

Verkehrsoptimierung: Umlaufplanung & Dienstplanung

TU Berlin
Summer Semester 2012
Lecture on June 11, 2012

Ralf Borndörfer & Martin Grötschel
ZIB, TU, and MATHEON, Berlin



Ralf Borndörfer

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

borndoerfer@zib.de

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

Gliederung

- Verkehrsoptimierung: ein kurzer Überblick
- Umlaufplanung
- Dienstplanung
- Integrierte Umlauf- und Dienstplanung
- Einige Ergebnisse



Gliederung

- **Verkehrsoptimierung: ein kurzer Überblick**
- Umlaufplanung
- Dienstplanung
- Integrierte Umlauf- und Dienstplanung
- Einige Ergebnisse



Planungsprozess im ÖPNV

Angebotsplanung

Line network map (Linienetz Stadtverkehrs Potsdam) and detailed route information for BUS 690 (S Babelsberg -> Am Stern, Johannes-Kepler-Platz). Includes a list of stops and a tariff table for the Potsdam region.

Kategorie	Einzel	Tag	Monat
Einzelkarte	1,00	2,20	3,80
Tagkarte	1,40	3,00	5,00
Monatskarte	1,30	2,40	13,00
Anschaffungskosten	1,10	2,30	3,70

Operative Planung

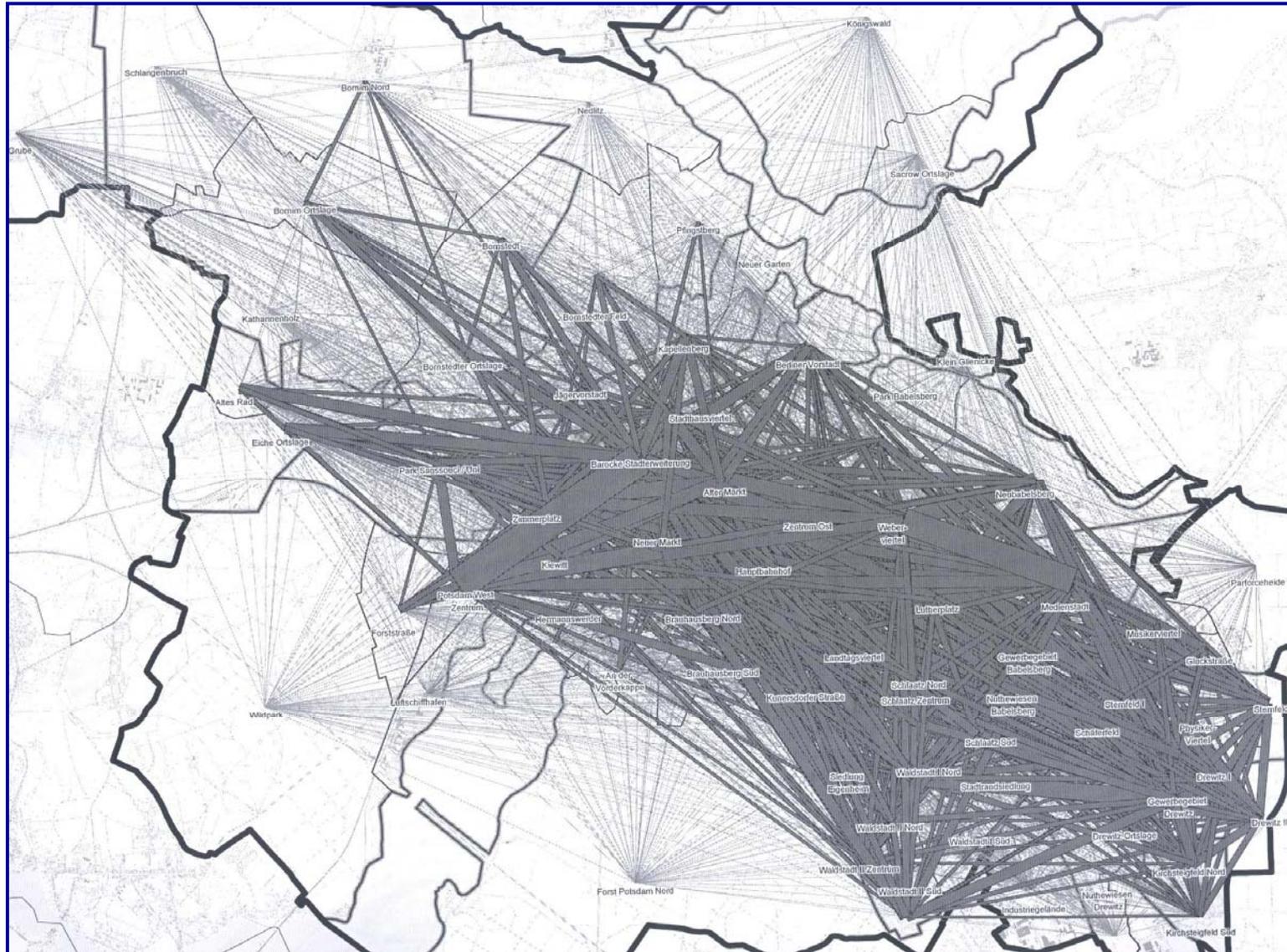
Operative planning software showing train timetables and a detailed data table for train operations.

Zug...	Li...	Uml...	Soll...	Soll-Fzg	Soll-Z...	Ist-Fzg	R...	Ist-Zusi	t...
7255	S2	217	18	423 221	11:48	423 221	0	1B	
7255	S2	227	28	423 058	11:48	423 058	0	2B	
7555	S5	507	18	423 365	11:51	423 365	0	1B	
7555	S5	508	28	423 219	11:51	423 219	0	2B	
7155	S1	127	28	423 159	11:53	423 159	0	2B	
7855	S8	822	18	423 288	11:55	423 288	0	1B	
7855	S8	823	28	423 148	11:55	423 148	0	2B	
7455	S4	408	18	423 318	11:58	423 318	0	1B	
7455	S4	409	28	423 282	11:58	423 282	0	2B	
7755	S7	714	18	423 269	12:02	423 269	0	1B	
7755	S7	713	28	423 169	12:02	423 169	0	2B	
7655	S6	602	18	423 225	12:04	423 225	0	1B	
7655	S6	601	28	423 155	12:04	423 155	0	2B	1A
7257	S2	226	18	423 115	12:08				
7257	S2	205	28	423 183	12:08				
7557	S5	518	18	423 235	12:11				
7557	S5	519	28	423 106	12:11				
7157	S1	115	18	423 079	12:13				
7157	S1	114	28	423 267	12:13				
7857	S8	820	18	423 174	12:15				
7857	S8	821	28	423 285	12:15				
7457	S4	412	18	423 281	12:18				
7457	S4	413	28	423 264	12:18				
7757	S7	708	18	423 167	12:22				
7757	S7	707	28	423 075	12:22				
7577	S5	515	18	423 168	12:24				

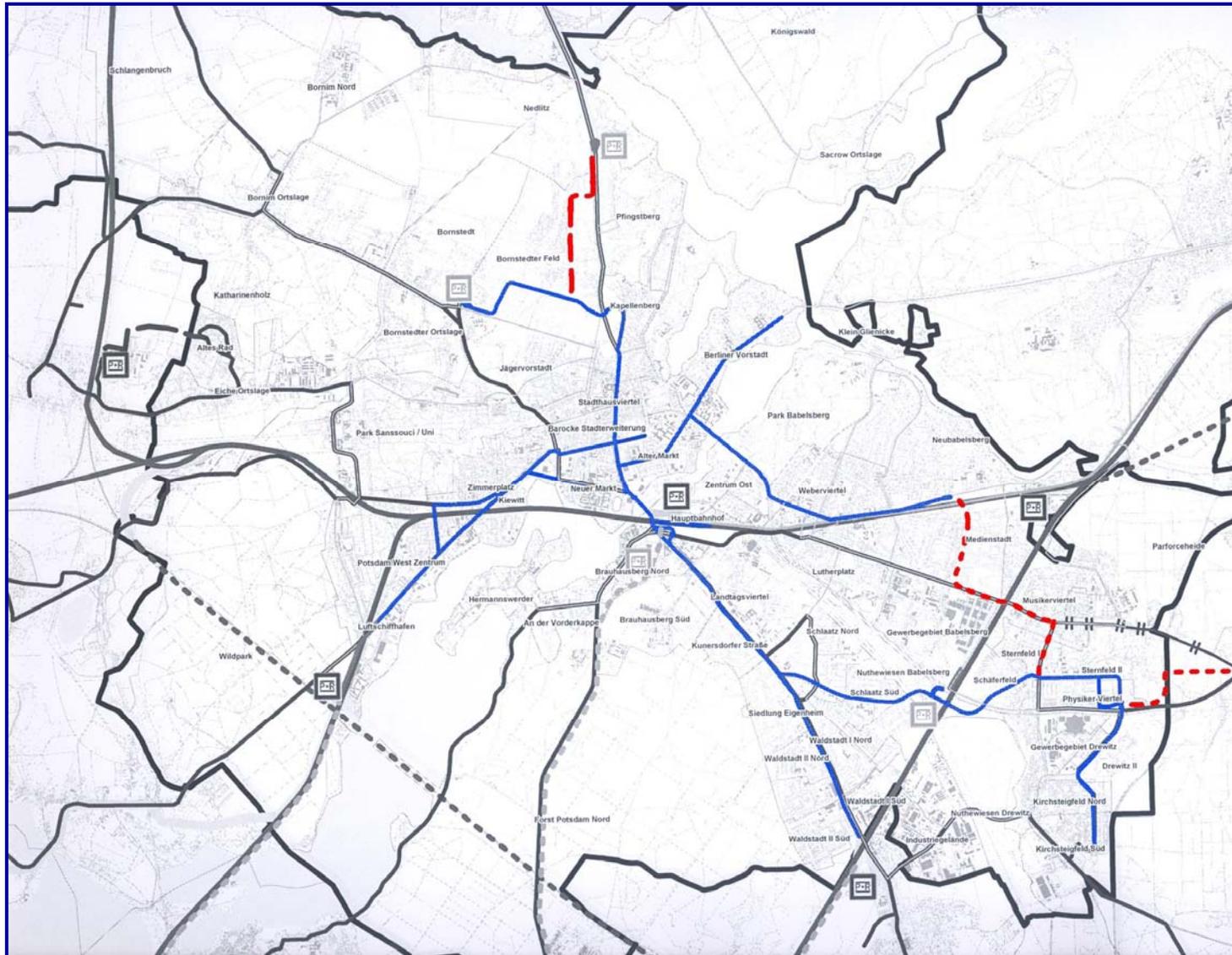
Betriebsleitung



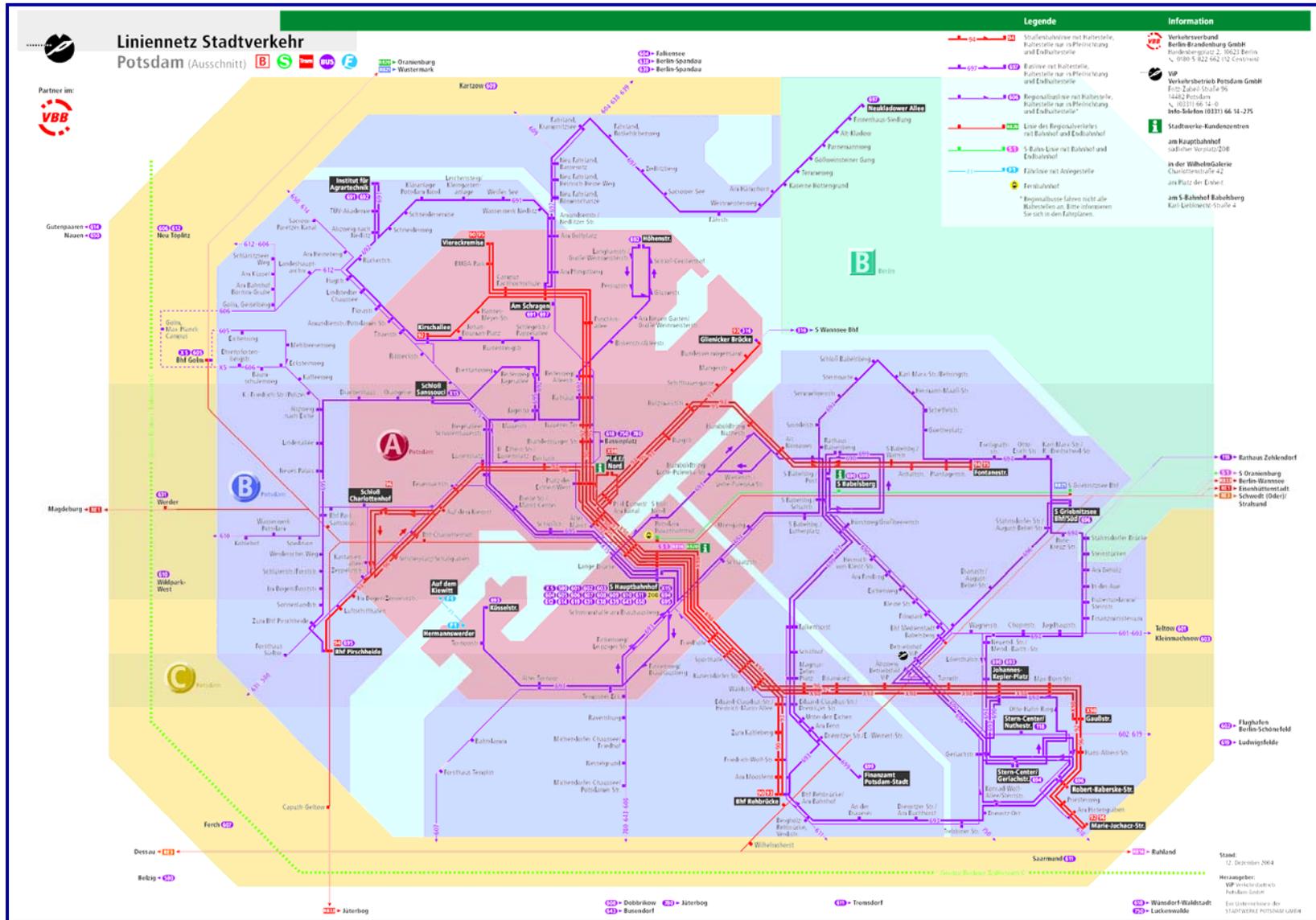
Nachfrage



Netzentwurf



Linien



Preise

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)

Tarfbereich	A B B C EUR	EUR	A B C EUR
Bartarif			
Einzelfahrausweis			
Kurzstrecke Potsdam	Regeltarif	1,00	
(6 Haltestellen, Föhre)	Ermäßigungstarif*	0,80	
Einzelfahrt (60 Minuten)	Regeltarif	1,40	2,20
	Ermäßigungstarif*	1,10	1,70
Tageskarte			
Karte für 1 Person	Regeltarif	3,20	5,00
	Ermäßigungstarif*	2,40	3,80
Kleingruppenkarte	(bis max. 5 Personen)	8,10	13,00
Schülergruppenkarte	(ab 10 Pers./Preis p. P/bis Klassenst. 8)	1,60	2,50
Anschlussfahrausweis (60 Minuten)		1,10	
(Ergänzung für fehlenden Tarfbereich)			

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

Tarfbereich	A R EUR	R C EUR	A B C EUR
Bartarif			
Einzelfahrausweis			
Kurzstrecke Berlin	Regeltarif	1,20	
	Ermäßigungstarif*	1,00	
Einzelfahrt (120 Minuten)	Regeltarif	2,00	2,25 2,60
	Ermäßigungstarif*	1,40	1,55 1,90
Tageskarte			
Karte für 1 Person	Regeltarif	5,60	5,70 6,00
	Ermäßigungstarif*	4,20	4,30 4,50
Kleingruppenkarte	(bis max. 5 Personen)	14,00	14,30 15,00
Schülergruppenkarte	(ab 10 Pers./Preis p. P/bis Klassenst. 8)	2,20	3,30
Anschlussfahrausweis (120 Minuten)		1,30	

Für Potsdam und die anderen kreisfreien Städte sowie Berlin sind spezifische Tarfbereiche definiert, die sich in unterschiedliche Teilbereiche A, B und C gliedern.

Für Potsdam: **A** engeres Stadtgebiet

B übriges Stadtgebiet¹⁾

C Umland-Gebiet

Für Berlin: **A** City-Bereich Berlin
einschl. innerer S-Bahnring

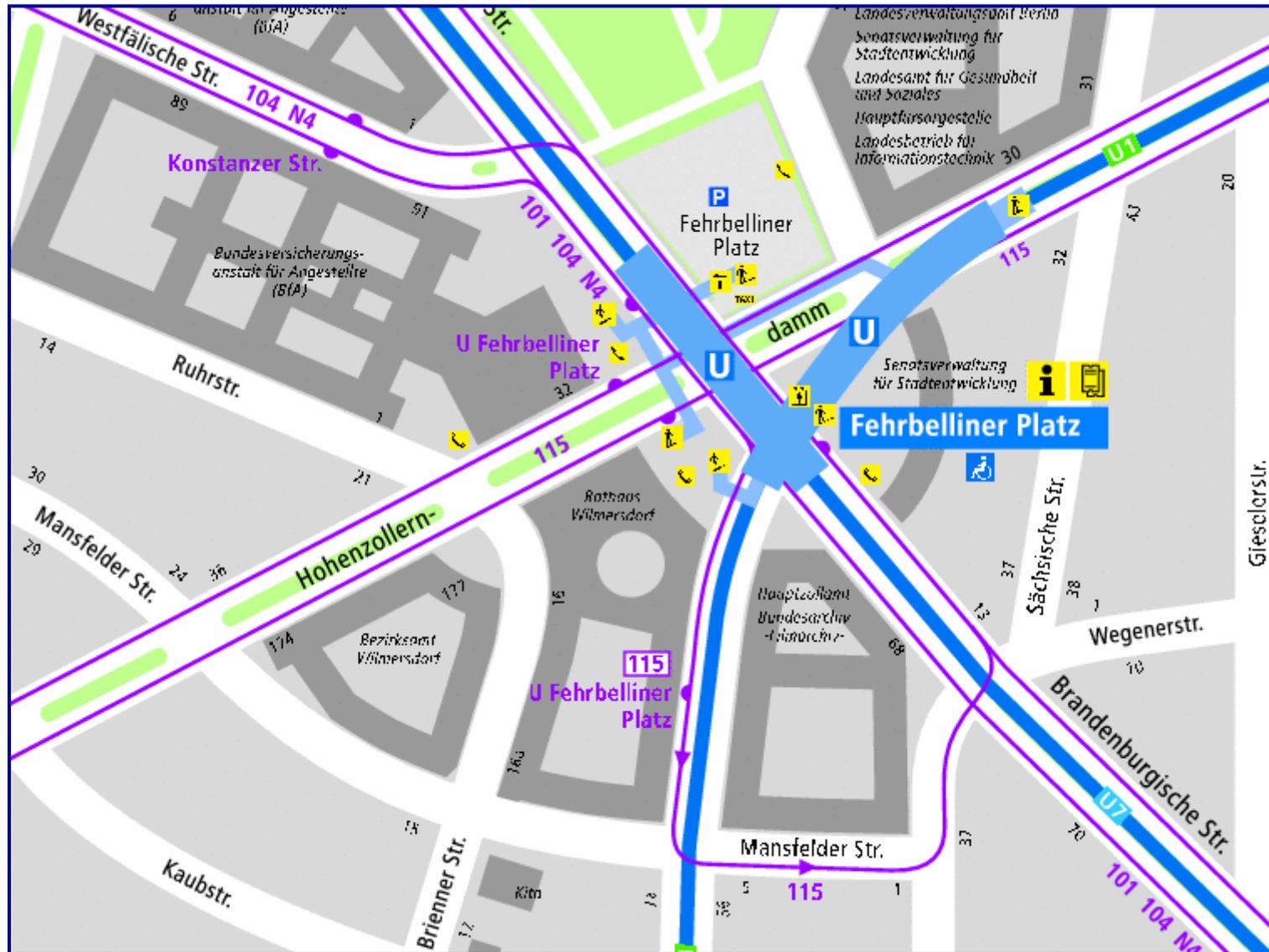
R übriges Stadtgebiet

C Berlin Umland-Gebiet Berlin
einschl. Stadt Potsdam bis ca. 15 km ab Stadtgrenze

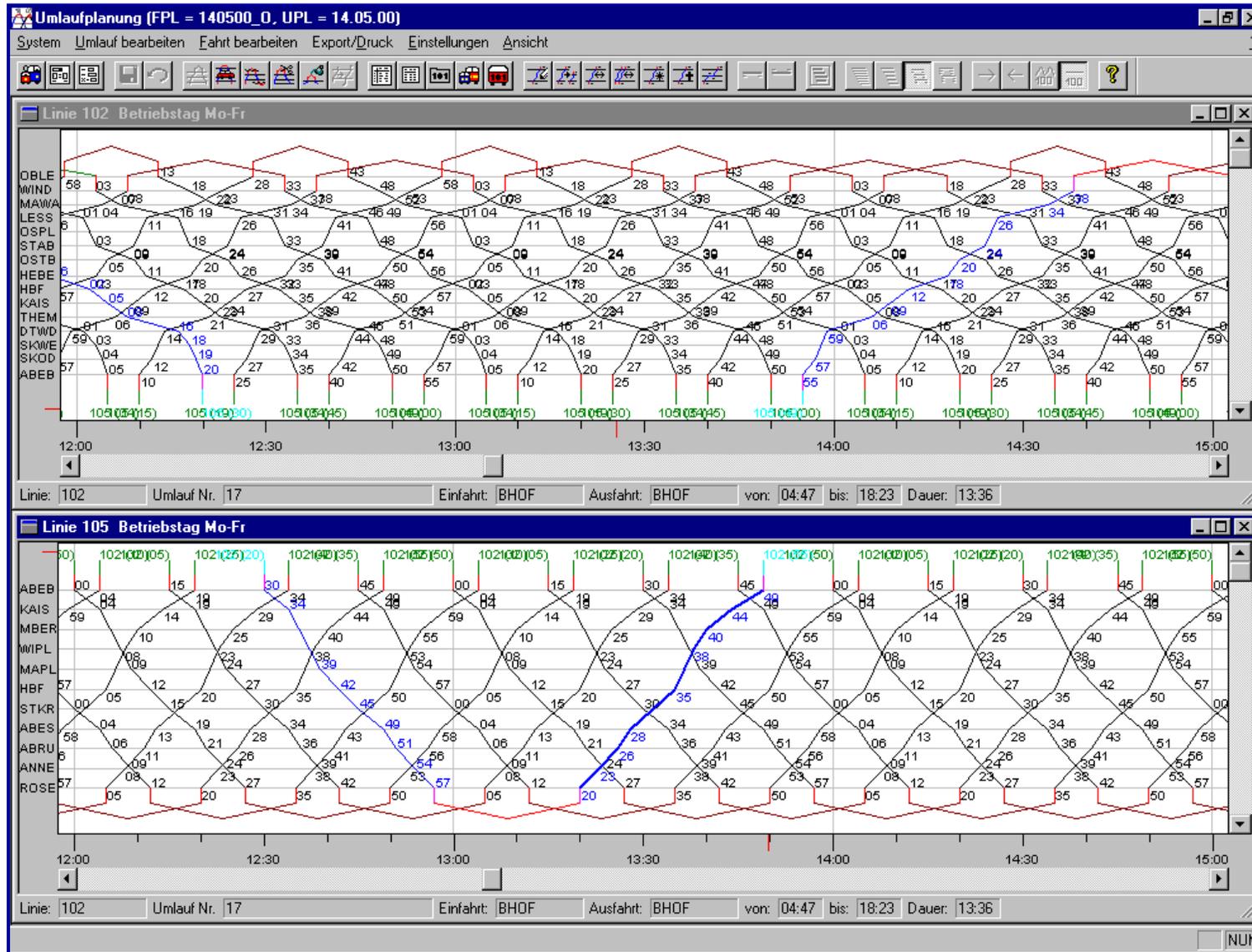
¹⁾ außer Ortsteile Groß Glienicke, Marquardt, Satz Korn, Fahrland, Neu Fahrland, Paaren, Uetz und Golm



