

Bachem Sisslerfeld AG
Hauptstrasse 144
CH-4416 Bubendorf

Gutachten Kaltluftströme Entwicklungsrichtplan Bachem Sisslerfeld, Eiken

Bericht

13. November 2024

Impressum

Gutachten Kaltluftströme Entwicklungsrichtplan Bachem Sisslerfeld, Eiken

Bericht

Auftraggeberin: Bachem Sisslerfeld AG

Projektverantwortliche: Cigdem Sert

Auftragnehmerin: GEO Partner AG, Basel

Projektleitung: Dr. Andreas Wicki

Fachbearbeitung: Dr. Andreas Wicki, Constanze Burckhardt

Qualitätssicherung: Regula Winzeler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Ausgangslage	4
1.2	Theoretische Grundlagen	5
1.2.1	Kaltluftabfluss in der Nacht	5
1.2.2	Humanbioklima am Tag	5
1.3	Erkenntnisse Klimaanalyse Aargau	7
1.3.1	Kaltluftabfluss in der Nacht	7
1.3.2	Humanbioklima am Tag	8
2	Methode	10
2.1	Vorgehen	10
2.2	Modell KLAM_21	10
3	Resultate	12
3.1	Kaltluftabfluss in der Nacht	12
3.1.1	Übersicht	12
3.1.2	Vergleich Ist-Zustand und Soll-Zustand	13
3.1.3	Zeitlicher Verlauf	15
3.1.4	Differenzbetrachtung	15
3.2	Humanbioklima am Tag	17
4	Zusammenfassung	19
	Anhang	20
A.1	Zitierte Grundlagen	20
A.2	Glossar	20
A.3	Kaltluftabflussmodell KLAM_21	24
A.4	Gebäudehöhen	24

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Bachem AG plant auf dem Sisslerfeld in Eiken die Realisierung eines neuen Betriebsstandorts mit diversen Bauten von 18-37 m Höhe und einem zentralen, über 70 m hohen Gebäude (Bachem Sisslerfeld, BSF; siehe Abbildung 1, Abbildung 8 und Anhang A.4). Hierfür läuft die Erarbeitung des Entwicklungsrichtplans. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden vom Kanton Aargau Bedenken zur lokalklimatischen Situation und insbesondere zu einer möglichen Beeinflussung der Kaltluftströmung geäussert.

Sisslerfeld, Eiken

Die Firma GEO Partner AG wurde beauftragt, ein lokalklimatisches Gutachten mit einer Simulation der Kaltluftabflüsse und des Einflusses der geplanten Bebauung auf diese zu erarbeiten. Die vorliegende Berichtsversion basiert auf Plänen des Site Masterplans vom 30.10.2024.

Beauftragung

Ziel des Projektes ist eine rechnergestützte Beurteilung der Beeinflussung lokaler Kaltluftströme durch die neue Bebauung. Besonderes Augenmerk gilt dabei dem Einfluss auf die nächtliche Kaltluftversorgung der umliegenden Siedlungsgebiete. Weiter wird die künftige Umgebungsgestaltung bezüglich der humanbioklimatischen Situation am Tag qualitativ beurteilt.

Ziel

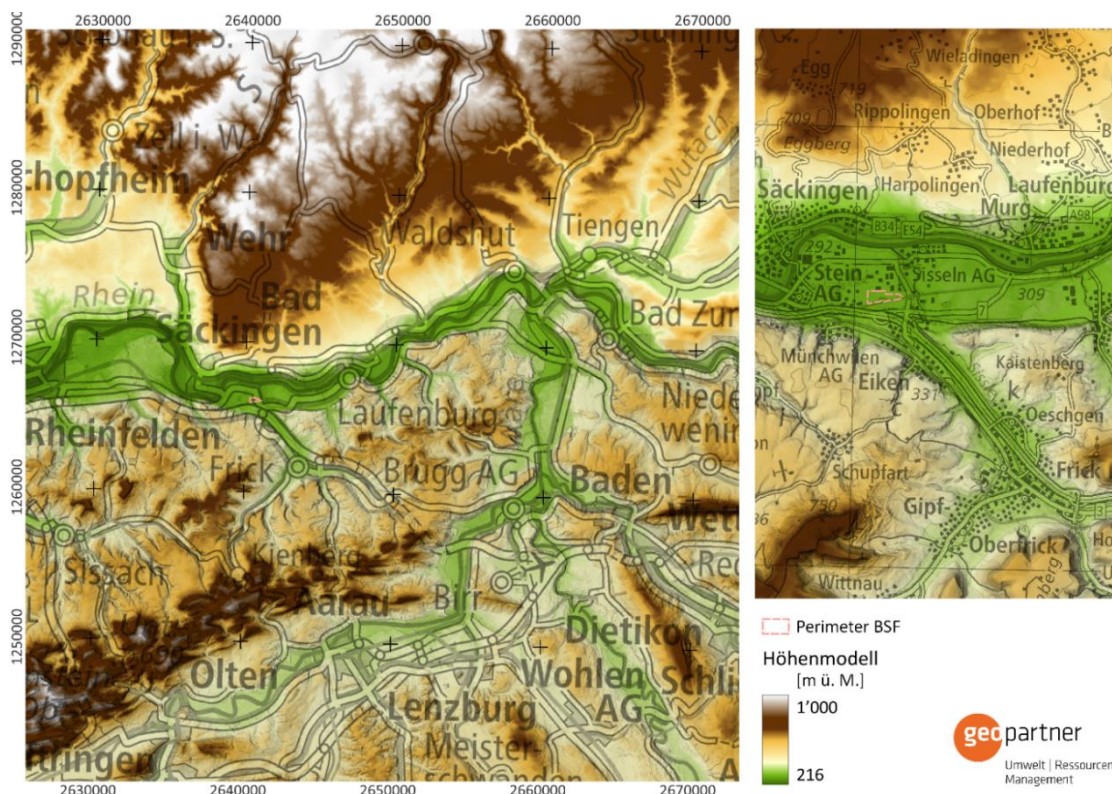


Abbildung 1: Übersicht Topographie Untersuchungsgebiet und Areal Bachem Sisslerfeld in Eiken (BSF).

1.2 Theoretische Grundlagen

1.2.1 Kaltluftabfluss in der Nacht

Im Glossar in Anhang A.2 sind die *kursiv* gedruckten Fachbegriffe genauer erläutert.

Hinweis auf Glossar in Anhang A.2

In wolkenarmen und windschwachen Nächten findet durch die thermische Ausstrahlung in Bodennähe *Kaltluftproduktion* statt. Die im Vergleich zur Umgebung kühlere Luft fliesst durch ihre spezifisch höhere Dichte entsprechend dem Gefälle hangabwärts. Die Topographie wirkt dabei als entscheidender Auslöser sowie als räumliches Steuerelement der Prozesse. Die Grösse und Art des Kaltluft-Einzugsgebiets, die Hangneigung und die Weite der vorhandenen Täler beeinflussen die Intensität der Kaltluftströmung. Flächenhafte Hangabwinde sind eher flache Strömungen, durch Täler gebündelte Kaltluftströme können hingegen grössere Mächtigkeiten erreichen.

Theorie Kaltluftabfluss

Nächtlicher *Kaltluftabfluss* ist insbesondere in hügeligen und wenig dicht besiedelten Gebieten sowie in Siedlungsrandgebieten ein wichtiger Einflussfaktor auf das Lokalklima. Bei entsprechenden Wetterlagen stellen sich diese Kaltluftsysteme regelmässig in ähnlicher Stärke und Form für einen Standort ein.

Kaltluft als wichtiger Einflussfaktor

Ob die Kaltluftströmung in ein Siedlungsgebiet gelangt, ist vor allem von der Bebauungsdichte und möglichen Eintrittspfaden abhängig. Eine hohe Bebauung mit wenig Zwischenräumen für Windfluss schwächt den Kaltluftstrom ab. Offen und niedrig bebaute Gebiete hingegen ermöglichen die Ausbreitung nächtlicher Kaltluft. Freie Korridore wie z.B. Eisenbahnlinien oder Flüsse erlauben es zudem, dass Kaltluft bis tief in städtische Gebiete transportiert wird. Man spricht von Kalt- oder Frischluftschneisen. Ist die Kaltluftversorgung von aussen aufgrund dichter Bebauung abgeschnitten, kann auch lokal erzeugte Kaltluft, z.B. aus städtischen Parkanlagen, örtlich für zusätzliche Abkühlung sorgen.

Bebauung beeinflusst Kaltluftgeschehen

Der Kaltluftabfluss wird üblicherweise als *Kaltluftvolumenstrom* beschrieben und dargestellt. Dadurch lässt sich das Volumen an Kaltluft, welches pro Sekunde einen 1 m breiten Abschnitt durchströmt, quantifizieren. Der Kaltluftvolumenstrom wird auch innerhalb der Klimaanalyse Aargau genutzt, um den Kaltluftabfluss zu charakterisieren [1] (siehe Kapitel 1.3.1). Aus der Strömung ergibt sich zudem ein Windfeld, welches in Form von Windpfeilen dargestellt werden kann und die Fliessrichtung anzeigt.

Physikalische Grössen

1.2.2 Humanbioklima am Tag

Das thermische Wohlbefinden eines Individuums lässt sich mittels Indizes berechnen. Als einer der Standards hat sich die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET, von engl. *physiological equivalent temperature*) etabliert [5]. Die PET entspricht vereinfacht dem empfundenen Hitzestress.

