



Vergleich von Straßennetzen hinsichtlich der Theorie komplexer Netze

Präsentation zum Masterseminar 01962 „Komplexe Netze“
im Wintersemester 2023/24

Von Theodor Diesner-Mayer und Heinrich Böllmann

Fragestellung

Auswertung der Straßennetz-Repräsentationen...

- Small-World-Eigenschaften
- Skalenfreiheit
- Zentralitätsmaße
- Robustheit



Wie unterscheiden sich die Ergebnisse verschiedener Städte?



Graphen- repräsentation: Dual

Knoten:

- ganze Straße (nicht nur Abschnitt)

Kante:

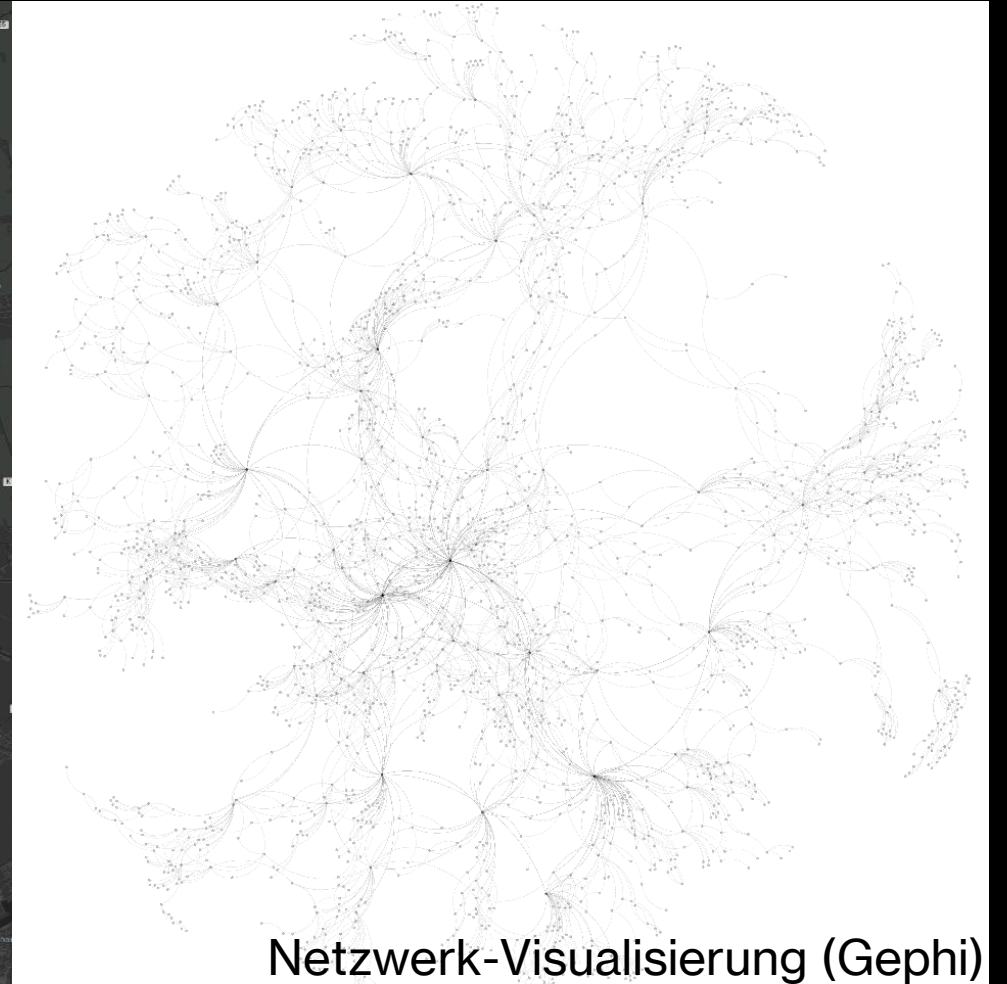
- Verbindung zu anderer Straße

Methoden zur Erstellung u.a.:

- nach Straßennamen
- nach Kreuzungswinkel*

*ICN: Porta et al (2006) / HICN: Masucci et al (2014)

Graphenrepräsentation: Dual

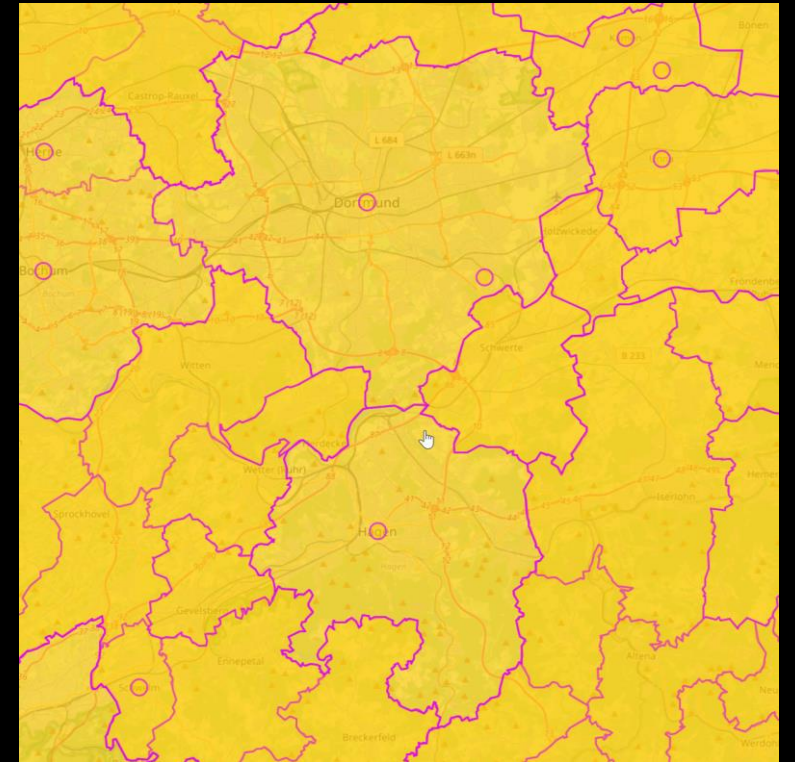


Datengrundlage

- Daten- & Kartenbasis: OpenStreetMap
- Straßennetze von 10.283 Städten und Gemeinden

