

PRÜFUNG
ÖPNV ORGANISATION UND
VERKEHRSSYSTEMMANAGEMENT
am Lehrstuhl für
Stadtbauwesen und Stadtverkehr
SS 2016

MUSTERLÖSUNG

Prüfer: **Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Vallée**
Tag der Prüfung: **30.08.2016**
Bearbeitungszeit: **60 Minuten**

Aufgabe	maximale Punktzahl	erreichte Punktzahl	Zeichen	korrigierte Punktzahl (Klausureinsicht)	Zeichen
1	12,0				
2	14,0				
3	10,0				
4	12,0				
5	12,0				
Summe	60,0				

Aufgabe 1 (ÖPNV) Systeme und Netzplanung	a)	3,00	
	b)	1,00	
	c)	5,00	
	d)	1,50	
	e)	1,50	
	Σ	12,00	

Die Netzplanung des Angebotes für den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) beinhaltet die Planung des physischen Netzes und die Planung des logischen bzw. organisatorischen Netzes.

a) Die Planung des Netzes kann nach verschiedenen Kriterien erfolgen. Nennen Sie drei Optimierungskriterien für eine Netzplanung.

1. **Summe der Reisezeiten soll ein Minimum sein**
2. **Anzahl der Umsteigevorgänge soll ein Minimum sein**
3. **Summe der Wagenkilometer soll ein Minimum sein**

b) In den Abbildungen 1.1 und 1.2 sind zwei Entwürfe eines Liniennetzes dargestellt. Benennen Sie die Liniengrundformen, auf die sich die beiden Liniennetze zurückführen lassen und ordnen Sie Ihre Nennungen zu!

