

Dienstplanoptimierung

Ralf Borndörfer

Ganzzahlige Optimierung im öffentlichen Verkehr

30. Januar 2007

LBW



Ralf Borndörfer

- DFG Research Center MATHEON "Mathematics for key technologies"
- Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin (ZIB)
- Löbel, Borndörfer & Weider GbR (LBW)

borndorfer@zib.de

<http://www.zib.de/borndorfer>



Planungsprozess

Weitere Fahrausweise erhalten Sie in unseren Bussen und Straßenbahnen an den Automaten im ersten Wagenzug.

Tarif ab 1.4.2004 für Potsdam und Umland (ohne Stadt Berlin)

BUS 690 S Babelsberg -> Am Stern, Johannes-Kepler-Platz

Tarif ab 1.4.2004 für Potsdam und Umland (ohne Stadt Berlin)

BUS 690 S Babelsberg -> Am Stern, Johannes-Kepler-Platz

BUS 690 S Babelsberg -> Am Stern, Johannes-Kepler-Platz

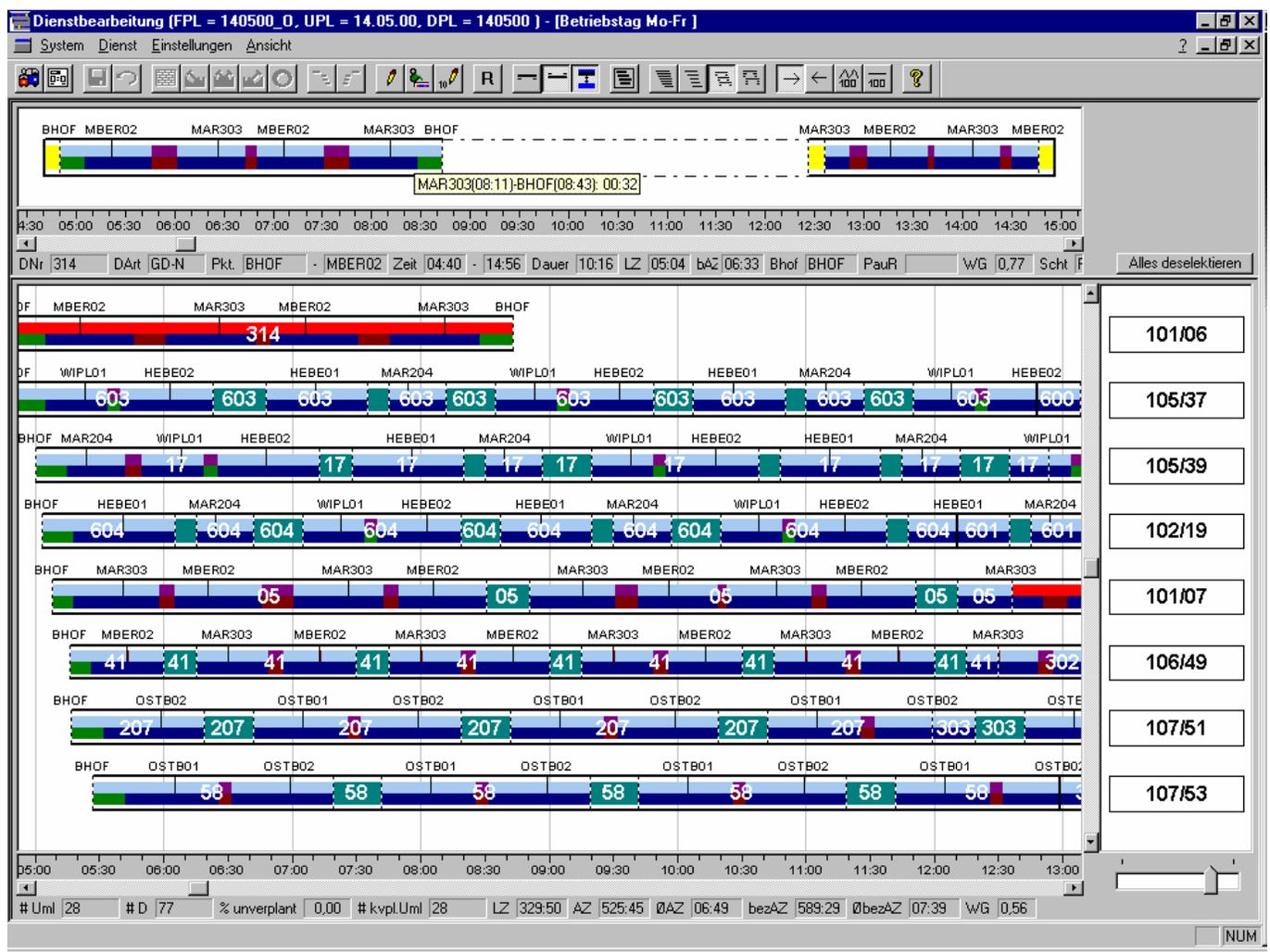
Zugl.	Li.	Uml.	Soll.	Soll-Fzg	Soll-Z...	Ist-Fzg	R.	Ist-Zusi
7255	S2	217	1B	423 221	11:48	423 221	0	1B
7255	S2	227	2B	423 058	11:48	423 058	0	2B
7555	S5	507	1B	423 365	11:51	423 365	0	1B
7555	S5	509	2B	423 219	11:51	423 219	0	2B
7155	S1	128	1B	423 182	11:53	423 182	0	1B
7155	S1	127	2B	423 159	11:53	423 159	0	2B
7855	S8	822	1B	423 288	11:55	423 288	0	1B
7855	S8	823	2B	423 148	11:55	423 148	0	2B
7455	S4	408	1B	423 318	11:58	423 318	0	1B
7455	S4	409	2B	423 282	11:58	423 282	0	2B
7755	S7	714	1B	423 263	12:02	423 263	0	1B
7755	S7	713	2B	423 169	12:02	423 169	0	2B
7655	S6	602	1B	423 225	12:04	423 225	0	1B
7655	S6	601	2B	423 155	12:04	423 155	0	1A
7257	S2	226	1B	423 115	12:08			
7257	S2	205	2B	423 183	12:08			
7557	S5	518	1B	423 235	12:11			
7557	S5	519	2B	423 106	12:11			
7157	S1	115	1B	423 079	12:13			
7157	S1	114	2B	423 267	12:13			
7857	S8	820	1B	423 174	12:15			
7857	S8	821	2B	423 285	12:15			
7457	S4	412	1B	423 281	12:18			
7457	S4	413	2B	423 264	12:18			
7757	S7	708	1B	423 167	12:22			
7757	S7	707	2B	423 075	12:22			
7577	S5	515	1B	423 066	12:24			

LBW



Ralf Borndörfer

Dienste

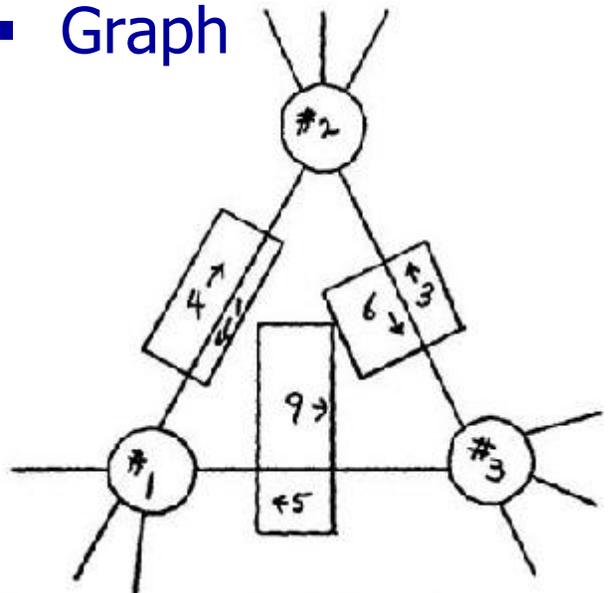


Dienstplanung

- **Input**
Dienst- und Ergänzungselemente, Verknüpfungen
Dienstarten (einschliesslich Kosten)
Dienstmixbedingungen
- **Output**
Fahrerdienste
- **Problem**
Berechne Dienste um alle Dienstelemente zu überdecken
- **Ziele**
Minimiere Kosten
Minimiere Anzahl Dienste
Optimiere Dienstschnitt

Ganzzahliges Programm

■ Graph



■ Bedingungen

$$4 \leq 1\lambda_1 + 1\lambda_4$$

$$1 \leq 1\lambda_1 + 1\lambda_5$$

$$9 \leq 1\lambda_2 + 1\lambda_5$$

$$5 \leq 1\lambda_2 + 1\lambda_4$$

$$6 \leq 1\lambda_3 + 1\lambda_4$$

$$2 \leq 1\lambda_3 + 1\lambda_5$$

$$\lambda_i \geq 0, \lambda_5 \text{ ganz}$$

■ Dienste, Variablen

$i \rightarrow$			1.0	1.0	1.0	1.2	1.2
From	To	Shipment Requirements	Routes				
			1,2	1,3	2,3	1,2,3	1,3,2
		P_4	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
1	2	4	1				
2	1	1	1				
1	3	9		1			
3	1	6		1		1	
2	3	6			1	1	
3	2	2			1		1
			λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5

■ Ganzzahliges Programm

Min. $1.0\lambda_1 + 1.0\lambda_2 + 1.0\lambda_3 + 1.2\lambda_4 + 1.2\lambda_5$

$$4 \leq 1\lambda_1 + 1\lambda_4$$

$$1 \leq 1\lambda_1 + 1\lambda_5$$

$$9 \leq 1\lambda_2 + 1\lambda_5$$

$$5 \leq 1\lambda_2 + 1\lambda_4$$

$$6 \leq 1\lambda_3 + 1\lambda_4$$

$$2 \leq 1\lambda_3 + 1\lambda_5$$

$$\lambda_i \geq 0, \lambda_5 \text{ ganz}$$

Lösung mit Linearer Programmierung

Min. $\lambda_1 + \lambda_2 + 1.0\lambda_3 + 1.2\lambda_4 + 1.2\lambda_5$

$4 \leq 1\lambda_1 + 1\lambda_4$

$1 \leq 1\lambda_1 + 1\lambda_6$

$9 \leq 1\lambda_2 + 1\lambda_5$

$5 \leq 1\lambda_2 + 1\lambda_4$

$6 \leq 1\lambda_3 + 1\lambda_4$

$2 \leq 1\lambda_3 + 1\lambda_5$

$\lambda_i \geq 0, \lambda_5 \text{ ganz}$

Min. $\lambda_1 + \lambda_2 + 1.0\lambda_3 + 1.2\lambda_4 + 1.2\lambda_5$

$4 \leq 1\lambda_1 + 1\lambda_4$

$1 \leq 1\lambda_1 + 1\lambda_6$

$9 \leq 1\lambda_2 + 1\lambda_5$

$5 \leq 1\lambda_2 + 1\lambda_4$

$6 \leq 1\lambda_3 + 1\lambda_4$

$2 \leq 1\lambda_3 + 1\lambda_5$

$\lambda_i \geq 0$

Min. $\lambda_1 + \lambda_2 + 1.0\lambda_3 + 1.2\lambda_4 + 1.2\lambda_5$

$4 \leq 1\lambda_1 + 1\lambda_4$

$1 \leq 1\lambda_1 + 1\lambda_6$

$9 \leq 1\lambda_2 + 1\lambda_5$

$5 \leq 1\lambda_2 + 1\lambda_4$

$6 \leq 1\lambda_3 + 1\lambda_4$

$2 \leq 1\lambda_3 + 1\lambda_5$

$\lambda_i \geq 0, \lambda_5 \text{ ganz}$

Ganzzahliges Programm



Lineares Programm



Ganzzahliges Programm

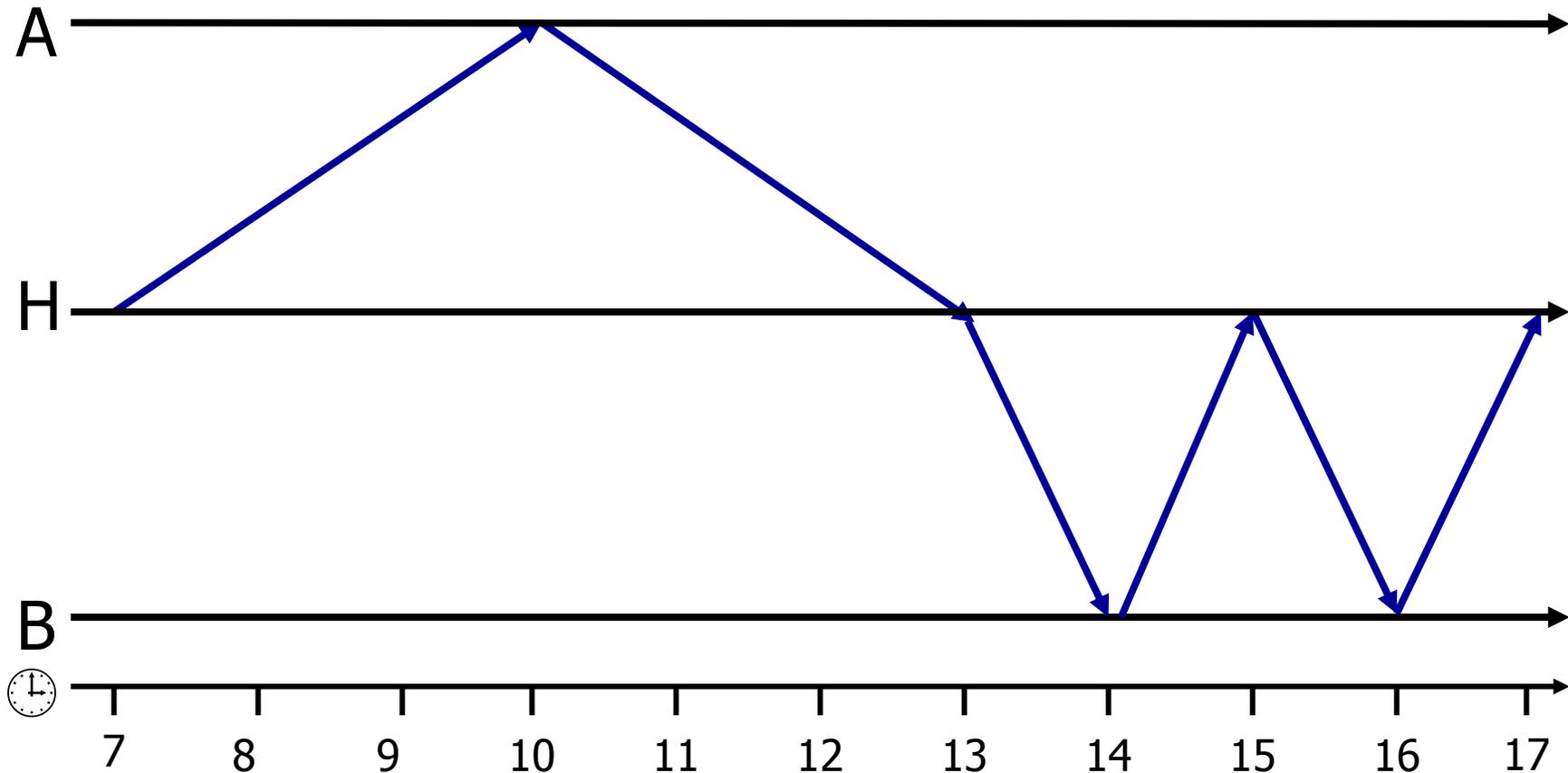
LP-Relaxierung

z.B. Simplex

Branch-and-Bound

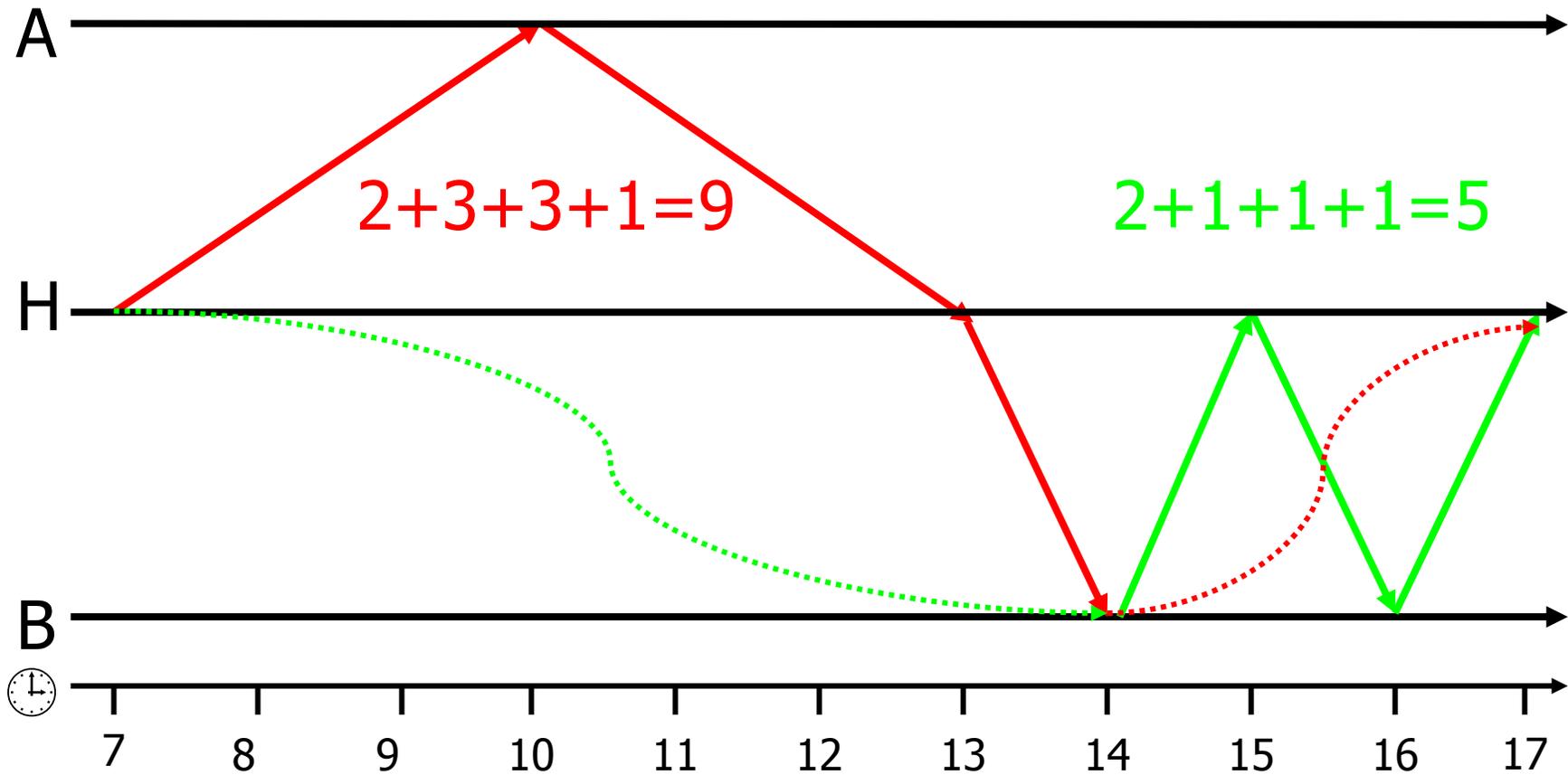


Dienstplanungsproblem



- Regeln: Lenkzeit ≤ 7 h, Verknüpfungen ≤ 3 h
- Kosten: 2+ Dienstzeit

Dienstplanungsproblem

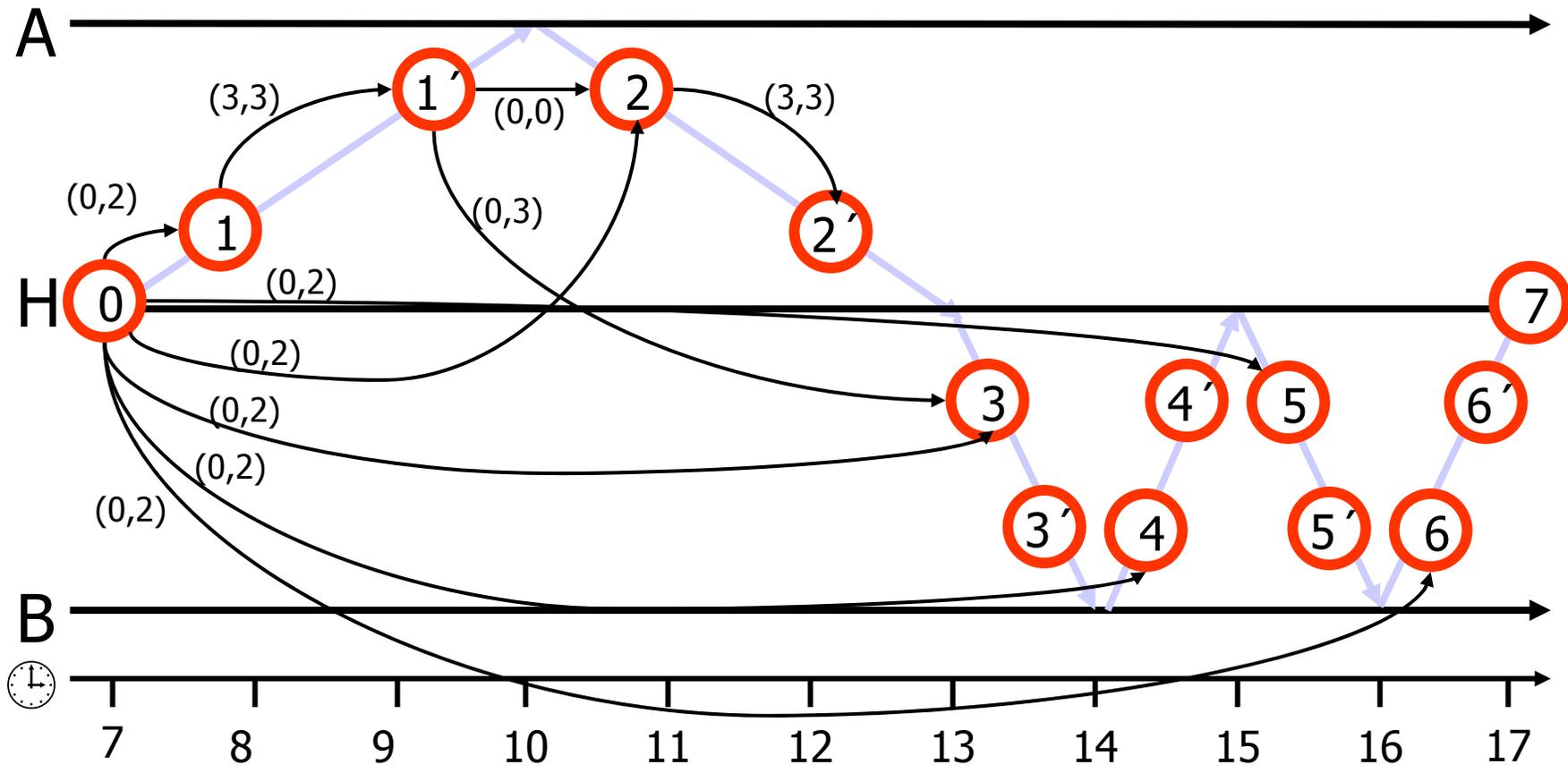


$2+3+3+1=9$

$2+1+1+1=5$

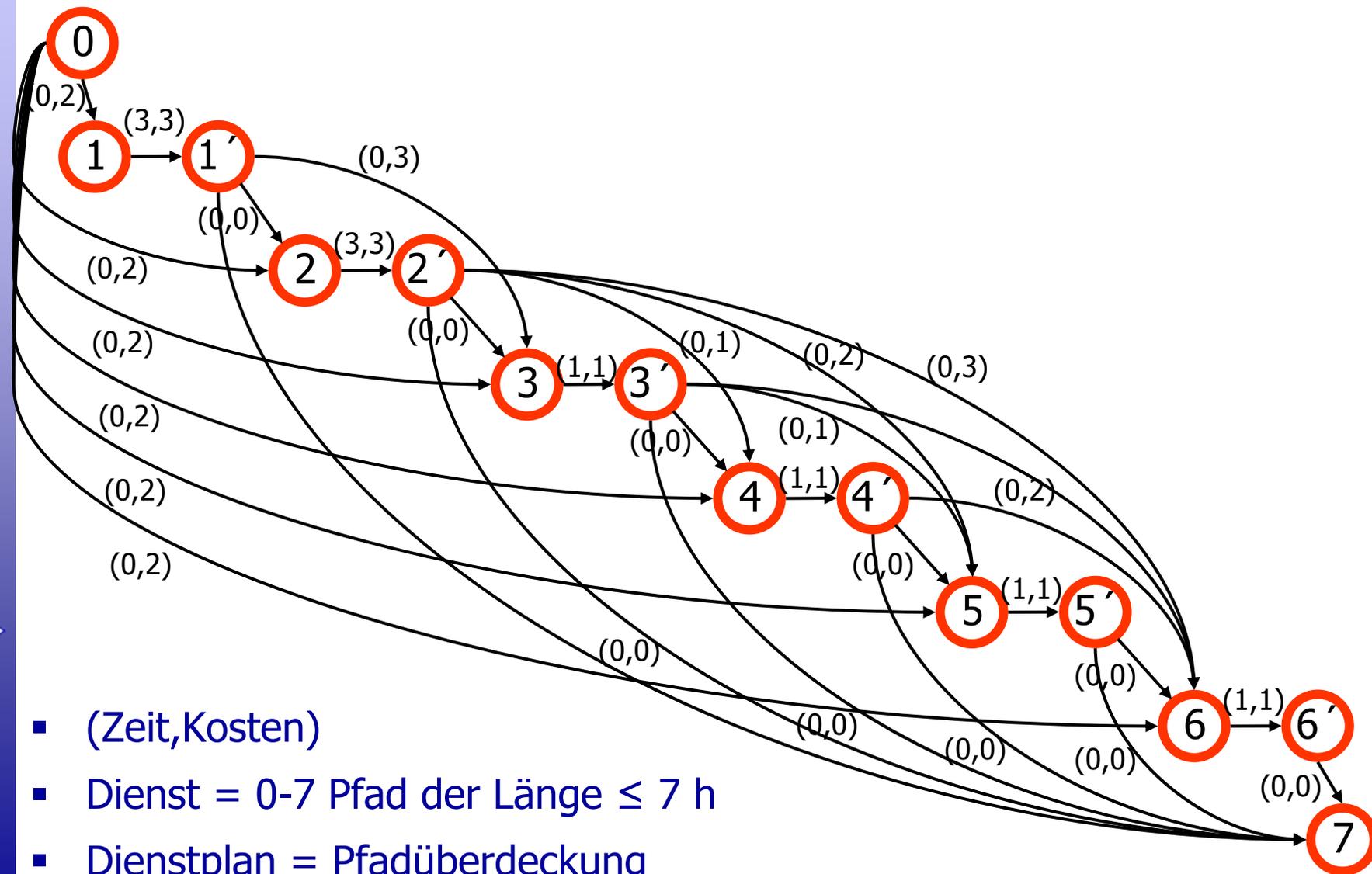
- Regeln: Lenkzeit ≤ 7 h, Verknüpfungen ≤ 3 h
- Kosten: 2+ Dienstzeit

Planungsgraph



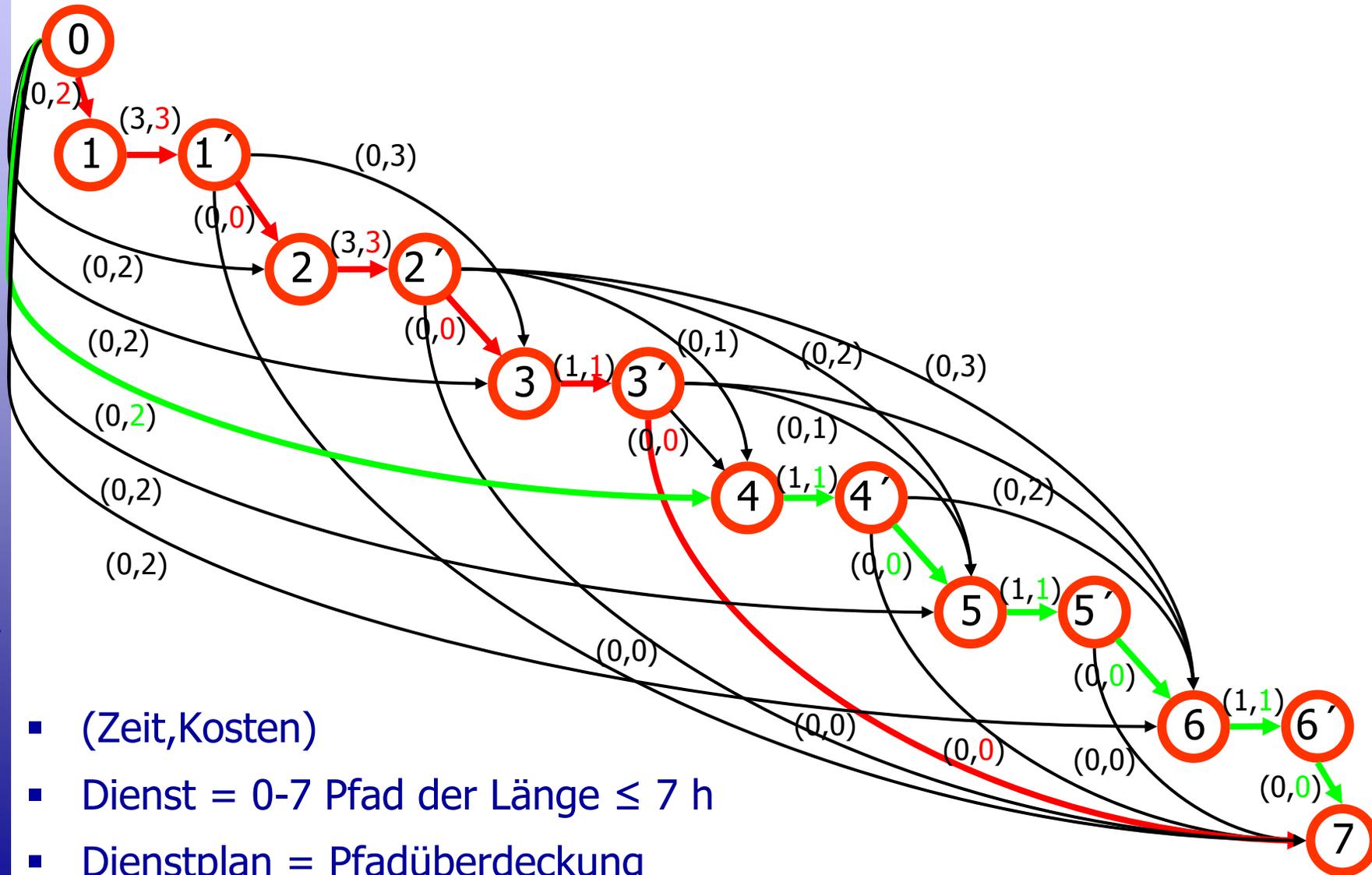
- Regeln: Lenkzeit ≤ 7 h, Verknüpfungen ≤ 3 h
- Kosten: 2+ Dienstzeit