Einschränkungen:

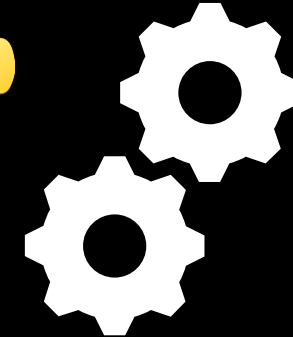
- nur öffentliches Straßennetz
(keine Fuß-, Rad-, Forstwege, etc.)
- ungerichteter Graph
(betrifft Einbahnstraßen, Autobahnen)



Gemeindegrenzen aus dem GV-ISys

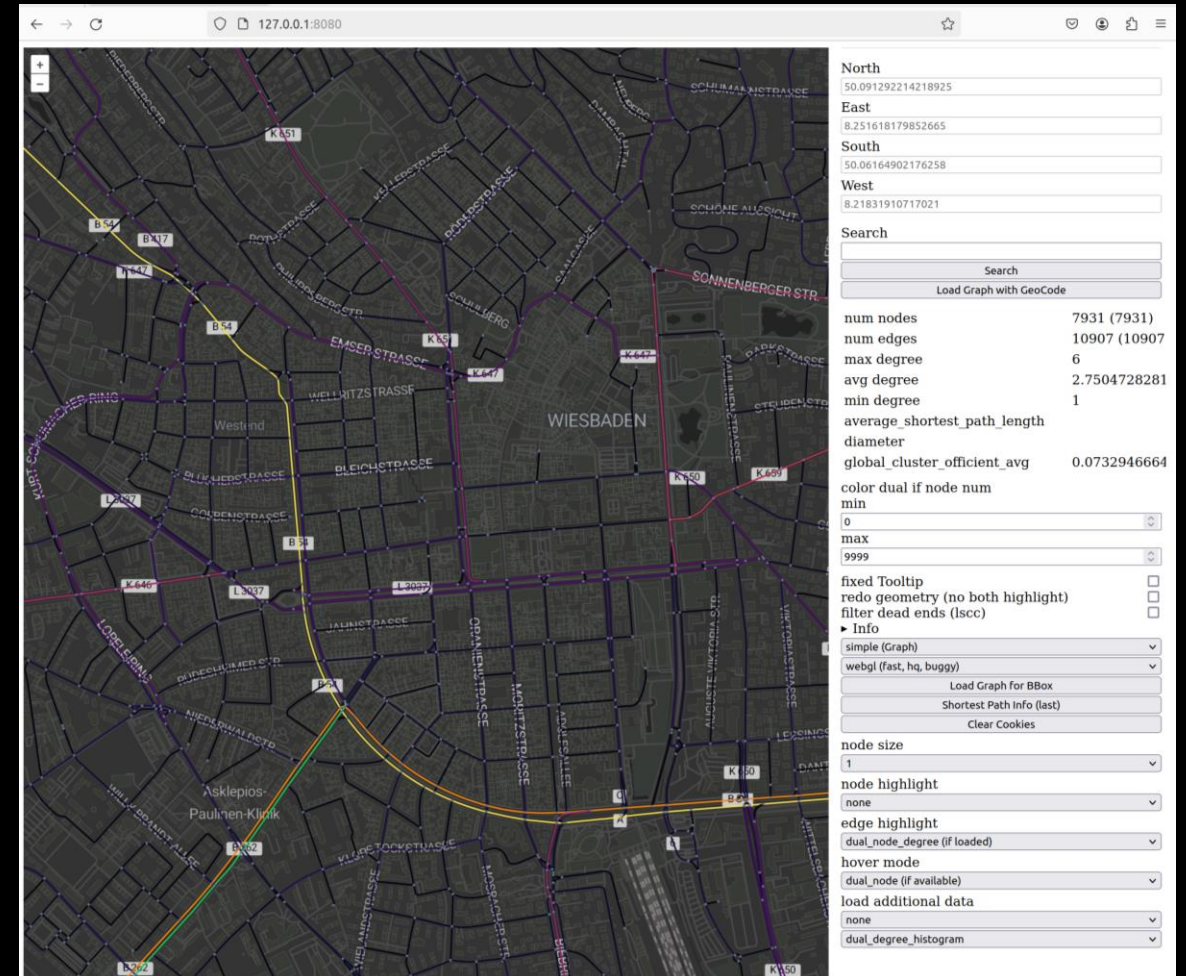
Tools und Technologien

- Python-Skript zur Auswertung
 - OSMnx für die Aufbereitung der OSM-Daten
 - NetworkX zur Graphenanalyse
 - StreetContinuity für Winkelberechnung
 - graph_tool für effiziente Graphenanalyse
 - Pyintergraph für Konvertierung der Graphen