Liniennetz 1: Rasternetz

Liniennetz 2: Radialringnetz

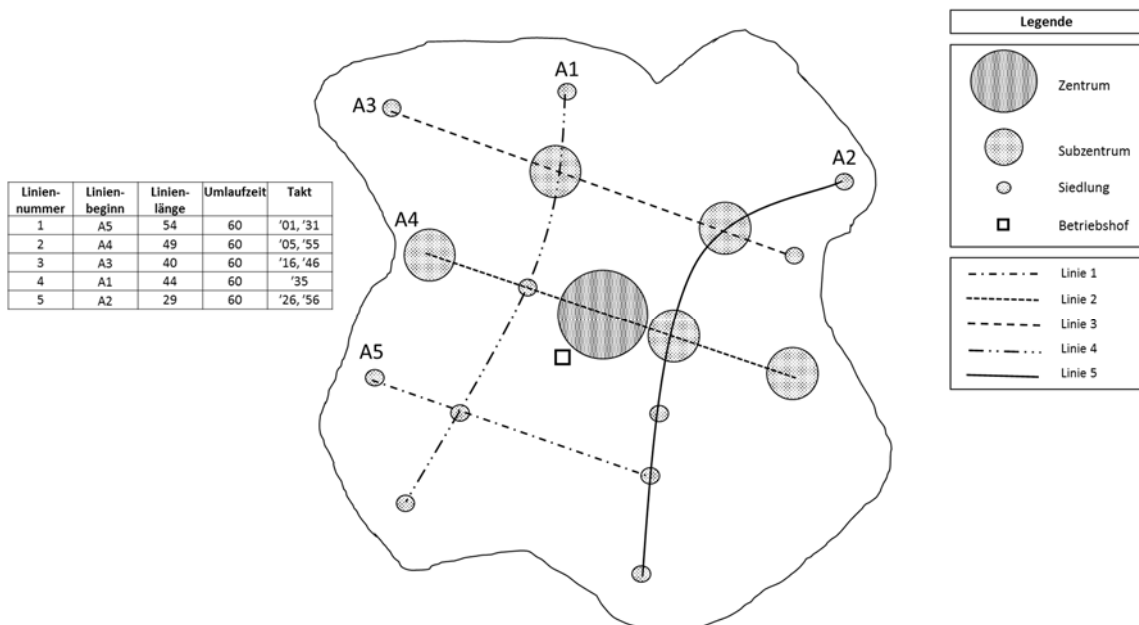


Abbildung 1.1: Entwurf des Liniennetzes 1

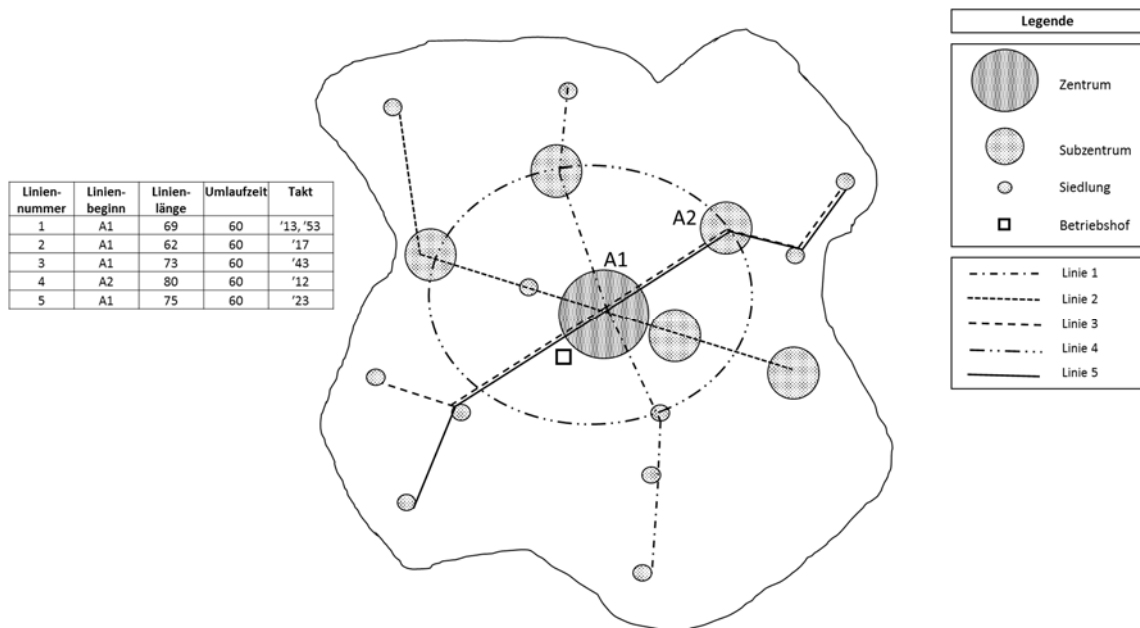


Abbildung 1.2: Entwurf des Liniennetzes 2

- c) Bewerten Sie die Netze in den Abbildungen 1.1 und 1.2 mit einem der von Ihnen in Aufgabenteil a) definierten Kriterien.

Bewerten Sie die beiden Netze dabei im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit und berücksichtigen Sie ausschließlich die Linienfahrten! Welches Netz sollte aus Sicht eines Verkehrsunternehmens umgesetzt werden und warum?

Hinweise:

- Die Betriebszeit aller Linien beträgt 16 Stunden.
- Es handelt sich um einen linienreinen Betrieb.

Lösung:

Wagenkilometer Netz 1:

$$(54 \text{ km} + 49 \text{ km} + 40 \text{ km} + 29 \text{ km}) \cdot 16 \cdot 2 + 44 \text{ km} \cdot 16 = 6208 \text{ km}$$

Wagenkilometer Netz 2:

$$(80 \text{ km} + 62 \text{ km} + 73 \text{ km} + 75 \text{ km}) \cdot 16 + 69 \text{ km} \cdot 16 \cdot 2 = 6848 \text{ km}$$

Bei einer reinen Betrachtung der Linienfahrten, sollte das Verkehrsunternehmen das Liniennetz 1 umsetzen, da die Summe der Wagenkilometer dort geringer ist und somit weniger Kosten verursachen.

- d) Begründen Sie kurz, welches Netz unter Berücksichtigung der Linieneinsatzpunkte aus Sicht des Verkehrsunternehmens wirtschaftlicher wäre!

Lösung:

Da die Ein- und Aussetzfahrten aller Linien im Netz 2 in der Nähe des Betriebshofes starten, ist Liniennetz 2 in diesem Fall wirtschaftlicher.

- e) Beurteilen Sie abschließend qualitativ, welches Liniennetz aus Sicht der Fahrgäste zu bevorzugen ist!

Lösung:

Aus Sicht der Fahrgäste ist Liniennetz 2 optimaler, da es mehr Direktverbindungen gibt, im Zentrum viele Umsteigemöglichkeiten bestehen und die Ringlinie eine zusätzliche Verknüpfung bietet.

Aufgabe 2 (ÖPNV)	a)	4,00	
	b)	10,00	
Umsteigebeziehungen	Σ	14,00	

Im Umfeld des Bus- und Bahnhofs ISB-West stehen umfangreiche Baumaßnahmen bevor. Für den Baustellenverkehr stehen zwei Planungsvarianten für die Buslinien 44 und 55 zur Diskussion. Abbildung 2.1 enthält einen Lageplan des Bus- und Bahnhofs. Tabelle 2.2 enthält die Abfahrtszeiten und Haltebereiche der Busse und Bahnen. Tabelle 2.3 enthält die relevanten Umsteigebeziehungen am Bus- und Bahnhof. Wählen Sie für mobilitätseingeschränkte Personen die Vorzugsvariante in der Morgenspitze, indem Sie die nachfolgenden Aufgabenteile bearbeiten!

