

Stabilität von Strassennetzen bei Störungen

Michael G H Bell

Professor of Transport Operations

Department of Civil Engineering

University of Newcastle

Optimierung von Netzen und Angeboten, 23. Juni, Zürich

Erdbeben in Kobe

17. Januar 1995

Verkehrsmittel	Gesperrt	Höhepunkt	31. Januar 1995	Bemerkung
Eisenbahn	Linien	18		
Eisenbahn	Länge	326.4 km		
Hanshin Expressway	Routen	4	1	Ganz gesperrt
Hanshin Expressway	Routen	5	5	Teilweise gesperrt
National Expressway	Länge	51.2 km	11.8 km	
Andere Strassen	Länge	31.9 km	25.3 km	

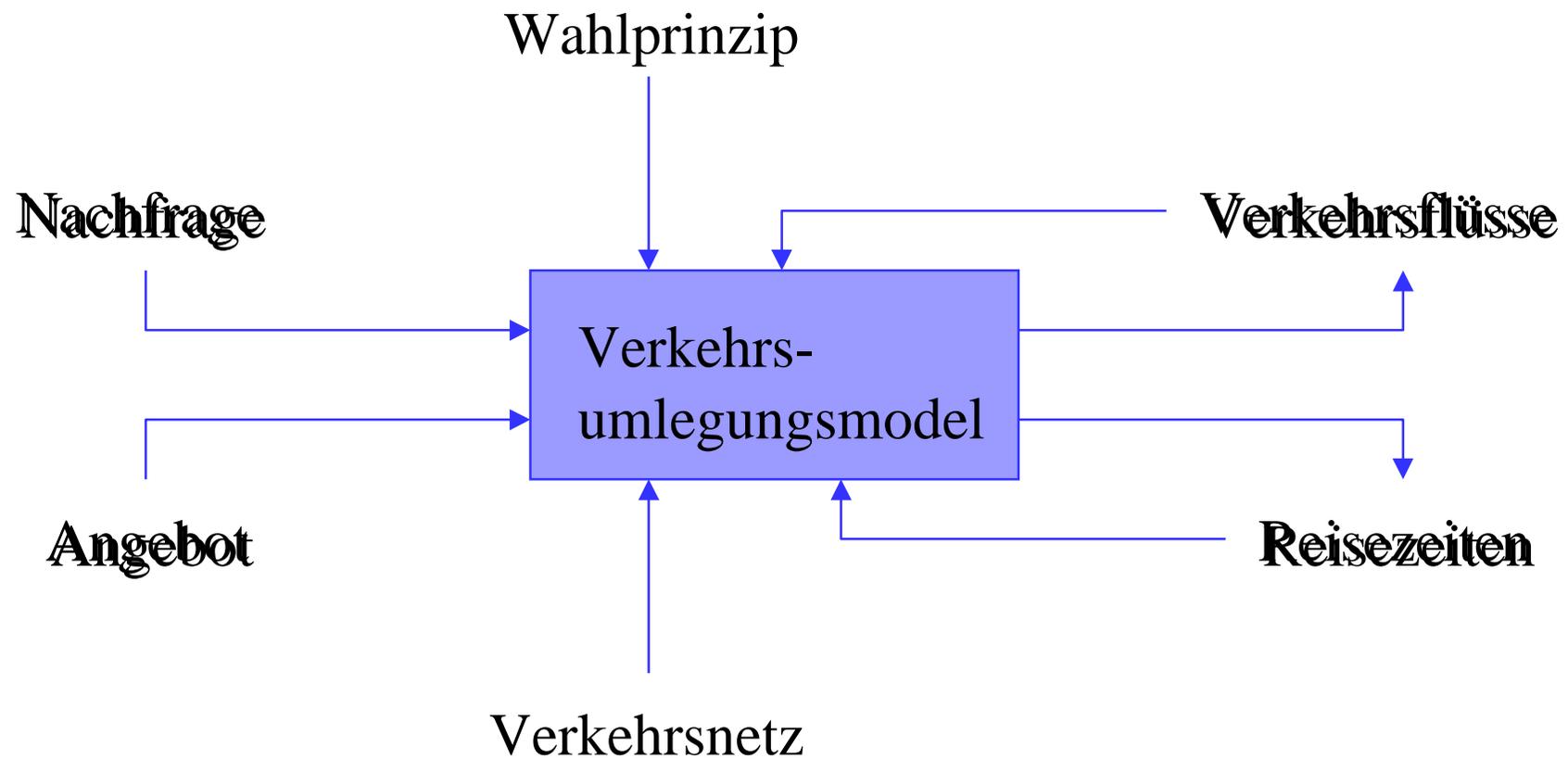
Ein internationales Forschungs- program

- Prof Yasunori Iida, Universität Kyoto (Koordination)
 - ◆ Logistik, Reisezeitzuverlässigkeit
- Prof Michael Bell, Universität Newcastle
 - ◆ Sensitivitätsanalyse, Spieltheorie
- Prof William Lam, Polytechnic Universität Hong Kong
 - ◆ Verkehrssimulation
- Prof Yasuo Asakura, Ehime Universität
 - ◆ Konnektivität

Zuverlässigkeit von Verkehrsnetzen

- Wie kann die Zuverlässigkeit von Verkehrsnetzen gemessen werden?
- Kann Verkehrsverhalten die Zuverlässigkeit von Verkehrsnetzen beeinflussen?
- Zwei Ansätze wurden getestet
 - ◆ Sensitivitätsanalyse
 - ◆ Spieltheorie

Sensitivitätsanalyse



Stochastische Umlegung

- Das deterministische Umlegungsmodell
 - ◆ (Nachfrage, Angebot) → (Verkehrsflüsse, Reisezeiten)
- Das stochastische Umlegungsmodell
 - ◆ $\text{Reisezeit}_k = \text{Mittelwert}_k + \text{Zufallskomponent}_k$
 - ◆ $\text{Verkehrsfluss}_k \propto \text{Pr}[\text{Reisezeit}_k \text{ ist minimal}]$
- Ein stochastischer Gleichgewichtszustand
 - ◆ $\text{Reisezeiten} = f(\text{Verkehrsflüsse})$
 - ◆ $\text{Verkehrsflüsse} = f(\text{Reisezeiten})$