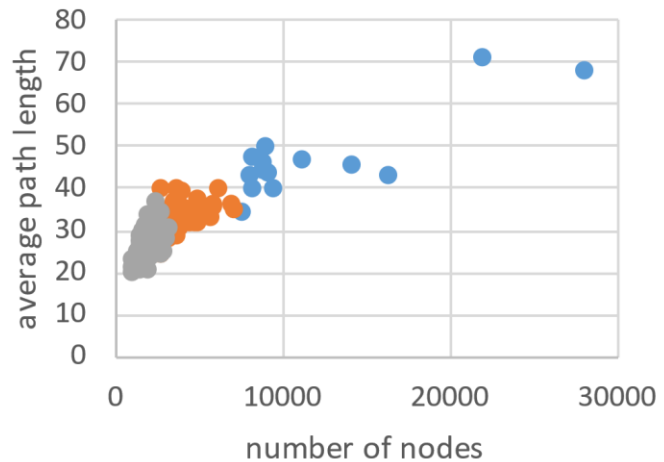
Webtool für die Datenexploration

- Webanwendung zur Analyse und zum Debugging
- https://github.com/theodm/seminar_komplexe_netze_street_network



Mittlere Pfadlänge

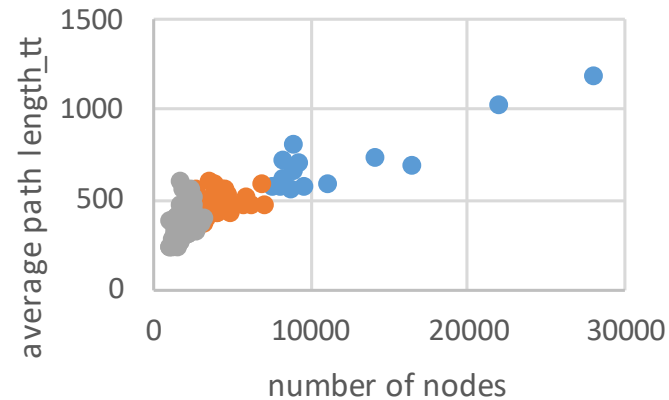
avg. distance (primal graph)



↑ Primal:
Pfadlänge steigt mit Knotenzahl

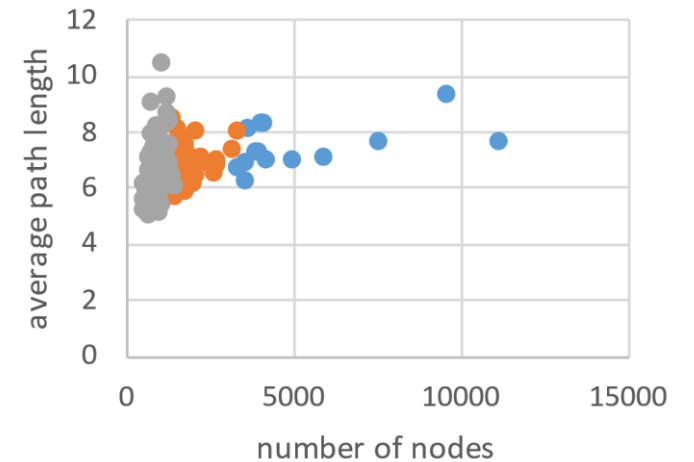
↓ Primal mit Reisezeit:
Pfadlänge steigt mit Knotenzahl

avg. travel time weighted distance (primal graph)



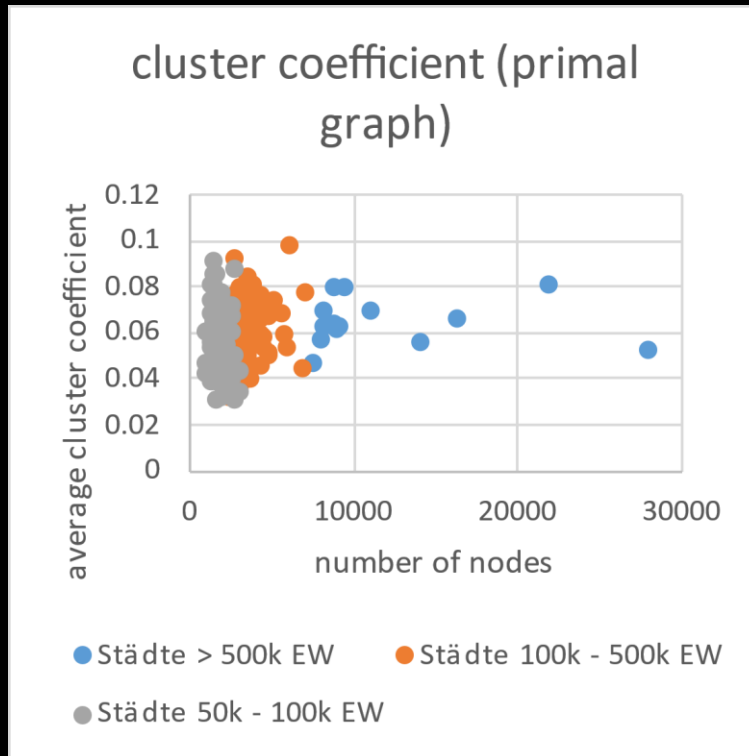
Städte > 500k EW Städte 100k - 500k EW
Städte 50k - 100k EW

avg. distance (dual graph)

