

Das Telebus-Projekt – Eine Berliner Pionierarbeit mit Algorithmen für On- Demand Ride Sharing

Ralf Borndörfer

gemeinsame Arbeit mit

Martin Grötschel Christian Küttner Fridolin Klostermeiner

Forum "Neue Mobilitätsformen"

TfH Wildau, 28. Februar 2018



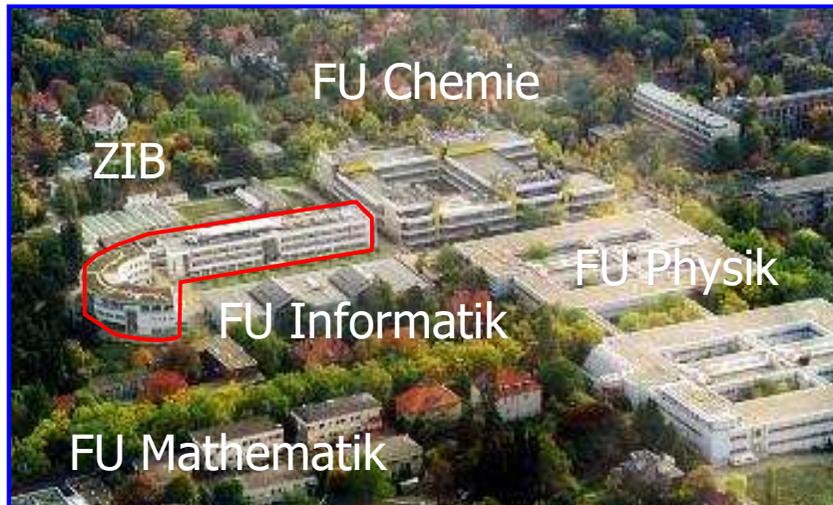
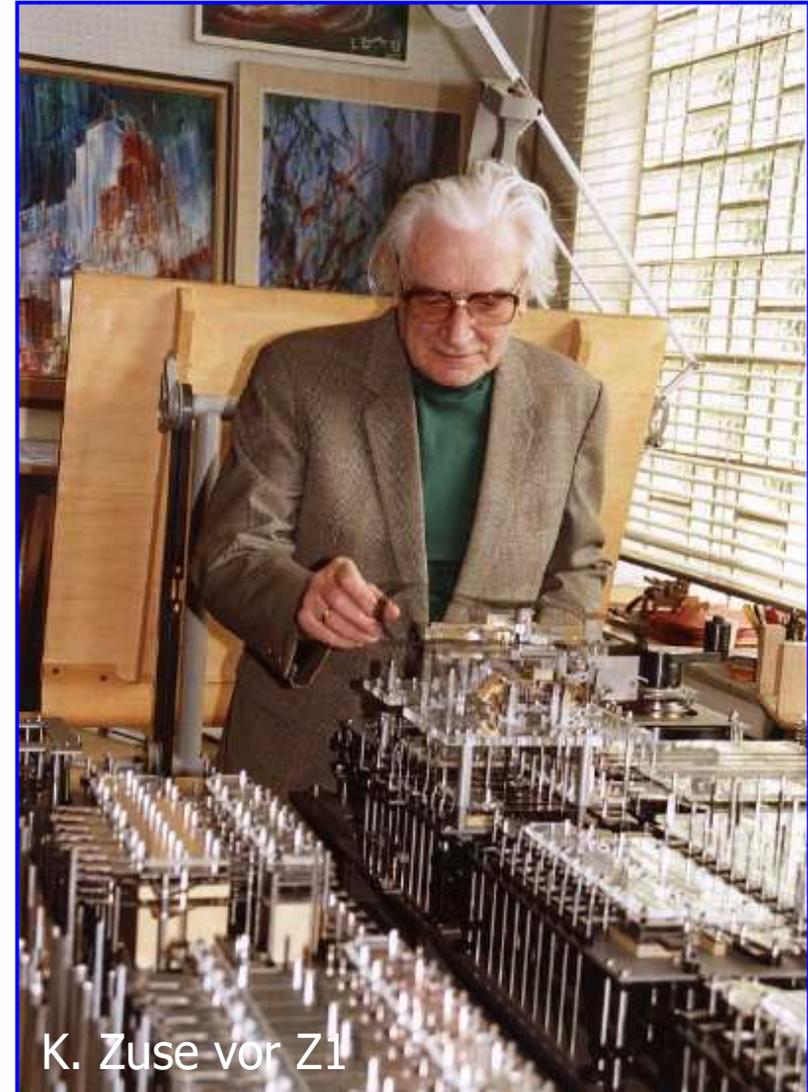
Ralf Borndörfer

- Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin (ZIB)
- Freie Universität Berlin

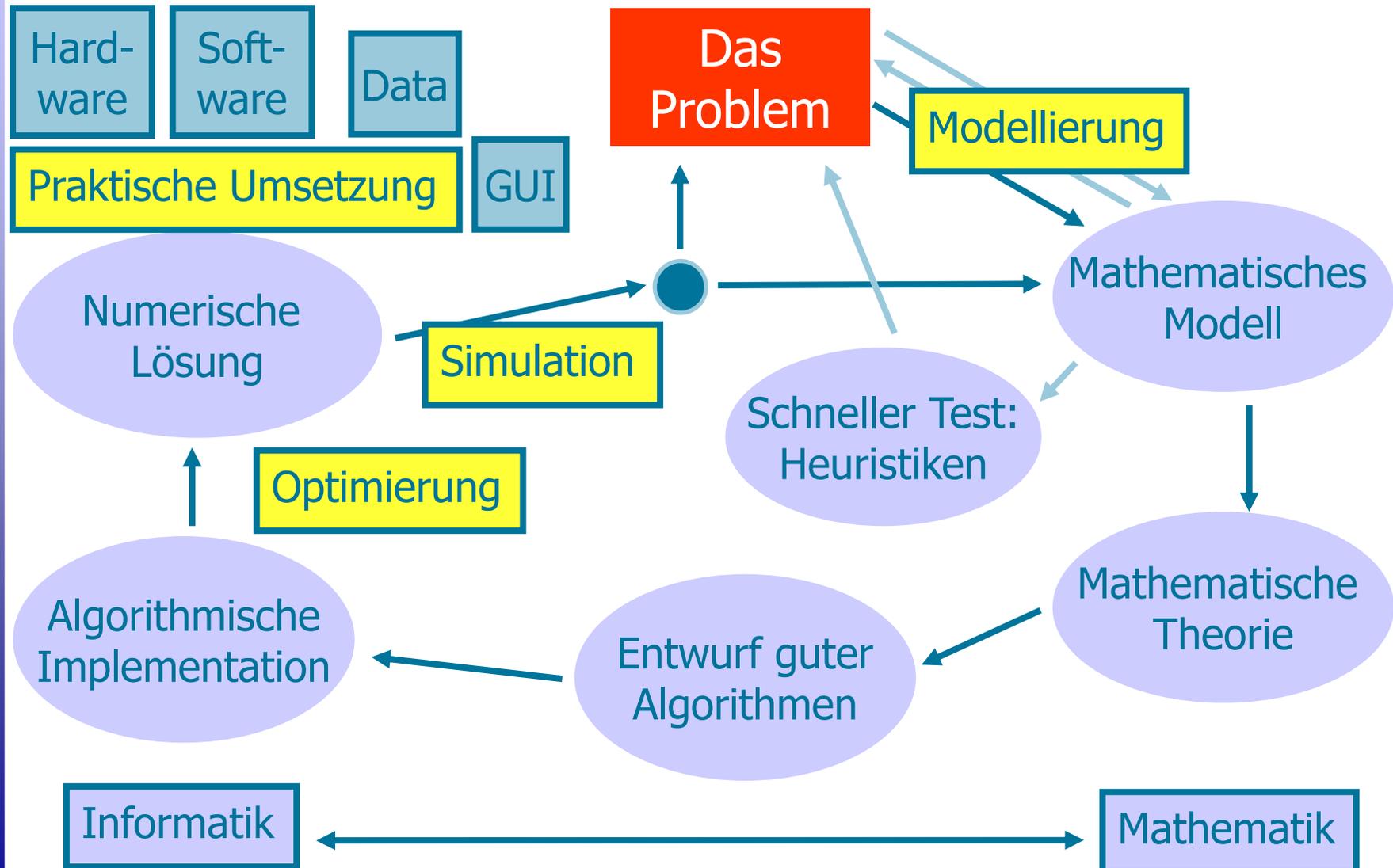
borndoefer@zib.de

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

Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin (ZIB)



Der Problemlösungskreis der angewandten Mathematik



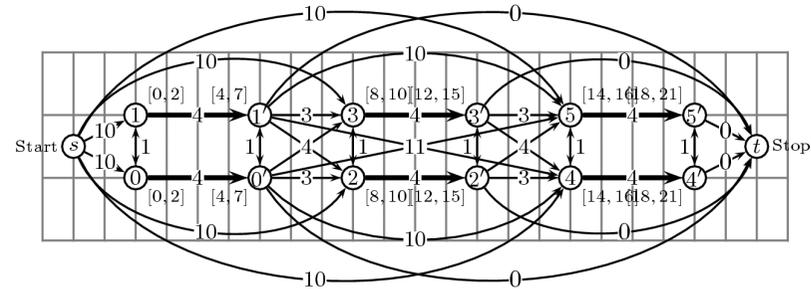
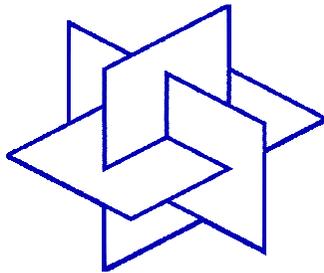
Brauchen wir Mathematik?



