



Mensch und Verkehr

Wie passt das zusammen?

Das vernetzte Automobil

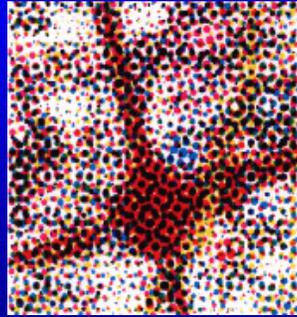
MÜNCHNER KREIS

Sheraton München Arabellapark Hotel, 11. Juni 2008

Prof. Dr. Michael Schreckenberg
Physik von Transport und Verkehr
Universität Duisburg-Essen



Physik von Transport und Verkehr



Seit 1997 an der Universität Duisburg-Essen

12 Mitarbeiter

Studienrichtung: „Physik von Transport und Verkehr“

Arbeitsgebiete: Analyse, Modellierung, Simulation
und Optimierung von Transportsystemen



Physik von Transport und Verkehr

Themen:

- **Straßenverkehr**
- Schienenverkehr
- Intelligente Transportsysteme
- Verkehrsvorhersagen
- **Fußgängerverkehr**
- Binnenschifffahrt (Rhein bei Bingen)
- Prognose Luftverkehr (DFS)
- Internetverkehr



Das „Problem“

**„Alles Unglück der Menschen rührt daher,
dass sie nicht ruhig in einem Zimmer
bleiben können“**

(Blaise Pascal, Pensée, ca. 1640)



Fortbewegungsmittel



Erstes Fahrrad mit Drahthängespeichen
(England, 1869)

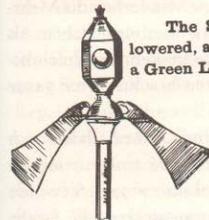


Erste Ampel

POLICE NOTICE.

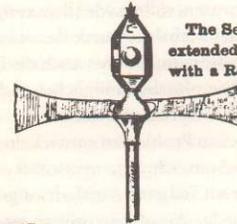
STREET CROSSING SIGNALS. BRIDGE STREET, NEW PALACE YARD.

CAUTION.



The Semaphore Arms lowered, and by Night with a Green Light.

STOP.



The Semaphore Arms extended, and by Night with a Red Light.

By the Signal "CAUTION," all persons in charge of Vehicles and Horses are warned to pass over the Crossing with care, and due regard to the safety of Foot Passengers.

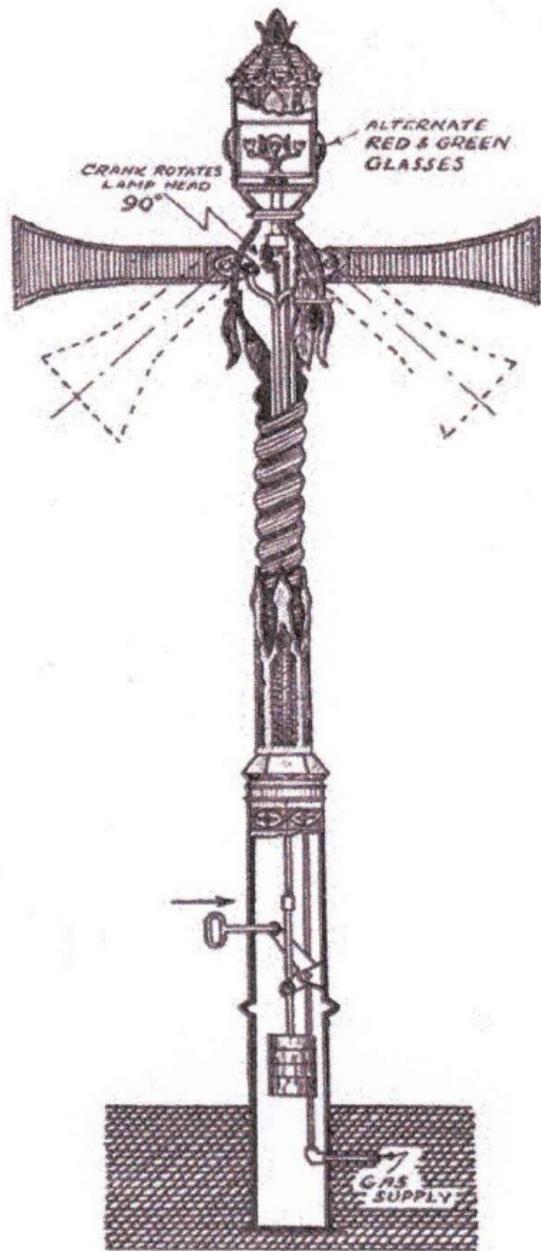
The Signal "STOP," will only be displayed when it is necessary that Vehicles and Horses shall be actually stopped on each side of the Crossing, to allow the passage of Persons on Foot; notice being thus given to all persons in charge of Vehicles and Horses to stop clear of the Crossing.

RICHARD MAYNE,

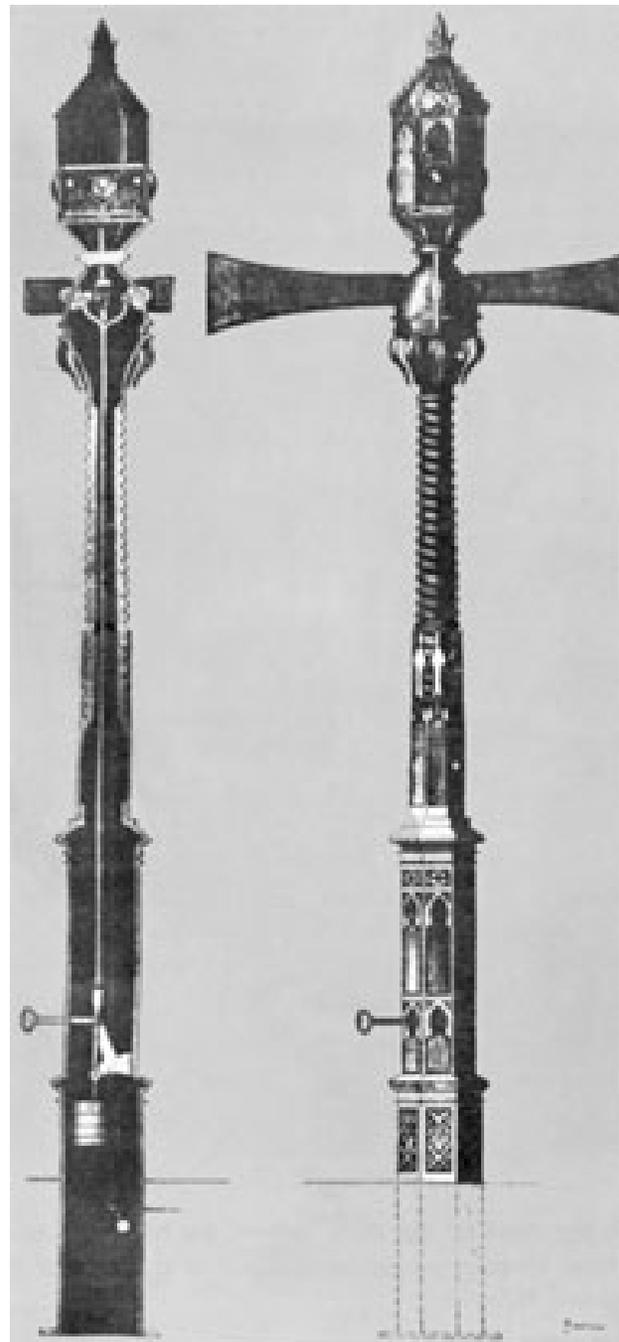
Commissioner of Police of the Metropolis.

Abb. 34 Polizeilicher Hinweis zur Bedeutung der ersten Verkehrsampeln. Abdruck mit Genehmigung des Science Museum London.