Planungsgraph



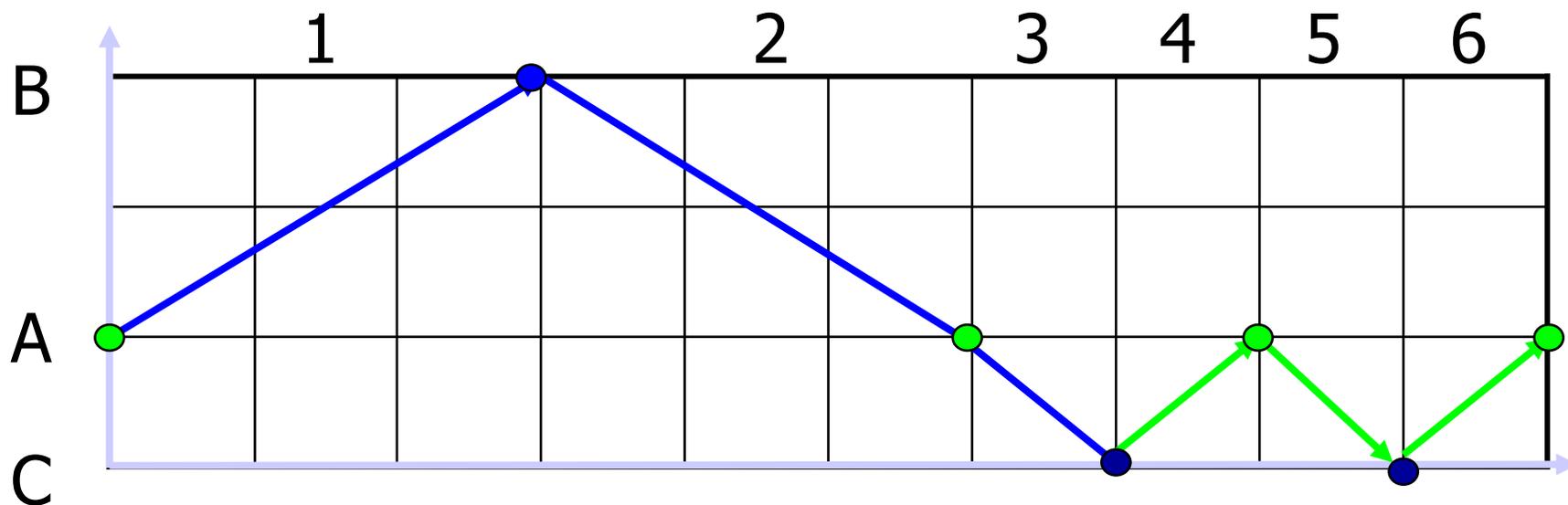
- (Zeit,Kosten)
- Dienst = 0-7 Pfad der Länge ≤ 7 h
- Dienstplan = Pfadüberdeckung

Planungsgraph



- (Zeit,Kosten)
- Dienst = 0-7 Pfad der Länge ≤ 7 h
- Dienstplan = Pfadüberdeckung

Alle Dienste



no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37			
c	5	5	3	3	3	3	8	9	6	7	8	9	4	5	6	4	5	4	9	10	11	12	7	8	9	5	6	5	11	12	12	8	9	9	6	12	9			
1	1						1	1											1	1	1	1						1	1	1							1			
2		1					1		1	1	1	1							1	1	1	1	1	1	1							1	1	1					1	
3			1					1	1				1	1	1				1				1	1	1	1	1		1	1		1	1			1	1	1	1	
4				1						1			1			1	1			1			1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5					1						1			1		1		1			1			1		1		1	1		1	1		1	1		1	1	1	1
6						1						1			1		1	1				1			1		1	1		1	1		1	1		1	1	1	1	1

Set-Partitioning-Modell

no	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
	55	3	3	3	3	8	9	6	7	8	9	4	5	6	4	5	4	9	10	11	12	7	8	9	5	6	5	11	12	12	8	9	9	6	12	9	
1						1	1											1	1	1	1						1	1	1						1	1	
2	1					1		1	1	1	1							1	1	1	1	1	1	1						1	1	1				1	1
3			1				1	1				1	1	1				1				1	1	1	1	1		1	1		1	1		1	1	1	1
4				1						1			1			1	1		1			1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5					1					1			1			1			1			1			1	1		1	1		1	1		1	1	1	1
6						1					1			1		1	1				1			1		1	1		1	1		1	1	1	1	1	1
	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}	x_{28}	x_{29}	x_{30}	x_{31}	x_{32}	x_{33}	x_{34}	x_{35}	x_{36}	x_{37}	
1									0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	

$$\min 5x_1 + 5x_2 + \dots + 12x_{36} + 9x_{37}$$

$$\text{s.t. } x_1 + x_7 + x_8 + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{29} + x_{30} + x_{31} + x_{36} = 1$$

$$x_2 + x_7 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{37} = 1$$

$$x_3 + x_8 + x_9 + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{19} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{29} + x_{30} + x_{32} + x_{33} + x_{35} + x_{36} + x_{37} = 1$$

$$x_4 + x_{10} + x_{13} + x_{16} + x_{17} + x_{20} + x_{23} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{30} + x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} = 1$$

$$x_5 + x_{11} + x_{14} + x_{16} + x_{18} + x_{21} + x_{24} + x_{26} + x_{28} + x_{29} + x_{31} + x_{32} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} = 1$$

$$x_6 + x_{12} + x_{15} + x_{17} + x_{18} + x_{22} + x_{25} + x_{27} + x_{28} + x_{30} + x_{31} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} = 1$$

$$x_1, \dots, x_{37} \geq 0$$

$$x_1, \dots, x_{37} \text{ ganz}$$

IP-Modell

(Set-Partitioning-Problem mit Base-Constraints)

$$\begin{array}{llll}
 \min & \sum_d c_d x_d & & \\
 & \sum_{t \in d} x_d = 1 & \forall t & \text{Tasks} \\
 & \sum_{d \in m} x_d \leq K_m & \forall m & \text{Mix} \\
 & x_d \in \{0,1\} & \forall d & 0/1
 \end{array}$$

Set Partitioning 1956-1998

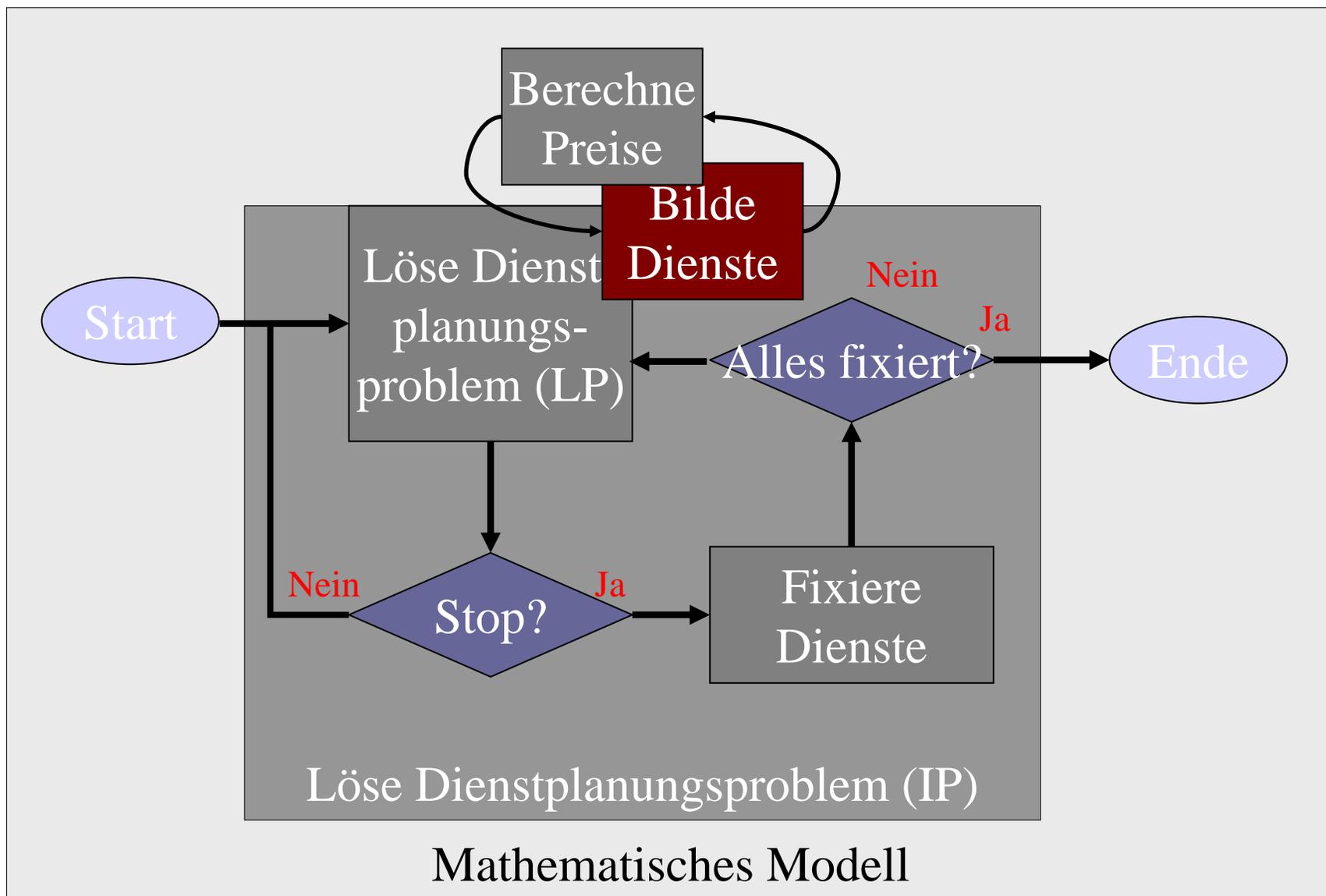
<i>Artikel</i>	<i>Zeilen</i>	<i>Spalten</i>	<i>Zeit</i>
Charnes & Miller 1956	6	17	per Hand
Hoffman & Padberg 1993	145	1.053.137	5 min
Bixby, Gregory, Lustig, Marsten, Shanno 1992	837	12.753.313	249 sec
Barnhart, Johnson, Nemhauser, Savelsbergh, Vance 1998	$O(10^4)$???	? h



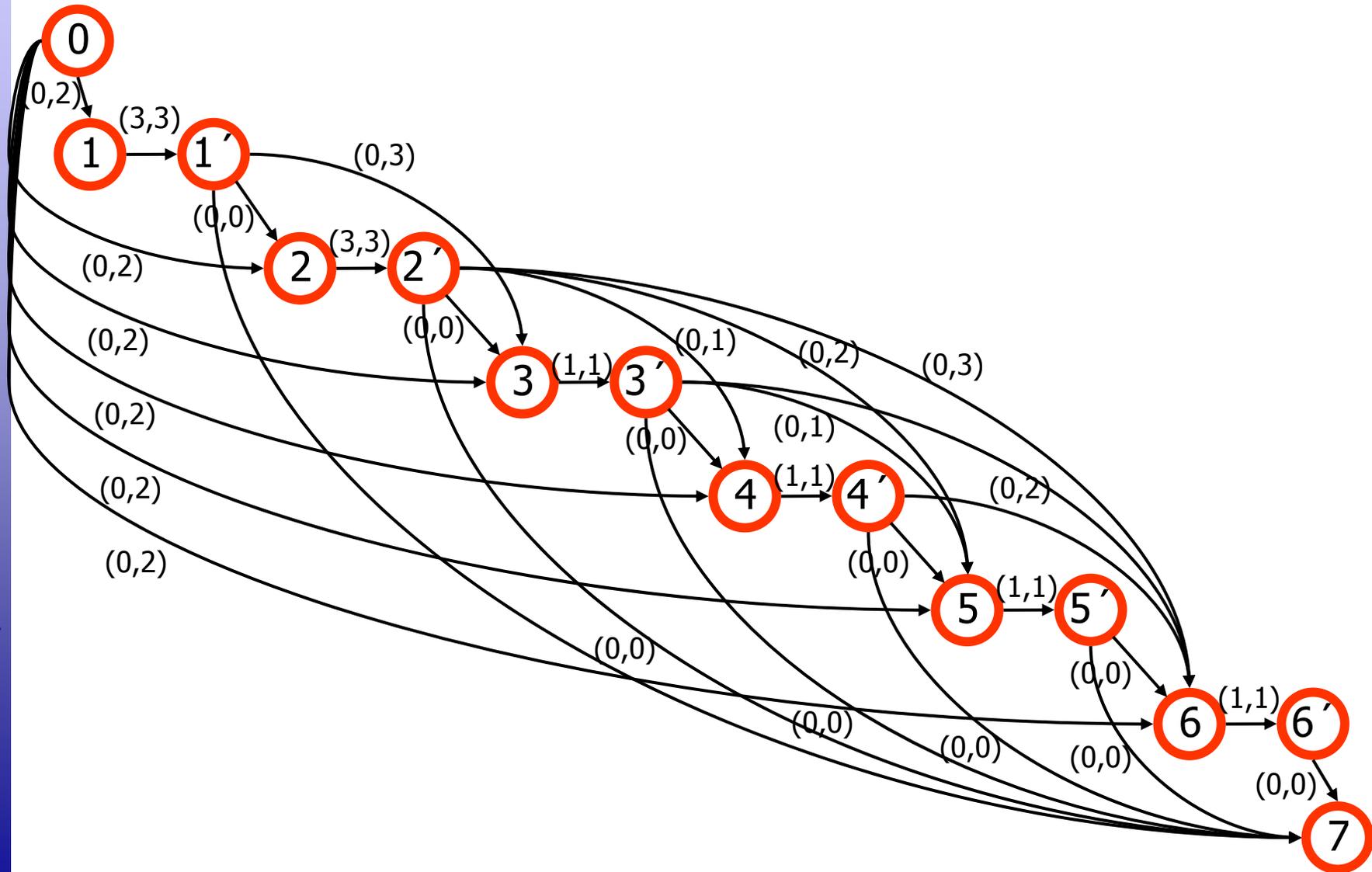
Dyn. "Spaltenerzeugung"!

Spaltenerzeugungsmethode

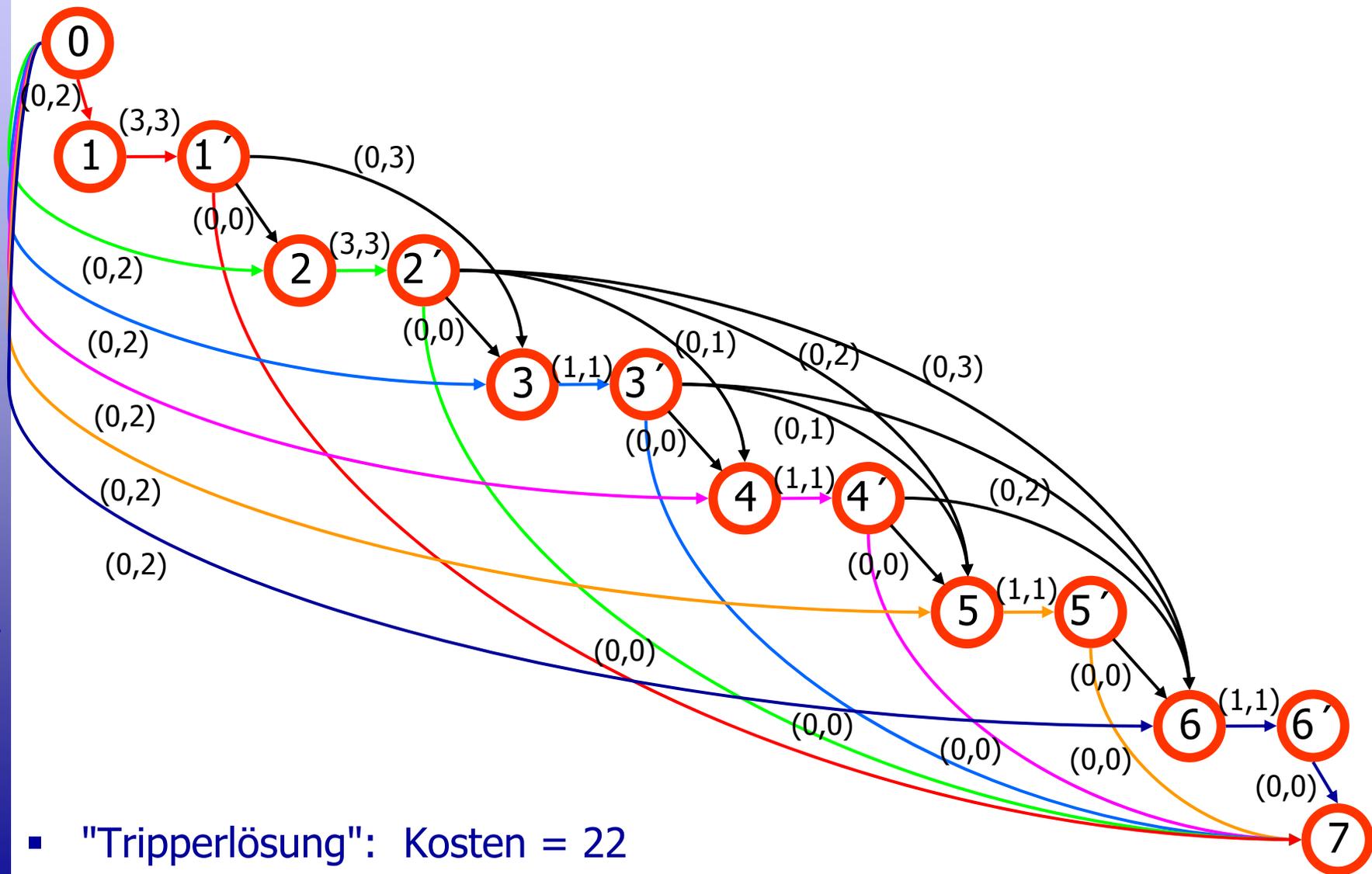
(Branch-and-Generate, Marsten 1994)



Spaltenerzeugungsmethode



Spaltenerzeugungsmethode



- "Tripperlösung": Kosten = 22

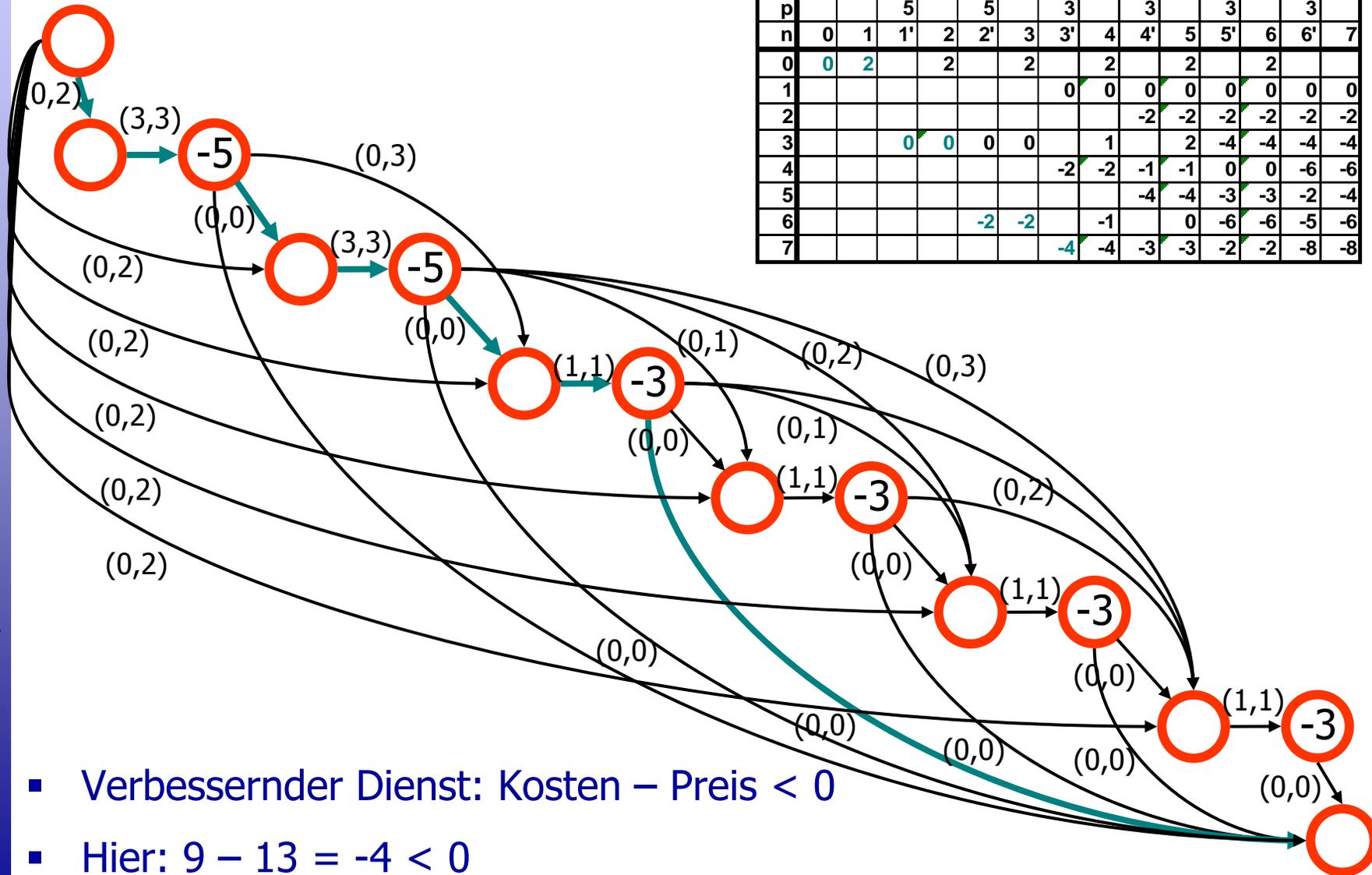
Spaltenerzeugungsmethode

no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37			
c	5	5	3	3	3	3	8	9	6	7	8	9	4	5	6	4	5	4	9	10	11	12	7	8	9	5	6	5	11	12	12	8	9	9	6	12	9	y		
1	1						1	1											1	1	1	1						1	1	1						1		5		
2		1					1		1	1	1	1							1	1	1	1	1	1	1						1	1	1				1		5	
3			1					1	1				1	1	1				1				1	1	1	1	1		1	1		1	1		1	1	1	1	3	
4				1						1			1			1	1			1			1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
5					1					1			1		1		1			1				1		1		1	1		1	1		1	1	1	1	1	3	
6						1						1			1		1	1				1			1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	3	
x	1	1	1	1	1	1																																		

- $x_1=x_2=x_3=x_4=x_5=x_6=1$, Kosten $2*5+4*3=22$
- $y_1=5$
- $y_2=5$
- $y_3=3$
- $y_4=3$
- $y_5=3$
- $y_6=3$

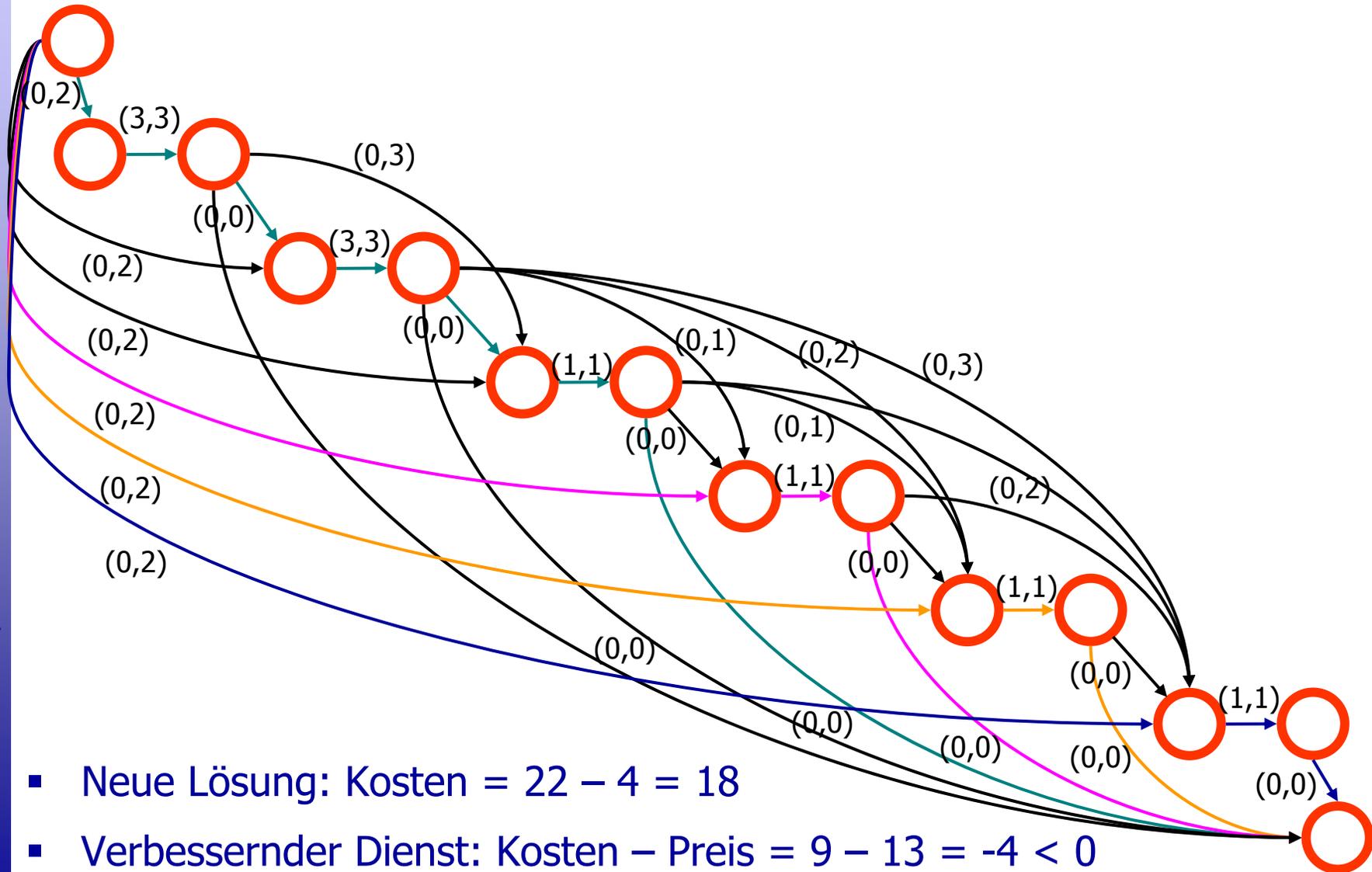
Spaltenerzeugungsmethode

p			5		5		3		3		3		3	
n	0	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	6'	7
0	0	2		2		2		2		2		2		
1							0	0	0	0	0	0	0	0
2									-2	-2	-2	-2	-2	-2
3			0	0	0	0		1		2	-4	-4	-4	-4
4							-2	-2	-1	-1	0	0	-6	-6
5									-4	-4	-3	-3	-2	-4
6					-2	-2		-1		0	-6	-6	-5	-6
7							-4	-4	-3	-3	-2	-2	-8	-8



- Verbessernder Dienst: $\text{Kosten} - \text{Preis} < 0$
- Hier: $9 - 13 = -4 < 0$

Spaltenerzeugungsmethode

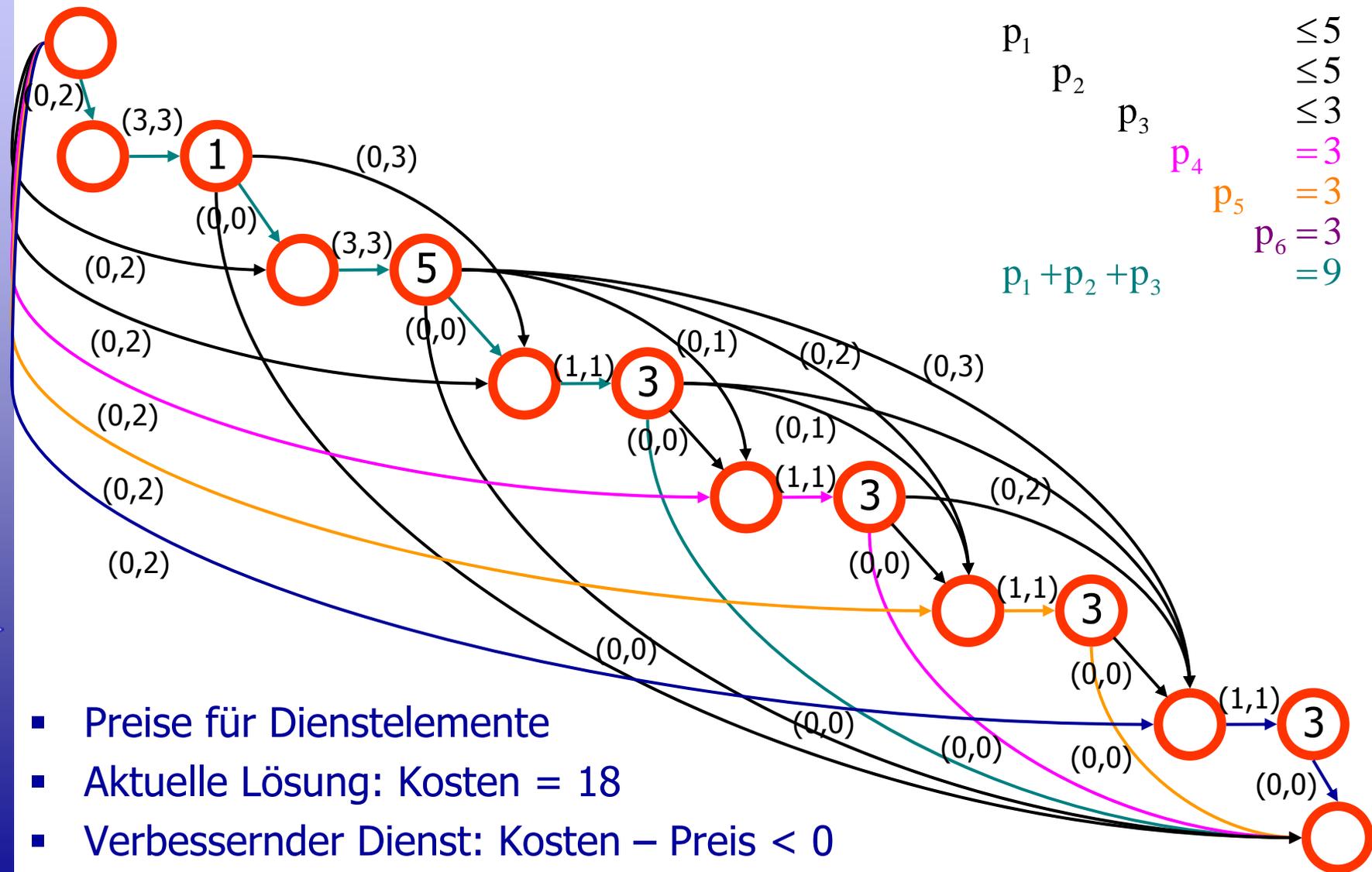


Spaltenerzeugung

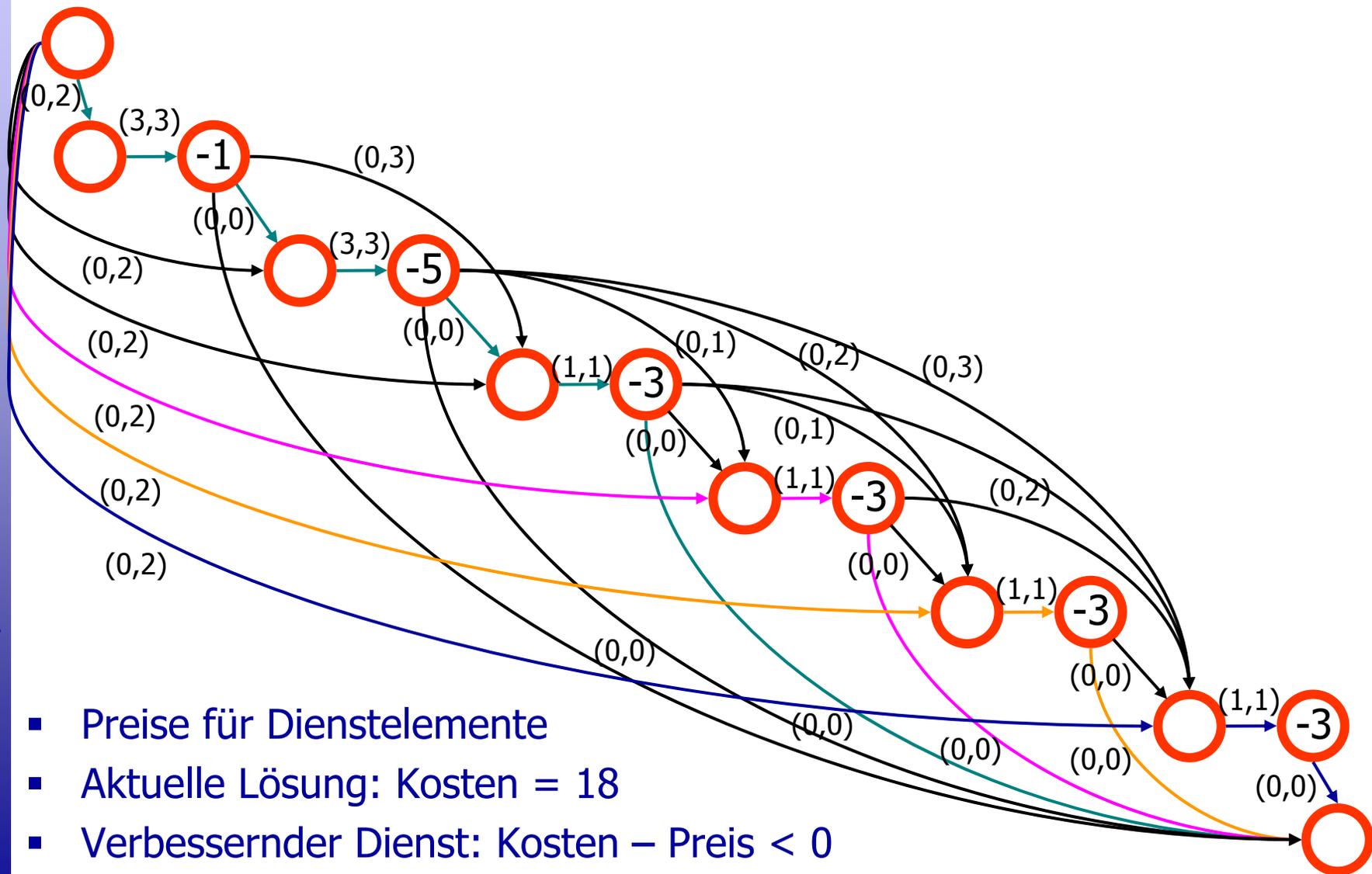
no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		
c	5	5	3	3	3	3	8	9	6	7	8	9	4	5	6	4	5	4	9	10	11	12	7	8	9	5	6	5	11	12	12	8	9	9	6	12	9	y	
1	1						1	1											1	1	1	1							1	1	1					1		1	
2		1					1		1	1	1	1							1	1	1	1	1	1	1						1	1	1				1	5	
3			1					1	1				1	1	1				1				1	1	1	1	1		1	1		1	1		1	1	1	3	
4				1						1			1			1	1			1			1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
5					1					1			1		1		1				1			1		1		1	1		1	1		1	1	1	1	3	
6						1						1			1		1	1				1			1		1	1		1	1		1	1	1	1	1	3	
x	1	1	1															1																					

