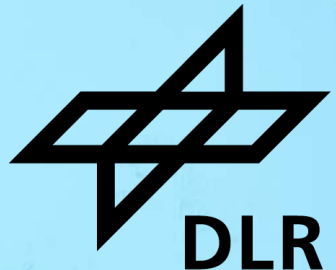
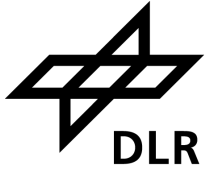


EINE VISUM-BASIERTE KRITIKALITÄTSANALYSE DES DEUTSCHEN STRAßENNETZES

Tudor Mocanu, Marc Dziakowski, Michael Ortgiese
PTV Mobility Anwenderseminar
Hannover, Mai 2026



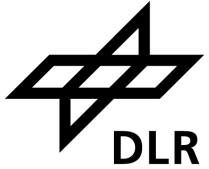
Ausfälle der Verkehrsinfrastruktur mit schwerwiegenden Folgen sind leider keine Ausnahme...



- 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



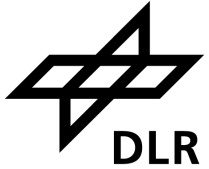
Eintrittswahrscheinlichkeit

- 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:

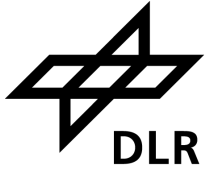
- Anpassung der Routenwahl
- Anpassung der Verkehrsmittelwahl
- Anpassung der Zielwahl
- Anpassung des Tagesplans (Aktivitäten, Dauer, Uhrzeit)



→ (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

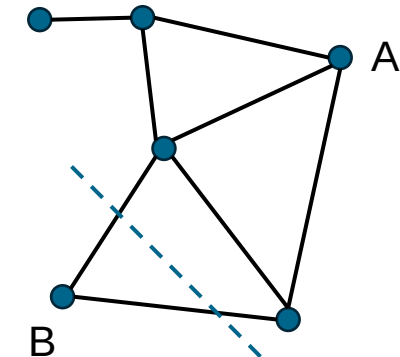
■ verkehrsplanerisch

- 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

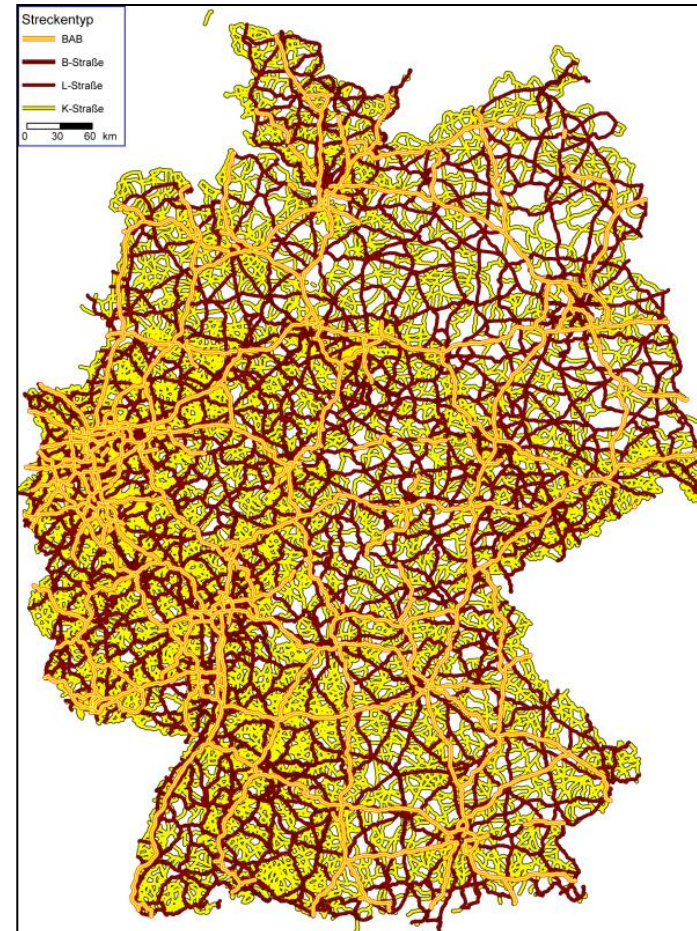


Die grundlegende Berechnungsmethodik ist einfach...

