Verkehrsökonometrie für Bachelor-Studierende

Sommersemester 2024, Lösungsvorschläge zu Übung Nr. 4

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 4.1: Disaggregierung in verhaltenshomogene Gruppen

Bei der langfristigen Prognose spielt vor Allem der demografische Wandel eine Rolle: Da man die Altersstruktur einerseits über sehr lange Zeiträume präzise prognostizieren kann, andererseits diese eine wichtige Rolle bei der Nachfrage spielt (Rentner haben andere Fahrprofile als Erwerbstätige), ist bei der langfristigen Prognose der Verkehrsleistung und des globalen Modal-Split v.A. eine Disaggregierung bezüglich des Alters sinnvoll.

In der Tat ist eine Prognose der zukünftigen Altersstruktur (z.B. mit der modellgestützten Prognose, siehe Statistik II-VL) zumindest für die bereits lebenden Altersklassen im Vergleich zu der Unschärfe von Mobilitätsanalysen so genau, dass sie ohne Probleme als exogene Variable aufgefasst werden kann, selbst für Prognosen 10 oder 20 jahre in die Zukunft.

Bei einer kurzfristigeren und lokalen Planungsmaßnahme ist hingegen die klassische Disaggregierung nach Quelle-Ziel-Gruppen wichtiger, vor allem, wenn die Rush-hour untersucht werden soll: Dies impliziert eine Disaggregierung nach Aktivitäten (vgl. Augfgabe 4.4)

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 4.2: Aktivitätenkette

(a) Für die **Aktivitätenkette**

$$\mathrm{W}_{\text{ohnung}} \to \mathrm{K}_{\text{indergarten}} \to \mathrm{A}_{\text{rbeit}} \to \mathrm{W} \to \mathrm{K} \to \mathrm{E}_{\text{inkauf}} \to \mathrm{F}_{\text{reizeit}} \to \mathrm{W}. \tag{1}$$

gilt:

- bei **5er-Einteilung**: WS, SS, AW, WS, SS, SS, SW
- bei **13er-Einteilung**: WK, SA, AW, WK, SS, SS, SW

(b) Kalibrierung bedeutet: Schätzung der Modellparameter, also der spezifischen Verkehrsaufkommen (SVA) und Erzeugungsraten anhand von konkreten Daten. Diese liegen hier nach Voraussetzung als Stichprobe vom Umfang n mit je einer Aktivitätenkette pro befragter Person vor. Man kann folgendermaßen vorgehen:

- Zunächst werden aus jeder Aktivitätenkette i die absoluten Häufigkeiten h_i^g der zugeordneten Quelle-Ziel-Gruppen (QZG) g bestimmt. Nimmt man die 13er-Einteilung und ordnet die obige Aktivitätenkette der ersten Person zu, ergibt dies

$$h_1^{\mathrm{WK}} = 2, \quad h_1^{\mathrm{SA}} = 1, \quad h_1^{\mathrm{AW}} = 1, \quad h_1^{\mathrm{SS}} = 2, \quad h_1^{\mathrm{SW}} = 1, \quad h_1^g = 0 \text{ sonst.}$$

- Die SVA werden nun aus den Daten direkt nach der jeweiligen Definition als *relative Häugfigkeiten* bestimmt:
$$\sigma_g = \frac{1}{n_g} \sum_{i=1}^{n_g} h_i^g := \frac{h_g}{n_g}.$$
Dabei bedeutet $n_g \le n$ die Zahl der Bezugspersonen der jeweiligen QZG g in der Stichprobe. Besteht diese aus $n = 1\,000$ Personen und 567 Erwerbstätigen, ist beispielsweise $n_{\text{WS}} = 1\,000$ und $n_{\text{WA}} = 567$.
- Zur Schätzung der Schwankungsbreite muss man entweder direkt die empirische Varianz der σ_g bestimmen. Dies beinhaltet aber mehrere Untersuchungen. Oder man macht Annahmen über die Verteilung der Wegezahl h_n^g, die eine Person n in der QG g am Bezugstag durchführte. Diese folgt oft angenähert einer Poissonverteilung $h_n^g \sim \text{Po}(\mu_n)$ mit Erwartungswert gleich Varianz gleich μ. Da die Summe unabhängiger poissonverteilter Zufallsvariablen wieder poissonverteilt ist, ist auch die Summe (siehe letzte Gleichung) $h_g = \sum_{i=1}^{n_g} h_i^g$ poissonverteilt und ihr Parameter μ ist gleich der Summe der einzelnen Erwartungswerte. Schätzen wir diesen durch h^g selbst ab, $\hat{\mu}^g = h^g$, ist die Standardabweichung des spezifischen Verkehrsaufkommens (mit der Varianzregel $V(aX) = a^2 V(X)$ gleich
$$\sqrt{V(\sigma_g)} = \frac{1}{n_g}\sqrt{h^g} = \sqrt{\frac{\sigma_g}{n_g}}$$
Offensichtlich ist bei einer einzigen Persion die Standardabweichung von derselben Größe wie das spezifische Verkehrsaufkommen selbst und man sollte schon etwa $n_g = 1000$ Wege pro QZG für eine Schätzung haben.