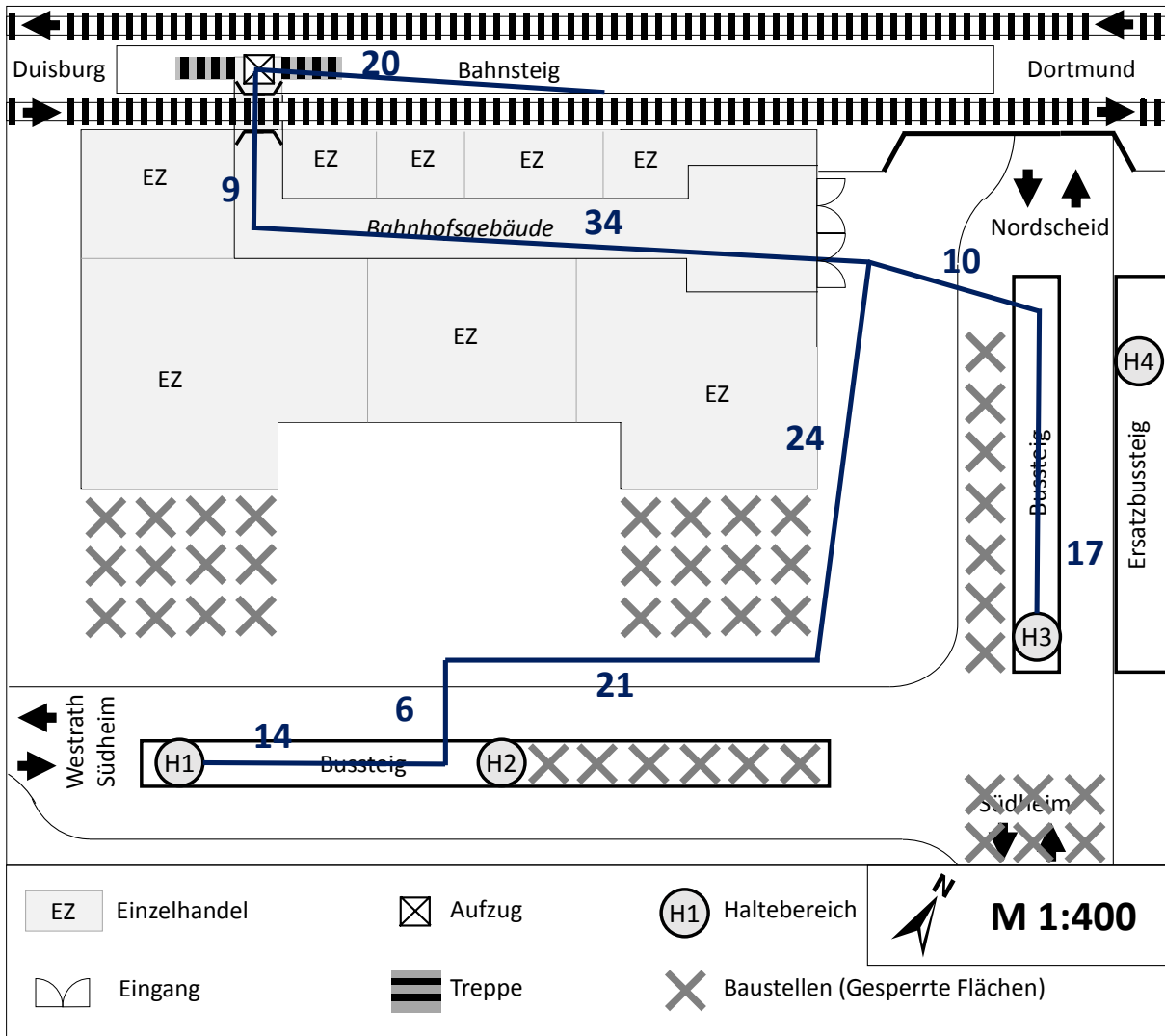


Abb. 2.1 Lageplan des Bus- und Bahnhofs

Linie	Haltebereich	Strecke	Abfahrtszeit (=Ankunftszeit) (jeweils zu Minute)
S	Bahnsteig	Duisburg → Dortmund	03, 33
Variante I			
44	H1	Nordscheid → Westrath	07, 37
55	H3	Nordscheid → Südheim	07, 37
Variante II			
44	H3	Nordscheid → Westrath	06, 36
55	H1	Nordscheid → Südheim	08, 38

Tab. 2.2 Haltebereiche und Abfahrtszeiten der Busse und Bahnen

		Umsteiger	nach		
			S	44	55
von	S	-	44	62	
	44	37	-	32	
	55	48	16	-	

Tab 2.3 Maßgebliche Umsteigebeziehungen in der Morgenspitze

- a) Schätzen Sie nachvollziehbar die Längen der erforderlichen Umsteigewege der mobilitätseingeschränkten Personen ab, und skizzieren Sie die Umsteigewege in Abbildung 2.1!

