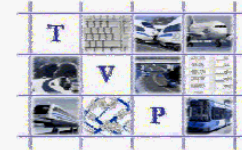




TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

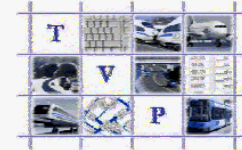
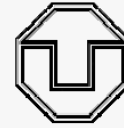


Simultane Verkehrsnachfrage- modellierung unter Beachtung von Randsummenbedingungen

Dr.-Ing. Christian Schiller

TU Dresden

Zürich, 28. Juni 2006

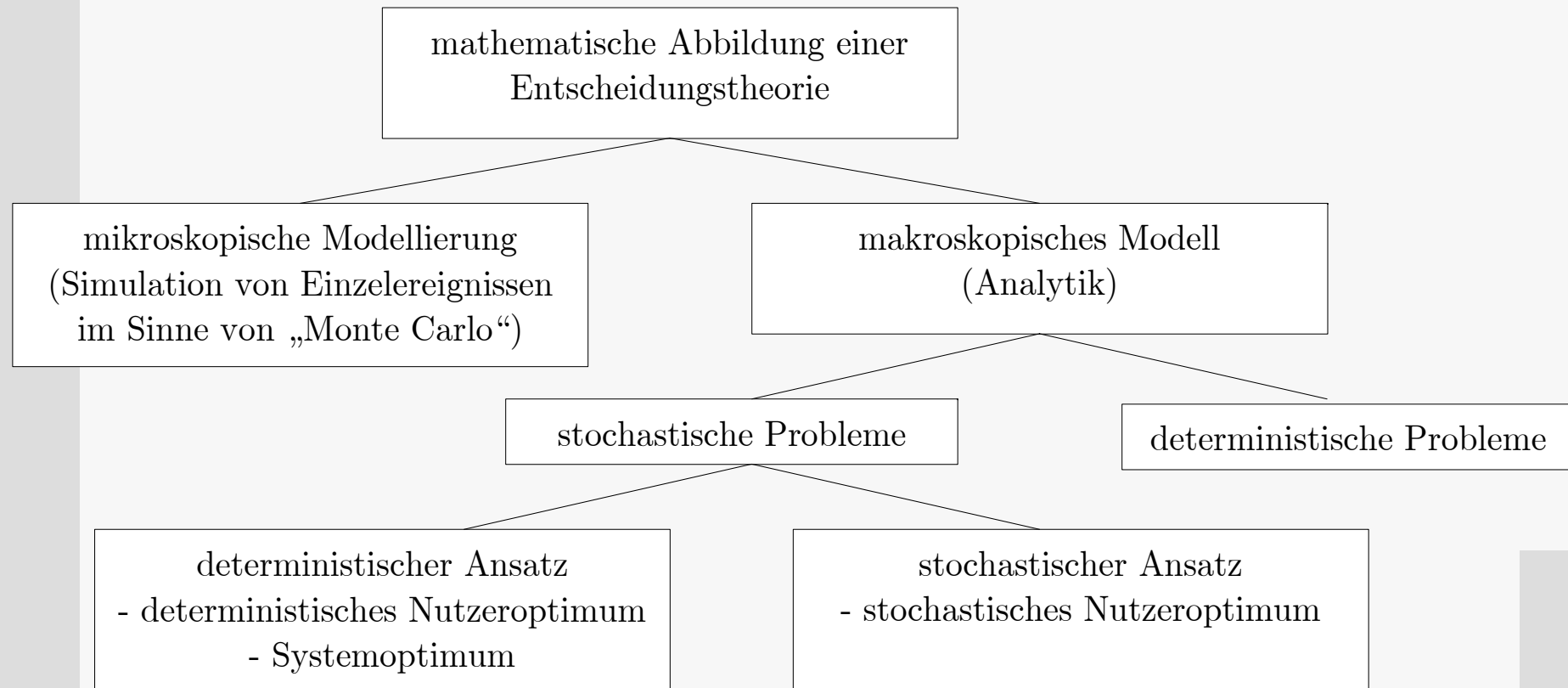


Gliederung

- Grundlagen der Verkehrsmodellierung
- Erzeugung/Randsummenbedingungen
- Zielwahlmodelle
- Simultane Modelle der Ziel- und Moduswahl
- Ausblick / Fazit

