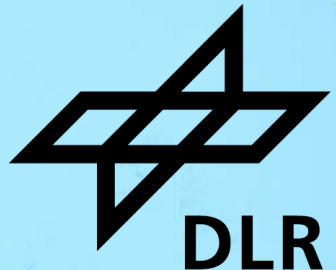


EINE VISUM-BASIERTE KRITIKALITÄTSANALYSE DES DEUTSCHEN STRAßENNETZES

Tudor Mocanu, Marc Dziakowski, Michael Ortgiese

PTV Mobility Anwenderseminar

Hannover, Mai 2026



Ausfälle der Verkehrsinfrastruktur mit schwerwiegenden Folgen sind leider keine Ausnahme...

Lange Staus am Morgen

Stadtautobahnbrücke in Berlin wird möglicherweise jahrelang gesperrt

»Massive Staus sind natürlich nicht zu vermeiden«: Eine Brücke in Berlin muss aus Sicherheitsgründen kurzfristig gesperrt werden und bleibt es womöglich jahrelang. Fast 100.000 Fahrer nutzten sie bislang täglich.

20.03.2025, 15:13 Uhr

3 Min

Alles anders als vor einem Jahr

+ Carolabrücke in Dresden: Wie der Kollaps Autofahrer, Radfahrer und ÖPNV beeinflusst hat



Stau auf der A100 in Richtung des gesperrten Bereichs. Foto: Sebastian Gellnow / dpa / get



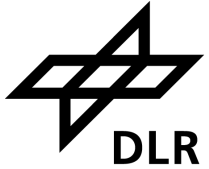
Dresden: Von der Carolabrücke ist kaum noch etwas übrig. Die Auswirkungen auf den Verkehr sind hingegen noch von langer Dauer.

Quelle: Robert Michael/dpa

- Verstärkter Fokus auf das Thema Resilienz
 - sinnvoll, da:
- Veralterung der Infrastruktur, insbesondere der Ingenieurbauwerke
- Begrenzte Kapazitäten für Instandsetzung

→ Instandsetzung sowie etwaiger Aus-/Neubau bedürfen einer **intelligenten Risikoanalyse und Priorisierung!**

Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit x Schadensausmaß



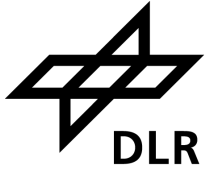
Eintrittswahrscheinlichkeit

- baulicher Zustand
- Exponiertheit zu natürlichen Ereignissen
- Verkehrszustand
- (komplexe) Betriebstechnologien
- gezielte Angriffe
- ...

Schadensausmaß

- Wie hoch ist der Schaden, der durch eine (längerfristige) Störung oder Ausfall verursacht wird?

Was verstehen wir unter einer „Kritikalitätsanalyse“ des Straßennetzes?



Wie kann die Bedeutung einzelner Netzabschnitte/-elemente für das Gesamtnetz (=„Kritikalität“) objektiv berechnet und bewertet werden?

Agenda:

1. Theoretische Grundlagen
2. Implementierung
3. Quo vadis?

Wie können negative Auswirkungen von Störungen quantifiziert werden?

- Mögliche Reaktionen:

- Anpassung der Routenwahl
- Anpassung der Verkehrsmittelwahl
- Anpassung der Zielwahl
- Anpassung des Tagesplans (Aktivitäten, Dauer, Uhrzeit)



→ (zunächst) Beschränkung auf Anpassungen in der Routenwahl!

Kritikalitätsindex nach Nagurney/Qiang (2008)

A network efficiency measure with application to critical infrastructure networks



- „**Performance**“ ε eines Netzes N unter der vorgegebenen Nachfrage T kann wie folgt quantifiziert werden:

$$\varepsilon(N, T) = \sum_{ij \in W} \frac{T_{ij}}{\lambda_{ij}}$$

mit λ_{ij} : Aufwand (z.B. Reisezeit) auf Relation ij

- „**Kritikalität**“ K eines Netzelementes n lässt sich dann wie folgt berechnen:

$$K(n) = \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{\varepsilon(N, T) - \varepsilon(N - n, T)}{\varepsilon(N, T)}$$

→ $K=0$: Netzelement ist völlig unkritisch; $K=1$: Netzelement ist maximal kritisch

Es gibt auch weitere (einfacher zu berechnende) Metriken für die Kritikalität.