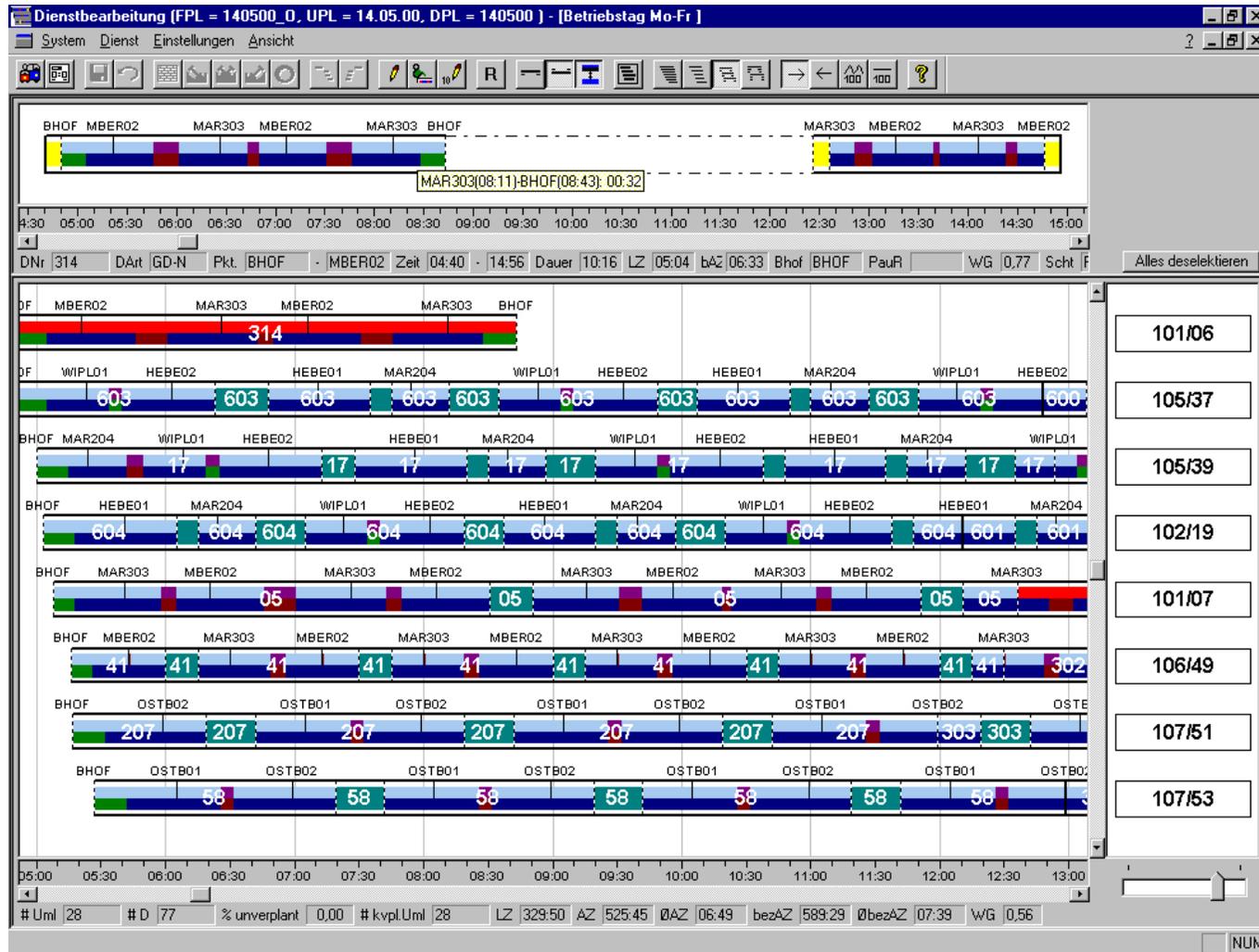
Anschlüsse



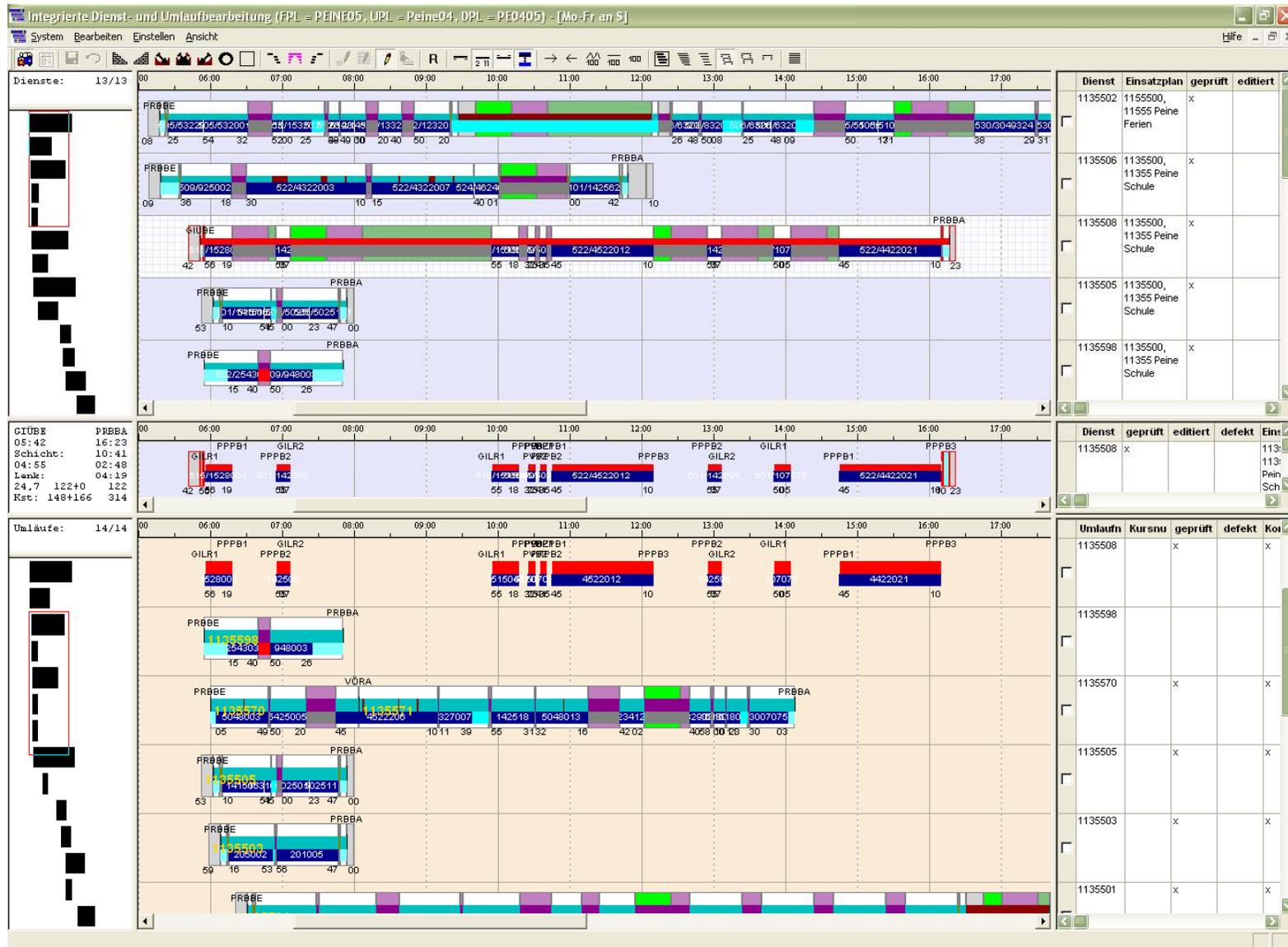
Umläufe



Dienste



Integrierte Umlauf- und Dienstplanung



Dienstreihenfolge

Einsatzplanmatrix

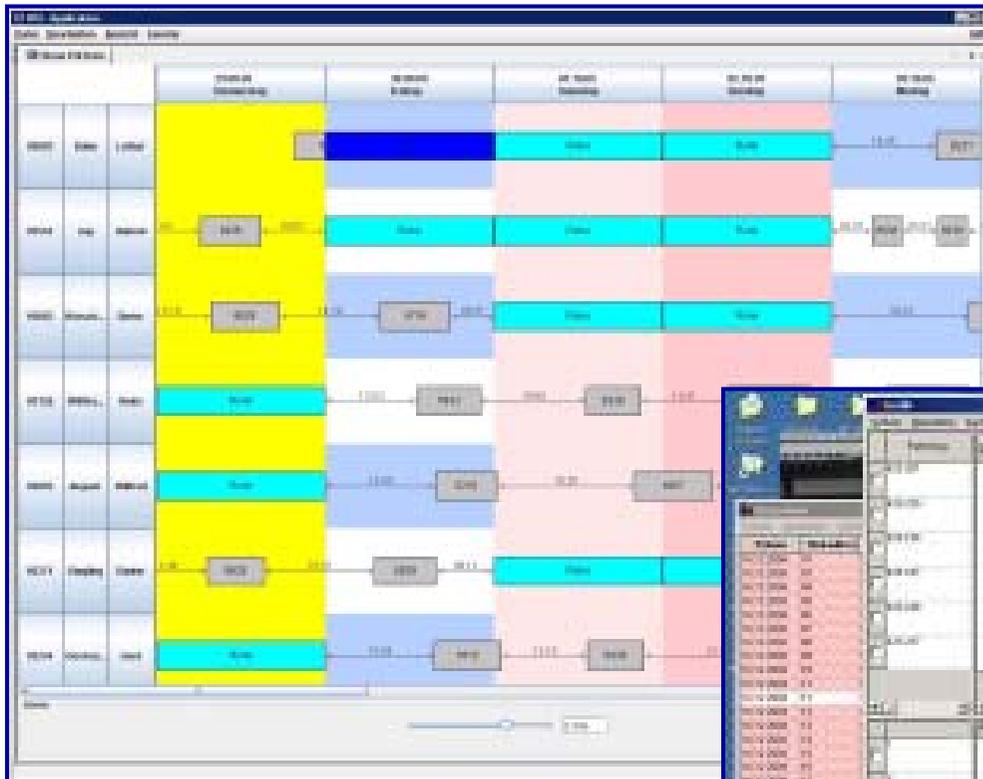
System Auswahl Bearbeiten Schema Ansicht Einstellungen Auswertungen Hilfe

Plan 1

	Do 01.06.00 So 140500	Fr 02.06.00 Mo-Fr 140500	Sa 03.06.00 Sa 140500	So 04.06.00 So 140500	Mo 05.06.00 Mo-Fr 140500	Di 06.06.00 Mo-Fr 140500	Mi 07.06.00 Mo-Fr 140500	Do 08.06.00 Mo-Fr 140500	Fr 09.06.00 Mo-Fr 140500	Sa 10.06.00 Sa 140500	So 11.06.00 So 140500	Mo 12.06.00 So 140500	Di 13.06.00 Mo-Fr 140500	Mi 14.06.00 Mo-Fr 140500
1	704	R		Free	Free	86	704	307	86	E Free		Free	Free	705
2	307	86	E Free		Free	Free	705	303	705	E Free	52	704	Free	Free
3	303	705	E Free	52	704	Free	Free	R	704	35	64	309	701	Free
4	R	704	35	64	309	701	Free	Free	309	04	35	311	705	306
5	Free	309	04	35	311	705	306	Free	Free	42	16	304	704	303
6	Free	Free	42	16	304	704	303		Free	Free		307	309	701
7		Free	Free		307	309	701	705	R	Free	Free	306	311	309
8	705	R	Free	Free	306	311	309	701	311		Free	Free	304	311
9	701	311		Free	Free	304	311	309	306	R	65	Free	Free	304
10	309	306	R	65	Free	Free	304	311	304	24	700	303	Free	Free
11	311	304	24	700	303	Free	Free	314	314	06	703	701	307	Free
12	314	314	06	703	701	307	Free	Free	303	23	702	314	306	307
13	Free	303	23	702	314	306	307	Free	Free	05	701	18	59	59
14	Free	Free	05	701	18	59	59	59	Free	Free	05	59	314	314
15	59	Free	Free	05	59	314	314	304	72	Free	Free	72	18	18
16	304	72	Free	Free	72	18	18	18	59		Free	Free	72	72
17	18	59		Free	Free	72	72	72	18	17		705	303	86

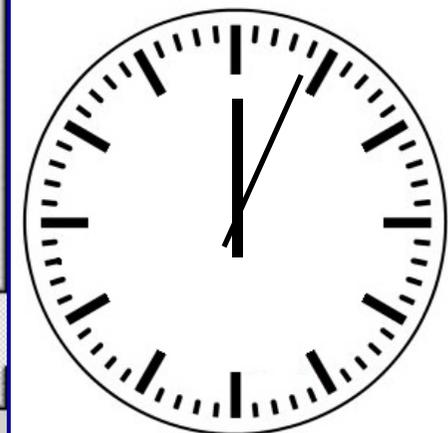


Fahrzeug- und Personaldisposition



Betriebsleitung

Zugf...	Li...	Uml...	Soll...	Soll-Fzg	Soll-Z...	Ist-Fzg	R...	Ist-Zusi	t ▲
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	508	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	423 269	12:02	423 269	+4	1B	
7755	S7	713	2B	423 169	12:02	423 169	+4	2B	
7655	S6	602	1B	423 225	12:04		0		
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				
7657	S6	615	1B	423 066	12:24				

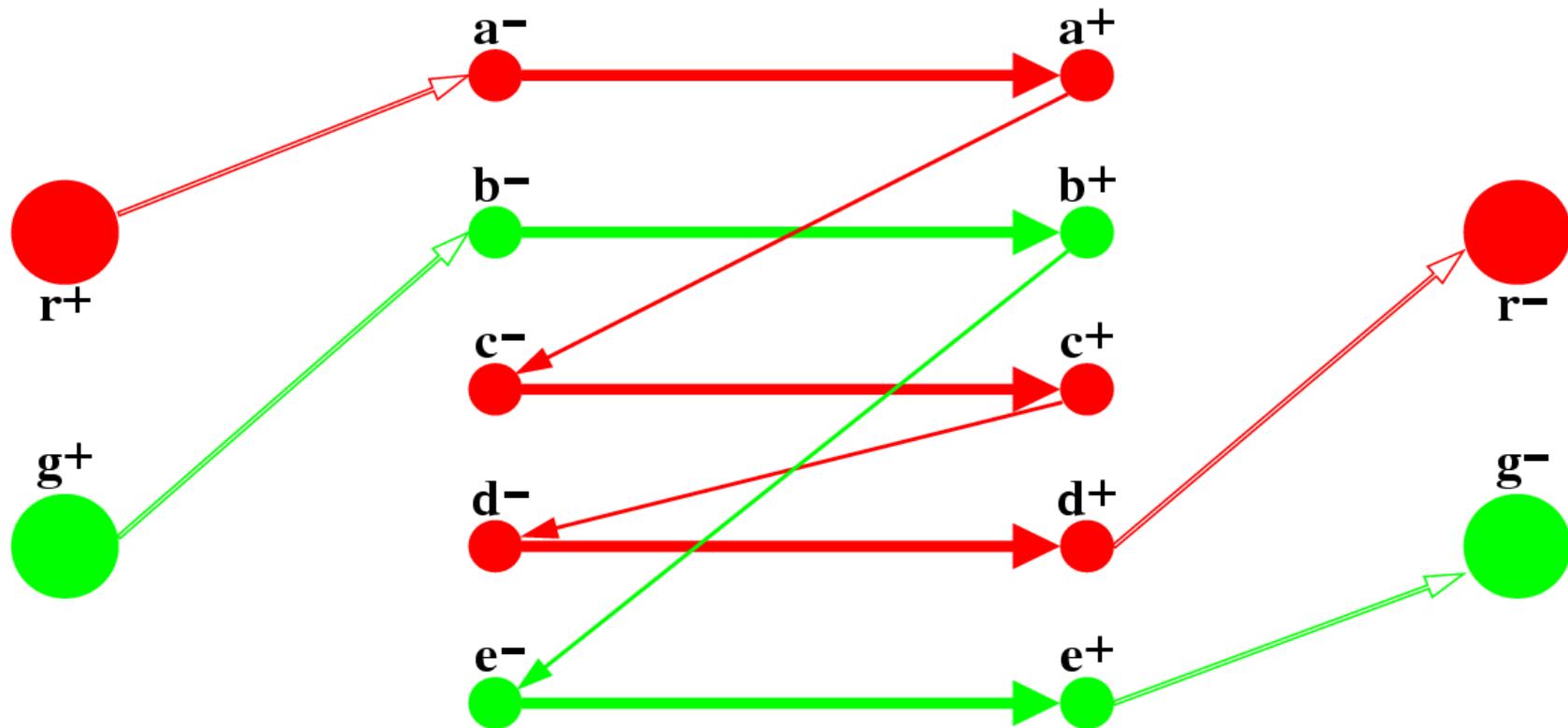


Gliederung

- Verkehrsoptimierung: ein kurzer Überblick
- **Umlaufplanung**
- Dienstplanung
- Integrierte Umlauf- und Dienstplanung
- Einige Ergebnisse



Umlaufplanung im ÖPNV



Ganzzahliges Programm

(Mehrgüterflussproblem)

$$\min \sum_d \sum_{ij} c_{ij}^d x_{ij}^d$$

$$\sum_i x_{ij}^d - \sum_k x_{jk}^d = 0 \quad \forall j, d \quad \text{Vehicle flow}$$

$$\sum_d \sum_i x_{ij}^d = 1 \quad \forall j \quad \text{Timetabled trips}$$

$$\sum_j x_{0j}^d \leq \kappa_d \quad \forall d \quad \text{Depot capacities}$$

$$x_{ij}^d \in \{0,1\} \quad \forall ij, d \quad \text{Deadhead trips}$$

- Lösungsansatz Lagrange-Relaxierung
 - Subproblem: unabhängige Minimalkostenflussprobleme
 - Subproblem: ein grosses Minimalkostenflussproblem



Standard Performance Evaluation Corporation

home benchmarks results contact site map site search help

Entwicklung von Qualitätssoftware, die sogar zu Hardwaretests verwendet wird.

CINT2006 (Integer Component of SPEC CPU2006):

Benchmark	Language	Application Area	Brief Description
400.perbench	C	Programming Language	Derived from Perl V5.8.7. The workload includes SpamAssassin, MHonArc (an email indexer), and specdiff (SPEC's tool that checks benchmark outputs).
401.bzip2	C	Compression	Julian Seward's bzip2 version 1.0.3, modified to do most work in memory, rather than doing I/O.
403.gcc	C	C Compiler	Based on gcc Version 3.2, generates code for Opteron.
429.mcf	C	Combinatorial Optimization	Vehicle scheduling. Uses a network simplex algorithm (which is also used in commercial products) to schedule public transport.
445.gobmk	C	Artificial Intelligence: Go	Plays the game of Go, a simply described but deeply complex game.
456.hmmer	C	Search Gene Sequence	Protein sequence analysis using profile hidden Markov models (profile HMMs)
458.sjeng	C	Artificial Intelligence: chess	A highly-ranked chess program that also plays several chess variants.
462.libquantum	C	Physics / Quantum Computing	Simulates a quantum computer, running Shor's polynomial-time factorization algorithm.
464.h264ref	C	Video Compression	A reference implementation of H.264/AVC, encodes a videostream using 2 parameter sets. The H.264/AVC standard is expected to replace MPEG2
471.omnetpp	C++	Discrete Event Simulation	Uses the OMNet++ discrete event simulator to model a large Ethernet campus network.
473.astar	C++	Path-finding Algorithms	Pathfinding library for 2D maps, including the well known A* algorithm.
483.xalancbmk	C++	XML Processing	A modified version of Xalan-C++, which transforms XML documents to other document types.

Home - Contact - Site Map - Privacy - About SPEC

webmaster@spec.org
 Last updated: Thu Aug 24 00:44:00 EDT 2006
 Copyright 1995 - 2008 Standard Performance Evaluation Corporation
 URL: http://www.spec.org/cpu2006/CINT2006/index.html

Suchen: bench

http://www.spec.org/cpu2006/Docs/429.mcf.html

SPEC CINT2000 Benchmarks - Mozilla Firefox

http://www.spec.org/cpu2000/CINT2000/

Standard Performance Evaluation Corporation

home benchmarks results contact site map site search help

Results

- Published Results
- Flag Descriptions
- Results Search
- OSG Fair Use Policy

Information

- Documentation Overview
- Run & Reporting Rules
- FAQ
- Config File FAQ
- Technical Support
- Integer Benchmarks
- Floating Point Benchmarks
- Known Issues

Press and Publications

- Press Release
- Related Publications
- Simulating CPU2000

Order Benchmarks

- Order CPU2000

CINT2000 (Integer Component of SPEC CPU2000):

Benchmark	Language	Category	Full Descriptions
164.gzip	C	Compression	HTML Text
175.vpr	C	FPGA Circuit Placement and Routing	HTML Text
176.gcc	C	C Programming Language Compiler	HTML Text
181.mcf	C	Combinatorial Optimization	HTML Text
186.craiy	C	Game Playing, Chess	HTML Text
197.parser	C	Word Processing	HTML Text
252.eon	C++	Computer Visualization	HTML Text
253.perlbnk	C	PERL Programming Language	HTML Text
254.gap	C	Group Theory, Interpreter	HTML Text
255.vortex	C	Object-oriented Database	HTML Text
256.bzip2	C	Compression	HTML Text
300.twolf	C	Place and Route Simulator	HTML Text

Home - Contact - Site Map - Privacy - About SPEC

webmaster@spec.org

Last updated: Fri Sep 26 11:10:06 EDT 2003

Copyright 1995 - 2008 Standard Performance Evaluation Corporation

URL: <http://www.spec.org/cpu2000/CINT2000/index.html>

Suchen: bench

Fertig

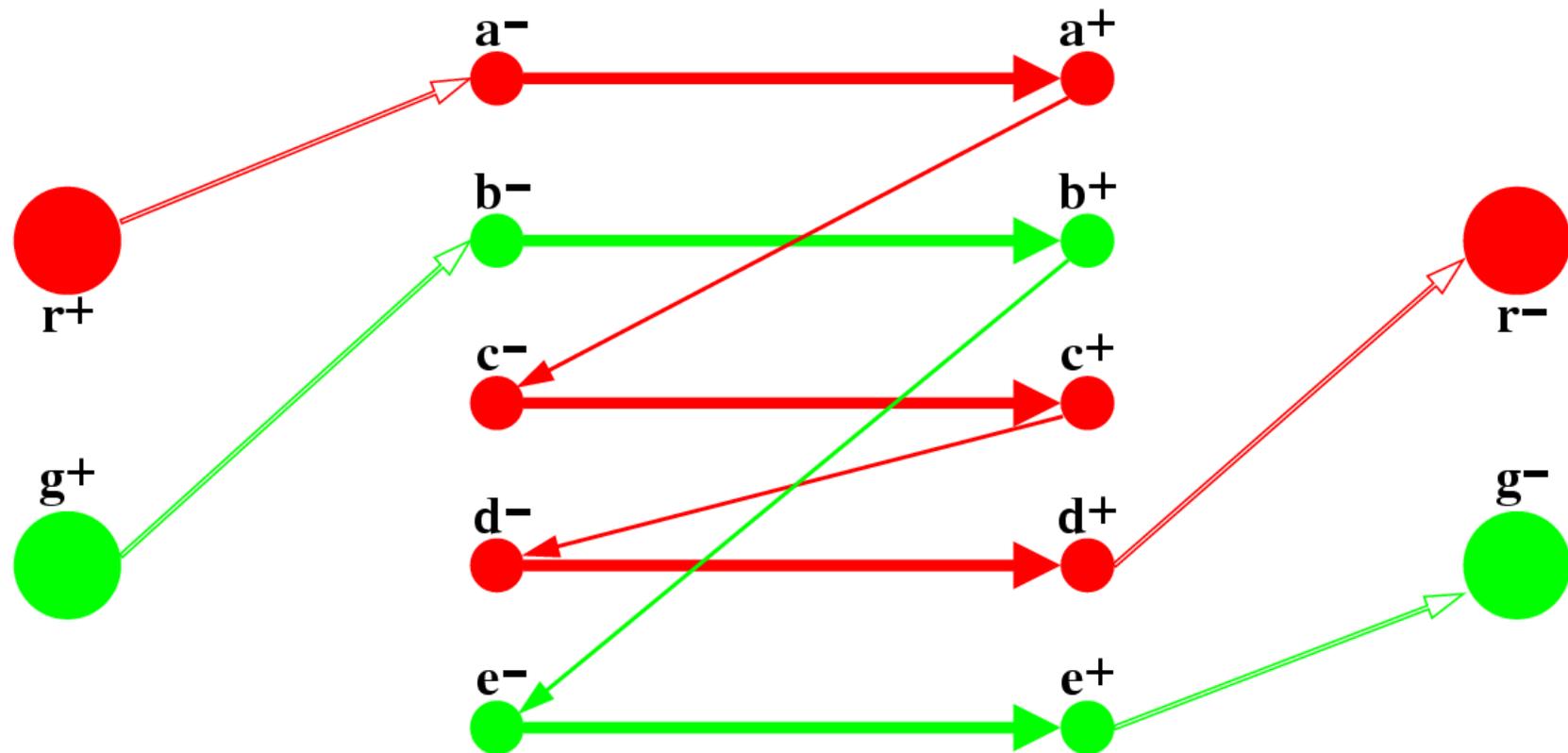
Now: Stark bewölkt, 5° C | Mi: 7° C | Do: 8° C

MCF Literatur

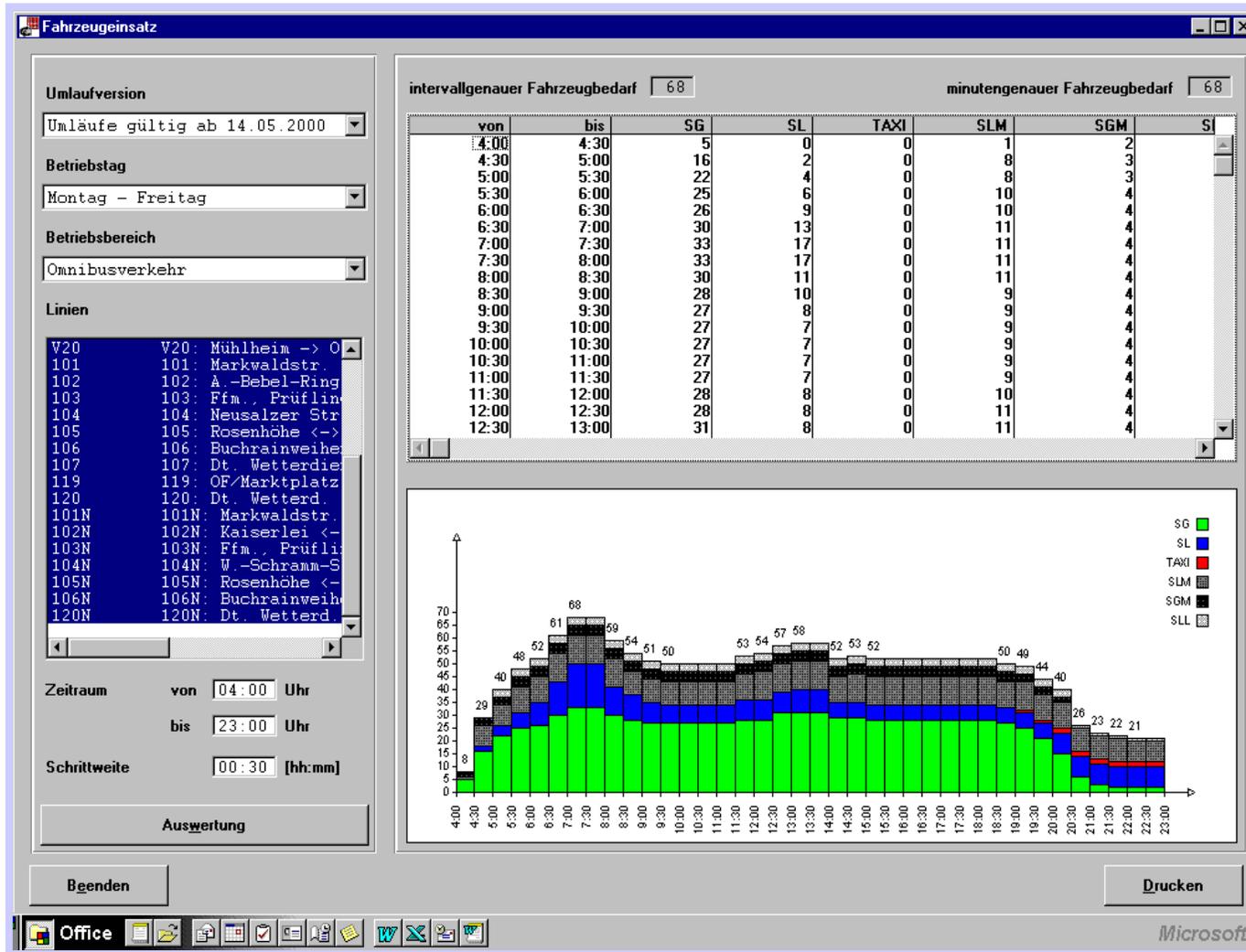
- Marty Itzkowitz, Brian J. N. Wylie, Christopher Aoki, and Nicolai Kosche: [Memory Profiling using Hardware Counters](#)
- ARCTiC Labs: [181.mcf - Datasets profile vs. Reference Dataset](#)
- Joshua J. Yi, Resit Sendag, and David J. Lilja: [Increasing Instruction-Level Parallelism with Instruction Precomputation](#)
- Jinwoo Kim, Weng-Fai Wong, and Drishna V. Palem: [Data Prefetching using Off-line Learning](#)
- Resit Sendag, Peng-fei Chuang, and David J. Lilja: [Address Correlation: Exceeding the Limits of Locality](#)
- Kim M. Hazelwood, Mark C. Toburen, and Thomas M. Conte: [A Case for Exploiting Memory-Access Persistence](#)
- Ian R. Bratt, Alex Settle, and Daniel A. Connors: [Predicate-Based Transformations to Eliminate Control and Data-Irrelevant Cache Misses](#)
- Andreas Stiller: Hammer, Nägel und Köpfe: Das Microprocessor Forum 2001, c't 23/2001, S. 28