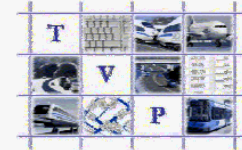
Grundlagen der Verkehrsmodellierung

- äußerst breites Spektrum unterschiedlichster Modelltheorien



Grundlagen der Verkehrsmodellierung

- Verkehrsangebotsmodellierung
 - Kanten und Knoten nach Graphentheorie
 - CR-Funktionen
 - Aufwände (über generalisierte Kosten) für Nachfragemodell
- klassische vier Stufen der Verkehrsnachfragemodellierung
 - Erzeugung
 - Zielwahl
 - Moduswahl
 - Routenwahl
- Verkehrsnachfragemodellierung muß i. d. R. grundlegend disaggregiert erfolgen
 - Nachfrageschicht (z.B. Aktivitätenkette, Quelle-Ziel-Gruppe)
 - Zeitintervall (z.B. Spitzenstunde oder Tag)
 - Modus bzw. Verkehrsmittel (z.B. Pkw, ÖV)



Erzeugung/Randsummenbedingungen

- Beschreibung und Quantifizierung wichtiger mobilitätsbezogener Kennwerte und soziodemographischer Gegebenheiten
- diese sind von maßgebenden Raumstrukturpotentialen und Lagegunst abhängig und wirken auf das Verkehrsaufkommen (direkt oder indirekt)
- Ermittlung von verkehrbezirksfeiner Quell-, Ziel- (erzeugter und angezogener Verkehr) und Gesamtverkehrsaufkommen bzw. – potentiale in Abhängigkeit dieser Kennwerte
- grundlegende Abhängigkeiten (je nach Aktivität) des Verkehrsaufkommen von Raumstrukturgrößen und Lagegunst:
 - nur von den Raumstrukturgrößen
 - von den Raumstrukturgrößen und der Lagegunst
 - nur von der Lagegunst

Erzeugung/Randsummenbedingungen

- verkehrsplanerische Berechnungsverfahren müssen diese Abhängigkeiten also unbedingt beachten
- Beachtung der dieser Abhängigkeiten über **Randsummenbedingungen** (bezogen auf die Verkehrsstrommatrix)

	1	...	j	...	n	$\sum_{i=1}^m v_{ij}$
1	v_{11}					Q_1
...						
i			v_{ij}			Q_i
...						
m					v_{mn}	Q_m
$\sum_{j=1}^n v_{ij}$	Z_1		Z_j		Z_n	$V = \sum_{i=1}^m Q_i$ $V = \sum_{j=1}^n Z_j$

Erzeugung/Randsummenbedingungen

- harte Randsummenbedingungen
 - räumlich nicht substituierbare Pflicht-Aktivitäten (z. B.: Arbeit, Bildung)
 - Erwartungswert (makroskopische Betrachtungsweise) des entsprechenden Verkehrsaufkommens berechnet sich ausschließlich aus den maßgebenden Strukturgrößen
 - Lagegunst für das Verkehrsaufkommen bzw. die Randsumme nicht maßgebend

$$\sum_{j=1}^n v_{ij} = Q_i$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ij} = Z_j$$

Erzeugung/Randsummenbedingungen

- weiche Randsummenbedingungen
 - substituierbare Aktivitäten (z. B.: Einkaufen, Sonstiges)
 - Erwartungswert des Verkehrsaufkommens berechnet sich nicht mehr ausschließlich durch die maßgebenden Strukturgrößen
 - Lagegunst spielt bei der Wahl konkurrierender Aktivitäten ebenfalls eine entscheidende Rolle
 - Verkehrserzeugung berechnet in diesem Fall also nur maximale Potentiale (Kapazitäten), die nicht (!) ausgeschöpft werden müssen

$$\sum_{j=1}^n v_{ij} \leq Q_i^{max}$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ij} \leq Z_j^{max}$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n v_{ij} = V$$