Hitzestress tagsüber

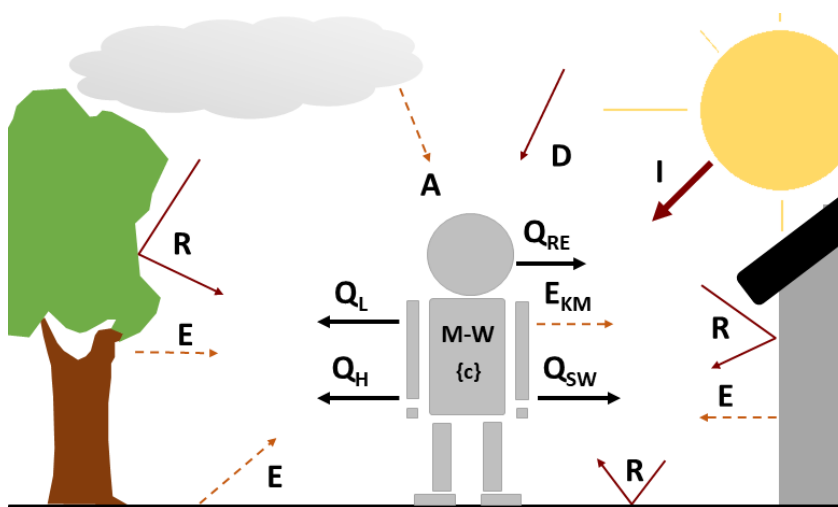
Der Index PET beinhaltet die Strahlungstemperatur (lang und kurzwellige Strahlungsflüsse resp. Solar- und Wärmestrahlung), Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind, Bekleidung und Aktivität (Abbildung 2). Die Einheit der PET ist °C und beschreibt die Temperatur, welche in einem Innenraum ohne direkte Sonneneinstrahlung und Wind sowie einer Luftfeuchtigkeit von 50% herrschen müsste, um die gleiche thermische Belastung 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 empfindet wie sitzend in einem Raum mit 45 °C Lufttemperatur (vgl. Tabelle 1).

Erklärung PET (empfundener Hitzestress):

Temperatur, welche in einem Innenraum ohne direkte Sonneneinstrahlung und Wind sowie einer Luftfeuchtigkeit von 50% herrschen müsste, um die gleiche thermische Belastung zu erzeugen wie aktuell von einer Person im Freien empfunden.

Tabelle 1: Einordnung der PET-Werte nach Empfinden und physiologischer Belastung gemäss Höppe [5].

Ab 29 °C	Warm	Mässige Wärmebelastung
Ab 35 °C	Heiss	Starke Wärmebelastung
Ab 41 °C	Sehr heiss	Extreme Wärmebelastung



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

Die PET wird auch im Rahmen der Klimaanalyse Kanton Aargau als Einheit für das thermische Wohlbefinden am Tag genutzt [1]. Kapitel 1.3.2 des vorliegenden Berichts fasst die dabei gewonnenen Erkenntnisse aus den Grundlagendaten zusammen.

Zusammenfassung Klimaanalyse

1.3 Erkenntnisse Klimaanalyse Aargau

1.3.1 Kaltluftabfluss in der Nacht

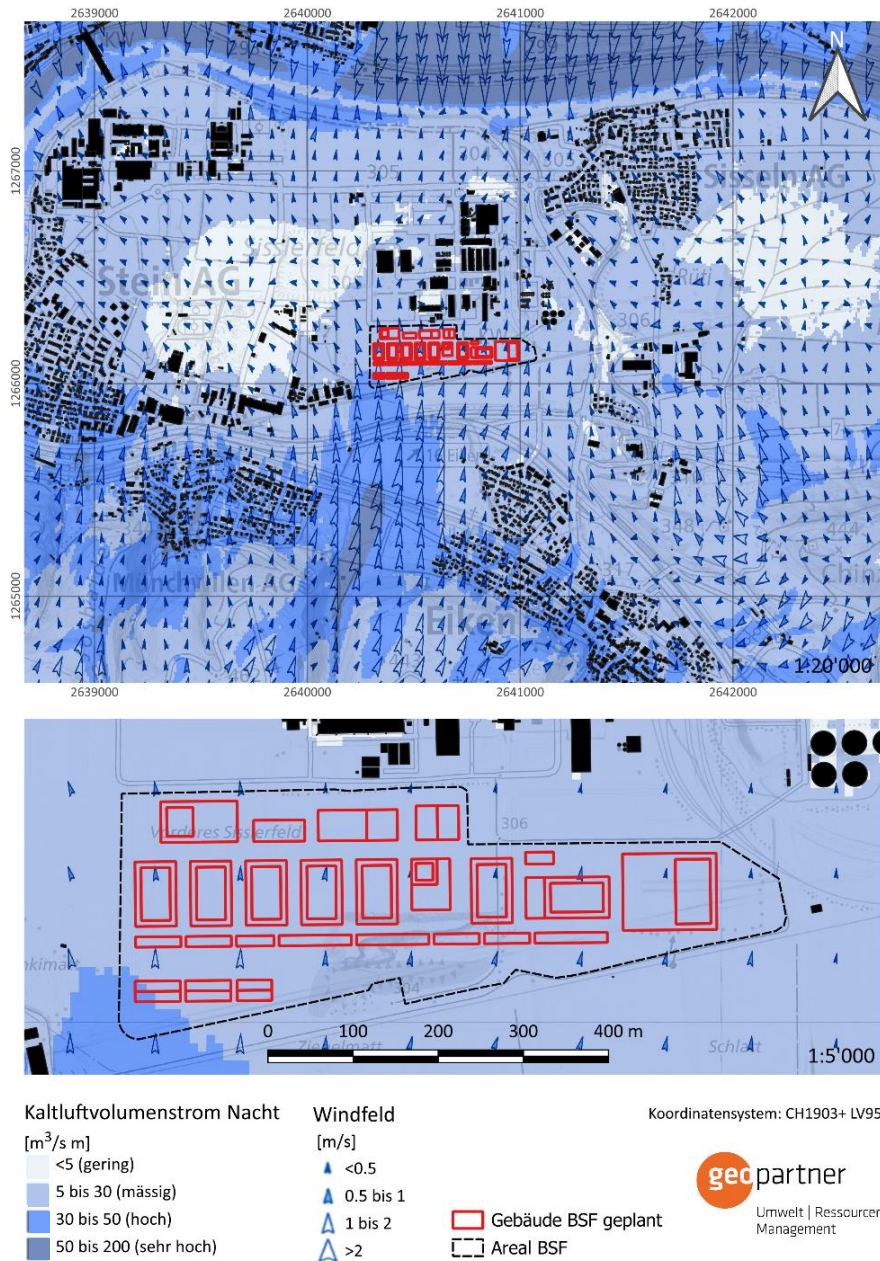


Abbildung 3: Kaltluftvolumenstrom gemäss Klimaanalyse Kanton Aargau [1] (Geodaten Kanton Aargau), dargestellt mit dem Areal BSF und den geplanten Gebäuden.

Der *Kaltluftvolumenstrom* beschreibt, wie viele Kubikmeter Kaltluft pro Sekunde einen 1 m breiten Abschnitt durchströmen. Abbildung 3 zeigt die Richtung und

Beschreibung Kaltluftvolumenstrom

Stärke der Strömung frühmorgens gemäss Klimaaanalyse Kanton Aargau [1] im Ist-Zustand. Der *Kaltluftvolumenstrom* hilft zu verstehen, welche Gebiete wie gut mit nächtlicher Kaltluft versorgt werden und wo sich wichtige Kaltluftbahnen befinden. Innerhalb der kantonalen Klimaaanalyse Aargau werden Kaltluftströme mit $< 5 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ als «gering», mit $5\text{-}30 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ als «mässig», mit $30\text{-}50 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ als «hoch» und mit $> 50 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ als «sehr hoch» eingestuft [1] (siehe auch Anhang A.2).

Gemäss Abbildung 3 liegt das betrachtete Areal quer zu einem mässigen bis hohen Kaltluftstrom. Die Kaltluftabflussberechnung mit dem Modell KLAM_21 in Kapitel 3.1 zeigt, inwiefern die vorherrschende Strömung von der geplanten Bebauung beeinflusst wird und ob die weitere Umgebung, insbesondere die Siedlungsgebiete, von negativen Einflüssen betroffen sind.

Gebiet quer zum Windfeld

1.3.2 Humanbioklima am Tag

Wie in Kapitel 1.2.2 erklärt, sind für das thermische Wohlbefinden am Tag mehrere Faktoren entscheidend. Thermisches Unbehagen an heissen Sommertagen wird als Hitzestress bezeichnet, welcher als Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) berechnet werden kann.