Weglängen in Grafik abmessen

<i>V I Fußweg [m]</i>		nach		
		S	44	55
von	S	-	128	90
	44	128	-	92
	55	90	92	-

<i>V II Fußweg [m]</i>		nach		
		S	44	55
von	S	-	90	128
	44	90	-	92
	55	128	92	-

b) Ermitteln Sie nachvollziehbar die Vorzugsvariante bezüglich der Gesamtumsteigezeit für die maßgeblichen Umsteigebeziehungen in der Morgenspitze am Bus- und Bahnhof für mobilitätseingeschränkte Personen! Berücksichtigen Sie dafür Ihre Ergebnisse aus Aufgabenteil a).

Hinweise:

- Gehen Sie davon aus, dass etwa 5 % der Umsteiger jeder Relation mobilitätseingeschränkt ist.
- Die nachfolgenden vier Tabellen können Sie zur Vereinfachung Ihrer Berechnungen nutzen.

Wegdauer ermitteln und auf ganze Minuten runden

- **Zuschlag für Aufzugnutzung berücksichtigen. Geschätzter Zeitaufwand: 1 Minute.**
- **Durchschnittliche Gehgeschwindigkeit: 4 km/h. Annahme Fortbewegungsgeschwindigkeit mobilitätseingeschränkter Personen z. B. 2 km/h**

$$t_{Wij} = \frac{l_{Wij} [km]}{2 \left[\frac{km}{h} \right]} \times 60 \left[\frac{Min.}{h} \right] + \begin{cases} 1 [Min.] & \text{für } i = \text{Bahn oder } j = \text{Bahn} \\ 0 [Min.] & \text{für } i \neq \text{Bahn und } j \neq \text{Bahn} \end{cases}$$

V I Wegdauer [Min.]		nach		
		S	44	55
von	S	-	5	4
	44	5	-	3
	55	4	3	-

V II Wegdauer [Min.]		nach		
		S	44	55
von	S	-	4	5
	44	4	-	3
	55	5	3	-

Umsteigedauer aus Wegdauer und Abfahrtszeiten ermitteln

V I Umsteigedauer [Min.]		nach		
		S	44	55
von	S	-	34	4
	44	26	-	30
	55	26	30	-

V II Umsteigedauer [Min.]		nach		
		S	44	55
von	S	-	33	5
	44	27	-	32
	55	25	28	-

Gesamtumsteigedauern ermitteln

$$TG_I = (0 \quad 44 \quad 62) \times \begin{pmatrix} 0 \\ 34 \\ 4 \end{pmatrix} + (37 \quad 0 \quad 32) \times \begin{pmatrix} 26 \\ 0 \\ 30 \end{pmatrix} + (48 \quad 16 \quad 0) \times \begin{pmatrix} 26 \\ 30 \\ 0 \end{pmatrix} = 5.394 [\text{Min.}]$$

$$TG_{II} = (0 \quad 44 \quad 62) \times \begin{pmatrix} 0 \\ 33 \\ 5 \end{pmatrix} + (37 \quad 0 \quad 32) \times \begin{pmatrix} 27 \\ 0 \\ 32 \end{pmatrix} + (48 \quad 16 \quad 0) \times \begin{pmatrix} 25 \\ 28 \\ 0 \end{pmatrix} = 5.433 [\text{Min.}]$$

Unter den gegebenen Anforderungen und getroffenen Annahmen ist Variante I vorzuziehen

Aufgabe 3 (ÖPNV)	a)	8,0	
Dimensionierung	b)	2,0	
	Σ	10,0	

Am Düsseldorfer Flughafen ist die Skytrain als Verbindung zwischen Fernbahnhof und Terminal ausgefallen. Als Ersatz soll eine Buslinie eingesetzt werden. Die eingesetzten Fahrzeuge werden als Gelenkbusse gewählt. Die maximal gewünschte Auslastung der Fahrzeuge ist mit 90% anzunehmen.

- a) Dimensionieren Sie ein nachfrageorientiertes Linienangebot unter separater Berücksichtigung des nachfragestärksten Stundenintervalls, sowie des restlichen Vormittagsbetriebs! Verwenden Sie hierzu die Angaben aus Tabelle 3.1!