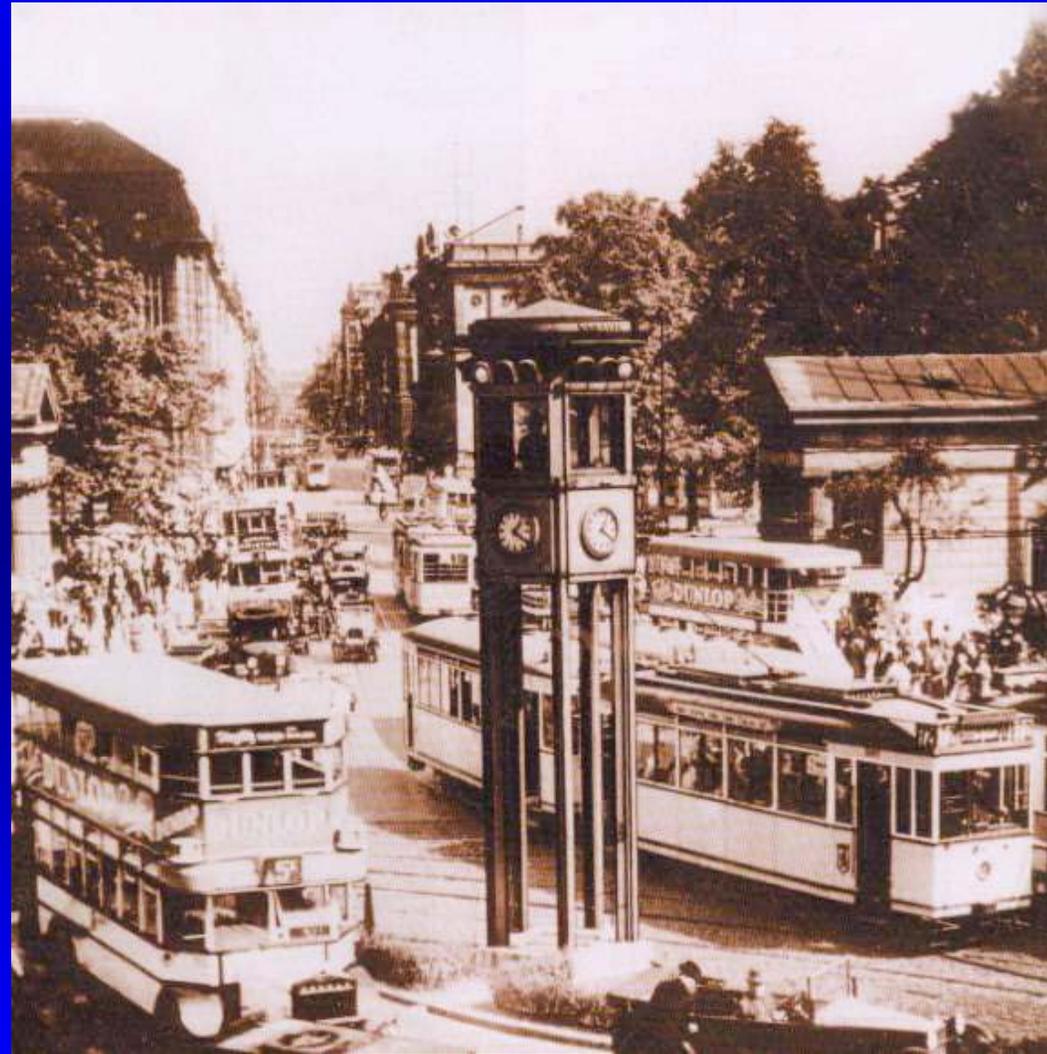


1868 London



Die „Ampel“

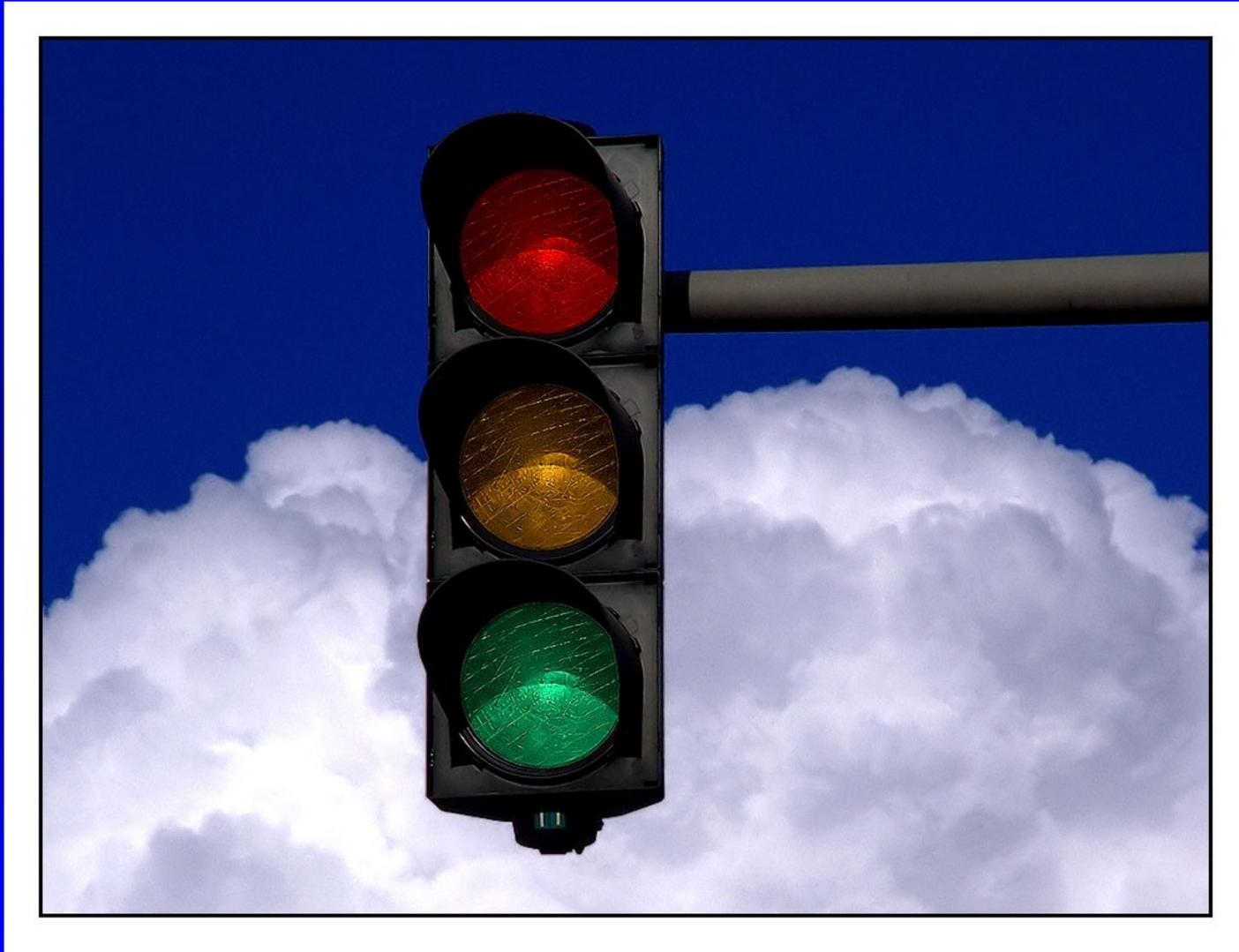
- Corpus Inscriptionum Latinarum: Römer-Stau
- Die erste Ampel: 1868 in London
- Die erste Ampel in Deutschland: Berlin, Potsdamer Platz, 20.10.1924
- Erste **grüne Welle**: Berlin, Leipziger Straße, 01.10.1926



Die „Ampel“

- Corpus Inscriptionum Latinarum: Römer-Stau
- Die erste Ampel: 1868 in London
- Die erste Ampel in Deutschland: Berlin, Potsdamer Platz, 20.10.1924
- Erste **grüne Welle**: Berlin, Leipziger Straße, 01.10.1926







Autostrade: Milano – Laghi (Lainate)