- $x_1=x_2=x_3=0, x_4=x_5=x_6= x_{19}=1$, Kosten $9+3*3=18$ [22]
- $y_1+y_2+y_3=11$
- $y_1=1$
 $y_2=5$
 $y_3=3$
 $y_4=3$
 $y_5=3$
 $y_6=3$
 (andere Lösungen möglich)

Spaltenerzeugungsmethode



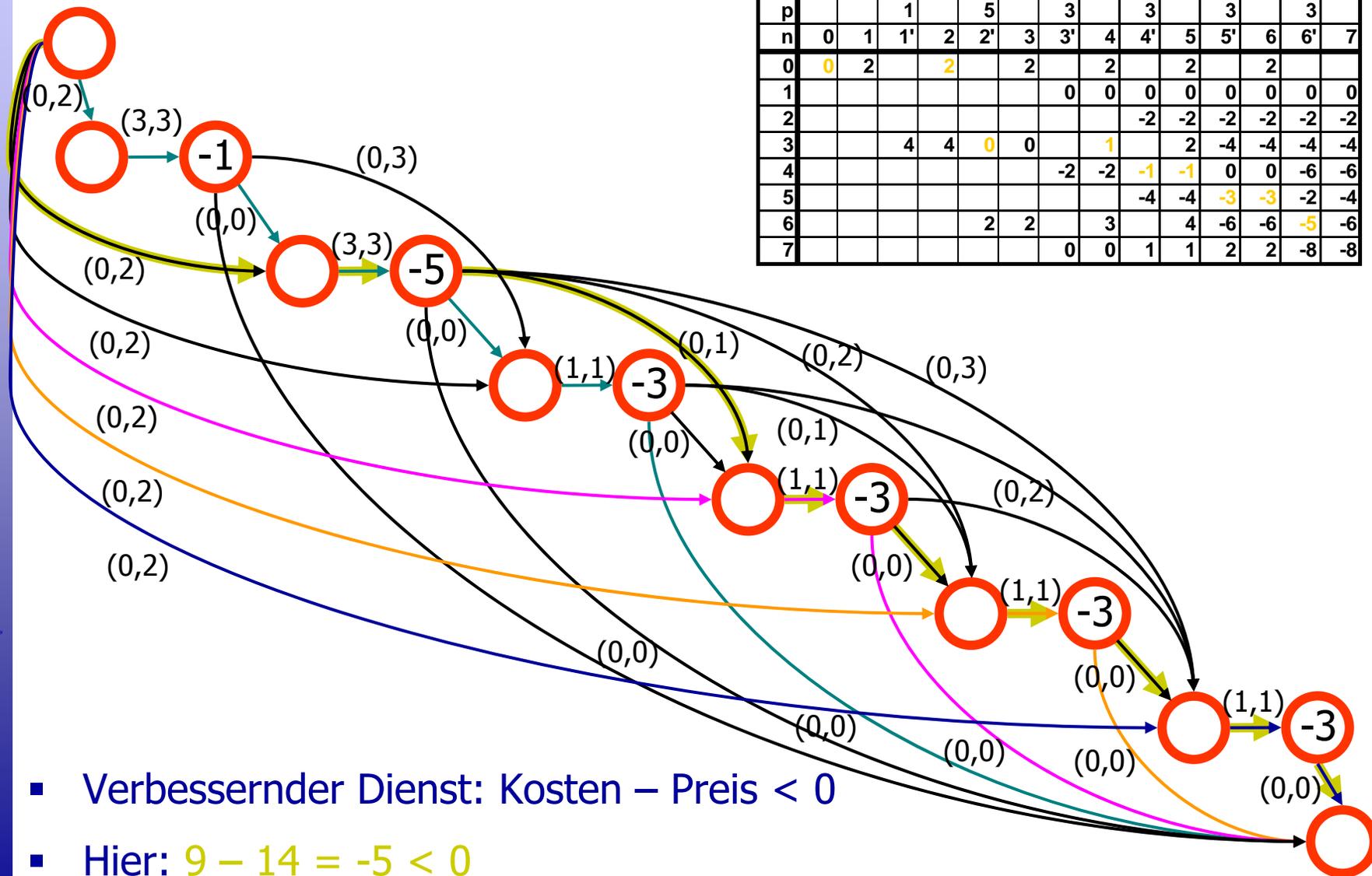
Spaltenerzeugungsmethode



- Preise für Dienstelemente
- Aktuelle Lösung: Kosten = 18
- Verbesserender Dienst: Kosten – Preis < 0

Spaltenerzeugungsmethode

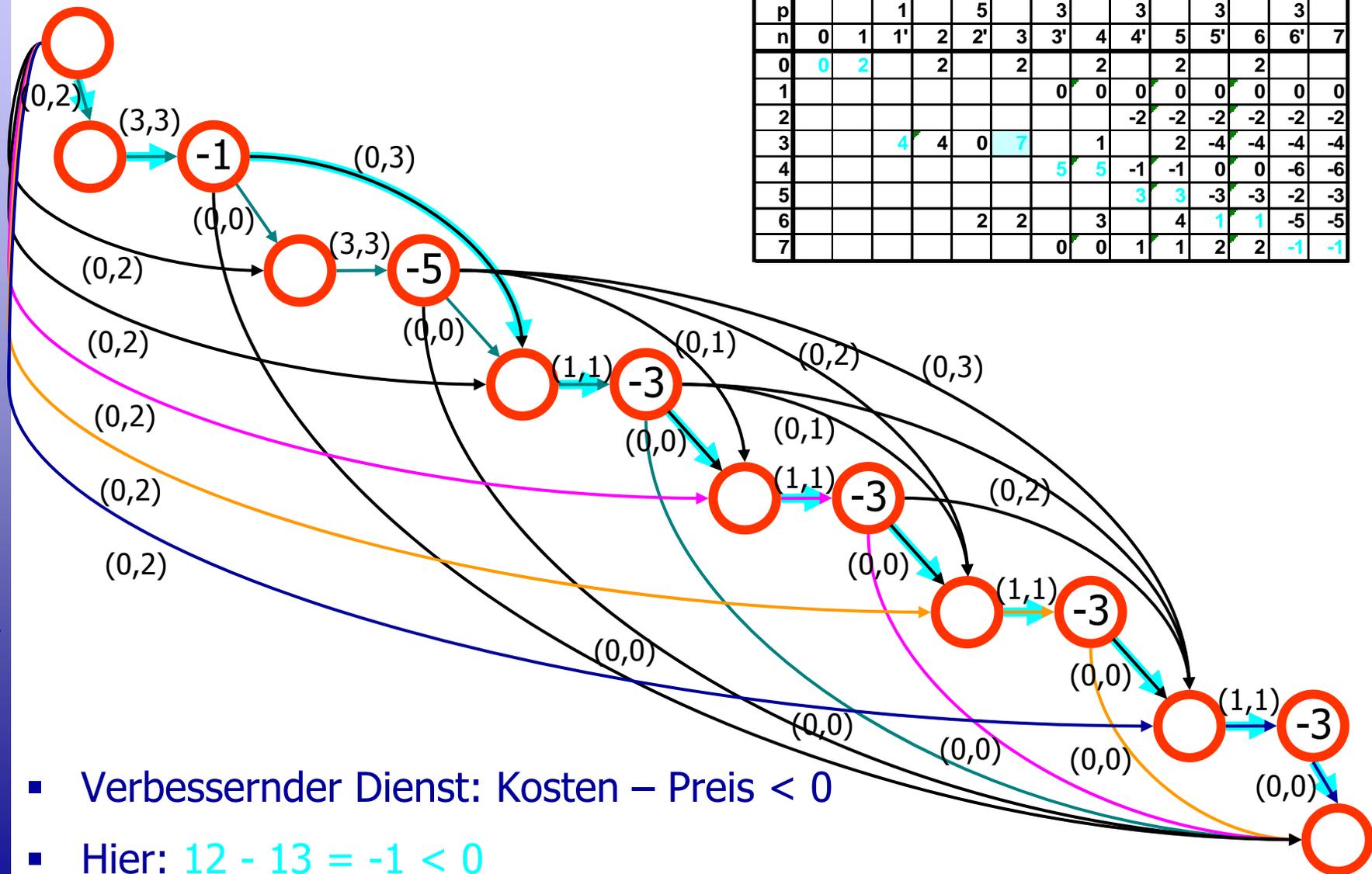
p		1	5	3	3	3	3							
n	0	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	6'	7
0	0	2		2		2		2		2		2		
1							0	0	0	0	0	0	0	0
2									-2	-2	-2	-2	-2	-2
3			4	4	0	0		1		2	-4	-4	-4	-4
4							-2	-2	-1	-1	0	0	-6	-6
5									-4	-4	-3	-3	-2	-4
6					2	2		3		4	-6	-6	-5	-6
7							0	0	1	1	2	2	-8	-8



- Verbesserender Dienst: $\text{Kosten} - \text{Preis} < 0$
- Hier: $9 - 14 = -5 < 0$

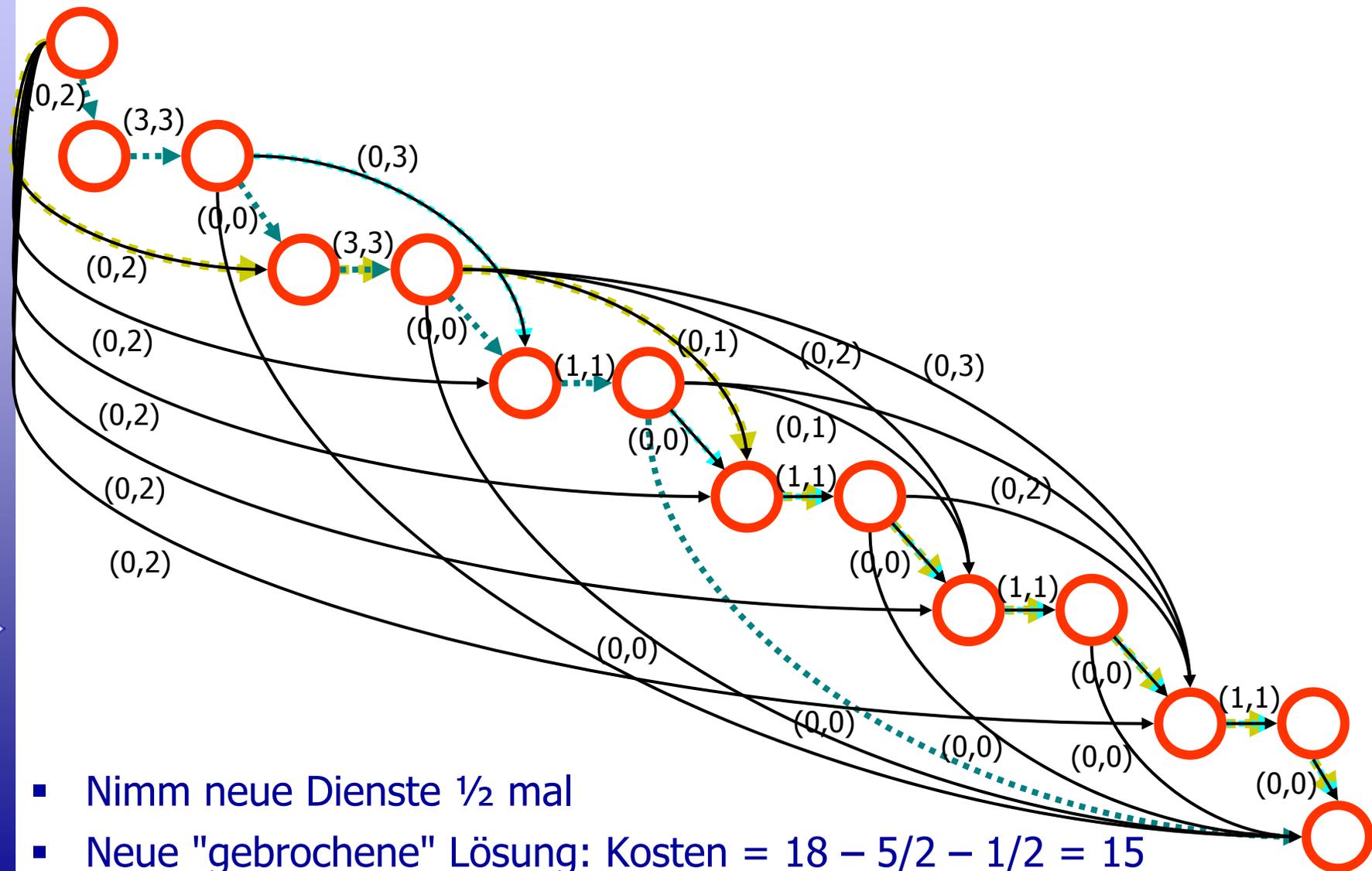
Spaltenerzeugungsmethode

p		1	5	3	3	3	3	3						
n	0	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	6'	7
0	0	2		2		2		2		2		2		
1							0	0	0	0	0	0	0	0
2								-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
3			4	4	0	7		1		2	-4	-4	-4	-4
4							5	5	-1	-1	0	0	-6	-6
5								3	3	-3	-3	-2	-3	-3
6					2	2		3		4	1	1	-5	-5
7							0	0	1	1	2	2	-1	-1



- Verbessernder Dienst: $\text{Kosten} - \text{Preis} < 0$
- Hier: $12 - 13 = -1 < 0$

Spaltenerzeugungsmethode



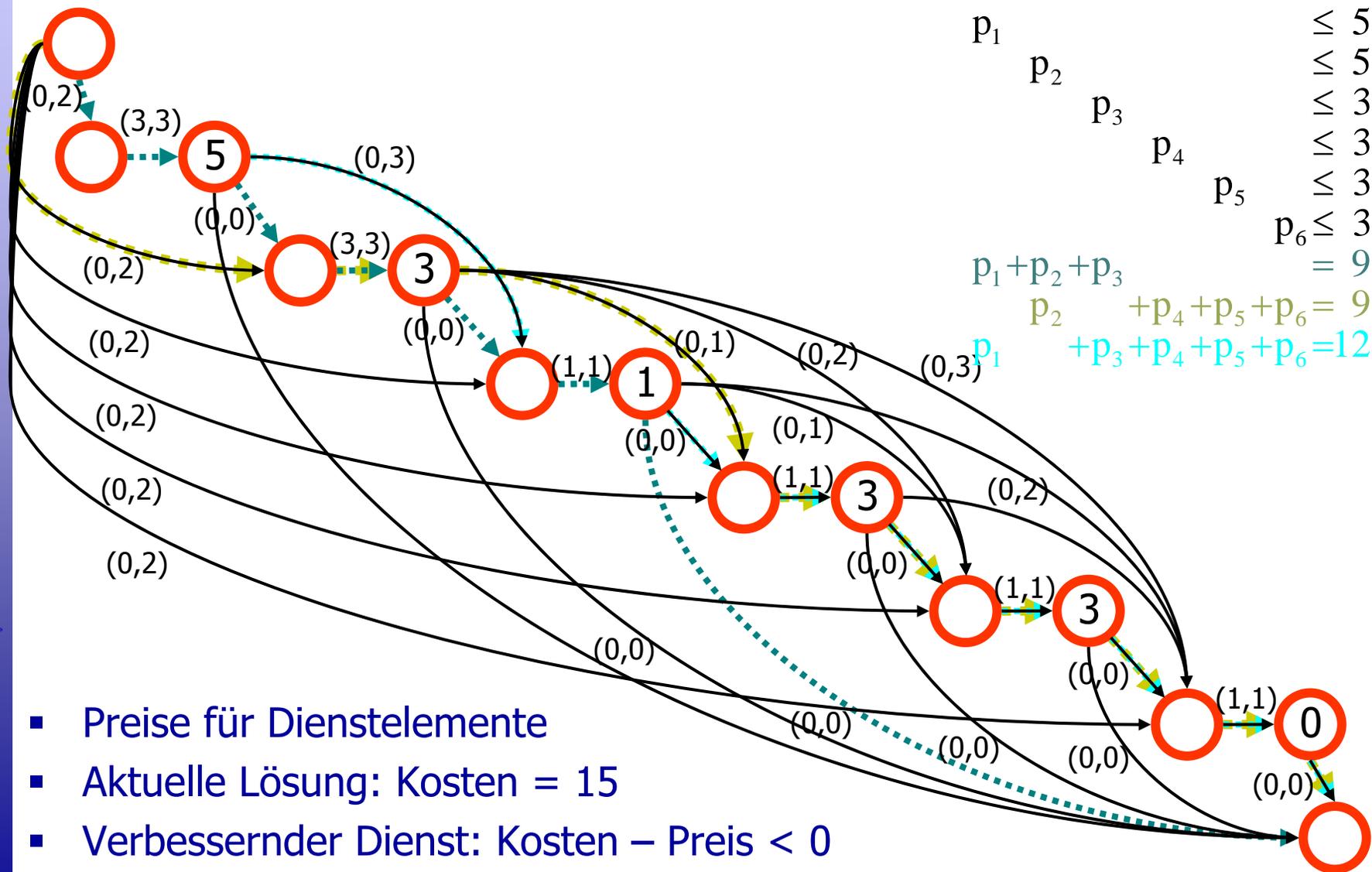
- Nimm neue Dienste $\frac{1}{2}$ mal
- Neue "gebrochene" Lösung: Kosten = $18 - 5/2 - 1/2 = 15$

Spaltenerzeugung

no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		
c	5	5	3	3	3	3	8	9	6	7	8	9	4	5	6	4	5	4	9	10	11	12	7	8	9	5	6	5	11	12	12	8	9	9	6	12	9	y	
1	1						1	1											1	1	1	1						1	1	1						1		5	
2		1					1		1	1	1	1							1	1	1	1	1	1	1						1	1	1				1	3	
3			1					1	1				1	1	1				1				1	1	1	1	1		1	1		1	1			1	1	1	
4				1						1			1			1	1			1			1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	
5					1						1			1		1		1			1			1		1		1	1		1	1			1	1	1	3	
6						1						1			1		1	1				1			1		1	1	1		1	1		1	1	1	1	0	
x																			1/2																	1/2		1/2	

- $x_{34} = x_{34} = x_{19} = 1/2$, Kosten $(9+9+12)/2=15$ [18]
- $y_1 + y_2 + y_3 = 9$
 $y_2 + y_4 + y_5 + y_6 = 9$
 $y_1 + y_3 + y_4 + y_5 + y_5 = 12$
 $\Rightarrow y_1 = 5, y_2 = y_4 = y_5 = 3, y_3 = 1, y_6 = 0$

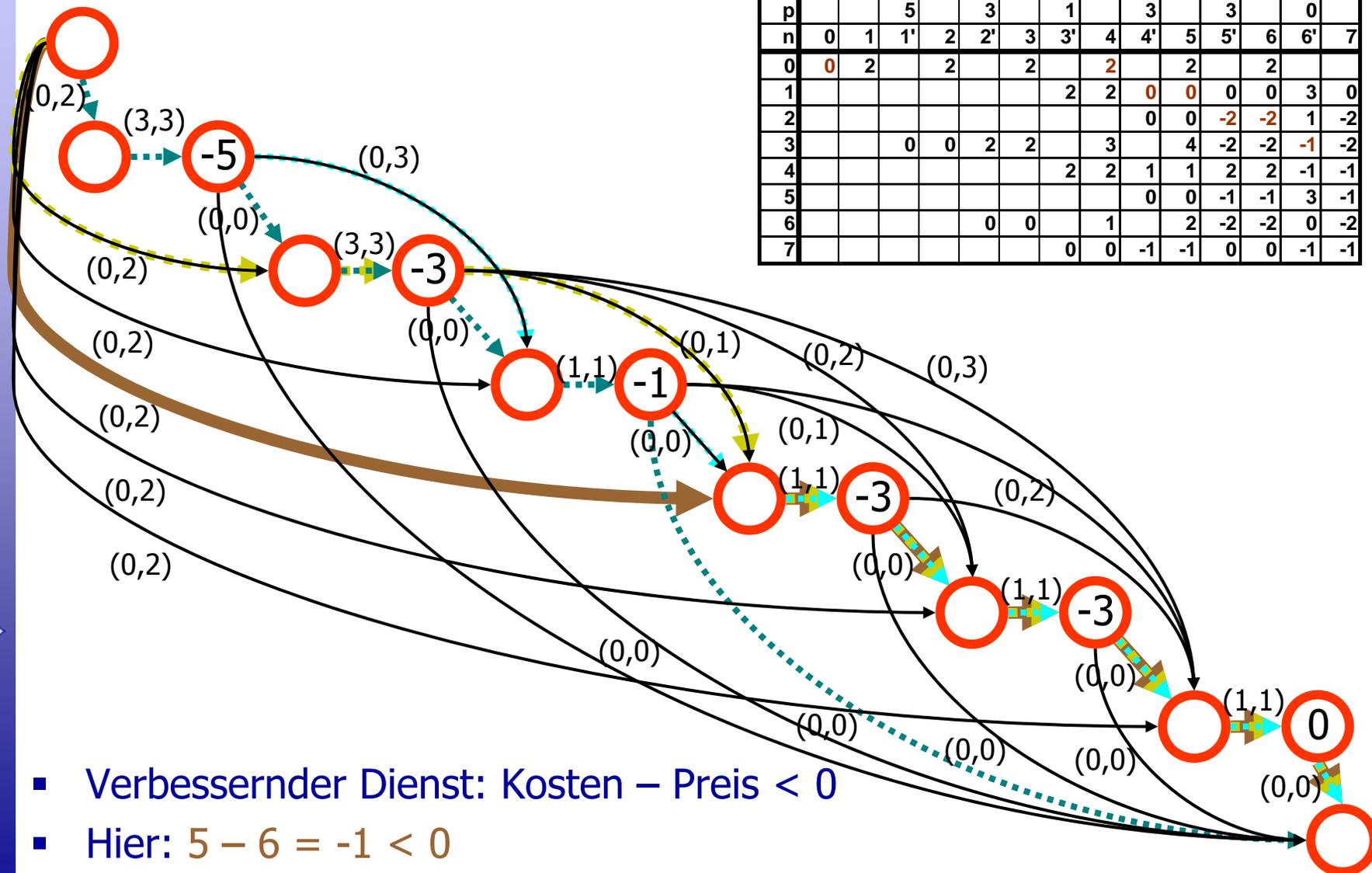
Spaltenerzeugungsmethode



- Preise für Dienstelemente
- Aktuelle Lösung: Kosten = 15
- Verbesserender Dienst: Kosten – Preis < 0

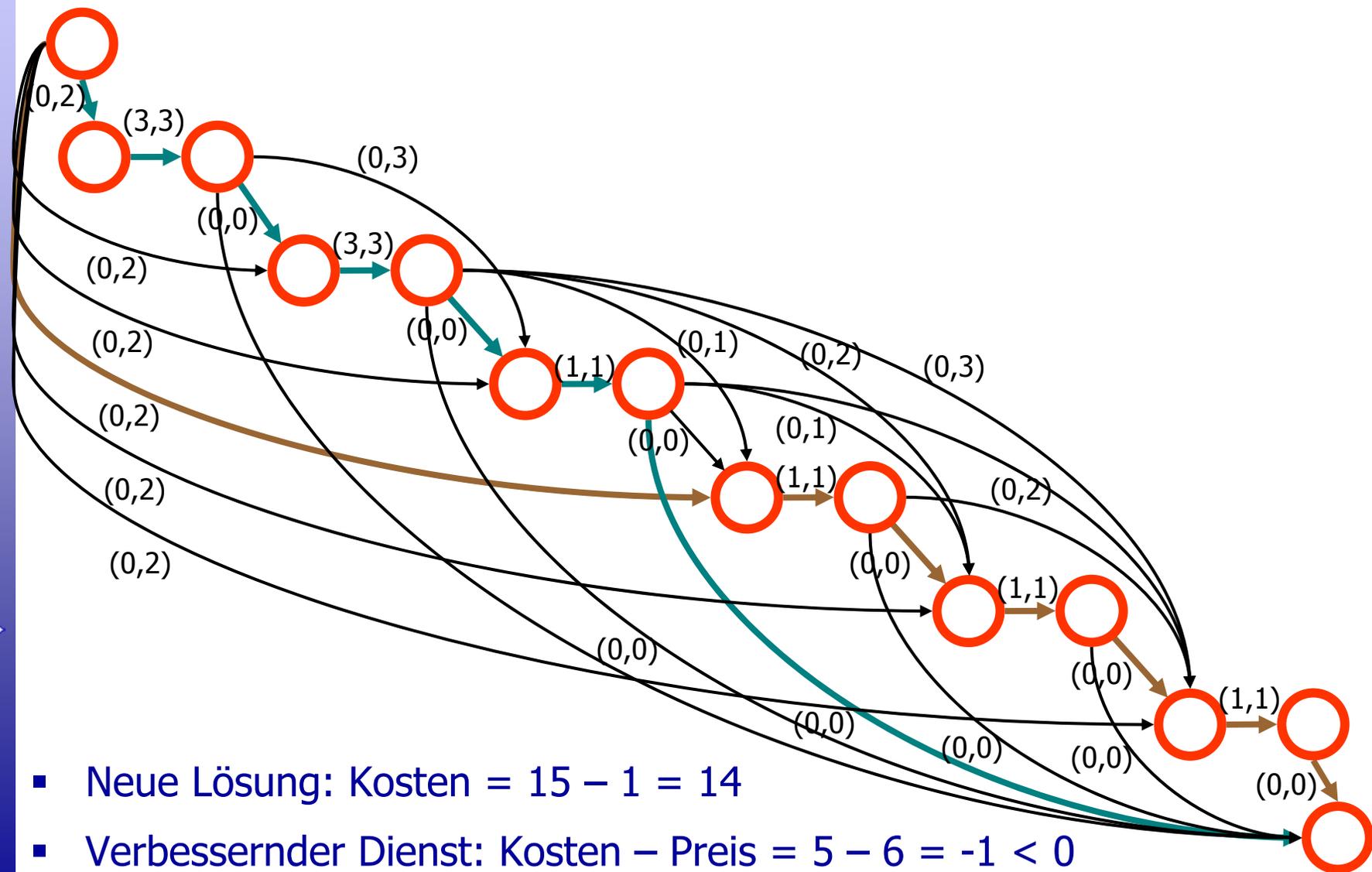
Spaltenerzeugungsmethode

p		5		3		1		3		3		0		
n	0	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	6'	7
0	0	2		2		2		2		2		2		
1							2	2	0	0	0	0	3	0
2									0	0	-2	-2	1	-2
3			0	0	2	2		3		4	-2	-2	-1	-2
4							2	2	1	1	2	2	-1	-1
5									0	0	-1	-1	3	-1
6					0	0		1		2	-2	-2	0	-2
7							0	0	-1	-1	0	0	-1	-1



- Verbessernder Dienst: $\text{Kosten} - \text{Preis} < 0$
- Hier: $5 - 6 = -1 < 0$

