

## Verkehrsökometrie für Bachelor- Studierende

Sommersemester 2021, Übung Nr. 7

### Aufgabe 7.1: Verkehrsaufteilung mit dem LOGIT-Modell

Ein gegebener Verkehrsstrom kann sich aus mehreren Verkehrsmitteln  $k$  zusammen setzen. Die Verkehrsaufteilung beantwortet die Frage, zu welchen Teilen  $P(k)$  bestimmte Verkehrsmittel  $k$  in einem Verkehrsfluss vertreten sind.

In einem autofreien Bezirk stehen den Einwohnern die drei Verkehrsmittel 'Fuß', 'Rad' und 'ÖV' zur Verfügung. Abhängig von der Reiseweite  $r_n$  (1, 5 und 10 km) sind in folgender Tabelle die entsprechenden komplexen Reisezeiten  $T_k$  aufzeigt:

$T_k$	$n = 1: 1 \text{ km}$	$n = 2: 5 \text{ km}$	$n = 3: 10 \text{ km}$
$k = 1$ (Fuß)	12 min	60 min	120 min
$k = 2$ (Rad)	4 min	20 min	40 min
$k = 3$ (ÖV)	17 min	25 min	35 min

Nach dem Grundmodell der Verkehrsmittelwahl berechnet sich der relative Anteil  $P(k)$  eines Verkehrsmittels  $k$  im einfachsten Fall (nur Zeiten als Einflussfaktoren, Sensitivität  $\beta < 0$ ) mit der Formel

$$P(k) = \frac{B(W_k)}{\sum_{k'=1}^K B(W_{k'})} = \frac{B(-U_k^{\det})}{\sum_{k'=1}^K B(-U_{k'}^{\det})} = \frac{\exp(\beta T_k)}{\sum_{k'=1}^K \exp(\beta T_{k'})}$$

- (a) Geben Sie exogene und endogene Variable sowie den/die Modellparameter einschließlich der Einheiten an. Unterteilen Sie die exogenen Variablen in Charakteristika (alternativenspezifische Werte), sozioökonomische Variable, externe Variable sowie alternativenspezifische Konstanten.
- (b) Das Standardmodell der diskreten Wahltheorie, das Multinomial-Logit Modell, besitzt in der allgemeinen Formulierung (exogener Variablenvektor  $\mathbf{x}$ , Parametervektor  $\boldsymbol{\beta}$ , deterministische Nutzenfunktion  $U_k^{\det}$  für die Alternative  $k$ ) die Auswahlwahrscheinlichkeiten

$$P(k) = \frac{\exp[U_k^{\det}(\mathbf{x}; \boldsymbol{\beta})]}{\sum_{k'} \exp[U_{k'}^{\det}(\mathbf{x}; \boldsymbol{\beta})]}$$

Zeigen Sie, dass das Wilson-Modell des Modal Splits ein Spezialfall des allgemeinen Multinomial-Logit-Modells (MNL) ist. Geben Sie dazu  $\mathbf{x}$ ,  $\boldsymbol{\beta}$  sowie  $U_k^{\det}$  an.

*Hinweis:* Die alternativenspezifischen Konstanten (ACs) des MNL sind bereits in den komplexen Reisezeiten  $T_k$  als "Rüstzeiten" enthalten.

- (c) Es sei nun  $\beta = -0.1 \text{ min}^{-1}$ . Berechnen Sie für alle drei Reiseweiten die relative Aufteilung auf die Verkehrsmittel.
- (d) Das ÖV-Verkehrsunternehmen erwägt, durch Erniedrigung der Taktzeit von 30 min auf 10 min die komplexen Reisezeiten zu reduzieren. Wie verändern sich die mittleren Zeiten für die drei Entfernungen bei spontanem Reisebeginn und wenn in keinem Fall umgestiegen werden muss? Zu welchen Anteilen würden die Verkehrsmittel dann jeweils genutzt werden?
- (e) Gesucht ist nun der kalibrierte (geschätzte) Modellparameter  $\beta$  für die Reiseweite  $r_2 = 5 \text{ km}$  und Reisezeiten gemäß der ursprünglichen Tabelle bei folgenden beobachteten absoluten Häufigkeiten für die drei Modi (in Wirklichkeit benötigt man natürlich für alle Reiseweitenklassen  $n$  und alle Modi  $k$  empirische Daten der absoluten Häufigkeit  $h_{nk}$ ):

$$h_1 = 5, \quad h_2 = 63, \quad \text{und} \quad h_3 = 32$$

- (i) bei paarweisen Vergleich Fuß-Rad, Fuß-ÖV und Rad-ÖV (Sie erhalten drei verschiedene Werte)
- (ii) bei der korrekten Kalibrierung mit Hilfe der Maximum-Likelihood-Methode. Diskutieren Sie das Ergebnis.