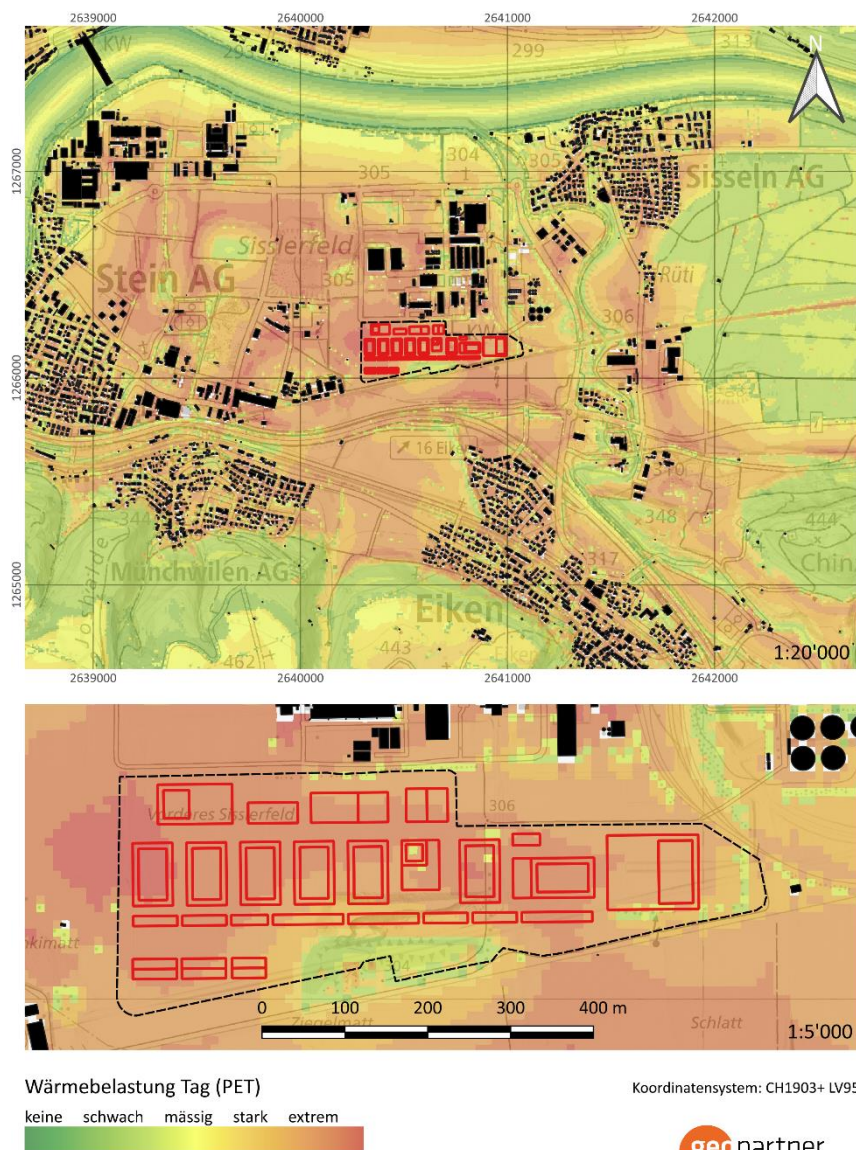
Hitzestress

Abbildung 4 zeigt die Stärke des Hitzestresses an einem heissen Sommertag gemäss Klimaaanalyse Kanton Aargau [1]. Es wird ersichtlich, dass insbesondere Freiflächen aufgrund der mangelnden Beschattung und der dadurch starken Sonnenexposition von extremem Hitzestress betroffen sind. Die thermisch angenehmsten Bereiche im Ist-Zustand sind an der südlichen Grenze des Areals BSF zu finden. Dies lässt sich mit dem dort vorhandenen kleinen Waldstück erklären, welches den Hitzestress dank seiner Beschattungswirkung deutlich reduziert.

Freiflächen mit starkem Hitzestress

Diese grossen Unterschiede auf kleinem Raum zeigen den Einfluss der Beschaffenheit von Oberflächen und der Beschattung auf das Humanbioklima am Tag. Mit der neu geplanten Bebauung auf dem Areal BSF wird sich die Verteilung von besonnten und beschatteten Flächen grundlegend verändern. Dadurch entstehen neue Bereiche mit potenziell starkem Hitzestress, aber auch viele beschattete Bereiche, mit geringem Hitzestress. Mit der Umgebungsgestaltung und der gezielten Setzung von Bäumen kann der thermische Komfort im Aussenbereich an heissen Sommertagen optimiert werden (siehe auch Kapitel 1.2.2).

Einfluss lokaler Gegebenheiten



Wärmebelastung Tag (PET)

Koordinatensystem: CH1903+ LV95

keine schwach mässig stark extrem



▭ Gebäude BSF geplant

▭ Areal BSF

Abbildung 4: Hitzestress (PET) gemäss Klimaanalyse Kanton Aargau [1] (Geodaten Kanton Aargau), dargestellt mit dem Areal BSF und den geplanten Gebäuden.

2 Methode

2.1 Vorgehen

Mittels Modellsimulation wird der Einfluss der geplanten Bebauung auf die vorherrschende Kaltluftströmung beurteilt. Hierfür wird zunächst der Ist-Zustand anhand von Geodaten im Modell nachgebaut und der Kaltluftabfluss simuliert. Für den Soll-Zustand (Site Masterplan, Stand 30.10.2024; siehe Anhang A.4) werden die innerhalb des Perimeters BSF geplanten Gebäude dem Modell hinzugefügt, die Landnutzung entsprechend den Plänen angepasst und der Kaltluftabfluss erneut simuliert.

Kaltluftabflussmodellierung

Zur Beurteilung der Kaltluftströmung wird - analog der Klimaanalyse Kanton Aargau [1] - der Kaltluftvolumenstrom inkl. dem höhengemittelten Wind im Ist-Zustand und im Soll-Zustand ausgewertet und dargestellt. Mittels Differenzberechnung zwischen den beiden Zuständen können das Ausmass des Einflusses auf die Kaltluftströme sowie der relevante Einflussbereich bestimmt werden.

Auswertung

2.2 Modell KLAM_21

Für die Simulation von *Kaltluftentstehung* und *Kaltluftabfluss* wird das Modell KLAM_21 verwendet (Anhang A.3). Mit KLAM_21 lässt sich die Entwicklung von Kaltluftflüssen in einem vordefinierten Untersuchungsgebiet simulieren. Über diese Fläche wird ein numerisches Gitter gelegt. Jedem Gitterpunkt werden eine Flächennutzung sowie eine Geländehöhe zugeordnet. Die Eingangsdaten dafür stammen aus Geodaten des Kantons Aargau (Wohnzonen, Amtliche Vermessung, Geländemodell), ergänzt durch Daten von OpenStreetMaps für die deutschen Gebiete. Jede Landnutzungs-kategorie entspricht einer vorgegebenen Kälteproduktionsrate und einem aerodynamischen Widerstand. Das Zusammenspiel dieser Einflussgrößen bestimmt das Entstehen, das Fließen und die Ansammlung der Kaltluft [2].

Simulationsmodell

Der Start der Simulation liegt kurz nach Sonnenuntergang. Danach können der *Kaltluftvolumenstrom* und die Kaltluft Höhe zu beliebigen Zeiten ausgegeben werden. Der maximale Simulationszeitraum entspricht dabei dem Zeitpunkt der stärksten Auskühlung frühmorgens.

Simulationsdauer

Damit das gesamte Einzugs- und Einflussgebiet der Kaltluftströmung berücksichtigt und gleichzeitig im relevanten Kernbereich die Bebauung von Einzelgebäuden aufgelöst werden können, gibt es in KLAM die Möglichkeit eines sogenannten «Nestings». Dabei wird die Modellumgebung in ein Kerngebiet (höher aufgelöst) und ein Einzugsgebiet/Einflussgebiet (weniger hoch aufgelöst, im Folgenden als Einflussgebiet bezeichnet) unterteilt. Die Auflösung im Einflussgebiet wird dabei um den Faktor 5 reduziert. Die Bebauung wird im Kerngebiet als dem Gelände überprägte Objekthöhe berücksichtigt, welcher die Landnutzung «versiegelt» zugewiesen wird. Im vorliegenden Fall wird im Kerngebiet eine hohe Auflösung von 4 m festgelegt.

Nesting

Der Perimeter der Modellierungen umfasst im Kerngebiet neben dem Areal BSF das nördlich angrenzende Industrieareal der DSM und erstreckt sich über eine Fläche von 880 m x 1'024 m. Das umgebende und weniger hoch aufgelöste Einflussgebiet umfasst ein Gebiet von 8 km x 8 km und deckt das Hochrheintal zwischen Bad Säckingen und Laufenburg sowie das Fricktal bis Oberfrick ab (Abbildung 5).