Telebus

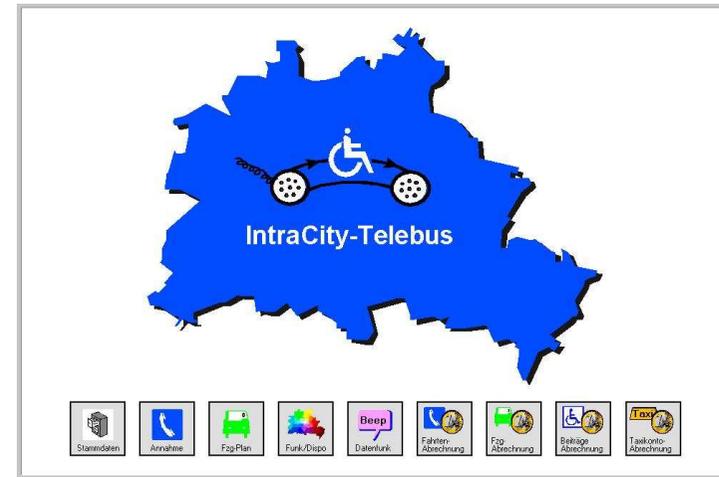


Von der Theorie in die Praxis



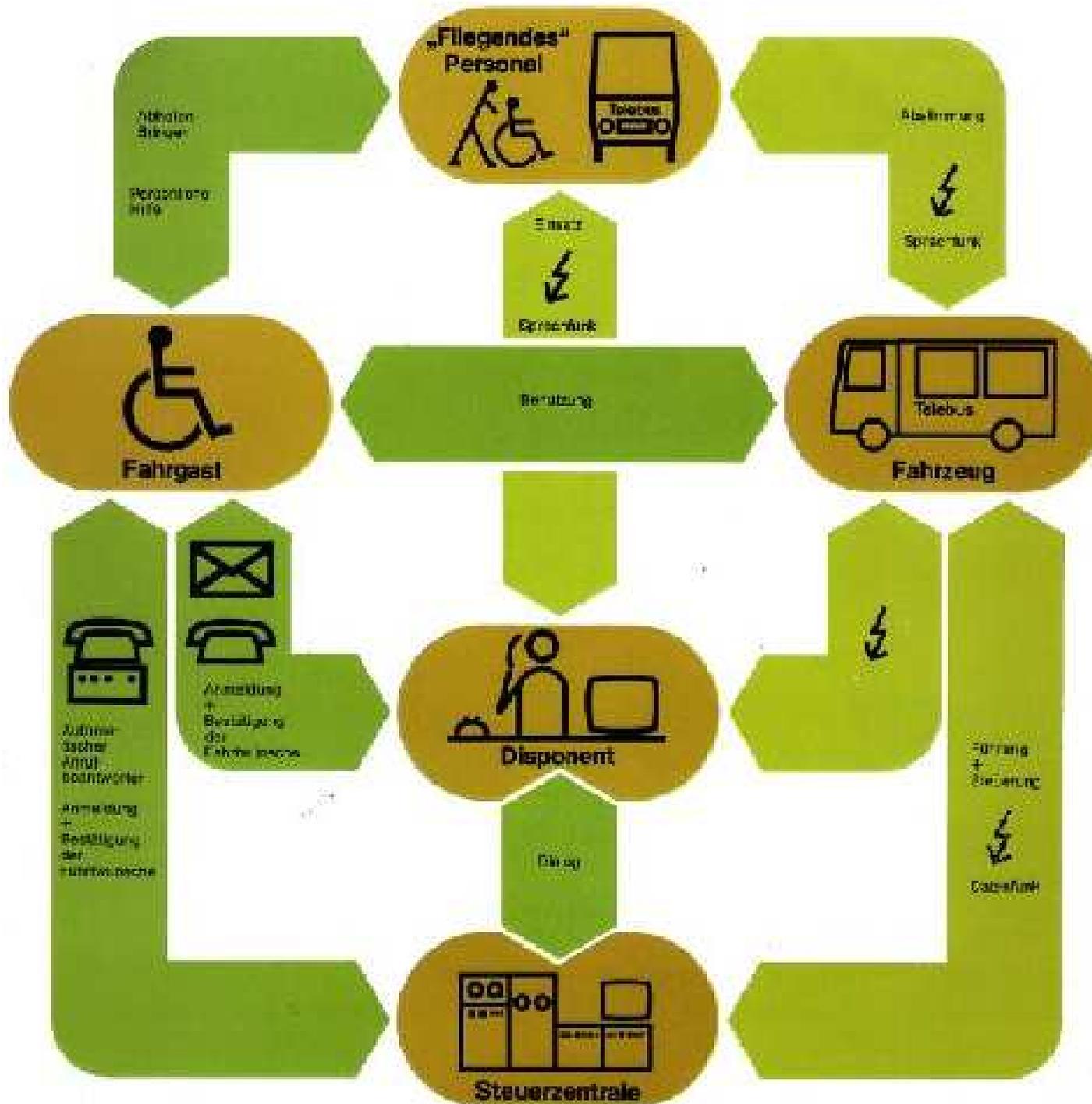
Intranetz

Gesellschaft für
Informationslogistik mbH



BZA



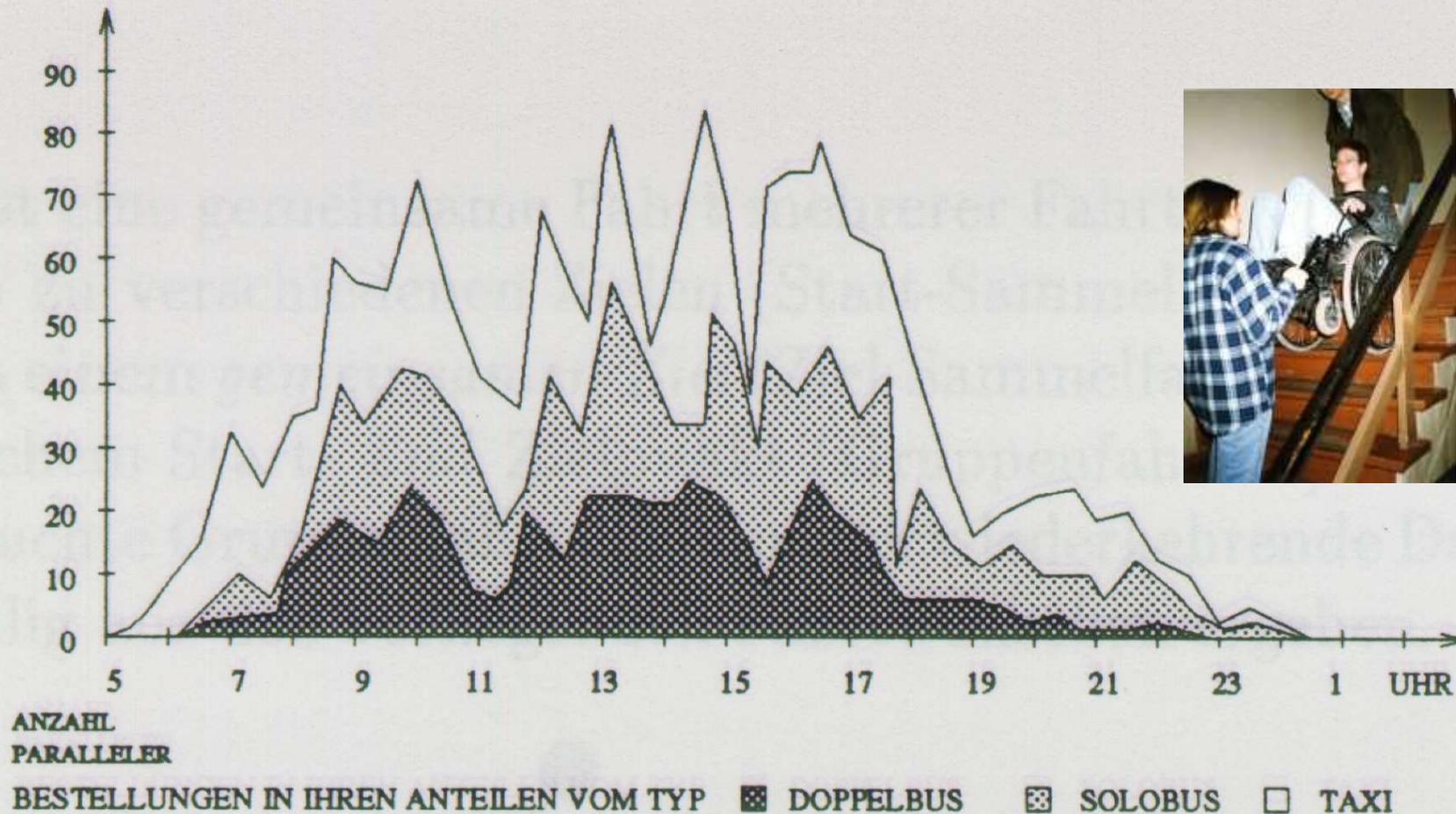


Zeitplan

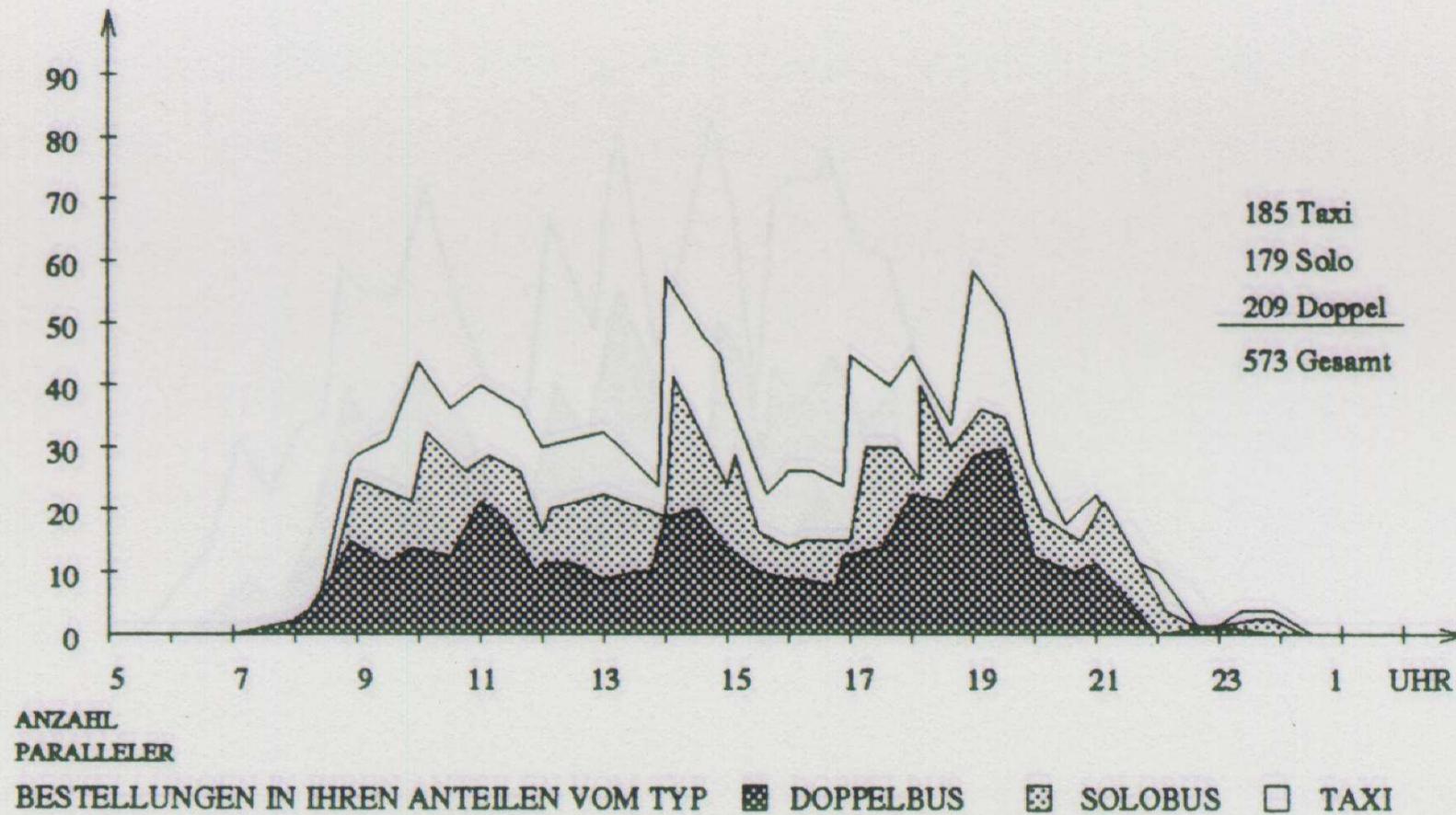
Zeitplan Forschungsvorhaben



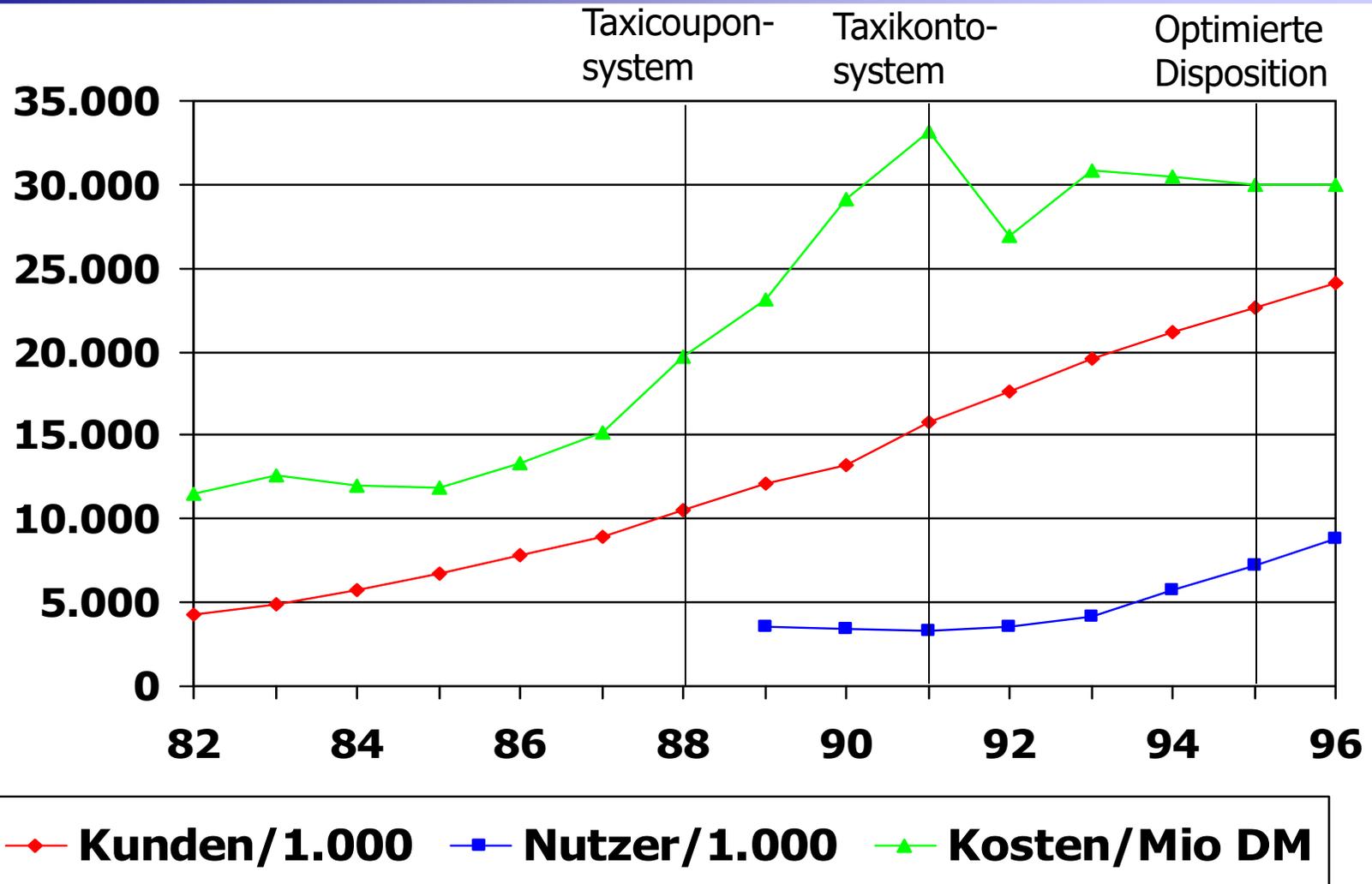
Tagesganglinie (Wochentag)



Tagesganglinie (Sonntag)



Entwicklung







Einsatztag

27.07.1998 Montag

Neu

Ändern

Drucken

Sponti

To Do



Auswahl

124 Touren

Alle

Tour 7

Fzg 210 D43 H 7 Aufträge

Schicht 06:00 - 14:15

Pause 09:40

Fzg

An

Ab

Zeiten

Umsetzen

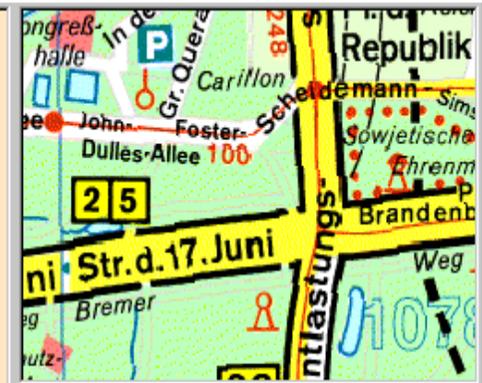
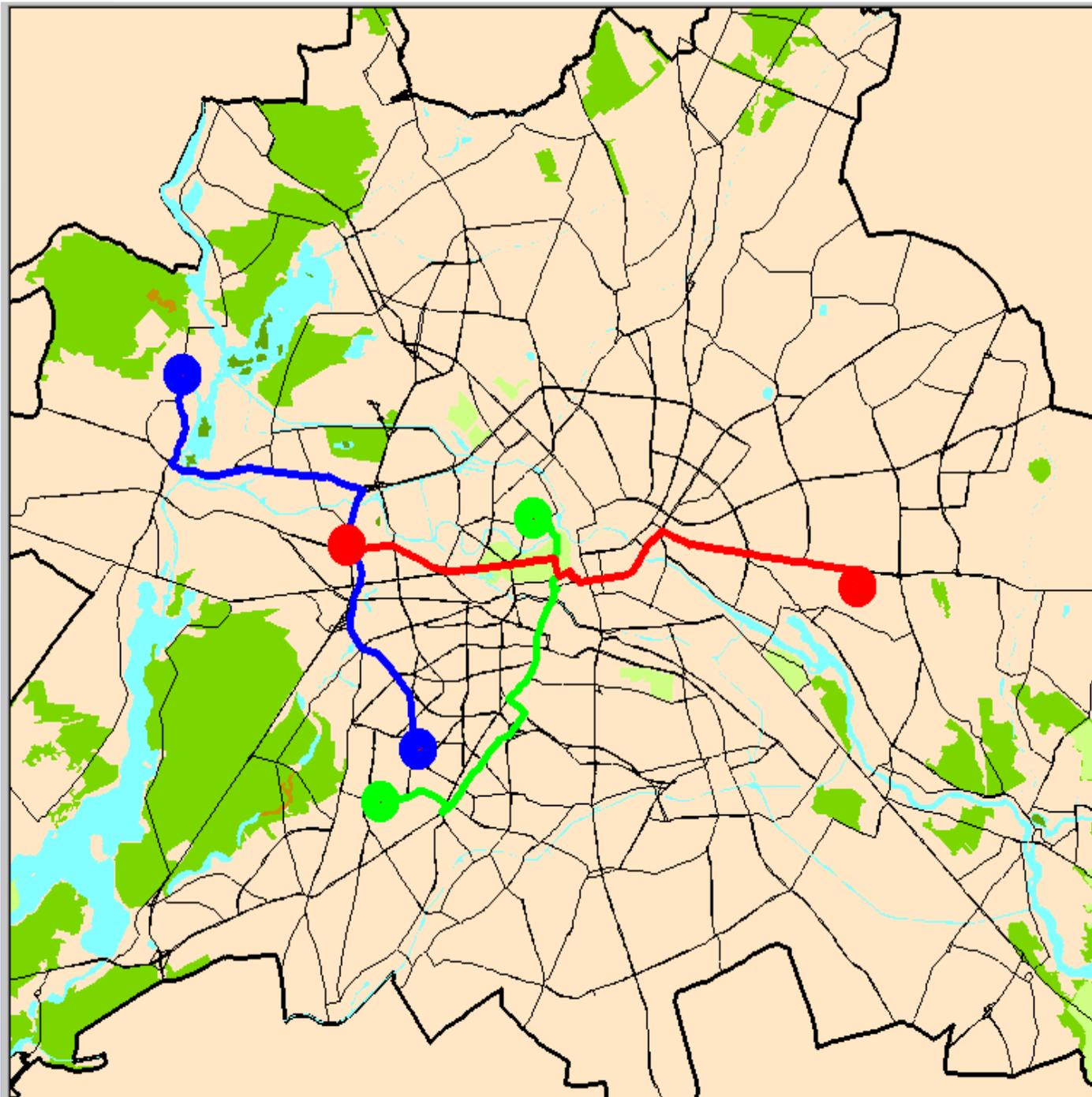
Beep

Verknüpfen

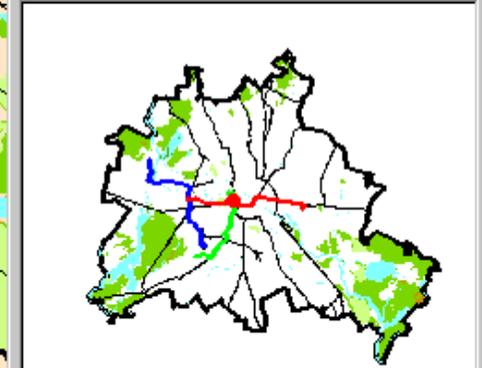
Taxi raus

Tour	Fzg	Typ	+	-
1	238	D33 R	7	0
2	216	D43 H	8	2
3	224	D43 H	7	2
4	220	D43 H	9	1
5	219	D43 R	7	1
6	229	D43 H	7	1
7	210	D43 H	7	2
8	259	D32 R	10	0
9	213	D43 R	5	3
10	264	D43 R	14	2
11	261	D43 R	16	1
12	252	D43 R	7	2
13	258	D32 R	7	1
14	247	D32 R	9	2
15	248	D32 R	9	1
16	245	D32 R	8	0
17	234	D43 H	7	1
18	237	D43 R	8	0
19	203	D43 R	8	2
20	202	D43 R	17	1

Kunde	Zeiten	Orte	Hilfe	Wünsche	Info
70294	06:30	13125	Nein	Arbeit / Falter / 0 Bgl.	
	07:20	10965	Nein	*Taxi möglich	
5535	07:50	12279	Ja	Reha / Falter / 0 Bgl.	
	08:15	12157	Nein	Doppelbus	
50036	08:30	12103	Nein	Arzt / Spasti / 1 Bgl.	
	08:40	12099	Ja 1E	Doppelbus	
67009	09:00	12349	Nein	Reha / Falter / 0 Bgl.	
	09:10	12349	Nein	Solobus	
30294	09:10	12349	Nein	Privat / E-Fix / 1 Bgl.	
	09:25	12353	Nein	Solobus	
28116	10:40	12351	Nein	Arzt / Elektro / 0 Bgl.	haus 19
	11:05	Str.48	Nein	Solobus	
47092	11:25	12047	Ja 1E	Privat / Falter / 0 Bgl.	
	12:20	14053	Nein	Doppelbus	
32022	11:45	10997	Nein	Privat / Falter / 0 Bgl.	
	12:40	13597	Ja 2E	Doppelbus	
30278	13:30	13595	Nein	Arzt / Falter / 0 Bgl.	
	13:40	14055	Ja ST	Doppelbus	



Navigation controls including a hand icon, zoom in (+) and zoom out (-) icons, and directional arrows. Below these are buttons for "Route" (with a bus icon), "Neu" (with a red X icon), and "Druck" (with a printer icon).



