Klausur zur Vorlesung Verkehrsökonometrie für den Bachelor-Studiengang, SS 2018
Lösungsvorschlag

Insgesamt 120 Punkte

Aufgabe 1 (10 Punkte)

(a) Im Nutzergleichgewicht haben alle befahrenen Routen dieselbe minimale Reisezeit (bzw. generalisierte Kosten). Im Systemoptimum ist (bei fester Nachfrage) die Summe bzw. das gewichtete Mittel der Reisezeiten/generalisierten Kosten minimal.

(b) Das *Zufallsmodell* berücksichtigt die unterschiedlichen Entfernungen bzw. Kosten der verschiedenen Wege nicht. Damit ist es für größere Gebiete, wo solche Kosten relevant sind, ungeeignet.

Das *Wilson-Modell* gewichtet Reisezeiten exponentiell, d.h. feste Reisezeit*differenzen* führen zu festen *Quotienten* in der Bewertung. Damit wirkt es entweder bei kurzen Wegen wie ein Zufallsmodell (kleines β bei der Bewertung $e^{-\beta T}$) oder längere Wege werden überhaupt nicht gewählt (größeres β).

Hinweis: Jede Begründung mit Reisezeitdifferenzen $\Rightarrow$ Quotienten bei der Bewertung ergibt volle Punktzahl

Aufgabe 2 (20 Punkte)

Ein Modell für den streckenbezogenen Kraftstoffverbrauch y (bzw. den Energieverbrauch bei Elektrofahrzeugen) in Abhängigkeit der Geschwindigkeit v, Beschleunigung a und Steigung α lautet

$$y = \frac{P_0}{v} + ma + mg(\mu + \alpha) + \frac{1}{2} c_L v^2$$

mit der Grundleistung P_0, dem Reibungskoeffizienten μ, der Fahrzeug-Gesamtmasse m, $g = 9.81\,\mathrm{m/s^2}$ und dem Luftwiderstandskoeffizienten c_L.

(a) Formulierung als lineares Modell beispielsweise durch

$$y(\boldsymbol{x}) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \epsilon$$

mit

$$\begin{aligned} x_0 &= 1, & \beta_0 &= mg\mu, \\ x_1 &= \frac{1}{v}, & \beta_1 &= P_0, \\ x_2 &= v^2, & \beta_2 &= \frac{1}{2} c_L, \\ x_3 &= a, & \beta_3 &= m, \\ x_4 &= \alpha, & \beta_4 &= mg \end{aligned}$$

Hinweis: Wichtig ist hier, die exogenen Variablen Geschwindigkeit v, Steigung α und Beschleunigung a zu identifizieren; wer x_3 und x_4 zu $x_3^* = a + g\alpha$ zusammenfasst (da g ja eine Naturkonstante ist), bekommt auch volle Punktzahl, obwohl streng genommen das m bei $x_3 = a$ die dynamische Masse ist, während das m bei $x_4 = \alpha$ die eigentliche schwere Masse ist.

(b) Fahrzeugattribute aus den Modellparametern:

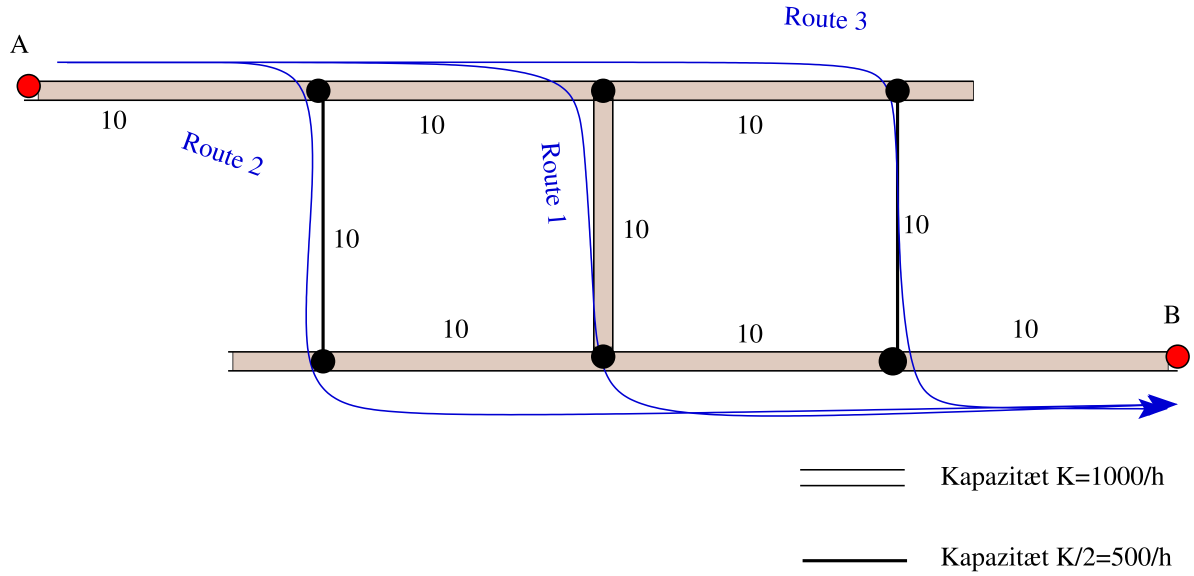
$$P_0 = \beta_1, \quad c_L = 2\beta_2, \quad m = \beta_3, \quad mg = \beta_4$$

Hinweis 1: in der Aufgabenstellung wurde der spezifische Verbrauch [Liter/Energieeinheit] als gemeinsamer Vorfaktor vergessen.

Hinweis 2: Die Antwort zu (b) geht schon aus (a) hervor (und bekommt schon durch (a) volle Punktzahl), wenn man (a) so detailliert wie in diesem Lösungsvorschlag hingeschrieben hat

Aufgabe 3 (40 Punkte)

Das Fahrtenmatrixelement $F_{AB} = qK_1$ soll auf das folgende Netzwerk umgelegt werden (die Zahlen an jeder Kante geben die minimalen Reisezeiten in Minuten an):



(a) *Nehmen Sie auf jeder Kante lineare CR-Funktionen an und berechnen Sie die Reisezeiten T_1, T_2 und T_3 der drei angegebenen Routen als Funktion der auf die Kapazität der größeren Straßen bezogene Nachfrage $q = F_{AB}/K$ und der Routenanteile w_1, w_2 und w_3.*

lineare CR-Funktion:

$$T_l = T_{l0}\left(1 + \frac{Q_l}{K_l}\right)$$

mit T_{l0} (in Minuten) gleich den kleinen Zahlen an den Kanten und $K_l = K/2$ (kleine Straßen) bzw. $K_l = K$ (große Straßen). Die Link-Belastungen sind $Q_l = qK$ (erste Kante nach A bzw letzte vor B), $Q_l = qKw_r$ für die drei senkrechten Links, $Q_l = K(w_1 + w_3)$ (zweite obere horizontale Kante) usw. Daraus

$$\begin{aligned}
T_1 &= 20\,(1+q) + 10\,(1+q(w_1+w_3)) + 10\,(1+qw_1) + 10\,(1+q(w_1+w_2)) \\
&= 50 + 30q + 20qw_1, \\
T_2 &= 20\,(1+q) + 10\,(1+2qw_2) + 10\,(1+qw_2) + 10\,(1+q(w_2+w_1)) \\
&= 50 + 20q + 40qw_2 + 10qw_1, \\
T_3 &= 20\,(1+q) + 10\,(1+q(w_3+w_1)) + 10\,(1+qw_3) + 10\,(1+2qw_3) \\
&= 50 + 20q + 40qw_3 + 10qw_1,
\end{aligned}$$

(b) Nutzergleichgewicht (user equilibrium, UE): Mit der vorgegebenen Symmetrie zwischen den Routen 2 und 3 gilt $w_2 = w_3$. Mit der zusätzlichen Summenbedingung $w_1 + w_2 + w_3 = w_1 + 2w_2 = 1$ lassen sich w_2 und w_3 eliminieren:

$$w_2 = w_3 = \frac{1 - w_1}{2}$$

(c)

$$\begin{aligned}
T_1 &= 50 + 30q + 20qw_1, \\
T_2 = T_3 &= 50 + 20q + 20q(1-w_1) + 10qw_1 = 50 + 40q - 10qw_1
\end{aligned}$$