■ geographisch

- z.B. Anzahl alternativer Strecken/Knoten in der unmittelbaren Umgebung

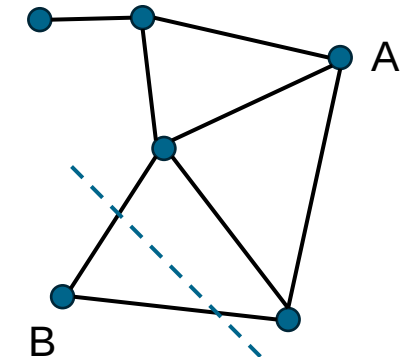
■ verkehrsplanerisch

- Kürzeste Alternativroute (Route für Umfahrung des Streckenabschnittes)

■ graphentheoretisch

- z.B. Minimal Cut Sets, Zentralitätsmaß

Beispielanwendung Minimal Cut Sets



Minimal Cut (A → B)

Beispielanwendung Kürzeste Alternativroute

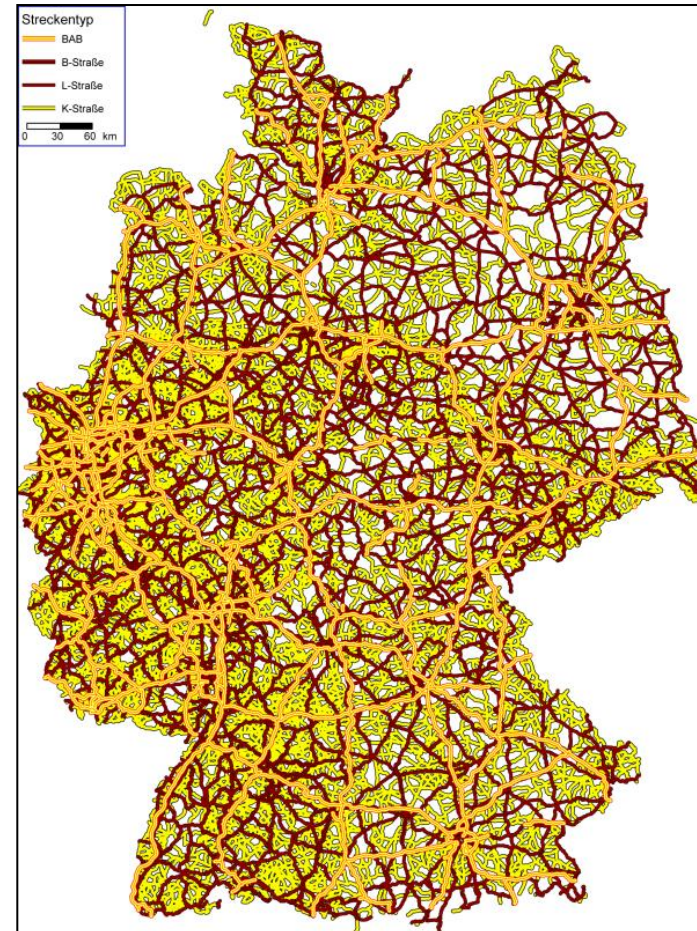


Die grundlegende Berechnungsmethodik ist einfach...

Vorgehensweise

- Python-Skript zur Steuerung der Berechnung
- Schleife über alle Netzabschnitte:
 - Sperre aktuellen Netzabschnitt
 - Rechne die Umlegung
 - Rechne die Kenngrößen
 - Berechnung des Kritikalitätswertes K nach der NQ-Methode
 - Speichern/Schreiben der Ergebnisse

Modellgrundlage: DEMO



- 6.633 Bezirke
- >17.000 (x2) Anbindungen
- >400.000 Knoten
- >1 Mio. Strecken

...funktioniert aber in so einem großen Netzmodell nicht ☹

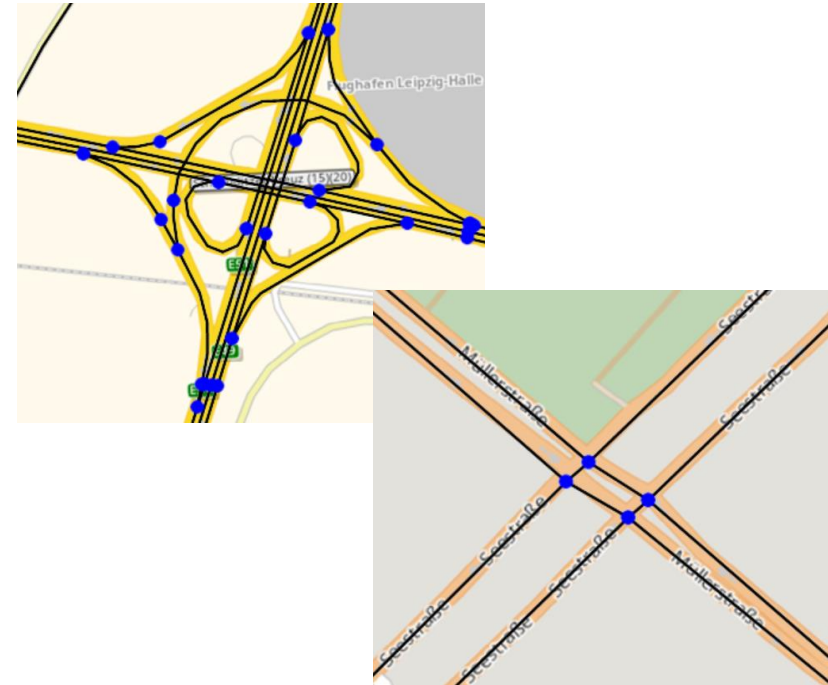
Einige Herausforderungen dabei:



