

Simulative Szenarienanalyse zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Schwerverkehrsanteile auf den Geschwindigkeit-Verkehrsstärke-Zusammenhang auf städtischen Straßenabschnitten

Dipl.-Wi.-Ing. Gundolf Jakob

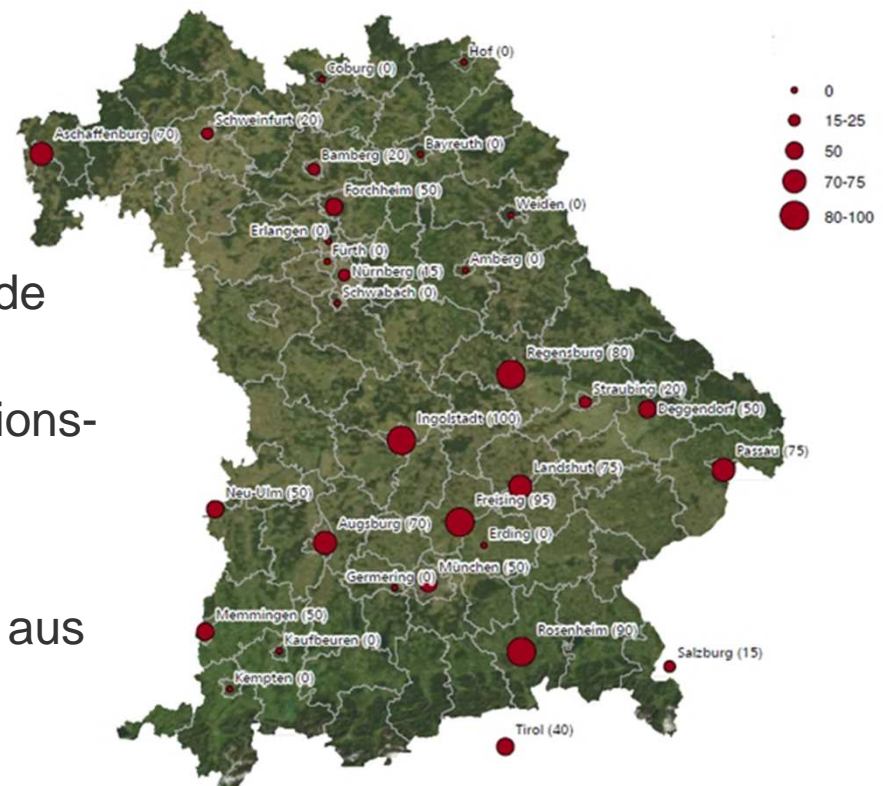
Konferenz „Verkehrsökonomik und -politik“
Berlin
02.06. - 03.06.2016

Agenda

1. Einführung
2. Thematische Abgrenzung
3. Mikroskopische Modellierung:
 - Grundlagen und Ablauf
 - Modelle für das Fahrverhalten
 - Implementierung eines Netzausschnitts
 - Kalibrierung und Validierung
4. Sensitivitätsanalyse
5. Zusammenfassung und Ausblick

Einführung: Motivation und Zielsetzung

- Geringe Verfügbarkeit an Detektionseinrichtungen in vielen kleinen und mittelgroßen Städten zur Erfassung der aktuellen Verkehrslage
- Einsatz und Wartung der bislang zur Verfügung stehenden Sensortypen ist personal- und kostenintensiv
- Alternative und kostengünstige Methode zur Verkehrslagebestimmung
→ Bewegungsdaten (z.B. aus Navigationsgeräten in Fahrzeugen)
- Berechnung aktueller Verkehrsstärken aus Geschwindigkeitsinformationen als komplexe Herausforderung



Quelle: Oberste Baubehörde im Bay. Innenministerium, eigene Angaben der Städte (2009)

