

# Kaltluftmodellierung mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM\_21 im Kontext Landnutzungswandel

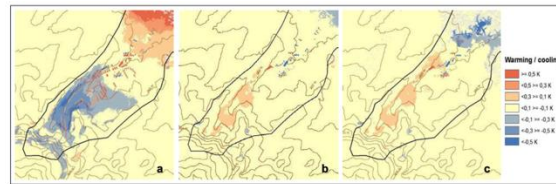
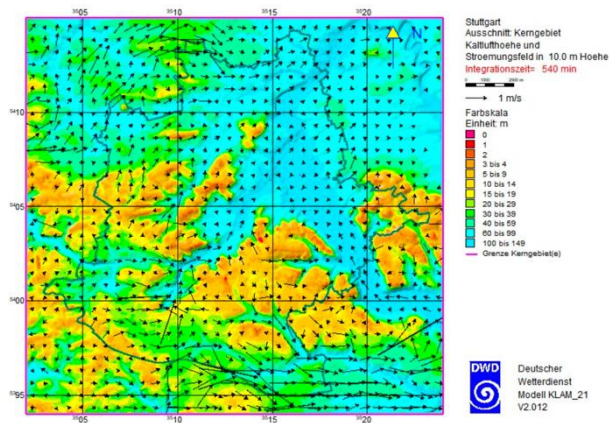
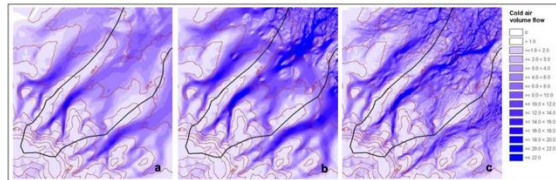
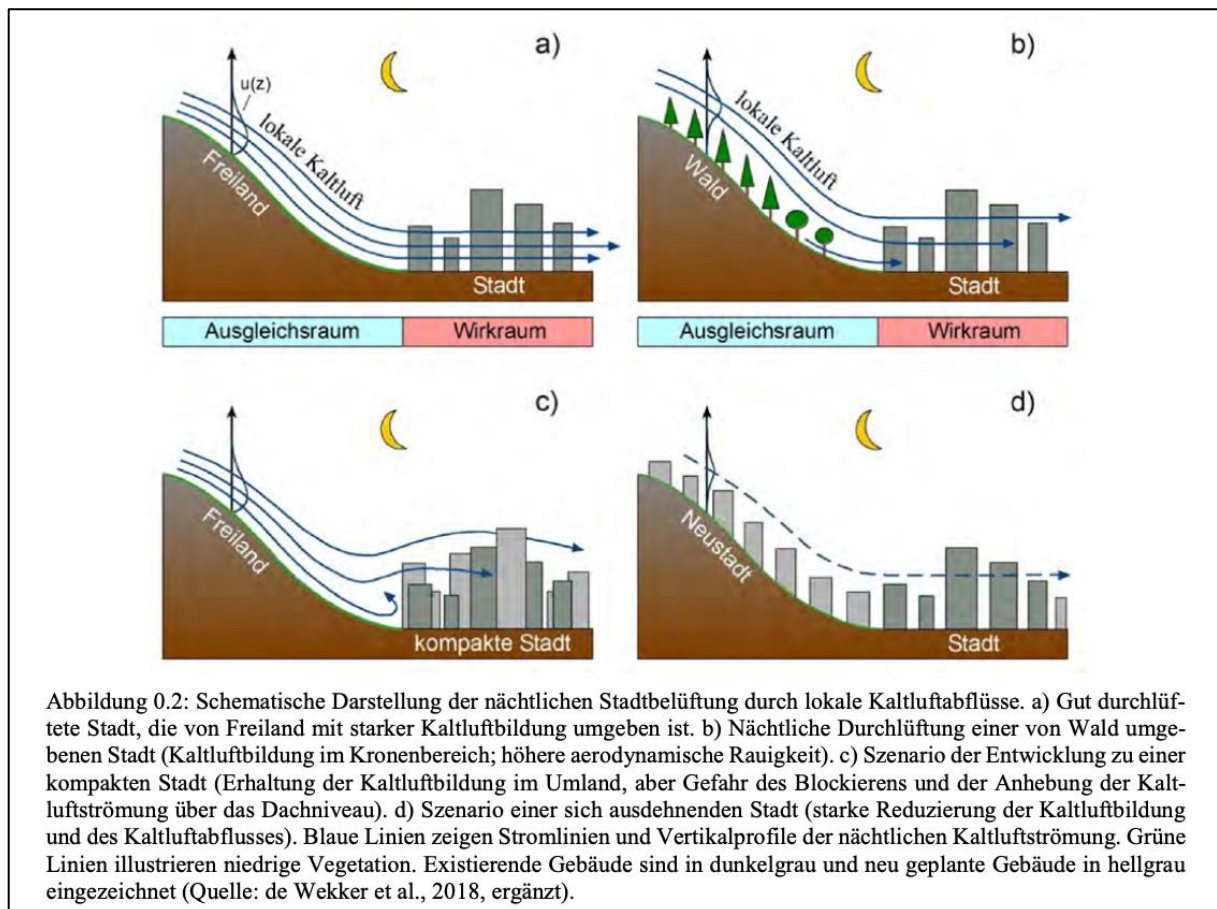


