimawandel .....                           | 6  |
| 2.2    | Klima Liestal.....  | 6  |
| 2.3    | Stadtklima.....   | 10 |
| 3      | Methode, Daten und Varianten.....                           | 12 |
| 3.1    | Simulation, Modell und Perimeter .....                      | 12 |
| 3.2    | Randbedingungen .....                                       | 13 |
| 3.3    | Modellumgebungen .....                                      | 14 |
| 3.3.1  | Frenkendörferstrasse .....                                  | 14 |
| 3.3.2  | Stützmauer Sichern .....                                    | 14 |
| 3.3.3  | Altstadt Liestal .....                                      | 15 |
| 3.4    | Output und Interpretation der Resultate.....                | 17 |
| 4      | Resultate .....   | 18 |
| 4.1    | Erklärung zu den dargestellten Modellergebnissen .....      | 18 |
| 4.2    | Frenkendörferstrasse .....                                  | 19 |
| 4.2.1  | Wind .....  | 19 |
| 4.2.2  | Thermische Situation .....                                  | 20 |
| 4.2.3  | Beschattung.....  | 21 |
| 4.3    | Stützmauer Sichern .....                                    | 22 |
| 4.3.1  | Thermische Situation .....                                  | 22 |
| 4.3.2  | Wandoberfläche .....  | 23 |
| 4.4    | Altstadt Liestal.....                                       | 25 |
| 4.4.1  | Wind .....  | 25 |
| 4.4.2  | Thermische Situation am Tag .....                           | 27 |
| 4.4.3  | Beschattung.....  | 28 |
| 4.4.4  | Thermische Situation in der Nacht .....                     | 29 |
| 4.4.5  | Beurteilung Optimierungsmassnahmen Altstadt.....            | 30 |
| 5      | Schlussfolgerungen .....                                    | 33 |
| 5.1    | Allgemein.....  | 33 |
| 5.2    | Frenkendörferstrasse .....                                  | 33 |
| 5.3    | Stützmauer Sichern .....                                    | 33 |
| 5.4    | Altstadt Liestal.....                                       | 34 |
| 6      | Massnahmenvorschläge zur Verbesserung des Mikroklimas ..... | 35 |
| Anhang | .....   | 36 |
| A.1    | Zitierte Grundlagen .....                                   | 36 |
| A.2    | ENVI-met .....  | 36 |
| A.3    | Komponenten der PET (Hitzestress) um 14:00 Uhr.....         | 37 |
| A.4    | Einfluss von Wind auf den Hitzestress .....                 | 39 |
| A.5    | Abbildungen zu möglichen Optimierungsmassnahmen.....        | 40 |

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Projektziel

Die letzten Jahre waren geprägt durch ausserordentlich warme Sommer. Hitze-  
wellen, welche im 20. Jahrhundert eher eine Seltenheit waren, werden  
mittlerweile jeden Sommer erwartet. Teilweise sogar mehrmals. Zudem rech-  
nen Forschende damit, dass Hitzewellen noch häufiger und intensiver werden.  
Bereits heute ist ein klarer Trend hinsichtlich längerer und stabilerer Wetterla-  
gen zu erkennen.

**Sommerliche Hitze als Problem**

Besonders für ältere und geschwächte Personen, welche zukünftig durch den  
demographischen Wandel eine der grössten Bevölkerungsgruppen darstellen  
werden, ist die sommerliche Hitze problematisch. Berücksichtigt man zudem,  
dass Schweizer Städte vermehrt wachsen und raumplanerisch eine Bestrebung  
zu innerer Verdichtung besteht, wird sich dieses Problem in Anbetracht der  
städtischen Überhitzung zunehmend akzentuieren.

**Vulnerable Bevölkerungsgruppe**

Da die aktuell in Tief- und Hochbau geschaffene Infrastruktur für die nächsten  
50-100 Jahre richtungsweisend ist, werden bereits heute die Weichen für eine  
klimaangepasste Stadtplanung gestellt.

**Langlebige Strukturen für ein zu-  
künftiges Klima**

Ziel der Mikroklimaanalyse Liestal ist es, den Einfluss von Bepflanzungs- und Be-  
grünungsmassnahmen auf die nähere Umgebung anhand unterschiedlicher Un-  
tersuchungsräume zu quantifizieren und Handlungsbedarf zu definieren.

**Ziel des Projekts**

## 1.2 Betrachtete Räume

Für die Modellierungsstudie wurden drei Untersuchungsräume mit unterschied-  
lichen Massnahmen zum Schutz vor sommerlicher Überhitzung definiert. Die je-  
weiligen Perimeter der Untersuchungsräume Frenkendörferstrasse, Stützmauer  
Sichtern und Altstadt Liestal können Abbildung 1 entnommen werden.

**Drei Untersuchungsräume**

Bei der Modellierungsstudie an der Frenkendörferstrasse soll aufgezeigt  
werden, ob mittels Baumsetzungen Hitzestress entlang der Strasse hinreichend  
reduziert werden kann. Dies soll durch eine Analyse des Zustands mit und ohne  
Baumsetzungen ermittelt werden. Die Darstellung des resultierenden Hitze-  
stress erfolgt als zweidimensionale Karte.

**Frenkendörferstrasse**

Eine zweite Modellierungsstudie widmet sich dem Effekt der geplanten Wand-  
begrünung entlang der Stützmauer Sichtern. Diese befindet sich auf der Süd-  
seite des Bahnhofs Liestal entlang der Sichternstrasse und der Oristalstrasse  
(parallel zu den Bahngleisen). Sie weist eine Länge von knapp 200 auf und ist  
maximal 8 m hoch. Auch hier wird der Ausgangszustand ohne und der Soll-Zu-  
stand mit ausgedehnter Begrünung simuliert, und die relevanten Resultate als

**Stützmauer Sichtern**

Karten dargestellt. Zudem wird die Wirkung der Begrünung auf die Mauer selbst und den unmittelbaren Bereich vor der Mauer untersucht.

Die umfangreichste Studie betrifft die Altstadt von Liestal. Hier soll anhand einer Simulation des Ist-Zustands Handlungsbedarf innerhalb der Altstadt ermittelt werden. Die Auswertung der relevanten Parameter erfolgt wiederum als zweidimensionale Karten.

#### Altstadt Liestal

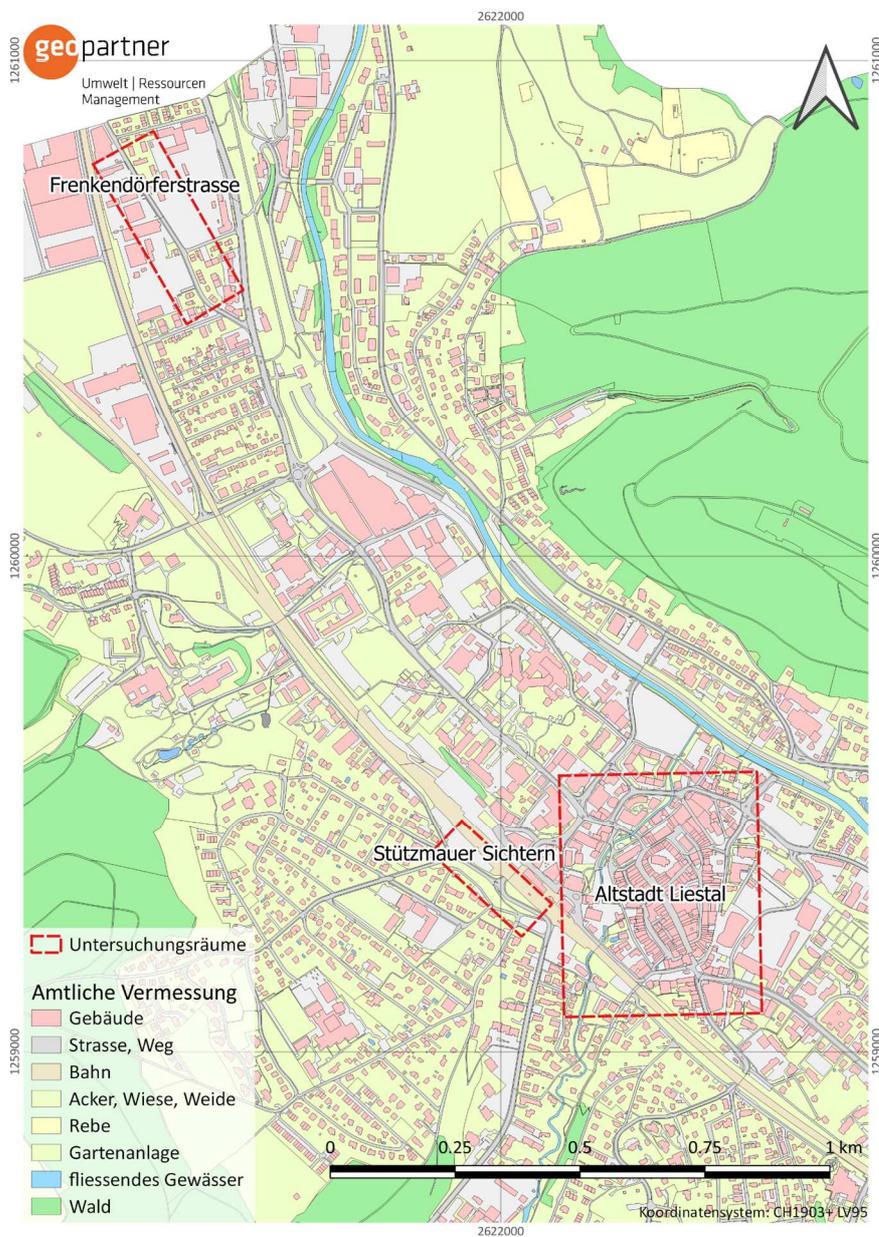


Abbildung 1: Lage und Ausdehnung der drei Untersuchungsräume.

## 2 Klimatische Ausgangslage

### 2.1 Hitzewellen und Klimawandel

Bereits heute zeigen sich die Auswirkungen des globalen Klimawandels mit einer markanten Häufung von Hitzewellen in den letzten 20 Jahren. In den Jahren 2003, 2015, 2018 und 2019 erlebten wir in der Schweiz Hitzeperioden, wie sie noch Mitte des 20. Jahrhunderts sehr unwahrscheinlich waren [1]. Extremsommer werden zur Norm und langanhaltende Hitzeperioden zu einem Ereignis, welches mehrmals jährlich erwartet werden kann [2]. Bis 2060 wird mit einer Verdopplung der Anzahl an Hitzetagen (Maximaltemperatur über 30 °C) im Vergleich zum Referenzzeitraum 1981-2010 gerechnet (von 10.5 auf 23.8 im Mittel pro Jahr, Abbildung 2). Dies jedoch nur, wenn die technische und politische Entwicklung bis Mitte des 21. Jahrhunderts zu einem schrittweisen Rückgang der Treibhausgasemissionen führt (RCP4.5-Szenario) und diese sich stabilisieren [3]. Andernfalls würde die Anzahl erwarteter Hitzetage noch höher liegen.

**Markante Häufung von Hitzewellen**

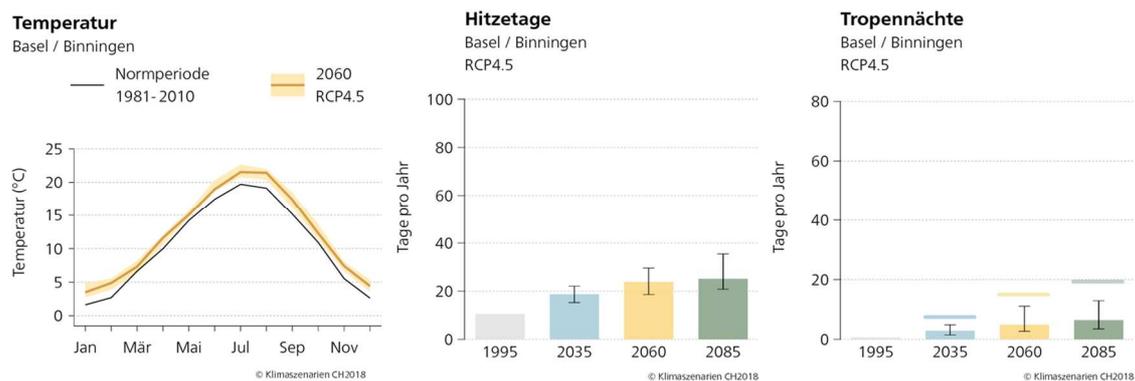


Abbildung 2: Jahresgang der Temperatur für das Jahr 2060 (links), Anzahl Hitzetage (Mitte) und Anzahl Tropennächte (rechts, inkl. Balken mit zugerechnetem Wärmeinseleffekt) für das RCP4.5-Szenario mit jeweiligem Variationsbereich der Modelle [4].

### 2.2 Klima Liestal

Das Klima einer geographischen Region wird definiert als der Durchschnitt der Witterungsbedingungen über einen längeren Zeitraum (üblicherweise 30 Jahre). Diese lange Mittelungsdauer ist notwendig, um kurzfristige Schwankungen abzufangen und allgemeingültige Aussagen treffen zu können. Für verlässliche Beurteilungen muss somit während einer gewissen Dauer an einem Ort nach klar definierten Standards gemessen werden.

**Definition Klima: Durchschnitt der Witterungsbedingungen einer geographischen Region über einen längeren Zeitraum**

Die nächste Messstation von MeteoSchweiz, welche diese Kriterien erfüllt, befindet sich an der Grenze von Basel zu Binningen (Sternwarte Basel). Da das Klima von Liestal stark durch die örtliche Topographie des Ergolztals beeinflusst wird, sind klimatologische Studien der Station Basel/Binningen nur teilweise für

**Vergleich zu Basel/Binningen**

Liestal gültig. Geht es um die Entwicklung mittlerer Temperaturverläufe über einen längeren Zeitraum, können die Tendenzen von Basel/Binningen abgeleitet werden. Auch zukünftige Entwicklungen aus Klimamodellen sind nicht höher aufgelöst verfügbar. Sind jedoch Minimal- oder Maximalwerte relevant, beispielsweise zur Bestimmung der Anzahl an Hitzetagen oder Tropennächten (Minimumtemperatur >20°C), gelten die Kennzahlen von Basel/Binningen nur noch bedingt. Am deutlichsten zeigt sich der lokale Charakter des Klimas im Ergolztal anhand der Windverteilung, welche bodennah stark durch die Topographie geprägt ist (Abbildung 3).

Das Lufthygieneamt beider Basel (LHA) in Liestal betrieb von 1992-2017 an ihrem alten Standort an der Rheinstrasse 44 eine Messstation, welche zwar nicht die internationalen Standards erfüllt, aber bezüglich Messsensorik verlässliche Daten liefert. Für die Betrachtung der Temperaturentwicklung sind dies immerhin 24 Jahre Messdaten, was fast einer Klimanormperiode (30 Jahre) entspricht. Seit 2017 befindet sich die Messstation auf dem Dach der Berufsschule (GiBL) an der Mühlemattstrasse 34, was bezüglich Windfeld aussagekräftigere Daten liefert, da dort weniger Beeinflussung durch die umgebenden Gebäude stattfindet. Da dieses Windfeld ohnehin, vor allem nachts, sehr stark durch die Topographie geprägt ist, sind auch kürzere Beobachtungszeiträume aussagekräftig.

**Daten Liestal**

Für die Charakterisierung des Windfelds wurden die Daten vom Dach des GiBL seit 2017 analysiert. Es zeigt sich deutlich, dass der Wind in Liestal durch eine Hang-/Talwindzirkulation geprägt ist. Tagsüber strömen die Winde dabei Nordwesten mehrheitlich das Tal hoch, nachts entlang dem Gefälle das Tal hinunter. An den Hängen entstehen hangabwärts gerichtete Flüsse, welche sich im Talboden sammeln und entlang der Talachse strömen. Am Tag weicht das Windfeld, besonders im Sommer, teilweise auch von der erwarteten Strömungsrichtung entlang der Talachse ab. Ursache dafür dürften Turbulenzen aufgrund von Konvektionsströmungen sein. Die Windströmungen prägen das Klima in Liestal und sind daher von grosser Bedeutung, auch für die numerische Simulation.