Die *Erzeugungsraten* kann man so übrigens nicht aus einer Stichprobe bestimmen, da die Strukturgrößen, im Gegensatz zu den Bezugspersonen, nicht der konkreten Stichprobe zugeordnet werden können. Man muss vielmehr zusätzlich auf die Grundgesamtheit hochrechnen und dabei Annahmen über den zugeordneten Zielbereich machen oder die Daten direkt im Eingangsbereich repräsentativer Strukturmerkmale (Läden, Schulen, Arbeitsstätten) erheben. Dies macht die Schätzung der Erzeugungsraten sehr viel ungenauer, was die Priorität der personenbezogenen Größen im Erzeugungsmodell begründet.

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 4.3: Zusammenfassung von Quelle-Ziel-Gruppen

Fehlende Informationen über Kennwerte oder eine zu kleine Stichprobe, können eine Zusammenfassung der Quelle-Ziel-Gruppen-Einteilung erforderlich machen. Fasst man die Quelle-Ziel-Gruppen-Einteilung zusammen, können andere Bezugspersonen und Strukturpotentiale Anwendung finden und man muss die entsprechenden Kennwerte (also die spezifischen Verkehrsaufkommen und Erzeugungsraten) anpassen.

(a) Vergleichen wir zuerst die 5er mit der 13er QZG-Einteilung:

5er	Wohnung	Arbeit	Sonstiges
Wohnung	-	WA	WS
Arbeit	AW	-	SS
Sonstiges	SW	SS	-

Tabelle 1: 5er Einteilung in Quelle-Ziel-Gruppen

13er	Wohnung	Arbeit	Kinder	Bildung	Einkauf	Sonstiges
Wohnung	-	WA	WK	WB	WE	WS
Arbeit	AW	-	AS	AS	AS	AS
Kinder	KW	SA	-	SS	SS	SS
Bildung	BW	SA	SS	-	SS	SS
Einkauf	EW	SA	SS	SS	-	SS
Sonstiges	SW	SA	SS	SS	SS	-

Tabelle 2: 13er Einteilung in Quelle-Ziel-Gruppen

Es wird ersichtlich, dass die 13er-Einteilung die Wege von und zur Wohnung detailierter betrachtet. So werden die Wege der 5er QZG *WS* weiter untergliedert und zwar in die QZG *WB, WK, WE* und *WS*. Weiterhin gibt es Änderungen bei *SS* und SW der 5er-Einteilung. Die direkten Wege zwischen Arbeit und Wohnung beider Quelle-Ziel-Gruppen (WA und AW) stimmen überein und müssen daher bei einer Überführung der 13er Einteilung nicht verändert werden. Eine genaue Zuordnung gibt die folgende Tabelle:

QZG in **5er** Einteilung	zugeordnete QZG der **13er** Einteilung
WA	WA
AW	AW
WS	WK, WB, WE und WS
SW	KW, BW, EW und SW
SS	AS, SA und SS

Tabelle 3: zugeordnete QZG der 13er zur 5er Einteilung

(b) Wichtig ist, bei der Zusammenfassung der spezifischen Verkehrsaufkommen (SVA) und Erzeugungsraten (ERZ) nicht einfach die jeweiligen SVA und ERZ zu addieren, sondern auch den je nach QZG unterschiedlichen Bezug zu betrachten. Allgemein gilt also beim Übergang von der 13er-Einteilung (Index g') in die Fünfer-Einteilung (Index g)

