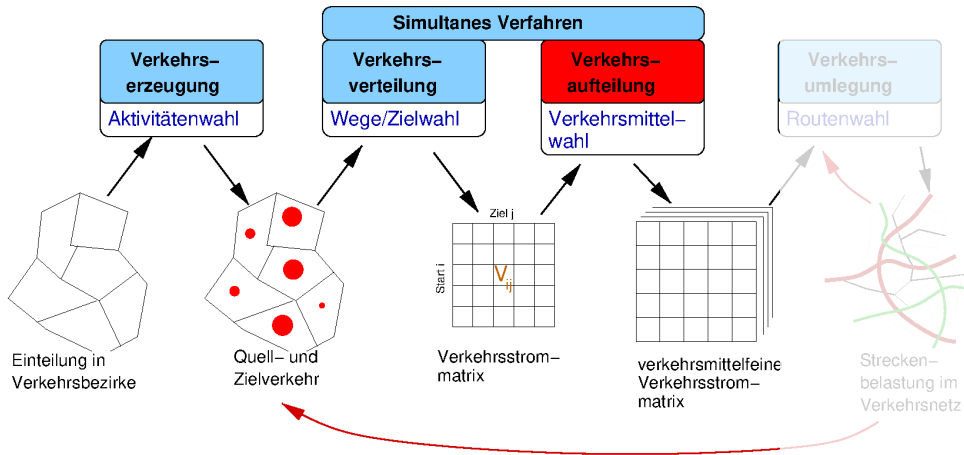


7. Verkehrsmittelwahl bzw. Modal Split



- ▶ 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, PV 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)

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)

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)

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)

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, $\ddot{P}V$ 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)

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, $\ddot{P}V$ 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	Σ
0-1 km	4	3	1	0	

Beispiel: Vorlesungsumfrage zu WB-Wegen

	Fuß	Rad	ÖV	Kfz	Σ
0-1 km	4	3	1	0	
1-2 km	2	7	7	0	

Beispiel: Vorlesungsumfrage zu WB-Wegen

	Fuß	Rad	ÖV	Kfz	Σ
0-1 km	4	3	1	0	
1-2 km	2	7	7	0	
2-5 km	0	6	10	2	

Beispiel: Vorlesungsumfrage zu WB-Wegen

	Fuß	Rad	ÖV	Kfz	Σ
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	

Beispiel: Vorlesungsumfrage zu WB-Wegen

	Fuß	Rad	ÖV	Kfz	Σ
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	

Beispiel: Vorlesungsumfrage zu WB-Wegen

	Fuß	Rad	ÖV	Kfz	Σ
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	
Σ	6	17	37	5	

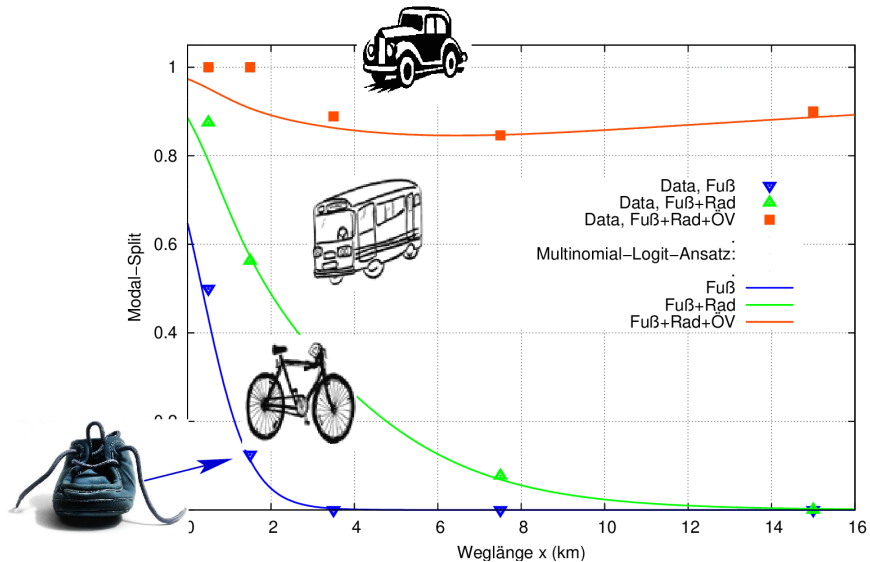
Beispiel: Vorlesungsumfrage zu WB-Wegen

	Fuß	Rad	ÖV	Kfz	Σ
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	
Σ	6	17	37	5	
$P_k^{(WB)}$	6/65	17/65	37/65	5/65	