Rechenzeit / Performance

- Laufzeit von Dijkstra hängt stark von den Kanten ab:
 $O(Kanten * \log(Knoten))$
- > 1 Millionen Kanten und 6.633 Bezirken dauert eine Gleichgewichtsumlegung ca. 60 Minuten

Netzkomplexität



- Um eine handhabbare Rechenzeit zu erreichen ist eine **drastische Netzvereinfachung** notwendig!

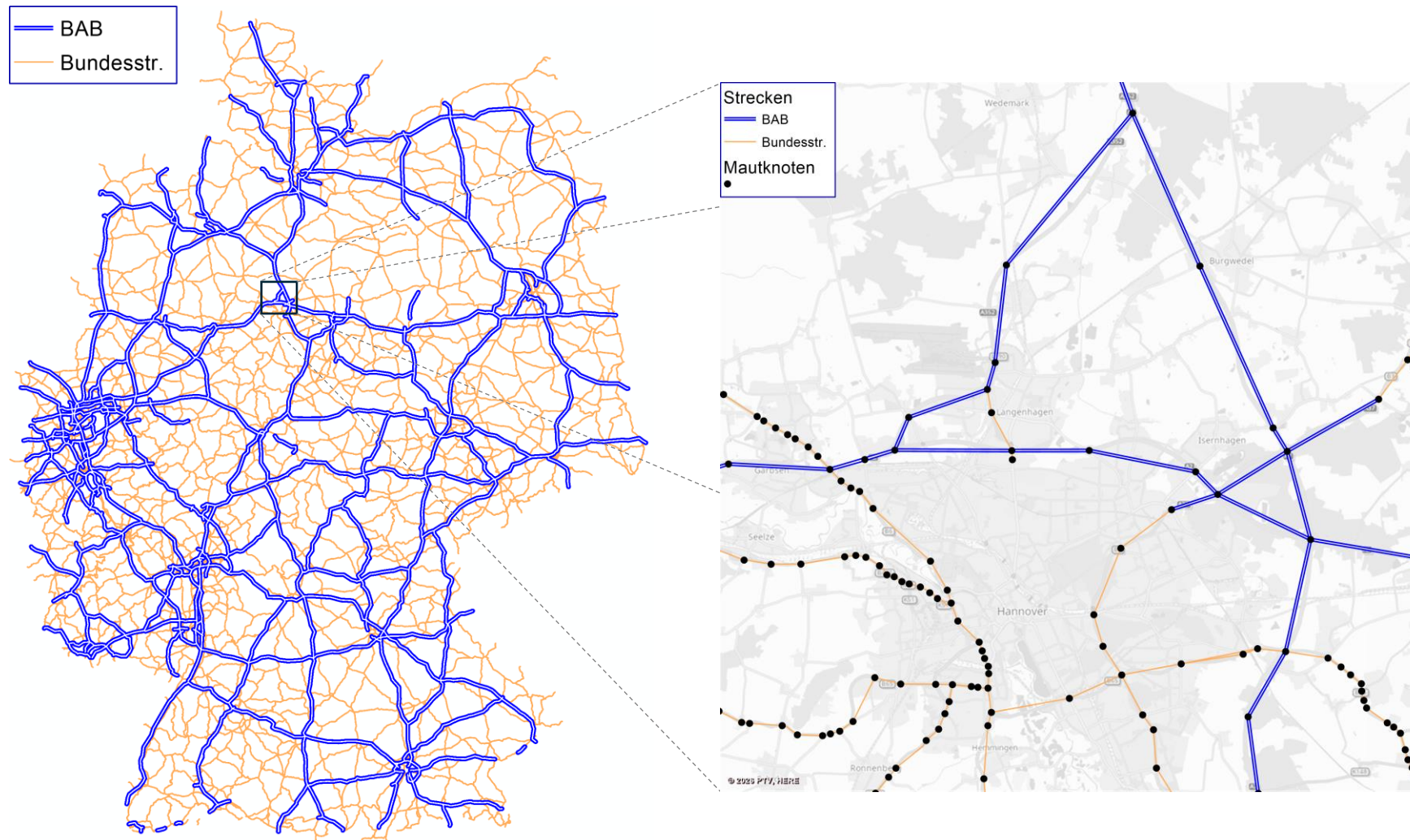
Für das deutsche Fernstraßennetz gibt es bereits eine topologisch vereinfachte Datengrundlage