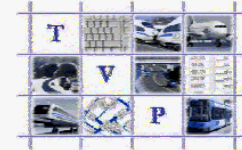
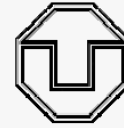
Erzeugung/Randsummenbedingungen

- offene Randsummenbedingungen
 - i. d. R. ein Spezialfall
 - Erwartungswert des Verkehrsaufkommens berechnet sich ausschließlich durch die Erreichbarkeit konkurrierender Ziele und die Art der maßgebenden Strukturgrößen
 - Potential- oder Kapazitätsgrenzen der Strukturgrößen wirken dabei nicht mehr (z. B. Naherholungsgebiet)

$$\sum_{j=1}^n v_{ij} \leq Q_i^{\infty}$$

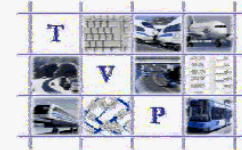
$$\sum_{i=1}^m v_{ij} \leq Z_j^{\infty}$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n v_{ij} = V$$



Zielwahlmodelle

- Zuordnung des Quellverkehrsaufkommens auf mögliche Zielverkehrsbezirke und des Zielverkehrsaufkommens auf mögliche Quellverkehrsbezirke für jede einzelne Nachfrageschicht (z.B.: Quelle-Ziel-Gruppe)
- Beachtung eines bestimmten Verkehrsmodus
- Zielwahlmodelle dienen somit der Berechnung des Erwartungswertes der Quell-Ziel-Wahl aller Ortsveränderungs-subjekte oder -objekte
- innerhalb einer Verkehrsstrommatrix ergeben sich daraus die Verkehrsströme v_{ij} eines Untersuchungsgebietes



Zielwahlmodelle

- Art und die Größe eines Verkehrsstromes $i-j$ hängt von den Eigenschaften
 - des Quellbezirkes,
 - des Zielbezirkes,
 - des Verkehrsangebotes,
 - des betrachteten Nachfragesegments (Nachfrageschicht, Modus) sowie
 - von der Gesamtcharakteristik der Region ab
- Verkehrsverteilungsmodelle benötigen demnach neben der Verkehrserzeugung weitere Informationen:
 - Verkehrsnetzstruktur
 - Bewertung durch die Verkehrsteilnehmer

Zielwahlmodelle

- Randsummenbedingungen sind bekannt

$$\sum_{j=1}^n v_{ij} = Q_i$$

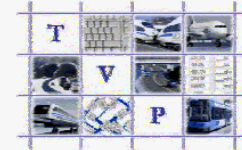
$$\sum_{i=1}^m v_{ij} = Z_j$$

- Zusatzbedingungen, durch Bewertung BW der Aufwandsmerkmale w (z. B. Entfernung, Reisezeit, Kosten) der Verkehrsbeziehungen i - j durch die Verkehrsteilnehmer
- Analogie zum Gravitationsmodell