**Windfeld**

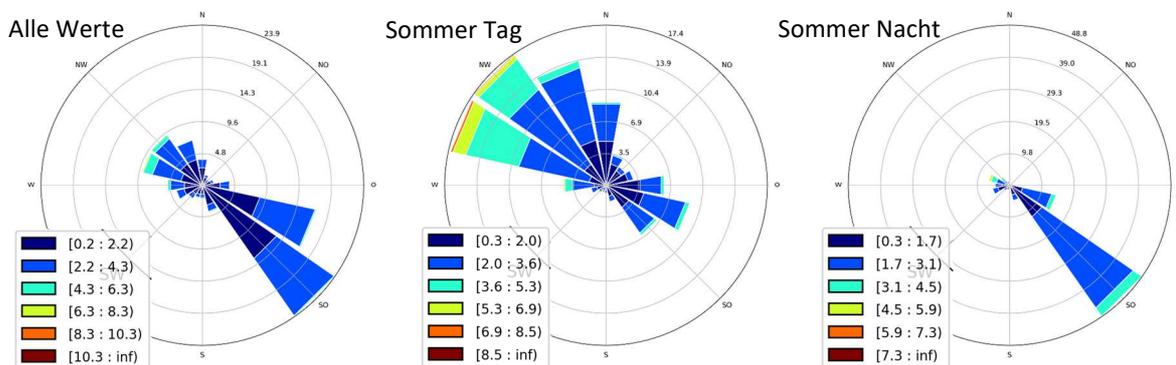


Abbildung 3: Windrosen für die Windmessung in m/s auf dem Dach des GiBL (Mühlemattstrasse 34) für alle Messwerte seit 2017 (links), alle Sommermesswerte am Tag (Mitte) und alle Sommermesswerte in der Nacht (rechts). Die Farbwerte sind zur besseren Kenntlichkeit unterschiedlich skaliert. Die Ringe der Windrosen entsprechen der Auftretenswahrscheinlichkeit (in %).

Für die Analyse der Temperaturentwicklung wurden ausschliesslich Daten vom alten Standort der Messstation an der Rheinstrasse 44 verwendet. Anhand der Jahresmitteltemperatur lässt sich ein deutlich steigender Trend erkennen. Lag diese, mit Ausnahme des warmen Jahres 1994, im ersten Drittel der Betrachtungsperiode noch stets unter 11 °C, sind seit 2010 ausnahmslos Jahresmitteltemperaturen von mehr als 11 °C gemessen worden. Das Jahr 2006 war dabei mit 12.48 °C das wärmste Jahr seit 1992, dicht gefolgt von 2014 mit 12.34 °C.

#### Jahresmitteltemperaturen

Anhand der Jahreshöchsttemperaturen wird ersichtlich, dass die Lufttemperaturen in den letzten Jahren nicht nur im Mittel, sondern auch in den Extremwerten zugenommen haben. Nachdem gegen Ende der ersten Dekade nach 2000 der generelle Erwärmungstrend eher abgeflacht war, ist seit 2010 ein deutlicher Anstieg in den Jahreshöchsttemperaturen zu erkennen. Im Jahr 2013 wurde in Liestal mit 39.22 °C der wärmste Tag seit Messbeginn 1992 verzeichnet.

#### Jahreshöchsttemperaturen

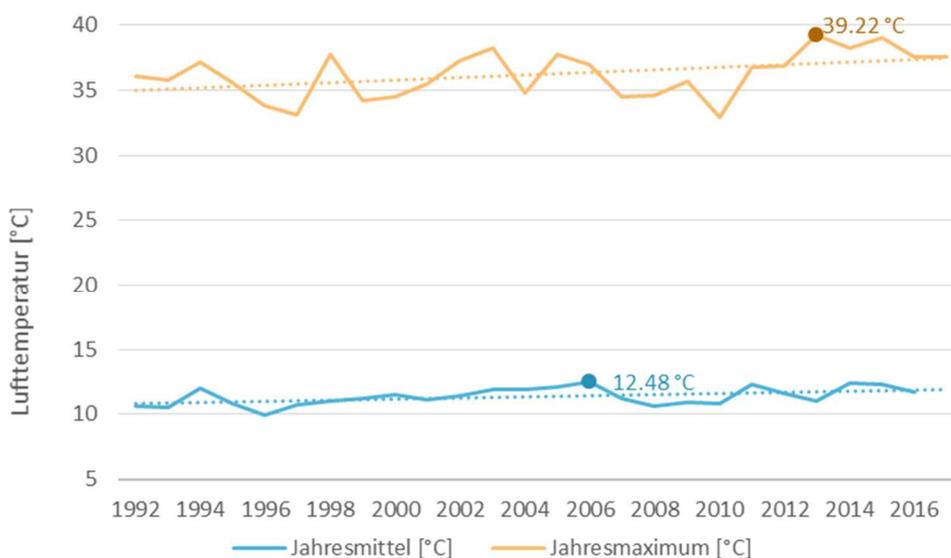


Abbildung 4: Jahresmittel- und Jahreshöchstwerte der Lufttemperatur (°C) an der Station Liestal LHA (Rheinstrasse 44).

Typische Indikatoren für das örtliche Klima sind die Anzahl an Hitzetagen, an denen das Thermometer die Marke von 30 °C übersteigt, und die Anzahl an Tropennächten, in denen die Temperatur nicht unter 20 °C sinkt. Im Jahr 2003 konnte mit 46 Hitzetagen, also der Hälfte aller kalendarischen Sommertage, der extremste Sommer seit 1992 beobachtet werden. An vielen Standorten in der Schweiz, so auch an der Station Basel/Binningen, war 2003 der heisseste Sommer seit Messbeginn. Er wird oft als Indikator für zukünftig zu erwartende Hitzesommer genommen. Wurden in den 90er-Jahren noch im Mittel 20 Hitzetage pro Jahr gemessen, waren es in den 00er-Jahren bereits 25 und seit 2010 27 Hitzetage im Schnitt. Für die Tropennächte fällt das Verdikt noch deutlicher aus: Die Anzahl der mittleren Tropennächte pro Jahr stieg von 1 zwischen 1992 und

#### Hitzetage und Tropennächte

**Hitzetag: Temperatur über 30 °C**

**Tropennacht: Temperatur in der Nacht nicht unter 20 °C**

1999 auf 3 zwischen 2000 und 2009 bis auf 6 zwischen 2010 und 2017. Das Jahr 2015 hatte dabei mit 15 die meisten Tropennächte zu verzeichnen.

Hitzetage entstehen durch grossräumige Luftzirkulation, beispielsweise durch die Anströmung von heissen Luftmassen aus Richtung Südwest, in Kombination mit starker Sonneneinstrahlung tagsüber. So können sehr hohe Temperaturen sowohl auf dem Land wie auch innerhalb des Stadtgefüges entstehen. Typischerweise ist die Lufttemperaturverteilung innerhalb der bebauten Strukturen dabei heterogener, da sich die Luft über beschatteten Flächen etwas weniger stark erwärmt als über sonnenbeschienenen Flächen, wobei zudem auch die Bodenbedeckung einen leichten Einfluss hat. Die Temperatur tagsüber, und damit die Anzahl an Hitzetagen, muss deshalb nicht zwingend in allen städtischen Räumen höher sein als auf dem Land. In gut beschatteten Gassen kann es tagsüber kühler sein als auf einem voll besonnten Acker. Zudem wird das Wärmeempfinden tagsüber vor allem durch die direkte Sonneneinstrahlung überprägt (siehe Kapitel 2.3). Hitzetage sind somit kein Phänomen, welches einheitlich innerhalb eines Stadtgebiets vermehrt auftritt.

**Erklärung Hitzetage**

Anders sieht dies für Tropennächte aus. Die nächtlichen Temperaturen sind in bebautem Gebiet meist deutlich höher als im ruralen Umland (siehe auch Kapitel 2.3), wodurch Tropennächte in dicht bebauten Städten deutlich häufiger vorkommen (z.B. 3-4 mal in Basel [7]). Tropennächte werden damit von der umgebenden Bebauung direkt beeinflusst. Da sich die Station LHA Liestal in bebautem Gebiet befindet, wird die Anzahl an Tropennächten auch dadurch beeinflusst.

**Erklärung Tropennächte**

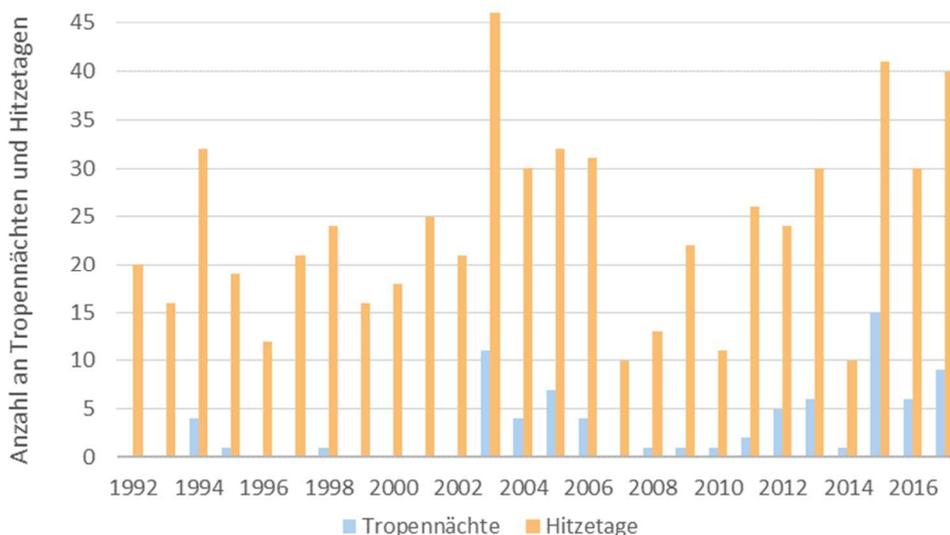


Abbildung 5: Anzahl Tropennächte (Minimumtemperatur >20 °C) und Hitzetage (Temperatur >30 °C) an der Station Liestal LHA (Rheinstrasse 44).

Verglichen mit der Station Basel/Binningen (Stadttrand), für welche die Klimaprognose in Kapitel 2.1 beschrieben ist, wurden an der Station Liestal LHA im selben Zeitraum doppelt so viele Tropennächte gemessen (Tabelle 1). Da sich die Station, im Gegensatz zur Station Basel/Binningen, in bebautem Gebiet befindet, ist die grössere Anzahl an Tropennächten nicht überraschend. Sehr wahrscheinlich trägt die gute Durchlüftung dank Talabwinden entlang des Ergolztals und der Standort der Station in einem relativ grünen Garten dazu bei, dass die Anzahl an Tropennächten nicht noch höher liegt.

**Vergleich Basel/Binningen zu Liestal LHA**

Tabelle 1: Vergleich Tropennächte Basel/Binningen zu Liestal LHA (Rheinstrasse 44) von 1992 bis 2017.

|                             | Tropennächte pro Jahr |
|-----------------------------|-----------------------|
| LHA Liestal (1992-2017)     | 3.0                   |
| Basel/Binningen (1992-2017) | 1.4                   |

## 2.3 Stadtklima

Besonders im urbanen Raum, welcher nach WHO-Prognosen bis 2050 von ungefähr 85% der Schweizer Bevölkerung bewohnt sein wird, können Hitzewellen zur Last werden. Aufgrund der dichten Bebauungsstruktur, der starken Versiegelung und fehlender Grünflächen ist die Stadt nachts stets einige Grad wärmer als ihr rurales Umland. Besonders deutlich prägt sich dies in den frühen Abendstunden und während sommerlichen Wärmephasen aus.

**Städtische Wärmeinsel, hohe Lufttemperaturen nachts**

Die Gründe dafür liegen in der Energiebilanz an der Oberfläche. Während auf dem Land ein Grossteil der Energie für die Verdunstung aufgewendet wird, wird im städtischen Raum viel Energie in der Bausubstanz gespeichert. Nachts, wenn der solare Strahlungsantrieb für die Erwärmung fehlt, kühlt die bodennahe Luftschicht aus. Diese Abkühlung wird durch die gespeicherte Energie aus der Bausubstanz im Stadtgefüge abgeschwächt. Zudem absorbieren und emittieren die Fassadenelemente in einer Strassenschlucht Wärmestrahlung, was diesen Effekt verstärkt.

**Gründe für städtische Wärmeinsel**

Tagsüber erleben die Bewohnenden während Hitzewellen starken Hitzestress, besonders wenn sie sich an warmen, besonnten und windschwachen Orten aufhalten. Diese Faktoren sind relevant für das thermische Wohlbefinden eines Individuums und lassen sich mittels Hitzeindizes berechnen. Als einer der Standards hat sich die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET, von engl. *physiological equivalent temperature*) etabliert [5]. Die PET entspricht vereinfacht gesagt dem vom Menschen empfundenen Hitzestress.

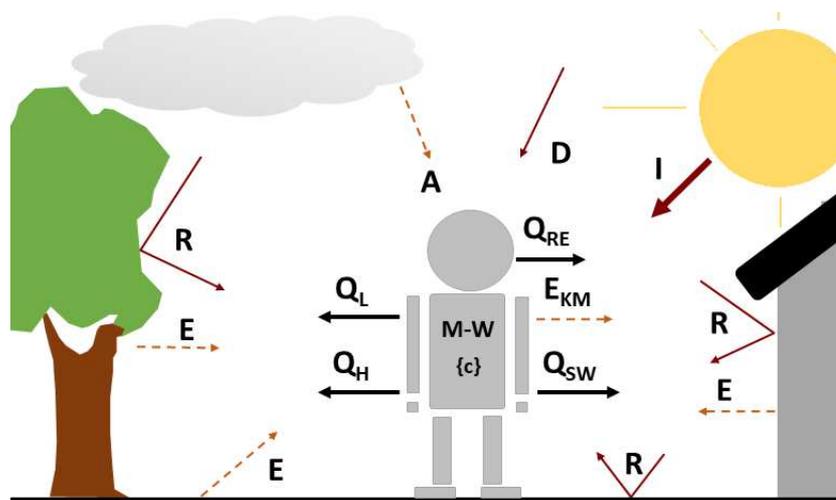
**Hitzestress tagsüber**

Dieser Index beinhaltet die Strahlungstemperatur (lang und kurzwellige Strahlungsflüsse, resp. Solar- und Wärmestrahlung), Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind, Bekleidung und Aktivität (Abbildung 6 und Anhang A.3). Die Einheit der PET ist °C und beschreibt die Temperatur, welche in einem Innenraum ohne direkte Sonneneinstrahlung und Wind sowie einer Luftfeuchtigkeit von 50% herrschen müsste, um den gleichen Hitzestress zu erzeugen wie aktuell von einer Person im Freien empfunden. Eine PET von 45 °C bedeutet somit, dass man als Individuum mit Standardbekleidung bei leichter Bewegung im Freien den gleichen Hitzestress erfährt wie sitzend in einem Raum mit 45 °C Lufttemperatur.

Dieser Hitzestress - quasi das eine Ende der thermischen Komfortskala eines Menschen - hängt massgeblich von der Beschattung/Besonnung ab und wird auch durch die vorherrschenden Windgeschwindigkeiten beeinflusst. Die Temperatur bildet die Basis des Werts, spielt tagsüber aber eine eher untergeordnete Rolle. In der Nacht nimmt die Bedeutung der Lufttemperatur für das thermische Wohlbefinden jedoch wieder zu. Dies besonders aufgrund der fehlenden solaren Einstrahlung. Ausserdem sind die Windgeschwindigkeiten, abgesehen von Kaltluftabflussgebieten, nachts üblicherweise geringer. Die PET wurde auch im Rahmen der grossräumigen Klimaanalyse Basel-Stadt als Einheit für die humanklimatische Situation am Tag gewählt.