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

Fzg-Einsatzplanung

Neu

Kopie

Ändern

Löschen

Drucken

Alle

149 Schichten



Feiertag	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Juli 1998							
August 1998							
September 1998							
Oktober 1998							
November 1998							

Einsatz	Fzg	Von	Bis	Dauer	Mindestens
Doppel	216	05:00	14:30	8,5	7,5
Doppel	219	05:00	14:30	8,5	7,5
Doppel	217	05:00	14:30	8,5	7,5
Doppel	229	05:00	14:30	8,5	7,5
Doppel	218	05:00	14:30	8,5	7,5
Doppel	239	05:30	15:00	8,5	7,5
Doppel	259	05:00	17:00	8,0	0,0
Doppel	210	05:00	14:30	8,5	7,5
Doppel	238	05:00	14:00	8,5	7,5
Doppel	264	06:00	01:00	16,0	15,0
Doppel	261	06:00	01:00	16,0	15,0
Doppel	252	06:00	13:30	7,5	0,0
Doppel	227	06:00	15:30	8,5	7,5
Doppel	243	06:00	14:30	8,5	0,0
Doppel	247	06:00	14:30	8,5	0,0
Doppel	258	06:00	14:00	8,0	0,0
Doppel	245	06:00	14:30	8,5	0,0
Doppel	237	06:00	15:30	8,5	7,5
Doppel	211	07:00	16:30	8,5	7,5
Doppel	202	06:00	23:00	17,0	16,0
Doppel	201	06:00	23:00	17,0	16,0
Doppel	203	06:00	22:00	8,5	7,5
Doppel	756	07:00	13:00	6,0	6,0
Doppel	263	06:30	14:30	8,0	0,0

Abrechnung

Rechnung

Drucken

Auswahl

144 Kunden

Alle

Kunde — 30085 — 29 Aufträge

Lothar Wielandt
 Friedrichstr. 238
 10969 Kreuzberg

Fahrmuster vorhanden

Telefon: 2 52 11 82

Alle Aufträge

Nr	Name		
949		42	42
2580		28	0
3242		10	0
14272		12	0
30059		19	0
30085		20	20
30209		36	36
30277		10	0
30335		10	0
30347		11	0
30428		26	0
31465		37	0
31737		16	0
32029		2	0
38027		43	43
40109		28	0
40188		40	40
40223		36	36
40327		40	0
40364		34	0

Tag	Ab	Orte	km	Auftrag	Info	Rechnung
02.06.1998	07:15	10969 Friedrichstr. 238	13,0	Arbeit F 0	bitte in wohnung	851819
Di Da		14055 Kranzallee 30		*T	abholen !!!!	
02.06.1998	15:50	14055 Kranzallee 30	13,0	Arbeit F 0	Zentrale 30097823	851819
Di Da		10969 Friedrichstr. 238		*T		
03.06.1998	07:15	10969 Friedrichstr. 238	12,6	Arbeit F 0	bitte in wohnung	
Mi Da		14055 Kranzallee 30		*T	abholen !!!!	
03.06.1998	10:00	10969 Friedrichstr. 238	13,0	Arbeit F 0	EINGANG WICHERN	851819
Mi		14055 Kranzallee 30		*T	KHS	
03.06.1998	15:30	14055 Kranzallee 30	13,0	Arbeit F 0	ZENTRALE	851819
Mi		10969 Friedrichstr. 238		*T #7809		
03.06.1998	16:50	14055 Kranzallee 30	12,6	Arbeit F 0	Zentrale 30097823	
Mi Da		10969 Friedrichstr. 238		*T		
04.06.1998	07:15	10969 Friedrichstr. 238	13,0	Arbeit F 0	bitte in wohnung	851819
Do Da		14055 Kranzallee 30		*T	abholen !!!!	
04.06.1998	15:50	14055 Kranzallee 30	13,0	Arbeit F 0	Zentrale 30097823	851819
Do Da		10969 Friedrichstr. 238		*T 302		
05.06.1998	07:15	10969 Friedrichstr. 238	13,0	Arbeit F 0	bitte in wohnung	851819
Fr Da		14055 Kranzallee 30		*T	abholen !!!!	
05.06.1998	14:30	14055 Kranzallee 30	13,0	Arbeit F 0	Zentrale 30097823	851819
Fr Da		10969 Friedrichstr. 238		*T		

Gebucht am

02.01.1998

Angewiesen / Storniert am

Angewiesen am: 07.01.98

Gutschrift

Überweisung durch

BANK FÜR SOZIALWIRTSCHAFT GMBH

Empfänger: Name, Vorname / Firma (max. 27 Stell

MARIA MUSTER

Konto-Nr. des Empfänger

42255789

Bankleitzahl

10090000

bei (Kreditinstitut)

Berliner Volksbank

Betrag: DM, Pf

339,00

Verwendungszweck - z.B. Kunden-Referenznummer (max. 2 Zeilen à 27 Stelle

TAXIKONTO 11.1997 NR 007

noch Verwendungszweck

MUSTER, MARIA

Auftraggeber: Name, Vorname / Firma, Ort (max. 27 Stell

BZA E.V. - TELEBUS BERLIN

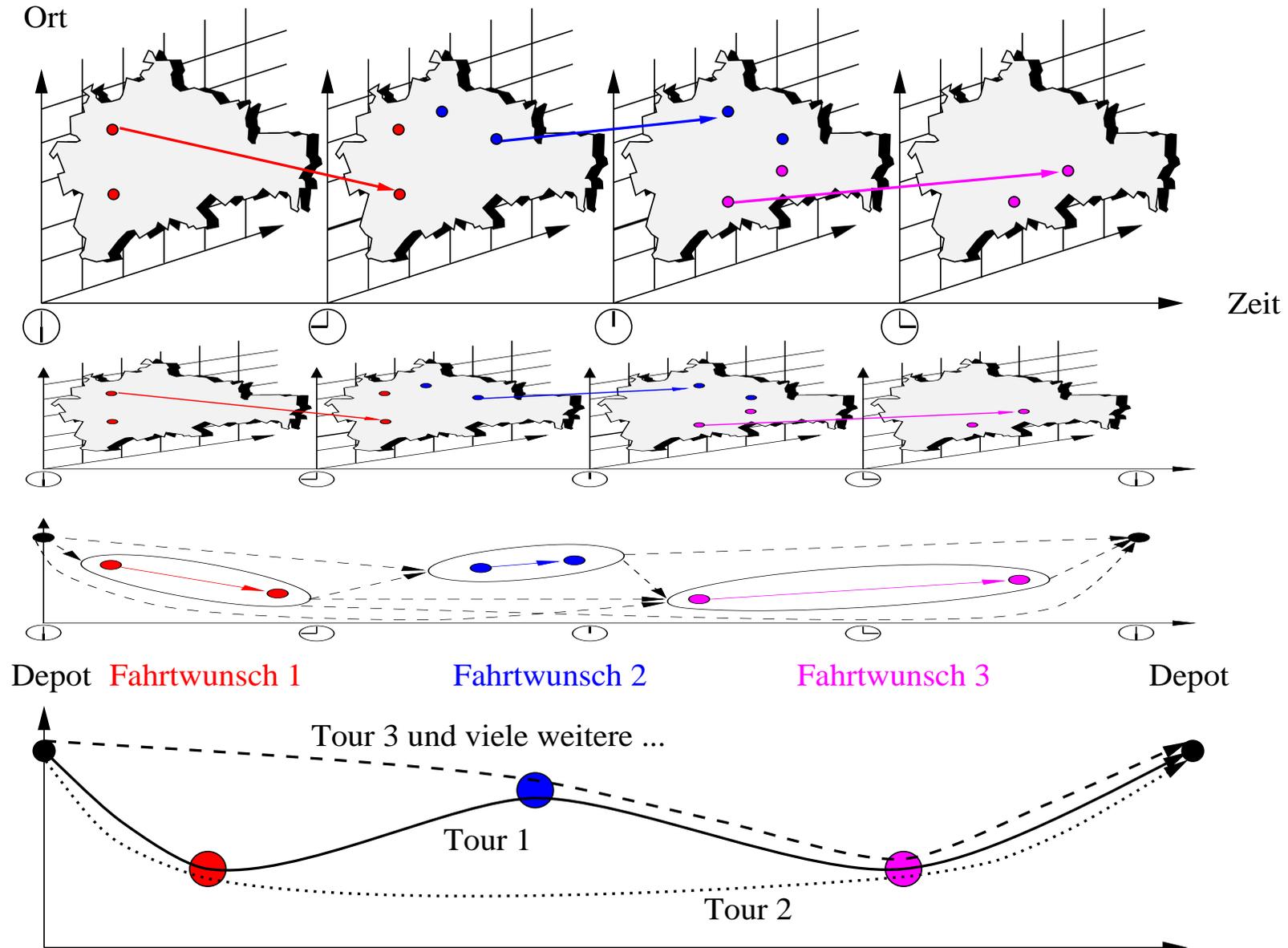
Konto-Nr. des Auftraggeber

Abbrechen

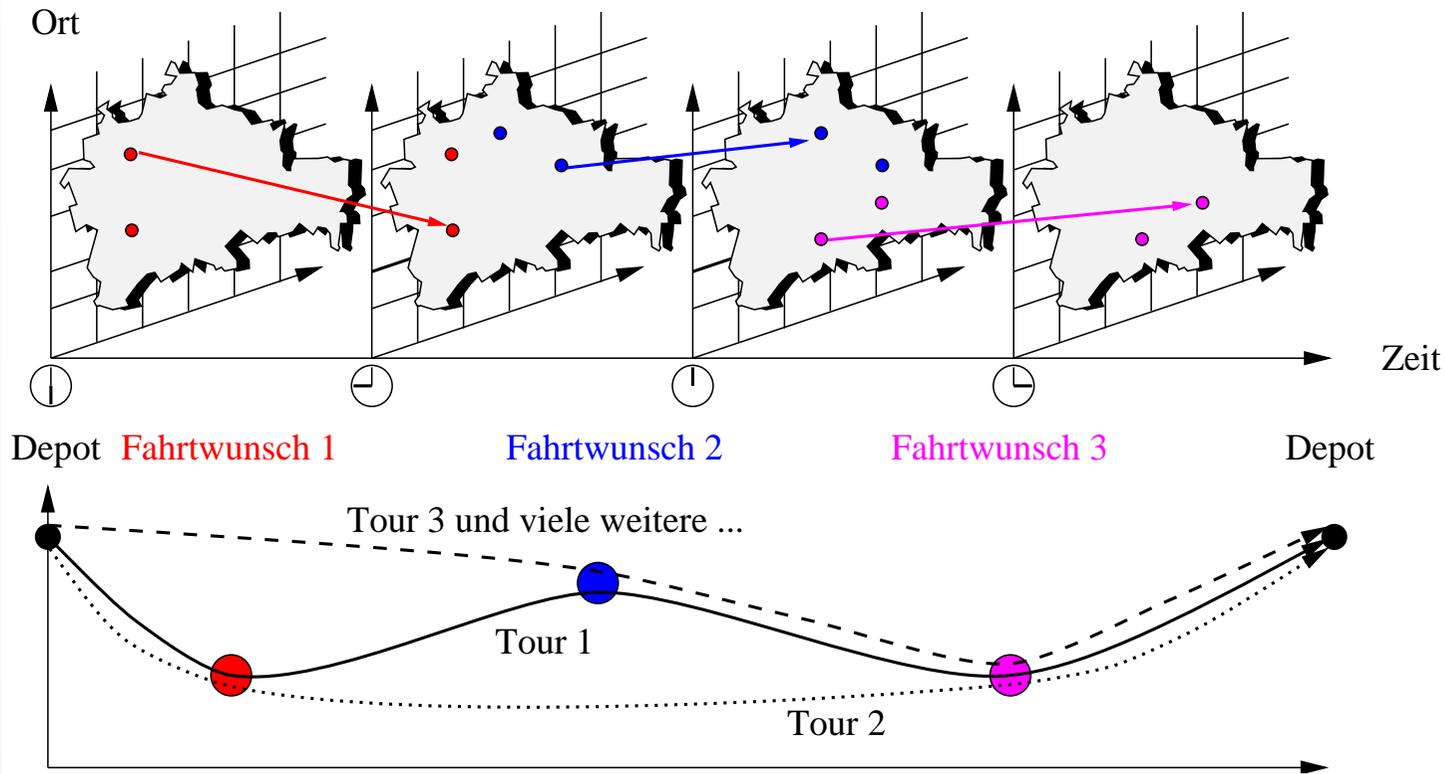
Speichern

Storno

Tourenbildung



Optimierung



Kosten von Tour 1 = 7, von Tour 2 = 3, ...

$$\text{minimiere } 7x_1 + 3x_2 + 3x_3 + 3x_4 + 2x_5$$

$$\text{Fahrtwunsch 1 } 1x_1 + 1x_2 + 0x_3 + 1x_4 + 0x_5 = 1$$

$$\text{Fahrtwunsch 2 } 1x_1 + 0x_2 + 1x_3 + 1x_4 + 1x_5 = 1$$

$$\text{Fahrtwunsch 3 } 1x_1 + 1x_2 + 1x_3 + 0x_4 + 0x_5 = 1$$

$$\text{Tour 1 } \quad \text{Tour 2} \quad \text{Tour 3} \quad x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \in \{0, 1\}$$



A. CHARNES AND M. H. MILLER
 Purdue University and Carnegie Institute of Technology

The structure shown in Table 1 can be translated into equation form by moving a row of λ 's, one for each column, up through the rows and inserting the equal sign to the right of the P_0 column. The first two equations, for example, would be:

$$4 = 1\lambda_1 + 1\lambda_4 - 1\lambda_8 + 1\lambda_{12}$$

$$1 = 1\lambda_1 + 1\lambda_6 - 1\lambda_7 + 1\lambda_{13}$$

With the addition of the variables, the problem has been reduced to a standard simplex problem of the form:

$$\text{Min. } \sum_{i=1}^n \lambda_i c_i$$

subject to:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i P_i = P_0$$

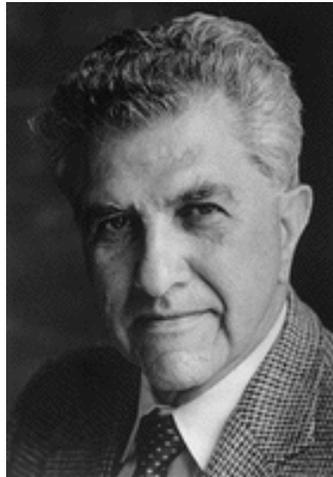
$$\lambda_i \geq 0$$

and can be solved by the simplex technique.



