

3 Netzwerke und Logistik

Prof. Dr. Georg Hirte

Einführung in die Verkehrswirtschaft

Netzwerke

- Bestandteile eines Netzwerks: Knoten, Kanten und Objekte
- Grundstrukturen und typische Ausprägungen
- Graphentheorie und Algorithmen zur Optimierung von Verkehrsströmen auf Basis von abstrahierten Verkehrsnetzwerken

Systemelemente von Verkehrsnetzwerken

Kanten

- Verkehrswege für Transport- und Beförderungsprozesse
- Bewertung mit Ortsveränderungswiderstand: Kosten, Distanz, Fahrzeit (evtl. inklusive Staugefahr), andere

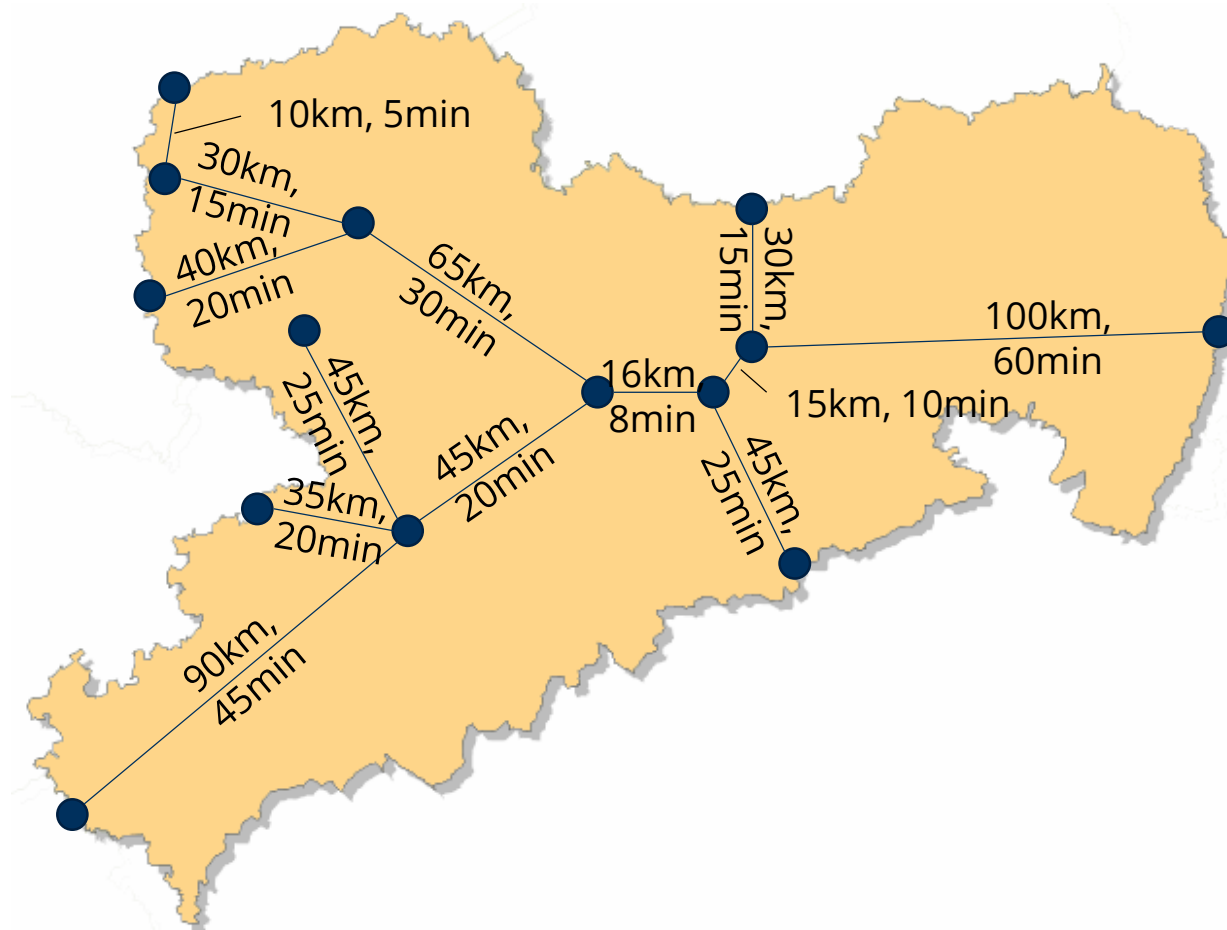
Knoten

- Funktionen: Quell-, Aufenthalts- und Zielorte, Kantenverknüpfungspunkte
- Bewertung: Quell- bzw. Zielaufkommen, Aufenthaltsdauer (bei Umstieg, Umschlag, Lagerung etc.), Lagerkapazität, beim Besuch eines Knoten entstehende Kosten