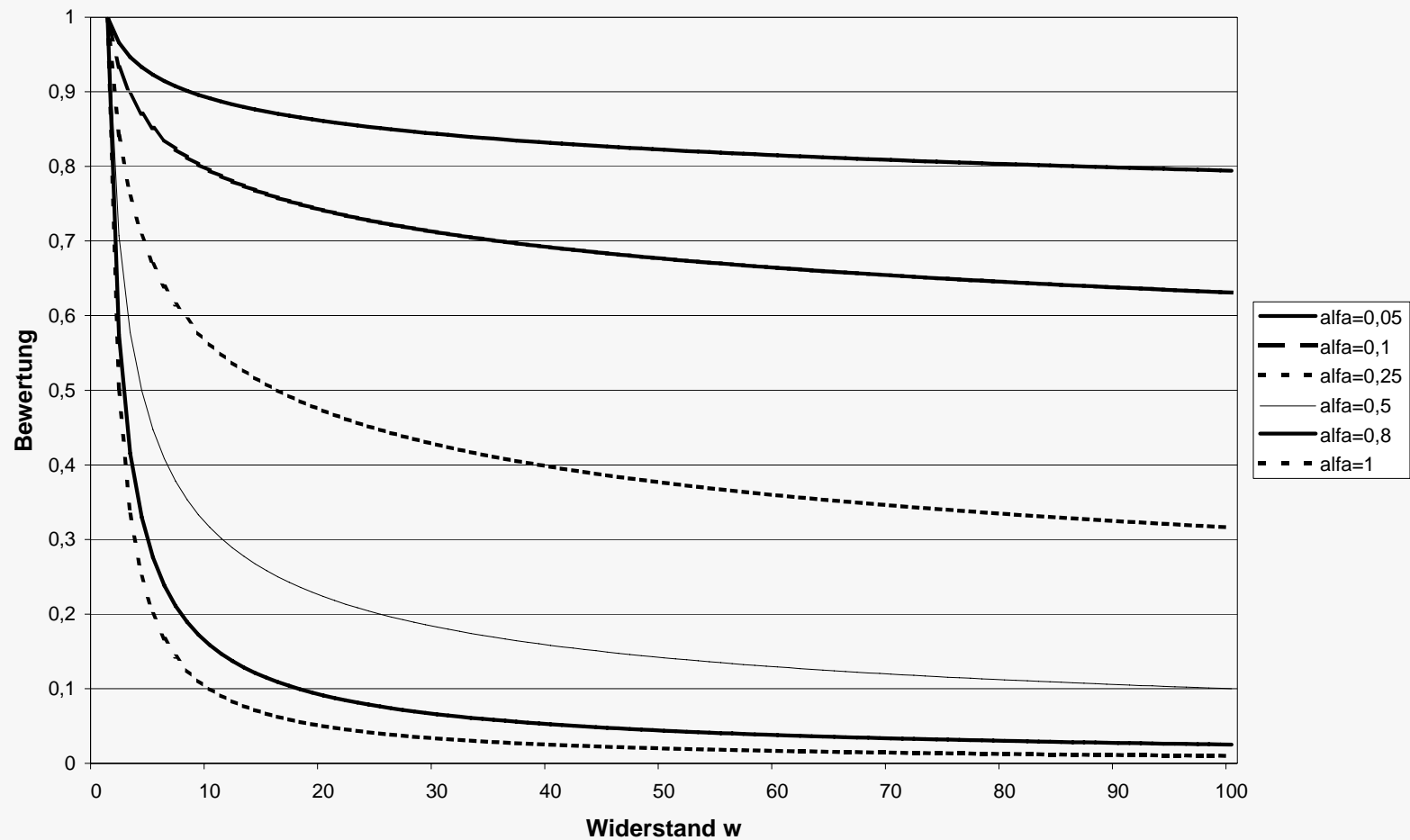
$$v_{ij} = f(BW_{ij}(w_{ij}), Q_i, Z_j)$$

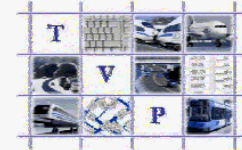
Zielwahlmodelle

- aus dem Angebotsmodell ermittelten Aufwände w der Ortsveränderungen dienen als Entscheidungsgrundlage für die Verkehrsnachfragemodellierung
- BW ist eine Funktion dieser Merkmale $F(w)$
- empirische Wahrscheinlichkeit: welchen Einfluß übt der Aufwand w auf die verkehrsteilnehmerbezogene Auswahl einer Alternative aus
- somit ergibt sich eine Annahme oder Ablehnung eines Ereignisses bzw. einer Ortveränderung in Abhängigkeit der jeweiligen **Bewertungsfunktion**

