

Entwicklung von Algorithmen zur Berechnung der aerodynamischen Oberflächenrauigkeit für mikroskalige Strukturen

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg



**UNI
FREIBURG**

Marcel Gangwisch

11. November 2014

Einführung

Methodik - Datenmanagement, Datenverarbeitung, Ansatz

Ergebnisse

Diskussion und Schlussfolgerung

Ausblick

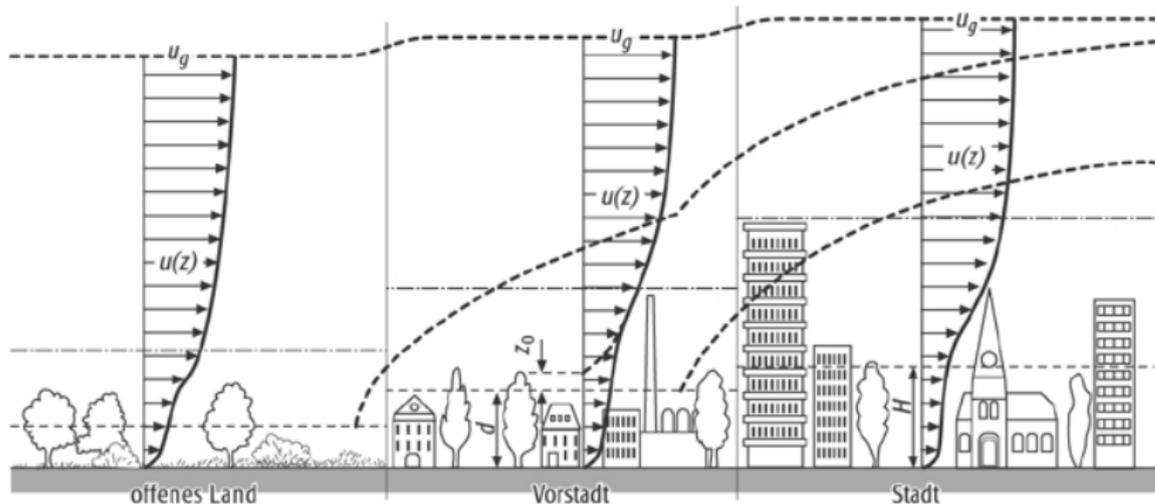


Abb.: Schematische Stadt (Grafik: Spektrum)

Rauigkeitslänge (z_0) nach (Bendix 2004)

“Die Rauigkeitslänge entspricht der Höhe über der Unterlage, in der die Windgeschwindigkeit theoretisch Null wird.”

Nullpunktverschiebung (z_d) nach (Bendix 2004)

“(…) [Die Nullpunktverschiebung] gibt an wie weit die theoretischen meteorologischen Profile (die Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe nach dem logarithmischen Windprofil) aufgrund von Bewuchs oder Bebauung in der Vertikalen zu verschieben sind.”

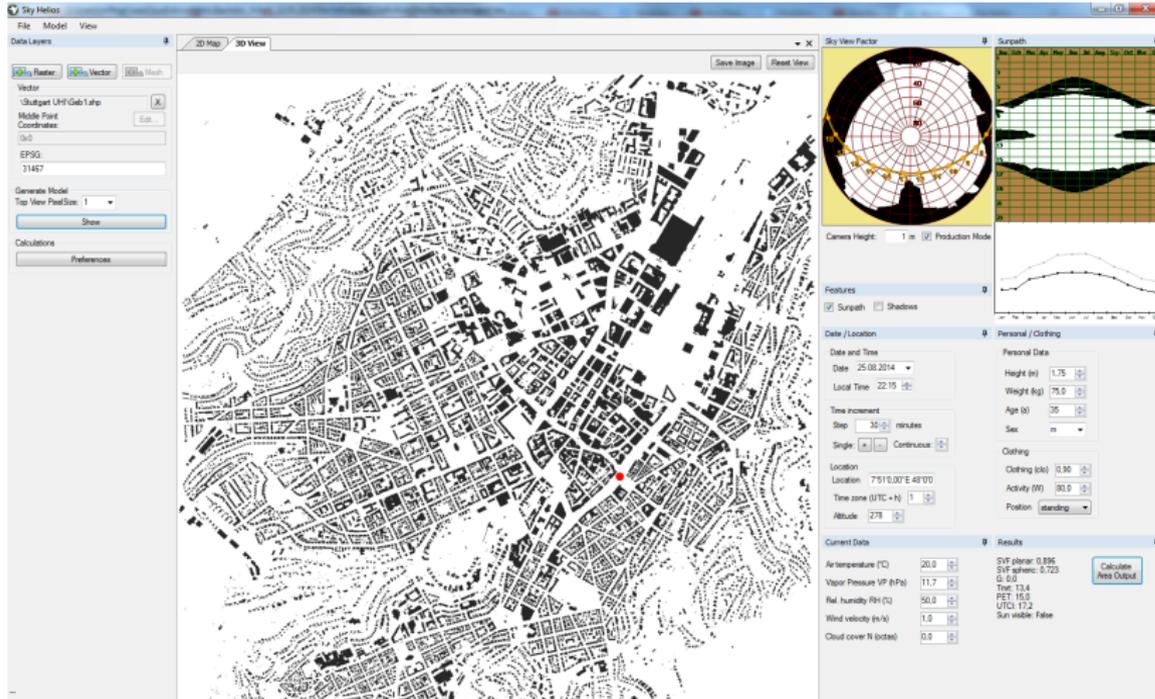
Beschreibung der mittleren Windgeschwindigkeit $\bar{u}(z)$, der horizontalen Windkomponente:

$$\bar{u}(z) = \frac{u_*}{\kappa} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

In Abhängigkeit von:

- der Höhe z über Grund
- der Rauigkeitslänge z_0
- Schubspannungsgeschwindigkeit u_*
- κ : von-Kármán-Konstante ($\kappa \approx 0.4$)

Schubspannungsgeschwindigkeit u_* ist nicht bekannt!



Sky Helios

File Model View

Data Layers

3D Map 3D View

Save Image Reset View

3D View Factor

Surpath

Camera Height: 1 m Production Mode

Features

Surpath Shadows

Date / Location

Date and Time

Date: 25.08.2014

Local Time: 22:15

Time increment

Step: 30 minutes

Single Continuous

Location

7°51'0.00"E 48°0'0"

Time zone (UTC + N): 1

Altitude: 278

Personal / Clothing

Personal Data

Height (m): 1.75

Weight (kg): 75.0

Age (y): 35

Sex: m

Clothing

Clothing (clo): 0.90

Activity (M): 80.0

Position: standing

Current Data

Results

Air temperature (°C):	20.0	SVE (planar):	0.896
Vapor Pressure VP (hPa):	11.7	SVE (spherical):	0.723
Rel. humidity RH (%):	50.0	G: GHI	
Wind velocity (m/s):	1.0	T: TSI	13.4
Cloud cover N (octas):	0.0	PET: PET	15.0
		UTCI: UTCI	11.2
		Sun visible:	False