Dr. Piero Puricelli

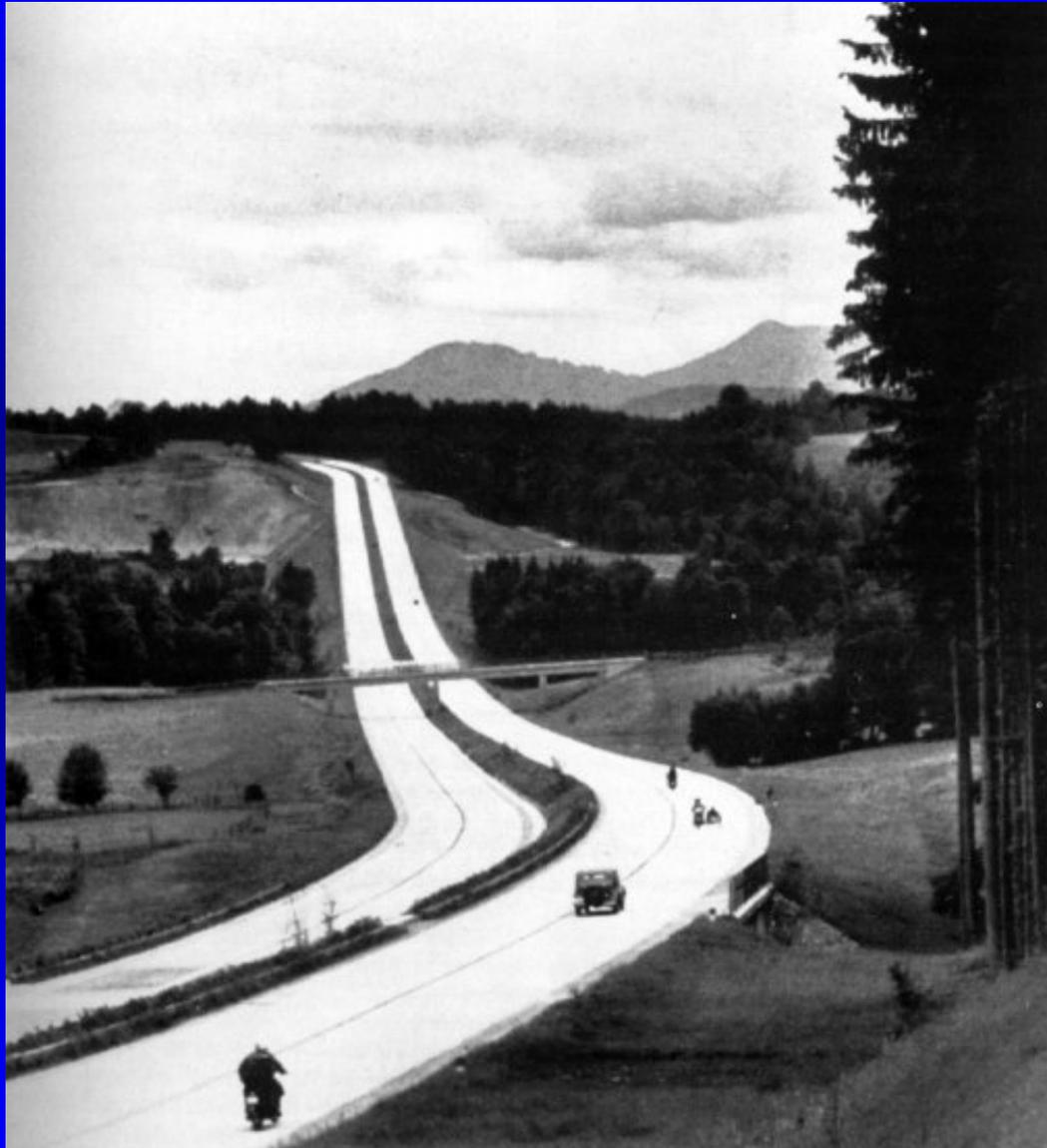


Die „Autobahn“

Erste Autobahn: Köln–Bonn, 20km, 06.08.1932 (heute A555)



Irschenberg



Die „Autobahn“

„Nur-Autostraße“

Später „Autobahn“

BAB-Netz heute:

Länge: 11.800 km

Geplant: 22.000 km

NRW-BAB-Netz:

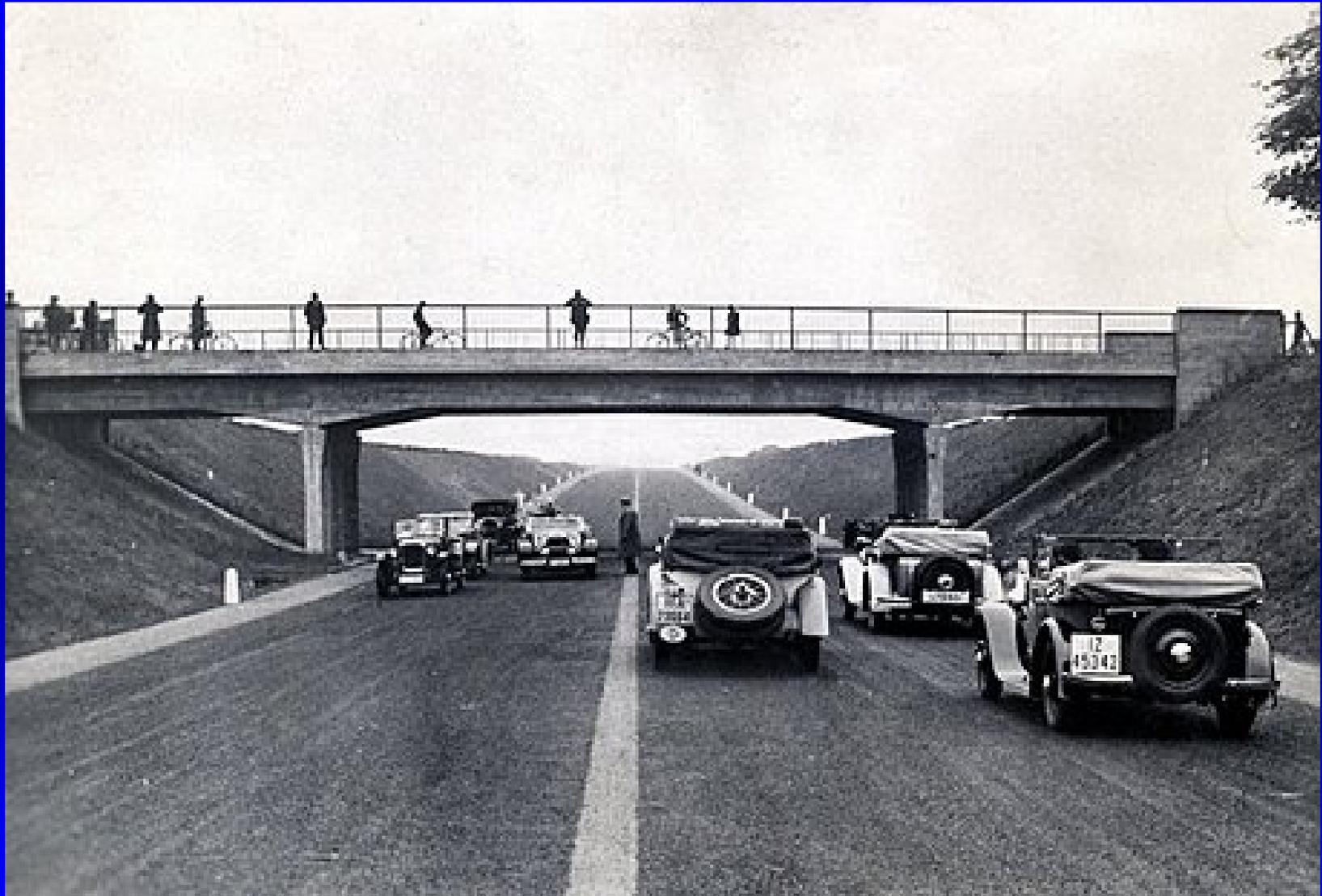
Länge: 2.250 km



Rechts
oder
links?



Früher Autobahnverkehr





Kreisverkehre („Magic Roundabout“)



Kreisverkehre („Magic Roundabout“)



Kreisverkehre („Magic Roundabout“)



Arc de Triomphe



















A3 Nord vor AK Kaiserberg



Tokai TV



3 Gemütsphasen im Stau



Stauto

❑ Jährliche Gesamtkilometerleistung in Deutschland:

528 000 000 000 km

(= 3.500 x mittlere Entfernung Erde – Sonne!)