Abraham Charnes

Finalist für den Nobelpreis für Ökonomie 1975



Merton H. Miller

Nobelpreis für Ökonomie 1990 m. Markowitz und Sharpe

TABLE 1
 Structural tableau of train-scheduling model

$c_j \rightarrow$		1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	0	0	0	0	0	0	M	M	M	M	M	M	
From	To	Shipment Requirements P_0	Routes						Surplus Vectors (light moves)					Artificial Vectors (legs)					
			1,2	1,3	2,3	1,2,3	1,3,2	1-2	2-1	1-3	3-1	2-3	3-2	1-2	2-1	1-3	3-1	2-3	3-2
			P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{15}	P_{16}	P_{17}
1	2	4	1			1													
2	1	1	1																
1	3	9		1															
3	1	5			1														
2	3	6			1	1													
3	2	2			1		1												1

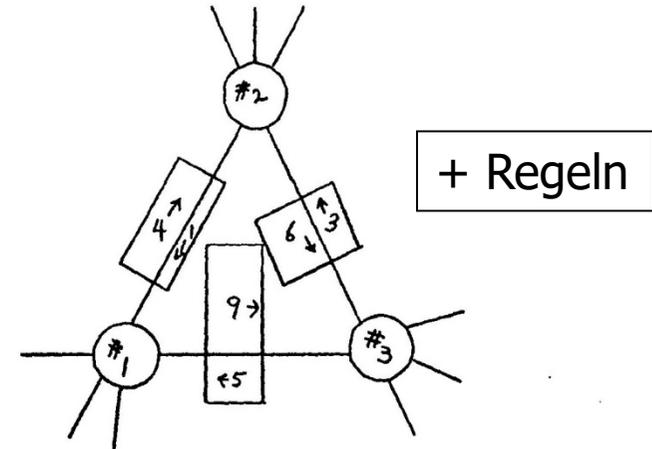


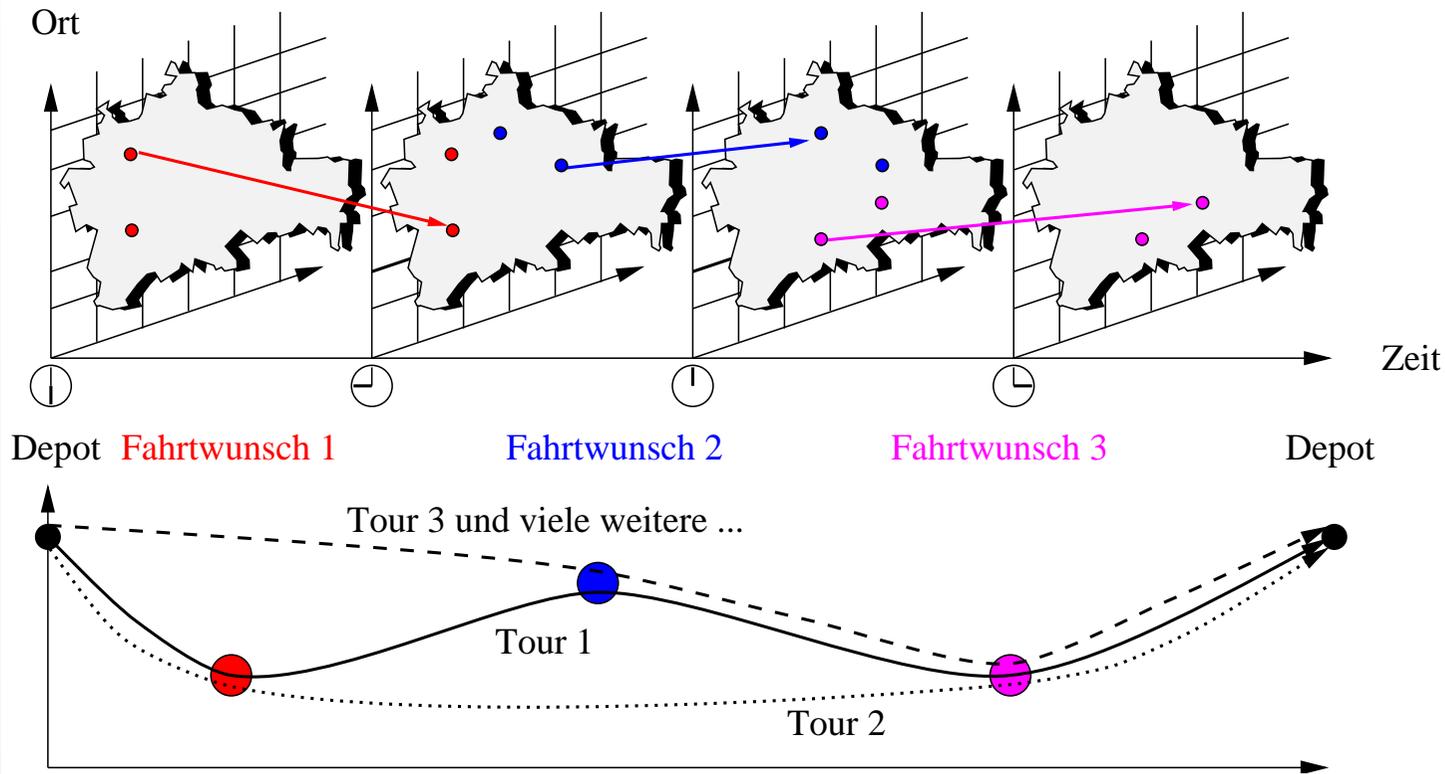
CHART 1. Simplified map of terminal switching railroad, showing connections with trunklines, major interchange and customer yard areas, and traffic requirements (in trainloads) between major points.

postponed until the description of the model and the computational routine has been completed.

Above the routes, in the row labeled c_j , are entered the costs of assigning a single crew and engine package to the route in question. These costs may be stated either as the standard crew and engine expense, or as the expected costs reflecting the fact that on longer runs there is a greater probability of running into overtime. We constructed working models both ways and found, that optimal programs were not particularly sensitive to variations in the cost of crews. In fact, it was usually possible to simplify the calculation by minimizing the number of crews, that is treating the cost of each crew as 1.

P_6 to P_{11} in the tableau are overfulfillment slack vectors. In the train scheduling context they correspond to "light moves", or trips by a crew and engine without cars. If, for example, four crews should be assigned to the route P_1 —which runs

Optimierung



Kosten von Tour 1 = 7, von Tour 2 = 3, ...

$$\text{minimiere } 7x_1 + 3x_2 + 3x_3 + 3x_4 + 2x_5$$

$$\text{Fahrtwunsch 1 } 1x_1 + 1x_2 + 0x_3 + 1x_4 + 0x_5 = 1$$

$$\text{Fahrtwunsch 2 } 1x_1 + 0x_2 + 1x_3 + 1x_4 + 1x_5 = 1$$

$$\text{Fahrtwunsch 3 } 1x_1 + 1x_2 + 1x_3 + 0x_4 + 0x_5 = 1$$

$$\text{Tour 1 } \quad \text{Tour 2} \quad \text{Tour 3} \quad x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \in \{0, 1\}$$