Spaltenerzeugungsmethode



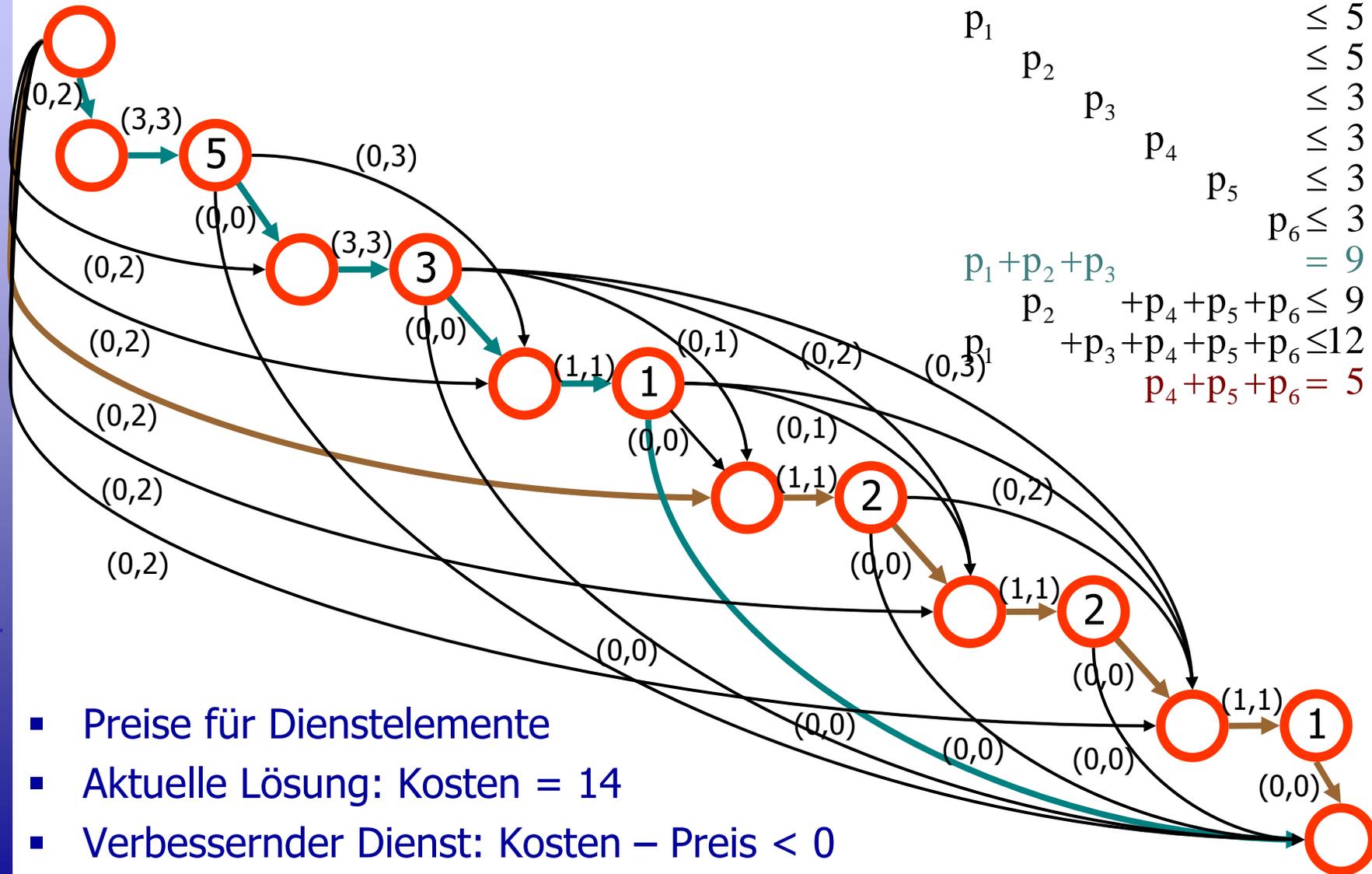
- Neue Lösung: Kosten = $15 - 1 = 14$
- Verbessernder Dienst: Kosten - Preis = $5 - 6 = -1 < 0$

Spaltenerzeugung

no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
c	5	5	3	3	3	3	8	9	6	7	8	9	4	5	6	4	5	4	9	10	11	12	7	8	9	5	6	5	11	12	12	8	9	9	6	12	9	y
1	1						1	1											1	1	1	1							1	1	1					1		5
2		1					1		1	1	1	1							1	1	1	1	1	1	1							1	1	1			1	3
3			1					1	1				1	1	1				1				1	1	1	1	1		1	1		1	1			1	1	1
4				1						1			1			1	1			1			1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
5					1						1			1	1		1				1			1		1		1	1		1	1			1	1	1	2
6						1						1			1		1	1				1			1		1	1		1	1		1	1	1	1	1	1
x																			1									1										

- $x_{19} = x_{28} = 1$, Kosten $9+5=14$ [15]
- $y_1 + y_2 + y_3 = 9$
 $y_4 + y_5 + y_6 = 5 \Rightarrow y_1 = 5, y_2 = 3, y_3 = y_6 = 1, y_4 = y_5 = 2$
- Kein Dienst unterbietet die Preise
- Dualitätssatz (oder Simplexkriterium) $\Rightarrow x^*$ und y^* sind optimal

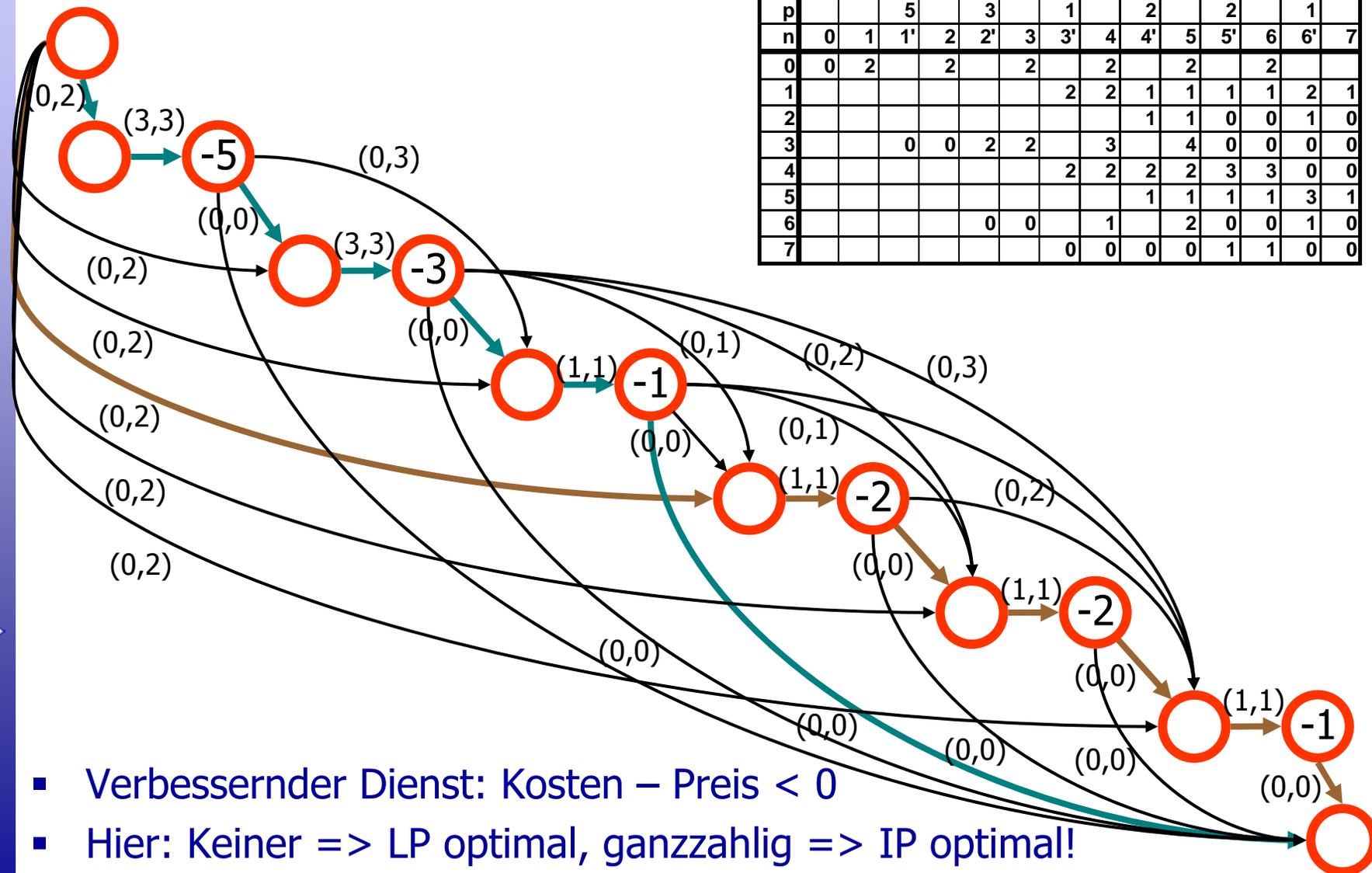
Spaltenerzeugungsmethode



- Preise für Dienstelemente
- Aktuelle Lösung: Kosten = 14
- Verbesserender Dienst: Kosten – Preis < 0

Spaltenerzeugungsmethode

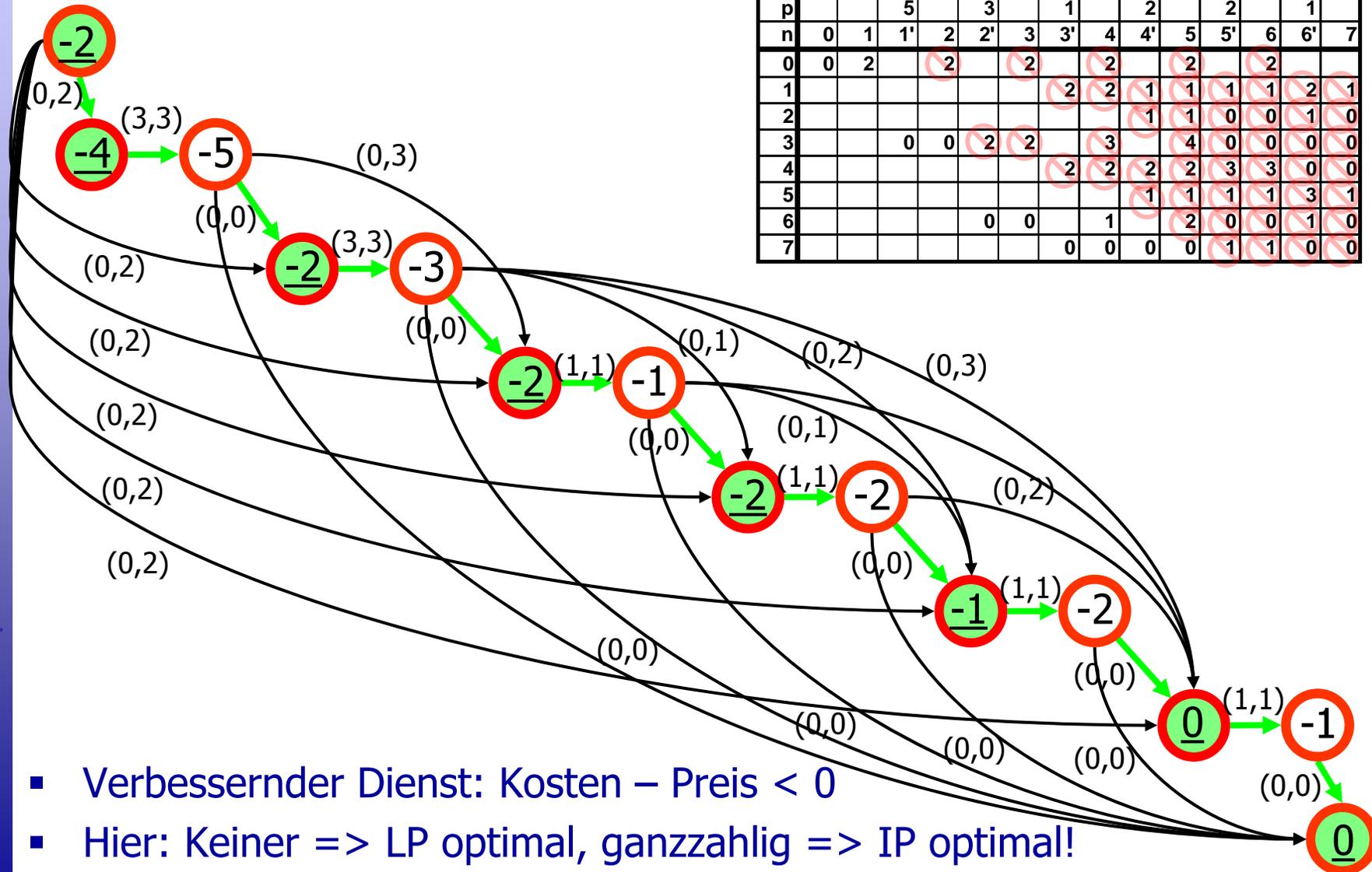
p			5		3		1		2		2		1	
n	0	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	6'	7
0	0	2		2		2		2		2		2		
1							2	2	1	1	1	1	2	1
2									1	1	0	0	1	0
3			0	0	2	2		3		4	0	0	0	0
4							2	2	2	2	3	3	0	0
5									1	1	1	1	3	1
6					0	0		1		2	0	0	1	0
7							0	0	0	0	1	1	0	0



- Verbessernder Dienst: $\text{Kosten} - \text{Preis} < 0$
- Hier: Keiner \Rightarrow LP optimal, ganzzahlig \Rightarrow IP optimal!

Kürzeste-Wege-Schranke

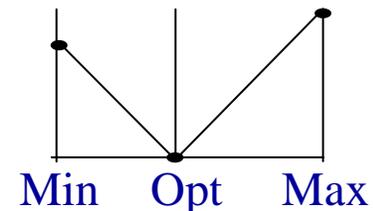
p		5	3	1	2	2	1							
n	0	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	6'	7
0	0	2		2		2		2		2		2		
1						2	2	1	1	1	1	1	2	1
2								1	1	0	0	0	1	0
3			0	0	2	2		3		4	0	0	0	0
4							2	2	2	2	3	3	0	0
5									1	1	1	1	3	1
6					0	0		1		2	0	0	1	0
7							0	0	0	0	1	1	0	0



- Verbessernder Dienst: $\text{Kosten} - \text{Preis} < 0$
- Hier: Keiner \Rightarrow LP optimal, ganzzahlig \Rightarrow IP optimal!

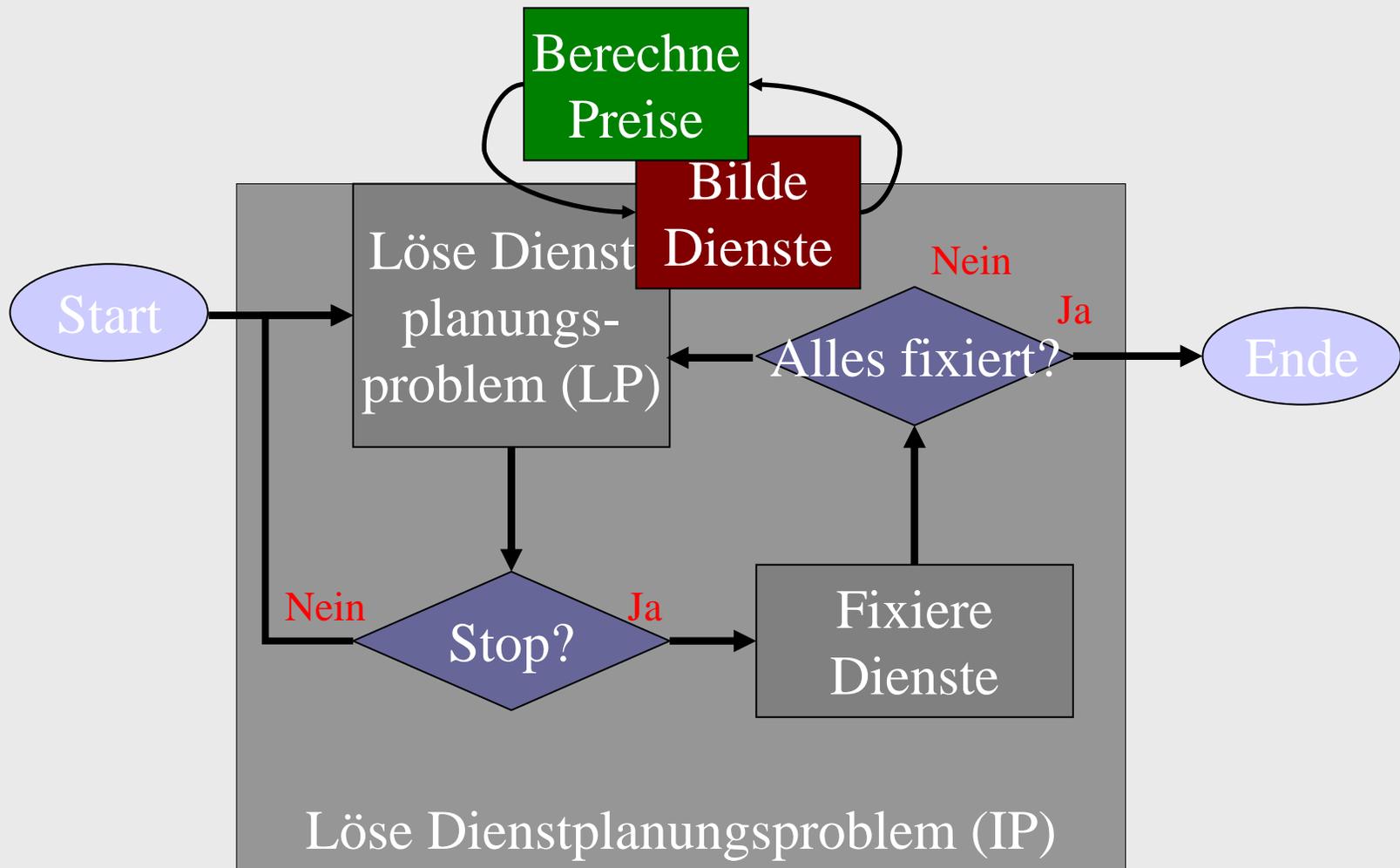
Lagrange-Kürzeste-Wege-Schranke

- Verstärkung durch Einbeziehung von Ressourcenbeschränkungen
- Max-Bedingungen: $w_r^T x \leq b_r$
Lenkzeit, Arbeitszeit, Dienstzeit
- Min-Bedingungen: $w_r^T x \geq b_r$ ($w_r^T x \geq q w_r^T x$)
dito, Quotientenregel (relaxiert)
- Opt-Bedingungen: $w_r^T x + s_r^+ - s_r^- = b_r$ ($\min d_r^T s_r$)
Lenkzeit, Arbeitszeit, Dienstzeit



Spaltenerzeugungsmethode

(Branch-and-Generate, Marsten 1994)



Mathematisches Modell

Quadratisches Unterproblem

$$(1) \quad \max \hat{f}_k(\lambda) - \frac{u_k}{2} \|\lambda - \hat{\lambda}_k\|^2$$

Hochdimensionales Problem
(1 Variable/Nebenbedingung)

$$\Leftrightarrow (2) \quad \begin{aligned} \max \quad & v - \frac{u_k}{2} \|\lambda - \hat{\lambda}^k\|^2 \\ \text{s.t.} \quad & v \leq \bar{f}_\mu(\lambda), \text{ for all } \mu \in J_k \end{aligned}$$

Dualisierung

Niedrigdimensionales Problem
(1 Variable/Bündelelement)

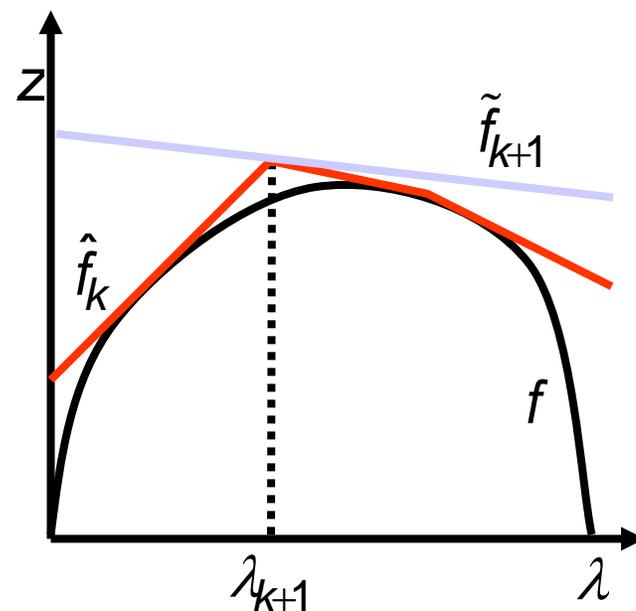
$$\Leftrightarrow (3) \quad \begin{aligned} \max \quad & \sum_{\mu \in J_k} \alpha_\mu \bar{f}_\mu(\hat{\lambda}) - \frac{1}{2u_k} \left\| \sum_{\mu \in J_k} \alpha_\mu (b - Ax_\mu) \right\|^2 \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{\mu \in J_k} \alpha_\mu = 1 \\ & 0 \leq \alpha_\mu \leq 1, \quad \text{for all } \mu \in J_k \end{aligned}$$

Primale Approximation

$$\lambda_{k+1} = \hat{\lambda}_k + \frac{1}{u} \sum_{\mu \in J_k} \alpha_\mu (b - Ax_\mu)$$

$$\tilde{x}_{k+1} = \sum_{\mu \in J_k} \alpha_\mu x_\mu$$

$$\tilde{f}_k(\lambda) = c^T \tilde{x}_k + \lambda(b - A\tilde{x}_k)$$



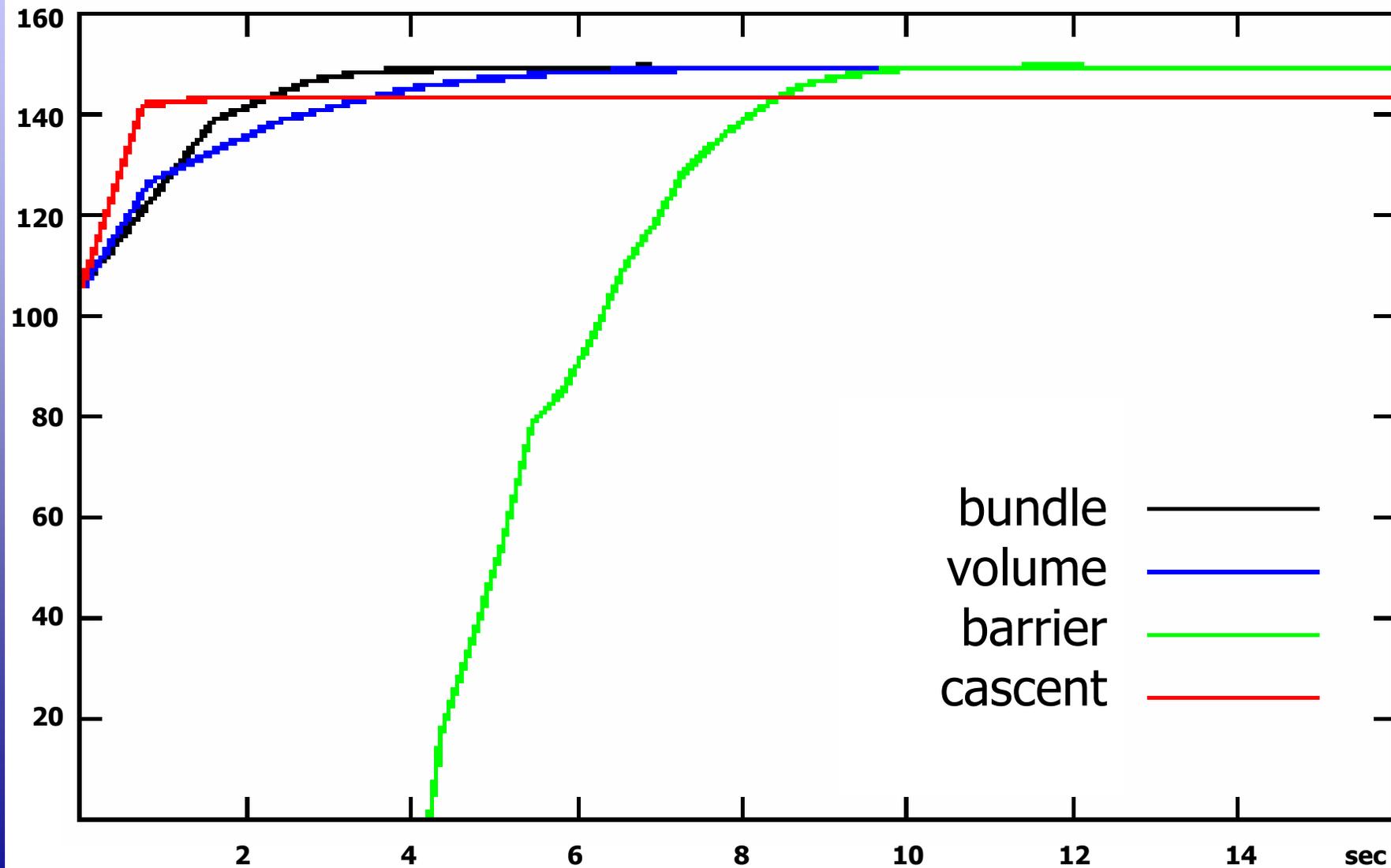
■ Satz

$$\|b - A\tilde{x}_k\| \rightarrow 0 \quad (k \rightarrow \infty)$$

$\Rightarrow (\tilde{x}_k)_{k \in \mathbb{N}}$ konvergiert gegen $\bar{x} \in \{x : Ax = b, 0 \leq x \leq 1\}$

Rechenergebnisse

(IVU06 185,997 x 1,177, 8.7 NNEs pro Spalte)

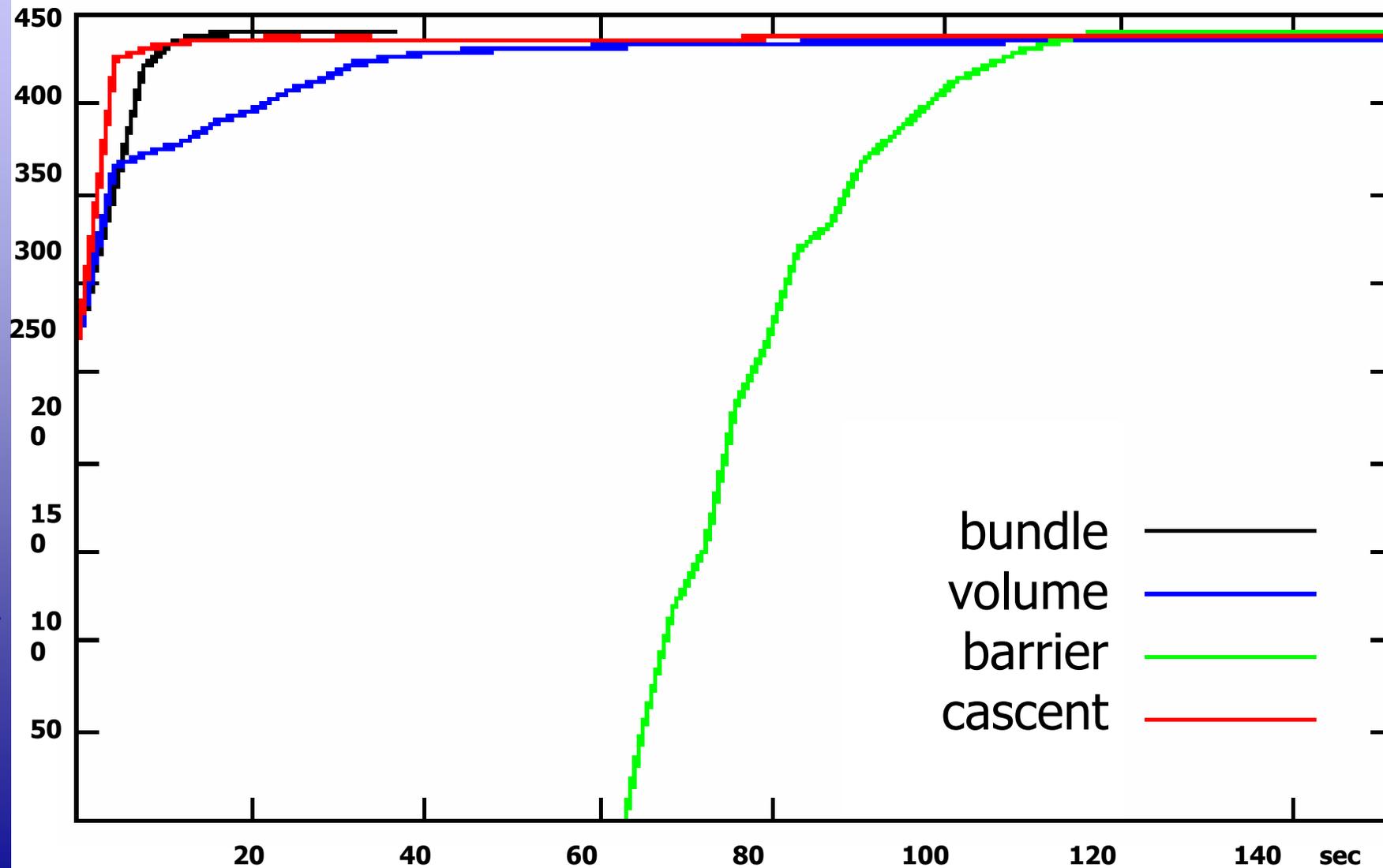


LBW



Rechenergebnisse

(IVU41 838,500 x 3,570, 10.5 NNEs pro Spalte)

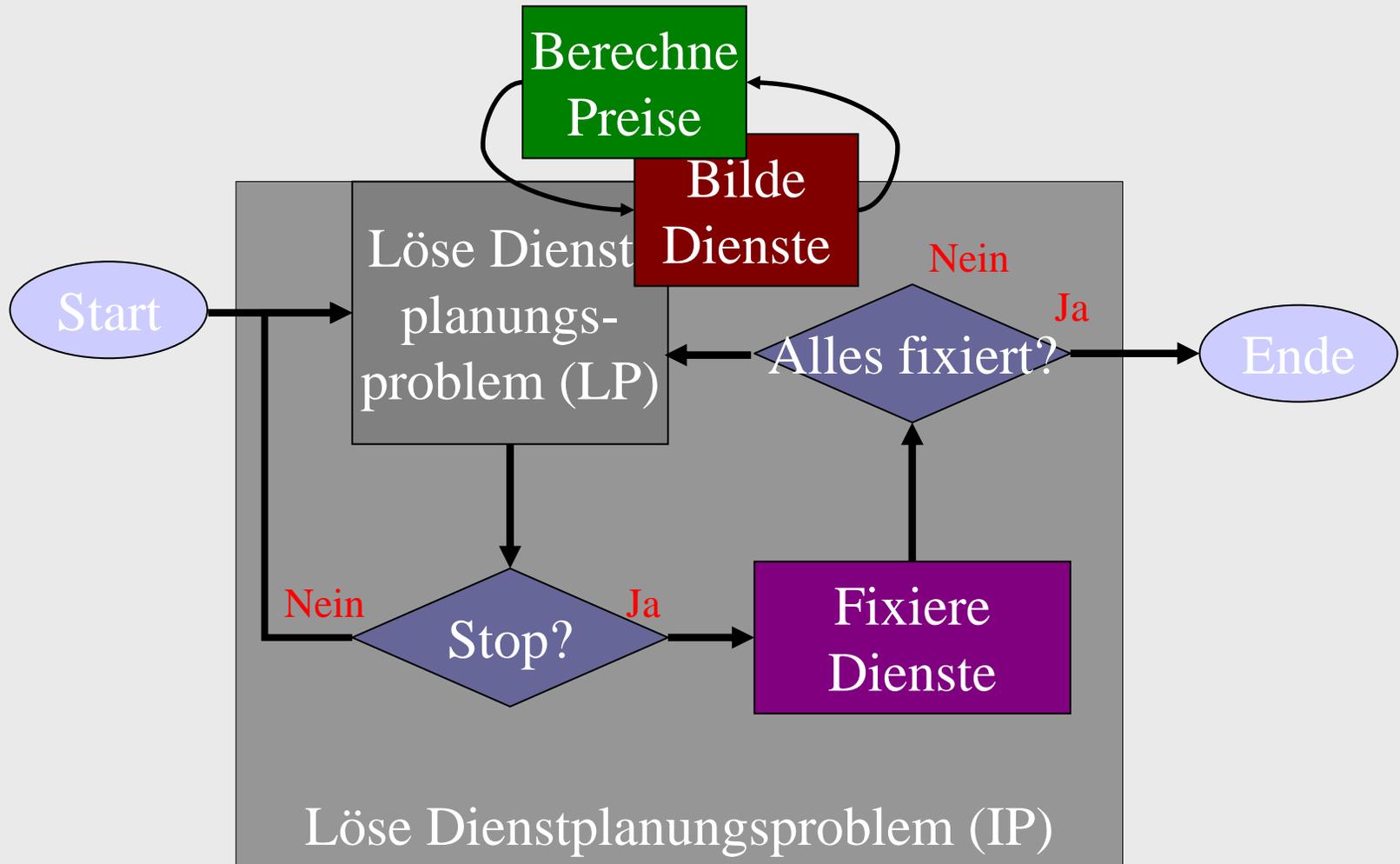


LBW



Spaltenerzeugungsmethode

(Branch-and-Generate, Marsten 1994)



