Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Klausur zur Vorlesung Methoden der Verkehrsökonometrie für den Master-Studiengang WS 2018/19

Aufgabe 1 (30 Punkte)

Mit Hilfe der Ökobilanz sollen die "CO_2-Fußabdrücke" während der gesamten Lebenszeit eines Benzin-, Diesel- und Elektroautos der unteren Mittelklasse untersucht werden. Dabei gilt vereinfachend:

(i) Das Leergewicht des Benziners beträgt 1 364 kg, das der Dieselvariante 1 401 kg und das des E-Autos 1 579 kg. In allen Autos werden 50 kg Aluminium (und andere hochwertige Materialien) verbaut. Das E-Auto hat eine 318 kg schwere Li-Ionen-Batterie. Der Rest aller drei Autos besteht aus Materialien (Stahl, Glas, Kunststoff, Gummi etc) mit vergleichbaren Emissionsfaktoren.

(ii) Der Materialverbrauch im Betrieb wird vernachlässigt, die Recyclingquoten betragen 60 % für Aluminium, 10 % für die Li-Ionen Batterie und 30 % für den Rest.

(iii) Die Verbräuche betragen unter Realbedingungen 7.1 l/100 km beim Benziner, 5.5 l/100 km beim Diesel und 20.6 kWh/100 km beim E-Kfz.

(a) Stellen Sie für alle drei Autos die Sachbilanz für Herstellung und Entsorgung auf. Unterscheiden Sie dabei die Materialien y_1^{s}: Aluminium [kg], y_2^{s}: Li-Ionen Batterie [kg], y_3^{s}: sonstige Materialien [kg].

(b) Betrachten Sie nun einen Betrieb über 160 000 km, was der erwarteten Lebensdauer der E-Auto-Batterie entspricht. Fügen Sie zur Sachbilanz die Posten y_4^{s}: verbrauchtes Super [l], y_5^{s}: Diesel [l], und y_6^{s}: Elektroenergie [kWh] hinzu, d.h. erstellen Sie für alle drei Autotypen die über alle drei Lebensphasen summierte Sachbilanz.

(c) Die CO_2-bezogenen Emissionsfaktoren einschließlich Verbrennung, Vorketten und ggf. Lade-Entladeverluste sind durch folgenden Zeilenvektor gegeben:

$$\boldsymbol{c}^{\mathrm{T}} = (25,\ 20,\ 4,\ 2.7\,\mathrm{kg/l},\ 3.0\,\mathrm{kg/l},\ 0.55\,\mathrm{kg/kWh}).$$

Ermitteln Sie damit die gesamte CO_2-Ökobilanz [kg] der drei Autos. Geben Sie auch die auf die Laufleistung umgelegten spezifischen Emissionen [g/km] an, indem Sie die Ökobilanz durch die Laufleistung teilen.

Hinweis: Wenn Sie (b) nicht bearbeitet haben, verwenden Sie für die drei Fahrzeuge die Sachbilanzen

$$\boldsymbol{y}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{s}} = (20\,\mathrm{kg}, 0\,\mathrm{kg}, 900\,\mathrm{kg}, 11\,000\,\mathrm{l}, 0, 0)^{\mathrm{T}},$$
$$\boldsymbol{y}_{\mathrm{D}}^{\mathrm{s}} = (20\,\mathrm{kg}, 0\,\mathrm{kg}, 950\,\mathrm{kg}, 0, 9\,000\,\mathrm{l}, 0)^{\mathrm{T}},$$
$$\boldsymbol{y}_{\mathrm{E}}^{\mathrm{s}} = (20\,\mathrm{kg}, 300\,\mathrm{kg}, 850\,\mathrm{kg}, 0, 0, 35\,000\,\mathrm{kWh})^{\mathrm{T}}.$$

(d) Wie hoch sind die direkten spezifischen Emissionen [g/km] im Betrieb mit Vorkette aber ohne Verrechnung von Herstellung und Entsorgung? Ab welcher Laufleistung würde das E-Fahrzeug den Benziner "überholen" (also eine günstigere Ökobilanz aufweisen), wann das Dieselfahrzeug?

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Aufgabe 2 (30 Punkte)

Zur Bemessung der Grünzeiten von Fußgängerampeln allgemein und in der Nähe von Seniorenheimen werden die Überquerungszeiten von Fußgängern an Straßen verschiedener Breite gemessen. Alle Personen gehen beim Grünwerden der Ampel los. Die Zeit wird gestoppt, wenn sie die andere Straßenseite erreichen.