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 ☹

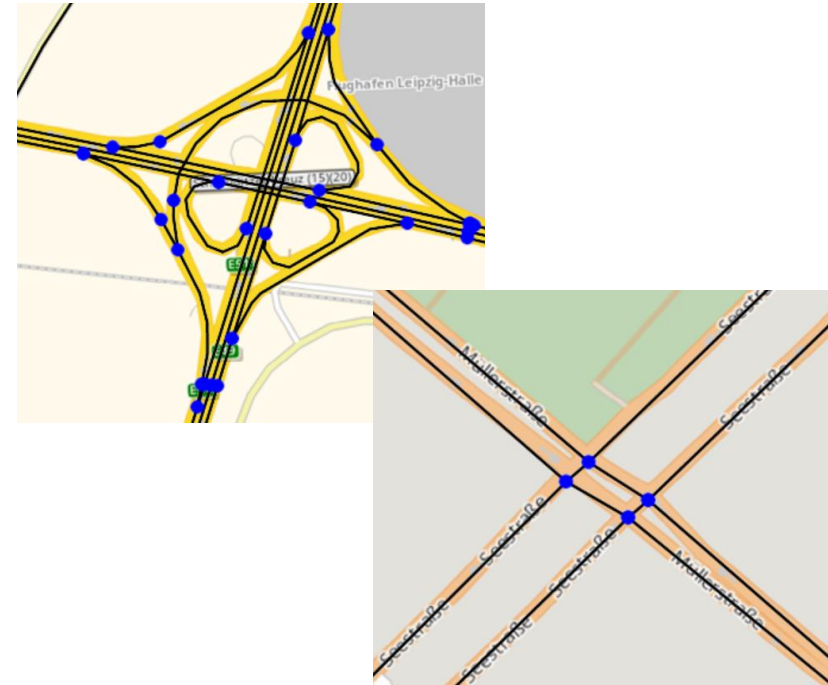
Einige Herausforderungen dabei:



Rechenzeit / Performance

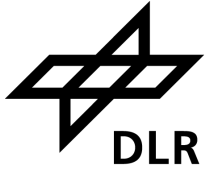
- Laufzeit von Dijkstra hängt stark von den Kanten ab:
 $O(Kanten * \log(Knoten))$
- > 1 Millionen Kanten und 6.633 Bezirken dauert eine Gleichgewichtsumlegung ca. 60 Minuten

Netzkomplexität



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

Für das deutsche Fernstraßennetz gibt es bereits eine topologisch vereinfachte Datengrundlage