Fig. 5 Changes in nocturnal cooling, a: differences between 'worst case' scenario and 'best case' scenario 3 h after evening cooling begins, b: differences between 'best case' scenario and 2010 situation 3 h after evening cooling begins, c: differences between 'best case' scenario and 2010 situation 1.5 h after evening cooling begins



sollen die Auswirkungen historischer, aktueller und zukünftiger Änderungen der Landnutzung auf die Bildung und den Abfluss von Kaltluft untersucht werden.



Als Eingangsdaten für eine Kaltluftabflusssimulation mit KLAM\_21 sind Landnutzungsdaten (Raster) und ein Geländemodell (Raster) mit gleicher räumlicher Auflösung und gleicher rechteckiger Ausdehnung nötig (SIEVERS 2005). Um die **historische Landnutzung** darzustellen, wurde eine Landnutzungskarte aus einem historischen Stadtplan (1903) schon erstellt. Die **heutige Landbedeckung** wird durch Daten des Urban Atlas (Copernicus) dargestellt. Da eine Prognose der **zukünftigen Siedlungsentwicklung** umfangreiche Kenntnisse und viele Unsicherheiten birgt, soll anstelle einer großräumigen Landnutzungsänderung der Einfluss der Landnutzungsbedeckung durch ein **Neubauprojekt** auf dem Tübinger Österberg (Nordhang) auf Kaltluftprozesse erfasst werden. Zunächst soll also eher großräumig der Einfluss der Landnutzung auf die Kaltluftproduktion, Verteilung und Akkumulation früher und heute verglichen werden. Im Anschluss soll, um ebenfalls eine Zukunftsperspektive einzunehmen, die Maßstabebene gewechselt werden und die Auswirkungen eines fiktiven Neubauprojektes in einem Kaltlufteinzugsgebiet zu erfassen und bewerten.

**KLAM\_21** ist ein vom Deutschen Wetterdienst (DWD) entwickeltes zweidimensionales, **mathematisch-physikalisches (und dynamisches) Simulationsmodell** zur Berechnung von Kaltluftflüssen in orographisch gegliedertem Gelände für Fragen der Standort-, Stadt- und Regionalplanung (SIEVERS and KOSSMANN 2016).

**Allgemein sind Modelle** Abbildungen der Realität mit einem unterschiedlichen Grad an Vereinfachung bzw. Abstraktion. Dementsprechend liefern sie auch nur für diesen Ausschnitt der Realität eine Aussage über das Systemverhalten. Ein Modell muss zur Simulation des Systemverhaltens selbst dynamisches Verhalten erzeugen, mit dessen Hilfe das System abgebildet werden kann. Ein Modell kann (wie bei uns) rekonstruktiv, vorhersagend und experimentell eingesetzt werden.

Das Modell KLAM\_21 simuliert die Entwicklung von Kaltluftflüssen und die Ansammlung von Kaltluft in einem beliebig auswählbaren, **rechteckig begrenzten Untersuchungsgebiet**. Über diese Fläche wird ein **numerisches Gitter** gelegt, typische Gitterpunktabstände sind dabei 20 bis 50 m (es sind aber auch kleinere und größere Abstände möglich). Die Modellgebietsgröße wird in der Regel so gewählt, dass alle relevanten **Kaltlufteinzugsgebiete** erfasst sind. Bei 50 m Gitterabstand beträgt z. B. die maximale Größe 22.500 km<sup>2</sup>. Jedem Gitterpunkt werden eine **Flächennutzung** (schematisiert in 9 Nutzungsklassen, Sondernutzungen können bei Bedarf ergänzt werden) sowie eine **Geländehöhe** zugeordnet. Jeder Landnutzungsklasse wiederum entspricht eine fest vorgegebene Kälteproduktionsrate und eine "Rauigkeit" (Rauhigkeitslänge) als Maß für den aerodynamischen Widerstand von Flächen.

