

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:
-------	----------	---------------

**Klausur zur Vorlesung Verkehrsökonomie  
für den Bachelor-Studiengang Verkehrswirtschaft, SS 2022**

Insgesamt 120 Punkte

**Aufgabe 1 (10 Punkte)**

Ein Abstandsregel-Tempomat bzw. *adaptive cruise control* (ACC) ist ein Assistenzsystem, welches das Auto selbstständig beschleunigt oder bremst, sodass bei Folgefahrt ein eingestellter Abstand und bei freier Fahrt die Wunschgeschwindigkeit  $v_0$  eingehalten wird. Ein Ingenieur schlägt zur Regelung folgendes lineare Vier-Faktor-Modell für die Beschleunigung  $y$  als Funktion des Abstandes  $s$ , der eigenen Geschwindigkeit  $v$ , der Geschwindigkeit  $v_l$  des Vorderfahrzeugs und der konstanten Wunschgeschwindigkeit  $v_0$  vor:

$$y = \sum_j \beta_j x_j = \beta_0 + \beta_1 v + \beta_2 v_l + \beta_3 (v_0 - v)$$

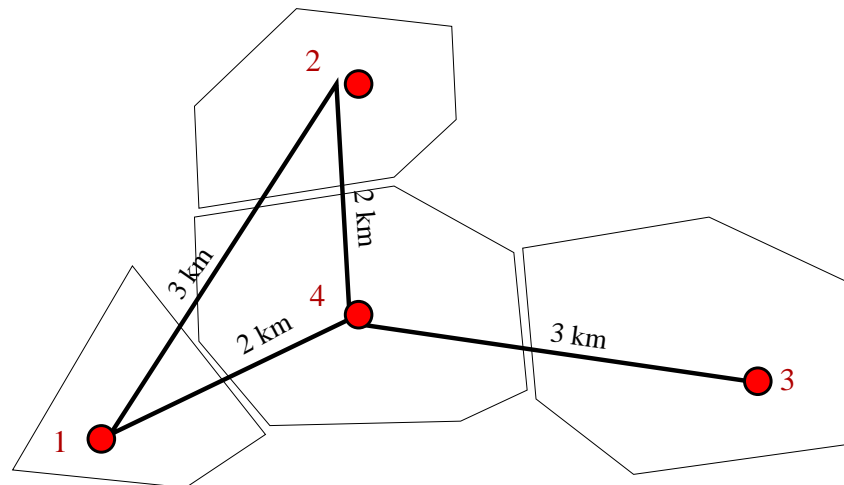
Geben Sie die Faktoren  $x_j$  als Funktion von  $v$ ,  $v_l$  und  $v_0$  an. Warum enthält das Modell eine Multi-Kolinearität, wenn man es auf Daten anwendet und ist damit fehlspezifiziert?

*Hinweis:* Bei einer Multi-Kolinearität kann man einen Faktor  $j$  für alle Datenpunkte als Linearkombination anderer Faktoren  $j'$  mit konstanten Koeffizienten ausdrücken.  $v_0$  ist konstant.

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:
-------	----------	---------------

### Aufgabe 2 (30 Punkte)

Gegeben ist folgendes Untersuchungsgebiet mit 4 Bezirken, die alle Quell- und Zielsummen  $Q_i = Z_i = 1000$  Wege haben:



- (a) Geben Sie die Widerstandsmatrix  $W_{ij}$  der kürzesten Zeiten (in Minuten) von Bezirk  $i$  nach  $j$  an, wenn Sie auf allen Verbindungen eine mittlere Geschwindigkeit von 30 km/h annehmen.
- (b) Geben Sie nun die sich nach dem Wilson-Modell mit  $\beta = 0.1$  Minuten $^{-1}$  ergebende Bewertungsmatrix  $B_{ij}$  an.
- (c) Die Quell- und Zielflüsse gelten für die Quelle-Zielgruppe WE (Wohnen-Einkaufen). Geben Sie die allgemeine Formel zur Berechnung der Verkehrsstrommatrix an.  
*Hinweis:* Suchen Sie unter Berücksichtigung des QZG-Typs die richtige Formel aus den Unterlagen; keine Rechnung!
- (d) Die Berechnung nach dieser Formel (nicht nachrechnen!) ergibt die Verkehrsstrommatrix

$$\mathbf{v} = \begin{pmatrix} 387 & 212 & 142 & 259 \\ 212 & 387 & 142 & 259 \\ 161 & 161 & 438 & 240 \\ 232 & 232 & 190 & 346 \end{pmatrix}.$$

