Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List"

Verkehrsökonometrie für Bachelor-Studierende

Sommersemester 2023, Lösungsvorschläge zu Übung Nr. 9

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 9.1: X-Euro-Ticket

Achtung: ggf lsg von 9 Euro auf X=9 oder 49 Euro anpassen!

- (a) $-\beta_1$: Ad-Hoc Bonus Fuß gegenüber MIV in Nutzeneinheiten (NE)
 - $-\beta_2$: Ad-Hoc Bonus Rad gegenüber MIV in NE
 - $-\beta_3$: Ad-Hoc Bonus ÖV gegenüber MIV in NE
 - $-\beta_4$: Global modellierte Zeitsensitivität [NE/Minute]
 - $-\beta_5$: Kostensensitivität [NE/Euro]
 - $-\beta_6$: Attraktivitätsgewinn [NE] von 100 % belegtem ÖV gegenüber leerem ÖV
- (b) Diese prohibitiv hohen Kosten und Zeiten modellieren indirekt, dass die betroffenen Verkehrsmodi wegen Nichtverfügbarkeit nicht gewählt werden können
- (c) Zeitwert:

$$VoT = \beta_4/\beta_5 = 0.1 \, Euro/Minute = 6 \, Euro/h$$

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

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

z.B. Person 1:

$$V_{11} = -5.0$$
, $V_{12} = -4.0$, $V_{13} = -3.125$, $V_{14} = -1100.0$

Damit

$$N_1 = 0.06899$$
, $P_{11} = 0.098$, $P_{12} = 0.265$, $P_{13} = 0.637$, $P_{14} = 0.0$

Für die anderen drei Personen ergeben sich die ÖV-Auswahlwahrscheinlichkeiten analog zu

$$P_{23} = 0.392$$
, $P_{33} = 0.00016$, $P_{43} = 0.711$

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

$$P_3 = \frac{P_{13} + P_{23} + P_{33} + P_{43}}{4} = 0.435$$

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

Person 1: $C_1^{\text{tot}} = 90P_{13}C_{13} = 115 \,\text{Euro}$ Person 2: $C_2^{\text{tot}} = 90P_{23}C_{23} = 71 \,\text{Euro}$ Person 3: $C_3^{\text{tot}} = 90P_{33}C_{33} = 0.06 \,\text{Euro}$ Person 4: $C_4^{\text{tot}} = 90P_{43}C_{43} = 0 \,\text{Euro}$

Personen 1 und 2 kaufen die 9-Euro-Tickets. Person 3 nutzt kaum den ÖV und Person 4 fährt sowieso kostenfrei, so dass diese das Ticket nicht kaufen

(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 $C_{33} = 4$ unverändert ist und der Student nach wie vor kostenlos fährt ($C_{43} = 0$), so dass auch deren Auswahlwahrscheinlichkeiten unverändert bleiben

$$P_{13} = 0.914$$
, $P_{23} = 0.796$, $P_{33} = 0.00016$ (unverändert), $P_{43} = 0.711$ (unverändert)

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

$$B_{\text{danach}} = B_{\text{davor}} \frac{(P_{13} + P_{23} + P_{33} + P_{43})_{\text{danach}}}{(P_{13} + P_{23} + P_{33} + P_{43})_{\text{davor}}} = 1.043$$

Die Züge, Busse und Bahnen sind nun also leicht überfüllt. Die Verschiebung durch die erhöhte Belegung wird wieder mit dem MNL modelliert, lediglich die Belegung B_3 ist nun gleich B_{danach} :

$$P_{13} = 0.872$$
, $P_{23} = 0.715$, $P_{33} = 0.00010$ (unverändert), $P_{43} = 0.613$ (unverändert)

Durch das 9-Euro-Ticket fahren immer noch deutlich mehr Personen des Typs 1 oder 2 im ÖV, 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 (95 % statt 75 % Belegung)

(h) Nun ist der ÖV gleich teuer wie vor dem 9-Euro-Ticket, aber wegen der erhöhten nutzung unbequemer. Die MNL-Rechung zeigt: Die Nutzung fällt vorübergehend unter das Vor-Ticket-Niveau (Belegung $66\,\%$). Danach wird sie wohl zum Ausgangswert von $75\,\%$ zurückkehren