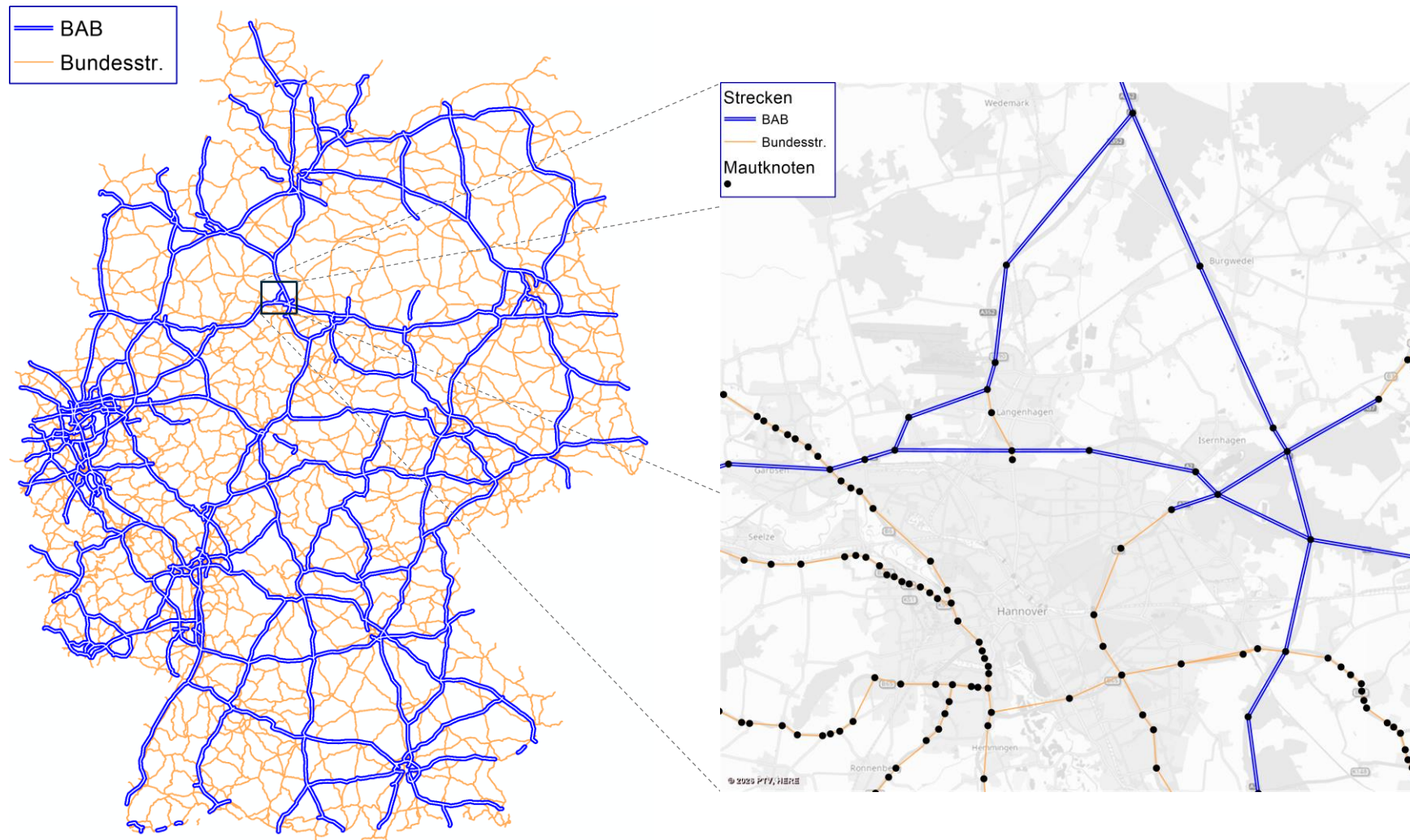


- TollCollect Lkw-Verkehrsportal

<https://webgis.toll-collect.de/verkehrsportal/>

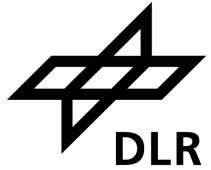
- *Zur Erhebung der Lkw-Maut ist das Bundesfernstraßennetz in rund **138.000 Tarifabschnitte** aufgeteilt, davon entfallen 5.750 Tarifabschnitte auf Autobahnen und die übrigen auf Bundesstraßen (Stand März 2025).*
 - *Ein Tarifabschnitt beginnt bzw. endet überall dort, wo in das Mautnetz ein- oder aus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

Für das deutsche Fernstraßennetz gibt es bereits eine topologisch vereinfachte Datengrundlage