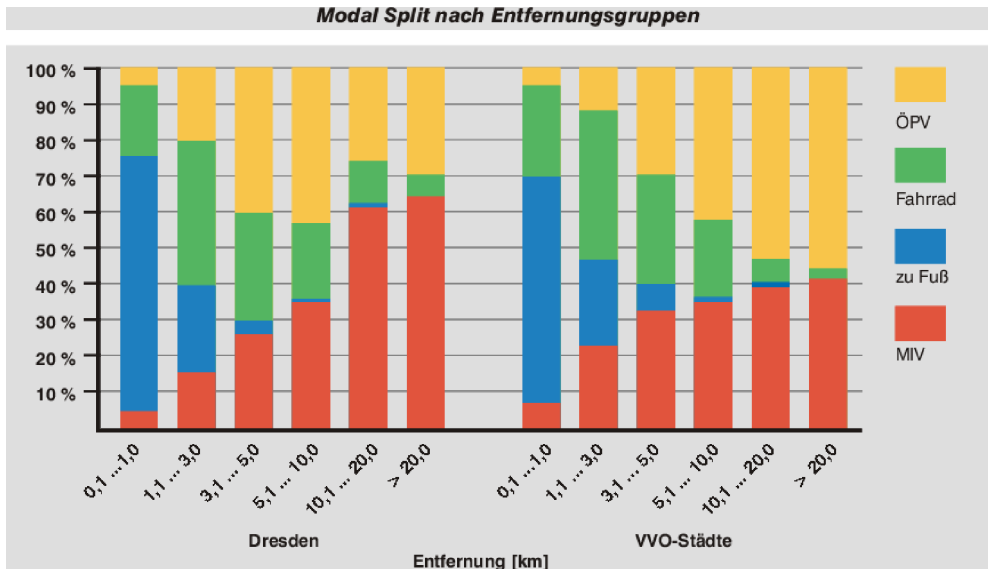
Beispiel: Vorlesungsumfrage zu WB-Wegen

	Fuß	Rad	ÖV	Kfz	Σ
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
Σ	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

7. 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

7. 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!)

7.2 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!)

7.2 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!)

7.2 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!)

7.2 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!)

7.2 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!)

7.2 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!)

