

Professur für Bahnverkehr, öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr Technische Universität Dresden Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List" Institut für Bahnsysteme und Öffentlichen Verkehr	Betriebsprozesse + -planung im öffentl. (Personen-)Verkehr Betriebsplanung im öffentl. Verkehr Öffentliche Verkehrssysteme Betriebsplanung Öffentlicher Verkehrssysteme	Studienjahr 2015/2016
--	--	-----------------------

Bedienungshäufigkeit

gegeben:

Auf dem Streckennetz im Stadtverkehr sollen Straßenbahnzüge aus zwei NGTW6 "Leoliner" mit insgesamt 340 Plätzen bei 6,7 Stehplätzen je Quadratmeter zum Einsatz gelangen, deren Ausnutzung im Spitzen- und Berufsverkehr 0,5 und im Tages- und Abendverkehr 0,3 Personen pro Platz nicht überschreiten darf. Am Abend wird eine Zugfolgezeit von 20, tagsüber von 15 Minuten für noch zumutbar angesehen.

Infolge geringer Bebauung sind zwischen **A** und **E** Verkehrsströme größer 250 Personen je Stunde und Richtung nicht zu erwarten.

Das Fahrgastaufkommen zwischen **E** und **F** liegt im Spitzen- und Berufsverkehr bei 950 Personen je Stunde und Richtung. Im Tages- und Abendverkehr wird relativ starker Binnenverkehr beobachtet. Stündlich sind etwa 800 Personen in jeder Richtung zu befördern. Wegen der nur kurzen Strecke und der fehlenden Wendemöglichkeit in **F** zum äußeren Endpunkt hin sei im Tages- und Abendverkehr ausnahmsweise eine Platzausnutzung bis 0,4 Personen pro Platz gestattet.

Für den maßgebenden Punkt des Abschnittes **F-H**, eine Berufsschule, liegt eine Querschnittszählung vor, die für den Spitzenverkehr 2100 Personen je Stunde und Richtung ausweist, für den Berufsverkehr 1700, den Tagesverkehr 600 und den Abendverkehr 400.

Der Streckenabschnitt **J-H** wurde rekonstruiert und erweitert. Während der Bauzeit verkehrte im Spitzen-, Berufs- und Tagesverkehr eine Omnibuslinie mit einer Taktzeit von 7/8 Minuten. Am Abend erschienen 4 der bei ebenfalls 6,7 Stehplätzen je Quadratmeter 170 Personen fassenden Wagen pro Stunde und Richtung. Dieses Platzangebot ist beizubehalten.

Zwischen **Q** und **T** leben 3000 und zwischen **T** und **O** 7000 Einwohner. Auf jeden von ihnen entfallen im Spitzen- und Berufsverkehr 0,10 Fahrten je Stunde, im Tagesverkehr davon deutlich mehr als die Hälfte und im Abendverkehr davon wiederum zwei Drittel. Es wird angenommen, dass fast alle Fahrtziele im Zentrum oder an den Strecken nach **J** und **A** liegen.

Für den Abschnitt **L-O** gelten die gleichen Bedingungen wie für **Q-O**, lediglich mit um ein Drittel verminderter Einwohnerzahl.

gesucht:

Zu ermitteln ist die Bedienungshäufigkeit der angeführten Streckenabschnitte!

Linienführung I

gegeben:

- Material zur Übung Bedienungshäufigkeit
- Dauer der Verkehrszeiten:

Spitzenverkehr:	2 h	Berufsverkehr:	5 h
Tagesverkehr:	8 h	Abendverkehr:	5 h
- Erfahrungswert:
 - 3,9 Zugstunden erfordern einen Vollzeitarbeiter