$$\begin{aligned}\sigma_g &= \frac{h_h}{n_g} \\ &\overset{\text{Aggregierung}}{=} \frac{\sum_{g'\subset g} h_{g'}}{n_g} \\ &\overset{\text{Def } \sigma' \text{ in 13er QZG}}{=} \frac{\sum_{g'\subset g} \sigma_{g'} n_{g'}}{n_g} \\ &= \sum_{g'\subset g} \left(\frac{n_{g'}}{n_g}\right) \sigma_{g'}\end{aligned}$$

wobei $g(5)$ alle QZG der 13er Einteilung umfasst, welche in die QZG g der 5er-Einteilung zusammengefasst werden und n_g und $n_{g(5)}$ die Bezugspersonenzahlen der 13er bzw 5er-Einteilung im gesamten Unetrsuchungsgebiet, also über alle Bezirke summiert.

Beispielhaft soll die Zusammenfassung anhand der Quelle-Ziel-Gruppe WA, AW und „Wohnung-Sonstiges“ (WS) erfolgen, die Vorgehensweise bei SW und SS ist identisch. Bei WA und AW werden beim Übergang von der 13er in die 5er-Einteilung keine QZG zusammengefasst, $g(WA)$ umfasst also nur ein Element, nämlich WA. Hingegen umfasst die 5er QZG WS mehrere 13er QZG: $g(WS) = \{WS, WK, WB, WE\}$. Analoges gilt für SW und SS. Also

$$\begin{aligned}\sigma^{(5)}_{\text{WA}} &= \sigma^{(13)}_{\text{WA}}, \\ \sigma^{(5)}_{\text{AW}} &= \sigma^{(13)}_{\text{AW}}, \\ \sigma^{(5)}_{\text{WS}} &= \sigma^{(13)}_{\text{WS}} + \frac{n_{\text{K}}}{n}\sigma^{(13)}_{\text{WK}} + \frac{n_{\text{B}}}{n}\sigma^{(13)}_{\text{WB}} + 1 * \sigma^{(13)}_{\text{WE}}\end{aligned}$$

und Analoges für die beiden verbleibenden QZG (insbesondere hat die QZG SW dieselben Vorfaktoren). Hierbei bedeuten

- $n = \sum_i n_i$ die Gesamt-Einwohnerzahl des Untersuchungsgebietes,
- $n^{\text{K}} = \sum_i n_i^{\text{K}}$ die Gesamt-Kinderzahl und
- $n^{\text{B}} = \sum_i n_i^{\text{B}}$ die Gesamtzahl an Schülern und Studenten.

(der Vorfaktor 1 bei der QZG WE kommt daher, dass bei WE und WS die Bezugspersonengruppe dieselbe ist (nämlich alle Einwohner).

Die „Umrechung“ der Erzeugungsraten geht analog:

$$\begin{aligned}\epsilon^{(5)}_{\text{WA}} &= \epsilon^{(13)}_{\text{WA}}, \\ \epsilon^{(5)}_{\text{AW}} &= \epsilon^{(13)}_{\text{AW}}, \\ \epsilon^{(5)}_{\text{WS}} &= \epsilon^{(13)}_{\text{WS}} + \frac{S_{\text{K}}}{S_{\text{III}}}\epsilon^{(13)}_{\text{WK}} + \frac{S_{\text{B}}}{S_{\text{III}}}\epsilon^{(13)}_{\text{WB}} + \frac{S_{\text{E}}}{S_{\text{III}}}\epsilon^{(13)}_{\text{WE}}\end{aligned}$$

mit S_K der Gesamtzahl an Kindergartenplätzen, S_B der Zahl an Schul- und Uniplätzen und S_III der Zahl der Arbeitsplätze im tertiärem Sektor, der als Strukturmerkmal für QZG mit "Sonstiges" als Quelle oder Ziel angesetzt wird. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Strukturgröße einheitenbehaftet ist, z.B. S_E gleich Einkaufsfläche. Dann ist nämlich auch die Erzeugungsrate einheitenbehaftet (beispielsweise Zahl der WE-Wege pro m^2). Vielmehr werden durch den Vorfaktor gerade inkommensurable Einheiten "weggekürzt" und das Verfahren funktioniert genauso, wenn man statt der Quadratmeterzahl die Arbeitsplätze APIII im tertiärem (Dienstelistungs-)sektor nehmen würde.

(c) Eine Disaggregierung ist nicht problemlos möglich, da die Anteile meist nicht bekannt sind, z.B. der Anteil der WB- oder WE-Wege in der „Wohnung-Sonstiges“-QZG der 5er-Einteilung.