Calculate
Reset Output

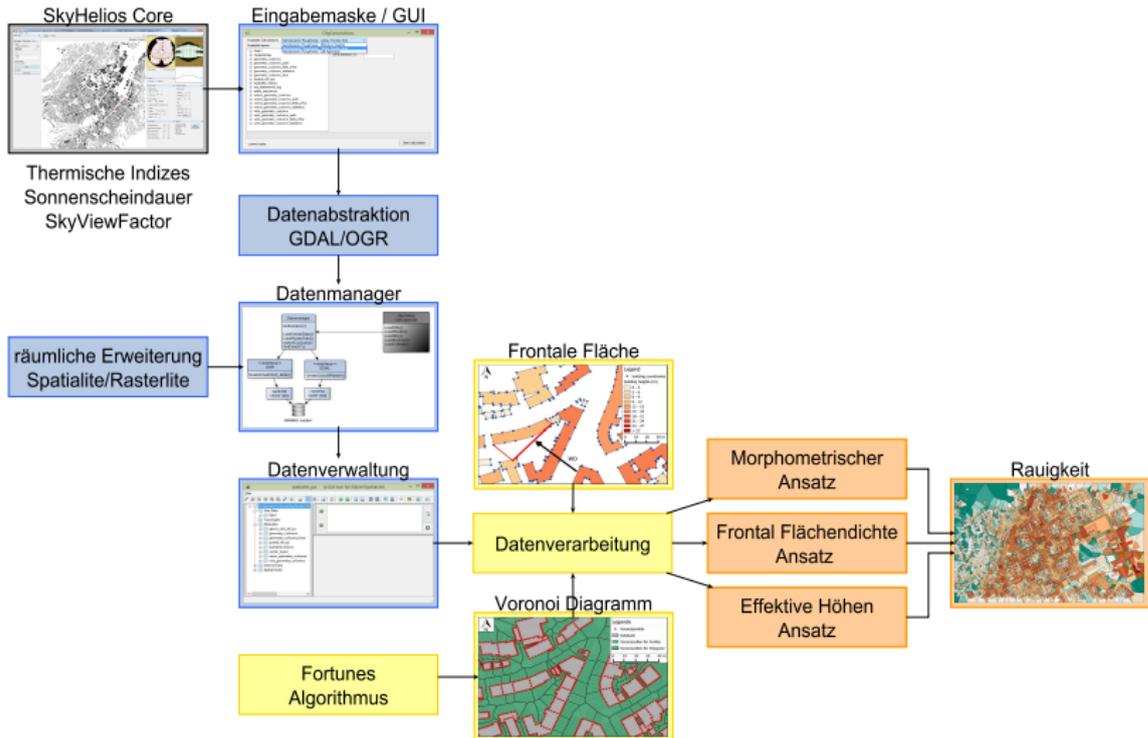
- Verwaltung und Verarbeitung unterschiedlicher Geodaten
- Auswahl verschiedener Ansätze zur Berechnung der Rauigkeit
- Berechnung abhängiger Größen aus den Eingangsdaten

- Verwaltung und Verarbeitung unterschiedlicher Geodaten
- Auswahl verschiedener Ansätze zur Berechnung der Rauigkeit
- Berechnung abhängiger Größen aus den Eingangsdaten

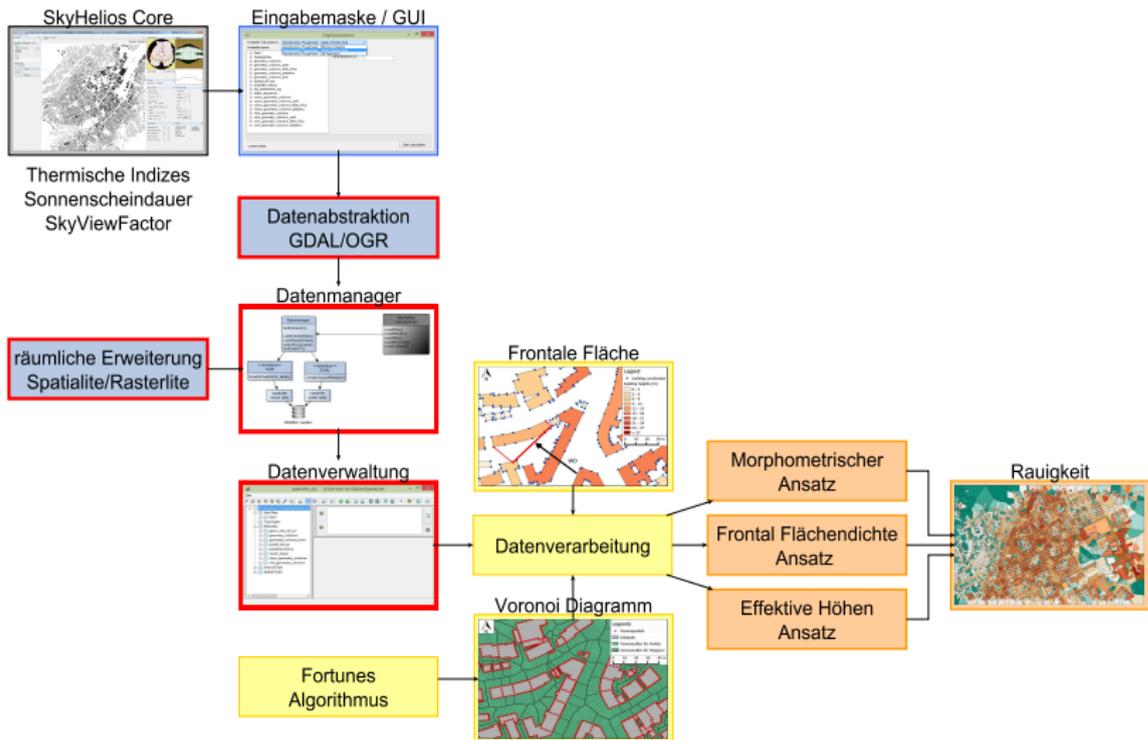
Zielsetzung

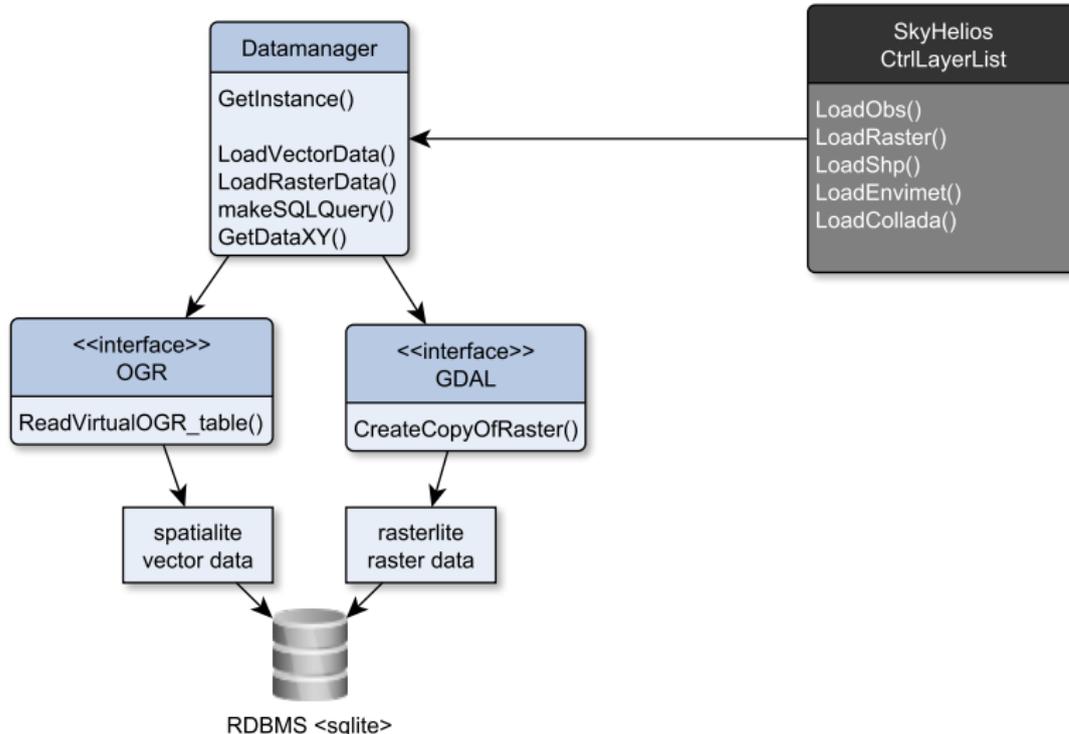
- Integration der Verarbeitung und Verwaltung von Geodaten mit einer räumlichen Datenbank
- Implementierung verschiedener Ansätze zur effizienten Berechnung der Rauigkeit in SkyHelios
- Anwendung für das Modellgebiet Stuttgart