**Erklärung PET (empfundener Hitzestress):**

*Temperatur, welche in einem Innenraum ohne direkte Sonneneinstrahlung und Wind sowie einer Luftfeuchtigkeit von 50% herrschen müsste, um den gleichen Hitzestress zu erzeugen wie aktuell von einer Person im Freien empfunden.*



**Legende:**

- I direkte Sonneneinstrahlung
- D diffuse Sonneneinstrahlung
- R reflektierte Sonneneinstrahlung
- A Wärmestrahlung Atmosphäre
- E Wärmestrahlung Oberfläche
- EKM Wärmestrahlung Mensch
- M-W Wärmeproduktion durch Energiestoffwechsel
- {c} Kleidung des Menschen

QH, QSW, QL und QRE entsprechen den menschlichen Wärmeverlustgrößen, beispielsweise durch Schwitzen oder Atmen.

Abbildung 6: Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit eines Individuums (nach dwd.de).

## 3 Methode, Daten und Varianten

### 3.1 Simulation, Modell und Perimeter

Für die rechnergestützten Analysen wird das Modell ENVI-met verwendet (Anhang A.2). ENVI-met hat sich in vielen Stadtklimastudien für kleinräumige Analysen bewährt und ist äusserst benutzerfreundlich. Es ist speziell dafür konzipiert, Varianten und Veränderungen zu modellieren.

**Modell ENVI-met**

Die Modellumgebungen beinhalten die relevanten Räume Frenkendöferstrasse, Stützmauer Sichtern und Altstadt Liestal (Abbildung 7). Die Perimeter umfassen dabei 160 m x 370 m für die Frenkendöferstrasse, 248 m x 90 m für das Gebiet der Stützmauer Sichtern und 398 m x 490 m für die Altstadt Liestal. Für die Altstadt Liestal wurde neben dem relevanten Kerngebiet Altstadt auch die umgebende Bebauung berücksichtigt, um das Modell korrekt in seiner Umgebung einzubauen. Für die Altstadt und die Stützmauer Sichtern wurde zudem mit einem digitalen Geländemodell gearbeitet, um die Topographie zu berücksichtigen.

**Perimeter**

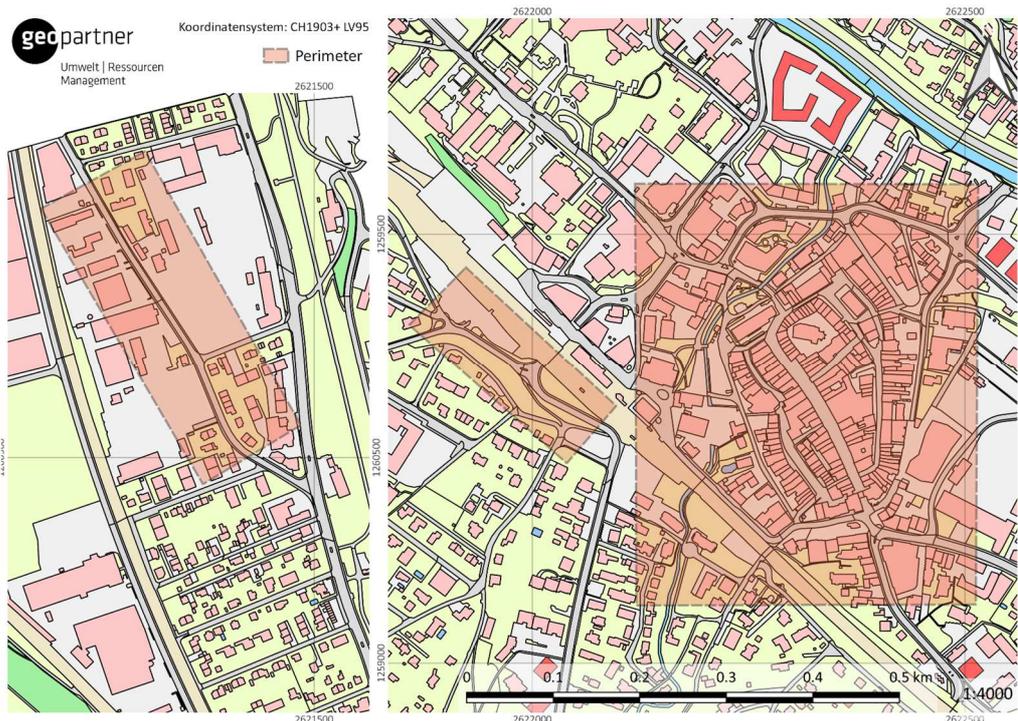


Abbildung 7: Perimeter der unterschiedlichen Räume (v.l.n.r.: Frenkendöferstrasse, Stützmauer Sichtern und Altstadt) mit der Oberflächenbeschaffenheit aus der amtlichen Vermessung als Hintergrund.

Die Grösse der Gitterzellen - und damit die Auflösung des Modells - wurde für alle Modellgebiete auf 2 m (vertikal und horizontal) gesetzt. Bei einer Grösse

**Modellauflösung**

der Modellumgebung von 398 m x 490 m ergibt dies 199 x 245 Gitterzellen (horizontal). Vertikal sind die Modellumgebungen aus so vielen Gitterzellen aufgebaut, dass die Modellobergrenze mindestens doppelt so hoch ist wie das höchste Element im Modell. Für die Altstadt Liestal sind das 30 Zellen, wobei die Zellgrösse ab einer Höhe von 34 m um 15% zunimmt.

Simuliert wurden jeweils 36 Stunden Modelllaufzeit mit Start um 07 Uhr für den 24. Juli 2019. Der Tag ist dabei für die Sonneneinstrahlung relevant, Veränderungen am vorgegebenen Temperaturverlauf werden aufgrund der unterschiedlichen Bebauung und Oberflächenbeschaffenheit im Modell hervorgerufen. Die Resultate werden als Karten jeweils um 04 Uhr (Darstellung Lufttemperatur nachts) und 14 Uhr (Darstellung Hitzestress tagsüber) ausgewertet (analog Klimaanalyse Basel-Stadt oder Klimaanalyse Zürich 2018).

**Modellläufe und Resultate**

### 3.2 Randbedingungen

Das Modell zeigt die Veränderung des Stadtklimas aufgrund der Setzung von Gebäuden und der Ausgestaltung von Grünräumen, basierend auf vordefinierten Randbedingungen wie z.B. Lufttemperatur und Windfeld. Häufig wird für die Lufttemperatur ein typischer heisser Sommertag mit konstantem Windfeld angenommen, um die Auswirkungen von Veränderungsmaßnahmen isoliert zu betrachten. Für diese Analyse musste das Vorgehen leicht angepasst werden, da Liestal stark durch das tageszeitlich ändernde Windfeld geprägt ist (Abbildung 3, S. 7). Die meteorologischen Randbedingungen wurden daher anhand von Messdaten «erzwungen» (von Englisch «forcing»). Die verwendeten Messwerte können Abbildung 8 entnommen werden.

**Randbedingungen**

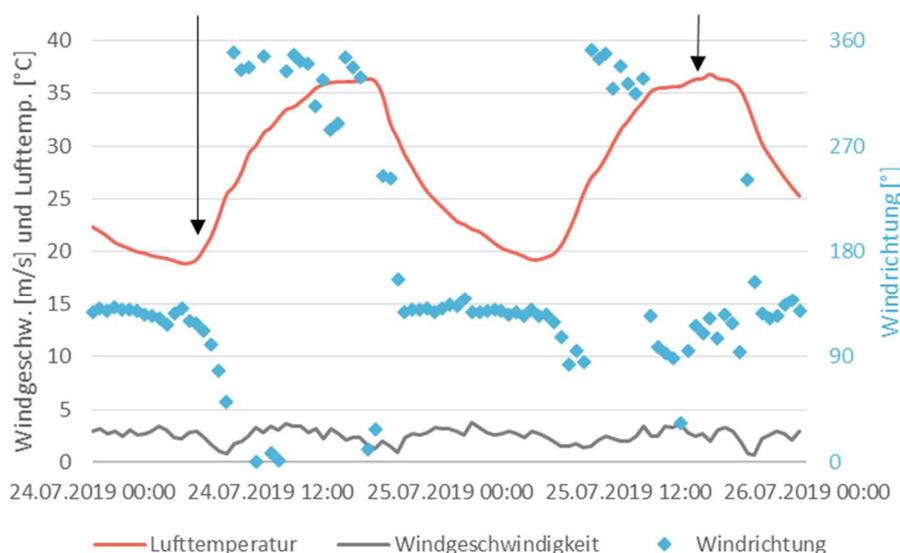


Abbildung 8: Meteorologische Randbedingungen der Modellläufe. Die schwarzen Pfeile zeigen den Beginn und das Ende der Modellläufe.

## 3.3 Modellumgebungen

### 3.3.1 Frenkendörferstrasse

Die Modellumgebung Frenkendörferstrasse umfasst praktisch die ganze Strasse von Beginn der Abzweigung an der Rheinstrasse bis fast zur Gemeindegrenze zu Frenkendorf (Abbildung 9). Die beiden Modellvarianten unterscheiden sich lediglich in den neuen Baumsetzungen (plus 12 Bäume). Die Bodenbeschaffenheit, welche in den Modellschnitten nicht dargestellt ist, wurde in allen Modellumgebungen aus der amtlichen Vermessung übernommen.

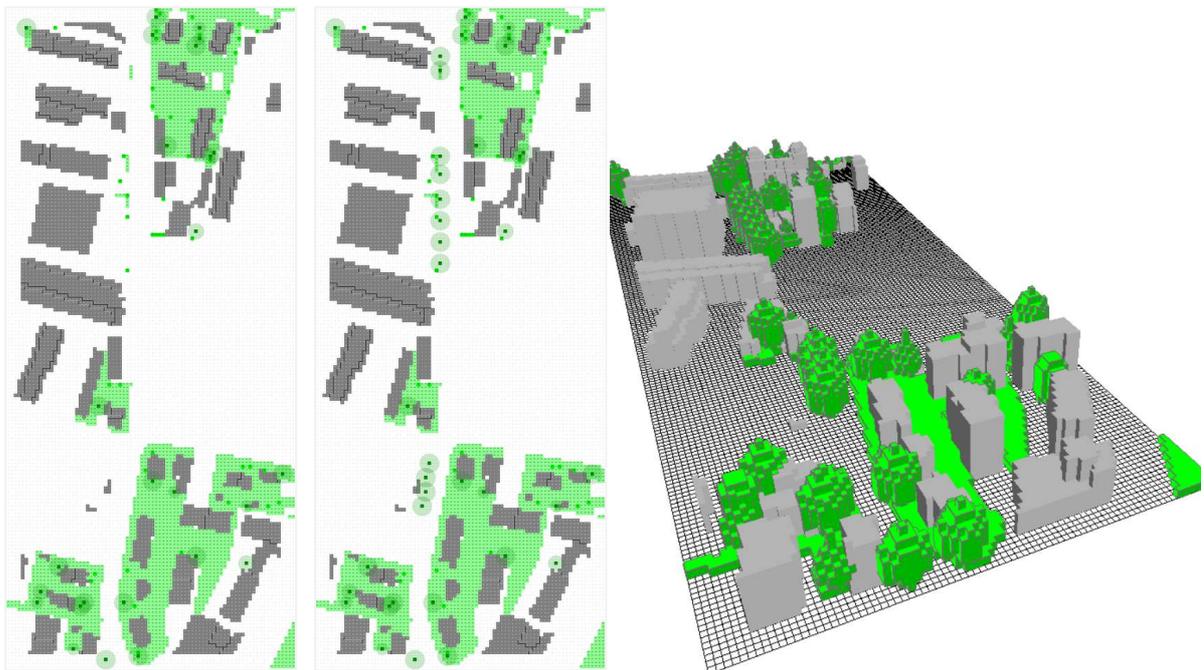


Abbildung 9: Modellumgebung der Frenkendörferstrasse mit dem Ausgangszustands z0 (links) und mit zusätzlichen Bäumen als z1 (Mitte). Rechts ist die Umgebung z1 in der 3D-Ansicht zu sehen.

### 3.3.2 Stützmauer Sichern

Die Modellumgebung Stützmauer Sichern umfasst die Stützmauer inklusive obigem Hang und angrenzende Strassen bis zum nahen Gleisfeld (Abbildung 9). Die beiden Modellvarianten unterscheiden sich lediglich in der Begrünung der Mauer (Kletterpflanzen), welche in der Variante z1 umgesetzt wurde. Die vertikale Dimension der Mauer täuscht dabei in der 3D-Ansicht in Abbildung 9 aufgrund der Perspektive. Im höchsten Punkt ist die Mauer 8 m hoch.

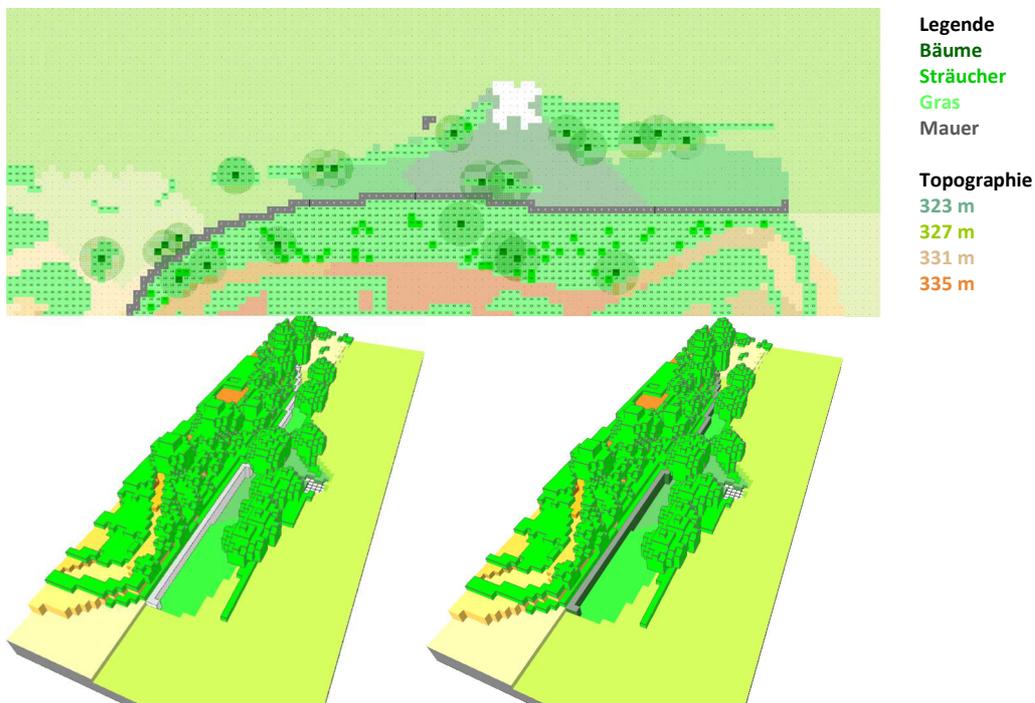


Abbildung 10: 2D-Ansicht (Draufsicht) mit der Stützmauer als graue Felder (oben), unten links in der 3D-Ansicht für die Variante z0 ohne Begrünung und unten rechts für die Variante z1 mit Begrünung (an der dunkelgrünen Färbung zu erkennen).

### 3.3.3 Altstadt Liestal

Die Modellumgebung Altstadt Liestal umfasst die gesamte historische Altstadt inkl. umliegende Strassenzüge. Da das Gebiet eine ausgeprägte Topographie aufweist, wurde auch diese im Modell berücksichtigt (Farbverlauf von grün über beige nach braun in Abbildung 11).