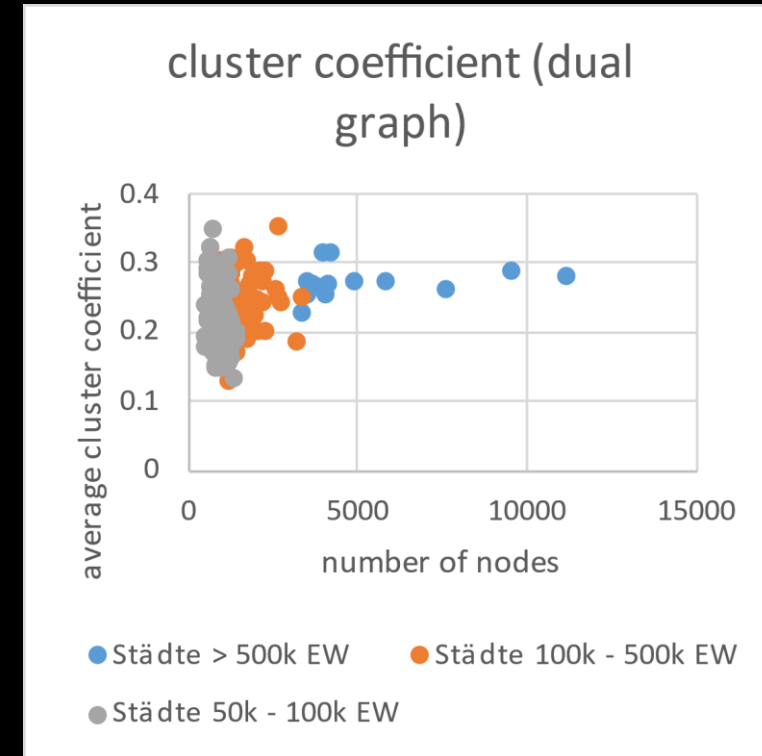


↑ Dual:
Pfadlänge bleibt relativ konstant

Globaler Clusterkoeffizient



↑ Primal:
Relativ geringer Clusterkoeffizient
folgt aus Rasterstruktur



↑ Dual:
Werte rund 4-mal so hoch

Small-World-Eigenschaften

Small-World-Eigenschaften:

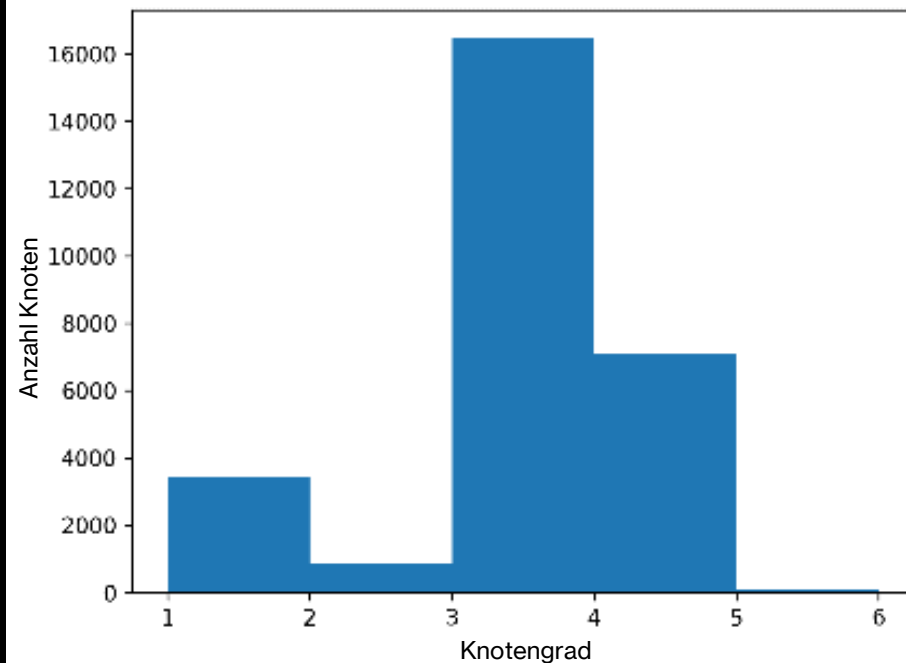
- Kleine mittlere Pfadlänge
- Hoher Clusterkoeffizient
- Primal-Graph: nicht erfüllt ✗
- Dualer Graph: erfüllt ✓

Entspricht der Literatur

=> Porta et al (2006), The network analysis of urban streets: A dual approach

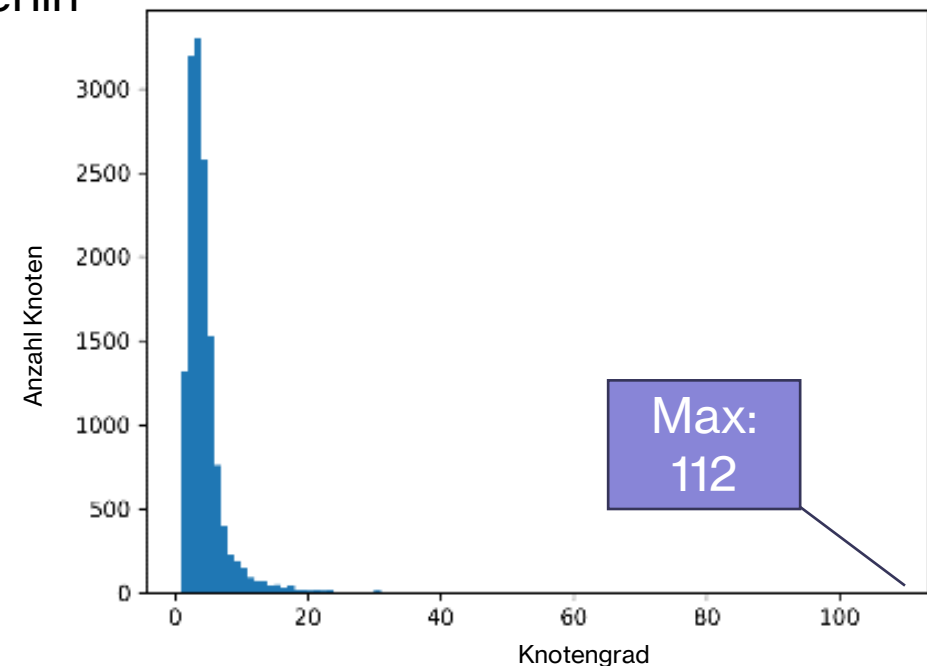
Skalenfreiheit

Knotengrade folgen Potenzverteilung (power law)?