Perimeter

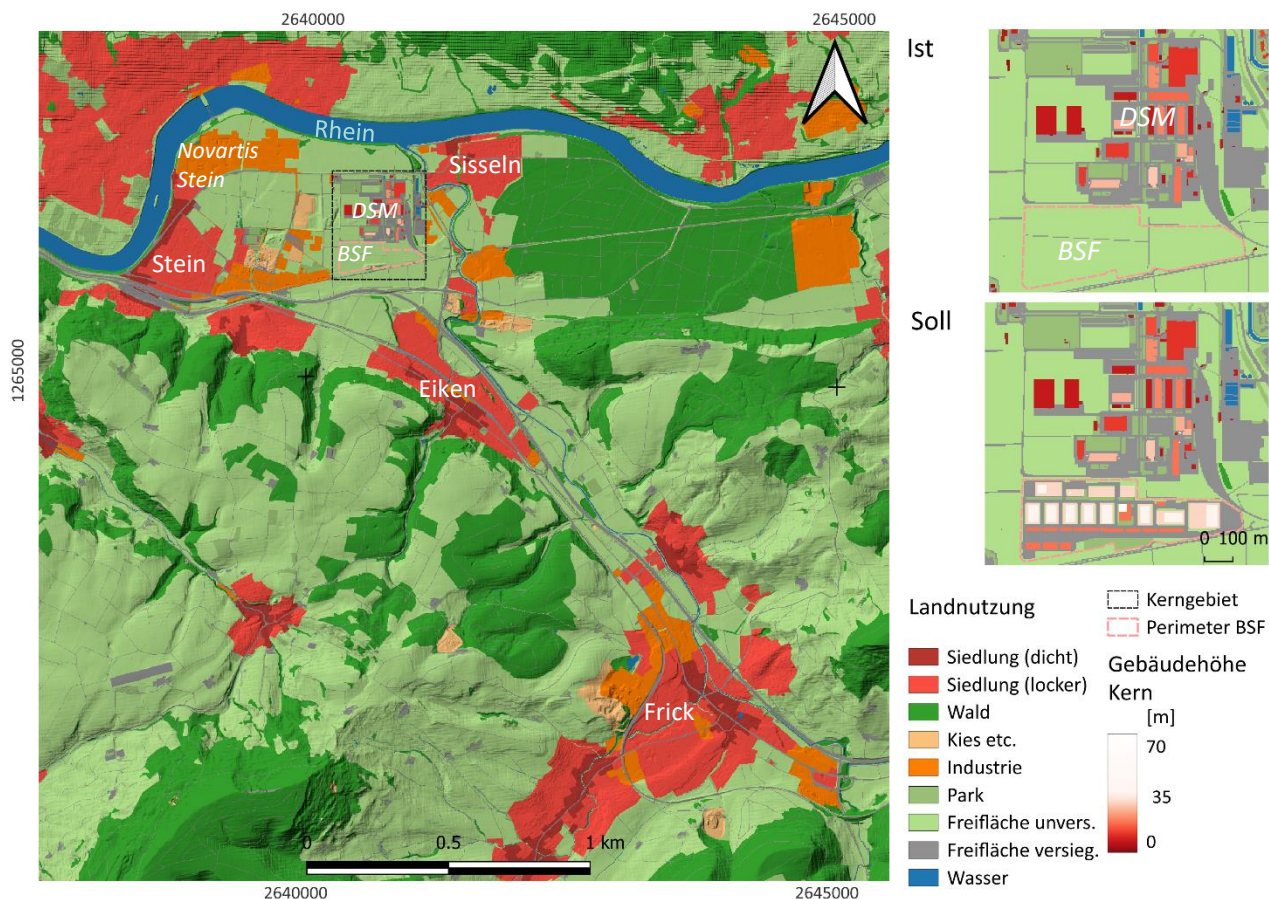


Abbildung 5: Topographie und Landnutzung des Einflussgebiets (links) mit dem Kerngebiet (schwarz gestrichelt) und dem Areal BSF (rosa gestrichelt) im Ist-Zustand (rechts oben) und im geplanten Soll-Zustand (rechts unten).

3 Resultate

3.1 Kaltluftabfluss in der Nacht

3.1.1 Übersicht

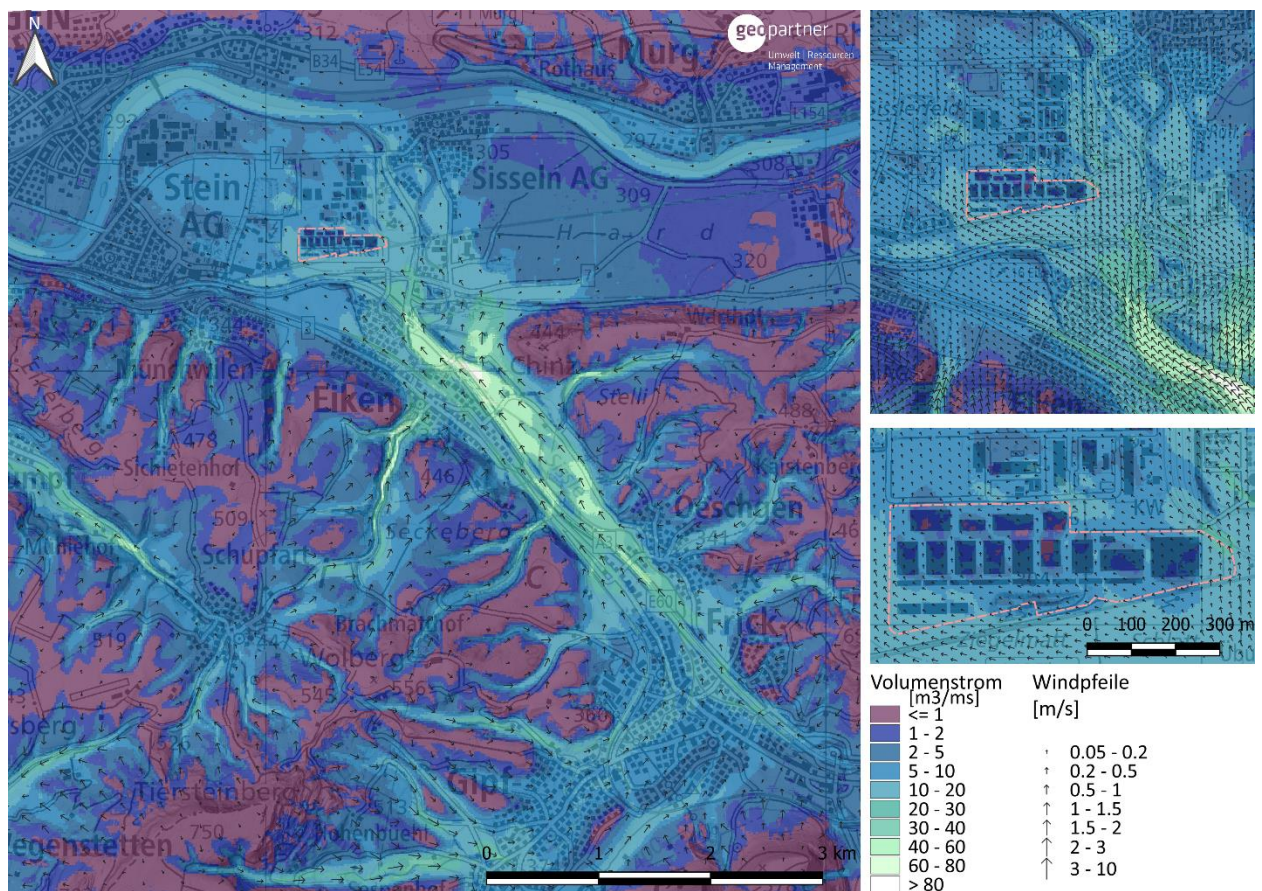


Abbildung 6: Nächtlicher Kaltluftabfluss im Soll-Zustand als Kaltluftvolumenstrom mit höhengemitteltem Windfeld im Gesamtgebiet (links) und im Detail für die Umgebung des Areals BSF (rechts).

Abbildung 6 zeigt den nächtlichen Kaltluftvolumenstrom für das gesamte Einzugsgebiet. Im Verlaufe der Nacht bildet sich entlang des Fricktals ein markanter Kaltluftstrom aus. Dieser erreicht durch das Zusammenfließen und Bündeln der Luftmassen aus den umliegenden Seitentälern bis zu $80 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{s}$ und kann damit als sehr hoch eingestuft werden. Beim Ausströmen in das Hochrheintal bei Eiken fächert die Strömung auf und schwächt sich dadurch ab. Der Kaltluftvolumenstrom beträgt im Talaustritt noch $15 \text{ bis } 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{s}$ mit örtlichen Maxima von über $20 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{s}$, was einem guten Durchlüftungspotenzial entspricht. Die massgebende Anströmungsrichtung für das Sisslerfeld ist zu diesem Zeitpunkt gemäss Simulationsdaten Südsüdost.

Mächtiger Kaltluftstrom entlang Fricktal

3.1.2 Vergleich Ist-Zustand und Soll-Zustand

Abbildung 7 zeigt den Vergleich von Ist-Zustand und Soll-Zustand sowie die Differenz der Zustände zu unterschiedlichen Zeitpunkten (Abend und Nacht). Die Differenz ist dabei als absoluter Wert (Soll minus Ist, Negativwerte = Abnahme) und als relativer Wert (Soll minus Ist geteilt durch Ist) dargestellt.

Vergleich der Zustände

Gemäss deutscher VDI-Norm ist bei Kaltluftströmungen eine Verringerung der Abflussvolumina von mehr als 10% gegenüber dem Ist-Zustand als «starker Eingriff mit weitreichenden Folgen» im Kaltluftzielgebiet zu bewerten. Prozentuale Änderungen gegenüber dem Ist-Zustand zwischen 5 und 10% sind als «mässige Auswirkung» zu bewerten. Bei Werten unter 5% sind im Allgemeinen nur «geringe klimatische Auswirkungen» im Kaltluftzielgebiet zu erwarten [6]. Veränderungen von weniger als 5% werden in Abbildung 7 transparent dargestellt.

Bewertung der relativen Abweichung

Zusätzlich muss auch berücksichtigt werden, welche Gebiete von den nächtlichen Kaltluftströmen profitieren können (Zielgebiet). Im vorliegenden Fall sind dies die Siedlungsgebiete Eiken, Münchwilen, Stein und Sisseln. Ausserdem ist neben der prozentualen Veränderung auch die absolute Veränderung ausschlaggebend, da sehr schwache Ströme keine klimaökologische Relevanz haben und die Bewertung nach prozentualer Abnahme hierfür nicht zielführend ist. Veränderungen von weniger als $1 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ werden in Abbildung 7 transparent dargestellt.