Terminal 1 Flughafen DUS	Einsteiger	Aussteiger	Fahrgäste im Fahrzeug vor Ankunft
06:00-07:00	780	539	913
07:00-08:00	840	913	1194
08:00-09:00	879	801	1076
09:00-10:00	820	922	1207
10:00-11:00	798	616	990
11:00-12:00	763	704	831
Summe	4880	4495	6211

Tabelle 3.1 Fahrgastaufkommen Düsseldorfer Flughafen

Das Intervall 09:00-10:00 weist mit 1207 Fahrgästen die höchste Nachfrage auf.

Spitzenstunde mit Faktor b_{max} :

$$FG_E - FG_A = 820 - 922 = -102$$

Anzahl Einsteiger ist kleiner Anzahl Aussteiger, daher ist der Streckenabschnitt vor der Haltestelle stärker belastet und maßgebend. Einsteiger und Aussteiger gehen somit nicht in die Berechnung des Fahrgastaufkommens ein.

$$f_g(\text{Spitzenstunde}) = FG_D = 1207 \text{ Personen/h}$$

$$n_{Fzg,min} = \frac{1207}{150 \cdot 0,9} = 8,94 \rightarrow 9 \frac{Fz}{h} \rightarrow 5 - \text{Minuten} - \text{Takt}$$

Vormittag ohne Spitzenstunde mit Faktor b_{max} :

$$FG_E - FG_A = (4880 - 820) - (4495 - 922) = 487$$

Zahl der Aussteiger ist kleiner, als die Zahl der Einsteiger, daher ist der Streckenabschnitt nach der Haltestelle stärker belastet und maßgebend.

$$f_g(d - \text{Spitzenstunde}) = FG_D + FG_E - FG_A$$

$$= (6.211 - 1.207) + (4.880 - 820) - (4.495 - 922) = 5.491$$

$$f_g(h) = \frac{f_g(d - \text{Spitzenstunde})}{t} = \frac{5.491}{5h} = 1.098 \text{ Personen/h}$$

$$n_{Fzg, \min} = \frac{1.098}{150 * 0,9} = 8,13 \rightarrow 12 \frac{Fz}{h} \rightarrow 5 - \text{Minuten} - \text{Takt}$$

[Anmerkung: Unter Berücksichtigung der Reserven durch den Auslastungsfaktor wäre hier auch ein 7,5-Minuten Takt mit 8 Fahrzeugen pro Stunde denkbar, da 12 Fahrzeuge pro Stunde den vorhandenen Bedarf deutlich überschreiten.]

- b) Beurteilen Sie die Notwendigkeit der gesonderten Berücksichtigung der Spitzenstunde für den in a) gegebenen Fall! Diskutieren Sie hier die Vor- und Nachteile der Bereitstellung eines nachfrageorientierten Linienangebots kurz!

Die nachfragestärkste Stunde unterscheidet sich kaum von den Stunden der nächsthöheren Frequentierung Eine gesonderte Angebotsdimensionierung für nachfragestärkste Stunde ist daher nicht unbedingt notwendig.

Der Vorteil der gering erhöhten Angebotsqualität steht höheren Kosten im Betrieb, sowie dem Einsatz weiterer Fahrer, die für eine Einzige Arbeitsstunde anreisen müssen gegenüber.

Aufgabe 4 (ÖPNV)		
Betriebsablauf	a)	2,00
	b)	2,50
	c)	3,50
	d)	1,50
	e)	2,50
	Σ	12,00

a) Erklären sie den Begriff „tatsächlichen Beförderungszeit“ im Betriebsablauf des ÖPNV!

Die tatsächliche Beförderungszeit entspricht der optimalen Beförderungszeit zuzüglich den Verlustzeiten. 1,0 Punkte Zu den Verlustzeiten zählen Verspätungen durch LSA, die Strecke, sonstigen Begebenheiten und Haltestelle. 1,0 Punkte (je 0,25)

b) **Abbildung 4.1** zeigt Ihnen den Streckenverlauf der Buslinie 33 in Aachen zwischen dem Startpunkt Bushof und dem Zielpunkt Mies-van-der-Rohe-Straße. Ermitteln Sie die **Qualitätsstufe der Beförderungsgeschwindigkeit** dieses Streckenabschnittes nach HBS 2001! Nutzen Sie hierzu die **Tabellen 4.2 und 4.3**.