Außerdem können aus dem Gelände herausragende **Hindernisse** (z. B. Einzelgebäude, Dämme, Schallschutzwände) **modelliert werden**, die von der Kaltluft erst dann überwunden werden, wenn sie eine entsprechende Höhe erreicht hat. Das Zusammenspiel dieser Einflussgrößen bestimmt das Entstehen, Fließen und die Ansammlung der Kaltluft.

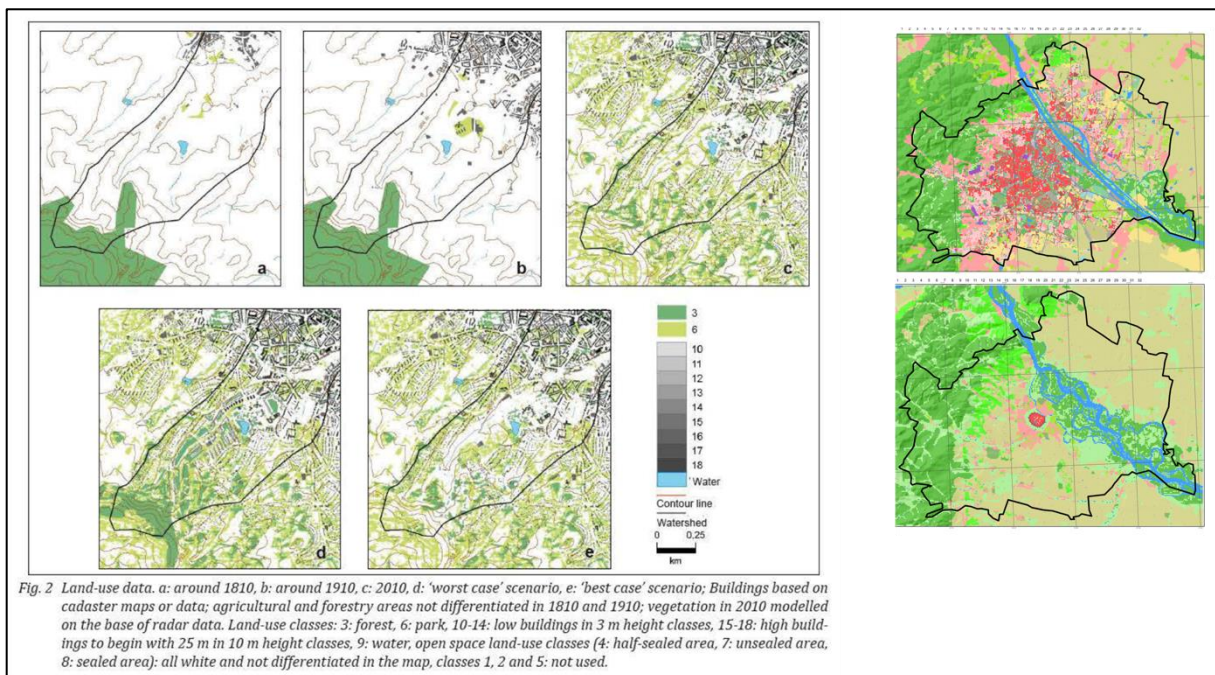
Der **Start der Simulation** liegt kurz vor Sonnenuntergang bei „Umkehr“ (Negativität) der [Strahlungsbilanz](#), wenn der Boden Energie verliert. Zu diesem Zeitpunkt wird eine **annähernd adiabatisch** geschichtete Atmosphäre vorausgesetzt, in der keine horizontalen Gradienten der Lufttemperatur und der Luftdichte vorhanden sind. Es werden während der gesamten Nacht gleichbleibend gute Ausstrahlungsbedingungen, das heißt eine geringe Bewölkung, angenommen.

Möglich ist die Vorgabe einer schwachen, durch regionale Luftdruckunterschiede hervorgerufenen Grundströmung des Windes, jedoch muss diese ebenfalls geschätzt werden. Der **Simulationszeitraum von 8 Stunden** entspricht der mittleren Andauer



einer Sommernacht. Die physikalische Basis des Modells bilden eine vereinfachte Bewegungsgleichung und eine Energiebilanzgleichung, mit der der Energieverlust und damit der „Kälteinhalt“ der Kaltluftschicht bestimmt wird. Aus dem Kälteinhalt einer jeden Säule wird dann (unter der Annahme einer bestimmten Höhenabhängigkeit der Abkühlung) die Kaltfluthöhe errechnet.