Einführung: Fokus Schwerverkehr im urbanen Raum

- Prognose:
 - weitere Zunahme des Schwerverkehrs
 - Zunahme des Gewichts entsprechender Fahrzeuge
- Ursachen:
 - Wirtschaftswachstum, Globalisierung
(z.B. Anlieferung von Kfz-Teilen für Hersteller, Lebensmittel)
 - Urbanisierung
(z.B. Baustellen im Rahmen der Entwicklung neuer Stadtteile, Wohnungsbau)
- Auswirkungen:
 - Beeinträchtigungen im Verkehrsablauf (ökonomisch)
 - verstärkte Abnutzung von Straßen (ökonomisch)
 - Schadstoffausstoß (ökologisch, gesundheitlich)
 - Lärm (ökologisch, gesundheitlich)

-> Wie wirkt sich Schwerverkehr auf den Verkehrsablauf im urbanen Raum aus?

Thematische Abgrenzung: Funktionen zum q-v-Zusammenhang

Entwicklung diverser Funktionen (sog. VDF, volume-delay function) mit unterschiedlichen Ansätzen und Anwendungsfeldern:

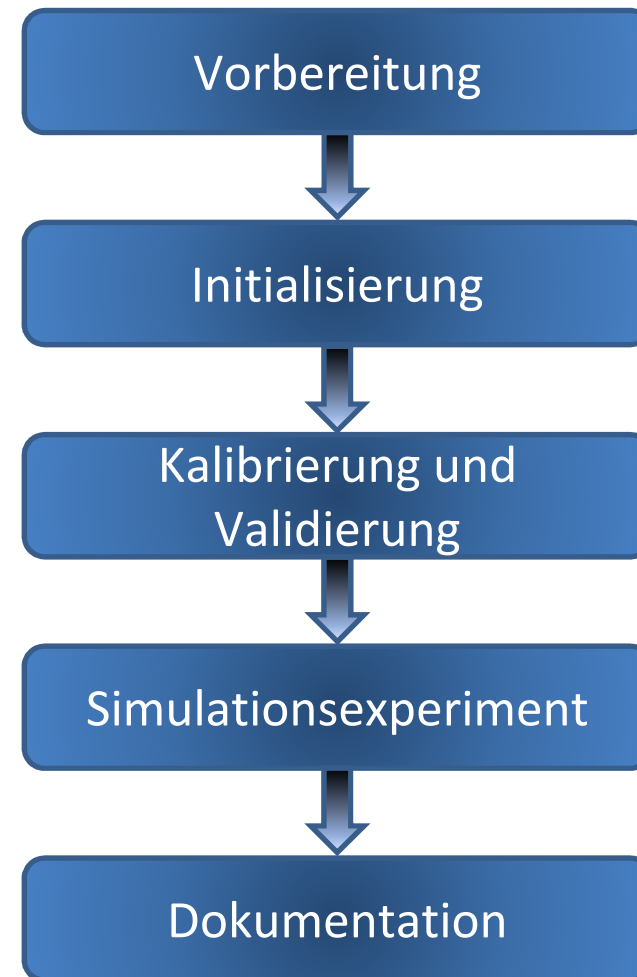
- BPR-Funktion
- Konisches Modell
- Davidson-Modell
- Akcelik-Funktion