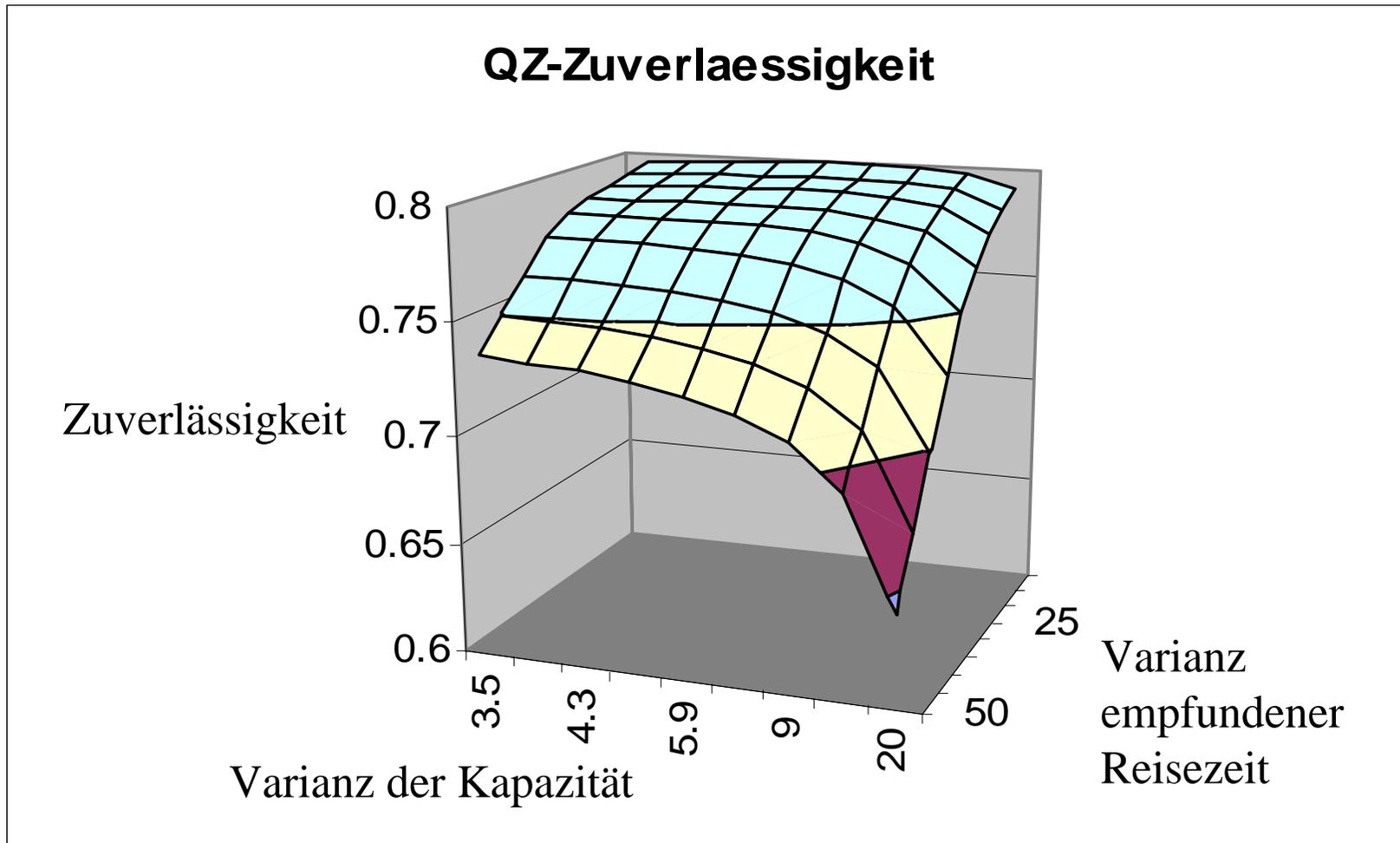
Reisezeitschwankungen

- Nachfrage und Angebot variieren mit der Zeit
 - ◆ Nachfrage = Mittelwert + $N(0, \sigma_N^2)$
 - ◆ Angebot = Mittelwert + $N(0, \sigma_A^2)$
- Sensitivität des Umlegungsmodells
 - ◆ Reisezeit \approx Mittelwert + $S_N(\Delta\text{Nachfrage}) + S_A(\Delta\text{Angebot})$
 - ◆ Reisezeit = Mittelwert + $N(0, \sigma_R^2)$
 - ◆ $\sigma_R^2 = S_N \sigma_N^2 S_N + S_A \sigma_A^2 S_A$
 - ◆ Z = Erwartete minimale Reisezeit unter den Routen
 - ◆ T = Tatsächliche minimale Reisezeit unter den Routen
 - ◆ β = Sicherheitsabstand
 - ◆ QZ-Zuverlässigkeit = $\Pr [T \leq Z + \beta]$

Definition 1

- *Definition:* Ein Netz ist dann zuverlässig, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass die tatsächliche Reisezeit kleiner ist als die erwartete Reisezeit plus eine Sicherheitsabstand, grösser als ein Grenzwert ist

Reisezeitzuverlaessigkeit



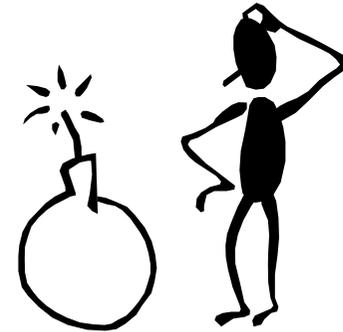
Definition 2

- *Definition:* Ein Netz ist dann zuverlässig, wenn eine pessimistische Einschätzung der Reisezeit kleiner als ein Grenzwert ist