Objekte

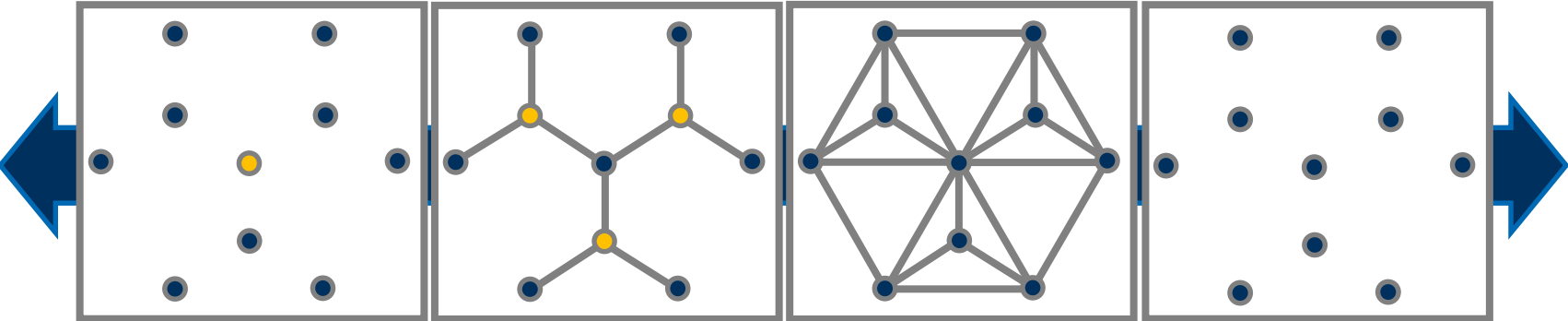
- Transportobjekt bzw. Transportgefäß mit einer Menge von Transportobjekten
- Bewertung: Anzahl, Größe, Kapazität, Minimal- bzw. Maximalgeschwindigkeit, Reichweite etc.

Graph eines Verkehrsnetzwerkes (Beispiel: Sächsisches Autobahnnetz)



Netzwerkstrukturen

Zentripetales Netzwerk



Zentralisiert
Verbindungen stets über einen zentralen Knoten

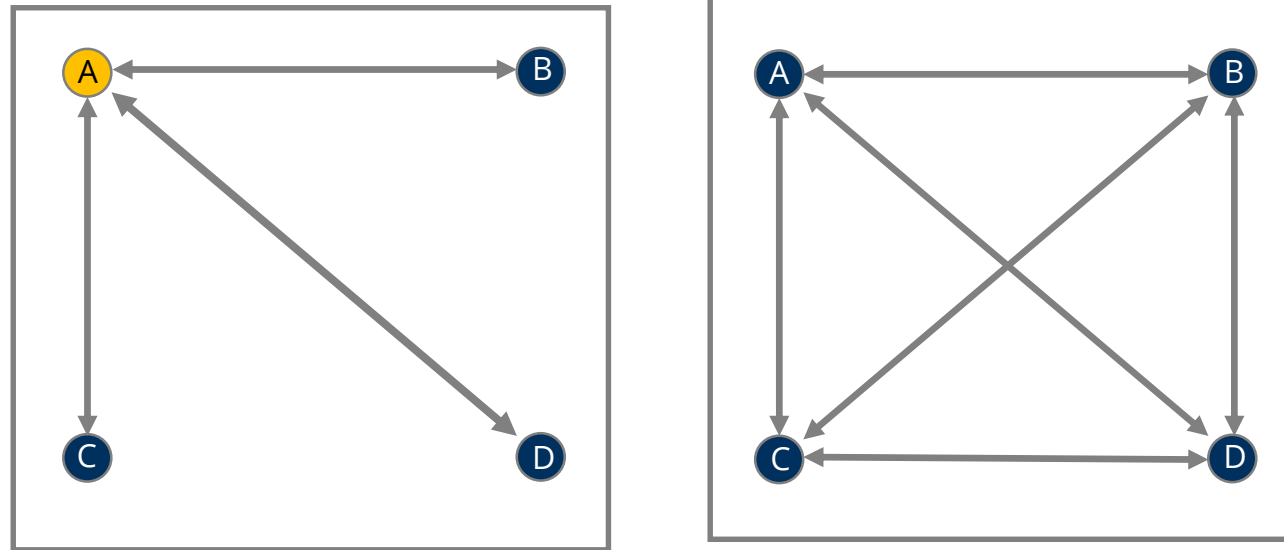
Schwach zentralisiert
Verbindungen über mehrere zentrale Knoten