**Umgebung**

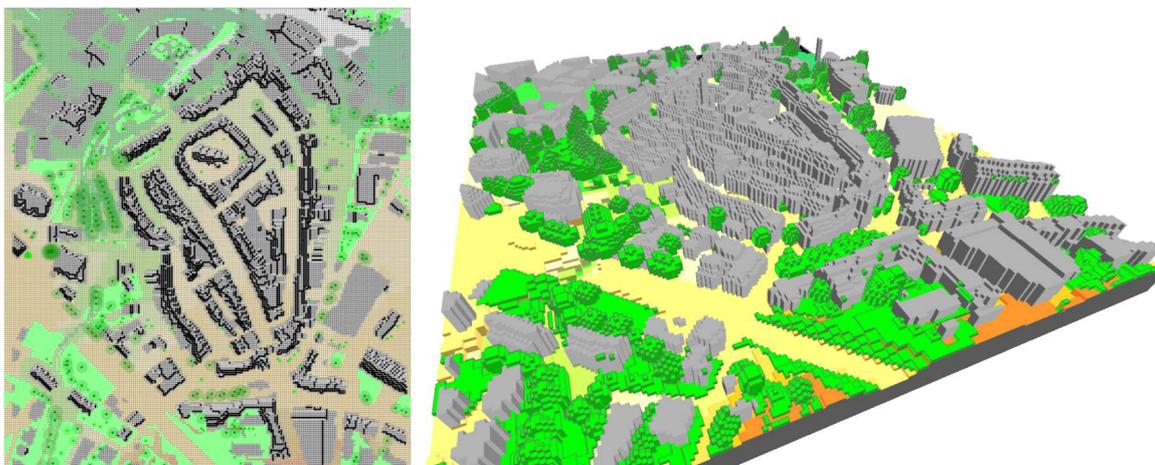
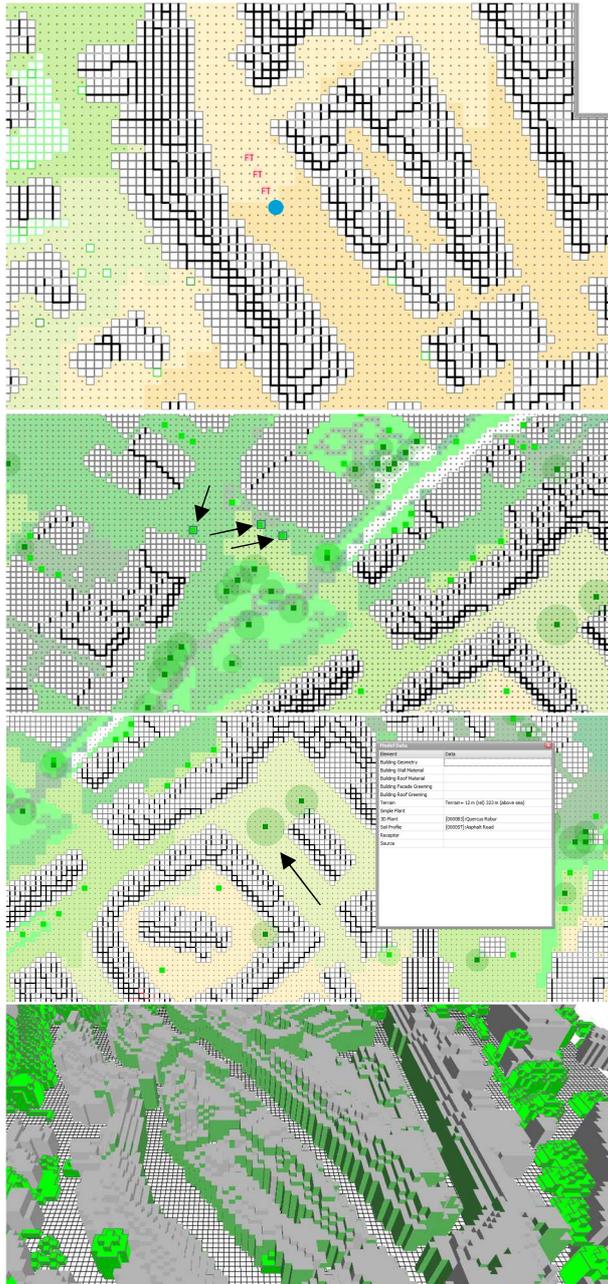


Abbildung 11: Altstadt Liestal in der 2D-Ansicht (links) mit Gebäuden und unterschiedlicher Vegetation und als 3D-Modell (rechts).

Nach einem ersten Modelllauf wurden zusätzliche Massnahmen definiert, welche in einer weiteren Simulation getestet wurden. Die Massnahmen umfassen Fassadenbegrünung, Installation von Grünelementen und Baumpflanzungen auf offenen Plätzen sowie Wasserspiele. Ein Fokus liegt dabei auf Plätzen wie z.B. dem Zeughausplatz oder dem Fischmarkt.

**Massnahmen**



**Fontänen Fischmarkt**

**Baumtröge Rheinstrasse**

**Baum (Stieleiche) Zeughausplatz**

**Fassadenbegrünung Altstadt**

Abbildung 12: Massnahmen Altstadt Liestal (von oben nach unten): Fontänen auf dem Fischmarkt (blaue Punkte), Baumtröge an der Rheinstrasse (schwarze Pfeile), Baum auf dem Zeughausplatz (schwarzer Pfeil) und Fassadenbegrünung innerhalb der Altstadt (grün).

## 3.4 Output und Interpretation der Resultate

Als Output werden vom Programm in Stundenschritten die jeweiligen meteorologischen Parameter in der Modellauflösung zweidimensional für jede Höhengschicht des Modells ausgegeben (Wind, Temperatur, Luftfeuchte, Strahlung, Energiebilanz etc.). Mithilfe von Rezeptoren, welche vorab innerhalb der Modellumgebung gesetzt werden, können Vertikalprofile in höherer zeitlicher Auflösung ausgelesen werden (relevant für Stützmauer Sichtern).

**Relevante meteorologische Parameter**

Über die Zusatzsoftware BioMET lassen sich wiederum biometeorologische Indizes wie PET berechnen (vgl. Kapitel 2.3). Für die Auswertung der Rezeptorendaten wird dies mit einem eigens geschriebenen Programm in Python durchgeführt.

**ENVI-met BioMET**

Bei ENVI-met handelt es sich um ein Modell, welches die enorm komplexen meteorologischen Prozesse nur näherungsweise abbilden kann und somit kein perfektes Abbild der Wirklichkeit liefert. Die absoluten Werte können daher auch von empirischen Messungen abweichen, die relativen Unterschiede in den verschiedenen betrachteten Varianten sollten jedoch nahe an der Realität liegen. Bei der Interpretation der Resultate sollte man das Augenmerk daher weniger auf die absoluten Werte richten, sondern primär die relativen Werte und vor allem auch die entstehenden Muster betrachten.

**Simulierte Wirklichkeit**

Ähnlich wie üblicherweise bei regionalen Klimaanalysen wird auch für diese Studie jeweils ein Tag- und ein Nachtzustand (14 und 04 Uhr) für die Kartendarstellung analysiert. Um 14 Uhr ist zwar noch nicht die Tageshöchsttemperatur erreicht, in Kombination mit dem Sonnenstand wird dann jedoch üblicherweise starker Hitzestress verspürt. Der Nachtzustand wird um 04 Uhr ermittelt.

**Tag- und Nachtsituation**

Die Darstellungen der meteorologischen Parameter als zweidimensionale Karten werden mit ENVI-met Leonardo, einer zusätzlichen Auswertungssoftware, realisiert.

**ENVI-met Leonardo für die Darstellung**

## 4 Resultate

### 4.1 Erklärung zu den dargestellten Modellergebnissen

Die Resultate werden als zweidimensionale Resultatkarten für zwei Zeitpunkte (14 und 04 Uhr) und die Parameter PET (Hitze­stress) tagsüber und Lufttemperatur (nachts) dargestellt.

**Darstellung**

Wie in Kapitel 2.3 erwähnt, setzt sich der tagsüber empfundene Hitze­stress neben individuellem Verhalten wie Bewegung oder Kleidung aus der Strahlungstemperatur (lang- und kurzweilige Strahlungsflüsse, Sonne/Schatten und Wärmestrahlung Umgebung), Lufttemperatur, Wind und Luftfeuchte zusammen (siehe auch Anhang A.3). Tagsüber wäre es somit wenig aussagekräftig, nur die Lufttemperatur anzuschauen. Aus diesem Grund wird für die Beurteilung der Tagsituation der Hitze­stress als Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) dargestellt. Nachts, wenn die kurzweiligen Strahlungsflüsse der Sonne wegfallen, gewinnt die Lufttemperatur wieder an Bedeutung und steuert das Wärmeempfinden des Menschen massgeblich. Daher wird für die Nachtsituation die Lufttemperatur dargestellt.

**Auswertung: Tagsüber PET (Hitze­stress), nachts Lufttemperatur**

Unterteilt wird das Kapitel nach den entsprechenden Untersuchungsräumen, da die untersuchten Parameter jeweils unterschiedliche Relevanz haben.

**Unterteilung**

## 4.2 Frenkendörferstrasse

### 4.2.1 Wind

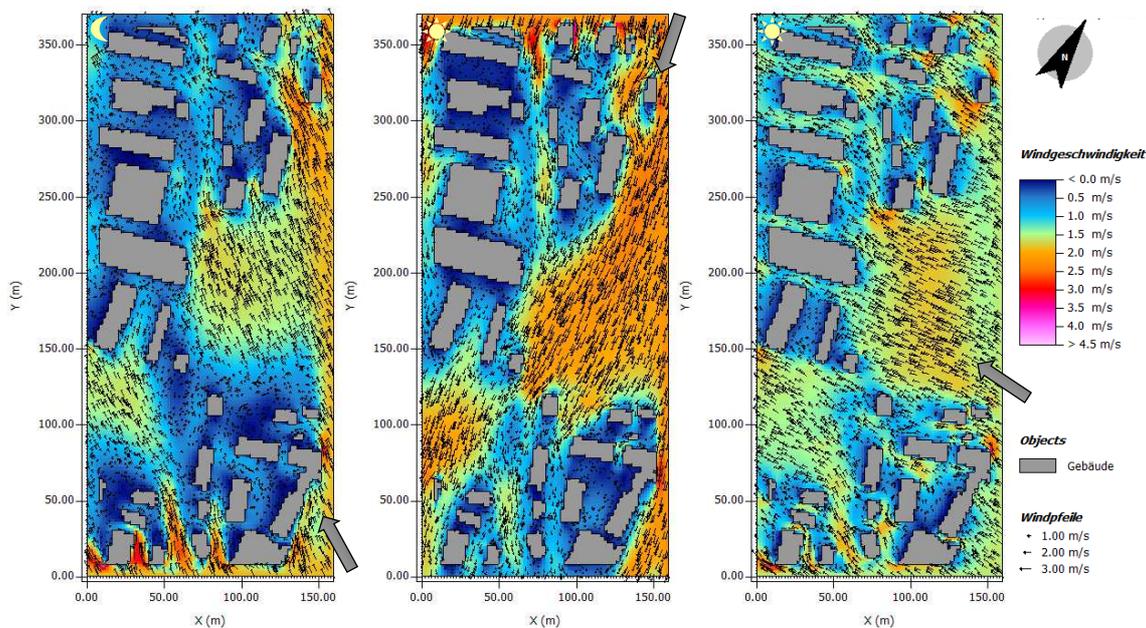


Abbildung 13: Windfeld im Gebiet der Frenkendörferstrasse während unterschiedlichen Strömungsbedingungen. Links ist die Nachtsituation mit typischem Bergwind aus Südosten (talabwärts, 04:00 Uhr), in der Mitte die typische Tagsituation mit Talwind aus Nordnordwest (talaufwärts, 24. Juli 2019 14:00 Uhr) und rechts die atypische Tagsituation mit Wind aus Richtung Osten (25. Juli 2019). Die grauen Pfeile am Rand zeigen die vorherrschende Windrichtung, das Modellgebiet ist um 31° gedreht.

Nachts, wenn der Wind während sommerlichen Schönwetterlagen meist talabwärts weht, werden die Quartiere rund um die Frenkendörferstrasse relativ gut durchlüftet. Einzig im Windschatten von Gebäuden entstehen windschwache Situationen, welche auch für verminderte nächtliche Auskühlung sorgen können (Abbildung 13 links). Da die stark versiegelten Freiflächen (bei Y60-Y140 sowie Y120-Y230) gut durchlüftet werden, sollte dies jedoch keine grosse Problematik darstellen.

#### Situation nachts

Für die Tagsituation konnten zwei unterschiedliche Windanströmungen ausgewertet werden, da in den Eingangsdaten am zweiten Tag nachmittags eine Ostströmung, höchst wahrscheinlich thermisch (konvektiv) initiiert, vorlag. Wind führt während heissen Sommertagen zu einer Reduktion des Hitzestress. Herrschen typische Anströmungsbedingungen entlang der Talachse vor, wird die Frenkendörferstrasse gut durchlüftet. Da der Wind nicht genau entlang der Strasse weht, ist die Geschwindigkeit im Windschatten von grösseren Gebäuden im Strassenbereich leicht reduziert. Dies sind auch die Gebiete, welche am meisten von den vorgesehenen Baumsetzungen profitieren. Dreht der Wind jedoch um 90°, wie dies am zweiten Modelltag der Fall war, entstehen neue Problemräume mit geringerer Durchlüftung.

#### Situation am Tag

## 4.2.2 Thermische Situation

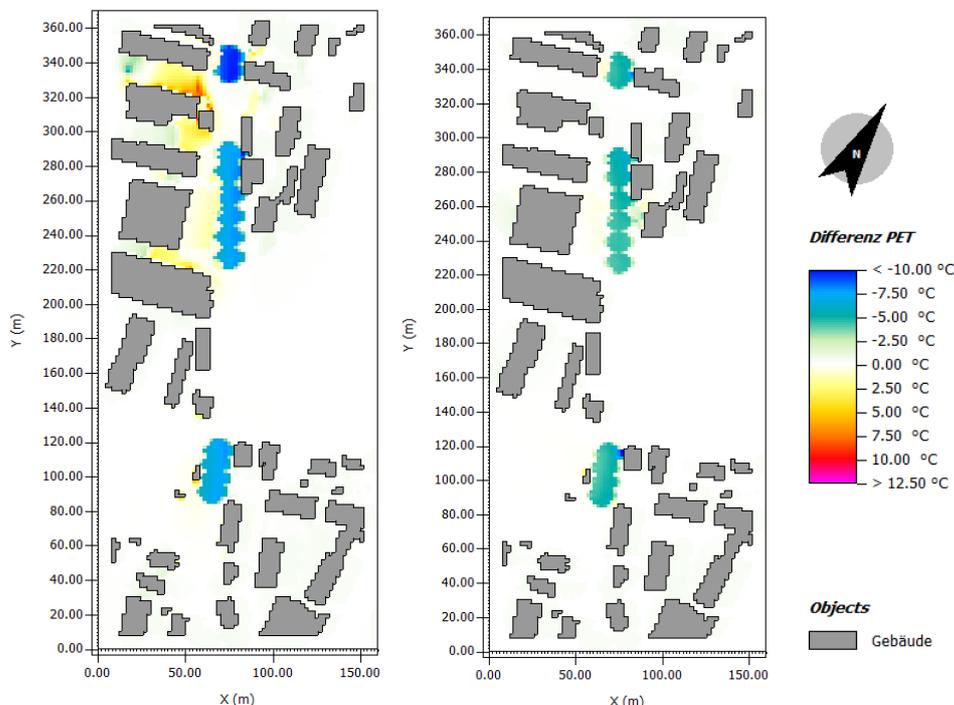


Abbildung 14: Differenzkarten des Hitzestress als PET am Tag um 14:00 Uhr für den 24. Juli 2019 (links) und den 25. Juli 2019 (rechts). Die blauen und grünen Farbtöne zeigen dabei die Reduktion des Hitzestress aufgrund der Baumpflanzungen.

