



KI-gestützte Open Source Lösungen für Urbane Klimaresilienz

Dr. Alexander Hagg

Institut für Technik, Ressourcenschonung und Energieeffizienz

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

alexander.hagg@h-brs.de

Alex(ander Hagg)

- Bachelor Informatik (Hochschule Bonn-Rhein-Sieg)
- Master Autonomous Systems (Hochschule Bonn-Rhein-Sieg)
- PhD (University of Leiden, NL)

Hauptinteresse:

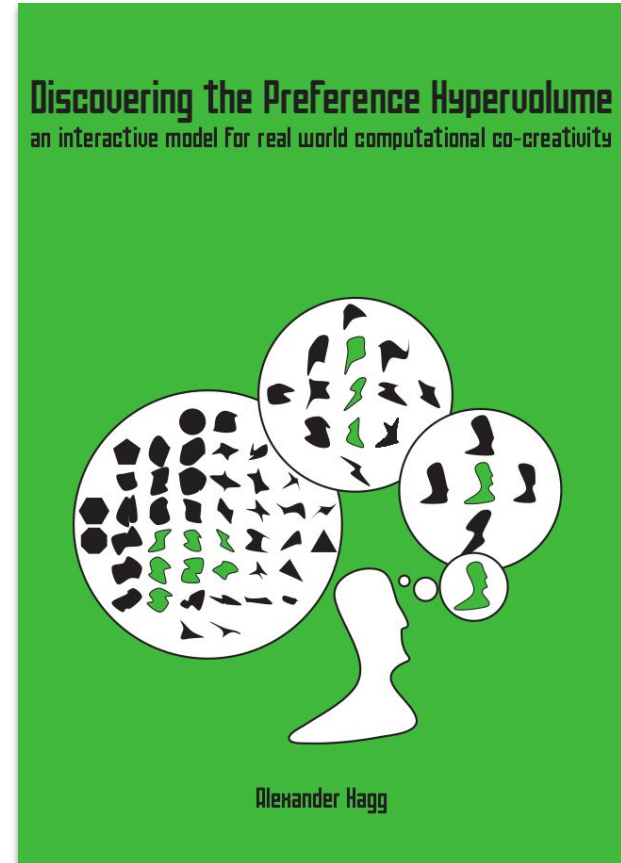
Kokreative Designprozesse für Nachhaltigkeit in den Ingenieurwissenschaften

- “Divergente”, effiziente Mehrlösungsoptimierung
- Generative KI
- Strömungsmechanik
- Nachhaltigkeit in der Stadtplanung & Architektur

Lehre: Evolutionary Computation, Genetische Algorithmen, Neuroevolution, The Power of 5 Watt in ML

Sonstige Interessen: Klavier, Neue Stadtgärtnerei e.V., Roman

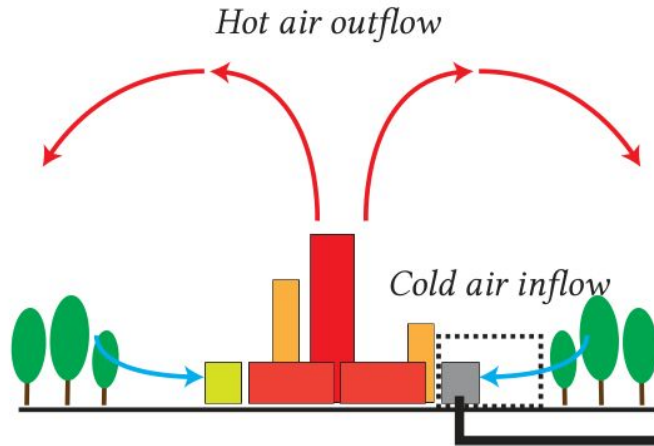
alexander.hagg@h-brs.de



Zentrale Fragestellung

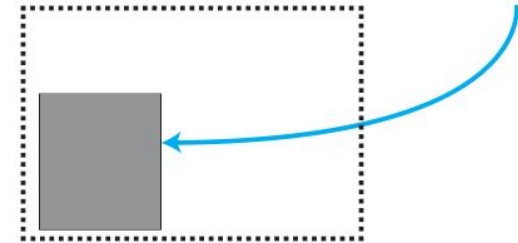
Der Überhitzung der Innenstädte muss entgegengetreten werden und sie muss **frühzeitig** in Planungs- und Entwurfsphasen berücksichtigt werden.

Abkühlungseffekt durch Flurwind



Negative Effekte des Städtebaus werden oft erst spät im Entwurfsprozess entdeckt (oder danach!)