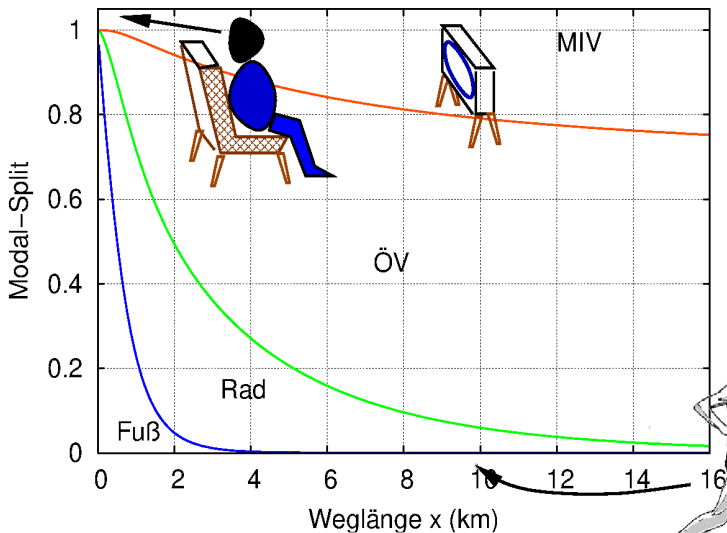
7.2 Modellierung des Widerstandes W

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

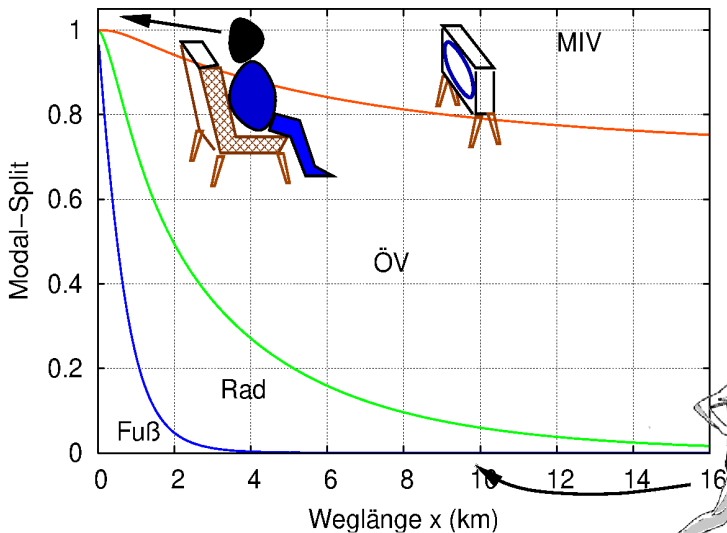


▶ Systematischen Präferenzen: ACs

▶ Zufällige Präferenzen aufgrund von nicht betrachteten Attributen:

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

7.3 Modellierung des Zufallsnutzens

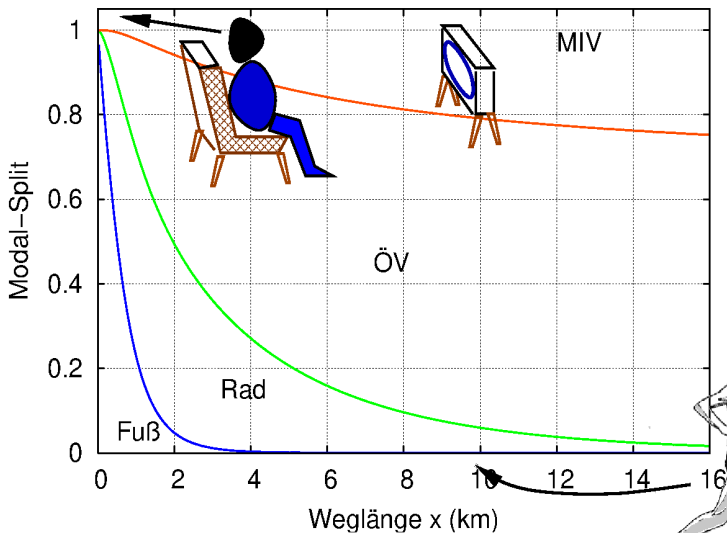


▶ *Systematischen* Präferenzen: ACs

▶ *Zufällige* Präferenzen aufgrund von nicht betrachteten Attributen:

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

7.3 Modellierung des Zufallsnutzens



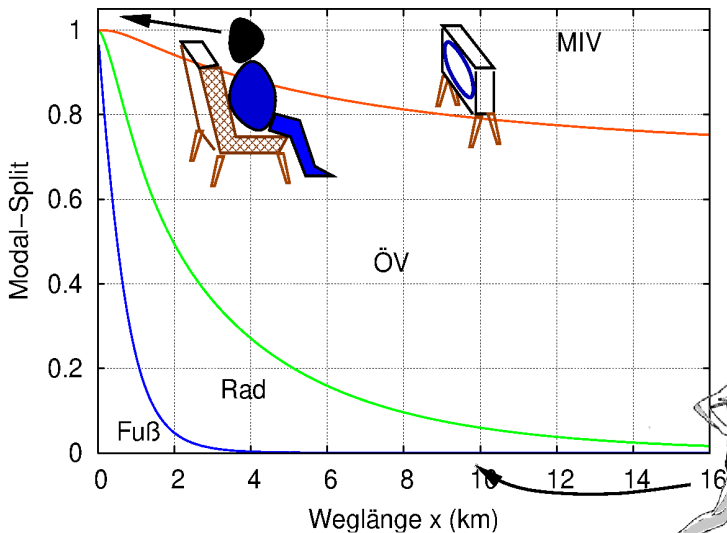
▶ *Systematischen* Präferenzen: ACs

▶ *Zufällige* Präferenzen aufgrund von nicht betrachteten Attributen:

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



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 $W_k = \beta T_k + (AC)_k$

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 $W_k = \beta T_k + (AC)_k$

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

$$P_1 = P(U_1 \geq U_2) = F_{\alpha_2 - \alpha_1}(W_2 - W_1),$$

$$P_2 = 1 - P_1$$

führt, wobei $F_{\alpha_2 - \alpha_1}(x)$ die Verteilungsfunktion der Zufallsnutzendifferenz ist

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

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

$$\stackrel{\text{Def } F(x) = P(X \leq x)}{=} F_{\alpha_2 - \alpha_1}(W_2 - W_1)$$

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

$$P_1 = P(U_1 \geq U_2) = F_{\alpha_2 - \alpha_1}(W_2 - W_1),$$

$$P_2 = 1 - P_1$$

führt, wobei $F_{\alpha_2 - \alpha_1}(x)$ die Verteilungsfunktion der Zufallsnutzendifferenz ist

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

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

$$\stackrel{\text{Def } F(x) = P(X \leq x)}{=} F_{\alpha_2 - \alpha_1}(W_2 - W_1)$$

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

$$P_1 = P(U_1 \geq U_2) = F_{c_2 - c_1}(W_2 - W_1),$$

$$P_2 = 1 - P_1$$

führt, wobei $F_{c_1 - c_2}(x)$ die Verteilungsfunktion der Zufallsnutzendifferenz ist

$$P_1 = P(-W_2 + c_2 \leq -W_1 + c_1)$$

$$= P(c_2 - c_1 \leq W_2 - W_1)$$

$$\stackrel{\text{Def } F(x) = P(X \leq x)}{=} F_{c_2 - c_1}(W_2 - W_1)$$

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

$$P_1 = P(U_1 \geq U_2) = F_{e_2 - e_1}(W_2 - W_1),$$

$$P_2 = 1 - P_1$$

führt, wobei $F_{e_1 - e_2}(x)$ die Verteilungsfunktion der Zufallsnutzendifferenz ist

$$P_1 = P(-W_2 + e_2 \leq -W_1 + e_1)$$

$$= P(e_2 - e_1 \leq W_2 - W_1)$$

$$\stackrel{\text{Def } F(x) = P(X \leq x)}{=} F_{e_2 - e_1}(W_2 - W_1)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$P_2 = 1 - P_1$$

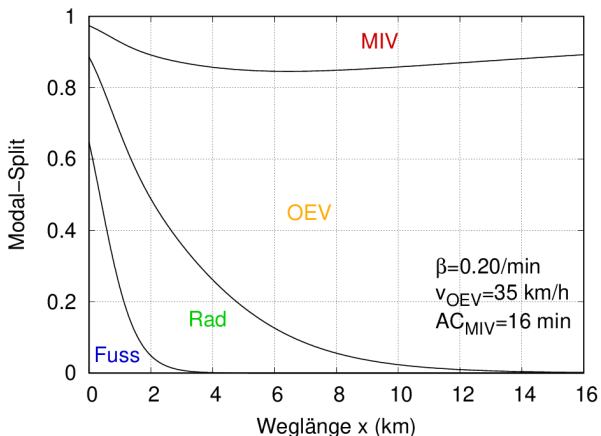
führt, wobei $F_{\epsilon_1 - \epsilon_2}(x)$ die Verteilungsfunktion der Zufallsnutzendifferenz ist