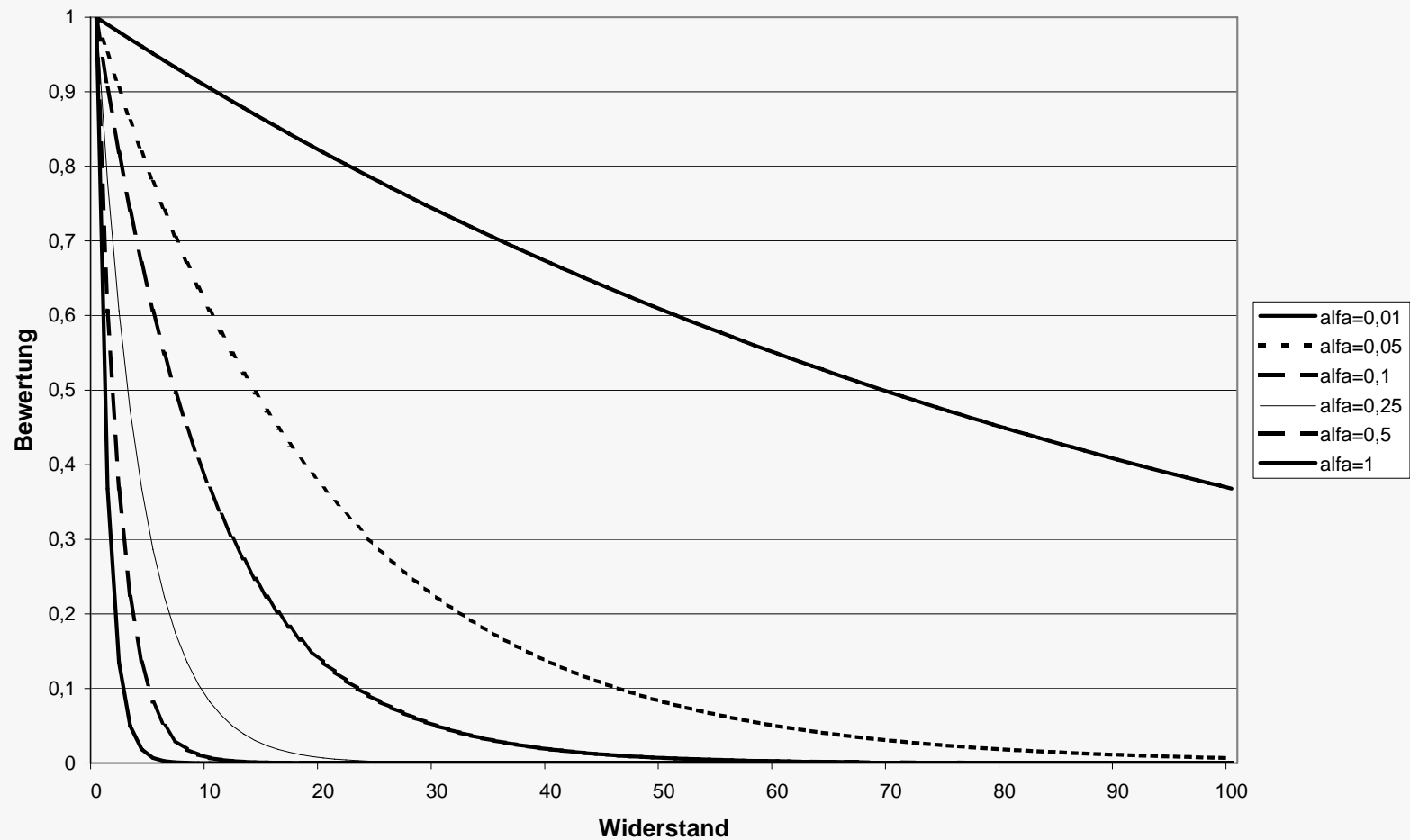


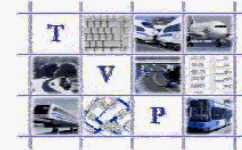
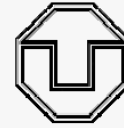
Zielwahlmodelle



