

Wissenschaft



Marktwirtschaft auf der Schiene?
Wie soll das überhaupt gehen?
Mathematiker haben sich daran-
gemacht, das Streckennetz der
Deutschen Bahn zu optimieren.
Von Klemens Polatschek

Trassen unter dem Hammer

Der Termin klingt nach grauem Politika-
lltag. Vergangene Woche stellte
Verkehrsminister Wolfgang Tiefensee
in Berlin das zweite und endgültige
Gesetzes über den geplanten Bären-
gang der Deutschen Bahn AG vor.
Die Bundesregierung will daraus bis

ins nächste Jahr durchleuchten.
Sein Ziel war eine Optimierung
der Schienenwege insgesamt.

Dieser Gedanke enthält genug ge-
sunder Größenwahn, um für seine
Erfolgung zu sorgen. Schließlich lau-
tet die Lehrmeinung, ein System wie

von Hand optimiert“, schreiben die
Trassenbauer in ihrem Forschungs-
bericht, „arbeitete Fahrpläne werden an
ausgewählten Stellen nach dem Prin-
zip von Versuch und Irrtum verbes-
sert“. Auch die DB Netz AG führt
nur die Trassenwünsche ihrer Mütter-

Es gehört
schon etwas
Größenwahn
dazu, ein
System wie

die Transportsparten Fernverkehr,
Regionalverkehr und Güterverkehr“,
sagt Jürgen Siegmund, der Bahn-
verkehrsminister im Projekt. Den
Schienenbauer fällt ja nicht nur das
Modell, sondern überhaupt jede be-
gründete Ökonomie. Die DB Netz

Eine Trassenbüchse muß also schon
größere Teile der Netzkapazität zum
selben Zeitpunkt auf den Markt brin-
gen. Natürlich nicht alle auf einmal.
Am Anfang würde die Büchse viel-
leicht nur den Güterverkehr auf den
Haupttrassen von den deutschen Hi-

NACHRICHTEN

Herzlich willkommen

Wenn Kinder frühzeitig Freundschaften schließen, dann gelingt es ihnen auch wesentlich besser, eine positive Beziehung zu später geborenen Geschwistern aufzubauen. Freund oder Freundin haben dabei mehr Einfluß auf die Entwicklung der Geschwisterbeziehung als die eigenen Eltern, schreibt die Psychologin Laurie Kramer von der University of Illinois in der aktuellen Ausgabe des *Journal of Family Psychology*. Im Rahmen ihrer Studie hatte sie 28 Geschwisterpaare über 15 Jahre hinweg beobachtet.

Gern genommen

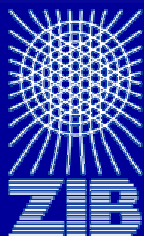
In Europa und den Vereinigten Staaten ist am Freitag ein Insulin-
preisanstieg zu erwarten, da In-
sulin in den USA als Medikament
eingestuft wird. Das Insulin, das
mit einem kleinen Gerät vor-
gesteuert wird, wird von den Pharma-
konzernen Pfizer hergestellt. Im Vor-
feld hatte es Diskussionen darüber
gegeben, ob diese neue Verabreichungs-
form ebenso verträglich ist
wie gespritztes Insulin.

Eiskalt gelöst

Keramik eignet sich wegen seiner
Härte für zahlreiche Anwendungen.
Ihr Nachteil ist aber ihre Sprödigkeit.
In seiner aktuellen amerikanischen
Materialforschung nun eine
Technik zur Herstellung von Kera-
mik vor, die Energie besser absor-
bieren kann und dadurch sehr
bruchfest wird. Keramikpulver
wird dabei in Wasser gelöst und
tiefgefroren. Das Eis wird ver-
dunstet, zurück bleibt eine poröse
Struktur, die mit einem organi-
schen Polymer oder Metall aufge-
füllt werden kann. Als Anwendungs-
gebiete können unter anderem künstliche
Knochen oder langlebige
Kleidung in Frage.

Fix produziert

Ein schnelleres Verfahren zur Be-
reitung von Impfstoff im Falle



Einleitung - Vita

- Geb. 10.03.1979 in Halle/Saale
- 1991-1998 Descartes Gymnasium Berlin
- 1998-2004 Studium der Wirtschaftsmathematik
an der Technischen Universität Berlin
- 2004- Wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Konrad-Zuse-Institut Berlin
im Bereich „Diskreten Optimierung“