Verteilt
Gleichrangige Knoten mit Direktverbindungen zu benachbarten Knoten

Dezentralisiert
Direktverbindungen von allen Knoten zu allen Knoten

Zentrifugales Netzwerk

Netzwerke



Anzahl Knoten	n	n
Anzahl der Kanten	$3 = n - 1$	$6 = \frac{n \cdot (n - 1)}{2}$
Vorteile des Hub & Spoke-Netzwerks	Weniger Kanten → geringere Anzahl an Verkehrsmitteln benötigt, weniger Beförderungsvorgänge, größere und besser ausgelastete Verkehrsmittel (Ausnutzung von Skalen- und Dichteeffekten)	
Nachteile des Hub & Spoke-Netzwerks	Einrichtung des Hubs (Umsteigemöglichkeit, eventuell Kapazitätsprobleme → Stau) Erhebliche Anzahl an Umsteigevorgängen notwendig → Umsteiger mit höherer Reisezeit und -distanz	

Beispiel

Gegeben Quelle-Ziel-Matrix:

- Es existieren vier Knoten in einem Punkt-zu-Punkt- bzw. Hub & Spoke-Netzwerk (Hub ist Knoten A), die Kantenlänge ist jeweils 10 km

von\nach	A	B	C	D
A	0	20	20	20
B	5	0	50	5
C	15	10	0	35
D	10	30	20	0

- Auf einer Kante bewegt sich genau ein Verkehrsmittel für zwei Fahrten
 - Das Verkehrsmittel ist so dimensioniert, dass die Nachfrage vollständig bedient werden kann
1. Wie viele Fahrten werden durchgeführt, um alle Individuen von ihrem Quell- zu ihrem Zielort zu befördern?
 2. Wie groß muss das Verkehrsmittel auf jeder Kante sein? Wie groß ist die entsprechende Gesamtkapazität, wie hoch die durchschnittliche?
 3. Wie hoch ist die durchschnittliche Auslastung der Verkehrsmittel?
 4. Wie viele Umsteiger gibt es? Wie hoch ist die durchschnittliche Reisedistanz?

Beispiel: Ergebnis

Netzwerk	Punkt-zu-Punkt	Hub & Spoke
Anzahl Kanten		
Anzahl Fahrten		
Größe der Verkehrsmittel		
Gesamtkapazität		
Durchschnittliche Verkehrsmittelgröße		
Durchschnittliche Auslastung		
Anzahl Umsteiger		
Durchschnittliche Reisedistanz		

von\ach	A	B	C	D
A	0	20	20	20
B	5	0	50	5
C	15	10	0	35
D	10	30	20	0

Wertschöpfungsketten und Logistik

Wertschöpfungskette

- Produkte durchlaufen alle Glieder der Kette und gewinnen in jedem Kettenglied zusätzlichen Wert (Wertschöpfung)



- Logistik ist relevant in der Beschaffung von Vorleistungen, der Produktion (Produktionslogistik), und bei der Distribution zum Markt oder Kunden
- In der Distribution erfolgt eine Tourenplanung

Grundlagen der Optimierung logistischer Systeme

Schwerpunkt: Beschaffungs- und Distributionslogistik

Optimierungsansätze: Gestaltung der Zielfunktion entscheidend

Optimierungsalgorithmen:

- Dijkstra-Algorithmus
- Chinese Postman Problem (CPP)
- Travelling Salesman Problem (TSP)

Grundlagen

Wortherkunft und -bedeutung

- Griech.: logistiké – praktische Rechenkunst
- Militärisches Nachschubwesen
- Effiziente Planung, Durchführung (Kommissionierung, Transport, Lagerung) und Kontrolle von Güterbewegungen