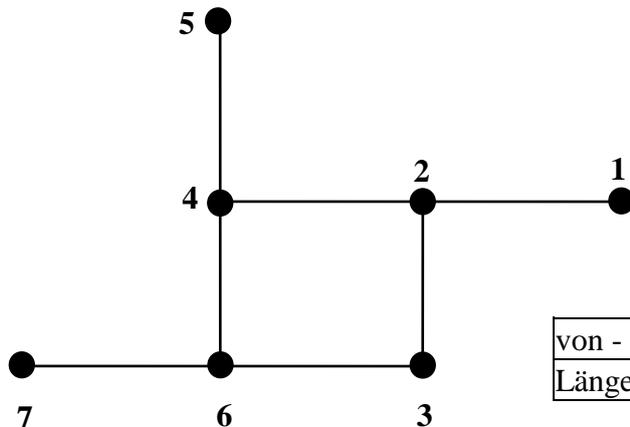
gesucht:

- fahrpersonalaufwandsoptimale Linienführung für Achsennetz mit Taktzeit von 10 oder 15 min im Spitzen-, Berufs- und Tagesverkehr und 20 min im Abendverkehr bei Bedienen des Zentrums mit jeder Linie
- fahrpersonalaufwandsoptimale Linienführung für Verästelungsnetz mit Taktzeit von 15 min im Spitzen-, Berufs- und Tagesverkehr und 20 min im Abendverkehr bei Bedienen des Zentrums mit jeder Linie
- jeweils erforderliche Anzahl der Vollzeitarbeiter

Linienführung II

gegeben:

- Eisenbahnstreckennetz im Schienenpersonenfernverkehr mit Streckenlängen



von - nach	1-2	2-3	2-4	3-6	4-5	4-6	6-7
Länge [km]:	120	130	160	280	110	230	100

- symmetrisches Verkehrsaufkommen zwischen allen Knoten:

1	2	3	4	5	6	7	
0	500	203	150	83	53	35	1
	0	800	440	188	153	58	2
		0	168	103	204	142	3
			0	753	450	53	4
				0	189	47	5
					750		6
					0		7

Angaben in
1000 Personen/Jahr

- mittlere Beförderungsgeschwindigkeit je Kante: 120 km/h
- Mindesthaltezeit je Knoten: 3 min
- Mindestumsteigezeiten:

Knoten **2**: 5 min Knoten **3**: 4 min Knoten **4**: 7 min Knoten **6**: 6 min

gesucht:

- kürzeste Wege zwischen allen Netzknoten und deren Längen als Ergebnistabelle und Wegekarten
- umsteigehäufigkeitsoptimale symmetrische Linienführung mit genau einer Linie je Kante mittels Basislinienverfahren unter ausschließlicher Verwendung der kürzesten Wege wie folgt:
 - Hilfstafel Knotenübergänge zur Bewertung der Basislinien
 - Auswahl der Basislinien
 - Liniennetz aus der Verknüpfung der Basislinien
 - eingesparte Umsteigevorgänge durch die Linienbildung absolut und relativ
 - verbliebene Umsteigevorgänge
 - mittlere Zahl der Umsteigevorgänge je Fahrt
 - Anzahl Direktfahrer absolut und relativ
- notwendige Platzkapazität der Züge je Linie bei im Jahresverlauf (Variationskoeffizient: **0,35**) und Tagesverlauf (Variationskoeffizient: **0,70; 12** Fahrten) normalverteiltem Verkehrsaufkommen, wenn die Zahl der Sitzplätze der Züge für jede Linie so bemessen wird, dass das statistisch ermittelte Reisendenaufkommen nur an **35** Tagen je Jahr in **jeweils einem Zug** überschritten wird
- Fahrplankonzept mit optimalen Übergangszeiten für die stärksten Umsteigebeziehungen
 - unter Vernachlässigen schwächerer Umsteigebeziehungen
 - mit Nachbesserungen zugunsten schwächerer Umsteigebeziehungen

Zweirichtungsbetrieb

gegeben:

- Material zu den Übungen Bedienungshäufigkeit und Linienführung I
- Beförderungszeit, um die die Kreuzung in landwärtiger Richtung verschoben wird: 0,5 min
- Mindestwendezeit: 6 min

gesucht:

- unzulässige Wendezeiten für die äußeren Endpunkte bei Taktzeiten von 10, 15 und 20 min
- zulässige Wendezeiten im gesamten Netz

Fahrplanverknüpfung

gegeben:

- Material der Übungen Bedienungshäufigkeit, Linienführung I und Zweirichtungsbetrieb
- Linienführung: **1: A-Q 2: E-L 3: J-T 11: F-O**
- Abfahrt in **Q**: Minute 00 (mod 15)
- Besonderheiten der Einsatzlinie 11:
 - Mindestwendezeit: 4 min
 - Mindestabstand zu einer anderen Linie: 4 min

gesucht:

Fahrplanlagen im 15-Minuten-Verkehr bei Fahrplanverknüpfung auf den Außenstrecken

Wagenlaufplan einer Linie

gegeben:

- Material der Übungen Bedienungshäufigkeit, Linienführung I, Zweirichtungsbetrieb und Fahrplanverknüpfung
- geforderte Taktzeiten der Linie **1** montags bis freitags im Zentrum:
 - 4.45 Uhr - 5.30 Uhr und 19.30 Uhr - 23.30 Uhr: 20 min
 - 5.30 Uhr - 19.30 Uhr: 15 min
- Abfahrten im 20-Minuten-Verkehr:
 - in **A**: 16 (mod 20)
 - in **Q**: 00 (mod 20)
- Sammelanschluss in **H**: 23.57/0.00 (30) 0.57/1.00 (75) 3.27/30
- Beförderungszeit Zentrum-**Q**: 15 min
- Mindestwendezeiten:
 - bei Taktzeitwechsel: 5 min
 - bei Fahrten **A-E**: 2 min
- Überholmöglichkeiten: keine
- Betriebshof **Q**: 4 Züge; Ausrücken ab 4.00 Uhr möglich
- Betriebshof **E**: 4 Züge; Ausrücken ab 4.10 Uhr möglich

gesucht:

Wagenlaufplan und Fahrplanwirkungsgrad für Linie **1** montags bis freitags

Wagenlaufplan mehrerer Linien

gegeben:

- Material der Übungen Bedienungshäufigkeit, Linienführung I, Zweirichtungsbetrieb und Fahrplanverknüpfung
- geforderte Taktzeiten der Linie **2** montags bis freitags im Zentrum:
 - 4.45 Uhr - 5.30 Uhr und 19.30 Uhr - 23.30 Uhr: 20 min
 - 5.30 Uhr - 19.30 Uhr: 15 min
- Abfahrten im 20-Minuten-Verkehr:
 - in **E**: 11 (mod 20)
 - in **L**: 14 (mod 20)
- Sammelanschluss in **H** als Linie **2/3 L-J**: 23.57/0.00 (30) 0.57/1.00
- Sammelanschluss in **H** als Linie **2 L-H**: 2.12/15 und 3.27/30
- Beförderungszeit Zentrum-**L**: 11 min
- Mindestwendezeiten:
 - bei Taktzeitwechsel: 5 min
 - bei Taktzeiten ≥ 20 min: 3 min
 - bei Fahrten **Q-L**: 2 min
- Überholmöglichkeiten: keine
- Betriebshof **Q**: 4 Züge; Ausrücken ab 4.00 Uhr möglich
- Betriebshof **E**: 4 Züge; Ausrücken ab 4.10 Uhr möglich

gesucht:

Wagenlaufplan und Fahrplanwirkungsgrad für Linie **2** montags bis freitags

Wagenlaufplan im Freigestellten Schülerverkehr

gegeben:

- Entfernungen in einem symmetrischen Regionalverkehrsnetz:

M	N	O	P	Q	S	T	V	W	X	Y	
22	11	3	10	70	40	45	61	48	63	81	L
	11	19	26	86	18	23	77	26	41	59	M
		8	15	75	29	34	66	37	52	70	N
			7	67	37	42	58	45	60	78	O
				60	44	49	51	52	67	75	P
					104	109	49	112	127	127	Q
						5	95	8	23	41	S
							100	13	28	46	T
								103	118	118	V
									15	33	W
										18	X

Angaben
in 100 m

- Zusteiger an den Haltestellen des Schülerverkehrs:

L	M	O	P	Q	S	T	V	W	X	Y
7	8	9	11	12	10	5	18	12	4	10

- spätestes Eintreffen der Schüler am Schulort N: 7.50 Uhr
- Platzangebot eines Kraftomnibusses: 60 Plätze
- Beförderungsgeschwindigkeit: 35 km/h
- Geschwindigkeit bei Leerfahrt: 40 km/h
- Startort/e der Fahrt/en: beliebig

gesucht:

- Wagenlaufplan im Freigestellten Schülerverkehr, wenn
- für jede Fahrt ein Kraftomnibus verfügbar ist.
- nur ein Kraftomnibus verfügbar ist.