Inhalt

I. Wirtschaftsmathematik

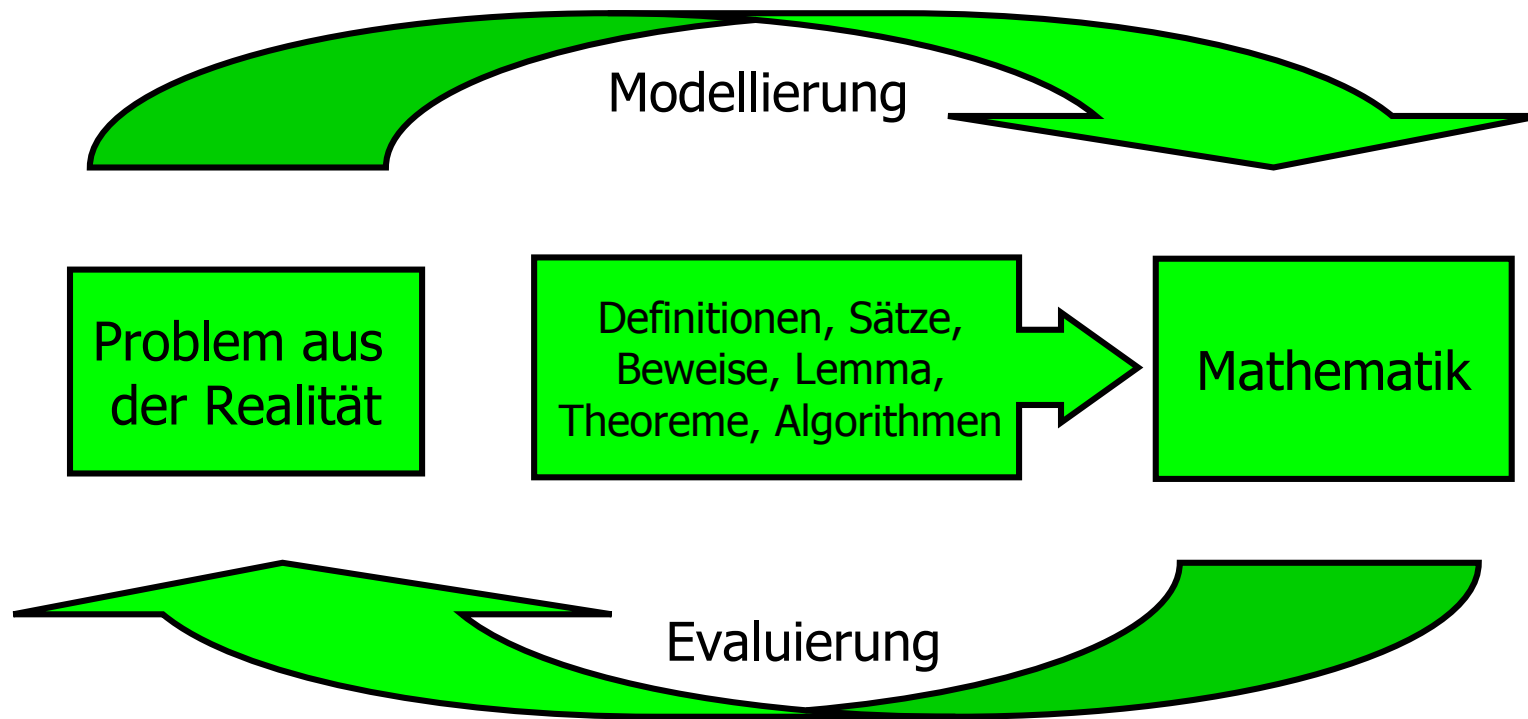
II. Trassenbörse

- i. Beweggründe und Ziele
- ii. Formulierung und Definition des Problems
- iii. Modellierung und Algorithmen
- iv. Experimente, Resultate und Schlussfolgerung

III. Gefangenen Dilemma



Idee der Wirtschaftsmathematik

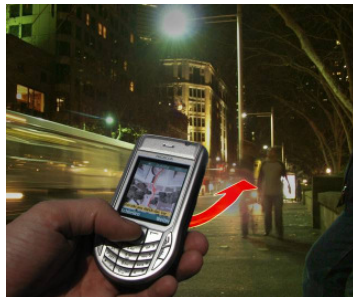


Modellierungszyklus (Kemendy & Smell 1962)

Andwendungsgebiete

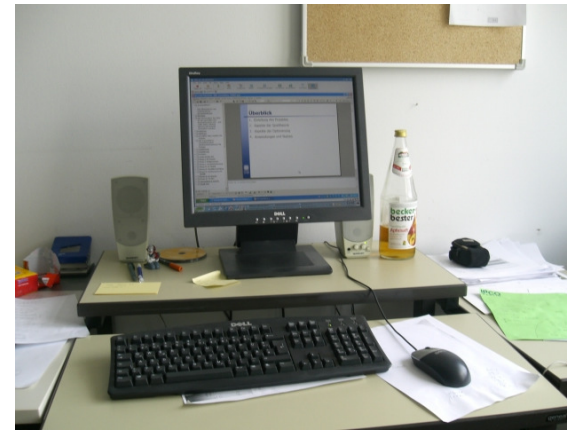


**Problem aus
der Realität**



Idee der Optimierung

Aus allen zulässigen Lösungen eines Problems berechnen wir die Beste bzgl. einer gegebenen Bewertungsfunktion.