zFunction	Mathematical Forms	Derivatives
BPR	$u = \frac{u_0}{[1.0 + \alpha(x)^\beta]}$	$\frac{du}{dx} = -\frac{\alpha\beta u_0 x^{\beta-1}}{(1 + \alpha x^\beta)^2}$
Conical	$u = \frac{u_0}{[2 + \sqrt{\beta^2(1-x)^2 + \alpha^2} - \beta(1-x) - \alpha]}$ where, $\alpha = \frac{\beta - 0.5}{\beta - 1}$ and $\beta > 1$	$\frac{du}{dx} = \frac{-u_0}{[2 + \sqrt{\beta^2(1-x)^2 + \alpha^2} - \beta(1-x) - \alpha]^2} \left[\frac{\beta^2(x-1)}{\sqrt{\beta^2(1-x)^2 + \alpha^2}} + \beta \right]$
Modified Davidson	$u = \begin{cases} \frac{u_0}{1 + \frac{Jx}{(1-x)}}, & \text{for } x \leq \mu(i) \\ \frac{u_0}{1 + \frac{J\mu}{(1-\mu)} + \frac{J(x-\mu)}{(1-\mu)^2}}, & \text{for } x > \mu(ii) \end{cases}$	$\frac{du}{dx} = \begin{cases} \frac{-Ju_0}{[1 + (J-1)x]^2} & \text{for } x \leq \mu \\ \frac{-Ju_0}{[1 + (J-1)\mu + \frac{J(x-\mu)}{1-\mu}]^2} & \text{for } x > \mu \end{cases}$
Akcelik	$u = \frac{u_0}{\left[1 + 0.25u_0 \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{8rx}{u_0c}} \right] \right]}$	$\frac{du}{dx} = \frac{-0.25u_0^2}{\left[1 + 0.25u_0 \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{8rx}{cT}} \right] \right]^2} \left[1 + \frac{(x-1) + \frac{4r}{cT}}{\sqrt{(x-1)^2 + \frac{8rx}{cT}}} \right]$

Quelle: Mtoi, E.T. and Moses, R.: Calibration and Evaluation of Link Congestion Functions: Applying Intrinsic Sensitivity of Link Speed as a Practical Consideration to Heterogeneous Facility Types within Urban Network. Journal of Transportation Technologies, 4, 141-149 (2014)

Mikroskopische Modellierung: Grundlagen und Ablauf

- Analyse der Auswirkung verschiedener SV-Anteile auf den Verkehrsablauf anhand mikroskopischer Simulation
- Eingesetzte Simulationssoftware: VISSIM (PTV AG, Karlsruhe)
 - Simulation des Verkehrsflusses anhand „Fahrer-Fahrzeug-Einheiten“
 - Charakterisierung durch technische Spezifikation des Fahrzeugs, Verhalten von Fahrer-Fahrzeug-Einheiten und Abhängigkeiten zwischen entsprechenden Einheiten



Mikroskopische Modellierung: Modelle für das Fahrverhalten

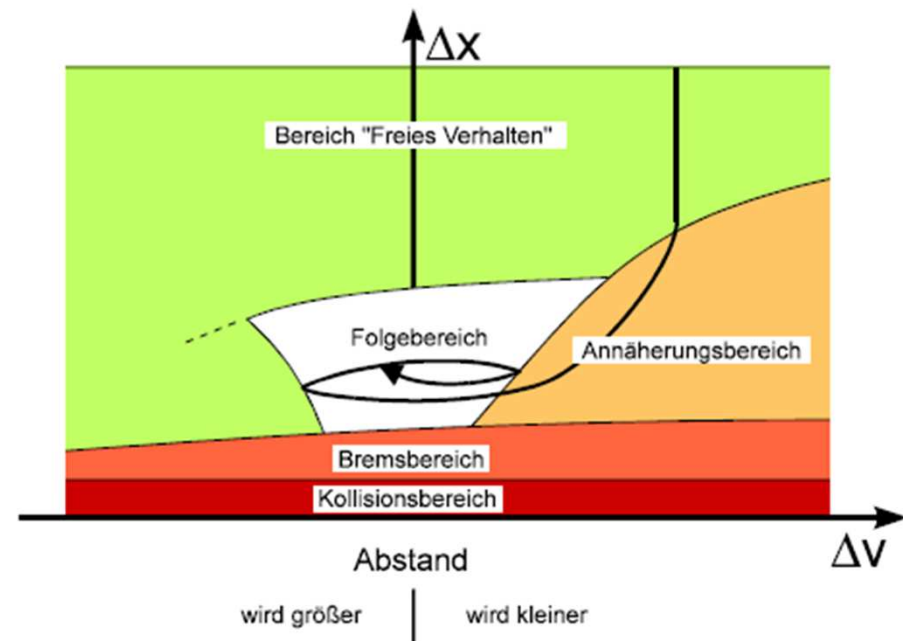
Qualität der Modellierung von Fahrzeugen bzw. Fahrverhalten ist essentiell für die Genauigkeit einer Verkehrssimulation:

Modellierung in Längsrichtung:

- psycho-phisches Wahrnehmungsmodell nach Wiedemann (1974)
- Fahrer befindet sich in einem von vier Fahrzuständen: freies Fahren, annähern, folgen, bremsen

Modellierung in Querrichtung:

- Regelbasierter Algorithmus nach Sparmann (1978)
- Beurteilung des Fahrers, ob Fahrstreifenwechsel ohne Gefährdung möglich ist und seine Situation verbessert



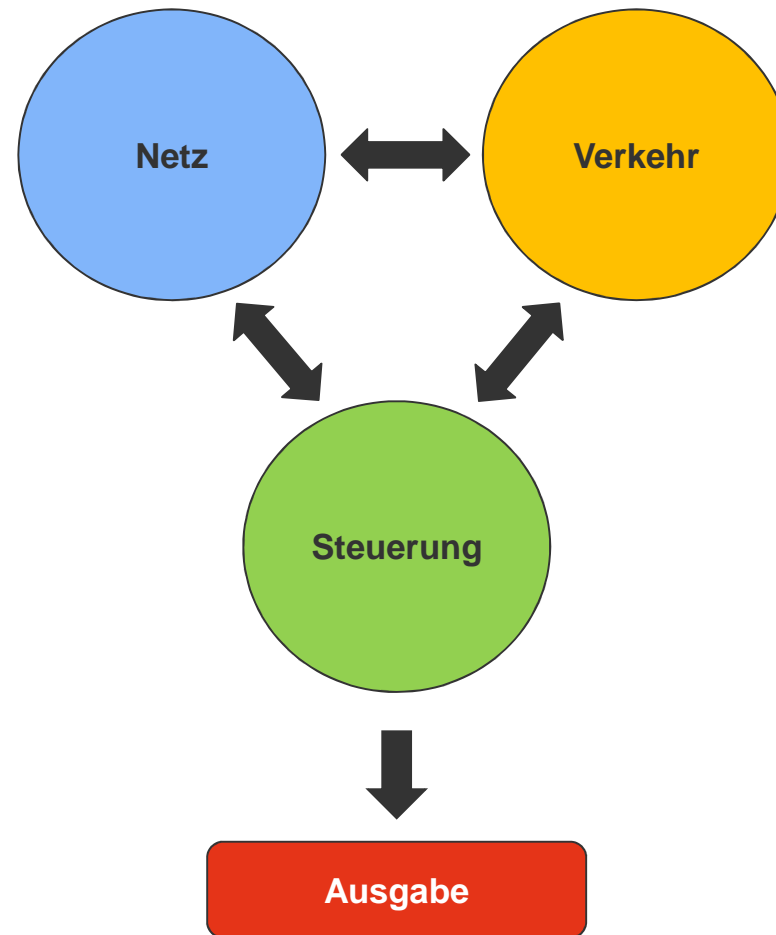
Fahrzeugfolgemedell (nach: WIEDEMANN 1974)

Quelle: Wiedemann, R.: Simulation des Straßenverkehrsflusses. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8 (1974)

Mikroskopische Modellierung: Elemente

Vollständige VISSIM-Simulation erfordert vier Elemente:

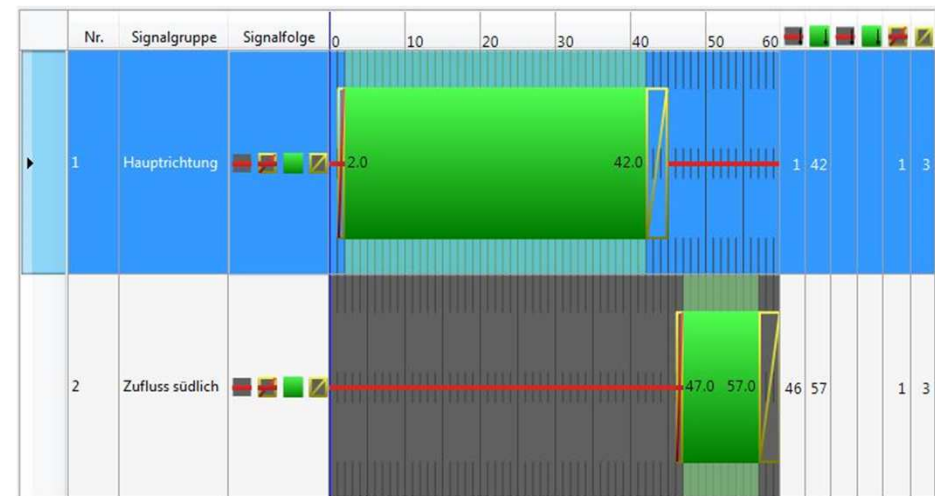
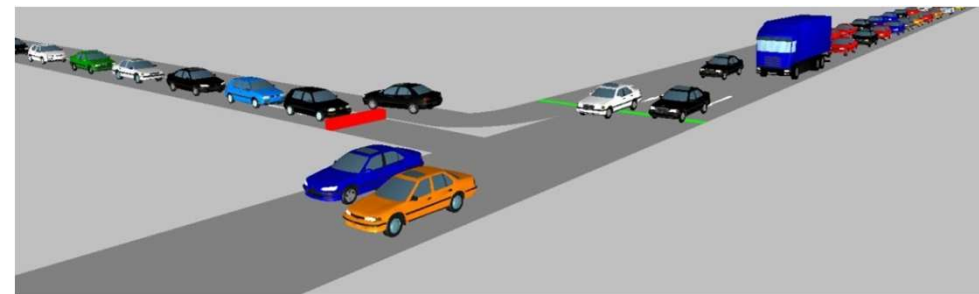
1. Netz:
repräsentiert die Infrastruktur
2. Verkehr:
Spezifikation der Verkehrsnachfrage durch Verkehrsstärke, Zusammensetzung und Routen
3. (LSA-) Steuerung:
definiert das Verhalten im Falle konkurrierender Bewegungen
4. Ausgabe:
ermöglicht gezielte Analyse und Auswertungen des Verkehrs



Mikroskopische Modellierung: Implementierung eines Netzausschnitts

Simulationsstudie:

1. Netzausschnitt:
Abschnitt auf einer Hauptstr.
in Ingolstadt mit Verbindungsfunktion zwischen Autobahn und
Automobilhersteller (ca. 363 m,
50 km/h, zwei Fahrstreifen)
2. Verkehr:
Variation der Verkehrsstärken
und SV-Anteile
3. Steuerung:
LSA
4. Ausgabe:
Analyse der Geschwindigkeiten



Mikroskopische Modellierung: Kalibrierung und Validierung

Kalibrierung und Validierung als wesentliche und kritische Stufe einer Simulationsstudie:

1. Kalibrierung:
Anpassung veränderlicher Modellparameter zur möglichst realitätsnahen Abbildung beobachteter Verkehrsverhältnisse
2. Validierung:
Nachweis der Nachbildung mindestens eines empirischen Datensatzes mit voreingestellten Parametern unter Einhaltung eines bestimmten Fehlermaßes



Implementierung von Reisezeitmessungen und Feldbeobachtungen auf dem simulierten Netzausschnitt zur Kalibrierung und Validierung



Sensitivitätsanalyse: Definition von Szenarien

Festlegung von Szenarien durch Variation entsprechender Kenngrößen:

Verkehrsstärke q [Fz/h] (Sättigungsgrad g [-]):

333 (0,25); 444 (0,33); 667 (0,50); 889 (0,67); 1000 (0,75) → **untersättigt**

1333 (1,00) → **gesättigt**

1467 (1,10); 1778 (1,33) → **übersättigt**

Schwerverkehrsanteil SV [%]:

0; 2; 4; 6; 8; 10

Szenarien:

Acht unterschiedliche Verkehrsstärken bzw. Sättigungsgrade und sechs verschiedene SV-Anteile