❑ Jährliche Gesamtstunden im Stau

4 700 000 000 h

(fast 537.000 Jahre, ca. 58 h pro Einwohner und Jahr)

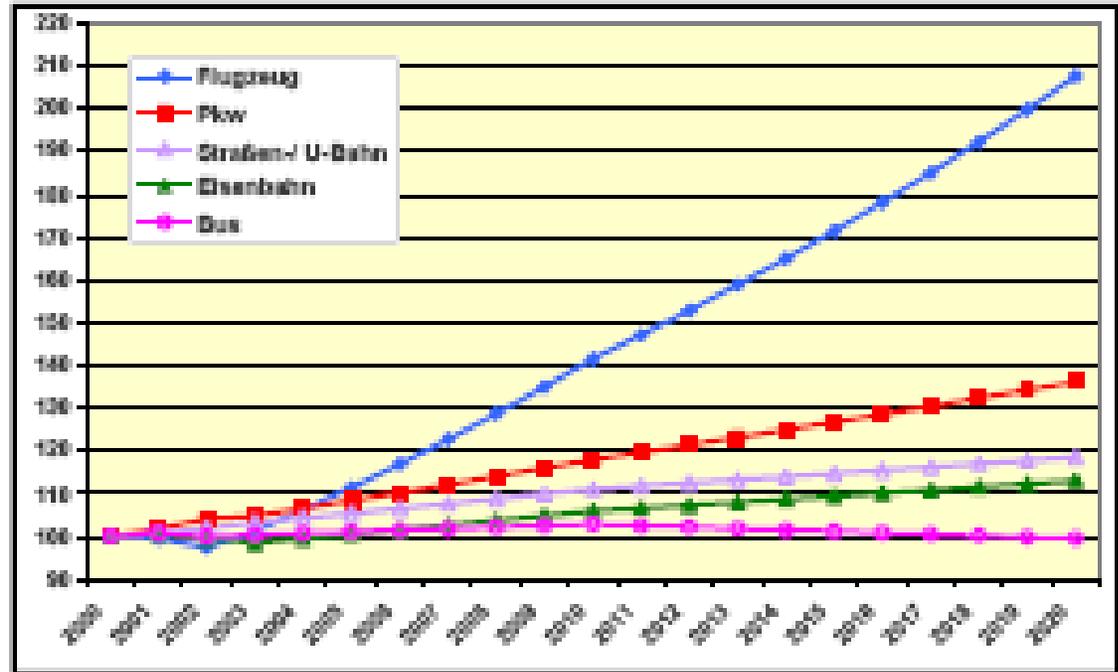
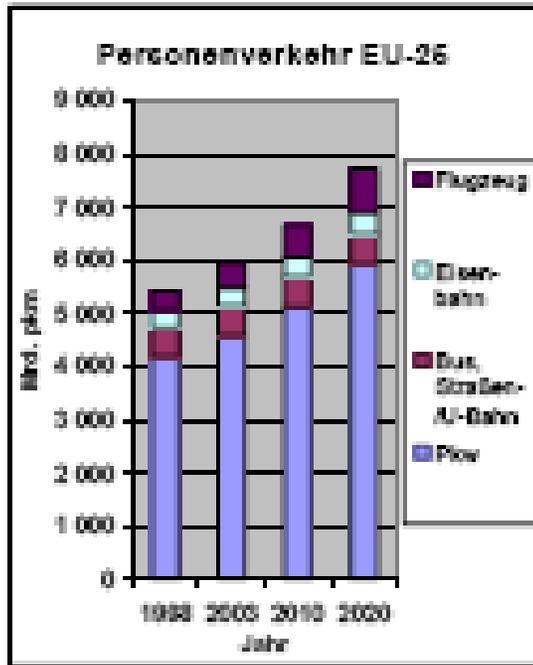
❑ Gesamtanzahl Fahrzeuge:

53 600 000

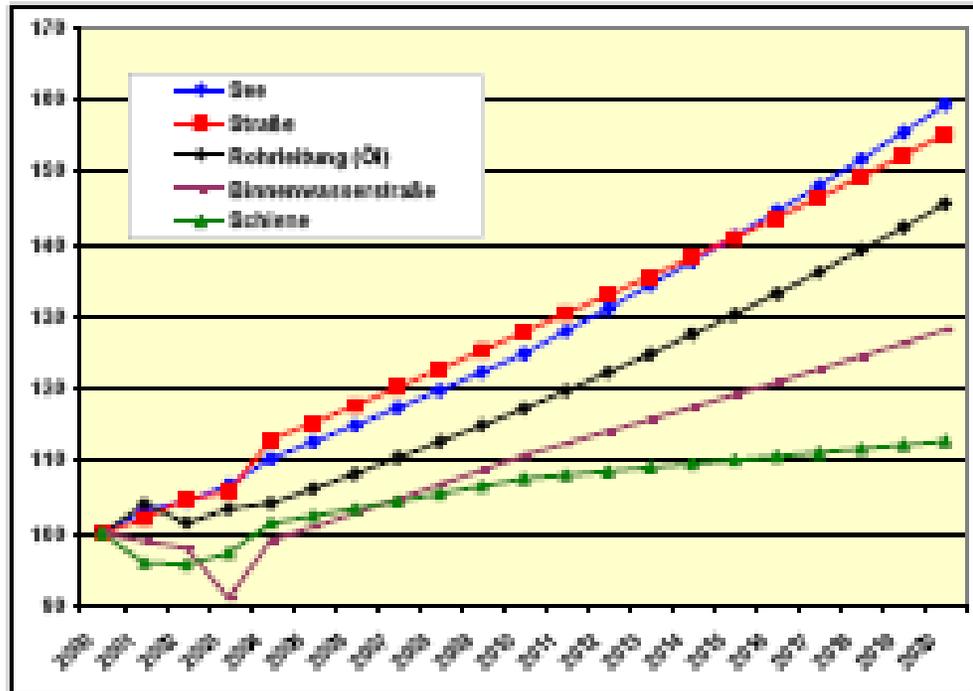
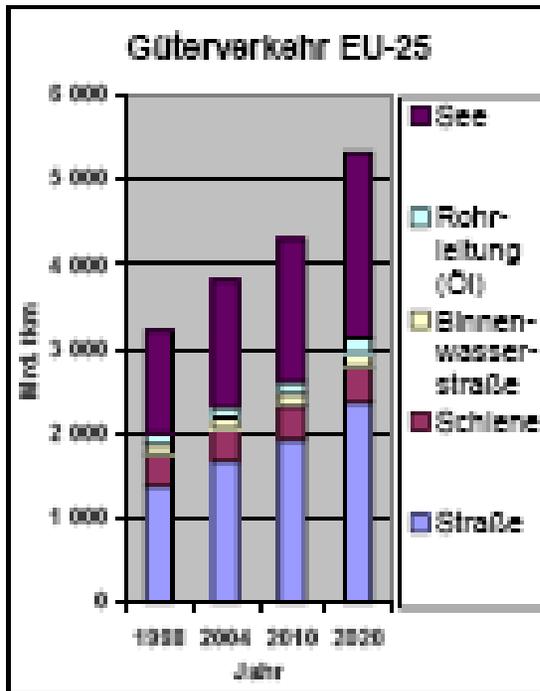
(1,53 Einwohner pro Fahrzeug, 82x82m²/Fahrzeug)