(d) Nutzergleichgewicht unter der Annahme, dass alle Routen benutzt werden (wegen der Symmetrie folgt aus $T_1 = T_2$ auch $T_1 = T_3$ sowie $T_2 = T_3$):

$$\begin{aligned} T_1 &= T_2 \\ 5 + 3q + 2qw_1 &= 6 + 5q - 2qw_1 \\ 4qw_1 &= 1 + 2q \\ w_1 &= \frac{1 + 2q}{4q} \end{aligned}$$

Die obige Annahme ist erfüllt, falls $w_1 \in [0, 1]$. Dies ist für $q > 1/2$ bzw. $F_{\text{AB}} > 500\,\text{Fz/h}$ erfüllt, ansonsten gilt $w_1 = 1$ und $T_1 < T_2 = T_3$, also

$$w_1^{\text{UE}}(q) = \begin{cases} \frac{1+2q}{4q} & q > \frac{1}{2} \\ 1 & \text{sonst.} \end{cases}$$

Für eine lineare CR-Relation gilt

$$w_1^{\text{SO}}(q) = w_1^{\text{UE}}(2q) = \begin{cases} \frac{1+4q}{8q} & q > \frac{1}{4} \\ 1 & \text{sonst.} \end{cases}$$

In beiden Fällen gilt $w_2 = w_3 = (1 - w_1)/2$.

Hinweis: Die Reisezeiten aus der Aufgabenstellung entsprechen nicht der Lösung von Teil (c). Wenn Sie mit letzteren gerechnet haben, ergibt dies keinen Punktabzug.

(e) Mit den bei (d) angegebenen Zeiten gilt für $q \to 0$:

$$T_1 = 5, \quad T_2 = T_3 = 6$$

Damit ist klar, dass das UE als Ungleichung gilt und alles über die Route mit der kürzesten Reisezeit fließt, $w_1 = 1$, $w_2 = w_3 = 0$.

(f) Im UE (und SO) werden beide Routen benutzt, falls $q > 1/2$ ($F_{\text{AB}} > 500\,\text{Fz/h}$) gilt. Dann gilt für die Zeiten

$$\begin{aligned} T_2^{\text{UE}} - T_1^{\text{UE}} &= 0, \\ T_2^{\text{SO}} - T_1^{\text{SO}} &= 1 + 2q - 4qw_1^{\text{SO}} = 1 + 2q - \frac{1 + 4q}{2} = \frac{1}{2} \end{aligned}$$

Der Zeitunterschied von 1/2 Minute bzw. 1/120 h wird durch eine Maut von 12/120 Euro=10 Cent kompensiert und damit entspricht das UE bezüglich “Zeit und geld” dem SO bezüglich der Zeit allein.

Hinweis: In der Aufgabenstellung wurden ein konstanter Zeitunterschied von 5 Minuten statt 0.5 Minuten angegeben. Dann betrüge die Maut einen Euro statt 10 Cent.

Aufgabe 4 (40 Punkte)

Analyse von Car-Sharing-Anbietern mit den Kriterien Entfernung R [km] von der Wohnung zur nächsten Station, die monatliche Grundgebühr G [Euro] und die Kosten K [Euro] pro Ausleihstunde. Außerdem wird bei der Befragung das Alter A (0: jung, 1: alt) und eine bisherige Car-Sharing-Nutzung N (0: nein, 1: ja) in einer Stated-Choice-Erhebung erfragt.

(a) Hypothetische Situationen, da nach Aufgabenstellung Stated-Choice-Erhebung.

(b) Das Prinzip der Vollständigkeit: Die Befragten müssen mindestens eine Antwort ankreuzen und das kann bei Nichtgefallen am Car-Sharing eben auch die *No-Choice* Alternative sein.