Primal-Graph ✗

Berlin



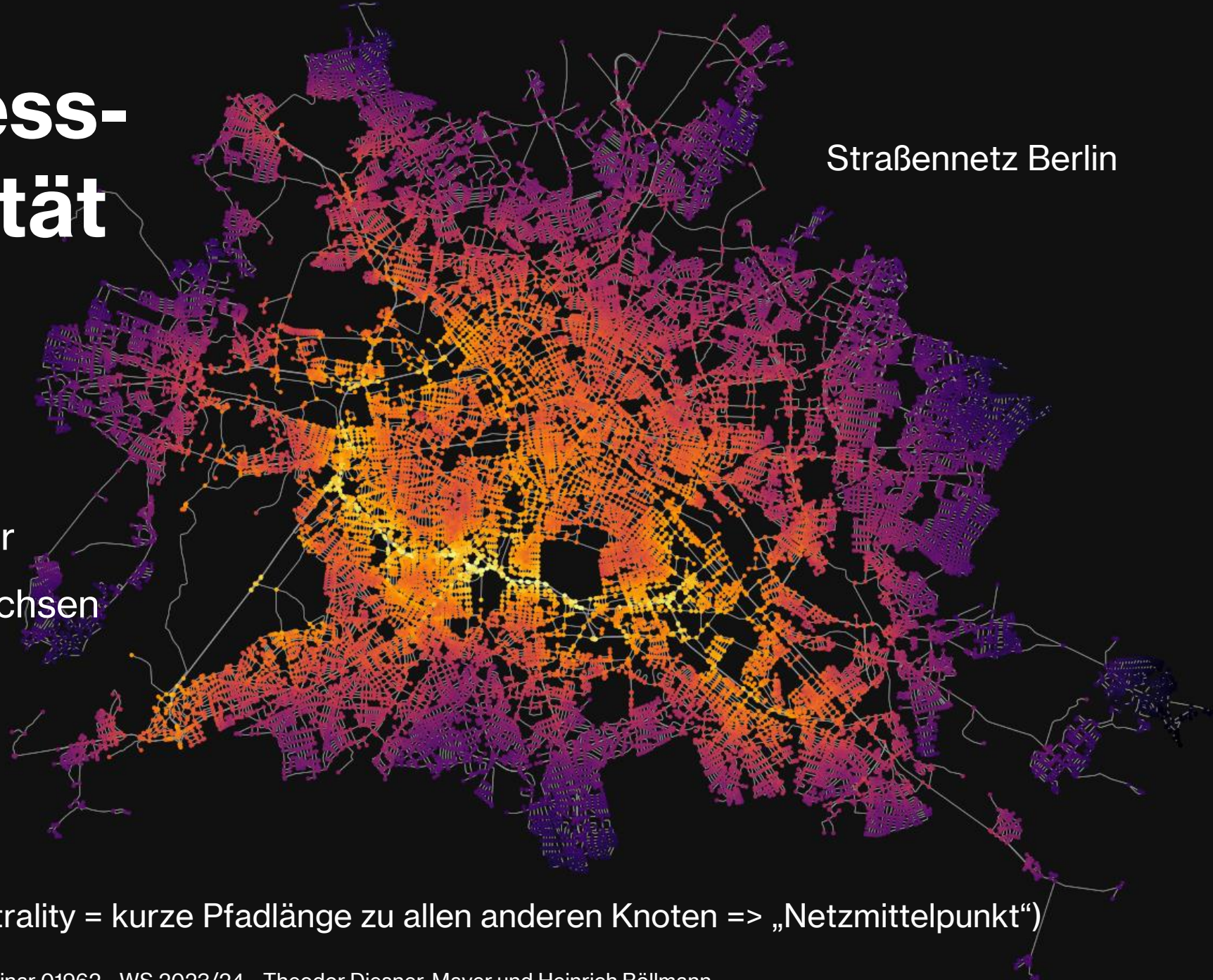
Dualer Graph ✓

Closeness-Zentralität

Primal-Graph

- Zentraler = heller
- Hauptverkehrsachsen erkennbar
- Grenzeffekt

Straßennetz Berlin



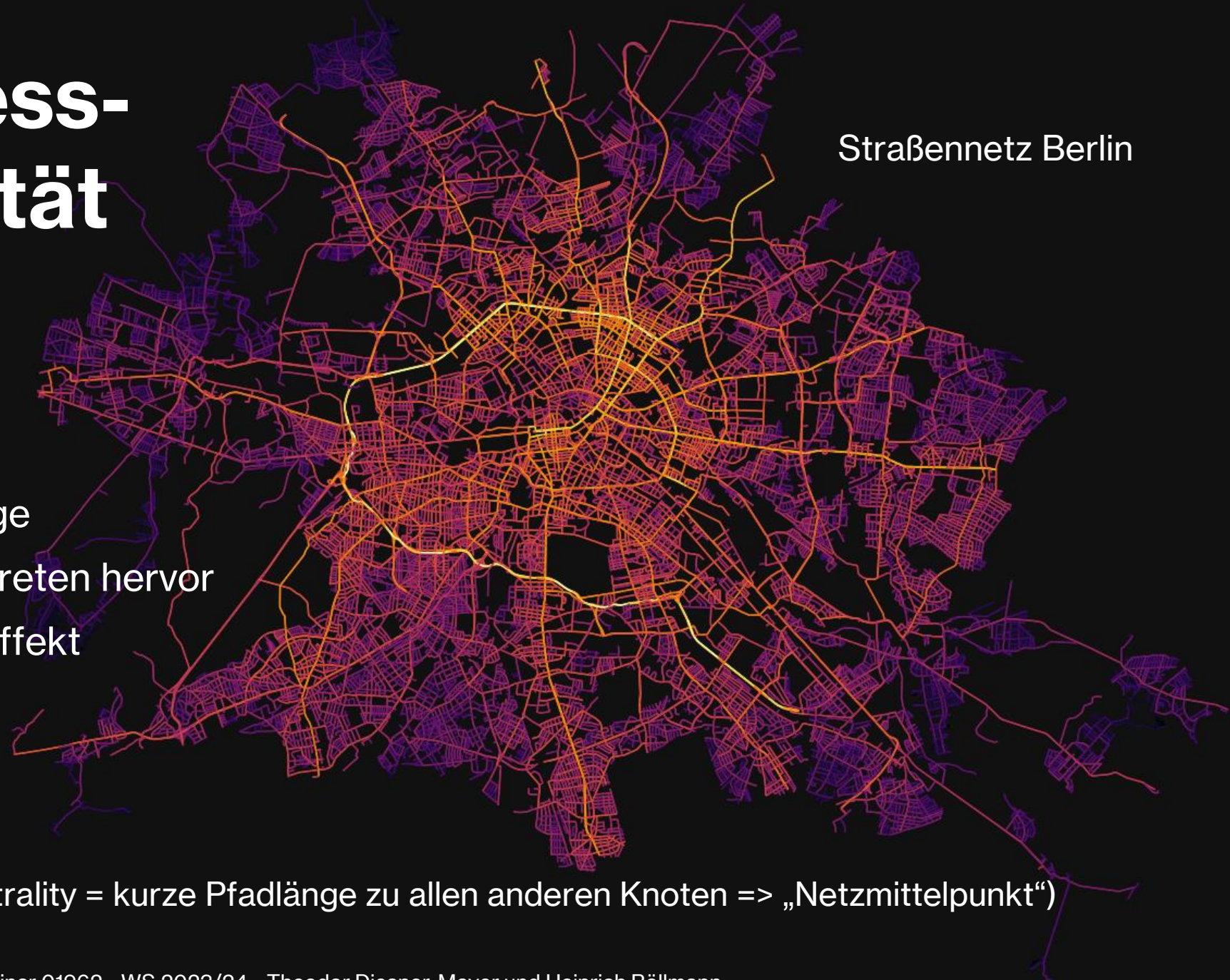
(Hohe closeness centrality = kurze Pfadlänge zu allen anderen Knoten => „Netzmittelpunkt“)

Closeness-Zentralität

Dual-Graph

- Anbindung > Lage
- Verkehrsadern treten hervor
- Weniger Grenzeffekt

Straßennetz Berlin



(Hohe closeness centrality = kurze Pfadlänge zu allen anderen Knoten => „Netzmittelpunkt“)

Betweenness-Zentralität

Straßennetz Berlin

Primal-Graph

- Weniger Kreuzungen = besser
- Hauptverkehrsachsen maßgeblich
- Grenzeffekt

(Hohe betweenness centrality = liegt auf vielen kürzesten Pfaden)

Betweenness-Zentralität

Straßennetz Berlin

Dual-Graph

- Deutlich anderes Straßenbild
- kürzester Pfad entspricht nicht kürzestem/schnellstem Reiseweg
- Grenzeffekt

(Hohe betweenness centrality = liegt auf vielen kürzesten Pfaden)

Robustheit: Methodik

- 98 größte Städte (ohne Berlin und Hamburg, zu rechenintensiv)
- Schrittweises Entfernen von (0,6 % aller) Kanten
 - Zufällig
 - Strategisch, basierend auf der Betweenness-Zentralität

Überlegungen zur Realitätsnähe

- Untersuchung am Primal Graph
- Entfernen von Kanten (statt Knoten)