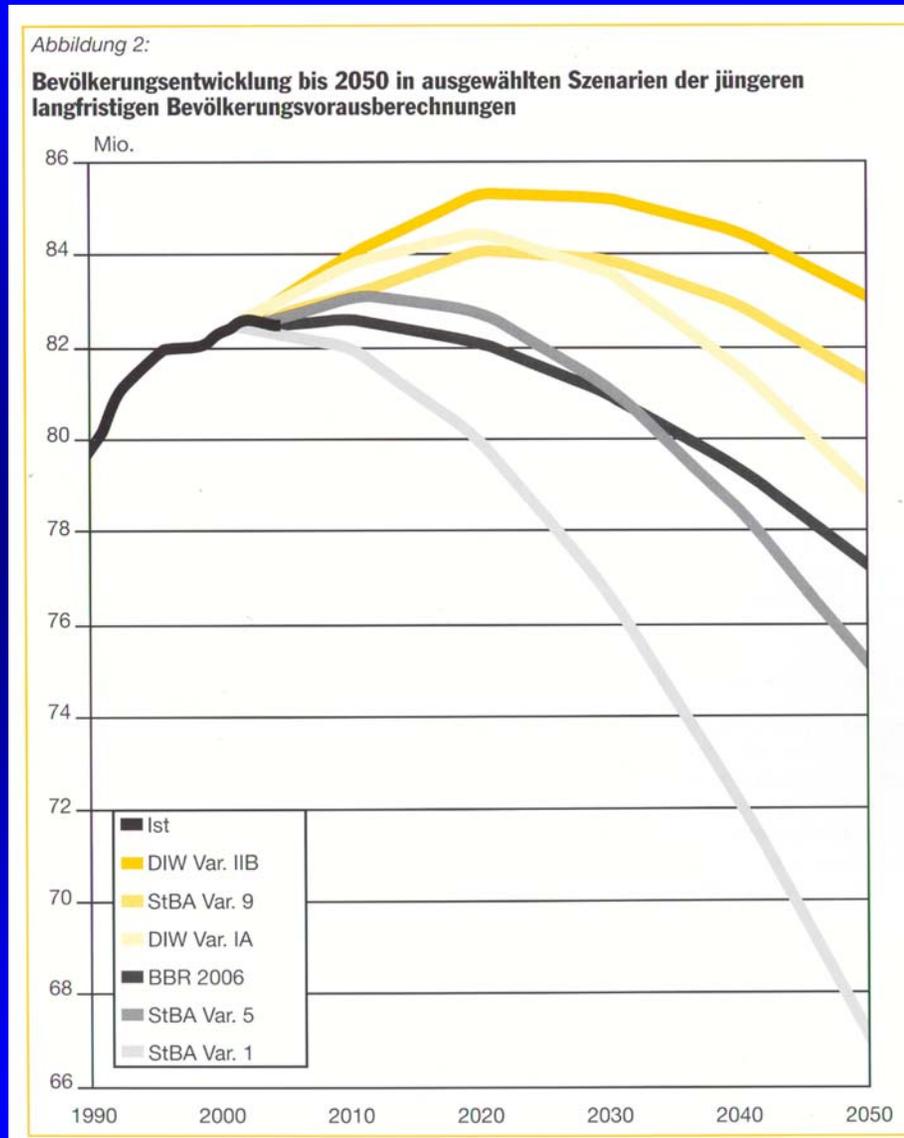
Personenverkehr EU-25



Güterverkehr EU-25



Bevölkerungsentwicklung



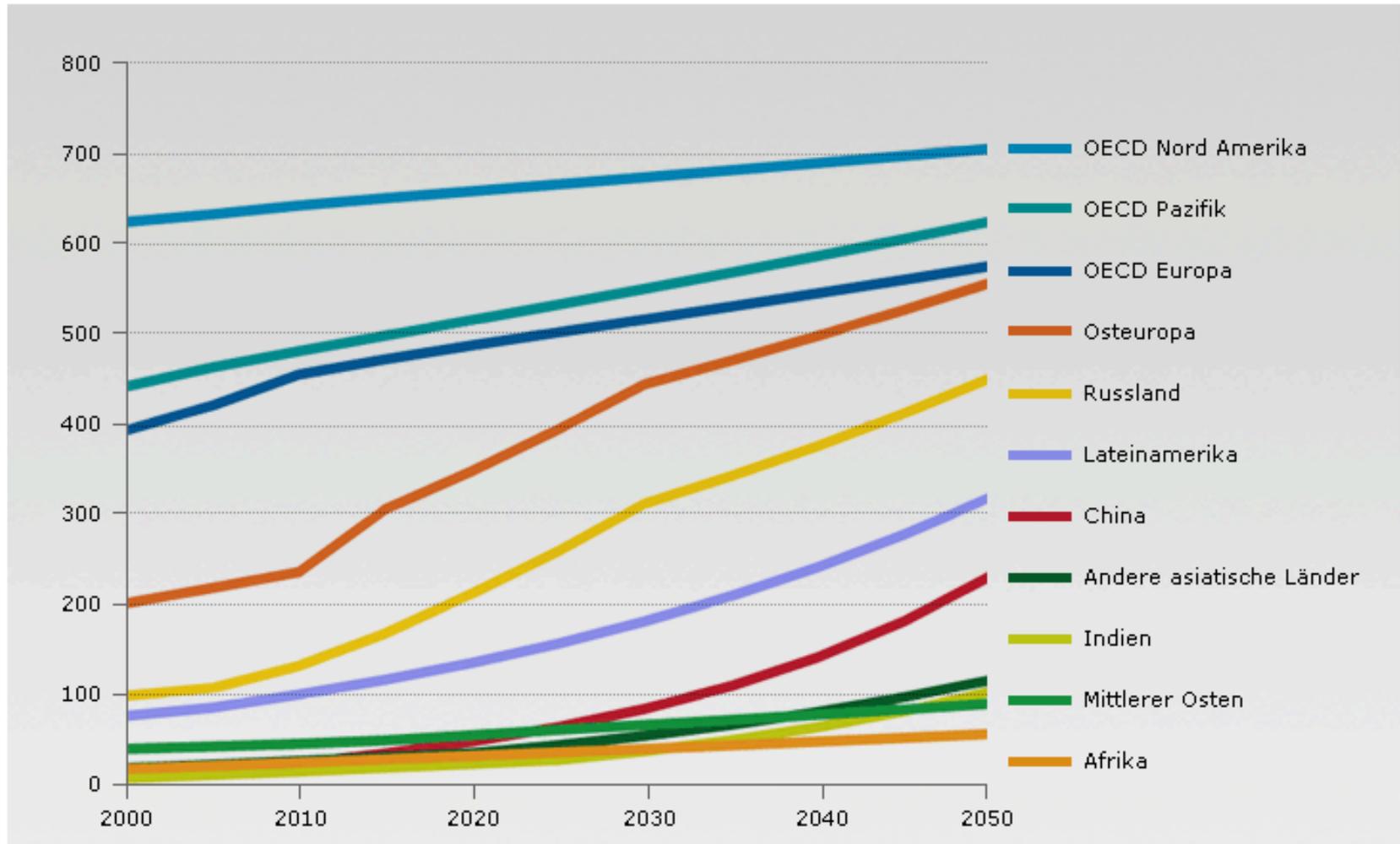
Das Energieproblem

- Erdgas (begrenzt)
- Solarmobile (langsam)
- Elektrofahrzeuge (Verluste?)
- Wasser-Diesel (nicht lagerungsstabil)
- Energieträger (!) Wasserstoff (80% Verlust)
- Raps (Monokultur?)
- Methanol (Erdgas)
- Ethanol (Raps, Zuckerrohr/-rüben)
- **Menschenkraft**