Hinweis: Das weitere Prinzip der Exklusivität besagt, dass höchstens eine Alternative, also zusammen genau eine Alternative, gewählt werden muss.

(c)
- Carakteristika der Alternativen: Entfernung R, monatliche Grundgebühr G, Kosten K [Euro] pro Ausleihstunde
- Allgemeine sozioökonomischen Variablen: Alter A
- mobilitätsbezogene sozioökonomischen Variablen: Dummy N für eine bisherige Car-Sharing-Nutzung

(d) Die beiden Car-Sharing-Alternativen sind völlig gleichartig (selbe Attributs-Mengen, keinerlei weitere Unterschiede wie die Marke in der Aufgabenstellung gegeben). Damit
- sollte eine AC zwischen diesen Alternativen=0 sein (während die AC, welche den Unterschied zur *No-Choice* Alternative beschreibt, natürlich i.A. ungleich null ist!)
- sollten auch das Alter nur die Unterschiede zur No-Choice Alternative beeinflussen, deshalb selektiert der Alters-Dummy A nur zwischen Car-Sharing oder nicht, aber nicht zwischen den beiden Car-Sharing-Alternativen.

(e) R und K werden generisch formuliert, da, wie bei (d), beide Sharing-Angebote gleichartig sind.

(f) Alle Bevorzugungen sind in Nutzereinheiten (NE) gegeben:
- β_0: Bevorzugung der No-Choice-Option gegenüber Car-Sharing bei jungen bisherigen Nichtnutzern, wenn die Entfernung der nächsten Station gegen null geht und keine Kosten anfallen. Da dann die Car-Sharing Alternativen sehr attraktiv sind, kann man von negativen Werten ausgehen,
- β_1: Attraktivitätszunahme pro km zusätzlicher Entfernung der Stationen, $\beta_1 < 0$,
- β_2: Attraktivitätszunahme pro zusätzlichen Euro/Monat an Grundgebühr. Offensichtlich $\beta_2 < 0$,
- β_3: Attraktivitätszunahme pro zusätzlichen Euro an Stundenkosten. Offensichtlich $\beta_3 < 0$,
- β_4: Unterschied der Attraktivität von Car-Sharing bei jungen gegenüber älteren Nutzern (kein offensichtliches Vorzeichen),
- β_5: Unterschied der wahrgenommenen Attraktivität von Car-Sharing bei bisherigen Nutzern gegenüber Nichtnutzern (eher positiv).

(g) Alte bisherige Nichtnutzer: $A = 1$ und $N = 0$. Damit

$$V_1 = -7.5, \quad V_2 = -6.95, \quad V_3 = -6.2,$$

der Nenner $\mathcal{N} = \sum_i e^{V_i} = 0.00354$, und die Auswahlwahrscheinlichkeiten

$$P_1 = \frac{e^{V_1}}{\mathcal{N}} = 0.156, \quad P_2 = \frac{e^{V_2}}{\mathcal{N}} = 0.271, \quad P_3 = \frac{e^{V_3}}{\mathcal{N}} = 0.573.$$

(h) Konfidenzintervall von β_4 für $\alpha = 0.05$:

$$\mathrm{KI}(\beta_4) = [\hat{\beta}_4 - \Delta\hat{\beta}_4, \hat{\beta}_4 + \Delta\hat{\beta}_4] = [-2.08, -0.12].$$

Hierbei wurde

$$\Delta\hat{\beta}_4 = z_{0.975}\sqrt{V(\hat{\beta}_4)} = 1.96 * 0.5 = 0.98$$

verwendet.

Signifikanztest der Nullhypothese $H_0 : \beta_4 > 0$: Wegen der angenommen bekannten Varianz ist die Testfunktion

$$Z = \frac{\hat{\beta}_4}{\sqrt{V(\hat{\beta}_4)}} \sim N(0, 1)$$

Mit der Realisieriung $z = -2.2$ ergibt sich direkt der p-Wert für die '>'-Nullhypothese zu

$$p = \Phi(z) = 1 - \Phi(-z) = 1 - \Phi(2.2) = 0.0139.$$