Discovery of cold air inflow blockade
- late in the design process
- after construction

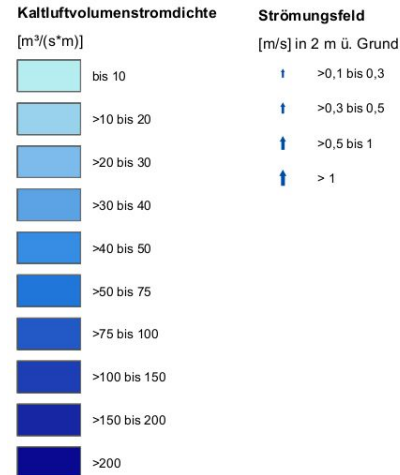


Kaltluftströmungsmodell

Quelle:
Zukunftsorientierte Vulnerabilitäts- und Risikoanalyse als Instrument zur Förderung der Resilienz von Städten und urbanen Infrastrukturen (ZURES), Universität Stuttgart, Partnerstadt Bonn

Wir können urbane Modelle für Staub, Temperatur, Ozon, Luftströmung erstellen, und mit Messungen ergänzen.

Wie kommen wir nun zur Handlungsebene?



Planungshinweis- karte

Quelle:
Zukunftsorientierte Vulnerabilitäts- und
Risikoanalyse als Instrument zur Förderung der
Resilienz von Städten und urbanen Infrastrukturen
(ZURES), Universität Stuttgart, Partnerstadt
Bonn

Planungshinweise können Stadtplaner helfen,
festzustellen, wo die Problemzonen liegen

Aber wie setzen wir die Hinweise um?
Und wie lösen wir Widersprüche auf?
Wie schaffen wir es auf effizienter Art & Weise?

Ausgleichsräume Grün- und Freiflächen

Geringe bioklimatische Bedeutung

Es sind kleine $\lt; 1ha$ Grünflächen, die einen Siedlungsbezug haben und für die gegenwärtige Siedlungsstruktur ergänzende klimakologische Ausgleichsräume sind. Sie weisen eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung auf. Die angrenzende Bebauung profitiert in geringem Maß von den bereit gestellten Klimafunktionen.

Mittlere bioklimatische Bedeutung

Es sind Grünflächen, die unmittelbar an den Siedlungsraum angrenzen und einen überdurchschnittlichen Kaltluftvolumenstrom oder Kaltluftproduktionsrate aufweisen. Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur ergänzende klimakologische Ausgleichsräume mit einer mittleren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Die angrenzende Bebauung profitiert von den bereit gestellten Klimafunktionen, weshalb diese Ausgleichsräume erhalten werden sollte.

Hohe bioklimatische Bedeutung

Es handelt sich um Grünflächen, die zum Einzugsgebiet einer Kaltluftleitbahn gehören, flächenhaften Kaltluftfokussierungen, eine lokale Leibbahn bilden oder Welt zuzunordnen sind oder sie liegen in der Nähe von sehr ungünstig eingestuftem Siedlungsbereichen und besitzen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur wichtige klimakologische Funktionen mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Es ist ein Detailgüchtern erforderlich.

Sehr hohe bioklimatische Bedeutung

Es handelt sich um Grünflächen, die Teil einer Kaltluftleitbahn sind oder im Einzugsgebiet dieser liegen und diese speisen. Sie sind daher für die gegenwärtige Siedlungsstruktur besonders wichtige klimakologische Ausgleichsräume mit einer sehr hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten unterlassen werden. Zur Optimierung der Ökosystemdienstleistung sollte eine Vernetzung mit benachbarten Grün-/Freiflächen erreicht werden (Grünverbindungen). Unmittelbar angrenzende Siedlungsgebiete profitieren enorm von ihrer klimakologischen Wirkung und sollten daher gut durchdrömrbar für Kaltluft bleiben.

Wirkungsräume Siedlungsflächen

Sehr günstige bioklimatische Situation

Es handelt sich um Siedlungsflächen, die durch eine vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit hohem Grünanteil und guter Durchlüftung charakterisiert sind. Sie weisen eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Der Vegetationsanteil und die Durchdrömrbarkeit sollte erhalten werden.

Günstige bioklimatische Situation

Es handelt sich um Siedlungsflächen, die durch eine lockere durchgrünte Bebauung mit einem geringen Versiegelungsgrad charakterisiert sind. Sie weisen eine mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Der Vegetationsanteil sollte erhalten werden.

Weniger günstige bioklimatische Situation


Es handelt sich um Siedlungsflächen, die durch eine kompaktere Bebauung, einem mittleren Versiegelungsgrad und geringen Grünanteilen charakterisiert sind. Sie weisen eine mittlere bis hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen. Es sollte eine Erhöhung des Vegetationsanteils angestrebt werden.

Ungünstige bioklimatische Situation

Es handelt sich um Siedlungsflächen, die durch eine sehr verdichtete Bebauung und einen hohen Versiegelungsgrad und sehr geringem Grünanteil charakterisiert sind. Sie weisen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Sie sollten sich sowohl auf die Tag- als auch die Nachtsituation auswirken. Eine Verbesserung der Durchlüftung und eine Erhöhung des Vegetationsanteils sollte angestrebt werden.