Robustheit: Ergebnisse

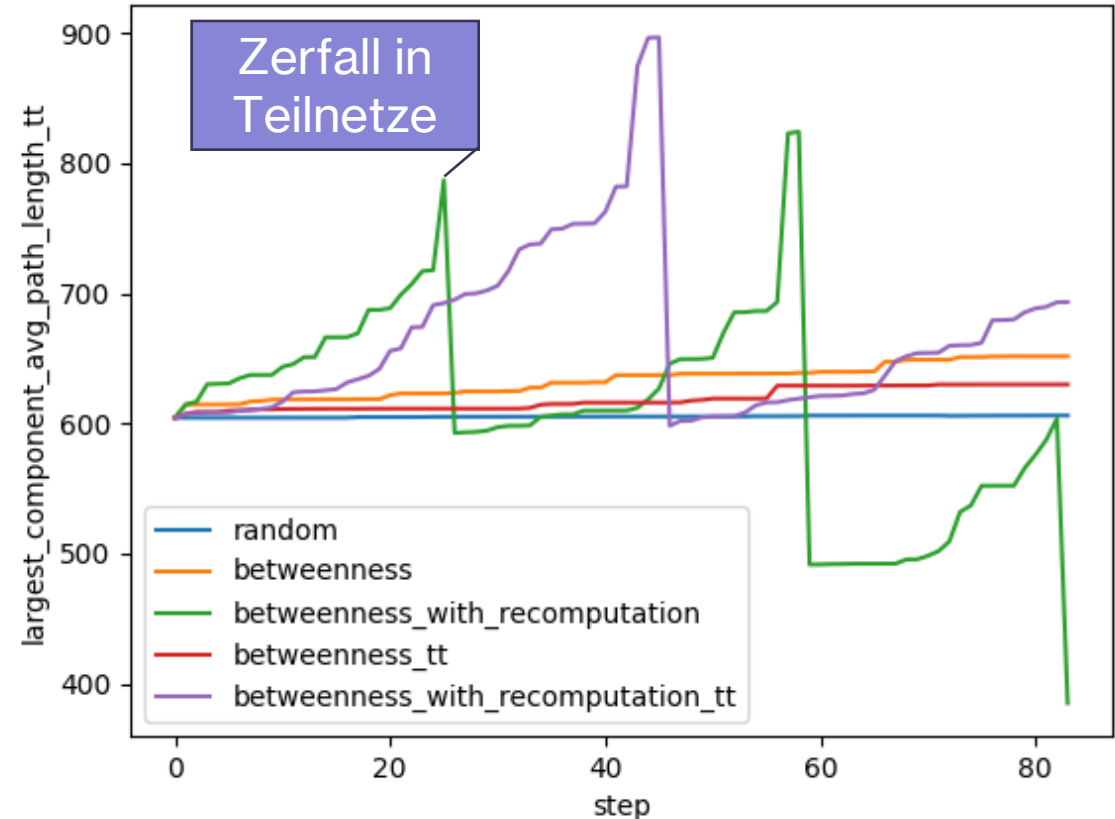
Auswertung

- Mittlere Pfadlänge des Gesamtnetzes (ggf. Gewichtung nach Reisezeit)
- Schritte bis zum Zerfall in Komponenten

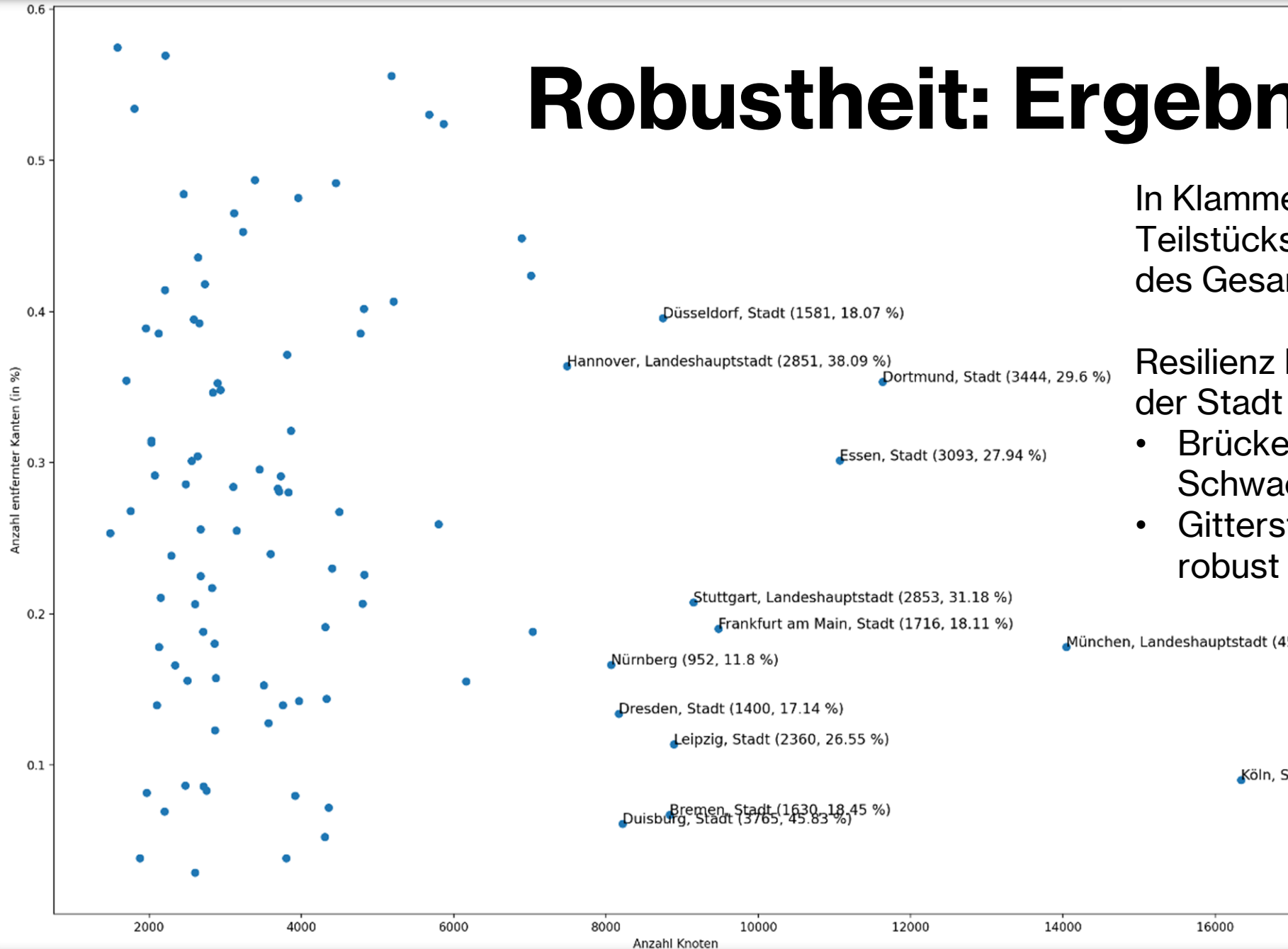
Ergebnisse

- Zufallsstrategie
 - Erhöht die Pfadlänge kaum
 - Keine signifikante Netzteilung, nur einzelne Knoten “abgekoppelt”
- Betweenness-Strategie
 - Sofort messbarer Anstieg der Weglängen
 - Sehr effizient, um einen Netzerfall herbeizuführen

Frankfurt a.M.