Dienste ohne Blockpausen

gegeben:

- Streckennetz im Stadtverkehr mit Beförderungszeiten
- Wagenlaufplan für Linie 1 montags bis freitags
- Wagenläufe der im Betriebshof E beheimateten Züge der Linie 1 sonnabends, sonn- und feiertags:

Ort: \ Zug:	3.	6.	7.	8.
Betriebshof E:	4.11Ün	4.29	4.49	9.04
A:	-	4.36	4.56	-
Q:	5.00	5.40	6.00	-
A:	5.56	6.36	6.56	-
Q:	7.00	7.40	8.00	-
A:	7.56	8.36	8.56	9.11
Q:	9.00	9.45	10.00	10.15
- weiter wie montags bis freitags -				
Betriebshof E an:	0.01	0.38	1.08	4.11

- Aus- und Einrückzeiten der im Betriebshof **E** beheimateten Züge der Linie **11** montags bis freitags:

Ort: \ Zug:	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Betriebshof E :	5.11	5.26	5.41	14.56	15.11	15.26
Betriebshof E an:	7.49	8.04	7.34	18.19	18.34	18.04

- mittlere Anzahl der Ruhetage je Woche: 2
- wöchentliche Arbeitszeit: 38.30 h
- maximale Dienstlänge: 9.30 h
- Vorbereitungszeit:
 - beim Ausrücken: 15 min
 - auf der Strecke: 5 min
- Abschlusszeit:
 - beim Einrücken: 10 min
 - auf der Strecke: 5 min
- Zeit für Lohnzahlung und Dienstunterricht je Dienst: 5 min
- Ablösepunkt: **E**

gesucht:

- Anzahl der Dienste nach Grob- und Feinschätzung
- Dienstdurchläufe bei Minimum an Diensten und Dienstteilen
- Dienstliste
- Dienstplanwirkungsgrad

für die im Betriebshof **E** beheimateten Züge der Linien **1** und **11** montags bis freitags sowie sonnabends, sonn- und feiertags

Dienste mit Blockpausen

gegeben:

- Streckennetz im Stadtverkehr mit Beförderungszeiten
- Wagenlaufplan für Linie **1** montags bis freitags
- Aus- und Einrückzeiten der wegen Bauarbeiten im Betriebshof **Q** beheimateten Züge der Linie **11** montags bis freitags:

Ort: \ Zug:	4.	5.	6.	4.	5.	6.
Betriebshof Q :	5.05	5.20	5.35	14.50	15.05	15.20
Betriebshof Q an:	7.25	7.40	7.55	18.10	18.25	18.40

- mittlere Anzahl der Ruhetage je Woche: 2
- wöchentliche Arbeitszeit: 42.00 h
- maximale Dienstlänge: 9.45 h
- Vorbereitungszeit:
 - beim Ausrücken: 15 min
 - beim Ablösen zum Dienstbeginn: 5 min
 - beim Ablösen nach der Pause: 0 min
- Abschlusszeit:
 - beim Einrücken: 10 min
 - beim Ablösen zum Dienstende: 5 min
 - beim Ablösen zur Pause: 0 min
- Zeit für Lohnzahlung und Dienstunterricht je Dienst: 5 min
- Ablösepunkt:
 - bei Dienstbeginn und -ende **Q**
 - bei Pausen **H**

- Pausengewährung:
 - 1 Pause je Dienst mit Ausnahme der Nachtdienste; das Einnehmen der Mittagsmahlzeit soll gewährleistet sein
 - etwaige Pausenzeiten: 7.30 - 10.00 Uhr, 11.30 - 14.00 Uhr, 15.30 - 17.30 Uhr und 19.30 - 21.30 Uhr
 - Pausendauer: 30 min unbezahlt, darüber Verlustzeit
 - Pausenort: **H**, bei Aus- und Einrücken auch **Q**

gesucht:

- Anzahl der Dienste nach Grob- und Feinschätzung
 - Dienstdurchläufe mit Pausenvermittlern bei Minimum an Diensten und Dienstteilen
 - graphische Darstellung der Dienstdurchläufe
 - Dienstliste mit Pausenzeiten
 - Dienstplanwirkungsgrad
- für die im Betriebshof **Q** beheimateten Züge der Linien **1** und **11** montags bis freitags

Dienstplan im Wochenrhythmus

gegeben:

Liste der Dienste für die im Betriebshof **E** beheimateten Züge der Linien **1** und **11**

Wochentag	Nummer	Linie und Zug	Dienstbeginn und Dienstende	Zeit
Montag - Freitag:	1	1/3.	3.56 - 12.06	8.10
	2	1/6.	4.14 - 12.51	8.37
	3	1/7.	4.34 - 13.06	8.32
	4	1/8.	4.49 - 13.04	8.15
	5	11/1. + 1/7.	4.56 - 7.59 + 12.56 - 16.49	6.56
	6	11/2. + 11/3.	5.11 - 8.14 + 15.11 - 18.14	6.06
	7	11/3. + 11/1.	5.26 - 7.44 + 14.41 - 18.29	6.06
	8	1/3.	11.56 - 19.49	7.53
	9	1/6.	12.41 - 16.51	4.10
	10	1/8.	12.54 - 19.04	6.10
	11	11/2. + 1/3.	14.56 - 18.44 + 19.39 - 0.11	9.15
	12	1/7.	16.39 - 1.18	8.39
	13	1/6.	16.41 - 0.48	8.07
	14	1/8.	18.54 - 4.21	9.27
Sonnabend, Sonn- und Feiertag:	21	1/3.	3.56 - 12.06	8.10
	22	1/6.	4.14 - 12.51	8.37
	23	1/7. + 1/8.	4.34 - 8.49 + 8.49 - 13.04	8.30
	24	1/7.	8.39 - 17.06	8.27
	25	1/3.	11.56 - 17.49	5.53
	26	1/6.	12.41 - 18.34	5.53
	27	1/8.	12.54 - 19.04	6.10
	28	1/7.	16.56 - 1.18	8.22
	29	1/3.	17.39 - 0.11	6.32
	30	1/6.	18.24 - 0.48	6.24
	31	1/8.	18.54 - 4.21	9.27

gesucht:

Dienstpläne im Wochenrhythmus mit mindestens 10 Stunden Ruhe zwischen zwei Diensten für die im Betriebshof **E** beheimateten Züge der Linien **1** und **11** montags bis freitags sowie sonnabends, sonn- und feiertags

- mit spätem Dienstbeginn nach und frühem Diensten vor freien Tagen
- schichtähnlich mit spätem Dienstbeginn nach und frühem Diensten vor freien Tagen sowie mindestens zwei freien Tagen beim Wechsel von einer Spät- auf eine Frühschichtserie

Behinderungszeiten an Einzelknoten**gegeben:**

- Streckennetz im Stadtverkehr
- Abfahrtszeiten in **O** Richtung **P** zur Spitzenstunde:
 - Linie **1 Q - A**: 12 29 42 57
 - Linie **2 L - E**: 06 21 37 51
 - Linie **3 T - J**: 01 16 31 46
 - Linie **11 O - F**: 02 17 25 33 47
- festzeitgesteuerte Lichtsignalanlage mit Straßenbahnvorsignalen am haltstellenlosen Knoten **P** bei besonderem Bahnkörper
- keine Engpässe zwischen **T** und **O**, **N** und **O** sowie **O** und **P**
- Periodendauer: 60 s (10 s) 110 s
- Anfahrzeitzuschlag: 13 s

gesucht:

Auswahl der zweckmäßigsten Signalisierung anhand der mittleren Behinderungszeiten der Straßenbahn in **P** aus **O** in der Spitzenstunde