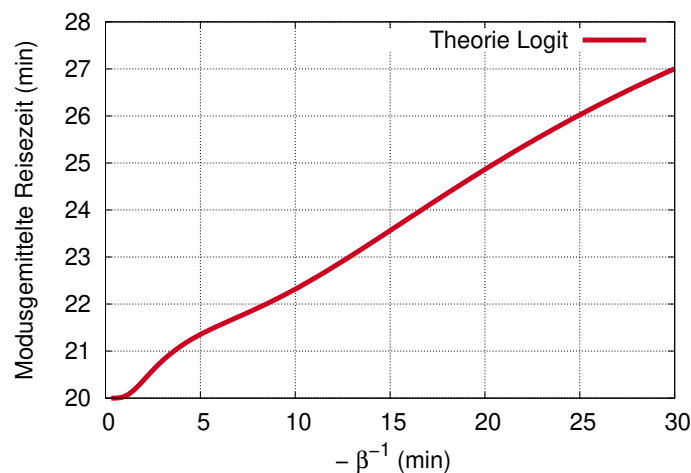
*Hinweis:* Die (erst später bzw. in der Master-Vorlesung diskutierte) Maximum-Likelihood Methode führt hier auf folgende Bedingung:

Beobachteter Mittelwert über alle Modi  $T_{\text{data}}$  = theoretischer Mittelwert  $T_{\text{theo}}$

mit

$$T_{\text{data}} = \sum_{k=1}^3 f_k T_k, \quad T_{\text{theo}}(\beta) = \sum_{k=1}^3 P(k|\beta) T_k.$$

Lösen Sie diesen Aufgabenteil graphisch unter Verwendung folgender Abbildung:



- (f) Diskutieren Sie kurz eine Schwäche des Logit-Modells, wenn man unterstellt, dass ein Anteil der komplexen Reisezeit  $T_k$  der Rüstzeit  $t_0$  entspricht. Diese „Rüstzeit“ entspricht der Vor- und Nachbereitung bei der Nutzung eines Verkehrssystems. Für den öffentlichen Verkehr enthält sie die Zu- und Abgangszeiten zur jeweils nächsten Haltestelle sowie die mittleren Warte- und ggf. Umsteigezeiten. Für den Radverkehr ist es die mittlere Zeit zum Holen und Abstellen des Fahrrades. Bei Wegen zu „Fuß“ existieren solche Rüstzeiten aber nicht. Es soll nun die Rüstzeit des Verkehrssystems Rad ignoriert werden, während die Rüstzeit des Öffentlichen Verkehrs 10 min beträgt.

Berechnen Sie für eine Reiseweite von 50 m (also vernachlässigbare reine Fahr- bzw. Gehzeiten) und  $\beta = -0.1 \text{ min}^{-1}$  die Aufteilung auf die drei Verkehrssysteme. Halten Sie die berechneten Werte für realistisch?

- (g) Eine detailliertere deterministische Nutzenfunktion des Verkehrssystems  $k$  für Person  $n$  hat die Form

$$U_{nk}^{\text{det}} = \beta_1 T_{n1} \delta_{k1} + \beta_2 T_{n2} \delta_{k2} + \beta_3 T_{n3} \delta_{k3} + \beta_4 \delta_{k2} + \beta_5 \delta_{k3}$$

mit dem "Selektor-Dummy"  $\delta_{ij} = 1$  falls  $i = j$  und  $=0$  sonst. Geben Sie die Bedeutung der Modellparameter an. Welchem Spezialfall dieses Modells entspricht die in den vorhergehenden Aufgabenteilen betrachtete Modellierung?