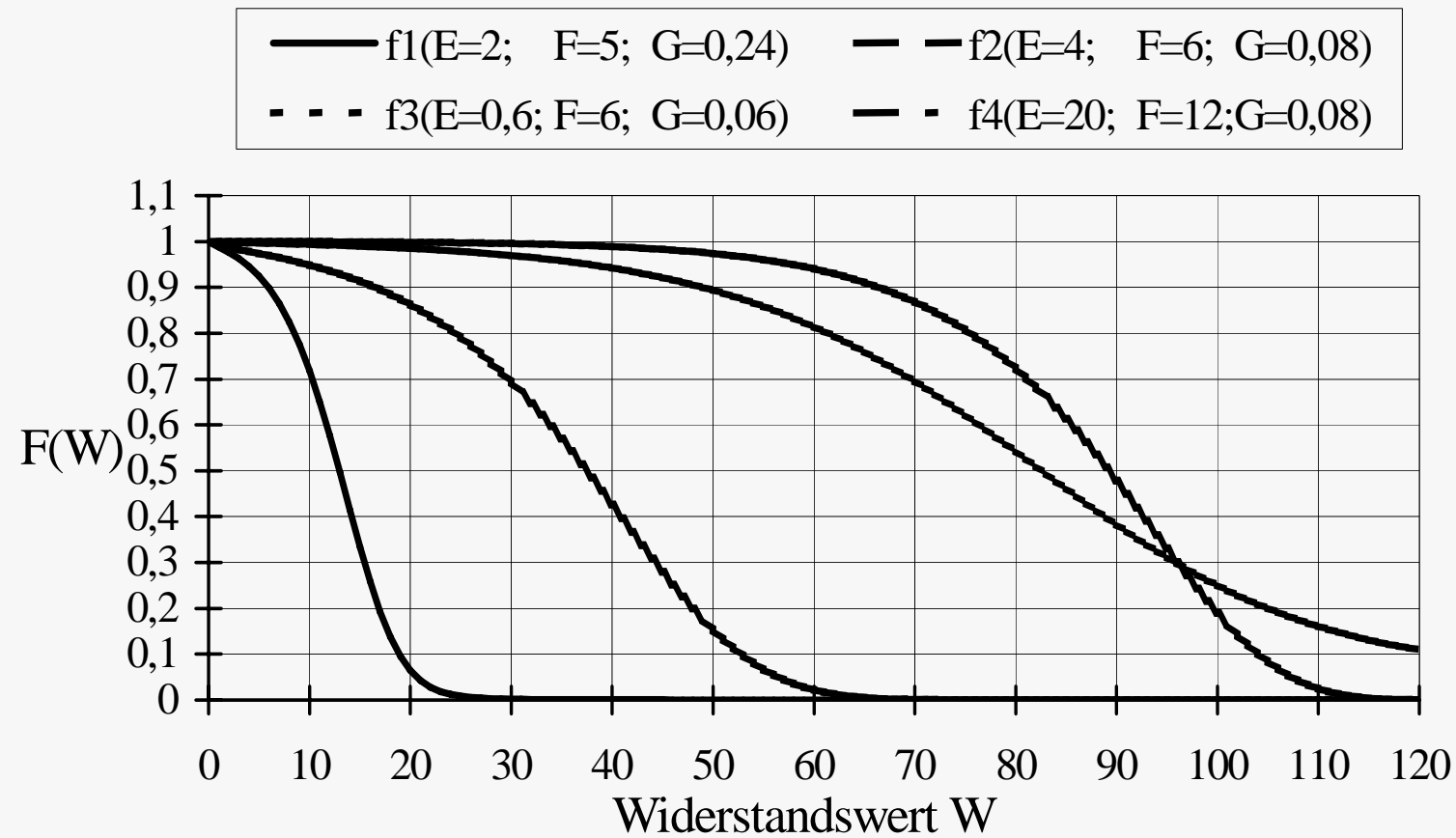


Zielwahlmodelle





Zielwahlmodelle



Zielwahlmodelle

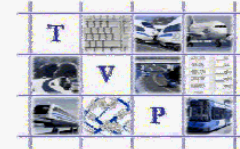
- Randsummenbedingungen sind bekannt

$$\sum_{j=1}^n v_{ij} = Q_i$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ij} = Z_j$$