Aus der Analyse der PET um 14:00 Uhr wird ersichtlich, dass die Bäume vor allem durch ihre direkte Beschattung lokal den Hitzestress stark reduzieren (Abbildung 14). Die Windrichtung scheint entscheidend für den Nutzen der Bäume zu sein. Am 24. Juli 2019 strömt der Wind aus Richtung NNW in das Gebiet. Die reduzierende Wirkung auf den Hitzestress wirkt unter den nördlichsten Bäumen am effektivsten (maximal  $-9.6\text{ °C}$  gegenüber  $-8.0\text{ °C}$  bei den übrigen Bäumen). Hinter diesen Bäumen werden in westlicher Richtung zwischen den Gebäuden gar höhere PET-Werte simuliert (bei Y330). Dies kommt daher, dass die Bäume die ohnehin geringen Windgeschwindigkeiten in dem Bereich weiter verringern.

### Beschreibung der Differenzwerte

Eine Reduktion der Windgeschwindigkeit in windschwachen Bereichen wirken sich stärker auf das Wohlbefinden aus als in gut durchlüfteten Bereichen. So sind niedrige Windgeschwindigkeiten sehr wertvoll für das thermische Wohlbefinden. Eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit von  $0.4$  auf  $0.6\text{ m/s}$  wird bezüglich Kühleffekt markanter wahrgenommen als eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit von  $1.3$  auf  $1.5\text{ m/s}$ . Aus der Differenzkarte vom 25. Juli 2019 wird ersichtlich, dass diese Problematik nicht auftritt, wenn die Strasse gut durchlüftet ist. An diesem Tag ist der Effekt der Bäume auf das thermische Wohlbefinden allgemein geringer (maximal  $-5.8\text{ °C}$ ). Auch dies dürfte durch die bessere Durchlüftung zu erklären sein.

**Niedrige Windgeschwindigkeiten für thermisches Wohlbefinden sehr wertvoll**

Auf die nächtliche Temperaturverteilung konnte kein Einfluss nachgewiesen werden, weshalb hierzu keine Karten dargestellt werden. Das Gebiet dürfte während Hitzewellen aufgrund der offenen Bebauungsstruktur vergleichsweise gut auskühlen können. Es gibt zwar stark versiegelte Flächen, diese sind jedoch weitestgehend freistehend und können daher ihre Energie, welche tagsüber gespeichert wurde, abends rasch abgeben.

**Situation nachts**

Aufgrund der Beschattungswirkung erfüllen die Bäume ihre Funktion und reduzieren den Hitzestress lokal stark. Ausserhalb der Baumschatten ist die Wirkung am Tag und in der Nacht jedoch kaum nachweisbar. In dieser Umgebung kann der Hitzestress tagsüber als grösseres Problem angesehen werden als die nächtliche Auskühlung. Daher liefern die zusätzlichen 12 Bäume einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung der thermischen Situation vor Ort.

**Fazit**

**4.2.3 Beschattung**

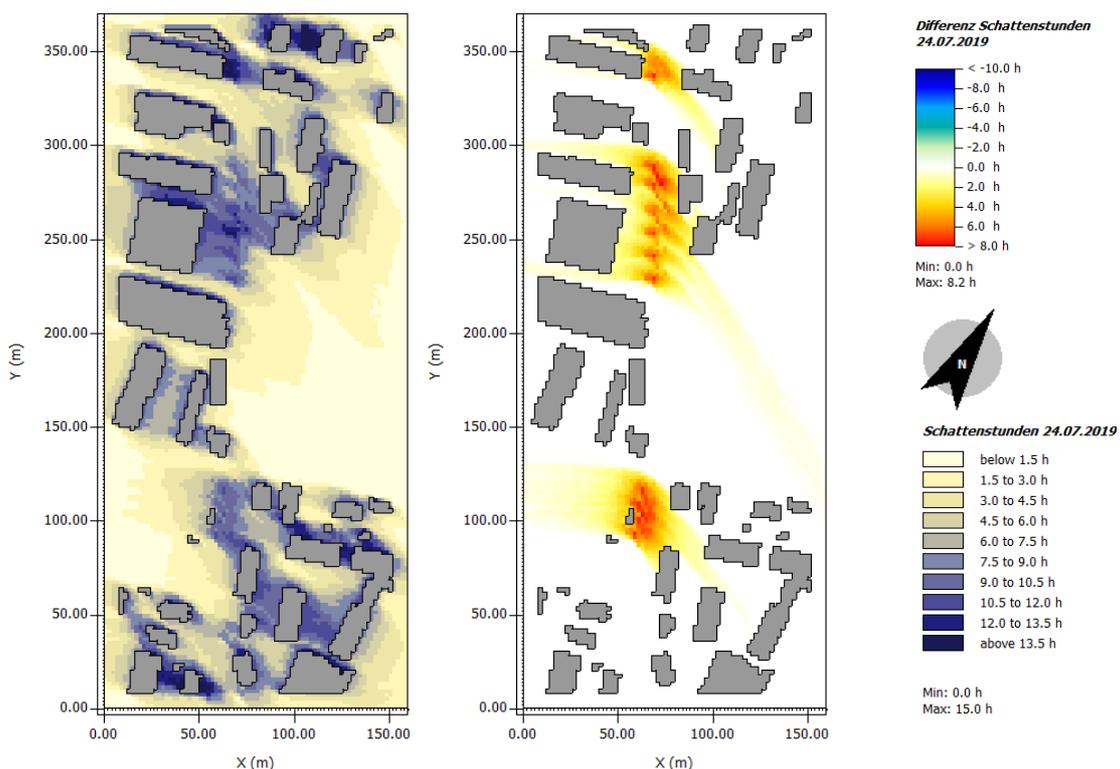


Abbildung 15: Schattenstunden für den 24. Juli 2019 für die Variante mit zusätzlichen Bäumen (links) und Differenz zur Modellvariante ohne zusätzliche Bäume (rechts).

Wie die Analysen der thermischen Situation in Kapitel 4.2.2 gezeigt haben, haben die Bäume vor allem durch ihre Beschattungswirkung einen positiven Einfluss auf das thermische Wohlbefinden tagsüber. Wie sich das im Tagesverlauf auswirkt, ist in Abbildung 15 anhand der Schattenstunden, respektive der Differenz zu den Schattenstunden ohne zusätzliche Bäume, ersichtlich. Ohne die

zusätzlichen Bäume bleibt die Strasse während einem grossen Teil des Tages weitestgehend unverschattet.

## 4.3 Stützmauer Sichern

### 4.3.1 Thermische Situation

Eine temperatursenkende Wirkung auf die nähere Umgebung der Wand durch die Begrünung der Stützmauer konnte weder am Tag noch in der Nacht nachgewiesen werden. Die Unterschiede bewegen sich im tiefen Zentigrad-Bereich. Bezüglich Hitzestress, ausgedrückt als PET, wird nahe der Wand tagsüber eine leichte Reduktion simuliert (Abbildung 16).

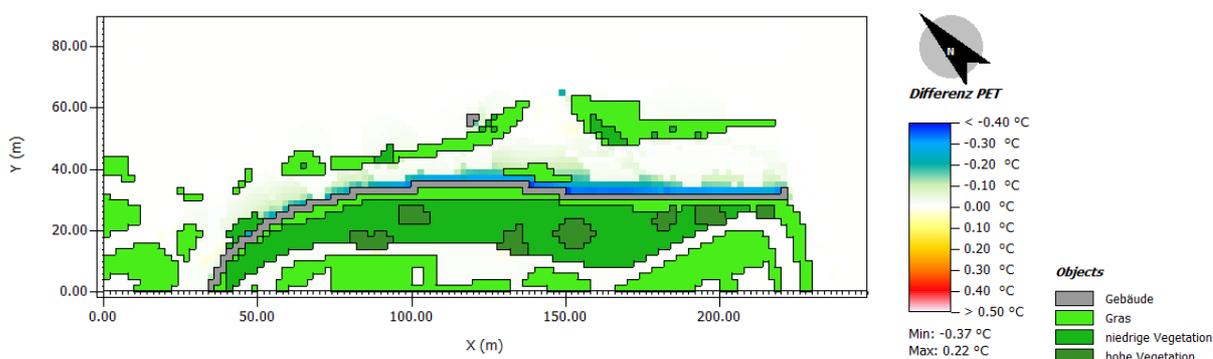


Abbildung 16: Reduktion des Hitzestress als PET um 14:00 Uhr entlang der begrüneten Stützmauer Sichern.

Der geringe Effekt der Begrünung auf das örtliche Mikroklima kommt auch daher, dass die Wand, da sie grösstenteils in Richtung Nordosten ausgerichtet ist, während einem grossen Teil des Tages von sich selbst beschattet wird (Abbildung 17). Zudem hat die Wand zwar enorme Dimensionen, relativ zum Luftvolumen, mit dem die Oberfläche in Wechselwirkung steht, ist die Austauschfläche jedoch gering.

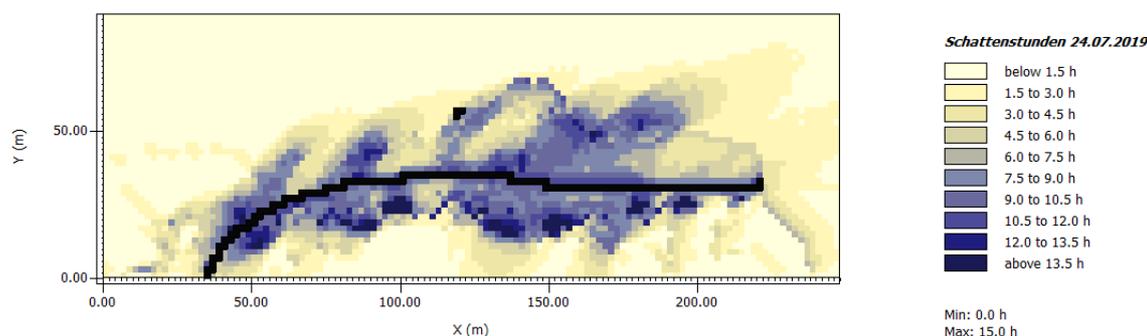


Abbildung 17: Schattenstunden für den 24. Juli 2019 (inklusive Vegetation).

### 4.3.2 Wandoberfläche

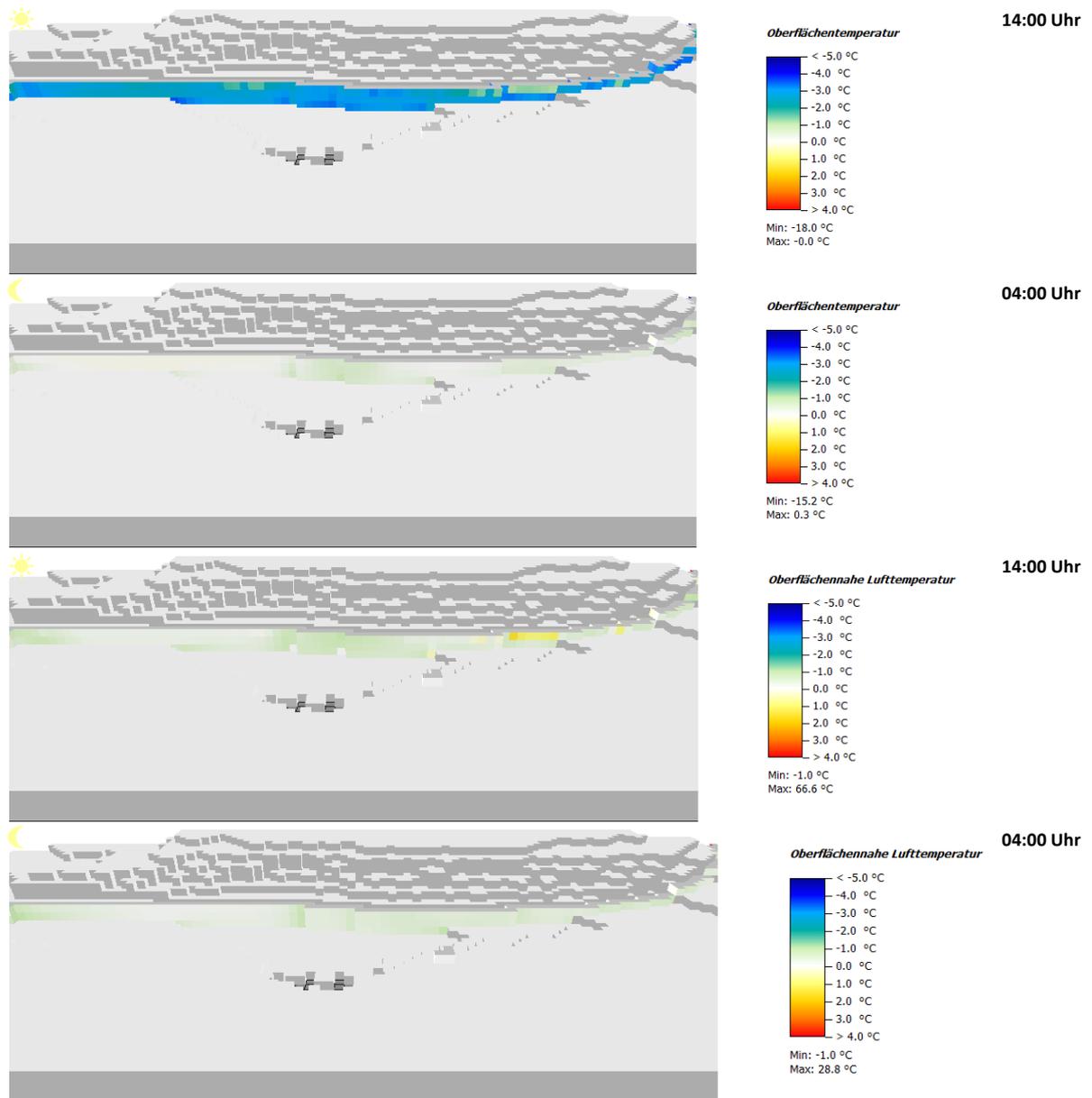
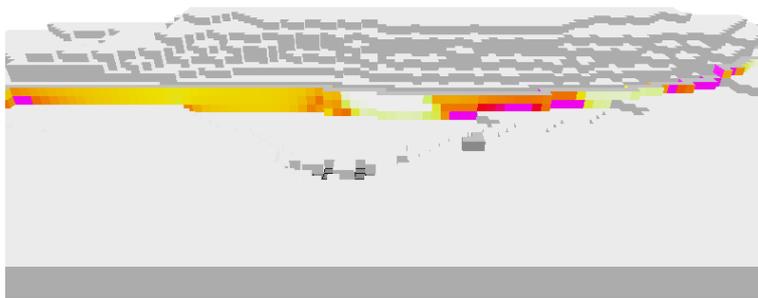


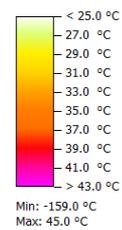
Abbildung 18: 3D-Ansicht auf die Stützmauer mit dem Unterschied zwischen Simulation mit und ohne Begrünung. Oberflächentemperatur der Mauer um 14 Uhr und 04 Uhr (obige Abbildungen) und oberflächennahe Lufttemperatur um 14 Uhr und 04 Uhr (untere Abbildungen).

Anhand der Oberflächentemperaturen ist deutlich erkennbar, dass der kühlende Effekt besonders an der Oberfläche der Wand tagsüber eintritt (Abbildung 18). Um bis zu 18 °C kann diese dank der Begrünung reduziert werden. Auf die oberflächennahe Lufttemperatur direkt vor der Wand ist der Einfluss jedoch gering (ca. -1°C), aber auch nachts noch spürbar.

**Auswirkung Oberflächentemperatur**



Temperatur Begrünung



08:00 Uhr

Abbildung 19: 3D-Ansicht auf die Mauer mit der Blattoberflächentemperatur der Begrünung um 08:00 Uhr.

Auch die begrünte Wand kann Temperaturextreme erfahren, und dies bereits kurz nach Sonnenaufgang. Da die Wand morgens direkt beschienen wird, ist die Temperatur der Begrünung (Blattoberflächentemperatur) im Modell bereits um 08:00 Uhr sehr hoch, daher muss auf eine geeignete und hitzeresistente Bepflanzung geachtet werden.