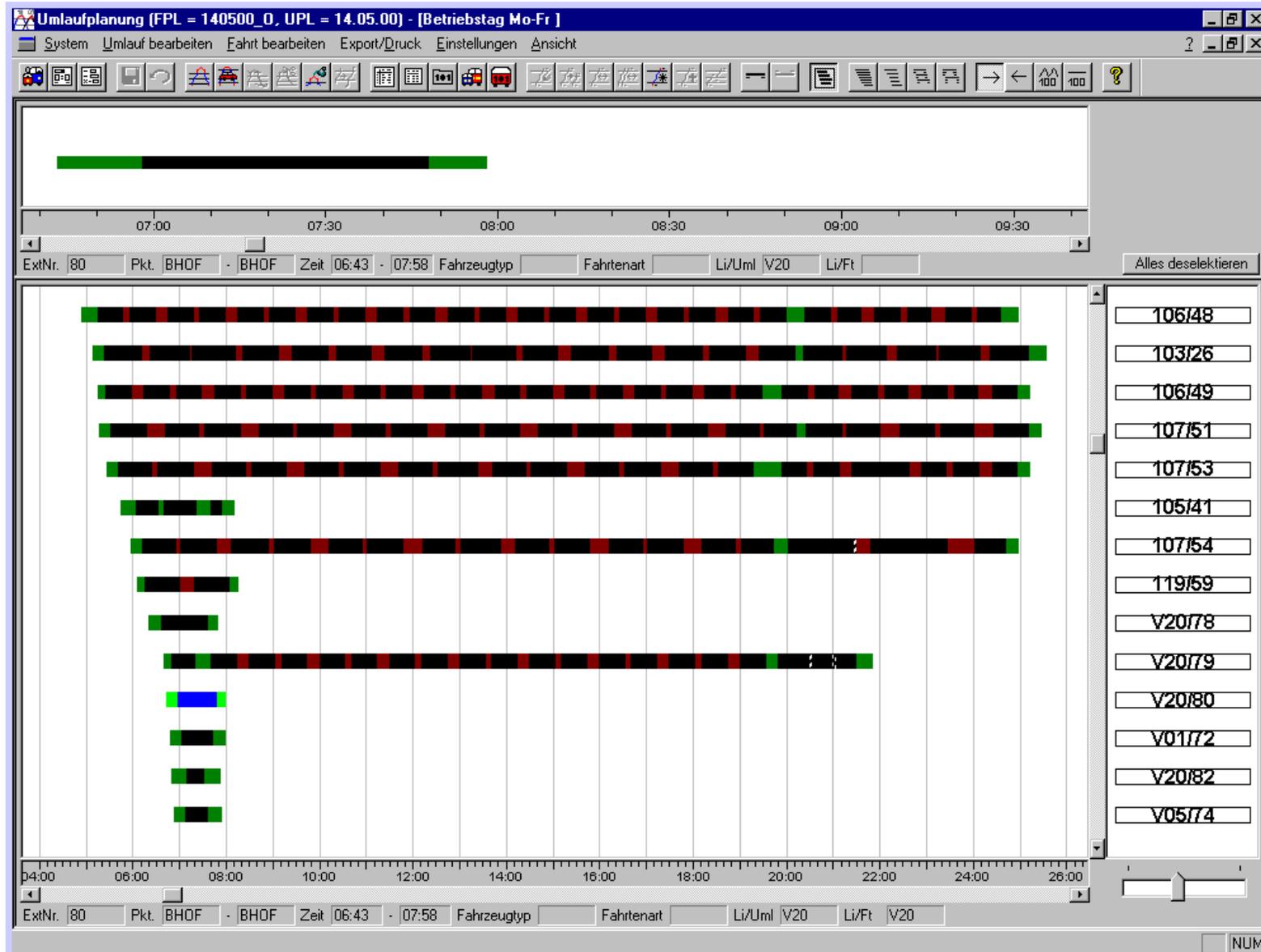
Lösung mit Lagrange-Relaxierung



Fahrzeugeinsatz



several vehicle schedules

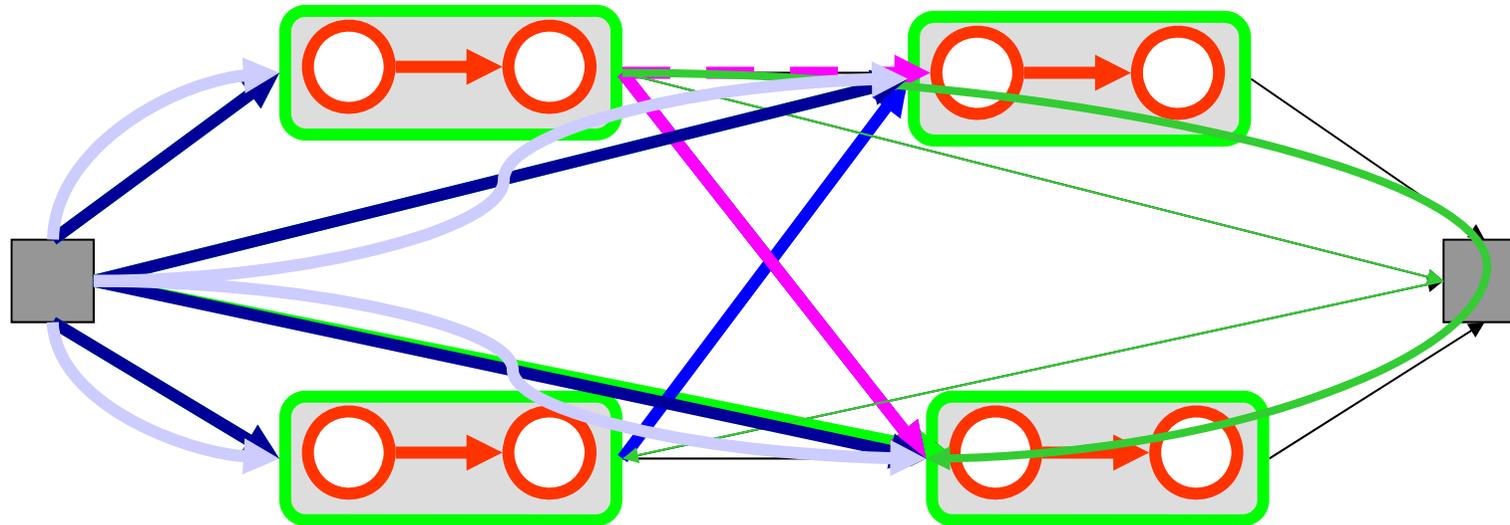


Szenarien

	<i>BVG</i>	<i>HHA</i>	<i>VHH</i>
Betriebshöfe	10	14	10
Fahrzeugtypen	44	40	19
Fahrgastfahrten	25.000	16.000	5.500
Leerfahrten	70.000.000	15.100.000	10.000.000



Behandlung zusätzlicher Restriktionen durch Strafkosten

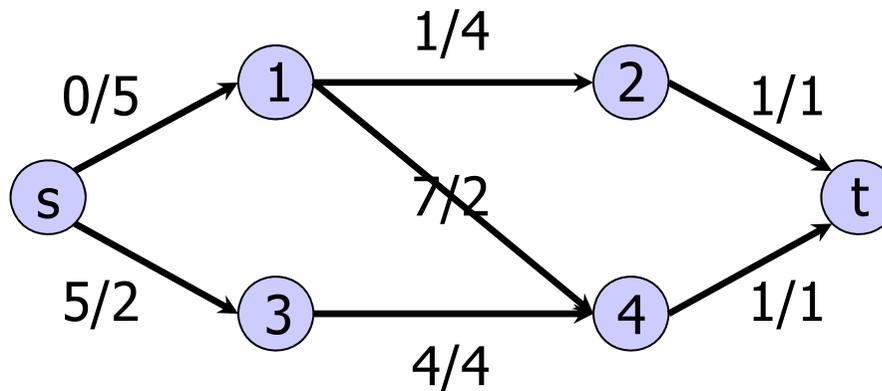


Die Kosten sind in der Regel: **Wichtige Übergangsfahrten**

- Definition und Kosten von Fahrtenverknüpfungen
 - Punkt-, zeit- oder fahrtgenaue Steuerung
 - Fahrzeuge, Linien-, Fahrtartwechsel, Wenden, etc.
 - Ein-Aussetzfahrten-, Leerfahrtenerzeugung
- Depotkapazitäten

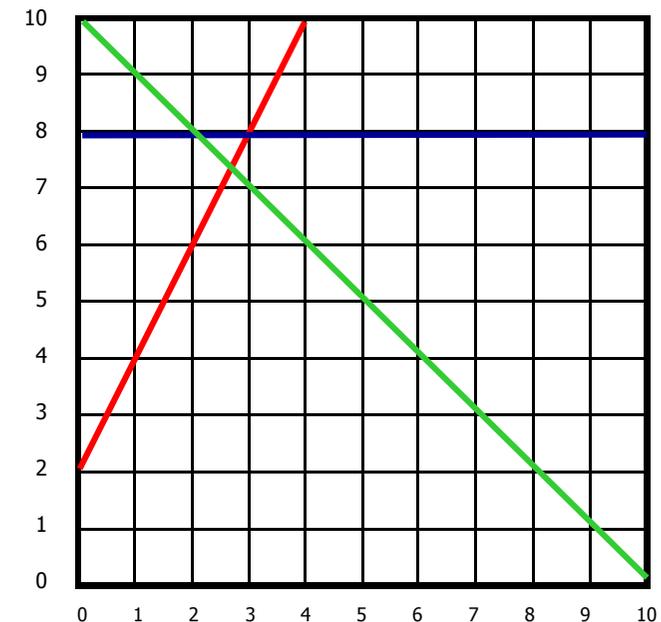


Problem: Längenbedingungen



- $c/l = \text{Kosten/Länge}$
- Gesucht:
Kürzester st-Weg
der Länge ≤ 8

Weg	Kosten	Länge	$c+\lambda(l-8)$
s12t	2	10	$2+2\lambda$
s14t	8	8	8
s34t	10	7	$10-\lambda$



Gliederung

- Verkehrsoptimierung: ein kurzer Überblick
- Umlaufplanung
- **Dienstplanung**
- Integrierte Umlauf- und Dienstplanung
- Einige Ergebnisse



Längenbedingungen: Pausenregeln in der Dienstplanung

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

ABSCHNITT V

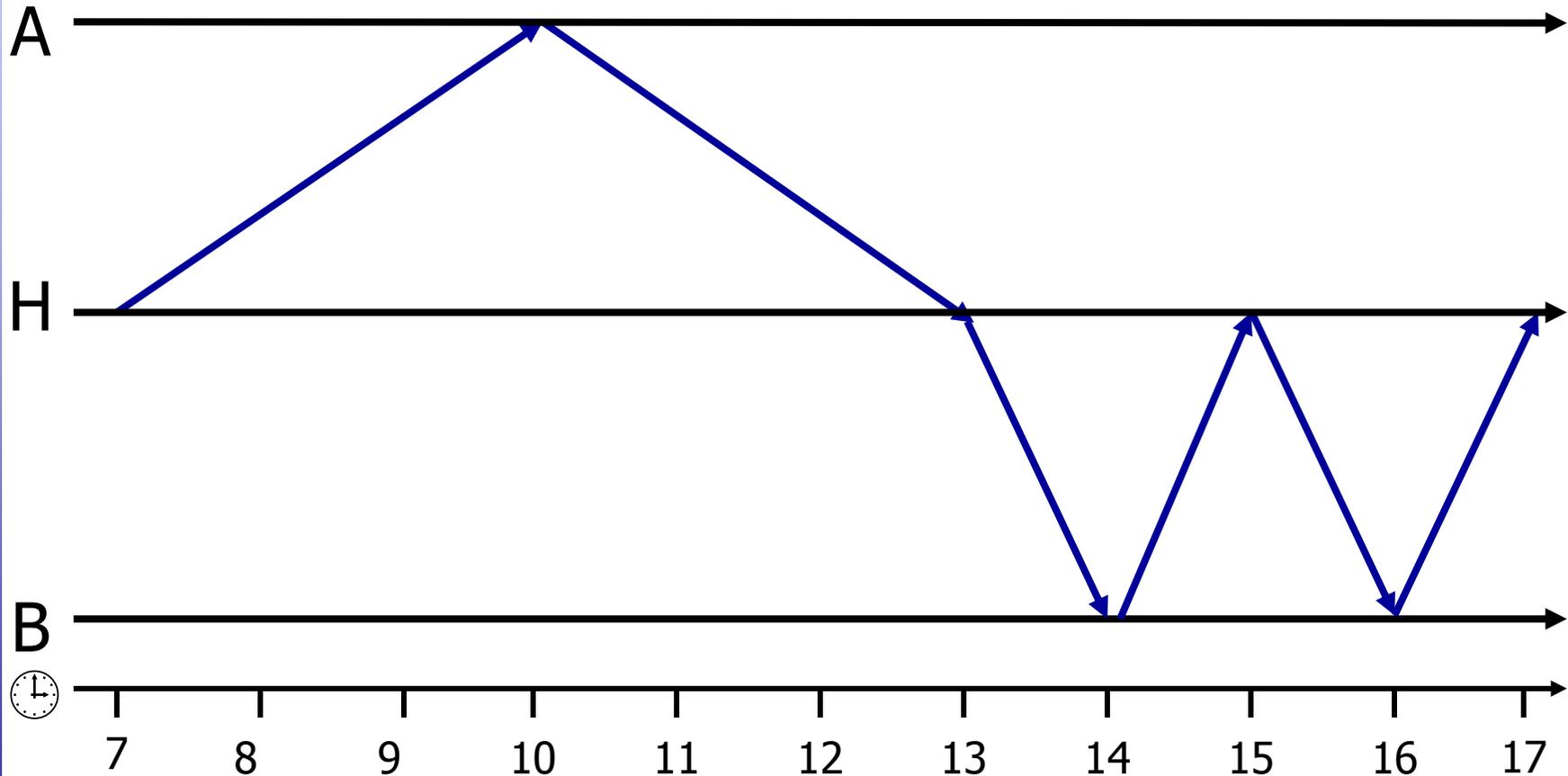
Unterbrechungen und Ruhezeit

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.



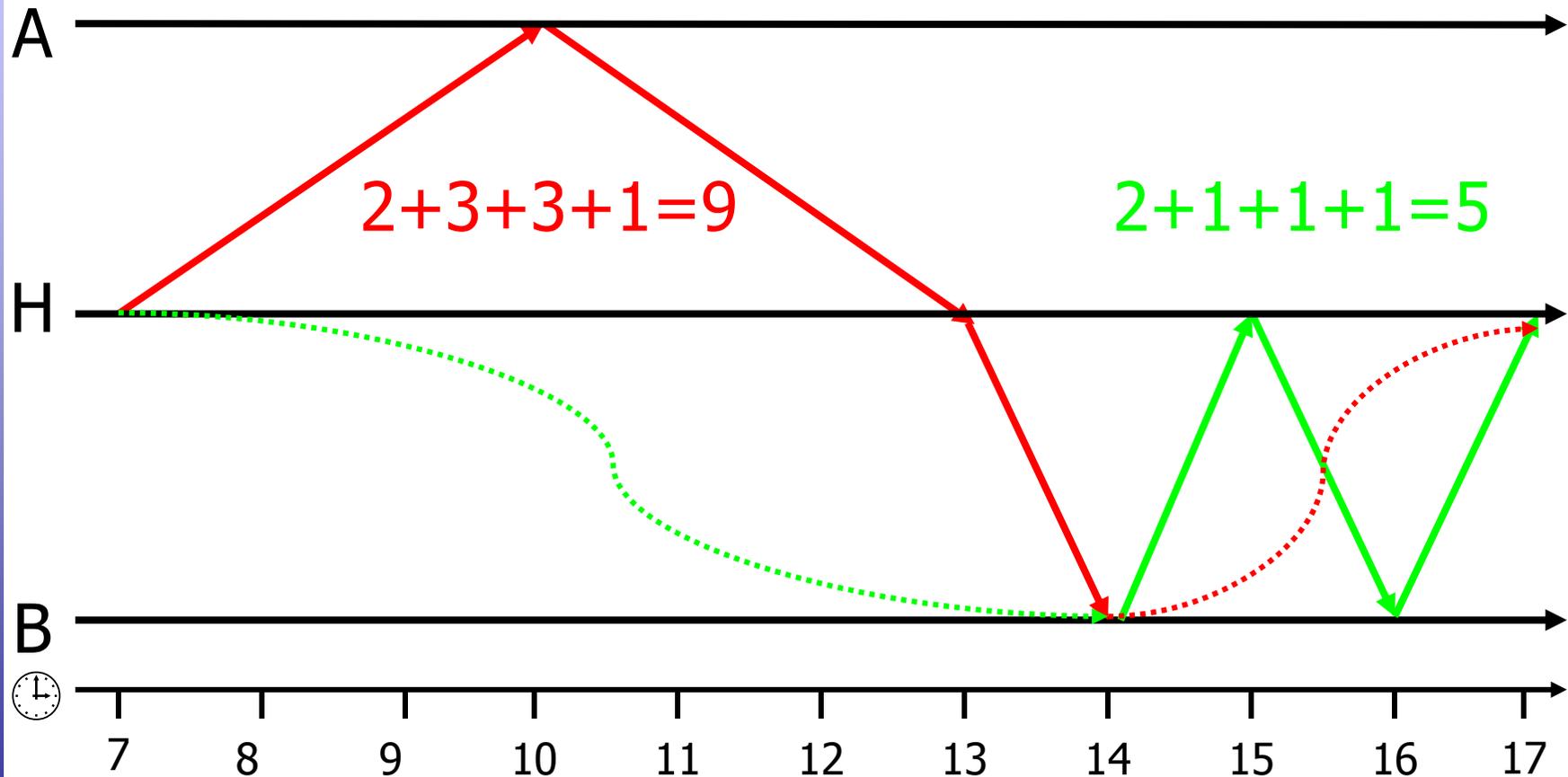
Dienstplanungsproblem



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



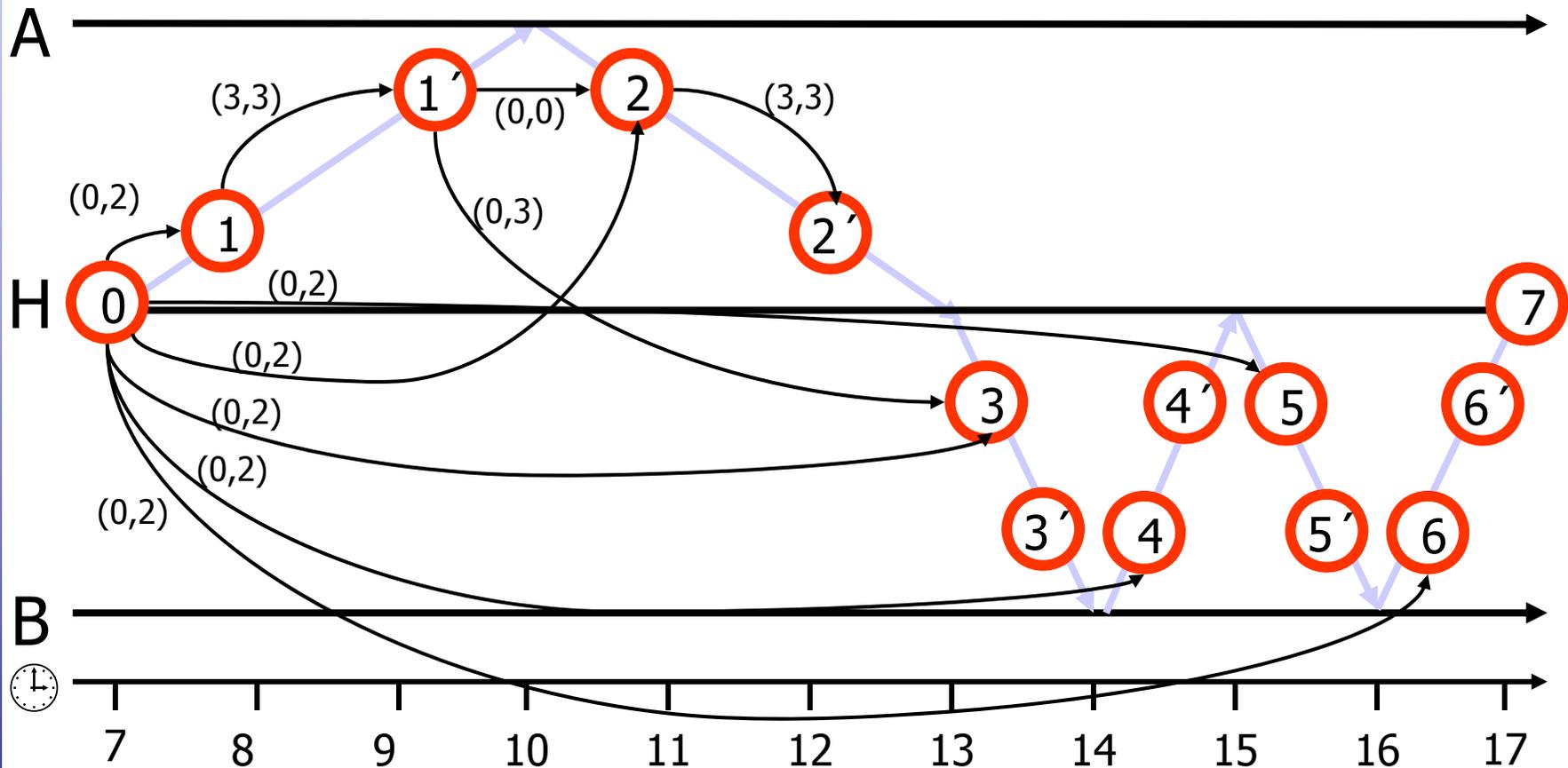
Dienstplanungsproblem



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



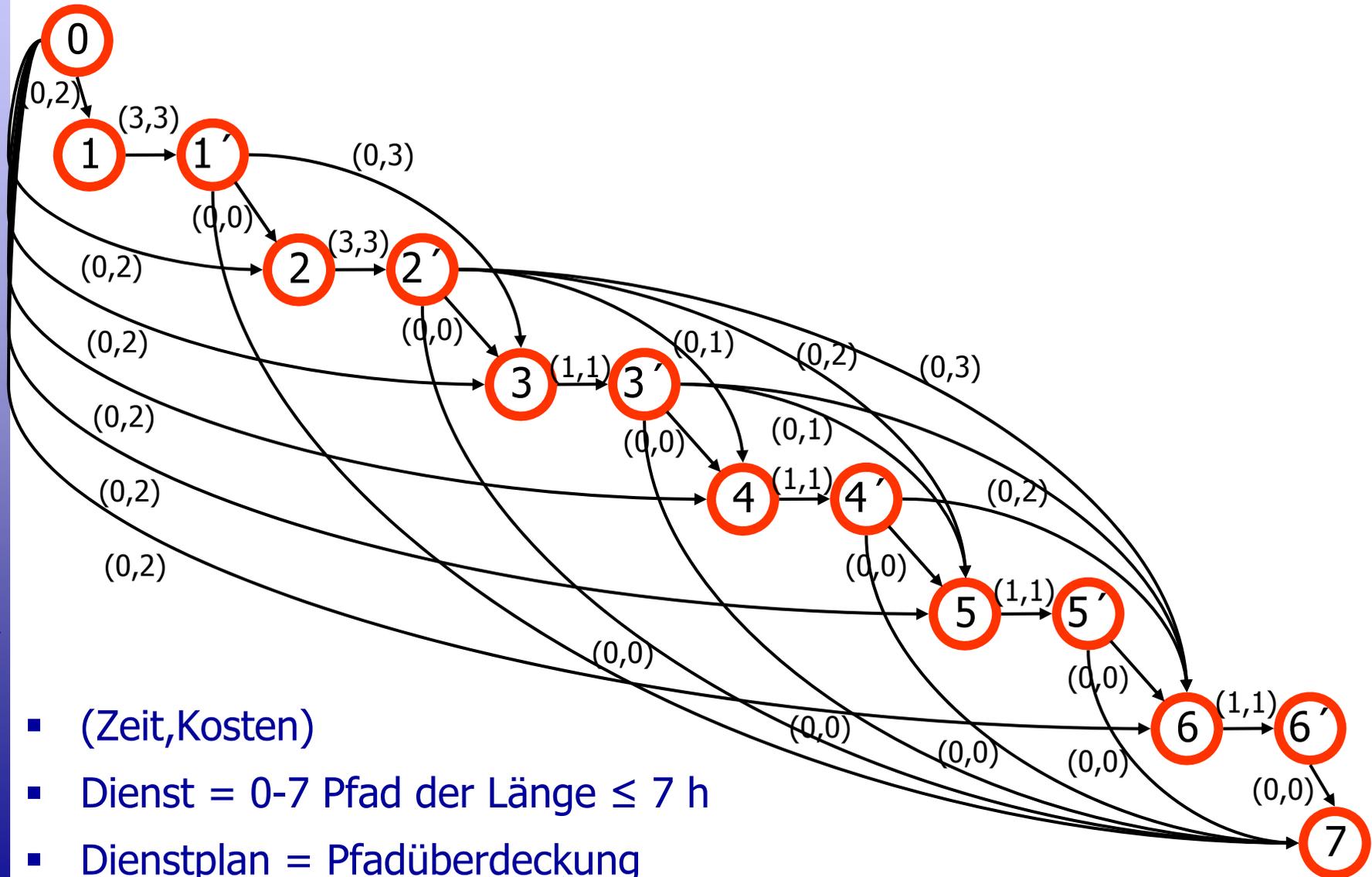
Planungsgraph



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



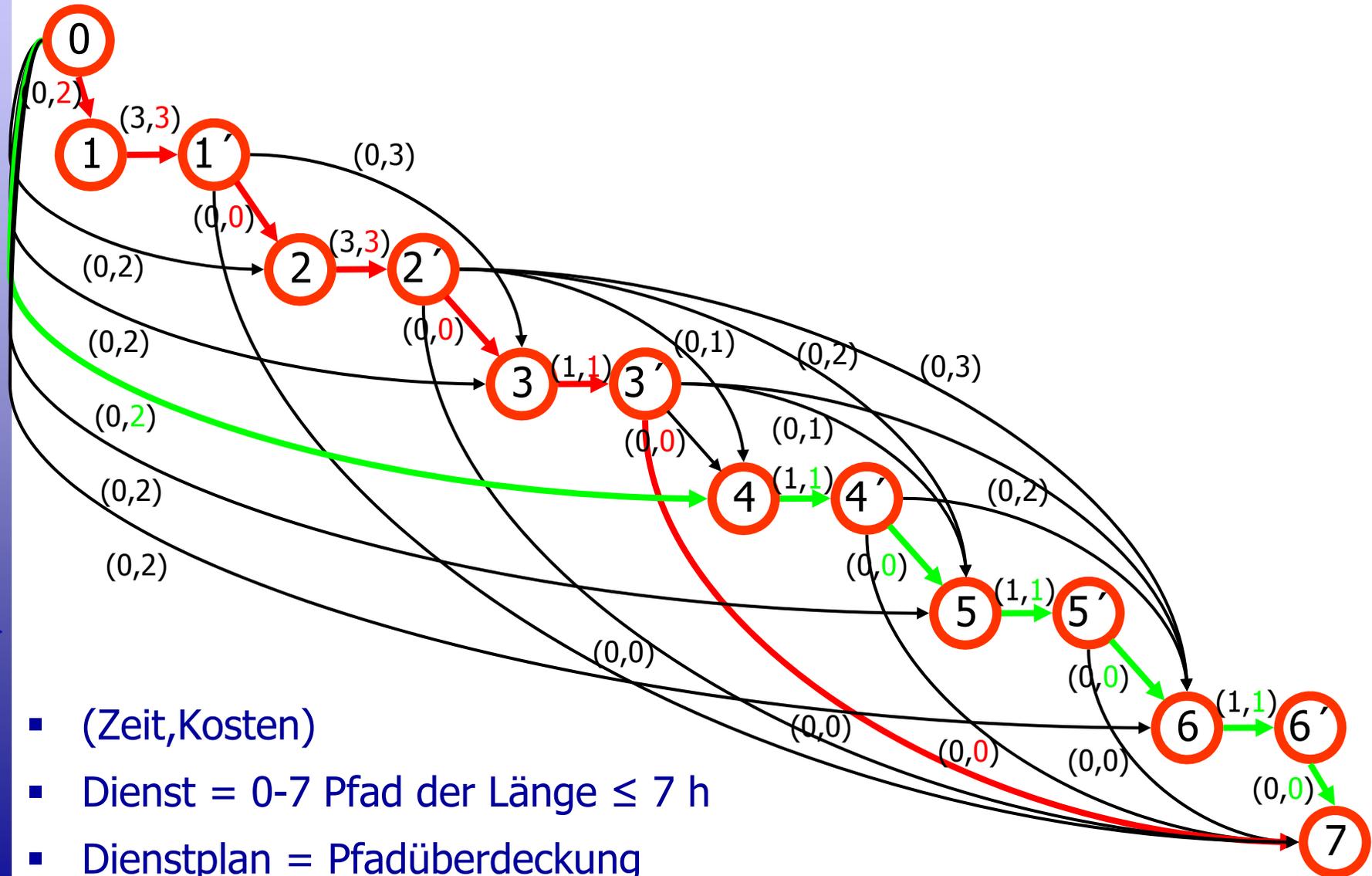
Planungsgraph



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



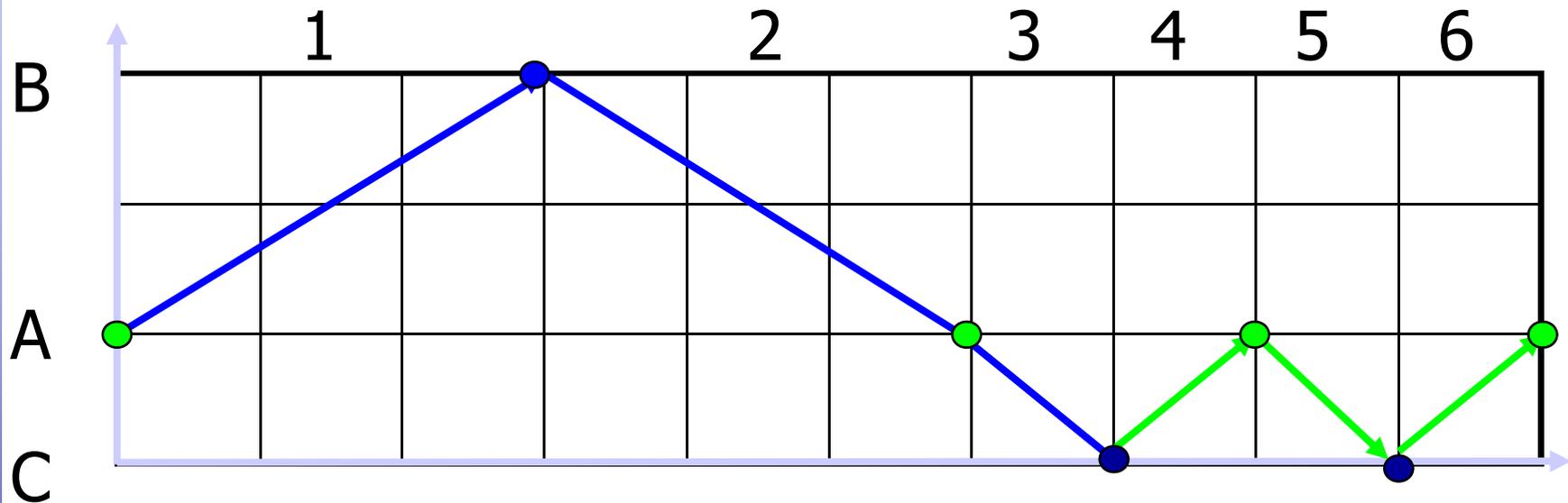
Planungsgraph



- (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	1	1	1	1



Set-Partitioning-Modell

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	
	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		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
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
6						1						1			1		1	1				1			1		1	1		1	1			1	1	1	1	1
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	x30	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	
									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		

