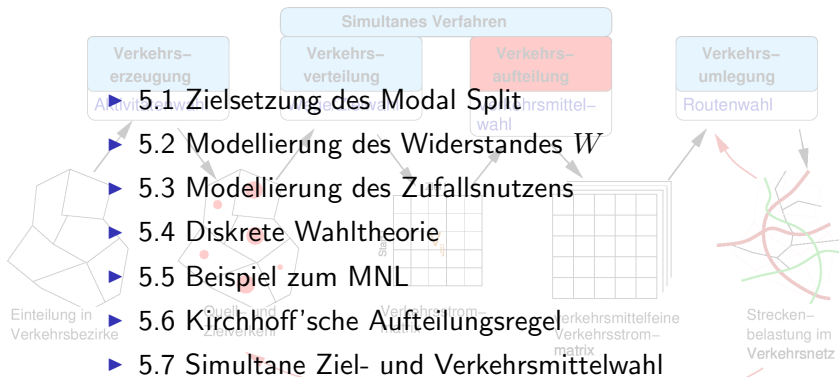


## 5. Verkehrsmittelwahl bzw. Modal Split



## 5.1 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

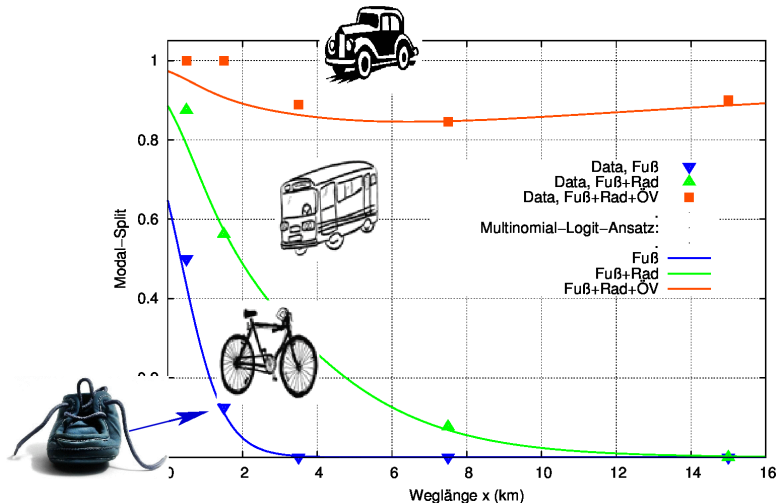
$$V_{ijk} = V_{ij} P_{k|ij}$$

- ▶ 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 muss die Alternativenmenge exklusiv und vollständig sein, also genau eine Alternative zutreffen
- ? Die Verkehrsmodi seien zu Fuß, Rad, ÖV und MIV. Wie modelliert man multimodale Wege, z.B. Bahn mit mitgenommenen Rad? Wie Wege mit e-Bikes, Motor-Tretroller oder als Mitfahrer?

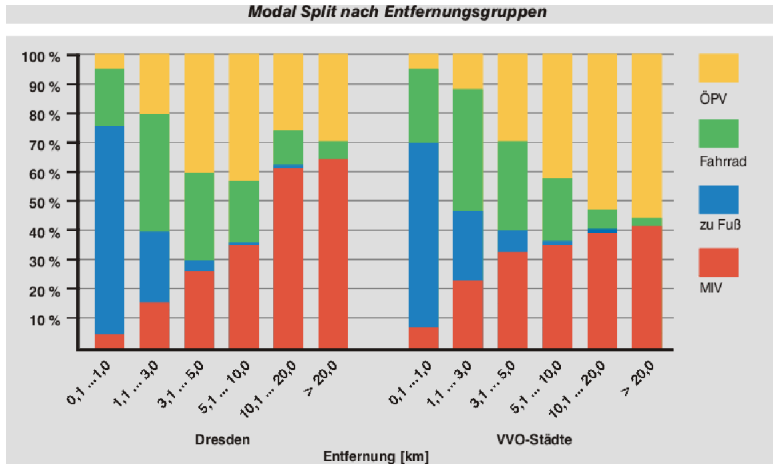
## Beispiel: Vorlesungsumfrage zu WB-Wegen