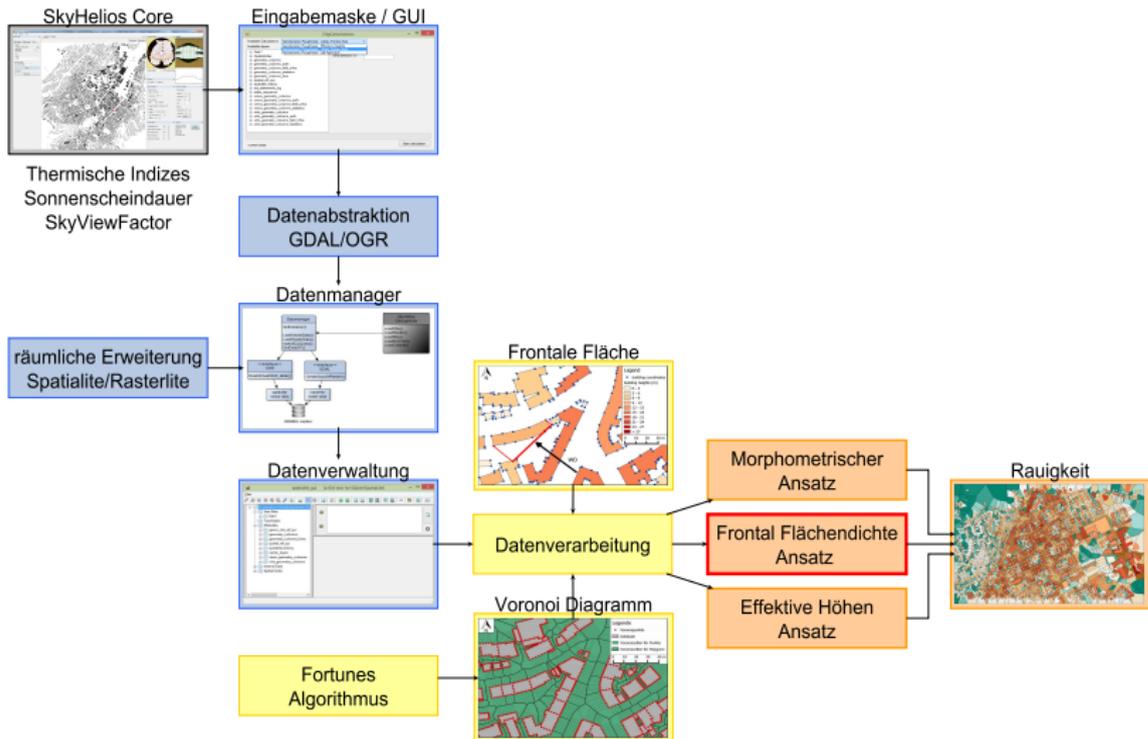
Methodik - Datenmanagement, Datenverarbeitung, Ansatz



Methodik - Datenmanagement, Datenverarbeitung, Ansatz







$$z_0 = (h - z_d) \cdot e^{-\sqrt{\frac{0.4}{\lambda_f}}} \quad z_d = h \cdot \lambda_p^{0.6}$$

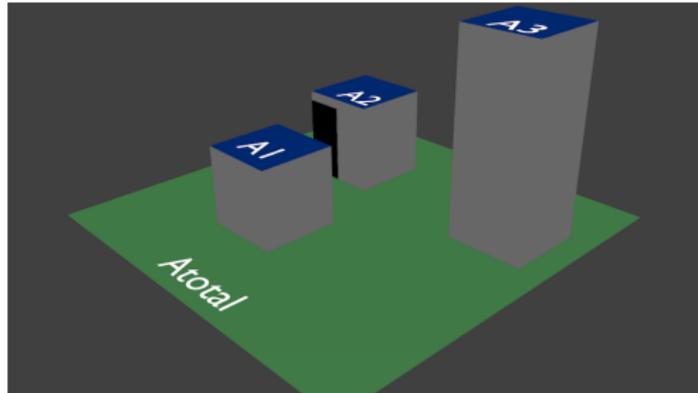
(Gál und Sümeghy 2007; Gál und Unger 2008)

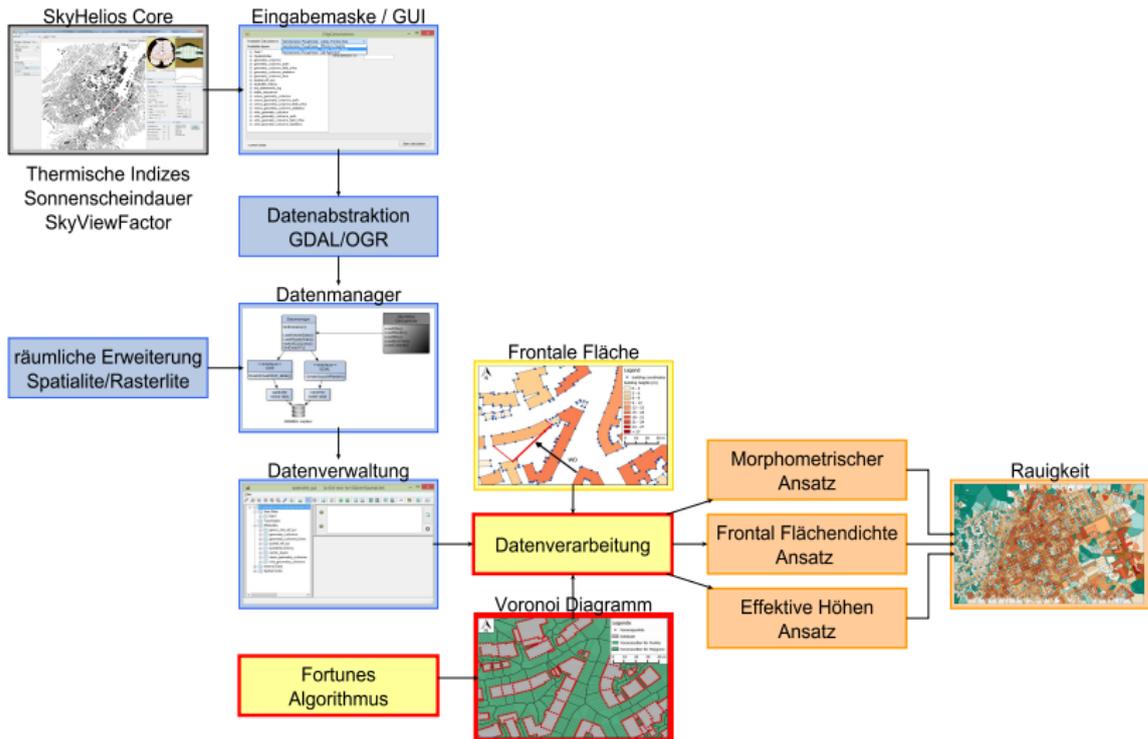
dabei gilt:

- h : Volumetrisch durchschnittliche Hindernishöhe
- λ_f : Frontale Flächendichte
- λ_p : Planare Flächendichte