Theorie & Praxis

Inhalt

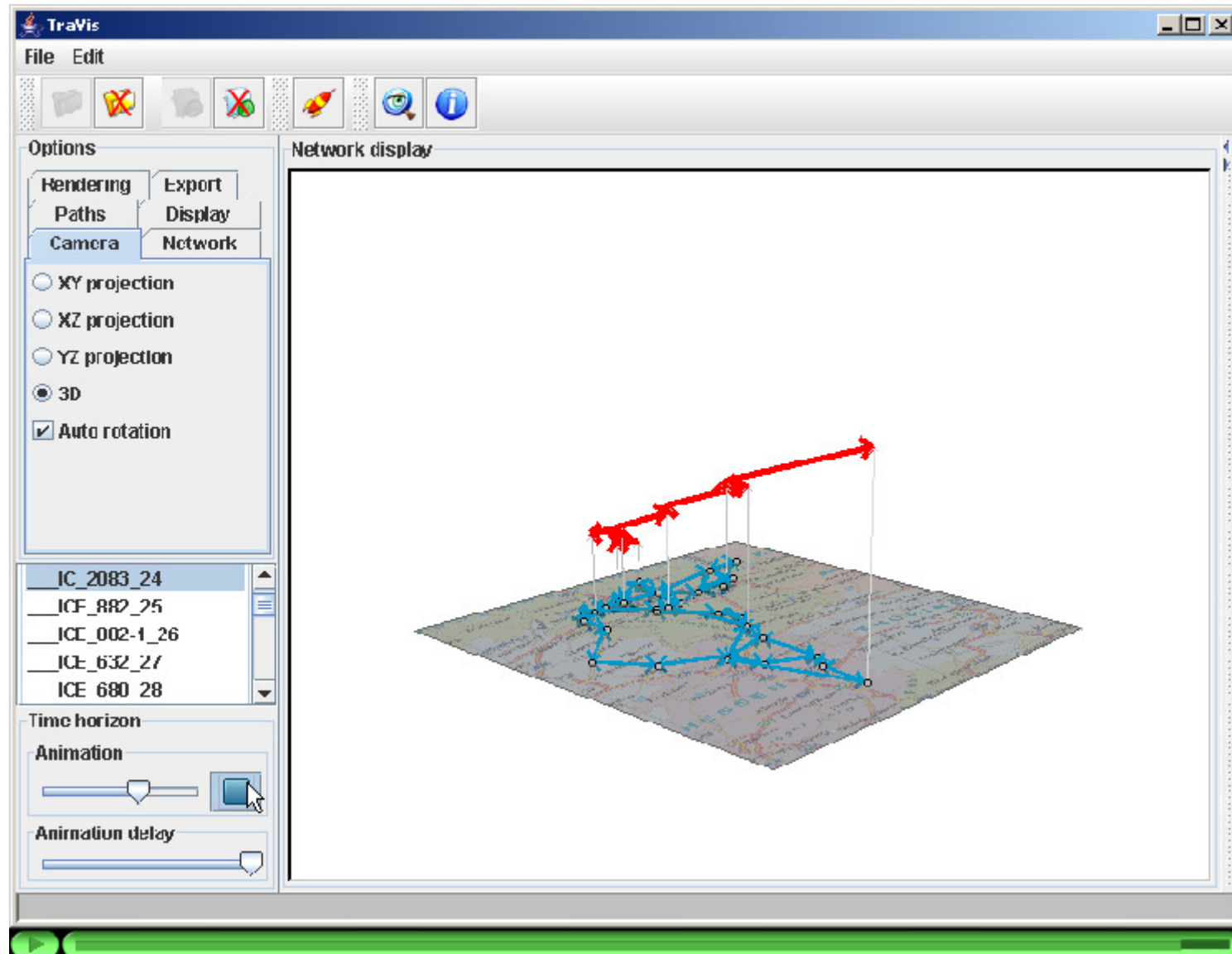
I. Wirtschaftsmathematik

II. Trassenbörse

- i. Beweggründe und Ziele
- ii. Formulierung und Definition des Problems
- iii. Modellierung und Algorithmen
- iv. Experimente, Resultate und Schlussfolgerung

III. Gefangenen Dilemma

Was ist eine Trasse (TraVis M.Kinder) ?



Aktuelle Vorgehensweise !

(1) WWW-Portal der DB AG

[illegible]

(2) Anmeldeformulare

[illegible]

(3) Angebot einer Trasse

[illegible]



Ziel der „Trassenbörse“ !

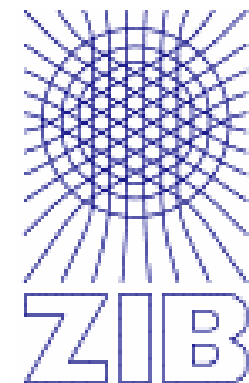
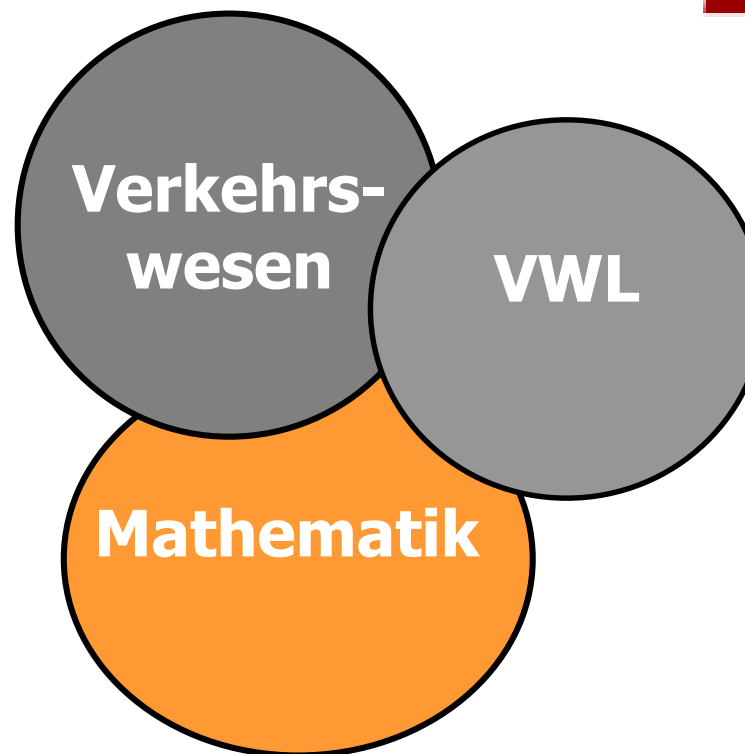
**Liberalisierung des
Schienenverkehrmarktes**

—

**Einführung eines freien und
fairen Marktes !**

Kann man die Trassenvergabe im
Schienenverkehr durch
Auktionsmechanismen koordinieren ?

Interdisziplinäres Projekt „Trassenbörse“



Auktionsdesign ?

- Güter/Gebote
 - Unabhängige Güter/
Güterbündel
(kombinatorische Auktion)
 - Kombinatorische Gebote
(und/oder/xor)
- Bieter
 - Kooperation verboten/
erlaubt
- Zahlung
 - Gewinner zahlt höchsten
oder zweithöchsten Preis ...
- Information
 - Zahlungsbereitschaften
 - offen oder geheime Gebote
- Verfahren
 - Mindestinkrement
 - feste Rundenzahl
 - Aktivitätsregeln
 - Zurücknehmen erlauben
 - Direktes Bieten o.
Bietagenten

Kombinatorische Gebote

UND-Gebote:
„Alle für einen und
Einer für alle“



© 20th
Century Fox



Exklusive ODER-Gebote:
"Es kann nur einen
geben"

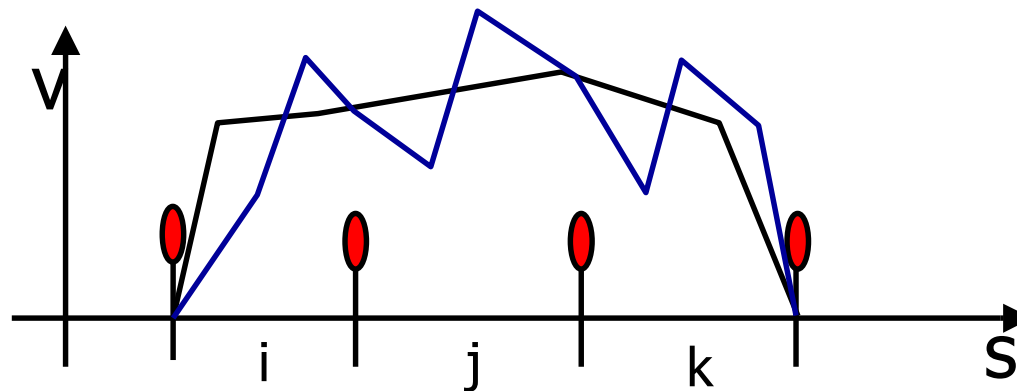
Blöcke, Fahrverhalten und Standard Zugtypen