Zielgebiet und Relevanz von absoluter Abweichung

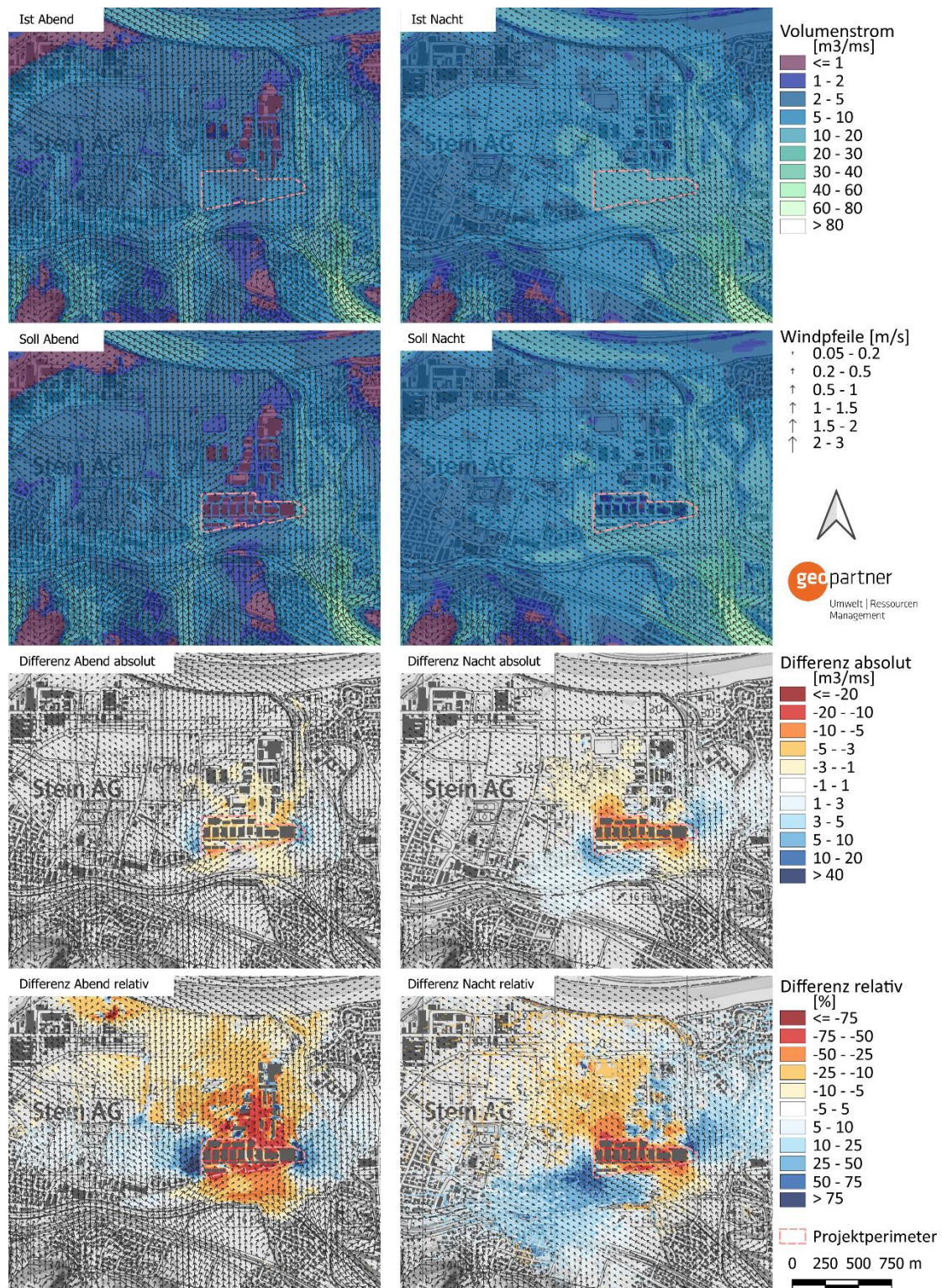


Abbildung 7: Kaltluftvolumenstrom im Ist-Zustand (oben) und im Soll-Zustand (Mitte oben) sowie die Differenzen der beiden Zustände absolut (Soll minus Ist; Mitte unten) und relativ zum Ist-Zustand (unten) zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

3.1.3 Zeitlicher Verlauf

Abbildung 7 zeigt, wie die Kaltluftströmung ihre Ausrichtung und Stärke im Verlaufe der Nacht leicht verändert. So ist für das Areal BSF am Abend eher eine südliche Anströmung massgebend, mit markantester Ausprägung im Bereich Buchstel, einem kleinen Seitental des Hochrheintals zwischen Münchwilen und Eiken. Diese Situation deckt sich gut mit der Klimaanalyse Kanton Aargau, welche primär die lokalen Kaltlufteinflüsse darstellt.

**Zeitlicher Verlauf – am Abend
eher lokaler Einfluss**

Im Verlaufe der Nacht nimmt in der Simulation der Einfluss des markanten Kaltluftstroms aus dem Fricktal zu. Die Strömung auf dem Sisslerfeld dreht dadurch leicht auf Südsüdost. Der Volumenstrom erreicht im Ist-Zustand im Mittel knapp $12 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ innerhalb des Areals BSF, was als mässiger Strom klassifiziert werden kann.

**Zeitlicher Verlauf – Einfluss aus
dem Fricktal nimmt zu**

3.1.4 Differenzbetrachtung

Am frühen Abend beschränken sich die mässigen Auswirkungen (bis 5% Abnahme) auf das gesamte Sisslerfeld zwischen Stein und Sisseln, mehrheitlich exklusive der Siedlungsgebiete. Aufgrund der Stauwirkung der Bebauung ist diese Abnahme sowohl in windzu- wie auch in windabgewandter Richtung beobachtbar. Grösser als 10% sind die Auswirkungen zu diesem Zeitpunkt insbesondere im nördlich angrenzenden Industriegebiet der DSM, zwischen DSM und Rhein sowie vor dem Areal BSF. Ein Blick auf die absoluten Differenzen zeigt jedoch, dass viele dieser Bereiche Veränderungen von unter $1 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ aufweisen, was als wenig relevant eingestuft werden kann.

Abend - Differenzbetrachtung

Die Zunahme des Volumenstroms um mehr als $5 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ an den westlichen und östlichen Rändern des Areals BSF zeigt, dass die Strömung dort dem dicht bebauten Areal BSF seitlich, wo genügend Platz vorhanden ist, ausweicht. Diese Ausweichbewegungen sind auch mit dafür verantwortlich, dass sich die markanten Veränderungen auf die direkte Umgebung des Areals BSF beschränken und die Siedlungsgebiete nicht markant negativ beeinflusst werden.

Abend – Ausweichen der Strömung

In der Nacht mit zunehmender Bedeutung der Strömung aus dem Fricktal manifestieren sich die bereits frühabends beobachteten Tendenzen. Die beeinflussten Bereiche verschieben sich allerdings etwas nach Nordwesten/Südosten. Wiederum ergibt sich aufgrund der Stauwirkung ein Bereich mit «starken» Auswirkungen vor und nach (in Strömungsrichtung) der geplanten Bebauung. Vor der Bebauung weist das landwirtschaftlich genutzte Gebiet Schlatt bis zur Autobahn einen markanten Rückgang der Kaltluftströmung auf. Nördlich des Areals BSF sind die Kiesgruben und das Landwirtschaftsland des Gebiets Sisslerfeld von einer Abnahme von mehr als 10% betroffen. Innerhalb des angrenzenden Areals der DSM ergibt sich vor allem in den westlichen Arealteilen (hinteres Sisslerfeld) eine starke Abnahme. Dabei handelt es sich vermutlich um Lagerhallen, sodass wenig Personen davon betroffen sind.

Nacht – relative Differenzen

Die Darstellung der absoluten Differenzen in der Nacht zeigt - wie schon in den frühen Abendstunden -, dass sich die starken Abnahmen der Kaltluftströmung auf die direkte Nachbarschaft des Areals BSF beschränken. Abnahmen von mehr als $1 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ treten im bewohnten Siedlungsgebiet keine auf. Auch die prozentualen Abnahmen von mehr als 5% treten nur in landwirtschaftlich oder industriell genutztem Gebiet auf. Innerhalb des Areals der DSM beschränken sich die starken Abnahmen von mehr als 10% mehrheitlich auf offene Freiflächen und Lagerhallen. Auch zu diesem Zeitpunkt sind Ausweichströmungen zu erkennen, welche dafür sorgen, dass sich die Kaltluftversorgung der Siedlungsgebiete nicht markant verändert. Daher ist es auch von Relevanz, dass das Gebiet um das Areal BSF solche Ausweichmöglichkeiten bietet.

Nacht - absolute Differenzen

Die zentralen, dichter bebauten Bereiche des Areals der DSM sind prozentual und absolut weniger stark betroffen, da die Strömung dort durch die dichte Bebauung bereits beeinträchtigt ist. Durch das veränderte Strömungsregime ergeben sich dort gemäss Simulation auch Bereiche, welche neu besser mit nächtlicher Frischluft versorgt werden.