Ganzzahlige Programmierung

$$\text{Min } x_1 + 2x_2$$

$$x_1 + x_2 \geq 2$$

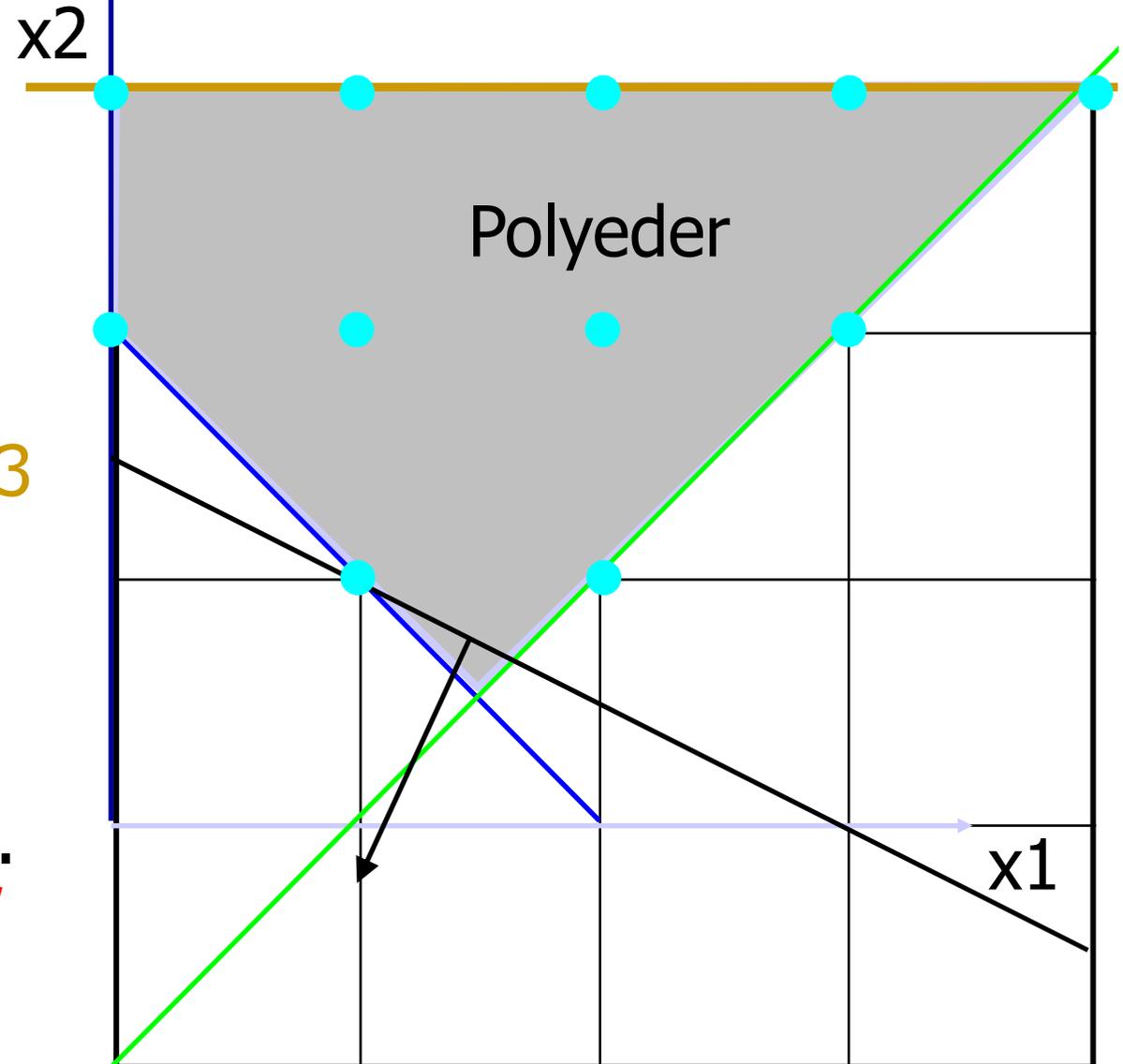
$$x_1 - x_2 \leq 1$$

$$x_2 \leq 3$$

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

~~$x_1, x_2 \text{ ganzz.}$~~



Lineare Programmierung

$$\text{Min } x_1 + 2x_2$$

$$x_1 + x_2 \geq 2$$

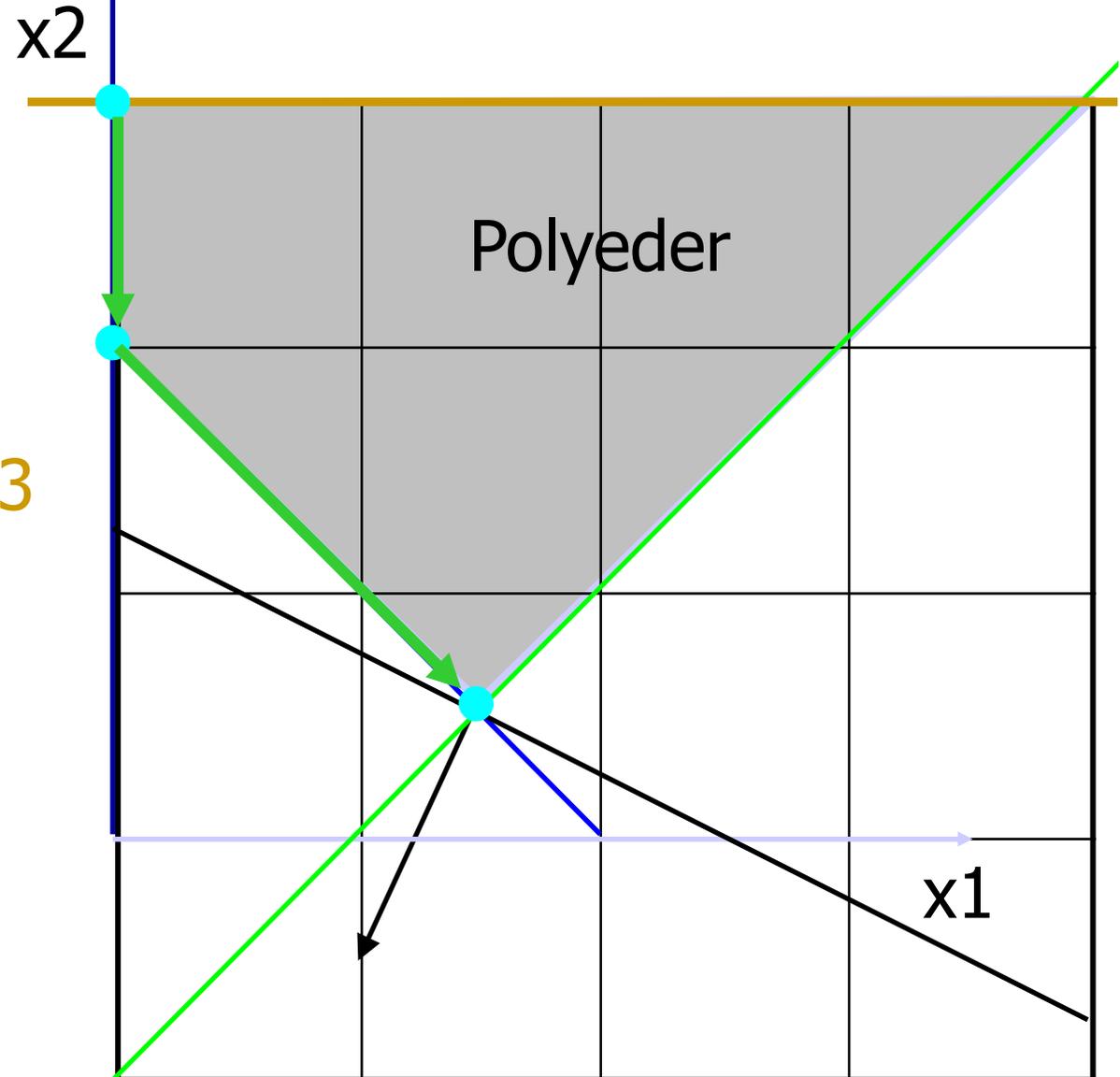
$$x_1 - x_2 \leq 1$$

$$x_2 \leq 3$$

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

Simplex-
Algorithmus



George W. Dantzig

Leonid V. Kantorovich



Leonid V. Kantorovich
Nobelpreis für Ökonomie 1975



George W. Dantzig
Erfinder des Simplexalgorithmus

Ganzzahlige Programmierung

Min $x_1 + 2x_2$

$$x_1 + x_2 \geq 2$$

$$x_1 - x_2 \leq 1$$

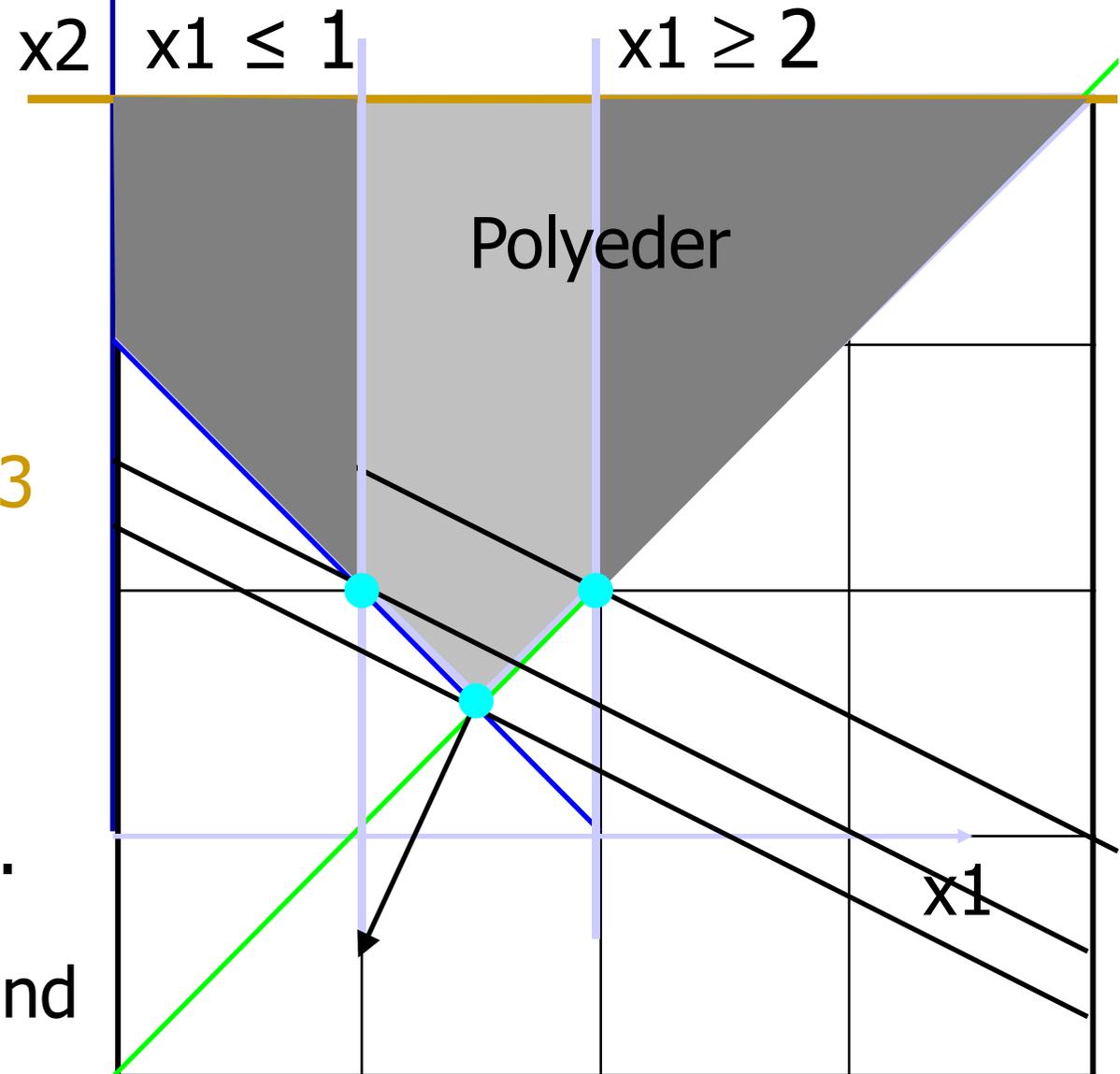
$$x_2 \leq 3$$

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

x_1, x_2 ganzz.

Branch-and-Bound



LP Progress: 1988-2004

(Operations Research, Jan 2002, pp. 3—15, updated in 2004)

- Algorithms (*machine independent*):

Primal *versus* best of Primal/Dual/Barrier 3300x

- Machines (workstations → PCs): 1600x

- NET: Algorithm × Machine 5 300 000x
(2 months/5300000 ≈ 1 second)

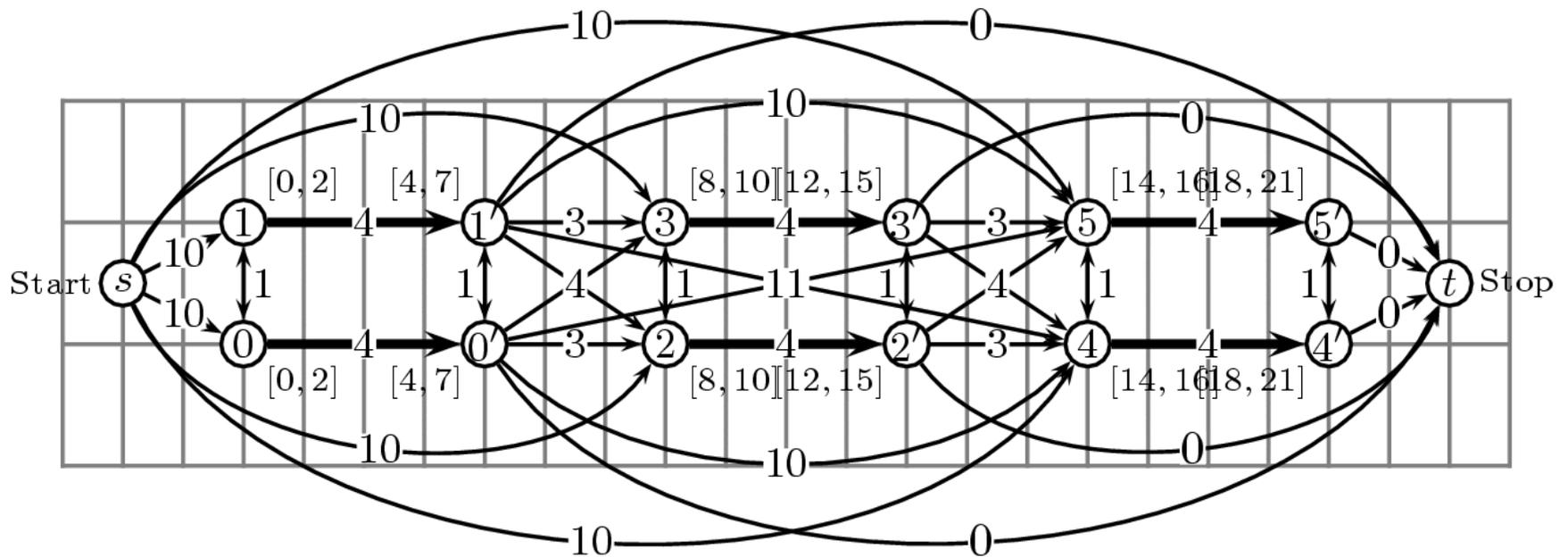


Dynamische Lösungsverfahren ("Spaltenerzeugung")

<i>Artikel</i>	<i>Bedingungen</i>	<i>Variablen</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	>10.000	nicht zu bestimmen	mehrere Tage



Graphentheoretisches Modell



Set-Partitioning-Modell

Minimize

obj:

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

Subject To

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

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

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

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

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

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

Binaries

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

End



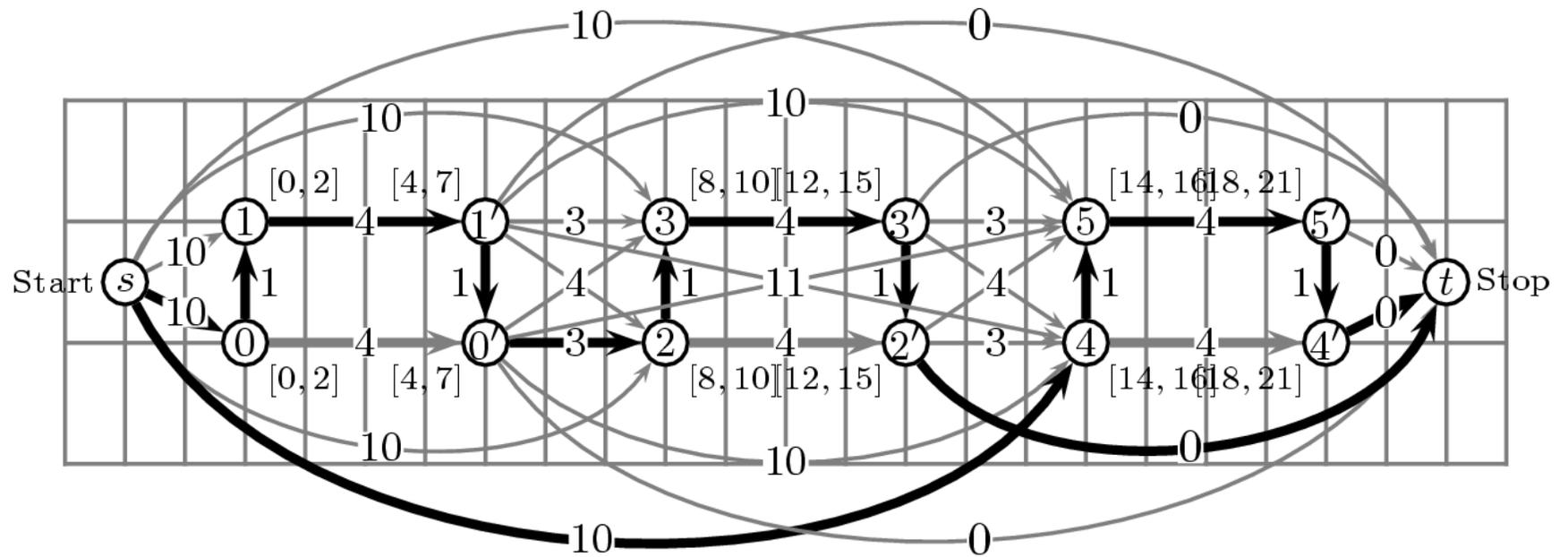
Ganzzahliges Programm

(Set-Partitioning-Problem mit Base-Constraints)

$$\begin{array}{llll}
 \min & \sum c_t x_t & & \\
 & \sum_{t \ni f} x_t = 1 & \forall f & \text{Fahrten} \\
 & \sum_{t \in m} x_t \leq K_m & \forall m & \text{Fzgmix} \\
 & x_t \in \{0,1\} & \forall t & \text{Ganzz.}
 \end{array}$$



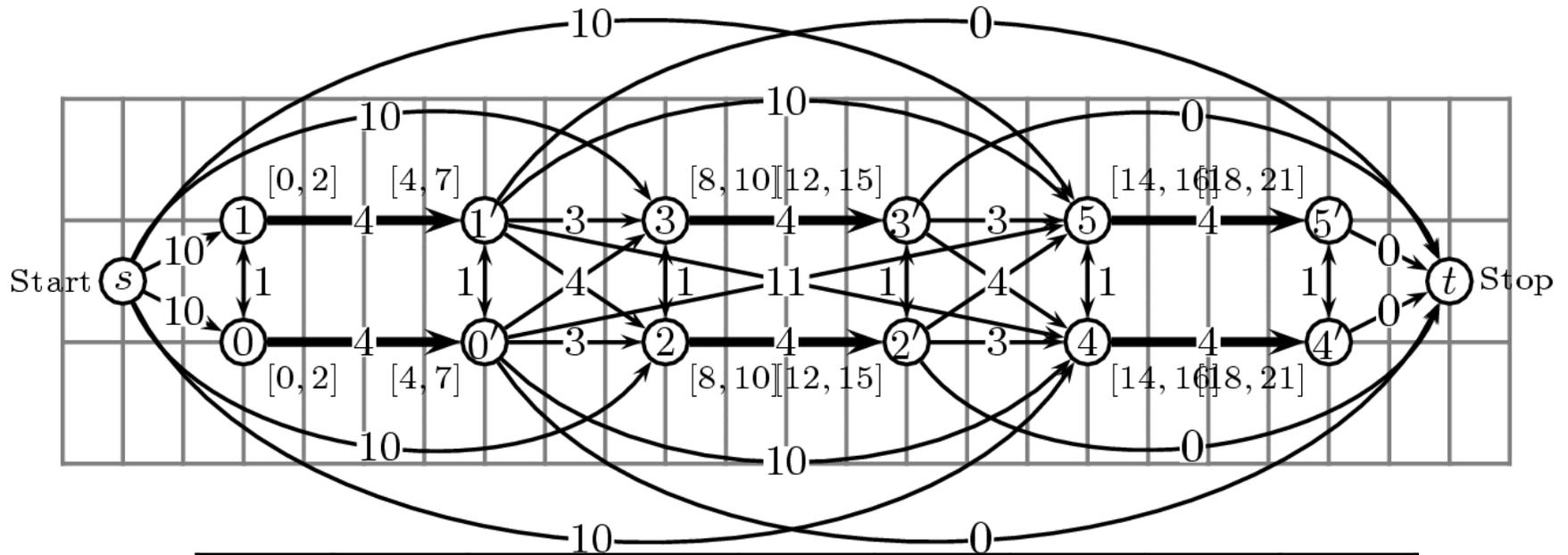
Optimallösung



George B. Dantzig, Ralph E. Gomory, Leonid V. Kantorovich



Spaltenerzeugung (0)



Preis	Wert	14	14	14	14	14	14	84
p0	14	1						1
p1	14		1					1
p2	14			1				1
p3	14				1			1
p4	14					1		1
p5	14						1	1
	Wert	1	1	1	1	1	1	
	Tour	x0	x1	x2	x3	x4	x5	



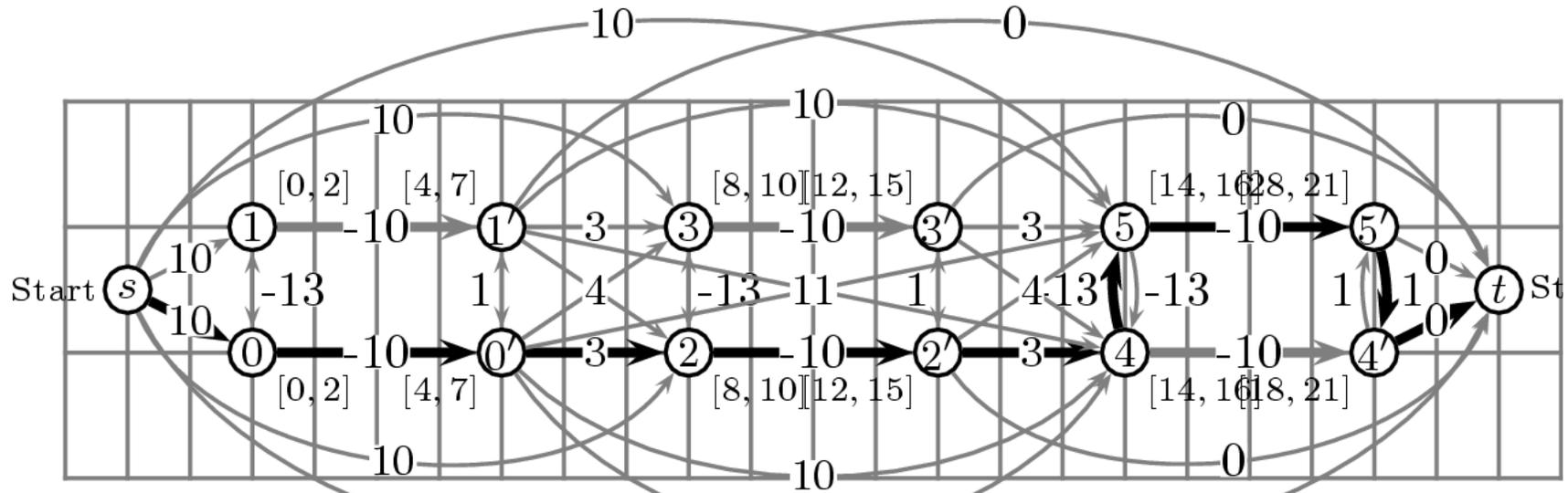
Spaltenerzeugung (1a)