Person	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Straßenbreite [m]	8	9	7	11	4	5	7.5	6	11	10
Geschlecht	m	m	m	w	w	m	m	w	m	w
Person ist Senior?	N	Y	Y	N	Y	N	Y	N	N	Y
Überquerungszeit [s]	7	9	8	10	7	5	8	5	9	11

(a) Eine Regressionsrechnung benötigt metrische exogene Variablen. Wie könnte man das Geschlecht und die Senior-Eigenschaft in solche Variablen umwandeln?

(b) Von der Probandengruppe liegt auch das Alter in Jahren vor. Warum ist es nicht zielführend, das Alter direkt linear zu modellieren? *Hinweis:* Denken Sie an die Geschwindigkeit ganz junger und ganz alter Personen.

(c) Die Überquerungszeit wird nun gemäß folgendem Regressionsmodell analysiert:

$$y(\boldsymbol{x}) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1 x_2 + \beta_3 x_1 x_3 + \epsilon, \quad \epsilon \sim \text{ i.i.d. } N(0, \sigma^2).$$

mit x_1 der Breite in Metern, $x_2 = 0$, falls die Person männlich und $=1$, falls sie weiblich ist sowie $x_3 = 1$ für Senioren und $=0$ sonst. Warum ist es nicht sinnvoll, die zu β_2 und β_3 gehörigen Faktoren direkt durch x_2 bzw. x_3 zu definieren?

(d) Die Statistik-Software liefert folgenden KQ-Schätzer und geschätzte Varianz-Kovarianz-Matrix:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = \begin{pmatrix} 2.31 \\ 0.575 \\ 0.0911 \\ 0.212 \end{pmatrix}, \quad \hat{\mathbf{V}}(\hat{\boldsymbol{\beta}}) = \begin{pmatrix} 0.797 & -0.091 & 0.0046 & -0.00964 \\ -0.091 & 0.0127 & -0.00214 & -0.000624 \\ 0.0046 & -0.00214 & 0.00379 & 0.00011 \\ -0.00964 & -0.000624 & 0.00011 & 0.00379 \end{pmatrix}.$$

Wie kann man den Parameter β_0 interpretieren? Wie groß ist die erwartete Geschwindigkeit für Männer vor dem Seniorenalter und für Seniorinnen?

(e) Welche erwarteten Überquerungsdauern haben die Personen 1 und 10? Wie groß ist der jeweilige Residualfehler ϵ?

(f) Gibt es einen signifikanten Geschwindigkeitsunterschied zwischen Frauen und Männern? Werden Menschen im Seniorenalter signifikant langsamer? (jeweils $\alpha = 5\,\%$).

Hinweis: Die Indices der Vektoren und Matrizen beginnen bei 0!

(g) Wie groß ist der Prognosefehler (Standardabweichung) der Überquerungszeit für Person 1?

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Aufgabe 3 (60 Punkte)

In einer Umfrage zum Modal Split werden den Befragten drei Alternativen zur Wahl gestellt: Rad ($i = 1$), Tram bzw. Straßenbahn ($i = 2$) und Bus ($i = 3$). Die hypothetischen Situationen unterscheiden sich in den Reisezeiten T_i (in Minuten) und beim ÖV in der Zahl U_i der benötigten Umstiege. Ferner soll das Wetter eine Rolle spielen. Die erhobenen Wahlhäufigkeiten y_i sind wie folgt:

Choice set	T_{Rad}	T_{Tram}	T_{Bus}	U_{Tram}	U_{Bus}	Wetter	y_{Rad}	y_{Tram}	y_{Bus}
1	25	30	25	0	0	schlecht	1	9	10
2	25	30	25	1	0	schön	6	2	12
3	25	30	20	2	2	schön	10	2	8
4	25	30	25	3	0	schön	12	0	8
5	15	30	40	1	3	schlecht	5	15	0
6	30	20	30	0	2	schlecht	1	19	0
7	40	30	25	2	1	schön	2	4	14
8	40	30	50	2	1	schön	5	11	4

(a) Handelt es sich um eine objektive Messung, eine Revealed-Choice oder eine Stated-Choice-Umfrage? (kurze Begründung)

(b) Beschreiben Sie kurz das *Red Bus-Blue Bus* Paradoxon.

(c) Begründen Sie kurz, warum hier das Nested-Logit Modell gegenüber dem Multinomial-Logit-Modell vorzuziehen ist. Erwähnen Sie dabei statistische Eigenschaften des Zufallsnutzens. Sie können auch mit dem *Red Bus-Blue Bus* Paradoxon argumentieren.