Robustheit: Ergebnisse



In Klammern: Größe des Teilstücks nach der Teilung des Gesamtnetzes

Resilienz hängt vom Aufbau der Stadt ab

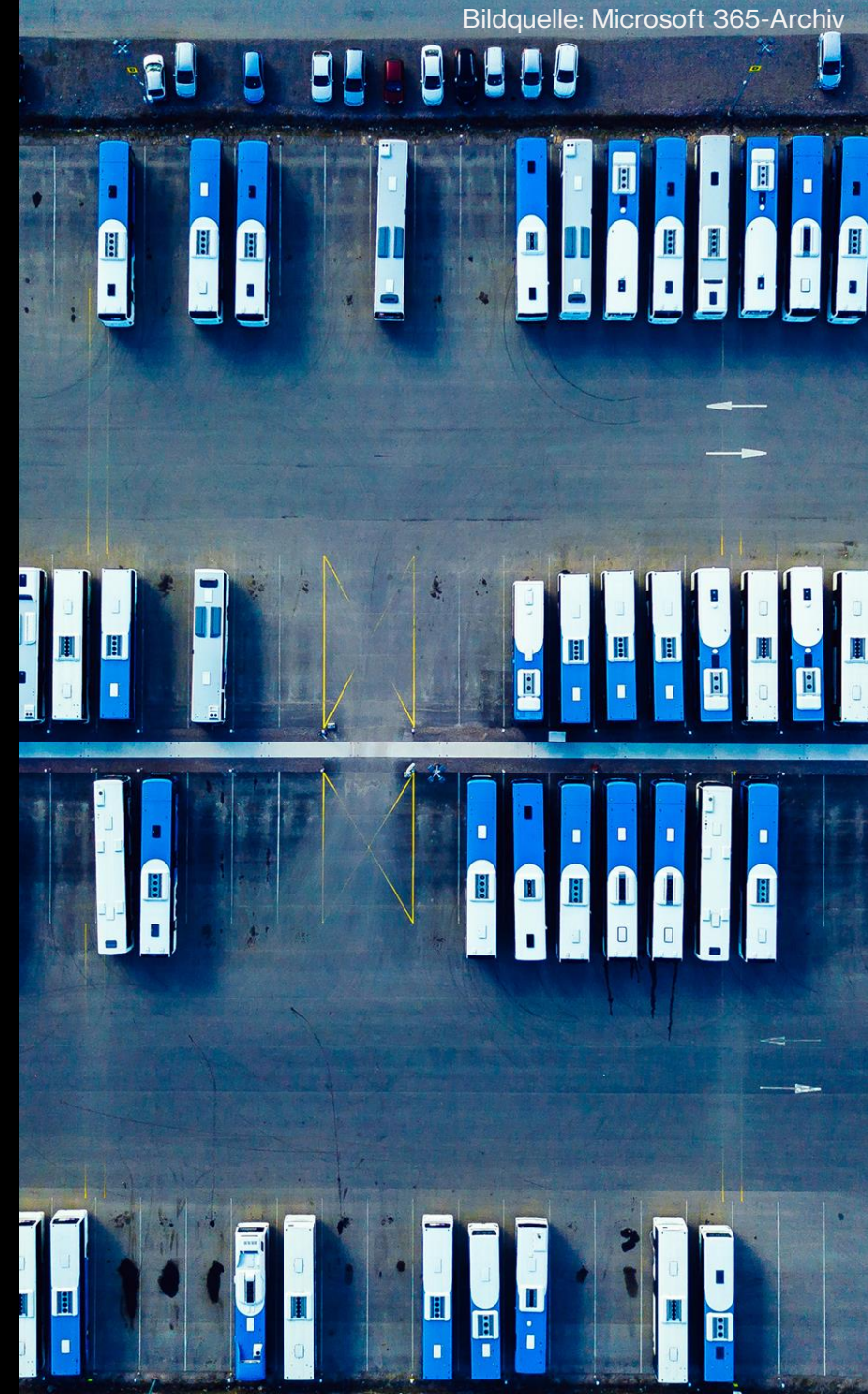
- Brücken sind oft Schwachstellen
- Gitterstrukturen sind sehr robust

Fazit

- OpenStreetMap:
 - Fantastische Datenquelle, kann wie vorgestellt ausgewertet werden
- Duale Repräsentation
 - Erweiterte Analyse von Straßennetzen, Hierarchien treten hervor
 - Small-World-Eigenschaften + Skalenfreiheit nachweisbar
- Zentralitätsmetriken hilfreich bei der Analyse von Stadtstrukturen
- Robustheitsauswertung zeigt kritische Stellen im Netz auf

Innovation:

- Web-Tool
- Reisezeit mit einbezogen
- Robustheit-Ansatz (Kanten, Strategien)



Danke für die Aufmerksamkeit! Fragen, bitte?



Bildquelle: Microsoft 365-Archiv