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

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

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

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

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

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

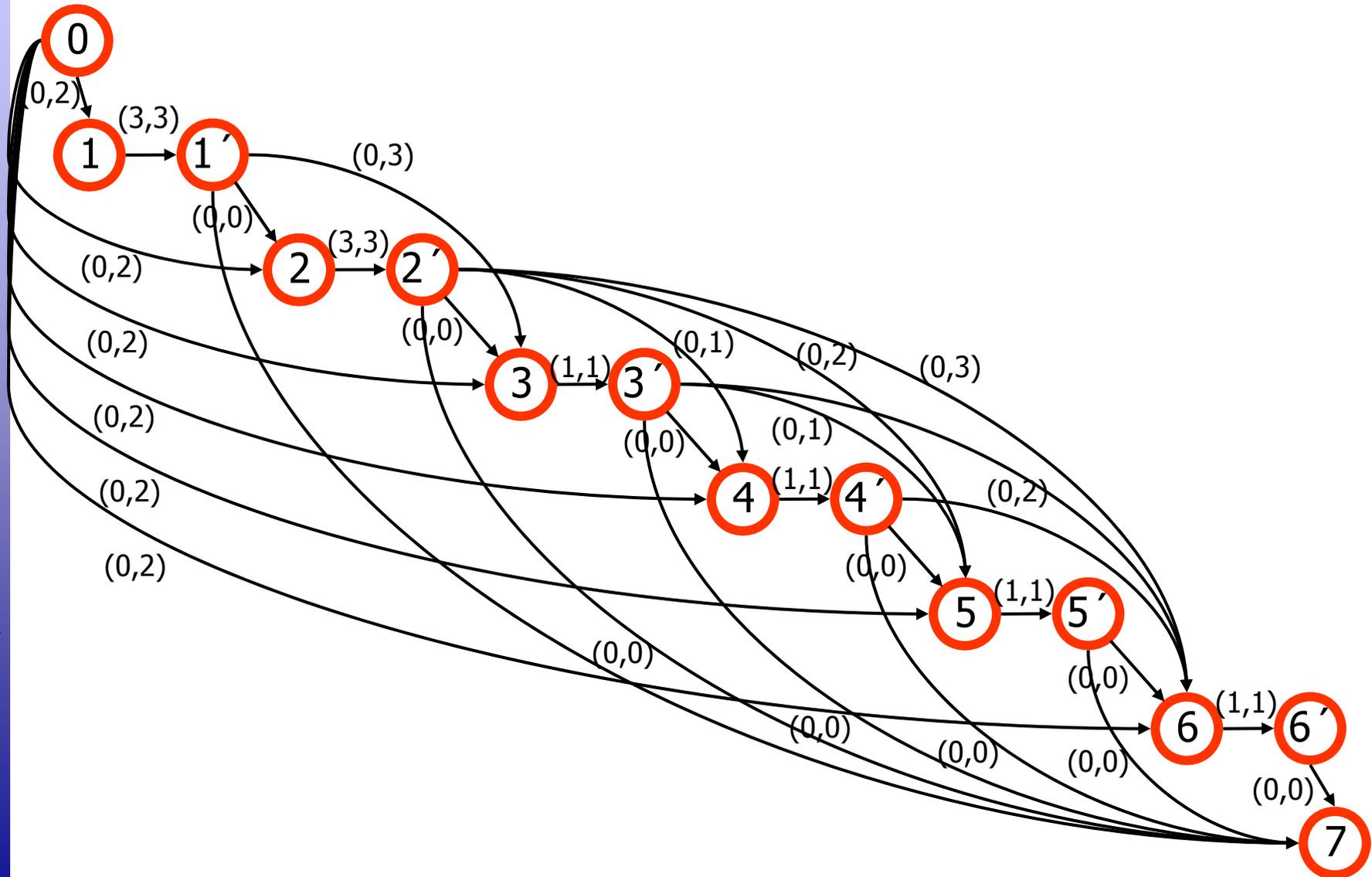
$$x_6 + x_{12} + x_{15} + x_{17} + x_{18} + x_{22} + x_{25} + x_{27} + x_{28} + x_{30} + x_{31} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} = 1$$

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

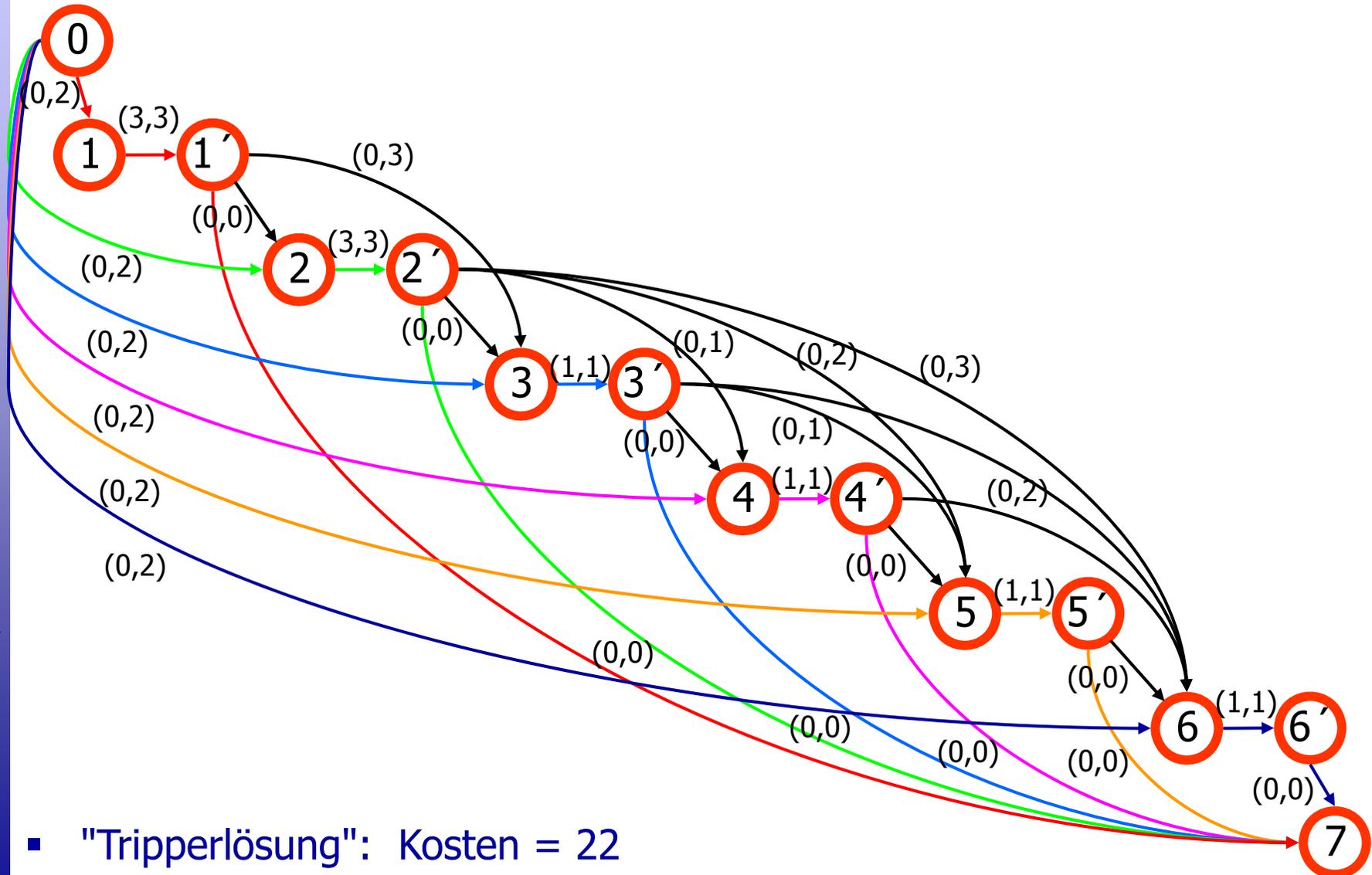
$$x_1, \dots, x_{37} \text{ ganz}$$



Spaltenerzeugungsmethode



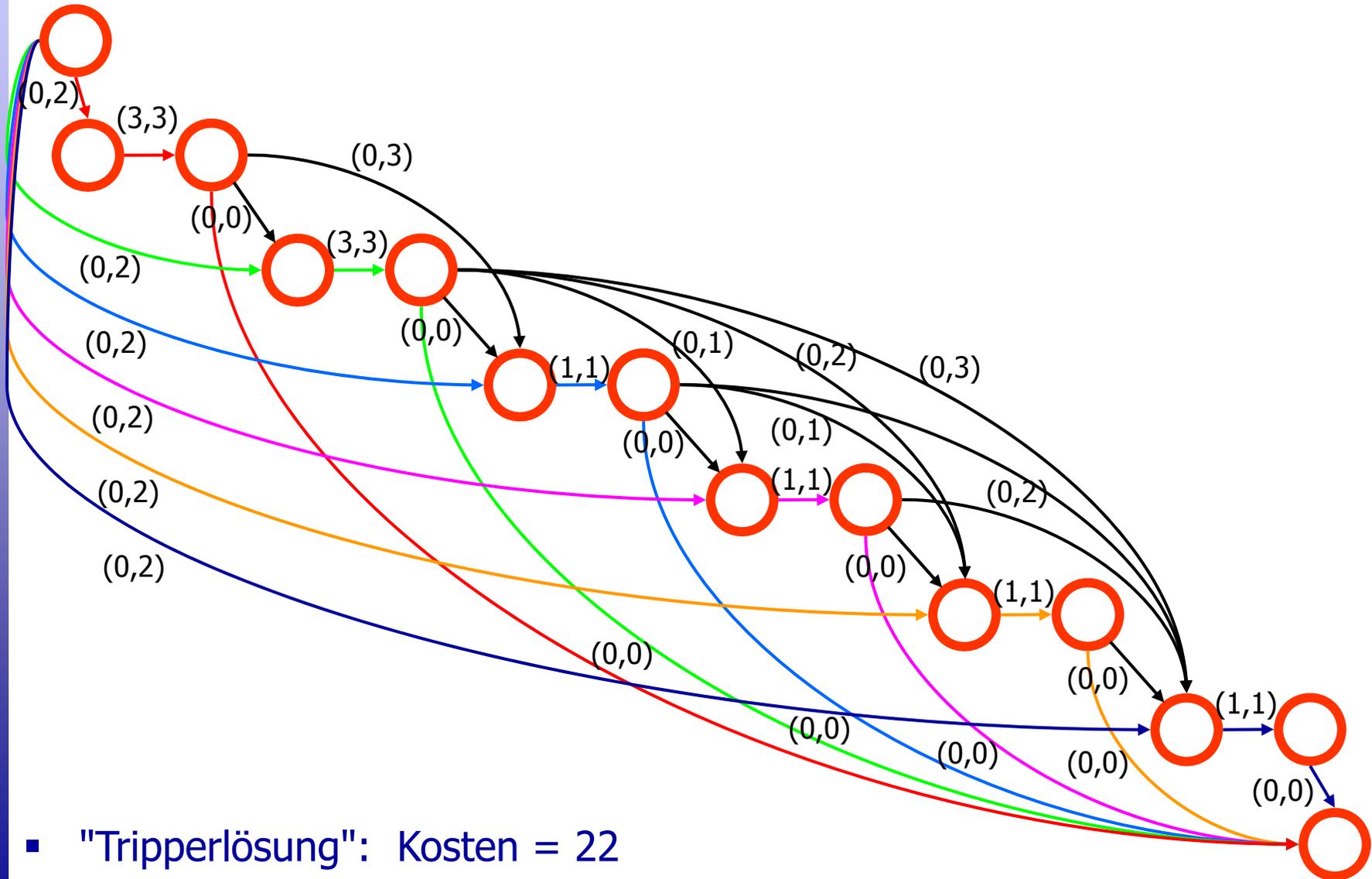
Spaltenerzeugungsmethode



- "Tripperlösung": Kosten = 22



Spaltenerzeugungsmethode



- "Tripperlösung": Kosten = 22



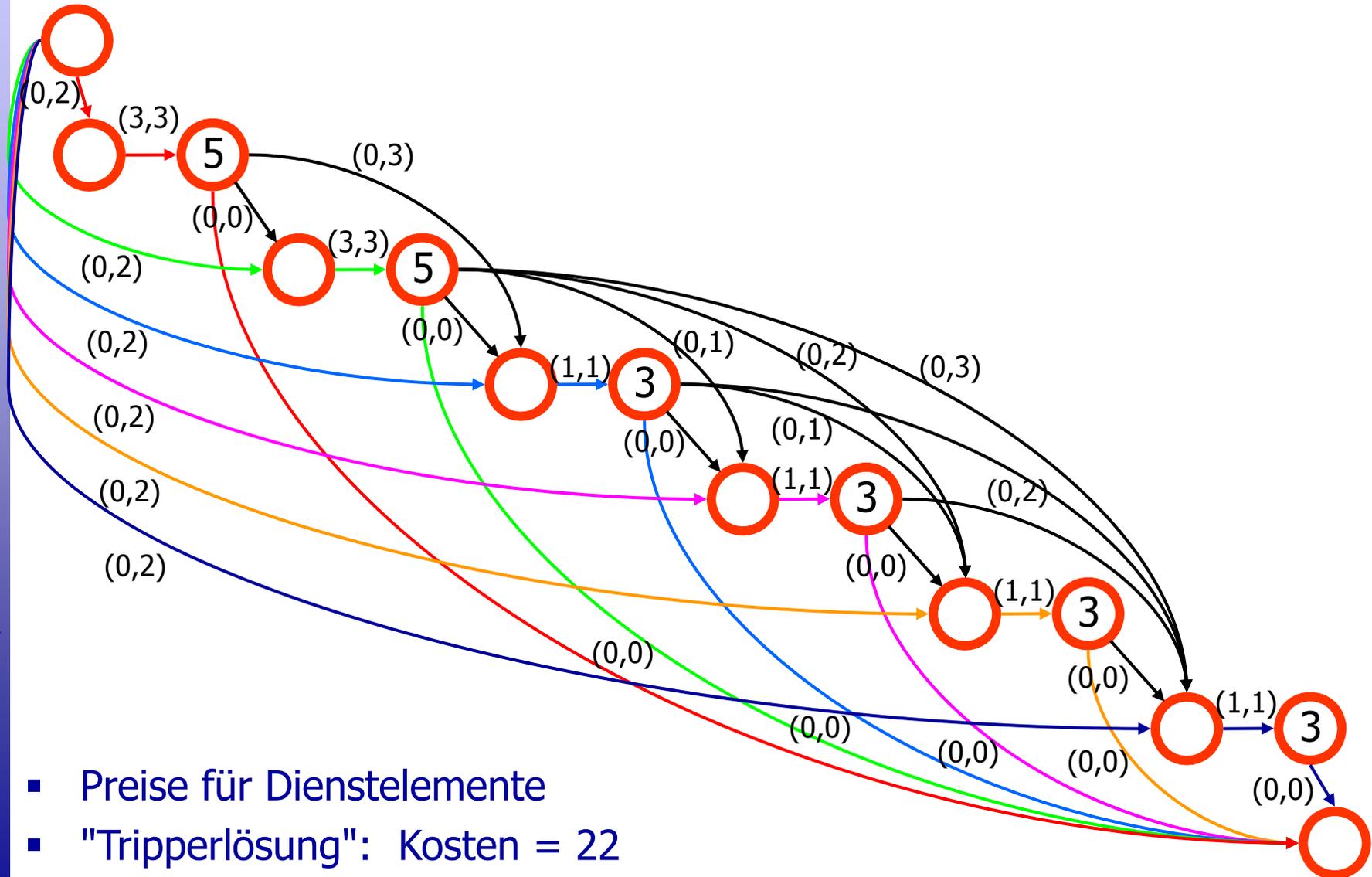
Spaltenerzeugungsmethode

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	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	1	3	
x	1	1	1	1	1	1																																	

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



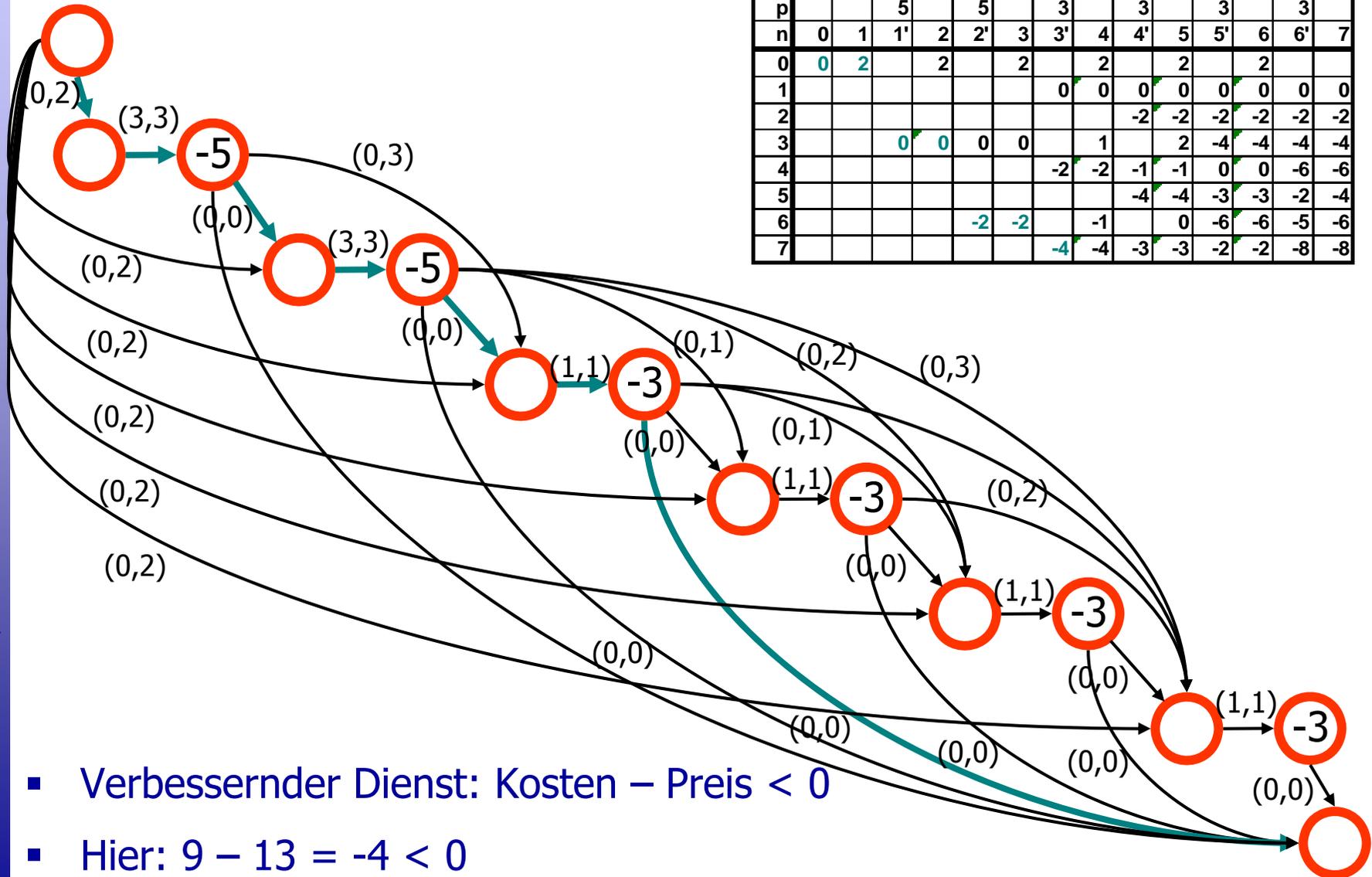
Spaltenerzeugungsmethode



- Preise für Dienstelemente
- "Tripperlösung": Kosten = 22



Spaltenerzeugungsmethode



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



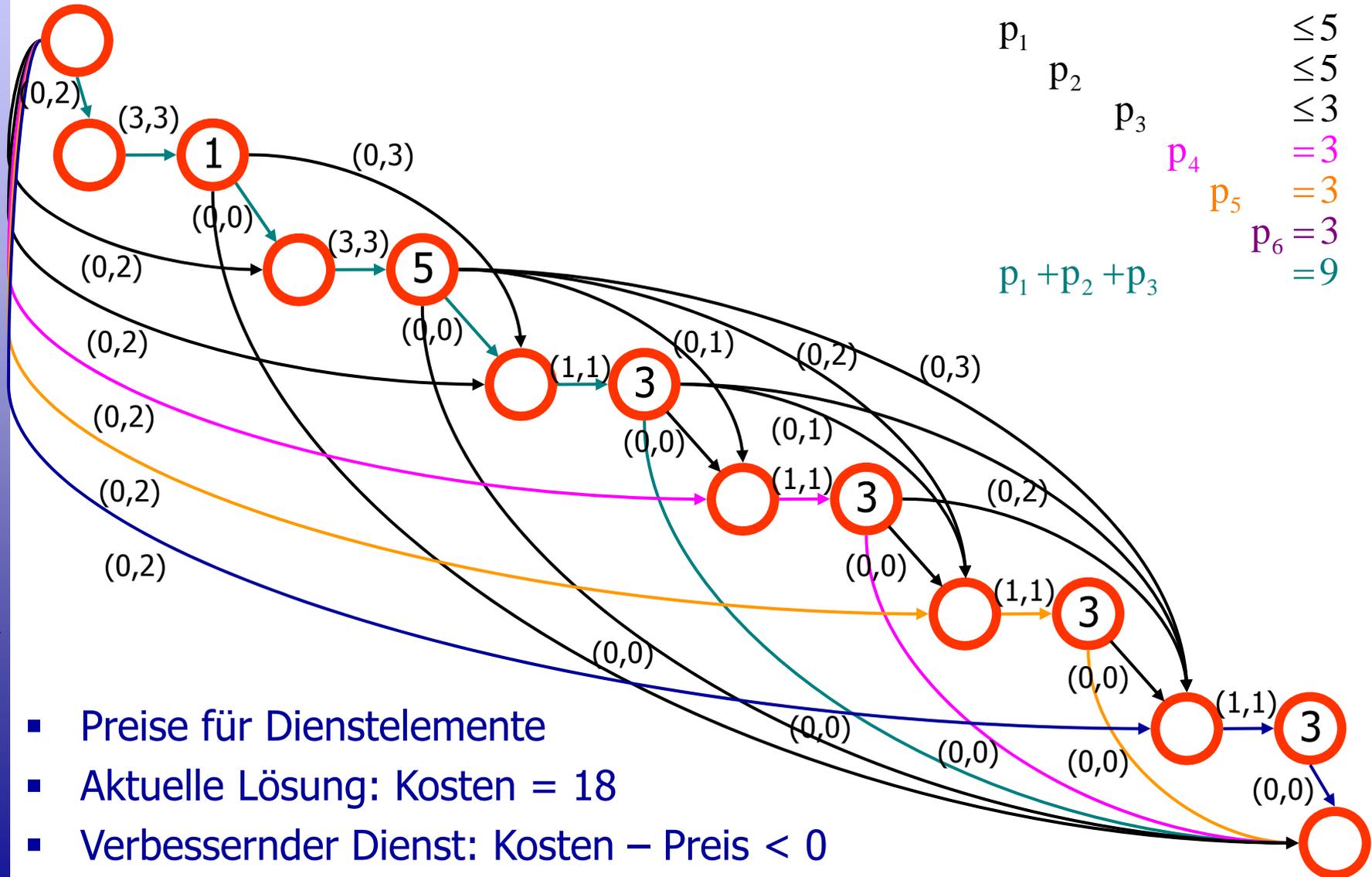
Spaltenerzeugung

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		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	1	3
6						1						1			1		1	1				1			1		1	1	1		1	1		1	1	1	1	1	3
x	1	1	1																1																				