Tour 45

Echte Kosten: 30

„Schattenpreis“: 56

Reduzierte Kosten: -26

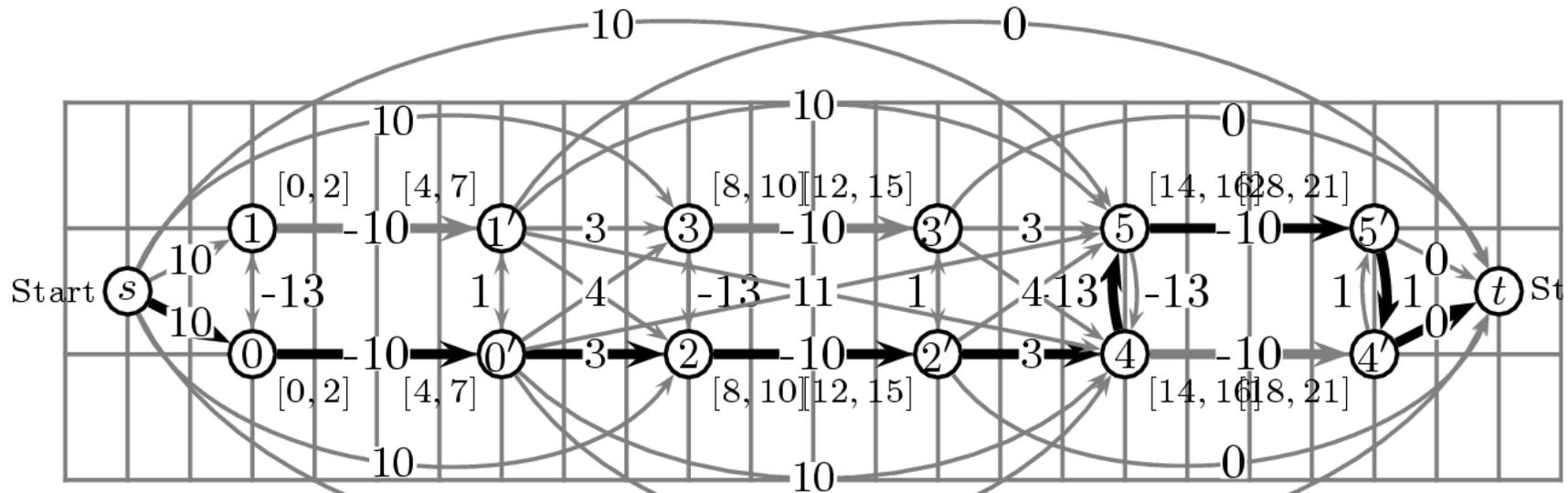


Preis	Wert	14	14	14	14	14	14	84
p0	14	1						1
p1	14		1					1
p2	14			1				1
p3	14				1			1
p4	14					1		1
p5	14						1	1
	Wert	1	1	1	1	1	1	
	Tour	x0	x1	x2	x3	x4	x5	



Spaltenerzeugung (1b)

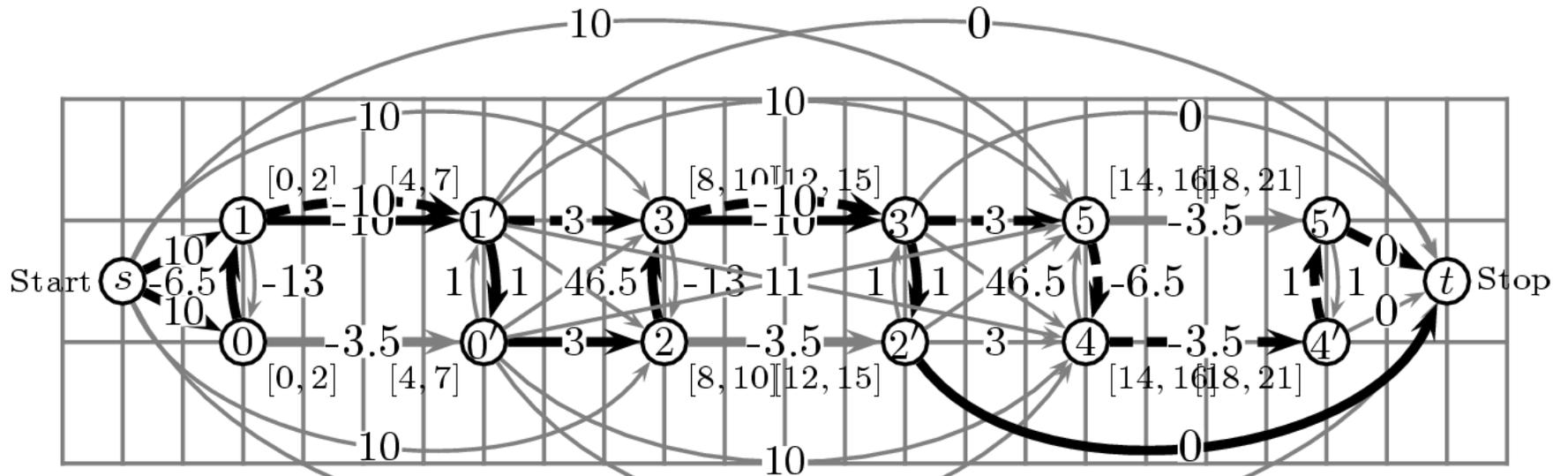
Tour 45
 Echte Kosten: 30
 „Schattenpreis“: 56
 Reduzierte Kosten: -26



Preis	Wert	14	14	30	58
p0	7,5			1	1
p1	14	1			1
p2	7,5			1	1
p3	14		1		1
p4	7,5			1	1
p5	7,5			1	1
	Wert	1	1	1	
	Tour	x1	x3	x45	



Spaltenerzeugung (2)



Preis	Wert	25	10	30	30	42,5	0
p0	6,25	1		1			1
p1	6,25	1			1		1
p2	6,25	1		1			1
p3	6,25	1			1		1
p4	8,75			1	1		1
p5	8,75			1	1		1
	Wert	0,5	0,5	0,5			
	Tour	x39	x45	x48			

Tour 39
 Echte Kosten: 25
 „Schattenpreis“: 43
 Reduzierte Kosten: -18

Tour 48
 Echte Kosten: 30
 „Schattenpreis“: 43
 Reduzierte Kosten: -13



ℓ	t	c
-	0	10.00
0	1	4.75

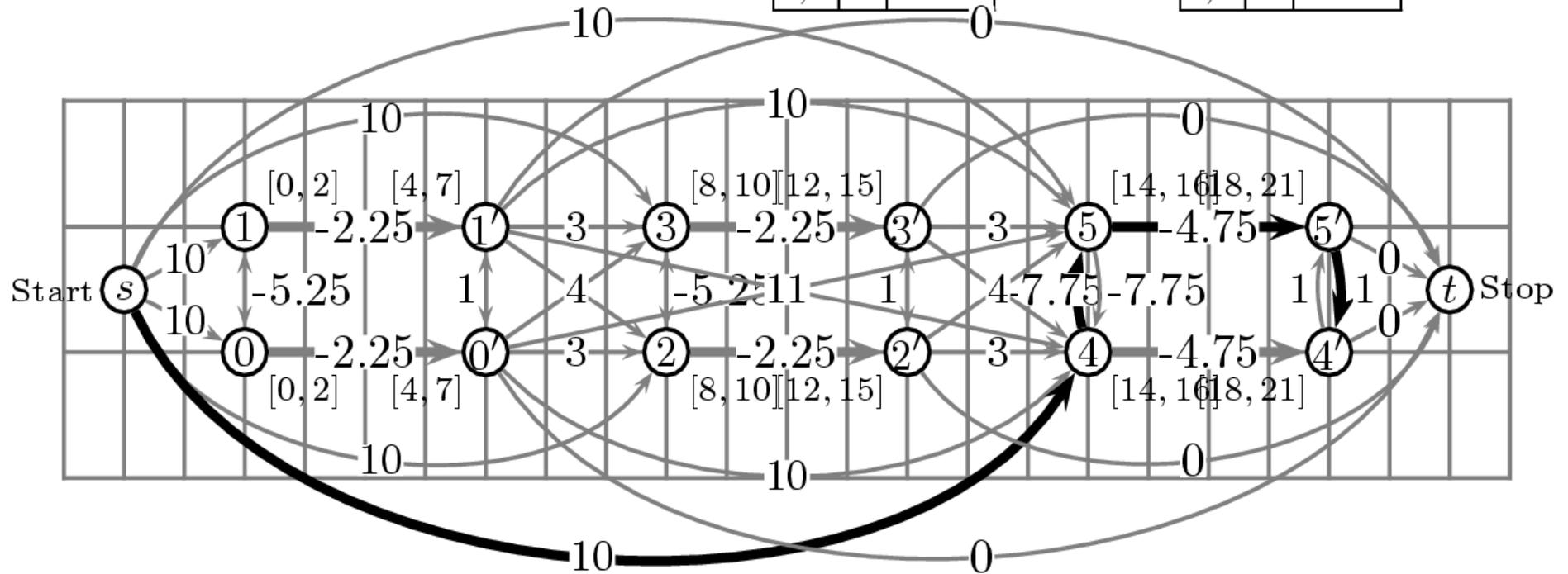
ℓ	t	c
1	4	7.75
1	6	3.50
0, 1	5	2.50

ℓ	t	c
-	8	10.00
-	9	6.50
3	9	4.75
3	10	1.25

ℓ	t	c
3	12	7.75
3	13	4.25
3	14	3.50
3	15	0.00
2, 3	13	2.50
2, 3	14	-1.00

ℓ	t	c	ℓ	t	c
-	14	10.00	5	18	5.25
-	15	10.00	5	19	5.25
-	16	7.25	5	20	-1.50
4	15	2.25	5	21	-1.50
4	16	2.25	4, 5	19	-2.50
			4, 5	20	-2.50

ℓ	t	c
-	4	7.75
-	6	3.50
-	12	7.75
-	13	4.25
-	14	3.50



ℓ	t	c
-	0	0.0

ℓ	t	c
-	0	10.00
1	1	4.75

ℓ	t	c
0	4	7.75
0	6	3.50
0, 1	5	2.50

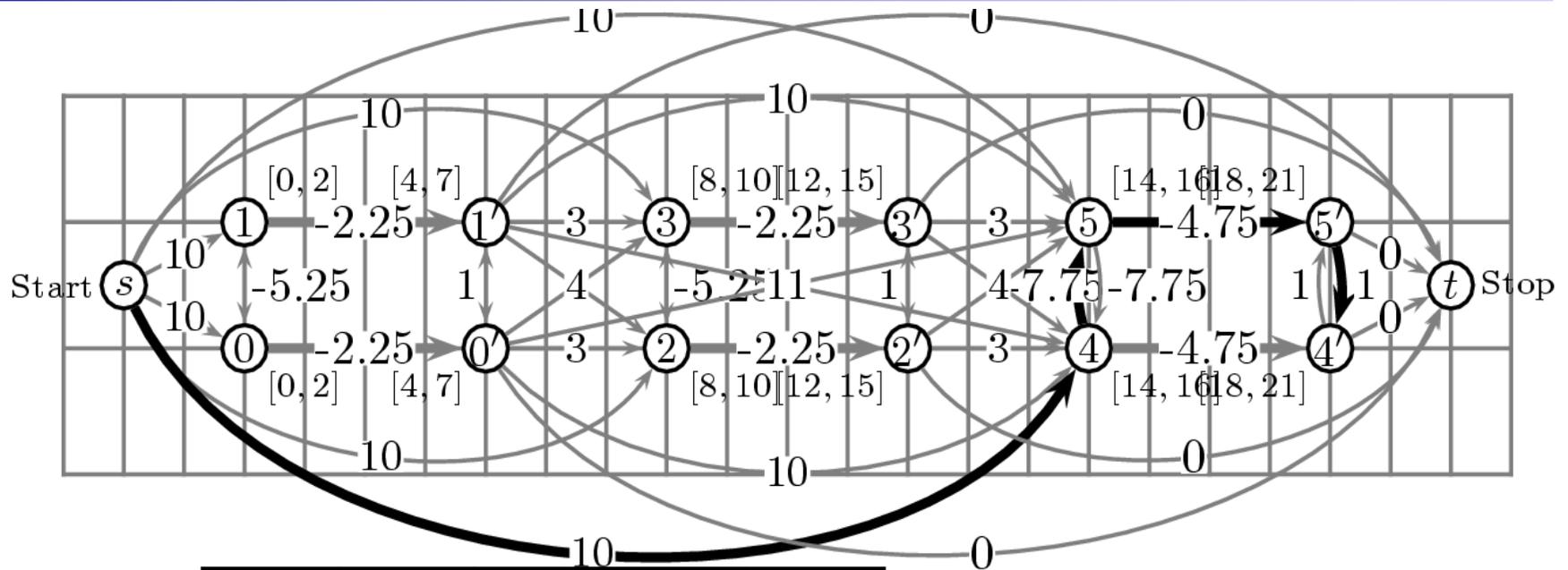
ℓ	t	c
-	8	10.00
-	9	6.50
3	9	4.75
3	10	1.25

ℓ	t	c
2	12	7.75
2	13	4.25
2	14	3.50
2	15	0.00
2, 3	13	2.50
2, 3	14	-1.00

ℓ	t	c	ℓ	t	c
-	14	10.00	4	18	5.25
-	15	10.00	4	19	5.25
-	16	7.25	4	20	-1.50
5	15	2.25	4	21	-1.50
5	16	2.25	4, 5	19	-2.50
			4, 5	20	-2.50

ℓ	t	c
-	15	0.00
-	18	5.25
-	19	5.25
-	20	-1.50
-	21	-1.50

Spaltenerzeugung (3)



Preis	Wert	25	16	41
p0	6,25	1		1
p1	6,25	1		1
p2	6,25	1		1
p3	6,25	1		1
p4	8		1	1
p5	8		1	1
	Wert	1	1	
	Tour	x39	x20	

Tour 20

Echte Kosten: 16

„Schattenpreis“: 17,5

Reduzierte Kosten: -1,5



ℓ	t	c
-	0	10.00
0	1	4.75

ℓ	t	c
1	4	7.75
1	6	3.50
0, 1	5	2.50

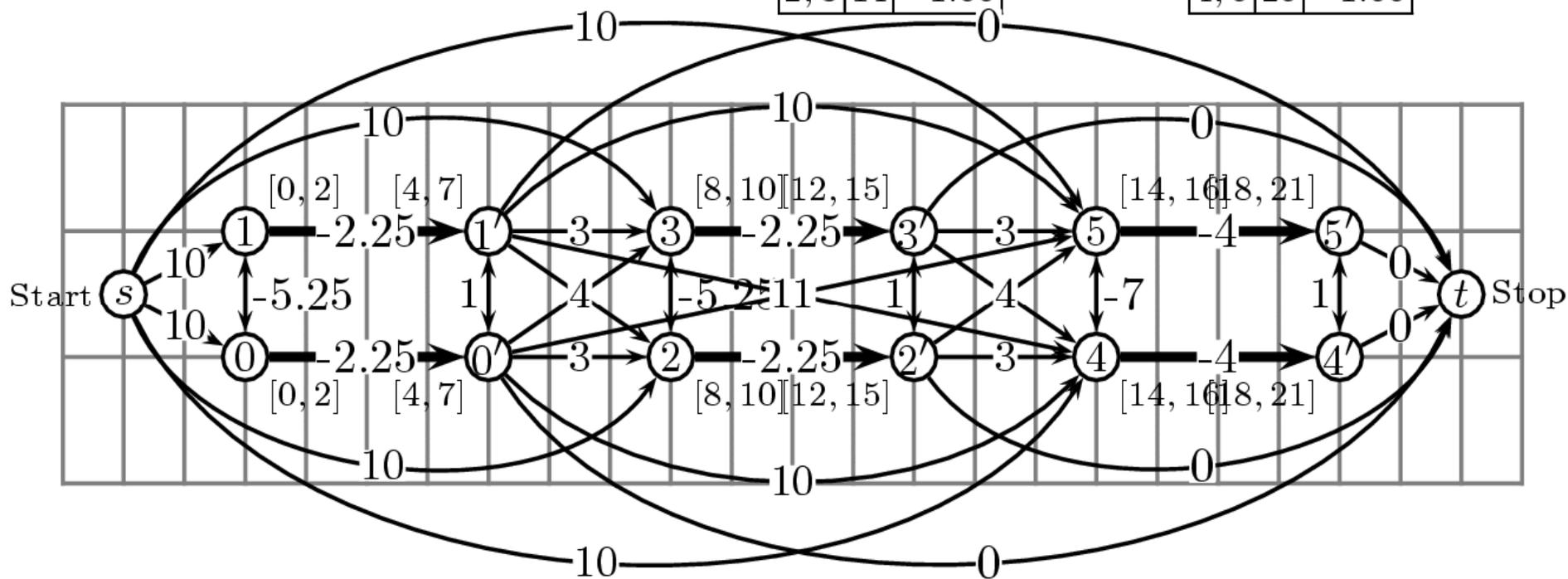
ℓ	t	c
-	8	10.00
-	9	6.50
3	9	4.75
3	10	1.25