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

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

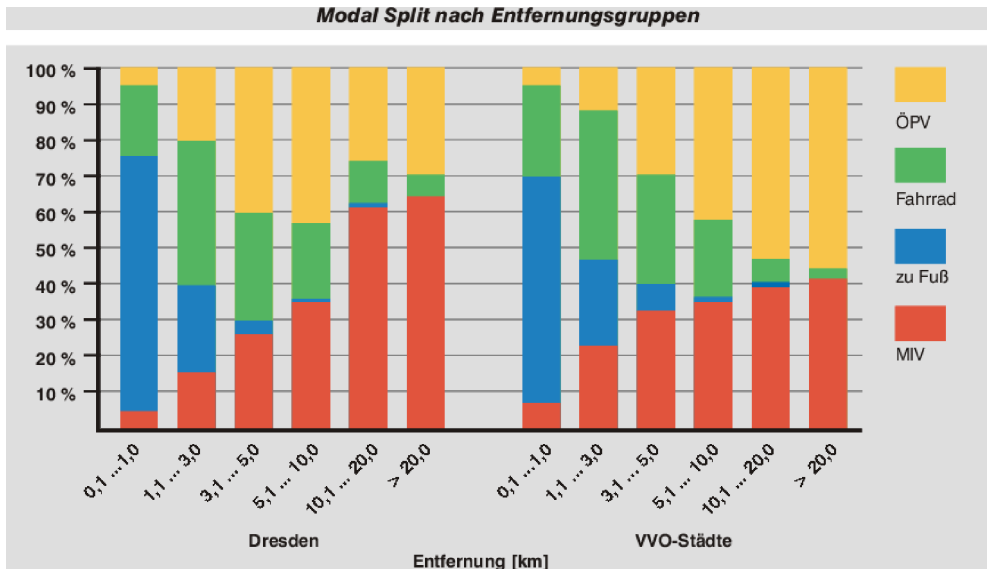
$$\text{Def } F(x) = P(X \leq x) = F_{\epsilon_2 - \epsilon_1}(W_2 - W_1)$$

7.5 Beispiel zum MNL: Kalibrierung auf die Vorlesungsumfrage

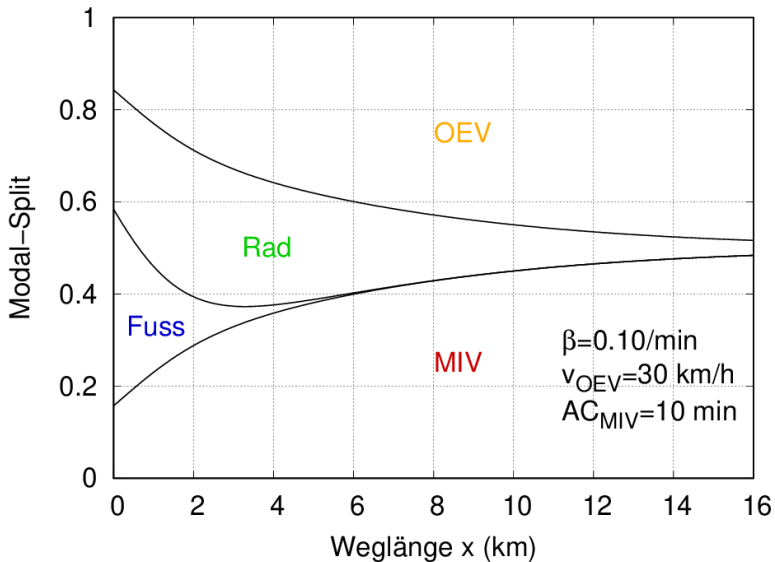


- ▶ Reiseweiten- und modusabhängige Widerstandsfunktionen $W_k = \beta T_k = \beta(T_{0k} + x/v_k)$
- ▶ Unschärfeparameter $\beta = 0.2 \text{ min}^{-1}$
- ▶ angenommene Geschwindigkeiten $v_{\text{Fuß}} = 5 \text{ km/h}$, $v_{\text{Rad}} = 15 \text{ km/h}$, $v_{\text{ÖV}} = 35 \text{ km/h}$, $v_{\text{MIV}} = 30 \text{ km/h}$,
- ▶ 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