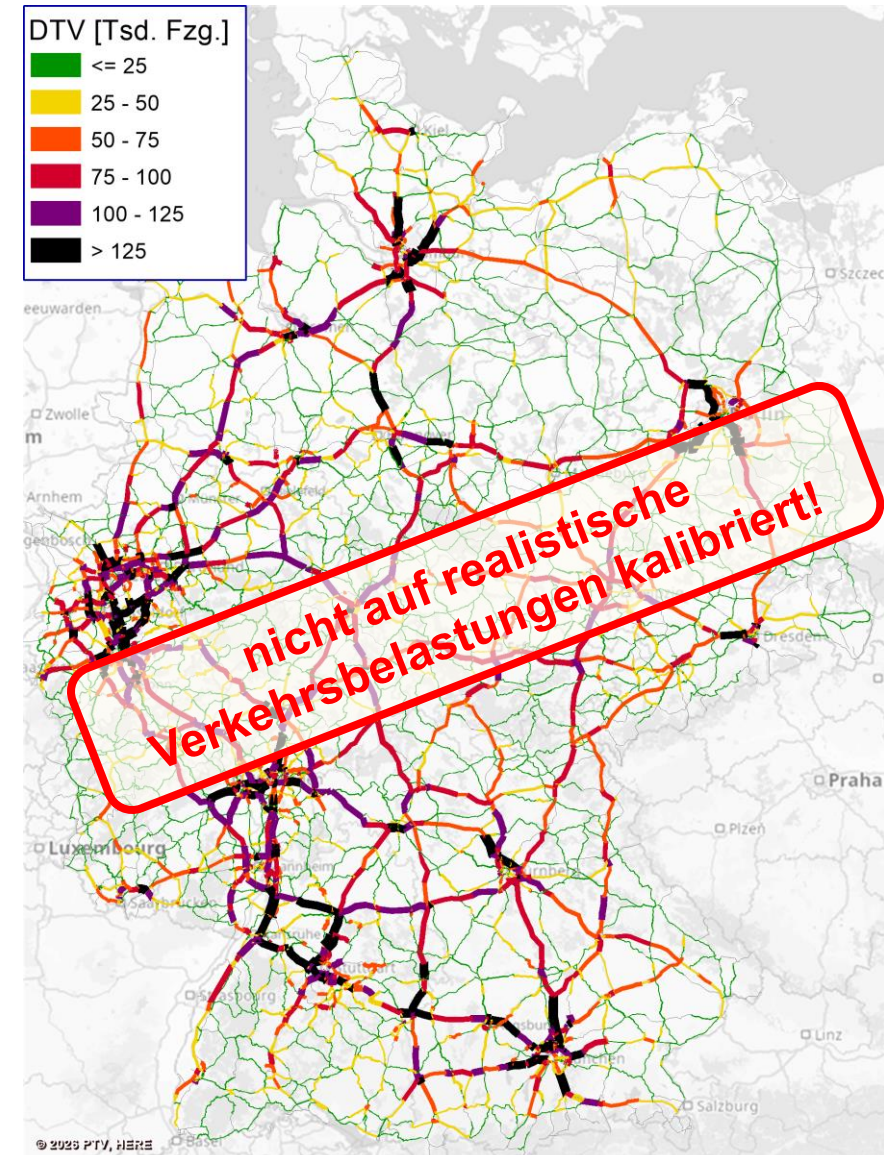


- keine richtungsgetrennte Fahrbahnen
 - einfache Knoten
- **sehr einfache Topologie**
- keine Attribute zu
 - Kapazität
 - Anzahl FS
 - Geschwindigkeitsbegrenzung

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)