**Nacht - zentrale Bereiche DSM
wenig betroffen**

Die geplante Bebauung hat somit lokal starke Auswirkungen ($>10\%$) auf die vorherrschende Kaltluftströmung. Der Einflussbereich beschränkt sich jedoch auf die Landwirtschaftsflächen und Lagerhallen der umliegenden Nachbarareale innerhalb des Sisslerfeldes. Dank der relativ offenen resp. niedrig bebauten Umgebung kann die Strömung westlich und östlich des dicht bebauten Areals BSF vorbei- und Richtung Siedlungsgebiete weiterströmen. Es sind somit keine Siedlungsgebiete von relevanten Veränderungen (mehr als 5% oder $1 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$) betroffen.

Fazit

3.2 Humanbioklima am Tag

Im Ist-Zustand ist das Areal aufgrund der starken Sonnenexposition gemäss Klimaanalyse Kanton Aargau [1] als sehr stark überwärmt klassifiziert (siehe Kapitel 1.3.2). Durch die geplante Bebauung (siehe Abbildung 8) wird diese Ausgangslage grundsätzlich verändert. Mit den hohen Gebäuden (von in der Regel 17-38 m Höhe; das zentrale Gebäude mit einer Höhe von > 70 m, vgl. Anhang A.4) werden auch viele Schattenflächen erzeugt. Zwischen den Gebäuden und in den Randbereichen des Areals werden durch mehrere Baumreihen und Baumgruppen ebenfalls schattige Bereiche geschaffen. Demgegenüber können vor sonnenexponierten Fassaden und über versiegelten sowie kiesigen Flächen auch thermisch unangenehme Bereiche entstehen. In der Folge sollen die Thematik des Humanbioklimas am Tag anhand der Plandaten (Abbildung 8) und theoretischen Überlegungen beschrieben und Optimierungsmöglichkeiten formuliert werden.

Viele schattige Bereiche geschaffen

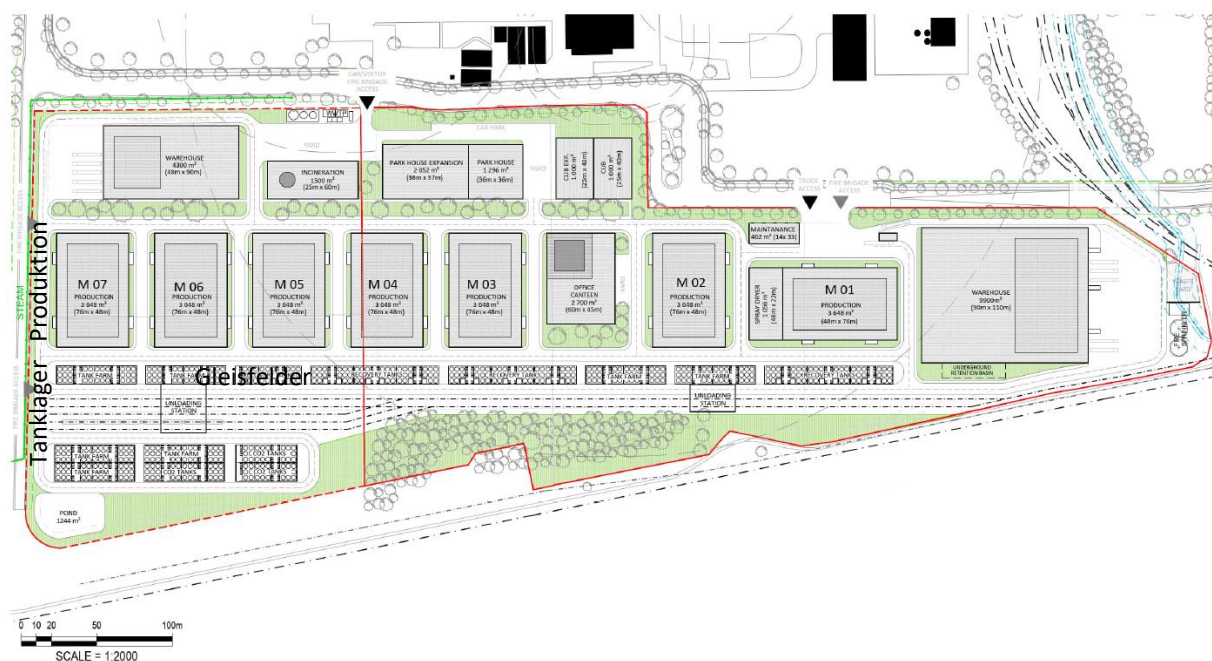


Abbildung 8: Planübersicht Site Masterplan, Quelle: Bachem, Stand 30.10.2024.

Stark überhitzte Bereiche können vor unbeschatteten und südlich ausgerichteten Fassaden sowie im Bereich der Gleisfelder entstehen. Unbeschattete Flächen, insbesondere wenn diese versiegelt sind, sind zudem ebenfalls Bereiche mit extremem Hitzestress an heissen Sommertagen. Auch chaussierte oder kiesige Beläge können sich sehr stark aufheizen, sofern diese nicht beschattet sind. Beschattungsanalysen können helfen, solche Bereiche zu erkennen und gezielt zu entlasten.

Stark überhitzte Bereiche

Zwischen den Produktionsgebäuden und der nördlichen Gebäudereihe sind vor den südlichen Fassaden durchgehende Baumreihen geplant. Diese helfen das zusätzliche Aufheizen auf Fussgängerniveau vor den Fassaden zu reduzieren. Zudem verbessern sie das Innenraumklima durch Beschattung. Die an diese Fassaden angrenzenden bodennahen Bereiche sind zudem nicht versiegelt. Die Kombination aus versiegelten Böden und sonnenexponierten Fassaden verursacht üblicherweise den stärksten Hitzestress im Aussenraum. Wo aufgrund der engen Platzverhältnisse keine Baumsetzungen möglich sind, kann vom Gebäudeschatten selbst resp. dem Schatten der Tanklager profitiert werden. Versiegelte Bereiche sind zum Teil direkt nördlich angrenzend an Gebäude und dadurch in schattigen Bereichen (mittags und nachmittags) geplant.

Bäume vor Fassaden

Die einzelnen Baumgruppen innerhalb der Aufenthaltsbereiche schaffen angenehme Orte. Es muss jedoch beachtet werden, dass diese Bäume einige Jahre brauchen, um ihre volle Wirkung entfalten zu können. Die ersten Jahre wird ihre Beschattungswirkung geringer ausfallen, sodass Übergangsmassnahmen für die Aufenthaltsbereiche nötig sind. Eine Kombination aus schnell wachsenden Pflanzen, z.B. Kletterpflanzen an Gerüsten, und langsam wachsenden Bäumen wäre eine Möglichkeit, um dem entgegenzuwirken.

Baumgruppen

Die Gleisbereiche um die Tanklager werden sich am Tag, insbesondere im Verlaufe des Nachmittags, sehr stark aufheizen. Betroffen davon sind vor allem die Mitarbeitenden, welche die Waggonen abfertigen. Es soll darauf geachtet werden, dass im bodennahen Aussenbereich der Gebäude ausreichend schattige Bereiche geschaffen werden, die den betroffenen Mitarbeitenden als Entlastungsflächen dienen können. Dies kann z.B. durch Vordächer oder Markisen vor den südlichen Fassaden realisiert werden. Ausserdem können Brunnen und Wasserhähne für eine kurzzeitige Abkühlung sorgen. Vermeiden lassen sich solche Bereiche auf dem Areal aufgrund der Nutzung nicht, man muss für die Arbeitenden jedoch genügend Entlastungsflächen schaffen.

Gleisbereiche

Eine gute Windzirkulation hilft den Hitzestress zu reduzieren. Am Tag kann häufig eine Windströmung entlang dem Hochrheintal (grob Ost-West) erwartet werden, von welcher aufgrund der freien Umgebung gut profitiert werden kann. Die Gebäudestellung resp. die zentrale Strasse nördlich der Produktionsgebäude, auf der sich die meisten Personen bewegen werden, sind somit gut auf diese Winde ausgerichtet.

Windströmung

Fassaden- und Dachbegrünung haben einen kleinen Effekt auf das Aussenraumklima. Eine begrünte sonnenexponierte Fassade reicht nicht, um den Hitzestress im Aussenraum spürbar zu senken. Dafür sind zusätzliche Beschattungsmassnahmen notwendig. Auf das Gebäude selbst bzw. deren Innenräume haben die Begrünungselemente dank ihrer beschattenden und kühlenden Wirkung einen bedeutenderen Effekt.

Fassaden- und Dachbegrünung

4 Zusammenfassung

Im Gebiet Sisslerfeld zwischen Stein und Eiken bildet sich in wolkenarmen und windschwachen Nächten regelmässig ein Kaltluftsystem aus. Dieses bildet sich am Abend aufgrund von Kaltluftabfluss an den umliegenden Hängen und strömt aus südlicher Richtung zum Areal BSF. Im Verlaufe der Nacht nimmt der Einfluss der ausgeprägten Kaltluftströmung aus dem Fricktal zu, sodass die Strömung leicht auf Südsüdost dreht.

Beschreibung Kaltluftströmung

Die geplante Bebauung hat dabei einen markanten Einfluss auf die Strömung, wobei sich der Einfluss auf die unmittelbare Nachbarschaft und die umliegenden Freiflächen beschränkt. Betroffen von einer starken Abnahme des Kaltluftvolumenstroms sind mehrheitlich Kiesgruben, landwirtschaftlich genutzte Flächen sowie Lagerhallen. Das direkt nördlich angrenzende Industrieareal der DSM ist vor allem in den frühen Abendstunden von einer geringeren Versorgung mit nächtlicher Kaltluft betroffen. Die Strömung innerhalb des dichter bebauten Arealteils der DSM ist bereits im Ist-Zustand eingeschränkt, sodass die absolute Abnahme gering ausfällt.