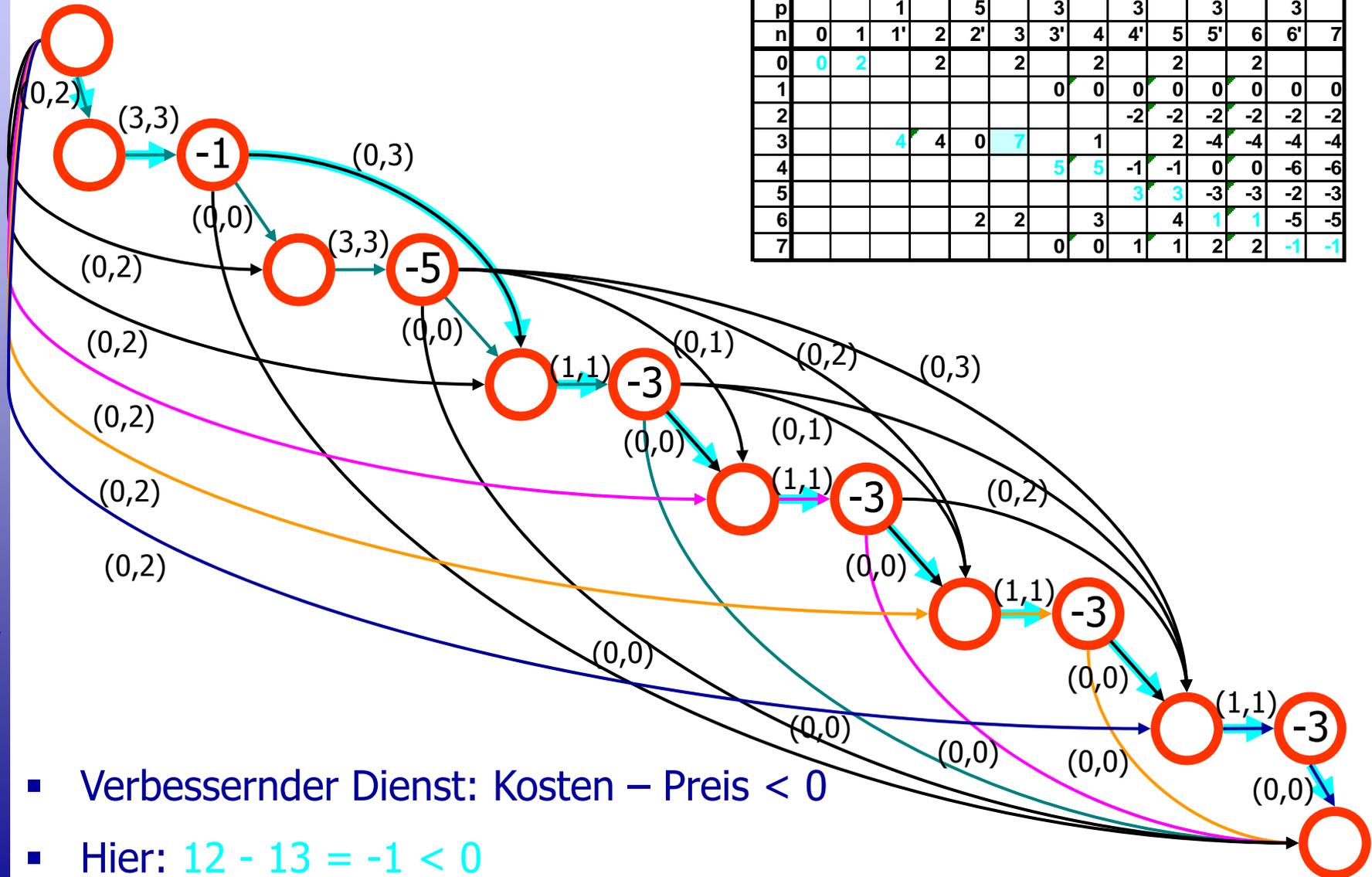
- $x_1=x_2=x_3=0, x_4=x_5=x_6= x_{19}=1, \text{Kosten } 9+3*3=18 \text{ [22]}$
- $y_1+y_2+y_3=11$
- $y_1=1$
 $y_2=5$
 $y_3=3$
 $y_4=3$
 $y_5=3$
 $y_6=3$
 (andere Lösungen möglich)



Spaltenerzeugungsmethode



Spaltenerzeugungsmethode

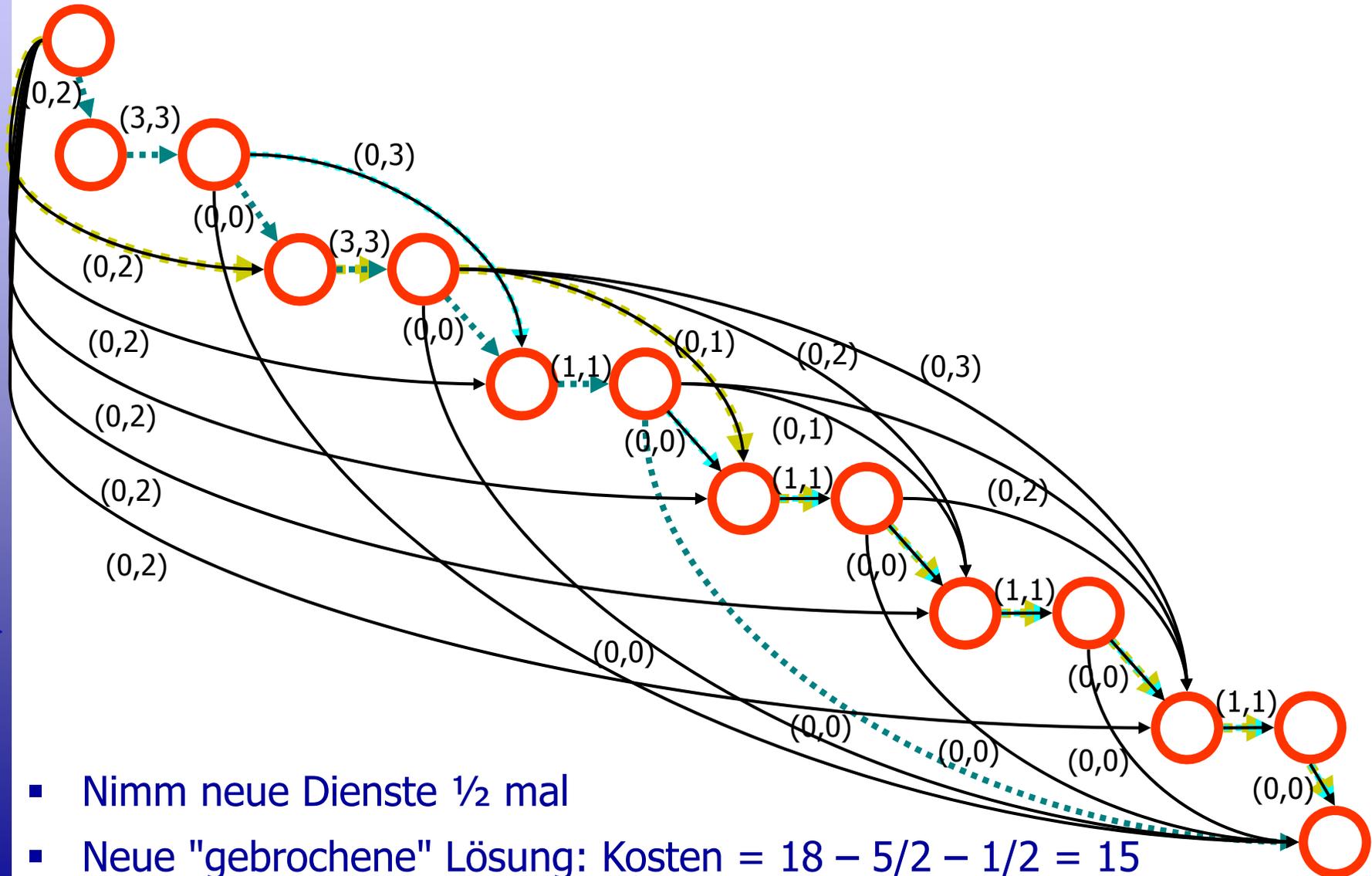


p		1	5	3	3	3	3	3	3					
n	0	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	6'	7
0	0	2		2		2		2		2		2		
1							0	0	0	0	0	0	0	0
2									-2	-2	-2	-2	-2	-2
3			4	4	0	7		1		2	-4	-4	-4	-4
4							5	5	-1	-1	0	0	-6	-6
5									3	3	-3	-3	-2	-3
6					2	2		3		4	1	1	-5	-5
7							0	0	1	1	2	2	-1	-1

- 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	1	1	1	
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	1	1	3	
6						1						1			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]

- $y_1 + y_2 + y_3 = 9$

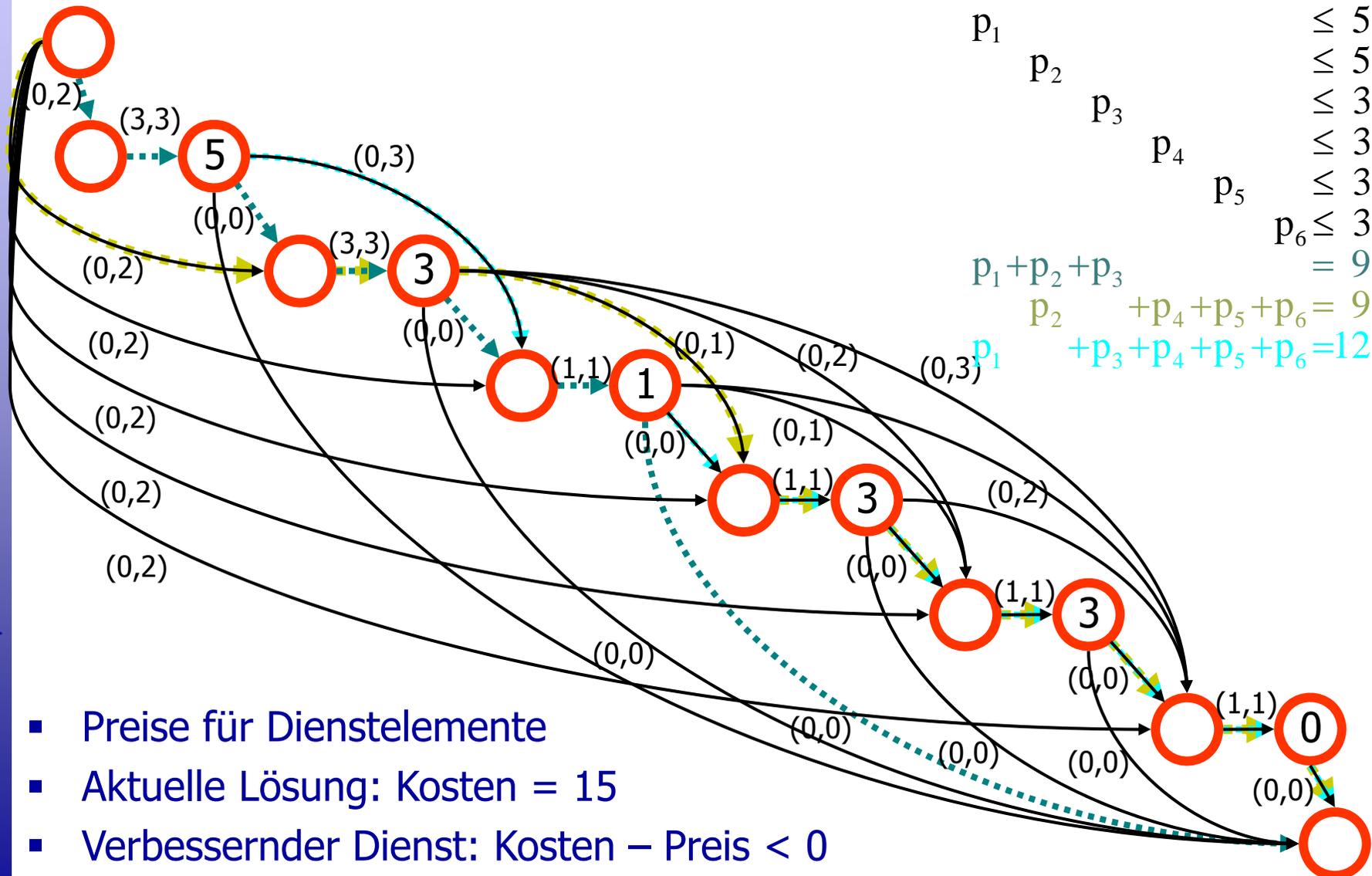
$$y_2 + y_4 + y_5 + y_6 = 9$$

$$y_1 + y_3 + y_4 + y_5 + y_5 = 12$$

$$\Rightarrow y_1 = 5, y_2 = y_4 = y_5 = 3, y_3 = 1, y_6 = 0$$



Spaltenerzeugungsmethode

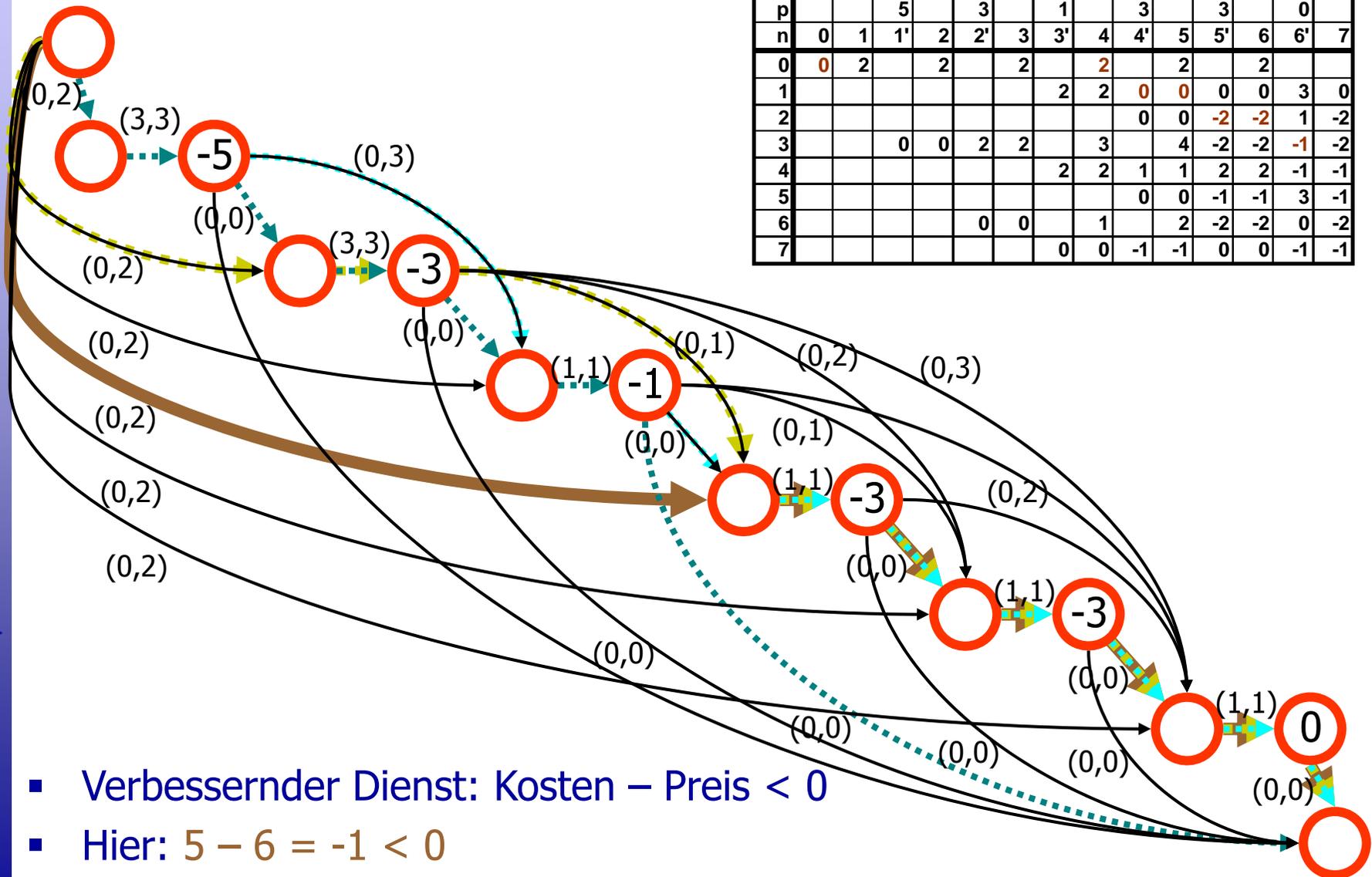


- Preise für Dienstelemente
- Aktuelle Lösung: Kosten = 15
- Verbessernder Dienst: Kosten – Preis < 0



Spaltenerzeugungsmethode

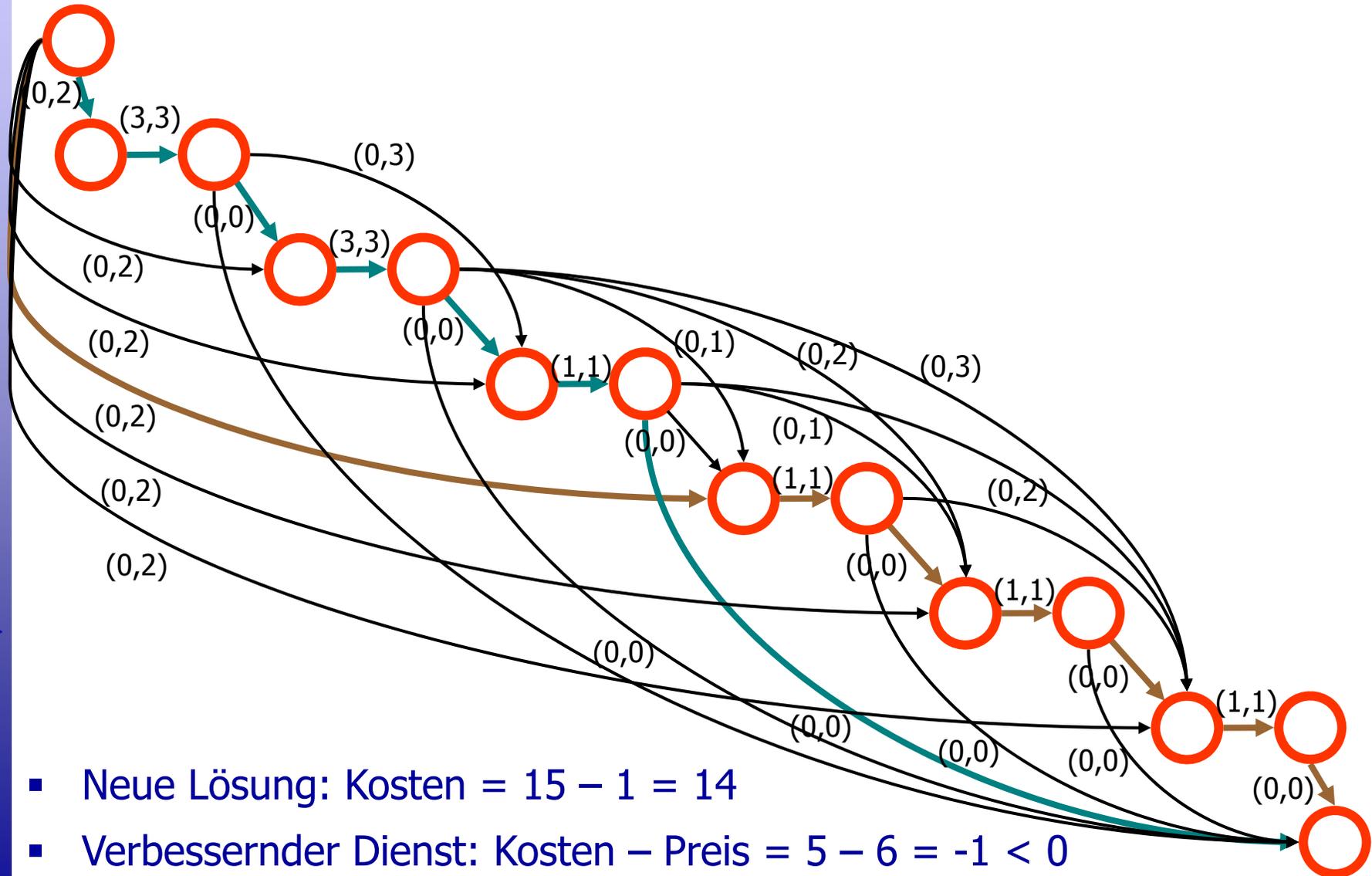
p			5	3	1	3	3	0						
n	0	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	6'	7
0	0	2		2		2		2		2		2		
1							2	2	0	0	0	0	3	0
2								0	0	-2	-2	1	-2	
3			0	0	2	2		3		4	-2	-2	-1	-2
4							2	2	1	1	2	2	-1	-1
5									0	0	-1	-1	3	-1
6					0	0		1		2	-2	-2	0	-2
7							0	0	-1	-1	0	0	-1	-1



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



Spaltenerzeugungsmethode



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



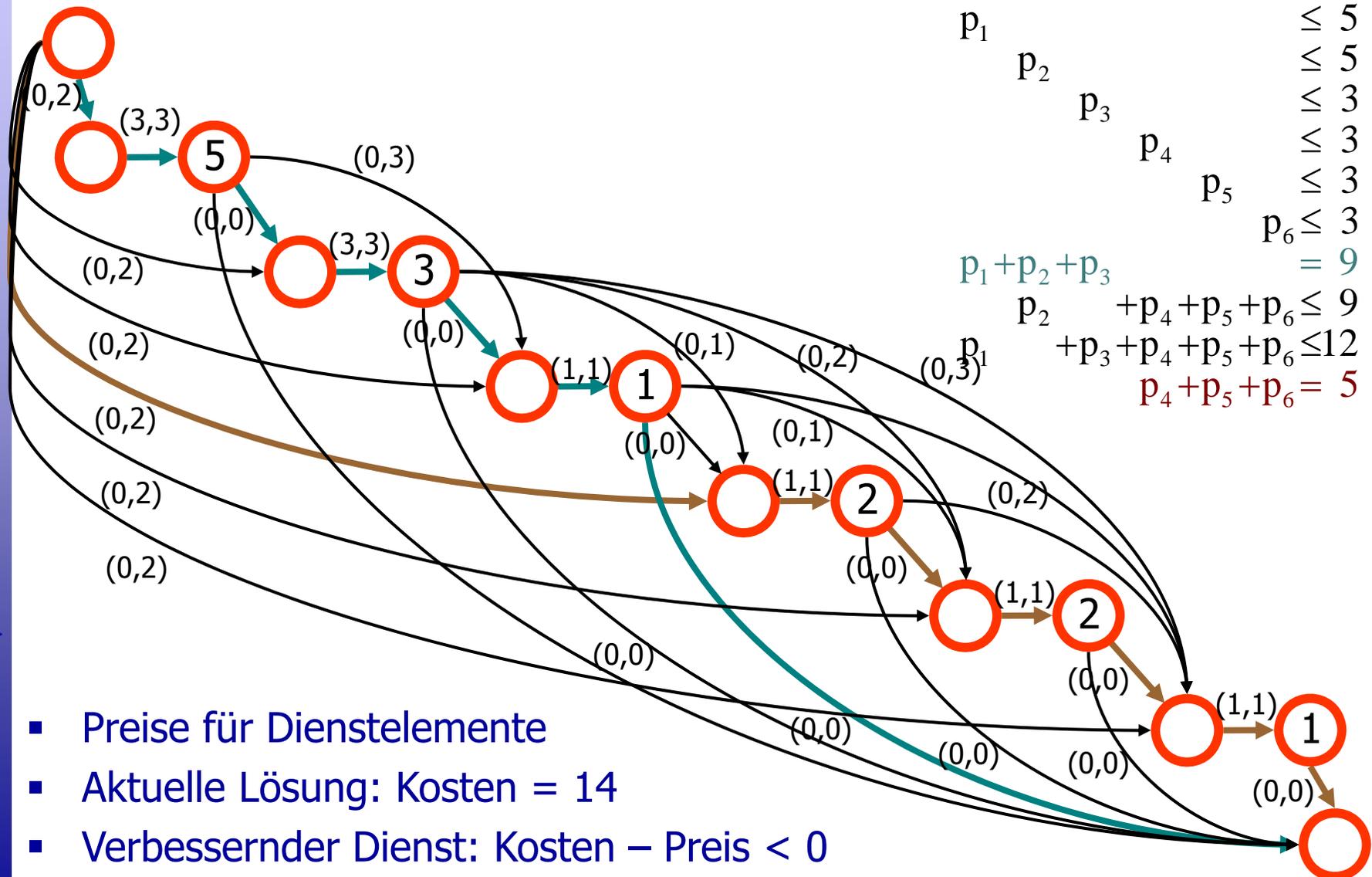
Spaltenerzeugung

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	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		
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

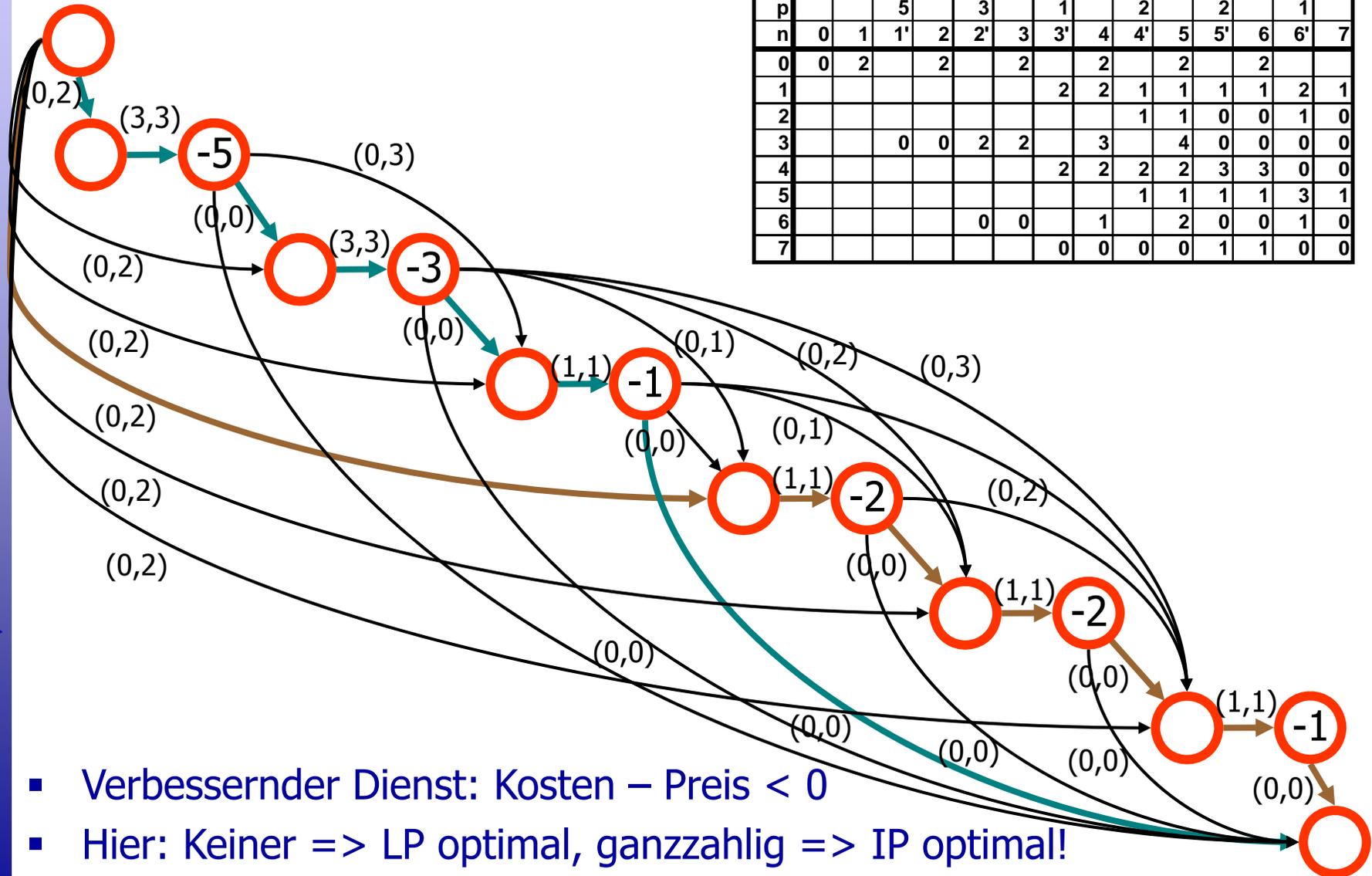


- Preise für Dienstelemente
- Aktuelle Lösung: Kosten = 14
- Verbessernder Dienst: Kosten – Preis < 0



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!