Löse Dienstplanungsproblem (IP)

Mathematisches Modell

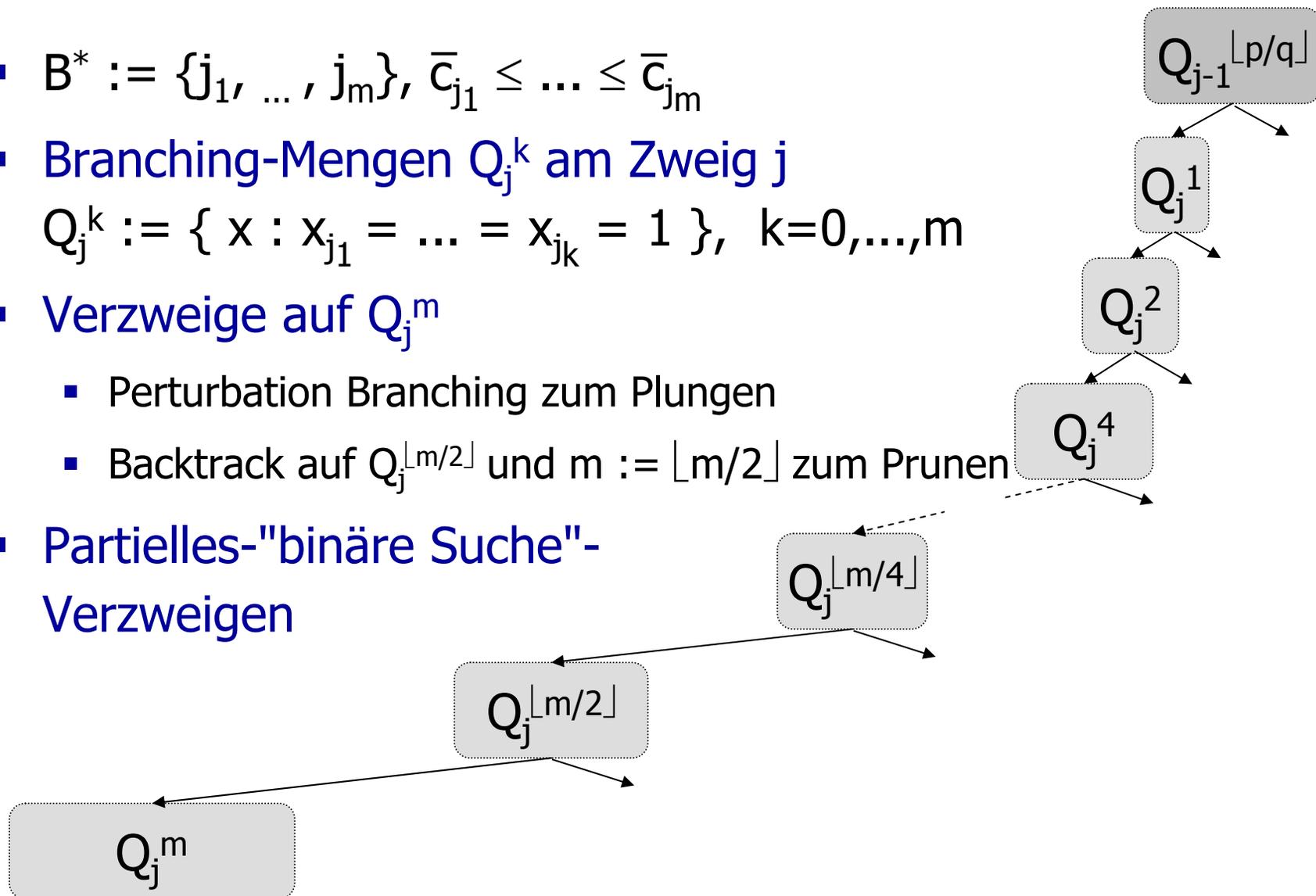
Perturbation Branching

(cf. Wedelin [1995])

- $\min c^T x \quad Ax \leq b, 0 \leq x \leq 1, x \in \{0,1\}^n$
- Folge $i = 1, 2, \dots$ von IPs mit perturbierter Zielfunktion
 $c_j^{i+1} := c_j^i - \alpha(x_j^i)^2 \quad \text{für alle } j$
- Menge von Fixierungskandidaten in Iteration i
 $B^i := \{ j : x_j^i \geq 1 - \varepsilon \}$
- Potentialfunktion in Iteration i
 $v^i := c^T x^i - w |B^i|$
- Menge fixierter Variablen (viele)
 $B^* := \text{Bargmin } v^i$
- Mache weiter solange noch nicht ganzzahlig und Potential kleiner wird, dann
 - Perturbiere für k_{\max} weitere Iterationen, falls weiter kein Erfolg
 - Fixiere eine Variable und setze Zielfunktion alle k_s Iterationen zurück

Rapid Branching

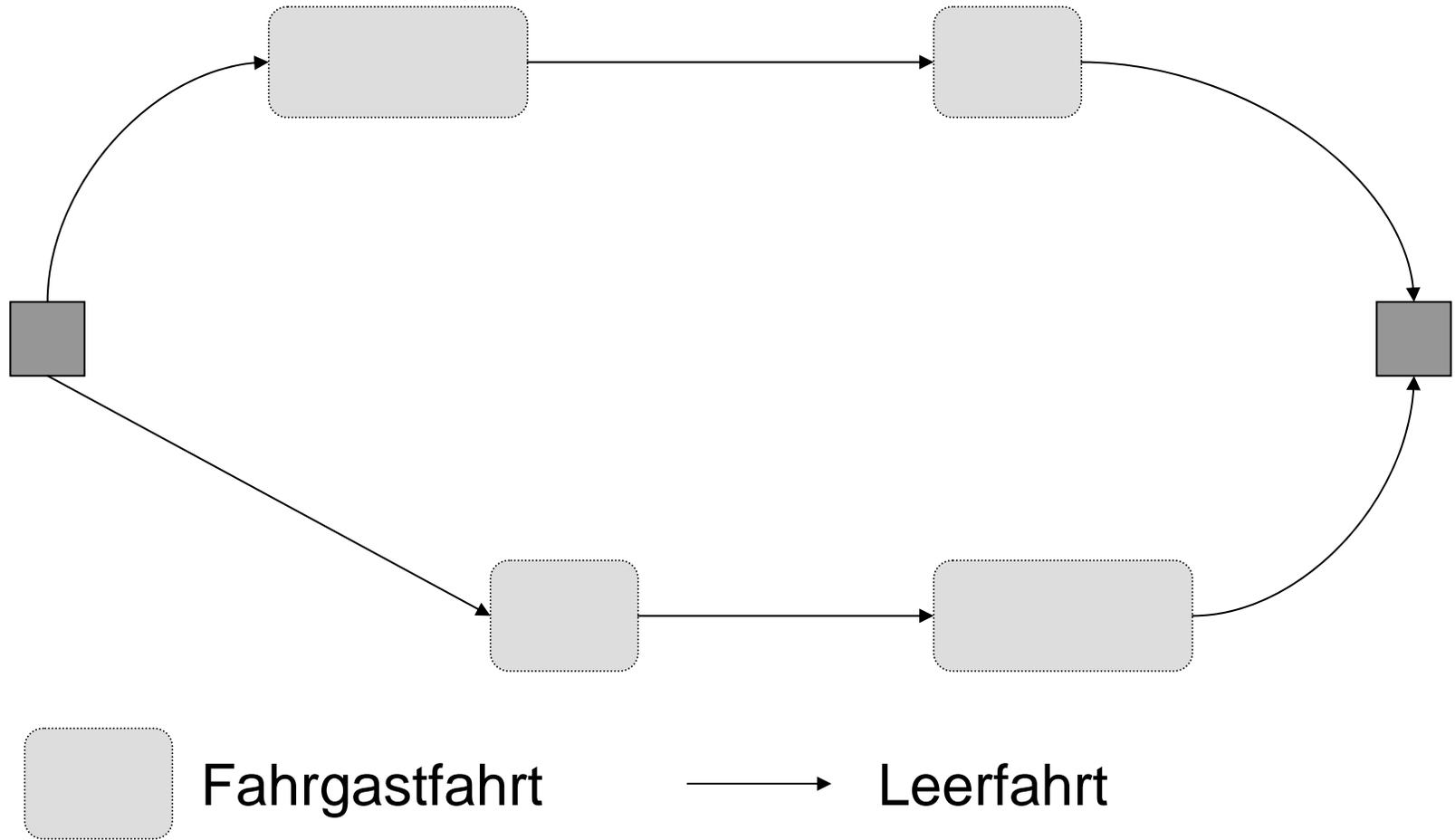
- $B^* := \{j_1, \dots, j_m\}, \bar{c}_{j_1} \leq \dots \leq \bar{c}_{j_m}$
- Branching-Mengen Q_j^k am Zweig j
 $Q_j^k := \{x : x_{j_1} = \dots = x_{j_k} = 1\}, k=0, \dots, m$
- Verzweige auf Q_j^m
 - Perturbation Branching zum Plungen
 - Backtrack auf $Q_j^{\lfloor m/2 \rfloor}$ und $m := \lfloor m/2 \rfloor$ zum Prunen
- Partielles-"binäre Suche"-Verzweigen



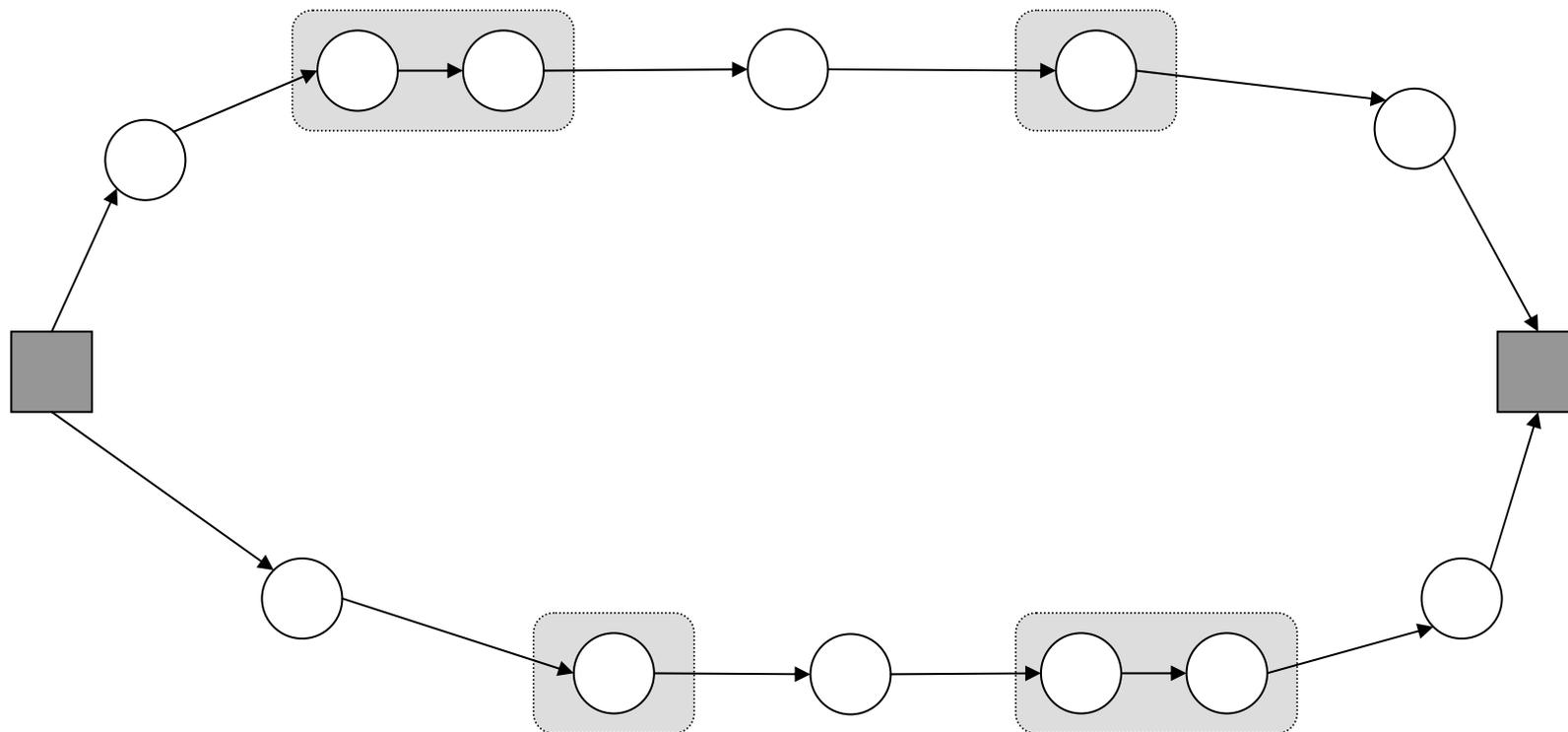
Rapid Branching & Set Partitioning

Problem		<i>ivu53b</i>	<i>ivu60</i>	<i>aa01</i>	<i>aa04</i>	<i>us01</i>
Spalten		560.233	1.148.050	8.904	7.195	1.053.137
Zeilen		2.421	1.979	823	426	145
Base-Const.		6	2	–	–	–
Nichtnullelem.		12.840.061	21.384.769	72.965	52.121	13.636.541
NNEs/Spalte		22,92	18,63	8,19	7,24	12,95
LP		261,33	159,99	55.535,43	25.877,61	9.962,64
DS	Zielf.	263,90	162,34	–	–	–
	Zeit	9.098	29.982	–	–	–
STATIC	Zielf.	265,31	172,22	57.832	27.202	10.098
	Zeit	609	1.353	56	42	176
CPLEX	Zielf.	263,57	–	56.354	26.433	10.090
	Zeit	13.238,34	> 4d	128	34	335

