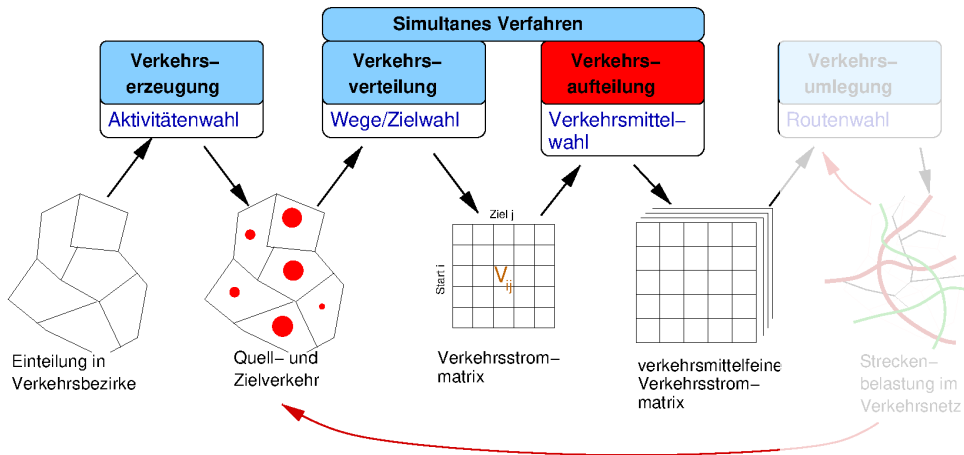


# 7. Verkehrsmittelwahl bzw. Modal Split



- ▶ 7.1 Zielsetzung des Modal Split
- ▶ 7.2 Modellierung des Widerstandes  $W$
- ▶ 7.3 Modellierung des Zufallsnutzens

- ▶ 7.4 Diskrete Wahltheorie
- ▶ 7.5 Beispiel zum MNL
- ▶ 7.6 Kirchhoff'sche Aufteilungsregel

## 7.1 Zielsetzung des Modal Split

Ermittlung der Verkehrsmittelaufteilung  $P_{k|ij}$  auf die Haupt-Verkehrsmodi  $k$  für die Relation  $i \rightarrow j$ , ggf getrennt für jede Quelle-Ziel-Gruppen (QZG)  $g$ .