Sehr ungünstige bioklimatische Situation

Es handelt sich um Siedlungsflächen, die durch eine hochverdichtete Bebauung, einem sehr hohen Versiegelungsgrad und sehr geringem bis keinem Grünanteil charakterisiert sind. Sie weisen eine sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Sie sollten sich sowohl auf die Tag- als auch die Nachtsituation auswirken. Es sollte keine weitere Verdichtung (insbesondere zu Lasten von umgebenden Grün-/Freiflächen) erfolgen, stattdessen der Erhalt der Freiflächen und eine Verbesserung der Durchlüftung sowie möglichst eine Erhöhung des Vegetationsanteils bzw. Entsiegelungsmaßnahmen angestrebt werden.

 Kaltluftwirkebereich innerhalb der Bebauung¹

Planungshinweiskarte Dransdorfer Berg Bonn



Kaltluftleitbahn / lokale Leitbahn / Kaltluftabfluss

Bodennahes nächtl. Strömungsfeld
(aggregiert, Windgeschwindigkeit > 0,1 m/s)

WIRKRAUM: SIEDLUNGSFLÄCHEN UND ÖFFENTLICHER RAUM

Stadtklimatische Handlungspriorität

- **Handlungspriorität 1** (2,3 % Flächenanteil)
Maßnahmen zur Verbesserung der klimatischen Situation sind bei allen baulichen Entwicklungen und Sanierungen möglichst proaktiv umzusetzen. Im Bestand ist die Möglichkeit entsprechender Maßnahmen sowie ggf. einer (klimagerechten) Gebäudekühlung, vor allem bei Nutzung von vulnerabler Gruppen, zu prüfen.
- **Handlungspriorität 2** (26,9 % Flächenanteil)
- **Handlungspriorität 3** (10,1 % Flächenanteil)
Bei Nachverdichtungen, baulichen Entwicklungen und im Zuge von Straßensanierungen sind über den klimaökologischen Standard hinausgehende, optimierende Maßnahmen umzusetzen (bspw. Entsiegelung, Fassadenbegrünung, Flächen mit hoher Aufenthaltsqualität schaffen).
- **Handlungspriorität 4** (6,6 % Flächenanteil)
- **Handlungspriorität 5** (39,6 % Flächenanteil)
Klimaökologische Standards zur baulichen Entwicklung sind bei allen baulichen Entwicklungen einzuhalten (Bäume, Dachbegrünung, geringe Versiegelung, etc.).
- **keine vorrangige Handlungspriorität** (14,5 % Flächenanteil)



Ausschließlich in der Nacht / am Tag thermisch belastet
Siedlungsflächen, die zukünftig (unter Annahme eines starken Klimawandels - RCP8.5) nur in der Nacht bzw. nur am Tag belastet sind. Flächen ohne Markierung sind unter dieser Annahme sowohl tagsüber als auch nachts belastet.

Stadtklimatischer Schutzbedarf

- **Sehr hoher Schutzbedarf** (48,7 % Flächenanteil)
Grün- und Freiflächen die für die Kaltluftzufuhr in den Wirkraum und/oder als Ausgleichsraum zur Hitzeerholung am Tage eine sehr hohe Bedeutung aufweisen und damit unbedingt in ihrer Funktion erhalten bleiben sollten. Bei Eingriffen in die Flächen ist die Erhaltung der jeweiligen stadtklimatischen Funktion nachzuweisen (bspw. Kaltlufttransport, Verschattung).
- **Hoher Schutzbedarf** (44,7 % Flächenanteil)
Innerstädtische oder stadtnahe Grün- und Freiflächen, denen heute und zukünftig eine hohe Bedeutung als nächtlicher Luftaustauschbereich und/oder Erholungsfläche am Tage zukommen wird. Bei Eingriffen in die Fläche ist die Erhaltung der jeweiligen stadtklimatischen Funktion anzustreben (bspw. Kaltlufttransport, Verschattung).
- **Erhöhter Schutzbedarf** (6,2 % Flächenanteil)
Stadtnahe Grün- und Freiflächen, die die Zufuhr von Kaltluft zu den Leitbahnen und Luftaustauschbereichen unterstützen oder als Erholungsfläche am Tage dienen. Bei Eingriffen in die Flächen ist auf die jeweilige stadtklimatische Funktion zu achten (bspw. Kaltlufttransport, Verschattung).
- **Kein besonderer Schutzbedarf** (0,4 % Flächenanteil)
Siedlungsferne Grün- und Freiflächen, denen sowohl heute als auch unter dem Einfluss des Klimawandels eine nur geringe bis mittlere klimaökologische Bedeutung zukommt bzw. zukommen wird. Für diese Flächen besteht kein vorrangiger Schutzbedarf.