Einfluss primär auf landwirtschaftlich und industriell genutzte Flächen

Innerhalb der umliegenden Siedlungsgebiete Eiken, Münchwilen, Stein und Sisseln konnte keine relevante Reduktion der nächtlichen Kaltluftströmung festgestellt werden. Zwar hindert die neu geplante Bebauung die vorhandene Kaltluftströmung lokal markant, aufgrund der Freiflächen um das Areal BSF kann die Strömung jedoch gut ausweichen und die umliegenden Siedlungsgebiete weiterhin mit nächtlicher Kaltluft versorgen.

Keine relevanten Auswirkungen auf Kaltluftströmung im Siedlungsgebiet

Die Freiflächen um das Areal BSF haben daher in Zukunft eine besondere Bedeutung für die Kaltluftströme und sollten nicht oder nur niedrig bebaut werden. Ausserdem ist in diesem Bereich von dichten Baumgruppen oder hohen Hecken, welche die Kaltluftströmung ebenfalls bremsen können, abzusehen.

Freifläche nicht bebauen

Bezüglich der humanbioklimatischen Situation am Tag und dem zu erwartenden Hitzestress sehen wir am vorliegenden Standort keine spezielle Problematik resp. ergibt sich durch die Neubebauung eine grundsätzlich andere Situation. Die Bebauung selbst schafft schattige Bereiche, während sonnenexponierte Fassaden gezielt mit Bäumen verschattet werden. Zudem werden versiegelte Oberflächen vor Südfassaden vermieden. Allgemein wird mit der Gebäudestellung und der Aussenraumgestaltung gut auf die Sonnenexposition eingegangen. Mit dieser optimierten Aussenraumgestaltung kann Hitzestress effizient reduziert werden. In Bereichen, welche aufgrund der Nutzung versiegelt oder mit Schotter bedeckt und sonnenexponiert sind, sollen für die Mitarbeitenden, die draussen arbeiten, ausreichend schattige Entlastungsflächen geschaffen werden. Mit der aktuellen Gebäudesetzung kann zu einem Grossteil von den tagsüber erwarteten Winden entlang dem Hochrheintal profitiert werden, was den Hitzestress wiederum leicht senkt.

Humanbioklima am Tag

Anhang

A.1 Zitierte Grundlagen

- [1] GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2021): Analyse der klimaökologischen Funktionen und Prozesse für das Gebiet des Kantons Aargau. Abschlussbericht [ENTWURF].
- [2] Sievers, U. (2005): Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Theoretische Grundlagen, Anwendung und Handhabung des PC-Modells. Berichte des DWD 227. Inkl. CD mit PC-Testversion.
- [3] Häckel, H. (2008): Meteorologie. 6. Auflage. Ulmer, Stuttgart.
- [4] Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). Urban climates. Cambridge University Press. S. 93-94, 404.
- [5] Höppe, P. (1999): The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. International Journal of Biometeorology, 43(2):71-75.
- [6] Verein Deutscher Ingenieure, VDI 3787 Blatt 5 - Umweltmeteorologie; Lokale Kaltluft. Düsseldorf, 2003.

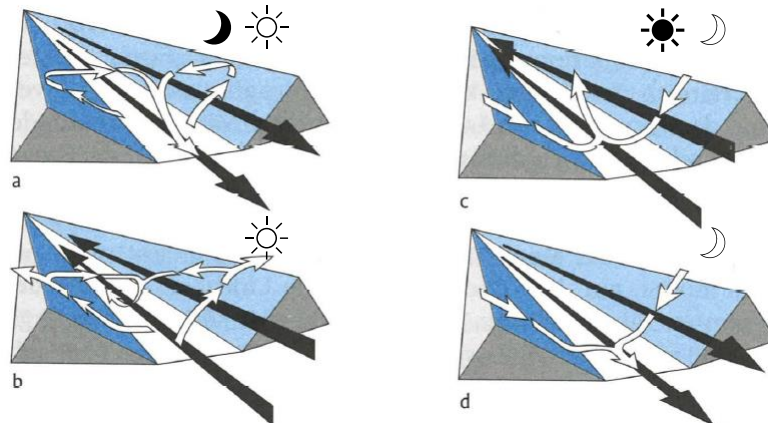
A.2 Glossar

Berg-Tal-Windsystem

Als lokalklimatisches Phänomen ist das thermisch induzierte Berg-Tal-Windsystem bekannt. Dieses ist in der folgenden Abbildung in seinem Tagesverlauf schematisch dargestellt und tritt insbesondere bei wolkenlosen, windschwachen Wetterlagen auf. Während der Nacht herrscht ein Bergwind (talwärts gerichtete Strömung) vor, der bis nach Sonnenaufgang vorhanden ist (schwarze Pfeile in a). Die sonnennahen, exponierten Gipfelregionen erwärmen sich nach Sonnenaufgang stärker gegenüber dem Tal. Dadurch entwickelt sich ein Sog, der die Luft aus den Ebenen entlang der Täler bergauf zieht, ein sogenannter Talwind (schwarze Pfeile in b und c). Bei Sonnenuntergang kehrt sich die Situation. Aufgrund der schneller auskühlenden Bergregionen kommt es zu Kaltluftproduktion. Die Kaltluft sinkt schliesslich dem Gefälle folgend in das Tal. Der Bergwind (vom Berg ins Tal) bildet sich aus (schwarze Pfeile in d und a).

Die weissen Pfeile in der Abbildung beschreiben das Hangwindssystem. Dieses ist kleinräumiger als das Berg-Tal-Windsystem und weist geringere Strömungsgeschwindigkeiten auf. Es entsteht jedoch auch bedingt durch das Relief, welches Temperatur- und damit Druckunterschiede an den Hängen hervorruft. Die nächtlichen Hangabwinde sind typischerweise *Kaltluftabflüsse*.

Beide lokalen Windphänomene treten parallel, aber nicht zeitgleich zueinander auf. Das Berg-Tal-Windsystem ist durch sein grossräumiges Einzugsgebiet etwas träger und somit verzögert im Vergleich zum Hangwindssystem.



Berg-Tal-Windsystem (schwarze Pfeile) und Hangwindsystem (weisse Pfeile).
Quelle: verändert nach Häckel (2008) [3]. A = Sonnenaufgang, b = Vormittag, c = Nachmittag und d = Nacht.

Energiebilanz

Die Energiebilanz an der Erdoberfläche bezeichnet die Gesamtheit der zur Oberfläche hin sowie davon weg gerichteten Energieflüsse. Diese Energieflüsse sind die *Strahlungsbilanz*, der turbulente Strom latenter Wärme, der turbulente Strom fühlbarer Wärme und der Bodenwärmestrom. Die Strahlungsbilanz umfasst alle kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse an der Erdoberfläche (siehe *Strahlungsbilanz*). Der Bodenwärmestrom transportiert Wärme in tiefere Bodenschichten ab und dient als Energiespeicher. Die turbulenten Flüsse transportieren Wärme über die Atmosphäre ab, wobei die latente Wärme die Energie beinhaltet, die zur Verdunstung von Wasser aufgewendet werden muss. Die fühlbare Wärme beschreibt die Energie zur Erhöhung oder Senkung der Lufttemperatur.

Kaltluftabfluss

Findet die nächtliche *Kaltluftproduktion* im Gelände statt, sinkt die spezifisch schwerere kühlere Luftmasse entlang des Gefälles ins Tal. Man bezeichnet dies als Kaltluftabfluss. Das Phänomen tritt insbesondere an unbewaldeten oder unbebauten Hangflächen auf.

Kaltluftproduktion

Lokale Kaltluft entsteht in Bodennähe, wenn nach Sonnenuntergang bei windstarken und wolkenlosen Wetterlagen die Erdoberfläche auskühlt. Diese kühlt auch die darüber liegende Luftschicht, welche kühler ist als die Luft in der Umgebung. Abhängig von den Materialeigenschaften (z.B. Beton, Wasser oder Rasen haben unterschiedliche thermische Eigenschaften) und dem Gelände kommt es zu unterschiedlich starken Kaltluftproduktionsraten.

Kaltluftvolumenstrom

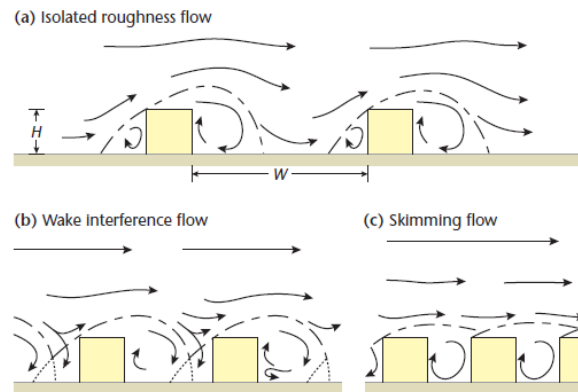
Der Kaltluftvolumenstrom als Mass für die Kaltluftdurchlüftung beschreibt, wie viel Kaltluft durch einen 1 m breiten Querschnitt strömt.