Zustand (i,T,t,v)

- Block i
- Zugtyp y
- Startzeit t
- Geschwindigkeit v

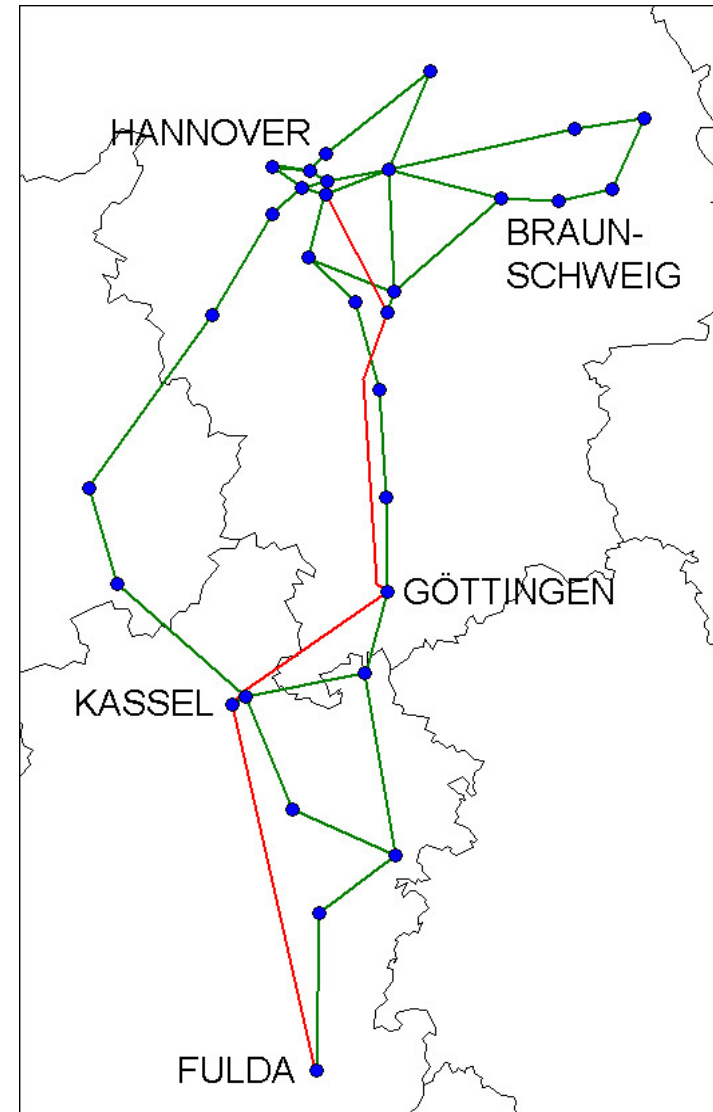
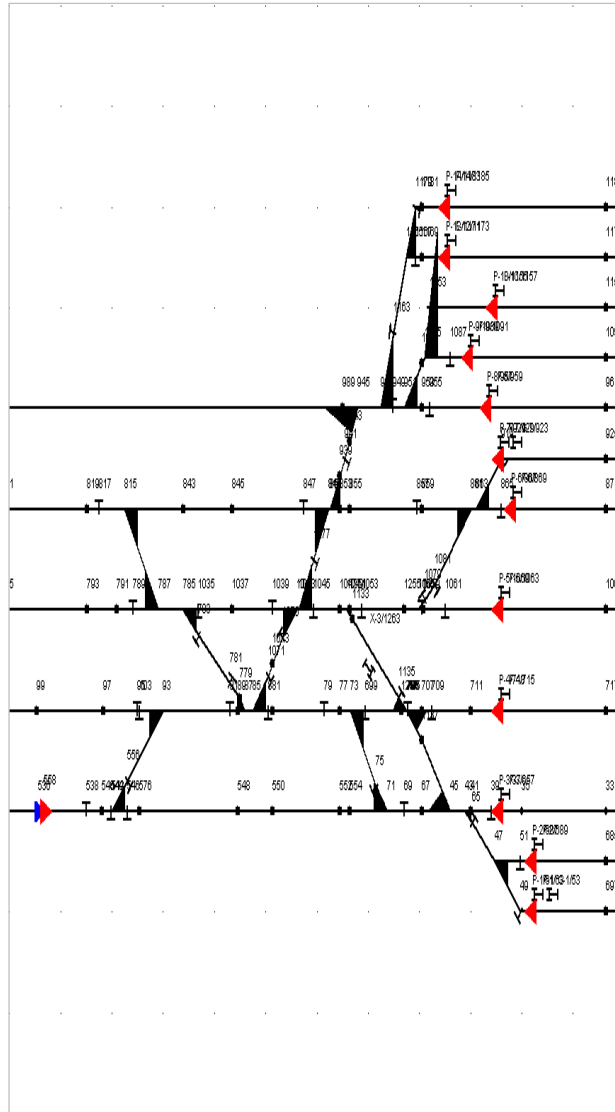
Zugtypen	Höchst- geschwindig- keit in [km/h]	Zuglänge in m
ICE	250	410
IC	200	400
RE	160	225