Ganzzahliges Programm

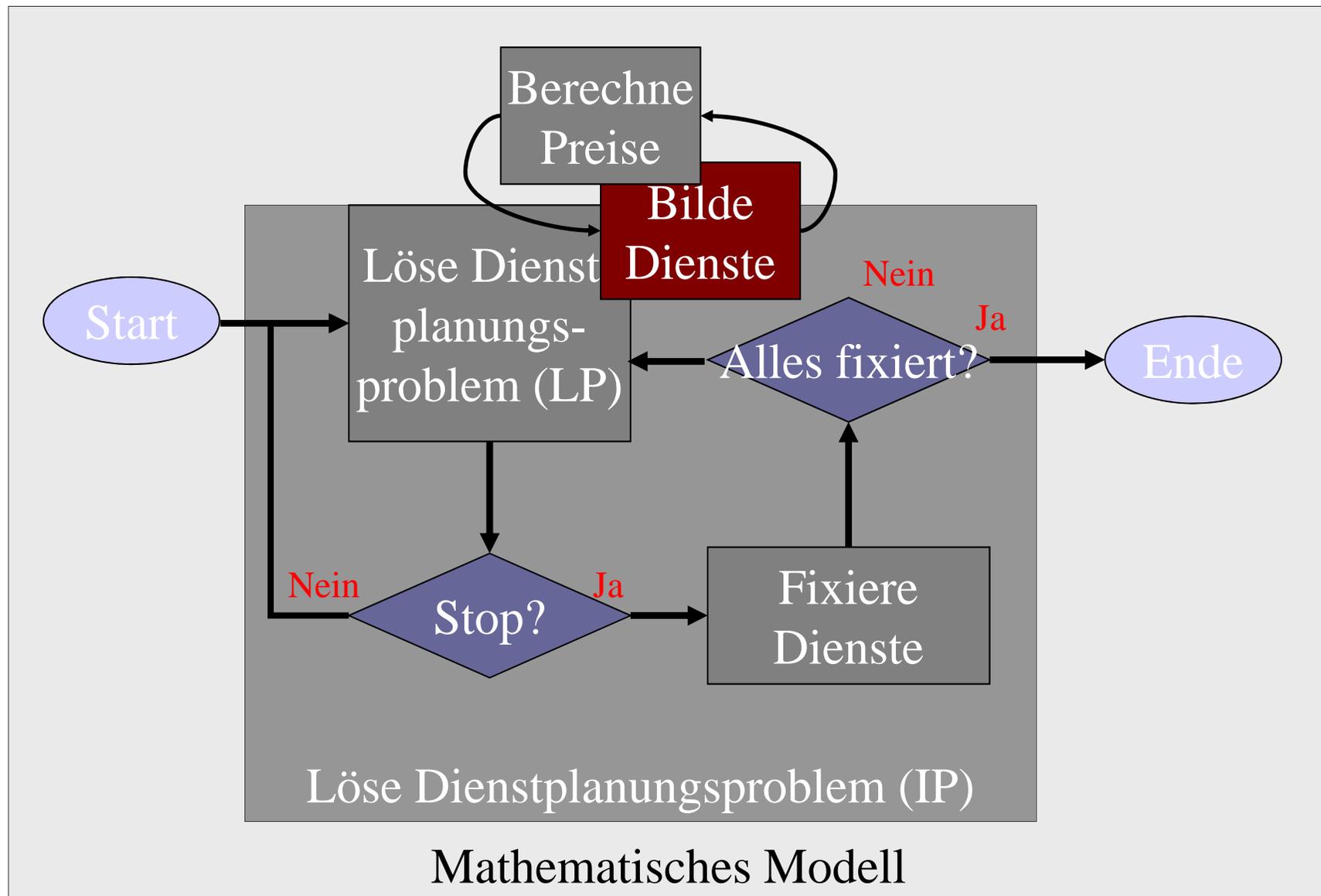
(Set-Partitioning-Problem mit Base-Constraints)

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

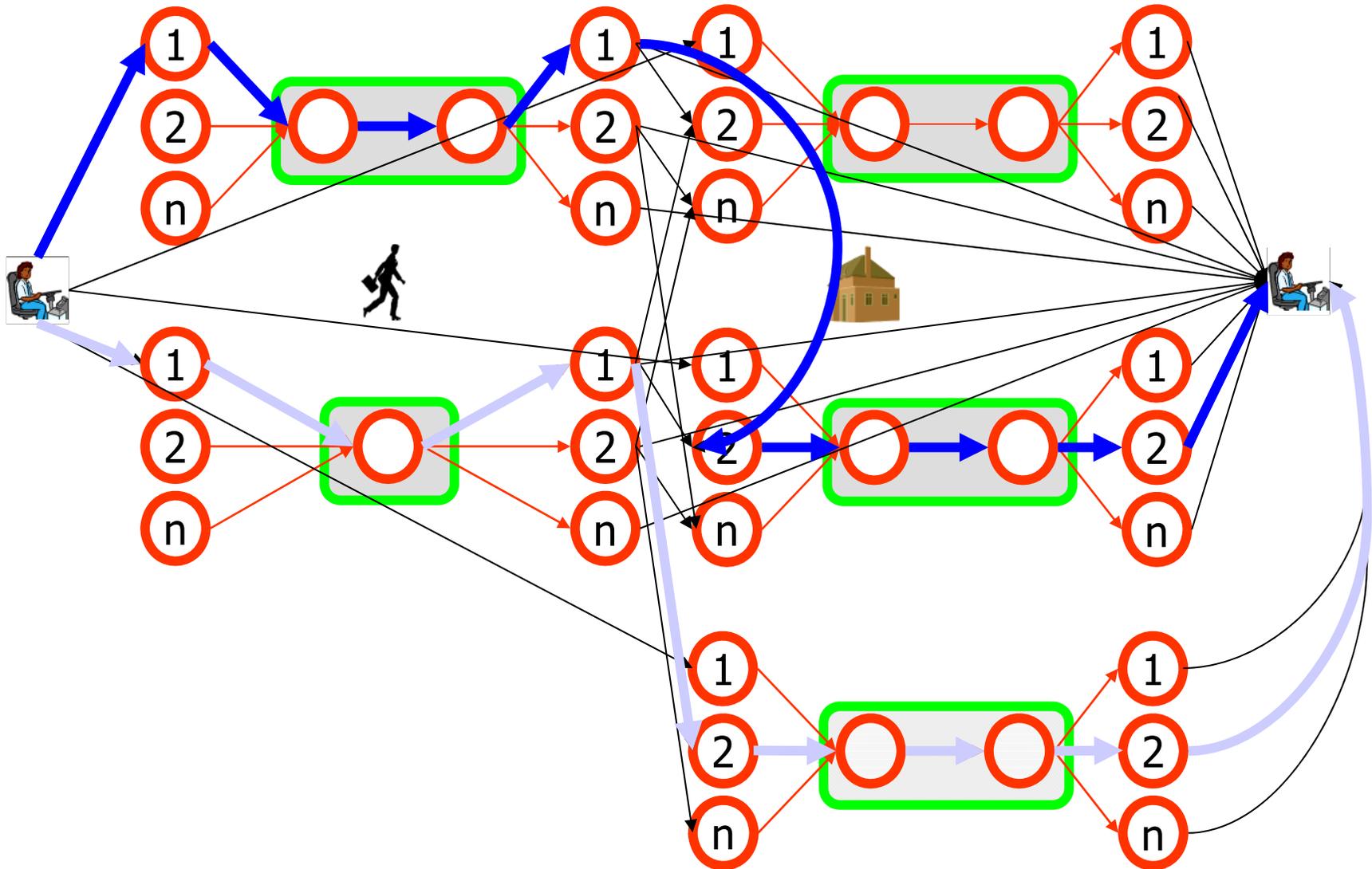


Spaltenerzeugungsmethode

(Branch-and-Generate, Marsten 1994)



Ergänzungselemente



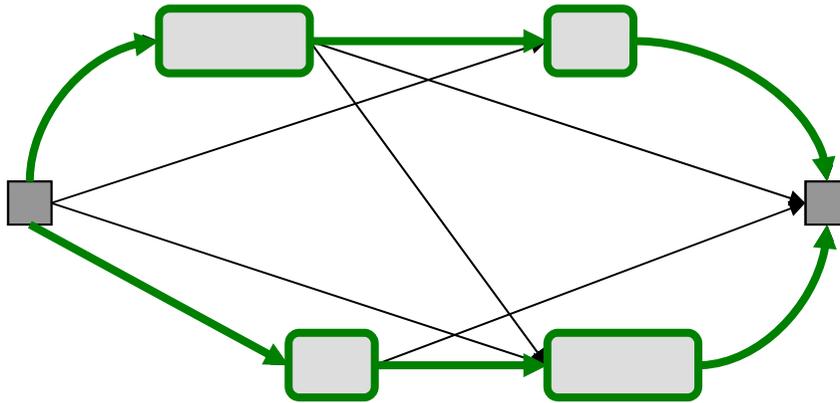
Gliederung

- Verkehrsoptimierung: ein kurzer Überblick
- Umlaufplanung
- Dienstplanung
- **Integrierte Umlauf- und Dienstplanung**
- Einige Ergebnisse

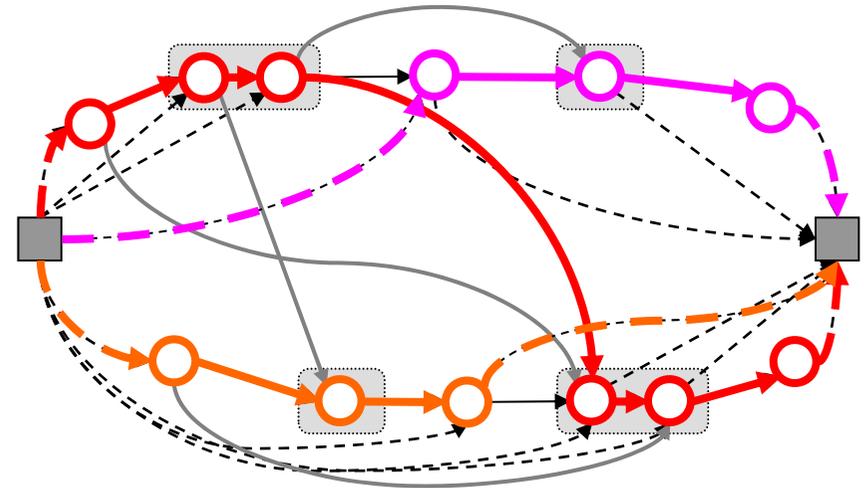


Graphentheoretisches Modell

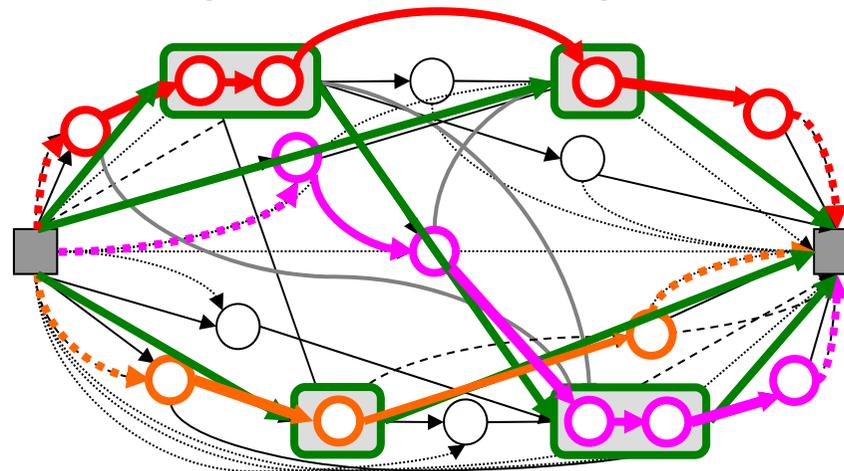
Umlaufplanung



Dienstplanung



Integrierte Planung



IP Modell

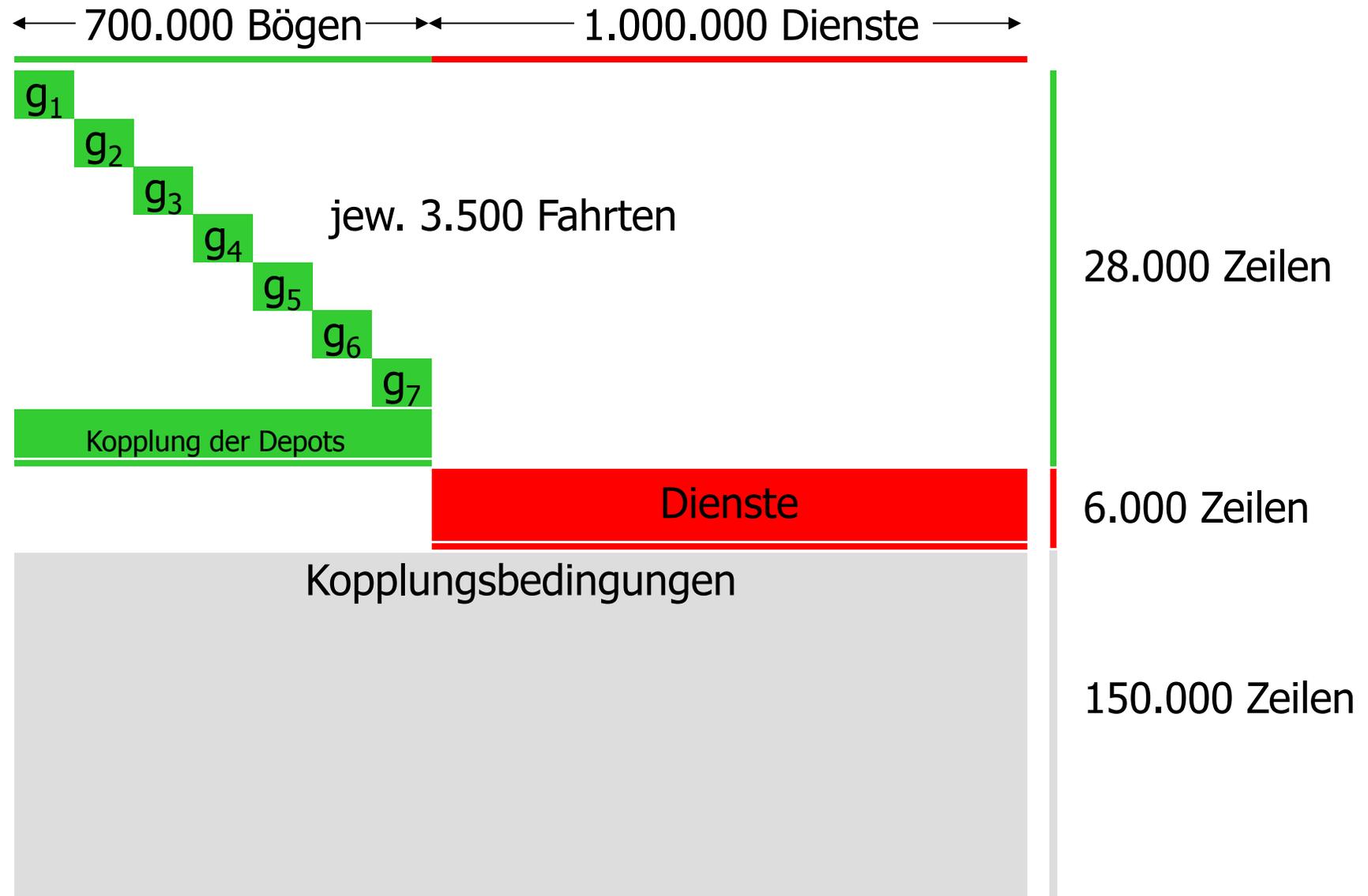
$$\begin{array}{ll}
 \text{(ISP) min} & c^T x + d^T y \\
 (1a) & x(\delta_g^{\text{out}}(v)) = x(\delta_g^{\text{in}}(v)) = 0, \quad \forall \text{ depots } g, \text{ trips } v \\
 (1b) & x(\delta^{\text{out}}(v)) = 1, \quad \forall v \in V \setminus \{s, t\} \\
 (1c) & \sum_{a \in A_k} f_{ak} x_a \leq \kappa_k, \quad \forall K \in \mathcal{K} \\
 (2a) & Ay = 1 \\
 (2b) & By \leq b \\
 (3) & Cx - Dy = 0 \\
 & x \in \{0, 1\}^m, \quad y \in \{0, 1\}^n
 \end{array}$$

$$C_{dt} := \begin{cases} 1, & \text{falls Leerfahrt } d \text{ Dienstelement } t \text{ enthält} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

$$D_{dt} := \begin{cases} 1, & \text{falls Dienstelement } t \text{ von Dienst } d \text{ überdeckt wird} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$



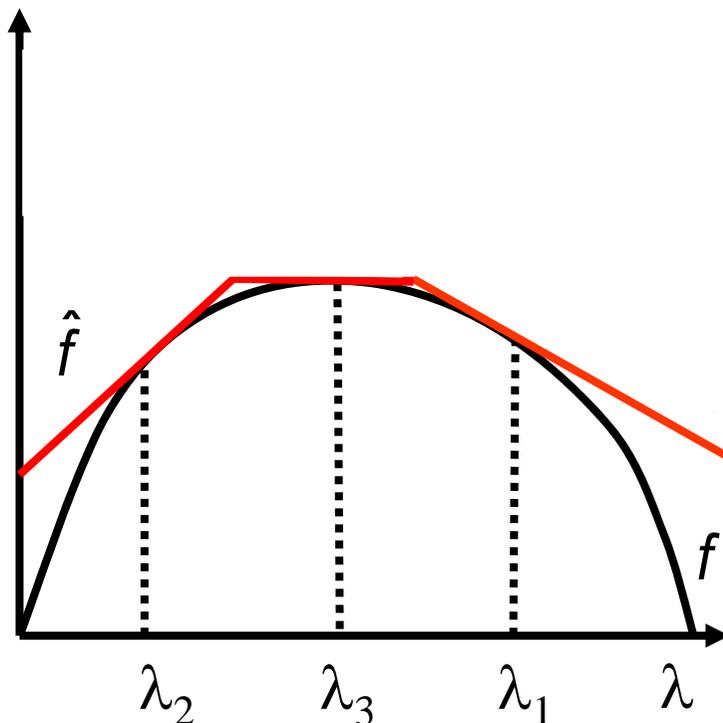
Struktur des Problems



Bündel-Methode zur Behandlung der Kopplungsbedingungen

(Kiwiel [1990], Helmberg [2000])

- Max $f(\lambda) := \min_{x \in X} c^T x + \lambda^T (b - Ax)$, X konvex
- f polyedrisch (stückweise linear)



$$\bar{f}_\mu(\lambda) = c^T x_\mu + \lambda^T (b - Ax_\mu)$$

$$\hat{f}_k(\lambda) := \min_{\mu \in J_k} \bar{f}_\mu(\lambda)$$

$$\lambda_{k+1} = \operatorname{argmax}_\lambda \hat{f}_k(\lambda) - \frac{u_k}{2} \|\lambda - \hat{\lambda}_k\|^2$$



Vergleich Bündel- u.a. Verfahren auf einem Dienstplanungsproblem

Dienstplanungsproblem Ivu41:

- 870.500 Spalten,
- 3.570 Zeilen
- 10,5 Non-zeroes pro Spalte

Coordinate Ascent: Schnell

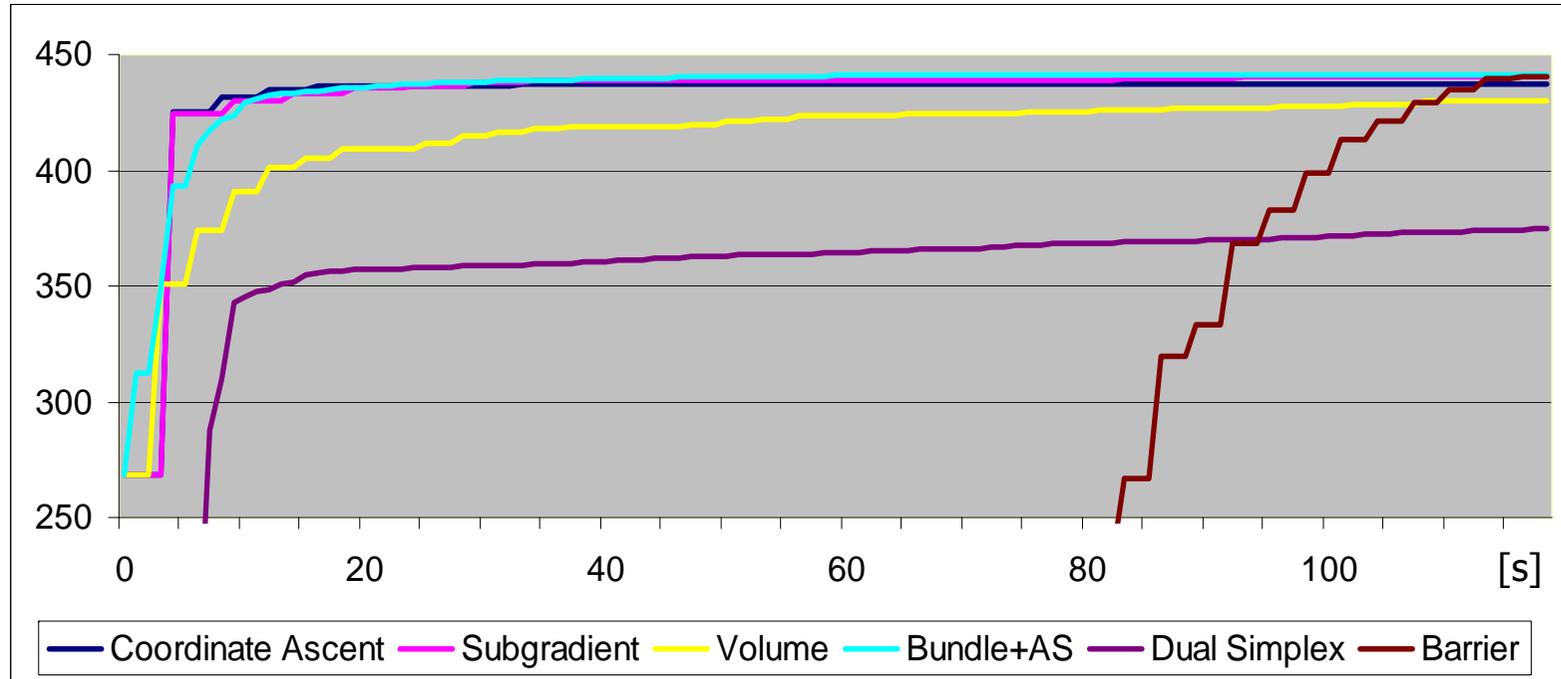
Subgradient: Konvergiert theoretisch

Volume: Primalapproximation

Bundle+AS: Kovergenz + Primalapprox.

Dual Simplex: Primal+dual optimal

Barrier: Primal+dual optimal

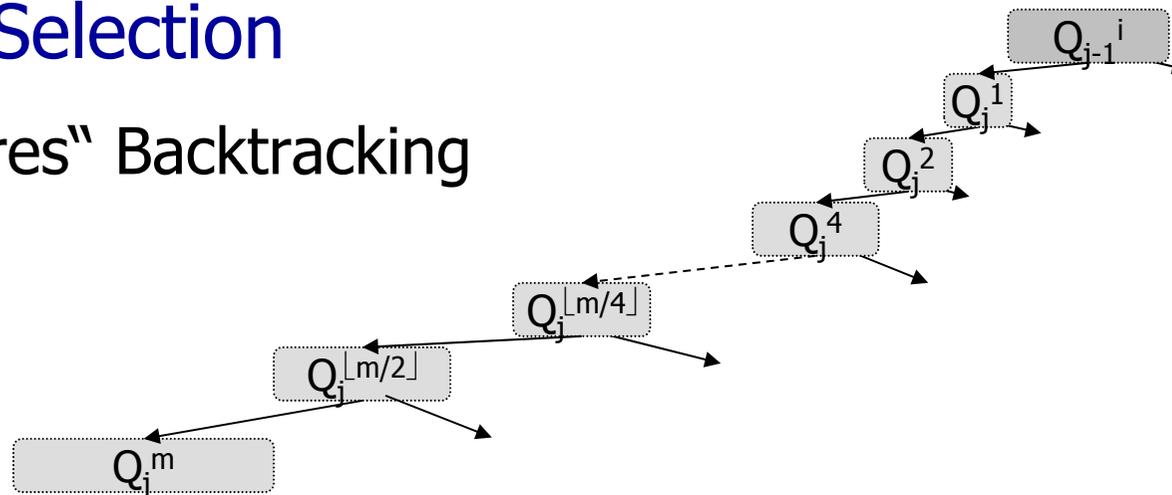


Primalheuristik

- Perturbation Branching
 - Iteratives Perturbieren der Zielfunktion und Lösen des LPs bis viele Variablen 1 sind.