- bei 10 s Freigabezeit
- mit einer zusätzlich alle 7/8 min in unbekannter Fahrplanlage verkehrenden Linie **12, O-U**, bei 10 s Freigabezeit
- mit einer zusätzlich alle 7/8 min in unbekannter Fahrplanlage verkehrenden Linie **12, O-U**, bei 20 s Freigabezeit

Verteilung der Regelhaltezeiten**gegeben:**

Stichprobe von Aufenthaltszeiten an einer Straßenbahnhaltestelle:

14 5 14 17 12 11 30 16 22 15 14 16 21 11 8 35 26 11 18 12 18 20 10 17 14
 19 8 22 16 7 18 19 16 8 13 19 15 18 5 15 20 13 19 15 10 19 15 16 8 10

Angaben in s

gesucht:

zutreffende Modellverteilung

Behinderungszeiten an koordinierten Knoten

gegeben:

- zwei benachbarte koordinierte Knotenpunkte A und B im Teilpunktabstand
- Haltestelle direkt vor dem Knoten B mit nachstehender Verteilung der Aufenthaltszeiten:
Klassenmitte: 7 s 12 s 17 s 22 s 27 s 32 s 37 s
Wahrscheinlichkeit: 0,1547 0,3525 0,2632 0,1368 0,0561 0,0241 0,0070
- Knotenpunktabstand: 495 m
- Periodendauer: 60 s
- Sperrzeit für die Straßenbahn: 50 s
- Anfahrt der Straßenbahn am Knoten A: zu Beginn der Freigabe
- Anfahrzeitzuschlag für die Straßenbahn: 11 s
- Bremszeitzuschlag für die Straßenbahn: 7 s
- Geschwindigkeit der Straßenbahn: 13,2 m/s

gesucht:

- Behinderungszeit in der "Grünen Welle", wenn die Freigabe für die Straßenbahn in B 35 s nach ihrer dortigen Ankunft beginnt
- minimale Behinderungszeit bei Verschieben des Freigabebeginns in Fünf-Sekunden-Schritten

A -5- E -14- F -12- H -6- O -5- T -7- Q

Montag - Freitag

Ort: \ Wagenlauf:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Betriebshof E:			4.11	Ün		4.29	4.49	5.04
Betriebshof Q:	4.30	4.45	-	5.15	5.30	-	-	-
A:	-	-	-	-	-	4.36	4.56	5.11
Q:	4.30	4.45	5.00	5.15	5.30	5.45	6.00	6.15
A:	5.26	5.41	5.56	6.11	6.26	6.41	6.56	7.11
Q:	6.30	6.45	7.00	7.15	7.30	7.45	8.00	8.15
A:	7.26	7.41	7.56	8.11	8.26	8.41	8.56	9.11
Q:	8.30	8.45	9.00	9.15	9.30	9.45	10.00	10.15
A:	9.26	9.41	9.56	10.11	10.26	10.41	10.56	11.11
Q:	10.30	10.45	11.00	11.15	11.30	11.45	12.00	12.15
A:	11.26	11.41	11.56	12.11	12.26	12.41	12.56	13.11
Q:	12.30	12.45	13.00	13.15	13.30	13.45	14.00	14.15
A:	13.26	13.41	13.56	14.11	14.26	14.41	14.56	15.11
Q:	14.30	14.45	15.00	15.15	15.30	15.45	16.00	16.15
A:	15.26	15.41	15.56	16.11	16.26	16.41	16.56	17.11
Q:	16.30	16.45	17.00	17.15	17.30	17.45	18.00	18.15
A:	17.26	17.41	17.56	18.11	18.26	18.41	18.56	19.11
Q:	18.30	18.45	19.00	-	19.20	19.40	20.00	20.20
A:	19.26	19.41	19.56	-	20.16	20.36	20.56	21.16
Q:	-	20.40	21.00	-	21.20	21.40	22.00	22.20
A:	-	21.36	21.56	-	22.16	22.36	22.56	23.26*
Q:	-	22.40	23.00	-	23.20	23.39*	0.09*	0.39*
A:	-	23.56*	23.56	-	0.26*	0.33	1.03	1.41*
Q:	-	-	-	-	1.54*	-	-	3.09*
A:	-	-	-	-	2.56*	-	-	4.06Üg
Betriebshof Q an:	20.15	0.48	-	19.00	3.48	-	-	-
Betriebshof E an:			0.01			0.38	1.08	4.11