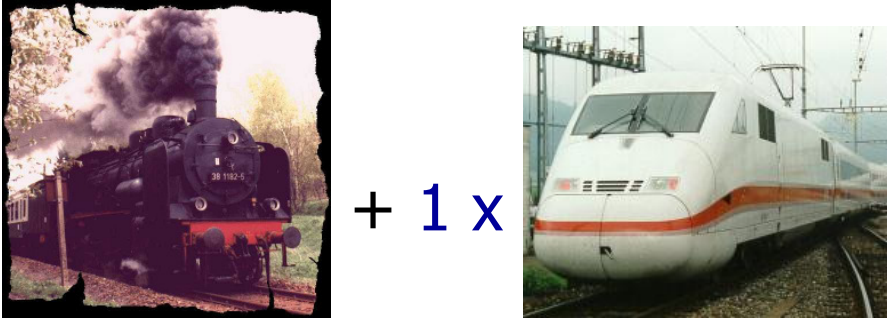
Micro- versus makroskopisches Modell

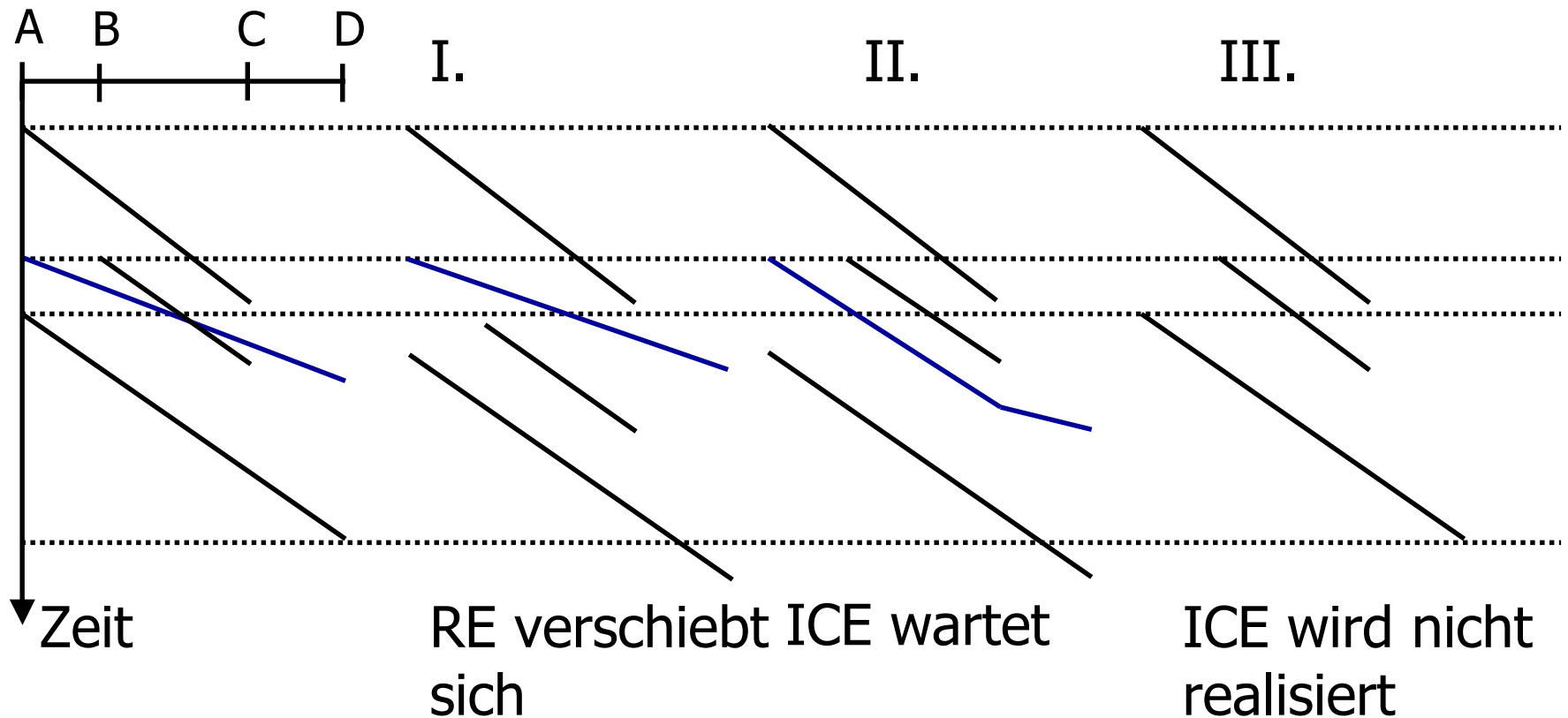


Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie



Mögliche Effekte

$$3 \times \text{RE} + 1 \times \text{ICE} = \text{? ? ?}$$




Aufgabe der Optimierung

Input

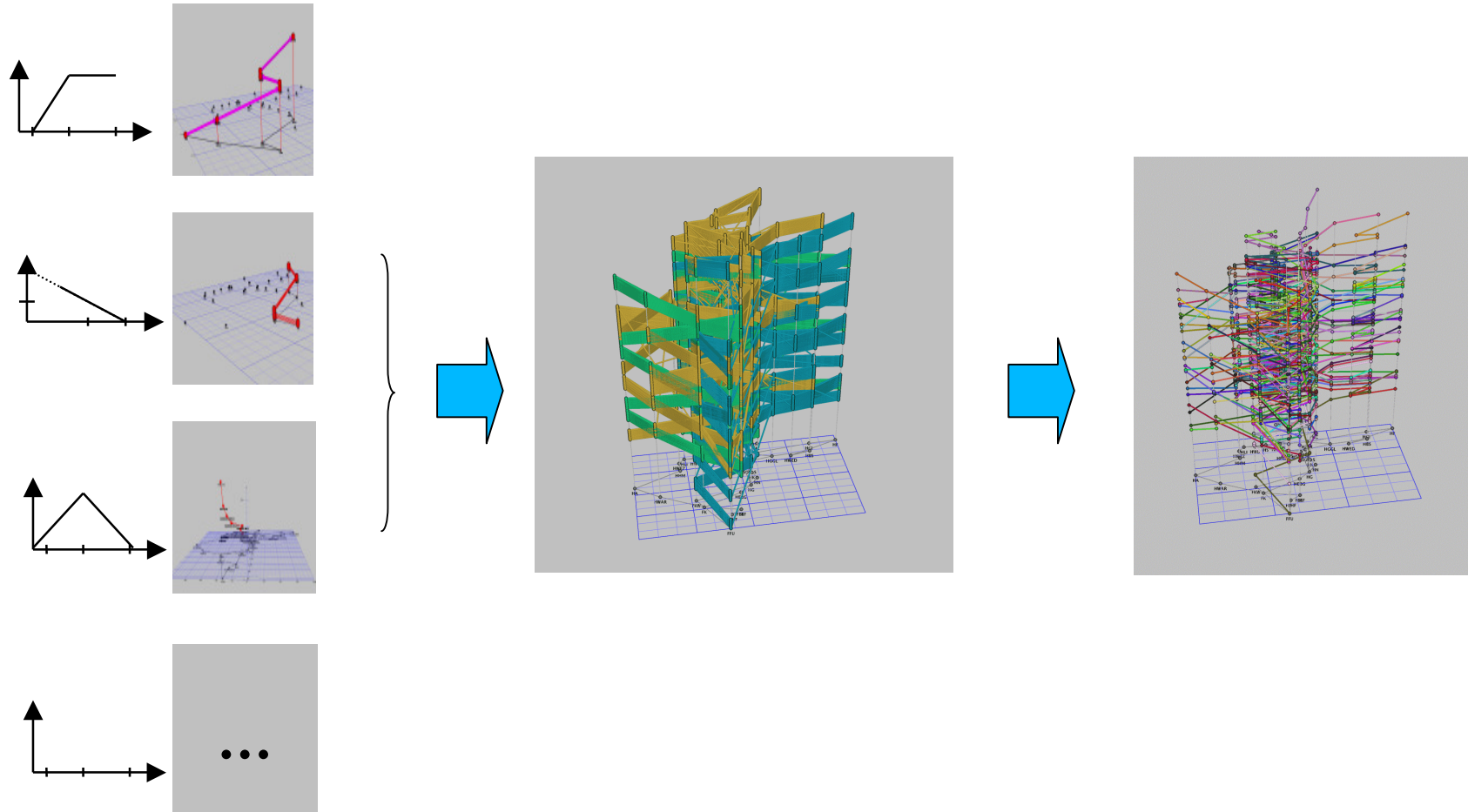
- Infrastrukturdaten
 - Netzwerk, Zugtypen, Zugmengen
 - Zugfolgezeit-Bedingungen, Bahnhofskapazitäten
- Menge der Zugwünsche/Gebote (Bündel, AND, XOR)

Output

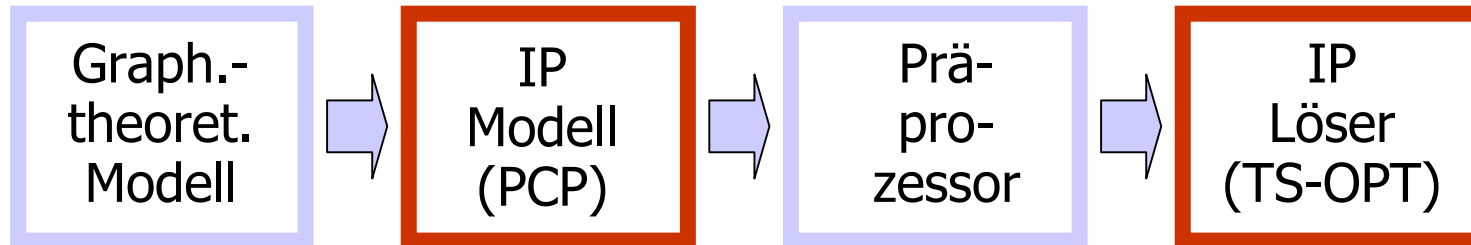
- Menge realisierbarer Zugwünsche & „zeitliche Gleis“ Allokation
 - fahrbar bzgl. der makroskopischen Fahrdaten
 - konfliktfrei bzgl. makroskopischen Bedingungen
 - maximal bzgl. Zielfunktion (Summe der Gebote)



Trassen Allokations Problem



Ganzzahliges Lineares Programm



(PCP)

max

$$\sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{a \in p} u_a^i x_p$$

s.t.

$$\sum_{p \in \mathcal{P}_i} x_p \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (\text{i})$$

$$\sum_{q \in \mathcal{P}_j} y_q \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (\text{ii})$$

$$\sum_{a \in p \in \mathcal{P}_i} x_p - \sum_{a \in q \in \mathcal{P}_j} y_q \leq 0 \quad \forall a \in A_I \cup A_J \quad (\text{iii})$$

$$y_q \in \{0, 1\} \quad \forall q \in \mathcal{P}_j \quad (\text{iv})$$

$$x_p \in \{0, 1\} \quad \forall p \in \mathcal{P}_i \quad (\text{v})$$

- Pfadbasiertes Mehrgüterflussmodell
- Variablen für zulässige Streckenbelegungen