Siedlungsraum mit Kaltluftfunktion

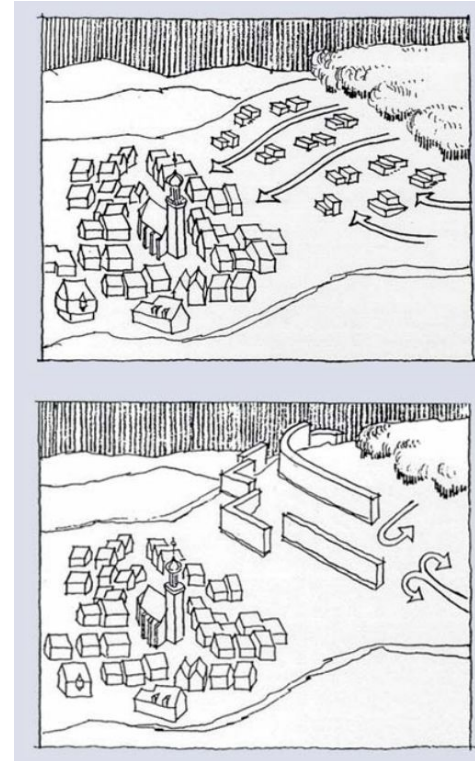
Flächen mit einer hohen Kaltluftströmung, die potentiell auch auf angrenzende Räume günstig wirken. Bei Vorhaben in diesen Bereichen ist die Kaltluftfunktion der Flächen zu beachten (Grünflächen erhalten, Gebäudestellung beachten, etc.).

Quelle: ZURES-Projekt

Planungshinweise

Steinrücke, M., Dütemeyer, D., Hasse, J., Rösler, C., & Lorke, V. (2011). *Handbuch Stadtklima*, 68.

- Große Freiflächen mit Kaltluftproduktion und Tallagen mit Fließrichtung Innenstadt tragen zur Stadtbelüftung bei. Die Hänge entlang von Kaltluftbahnen sollten von **hangparalleler Riegelbebauung freigehalten** werden.
- Die **Gebäudeausrichtung** sollte möglichst "porös" sein, also soviel Wind wie möglich durchlassen.
- Nicht optimal verortete **Bäume** können dazu führen, dass die nächtliche Abstrahlung der tagsüber gespeicherten Wärme oder der **Kaltlufttransport verhindert** wird.



Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen

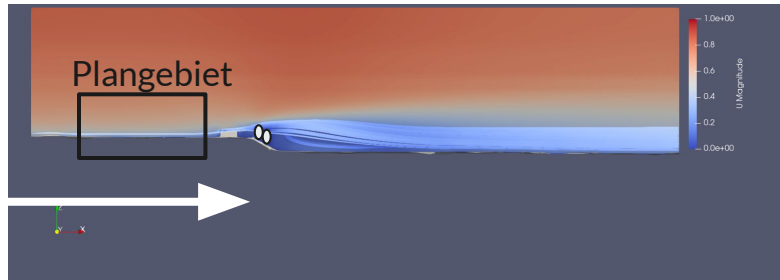


Planungsgebiet

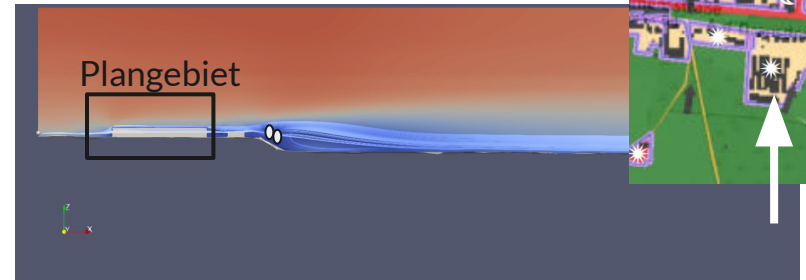


Simulation, Vergleich ohne/mit Bebauung

Strömung im Plangebiet (2D Ausschnitte)



Ohne Bebauung

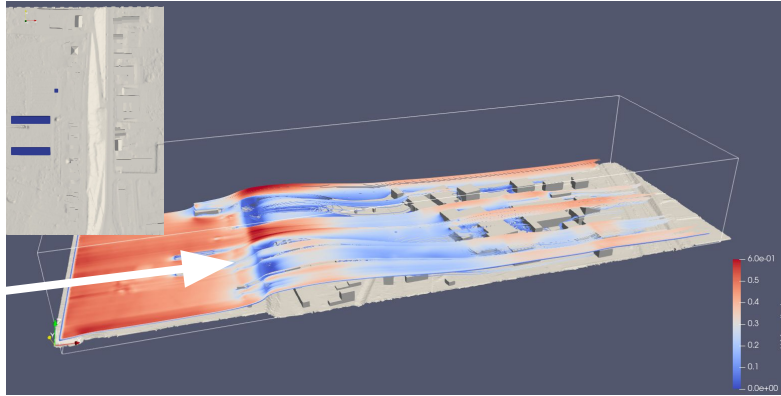


Mit Bebauung werden die Bäume auf der Hangkante besser umströmt - die Kaltluft kommt näher am Boden an (rechts)