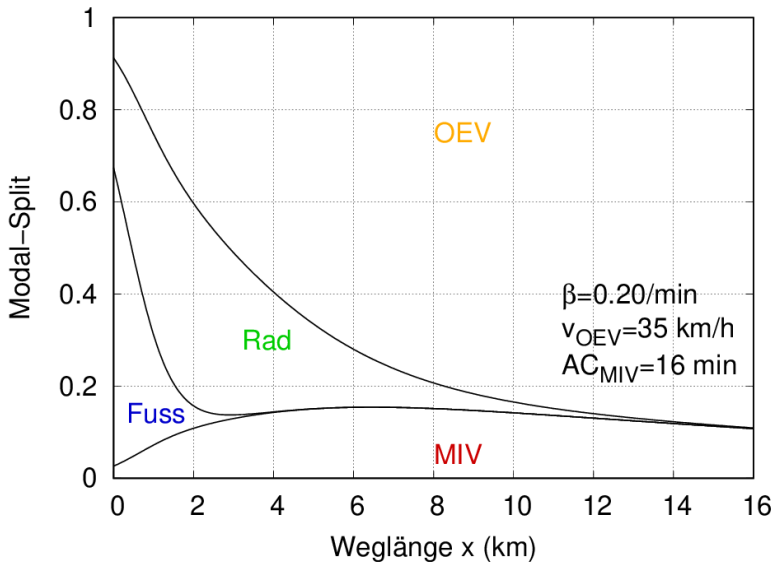
$$W_k = \beta T_k = \beta(T_{0k} + x/v_k)$$

- ▶ 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



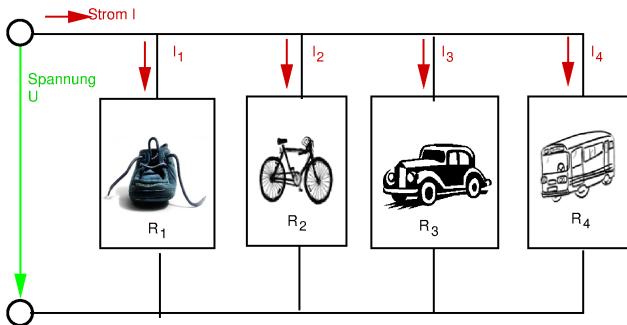
$$W_k = \beta T_k = \beta(T_{0k} + x/v_k)$$

- ▶ 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"
 $T_{0,\text{Fuß}} = 0$,
 $T_{0,\text{Rad}} = 5 \text{ min}$,
 $T_{0,\text{ÖV}} = 10 \text{ min}$,
 $T_{0,\text{IV}} = 16 \text{ min}$