- TollCollect Lkw-Verkehrsportal
<https://webgis.toll-collect.de/verkehrsportal/>
 - Zur Erhebung der Lkw-Maut ist das Bundesfernstraßennetz in rund **138.000 Tarifabschnitte** aufgeteilt, davon entfallen 5.750 Tarifabschnitte auf Autobahnen und die übrigen auf Bundesstraßen (Stand März 2025).
 - Ein Tarifabschnitt beginnt bzw. endet überall dort, wo in das Mautnetz ein- oder aus ihm ausgefahren werden kann sowie an Kreuzungspunkten von mautpflichtigen Straßen.



Screenshot webgis.toll-collect.de

Für das deutsche Fernstraßennetz gibt es bereits eine topologisch vereinfachte Datengrundlage



- keine richtungsgetrennte Fahrbahnen
- einfache Knoten
- **sehr einfache Topologie**
- keine Attribute zu
 - Kapazität
 - Anzahl FS
 - Geschwindigkeitsbegrenzung

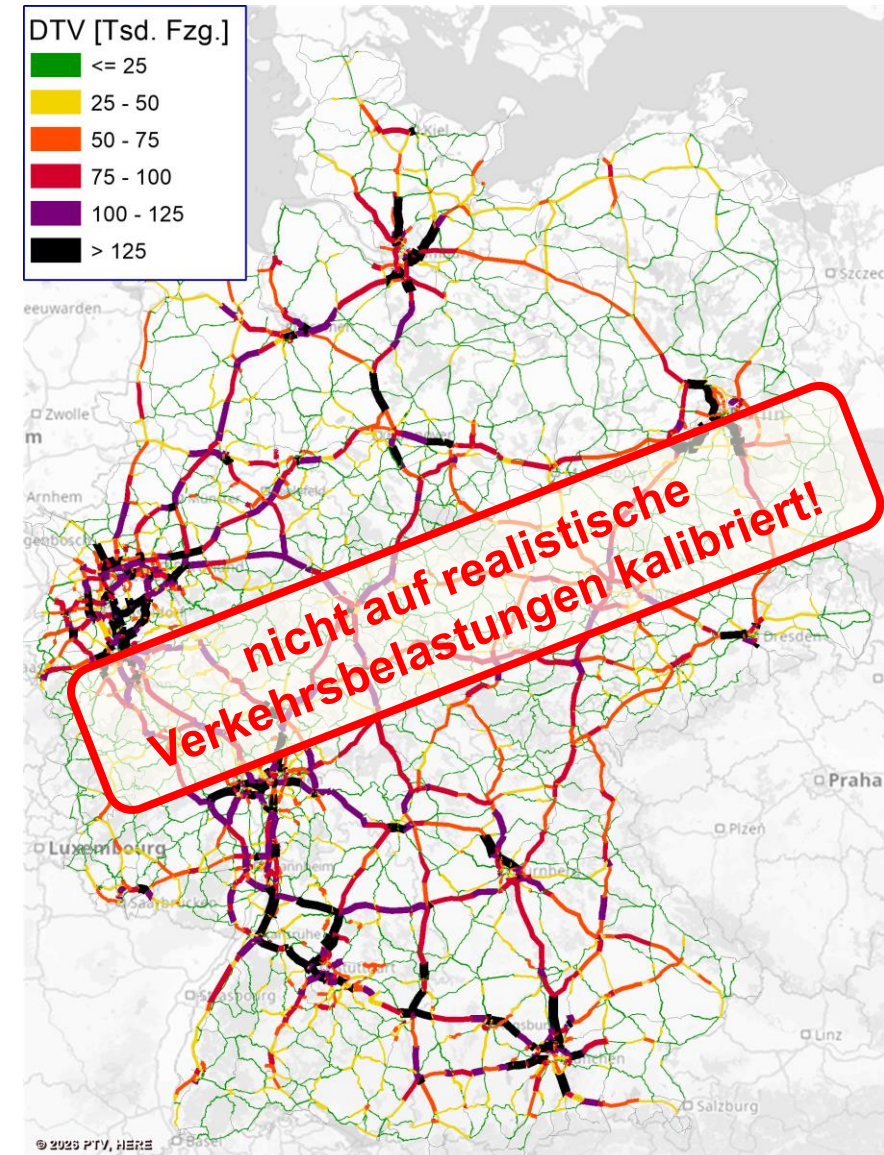
Vorbereitung und Durchführung der Kritikalitätsanalyse