**Hohe Blattoberflächentemperatur**

## 4.4 Altstadt Liestal

### 4.4.1 Wind

Die Windfeldanalysen zeigen auf, dass die Altstadt von Liestal sowohl am Tag als auch in der Nacht schlecht durchlüftet wird. Während der eher atypischen Situation mit Ostwind am Tag verbessert sich die Durchlüftung auf dem hochfrequentierten Wasserturmplatz (Abbildung 19). Auch nachts kann dieser besser belüftet werden als z.B. die Rathausstrasse. Unter typischen Anströmungsbedingungen tagsüber dürfte der Platz aber weitestgehend windstill bleiben. Auch die übrigen Gassen und Strassen, welche sich innerhalb des historischen Kerns befinden, werden schlecht durchlüftet.

**Beurteilung Durchlüftung**

Die dichte Gebäudestellung der Altstadt Liestal hat zwar einen negativen Einfluss auf die Durchlüftung, demgegenüber bringt diese Bauweise jedoch auch viele Vorteile für das Mikroklima, wie in den nächsten Kapiteln erläutert wird.

**Dichte nicht nur nachteilig**



Abbildung 20: Übersicht zu den besprochenen Strassen und Plätzen in der Altstadt.

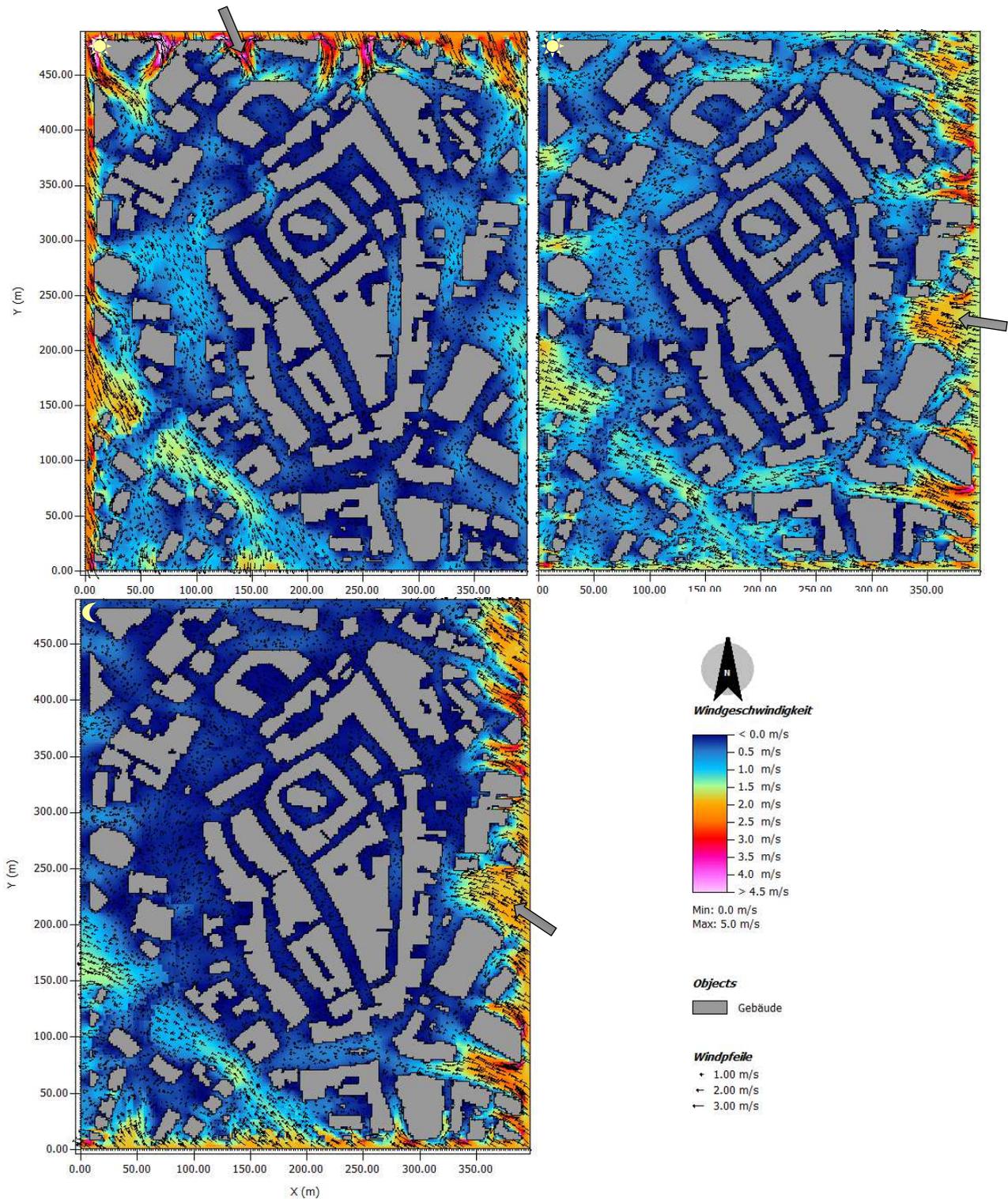


Abbildung 21: Windfeld im Gebiet der Altstadt Liestal während unterschiedlichen Strömungsbedingungen am Tag (14:00 Uhr, oben) und in der Nacht (04:00 Uhr, unten). Oben links ist die typische Situation mit Talwind (talaufwärts, 24. Juli 2019) und rechts die atypische Situation mit einem Wind aus Richtung Osten (25. Juli 2019) dargestellt. Unten ist die Nachtsituation mit typischem Bergwind (talabwärts aus Richtung Südosten) erkennbar. Die grauen Pfeile am Rand zeigen die vorherrschende Windrichtung.

#### 4.4.2 Thermische Situation am Tag

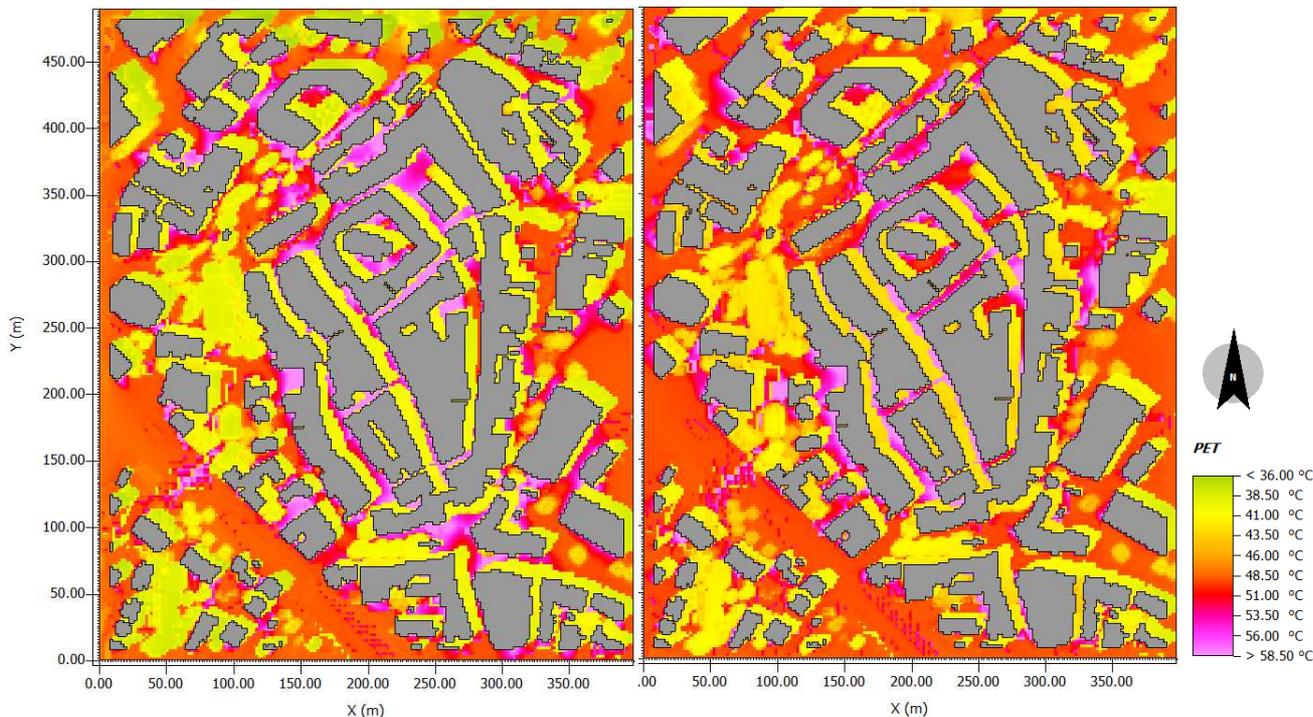


Abbildung 22: Hitzestress als PET für die Tagsituation am 24. Juli 2019 (links) mit typischem Windfeld (Nordströmung) und am 25. Juli 2019 (rechts) mit atypischem Windfeld (Ostströmung)

Abbildung 22 zeigt die komplexe Situation in der und um die Altstadt Liestal während einer typischen Windsituation mit Wind von Nordnordwest (links) und einer eher atypischen Windsituation mit Wind von Osten (rechts). In beiden Fällen ist erkennbar, dass innerhalb der historischen Altstadt überall dort, wo keine Beschattung vorherrscht, extremer Hitzestress simuliert wird. Gleichzeitig wirkt die Beschattung durch Gebäude und Mauern stark reduzierend auf den empfundenen Hitzestress. Da die Anströmungsrichtung Nord tagsüber typischer ist, sind in den meisten Fällen West-Ost-gerichtete Gassen von extremem Hitzestress nachmittags betroffen. Erschwerend kommt hinzu, dass zu dieser Zeit auch weniger Beschattung in diesen Gassen vorherrscht. Ein gutes Beispiel dafür ist die Rosengasse, welche die Rathausstrasse und die Kanonengasse verbindet (ca. X230/ Y270). Auch auf dem östlichen Teil des Wasserturmplatzes wird extremer Hitzestress bei Nordanströmung simuliert. Es zeigt sich wie wertvoll die Bäume auf dem übrigen Teil des Platzes für das thermische Wohlbefinden nachmittags sind. Da dieser Platz ausserhalb der Altstadtmauern liegt, bietet er jedoch bessere Voraussetzungen für Durchlüftung, wenn die Windrichtung auf Ost wechselt.

#### Beurteilung Hitzestress

### 4.4.3 Beschattung

Die Altstadt Liestal funktioniert an sehr heißen Tagen aus mikroklimatischer Sicht nur in den Bereichen gut, welche nachmittags ausreichend beschattet werden. Ein Prinzip, welches in nordafrikanischen Medinas seit Jahrtausenden genutzt wird und wohl zu den besten Methoden zählt, um gewünschte Dichte und hohe Aufenthaltsqualität während sehr heißen Tagen zu vereinen. Voraussetzung dafür ist aber eine komplette Beschattung des entsprechenden Gebiets, weil die Vorteile (viel Schatten durch enge Strukturen) sonst rasch in Nachteile (schlechte Durchlüftung durch enge Strukturen) umschlagen. Gute Verschattung findet in den Nord-Süd-gerichteten Gassen aufgrund der Eigenbeschattung durch Gebäude nachmittags bereits mehrheitlich statt (Abbildung 23). Der Nutzen von zusätzlicher Bepflanzung wäre in diesen Gassen und Strassen nur gering. West-Ost-gerichtete Gassen weisen an solchen Tagen nachmittags, wenn die Hitze auf einem hohen Level konstant bleibt, extremen Hitzestress auf und könnten über Sonnensegel zusätzlich beschattet werden. Gerade auch die Umgebung der Kirche wird schlecht durchlüftet und ist zudem weniger gut beschattet (ca. X200/Y300).

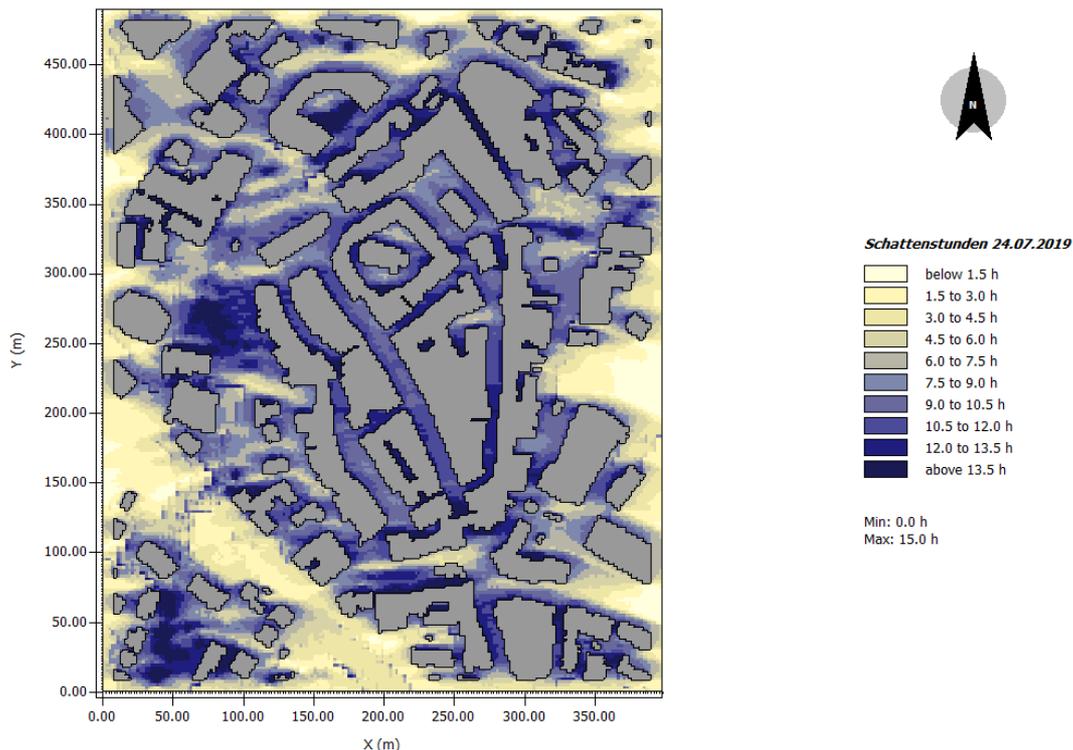


Abbildung 23: Schattenstunden für den 24. Juli 2019 (inklusive Vegetation).

#### 4.4.4 Thermische Situation in der Nacht

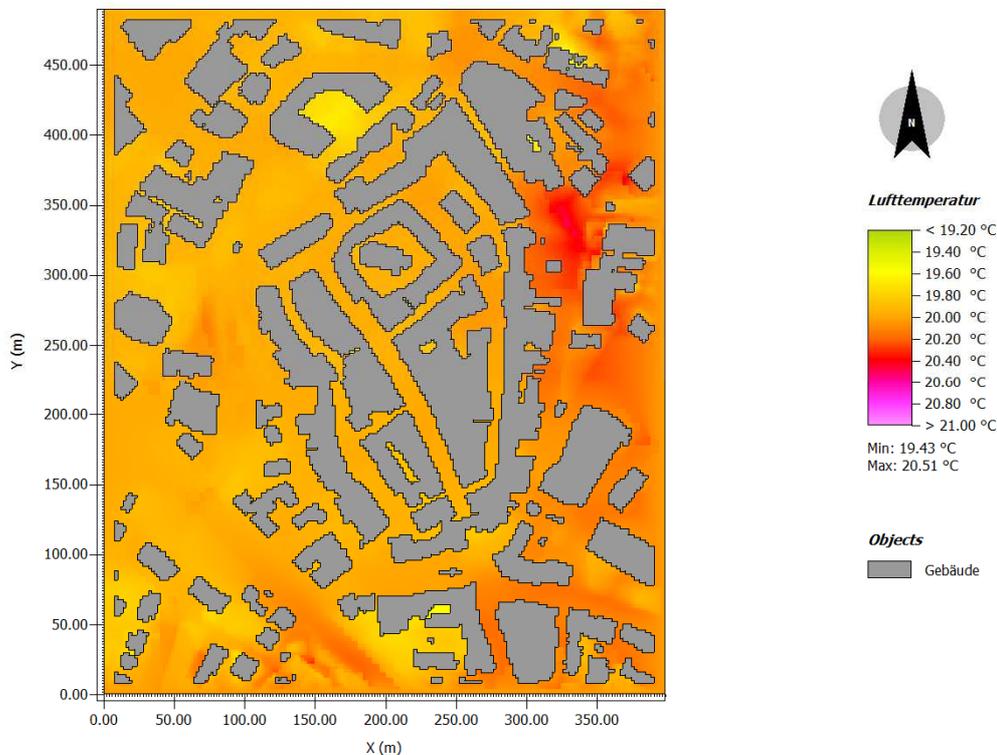


Abbildung 24: Lufttemperaturverteilung in der Nacht um 04:00 Uhr.