- Zusatzbedingungen, durch Bewertung BW der Aufwandsmerkmale w (z. B. Entfernung, Reisezeit, Kosten) der Verkehrsbeziehungen $i-j$ durch die Verkehrsteilnehmer
- Analogie zum Gravitationsmodell

$$v_{ij} = f(BW_{ij}(w_{ij}), Q_i, Z_j)$$



Zielwahlmodelle

- theoretisches Grundproblem der Verkehrsverteilung:

Matrix 1

	1	2	Σ
1	1	1	2
2	1	2	3
Σ	2	3	5

Matrix 2

	1	2	Σ
1	0	2	2
2	2	1	3
Σ	2	3	5

Matrix 3

	1	2	Σ
1	2	0	2
2	0	3	3
Σ	2	3	5

- gesucht werden zulässige Kombination bzw. die gewünschte Anordnung der Verkehrsströme in der Verkehrsstrommatrix
 - **Entropiemaximierung**
 - **Informationsgewinnminimierung**
 - **Nutzenmaximierung**

Zielwahlmodelle

- diese Maße dienen der Lösung des Grundmodells der Zielwahl
- Formulierung mit harten Randsummenbedingungen:

$$v_{ij} = BW_{ij} \cdot fq_i \cdot fz_j$$

$$\sum_{j=1}^n v_{ij} = Q_i$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ij} = Z_j$$

- Faktoren fq_i und fz_j so zu ermitteln, daß die Randsummenbedingungen eingehalten werden

Zielwahlmodelle

- Lösung über iterative (Steigerungsfaktoren-)Modelle
 - Erzeugung einer Verkehrsstrommatrix über eine Lineartransformation aus der Bewertungsmatrix BW_{ij}
 - Einhaltung der entsprechenden Randsummenbedingungen
 - MULTI, FURNESS, DETROIT, FRATAT etc.
 - diese Lösungsverfahren genügen der Entropiemaximierung, Informationsgewinnminimierung und Nutzenmaximierung
- diese Lösungsalgorithmen sind allerdings kompliziert, so daß oft nur einseitige Fixierungen genutzt werden

Zielwahlmodelle

- einseitige Fixierung:
 - quell- oder zielseitige Randsummenbedingungen werden unmittelbar eingehalten
 - „gegenüberliegende“ Randsummenbedingung wird jedoch nicht beachtet
 - mittels optimaler Parametrisierung wird versucht, das Verkehrsaufkommen möglichst nahe der realen Situation zu berechnen
 - quellseitig fixiertes Verteilungsmodell:

$$v_{ij} = Q_i \cdot \frac{BW_{ij} \cdot fz_j}{\sum_{j=1}^n BW_{ij} \cdot fz_j} = Q_i \cdot \frac{BW_{ij}}{\sum_{j=1}^n BW_{ij}}$$

Zielwahlmodelle

- das quellseitig fixiertes Verteilungsmodell

$$v_{ij} = Q_i \cdot \frac{BW_{ij} \cdot fz_j}{\sum_{j=1}^n BW_{ij} \cdot fz_j} = Q_i \cdot \frac{BW_{ij}}{\sum_{j=1}^n BW_{ij}}$$

gleich

$$v_{ij} = BW_{ij} \cdot fq_i \cdot fz_j$$

$$\sum_{j=1}^n v_{ij} = Q_i$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ij} \leq Z_j^\infty$$

Simultane Modelle der Ziel- und Moduswahl

- entscheidende Probleme bei TIM oder TEM
- nicht alle Entscheidungen sind isoliert und sequentiell, sondern eher integriert – so auch die Ziel- und Moduswahl
- Simultanität begründet durch:
 - Ziel- und Verkehrsmoduswahl wird in vielen Fällen nicht unabhängig voneinander getroffen
 - rein sequentielle Modellstrukturen weisen modellbedingte Mängel auf (beispielsweise Trip-Interchange-Modelle)
- gegenseitige Beeinflussung beider Wahlentscheidungen durch Verwendung relations- und verkehrsmittelfeine Abhängigkeiten der Aufwandsgößen