Subsysteme der Logistik

- Beschaffungslogistik (zeit- und mengengerechte Zulieferung von Inputs)
- Produktionslogistik (betriebliche Leistungserstellung im Produktionsprozess inklusive Lagerhaltung)
- Distributionslogistik (Verteilung von Endprodukten)
- Entsorgungslogistik (Recycling, Rücknahme von Abfällen)

Grundsätze logistischer Optimierung

Verkehrsinfrastruktur: Bewerteter, gerichteter Graph

- Kantenbewertung: Zeit, Distanz, Kosten
- Knotenbewertung: Verkehrsmenge, Aufenthaltsdauer, Lagerkapazität, ...
- Objektbewertung: Kapazität, Höchstgeschwindigkeit, ...
- Quelle-Ziel-Matrix: Güter- bzw. Passagierströme

Schwerpunkt der mathematischen Modellierung

- Zielfunktion
 - Minimierung von Transportkosten/-laufzeiten
 - Minimierung der Beförderungsdauer/Anzahl der Umsteigevorgänge
- Identifikation notwendiger Nebenbedingungen

Grundsätze logistischer Optimierung

Mögliche Aufgaben

- Identifikation kürzester Wege → Dijkstra-Algorithmus
- Identifikation optimaler Distributionsnetze (Standorte von Auslieferungslagern, Linien eines ÖPNV-Systems)

Beispiele:

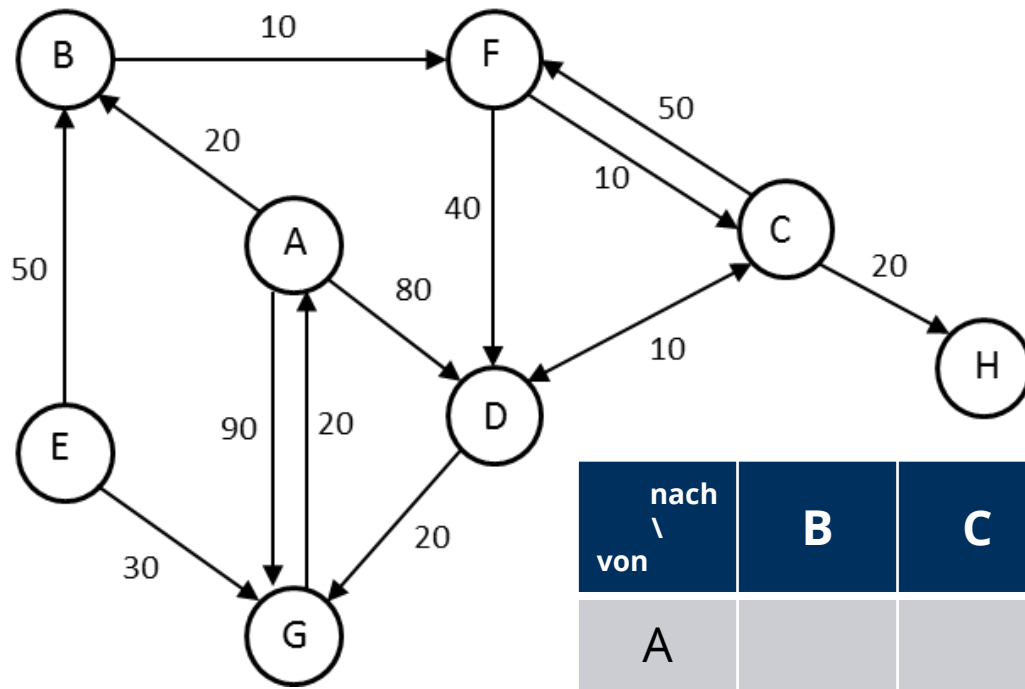
- Rundreiseprobleme → CPP (Chinese Postman Problem), TSP (Traveling Salesman Problem)
- Umladeproblem (Gestaltung eines Hub & Spoke-Netzwerks)

Kürzeste-Wege-Algorithmus

Dijkstra-Algorithmus

Kürzester Weg von einem beliebigen Startknoten zu einem beliebigen Endknoten

1. Beginnend mit dem Startknoten, notiere für alle zugänglichen Knoten deren Distanz zum Startknoten und die Bezeichnung des Vorgängerknotens; nicht unmittelbar zugängliche Knoten bekommen eine Distanz von ∞ zugewiesen
2. Führe Schritt 1 erneut für den Knoten aus, zu dem der aktuell kürzeste Pfad führt (in letzter erstellter Zeile ablesbar) und der noch nicht abgearbeitet wurde. Wenn ein bereits erreichbarer Knoten auf kürzerem Wege erreichbar wird, dann aktualisiere die Distanzbewertung (inkl. Vorgängerknoten). Wiederhole diesen Schritt solange, bis alle Knoten bearbeitet wurden.