$$\lambda_p = \frac{\sum_{i=0}^n A_i}{A_{\text{total}}}$$

- λ_p : Planare Flächendichte
- A_i : Planare Flächen
- A_{total} : Bezugsfläche

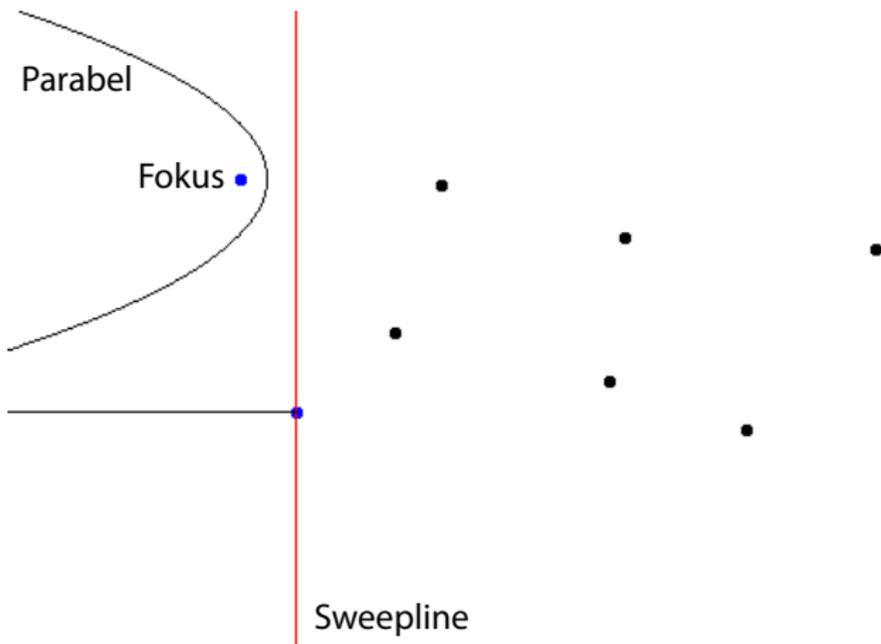


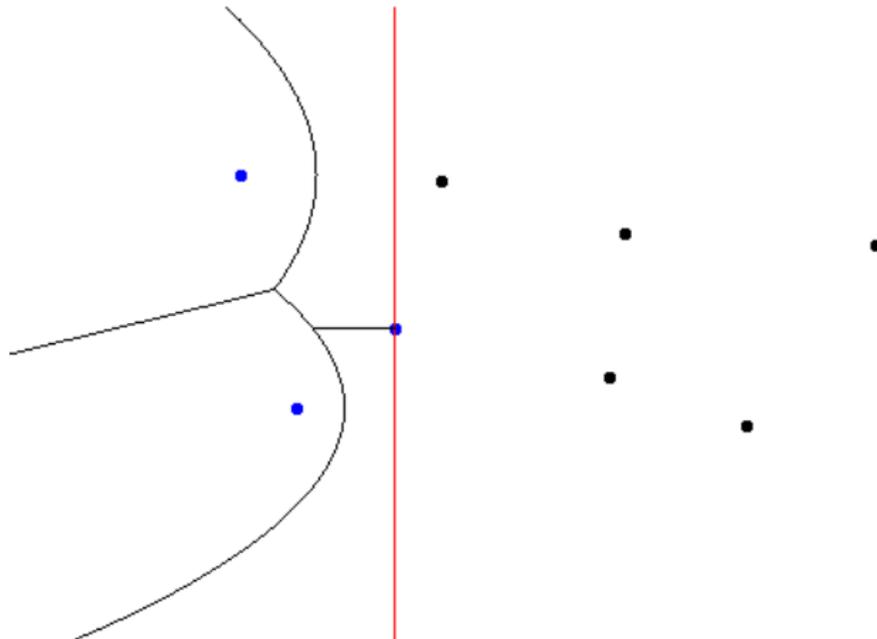


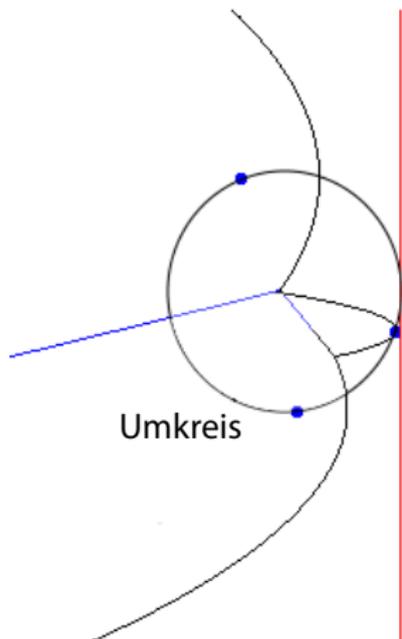


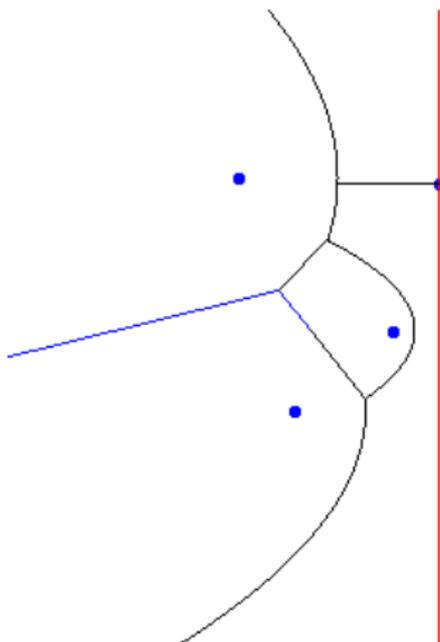
geometrische Zuordnung einer Fläche zum nächstliegenden Punkt (Fortune 1986)