- ▶ Dies ergibt die verkehrsmittelfeine Verkehrsstrommatrix

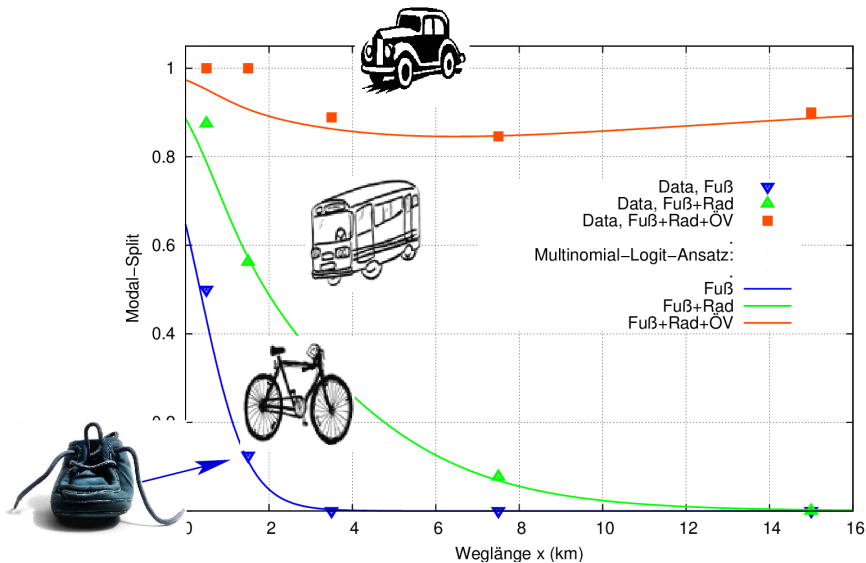
$$V_{ijk} = V_{ij} P_{k|ij}$$

- ▶ Ein Klassiker der **Diskreten Wahltheorie**
- ▶ Nur grundlegend unterschiedliche Verkehrsmodi werden betrachtet, also Bus, Straßenbahn, Bahn  $\Rightarrow$  öffentlicher Verkehr (ÖV), Auto, Motorrad  $\Rightarrow$  motorisierter Individualverkehr (MIV).
- ▶ Wie in der diskreten Wahltheorie ( $\Rightarrow$  *Master-VL*) muss die Alternativenmenge exklusiv und vollständig sein, also genau eine Alternative zutreffen
- ? Die Verkehrsmodi seien zu Fuß, Rad, ÖV und MIV. Wie modelliert man (i) multimodale Wege, z.B. Bahn mit mitgenommenen Rad? (ii) Wie Wege mit e-Bikes, Motor-Tretroller oder als Mitfahrer? (i) Hauptverkehrsmittel zählt; (ii) der ähnlichste Hauptmodus zählt, also Rad-Rad-MIV (der Motor-Tretroller wäre genügend unterschiedlich von den anderen, um einen eigenen Hauptmodus "Sonstige" zu beanspruchen)

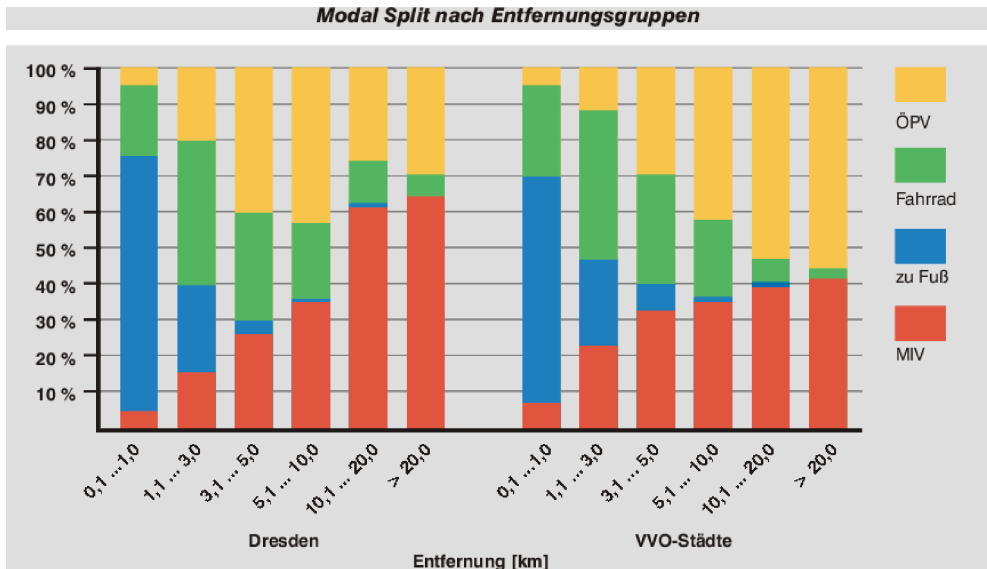
## Beispiel: Vorlesungsumfrage zu WB-Wegen

	Fuß	Rad	ÖV	Kfz	$\Sigma$
0-1 km	4	3	1	0	8
1-2 km	2	7	7	0	16
2-5 km	0	6	10	2	18
5-10 km	0	1	10	2	13
> 10 km	0	0	9	1	10
$\Sigma$	6	17	37	5	65
$P_k^{(WB)}$	6/65	17/65	37/65	5/65	1

# Beispiel: Vorlesungsumfrage zu WB-Wegen: Bedingter Modal Split



## Bedingter Modal Split in der Mobilitätserhebung SrV



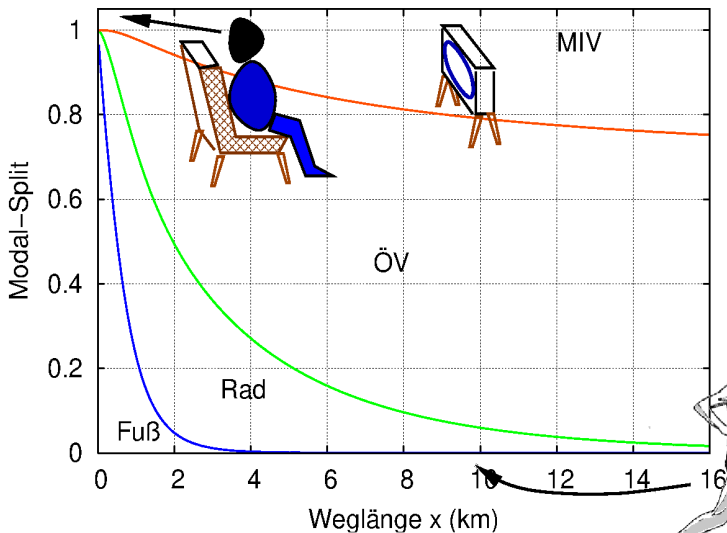
## 7.2 Modellierung des Widerstandes $W$