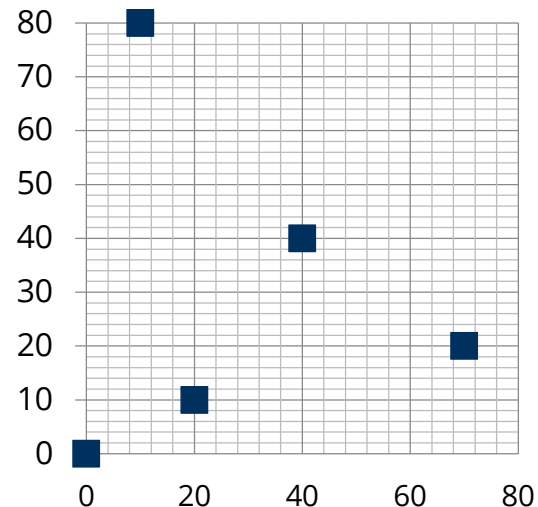


nach von \	B	C	D	E	F	G	H
A							

Standortplanung

Beispiel: Standortplanung eines Auslieferungslagers

- Aufgabe: Identifikation des optimalen Standorts eines Pizzadienstes
- Zielfunktion: Minimaler Gesamtweg für Kundenauslieferungen
- Nebenbedingungen:
 - Häufigkeit der wöchentlichen Aufträge jedes Kunden berücksichtigen
 - Distanzberechnung nach „Manhattan-Metrik“



Kunde	X-Koordinate	Y-Koordinate	Aufträge pro Woche
1	0	0	2
2	20	10	4
3	10	80	5
4	40	40	6
5	70	20	9

Rundreiseprobleme

Traveling Salesman Problem

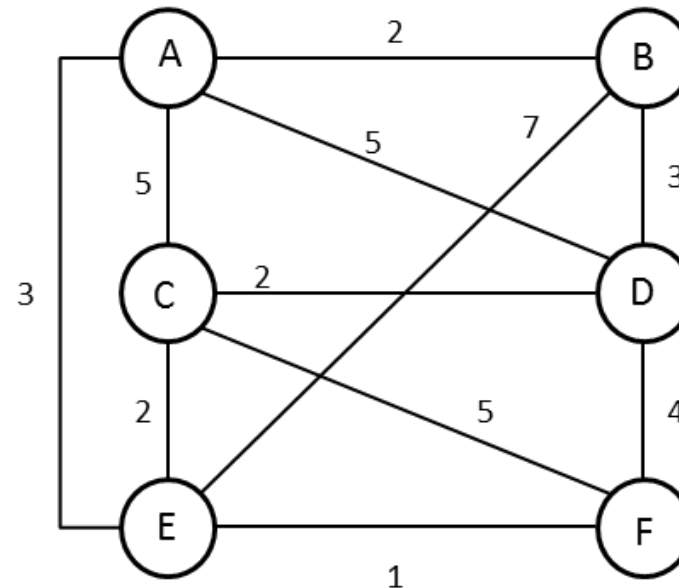
- Knotenorientiert: Kürzester Weg, auf dem alle Knoten mindestens einmal enthalten sind
- Lösung über Verfahren des besten Nachfolgers (Verfahren von Christofides und andere)

Chinese Postman Problem

- Kantenorientiert: Kürzester Weg, bei dem alle Kanten mindestens einmal enthalten sind
- Lösung über Bestimmung der Eulertour bzw. Ermittlung minimaler Umwege