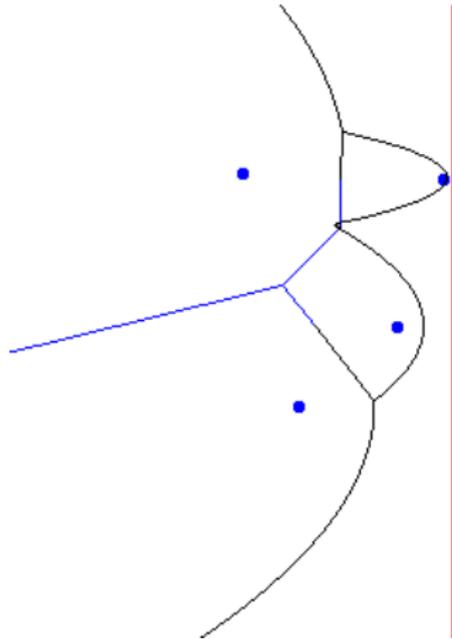


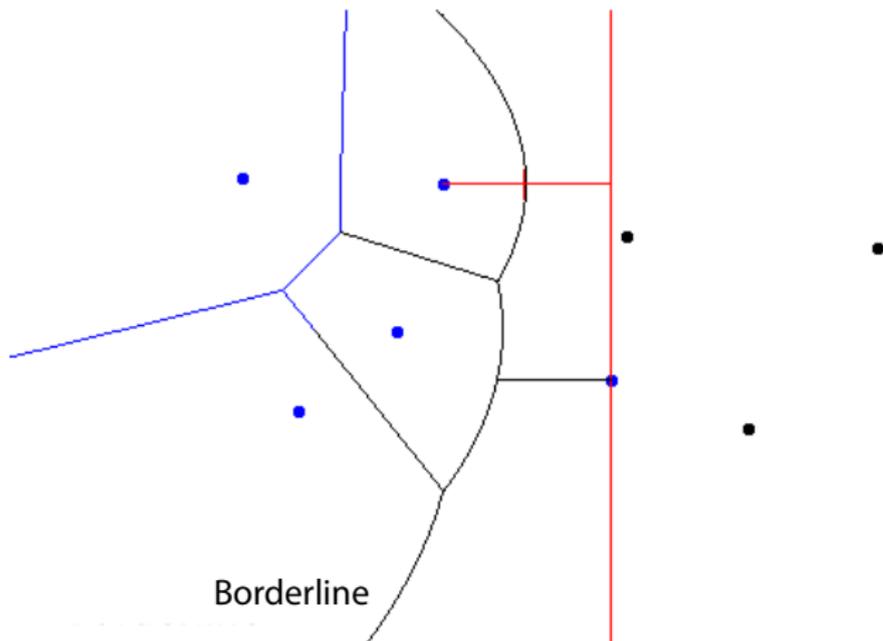


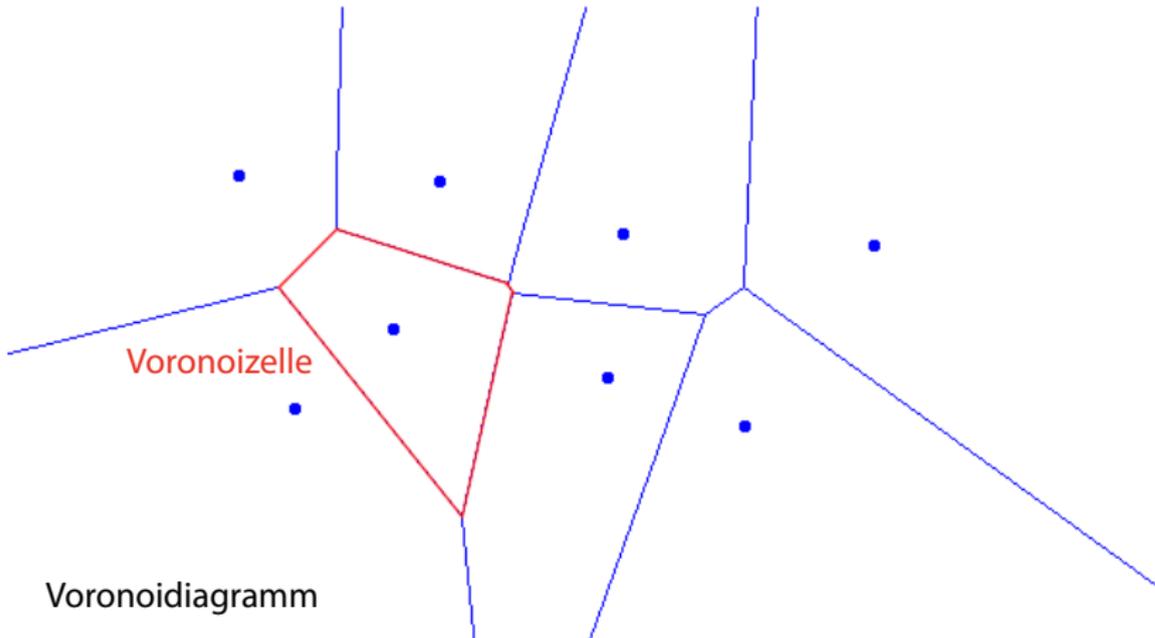




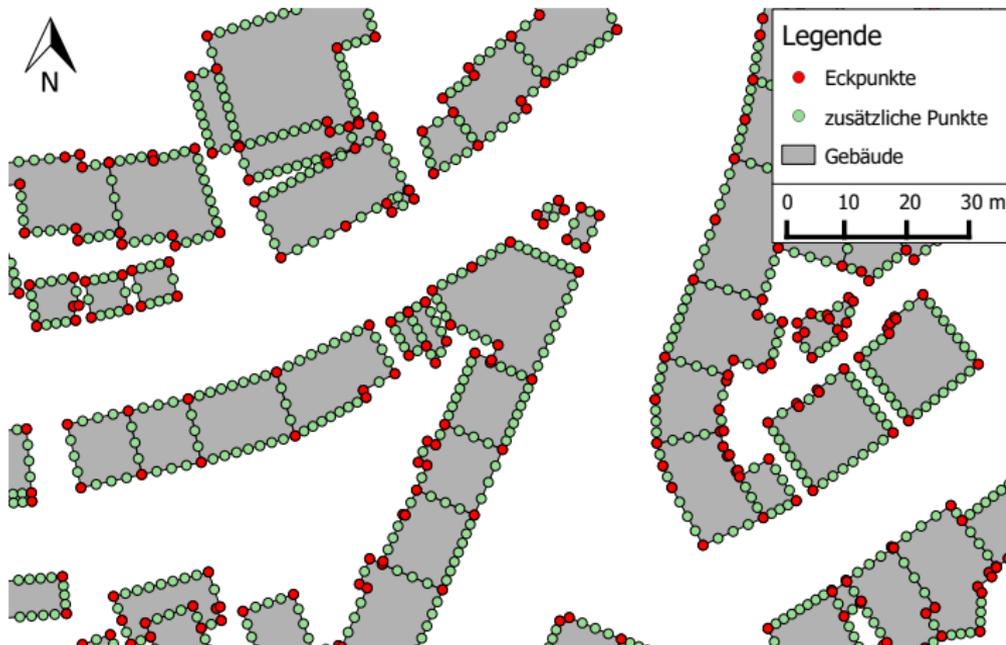








Geometrische Zuordnung einer Fläche zum nächstliegenden zugehörigen Gebäude







$$z_0 = (h - z_d) \cdot e^{-\sqrt{\frac{0.4}{\lambda_f}}} \quad z_d = h \cdot \lambda_p^{0.6}$$

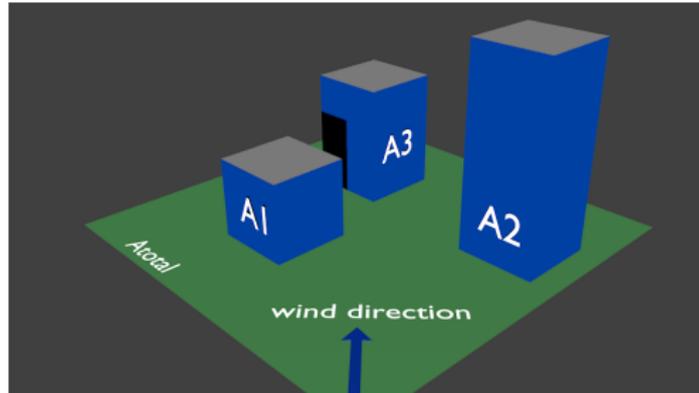
(Gál und Sümeghy 2007; Gál und Unger 2008)

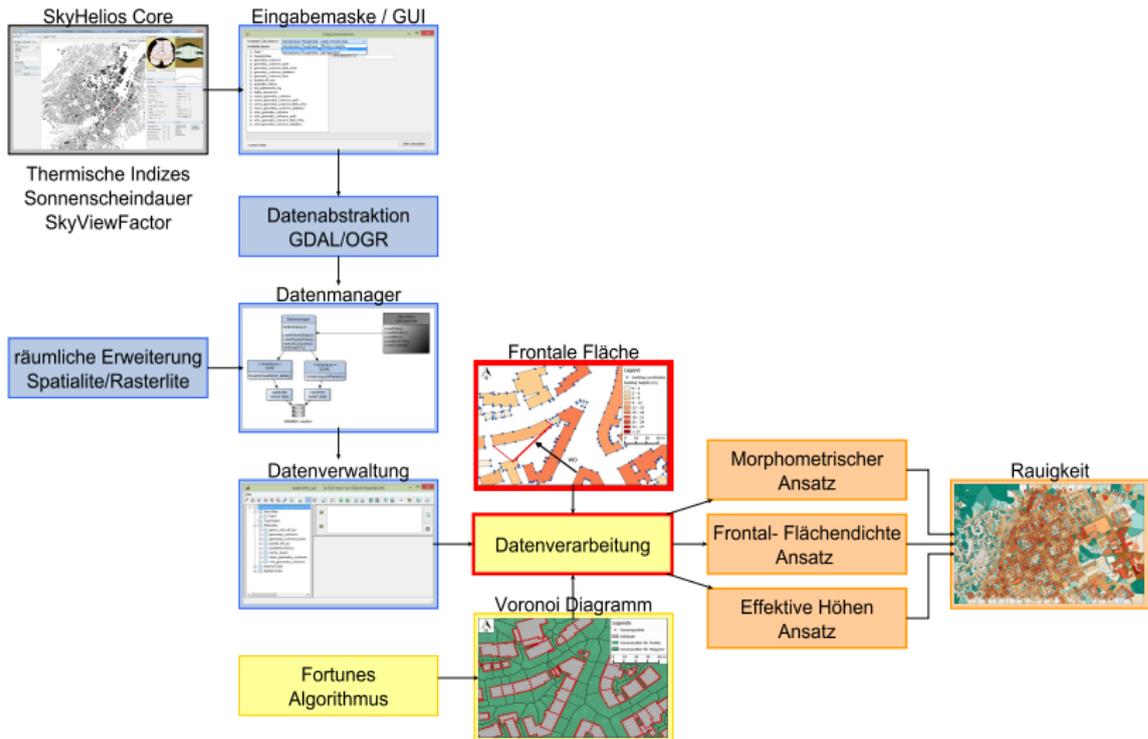
dabei gilt:

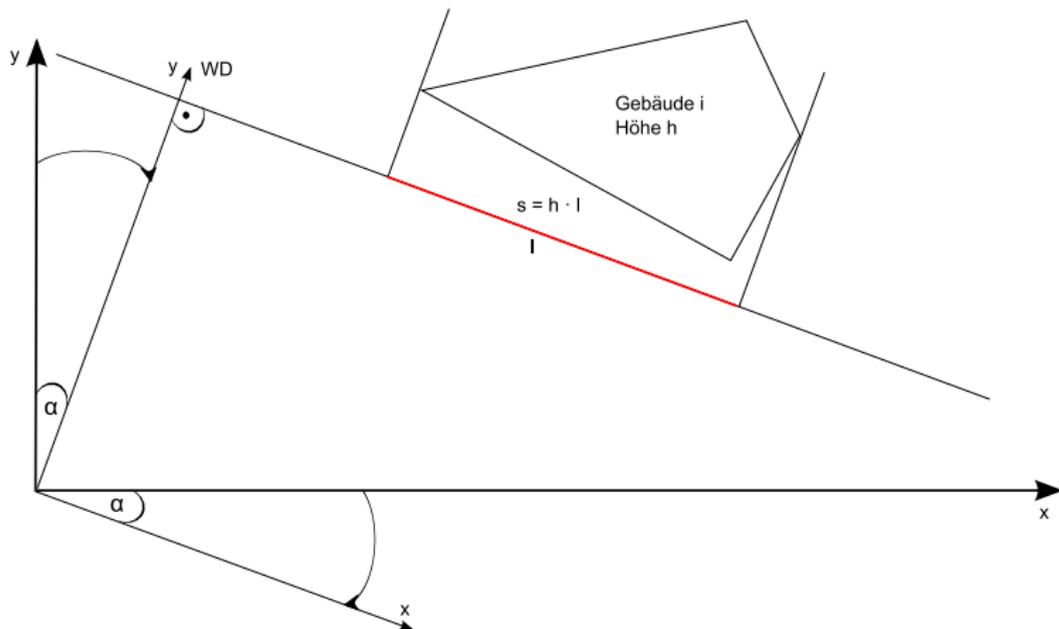
- h : Volumetrisch durchschnittliche Hindernishöhe
- λ_f : Frontale Flächendichte
- λ_p : Planare Flächendichte

$$\lambda_f = \frac{\sum_{i=0}^n A_i}{A_{\text{total}}}$$

- λ_f : Frontale Flächendichte
- A_i : Frontale Flächen
- A_{total} : Bezugsfläche

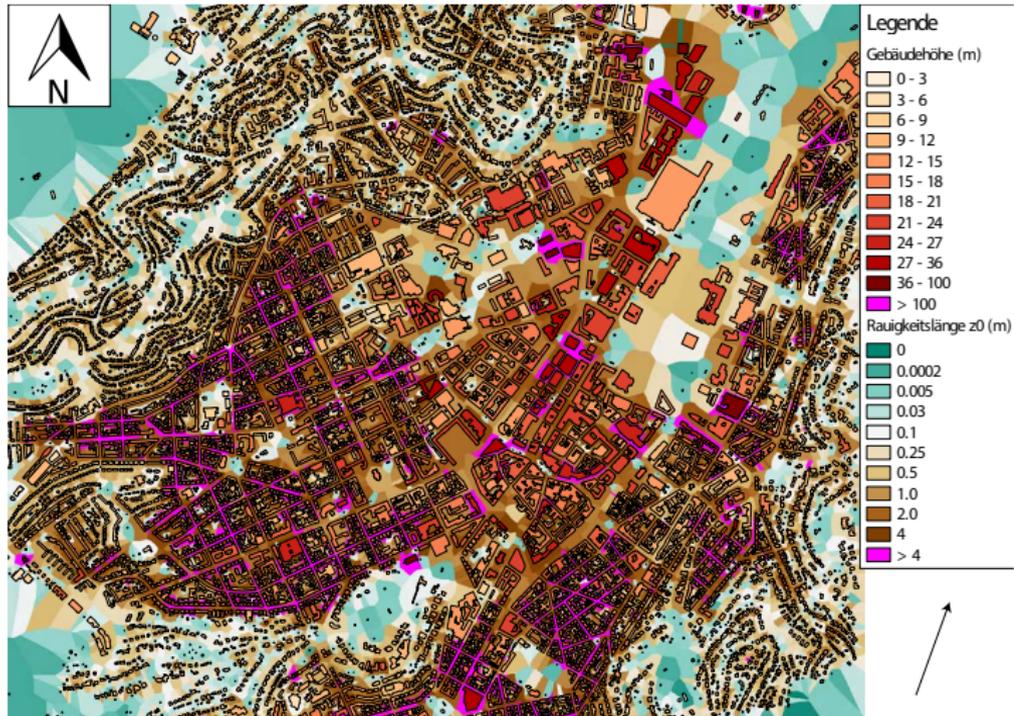






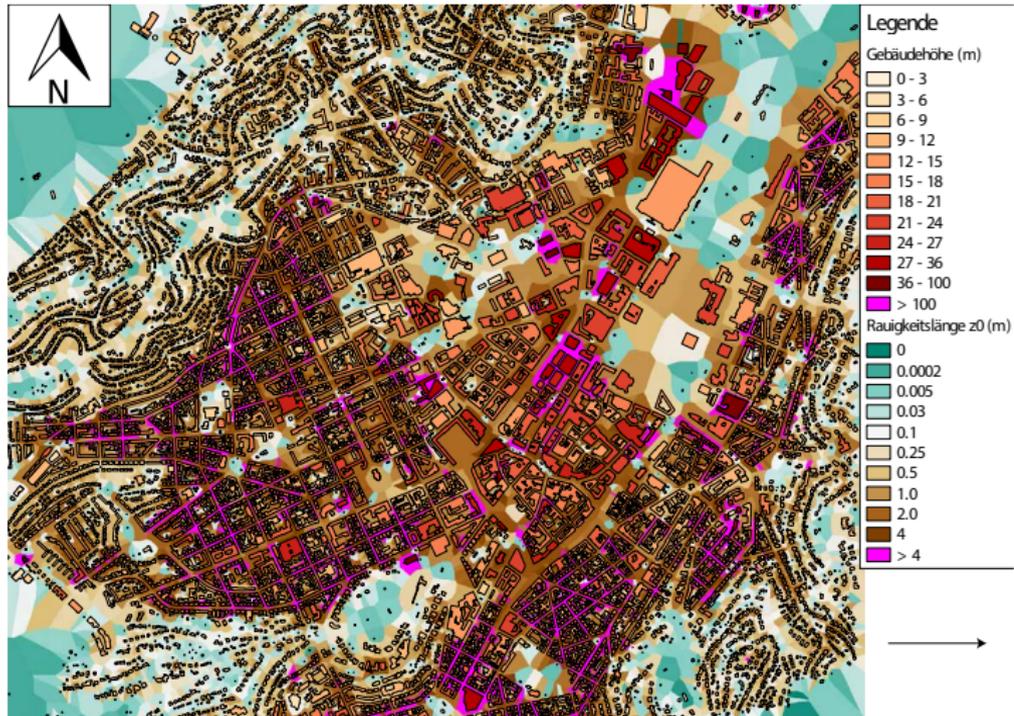
Ergebnisse

Rauigkeit Windrichtung = 20°



Ergebnisse

Rauigkeit Windrichtung = 90°



- Datenmanagement
 - SQLite mit Spatialite und Rasterlite eignet sich sehr gut
 - Abstraktion des Eingabeformats mit GDAL und OGR

- Datenmanagement
 - SQLite mit Spatialite und Rasterlite eignet sich sehr gut
 - Abstraktion des Eingabeformats mit GDAL und OGR
- Ansätze
 - Berechnung der Rauigkeit mit drei Ansätzen

■ Datenmanagement

- SQLite mit Spatialite und Rasterlite eignet sich sehr gut
- Abstraktion des Eingabeformats mit GDAL und OGR

■ Ansätze

- Berechnung der Rauigkeit mit drei Ansätzen
- Voronoidiagramm als Bezugsraum

■ Datenmanagement

- SQLite mit Spatialite und Rasterlite eignet sich sehr gut
- Abstraktion des Eingabeformats mit GDAL und OGR

■ Ansätze

- Berechnung der Rauigkeit mit drei Ansätzen
- Voronoidiagramm als Bezugsraum
 - Laufzeitkomplexität $O(n \log n)$

■ Datenmanagement

- SQLite mit Spatialite und Rasterlite eignet sich sehr gut
- Abstraktion des Eingabeformats mit GDAL und OGR

■ Ansätze

- Berechnung der Rauigkeit mit drei Ansätzen
- Voronoidiagramm als Bezugsraum
 - Laufzeitkomplexität $O(n \log n)$
 - variable Anzahl der Gebäudepunkte

■ Datenmanagement

- SQLite mit Spatialite und Rasterlite eignet sich sehr gut
- Abstraktion des Eingabeformats mit GDAL und OGR