- **Verkehrsnachfrage**

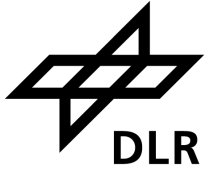
- Grundlage: Verkehrsprognose 2040
- Kreisebene
- nur MIV

- **Anbindungen:**

- 5-10 pro Bezirk
- automatisch gesetzt, händische Nachpflege



Vorbereitung und Durchführung der Kritikalitätsanalyse



■ Verkehrsnachfrage

- Grundlage: Verkehrsprognose 2040
- Kreisebene
- nur MIV

■ Anbindungen:

- 5-10 pro Bezirk
- automatisch gesetzt, händische Nachpflege

■ Steuerung

- Python-Skript, inkl. Parallelisierung

■ Rechenzeiten

- ca. 15s pro Netzabschnitt
- insgesamt:

15s x 11.000 / 5 = 33.000s = 9,2 Stunden
(5 parallele Berechnungen)

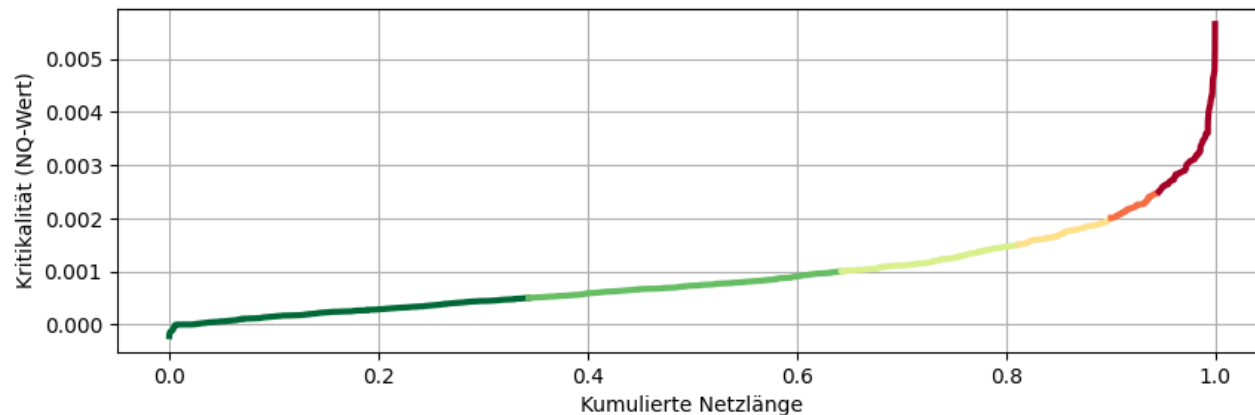
Anzahl:	8	usführung	Aktiv	Verfahren	Bezugsobjekt(e)	Variante/Datel	Meldungen	Kommentar
1			☐	Gruppe Nachfrage aufbereiten ...	2 - 4			Nachfrage aufbereiten
5			☒	Gruppe Berechnungen	6 - 8			Berechnungen
6			☒	IV-Umlegung	P PKW	Gleichgewichtsumlegung	✓	
7			☒	IV-Kenngrößenmatrix berechnen	P PKW		✓	
8			☒	Kombination von Matrizen und Vektoren	Matrix(9) := Matrix(1) / Matrix(3)		2 Hinweise ✓	

```
RunVisumUmlegung_MoT.py 1 X
Kritikalität > RunVisumUmlegung_MoT.py > ...
1 import pandas as pd
2 import win32com.client
3 import time
4 import numpy as np
5 from concurrent.futures import ProcessPoolExecutor
6 from tqdm import tqdm
7
8 from VisumPy_helpers import GetMatrixRaw as GMR, GetMatrix as GM
9
10 # silence np divide by zero warnings
11 np.seterr(divide='ignore', invalid='ignore')
12
13 VER_PATH = r"V:\Projekte\INTERMOVE\PTV AWS 2026\Kritikalität\network_verkleinert_MoT.ver"
14 LINKS_PATH = (r"V:\Projekte\INTERMOVE\PTV AWS 2026\Kritikalität\links_verkleinert_MoT.csv")
15 LINKS_PATH_OUTPUT = r"V:\Projekte\INTERMOVE\PTV AWS 2026\Kritikalität\links_assignment_verkleinert_MoT_tst.csv"
16
17 VISUM_COM = "Visum.Visum.220"
18 ASSIGNMENT_OPERATION_NO = 6
19
20 NUM_PROC = 4
21
22 TT_ATTR = "VEHOURTRAVTUR(AP)"
23 DIST_ATTR = "VEHKMTRAVPRT(AP)"
24
25 def find_reverse_row(df, row_idx):
26
27     row = df.loc[row_idx]
28
29     link_id = row["id"]
30     from_node = int(row["from"])
31     to_node = int(row["to"])
32
33     reverse_candidates = df[
34         (df["id"] == link_id) &
35         (df["from"] == to_node) &
36         (df["to"] == from_node)
37     ]
38
39     reverse_candidates = reverse_candidates.drop(index=row_idx, errors="ignore")
40
41     if reverse_candidates.empty:
42         raise ValueError()
```