→ 48 Szenarien

Sensitivitätsanalyse: Erzeugung simulativer Daten

Konzept:

- signifikante Ergebnisse erfordern mehrere Simulationsläufe pro Szenario
- jeweils Verwendung unterschiedlicher Zufallszahlen pro Szenario
- je Szenario: Bildung eines Mittelwerts aus multiplen Simulationsläufen mit unterschiedlichen Zufallszahlen
- Ermittlung der erforderlichen Anzahl der Simulationsläufe je Szenario:

$$n \geq \frac{t(\alpha, n-1)^2 * s^2}{e_a^2}$$

mit

n = erforderliche Anzahl an Simulationsläufen

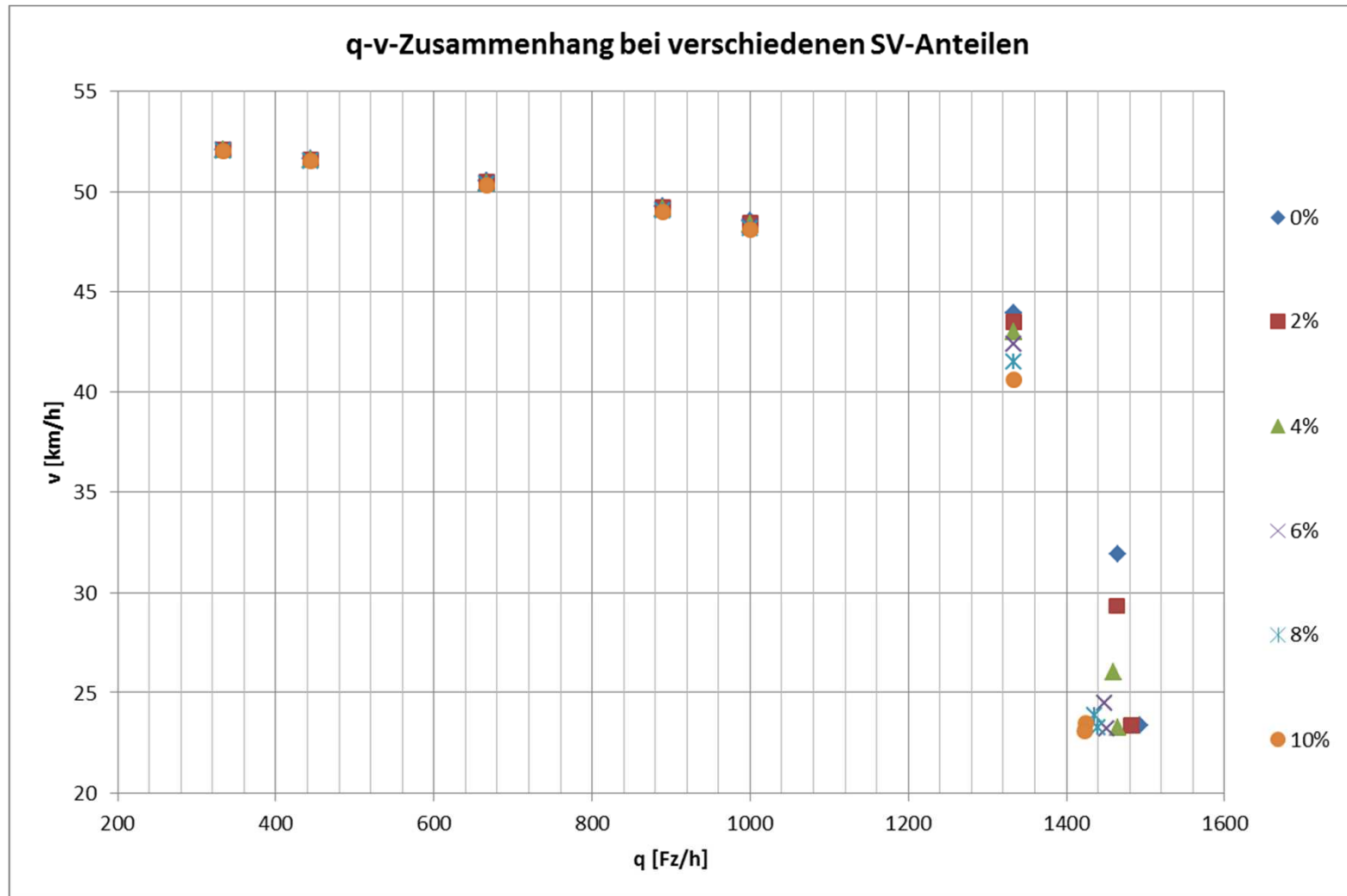
$t(\alpha, n-1)$ = Wert aus der Student-Verteilung