■ Ansätze

- Berechnung der Rauigkeit mit drei Ansätzen
- Voronoidiagramm als Bezugsraum
 - Laufzeitkomplexität $O(n \log n)$
 - variable Anzahl der Gebäudepunkte
- Mittelung der Rauigkeit über mehrere Höhen um den Einfluss größerer Gebäude besser zu integrieren:

$$h_{\text{eff}} = \sum_{i=0}^{\#heights} \frac{Area(b_{height>i}) \cdot (Height(b) - i)}{Area(VC(b))} : \#heights$$

■ Datenmanagement

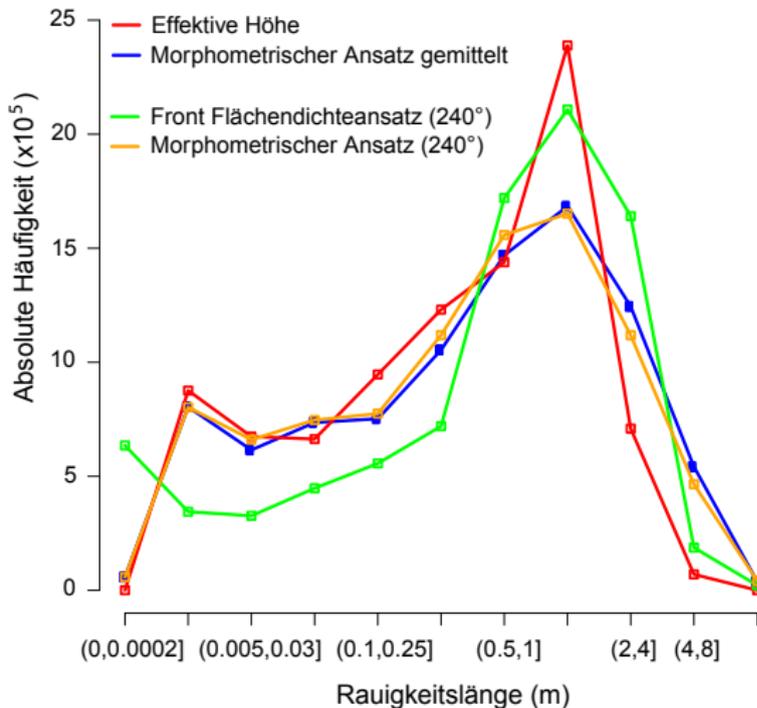
- SQLite mit Spatialite und Rasterlite eignet sich sehr gut
- Abstraktion des Eingabeformats mit GDAL und OGR

■ Ansätze

- Berechnung der Rauigkeit mit drei Ansätzen
- Voronoidiagramm als Bezugsraum
 - Laufzeitkomplexität $O(n \log n)$
 - variable Anzahl der Gebäudepunkte
- Mittelung der Rauigkeit über mehrere Höhen um den Einfluss größerer Gebäude besser zu integrieren:

$$h_{\text{eff}} = \sum_{i=0}^{\#heights} \frac{Area(b_{height>i}) \cdot (Height(b) - i)}{Area(VC(b))} : \#heights$$

- Anwendung für Stuttgart; kein Vergleich mit Messdaten



- Bestimmung möglicher Luftleitbahnen
- Berücksichtigung der Vegetation, sowie Topografie





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

- Bendix, J. (2004). „Geländeklimatologie: Mit 15 Tabellen“. Studienbücher der Geographie. Berlin und Stuttgart: Borntraeger.
- Fortune, S. (1986). „A sweepline algorithm for voronoi diagrams“.
- Gál, T. und Z. Sümeghy (2007). „Mapping the roughness parameters in a large urban area for urban climate applications“. *Acta Climatologica et Chorologica* 40.41, S. 27–36.
- Gál, T. und J. Unger (2008). „Detection of ventilation paths using high-resolution roughness parameter mapping in a large urban area“. *Building and Environment* 44.1, S. 198–206.
- Lettau, H. (1969). „Note on Aerodynamic Roughness-Parameter Estimation on the Basis of Roughness-Element Description“. *Journal of Applied Meteorology* 8, S. 828–832.
- Matzarakis, A. und H. Mayer (1992). „Mapping of urban air paths for planning in Munich“. *Planning Applications of Urban and Building Climatology. Wiss. Ber. Inst. Meteor. Klimaforsch. Univ. Karlsruhe* 16, S. 13–22.

Daraus ergibt sich die aerodynamische Oberflächenrauigkeit:

$$z_0 = z \cdot e^{-\frac{\bar{u}(z) \cdot \kappa}{u_*}}$$

Schubspannungsgeschwindigkeit u_* ist nicht bekannt!

Beschreibung der mittleren Windgeschwindigkeit $\bar{u}(z)$ der horizontalen Windkomponente:

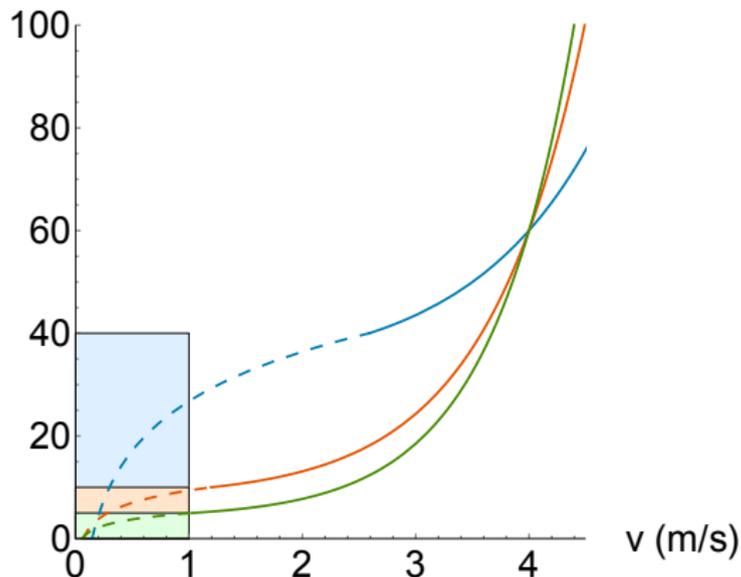
$$\bar{u}(z) = \bar{u}_{ref} \cdot \frac{\ln\left(\frac{z - z_d}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref} - z_d}{z_0}\right)}$$

In Abhängigkeit von:

- der Höhe z über Grund
- der Rauigkeitslänge z_0
- einer Referenzhöhe z_{ref}
- der mittleren Windgeschwindigkeit \bar{u}_{ref} in z_{ref}
- der Nullpunktverschiebung z_d

$$u(50 \text{ m}) = 4 \text{ m/s}$$

Höhe (m)



— $z_0: 0.8 \text{ m}, z_d: 32 \text{ m},$

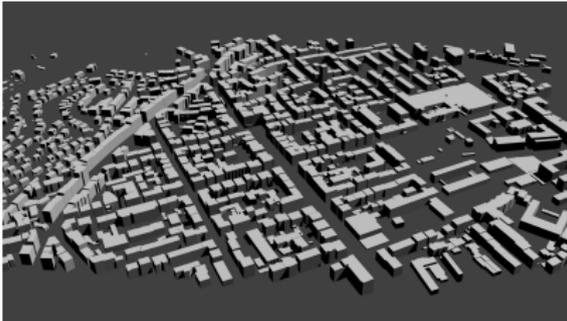
$H = 40 \text{ m}$

— $z_0: 0.5 \text{ m}, z_d: 8 \text{ m},$

$H = 10 \text{ m}$

— $z_0: 0.25 \text{ m}, z_d: 4 \text{ m},$

$H = 5 \text{ m}$



- Kessellage von Stuttgart
- Größe: 3843 m x 3765 m
- Topographie von 206 m - 549 m
- 23.957 Gebäude
- Gebäudehöhe: $\bar{\varnothing}$ 8.37 m
- Gebäudeumriss
- Gebäudehöhe

- für Vektor- und Rasterdaten
- Abstrahierung vom Eingabeformat (GeoTiff, Ascii-Grid, ESRI Shape, GeoJSON)
- sehr große Datensätze
- unterschiedliche Metadaten: viele verschiedene räumliche Referenzsysteme
- globale Bereitstellung der Daten für unterschiedliche Berechnungen
- Relationen zwischen räumlichen Daten (Distanz, Fläche, ...)