Warum sind, trotz gleicher Quell- und Zielsummen, die Elemente  $V_{13}$  und  $V_{23}$  besonders klein und die Diagonalelemente, insbesondere  $V_{33}$ , groß? Warum ist die Zielsumme nach Bezirk 3 deutlich kleiner als 1000, während die Quellsumme genau =1000 ist?

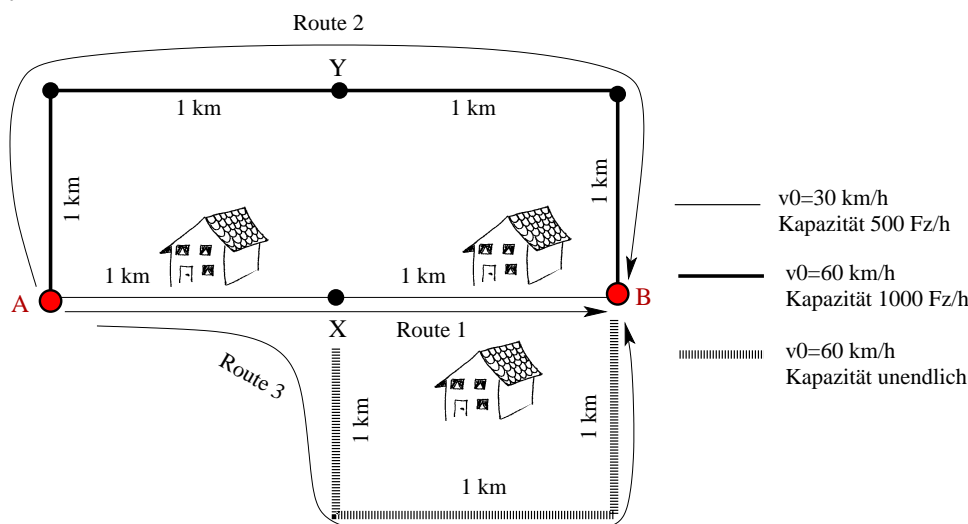
- (e) Berechnen Sie für die vier Bezirke die Lagegunst bezüglich des hereinkommenden Verkehrs und diskutieren Sie das Ergebnis  $\mathbf{L} = (0.647, 0.647, 0.571, 0.722)'$ . Was würde man (i) beim Zufallsmodell, (ii) beim Wilson-Modell mit extrem hohen Werten von  $\beta$  für einen Lagegunstvektor erwarten?

*Hinweis:* Die richtige Lagegunstformel wählen! Bei den vorliegenden konstanten Quell- und Zielsummen ist diese besonders einfach

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:
-------	----------	---------------

### Aufgabe 3 (40 Punkte)

Von A nach B gibt es drei Routen mit den angegebenen maximalen Geschwindigkeiten und Kapazitäten. Die tatsächliche Reisedauer wird mit der linearen CR-Funktion  $T_l = T_{l0} \left(1 + \frac{Q_l}{K_l}\right)$  modelliert.



- (a) Geben Sie für alle drei Routen  $r$  die Reisezeiten als Funktion der Flüsse  $Q_r$  an.
- (b) Bei gegebener Gesamtnachfrage  $Q_{AB}$  kann die Routenflüsse auch durch die Routenaufteilung  $w_r$  mittels  $Q_r = Q_{AB}w_r$  ausdrücken und dann die normierte Nachfrage  $q = Q_{AB}/K_1$  mit  $K_1 = 500$  Fz/h einführen und den Anteil  $w_3$  eliminieren. Zeigen Sie, dass das zu folgenden Routen-Reisezeiten (in Minuten) führt:

$$T_1 = 4 + 2q(1 - w_2 + w_1),$$

$$T_2 = 4 + 2qw_2,$$

$$T_3 = 5 + 2q(1 - w_2)$$

- (c) Die Route 3 mit den dicken gestrichelten Streckenelementen sei zunächst noch geschlossen. Geben Sie die Aufteilung auf die Routen 1 und 2 im Nutzergleichgewicht an.
- (d) In Teil (c) kommt heraus, dass die Aufteilung nicht von der normierten Nachfrage  $q$  abhängt. Wie ist also die Situation im Systemoptimum bei geschlossener Route 3? (keine Rechnung!)
- (e) Nun wird die Route 3 geöffnet. Zeigen Sie, dass diese im Nutzergleichgewicht nicht benutzt wird, solange die normierte Nachfrage  $q \leq 3/2$  liegt.
- (f) Berechnen Sie nun das Nutzergleichgewicht für  $q > 3/2$  (alle drei Routen werden benutzt).
- (g) Geben Sie, wieder ohne Rechnung, die Aufteilung im Systemoptimum an.

### Aufgabe 4 (40 Punkte)

Ein Modell für die Kurbel-Leistung  $P$  von Radfahrern in Abhängigkeit von Geschwindigkeit  $v$ , Gegenwind  $w$  und Steigung  $\alpha$  hat folgende, physikalisch motivierte Form:

$$P = mgv(\mu + \alpha) + \frac{1}{2}c_w\rho Av(v + w)^2 + \epsilon$$

mit der Gesamtmasse  $m$ ,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ , dem Rollreibungskoeffizient  $\mu$ , dem Luftwiderstandsbeiwert  $c_w$ , der Luftdichte  $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ , der Stirnfläche  $A$  und dem Restterm  $\epsilon$ .

- (a) Geben Sie die exogenen Variablen und die endogene Variable an.

*Hinweis:* es muss sich um dynamische, also sich während der Fahrt ändernde Größen handeln.

- (b) Formulieren Sie das obige physikalische Modell in ein lineares Regressionsmodell der Form  $y = \sum_{j=1}^3 \beta_j x_j + \epsilon$  um und geben Sie die Modellparameter  $\beta_j$  als Funktion von  $\mu$ ,  $m$ ,  $g$ ,  $c_w$ ,  $\rho$  und  $A$  an.

*Hinweis:* Es gibt drei Faktoren, einen für die Rollreibung, einen für die Steigung und einen für den Luftwiderstand.

- (c) Warum gibt es hier keinen konstanten Term  $\beta_0 x_0$  mit  $x_0 = 1$ ?
- (d) Zeigen Sie, dass man aus den kalibrierten Parameterwerten die Gesamtmasse  $m$  und den Rollreibungskoeffizient  $\mu$  separat berechnen kann, hingegen  $c_w$  und  $A$  nur als Produkt  $c_w A$ .
- (e) Warum wäre es eine Fehlspezifikation, den Luftwiderstandsterm in drei lineare Faktoren  $v^3$ ,  $v^2 w$  und  $vw^2$  zu zerlegen?
- (f) Anhand von 10 Testsituationen mit direkt in die Pedale eingebauten Leistungsmessern (diese messen direkt die Leistung  $y$ ) erhält man neben den Schätzern für die anderen beiden Parameter auch einen Schätzer  $\hat{\beta}_3$  für den Parameter  $\beta_3 = \frac{1}{2}c_w\rho A$ ,

$$\hat{\beta}_3 = 0.18 \text{ kg/m}, \quad \hat{V}(\hat{\beta}_3) = 0.00021 \text{ kg}^2/\text{m}^2$$

Geben Sie ein  $\alpha = 5\%$ -Konfidenzintervall für  $\beta_3$  an und damit bei bekannter Luftdichte von  $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$  ein Konfidenzintervall für den  $c_w A$ -Wert.

- (g) Testen Sie bei  $\alpha = 5\%$  die Nullhypothese  $H_0: \beta_3 \geq 0.21 \text{ kg/m}$ . Warum ist es kein Widerspruch, wenn  $H_0$  abgelehnt wird, obwohl  $H_0^*$  im Konfidenzintervall liegt?

**Quantiles  $t_{n,p}$  of the Student  $t$  distribution with  $n$  degrees of freedom**

$n$	$p = 0.60$	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
$\infty$	0.253	0.524	0.842	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291