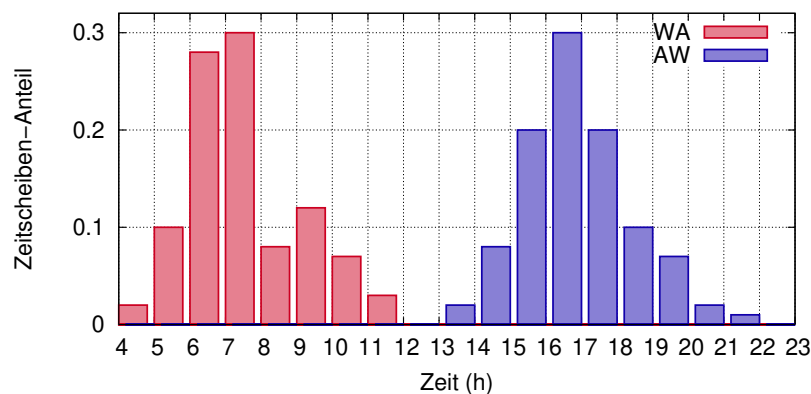
## Aufgabe 7.2: Verkehrsstrommatrizen vs. Fahrtenmatrizen

Es seien für ein bestimmtes Planungsgebiet Verkehrsstrommatrizen für alle Modi und Quelle-Ziel-Gruppen bekannt.

- (a) Definieren Sie kurz Verkehrsstrommatrizen und Fahrtenmatrizen.
- (b) Wie kommt man von den Verkehrsstrommatrizen auf die Fahrtenmatrizen? Warum kann man die (nach den verschiedenen Verkehrsmodi bereits aufgeteilten) Verkehrsstrommatrizen nicht direkt zur Umlegung benutzen?
- (c) Drücken Sie nun durch allgemeine Ausdrücke die gesamte MIV-Verkehrsleistung (Personenkilometer pro Tag) und Fahrleistung (Fahrzeugkilometer pro Tag) durch die Verkehrsstrommatrizen und weiteren Größen des Verkehrs und Verkehrsnetzes aus.
- (d) Definieren Sie für jeden Verkehrsmodus  $k$  die auf das Untersuchungsgebiet und einen Tag bezogene
- Gesamt-Wegezahl (Verkehrsstrom),
  - Gesamt-Fahrtenzahl,
  - Gesamt-Verkehrsleistung,
  - Gesamt-Fahrleistung.

Geben Sie, in Abhängigkeit dieser Größen, den auf das Untersuchungsgebiet und einen Tag bezogenen globalen Modalsplit (i) bezüglich der Wegezahl und (ii) bezüglich der Verkehrsleistung an. Welcher dieser beiden Anteile ist größer (a) beim Modus "zu Fuß", (b) beim Modus MIV?

### Aufgabe 7.3: Tages-Ganglinien und Fahrtenmatrizen



Gegeben sind die abgebildeten Tagesganglinien für die Quelle-Ziel-Gruppen WA und AW und folgende Quell- und Zielsummen für zwei Bezirke:

Bezirk	$Q_i^{WA}$	$Z_i^{WA}$	$Q_i^{AW}$	$Z_i^{AW}$
1	3500	840	720	3000
2	700	3360	2880	600

- (a) Berechnen Sie die Elemente  $V_{12}$  der Verkehrsstrommatrix  $V_{ij}^{(g)}$  für die beiden obigen Quelle-Ziel-Gruppen nach dem Zufallsmodell.
- (b) Die Aufteilung ergab für alle betrachteten Verkehrsströme 50% MIV, 30% ÖPNV und je 10% Radverkehr und Fußgänger. Berechnen Sie die Fahrtenmatrixelemente von Bezirk 1 nach Bezirk 2 für den MIV (Kfz/h) und den ÖPNV (Passagiere/h) für die Zeiträume von 7 h - 8 h sowie 17 h - 18 h. Berücksichtigen Sie dabei, dass in jedem Kfz im Schnitt 1.5 Insassen fahren und dass die Einwohner dieser beiden Bezirke außer Wohnen und Arbeiten nichts im Sinn haben, so dass alle anderen Quelle-Ziel-Gruppen entfallen. Auswärtige Verkehrsströme werden ebenfalls nicht berücksichtigt.