Simultane Modelle der Ziel- und Moduswahl

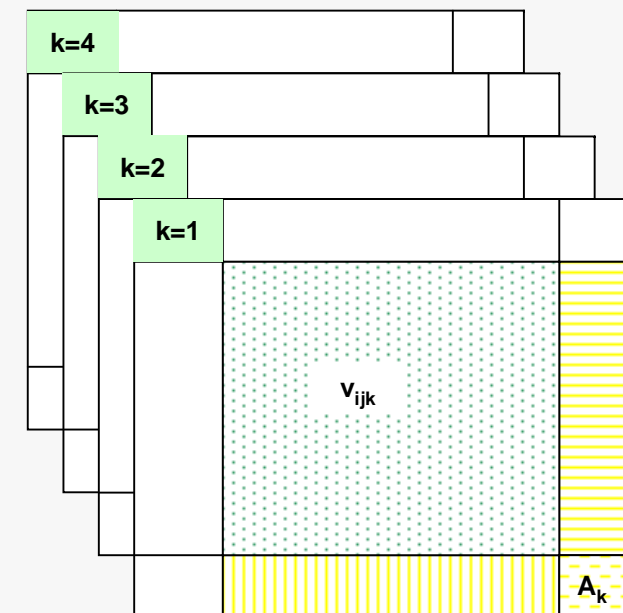
- beim tri-linearen Modell nicht nur die Quell- und Zielverkehrsaufkommen (durch Randsummenbedingungen) vorgegeben
- der erhobene Modal-Split des Analyse-Zustandes wird ebenfalls über eine Randsummenbedingungen in das Modell implementiert

$$v_{ijk} = BW_{ijk} \cdot fq_i \cdot fz_j \cdot fa_k$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l v_{ijk} = Q_i$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l v_{ijk} = Z_j$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n v_{ijk} = A_k$$



Simultane Modelle der Ziel- und Moduswahl

Analyse (A)

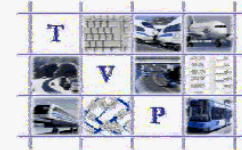
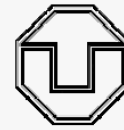
- ▶ Eingabedaten:
 - ▷ Aufwandsmatrizen (A)
= gegenwärtiges Angebot
 - ▷ Modal-Split (A)
= Reaktion auf das gegenwärtige Angebot
- ▶ Ergebnis der Analyse:
 - ▷ Verkehrsströme (A) für jede Verkehrsart in jeder QZG
 - ▷ Verkehrsmittelgunst (A)
= allg. „Präferenzen“ für jede Verkehrsart in jeder QZG

Prognose (P)

- ▶ Eingabedaten:
 - ▷ Aufwandsmatrizen (P)
= zukünftiges Angebot
 - ▷ Verkehrsmittelgunst (A)
= allg. „Präferenzen“ für jede Verkehrsart in jeder QZG
- ▶ Ergebnisse der Prognose:
 - ▷ Verkehrsströme (P) für jede Verkehrsart in jeder QZG
 - ▷ Modal-Split (P)
= Reaktion auf das zukünftige Angebot

Ausblick / Fazit

- Abbildung der wichtigen Wechselwirkungen zwischen Angebot und Nachfrage, speziell Änderungen der Ziel- und Verkehrsmittelwahl durch Begrenzungen der Raum- bzw. Infrastruktur
- Ziel- und Moduswahl nicht unabhängig von einander berechnen und wichtige Querbeziehungen beachten
- Entwicklung weitere Modellschritte:
 - statt weicher Randsummenbedingungen wurden elastische Randsummenbedingungen (Abhängigkeit von Auslastungsgrad eines Zieles) entwickelt
 - völlig freie Wahl der oberen und unteren Grenzen der Verkehrsbezirkspotentiale
 - teilweise Einbeziehung der Routenwahl in die simultane Berechnung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Homepages:

www.theoretische-verkehrsplanung.de

www.viseva.de