Ein nicht kooperatives, zwei Personen Nullsummen-Spiel



Reisender als Spieler



fiktives
Gegenspieler

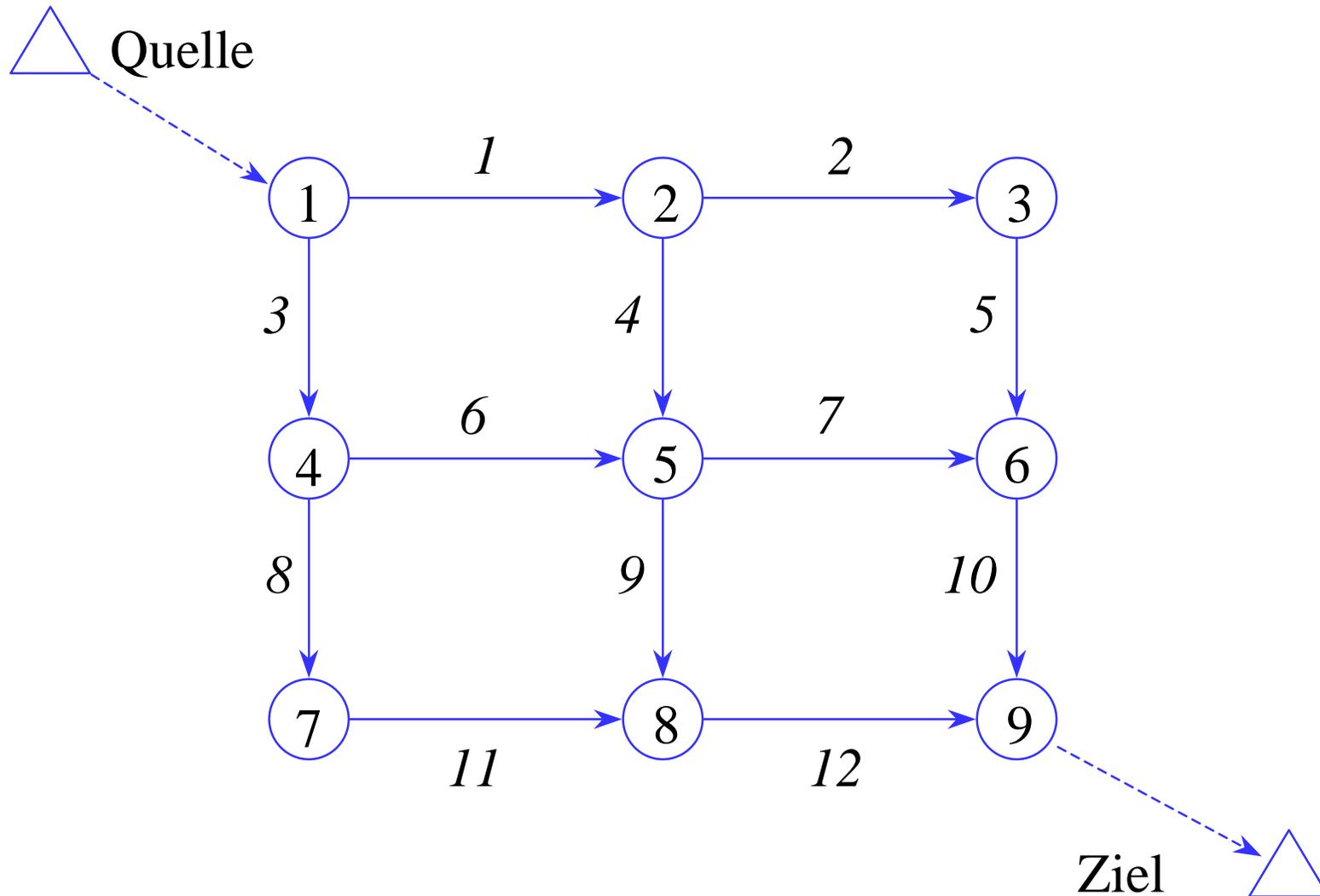
Interpretation des Spiels

- *Perspektive des Reisenden: Welcher ist der sicherste Weg?*
- *Perspektive des fiktiven Gegenspielers: Welche ist die schwächste Strecke?*