Als **Ergebnis** erhält man die **flächenhafte Verteilung** der Kaltfluthöhe und ihrer mittleren **Fließgeschwindigkeit** oder der **Volumenströme** zu beliebig abgreifbaren **Simulationszeitpunkten**. Der Vergleich von Ist- und Planungszuständen wird mit Differenzkarten oder zeitlichen Animationen der Kaltfluthöhe, der Fließgeschwindigkeit oder der Volumenströme visualisiert (SIEVERS 2005). Die Oberflächeneigenschaften der Erdoberfläche mit unterschiedlichen Rückstrahlverhalten und Wärmekapazitäten beeinflussen das Kaltluftentstehungspotential. Insofern macht es Sinn, dass Landnutzungswandel auch unmittelbare Auswirkungen auf Kaltluftentstehung und Kaltluftabfluss hat. Zudem kann durch Hindernisse wie Bebauung der Kaltluftdurchfluss gestört werden. Das Untersuchungsgebiet ist Tübingen, in dem in den letzten Jahrzehnten im Kontext des anhaltenden Bevölkerungswachstums der Stadt, durch Neubaugebiete und Neubauprojekte immer mehr Flächen großflächig versiegelt wurden und sich der Landnutzungstyp geändert hat.



Eine ähnliche Aufgabenstellung wurde mit KLAM\_21 für Aachen bearbeitet, um die [historische Landnutzungssituation in Aachen](#) mit der heutigen zu vergleichen. Im innerstädtischen Bereich ergaben sich in Aachen sinkende mittlere Abkühlungsraten von 3,6 K im Jahr 1810, 2,8 K im Jahr 1910 bis hin zu 2,4 K im Jahr 2010 (SACHSEN et al. 2013). Und eine schöne [Landbedeckungskarte von Wien für das Jahr 1787](#) für die vergleichende Modellierung der räumlichen Verteilung der städtischen

Wärmebelastung bei historischer und aktueller Landnutzung (ŽUVELA-ALOISE et al. 2014).

- Beispiel Gutachten mit KLAM\_21:  
[https://rekis.hydro.tu-dresden.de/wp-content/uploads/2020/01/20190514\\_Final\\_Synthesebericht\\_Halle\\_Saale.pdf](https://rekis.hydro.tu-dresden.de/wp-content/uploads/2020/01/20190514_Final_Synthesebericht_Halle_Saale.pdf)
- Beispiel Gutachten Kaltluft und Klimawandel **Tübingen**:  
[https://www.tuebingen.de/Dateien/kaltluft\\_gutachten.pdf](https://www.tuebingen.de/Dateien/kaltluft_gutachten.pdf)  
[https://www.tuebingen.de/Dateien/fp\\_anlage\\_1\\_erlaeuterungsbericht.pdf](https://www.tuebingen.de/Dateien/fp_anlage_1_erlaeuterungsbericht.pdf)
- **Handbuch KLAM: Im Übungsordner**  
→ S. 69, 79, 92