ℓ	t	c
3	12	7.75
3	13	4.25
3	14	3.50
3	15	0.00
2, 3	13	2.50
2, 3	14	-1.00

ℓ	t	c
-	14	10.00
-	15	10.00
-	16	7.25
4	15	3.00
4	16	3.00

ℓ	t	c
5	18	6.00
5	19	6.00
5	20	0.00
5	21	0.00
4, 5	19	-1.00
4, 5	20	-1.00

ℓ	t	c
-	4	7.75
-	6	3.50
-	12	7.75
-	13	4.25
-	14	3.50



ℓ	t	c
-	0	0.0

ℓ	t	c
-	0	10.00
1	1	4.75

ℓ	t	c
0	4	7.75
0	6	3.50
0, 1	5	2.50

ℓ	t	c
-	8	10.00
-	9	6.50
3	9	4.75
3	10	1.25

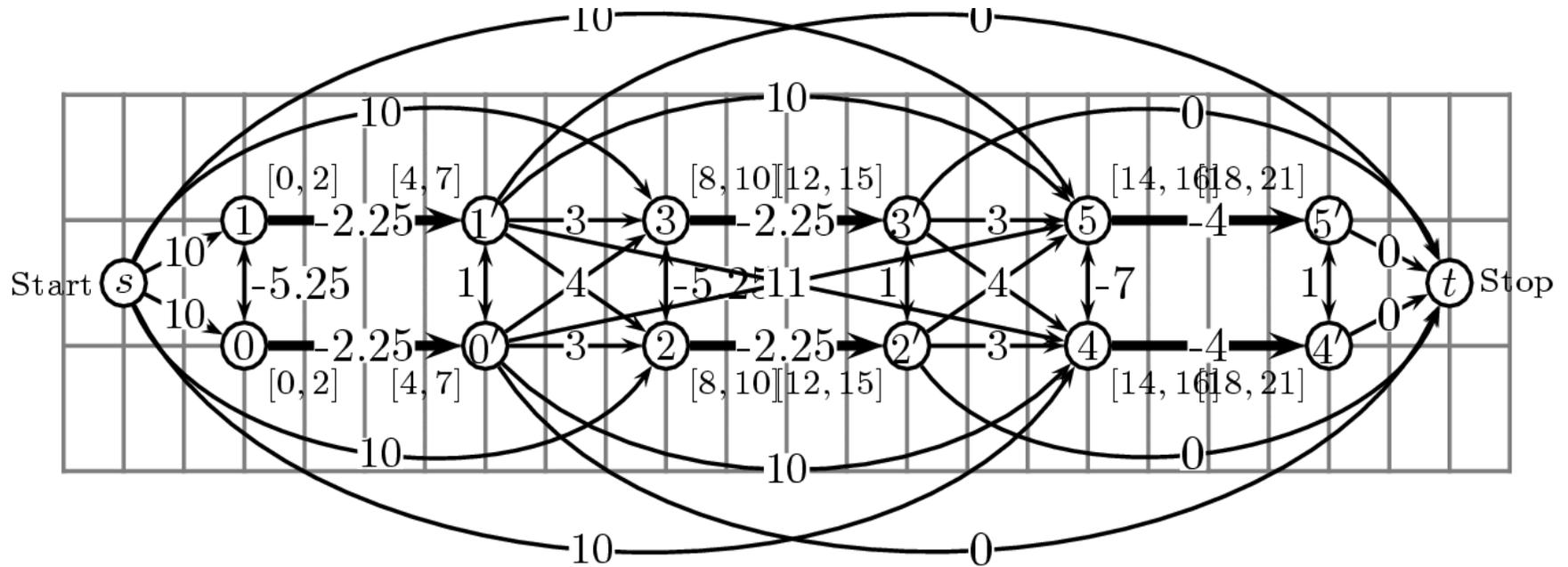
ℓ	t	c
2	12	7.75
2	13	4.25
2	14	3.50
2	15	0.00
2, 3	13	2.50
2, 3	14	-1.00

ℓ	t	c
-	14	10.00
-	15	10.00
-	16	7.25
5	15	3.00
5	16	3.00

ℓ	t	c
4	18	6.00
4	19	6.00
4	20	0.00
4	21	0.00
4, 5	19	-1.00
4, 5	20	-1.00

ℓ	t	c
-	15	0.00
-	18	6.00
-	19	6.00
-	20	0.00
-	21	0.00

Spaltenerzeugung (4)



- Es gibt keine verbessernde Tour mehr
- **Satz: Wenn es keine Tour mit negativen reduzierten Kosten mehr gibt, ist die gegenwärtige Lösung optimal.**

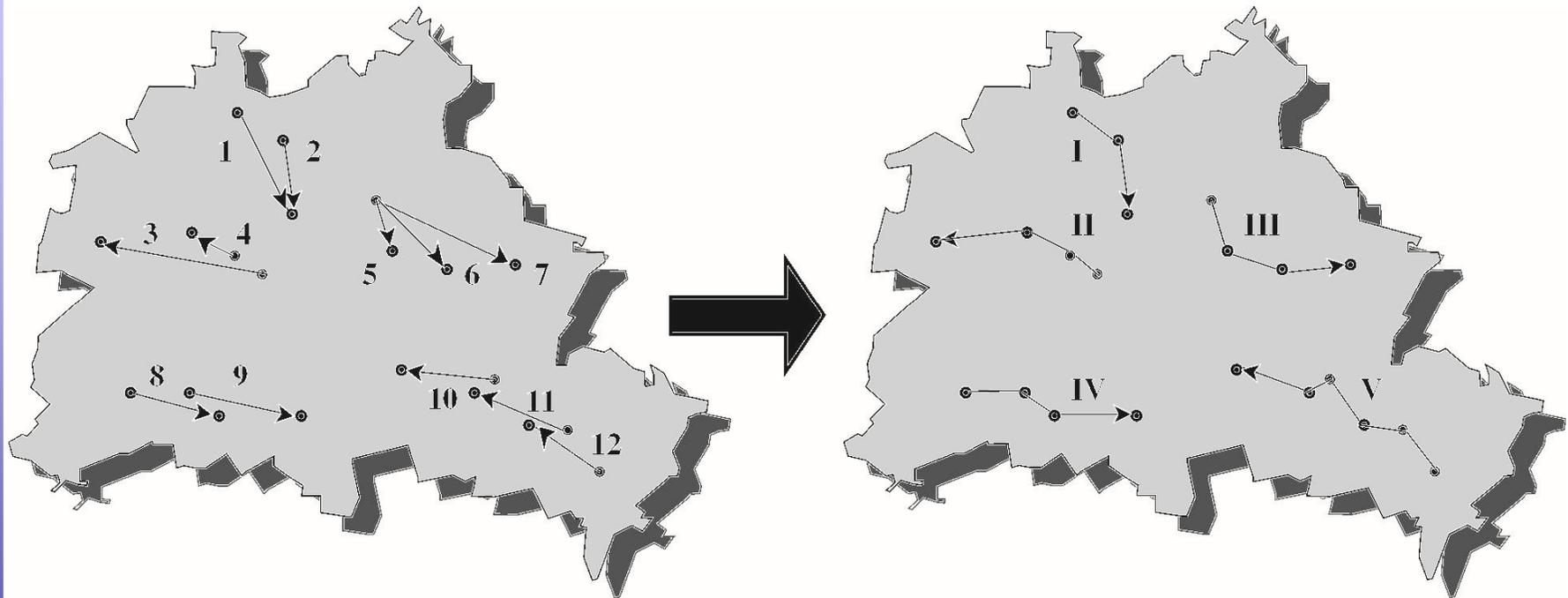


Pfadüberdeckung

- Man kann auch komplizierte Probleme mit mathematischen Methoden exakt lösen.
- Man kann Probleme teilweise implizit lösen, d.h. man muss nicht alle Variablen explizit generieren.
- Man kann mit Mathematik zielgerichtet suchen.



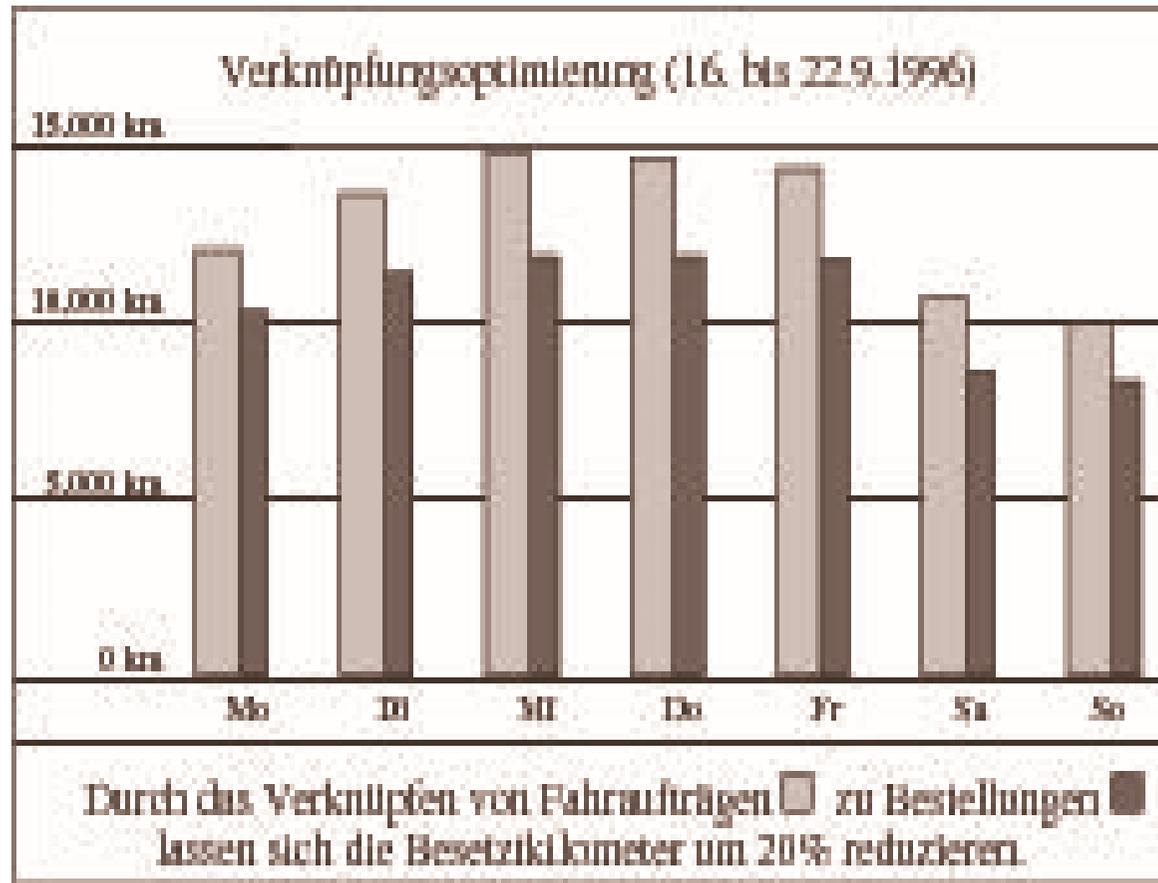
Verknüpfung



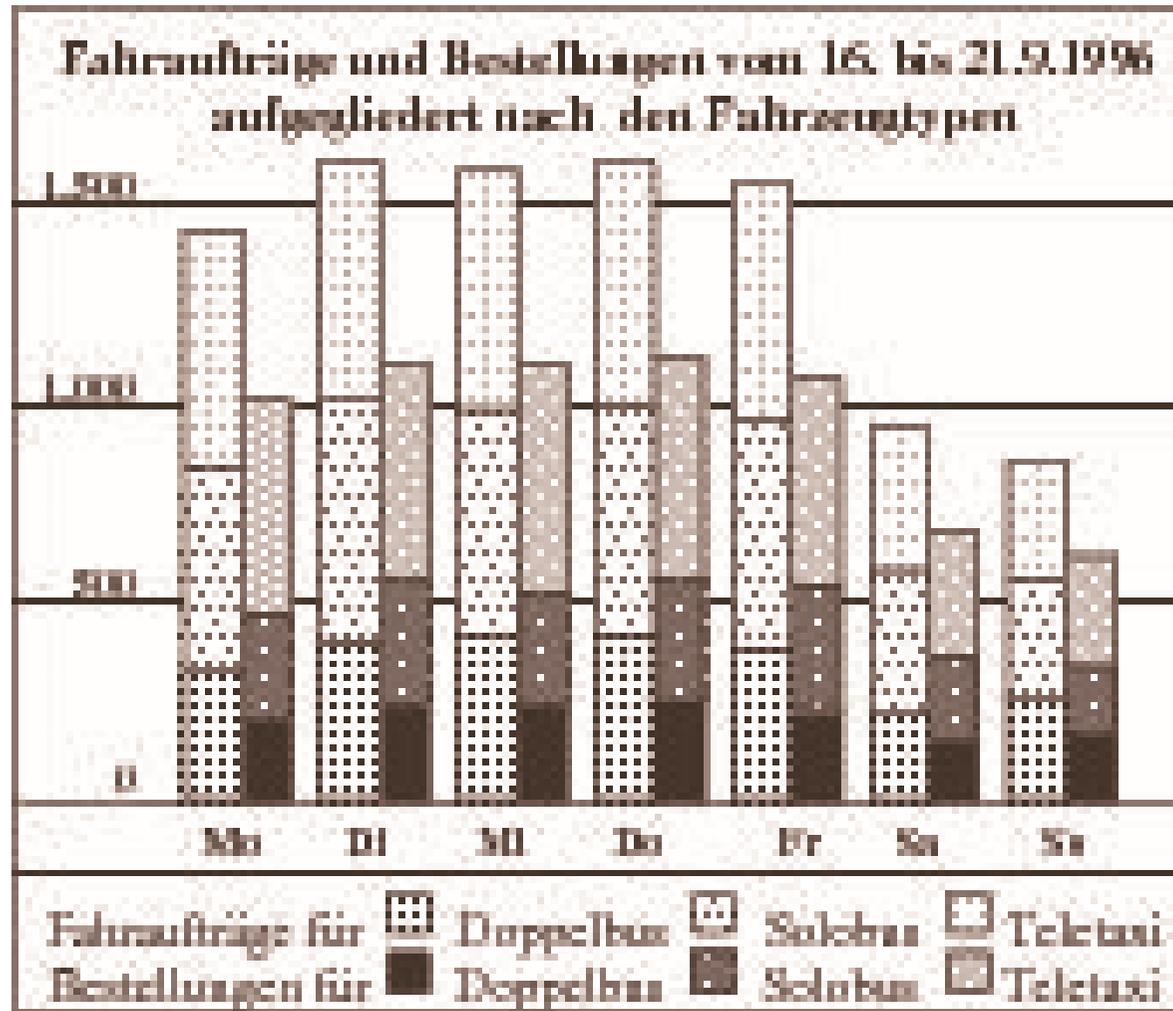
- Zielsammelfahrt (I)
- Einbindung (II)
- Start sammelfahrt (III)
- Anbindung (IV)
- Mehrfachanbindung (V)