Der Widerstand  $W_k$  bzw. die *Disutility*  $-V_k$  (!Verwechslungsgefahr des deterministischen Nutzens  $V$  der diskreten Wahltheorie mit Verkehrsströmen  $\Rightarrow$  verwende  $W$ ) wird durch einen oder mehrere lineare Faktoren modelliert:

- ▶ **Charakteristika** der Wege-Verkehrsmittelkombination, v.A. Reisezeit  $T_k$  und Kosten  $K_k$
  - ▶ ggf. **sozioökonomische Variable** wie Alter und Geschlecht
  - ▶ ggf. **externe Faktoren** wie das Wetter
  - ▶ **alternativenspezifische Konstanten** (ACs) für Ad-Hoc Präferenzen von Alternativen
- ? Warum kommt es nur auf Widerstandsdifferenzen an? Wie viele ACs gibt es also bei 4 Alternativen? Da wir nur nach Nutzenunterschieden, nicht absoluten Nutzen, auswählen können
- ? Die Alternativenmenge der Modi sei durch  $k = 1$ : zu Fuß,  $k = 2$ : Rad,  $k = 3$ : ÖV und  $k = 4$ : MIV gegeben. Wieviele ACs gibt es maximal? Durch welche ACs lässt sich der Modal-Split einer Gruppe von "Ökos" charakterisieren?

Maximal 3 ACs, da es nur auf Unterschiede ankommt, die Alternative mit AC=0 ist die "Referenz". Ökos: Mehr Widerstand bei MIV, also AC  $> 0$  (bezüglich des Widerstandes!)

## 7.3 Modellierung des Zufallsnutzens



▶ *Systematischen* Präferenzen: ACs

▶ *Zufällige* Präferenzen aufgrund von nicht betrachteten Attributen:

- ▶ "z.B. Sportlichkeit"
- ▶ Gesundheit/Alter
- ▶ Freier Wille

## 7.4 Diskrete Wahltheorie

- ▶ Wie die Aktivitäten- und Zielwahl ist auch der Modal Split eine diskrete Entscheidung *“genau eine aus endlich vielen Alternativen”*
- ▶ Im Rahmen der **diskreten Wahltheorie** wird sie mikroskopisch durch Nutzenmaximierung modelliert:

$$k_{\text{selected}} = \arg \max_k U_k = \arg \max_k (-W_k + \epsilon_k)$$

- ▶ Annahme: Zufallsnutzen  $\epsilon_k \sim i.i.d.$  Gumbel  $\xrightarrow{\text{Aggregation}}$  **Multinomial-Logit-Modell (MNL)** mit den makroskopischen Auswahlwahrscheinlichkeiten

$$P_k = e^{-W_k} / \left( \sum_l e^{-W_l} \right)$$

- ▶ Der Widerstand hat dabei z.B. die Form  $W_k = \beta T_k + (AC)_k$



## Diskrete Wahltheorie II

Formal ist das MNL äquivalent zum Wilson-Modell  $\Rightarrow$  das Wilson-Modell/MNL eignet sich für die simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahl am besten