- Sperre aktuellen Netzabschnitt
- Rechne die Umlegung
- Rechne die Kenngrößen
- Berechnung des NQ-Performancewertes
- Speichern/Schreiben der Ergebnisse

Wie sieht nun die Kritikalität des deutschen Autobahnnetzes aus?

- absolute Kritikalitätswerte sind relativ niedrig!
- kritische Abschnitte v.a.
 - in Süddeutschland (A6, A8)
 - in NRW (A1, A4)
 - im Norden (A1, A23, A27)

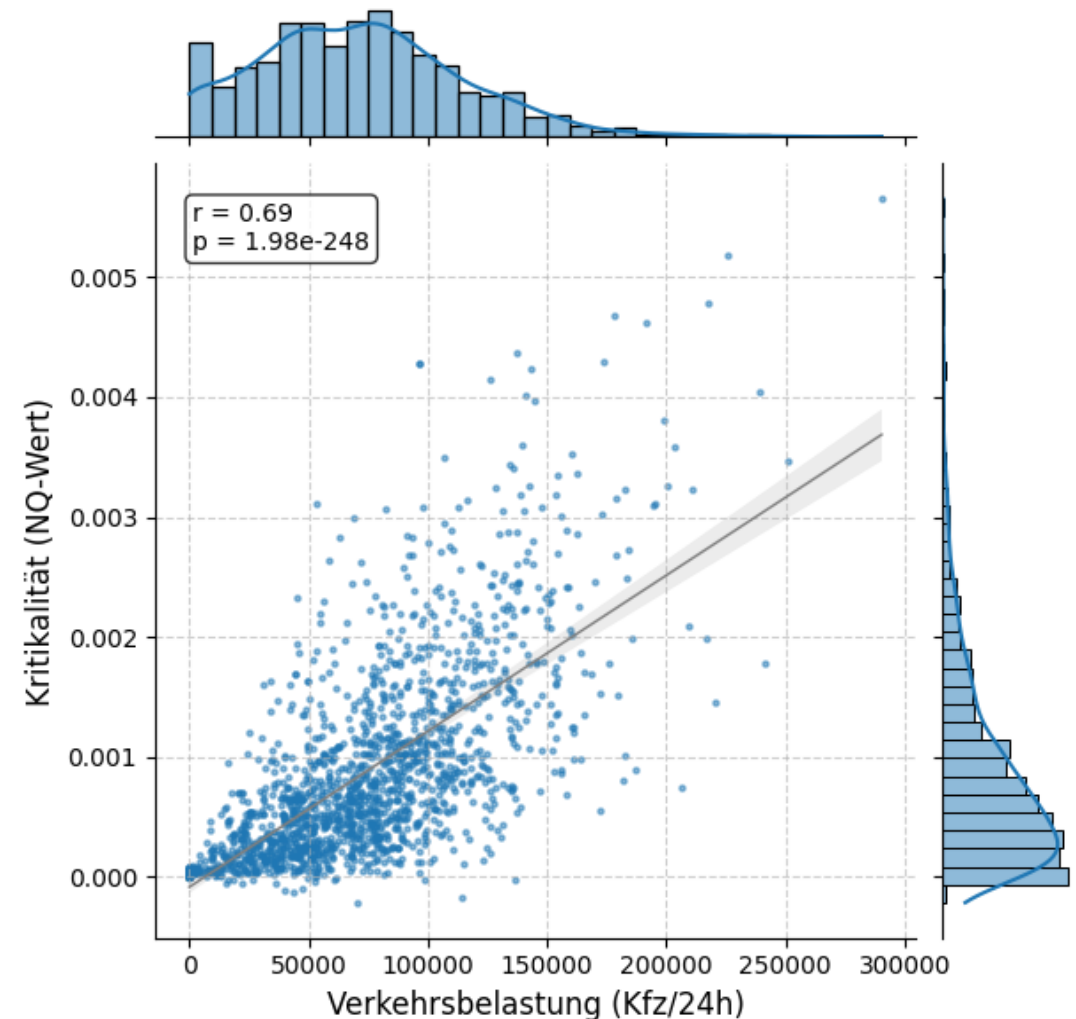


Ist die Verkehrsbelastung ein guter Schätzer für die Kritikalität eines Netzabschnittes?