(d) Es wird nun hierachisch erst das Verkehrssystem (Rad oder ÖV) gewählt und dann innerhalb des ÖV Tram oder Bus. Geben Sie den Entscheidungsprozess als Baumdiagramm an und kennzeichnen Sie die beiden Nester (Hinweis: ein Nest kann trivial sein und nur eine Alternative enthalten).

(e) Betrachten Sie nun das Nest $l = 2$: ÖV. Die bedingte Entscheidung, die Tram ($m = 1$) oder den Bus ($m = 2$) zu wählen, wird mit dem normalen Logit-Modell und einer Nutzenfunktion

$$(V_m)_{\text{Nest } 2} = \beta_2 T_m + \beta_3 U_m + \beta_4 \delta_{m1}$$

durchgeführt. Beschreiben Sie kurz, was die drei Parameter bedeuten und welche Vorzeichen ggf zu erwarten sind.

(f) Die Parameter der Entscheidungssituation (d) werden mittels der Maximum-Likelihood-Methode wie folgt bestimmt:

$$\hat{\beta}_2 = -0.12, \quad \hat{\beta}_3 = -1.58, \quad \hat{\beta}_4 = 0.43.$$

Ermitteln Sie für das erste Choice Set der Umfrage die bedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten für ÖV-Wähler. Vergleichen Sie das Ergebnis mit den beobachteten bedingten relativen Häufigkeiten.

(g) Die übergeordnete Entscheidung Rad ($l = 1$) oder ÖV ($l = 2$) wird ebenfalls mit einem normalen Logit-Modell und den Nutzenfunktionen

$$V_l = \beta_1 T_1 \delta_{l1} + \lambda_2 I_2 \delta_{l2} + (\beta_5 W + \beta_6)\delta_{l1}$$

modelliert, wobei $W = 0$ für schlechtes und $W = 1$ für schönes Wetter codiert und I_2 den Inklusionswert von Nest 2 darstellt. Geben Sie die Bedeutung und ggf die erwarteten Vorzeichen der Parameter (einschließlich λ_2) an.

(h) Die Parameter seien nun durch

$$\beta_1 = -0.11, \quad \lambda_2 = 0.19, \quad \beta_5 = 2.3, \quad \beta_6 = -0.30$$

geschätzt. Ermitteln Sie für das Choice Set 1 (Inklusionswert $I_2 = -2.39$) die erwartete Wahrscheinlichkeit dafür, das Rad oder den ÖV zu wählen und auch die unbedingten Wahrscheinlichkeiten für alle drei Alternativen. Vergleichen Sie die unbedingten Wahrscheinlichkeiten auch mit den beobachteten relativen Häufigkeiten.

(i) Die gesamte Log-Likelihood des geschätzten Nested-Logit (NL)-Modells beträgt $\tilde{L} = -122.0$, während eine Modellierung mit einem Multinomial-Logit-Modell (MNL), also festes $\lambda_2 = 1$, eine Log-Likelihood von $\tilde{L} = -125.9$ ergibt. Testen Sie mit dem Likelihood-Ratio-Test, ob das NL eine signifikant bessere Voraussage macht als das MNL ($\alpha = 5\,\%$).

Tabellen

Quantile $t_q^{(n)}$ der Studentschen t-Verteilung mit ν Freiheitsgraden

ν	$q = 0.60$	0.70	0.80	0.90	0.95	0.975	0.990	0.995	0.999	0.9995
1	0.325	0.727	1.376	3.078	6.315	12.706	31.821	63.657	318.31	636.62
2	0.289	0.617	1.061	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.598
3	0.277	0.584	0.978	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924
4	0.271	0.569	0.941	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	0.267	0.559	0.920	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	0.265	0.553	0.906	1.440	1.943	2.447	3.153	3.707	5.208	5.959
7	0.263	0.549	0.896	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	0.262	0.546	0.889	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	0.261	0.543	0.883	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	0.260	0.542	0.879	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.154	4.587
∞	0.253	0.524	0.842	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291

Quantile $q_\alpha^{(n)}$ der χ^2-Verteilung mit n Freiheitsgraden

n	$\alpha = 0.9900$	0.9750	0.9500	0.9000	0.8000	0.5000	0.2000	0.1000	0.05000
1	6.635	5.034	3.821	2.706	1.656	0.4589	0.06540	0.01638	0.004230
2	9.210	7.378	5.991	4.605	3.219	1.386	0.4463	0.2107	0.1026
3	11.34	9.348	7.815	6.251	4.642	2.366	1.005	0.5843	0.3518
4	13.28	11.15	9.488	7.779	5.989	3.357	1.649	1.064	0.7106
5	15.09	12.83	11.07	9.236	7.289	4.351	2.343	1.610	1.155