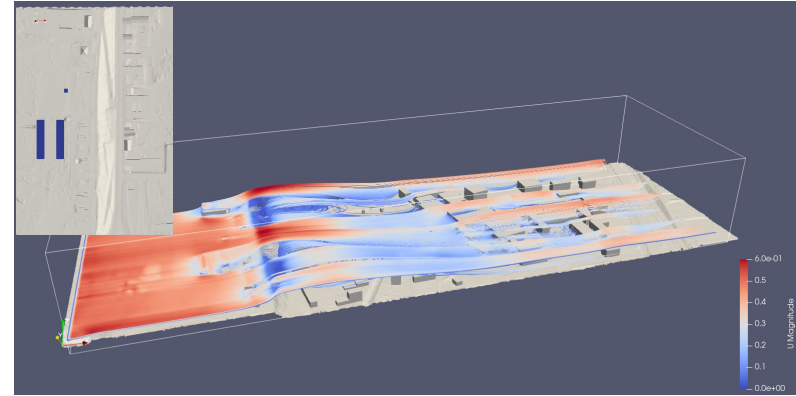


Gebäudeausrichtung: einfache Alternativen

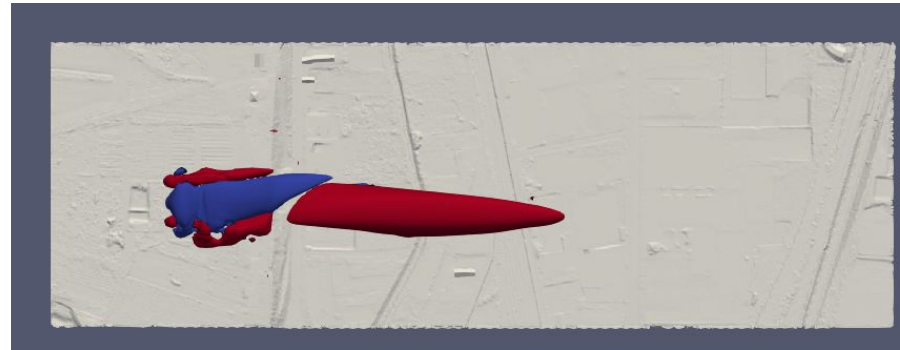
Nord-Süd-Ausrichtung ("poröser")



Ost-West-Ausrichtung ("weniger porös")



Differenz Luftströmung. Rot: Strömung Ost-West, "weniger porös" = schneller



Problemstellungen

- Planungshinweise lassen sich nicht immer **eindeutig** umsetzen
- Umströmung von Gebäuden ist stark abhängig von der Form des Gebäudes.
- **Konkurrenz** zwischen Klimaadaptation und andere Zielgrößen (z.B. Wohnfläche)
- **Bestenfalls Im Vorfeld** schon wissen, wie unterschiedliche Entwürfe sich auf das Stadtklima auswirken.
- Simulation ist **rechenaufwendig**
- Algorithmus sollte nicht eine Lösung produziert, an der nicht mehr zu rütteln ist!
> Stattdessen sollte möglichst viel kreative **Handlungsfreiheit** gewährt bleiben.

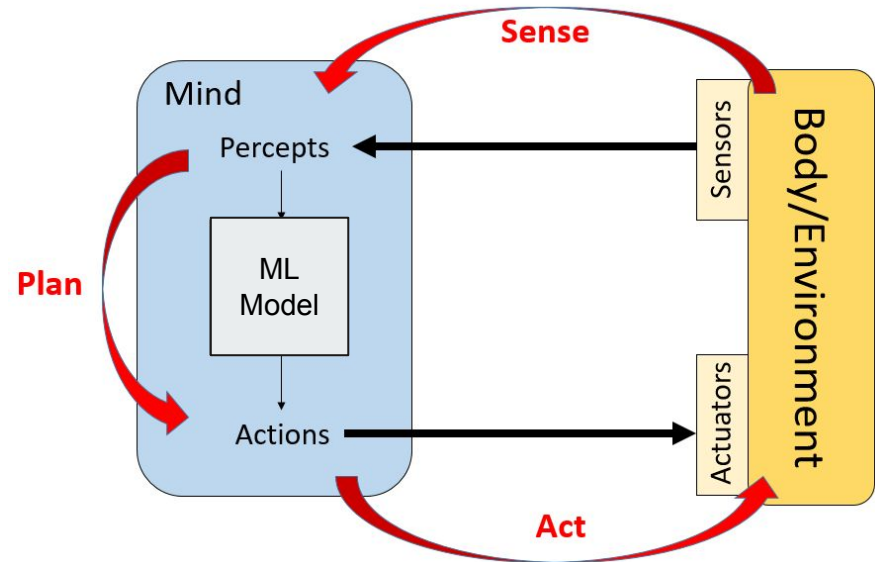
Kann Künstliche Intelligenz uns helfen?