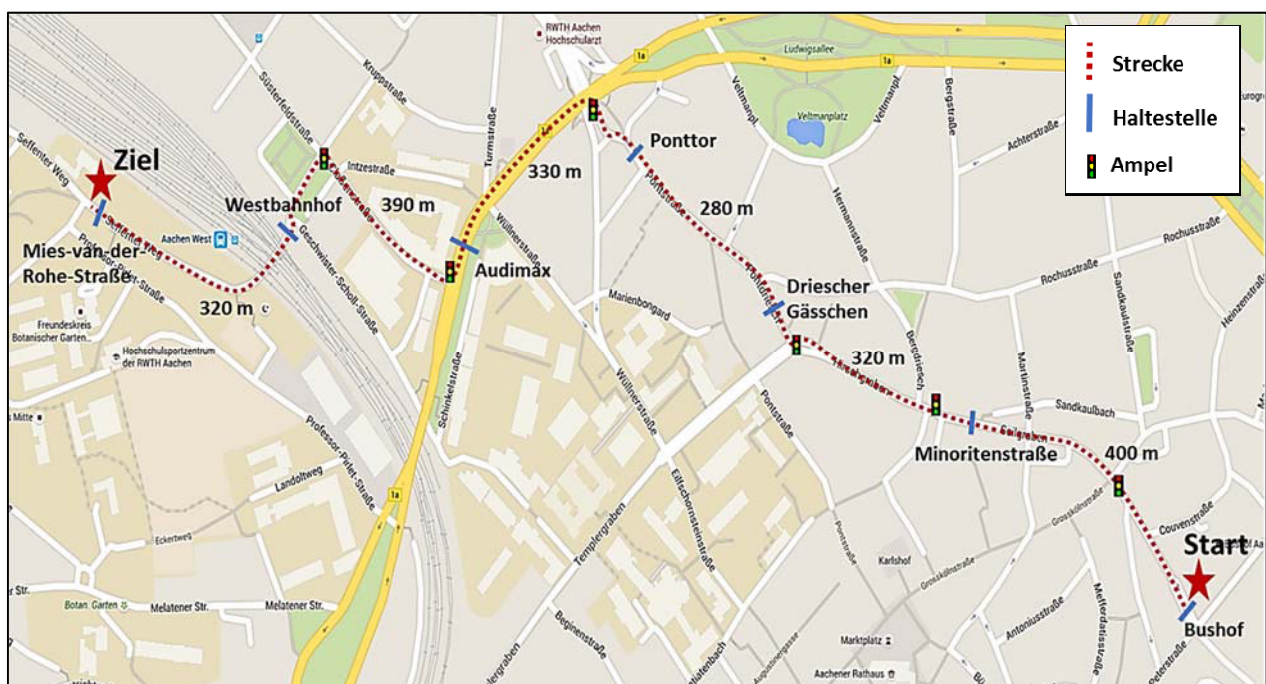


Abb. 4.1: Teilstück des Streckenverlaufes der Buslinie 33 in Aachen

Informationen über Zeiten	
Tatsächliche Beförderungszeit	7,1 Minuten
Gesamte Verlustzeiten an LSA, beim Abbiegen, ...	68 Sekunden
Fahrgastwechselzeiten je Haltestelle	20 Sekunden

Tab. 4.2: Informationen über Zeiten der Buslinie 33

QSV	Beförderungsgeschwindigkeit [km/h]	QSV	Zulässige mittlere Wartezeit des straßengebundenen ÖPNV [s]
A	≥ 24	A	≤ 5
B	≥ 22	B	≤ 15
C	≥ 19	C	≤ 25
D	≥ 15	D	≤ 45
E	≥ 10	E	≤ 60
F	< 10	F	> 60

Tab. 4.3: Qualität des Verkehrsablaufs in Abhängigkeit der Beförderungsgeschwindigkeit auf städt. Hauptverkehrsstraßen und der mittleren Wartezeit an Lichtsignalanlagen (Quelle: HBS, 2001)

Tatsächliche Beförderungszeit, gesamt (Tabelle 4.2):

7,1 Minuten = 426 Sekunden 1,0 Punkte

Streckenlänge, gesamt (über Abbildung 4.1):

400 m + 320 m + 280 m + 330 m + 390 m + 320 m = 2040 m 0,5 Punkte

Beförderungsgeschwindigkeit:

2040 m / 426 sek * 3,6 = 17,24 km/h 0,5 Punkte

Qualitätsstufe (nach Tabelle 4.3):

>> D 0,5 Punkte

- c) Wie würde sich die Qualitätsstufe verändern, wenn die Zeiten für den Fahrgastwechsel, z.B. durch eine zusätzliche Einstiegstür am Bus, von derzeit **20** Sekunden auf **15** Sekunden pro Haltestelle reduziert werden?

Fahrgastwechselzeit ist Teil der gesamten Beförderungszeit!