Autos pro 1000 Einwohner

AUTOS PRO 1000 EINWOHNER



Quelle: World Business Council for Sustainable Development



Datenquellen



Datenformat

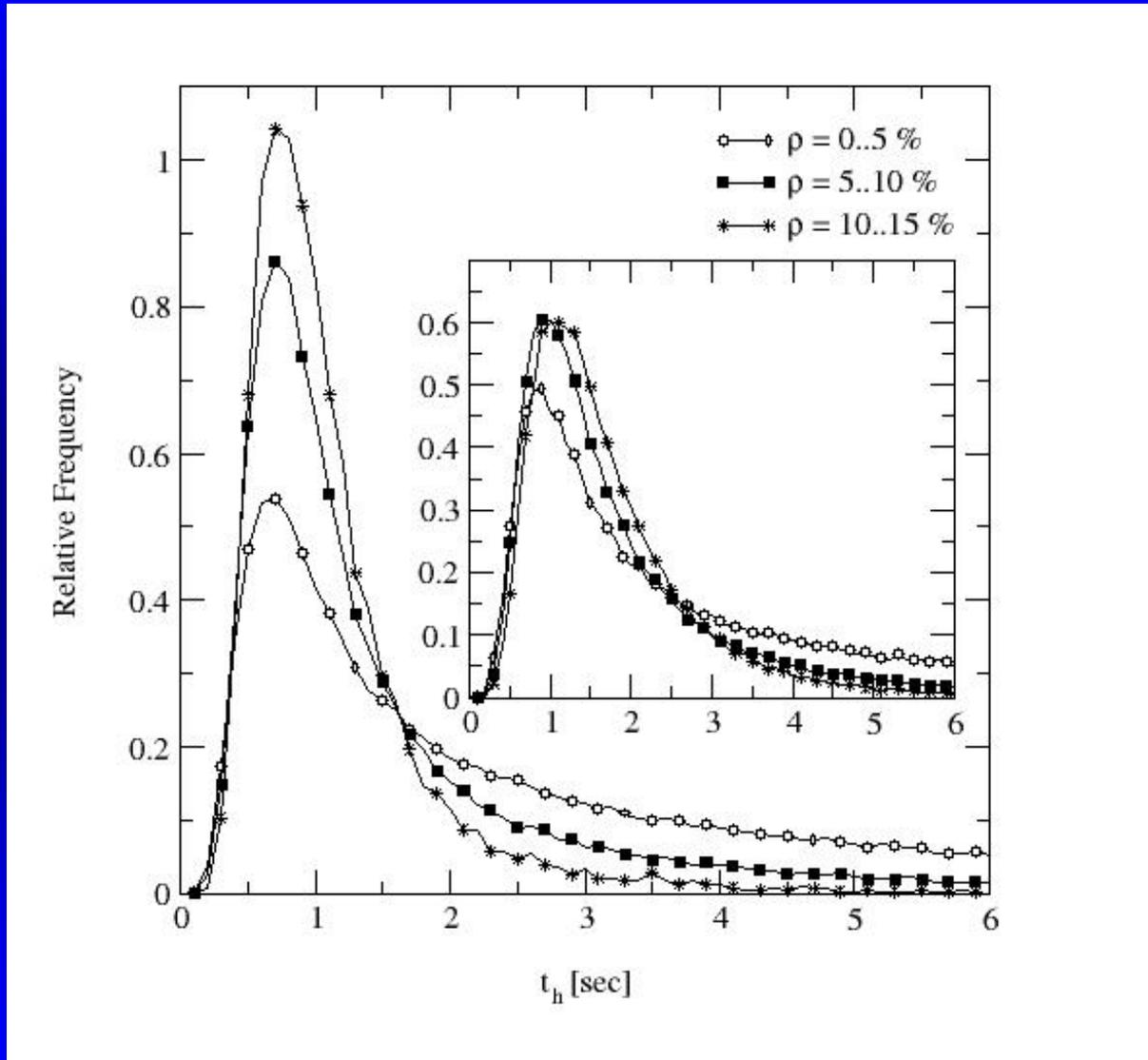
20020915 30 8 1 105 84 73 1 21 100
20020915 31 5 0 104 0 119 0 12 102
20020915 32 11 2 100 83 53 2 14 88
20020915 33 8 0 103 0 74 0 11 103
20020915 34 6 1 100 80 97 2 13 100
20020915 35 8 2 103 85 74 1 18 110
20020915 36 6 0 96 0 99 0 2 98
20020915 37 6 0 96 0 99 0 2 98
20020915 38 7 0 95 0 85 0 14 100
20020915 39 8 4 107 89 72 3 19 109
20020915 40 8 4 107 89 72 3 19 109
20020915 41 12 1 104 64 48 2 15 96
20020915 42 4 0 97 0 149 0 9 96
20020915 43 6 1 97 87 98 1 6 95
20020915 44 7 0 97 0 85 0 8 97
20020915 45 8 1 103 90 73 2 8 98
20020915 46 8 1 103 90 73 2 8 98
20020915 47 3 0 100 0 199 0 14 95
20020915 48 7 1 98 91 84 1 13 94

20020915 50 7 0 106 0 85 0 13 103
20020915 51 5 0 95 0 119 0 12 93
20020915 52 11 3 95 79 52 3 14 81
20020915 53 13 2 104 86 45 2 13 106
20020915 54 4 0 111 0 148 0 28 108
20020915 55 6 2 95 87 98 1 8 93
20020915 56 9 0 94 0 65 1 4 96
20020915 57 6 0 99 0 99 0 14 96
20020915 58 3 0 98 0 199 0 18 97
20020915 59 5 0 104 0 118 0 8 103
20020915 60 4 0 107 0 149 0 17 104
20020915 61 4 1 91 81 148 1 13 89
20020915 62 7 0 101 0 85 0 10 101
20020915 63 1 1 0 89 254 0 255 98
20020915 65 5 1 101 92 118 1 14 97
20020915 64 5 1 101 92 118 1 14 97
20020915 66 8 1 100 86 73 2 16 93
20020915 67 5 1 100 92 118 1 13 97
20020915 68 4 0 89 0 149 0 3 92

20020915 69 7 0 89 0 84 1 9 92
20020915 70 6 1 104 97 99 0 8 101
20020915 71 6 0 101 0 99 0 14 104
20020915 72 1 0 91 0 254 0 255 101
20020915 73 4 0 106 0 149 0 16 106
20020915 74 6 1 111 82 98 1 17 106
20020915 75 9 0 101 0 66 0 9 103
20020915 76 7 0 108 0 85 0 16 105
20020915 77 6 0 100 0 98 0 13 105
20020915 78 5 1 91 70 118 1 13 92
20020915 79 4 1 97 91 148 1 9 96
20020915 80 8 0 105 0 74 1 10 107
20020915 81 9 0 95 0 65 1 16 99
20020915 82 5 0 104 0 119 0 11 104
20020915 83 9 1 102 98 65 1 14 108
20020915 84 6 1 97 78 98 2 9 96
20020915 85 8 1 91 86 73 1 13 91
20020915 86 7 4 102 93 83 2 9 96
20020915 87 10 0 96 0 59 1 11 100

