Verkehrsökonometrie für Bachelor-Studierende

Sommersemester 2021, Lösungsvorschläge zu Übung Nr. 9

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 9.1: Verkehrserhebung

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

- räumlich: Deutschland
- zeitlich: 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 9.2: Wahlbasierte Conjoint-Analyse eines Stated-Choice-Experiments

(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 $\beta_{kj} < 0$ für k und $j \in \{1, 2\}$. Man beachte, dass man über das Vorzeichen von β_{0j} keine Aussagen machen kann!

(b) Bei *discrete-choice* Modellen mit Zufallsnutzen wird für jede Alternative k der Zufallsnutzen z_k additiv mit dem von den exogenen Variablen abhängigen deterministischen Nutzen V_k verknüpft. Ferner wird (*homo oeconomicus*) immer die Alternativen mit dem höchsten Gesamtnutzen gewählt. Unabhängig vom Modell (LP, Logit, Probit, ...) ändert sich also nichts,

- wenn man von allen deterministischen Nutzen V_k einen festen Betrag addiert oder abzieht,[1]
- wenn man alle deterministischen *und* alle Zufallsnutzen mit derselben positiven Konstante c multipliziert.[2]

Im vorliegenden Modell gibt es ursprünglich 7 Parameter: Die sechs Parameter β_{kj} der Nutzenfunktionen und den Unschärfeparameter λ. Zunächst wird die Multiplikationsbedingung ausgenutzt:

- Eliminierung von λ: multipliziert man alle Nutzen mit $c = \lambda$, so haben die Zufallsnutzen Z_k die Standardabweichung 1, denn ursprünglich war $\sigma(Z_k) = 1/\lambda$, also nach der Multilikation gleich 1.
- Eliminierung von β_{11}: multipliziert man alle Nutzen mit $c = -1/\beta_{11} > 0$, ist das transformierte $\beta_{11} = -1$. Allerdings ist nun das transformierte $\tilde{\lambda} = \lambda\beta_{11} \neq 1$.

(c) Alle Nutzen werden nun mit λ multipliziert. Damit werden die transformierten Nutzenfunktionen einheitenlos. Da V_k und Z_k in denselben Einheiten gemessen werden (sonst könnte man die Zahlenwerte nicht addieren!) heißt dass, die transformierten Nutzenfunktionen werden in Einheit der Standardabweichung $1/\lambda$ des Zufallsnutzens angegeben. Notwendig für diese Vereinfachung ist allerdings die üblicherweise gemachte Annahme, dass die Standardabweichungen des Zufallsnutzens weder von den Alternativen noch von den Werten der determinstischen Nutzen abhängen. Beides sind Bedingungen bei der Herleitung des MNL-Modells.

[1] Der Zufallsnutzen hat per Definition immer den Erwartungswert 0, deshalb entspricht eine Addition auf den Gesamtnutzen einer Addition auf den deterministischen Nutzen.

[2] Noch allgemeiner kann man eine beliebige streng monoton steigende Funktion $g(V)$ auf V anwenden; die feste Konstante entspräche der streng monotonen Funktion $F(V) = cV$.

(d) Nach (b) kann man von allen deterministischen Nutzenfunktionen V_k eine nicht von den Alternativen abhängige Konstante abziehen. Hier wird einfach β_{10} abgezogen. Damit wird nach der Transformation $\beta_{10} = 0$ und β_{20} zur *Differenz* der ursprünglichen Bevorzugungsanteile.[3] Ferner treten bei der Alternative 1 keine in Euro berechenbaren Kosten auf, deshalb ist auch β_{12} nicht messbar und damit irrelevant.[4]

Es verbleiben:

- $\tilde{\beta}_{20} = \beta_{20} - \beta_{10}$: "Anfangsbonus" der Wahl "ÖV" gegenüber der Referenzalternative "Fuß/Rad" bzw. die Präferenz der Alternative ÖV gegenüber der Referenz Fuß/Rad in Einheiten der Schwankungsbreite des Zufallsnutzens (5-10 Minuten).
- β_{11}: Nutzenerhöhung der Alternative Fuß/Rad pro Minute zusätzlicher komplexer Reisezeit, wobei die Erhöhung wieder in Einheiten der Standardabweichung $1/\lambda$ des Zufallsnutzens gegeben ist. Da sich bei Reisezeiterhöhung der Nutzen allerdings tatsächlich erniedigt, ist $\beta_{11} < 0$. Erhält man beispielsweise $\beta_{11} = -1/8$ bei Angabe der Zeiten T_k in Minuten, so würden 8 Minuten einer Erniedrigung des Nutzens um eine Einheit, also eine Standardabweichung des Zufallsnutzens entsprechen. Damit entspricht diese Standardabweichung 8 Minuten Reisezeitdifferenz zu Fuß oder mit dem Rad.
- β_{21}: Nutzenerhöhung der Alternative ÖV pro Minute zusätzlicher komplexer Reisezeit. Ist beispielsweise $\beta_{21} = -1/10$, so entspräche die Standardabweichung des Zufallsnutzens einer ÖV-Reisezeitdifferenz von 10 min. Da dies aber (um im Beispiel zu bleiben) gleichzeitig 8 min Fuß/Rad-Reisezeitdifferenz entspricht, werden Reisezeiten zu Fuß/per Rad hier höher bewertet.
- β_{22}: Monetäre Bewertung des Nutzens in Zahl der Standardabweichungen des Zufallsnutzens pro Euro ÖV-Ausgabe. Ist beispielsweise $\beta_{22} = -0.5$, so wäre eine Standardabweichung des Zufallsnutzens $-1/\beta_{22}$ Euro =2 € wert. Eine Minute ÖV-Reisezeit würden dann mit β_{21}/β_{22}=0.20 € bewertet und eine Stunde somit mit 12 €. Eine Stunde Fuß/Rad Reisezeit hingegen würde man hingegen mit $60\beta_{11}/\beta_{22}$ Euro, also mit 15 € bewerten.

(e) In der hypothetischen Situation 2 gilt (im Rahmen der statistischen Unsicherheit) dieselbe relative Häufigkeit für beide Alternativen, also (sowohl für das Logit wie auch für Probit oder LP-Modelle) gleiche deterministische Nutzen, also $V_1 \approx V_2$. Zusammen mit der Annahme gleicher Zeitbewertungen, $\beta_{11} = \beta_{21} = \beta_1 = -0.1\,\text{Minuten}^{-1}$ und der Kostenlosigkeit des ÖV, $K_2 = 0$, gilt also in dieser Situation

$$20\,\text{Minuten}\ \beta_1 = \tilde{\beta}_{20} + 30\,\text{Minuten}\ \beta_1 \quad \Rightarrow \quad \tilde{\beta}_{20} = -10\,\text{Minuten}\ \beta_1 = 1.$$

Der Bonus beträgt also genau eine Einheit des Zufallsnutzens. Dies entspricht in Zeiteinheiten $-1/\beta_1 = 10\,$Minuten Bonus des ÖV gegenüber Rad/Fuß.

[3] Dass man dies machen kann, wird auch aus der Semantik des Wortes Bevorzugung deutlich: Ohne Alternative ergibt dieses Wort keinen Sinn!

[4] Würde man β_{12} im Modell behalten, ist das Moell nicht lösbar; das ökonometrische Programm würde einen Matrixinversionsfehler ausgeben.

(f) In den Choice Sets (Situationen) 3 und 4 ist der Quotient y_1/y_2 der absoluten Wahlhäufigkeiten und damit auch der relativen Häufigkeiten f_1/f_2 bzw. bei kalibrierten Modellen auch die modellierten Auswahlwahrscheinlichkeiten P_1/P_2 nahezu gleich.

Das bedeutet im Logit-Modell, dass die Nutzen*differenzen* gleich sind:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{e^{V_1}}{e^{V_1}+e^{V_2}}\right) / \left(\frac{e^{V_2}}{e^{V_1}+e^{V_2}}\right) = \frac{e^{V_1}}{e^{V_2}} = e^{V_1-V_2}$$

Also (wenn man wieder $\beta_{11} = \beta_{21} := \beta_1$ setzt)

$$\begin{aligned} (V_1 - V_2)_{\text{Choice Set 3}} &= (V_1 - V_2)_{\text{Choice Set 4}} \\ \beta_1 20\,\text{Min} - \beta_1 40\,\text{Min} &= \beta_1 20\,\text{Min} - \beta_1 30\,\text{Min} - \beta_{22} 2\,\text{Euro} \\ \beta_1 10\,\text{Min} &= \beta_{22} 2\,\text{Euro} \end{aligned}$$

Dies entspricht einem Zeitwert von

$$\frac{\beta_1}{\beta_{22}} = \frac{2\,\text{Euro}}{10\,\text{Min}} = 12\,\text{Euro/h}.$$