Bisher: 20 Sekunden * 6 Haltestellen = 120 Sekunden 0,5 Punkte

Neu: 15 Sekunden * 6 Haltestellen = 90 Sekunden 0,5 Punkte

Neue tatsächliche Beförderungszeit, gesamt:

**426 Sekunden – 120 Sekunden + 90 Sekunden = 396 Sekunden
1,0 Punkte**

Neue Beförderungsgeschwindigkeit:

2040 m / 396 sek * 3,6 = 18.55 km/h 0,5 Punkte

Neue Qualitätsstufe (nach Tabelle 4.3):

>> D 0,5 Punkte >> keine Veränderung 0,5 Punkte

- d) Wodurch könnte die Beförderungszeit **zusätzlich** reduziert werden? Wie hoch müsste die Reduzierung ausfallen, damit der Streckenabschnitt der **Qualitätsstufe C** entspricht?

**Reduzierung möglich durch Reduzierung der Verlustzeiten
(Fahrgastwechselzeiten gehören nicht zu Verlustzeiten).**

**Benötigte Beförderungsgeschwindigkeit für Qualitätsstufe C: 19 km/h
0,5 Punkte**

Benötigte Beförderungszeit für Qualitätsstufe C:

2040 m / 19 km/h * 3,6 = 386,5 Sekunden 0,5 Punkte

Differenz (zusätzlich benötigte Reduzierung):

396 Sekunden – 386,5 Sekunden = 9,5 Sekunden 0,5 Punkte

- e) Halten Sie die in **Aufgabenteil d)** ermittelte Zeit für realisierbar? **Begründen** Sie ihre Antwort!

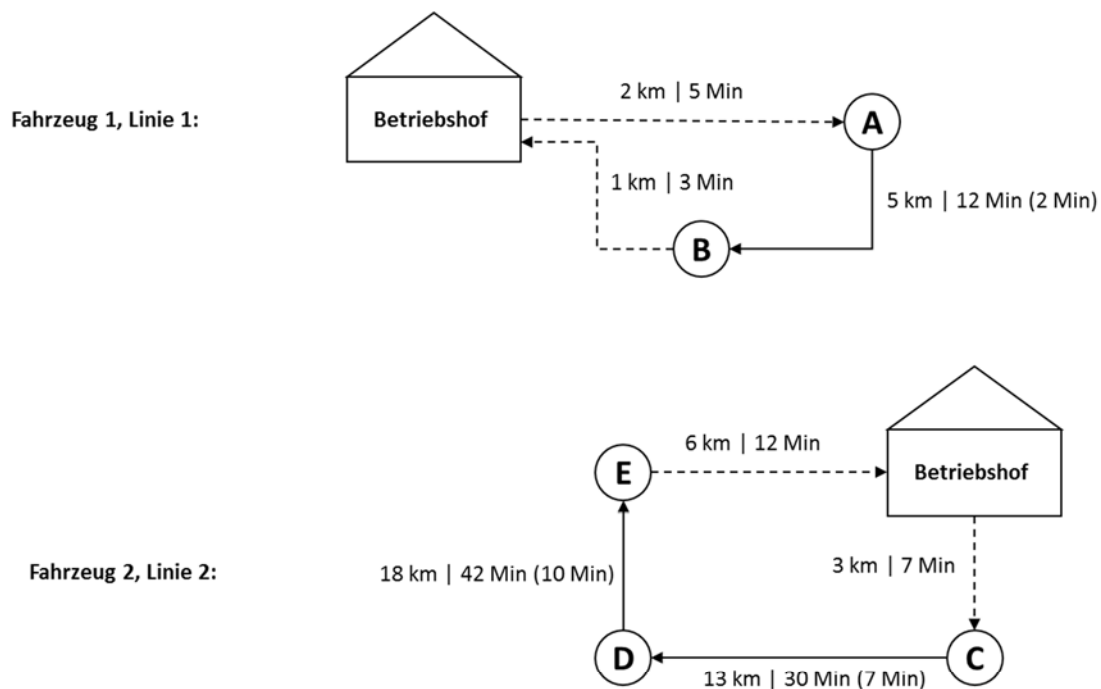
Ja, 9,5 Sekunden sind realisierbar 0,5 Punkte, z.B. durch eine **Bevorzugung der Busse an der Ampel zum Driescher Gässchen oder beim Audimax 1,0 Punkte**. Derzeit befindet sich die mittlere Wartezeit auf der Strecke bei ca. 11,3 Sekunden (68 Sekunden / 6 Ampeln), was einer Qualitätsstufe von B entspricht. Durch die Verkürzung von 9,5 Sekunden ($68 - 9,5 = 58,5$) und ($58,5 / 6 = 9,75$ Sekunden) würde sich an der Qualitätsstufe nichts ändern. Sofern ist diese Verkürzung als **realistisch anzusehen. 1,0 Punkte**

(Hinweis: Erklärung kann bis zu 2 Punkte geben, je nach Umfang. Obige Erklärung ist „nur“ ein Beispiel)