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

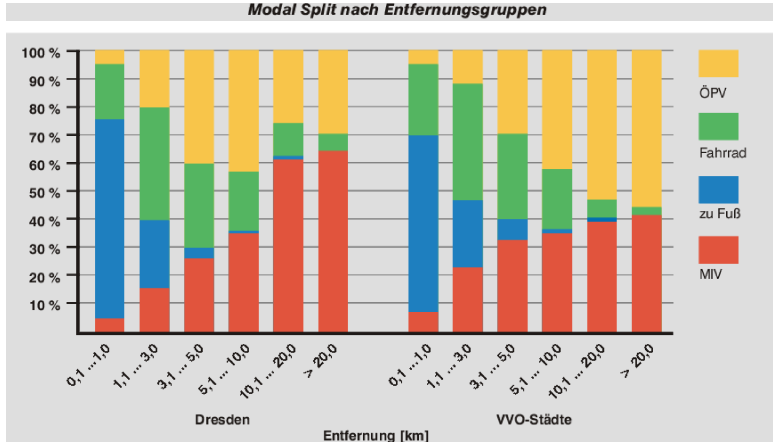
## Beispiel: Vorlesungsumfrage zu WB-Wegen



## Beispiel: SrV-Umfrage: Modal Split



## Verteilung der Reiseweiten für die Modi



## 5.2 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

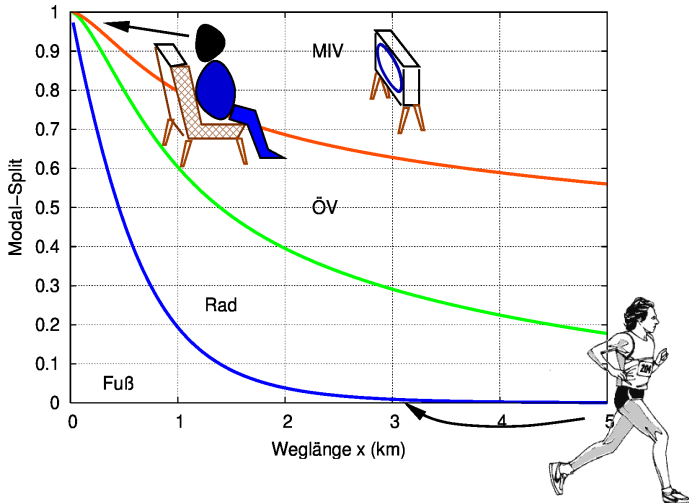
? Warum kommt es nur auf Widerstandsdifferenzen an? Wie viele ACs gibt es also bei 4 Alternativen?

? Die Alternativenmenge der Modi sei durch  $k = 1$ : zu Fuß,  $k = 2$ : Rad,  $k = 3$ : ÖV und  $k = 4$ : MIV gegeben. Durch welche ACs lässt sich der Modal-Split einer Gruppe von "Ökos" charakterisieren?

Ökos: Mehr Widerstand bei MIV, also (bezüglich des Widerstandes!) eine negative AC. Die anderen Alternativen haben etwa den gleichen "Anfangsbonus" und als Referenz  $AC=0$ .

## 5.3 Modellierung des Zufallsnutzens

Neben systematischen Präferenzen, die durch ACs modelliert werden, gibt es zufällige Präferenzen aufgrund von nicht betrachteten Attributen ("z.B. Sportlichkeit") und dem freien Willen:





## 5.4 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:

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

- ▶ 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

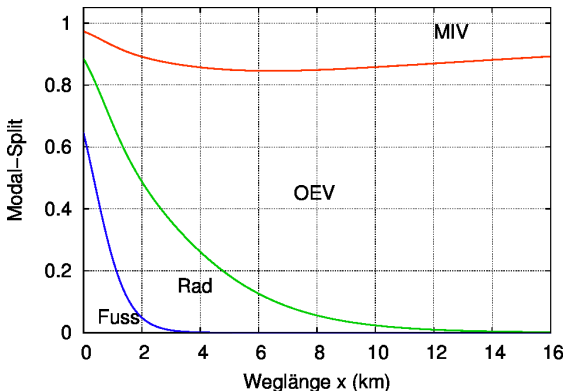
- ▶ Formal ist das MNL äquivalent zum Wilson-Modell  $\Rightarrow$  das Wilson-Modell/MNL eignet sich für die simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahl am besten
- ? Zeigen Sie, dass das MNL die "Randsummenbedingung"  $\sum_k P_k = 1$  erfüllt
- ? Zeigen Sie, dass sich nichts ändert, wenn man zu allen Widerständen  $W_k$  dieselbe Konstante  $C$  addiert
- ? 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