- Node Selection

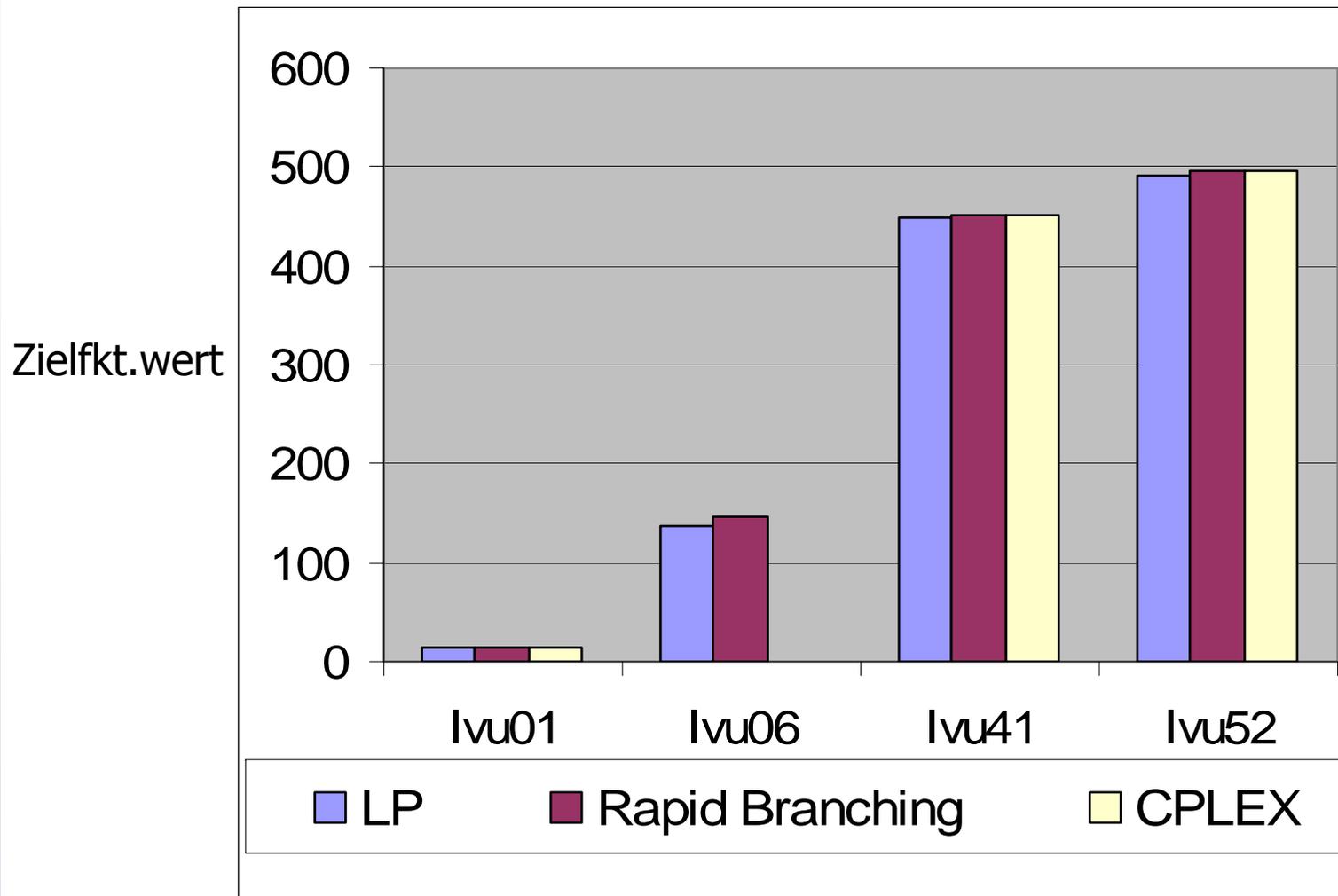
- „binäres“ Backtracking



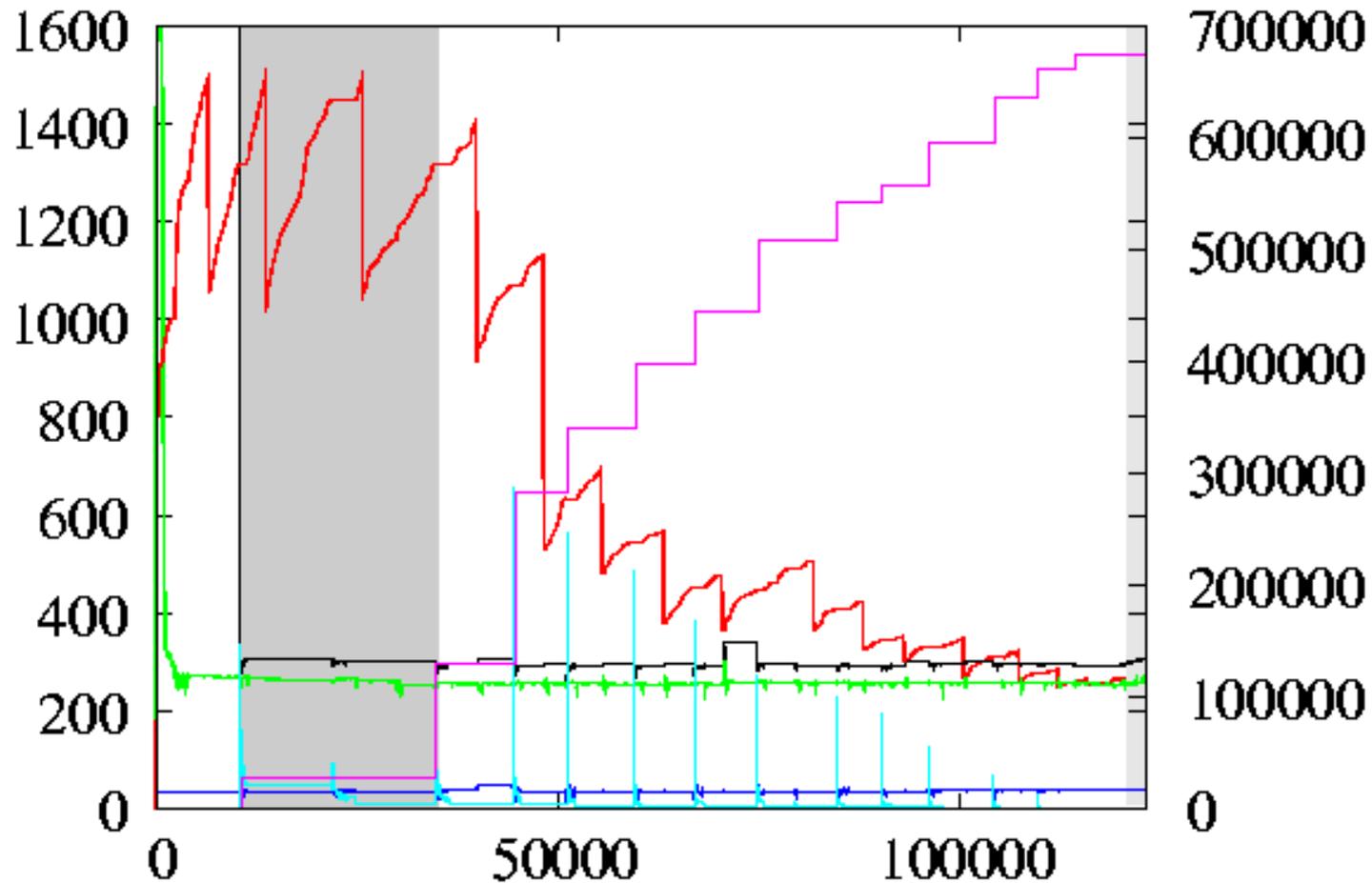
- Untere Schranke mit approx. Bündelmethode



Vergleich: Zielfunktionswerte Rapid Branching und CPLEX 10.0



Rechengang



objective value —
 VS value —
 DS value —

norm —
 #columns —
 #fixed deadheads —



Integrierte Planung 1983-2007

<i>Artikel</i>	<i>F</i> typen	<i>FF</i>	<i>v</i>	<i>d</i>	<i>Problem</i>
Ball et al. [1983]	1	1 000	--	133	sequentielle Planung
Scott [1985]	1	456	54	--	VSP + Schätzung Dienstkosten
Tosini & Vercellis [1988]	17	300	--	--	VSP + zus. Bedingungen
Falkner & Ryan [1992]	1	182	--	41	DSP + zus. Bedingungen
Patrikalakis et al. [1992]	--	111	20	45	DSP + Min-Cost-Flow
Gaffi & Nonato [1997]	28	257	44	65	ISP ohne Ablösen
Freling [1997]	1	296	38	90	ISP
Friberg & Haase [1997]	1	30	--	--	DSP + SPP zur Optimalität
Freling et al. [2000]	1	476	9	23	ISP
Huisman [2004]	--	653	67	117	ISP
Weider [2007]	7	3 698	209	260	ISP + Kap. + Ressourcenbed.

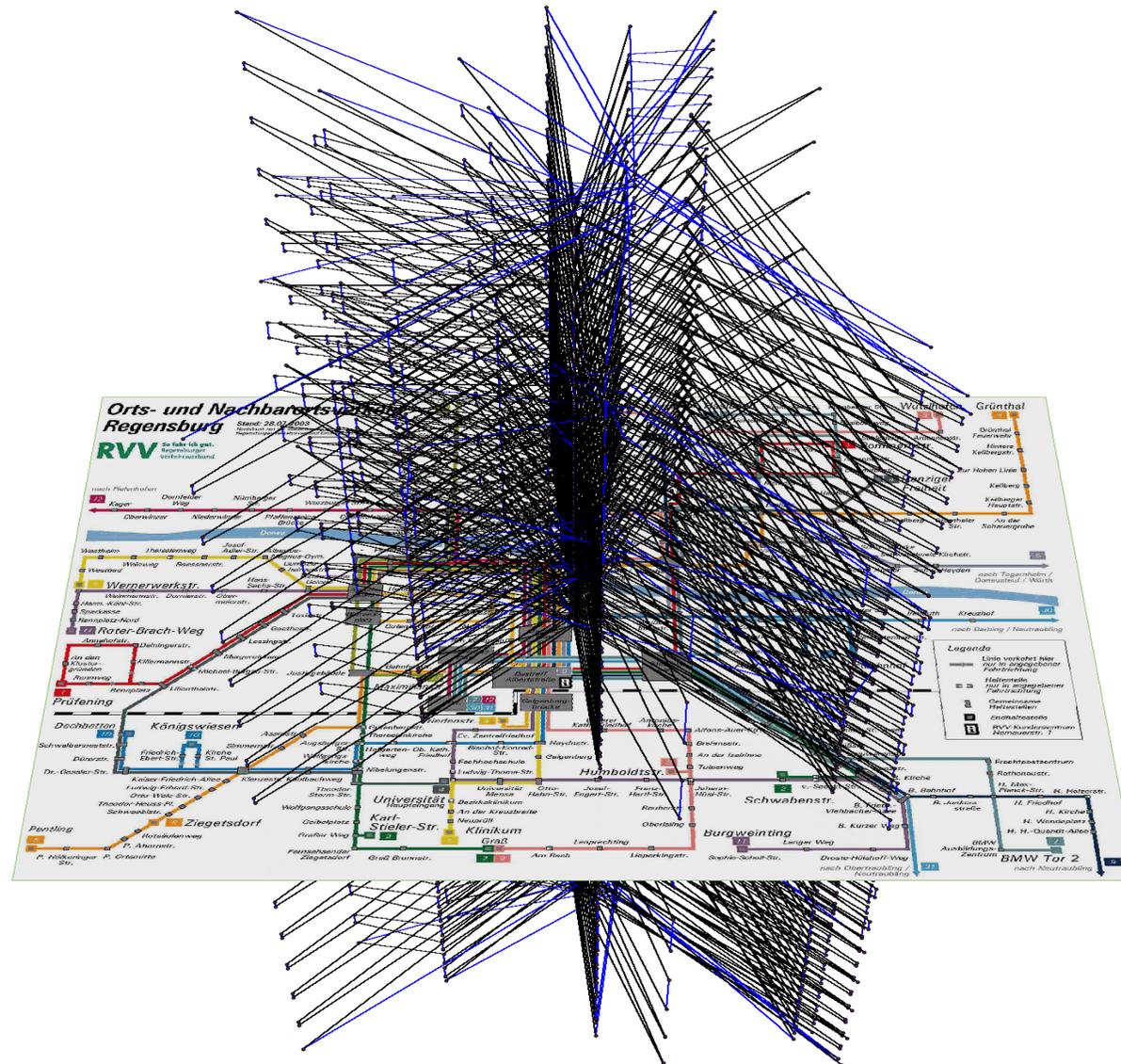


Gliederung

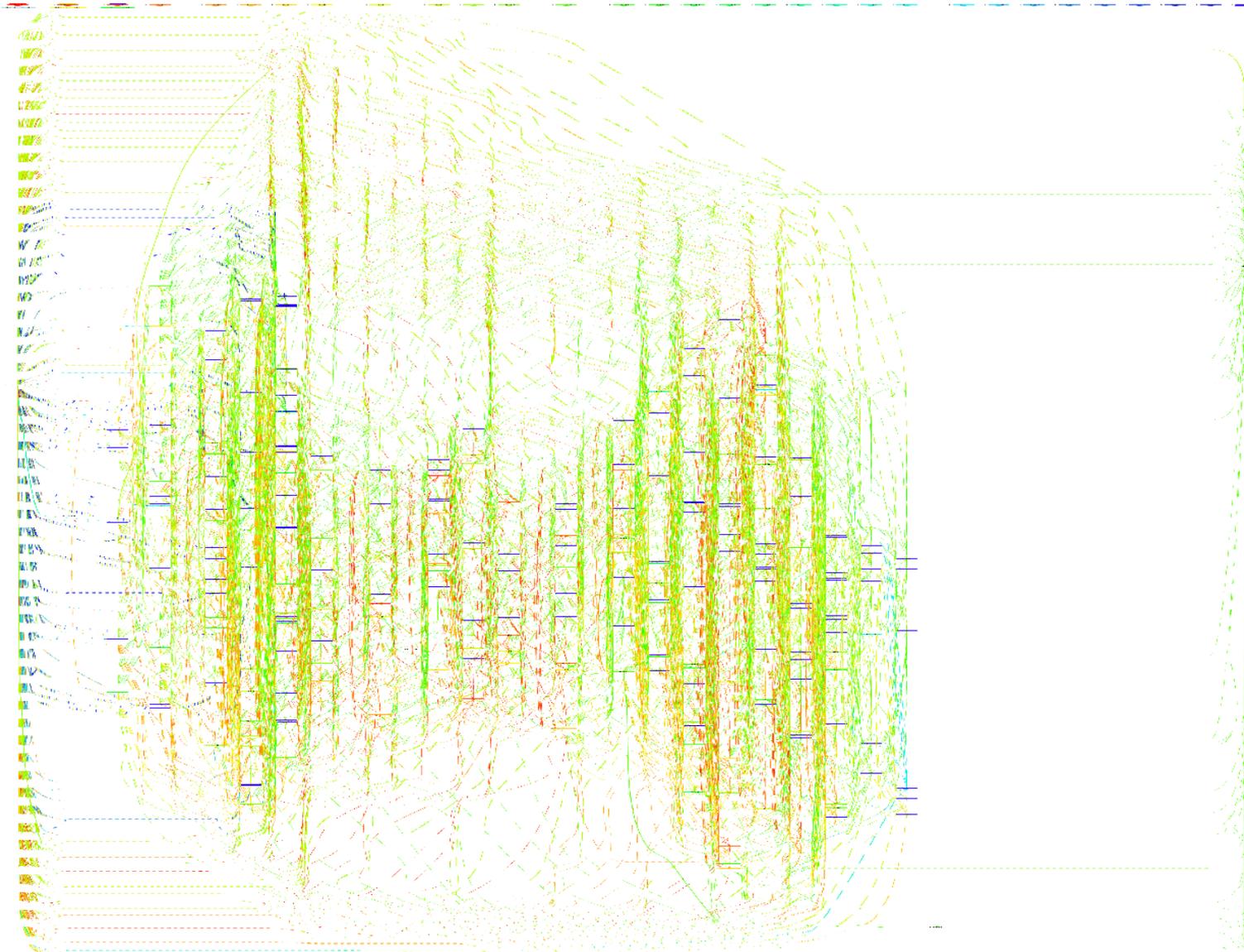
- Verkehrsoptimierung: ein kurzer Überblick
- Umlaufplanung
- Dienstplanung
- Integrierte Umlauf- und Dienstplanung
- **Einige Ergebnisse**



Umlaufplanung im ÖPNV



Dienstplanung im ÖPNV



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.

Folie der SWB

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

BVG (Berlin)

Systematisierter Einsatz

Die neuen Optimierungsmethoden, die die BVG jetzt nach und nach nutzen will, stammen vom Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik und garantieren nach Roß' Angaben Einsparungen von maximal 100 Millionen Mark im Jahr. „Sie sind nötig, um unser Angebot in dieser schweren Lage stabilisieren und dem Einsparungsdruck überhaupt standhalten zu können.“

Bereits 1991 beauftragte die BVG die Berliner Software-Firma IVU, ein EDV-System zur Betriebsplanung zu entwickeln. IVU steht für „Gesellschaft für Information, Verkehrs- und Umweltplanung GmbH“, ein Unternehmen mit 120 Mitarbeitern, das auf Verkehrsplanung und Logistik spezialisiert ist. Der BVG ging es bei dem Auftrag vor allem darum, die Einsatzplanung ihrer Fahrzeuge zu systematisieren.

WISSENSCHAFT UND PRAXIS

Rheinischer Merkur
Nummer 39 · 26. September 1997 **37**

INFORMATIK / Ein Lehrbeispiel, wie sich Mathematik und Wirtschaft ergänzen

Auf Sparkurs zum Ziel

Das Berliner Busnetz kostet jährlich Millionen. Mit Hilfe moderner Software könnte man auf gewaltige Zuschüsse verzichten.

■ YASCO ALEXANDER SCHMIDT

Die Mathematik ist die Wissenschaft abstrakter Probleme. Deshalb erscheint sie so oft als weltabgewandte Spielerei. Doch das ist nur die halbe Wahrheit. Längst mischt sich die Mathematik in die Praxis ein. Überall, wo in der Wirtschaft gespart und verbessert werden muß, kann sie helfen. Professor Martin Grötschel, Vizepräsident des Konrad-Zuse-Zentrums für Informationstechnik in Berlin, steht für das neue Selbstbewußtsein der angewandten Mathematik. Er ist Experte für die kombinatorische Optimierung. Seine Botschaft: „Wer heute die großen Verkehrsnetze und komplizierten Fabriken optimieren will, muß sich mit Mathematik beschäftigen, um unnötige Kosten zu vermeiden.“

Nun gibt es in Berlin ein Lehrbeispiel, wie Mathematik und Wirtschaft zueinander kommen können. Die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) haben vor wenigen Wochen begonnen, die Einsatzplanung ihrer Fahrzeuge zu verbessern. Bisher wurden die Pläne, wenn auch mit Computerhilfe, per Hand erstellt. Von einer kostenintensiven Planung war man weit entfernt.

Um ihre Kosten zu decken, hat die BVG für ihr Jahr große Zuschüsse vom Berliner Senat bekommen. Doch damit ist nun Schluss: dem Land Berlin geht das Geld aus, so daß auch die BVG unter einem enormen Sparzwang steht. „Wir müssen jährlich dreistellige Millionenbeträge einsparen“, erklärt Jürgen Roß, Planungingenieur bei der BVG. „Bis zum Jahr 2000 können wir von den heute rund 21 000 Mitarbeitern nur noch 15 000 beschäftigen.“

Systematisierter Einsatz

Die neuen Optimierungsmethoden, die die BVG jetzt nach und nach nutzen will, stammen vom Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik und garantieren nach Roß' Angaben Einsparungen von maximal 100 Millionen Mark im Jahr. „Sie sind nötig, um unser Angebot in dieser schweren Lage stabilisieren und dem Einsparungsdruck überhaupt standhalten zu können.“

Bereits 1991 beauftragte die BVG die Berliner Software-Firma IVU, ein EDV-System zur Betriebsplanung zu entwickeln. IVU steht für „Gesellschaft für Information, Verkehrs- und Umweltplanung GmbH“, ein Unternehmen mit 120 Mitarbeitern, das auf Verkehrsplanung und Logistik spezialisiert ist. Der BVG ging es bei dem Auftrag vor allem darum, die Einsatzplanung ihrer Fahrzeuge zu systematisieren.

Stadt anhängen, auf Knopfdruck und ohne Umwege über eine Druckerlei im eigenen Haus produzieren. Nach und nach wurden diese Werkzeuge eingeführt. Das jetzt installierte Optimierungsmodell für die Umlaufplanung von Straßenbahnen und Bussen ist der bisher bedeutendste Schritt der Zusammenarbeit.

Komfortable Hilfe

Zwar werden in Deutschland für die Verkehrsplanung meist schon Computer eingesetzt; diese aber unterstützen die Planer oft nur als ein einfaches, wenn auch komfortables Hilfsmittel. Andere Verkehrsunternehmen, etwa die Hamburger Hochbahn AG, setzen Computer schon seit Ende der sechziger Jahre ein, um Näherungslösungen für optimale Pläne zu berechnen. Die Forscher am Konrad-Zuse-Zentrum konnten noch einen Schritt weiter gehen: Ihre Computer berechnen das Optimum der Kosteneinsparung nicht nur annähernd, sondern ganz exakt. Ein wissenschaftlicher Durchbruch.

Die mathematische Grundlage ihrer Rechner bildet eine komplexe Gleichungssystem, eine sogenannte Matrix, mit mehr als 100 000 Zeilen und 70 Millionen Spalten. Die Zahlen in der gigantischen Tabelle geben an, wie die Buse eingesetzt werden sollen. Die Größe der Matrix weist auf ungezählte Details hin, die beachtet werden müssen: Der Computer muß garantieren, daß jeder der

rund 1800 BVG-Busse morgens sein Depot verläßt und nach Dienstschluss dort wieder landet.

Es gibt Eindecker, Doppeldecker, Gelenk- und Minibusse, aber nicht jeder Busstyp kann jede Route bedienen. Außerdem sind kompliziertere betriebliche und rechtliche Bedingungen zu beachten, etwa Pausenregelungen. Ziel ist es, die einzelnen Busfahrten so zu verteilen, daß die Arbeitszeit der Fahrer gut ausgenutzt wird und die Leerfahrten von einem Einsatzort zum nächsten möglichst kurz sind. Alle diese Zielvorgaben stecken in der riesigen Matrix, die die Mathematiker „ganzaltes lineares Programm“ nennen. Ein lineares Programm ist für Mathematiker eine alltägliche Struktur. Sie taucht bei fast allen Fragen nach optimalen Mischverhältnissen bei Güterflüssen in einer Fabrik und auch bei Stundenplänen auf.

Büchle gesprochen besteht das Problem – in seiner einfachen Form – aus einem Viereck in der Ebene und einer Gerade, die durch das Viereck verläuft. Nun verschiebt man die Gerade nach rechts. Ziel ist es, den letzten Punkt des Vierecks zu bestimmen, den die Gerade bei diesem Verschiebe-Prozess gerade noch berührt. Hier liegt die kostengünstigste Lösung des Optimierungsproblems. Das Viereck bei den Bus-Umlaufplänen ist sehr viel komplexer, man sollte es sich eher als einen verwickelten Knäuel mit mehreren Billionen Ecken und Kanten vorstellen.

„Fähigkeit ist die Matrix für die Umlaufplanung bei der BVG so groß, daß

man sie noch nicht einmal vollständig im Computer speichern könnte“, verrät Andreas Löbel, wissenschaftlicher Mitarbeiter von Martin Grötschel. „Pro Spalte gibt es aber nur drei Einträge, die von Null verschieden sind.“ Das bedeutet, daß sich die Matrix stark vereinfachen läßt. Und genau diese Eigenschaft machen sich die Mathematiker zunutze: So versucht ihr Algorithmus zuerst mit einem Teil der Matrix zu operieren. Findet er für diesen kleinen Teil eine Lösung, so vergrößert er nach und nach das Problem, bis er eine Lösung für die gesamte Matrix gefunden hat.

Pfiffige Programme

Von der Mathematik spülen die Planer bei der BVG wenig. Nicht einmal Großrechner werden gebraucht – so pfiffig wurde das System programmiert. Je nach Teilproblem dauert die Bearbeitung wenige Stunden oder sogar nur Minuten. „Das System wurde gut angenommen, da die Planer in kurzer Zeit verschiedene Szenarien testen und vergleichen können“, berichtet Uwe Strube, der als Projektleiter bei der IVU für die Entwicklung des fertigen Softwareprodukts zuständig ist.

Auch Martin Grötschel betont den Nutzen für den Planer mehr als das Einsparungspotential. „Wir geben den Leuten Hilfsmittel in die Hand, die Kosten zu sparen. Ob dabei am Ende etwas eingespart oder der Service kostenneutral verbessert wird, ist nicht unsere, sondern eine politische Frage.“

Die Politik freilich erwartet zur Zeit nur die größtmögliche Einsparung. In der Mathematik hat sie dafür ein passendes Instrument gefunden. □



ZAHLENWERK: Nicht nur die Fahrpläne der Busse, sondern auch Dienst- und Einsatzpläne lassen sich programmieren. Foto: Bonn-Sequence



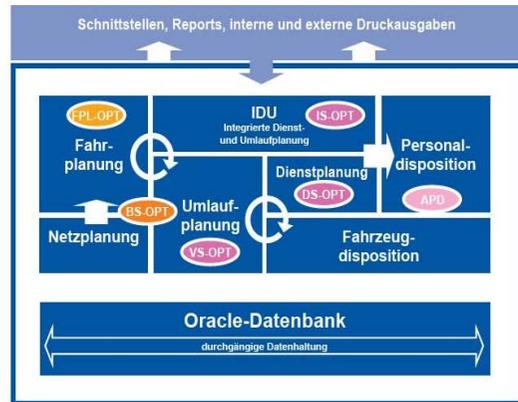
Ralf
Borndörfer

Sequentielle oder integrierte Die Optimierungstools der IVU

Viele Verkehrsplaner sind skeptisch, wenn sie den Begriff Optimierung hören. „Das habe ich schon oft gehört, funktioniert hat es nie“, ist, was so mancher sich noch immer denkt. Doch diese Auffassung ist nicht mehr richtig. Denn in den letzten Jahren hat sich viel getan.

VS-Opt, DS-Opt, IS-Opt – wenn er über die Möglichkeiten zur Optimierung der Umlauf- und Dienstplanung spricht, unterscheidet Dr. Ralf Borndörfer heute drei verschiedene Formen. Borndörfer ist stellvertretender Leiter der Abteilung „Optimierung“ am Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin (ZIB) und Gesellschafter eines Spin-offs, der Löbel, Borndörfer und Weider GbR (LBW), die sich seit vielen Jahren mit der Verbesserung von Prozessen in Logistik und Verkehr beschäftigt. Gemeinsam mit der IVU wurden die verschiedenen Optimierungstools entwickelt: VS-Opt (Vehicle Scheduling Optimizer) für die Umlaufoptimierung, DS-Opt (Duty Scheduling Optimizer) für die Dienstplanoptimierung und schließlich IS-Opt (Integrated Vehicle and Duty Scheduling Optimizer), die integrierte Dienst- und Umlaufoptimierung, mit der Umläufe und Dienste gleichzeitig in einem Schritt auch bei komplexen Vorgaben optimiert werden.

Begonnen hat die Entwicklung dieser Optimierungstools immer mit dem Erstellen eines mathematischen Modells, danach kam die Suche nach geeigneten Algorithmen: „Zunächst haben wir uns einzeln mit der Umlauf- und mit der Dienstplanung beschäftigt“, sagt Borndörfer. „Heute können wir Umläufe und Dienste auch für große Betriebe mit komplexen Regelwerken auf ganz normalen



PCs berechnen. Wichtig ist dabei insbesondere die Kontrolle von Dienstmix und Fahrzeugmix, also der Anzahl der Fahrer und Fahrzeuge, die sich in ihren Dienstregeln und Verknüpfungsvorgaben stark unterscheiden können.“ Klassischerweise wird dabei zuerst die Umlaufplanung und in einem weiteren Schritt die Dienstplanung gerechnet, eine Vorgehensweise, mit der man im städtischen Bereich im Allgemeinen zu ausgezeichneten Ergebnissen kommt.

Anders im Regionalverkehr: Dort ist das Vorgehen der „sequentiellen Planung“ wenig erfolgreich. Der Grund sind vor allem die weiten Strecken und die geringe Fahrtenfolge im ländlichen Bereich: Um zu Ablösepunkten zu kommen, wären lange Leerfahrten oder Anreisewege für die Fahrer nötig. Wenn man die Umläufe ohne Blick auf die Dienstplanung optimiert, kön-

nen bei diesem Verfahren bare Umläufe entstehen. Einfache Möglichkeiten, diese Verkehre fahrbar zu machen,

ist die „kombinierte“ Planung. Mit ihr können „Dienste“ geplant werden, die allerdings Dienste, die in den Triebshöfen vorseher, die Fahrzeugkapazität nicht übersteigt werden kann. Eine bessere aber noch komplexere Lösung ist die integrierte Planung (IS-Opt) sie her-

Gerade im Regionalverkehr ist die integrierte Optimierung überlegen, da sie die Restriktionen der Dienstbildung gleich mit in Betracht ziehen kann. Die zu verarbeitenden Datenmengen sind riesig und die Zusammenhänge zwischen den Szenarien und realistische Szenarien zu entwickeln, mussten neue Methoden entwickelt werden.

Erfolgreich mit integrierter Optimierung

Die DB Stadtverkehr GmbH ist die deutschlandweit größte Anwenderin der integrierten Optimierung: Die Umläufe und Dienste der 22 regionalen Busgesellschaften werden in einem Schritt geplant – dies geschieht für die eigenen Leistungen und Auftragnehmerleistungen gemeinsam. Zudem lassen sich mit dem System Ausschreibungsszenarien rechnen und vergleichend analysieren. So können fundierte Entscheidungen für oder gegen die Beteiligung an einer Ausschreibung getroffen werden und der Ressourceneinsatz rechtzeitig geplant.

Auch die VWS Verkehrsbetriebe Westfalen-Süd GmbH in Siegen nutzt die integrierte Optimierung. Unter anderem hat sich das Tool bei der Einführung eines neuen Nahverkehrsplanes bewährt. Es zeigte sich, dass auch die an sich aufwändige Bearbeitung großer Projekte relativ zügig und durch die Erzeugung und Bewertung mehrerer Varianten wirtschaftlich sinnvoll realisiert werden kann. Nun sollen die Dienste und Umläufe auch in Zukunft mit der integrierten Optimierung geplant und dann gefahren werden – sowohl die Subunternehmen und die

VWS aber auch die Fahrgäste profitieren davon.

In Chemnitz hilft die integrierte Optimierung, Umläufe und Dienste immer wieder an schnell wechselnde Bedingungen anzupassen. Denn in Chemnitz wird zur Zeit an vielen Stellen gebaut. Damit die Busse und Straßenbahnen der Chemnitzer Verkehrs-AG (CVAG) trotzdem pünktlich und wirtschaftlich fahren können, wird immer wieder mit der integrierten Optimierung nachjustiert.

