Verkehrsökonometrie für Bachelor-Studierende

Lösungsvorschläge zu Übung Nr. 7a

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 7a.1: Neun-Euro bzw. 49-Euro-Ticket

(a)
- β_1: Ad-Hoc Bonus Fuß gegenüber MIV in Nutzeneinheiten (NE)
- β_2: Ad-Hoc Bonus Rad gegenüber MIV in NE
- β_3: Ad-Hoc Bonus ÖV gegenüber MIV in NE
- β_4: Generisch/global modellierte Zeitsensitivität [NE/Minute]
- β_5: Kostensensitivität [NE/Euro]
- β_6: Attraktivitätsgewinn [NE] von 100 % belegtem ÖV gegenüber leerem ÖV

Man könnte die Genauigkeit des Modells erhöhen, indem man die Reisezeiten (nicht aber die Kosten) alternativenspezifisch modelliert, da es sich zeigte, dass Reisezeiten in ÖV und MIV systematisch als weniger belastend empfunden werden als die zu Fuß oder mit dem Rad. Der Einfachheit halber wird hier darauf verzichtet.

(b) Diese prohibitiv hohen Kosten und Zeiten modellieren indirekt, dass die betroffenen Verkehrsmodi wegen Nichtverfügbarkeit nicht gewählt werden können. Ad-Hoc-Kosten $C_3 = 0$ bedeuten, dass die Ad-Hoc-Nutzung des ÖVs keine Kosten nach sich zieht, also keine Fahrkarte gekauft werden muss. Beispielsweise, weil man schon eine Dauerkarte oder ein Studententicket hat.

(c) Zeitwert:

$$\text{VoT} = \beta_4/\beta_5 = 0.167\,\text{Euro/Minute} = 10\,\text{Euro/h}$$

Der Nutzen leerer gegenüber voller Züge, Busse und Bahnen beträgt $-\beta_6 = 1.5\,\text{NE}$.

- Zeitäquivalent: $\beta_6/\beta_4 = 15$ Minuten Geldäquivalent: $\beta_6/\beta_5 = 1.5$ Euro.

(d) Für jede Person n gelten im Multinomial-Logit-Modell (MNL) die Auswahlwahrscheinlichkeiten

$$P_{ni}^{\text{MNL}} = \frac{\exp(V_{ni})}{N_n}, \qquad N_n = \sum_j \exp(V_{nj})$$

z.B. Person 1:

$$V_{11} = -5.0, \quad V_{12} = -4.0, \quad V_{13} = -2.925, \quad V_{14} = -700$$

Damit

$$N_1 = 0.0787, \quad P_{11} = 0.0856, \quad P_{12} = 0.233, \quad P_{13} = 0.682, \quad P_{14} = 0.0$$

Für die anderen drei Personen (jedes Mal den Nenner komplett neu berechnen!) ergeben sich die ÖV-Auswahlwahrscheinlichkeiten analog zu

$$P_{23} = 0.097, \quad P_{33} = 0.0005, \quad P_{43} = 0.711$$

Damit ist der einer Belegung von $B = 0.75$ entsprechende globale ÖV-Modal-Split gegeben durch

$$P_3 = \frac{P_{13} + P_{23} + P_{33} + P_{43}}{4} = 0.373 = 37.3\,\%$$

(e) Bisherige durchschnittliche ÖV-Kosten pro Monat bei Kauf von Einzeltickets:

$$\begin{aligned}
\text{Person 1}: &\quad C_1^{\text{tot}} = 90 P_{13} C_{13} = 184\,\text{Euro} \\
\text{Person 2}: &\quad C_2^{\text{tot}} = 90 P_{23} C_{23} = 26.20\,\text{Euro} \\
\text{Person 3}: &\quad C_3^{\text{tot}} = 90 P_{33} C_{33} = 0.19\,\text{Euro} \\
\text{Person 4}: &\quad C_4^{\text{tot}} = 90 P_{43} C_{43} = 0\,\text{Euro}
\end{aligned}$$

Personengruppen 1 und 2 kaufen die 9-Euro-Tickets, aber nur Gruppe 1 das 49-Euro-Ticket. Gruppe 3 nutzt kaum den ÖV und Gruppe 4 fährt sowieso kostenfrei, so dass diese Gruppen die Tickets natürlich nicht kaufen würden.

(f) Die Rechnung ist wie bei Aufgabenteil (d). Der einzige Unterschied ist die Auswirkung des 9-Euro-Tickets, also $C'_{13} = C'_{23} = 0$, während $C'_{33} = C_{33} = 4$ unverändert ist und der Student nach wie vor kostenlos fährt ($C'_{43} = C_{43} = 0$), so dass auch deren Auswahlwahrscheinlichkeiten unverändert bleiben (die Rückkopplung durch die erhöhte Belegung ist ja noch nicht berücksichtigt!)

$$\begin{aligned}
&P_{13}^{(1)} = 0.928, \quad P_{23}^{(1)} = 0.394, \\
&P_{33}^{(1)} = P_{33} = 0.0005 \text{ (unverändert)}, \quad P_{43}^{(1)} = P_{43} = 0.711 \text{ (unverändert)}
\end{aligned}$$