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

$$P_2 = 1 - P_1$$

führt, wobei  $F_{\epsilon_1 - \epsilon_2}(x)$  die Verteilungsfunktion der Zufallsnutzendifferenz ist. Setze  $U_1 = -W_1 + \epsilon_1$  und  $U_2 = -W_2 + \epsilon_2$  und wende die Definition der Verteilungsfunktion  $F(x) = P(X \leq x)$  an

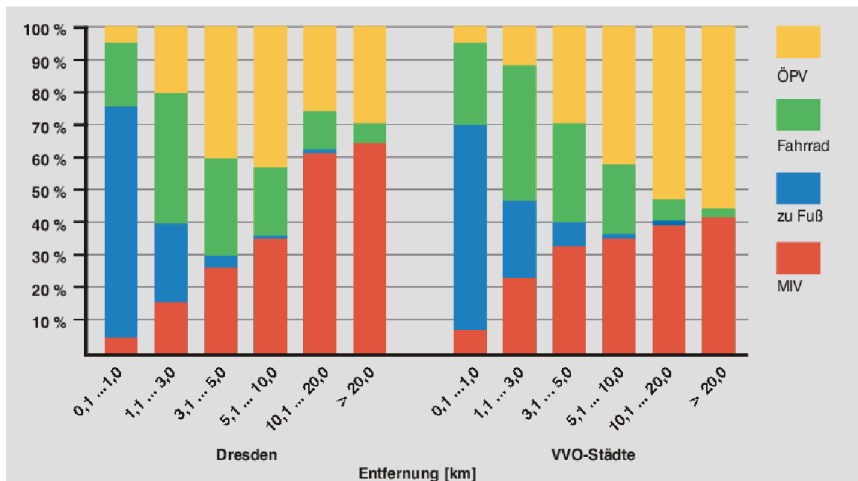
## 5.5 Beispiel zum MNL



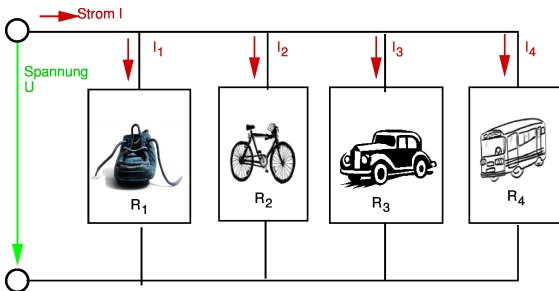
- ▶ reiseweiten- und modusabhängige Widerstandsfunktionen  
 $W_k = \beta T_k = \beta(T_{0k} + r/v_k)$
- ▶ Unschärfeparameter  $\beta = 0.2 \text{ min}^{-1}$
- ▶ angenommene Geschwindigkeiten  $v_{\text{Fuß}} = 5 \text{ km/h}$ ,  $v_{\text{Rad}} = 15 \text{ km/h}$ ,  
 $v_{\text{ÖV}} = 35 \text{ km/h}$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

## Vergleich mit der Empirie: SrV

*Modal Split nach Entfernungsgruppen*



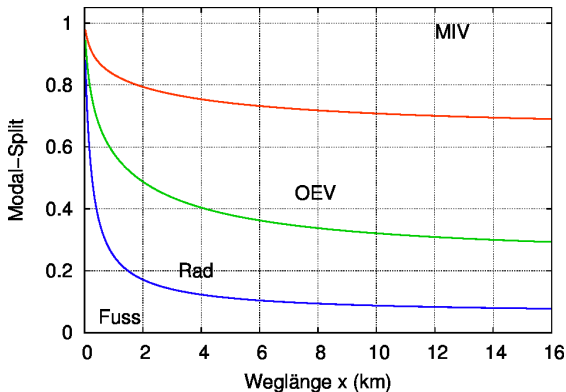
## 5.6 Kirchhoff'sche Aufteilungsregel



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

- ▶ Motivation durch die elektrischen Parallelschaltung:
  - ▶ Verkehrsstrom entspricht elektrischen Strom proportional elektrischer 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?)

## 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

## 5.7 Simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahl

Nicht in diesem Semester