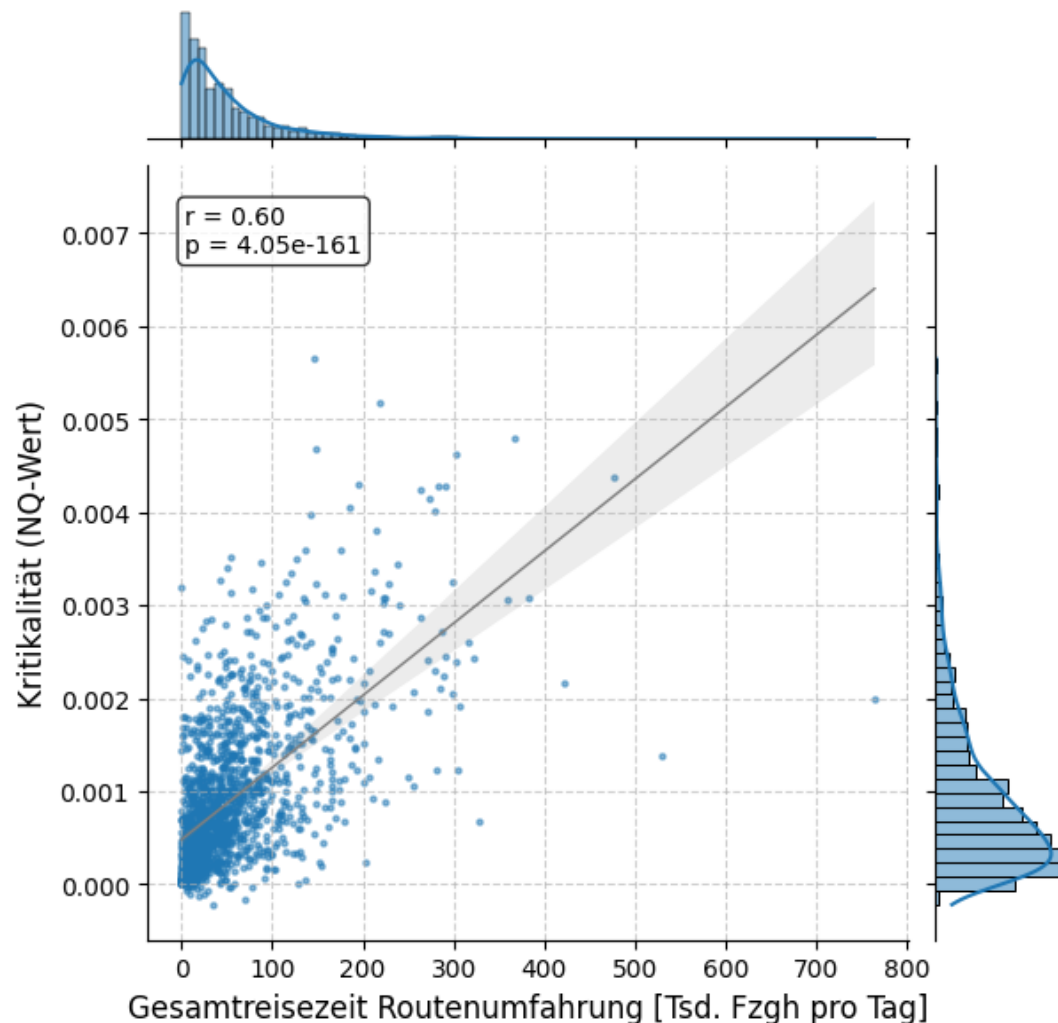
- es gibt eine klare und stark ausgeprägte Korrelation

aber:

- hohe Streuung
- einige Strecken mit hoher Kritikalität bei mittleren Verkehrsbelastung
- einige Strecken mit niedriger Kritikalität bei hoher Verkehrsbelastung



Die alternative (Gesamt-)Reisezeit ist auch kein guter Schätzer der Kritikalität



- Korrelation vorhanden, aber deutlich schwächer als bei der Verkehrsbelastung

→ kann alleine als Bewertungskriterium nicht verwendet werden!

Wie kann die Bedeutung einzelner Netzabschnitte/-elemente für das Gesamtnetz (=„Kritikalität“) objektiv berechnet und bewertet werden?