In Gera wurde vor Kurzem eine neue Straßenbahnlinie in Betrieb genommen. Das hat den Anteil der Straßenbahn am öffentlichen Nahverkehr erheblich erhöht. Mit Hilfe der Dienstplanoptimierung wurde die neue Linie schnell in die Gesamtplanung der Geraer Verkehrsbetriebe GmbH (GVB) integriert.

Die Meininger Busbetriebs GmbH (MBB) erwartet ebenfalls Einsparpotenzial beim Zuschnitt und der Zahl der Dienste. Die ersten Szenarien werden zur Zeit gerechnet. In Zukunft soll die integrierte Optimierung Bestandteil aller Planungen sein.

PLATTFORM

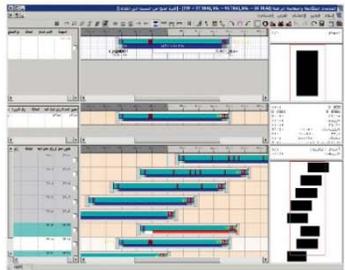
Die Zeitung der IVU Traffic Technologies AG

für den öffentlichen Personenverkehr



Neue Kunden im arabischen Raum Saudi-Arabien und Sharjah setzen auf die IVU.suite

Nach Dubai werden nun auch Saudi-Arabien und Sharjah ihre Busverkehr mit Produkten der IVU.suite planen und disponieren. Die Verkehrsgesellschaften von Saudi-Arabien und Sharjah haben alle dafür wesentlichen Systeme bei der IVU Traffic Technologies AG bestellt. Damit hat die IVU nun drei wichtige Kunden im arabischen Raum.



Ein moderner öffentlicher Nah- und Regionalverkehr mit Bussen wird für die Golfregion immer wichtiger. Denn heute versuchen private Busdienste, Taxen und Privatfahrzeuge vor allem in den Städten zu fließenden Verkehr zu Status. Dem will nach Dubai nun auch das Emirat Sharjah begegnen. Und auch die Verkehrsgesellschaft von Saudi-Arabien, SAPTCO (Saudi Arabian Public Transport Company), hat alle wesentlichen Module der Planungssysteme der IVU bestellt.

In Sharjah leben über 800.000 Einwohner. Viele arbeiten in unmittelbarer angrenzender Dubai. Das hohe Aufkommen von Berufspendlern in den Spitzenzeiten morgens und abends wird zunehmend zum Problem. Dazu kommt, dass die Stadt Sharjah

mit ihren vielen traditionellen Gebäuden sich erfolgreich als kulturelles Zentrum vermarktet, der Strom von Touristen nimmt immer weiter zu. Das Ergebnis sind verstopfte Straßen. Deswegen will die Stadtverwaltung von Sharjah ein völlig neues Nahverkehrs-system einführen. Mit der Planung sowie der späteren Durchführung der Verkehr wurde der private Betreiber „Kuwait and Gulf Link Transport (KGL) – Passenger Transport Services (Sharjah Branch)“ beauftragt. Rund 200 Busse sollen in Zukunft in eng getakteten Linienverkehren fahren. Die Vorbereitungen dafür laufen nun. Die für das neue Verkehrsangebot notwendigen Fahr-, Umlauf- und Dienstpläne werden mit IVU plan verwaltet und entwickelt – die bewährten Optimierungsalgorithmen sorgen einmal mehr für einen effizienten Einsatz von Fahrzeugen und Personal. Und auch bei der Disposition von Fahrzeugen und Fahrern setzt die KGL mit IVU.vehicle und IVU.crew von Anfang an auf die bewährte Software der IVU.

Ebenso wie in anderen Ländern der Region wird auch in Saudi-Arabien der Busverkehr immer wichtiger: 2.250 Busse, 580 Fahrten täglich, Verbindungen zu 360 Orten landesweit – das sind die Eckdaten für den Fahrplan des Königreichs. Dazu kommen rund 120 Fahrten in die Anrainerstaaten und weitere Länder in der Golfregion sowie rund 1.000 zusätzliche Fahrten nach Mekka und Medina während der alljährlichen Pilgerzeit. Um zunächst zumindest für einen Teil dieser Fahrten die Fahr- und Umlaufpläne effizienter erstellen zu können und gleichzeitig die Fahrzeug- und Personaldisposition zu vereinfachen, setzt die SAPTCO in Zukunft IVU plan, IVU.vehicle und IVU.crew ein. Da viele Fahrten über lange Strecken mit mehreren hundert Kilometern gehen, erwartet die SAPTCO, dass die Umläufe und Dienste mit Hilfe der IVU-Systeme ressourcenschonender gestaltet werden können als bisher.

Das Besondere an dem Auftrag sind aber nicht nur die saisonal stark schwankende Zahl von Fahrten und die langen Strecken. Damit ihre Mitarbeiter die Planungs- und Dispositionssysteme einfach bedienen können, hat die SAPTCO sie auf Arabisch bestellt. Aus diesem Grund werden nun alle Eingabemaschinen und Befehle übersetzt und umgestellt.

„Für die IVU ist das der dritte Auftrag im arabischen Raum“, sagt Martin Müller-Elschner, Mitglied des Vorstands der IVU Traffic Technologies AG. „Damit sind wir in der Golfregion nun gut vernetzt und gehen von weiterem Wachstum aus. In dieser Region fehlen moderne öffentliche Nahverkehrssysteme und



2 Die Optimierungstools der IVU



3 Neue Namen für die Systeme der IVU



4 Fahrgastinformation per Mobiltelefon



Aus den Projekten

RHENUS VENIRO nun bundesweit mit IVU.crew

Mit nur einem Software-System Personal disponieren – das werden in Zukunft die Nahverkehrsunternehmen, die zur RHENUS VENIRO GmbH & Co. KG gehören. Dabei setzt die Unternehmensgruppe auf IVU.crew, das bewährte Dispositionssystem der IVU Traffic Technologies AG.

Bislang plante die RHENUS VENIRO in den Betrieben nur die Verkehrsleistung mit IVU plan. Nun soll das bereits bei der Tochtergesellschaft Niederheinische Verkehrs-betriebe AG (NVA) sowie bei der Stadtverkehr Zwickau (SVZ) zur Personaldisposition eingesetzte System auch bei anderen Unternehmen übertragen werden. Die RHENUS VENIRO hat daher nun für alle übrigen ihrer neun Busunternehmen IVU.crew bestellt.

„Das IVU.crew überzeugen konnte, liegt an der komfortablen Bedienung. Sie erlaubt besonders effiziente Arbeitsabläufe und schnelle Reaktionen auf sich verändernde Rahmenbedingungen und Fahrgastströme im Sinne unserer Kunden und Auftraggeber“, sagt Rolf Todtmann, Mitglied der Geschäftsleitung von RHENUS VENIRO und zuständig für die bundesweite Einführung von IVU.crew. „Außerdem versprechen wir uns erhebliche positive Effekte, wenn alle Disponenten unserer Gruppe mit derselben Software arbeiten.“ Vertretungs-lösungen und Schulungen werden so vereinfacht – ebenso die Wartung und Weiterentwicklung der externen und internen Systeme. Denn in Zukunft gibt es nur noch einen Ansprechpartner: die IVU.

ABELLIO bestellt weitere Ticketing-Software und -Geräte

Die Bus-Sparte der ABELLIO GmbH, des Essener Systemhauses für Mobilität (www.abellio.de), hat 80 weitere Bordcomputer mit Ticketing-Funktion vom Typ IVU ticket.box sowie die dazugehörige Software der IVU (IVU.ticket) bestellt. Damit stellt ABELLIO weitere Busse seiner Tochterunternehmen mit dem System der IVU zur Kommunikation zwischen Busfahrern und Leit-zentralen und zum Verkauf von Fahrscheinen aus. Mit den neuen Geräten werden die Verkaufsfunktion direkt per GPS an das zentrale Abrechnungssystem übertragen. Das erlaubt es den Fahrern ihre Verkäufe direkt nach der Fahrt abzurechnen und spart Arbeitszeit. Bis zum Fahrplanwechsel im Dezember 2008 sollen die Geräte und Software installiert und fertig für den Einsatz sein.

Die zusätzlichen Geräte sind notwendig geworden, da ABELLIO mit den hessischen Busstörchern in den letzten Monaten eine Reihe von Ausschreibungen gewonnen hat: Die WERNER GmbH hat den Zuschlag für ein regio-

PLATTFORM

Sequentielle oder integrierte Optimierung? Die Optimierungstools der IVU

Viele Verkehrsplaner sind skeptisch, wenn sie den Begriff Optimierung hören. „Das habe ich schon oft gehört, funktioniert hat es nie“, ist, was so mancher sich noch immer denkt. Doch diese Auffassung ist nicht mehr richtig. Denn in den letzten Jahren hat sich viel getan.



VS-Opt, DS-Opt, IS-Opt – wenn er über die Möglichkeiten zur Optimierung der Umlauf- und Dienstplanung spricht, unterscheidet Dr. Ralf Borddörfer heute drei verschiedene Formen. Borddörfer ist stellvertretender Leiter der Abteilung „Optimierung“ am Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin (ZIB) und Gesellschafter eines Spin-offs, der Lobel, Borddörfer und Weider GbR (LBW), die sich seit vielen Jahren mit der Verbesserung von Prozessen in Logistik und Verkehr beschäftigt. Gemeinsam mit der IVU wurden die verschiedenen Optimierungstools entwickelt: VS-Opt (Vehicle Scheduling Optimizer) für die Umlaufplanung, DS-Opt (Duty Scheduling Optimizer) für die Dienstplanung und schließlich IS-Opt (Integrated Vehicle and Duty Scheduling Optimizer), die integrierte Dienst- und Umlaufplanung, mit der Umläufe und Dienste gleichzeitig in einem Schritt auch bei komplexen Vorgaben optimiert werden.

Begonnen hat die Entwicklung dieser Optimierungstools immer mit dem Erstellen eines mathematischen Modells, danach kam die Suche nach geeigneten Algorithmen: „Zunächst haben wir uns einzeln mit der Umlauf- und mit der Dienstplanung beschäftigt“, sagt Borddörfer. „Heute können wir Umläufe und Dienste auch für große Betriebe mit komplexen Regelwerken auf ganz normalen PCs berechnen. Wichtig ist dabei insbesondere die Kontrolle von Dienst- und Fahrzeugmengen, also der Anzahl der Fahrer und Fahrzeugen, die sich in ihren Dienstzeiträumen und Verknüpfungsvorgaben stark unterscheiden können.“ Klassischerweise wird dabei zuerst die Umlaufplanung und in einem weiteren Schritt die Dienstplanung gerechnet, eine Vorgehensweise, mit der man im städtischen Bereich im Allgemeinen zu ausgezeichneten Ergebnissen kommt.

Mehr Mobilität durch mehr Information IVU beteiligt sich am Forschungsvorhaben BAIM plus

Ende April 2008 wurde das Projekt BAIM (Barrierefreie ÖV-Informationen für mobilitätseingeschränkte Personen) erfolgreich abgeschlossen. Nun folgt BAIM plus, Ziel von BAIM war es, mobilitätseingeschränkten Menschen den Zugang zum öffentlichen Personennahverkehrssystem zu erleichtern. Bei BAIM plus wird es nun um Verbesserungen für alle Fahrgäste gehen.



Das zentrale Ergebnis des Projekts BAIM ist eine Fahrplanauskunft, die bei der Verbindungssuche auch die Belange von mobilitätseingeschränkten Personen berücksichtigt. Möglich geworden ist, das durch neue Suchmethoden und die Erweiterung des Datenmanagement-systems IVU pool. Die genauen Lagen von Rolltreppen, Fahrstühlen und anderen Mobilitätshilfen mussten genau erfasst und die Längen der Wege bis zum Bahnsteig gemessen werden, um so Wege- und Umstiegszeiten berechnen zu können. Niederflurfahrzeuge und Aufzüge werden berücksichtigt, so dass Rollstuhlfahrer, Familien mit Kinderwagen und Reisende mit schwerem Gepäck vorab den günstigsten Reiseweg per Internet abfragen können. Kooperationspartner im Projekt waren

nun bei diesem Verfahren nicht fahrbar. Umläufe entstehen. Eine relativ einfache Möglichkeit, auch für diese Verkehrsfahrbare Ergebnisse zu erzielen.

„Das erklärt, warum wir die integrierte Optimierung auf den Markt bringen können. Trotz der enormen Rechenleistung, die das System benötigt, ist es heute mit jedem herkömmlichen Rechner möglich, relativ schnell fahrbare und personalisierbare Ergebnisse zu erzielen“, erläutert Oliver Grzgozski, Leiter des Geschäftsbereichs Public Transport der IVU. „Das unterstützt die IVU in den Verkehrs-betrieben: Aufwändige Anpassungen in der Umlauf- und Dienstplanung, die aus vielen Fahrpländeränderungen resultieren, müssen nun nicht mehr manuell eingearbeitet werden. Der Planer kann sich auf die Priorisierung von Regeln und Bedingungen konzentrieren, auf die Basis von System-errechneten Lösungsalternativen bewerten und die für sein Unternehmen richtige auswählen.“

Gerade im Regionalverkehr ist die integrierte Optimierung jeder anderen Planung überlegen, weil sie alle Daten und Restriktionen der Umlauf- und Dienstplanung gleichzeitig in einem Schritt betrachtet und verarbeitet kann. Die zu verarbeitenden Datenmengen sind riesig, um die komplexen Zusammenhänge zwischen Angebot und Annahmefolge für die Fahrer richtig zu bewerten, müssten neue mathematische Methoden entwickelt werden. Die

Anders im Regionalverkehr: Dort ist das Vorgehen der sequentiellen Planung wenig erfolgreich. Der Grund sind vor allem die weiten Strecken und die geringe Fahrtenfrequenz im ländlichen Bereich: Um zu Abköpplungen zu kommen, wären lange Fahrzeiten oder Anreisenwege für die Fahrer nötig. Wenn man die Umläufe ohne Blick auf die Dienstplanung optimiert, kön-

nen bei diesem Verfahren nicht fahrbar. Umläufe entstehen. Eine relativ einfache Möglichkeit, auch für diese Verkehrsfahrbare Ergebnisse zu erzielen.

„Das erklärt, warum wir die integrierte Optimierung auf den Markt bringen können. Trotz der enormen Rechenleistung, die das System benötigt, ist es heute mit jedem herkömmlichen Rechner möglich, relativ schnell fahrbare und personalisierbare Ergebnisse zu erzielen“, erläutert Oliver Grzgozski, Leiter des Geschäftsbereichs Public Transport der IVU. „Das unterstützt die IVU in den Verkehrs-betrieben: Aufwändige Anpassungen in der Umlauf- und Dienstplanung, die aus vielen Fahrpländeränderungen resultieren, müssen nun nicht mehr manuell eingearbeitet werden. Der Planer kann sich auf die Priorisierung von Regeln und Bedingungen konzentrieren, auf die Basis von System-errechneten Lösungsalternativen bewerten und die für sein Unternehmen richtige auswählen.“

So können schon vor einer Veränderung der verschiedensten Varianten

durchgespielt werden. Es kommt ganz auf den Blickwinkel und die Zielstellung des Planers an: Soll der Einsatz der Flotte und der Fahrer optimal an immer wieder neue Fahrpländeränderungen angepasst werden? Oder eine bessere Stabilität der Dienstpläne erreicht werden? Sollen die Dienste produktiver werden? Oder soll darüber entschieden werden, welche Fahrten ein Subunternehmer übernehmen soll? Mit der integrierten Optimierung können für alle diese und viele weitere Fragen Szenarien gerechnet werden, die eine fundierte Entscheidung für die eine oder andere Variante erlauben. Das hilft auch, wenn über die Teilnahme an Ausschreibungen entschieden werden soll. Denn mit Hilfe der integrierten Optimierung können Ausschreibungsszenarien gerechnet werden, die Auskunft darüber geben, mit welchen Ressourcen und unter welchen Bedingungen ein Verkehr gefahren werden kann.

„Die integrierte Optimierung ist ein echter Durchbruch“, sagt Grzgozski. „Mit ihr ist selbst die Unübersicht der Dienste steuerbar.“ Auf der Weiterentwicklungsliste steht aktuell die Sensitivitätsanalyse. Mit ihr lassen sich durch geringfügige Abweichungen vom Regelfahrplan die täglichen Spitzen im Berufsverkehr drücken und mit weniger Fahrzeugen und Fahrern fahren. Die IVU bietet die Sensitivitätsanalyse bereits als Bestandteil der Umlaufoptimierung an. Und in Zukunft soll sie das Teil der integrierten Optimierung sein.

Erfolgreich mit integrierter Optimierung

Die DB Stadtverkehr GmbH ist die deutschlandweit größte Anbieterin der integrierten Optimierung. Die Umläufe und Dienste der 22 regionalen Busgesellschaften werden in einem Schritt geplant – dies geschieht für die eigenen Leistungen und Auftragnehmerleistungen gemeinsam. Zudem lassen sich mit dem System Ausschreibungsszenarien rechnen und vergleichend analysieren. So können fundierte Entscheidungen für oder gegen die Beteiligung an einer Ausschreibung getroffen werden und der Ressourceneinsatz rechtzeitig geplant.

Auch die VWS Verkehrsbetriebe Westfalen-Süd GmbH in Bielefeld nutzt die integrierte Optimierung. Unter anderem hat sich das Tool bei der Einführung eines neuen Nahverkehrsplans bewährt. Es zeigte sich, dass auch die an sich aufwändige Bearbeitung großer Projekte rasch und durch die Erzeugung und Bewertung mehrerer Varianten wirtschaftlich sinnvoll realisiert werden kann. Nun sollen die Dienste und Umläufe auch in Zukunft mit der integrierten Optimierung geplant und dann gefahren werden – sowohl die Subunternehmen und die

WVS aber auch die Fahrgäste profitieren davon.

In Chemnitz hilft die integrierte Optimierung, Umläufe und Dienste immer wieder an schnell wechselnde Bedingungen anzupassen. Den in Chemnitz wird zur Zeit an vielen Stellen gebaut. Damit die Busse und Straßenbahn der Chemnitzer Verkehrs-AG (CVAG) trotzdem pünktlich und wirtschaftlich fahren können, wird immer wieder mit der integrierten Optimierung nachjustiert.

In Gera wurde vor Kurzem eine neue Straßenbahnlinie in Betrieb genommen. Das hat den Anteil der Straßenbahn am öffentlichen Nahverkehr erheblich erhöht. Mit Hilfe der Dienstplanungs- und Umlaufplanung wurde die neue Linie schnell in die Gesamtplanung der Geraer Verkehrs-betriebe GmbH (GV) integriert.

Die Meinerger Busbetriebe GmbH (MBB) erwartet ebenfalls Einsparpotenzial beim Zuschuss und der Zahl der Dienste. Die ersten Szenarien werden zur Zeit gerechnet. In Zukunft soll die integrierte Optimierung Bestandteil aller Planungen sein.

barrierefreien beziehungsweise blindengerechten Wege erfassen und so ein entsprechendes Routennetz selber „spinnen“. Die Daten fließen in die Geo-Komponente IVU.pool.map ein und werden dort mit dem Routennetz für den übrigen Individual- und öffentlichen Verkehr verknüpft. Ein Export für die Routingsysteme des VBS und des RMV stellt sicher, dass diese Daten dann für die Auskunft zur Verfügung stehen, beim VBB erweitert um die barrierefreie Fußgänger-navigations mit dem IVU-Routingsystem.

„Wir sind sicher, mit BAIM plus werden der RMV und VBB weitere Pluspunkte bei ihren Fahrgästen sammeln“, sagt Jörg Franzen, stellvertretender Leiter des Projekts bei der IVU.

Besuchen Sie uns auf der InnoTrans 23. bis 26. September 2008

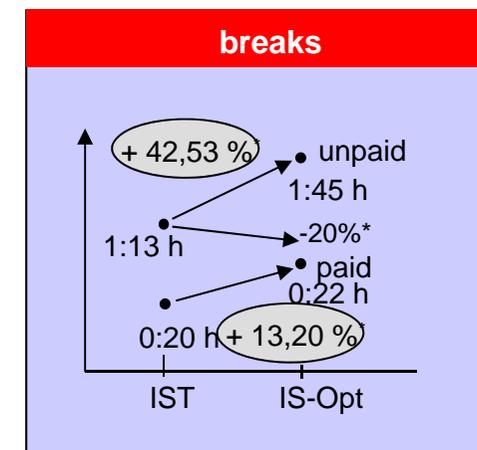
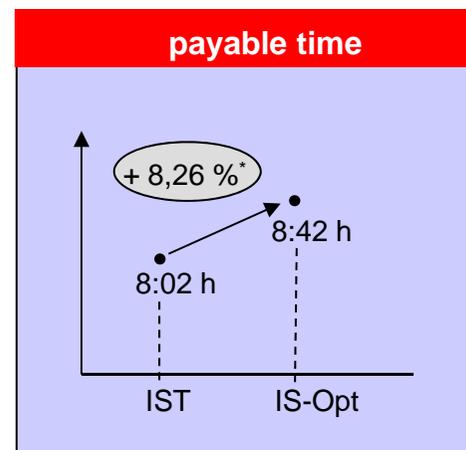
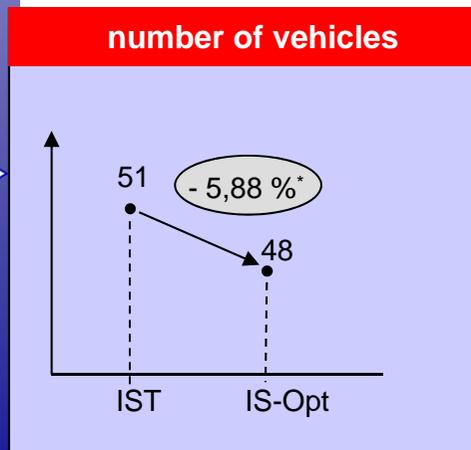
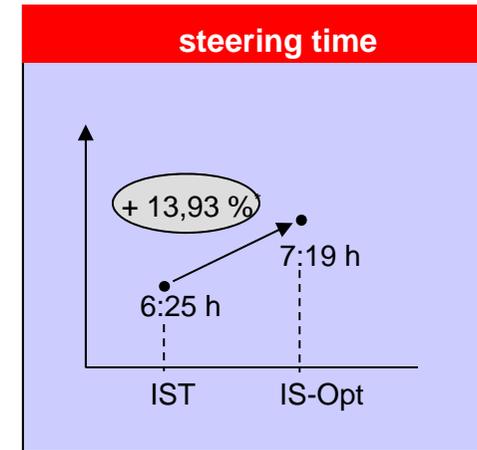
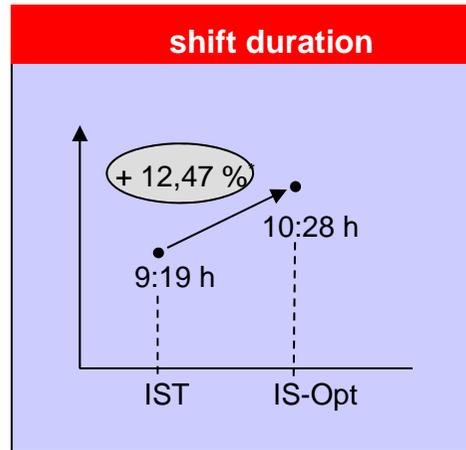
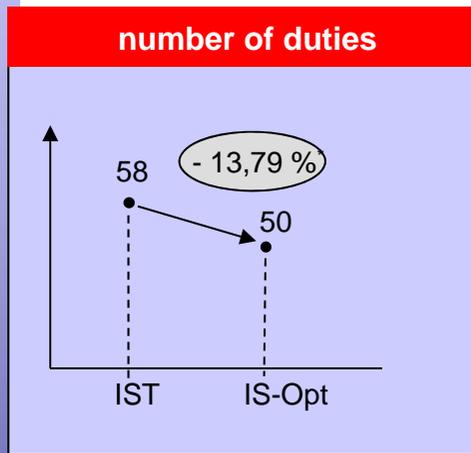


Halle 2.1, Stand 128

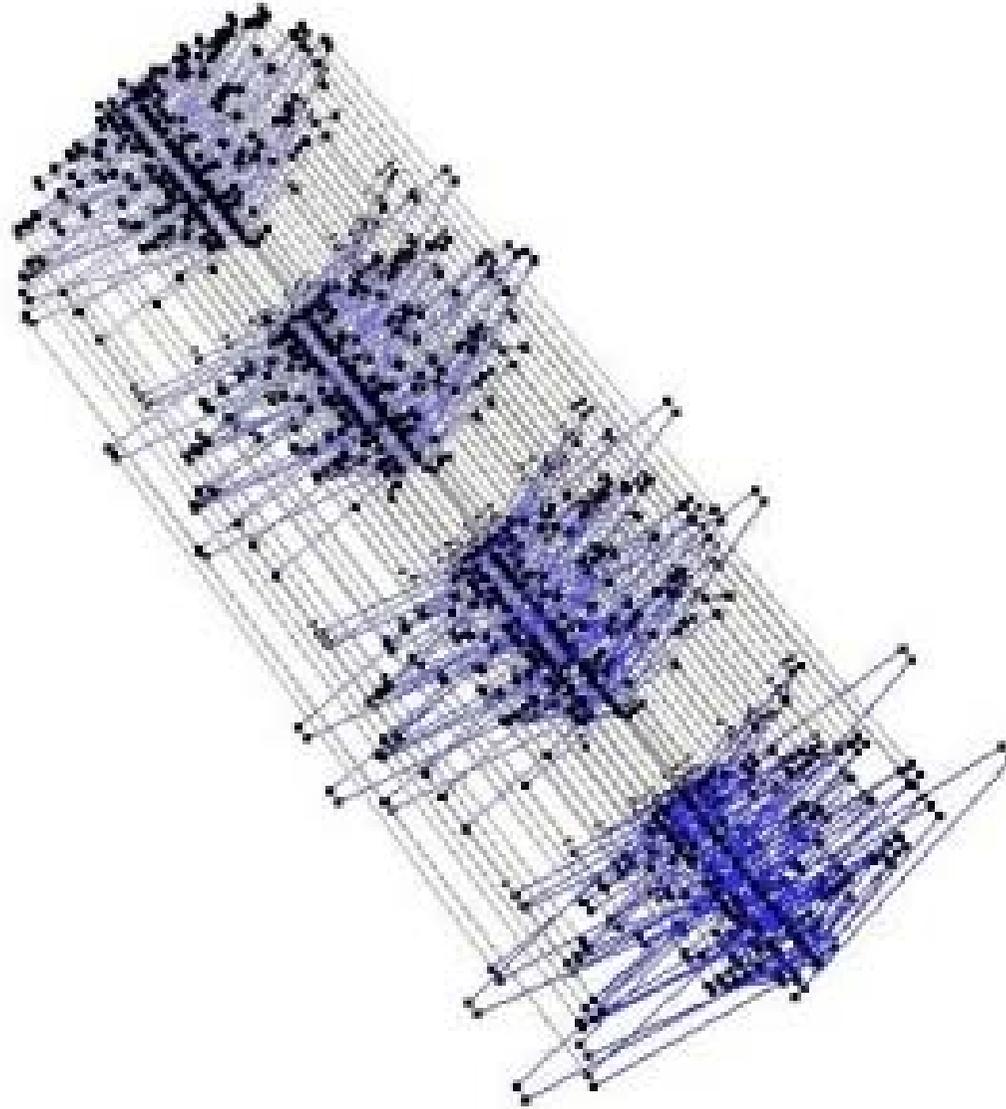
optimization brings further improvements

Example optimization

Folie der DB



Dienstplanung im Luftverkehr



Verkehrsoptimierung: Umlaufplanung & Dienstplanung

TU Berlin
Summer Semester 2012
Lecture on June 11, 2012

Ralf Borndörfer & Martin Grötschel
ZIB, TU, and MATHEON, Berlin



Ralf Borndörfer

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

borndoerfer@zib.de

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