* in H 3 min warten

Üg .. Fahrgast-Übergabe in E

Ün .. Fahrgast-Übernahme in E

alle Züge NGTW6 + NGTW6

Gleichungen für die Nichtbasiskanten in allgemeiner Form:

$$t_{\text{bef } 1Q2L} + t_{\text{zf } 1Q2L} + t_{\text{bef } 2LE} + t_{\text{we } 2E} + t_{\text{bef } 2E1A} + t_{\text{zf } 2E1A} + t_{\text{bef } 1AQ} + t_{\text{we } 1Q} \equiv 0 \pmod{t_T}$$

$$t_{\text{bef } 1A3I} + t_{\text{zf } 1A3I} - t_{\text{bef } 3TI} - t_{\text{we } 3I} + t_{\text{bef } 3T1Q} + t_{\text{zf } 3T1Q} - t_{\text{bef } 1AQ} - t_{\text{we } 1Q} \equiv 0 \pmod{t_T}$$

$$t_{\text{bef } 11F1A} + t_{\text{zf } 11F1A} + t_{\text{bef } 1AQ} + t_{\text{we } 1Q} + t_{\text{bef } 1Q11O} + t_{\text{zf } 1Q11O} + t_{\text{bef } 11OF} + t_{\text{we } 11F} \equiv 0 \pmod{t_T}$$

$$t_{\text{bef } 11O2L} + t_{\text{zf } 11O2L} + t_{\text{bef } 2LE} + t_{\text{we } 2E} + t_{\text{bef } 2E1A} + t_{\text{zf } 2E1A} + t_{\text{bef } 1AQ} + t_{\text{we } 1Q} + t_{\text{bef } 1Q11O} + t_{\text{zf } 1Q11O} \equiv 0 \pmod{t_T}$$

$$t_{\text{bef } 2E11F} + t_{\text{zf } 2E11F} - t_{\text{bef } 11OF} - t_{\text{we } 11F} - t_{\text{bef } 1Q11O} - t_{\text{zf } 1Q11O} - t_{\text{bef } 1AQ} - t_{\text{we } 1Q} - t_{\text{bef } 2E1A} - t_{\text{zf } 2E1A} \equiv 0 \pmod{t_T}$$

Gleichungen für die Nichtbasiskanten mit Beförderungs- und Taktzeiten:

$$1Q2L: \quad (4+40-5+49)\text{min} + t_{\text{zf } 1Q2L} + t_{\text{we } 2E} + t_{\text{zf } 2E1A} + t_{\text{we } 1Q} \equiv 0 \pmod{15\text{min}}$$

$$1A3I: \quad (12-32-7-49)\text{min} + t_{\text{zf } 1A3I} - t_{\text{we } 3I} + t_{\text{zf } 3T1Q} - t_{\text{we } 1Q} \equiv 0 \pmod{15\text{min}}$$

$$11F1A: \quad (-19+49+12+18)\text{min} + t_{\text{zf } 11F1A} + t_{\text{we } 1Q} + t_{\text{zf } 1Q11O} + t_{\text{we } 11F} \equiv 0 \pmod{15\text{min}}$$

$$11O2L: \quad (-8+40-5+49+12)\text{min} + t_{\text{zf } 11O2L} + t_{\text{we } 2E} + t_{\text{zf } 2E1A} + t_{\text{we } 1Q} + t_{\text{zf } 1Q11O} \equiv 0 \pmod{15\text{min}}$$

$$2E11F: \quad (14-18-12-49+5)\text{min} + t_{\text{zf } 2E11F} - t_{\text{we } 11F} - t_{\text{zf } 1Q11O} - t_{\text{we } 1Q} - t_{\text{zf } 2E1A} \equiv 0 \pmod{15\text{min}}$$