- Vermutlich einfache Fragestellung lässt sich in der Praxis für große Netze nur schwierig beantworten
 - Bisher nur mit einem stark vereinfachten Verkehrsnetz möglich
- Zielkonflikt Aussagekraft vs. Handhabbarkeit?

Welche Schritte stehen noch bevor?



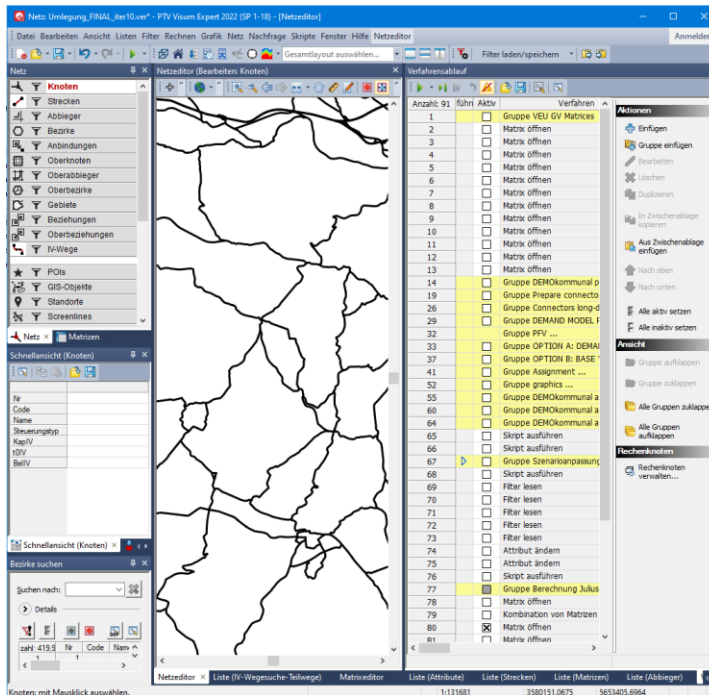
- Automatisierte Netzvereinfachung
- Beschleunigung
- Erweiterung auf weitere Modellstufen
- Weiterverfolgung „schneller“ Methoden
- Erweiterung auf andere Domänen

Vision eines Tools zur Berechnung von Kritikalitäten auf Basis eines beliebigen Verkehrsmodells

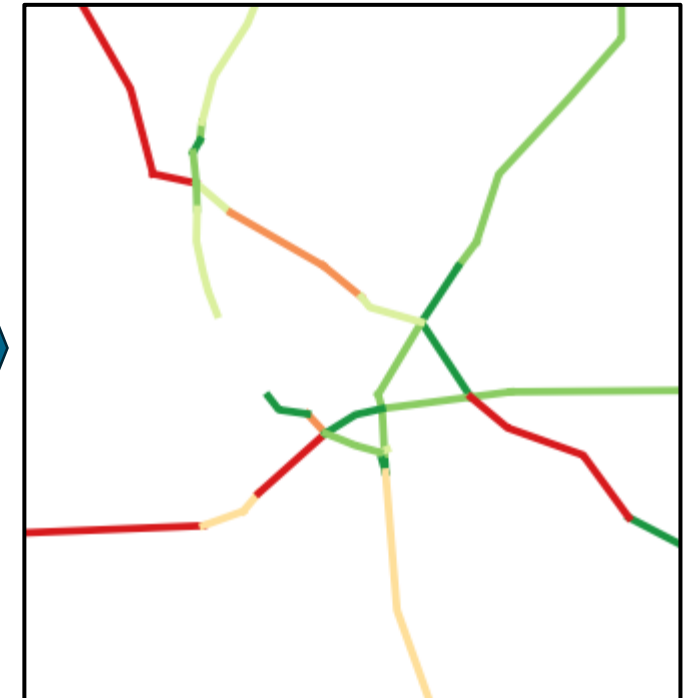
Ihr (Visum-)Modell

+ DLR-Tool

= Kritikalitätsanalyse



- Automatisierte Modellanpassung- und Integration
- Durchführung der Berechnungen
- Ergebnisaufbereitung- und Auswertung



■ Melden Sie sich gerne bei Interesse an einer Pilotanwendung bei uns!

Thema: **Eine Visum-basierte Kritikalitätsanalyse des deutschen Straßennetzes**

Datum: 2026-05-19

Autoren: Tudor Mocanu, Marc Dziakowski, Michael Ortgiese

Institut: DLR Institut für Verkehrsforschung

Bildquellen: Alle Bilder „DLR (CC BY-NC-ND 3.0)“,
sofern nicht anders angegeben