Inhalt

I. Wirtschaftsmathematik

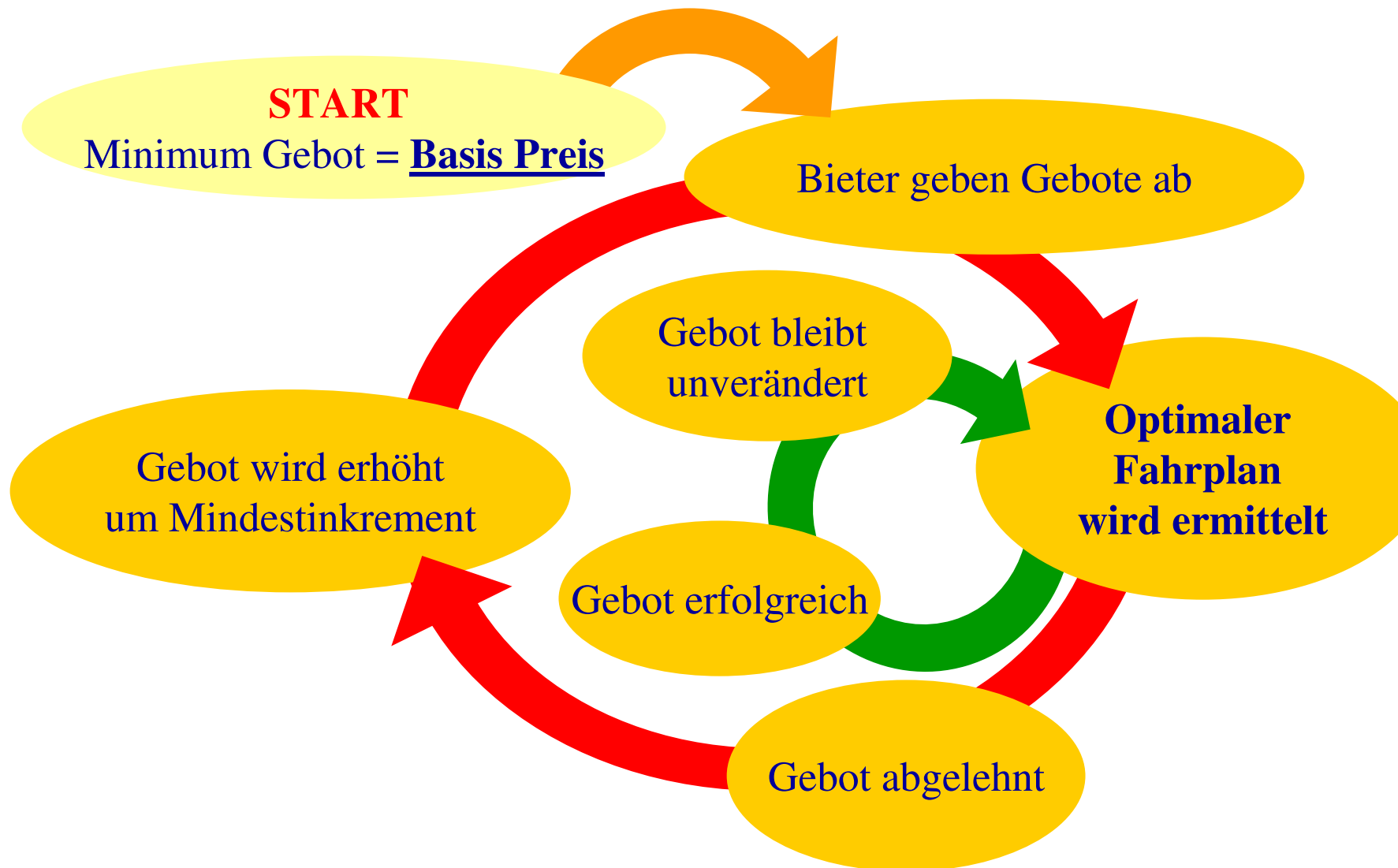
II. Trassenbörse

- i. Beweggründe und Ziele
- ii. Formulierung und Definition des Problems
- iii. Modellierung und Algorithmen
- iv. Experimente, Resultate und Schlussfolgerung

III. Gefangenen Dilemma



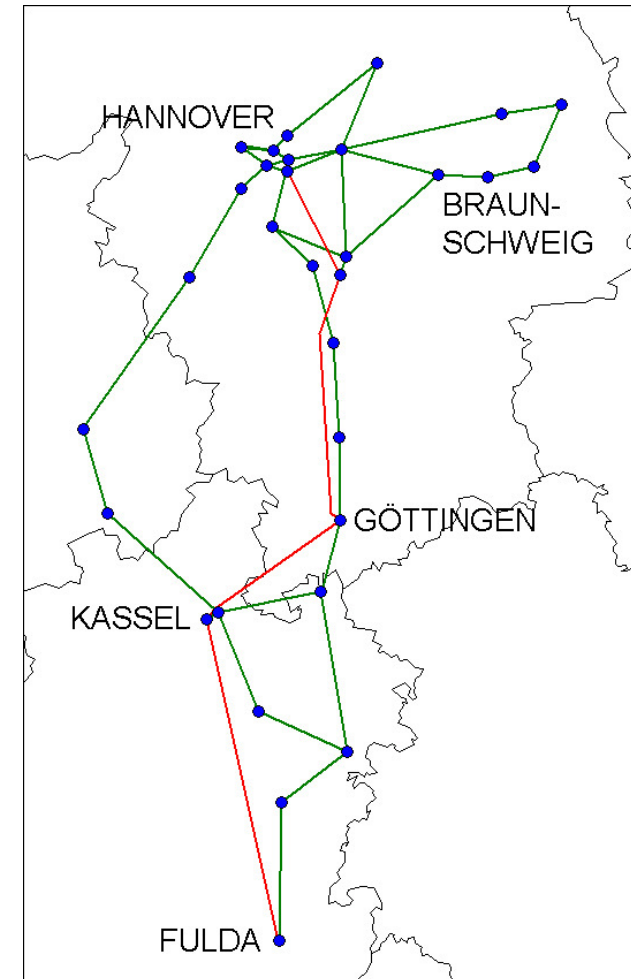
Auktionsdesign



Status Quo Szenario

Hannover—Braunschweig—Fulda

- 45 Gleisabschnitte
- 31 Bahnhöfe
- 6 Zugtypen
- 5 Stunden



Generierte Szenarien

Tabelle 5.7:

Anzahl der zusätzlich zum Referenzfahrplan generierten Trassen in den Testbeispielen

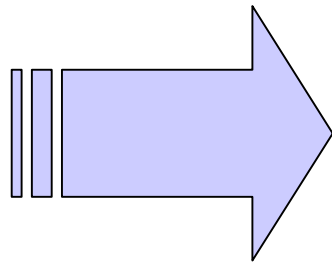
Trassen- kategorien	Testbeispiele					zugehörige Zugtypen
	1	2	3	4	5	
FV E:	+ 6	+12	+18	+24	+30	ICE, IC
FV T:	+ 6	+12	+18	+24	+30	ICE, IC
RV E:	+ 9	+18	+27	+36	+45	RE, RB, SB
RV T:	+ 9	+18	+27	+36	+45	RE, RB, SB
GV:	+ 3	+ 6	+ 9	+12	+15	ICG
Alle:	+33	+66				ICE, IC, RE, RB, SB, ICG

Auktionsresultate der Experimente (Diplomarbeit A. Reuter)

	ICE		IC		RE		RB		S		ICG	#
# Zug/Typ	e	t	e	t	e	t	e	t	e	t	e	
Status Quo Fahrplan	27	0	27	0	38	19	87	23	0	61	28	—
+24 IC/ICE e	30	0	29	0	38	19	85	23	0	61	25	18
+24 IC/ICE t	24	9	27	9	36	19	83	19	0	58	26	22
+27 R*/S e	27	0	25	0	44	19	89	23	5	58	27	20
+27 R*/S t	27	0	27	0	36	19	83	32	0	62	27	30
+15 ICG	27	0	27	0	38	19	87	23	0	61	42	19
+66 *	28	0	25	3	38	25	85	29	2	55	31	29

Interpretation der Ergebnisse

- Taktverkehre sehr stabil (bis auf S-Bahn)
- Verdrängung nur von Einzeltrassen
- Netzkapazitäten für flexible Trassenwünsche
(Fernverkehr- und Güterverkehrszenarien)



Potentiale für mehr
Schienenverkehr durch
geeignete Auktionen !