Einteilung gemäss Klimaanalyse Kanton Aargau [1] und VDI-Norm [6] (aktualisierte Version im Entwurfszustand):

	Einteilung AG	Einteilung VDI	Bewertung (AG / VDI)
	$< 5 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$	$< 7.5 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$	= gering
	$5\text{-}30 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$	$7.5\text{-}15 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$	= mässig
	---	$15\text{-}25 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$	= --- / gut
	$30\text{-}50 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$	$25\text{-}50 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$	= hoch / sehr gut
	$> 50 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$	$> 50 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$	= sehr hoch / extrem gut

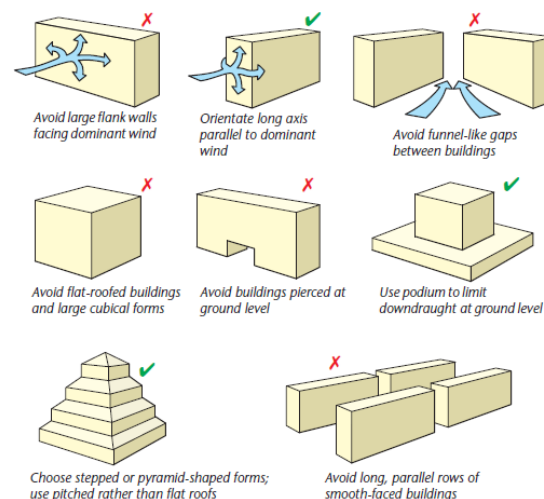
Strahlungsflüsse	Die Strahlungsbilanz bezeichnet die Gesamtheit aller Strahlungskomponenten, die auf eine Bodenoberfläche wirken. Diese können in ihre lang- und kurzwelligen Komponenten unterteilt werden und sind zur Erdoberfläche hin (Energiegewinn) oder weg (Energieverlust) gerichtet. Den grössten Input in Richtung der Oberfläche liefert die kurzwellige Globalstrahlung (direkte und diffuse Sonneneinstrahlung). Davon wird ein Teil, abhängig von den Reflexionseigenschaften und beschrieben durch die <i>Albedo</i>, direkt an der Erdoberfläche reflektiert. Dieser kurzwellige Anteil der Strahlungskomponenten ist somit von der Oberfläche weg gerichtet. Ein weiterer Inputterm, welcher zur Erdoberfläche hin gerichtet ist, ist die langwellige atmosphärische Gegenstrahlung, die auch beim Treibhauseffekt beschrieben wird. Demgegenüber verliert die Erdoberfläche stetig Energie durch langwellige Ausstrahlung. Diese ist massgeblich für die nächtliche Auskühlung der Oberfläche verantwortlich.
-------------------------	---

Windfluss um und über Gebäude	Sind Gebäude weit auseinandergesetzt (Höhe H / Breite $B < 0.35$), entstehen individuelle Wellen ähnlich wie bei Einzelgebäuden (<i>a – isolated roughness flow</i>). Bei höheren Dichten ($0.35 < H/B < 0.65$) beginnt die Distanz zwischen den Gebäuden mit der horizontalen Ausdehnung des Wind-Hohlraums hinter dem Gebäude übereinzustimmen (z.B. bei $B \leq 2H$). Daraus ergibt sich ein selbsterhaltendes System. In Realität sind diese stehenden Wirbel jedoch nicht statisch. Sie variieren in der Geschwindigkeit und formieren sich unregelmässig (<i>b – wake interference flow</i>). Bei noch dichter Gebäudestellung ($H/B > 0.65$) wechselt der Strom über das Gebäude in einen konstanten Fluss über Dach ohne Kontakt zu den bodennahen Schichten oder zur Strassenschlucht. Der Fluss über Dach ist mehrheitlich entkoppelt von demjenigen in der Bestandsschicht. Der mittlere Windfluss darüber provoziert einen schwachen tangentialen Einfluss mit der Strassenschlucht, welcher einen leichten Vortex (Wirbel) erzeugt. In schwachwindigen Situationen ist jedoch auch dieser Einfluss nicht vorhanden (<i>c – skimming flow</i>). Durch eine weniger dichte Gebäudestellung kann die Durchlüftung auf mikrometeorologischer Ebene verbessert werden kann. Eine zu dichte Gebäudestellung führt dazu, dass das Windfeld vom Strassenniveau entkoppelt wird.
--------------------------------------	---



Einfluss der Gebäudestellung auf das Strömungsregime über städtischen Gebäuden. Quelle: Oke (2017) [4]

Aufgrund der Rauigkeit von städtischen Oberflächen reduzieren sie in der Regel die Windgeschwindigkeiten im Mittel, sorgen aber auch für Beschleunigungseffekte zwischen Gebäuden. Beide Effekte können für Personen unangenehm sein. Jede Gebäudeform hat einen individuellen Einfluss auf die Windströmung, welche selbst wiederum die geeignete Gebäudestellung bestimmt. Generell gilt: Hohe Gebäude mit einer grossen Frontfläche in Windrichtung sind zu vermeiden. Lange Gebäude sollten in Richtung der erwarteten Winde geplant werden. Enge Gassen erhöhen die Windgeschwindigkeit markant, was unangenehm sein kann, oder sind vom Windfeld entkoppelt, wenn sie quer zum Wind stehen. Schmale Durchgänge können aufgrund von Beschleunigungseffekten ebenfalls problematisch sein. Andererseits können Abstufungen oder Abtreppungen dem Wind das Überströmen erleichtern. Durch Podien auf Bodenniveau lassen sich zudem unerwünschte Fallwinde vermeiden.

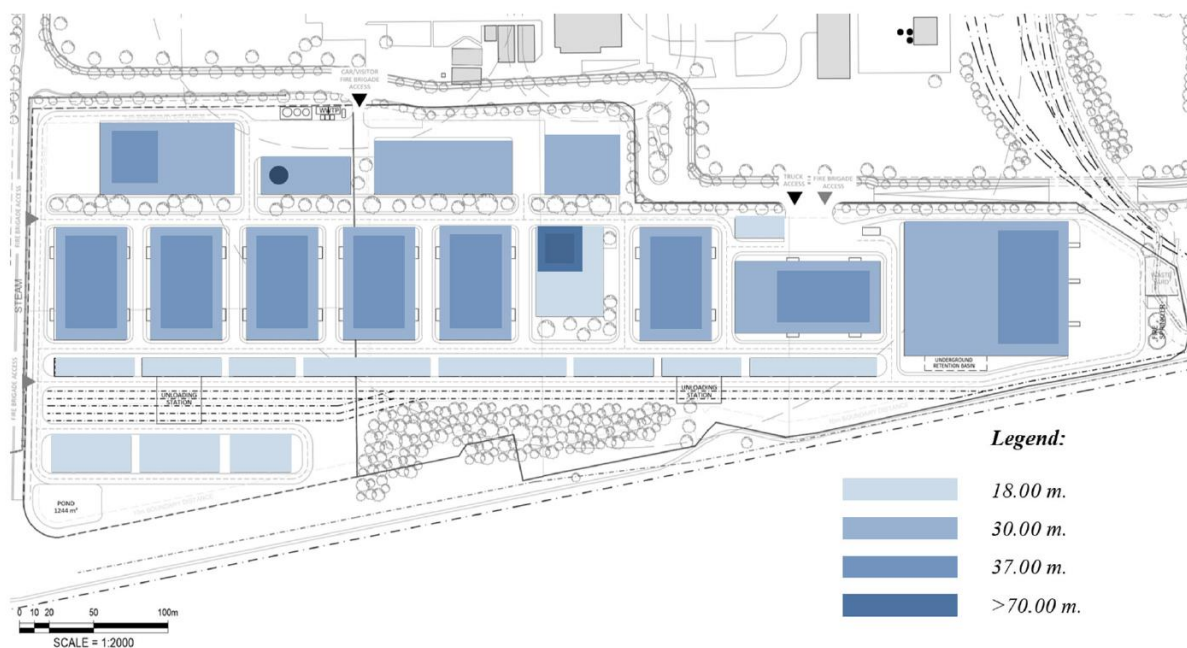


Empfehlungen für die Verringerung der Windempfindlichkeit von Gebäuden. Aus Oke 2017 [4], nach Littlefair et al. (2000).

A.3 Kaltluftabflussmodell KLAM_21

KLAM_21 ist ein vom Deutschen Wetterdienst entwickeltes zweidimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell zur Berechnung von Kaltluftflüssen in orographisch gegliedertem Gelände für Fragen der Standort-, Stadt- und Regionalplanung. Das Modell simuliert die Entwicklung von Kaltluftflüssen und die Ansammlung von Kaltluft in einem rechteckig begrenzten Untersuchungsgebiet. Über diese Fläche wird ein numerisches Gitter gelegt. Jedem Gitterpunkt werden eine Flächennutzung und eine Geländehöhe zugeordnet. Jeder Landnutzungsclassen wiederum entspricht eine fest vorgegebene Kälteproduktionsrate und eine "Rauigkeit" als Maß für den aerodynamischen Widerstand. Das Zusammenspiel dieser Einflussgrößen bestimmt das Entstehen, Fließen und Ansammeln der Kaltluft. Der Start der Simulation liegt kurz nach Sonnenuntergang. Zu beliebig wählbaren Zeitpunkten danach können Resultatkarten erzeugt werden. Der maximale Simulationszeitraum (8 h oder 240 min) entspricht dabei dem Zeitpunkt der maximalen Auskühlung [1].

A.4 Gebäudehöhen



Planübersicht mit Gebäudehöhen gemäss Site Masterplan, Quelle: Bachem, Stand 30.10.2024.