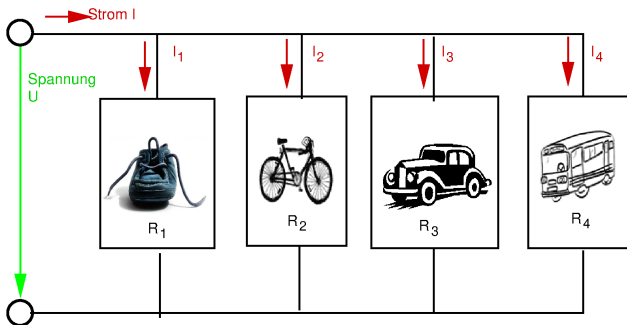
7.6 Kirchhoff'sche Aufteilungsregel



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

- ▶ 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

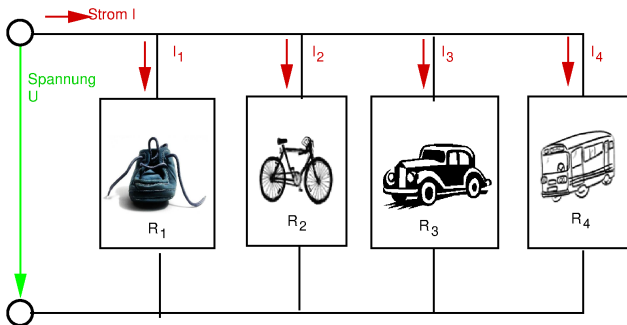
7.6 Kirchhoff'sche Aufteilungsregel



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

- ▶ 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

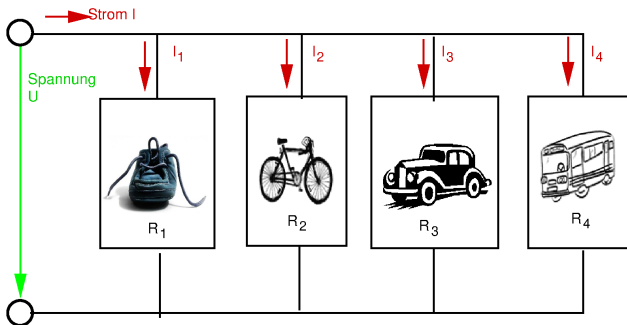
7.6 Kirchhoff'sche Aufteilungsregel



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

- ▶ 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

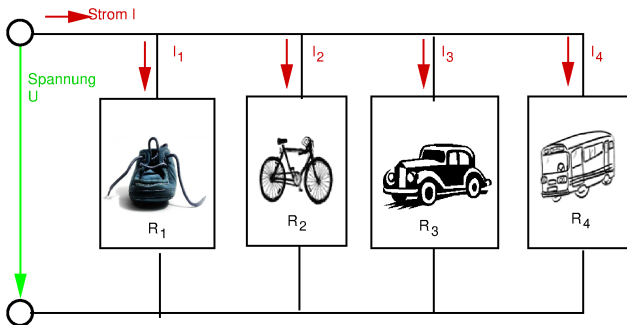
7.6 Kirchhoff'sche Aufteilungsregel



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

- ▶ 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

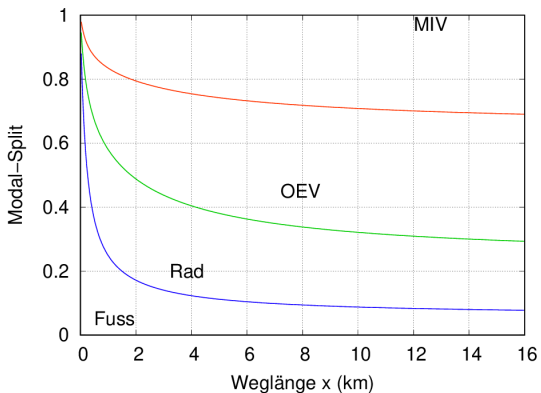
7.6 Kirchhoff'sche Aufteilungsregel



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

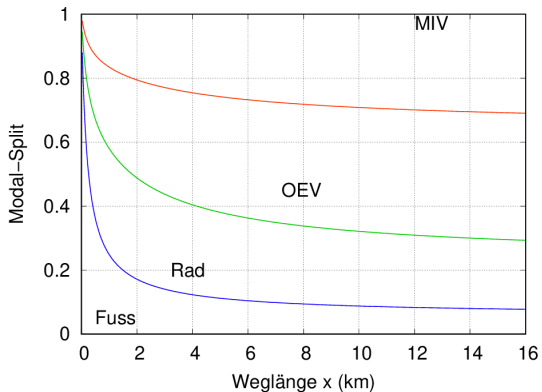
- ▶ Motivation durch die elektrischen Parallelschaltung:
 - ▶ Verkehrsstrom entspricht elektrischen Strom proportional el. Leitfähigkeit $L_k = 1/R_k$,
 - ▶ Widerstand W_k entspricht elektrischen Widerstand R_k
- ▶ Dies kann als Wilson/Logit-Modell aufgefasst werden, wenn man $W_{\text{Kirchhoff}} =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

Beispiel



- ▶ Dieselben Widerstandsfunktionen und Parameter wie bei der [MNL-Modellierung](#). Der Unschärfeparameter β 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