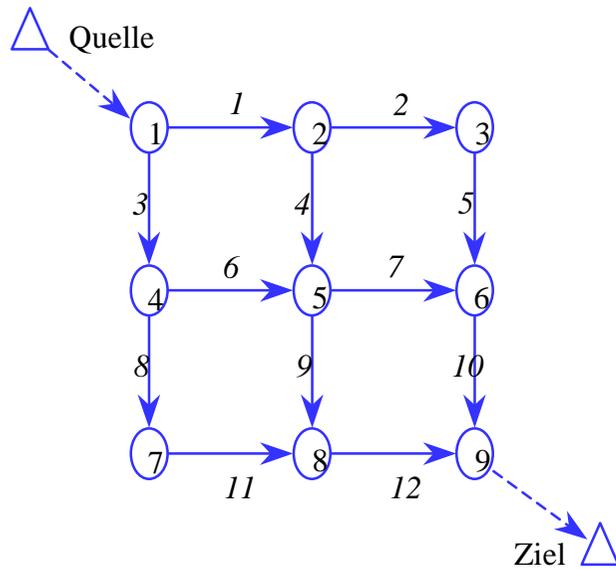
Zwei Lösungsverfahren

- Lineares Programmieren
- Spielen

Beispiel



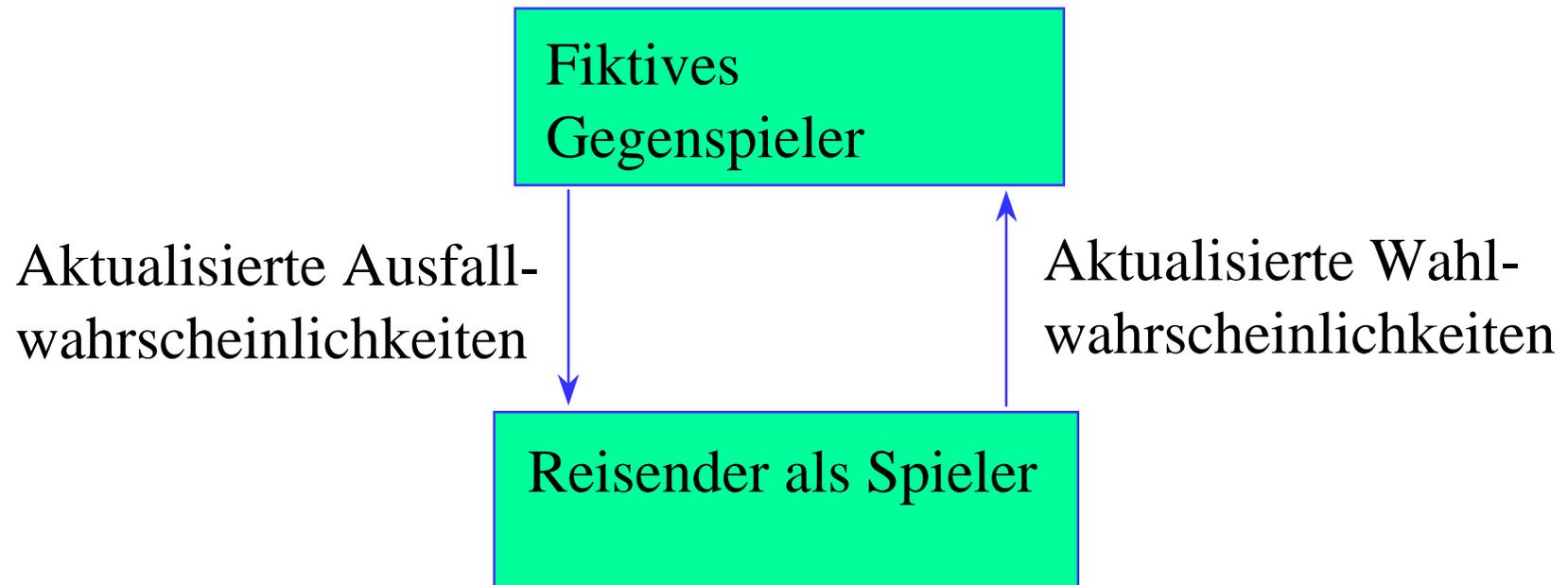
Fall 2: LP-Lösung



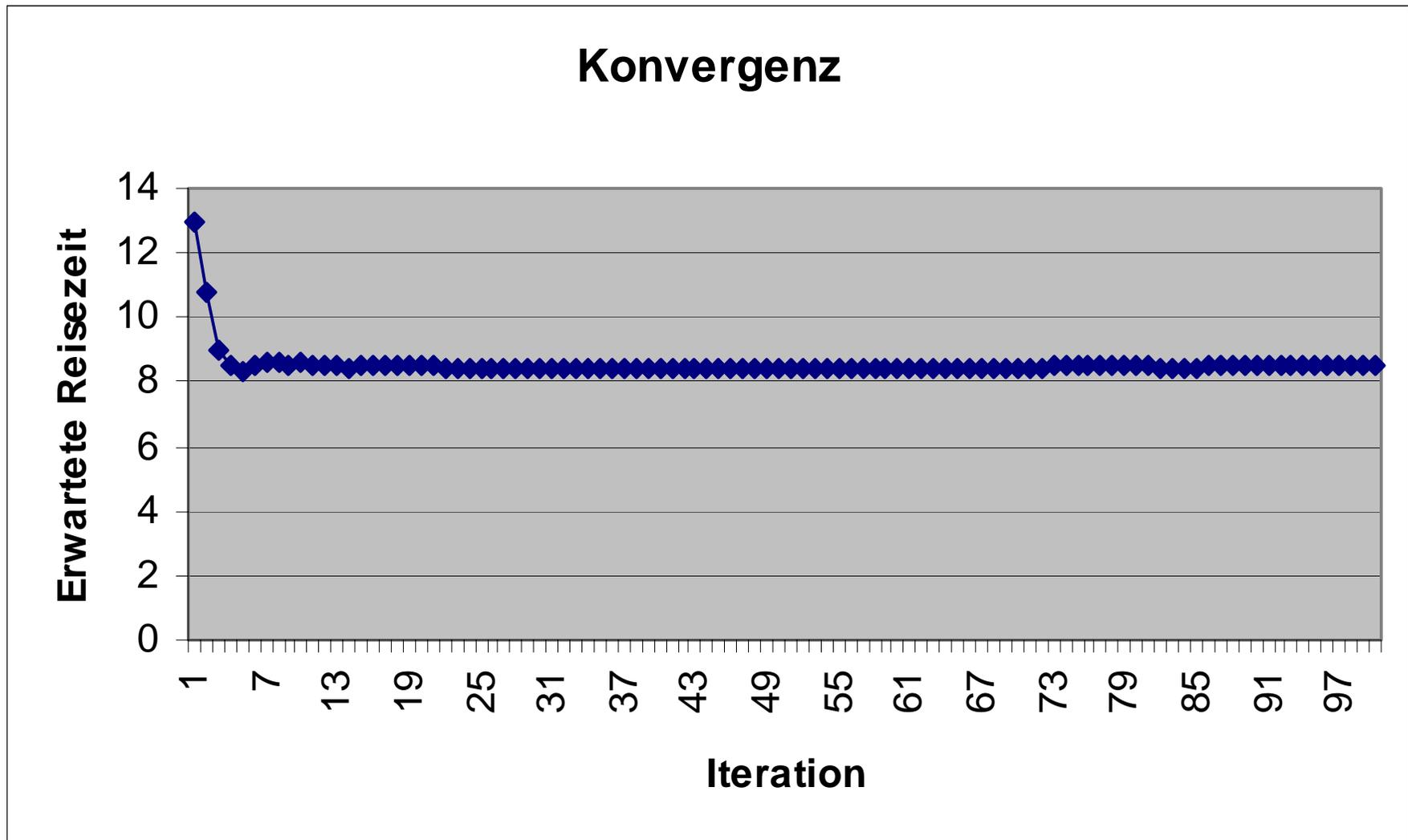
Strecke	Kosten falls Strecke		Benutzungswahrscheinlichkeit	
	normal	eingeschaenkt	Spieler	Gegenspieler
1	1	100	0.08	0.08
2	1	10	0.08	0
3	1	10	0.92	0.92
4	1	10	0	0
5	1	10	0.08	0
6	1	10	0	0
7	1	10	0	0
8	1	10	0.92	0
9	1	10	0	0
10	1	10	0.08	0
11	1	10	0.92	0
12	1	10	0.92	0