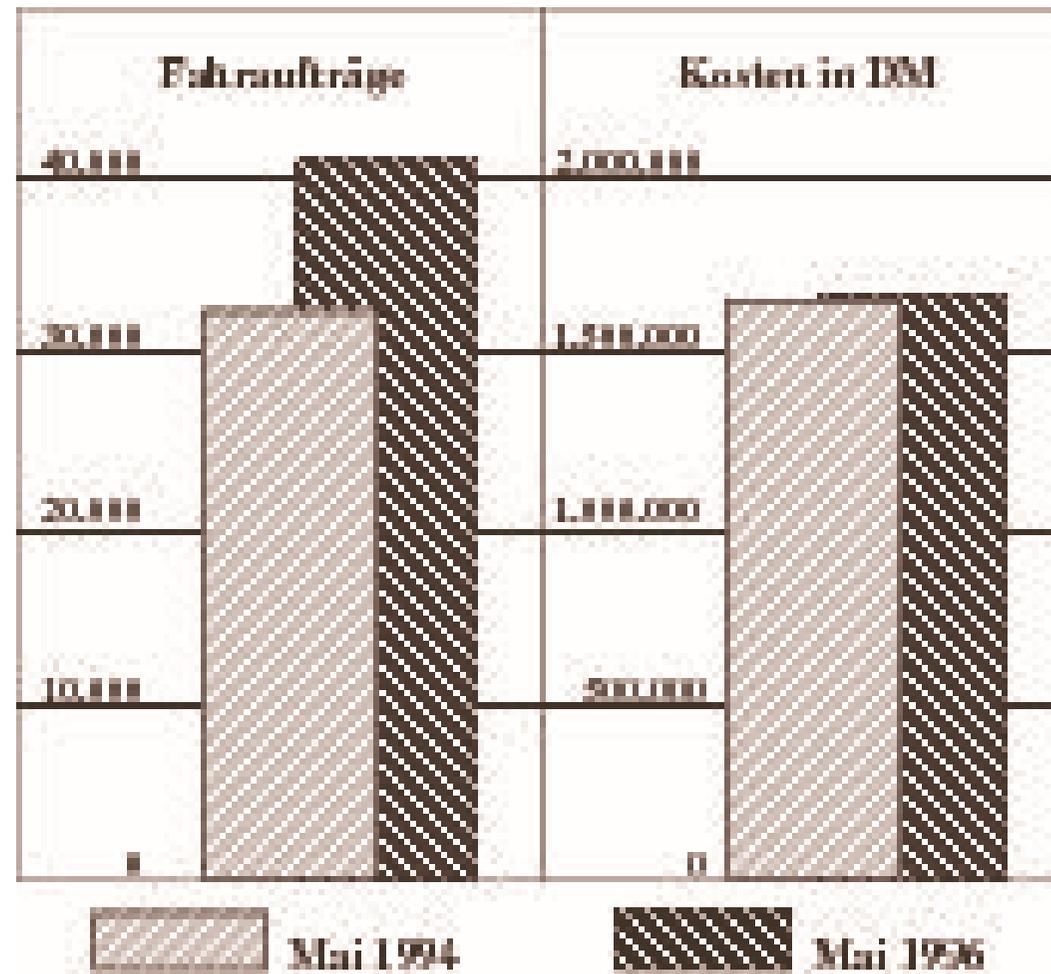
Verknüpfungsoptimierung (km)



Verknüpfungsoptimierung (#)



Kostenoptimierung



Home

kontakt

Über uns

Leistungen

Hilfe &
Betreuung
Eingliederungs-
hilfen

Jugendhilfe-
einrichtungen

Forum

Gästebuch

Design:
Hermann Stabel

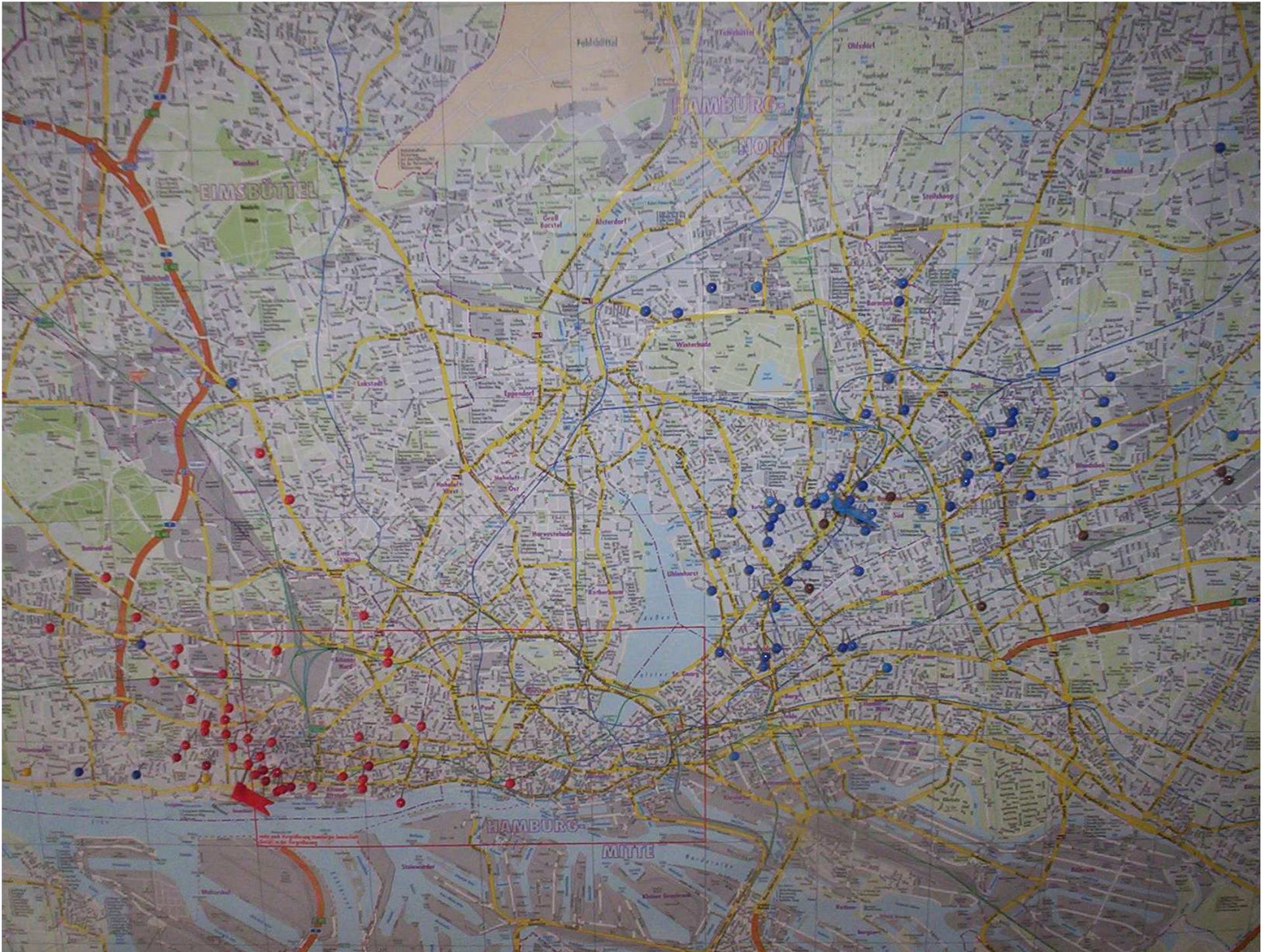


Herzlich willkommen auf unserer Webseite.
Wir bieten Ihnen Informationen rund um das Thema
Pflege und informieren Sie über unseren Pflegedienst,
unsere Leistungen und unseren Service.



Unser Internetangebot richtet sich an:

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



Telebus per Taxiruf

City-Funk übernimmt den Behindertenfahrdienst. Er soll auch kurzfristig bestellt werden können

KLAUS KURPJUMWEIT
9.3.2005 0:00 Uhr

Für den Behinderten-Fahrdienst Telebus ist nach Tagesspiegel-Informationen nach langem Hin und Her jetzt eine Lösung gefunden worden. Die Fahrten sollen demnach ab 1. Juli über die Taxizentrale „City-Funk“ bestellt werden. Bisher hatte die Senatssozialverwaltung damit die BVG beauftragen wollen, die davon allerdings nicht begeistert war und zuletzt einen geharnischten Brief an die Sozialverwaltung geschrieben hatte. Der Vertrag mit dem bisherigen Telebus-Betreiber, dem Zentralausschuss für soziale Aufgaben (BZA), war gekündigt worden.

„City-Funk“ will den Telebus-Nutzern in Zukunft auch kurzfristige Bestellungen ermöglichen und weg von der bisherigen Zwei-Wochen-Frist. Möglich macht dies die GPS-Technik, die „City-Funk“ als erste Taxirufzentrale in Berlin schon vor Jahren installiert hat. Die Zentrale ist damit in der Lage, von jedem der derzeit angeschlossenen 300 Taxis den aktuellen Standort zu ermitteln und bei Bestellungen entsprechend zu disponieren.

Ähnlich soll das System in Zukunft auch beim Telebus funktionieren. Die Fahrtrouten mit mehreren Bestellungen müssen dann nicht mehr langfristig festgelegt werden. Statt dessen kann die GPS-Zentrale bei einem Fahrtwunsch schnell feststellen, ob ein Telebus in der Nähe ist und ihn dann zum Kunden schicken. Die Telebusse müssen allerdings dann GPS-Anlagen einbauen.

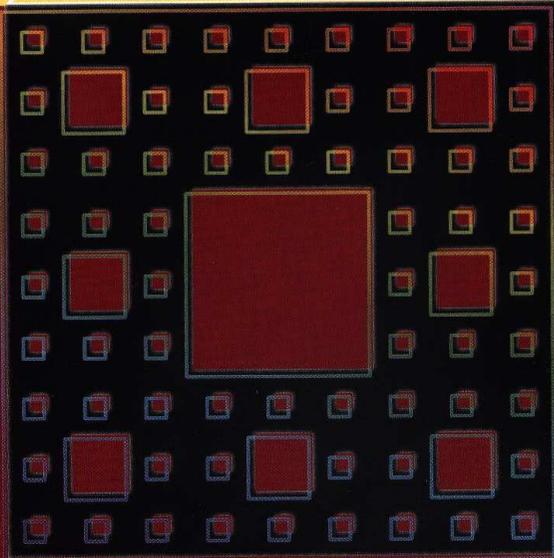
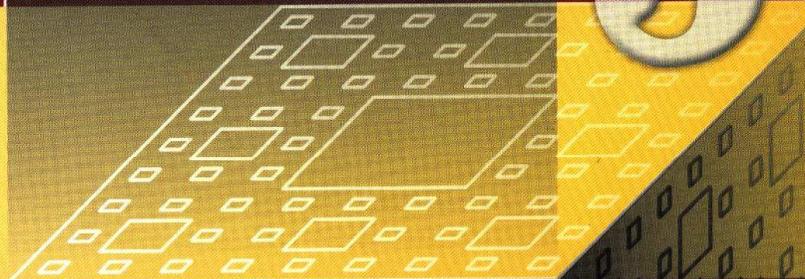
Die neue Betriebsform wird zunächst bis 31. Januar 2006 innerhalb des von der EU geförderten Forschungsprojekts „Tellus“ erprobt. „Tellus“ soll innovative Lösungen testen, mit denen die Mobilität in den Städten erhöht werden kann. Danach könnte auch die Leistung der Bestellzentrale ausgeschrieben werden – wie bereits jetzt der Fahrdienst für den Telebusbetrieb. Statt rund 140 Autos sollen in Zukunft nur noch 80 bis 90 benötigt werden, was die Kosten senkt. Auch „City-Funk“ will mit erheblich weniger Personal auskommen als bisher die BZA.



Lehrbuch der Mathematik

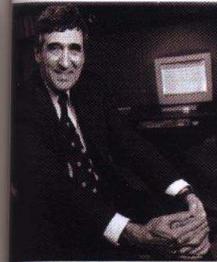
5

Internet@nbinding



Reichel
Müller

öbv&hpt



R. E. GOMORY

für das *grundsätzliche Verständnis* und die *grundsätzlichen Ideen!*

Das bekannteste Verfahren ist das so genannte **Simplexverfahren**, welches 1947 von G. B. DANTZIG veröffentlicht wurde. Dieses Verfahren ist ein sehr effizienter *Durchsuch-Algorithmus*; es stützt sich auf das in Kap. 6.3 behandelte Lösen von Ungleichungen mittels *Schlupfvariablen* und auf den in Kap. 11.5 genannten *Hauptsatz der linearen Optimierung*.

Wegen DANTZIG (geb. 1914) sind R. E. GOMORY (geb. 1929) und der schon oben erwähnte österreichische Mathematiker W. KNÖDEL zu nennen, die sich um die Entwicklung dieses sehr modernen Zweiges der Mathematik verdient gemacht haben.

In der Zwischenzeit sind Fahrplan- und Verkehrsfragen ohne Zuhilfenahme von Erkenntnissen und Methoden der linearen Optimierung nicht mehr denkbar.

Fig. 2 zeigt den U-Bahn und S-Bahn Plan von Berlin. Die Wahl des kürzesten Weges ist ein

Aufgaben *graphisch* zu lösen. Es mussten computerorientierte *numerische* Methoden erfunden werden. Die graphische Methode, die du in den vorangegangenen Kapiteln kennen gelernt hast, lieferte

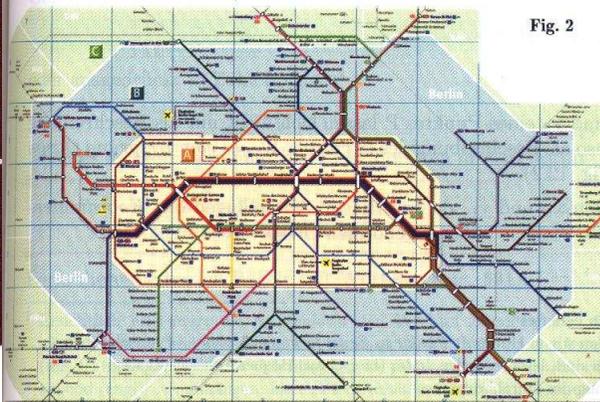
typisches Optimierungsproblem. 306 Stationen und 445 Strecken machen die Entscheidung nicht immer leicht, gilt es doch verschiedene Ansprüche (gleichzeitig) zu optimieren: den Fahrpreis, die Streckenlänge, die Fahrzeit, die Anzahl der Umsteigenotwendigkeiten uam.

Ein ganz ähnliches Problem wurde erst vor wenigen Jahren am berühmten Konrad-ZUSE-Forschungszentrum für Diskrete Mathematik in Berlin von M. GRÖTSCHHEL unter Mithilfe von ganz jungen Mathematikern gelöst. Obwohl man keine genaue Lösung, sondern nur eine beliebig genaue Näherungslösung angeben konnte, „ersparte“ man sich inzwischen einige Millionen Euro! Das Problem war das folgende: In jeder größeren Stadt in Europa (also erst recht in Berlin) haben behinderte Personen die Möglichkeit, Fahrtendienste in Anspruch zu nehmen und telefonisch vorzubestellen.



Wie soll man diesen Dienst, der tausende Male in Anspruch genommen wird, möglichst kostengünstig abwickeln?

Fig. 2



Die hierfür entwickelten mathematischen Methoden finden nicht nur im Verkehrswesen Einsatz, sondern ganz analog im Telekommunikationswesen, bei der Frage nach weltweit sicheren und günstigen e-mail- und Serververbindungen, im Flugverkehr bei der Konzipierung von Flugstraßen uam.

Mathematik mag unsichtbar sein, aber sie ist allgegenwärtig!

Interessiert?

- www.zib.de/borndoerfer
 - SC 99-32 Der Schnellste Weg zum Ziel
 - SC 98-09 Optimization of Transportation Systems
 - SC 95-27 Alcuin's Transportation Problems and Integer Programming

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