Die Temperatur nachts innerhalb des Altstadtgebiets ist homogen verteilt. Dies ist insofern nachvollziehbar, als die meisten Oberflächen ähnliche Grundvoraussetzungen haben. So findet wenig Durchlüftung statt, wodurch die gespeicherte Energie schlecht abgetragen wird. Zudem sind die Oberflächen im Strassenraum thermisch abgeschattet, da die ausgestrahlte Energie von den umliegenden Fassaden nachts wieder re-emittiert wird. Ausserdem wird durch den geringen Anteil an verdunstungsfähigen Flächen viel Energie in der städtischen Substanz gespeichert. Der Umstand, dass durch die dichte Bauweise wenig Energie auf die Gassen- oder Strassenoberflächen gelangt, bewirkt, dass nachts die höchsten Temperaturen nicht innerhalb, sondern ausserhalb der Altstadt auftreten.

**Erklärung nächtliche Temperaturverteilung**

Orte, welche reichlich begrünt und nicht zu stark versiegelt sind, zeigen nachts deutlich niedrigere Lufttemperaturen. Ein solcher Ort mit einem günstigen Mikroklima ist der Innenhof des Tertianum Rebgarten an der Rebgasse (ca. X170/Y400). Gerade für Altersresidenzen ist die nächtliche Auskühlung enorm wichtig. Die Unterschiede der nächtlichen Lufttemperatur mögen gering sein, ihre Bedeutung sollte trotzdem nicht unterschätzt werden. Studien des Schweizerischen Tropeninstituts zeigen, dass während sehr warmen Nächten die Sterblichkeit abhängig von der Lufttemperatur exponentiell ansteigt [9].

**Bessere Auskühlung bei geringer Versiegelung**

#### 4.4.5 Beurteilung Optimierungsmassnahmen Altstadt

Um die Auswirkungen von möglichen Massnahmen innerhalb und in der Umgebung der Altstadt zu prüfen, wurden vier unterschiedliche Anpassungen an der Modellumgebung getestet. An der baulichen Substanz sollte dabei kein direkter Eingriff vorgenommen werden. Die Auswirkungen werden anhand von Detailkarten analysiert, mit der Simulation ohne Massnahmen in Relation gesetzt und nachfolgend einzeln dargestellt. Die Massnahme Fassadenbegrünung hat dabei auf die übrigen Massnahmen kumulative Auswirkungen, da alle Fassadenflächen im gesamten Gebiet innerhalb der Altstadt begrünt wurden.

**Vier Optimierungsmassnahmen getestet:**

- Fontänen am Fischmarkt
- Baumtröge an Rheinstrasse
- Baum am Zeughausplatz
- Fassadenbegrünung Altstadt

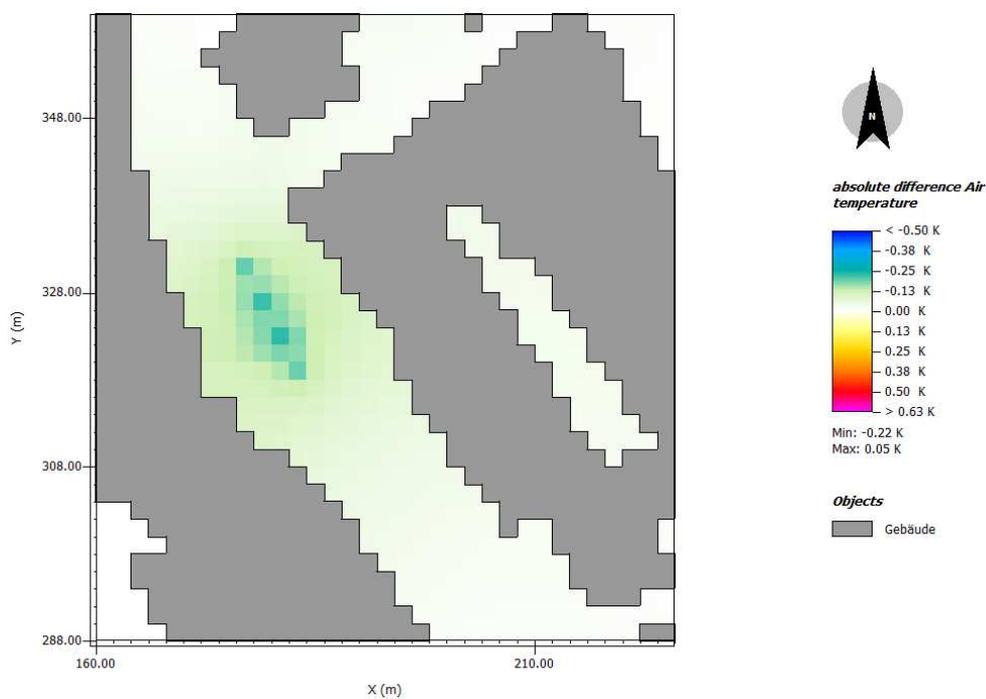


Abbildung 25: Reduktion der Lufttemperatur am 14.07.2019 um 14:00 Uhr auf dem Fischmarkt durch die eingesetzten Fontänen.

Die Fontänen auf dem Fischmarkt haben tagsüber den Effekt, dass sie die Lufttemperatur leicht senken, was in Abbildung 25 ersichtlich ist. Auf den Hitzestress haben sie jedoch kaum einen Effekt, solange eine Person nicht direkt mit dem Wasser in Kontakt kommt.

**Leicht tiefere Lufttemperaturen durch Fontänen**

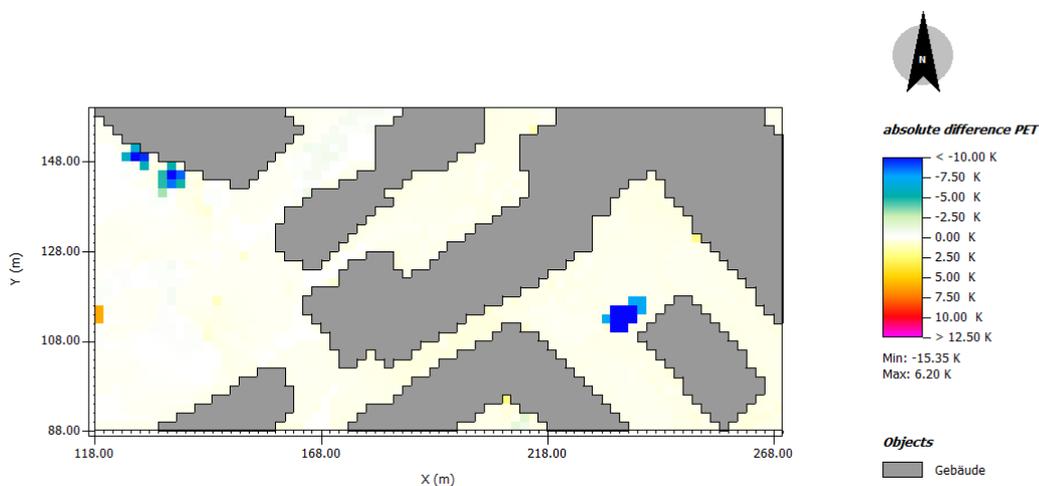


Abbildung 26: Reduktion des Hitzestress am 14.07.2019 um 14:00 Uhr auf dem Zeughausplatz durch die zusätzlich geplante Eiche (rechts im Bild) und durch das Aufstellen von Baumtrögen an der Rheinstrasse (links im Bild).

Die Baumpflanzung auf dem Zeughausplatz (Stieleiche) und das Aufstellen von Baumtrögen vor dem Tertianum an der Rheinstrasse haben durch ihre Schattenwirkung einen sehr direkten Effekt. Es werden dadurch nachmittags grosse Flächen beschattet. Die Reduktion des gefühlten Hitzestress beträgt bis zu 15 °C und ist am effektivsten vor dem Eingang zum Kantonsmuseum.

**Stark reduzierter Hitzestress dank Bäumen**

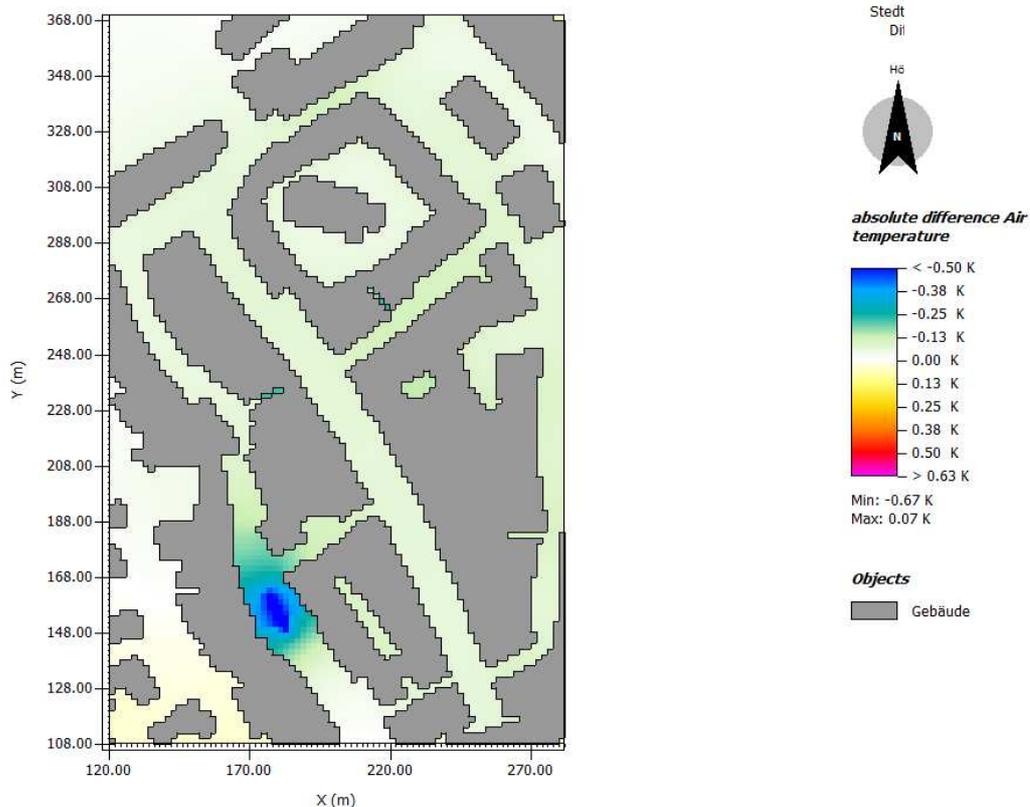


Abbildung 27: Lufttemperaturreduktion in der Nacht um 04:00 Uhr.

Die Fassadenbegrünung kann ihr Potential vor allem in der Nacht entfalten. Die Temperaturreduktion beträgt jedoch – trotz weitreichender Umsetzung – lediglich 0.1 bis 0.2 °C. Diese Reduktionswirkung wird vom Modell wahrscheinlich etwas unterschätzt. Die Wirkung der Fontänen, welche in diesem Fall auch nachts laufen, sind ebenfalls deutlich zu erkennen und übersteigen diejenige der Fassadenbegrünung lokal. Am effektivsten wirkt die Begrünung in engen Gassen oder Hofsituationen. Dies deckt sich gut mit den Erwartungen aus der Theorie.

**Leichter Effekt Fassadenbegrünung Nacht**

Tagsüber fällt der Effekt der Fassadenbegrünung gering aus. Obschon die Gebäude selbst dadurch einen effektiven Hitzeschutz erfahren, bringt die Fassadenbegrünung hinsichtlich Hitzestress für die Personen auf der Strasse wenig. Die Lufttemperatur wird kaum reduziert und die Vegetation reflektiert zudem solare Strahlung relativ stark, vor allem im für uns nicht sichtbaren nahen Infrarotbereich. In Kombination mit der erhöhten Feuchte aufgrund von Verdunstung führt die Fassadenbegrünung hier sogar zu einer leichten Steigerung des Hitzestress.

**Tagsüber nur Effekt auf Gebäude**

Fassadenbegrünung allein empfiehlt sich daher nicht als Mittel gegen Hitzestress tagsüber. Als eine von mehreren Massnahmen dient sie vor allem dazu, die nächtliche Auskühlung zu verstärken. Der sommerliche Wärmeschutz im Gebäude selbst wird durch die Fassadenbegrünung stark verbessert.

**Fazit**

## 5 Schlussfolgerungen

### 5.1 Allgemein

Liestal profitiert von einem konstantem Windfluss entlang dem Ergolzthal. Am Tag reduziert dieser talaufwärts wehende Wind den Hitzestress, in der Nacht verbessert der talabwärts fließende Wind die Auskühlung und führt frische Luftmassen von den umliegenden Hängen in die Wohngebiete. Diese Winde gilt es durch eine allgemein offene Baustruktur zu nutzen. Liestal wird aktuell und in der Zukunft aufgrund seiner lokalklimatischen Eigenschaften eher mit Hitzestress am Tag zu kämpfen haben. Es gilt daher Wert auf Beschattung, idealerweise durch Bäume, zu legen. Dadurch wird der Hitzestress tagsüber effektiv reduziert.

**Tageszeitabhängiges Windsystem  
sorgt für gute Durchlüftung**

### 5.2 Frenkendörferstrasse

Innerhalb des untersuchten Perimeters der Frenkendörferstrasse stellt aufgrund der offenen Bebauungsstruktur Hitzestress am Tag die entscheidende Problematik dar. Die geplanten Bäume helfen, den Hitzestress tagsüber lokal zu reduzieren. Ihr Nutzen auf die nächtliche Auskühlung ist gering, was in diesem Fall von untergeordneter Bedeutung ist. Optimal wären weitere Baumpflanzungen entlang der Strasse, um den FussgängerInnen eine möglichst durchgehend stressfreie Fortbewegung während sehr heissen Tagen zu ermöglichen. Hierbei könnte auch auf die Nutzung und Laufwege geachtet und gezielt ein klimaoptimiertes Wegenetz geschaffen werden.

**Effektive Reduktion von Hitzestress tagsüber durch Baumpflanzungen**

Aus stadtklimatischer Sicht wird empfohlen, die geplanten Baumsetzungen umzusetzen und wenn möglich durch weitere Bäume zu ergänzen.

### 5.3 Stützmauer Sichtern

Die Begrünung der Stützmauer hat auf die nahe Umgebung der Mauer kaum einen mindernden Effekt bezüglich Hitzestress am Tag. Auch nachts ist nur ein geringer Einfluss auf die Lufttemperatur zu erkennen. Die markanteste Auswirkung hat die Begrünung auf die Wand selbst. Dennoch macht eine Begrünung Sinn, da die Stützmauer dadurch optisch verbessert und das subjektive Empfinden positiv beeinflusst wird. Die Begrünung dient zudem Tieren, insbesondere Vögeln und Insekten, einen Lebensraum.

**Geringer Effekt auf das Mikroklima, jedoch optische und ökologische Verbesserung**

## 5.4 Altstadt Liestal

Die Altstadt funktioniert an heissen Sommertagen so lange gut wie die Gassen verschattet werden. Baumpflanzungen innerhalb der engen Altstadt sind aus stadtklimatischer Sicht wenig ergiebig, da die Beschattung durch die Häuser bereits einen markanten Effekt hat und zudem in engen Gassen kaum Platz für Bäume besteht. Auf offenen Plätzen, die direkt an die enge Altstadt grenzen, sind Bäume für die Reduktion von Hitzestress viel besser eingesetzt. Einige – besonders Ost-West-gerichtete – Gassen könnten durch zusätzliche Massnahmen wie z.B. Sonnensegel/Sonnenschirme beschattet werden.