Graphentheoretisches Modell

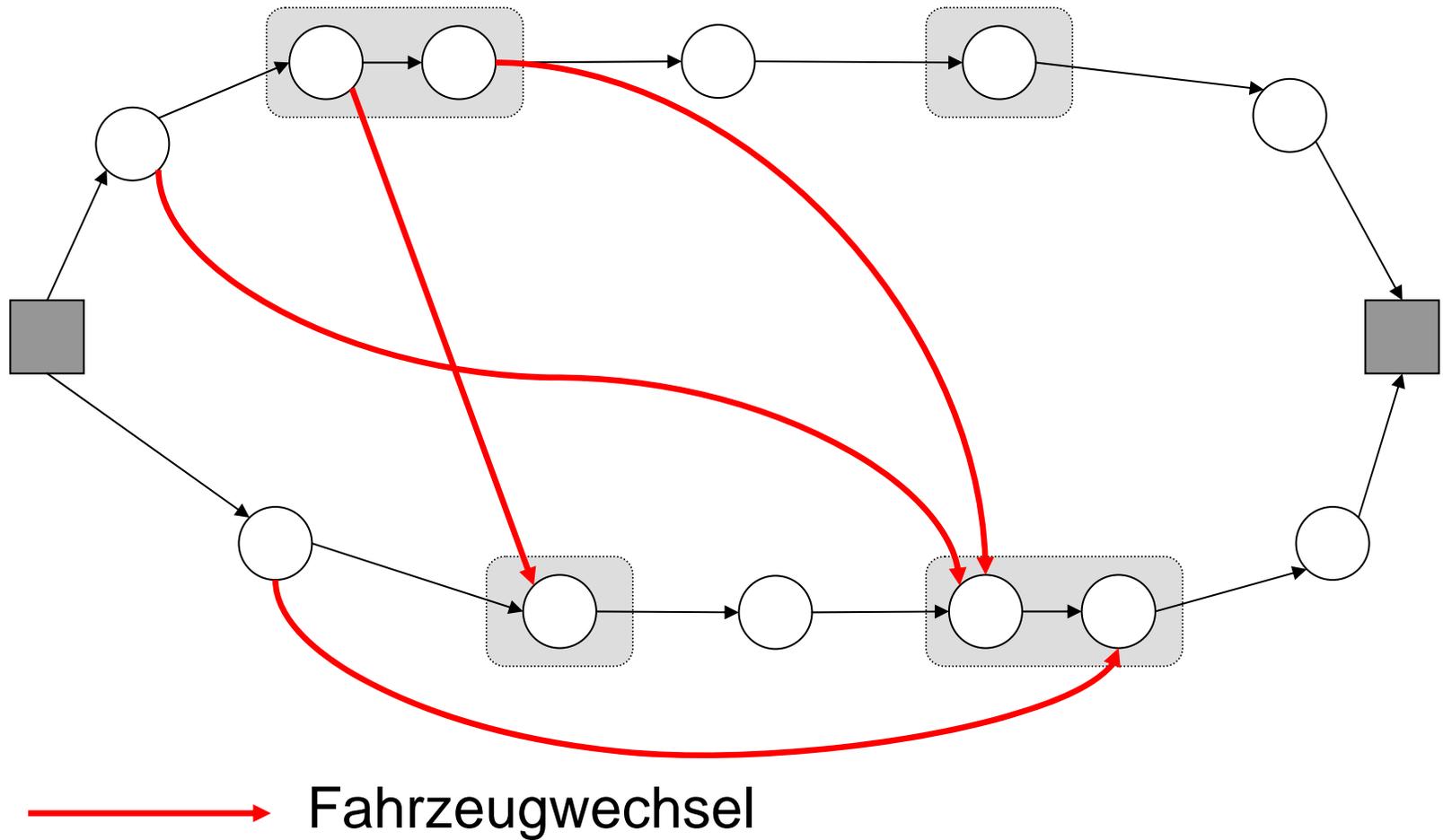


Graphentheoretisches Modell

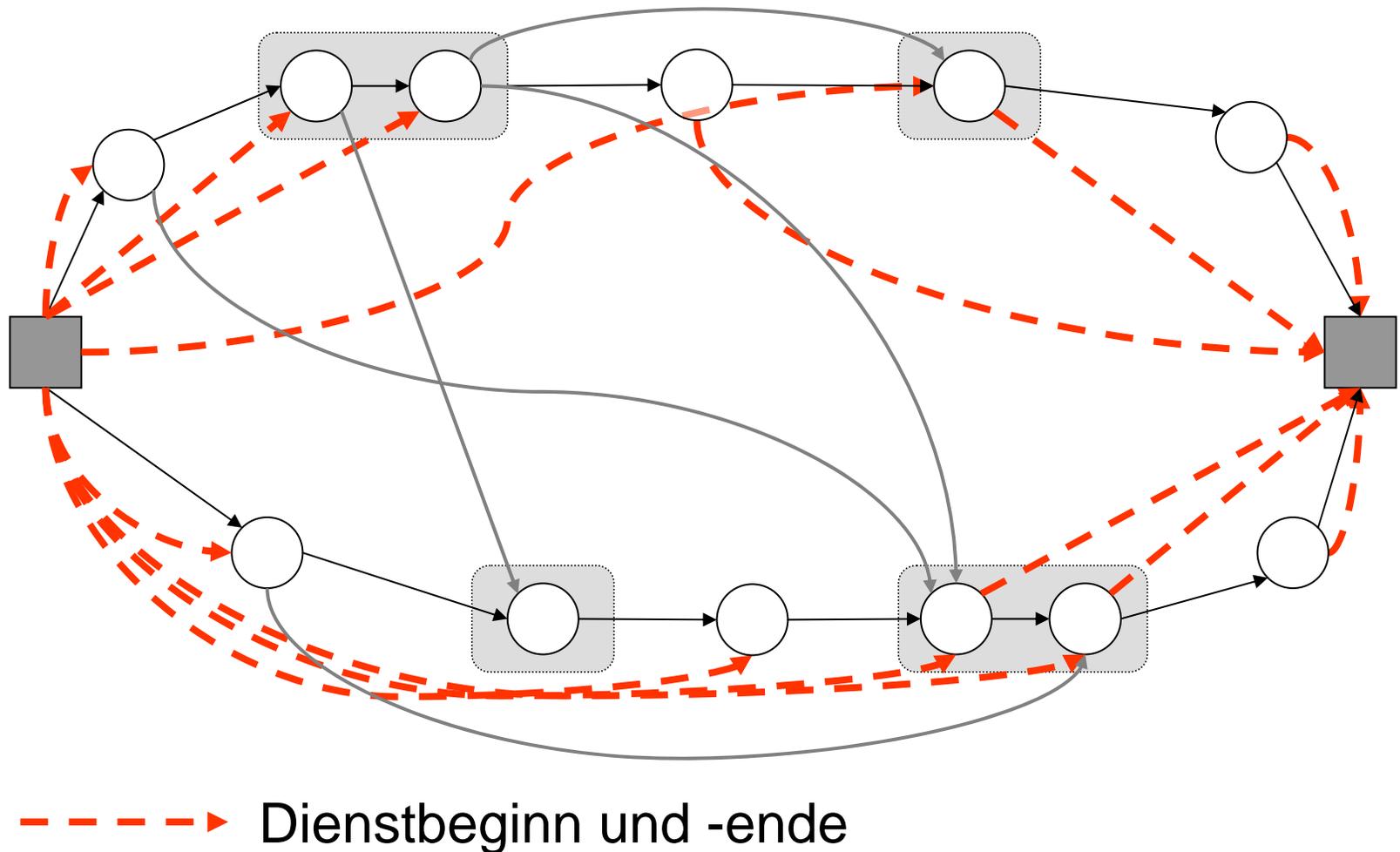


○ Dienstelement

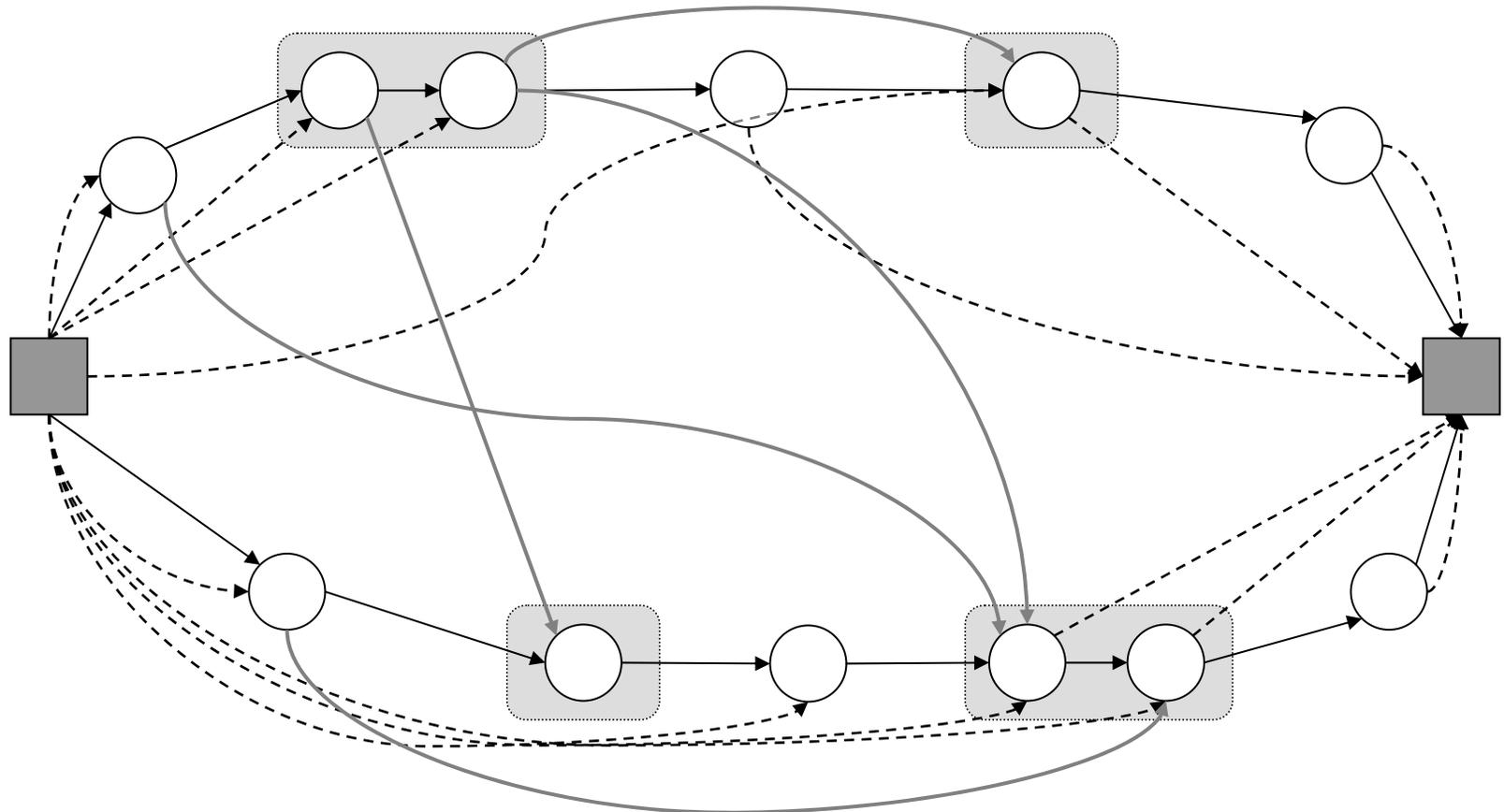
Graphentheoretisches Modell



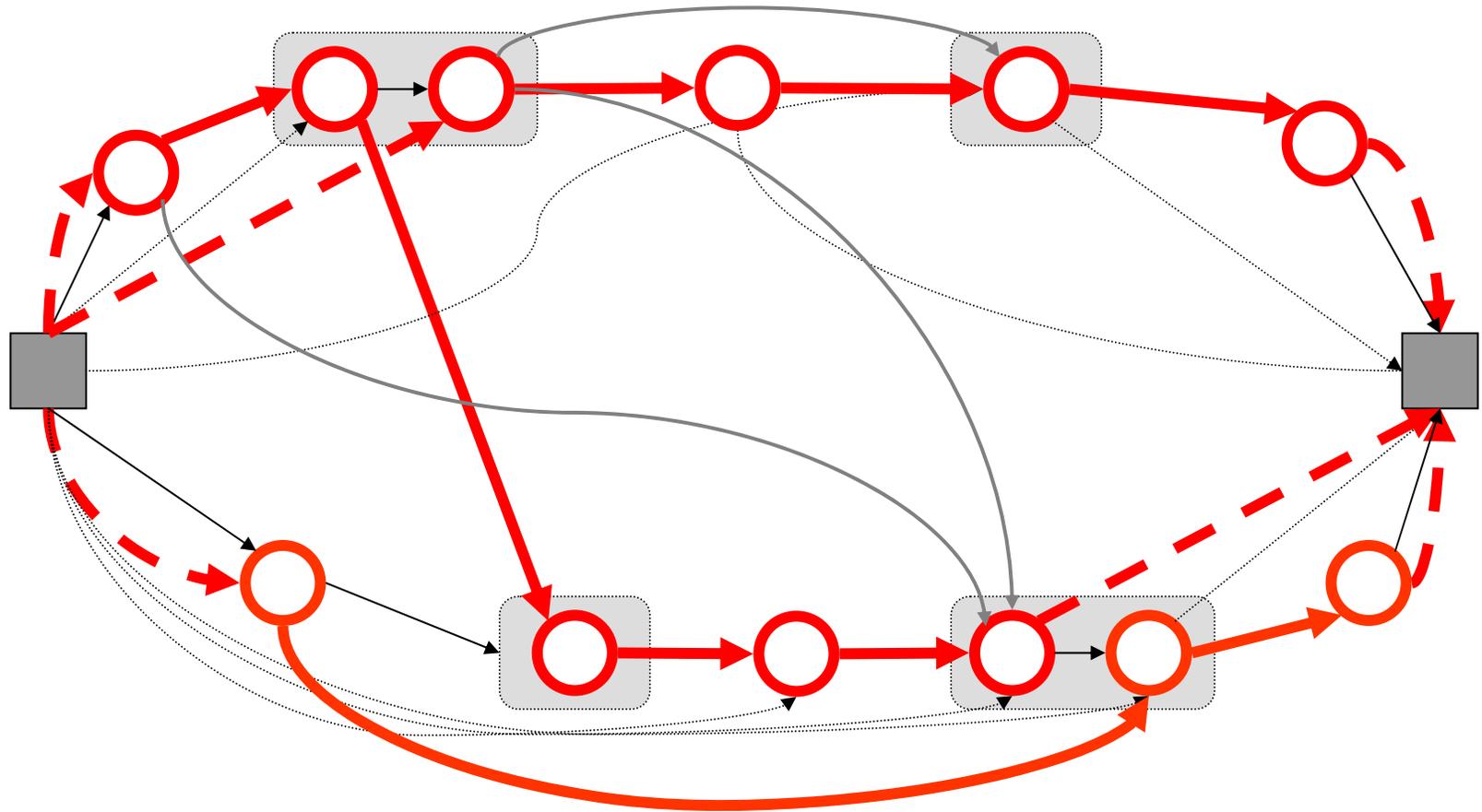
Graphentheoretisches Modell

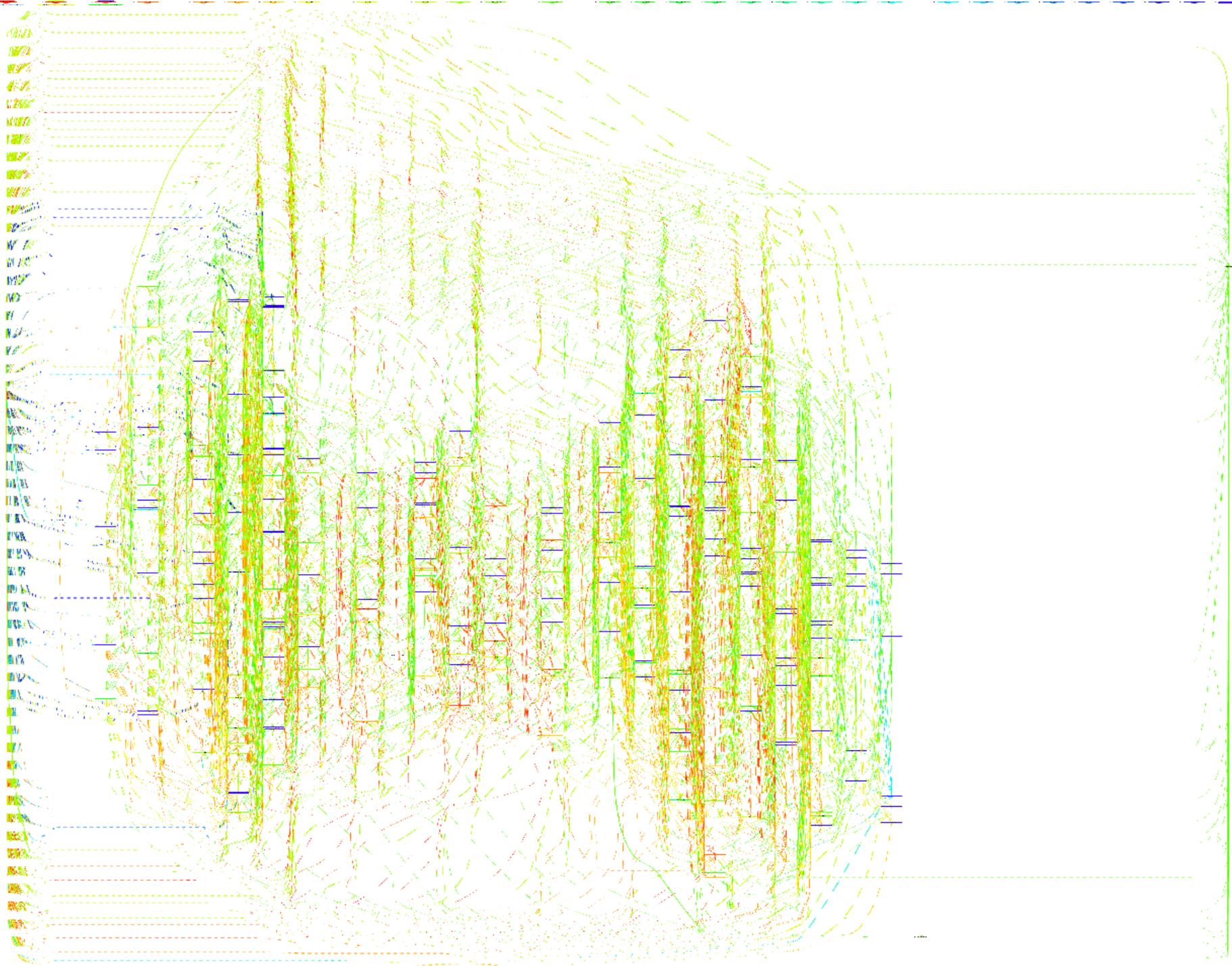


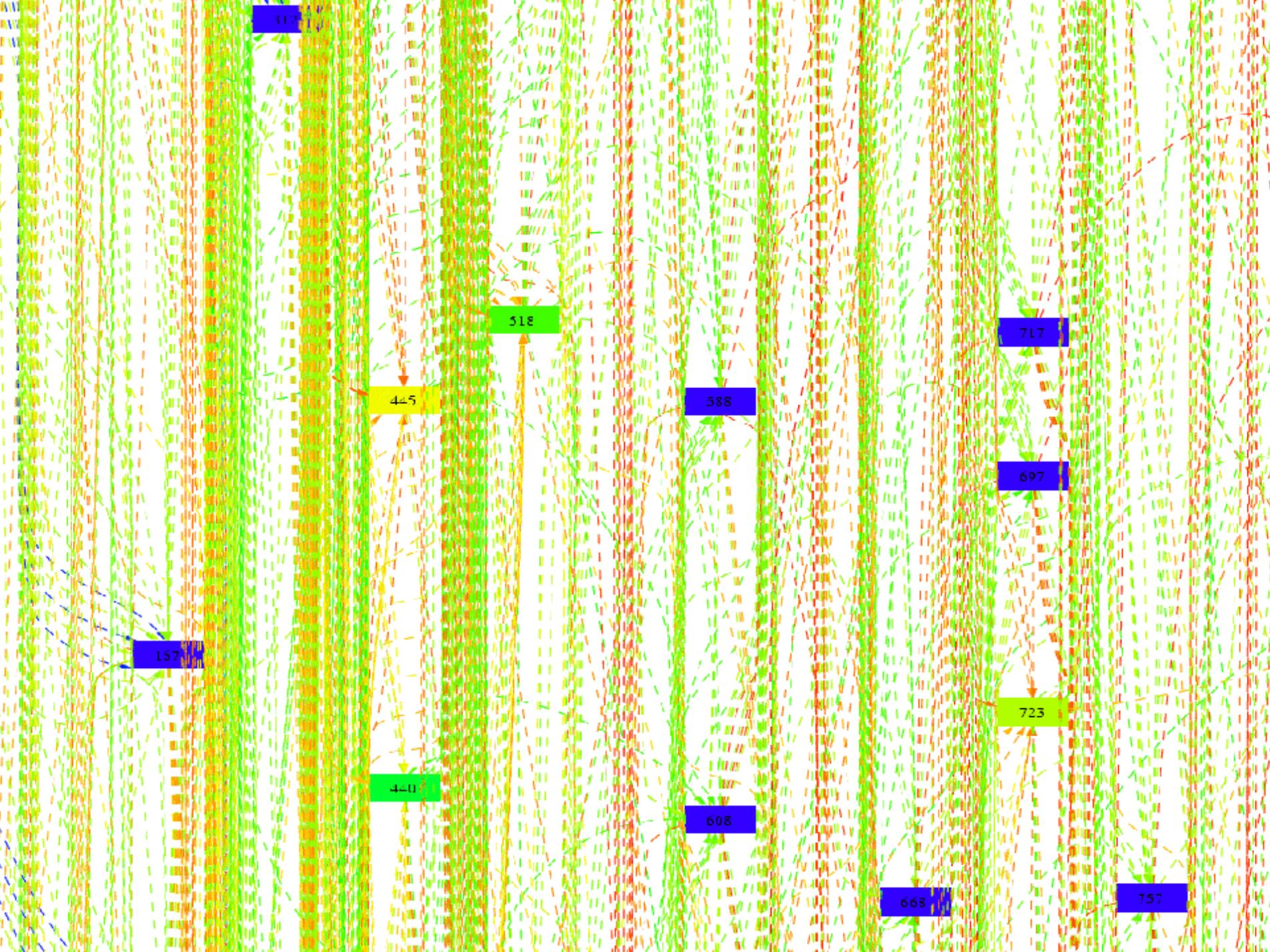
Graphentheoretisches Modell



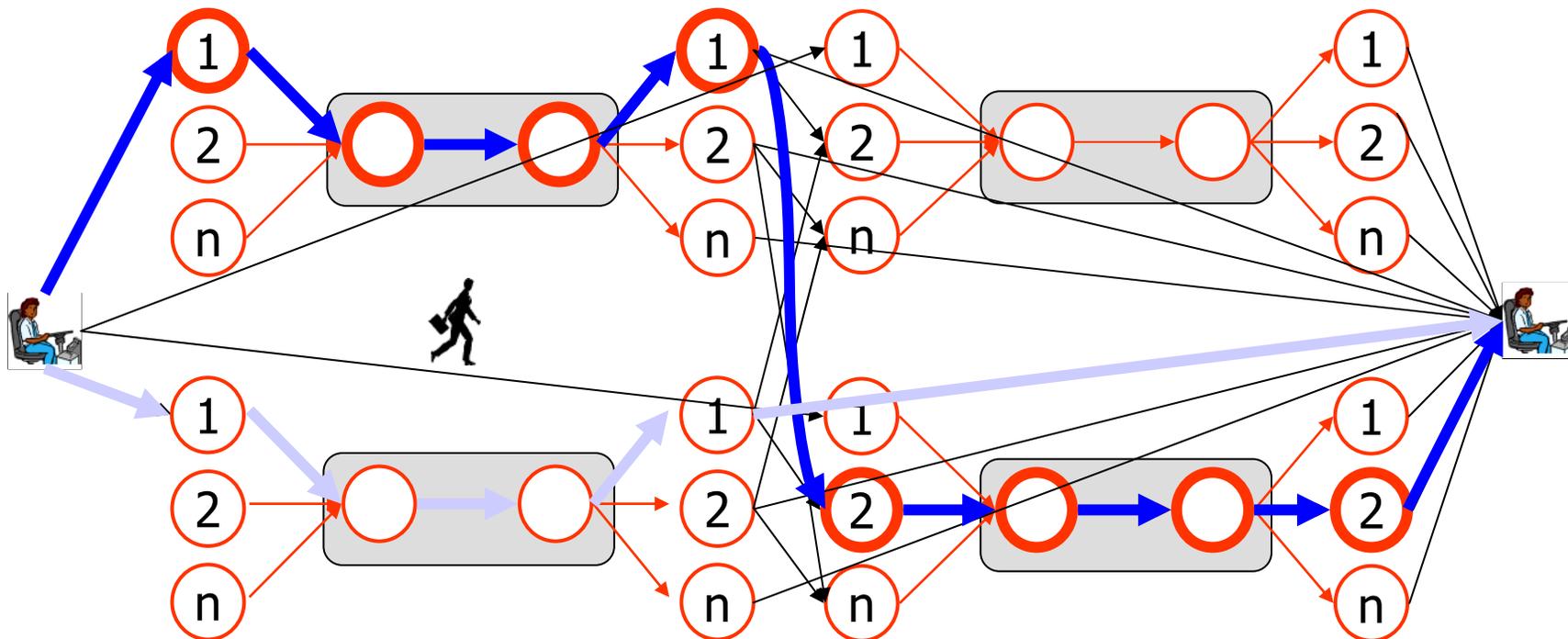
Graphentheoretisches Modell





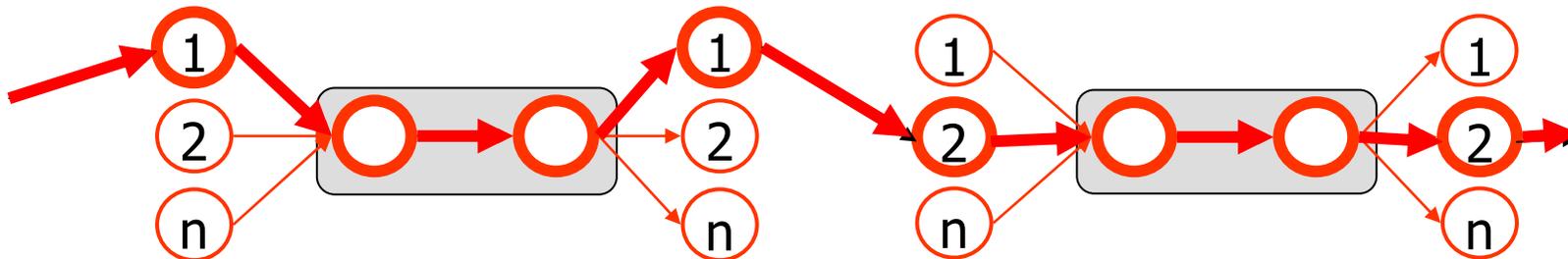


Graphentheoretisches Modell



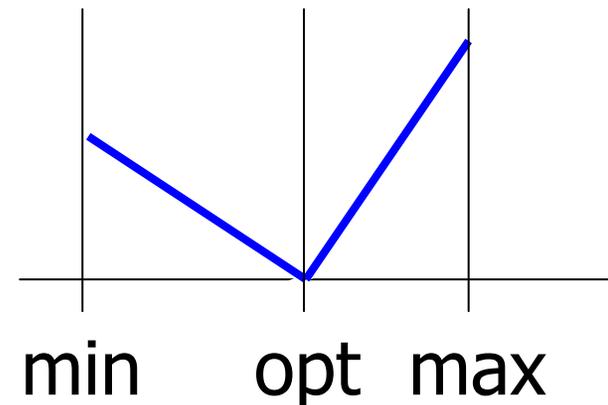
- Ergänzungselemente (Vorbereitung/Abschluß, Position, ...)
- Links (Leerfahrten, Transporte, Übernachtungen, ...)

Dienstbildungsregeln (Längen)



min		+		$\geq 4:00$
opt		+		$= 6:00$
max		+		$\leq 8:00$

- Zulässigkeit + Kosten
 - Lineare Regeln & Strafen



Dienstbildungsregeln (Pausen)

Verordnung (EWG) Nr. 3820/85 des Rates vom 20. Dezember 1985 über die Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr

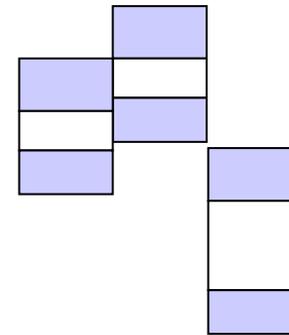
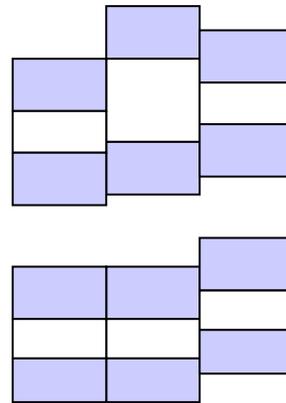
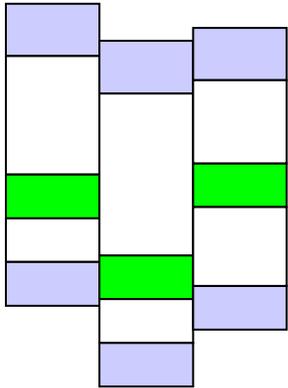
ABSCHNITT V

Unterbrechungen und Ruhezeit

Artikel 7

- (1) Nach einer Lenkzeit von 4 1/2 Stunden ist eine Unterbrechung von mindestens 45 Minuten einzulegen, sofern der Fahrer keine Ruhezeit nimmt.
- (2) Diese Unterbrechung kann durch Unterbrechungen von jeweils mindestens 15 Minuten ersetzt werden, die in die Lenkzeit oder unmittelbar nach dieser so einzufügen sind, dass Absatz 1 eingehalten wird.
- (3) Im Falle des nationalen Personenlinienverkehrs können die Mitgliedstaaten abweichend von Absatz 1 die Mindestdauer für die Unterbrechung auf nicht weniger als 30 Minuten nach einer Lenkzeit von höchstens 4 Stunden festsetzen. Diese Ausnahmeregelung darf nur in Fällen gewährt werden, in denen durch Unterbrechungen der Lenkzeit von mehr als 30 Minuten der Stadtverkehr behindert würde und in denen es den Fahrern nicht möglich ist, in der Lenkzeit von 4 1/2 Stunden, die der Unterbrechung von 30 Minuten vorausgeht, eine Unterbrechung von 15 Minuten einzulegen.
- (4) Der Fahrer darf während dieser Unterbrechungen keine anderen Arbeiten ausführen. Für die Anwendung dieses Artikels gelten die Wartezeit und die Nicht-Lenkzeit, die in einem fahrenden Fahrzeug, auf einer Fähre oder in einem Zug verbracht werden, nicht als andere Arbeiten.
- (5) Nach diesem Artikel eingelegte Unterbrechungen dürfen nicht als tägliche Ruhezeit betrachtet werden.

Dienstmix



Min $\#$  ≥ 3 (Bsp.: min. Anz.)
 Opt Σ  /3 = 5:00 (Bsp.: Schnitt)
 Max $\#$  $\leq \#$  (Bsp.: Dienstmix)

- Pro Dienstart, Depot, Geobereich, Planungszeitraum, ...
- Zulässigkeit und Kosten (pro Dienstart)
 - Lineare Regeln
 - Kapazitäten, Schnitte, Dienstmix
 - Automatische Strafberechnung

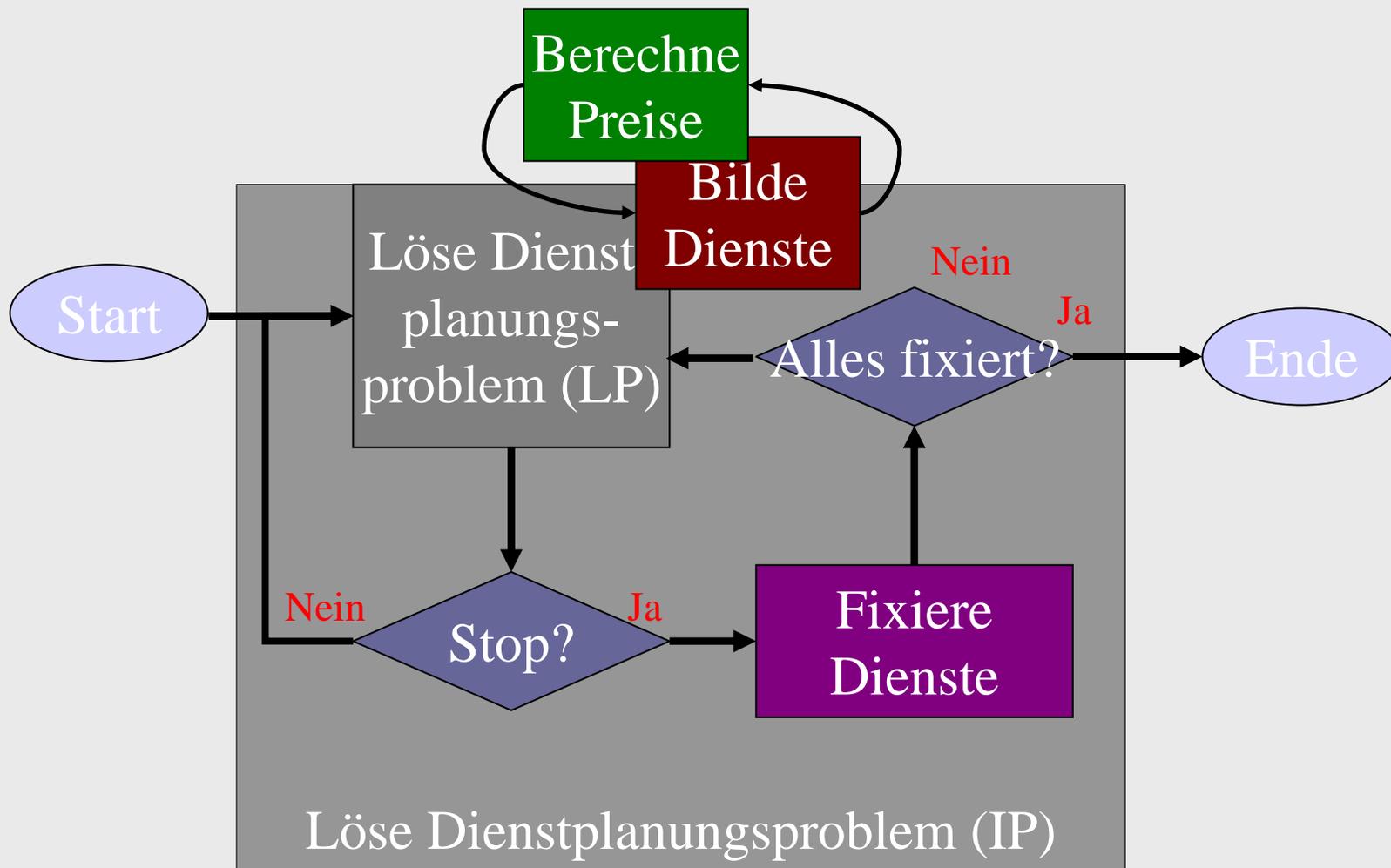
IP-Modell

(Set-Partitioning-Problem mit Base-Constraints)

$$\begin{array}{llll}
 \min & \sum_d c_d x_d & & \\
 & \sum_{t \in d} x_d = 1 & \forall t & \text{Tasks} \\
 & \sum_{d \in m} x_d \leq K_m & \forall m & \text{Mix} \\
 & x_d \in \{0,1\} & \forall d & 0/1
 \end{array}$$

Spaltenerzeugungsmethode

(Branch-and-Generate, Marsten 1994)



Mathematisches Modell

Ausgangspunkt Fahrten, ...

Fahrten (FPL = PEINE05) - [Betriebstagsgruppe : Alle MF / Linie : 101 / Richtung : 1 / Anzahl : 26]

Datei Fahrt Durchbindung Einstellungen Ansicht Hilfe - - X

	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101
Linie	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101
Richtung	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Linienvariante	20	20	11	2	4	2	14	14	21	2	13	18	18	13
Betriebstagsgruppe	Alle MF	Alle MF	Alle MF	Alle MF	Mo-Fr an S	Alle MF	Mo-Fr an S	Mo-Fr an S	Alle MF	Mo-Fr an F	Mo-Fr an S	Mo-Fr an S	Mo-Fr an S	Mo-Fr an S
Verkehrsbeschränkung					S		S	S		F	S	S	S	S
Betriebshof														
Fahrzeitprofil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2
Fahrtart	H	H	H	H	S	H	S	S	H	F	S	S	S	S
Länge	21472	21472	20723	19670	4902	19670	20869	20869	20850	19670	21144	5044	5044	21144
Fahrtnummer	142502	142504	141506	142508	350008	121512	152314	106316	142518	142262	142562	127962	101992	142526
Fußnoten für Fahrplanbuch			4											
Zieltext														
Durchbindung														
Peine Bahnhof	04:55	05:55	06:10	06:55		07:55	08:20	09:20	09:55	10:55	11:00			12:55
Peine Luisenstraße	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-			-
Peine Fühsering	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-			-
Peine Wiesenstraße	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-			-
Peine Feldstraße	-	-	06:12	-		-	-	-	-	-	-			-
Peine Hoher Weg	-	-	06:13	-		-	-	-	-	-	-			-
Peine Zuckerrfabrik	04:58	05:58	06:14	06:58		07:58	08:23	09:23	09:58	10:58	11:03			12:58
Peine Braunschweiger Straße	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-			-
Peine Görlitzer Straße	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-			-
Peine Schreiberhauer Straße	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-			-
Peine Tilsiter Straße	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-			-
Peine Stettiner Straße	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-			-
Peine Krankenhaus	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-			-
Klein Ilsede Nord	05:01	06:01	06:16	07:01		08:01	08:26	09:26	10:01	11:01	11:06			13:01
Klein Ilsede Kirche	05:02	06:02	06:17	07:02		08:02	08:27	09:27	10:02	11:02	11:07			13:02
Groß Ilsede Nord	05:04	06:04	06:19	07:04		08:04	08:29	09:29	10:04	11:04	11:09			13:04
Groß Ilsede Meerweg	05:05	06:05	06:20	07:05		08:05	08:30	09:30	10:05	11:05	11:10			13:05
Groß Ilsede Mitte	05:05	06:05	06:20	07:05		08:05	-	-	10:05	11:05	11:10			13:05
Groß Ilsede Schulzentrum	-	-	-	-		-	08:31	09:31	-	-	-	11:30	12:30	-
Groß Ilsede SOS	-	-	-	-		-	08:33	09:33	-	-	-	11:32	12:32	-
Groß Ilsede ZOB	05:07	06:07	06:22	07:07		08:07	08:37	09:37	10:07	11:07	11:12	11:36	12:36	13:07
Ölsburg An der Fuhse	05:10	06:10	06:25	07:10	07:36	08:10	-	-	10:10	11:10	11:15	11:39	12:39	13:10
Ölsburg Marktkauf	05:11	06:11	06:26	07:11	07:37	08:11	-	-	10:11	11:11	11:16	11:40	12:40	13:11
Groß Bülden Apotheke	05:13	06:13	06:28	07:13	07:39	08:13	-	-	10:13	11:13	11:18	11:42	12:42	13:13
Ölsburg Freheb. Straße	05:14	06:14	06:29	07:14	07:40	08:14	-	-	10:14	11:14	11:19	-	-	13:14
Ölsburg Kreissparkasse	05:15	06:15	06:30	07:15	07:41	08:15	08:38	09:38	10:15	11:15	11:20	-	-	13:15
Ölsburg Freheb. Straße	-	-	-	-	-	-	08:39	09:39	-	-	-	-	-	-
Groß Bülden Gästehaus	-	-	-	-	-	-	08:40	09:40	-	-	-	-	-	-
Klein Bülden Ortsmitte	-	-	-	-	-	-	08:43	09:43	-	-	-	-	-	-
Handorf Kreissparkasse	-	-	-	-	-	-	08:46	09:46	-	-	-	-	-	-

Bereit

LBW



... die an Ablösepunkten zu Dienst- elementen geschnitten werden, ...

Integrierte Dienst- und Umlaufbearbeitung (FPL = 07, UPL = 072, DPL = 0721) - [DiS]

System Bearbeiten Einstellen Ansicht Hilfe

5:00 07:00 08:00 09:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 00:00 01:00 02:00 03:00

Dienst geprüft editiert

Dienstbildung

Prüfung Umlauf Fahrzeugtyp

Dienststart Pausenregel Priorität Folge Ablösung Übergang Verbindung Wechsel

Dienststart	Kurzna...	A...	benutzen	Zusatzelemente	Altern...	Treffer	Fehlversuche	Dienststartprüfung	Pausenregelprüfung
<ALLE>	<ALLE>				10				
AK_GDm	0	A	x		10				
AK_GDm	45	A	x		10				
AK_GDm	30	A	x		10				
AK_GDm	0*0	L	x		10				
AK_GDm	1*30	L	x		10				
AK_GDm	2*20	L	x		10				
AK_GDm	3*15	L	x		10				
AK_GDm	1/6	*	x		10				
AK_GDm	1/5	*	x		10				
AK_GDm					10				
AK_GDxl	0	A	x		10				
AK_GDxl	45	A	x		10				
AK_GDxl	30	A	x		10				
AK_GDxl	0*0	L	x		10				
AK_GDxl	1*30	L	x		10				
AK_GDxl	2*20	L	x		10				
AK_GDxl	3*15	L	x		10				
AK_GDxl	1/6	*	x		10				
AK_GDxl	1/5	*	x		10				
AK_GDxl					10				
AK_ZDm	0	A	x		10				
AK_ZDm	45	A	x		10				
AK_ZDm	30	A	x		10				
AK_ZDm	0*0	L	x		10				
AK_ZDm	1*30	L	x		10				
AK_ZDm	2*20	L	x		10				
AK_ZDm	3*15	L	x		10				
AK_ZDm	1/6	*	x		10				
AK_ZDm	1/5	*	x		10				
AK_ZDm					10				

Fahrten 363

OK Bearbeiten Benutzen Dienststart Meldungen Fehlerliste alle Fehler Abbrechen

rsnu geprüft

rsnu gepr

NUM

Start MICROBUS (FPL = 07, U... Integrierte Dienst- u... Dokument1 - Microsoft ... DE <<

... die mit Wegen zu Diensten verknüpft werden.

Wegezeiten
System Auswahl

Wegezeittypen

AblHin	P	Ablösewegezeit	Hin
AblRück	P	Ablösewegezeit	Rück
AusV	P	Aussetzwegezeit	
EinV	P	Einsetzwegezeit	
PauHin	P	Pausenwegezeit	Hin
PauRück	P	Pausenwegezeit	Rück
WegZ		Übergangswegezeit	

Betriebsbereich: VIP Tram

Kurzname: _WegZ

Wegezeittyp: Übergangswegezeit

Langname: Übergangswegezeit

Externe Nummer: 1

Beschreibung: zwischen nicht identischen Ablöse...

00:05 Pauschal gültig

Arbeitszeit Produktiv

Arbeitszeitpause wird bezahlt

Wegezeitintervalle
System

Betriebsbereich: VIP Tram

Kurzname: _WegZ

Wegezeittyp: Übergangswegezeit

von: BHB T nach: BHB T

Standardwegezeit: 00:00

Wegezeit: 00:05

Betriebstag: So

Zeitintervall von: 20:00 bis: 24:00

Wegezeiten
System Hilfe

Betriebsbereich: VIP Tram

Kurzname: _WegZ

Wegezeittyp: Übergangswegezeit

Dauer: 00:05

von: BHB T APkt nach: BHB T EPkt

Standardwegezeit: 00:00

Intervalle...

... für die es gesetzliche Regeln ...

Verordnung (EWG) Nr. 3820/85 des Rates vom 20. Dezember 1985 über die Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr

ABSCHNITT V

Unterbrechungen und Ruhezeit

Artikel 7

- (1) Nach einer Lenkzeit von 4 1/2 Stunden ist eine Unterbrechung von mindestens 45 Minuten einzulegen, sofern der Fahrer keine Ruhezeit nimmt.
- (2) Diese Unterbrechung kann durch Unterbrechungen von jeweils mindestens 15 Minuten ersetzt werden, die in die Lenkzeit oder unmittelbar nach dieser so einzufügen sind, dass Absatz 1 eingehalten wird.
- (3) Im Falle des nationalen Personenlinienverkehrs können die Mitgliedstaaten abweichend von Absatz 1 die Mindestdauer für die Unterbrechung auf nicht weniger als 30 Minuten nach einer Lenkzeit von höchstens 4 Stunden festsetzen. Diese Ausnahmeregelung darf nur in Fällen gewährt werden, in denen durch Unterbrechungen der Lenkzeit von mehr als 30 Minuten der Stadtverkehr behindert würde und in denen es den Fahrern nicht möglich ist, in der Lenkzeit von 4 1/2 Stunden, die der Unterbrechung von 30 Minuten vorausgeht, eine Unterbrechung von 15 Minuten einzulegen.
- (4) Der Fahrer darf während dieser Unterbrechungen keine anderen Arbeiten ausführen. Für die Anwendung dieses Artikels gelten die Wartezeit und die Nicht-Lenkzeit, die in einem fahrenden Fahrzeug, auf einer Fähre oder in einem Zug verbracht werden, nicht als andere Arbeiten.
- (5) Nach diesem Artikel eingelegte Unterbrechungen dürfen nicht als tägliche Ruhezeit betrachtet werden.

... und eigene Regeln und Kosten gibt.

Integrierte Dienst- und Umlaufbearbeitung (FPL = 07)

System Bearbeiten Einstellen Ansicht

Dienststarten

Kurzna...	Langname	Ka...
<ALLE>		-1
AK_GDm	geteilter Dienst	0
AK_GDxl	geteilter Dienst	0
AK_ZDm	zusammenhängender Dienst	0
ZD.	zusammenhängender Dienst	0
GD.	geteilter Dienst	0
AK_ZD	zusammenhängender Dienst	6
AK_GD	geteilter Dienst	7

OK Bearbeiten Benutzen Dienstbildung

Dienststart

Bezeichnung

Kurzname Langname

Beschreibung

Kapazität

gesamt genutzt ungenutzt benutzen

Dienstnummerierung

Kurzname Funktion erste letzte automatisch

Langname Funktion

Bezug

Betriebsbereich Betriebshof Dienststart

Zeiten/Kosten

	Min.	%	Ziel	%	Max.	Ausn.	Mittel.	%	Kosten
Dienstdauer	<input type="text" value="00:00"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="09:00"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="12:00"/>	<input type="text" value="12:00"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="01:00"/> h
Bezahlte Zeit	<input type="text" value="00:00"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="09:36"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="12:00"/>	<input type="text" value="12:00"/>	<input type="text"/>		
Arbeitszeit	<input type="text" value="00:00"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="09:36"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="12:00"/>	<input type="text" value="12:00"/>	<input type="text"/>		
Dienststückdauer	<input type="text" value="00:00"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="03:30"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="15:00"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Dienststücke	<input type="text" value="00:00"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="00:00"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="00:00"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Unterbrechung	<input type="text" value="00:00"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="00:00"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="05:00"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> verbleibend	

Bezahlungseinheit h Ausnahmen zulassen

Optimierungsparameter

Kosten h Kurzdienste h Kurzdienste mit Pausenprüfung h

OK Rücksetzen Abbrechen

Fahrten 363/363

07:00 08:00 09:00 10:00 11:00

ODU1BA1S1ODU1
ODZBAHEDDS1
1150811500
49 43 45 37

BSTBAHBA1S1AHRU1
BAHBA1S1AHRU1
ODU1

Start MICROBUS (FPL = 07, U... Integrierte Dienst- u... Optimierung_Screenshot...

Es gibt noch Regeln für "Dienstergänzungen" ...