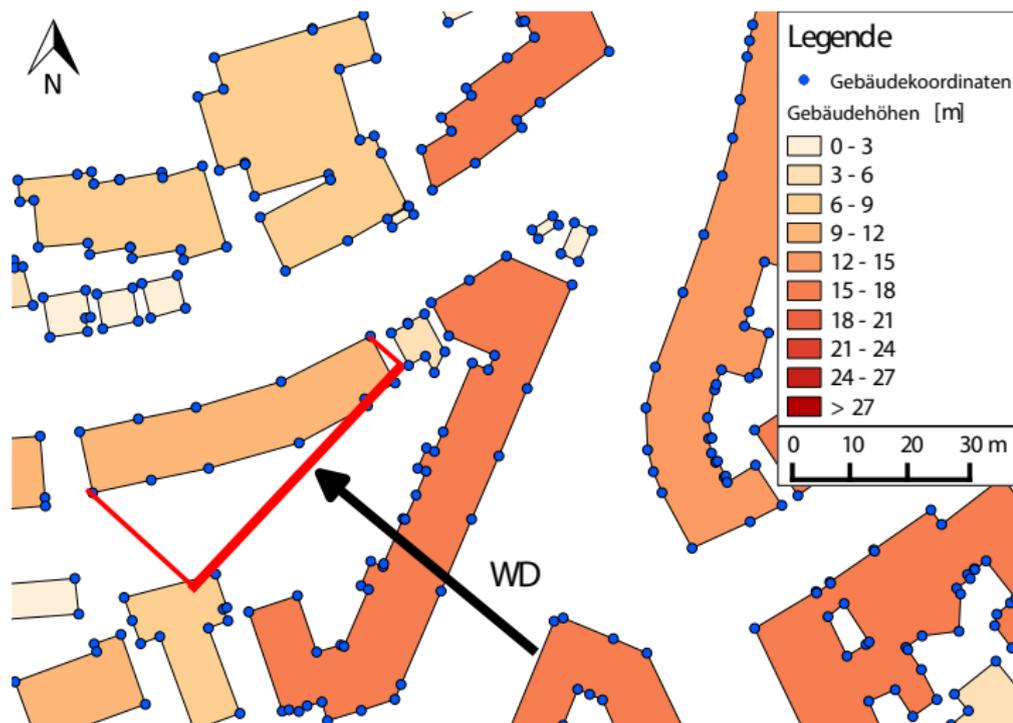
Wie erfolgt der Zugriff auf die Datenbank?

- Zugriff auf SQLite erfolgt über Datamanager
- Schnittstelle zwischen Datamanager und SQLite über System.Data.SQLite
- System.Data.SQLite entspricht dem ADO.NET C# SQLite Treiber
- Datamanager als Singleton implementiert, erlaubt nur eine Verbindung zur Datenbank

srid	auth_name	auth_srid	ref_sys_name
1	2000 epsg	2000	Anguilla 1957 / British West Indies Grid
2	2001 epsg	2001	Antigua 1943 / British West Indies Grid
3	2002 epsg	2002	Dominica 1945 / British West Indies Grid
4	2003 epsg	2003	Grenada 1953 / British West Indies Grid
5	2004 epsg	2004	Montserrat 1958 / British West Indies Grid
6	2005 epsg	2005	St. Kitts 1955 / British West Indies Grid
7	2006 epsg	2006	St. Lucia 1955 / British West Indies Grid
8	2007 epsg	2007	St. Vincent 45 / British West Indies Grid
9	2008 epsg	2008	NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 2
10	2009 epsg	2009	NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 3
11	2010 epsg	2010	NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 4
12	2011 epsg	2011	NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 5
13	2012 epsg	2012	NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 6
14	2013 epsg	2013	NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 7
15	2014 epsg	2014	NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 8
16	2015 epsg	2015	NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 9
17	2016 epsg	2016	NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 10
18	2017 epsg	2017	NAD27(76) / MTM zone 8
19	2018 epsg	2018	NAD27(76) / MTM zone 9
20	2019 epsg	2019	NAD27(76) / MTM zone 10
21	2020 epsg	2020	NAD27(76) / MTM zone 11
22	2021 epsg	2021	NAD27(76) / MTM zone 12
23	2022 epsg	2022	NAD27(76) / MTM zone 13
24	2023 epsg	2023	NAD27(76) / MTM zone 14
25	2024 epsg	2024	NAD27(76) / MTM zone 15
26	2025 epsg	2025	NAD27(76) / MTM zone 16
27	2026 epsg	2026	NAD27(76) / MTM zone 17
28	2027 epsg	2027	NAD27(76) / UTM zone 15N

	ROWID	f_table_name	f_geometry_column	type	coord_dimension	srid	spatial_index_enabled
1	1	geb1	geometry	POLYGON	XYZ	4326	0
2	2	lod1	geometry	POLYGON	XY	4326	0
3	3	raster_Topo10mSWest_metadata	geometry	POLYGON	XY	-1	1

	DACHHOEHE	
1	458.520000	POLYGON((3507446.21 5399307.48, 3507446.88 5399310.28, 3507445.43 5399310.64, 3507446.93 5399317.07,
2	525.050000	POLYGON((3506482.26 5397662.38, 3506482.27 5397656.33, 3506480.94 5397656.37, 3506477.94 5397656.37,
3	454.850000	POLYGON((3507487.77 5398731.71, 3507489.36 5398740.76, 3507498.25 5398739.11, 3507496.62 5398730.13,
4	502.190000	POLYGON((3507229.75 5397742.84, 3507238.52 5397744.84, 3507239.1 5397742.25, 3507239.91 5397742.43, 3



$$z_o = 0.5 \cdot \frac{1}{A_{\text{total}}} \cdot A_{\text{frontal}} \cdot h^*$$

(Lettau 1969)

dabei gilt:

- A_{total} : Bezugsraum
- A_{frontal} : frontale Fläche
- h^* : durchschnittliche Hindernishöhe

$$z_0 = (h - z_{d,pl}) \cdot e^{-\frac{\kappa}{\sqrt{0.5\lambda_f \cdot c_W}}}$$

dabei gilt:

- h : Gebäudehöhe
- $z_{d,pl}$: Planare Nullpunktverschiebung des Bezugsraums
- κ : von-Kármán-Konstante ($\kappa \approx 0.4$)
- λ_f : Frontale Flächendichte
- c_W : Luftwiderstandsbeiwert; “Windschlüpfrigkeit” eines Hindernisses

$$Z_{d,pl} = \frac{h \cdot l_x + \frac{1}{3} \cdot (L_R + L_F) \cdot h}{d_x}$$

dabei gilt:

- L_F : Länge des frontalen Vortex
- L_R : Länge der Rezirkulationszone
- l_x : Tiefe des Gebäudes
- d_x : Abstand zum nächsten Gebäude in x-Richtung

$$\lambda_f = \frac{w \cdot h}{d_x \cdot d_y}$$

dabei gilt:

- w : Breite des Hindernisses
- h : Höhe des Hindernisses
- d_x : Abstand zum nächsten Hindernis in x-Richtung
- d_y : Abstand zum nächsten Hindernis in y-Richtung

$$h_{\text{eff}} = G_f \cdot G_h + V_f \cdot V_h + F_f \cdot F_h$$

(Matzarakis und Mayer 1992)

dabei gilt:

- h_{eff} : effektive Höhe pro Bezugsraum (m)
- G_f : Flächenanteil der Gebäude pro Bezugsraum (Faktor)
- G_h : mittlere Gebäudehöhe pro Bezugsraum (m)
- V_f : Flächenanteil der Vegetation pro Bezugsraum (Faktor)
- V_h : mittlere Vegetationshöhe pro Bezugsraum (m)
- F_f : Flächenanteil sonstiger Flächen pro Bezugsraum (Faktor)
- F_h : mittlere Höhe der sonstigen Flächen pro Bezugsraum (m)



1. Rotation des Koordinatensystems in Windrichtung (WD)
2. Transformation der Gebäudekoordinaten in transformierte Koordinaten des rotierten Koordinatensystems (Frontale Fläche ist parallel zur rotierten x-Achse)
3. max x-Wert – min x-Wert =
Ausdehnung der frontalen Fläche
4. Ausdehnung · Gebäudehöhe = frontale Fläche