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 9.2: Verkehrserhebung

(a) Grundgesamtheit: Personen in "großen deutschen Städten" mit den Eingrenzungen

räumlich: Deutschlandzeitlich: ab 1995, open-End

- sachlich: Nur Stadteinwohner in Städten $> 200\,000$ Einwohner; Alter ≥ 12 Jahre.
- Die Ziehungsgrundlage (Personenregister der jeweiligen Städte) ist eine Obermenge, da sie auch die < 12 Jahre alten Kinder enthält.
- (b) Es handelt sich hier um eine Panel-Erhebung, da dieselben Personen (das "Panel") regelmäßig befragt werden, währedn es beim Trend-Design bei jeder Kampagne neue Stichproben gibt.
- (c) Weitere Klassifizierungen:
 - Kontrolle über den Untersuchungsgegenstand: Revealed Choice: Die Attraktivitäten der verschiedenen Modi werden nicht direkt befragt, sondern über ein Multinomial-Modell implizit aus den getroffenen Wahlentscheidungen rekonstruiert ("an ihren Taten sollt ihr sie messen").
 - Ziehungsmethode: Geschichtete Stichprobe (Proportionalauswahl)
 - Modalität: schriftliche Befragung, ggf. kombiniert mit telefonischer Nachfrage und, seit neuestem, mit Internet-Fragebögen.
- (d) Es ist eine geschichtete Stichprobe. Die Quotenmerkmale sind Altersklassen, das Geschlecht, sowie die Einwohnerzahlen der Stadt; Alle Merkmale sind "gute" Quotenmerkmale in dem Sinne, dass sie unabhängig von der Befragung weitgehend exakt bekannt sind.
- (e) Erhobene Merkmale
 - Allgemeine sozioökonomische Merkmale: Alter, Geschlecht, Haushaltsgröße, Beruf, Einkommen, Ort.
 - mobilitätsbezogene sozioökonomische Merkmale: Besitz und Verfügbarkeit von Rad, Kfz, Besitz von Dauerkarten (dichotome Merkmale), Entfernung zur nächsten relevanten Haltestelle
 - aktivitätenbezogene Merkmale: Geschätzte tägliche Zahl von Wohn- Arbeits- und sonstigen Wegen; typische Zeit für die verschiedenen Wegearten
 - alternativenbezogene Merkmale: Start-Ziel-Entfernung, Reisezeiten und Kosten der wichtigsten Wegetypen für alle für die Person relevanten Verkehrsmittel.

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 9.3: Wahlbasierte Conjoint-Analyse eines Stated-Choice-Experiments (optional)

(a) Reisezeiten T_k sind in der Regel Zeitverluste. Für "normale" Menschen stellen sie damit ebenso wie die Kosten K_k negative Nutzen dar, daher sind negative Werte für β_{11} , β_{21} und β_2 zu erwarten. Ferner wird eine Minute im ÖV meist als angenehmer empfunden als eine (nichtsportliche) Minute zu Fuß bzw. auf dem Rad, sodass β_{21} weniger negativ als β_{11} erwartet wird. Man beachte, dass man über das Vorzeichen von β_0 keine Aussagen machen kann!

- (b) Die Leute finden zwar eine Minute in Abhängigkeit des Verkehrsmodus unterschiedlich negativ, tragen dabei aber immer dieselbe Geldbörse bzw. dasselbe "mentale Konto" (das für die täglichen Kleinausgaen) mit sich herum. Insofern ist es plausibel, dass die Kostenbewertung modusunabängig ist.
- (c) Da deterministische und Zufallsnutzen addiert werden, müssen sie dieselbe Skalierung und Einheiten aufweisen (sonst vergliche man Äpfel mit Birnen!). Hier gibt der Zufallsnutzen die Skalierung vor: Die Nutzenunschärfe (also die Standardabweichung des Zufallsnutzens) ist durch

$$\sqrt{V(\epsilon)} = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \approx 1.28 \, \text{Nutzeneinheiten(NE)}$$

definiert

In Minuten erhält man die Nutzenunschärfe durch die Bedingung

$$|\beta_1|\Delta T \stackrel{!}{=} \frac{\pi}{\sqrt{6}} \Rightarrow \sigma_T = \frac{\pi}{\sqrt{6}|\beta_1|} = 12.8 \,\mathrm{min}$$

(d) In der hypothetischen Situation 2 sind 20 Minuten Fuß-Rad etwa genauso attraktiv wie 30 Minuten ÖV. Unter der (oft nicht zutreffenden) Annahme gleicher Zeitsensitivitäten bedeutet dies direkt einen Anfangsbonus des ÖV von $\Delta T_0 = 10$ Minuten. Damit kann man die AC abschätzen zu

$$\beta_0 = |\beta_1| \Delta T_0 = 1.$$

(e) In den Choice Sets (Situationen) 3 und 4 ist der Quotient der relativen Häufigkeiten und damit bei kalibrierten Modellen auch die modellierten Auswahlwahrscheinlichkeiten P_1/P_2 nahezu gleich.

Das bedeutet, dass bei beiden Choice Sets die Nutzendifferenzen in etwa gleich sind und, da die Alternative 1 in beiden Sets die gleichen Attribute hat, dass der Nutzen V_2 in beiden Choice Sets gleich ist: Es entsprechen damit $2 \in$ einer Zeitdifferenz von $10 \, \text{min}$, also

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{2 \operatorname{Euro}}{10 \operatorname{Min}} = 12 \operatorname{Euro/h}.$$

Damit

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{\beta_2}{\beta_1} \right) = \beta_1 \frac{10 \operatorname{Min}}{2 \operatorname{Euro}} = -0.5 \stackrel{\frown}{\in}^{-1}$$