Optimale erwartete Reisekosten von Q bis Z = 12.25

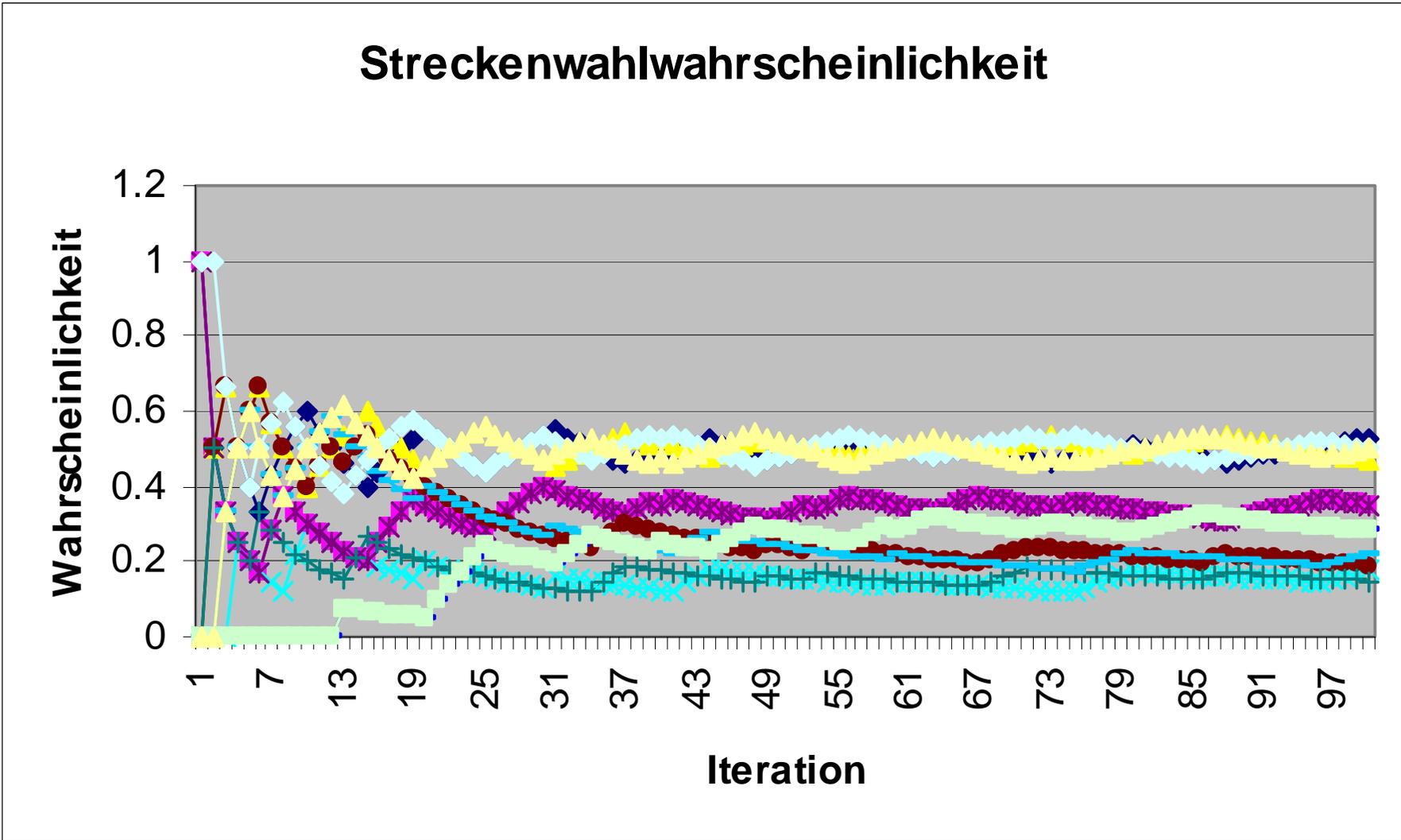
Iteratives Spiel



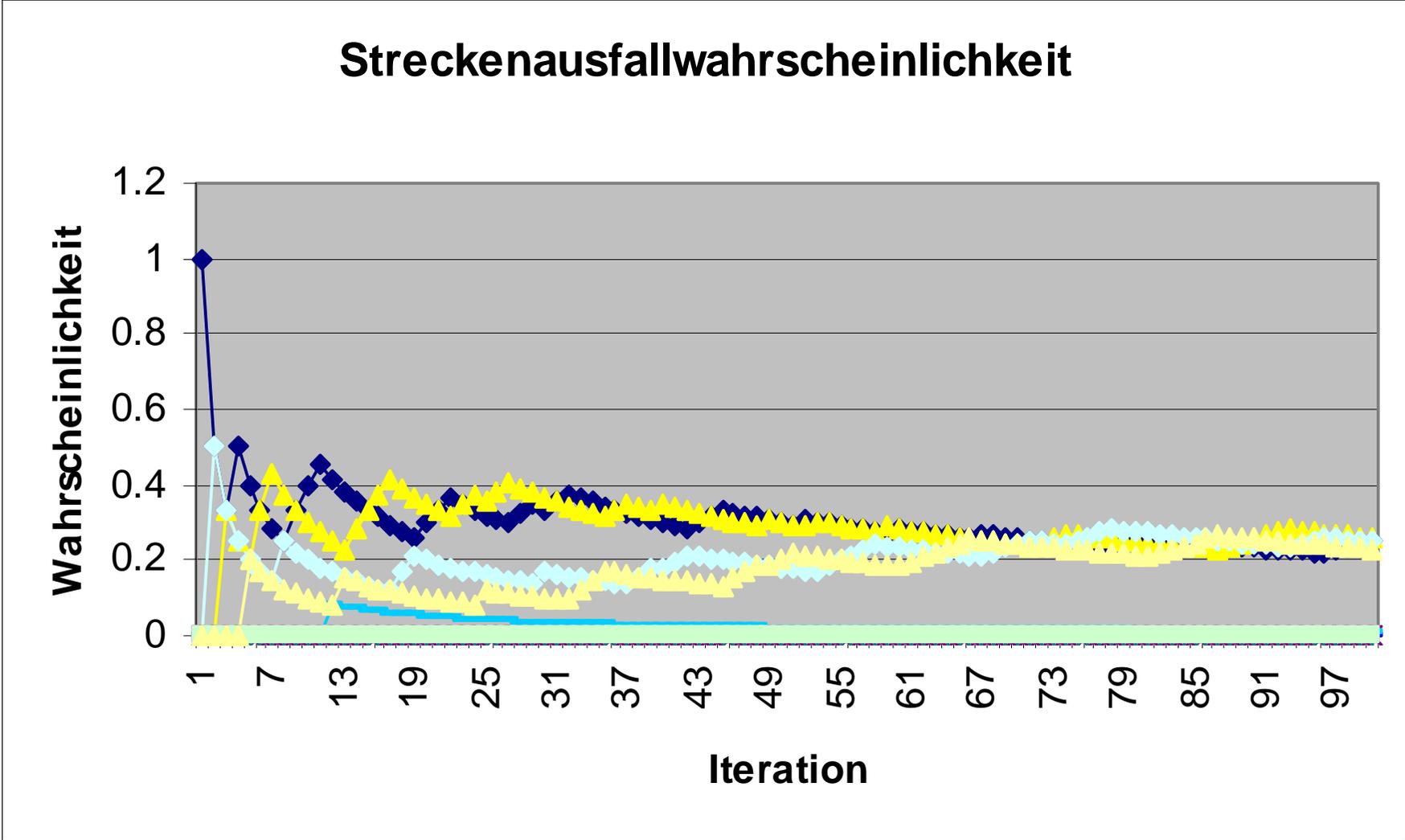
Konvergenz des Verfahrens



Streckenwahl



Streckenausfall



Empfindliche Strecken in York



Schlussbemerkungen

- Zwei Ansätze zur Analyse der Zuverlässigkeit eines Verkehrsnetzes sind beschrieben
 - ◆ Der Sensitivitätsansatz sagt vorher, wie Reisezeiten auf kleine Änderungen der Nachfrage und des Angebots reagieren
 - ◆ Der Spielansatz sucht kritische Strecken im Netz aus
- Beide Ansätze wurde in York erfolgreich getestet
- Der Spielansatz wird jetzt in der Logistik angewandt
- Literatur: Bell, M.G.H. (2000) A game theory approach to measuring the performance reliability of transport networks, *Transportation Research*, **34B** (6) 533-546.