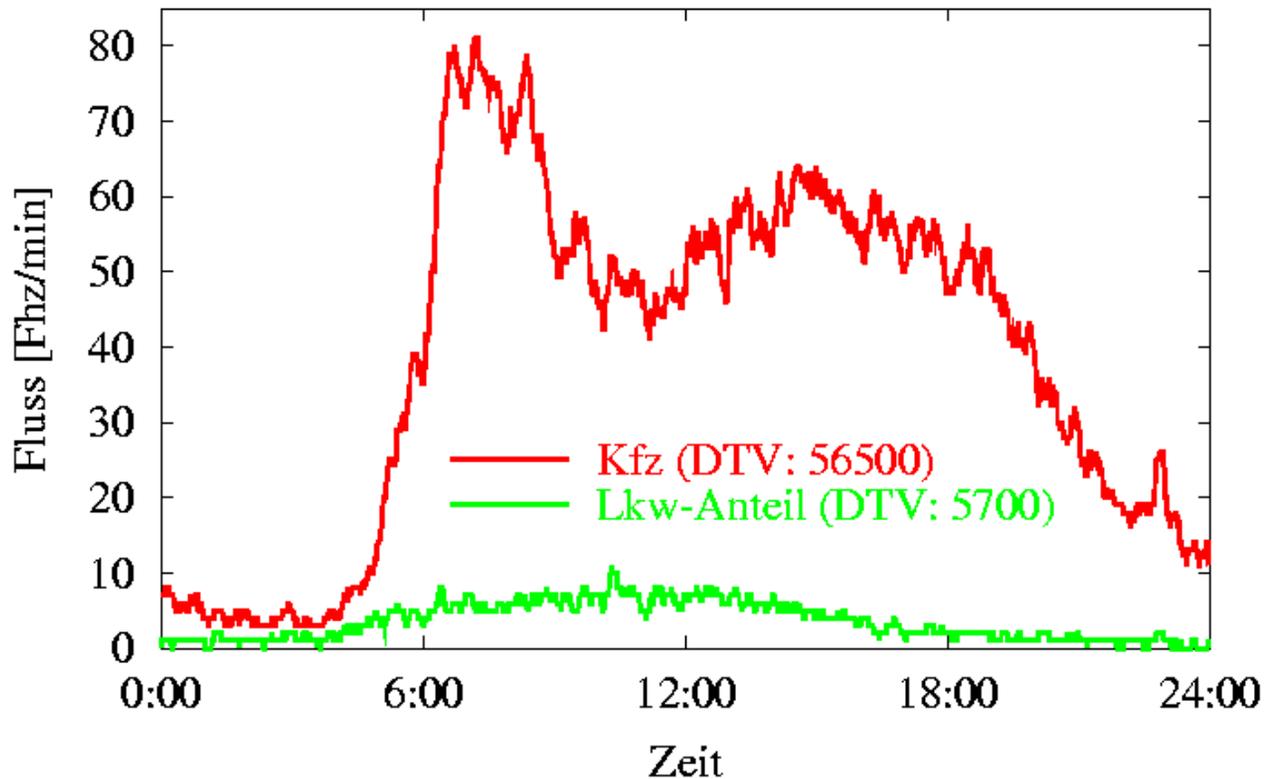


Zeitlücken



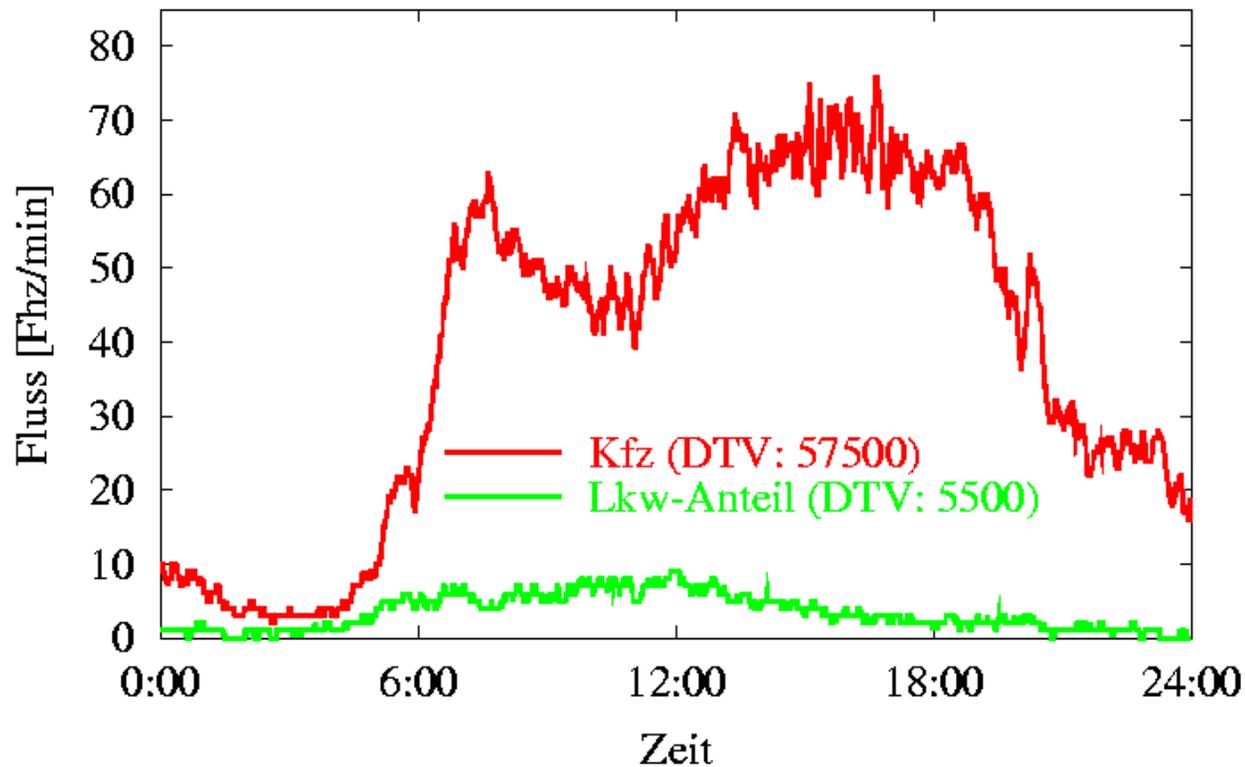
Tägliche Verkehrsleistung BAB: West

11.01.2002: A40 Gelsenkirchen-E.Kray Richtung Duisburg



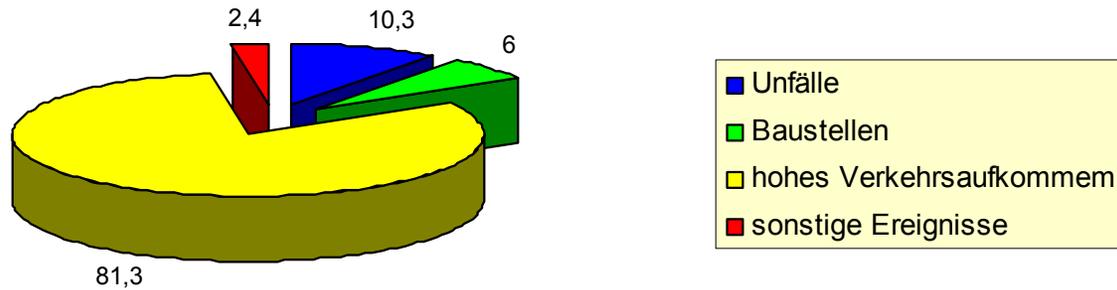
Tägliche Verkehrsleistung BAB: Ost

11.01.2002: A40 E.Kray-Gelsenkirchen Richtung Dortmund

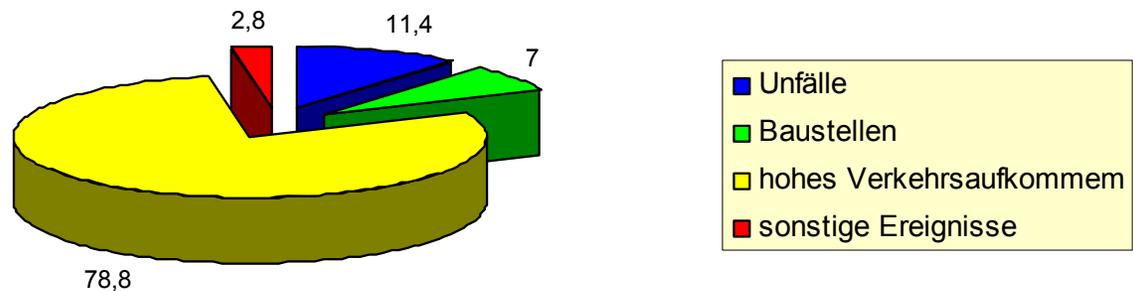


Staustatistik

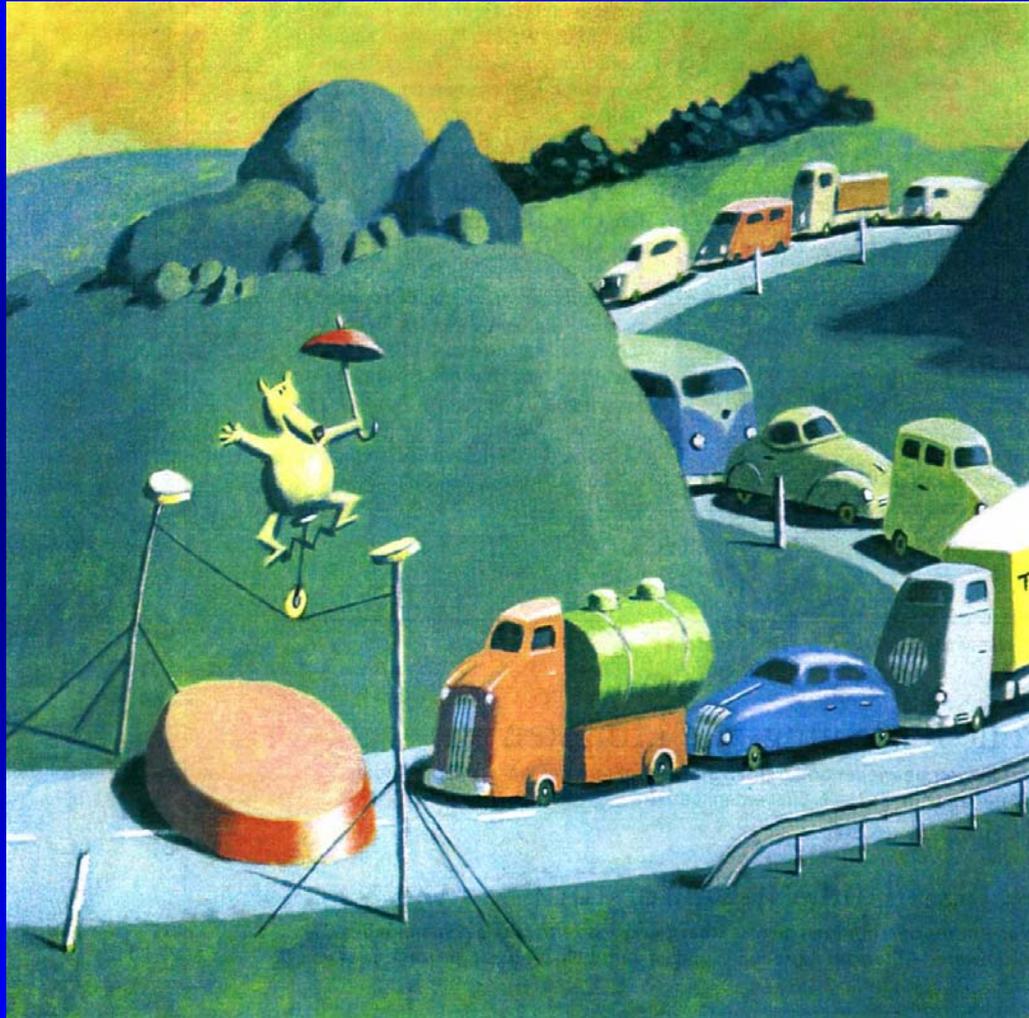
Störungen 2001



Störungen 2002



Der Stau aus dem Nichts



Der gefürchtete „Stau aus dem Nichts“ findet zuweilen doch eine erstaunlich simple Erklärung

Bernd Pfarr (Die Zeit)



Generelle Strategie von Online-Simulationen I

- **1:1 (Fahrzeug für Fahrzeug) Abbildung des realen Verkehrs in den Computer (durch Verbindung mit Detektionssystemen, z.B. Induktionsschleifen)**
- **Erzeuge historische Datenbank für Evaluierung und als „Hintergrund“ (Referenzzustand)**