- ? Zeigen Sie, dass das MNL die "Randsummenbedingung"  $\sum_k P_k = 1$  erfüllt Trivial. Einfach in die MNL-Formel einsetzen
- ? Zeigen Sie, dass sich nichts ändert, wenn man zu allen Widerständen  $W_k$  dieselbe Konstante  $C$  addiert  $P_k = e^{-W_k+C} / (\sum_l e^{-W_l+C}) = e^{-W_k} e^C / (\sum_l e^{-W_l} e^C) = e^{-W_k} / (\sum_l e^{-W_l})$
- ? Zeigen Sie, dass bei nur 2 Alternativen (binomiale Modelle) eine Nutzenmaximierung von deterministischen Nutzen  $-W_k$  und beliebig i.i.d. verteilten Zufallsnutzen zu den Auswahlwahrscheinlichkeiten

$$P_1 = P(U_1 \geq U_2) = F_{\epsilon_2 - \epsilon_1}(W_2 - W_1),$$

$$P_2 = 1 - P_1$$

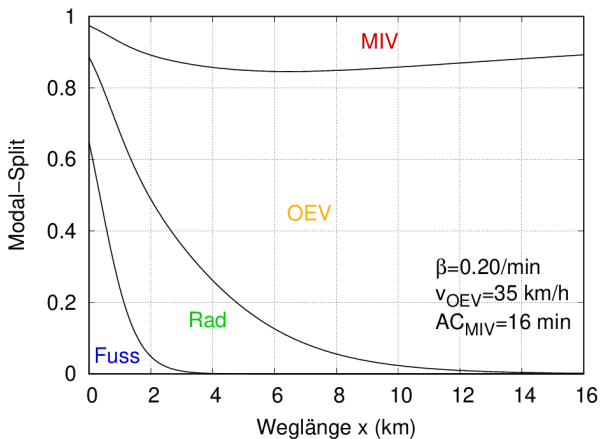
führt, wobei  $F_{\epsilon_1 - \epsilon_2}(x)$  die Verteilungsfunktion der Zufallsnutzendifferenz ist

$$P_1 = P(-W_2 + \epsilon_2 \leq -W_1 + \epsilon_1)$$

$$= P(\epsilon_2 - \epsilon_1 \leq W_2 - W_1)$$

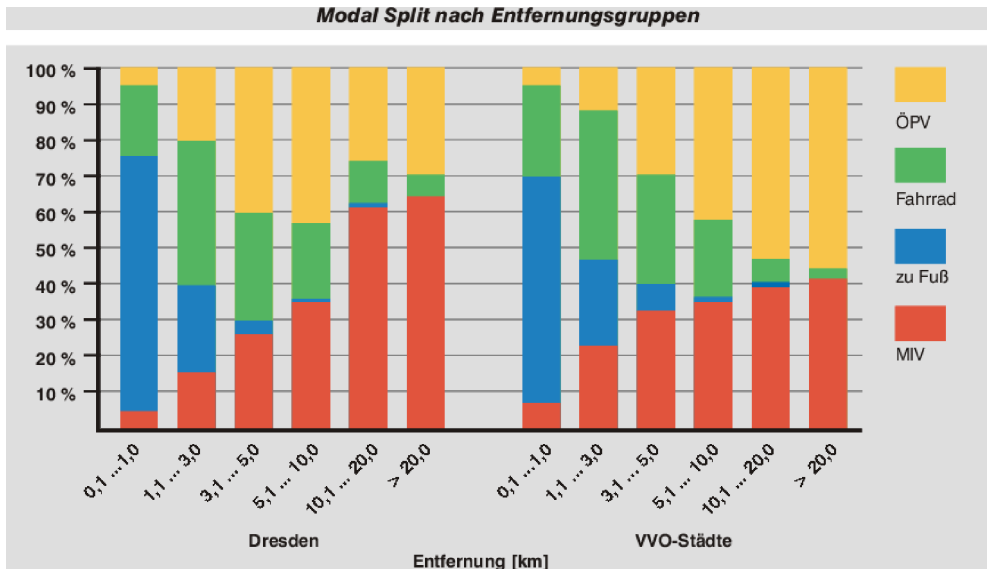
$$\stackrel{\text{Def } F(x) = P(X \leq x)}{=} F_{\epsilon_2 - \epsilon_1}(W_2 - W_1)$$