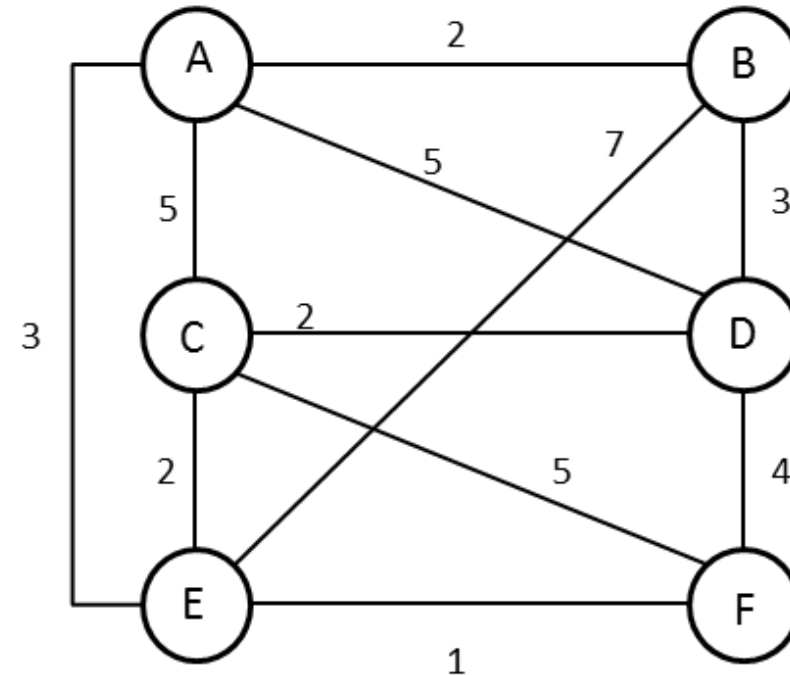
Verfahren des besten Nachfolgers

1. Ausgehend vom Startknoten (zu definieren) Bestimmung des kürzesten Wegs zu allen direkt erreichbaren Nachfolgerknoten → Knoten in Tour einfügen
2. Ausgehend vom gerade eingefügten Knoten Bestimmung des kürzesten Wegs zu allen direkten erreichbaren Nachfolgerknoten (nur noch nicht in Tour berücksichtigte Knoten) → Knoten in Tour einfügen
3. Wiederhole Schritt 2 so lange, bis alle Knoten zur Tour hinzugefügt wurden, Identifikation des kürzesten Rückwegs vom zuletzt eingefügten Knoten zum Startknoten (Dijkstra-Algorithmus)



Eulertour/minimale Umwege

1. Falls alle Knoten einen geraden Knotengrad besitzen, ist die Bestimmung des Weges mathematisch trivial und die Gesamtlänge der Tour entspricht der Summe aller Kantenbewertungen → Eulertour ist vorhanden!
2. Falls Knoten mit ungeradem Knotengrad existieren, müssen Kanten mehrmals befahren werden
→ Einfügen von virtuellen Kanten, damit alle Knotengrade gerade werden. Zur Summe aller Kantenbewertungen muss die Bewertung der eingefügten Kanten hinzuaddiert werden
(Herausforderung: Identifikation der umwegminimalen zusätzlichen Kanten)



Grundlagen der Verkehrsnachfragemodellierung

Vier-Stufen-Modell der Verkehrsplanung beinhaltet Vielzahl relevanter Modellierungsansätze der Verkehrswissenschaften

Essentielle Entscheidungsprozesse des Verkehrsnachfragers:

- Wer möchte wohin?
- Welches Verkehrsmittel wird gewählt?
- Welche Route zum Ziel wird gewählt?

Vier-Stufen-Modell

Verkehrserzeugung

- Verkehrsaufkommen von räumlichen Zellen (Wohngebiete, Arbeitsstätten, Freizeiteinrichtungen etc.) → Wie viele Menschen wollen aus bestimmten Orten weg bzw. dorthin?
- Bestimmung von Quell- und Zielverkehren

Verkehrsverteilung

- Aufteilung der Quell- und Zielverkehre → Wer möchte wohin?
- Nutzung von Gravitationsmodellen oder Diskreten Wahlmodellen

Verkehrsaufteilung

- Berechnung des Modal Split auf den Quelle-Ziel-Verbindungen → Wer nutzt welchen Verkehrsmodus?
- Nutzung Diskreter Wahlmodelle

Verkehrsumlegung

- Ermittlung des konkreten Reiseweges des gewählten Verkehrsmittels zum gewählten Ziel → Wer fährt wo lang?
- Ermittlung z.B. mittels Bestwegverfahren oder stochastischer Verfahren

Verkehrsmodellierung