**Angenehmes Mikroklima durch Beschattung**

Von den vier getesteten Optimierungsmassnahmen haben die Einzelbäume bzw. Baumtröge auf den Plätzen und entlang von Strassen tagsüber den stärksten Reduktionseffekt auf den Hitzestress erzielt. Massgebend ist hier die Beschattung, die durch die Bäume entsteht. Die flächendeckende Fassadenbegrünung der Altstadt bringt kaum eine Verringerung des Hitzestress auf der Strasse (im Gebäudeinnern hingegen schon). Auch die Wasserfontänen können tagsüber den Hitzestress nicht verringern (es sei denn, eine Person hat direkt Kontakt mit dem Wasser).

**Effekt der getestete Optimierungsmassnahmen am Tag**

Nachts bringt die Fassadenbegrünung flächendeckend am meisten, wenn auch der Effekt gering ausfällt. Sie kann als zusätzliche Massnahme eingesetzt werden, verbessert allein die mikroklimatische Situation jedoch nicht wesentlich. Auch die Fontänen haben nachts einen kühlenden Effekt, dieser wirkt jedoch sehr lokal.

**Effekt der getestete Optimierungsmassnahmen in der Nacht**

## 6 Massnahmenvorschläge zur Verbesserung des Mikroklimas

Neben den vier getesteten Optimierungsmassnahmen gibt es noch viele weitere Möglichkeiten, um das städtische Mikroklima aufzuwerten. Grundsätzlich haben alle Massnahmen, welche den Strahlungshaushalt und die Speicherung von Energie verändern, einen Einfluss auf das Mikroklima. Wie stark dieser Einfluss ist, hängt jedoch von vielen Einflussfaktoren ab und wird oft überschätzt. Auch die Skalen sind teilweise sehr unterschiedlich, denn für den Effekt auf den Menschen sollte tagsüber der Hitzestress berechnet werden. So kann beispielsweise ein Baum den Hitzestress um 8-10 °C reduzieren, während ein heller Anstrich lediglich eine Reduktion von wenigen Zentigrad zur Folge hat. Auch kleine Wasserflächen haben einen sehr begrenzten Einfluss, solange das Wasser nicht mit Fontänen in die Luft gebracht wird und/oder Personen direkt damit in Kontakt kommen. Nachfolgend ist eine nicht abschliessende Zusammenstellung von weiteren möglichen Massnahmen zu finden. In Anhang A.5 sind beispielhafte Abbildungen zu den Massnahmen abgelegt.

**Vielzahl an Optimierungsmassnahmen, unterschiedlich effektiv**

- Sonnensegel, z.B. als Kunstprojekt mit aufgehängten Regenschirmen
- Begrünung an Stahlkonstruktionen oder Pergolen an Orten, wo keine Bäume gepflanzt werden können
- «Mikroparks» schaffen (kleine Parkanlagen mit üppiger Bepflanzung, Sitzgelegenheiten, Brunnen etc.)
- Dächer begrünen, wobei ein entsprechender Substrataufbau nötig ist, damit Wasser gespeichert und grössere Pflanzen gesetzt werden können
- Sprühnebel als mobile Installation
- Brunnen zum Baden
- Versickerungsflächen schaffen und begrünen, Regenwassermanagement planen
- Baumaterialien gezielt auswählen (thermisch träge Oberflächen, um Tagespitzen der Temperatur zu brechen; geringe Speicherkapazität, um nächtliche Auskühlung zu reduzieren) und generell dunkle Anstriche vermeiden
- Personen gezielt an thermisch angenehme Orte führen (z.B. Orisbach); Sitzgelegenheiten gezielt planen; Zugang zu Erholungsorten verbessern
- Unterbauung von Freiflächen reduzieren, damit Verdunstungsmöglichkeit möglichst uneingeschränkt erhalten bleibt
- Beschattung in Planung berücksichtigen

**Schatten**

**Begrünung**

**Wasser**

**Materialität**

**Planung**

## Anhang

### A.1 Zitierte Grundlagen

- [1] Bundesamt für Umwelt (2020): Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2020-2025.
- [2] Meehl, G. A. and Tebaldi, C. (2004): More intense, more frequent and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305(5686):994-997.
- [3] Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M., et al. (2013): *Climate change 2013. The physical science basis. Working group I contribution to the 5th assessment report of the intergovernmental panel on climate change-abstract for decision-makers.* World Meteorological Organization.
- [4] National Centre for Climate Services (2020): CH2018-Webatlas. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/materialien-und-daten/daten/ch2018-webatlas.html>
- [5] Höpfe, P. (1999): The physiological equivalent temperature - an universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2):71-75.
- [6] Meteoblue (2020): My Climate Basel. <https://www.meteoblue.com/de/products/cityclimate/basel>
- [7] Wicki, A. (2019): *The Urban Climate of Basel/Switzerland: Analysis, Investigation and Perspectives Using Remote Sensing and GIS Techniques.* Dissertation. Universität Basel.
- [8] Wicki, Parlow Wicki, A., Parlow, E., & Feigenwinter, C. (2018): Evaluation and modeling of urban heat island intensity in Basel, Switzerland. *Climate*, 6(3), 55.
- [9] Ragettli, M. S., Vicedo-Cabrera, A. M., Schindler, C., and Rössli, M. (2017): Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013. *Environ Res*, 58:703-709.

### A.2 ENVI-met

#### **Mikroklimamodell ENVI-met**

Beim Modell handelt es sich um die Software ENVI-met, einem kommerziell vertriebenen mikrometeorologischen Modell des Mainzer Professors Michael Bruse ([www.envi-met.com](http://www.envi-met.com)). ENVI-met simuliert das Mikroklima in einer urbanen Umgebung und berechnet das Zusammenspiel und die Effekte von Atmosphäre, Vegetation, Untergrund, Gebäudearchitektur und Materialien. Das Modell wurde vor über 20 Jahren entwickelt und seither stetig optimiert. Tausende Anwendungen sowie hunderte Publikationen und Städte, welche mit dem Modell arbeiten, zeugen von der Qualität und Robustheit der Modellergebnisse. ENVI-met ist somit das meistvalidierte Mikroklimamodell, welches verfügbar ist.

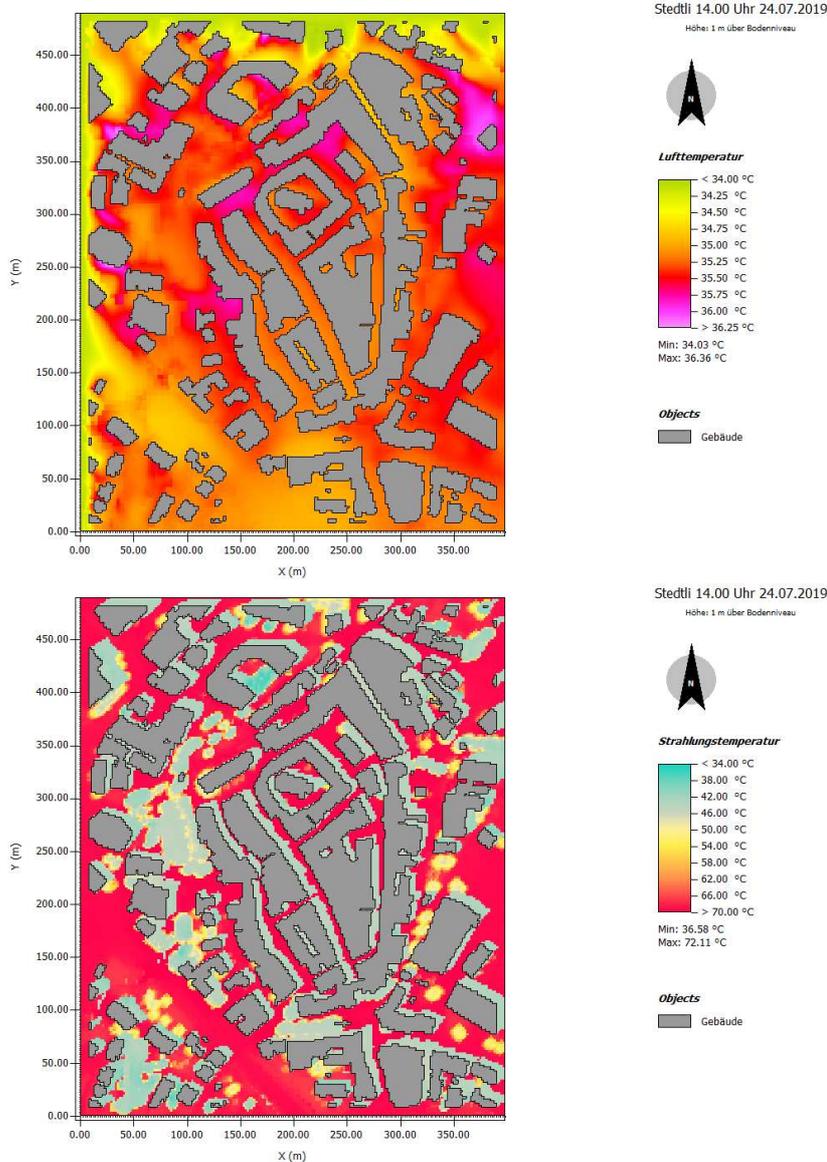
#### **Modellphysik**

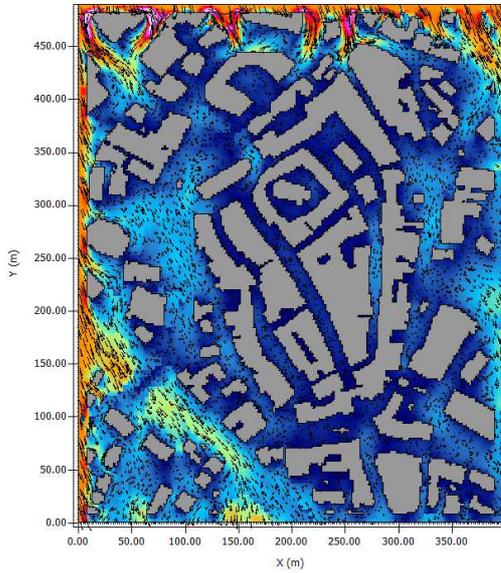
ENVI-met berücksichtigt die Platzierung und Stellung von Gebäuden in einer gewissen geographischen Umgebung und damit deren Interaktion mit der einkommenden Sonnenstrahlung unter Berücksichtigung der meteorologischen Randbedingungen. Dabei werden auch Gebäudephysik und Wärmeströme im Boden sowie deren Einfluss auf die Lufttemperatur berücksichtigt. Zusätzlich werden unterschiedliche Baum- und

Grünflächenarten unterschieden, welche ihrerseits wiederum einen unterschiedlichen Einfluss auf das Mikroklima und die Modelloutputs haben.

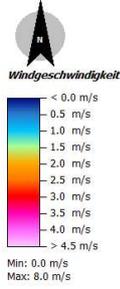
Die Orientierung und Dimensionierung der Gebäude beeinflusst ebenfalls das bodennahe Windfeld im Modell. Das Modell löst mit einem Zeitschritt von 2 Sekunden thermodynamische Gleichungen für jede Gitterzelle und nutzt die Inputs der umliegenden Zellen für den jeweils nächsten Rechenschritt, was entsprechend rechenaufwendig ist. Es werden bei dem Modell - anders als bei Gebäudemodellen wie üblicherweise in der Bauphysik verwendet - die für das Mikroklima elementaren Grundgleichungen der Energiebilanz respektiert und aufgelöst, wodurch eine möglichst realitätsgetreue Abbildung des Mikroklimas in allen Sphären erzeugt wird.

### A.3 Komponenten der PET (Hitzestress) um 14:00 Uhr



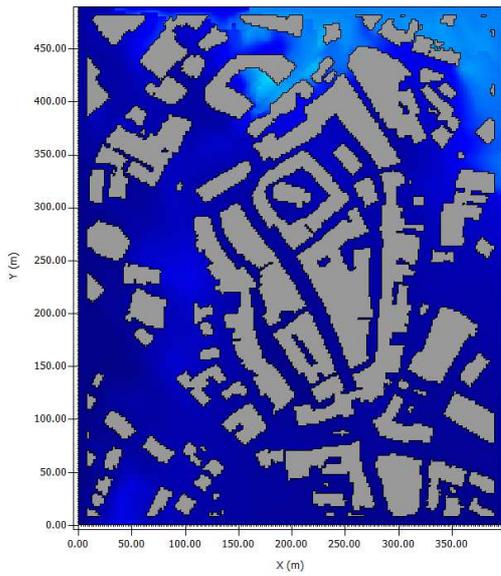


Stedtl 14.00 Uhr 24.07.2019  
Höhe: 3 m über Bodenniveau

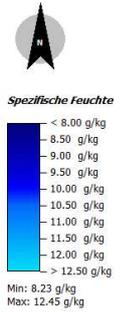


**Objects**  
Gebäude

**Windpfeile**  
+ 1.00 m/s  
+ 2.00 m/s  
+ 3.00 m/s



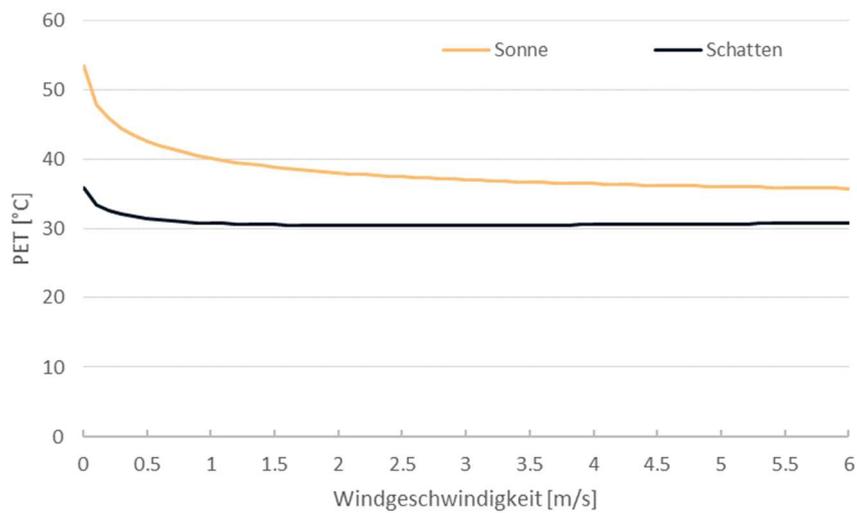
Stedtl 14.00 Uhr 24.07.2019  
Höhe: 1 m über Bodenniveau



**Objects**  
Gebäude

## A.4 Einfluss von Wind auf den Hitzestress

Annahme Sonne: Strahlungstemperatur = 60 °C  
Annahme Schatten: Strahlungstemperatur = 65 °C  
Annahme Lufttemperatur: 35 °C  
Annahme relative Feuchte: 50%  
Annahme Wind: 1.5 m/s



## A.5 Abbildungen zu möglichen Optimierungsmassnahmen



[www.bernheim.ch](http://www.bernheim.ch)

Regenschirme mit Beschattungseffekt (Werbeaktion für das Kleingewerbe in Olten)



[www.landbote.ch](http://www.landbote.ch)

Brunnen in der Altstadt von Winterthur



[www.stadt-zuerich.ch](http://www.stadt-zuerich.ch)

Begrünung an Stahlkonstruktion im MFO-Park in Zürich/Oerlikon



[www.vienna.at](http://www.vienna.at)

Sprühnebel in Wien



eigene Aufnahme

Mikropark in der Altstadt von Cordoba, Spanien



eigene Aufnahme

Riesenwacholder im Park Jardim do Principe Real in Lissabon