(Hinweis: falls in d) eine unrealistische Zeit berechnet wurde, aber die Begründung hier logisch ist, werden die Punkte dennoch gegeben)

Aufgabe 5 (ÖPNV)	a)	7,50	
	b)	4,50	
	Σ	12,00	

a) Für die Planung eines Verkehrsumlaufs der Linien 1 und 2 bekommen Sie von Ihrem Kollegen die Abbildungen 5.1 und 5.2 mit zwei Varianten vorgeschlagen. Begründen Sie durch die Berechnung und den Vergleich der Fahrplanwirkungsgrade sowie Wegewirkungsgrade und unter Berücksichtigung der entstehenden Kosten, welche Variante Sie als die sinnvollere erachten! Nutzen Sie dafür die Tabelle 5.1.



Linienverläufe		Abfahrtszeiten		Abfahrtszeiten		Legend	
Linie 1	A – B	A Linie 1	`01	C Linie 2	`56	—————>	Linienfahrt
Linie 2	C – D – E	D Linie 2	`37	D Linie 2	`37	- - - - ->	Ein-/Aussetzfahrt
						- km - Min (- Min)	Abschnittlänge Reisezeit (Wartezeit (in Reisezeit))

Abb. 5.1 Variante 1 des geplanten Verkehrsumlaufs

Variante 2:

$$t_{F,FZG1,IST} = (12 - 2) + (30 - 7) + (42 - 10) = 65 \text{ [Min]}$$

$$t_{U,FZG1,IST} = 5 + 12 + 6 + (56 - 19) + 30 + (37 - 26) + 42 + 12 = 155 \text{ [Min]}$$

$$f_{FG,FZG1,IST} = 65 / 155 = 0,42 \text{ [-]}$$

Wegewirkungsgrad**Variante 1, Fahrzeug 1:**

$$l_{F,FZG1,IST} = 5 \text{ [km]}$$

$$l_{U,FZG1,IST} = 2 + 5 + 1 = 8 \text{ [km]}$$

$$f_{WG,FZG1,IST} = 5 / 8 = 0,63 \text{ [-]}$$

Variante 2:

$$l_{F,FZG1,IST} = 5 + 13 + 18 = 36 \text{ [Min]}$$

$$l_{U,FZG1,IST} = 2 + 5 + 2 + 13 + 18 + 6 = 46 \text{ [km]}$$

$$f_{WG,FZG1,IST} = 36 / 46 = 0,78 \text{ [-]}$$

Empfehlung

- Fahrzeugwirkungsgrade bei Variante 1 besser
- Wegewirkungsgrade vergleichbar
- Längere Umlaufzeit bei Variante 2 sind erhöhte Personalkosten
- Längerer Weg bei Fahrzeugkosten kaum Auswirkungen
- Zwei Fahrzeuge erhöhen Fahrzeugkosten bei Variante 1

→ Variante 2 wählen

b) Geben Sie jeweils an, welche Auswirkungen folgende Szenarien auf den Fahrplanwirkungsgrad und den Wegewirkungsgrad haben und begründen Sie Ihre Antwort kurz! Nutzen Sie dafür die vorgegebenen Tabelle 5.2 und 5.3.

Szenario 1: Der Betriebshof wird durch eine Zusammenlegung mit einem anderen Unternehmen in die Nachbarstadt verlegt.

Szenario 2: Es werden an vielen Stellen des Linienvverlaufs Maßnahmen zur ÖPNV-Beschleunigung umgesetzt.

Szenario 3: Das neue Busunternehmen setzt verstärkt auf erhöhte Marketingmaßnahmen insbesondere bei jungen und alten Altersgruppen.

Szenario	Fahrplanwirkungsgrad	
	Änderung	Begründung
1	Niedriger / schlechter	Fahrtzeit für die Ein- und Aussetzzeit erhöht sich. (Nenner wird größer; Zähler bleibt gleich)
2	Höher / besser	Wartezeiten/Verlustzeiten verringern sich. (Zähler u Nenner ändern sich, aber Verhältnis wird besser)
3	keine	Keinen Einfluss auf Fahrtzeiten.

Tab. 5.2 Einfluss der Szenarien auf den Fahrplanwirkungsgrad

Szenario	Wegewirkungsgrad	
	Änderung	Begründung
1	Niedriger / schlechter	Fahrtzeit für die Ein- und Aussetzzeit erhöht sich. (Nenner wird größer; Zähler bleibt gleich)
2	Keine	Keinen Einfluss auf Fahrtweite
3	keine	Keinen Einfluss auf Fahrtweiten.

Tab. 5.3 Einfluss der Szenarien auf den Wegewirkungsgrad