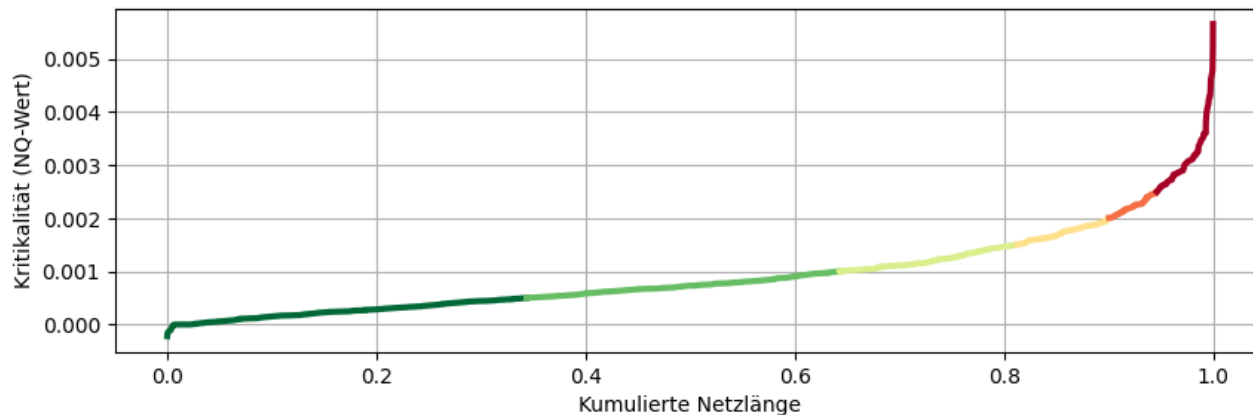
Anzahl:	8	usführung	Aktiv	Verfahren	Bezugsobjekt(e)	Variante/Datel	Meldungen	Kommentar
1			☐	Gruppe Nachfrage aufbereiten ...	2 - 4			Nachfrage aufbereiten
5			☒	Gruppe Berechnungen	6 - 8			Berechnungen
6			☒	IV-Umlegung	P PKW	Gleichgewichtsumlegung	✓	
7			☒	IV-Kenngrößenmatrix berechnen	P PKW		✓	
8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