(g) Durch den höheren ÖV-Modalsplit bei gleichem Angebot kommt es zu einer höheren Belegung:

$$B^{(1)} = B \frac{(P_{13}^{(1)} + P_{23}^{(1)} + P_{33}^{(1)} + P_{43}^{(1)})}{(P_{13} + P_{23} + P_{33} + P_{43})} = 102.4\,\%,$$

die Züge, Busse und Bahnen sind nun also leicht überfüllt (beim 49-Euro-Ticket erhielten wir $B^{(1)} = 87{,}4\,\%$). Die Verschiebung durch die erhöhte Belegung wird wieder mit dem MNL modelliert, lediglich die Belegung B_3 ist nun durch $B_3^{(1)}$ zu ersetzen (und natürlich die Ad-Hoc-Kosten C'_{n3} nach Einführung des 9-Euro-Tickets anzunehmen), also

$$P_{ni}^{(2)} = P_i^{\text{MNL}} \left(T_{n1}, T_{n2}, T_{n3}, T_{n4}, C'_{n3}, C_{n4}, B_3^{(1)} \right)$$

mit $P_i^{\text{MNL}} = e^{V_i} / \sum_j e^{V_j}$ der üblichen MNL-Formel und den Zahlenwerten (alles, einschließlich des Nenners, muss neu berechnet werden!)

$$P_{13}^{(2)} = 0.896, \quad P_{23}^{(2)} = 0.301, \quad P_{33}^{(2)} = 0.00035, \quad P_{43}^{(2)} = 0.620$$

und damit

$$P_3^{(2)} = 45.4\,\%, \quad B_3^{(2)} = 91.5\,\%.$$

Durch das 9-Euro-Ticket fahren immer noch deutlich mehr Personen der Gruppen 1 und 2 im ÖV (die das Ticket gekauft haben), dafür wenden sich einige Studenten ab, da sie bei gleichem Preis (Null) nun weniger Komfort haben. In Summe bleibt aber eine deutliche Mehrnutzung des ÖV (91.5 % statt 75 % Belegung)

(h) Durch die nun wieder etwas geringere Belegung wird der ÖV für alle Nutzergruppen wieder attraktiver, es fahren mehr, wodurch der ÖV wieder unkomfortabler wird, dadurch weniger fahren, der Komfort wieder steigt, ... Mathematisch entspricht das, ähnlich wie bei der Zielwahl mit beidseitig festen Randsummenbedingungen, einer Iterationsprozedur:

$$P_{ni}^{(m)} = P_i^{\mathrm{MNL}}\left(T_{n1}, T_{n2}, T_{n3}, T_{n4}, C'_{n3}, C_{n4}, B_3^{(m-1)}\right)$$

Die m-te Iteration hängt von der Belegung der $m-1$-ten Iteration ab. Man kinte das finale Gleichgewicht auch als transzendente (nicht analytisch lösbare) Gleichung für die Gleichgewichtsbelegung B_3^{eq} auffassen,

$$B_3^{\mathrm{eq}} = \frac{B_3}{4P_3} \sum_{n=1}^{4} P_3^{\mathrm{MNL}}\left(T_{n1}, T_{n2}, T_{n3}, T_{n4}, C'_{n3}, C_{n4}, B_3^{\mathrm{eq}}\right),$$

aber die Iteration führt auch schnell zum Ziel. Wir erhalten

$$\begin{aligned} B_3^{(3)} &= 95.9\,\%, \\ B_3^{(4)} &= 94.1\,\%, \\ B_3^{(5)} &= 94.8\,\%, \\ B_3^{(6)} &= 94.5\,\%, \\ &\vdots \\ B_3^{\mathrm{eq}} &= 94.6\,\%. \end{aligned}$$

(i) Nun ist der ÖV wieder gleich teuer wie vor dem 9-Euro-Ticket, aber wegen der erhöhten Nutzung unbequemer. Die MNL-Rechung $P_i^{\mathrm{MNL}}(T_{n1}, T_{n2}, T_{n3}, T_{n4}, C_{n3}, C_{n4}, B_3^{\mathrm{eq}})$ (mit ursprünglichen Fahrpreisen C_{n3} statt C'_{n3}) zeigt: Die Nutzung fällt vorübergehend unter das Vor-Ticket-Niveau (Belegung $B_3 = 67.3\,\%$, Modal-Split $P_3 = 33.4\,\%$, wird aber danach wohl schnell zum Ausgangswert von $B_3 = 75\,\%$ bzw $P_3 = 37.3\,\%$ zurückkehren

(j)
- Zu wenig Nutzergruppen, sodass die Preissensitivität des x-Euro Tickets (z.B. $x = 9$ oder 49 Euro) nur sehr grob berücksichtigt werden kann.
- Die Rückkopplung der Belegung bzw. des geänderten Modal Splits auf die Frage, ob ich ein x-Euro-Ticket kaufen würde, wurde nicht berücksichtigt.
- Die für manche neuen ÖV-Erfahrungen könnten zu einer bleibenden verstärkten Nutzung auch nach Ende des Tickets führen.