Was ist Künstliche Intelligenz?

KI-Systeme sind künstliche, handelnde Entitäten, welche die Welt (teilweise) **wahrnehmen**, diese **modellieren** können, mithilfe des Modells und der Wahrnehmung einen **Handlungsplan** erschaffen können, und diesen in die Welt **umsetzen** können. (Russell, Stuart J., and Peter Norvig. *Artificial intelligence a modern approach*. London, 2010.)

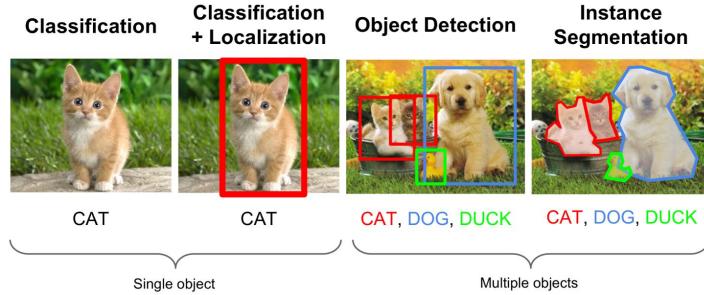
Meistens reden wir, wenn wir KI sprechen, nur über Teilumsetzungen oder Teilsysteme der KI, wie

- Maschinelles Lernen: Modelle, die auf Basis von realen Weltdaten versuchen, die Welt (statistisch) abzubilden.
- Optimierung: Gute Lösungen für Problemstellungen finden
- ...

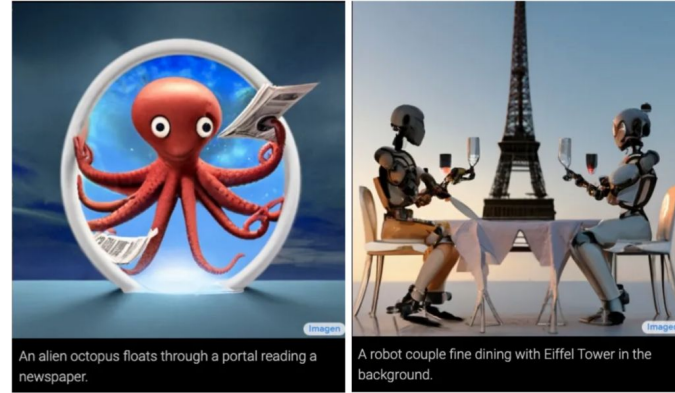


Was kann "KI"?

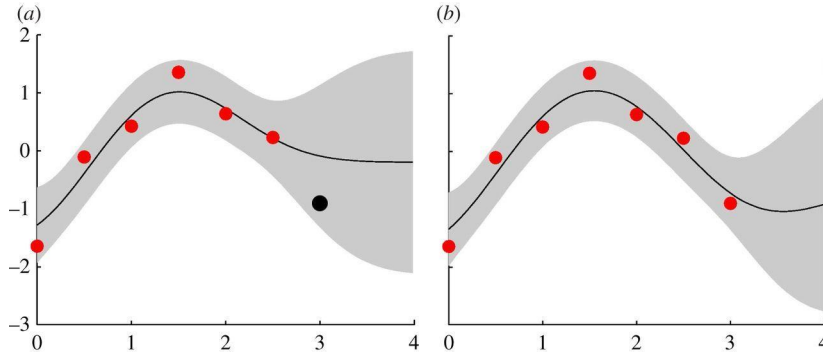
Unterscheiden



Generieren Artefakten (Bilder)



Vorhersagen



Generieren Artefakten (Texte)

You
Welche Anforderungen an Architektur können dazu führen, dass unsere Städte sich an die Klimakatastrophe anpassen können?