## 7.5 Beispiel zum MNL: Kalibrierung auf die Vorlesungsumfrage

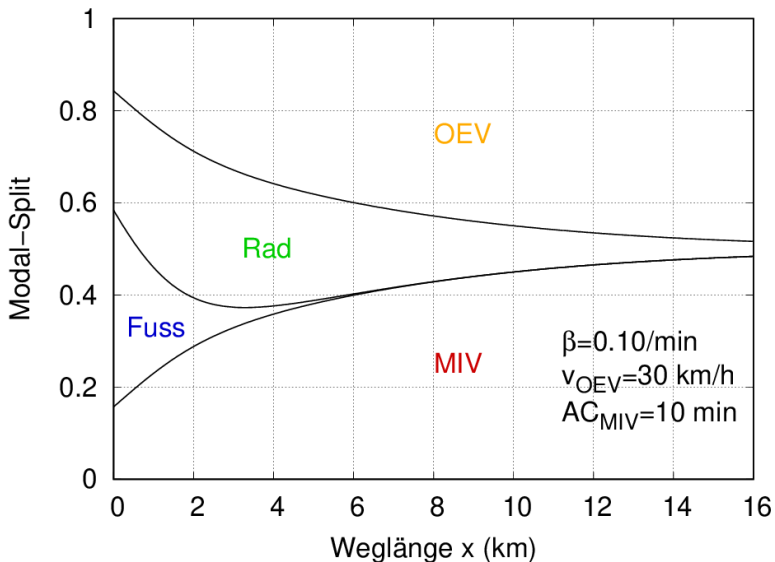


- ▶ Reiseweiten- und modusabhängige Widerstandsfunktionen  $W_k = \beta T_k = \beta(T_{0k} + x/v_k)$
- ▶ Unschärfeparameter  $\beta = 0.2 \text{ min}^{-1}$
- ▶ angenommene Geschwindigkeiten  $v_{\text{Fuß}} = 5 \text{ km/h}$ ,  $v_{\text{Rad}} = 15 \text{ km/h}$ ,  $v_{\text{ÖV}} = 35 \text{ km/h}$ ,  $v_{\text{MIV}} = 30 \text{ km/h}$ ,
- ▶ ACs in Form von "Rüstzeiten"  $T_{0k}$  mit  $T_{0,\text{Fuß}} = 0$ ,  $T_{0,\text{Rad}} = 5 \text{ min}$ ,  $T_{0,\text{ÖV}} = 10 \text{ min}$ ,  $T_{0,\text{IV}} = 16 \text{ min}$   
 ⇒ [Kirchhoff](#)

## Vergleich mit der Empirie: SrV



## MNL-Modellierung: Fit an die SrV-Daten



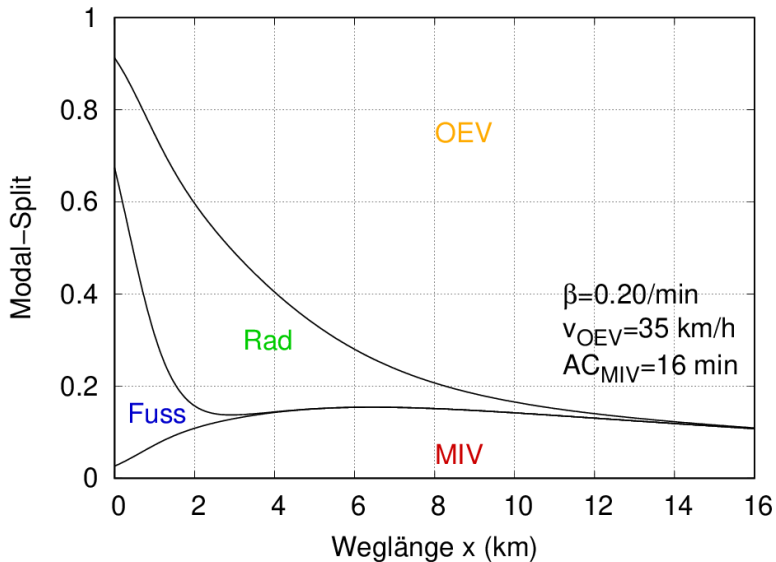
$$W_k = \beta T_k = \beta(T_{0k} + x/v_k)$$

- ▶ Unschärfeparameter  
 $\beta = 0.1 \text{ min}^{-1}$

- ▶ angenommene Geschwindigkeiten  
 $v_{\text{Fuß}} = 5 \text{ km/h}$ ,  
 $v_{\text{Rad}} = 15 \text{ km/h}$ ,  
 $v_{\text{ÖV}} = 30 \text{ km/h}$ ,  
 $v_{\text{MIV}} = 30 \text{ km/h}$