Integrierte Dienst- und Umlaufbearbeitung (FPL = 07, UPL = 072, DPL = 0721) - [DiS]

System Bearbeiten Einstellen Ansicht Hilfe

Regelwerk

alle Ergänzungsregeln

Ergänzung	Dienststart	Dienststück	optional	benutzen	Davor	Einfügen	Ebene	Anfügen	Danach
Dienstteile	AK_GDm			x	*	Start	Dienstteil	Stop	*
Dienstteile	AK_GDxl			x	*	Start	Dienstteil	Stop	*
Dienste	AK_ZDm			x		Start	Dienst	Stop	

Ergänzungsregel

Basis: Dienststart: AK_ZDm, Dienststück: []

Davor: Nichts, Eins, Mehrere

Ebene: Dienst, Dienstteil, Dienststück, Fahrt

Danach: Nichts, Eins, Mehrere

Ergänzung

davor einfügen: Kurzname: Start

Ergänzungsbestandteil: Kurzname: AB, ErgRes, FTAB, FTVB, Kurier, pause, Post, Reserve, Serv 1, Serv 2, Serv 3, Serv 4, Serv 5, Serv 10, Serv n, Start, Start_0, Stop, Stop_0

danach anfügen: Kurzname: Stop

OK Abbrechen

Fahrten 363/363

DDU1BA
ODZ BAB

11508
49 43

BST BA
BAHBA11

Umlaufn Kursnu gepr

Umlaufn	Kursnu	gepr
(0000001)		x
(0000001)		x
(0000007)		x

Start MICROBUS (FPL = 07, U... Integrierte Dienst- u... Dokument1 - Microsoft ... DE

... und den "Dienstmix".

Dienstmix Vorgabe

Vorgabe

Kurzname:

Betriebshöfe:

Dienstmengen:

Dienststarten:

Zeiten/Kosten

	Min.	Malus	Ziel	Malus	Max.	Ausnahme
Kapazität	<input type="radio"/>	<input type="text"/>				
Kapazität %	<input type="radio"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	h	<input type="text"/>
Dienstdauer	<input type="radio"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	h	Schnitt einzel
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	%	
Bezahlte Zeit	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	h	08:00
		<input type="text"/>	08:00	<input type="text"/>	%	Schnitt einzel
Lenkzeit	<input type="radio"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	h	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	%	Schnitt einzel
Produktivzeit	<input type="radio"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	h	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	%	Schnitt einzel

Bezugsmenge

Betriebshöfe:

Dienstmengen:

Dienststarten:

Dienstmix Vorgabe

Vorgabe

Kurzname:

Betriebshöfe:

Dienstmengen:

Dienststarten:

Zeiten/Kosten

	Min.	Malus	Ziel	Malus	Max.	Ausnahme
Kapazität	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	5	<input type="text"/>
Kapazität %	<input type="radio"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	h	<input type="text"/>
Dienstdauer	<input type="radio"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	h	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	%	Schnitt einzel
Bezahlte Zeit	<input type="radio"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	h	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	%	Schnitt einzel
Lenkzeit	<input type="radio"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	h	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	%	Schnitt einzel
Produktivzeit	<input type="radio"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	h	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	%	Schnitt einzel

Bezugsmenge

Betriebshöfe:

Dienstmengen:

Dienststarten:

Alles eingeben und ... optimieren!

Integrierte Dienst- und Umlaufbearbeitung (FPL = 07, UPL = 072, DPL = 0721) - [DiS]

System Bearbeiten Einstellen Ansicht Hilfe

Dienste: 41/41

Optimierungsfortschritt

Status

Initialisierung Dienstsuche Fixierung Beendet

Anzeige

Dienste gesamt

Dienststarten approx. / fixiert

Dienstmix

Steuerung

Fortsetzen Fixieren Fixieren (sofort)

Nu...	unverplant	Verbindungen	%	Typ	Betrie...	Diens...	Diens...	Planung	Diens...	bezah...	Lenk...	Produktiv...	Dienste	Dienst...	bezahl...
46								fixiert							
46								approximiert	352:35	331:02	258:24	211:48	41,4	08:31	08:00
47								fixiert							
47								approximiert	351:27	329:37	257:39	211:49	41,2	08:31	08:00
48								fixiert							
48								approximiert	350:02	328:19	257:12	211:48	41,0	08:31	08:00
49								fixiert							
49								approximiert	348:38	327:00	255:28	211:48	40,9	08:31	08:00
50								fixiert							
50								approximiert	346:05	324:28	254:36	211:46	40,6	08:31	08:00
51								fixiert							
51								approximiert	346:56	325:35	254:18	211:47	40,7	08:31	08:00
52								fixiert							
52								approximiert	345:04	323:31	253:56	211:46	40,4	08:32	08:00
53								fixiert							
53								approximiert	345:15	323:45	253:18	211:47	40,5	08:31	08:00
54								fixiert							
54								approximiert	345:13	323:47	253:09	211:47	40,5	08:31	08:00
55								fixiert							
55								approximiert	344:53	323:26	252:47	211:45	40,4	08:31	08:00
56								fixiert							
56								approximiert	343:07	321:33	252:06	211:44	40,2	08:32	08:00
57								fixiert	342:26	321:31	250:00	211:50	41,0	08:21	07:50
57								approximiert							
58								fixiert	342:26	321:31	250:00	211:50	41,0	08:21	07:50
58								approximiert							
59								fixiert	342:26	321:31	250:00	211:50	41,0	08:21	07:50
59								approximiert							

Schließen alle 0 Min.

LBW

ZIB

Ralf Borndörfer

Erzielte Einsparungen durch die Dienstoptimierung:



Im Busbereich konnten an einem Werktag bei einer Gesamtzahl von ca. 280 Diensten 12 Dienste eingespart werden.



Im Bahnbereich konnten an einem Werktag bei einer Gesamtzahl von ca. 120 Diensten 3 Dienste eingespart werden werden.

Fazit:



Einsparziele durch die Optimierungen wurden voll erfüllt.



Durch die vollständige Verplanung aller Dienststücke ist der manuelle Bearbeitungsaufwand - nach anfänglichem Mehraufwand durch Eingabe der Grunddaten - drastisch gesunken, so dass zu einem Fahrplanwechsel z.B. dem BR mehrere kostengünstige Varianten zur Auswahl vorgelegt werden können.



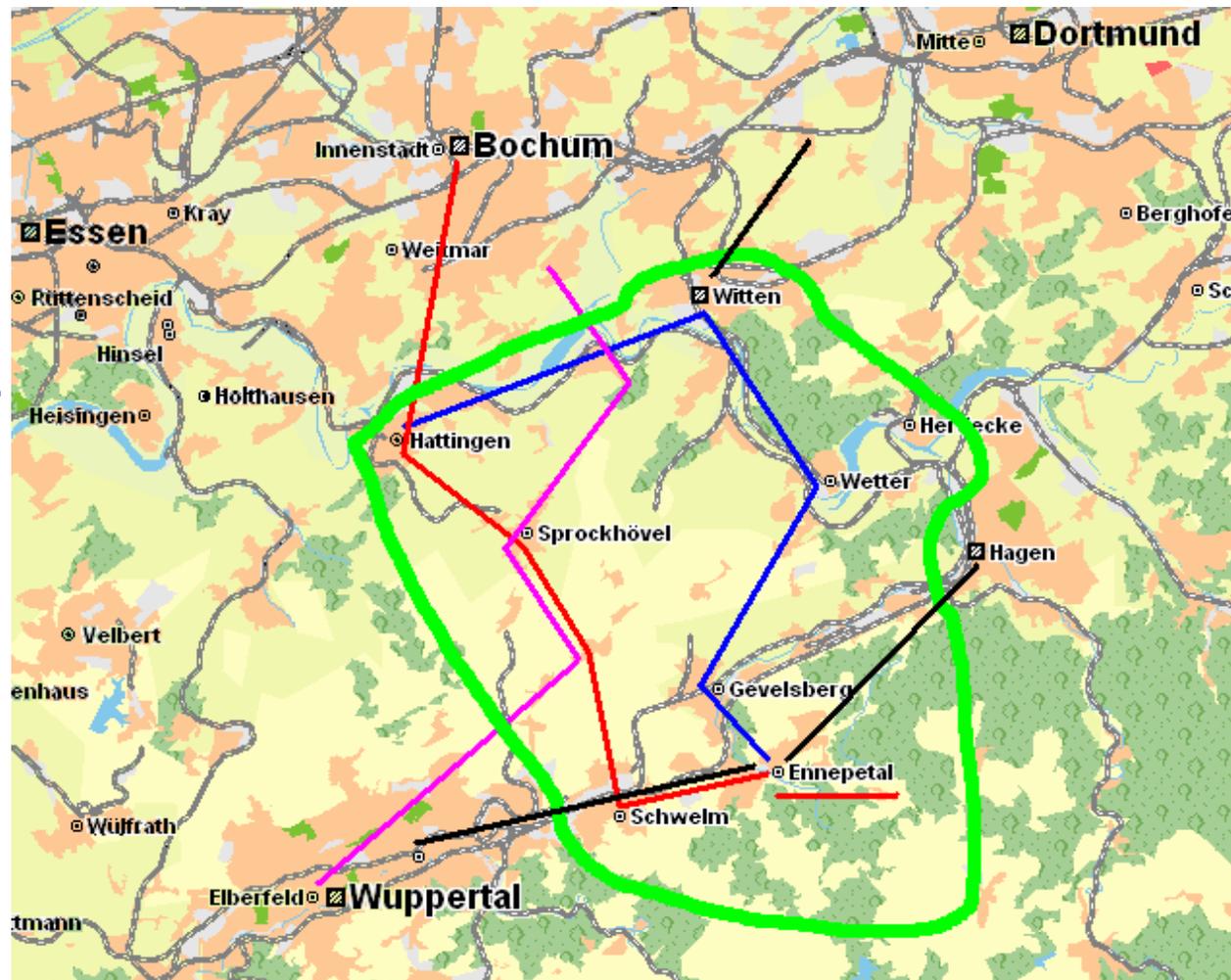
Der Betrieb wird in die Lage versetzt, mehrere Varianten z.B. zur Kalkulation von zukünftigen Aufträgen zu erstellen.

In Bonn wird z.Z. über die Verlagerung eines Busbetriebshofes nachgedacht. Mit der Umlauf- und Dienstplanoptimierung wurden wir in die Lage versetzt, die Kosten durch mehr Ein- und Aussetzkilometer bzw. -zeiten schnell und relativ genau zu ermitteln.

Verkehrsges. Ennepe-Ruhr



- 105 Busse
- 200 Fahrer
- 42 Linien
- 1 Betriebshof

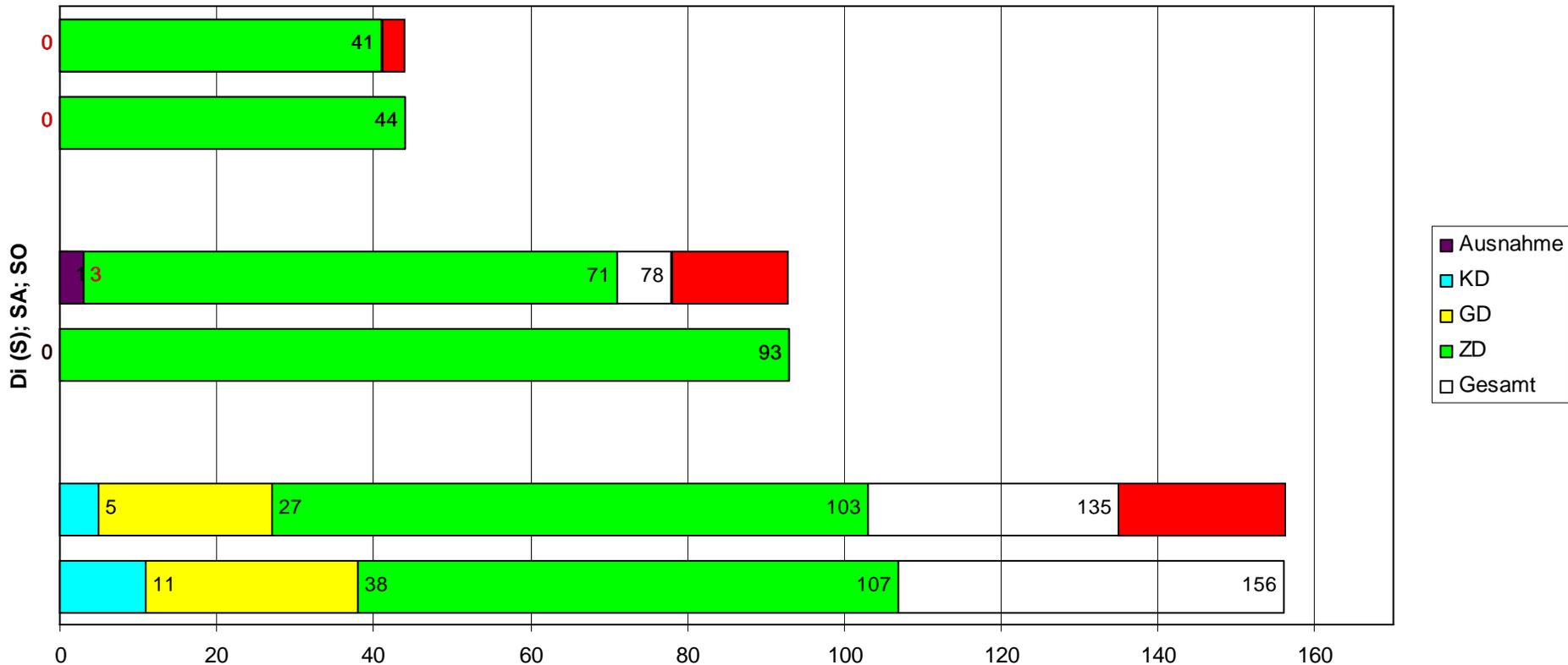


Die Grundlage

- **über Jahre hinweg nur einzeln angepasste Dienste**
- **in der Regel Umlauf = Dienst**
- **viele geteilte Dienste**
- **viele Kurzdienste (teilweise unter einer Stunde)**
- **viele Dienste mit geringer Dauer unter 6 Std**

Vergleich alter und neuer Dienstplan Di (S), Sa und So

Anzahl der Dienste

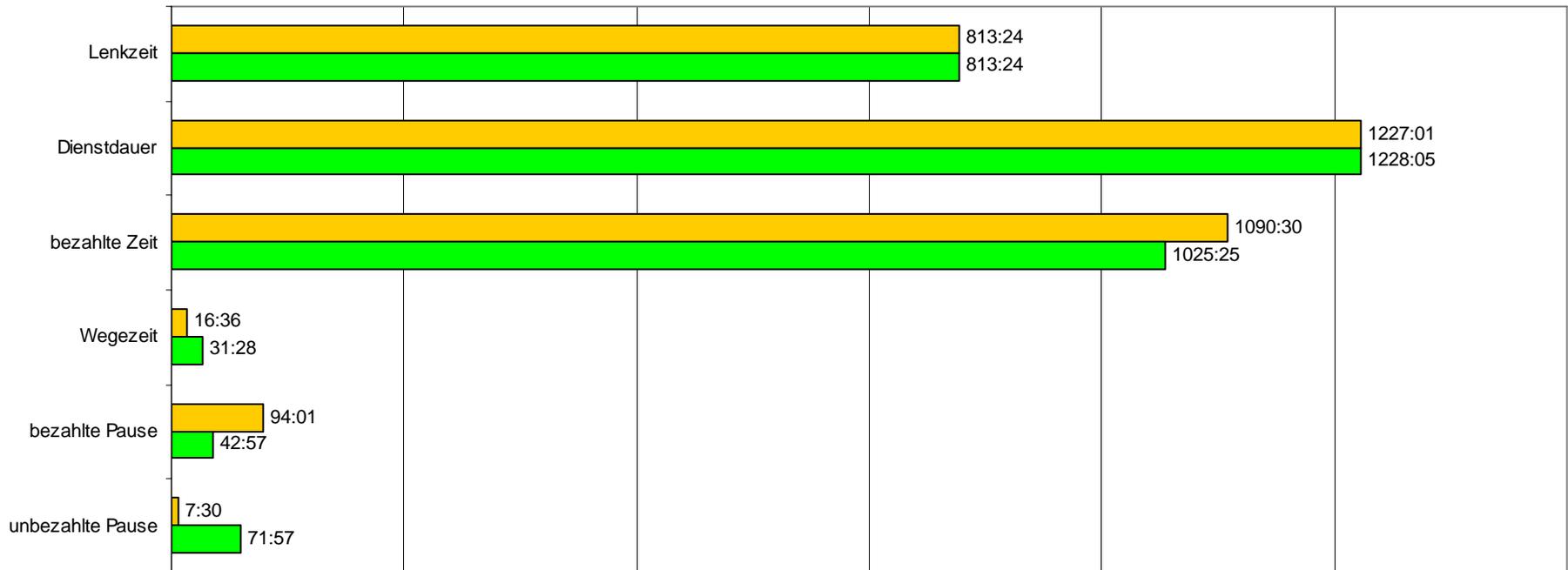


Folie der VER

Vergleich Di (S) - Zeiten

Vergleich Di (S)

Alt
Optimiert



Folie der VER

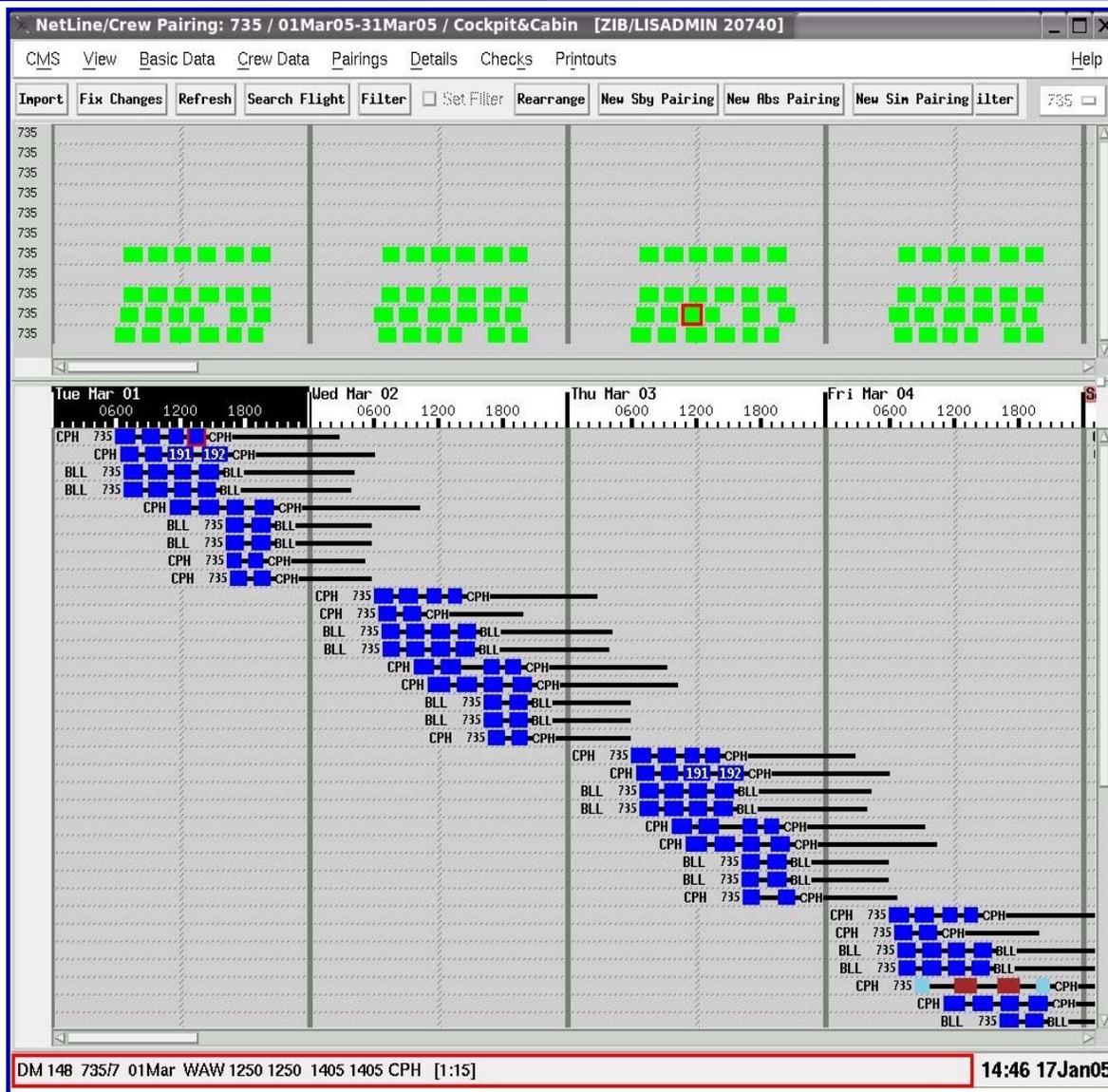
Optimierungsprojekt ESWE Wiesbaden Ergebnisse

	Dienst- art	Dienst- anzahl	bezahlte Zeit		Dienstdauer	
			Summe	Mittel	Summe	Mittel
Analyse	ZUS	218	1684:00	7:43	1684:00	7:43
	GET	59	460:29	7:48	460:29	7:48
	KURZ	6	7:59	1:19	7:59	1:19
	Summe	283	2152:28	7:36	2152:28	7:36
Szenario 1 wie Analyse, aber Abzug 1x30	ZUS	222	1660:21	7:28	1689:21	7:36
	GET	57	461:44	8:06	463:14	8:07
	KURZ	4	3:36	0:54	3:36	0:54
	Summe	283	2125:41	7:30	2156:11	7:37
Szenario 2 wie Analyse, aber GET bis 19:00	ZUS	173	1470:47	8:30	1470:47	8:30
	GET	76 (40)*	659:06	8:40	659:06	8:40
	KURZ	4	4:32	1:08	4:32	1:08
	Summe	253	2134:25	8:26	2134:25	8:26
Szenario 3 Abzug 1x30 GET bis 19:00	ZUS	193	1610:46	8:20	1634:16	8:28
	GET	58 (38)*	503:36	8:40	504:36	8:42
	KURZ	0				
	Summe	251	2114:22	8:25	2138:52	8:31
Szenario 4 Abzug 1x30 GET bis 20:00	ZUS	175	1510:34	8:37	1534:34	8:46
	GET	67 (36)*	602:36	8:59	605:06	9:01
	KURZ	0				
	Summe	242	2113:10	8:43	2139:40	8:50

* Anteil der geteilten Dienste mit Dienstende nach 18:00 Uhr

Airline Crew Scheduling

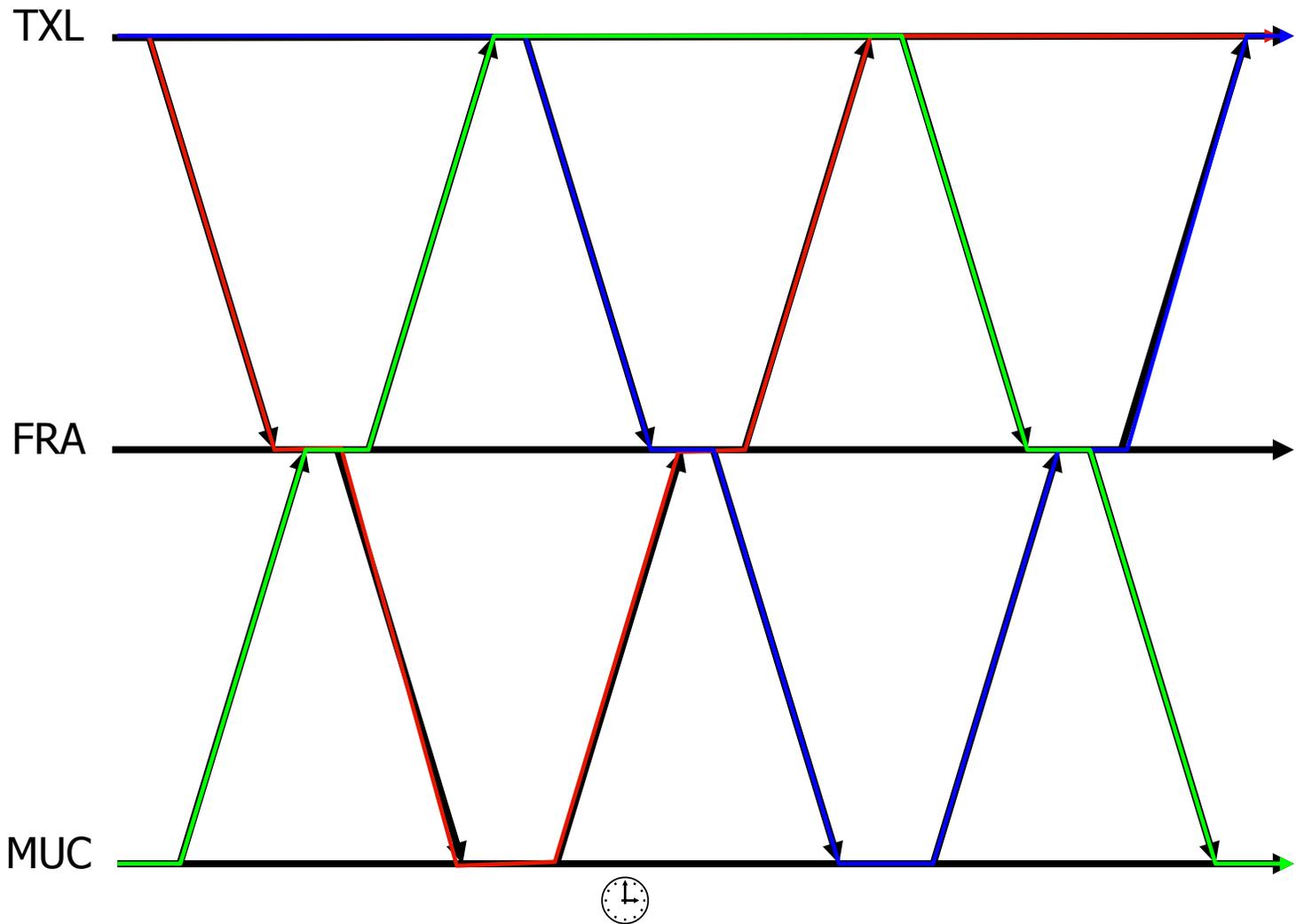
(NetLine/Crew von Lufthansa Systems Berlin GmbH)



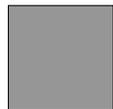
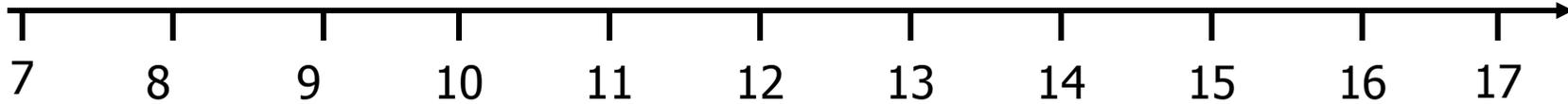
LBW