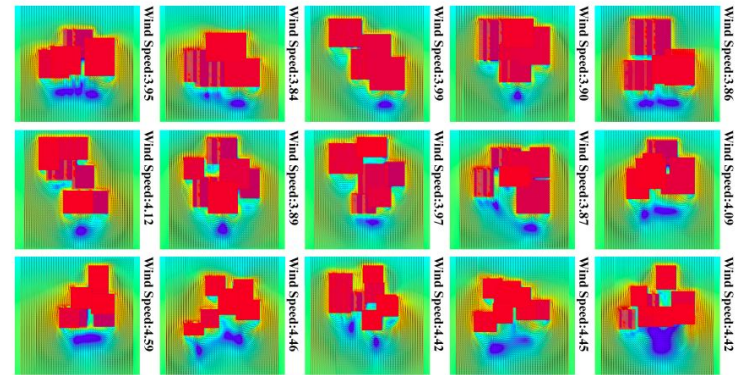
ChatGPT
Die Anpassung unserer Städte an die Klimakatastrophe erfordert eine Reihe von architektonischen und städtebaulichen Maßnahmen. Diese Anforderungen lassen sich in verschiedene Kategorien einteilen:

- Energieeffizienz und erneuerbare Energien:** Gebäude sollten so gestaltet sein, dass sie weniger Energie verbrauchen. Dies kann durch bessere Isolierung, energieeffiziente Fenster und Türen sowie den Einsatz von erneuerbaren Energien wie Solar- und Windkraft erreicht werden.
- Nachhaltige Baumaterialien:** Der Einsatz von umweltfreundlichen, recycelbaren und nachhaltigen Materialien reduziert den CO₂-Fußabdruck der Gebäude.
- Grüne Infrastruktur:** Dachgärten, begrünte Fassaden und die Schaffung von Grünflächen tragen zur Verbesserung der Luftqualität bei, bieten Isolierung und helfen bei der Regulierung der Stadttemperatur.
- Wassermanagement:** Systeme zur Regenwassernutzung und effiziente Bewässerungssysteme sind wesentlich, um die Wasserressource

Was kann KI in der Stadtplanung?

- Effiziente Vorhersagemodelle können aufwändige numerische Simulation ersetzen
- Effizientes Generieren von Planungsalternativen
- Planungskriterien entwickeln
- Lernende Gebäudesteuerung (zB Sonnenblenden, Kühlung) (erhöht zB Robustheit wrt Änderungen in der Umgebung oder Gebäudeeinrichtung)
- etc.

Beispiel:
EvoMass/Rhino/Grasshopper:
Generieren Alternativlösungen auf Basis von Windmodellen und Sonnenlichtanalyse



Optimierte Entwürfe aus Projekt FullDA-FM

Ein Lösungsraaster mit einer Vielfalt an **Planungslösungen**, welche die Kaltluftströmung so **wenig** wie möglich blockieren.

Variationen auf Basis wichtiger Designparameter



Beispielrechnung: möglichst hohe Durchlässigkeit



Scarton, Ludovico, and Alexander Hagg. "On the Suitability of Representations for Quality Diversity Optimization of Shapes." GECCO (2023)

OpenSKIZZE:

Open Source Entwicklungstools für Stadtentwicklung:
Klimafolgenanpassung mit Kooperativen KI-gestützten
Entscheidungsprozessen

Gefördert durch:

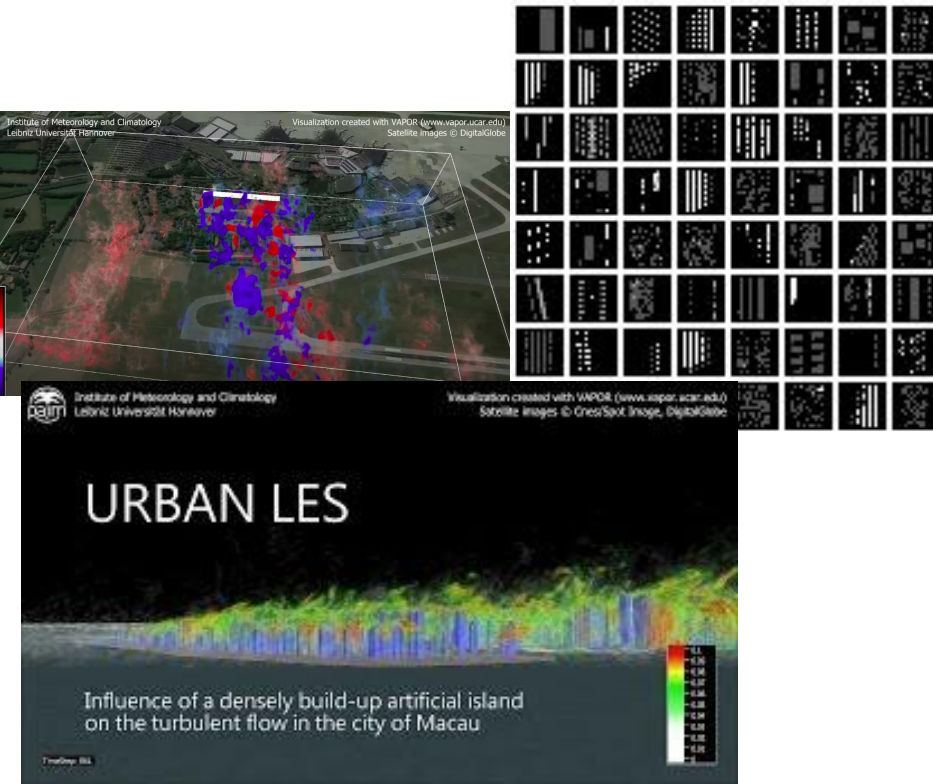
- *Deutsche Bundesstiftung Umwelt*
- *Hochschule Bonn-Rhein-Sieg*