- ▶ ACs in Form von "Rüstzeiten"  
 $T_{0,\text{Fuß}} = 0$ ,  
 $T_{0,\text{Rad}} = 5 \text{ min}$ ,  
 $T_{0,\text{ÖV}} = 10 \text{ min}$ ,  
 $T_{0,\text{IV}} = 10 \text{ min}$

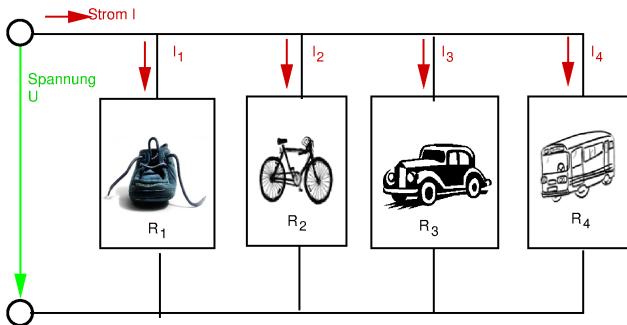
## Vergleich: Parametrisierung zum Fit der Vorlesungsumfrage



$$W_k = \beta T_k = \beta(T_{0k} + x/v_k)$$

- ▶ Unschärfeparameter  
 $\beta = 0.2 \text{ min}^{-1}$
- ▶ angenommene Geschwindigkeiten  
 $v_{\text{Fuß}} = 5 \text{ km/h}$ ,  
 $v_{\text{Rad}} = 15 \text{ km/h}$ ,  
 $v_{\text{ÖV}} = 35 \text{ km/h}$ ,  
 $v_{\text{MIV}} = 30 \text{ km/h}$
- ▶ ACs in Form von "Rüstzeiten"  
 $T_{0,\text{Fuß}} = 0$ ,  
 $T_{0,\text{Rad}} = 5 \text{ min}$ ,  
 $T_{0,\text{ÖV}} = 10 \text{ min}$ ,  
 $T_{0,\text{IV}} = 16 \text{ min}$

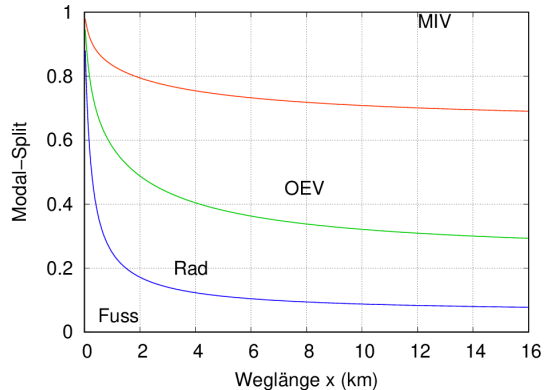
## 7.6 Kirchhoff'sche Aufteilungsregel



$$P_k = \frac{1/W_k}{\sum_l 1/W_l} \quad \text{Kirchhoff'sche Aufteilungsregel}$$

- ▶ Motivation durch die elektrischen Parallelschaltung:
  - ▶ Verkehrsstrom entspricht elektrischen Strom proportional el. Leitfähigkeit  $L_k = 1/R_k$ ,
  - ▶ Widerstand  $W_k$  entspricht elektrischen Widerstand  $R_k$
- ▶ Dies kann als Wilson/Logit-Modell aufgefasst werden, wenn man  $W_{\text{Kirchhoff}} = e^{W_{\text{MNL}}}$  setzt (warum?)  $1/W_{\text{Kirchhoff}} = 1/e^{W_{\text{MNL}}} = e^{-W_{\text{MNL}}} \Rightarrow$  MNL-Formel

## Beispiel



- ▶ Dieselben Widerstandsfunktionen und Parameter wie bei der [MNL-Modellierung](#). Der Unschärfeparameter  $\beta$  kürzt sich aber raus  $\Rightarrow$  skalenfrei
- ? Identifizieren Sie anhand des Plots die Vor- und Nachteile des Kirchhoff'schen Modells gegenüber dem Wilson-Modell  
Vorteil: Bei Strecken  $\rightarrow 0$  geht der Fußanteil auf 100 %; Nachteil: Unrealistisches Verhalten bei langen Strecken: Anteile konvergieren gegen die Verhältnisse der Geschwindigkeiten