Inhalt

- I. Wirtschaftsmathematik
- II. Trassenbörse
 - i. Beweggründe und Ziele
 - ii. Formulierung und Definition des Problems
 - iii. Modellierung und Algorithmen
 - iv. Experimente, Resultate und Schlussfolgerung
- III. Gefangenen Dilemma

Bonnie & Clyde



Original



Fälschung



Gefangenen Dilemma

„**Bonnie und Clyde** werden in Einzelhaft genommen. Der Staatsanwalt ist sich der Schuld beider Angeklagten sicher, doch verfügt er über keine ausreichenden Beweise, um sie vor Gericht zu überführen. Er weist beide darauf hin, dass sie **zwei Möglichkeiten** haben: die Verbrechen zu gestehen oder nicht zu gestehen. Wenn beide nicht gestehen, werden sie wegen milderer Delikte eine geringe Haftstrafe bekommen (*1 Jahr*). Wenn beide gestehen, werden sie zusammen angeklagt, es kann jedoch nicht die Höchststrafe beantragt werden. Macht nur einer der beiden ein Geständnis, so wird er nach geringer Haftzeit (*3 Monate*) freigelassen, der andere jedoch erhält die Höchststrafe (*10 Jahre*).“



Definition als nicht-kooperatives Spiel



Spiel $\Gamma = (N, S, U)$ ist beschrieben durch:

- Menge der Spieler $N = 1, 2$
- Strategieraum $S = (s_{11}, s_{12}, s_{21}, s_{22})$
- Nutzenfunktionen $U : S \rightarrow \mathbb{R}$
- Spielregeln



Nicht-kooperatives Spiel

Ereignismatrix des Gefangenendilemmas

Clyde \ Bonnie	nicht gestehen	gestehen
	nicht gestehen	gestehen
nicht gestehen	1 Jahr für beide	10 Jahre für C. 3 Monate für B.
gestehen	3 Monate für C. 10 Jahre für B.	8 Jahre für beide



Clyde's Problem

Entscheidung für Spieler :

Clyde

Clyde \ Bonnie	nicht gestehen	gestehen
	nicht gestehen	gestehen
nicht gestehen	1 Jahr für beide	10 Jahre für C. 3 Monate für B.
gestehen	3 Monate für C. 10 Jahre für B.	8 Jahre für beide

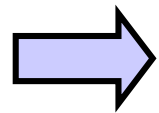




Bonnie's Problem

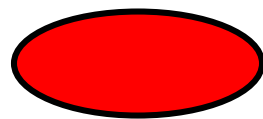
Entscheidung für Spieler :

Bonnie

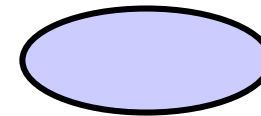


Clyde Bonnie	nicht gestehen	gestehen
	nicht gestehen	gestehen
nicht gestehen	1 Jahr für beide	10 Jahre für C. 3 Monate für B.
gestehen	3 Monate für C. 10 Jahre für B.	8 Jahre für beide

Nash-Gleichgewicht und Soziales- Gleichgewicht



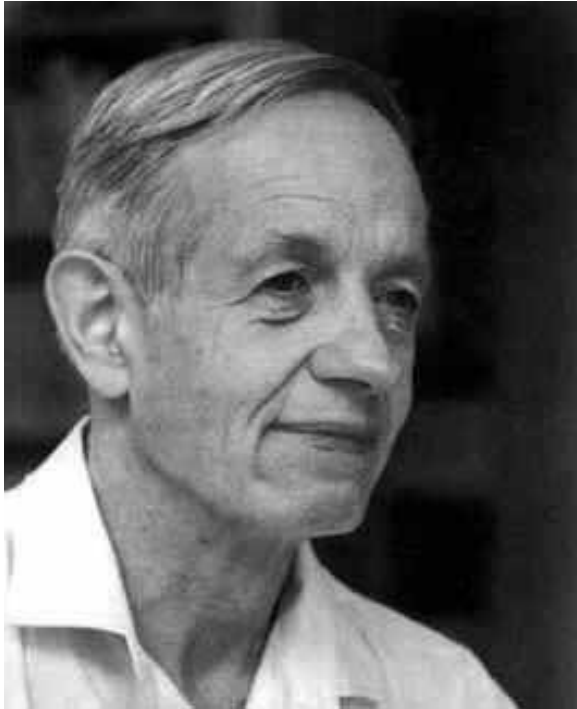
Nash-Gleichgewicht



Systemoptimum

Clyde \ Bonnie	nicht gestehen	gestehen
	nicht gestehen	gestehen
nicht gestehen	1 Jahr für beide	10 Jahre für C. 3 Monate für B.
gestehen	3 Monate für C. 10 Jahre für B.	8 Jahre für beide

John F. Nash, 1928-



**1994 Nobelpreis für
Wirtschaftswissenschaften**

Was haben wir gelernt ?

- Die Methoden der diskreten Mathematik können in der Praxis helfen.
- Der Fortschritt in der Mathematik und in der Informatik ist sehr groß. Die Lösung sehr großer Probleme.
- Die Einsatzmöglichkeiten in verschiedensten Anwendungsgebieten wachsen immer mehr.

Mathematik kann Sinn & Spaß machen.



Matheon Adventskalender 2007



www.mathekalender.de