## Daten

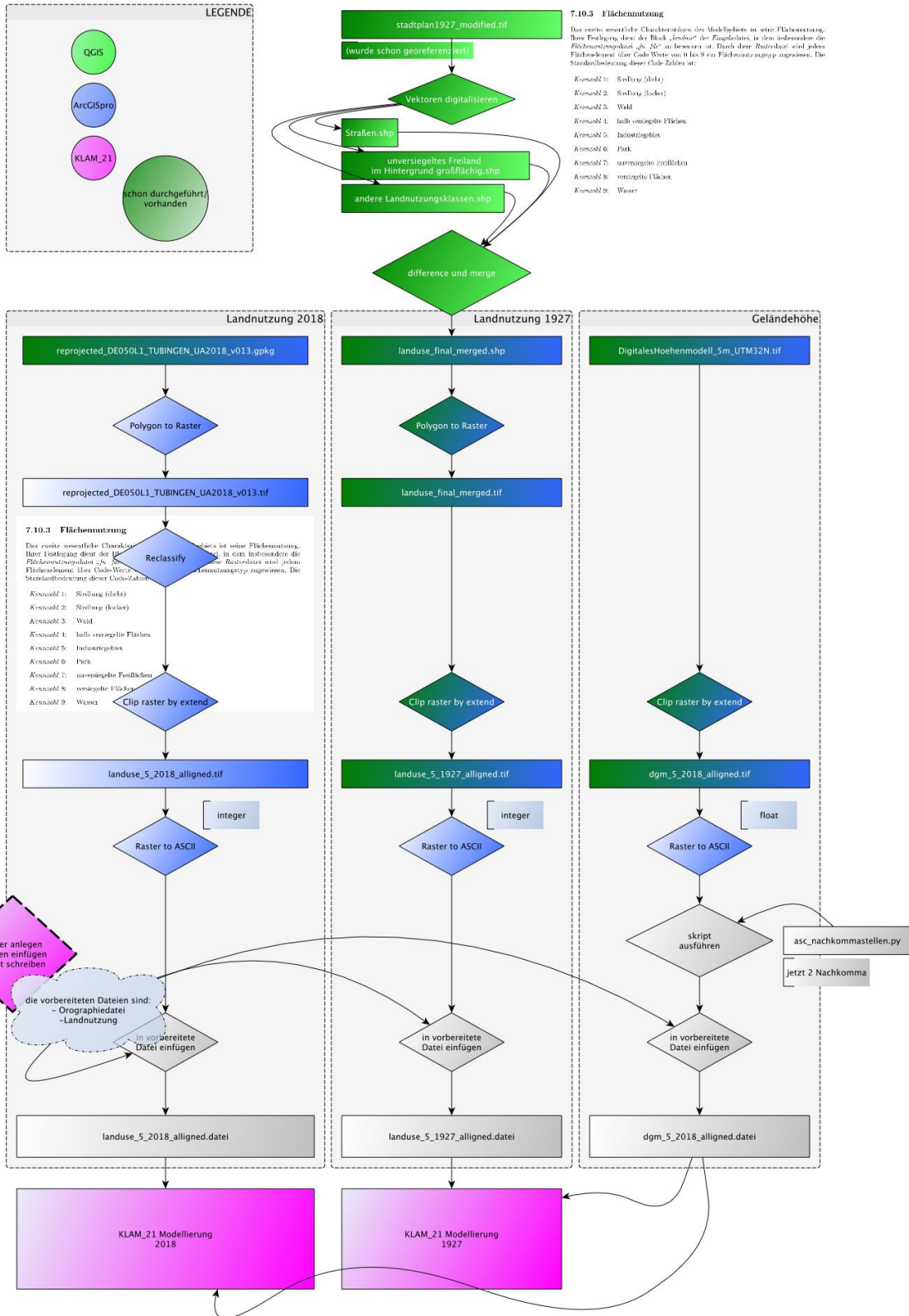
- Rasterdateien Landnutzung 1903\_5m (in Übungsdaten)  
Quelle: Universitätsstadt Tübingen - Fachabteilung Geoinformation  
[https://www.tuebingen.de/stadtplan/historische\\_karten.html#Hist\\_STPL\\_1927](https://www.tuebingen.de/stadtplan/historische_karten.html#Hist_STPL_1927)
- Vektordatei Landnutzung 2018\_5m (**in Übungsdaten – zu modifizieren**)  
Quelle: Copernicus Urban Atlas 2018  
<https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas>
- DGM\_5m (in Übungsdaten)  
Quelle: Opentopography map of selected region  
<https://opentopography.org>

## Software

KLAM\_21, QGIS/ArcGIS Pro

# Durchführung

1. Datenaufbereitung GIS
2. Datenvorbereitung KLAM\_21
3. Ausführung KLAM\_



- SACHSEN, T., KETZLER, G., KNÖRCHEN, A. & SCHNEIDER, C. (2013): Past and future evolution of nighttime urban cooling by suburban cold air drainage in Aachen. *DIE ERDE—Journal of the Geographical Society of Berlin*, 144, 274-289.
- SIEVERS, U. (2005): Das Kaltluftabflussmodell KLAM\_21: Theoretische Grundlagen, Anwendung und Handhabung des PC-Modells.
- SIEVERS, U. & KOSSMANN, M. (2016): The cold air drainage model KLAM\_21 - Model formulation and comparison with observations. *Weather and Climate*, 36, 2-24.
- ZENGER, A. 1998. Analyse und Bewertung von Kaltluftabflüssen.
- ŽUVELA-ALOISE, M., KOCH, R., NEUREITER, A., BÖHM, R. & BUCHHOLZ, S. (2014): Reconstructing urban climate of Vienna based on historical maps dating to the early instrumental period. *Urban Climate*, 10, 490-508.

Philip Weber, Wintersemester 2023/24