```
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 = "VEHOURTRAVTCUR(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)

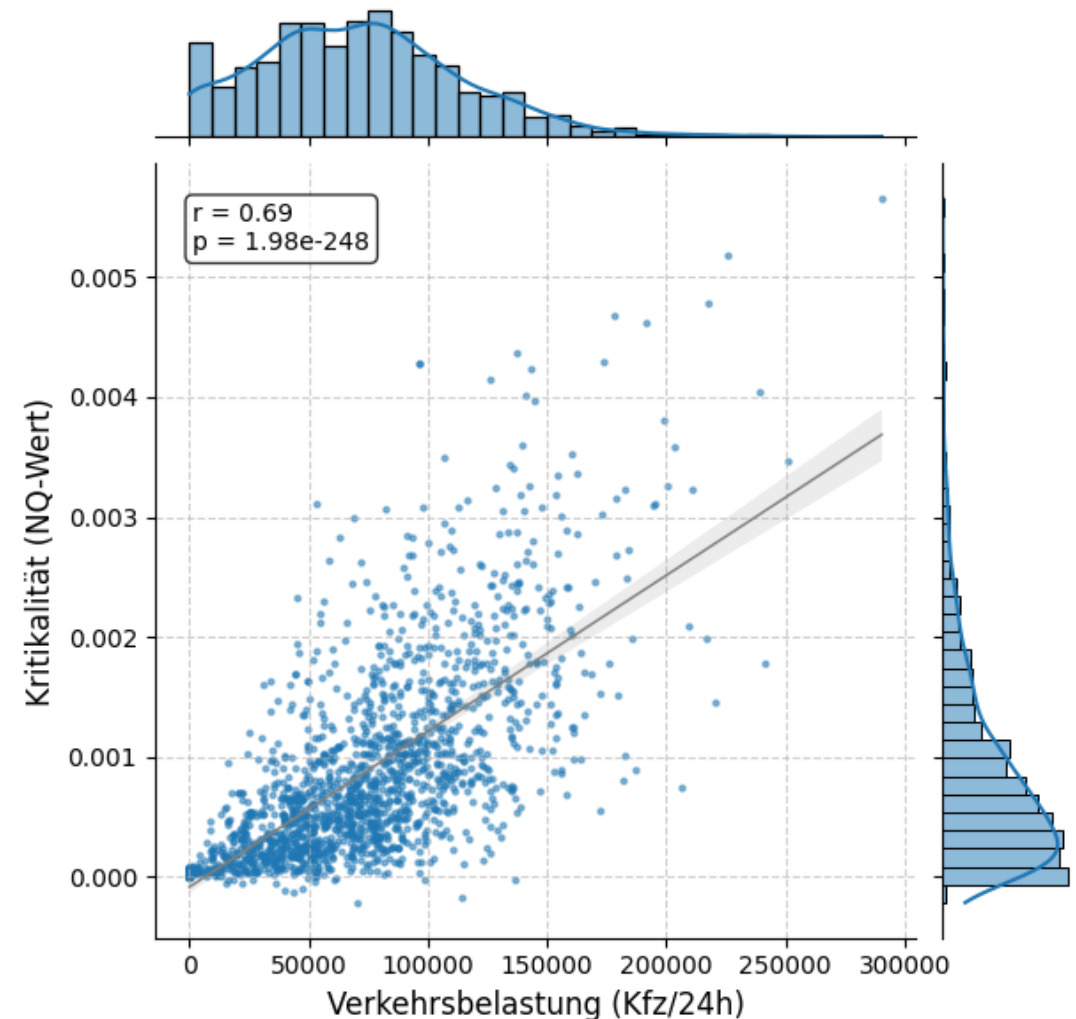


Ist die Verkehrsbelastung ein guter Schätzer für die Kritikalität eines Netzabschnittes?

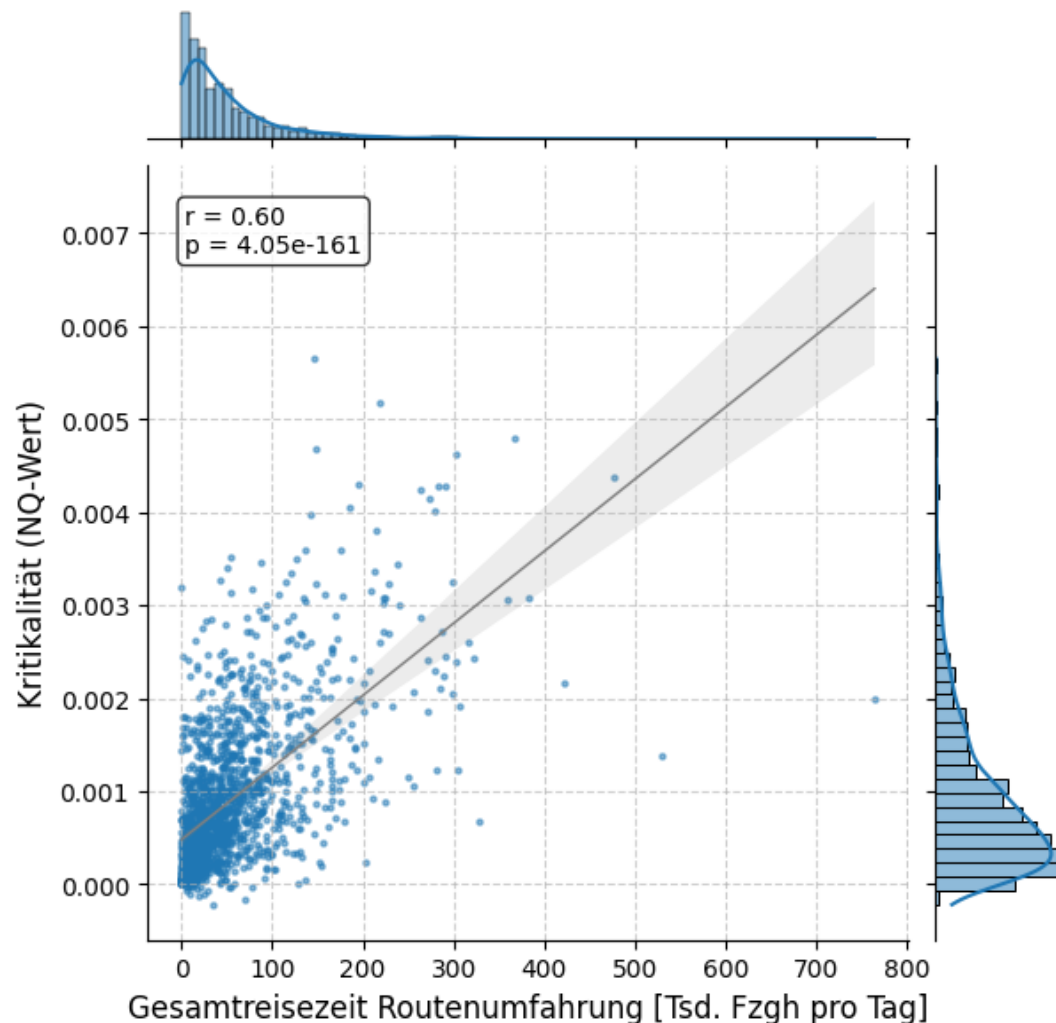
- es gibt eine klare und stark ausgeprägte Korrelation

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?