Gleichungen für die Nichtbasiskanten mit Beförderungs- und Taktzeiten, umgestellt nach den Zugfolgezeiten der Nichtbasiskanten:

$$(I) \quad 1Q2L: \quad t_{\text{zf } 1Q2L} \equiv 2 - t_{\text{we } 2E} - t_{\text{zf } 2E1A} - t_{\text{we } 1Q} \pmod{15}$$

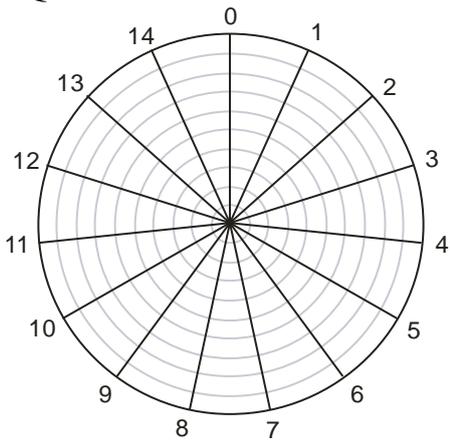
$$(II) \quad 1A3I: \quad t_{\text{zf } 1A3I} \equiv 1 + t_{\text{we } 3I} - t_{\text{zf } 3T1Q} + t_{\text{we } 1Q} \pmod{15}$$

$$(III) \quad 11F1A: \quad t_{\text{zf } 11F1A} \equiv 0 - t_{\text{we } 11F} - t_{\text{zf } 1Q11O} - t_{\text{we } 1Q} \pmod{15}$$

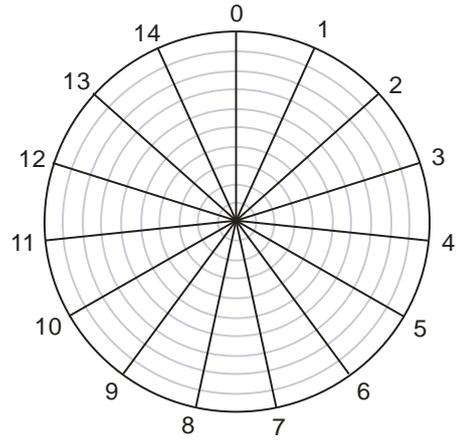
$$(IV) \quad 11O2L: \quad t_{\text{zf } 11O2L} \equiv 2 - t_{\text{we } 2E} - t_{\text{zf } 2E1A} - t_{\text{we } 1Q} - t_{\text{zf } 1Q11O} \pmod{15}$$

$$(V) \quad 2E11F: \quad t_{\text{zf } 2E11F} \equiv 0 + t_{\text{we } 11F} + t_{\text{zf } 1Q11O} + t_{\text{we } 1Q} + t_{\text{zf } 2E1A} \pmod{15}$$

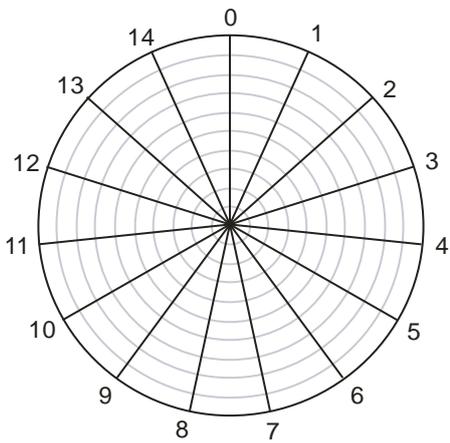
1Q2L



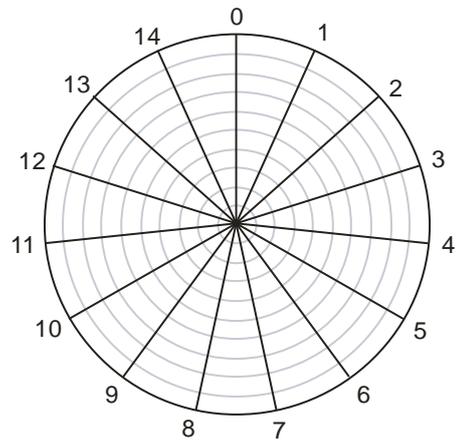
1A3I



11F1A



11O2L



2E11F