Airline Crew Scheduling

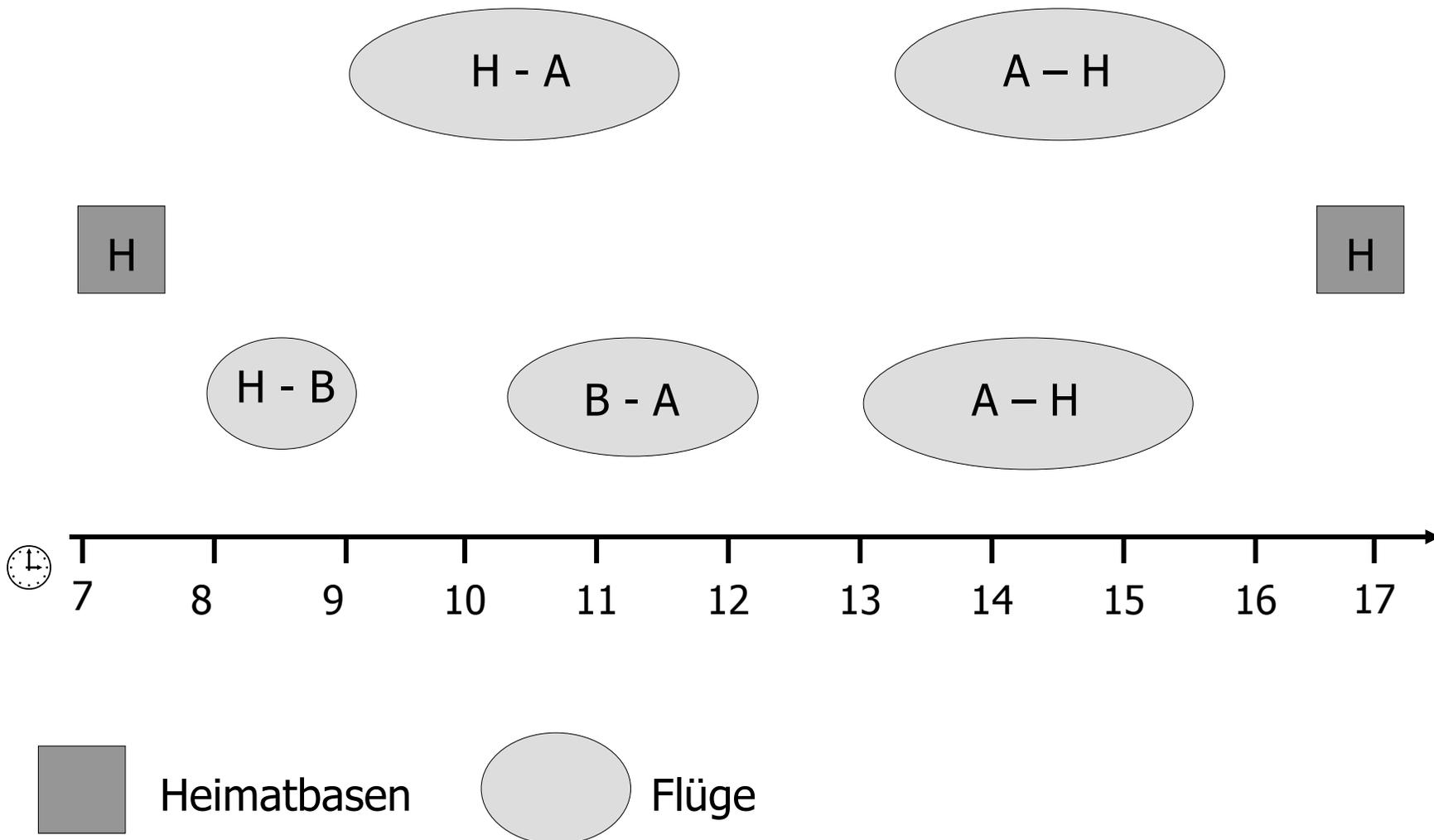


Graphentheoretisches Modell

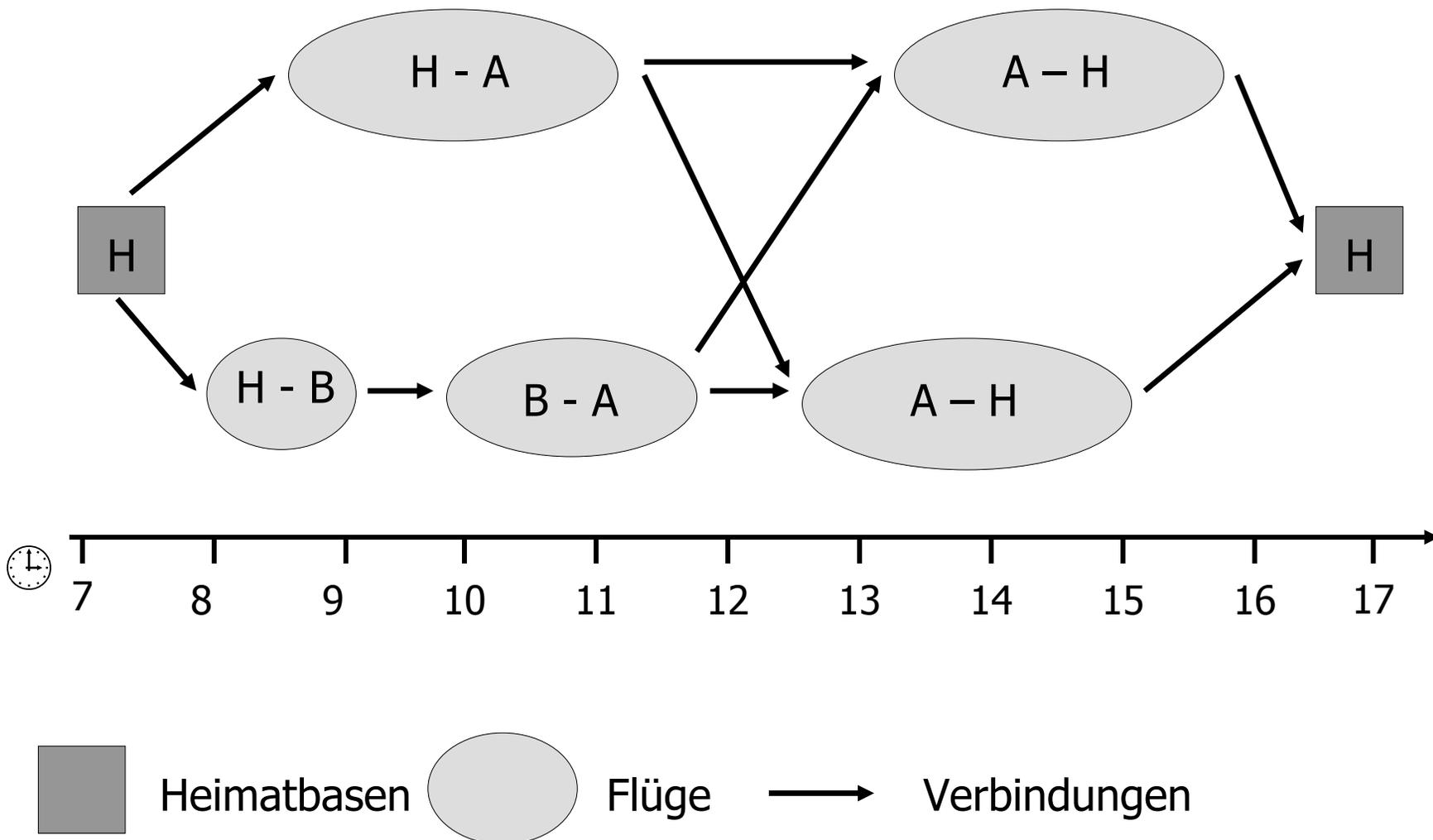


Heimatbasen

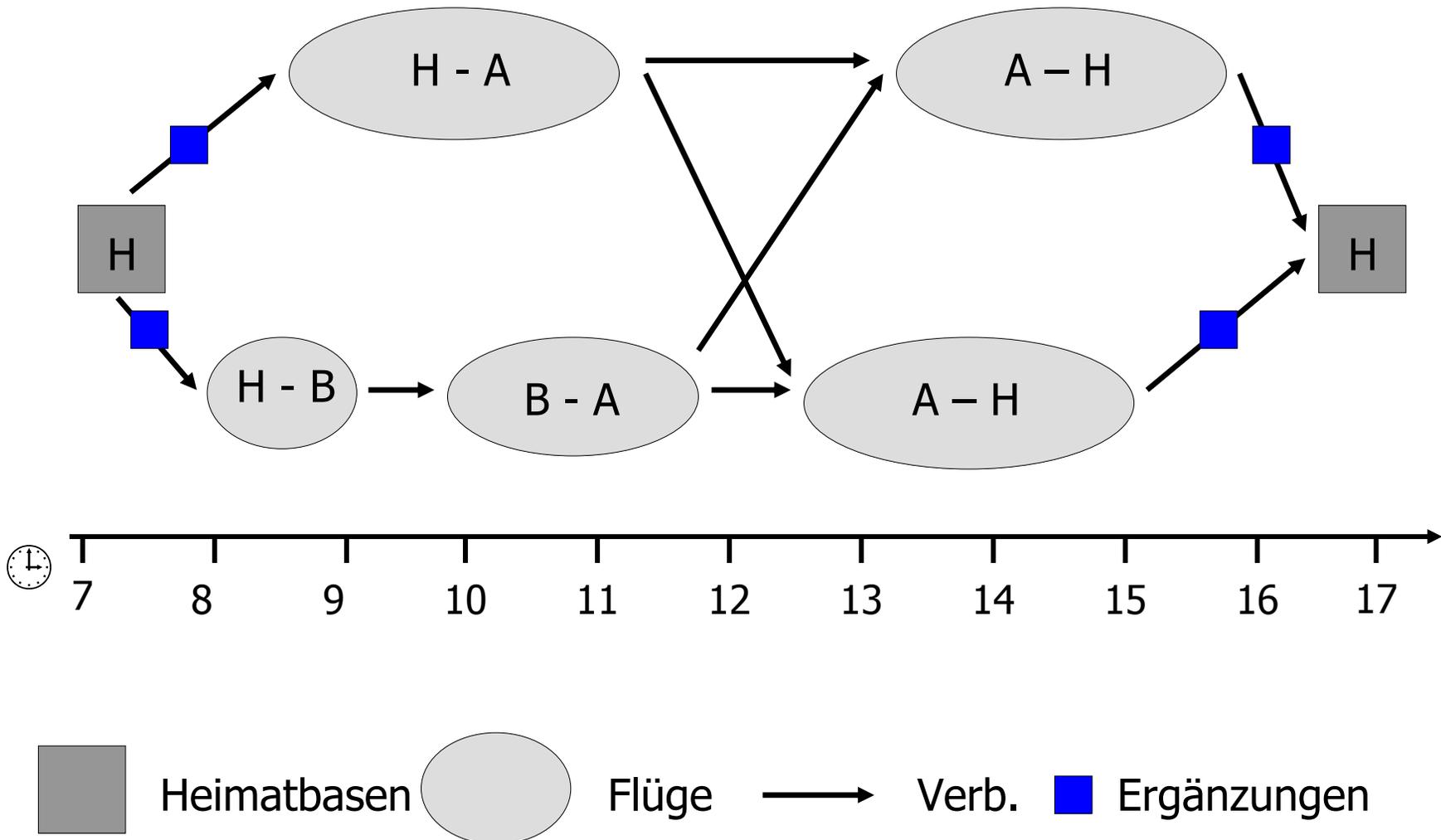
Graphentheoretisches Modell



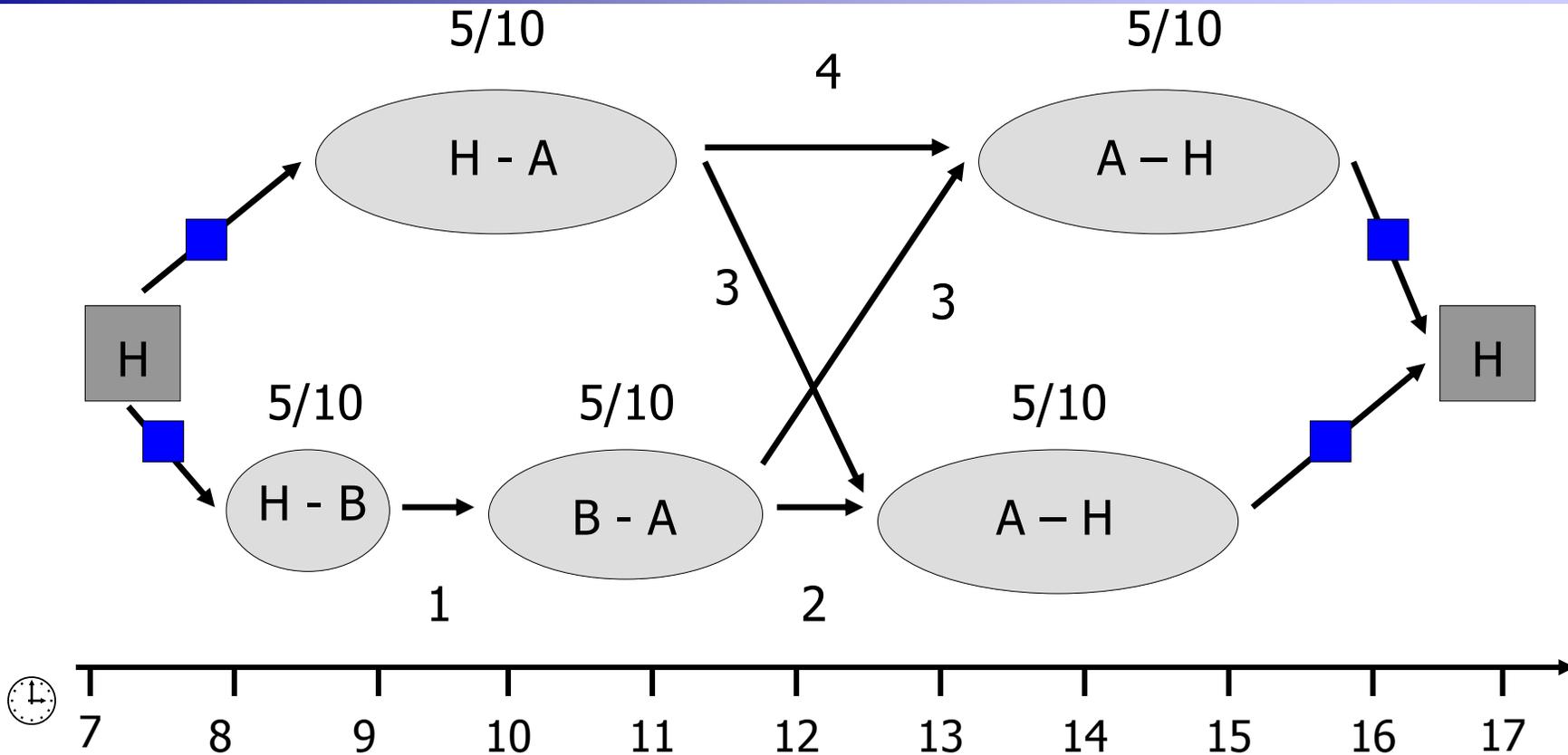
Graphentheoretisches Modell



Graphentheoretisches Modell



Graphentheoretisches Modell



Airline Crew Scheduling

Zweite Durchführungsverordnung zur Betriebsordnung für Luftfahrtgerät (2. DV LuftBO)

§ 8 Flugdienstzeiten der Besatzungsmitglieder

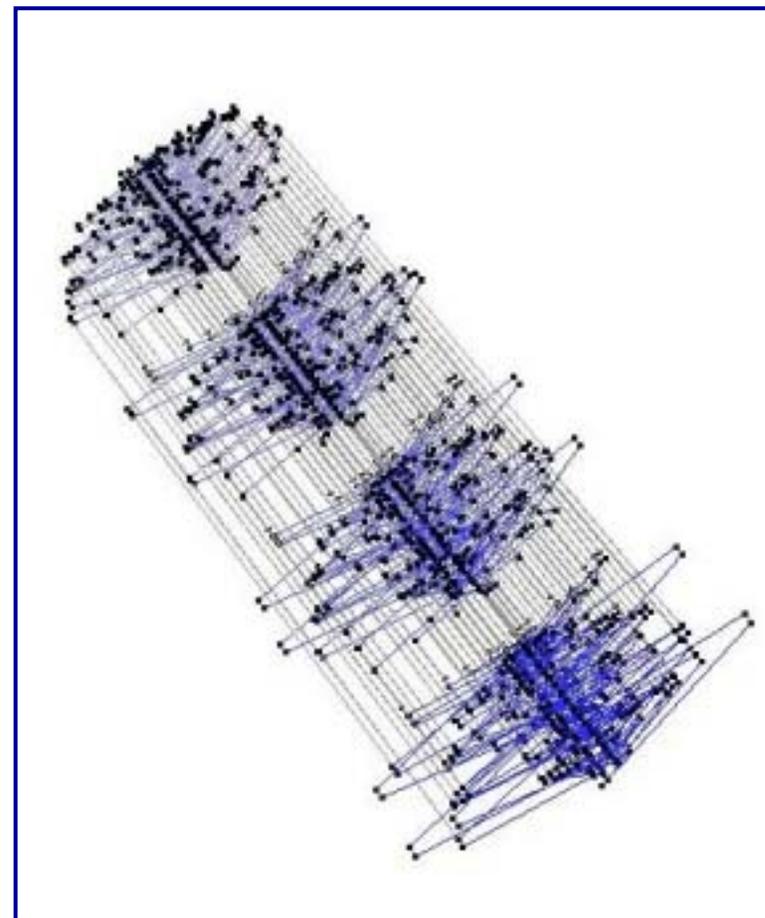
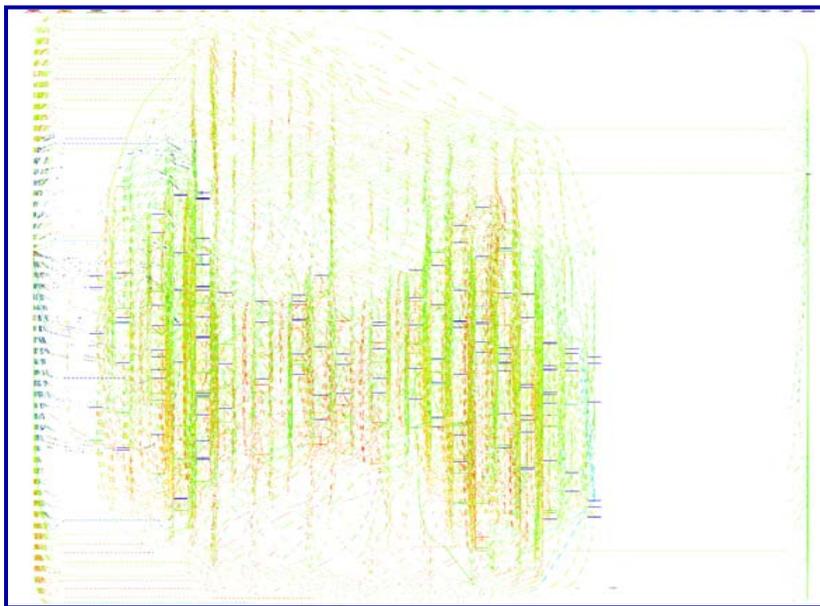
- (1) Die uneingeschränkte Flugdienstzeit jedes Besatzungsmitgliedes zwischen zwei Ruhezeiten beträgt 10 Stunden. Innerhalb 7 aufeinanderfolgender Tage ist eine viermalige Verlängerung der Flugdienstzeit nach Satz 1 bis 4 Stunden zulässig, wobei die Summe der Verlängerungen innerhalb jeweils 7 aufeinanderfolgender Tage 8 Stunden nicht überschreiten darf. Der Zeitraum von 7 aufeinanderfolgenden Tagen beginnt jeweils um 00.00 Uhr Mittlere Greenwich Zeit (MGZ) des ersten und endet um 24.00 Uhr MGZ des siebten Tages. Bei einem Luftfahrzeugführer, der während der Flugzeit nach Satz 1 ganz oder teilweise ohne Unterstützung durch ein weiteres Flugbesatzungsmitglied als Luftfahrzeugführer tätig wird, finden die Absätze 2 und 3 keine Anwendung.
- (2) Bei Flugbesatzungsmitgliedern verringert sich die nach Absatz 1 höchstzulässige Zeitverlängerung von 4 Stunden 1. um 1 Stunde, wenn der Flugdienst mehr als 2, jedoch weniger als 4 Stunden, 2. um 2 Stunden, wenn der Flugdienst 4 oder mehr Stunden zwischen 01.00 Uhr und 07.00 Uhr Ortszeit des Startflugplatzes (Winterzeit) ausgeübt wird.
- (3) Eine nach Absatz 2 verringerte Zeitverlängerung ist 1. bei mehr als 3, jedoch weniger als 6 Landungen um eine weitere Stunde, 2. bei mehr als 5 Landungen um 2 weitere Stunden zu kürzen.
- (4) Bei einer Verstärkung der vorgeschriebenen Mindestflugbesatzung und bei Vorhandensein geeigneter Schlafgelegenheiten in einem von dem Führerraum un der Kabine abgetrennten Raum kann die Aufsichtsbehörde auf schriftlichen Antrag ein zweimalige Verlängerung der Flugdienstzeit nach Absatz 1, Satz 1 bis zu 8 Stunden innerhalb 7 aufeinanderfolgender Tage zulassen. Die mit der Führung und Bedienung des Luftfahrzeugs verbrachte Zeit jedes Flugbesatzungsmitglieds darf hierbei 12 Stunden nicht überschreiten. Für die Flugbegleiter sind angemessene Arbeitspausen während des Fluges vorzusehen. Für diesen Zweck sind Ruhesitze vorzuhalten. Im übrigen gilt § 12 Absatz 3 entsprechend.
- (5) Die Flugdienstzeiten dürfen innerhalb von 30 aufeinanderfolgenden Tagen 210 Stunden, innerhalb eines Kalenderjahres 1800 Stunden nicht überschreiten.

Base-Constraints



- Anzahl Pairing-Starts pro Basis
- Anzahl Pairings-Starts pro Basis pro Tag
- Etc.

Planungsgraph



- Dienstplanung im ÖPNV

- Airline Crew Scheduling

IP-Modell

(Set-Partitioning-Problem mit Base-Constraints)

$$\begin{array}{llll}
 \min & \sum_p c_p x_p & & \\
 & \sum_{\ell \in p} x_p = 1 & \forall \ell & \text{Flüge} \\
 & \sum_{p \in b} x_p \leq \kappa_b & \forall b & \text{Basen} \\
 & x_p \in \{0,1\} & \forall p & 0/1
 \end{array}$$

Telebus



LBW



Home

kontakt

Über uns

Leistungen

Hilfe &
Betreuung
Eingliederungs-
hilfen

Jugendhilfe-
einrichtungen

Forum

Gästebuch

Design:
Hermann Stabel



Herzlich willkommen auf unserer Webseite.

Wir bieten Ihnen Informationen rund um das Thema Pflege und informieren Sie über unseren Pflegedienst, unsere Leistungen und unseren Service.



Unser Internetangebot richtet sich an:

- pflegebedürftige Menschen,
- Angehörige von Pflegebedürftigen,
- pflegeinteressierte Laien und an pflegerisches Fachpublikum.
- Seniorinnen und Senioren.



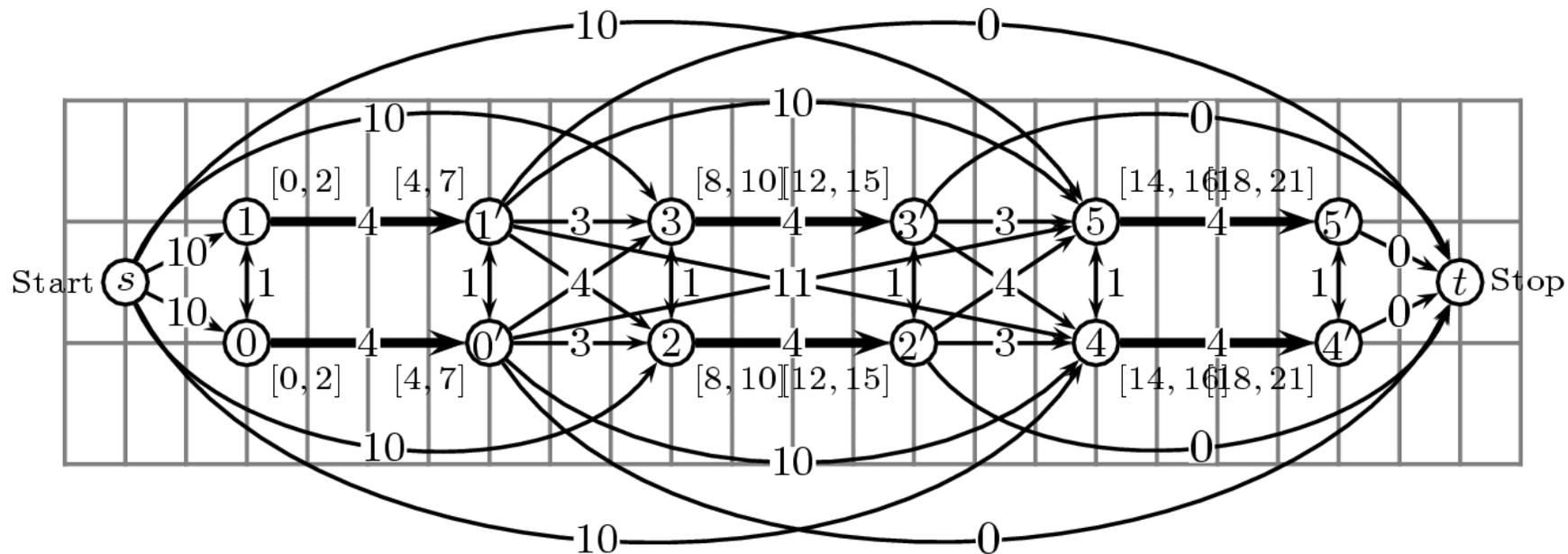
EIMSBUETTTEL

HAMBURG-NORD

HAMBURG-MITTE

Das rote Pfeil zeigt die Richtung der Hauptverkehrsachse an.
Die roten Punkte markieren die Standorte der Hauptverkehrsachsen.

Graphentheoretisches Modell



- Regeln: Zeitfenster

Alle 48 Touren

x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}	x_{28}	x_{29}	x_{30}	x_{31}	x_{32}	x_{33}	x_{34}	x_{35}	x_{36}	x_{37}	x_{38}	x_{39}	x_{40}	x_{41}	x_{42}	x_{43}	x_{44}	x_{45}	x_{46}	x_{47}	x_{48}		
0	1		
1	.	1	.	.	.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	.	.	.	1	.	.	.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	.	.	.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$a_{\cdot 0}$	$a_{\cdot 1}$	$a_{\cdot 2}$	$a_{\cdot 3}$	$a_{\cdot 4}$	$a_{\cdot 5}$	$a_{\cdot 6}$	$a_{\cdot 7}$	$a_{\cdot 8}$	$a_{\cdot 9}$	$a_{\cdot 10}$	$a_{\cdot 11}$	$a_{\cdot 12}$	$a_{\cdot 13}$	$a_{\cdot 14}$	$a_{\cdot 15}$	$a_{\cdot 16}$	$a_{\cdot 17}$	$a_{\cdot 18}$	$a_{\cdot 19}$	$a_{\cdot 20}$	$a_{\cdot 21}$	$a_{\cdot 22}$	$a_{\cdot 23}$	$a_{\cdot 24}$	$a_{\cdot 25}$	$a_{\cdot 26}$	$a_{\cdot 27}$	$a_{\cdot 28}$	$a_{\cdot 29}$	$a_{\cdot 30}$	$a_{\cdot 31}$	$a_{\cdot 32}$	$a_{\cdot 33}$	$a_{\cdot 34}$	$a_{\cdot 35}$	$a_{\cdot 36}$	$a_{\cdot 37}$	$a_{\cdot 38}$	$a_{\cdot 39}$	$a_{\cdot 40}$	$a_{\cdot 41}$	$a_{\cdot 42}$	$a_{\cdot 43}$	$a_{\cdot 44}$	$a_{\cdot 45}$	$a_{\cdot 46}$	$a_{\cdot 47}$	$a_{\cdot 48}$		
14	14	14	14	14	14	16	21	22	28	29	22	21	29	28	16	21	22	22	21	16	23	23	30	30	23	28	29	30	29	30	23	29	30	29	28	30	23	23	25	30	31	31	30	32	30	31	31	30		
c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9	c_{10}	c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{14}	c_{15}	c_{16}	c_{17}	c_{18}	c_{19}	c_{20}	c_{21}	c_{22}	c_{23}	c_{24}	c_{25}	c_{26}	c_{27}	c_{28}	c_{29}	c_{30}	c_{31}	c_{32}	c_{33}	c_{34}	c_{35}	c_{36}	c_{37}	c_{38}	c_{39}	c_{40}	c_{41}	c_{42}	c_{43}	c_{44}	c_{45}	c_{46}	c_{47}	c_{48}		

IP-Modell

(Set-Partitioning-Problem)

Minimize

obj :

$$14x_0 + 14x_1 + 14x_2 + 14x_3 + 14x_4 + 14x_5 + 16x_6 + 21x_7 + 22x_8 + 28x_9 + 29x_{10} + 22x_{11} + 21x_{12} + 29x_{13} + 28x_{14} + 16x_{15} + 21x_{16} + 22x_{17} + 22x_{18} + 21x_{19} + 16x_{20} + 23x_{21} + 23x_{22} + 30x_{23} + 30x_{24} + 23x_{25} + 28x_{26} + 29x_{27} + 30x_{28} + 29x_{29} + 30x_{30} + 23x_{31} + 29x_{32} + 30x_{33} + 29x_{34} + 28x_{35} + 30x_{36} + 23x_{37} + 23x_{38} + 25x_{39} + 30x_{40} + 31x_{41} + 31x_{42} + 30x_{43} + 32x_{44} + 30x_{45} + 31x_{46} + 31x_{47} + 30x_{48}$$

Subject To

$$C0: x_0 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{30} + x_{39} + x_{40} + x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} = 1$$

$$C1: x_1 + x_6 + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{39} + x_{40} + x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{47} + x_{48} = 1$$

$$C2: x_2 + x_7 + x_{11} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{21} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{37} + x_{39} + x_{40} + x_{41} + x_{45} + x_{47} = 1$$

$$C3: x_3 + x_8 + x_{12} + x_{15} + x_{18} + x_{19} + x_{22} + x_{25} + x_{28} + x_{29} + x_{31} + x_{34} + x_{35} + x_{38} + x_{39} + x_{42} + x_{43} + x_{46} + x_{48} = 1$$

$$C4: x_4 + x_9 + x_{13} + x_{16} + x_{18} + x_{20} + x_{23} + x_{26} + x_{28} + x_{30} + x_{32} + x_{34} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{40} + x_{42} + x_{44} + x_{45} + x_{46} + x_{47} + x_{48} = 1$$

$$C5: x_5 + x_{10} + x_{14} + x_{17} + x_{19} + x_{20} + x_{24} + x_{27} + x_{29} + x_{30} + x_{33} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{41} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} + x_{47} + x_{48} = 1$$

Binary

$$x_0 x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10} x_{11} x_{12} x_{13} x_{14} x_{15} x_{16} x_{17} x_{18} x_{19} x_{20} x_{21} x_{22} x_{23} x_{24} x_{25} x_{26} x_{27} x_{28} x_{29} x_{30} x_{31} x_{32} x_{33} x_{34} x_{35} x_{36} x_{37} x_{38} x_{39} x_{40} x_{41} x_{42} x_{43} x_{44} x_{45} x_{46} x_{47} x_{48}$$

End

IP-Modell

(Set-Partitioning-Problem mit Base-Constraints)

$$\begin{array}{llll}
 \min & \sum_t c_t x_t & & \\
 & \sum_{w \in t} x_t = 1 & \forall w & \text{Wünsche} \\
 & \sum_{t \in f} x_t \leq K_f & \forall f & \text{Flotten} \\
 & x_t \in \{0,1\} & \forall t & 0/1
 \end{array}$$

Tourenplanungs-System

(IntraCity von IntraNetz GmbH)

The screenshot displays the IntraCity tour planning system interface. The main map shows a city grid with a route highlighted in blue, red, and green. The interface includes a detailed street view inset, a control panel with zoom and navigation tools, a regional overview map, and a status bar at the bottom.

Control Panel:

- Zoom: 31,99
- Navigation: Von Über Nach
- Buttons: Route, Neu, Druck

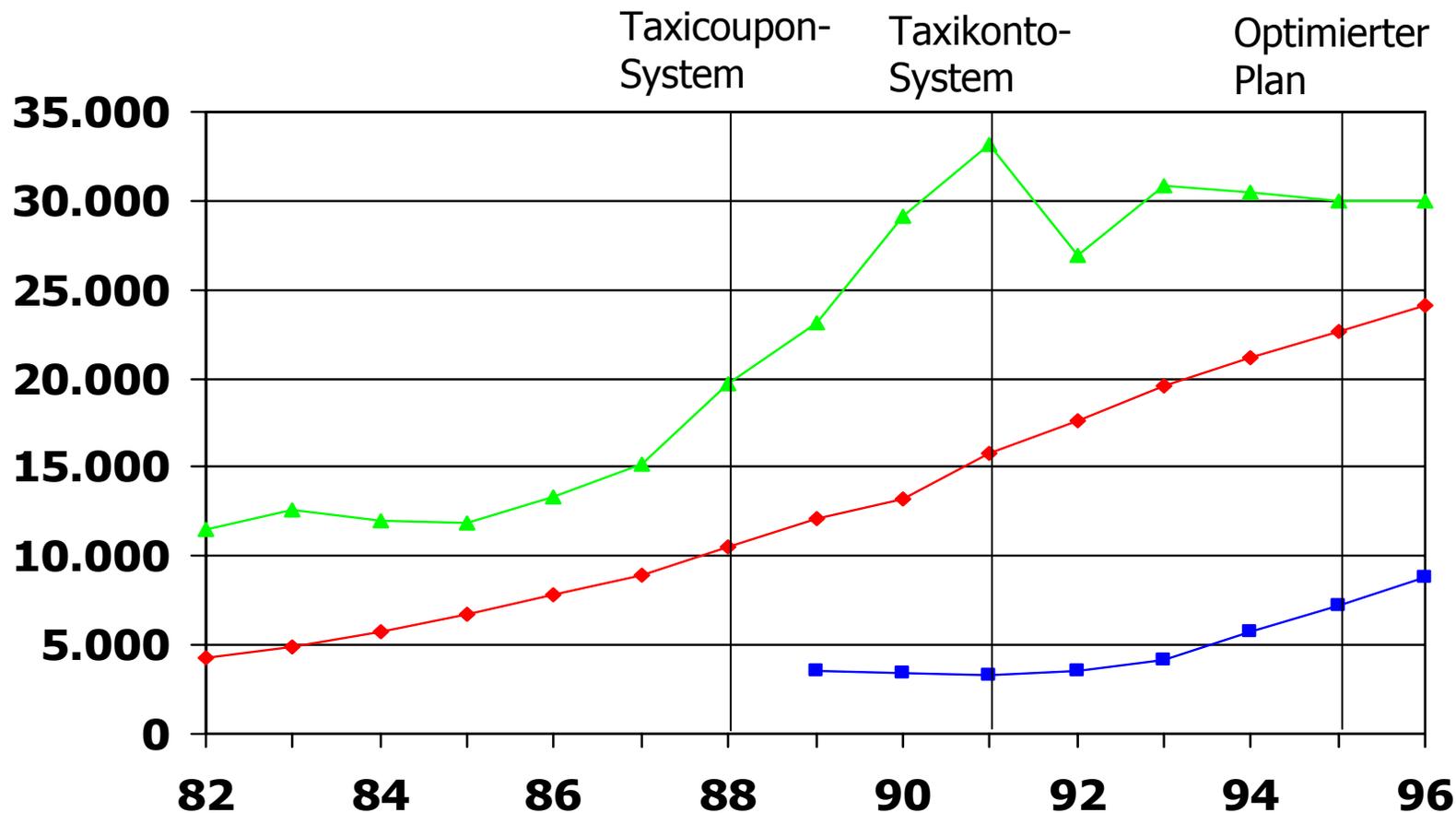
Status Bar:

ZOOM : 31,99 km Center 4593074,74 5821259,10 0 17,00 Km 25 Minuten Link closed

LBW



Historie



◆ **Berecht./1.000**
 ■ **Nutzer/1.000**
 ▲ **Kosten/Mio DM**

Danke für die Aufmerksamkeit!



- Dr. Ralf Borndörfer
Zuse-Institut Berlin (ZIB)
Takustr. 7
14195 Berlin
Deutschland

Fon (+49 30) 84185-243

Fax (+49 30) 84185-269

borndoerfer@zib.de

www.zib.de/borndoerfer