s^2 = Streuung

e_a^2 = absolute Genauigkeit

→ fünf Simulationsläufe je Szenario

Sensitivitätsanalyse: grafische Darstellung



Sensitivitätsanalyse: Ergebnisse

v [km/h]	333 Fz/h (g=0,25)	444 Fz/h (g=0,33)	667 Fz/h (g=0,50)	889 Fz/h (g=0,67)	1000 Fz/h (g=0,75)	1333 Fz/h (g=1,00)	1467 Fz/h (g=1,10)	1778 Fz/h (g=1,33)
0 % SV	52,09	51,61	50,50	49,27	48,52	43,90	31,90	23,35
2 % SV	52,08 (- 0,02 %)	51,59 (- 0,04 %)	50,47 (- 0,06 %)	49,20 (- 0,14 %)	48,43 (- 0,19 %)	43,46* (- 1,00 %)	29,30* (- 8,15 %)	23,38 (0,12 %)
4 % SV	52,06 (- 0,06 %)	51,56 (- 0,10 %)	50,43 (- 0,14 %)	49,16 (- 0,22 %)	48,35* (- 0,35 %)	42,95* (- 2,16 %)	26,00* (- 18,50 %)	23,27 (- 0,34 %)
6 % SV	52,05 (- 0,08 %)	51,54 (- 0,14 %)	50,40* (- 0,20 %)	49,11* (- 0,32 %)	48,25* (- 0,56 %)	42,35* (- 3,53 %)	24,48 (- 23,26 %)	23,22 (- 0,56 %)
8 % SV	52,03 (- 0,12 %)	51,52* (- 0,17 %)	50,35* (- 0,30 %)	49,04* (- 0,47 %)	48,17* (- 0,72 %)	41,50* (- 5,47 %)	23,87 (- 25,17 %)	23,27 (- 0,34 %)
10 % SV	52,02 (- 0,13 %)	51,50* (- 0,21 %)	50,32* (- 0,36 %)	48,97* (- 0,61 %)	48,12* (- 0,82 %)	40,60* (- 7,52 %)	23,50 (- 26,33 %)	23,11 (- 1,03 %)

* statistisch signifikant bzgl. SV-Anteil 0 %

Zusammenfassung und Ausblick

- **Untersättigter Bereich:**
Steigender SV-Anteil führt zu zunehmender relativer Geschwindigkeitsreduktion und zu erhöhter Varianz bei Geschwindigkeitswerten bei gegebener Verkehrsstärke (statistisch signifikant, aber insgesamt marginale Auswirkung); entsprechender Einfluss steigt mit zunehmender Verkehrsstärke
- **Gesättigter Bereich:**
Steigender SV-Anteil führt zu kontinuierlich zunehmender relativer Geschwindigkeitsreduktion und stark steigender Varianz entsprechender Geschwindigkeitswerte
- **Übersättigter Bereich:**
Steigender SV-Anteil führt zu Reduktion der Verkehrsstärken bzw. bestimmte Verkehrsstärken können nicht mehr realisiert werden; statistisch abgesicherte Aussagen zu Geschwindigkeitsreduktionen nur eingeschränkt möglich
- **Weitere Forschungsansätze:** Berücksichtigung unterschiedlicher Kantenlängen, Fahrverhalten, Signalsteuerungsstrategien, Tageszeiten, Wettereinflüsse

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!