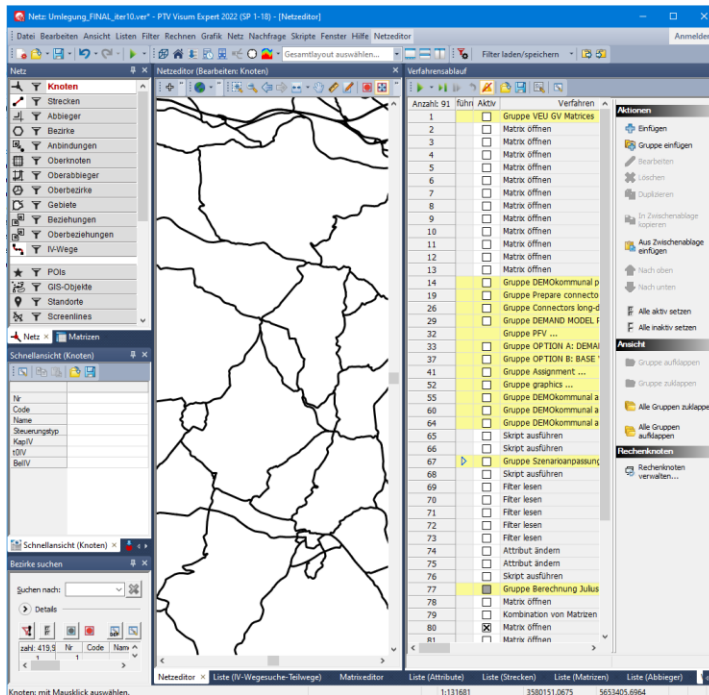
- Automatisierte Netzvereinfachung
- Beschleunigung
- Erweiterung auf weitere Modellstufen
- Weiterverfolgung „schneller“ Methoden
- Erweiterung auf andere Domänen

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

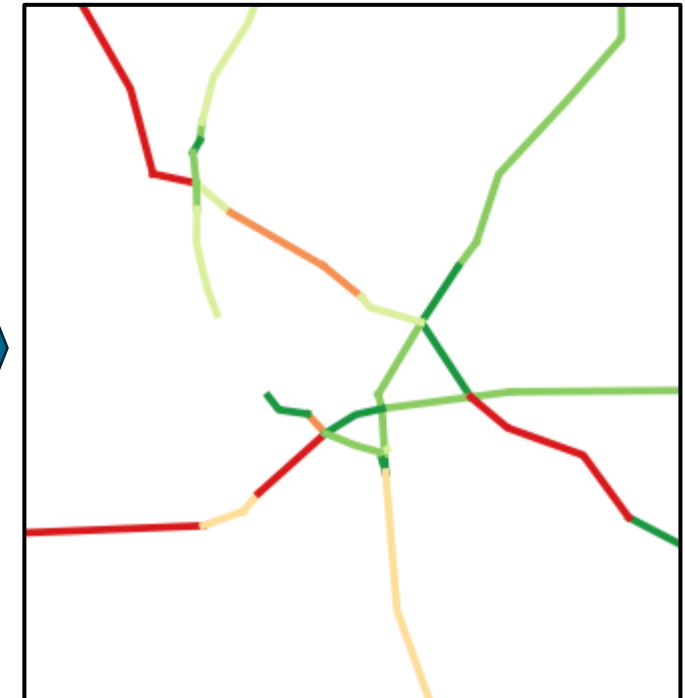
Ihr (Visum-)Modell

+ 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