Partner:

- *Montagstiftung Urbane Räume gAG*
- *Neue Stadtgärtnerei e.V.*

Planungsanalysetool OpenSKIZZE

Entwicklung Open Source Software & Modelle für klimaadaptive Stadtplanung



1. Simulation Gelände & Umgebung
2. Effiziente Mehrlösungsoptimierung
 - a. 1000x weniger benötigte Simulationen
 - b. Asteroth, Alexander, Adam Gaier, Alexander Hagg, Jakob Meng, Andreas Priesnitz, Lea Prochnau, and Dirk Reith. **AERomAt Abschlussbericht**. Institut für Technik, Ressourcenschonung und Energieeffizienz (TREE), 2020.
3. Generatives KI-Modell
 - a. Generiere nur "gute" Lösungen
 - b. Ohne Simulation
 - c. Für die Standardsituation "Hangkante"
 - d. Zukunft: Generalisiere zu anderen Strömungsbedingungen
4. Softwareprodukt
 - a. Open Source
 - b. Free & Open Source für Kommunen

Planungstool OpenSKIZZE



created by Alexander Hagg
alexander.hagg@h-brs.de
licensed under GNU General Public License v3



Hochschule
Bonn-Rhein-Sieg
University of Applied Sciences



Eingabeparameter

Topographie

No file selected.

Vorh. Bebauung/Begrünung

No file selected.

Luftströmungsbedingungen

No file selected.

Oberflächenbeschaffenheit

No file selected.

Randbedingungen

No file selected.

Optimierungskriterien

Porosität Baukörper

Hitzeabstrahlung

Hitzaufnahme

Gebäudefläche

Fassadenfläche

Variationseigenschaften

Anzahl Gebäude

Gebäudefläche

Bebaute Fläche

Angezeigte Statistik

Durchschnitt

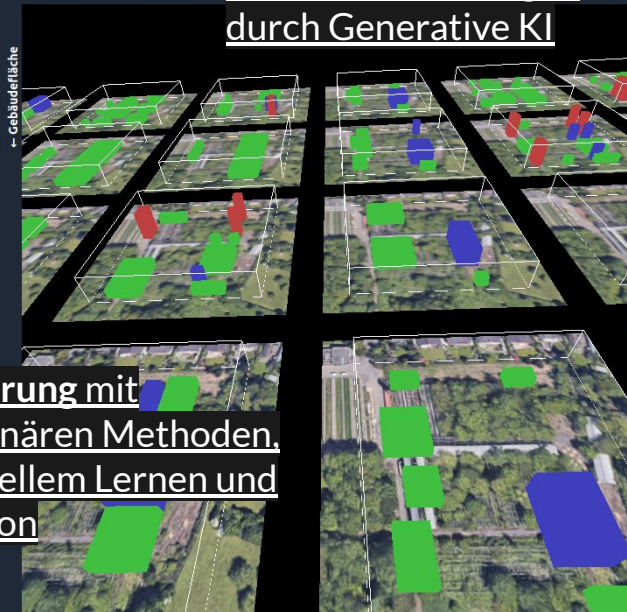
Maximal

Varianz

Planungsentwurfsbeispiele (Repräsentanten)

Anzahl Gebäude →

Generieren Lösungen durch Generative KI



**Optimierung mit
Evolutionären Methoden,
maschinellern Lernen und
Simulation**

Analyse

Bebauungsdichte



Bebauungshöhe



Tabuzonen



Gebäudeausrichtung



**Vorhersage durch
Machinelles Lernen**

Notwendige gr/bl Infrastruktur



Hitzehotspots



Formale Kriterien

Abgeleitete formale Kriterien:

- HOCHB_WIND_01: Die Bauhöhe darf an den auf Karte b1 angegebene Positionen nur 7 Meter betragen.
- HOCHB_WIND_02: Die Bebauungsporosität muss mindestens 0.8 betragen und darf an den auf Karte c1 angegebene Positionen 0.3 nicht überschreiten.
- BEBAU_TEMP_01: An den auf Karte c2 Stellen muss grünblaue Infrastruktur eingeplant werden.
- STRUK_01: Die Bebauungsstruktur muss qualitativ die Strukturen der Planungsentwurfskategorien II-IV ähneln

**Formulieren Kriterien
mit Large Language
Models**