- **Benutze ein sehr realistisches, aber effizientes mikroskopisches Simulationsmodell (z.B. „Zellularautomaten“, CA)**
- **Simulation laufen lassen and Ergebnisse analysieren: (z.B. aktuellen Verkehrsfluss)**

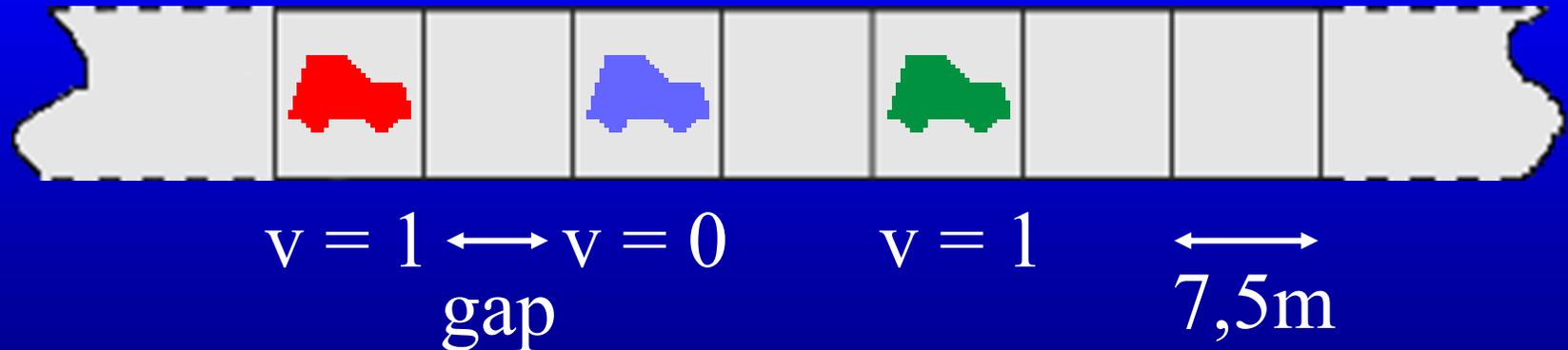


Generelle Strategie von Online-Simulationen II

- **Ableiten „indirekter“ Größen: Reisezeiten werden durch „virtuelle“ Floating Cars ermittelt**
- **Beschleunigen der Simulation für Verkehrsvorhersagen (wieder Vergleich mit der historischen Datenbank)**
- **Formulieren von Verkehrsinformationen (-meldungen)**
- **Einbeziehen der Reaktion der Verkehrsteilnehmer und Iteration des Prognoseverfahrens**



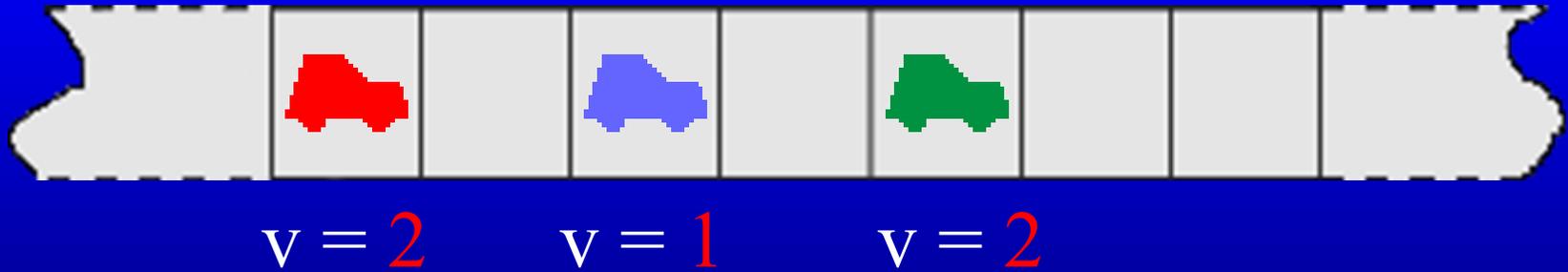
Effizientes, diskretes Simulationsmodell



- Zellenlänge = 7,5 m
- v = Geschwindigkeit
- gap = Anzahl freier Zellen zwischen Fahrzeugen



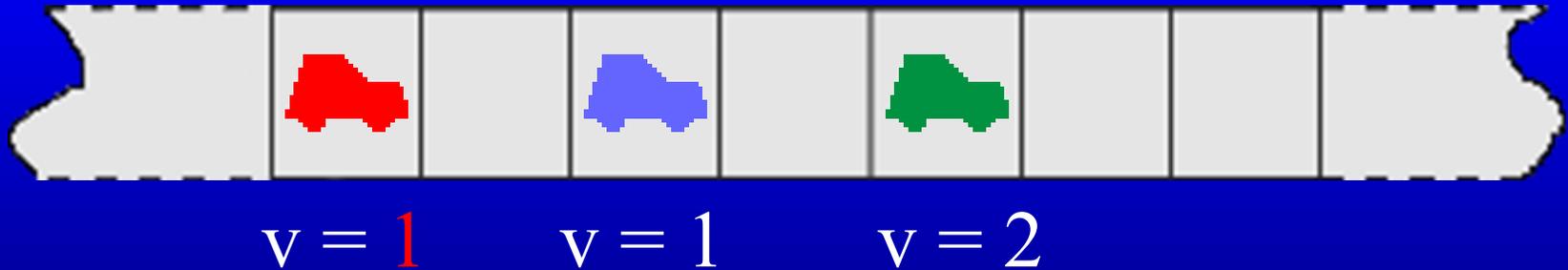
Zellularautomat (I)



- Beschleunigen: $v \leftarrow \min(v + 1, v_{\max})$



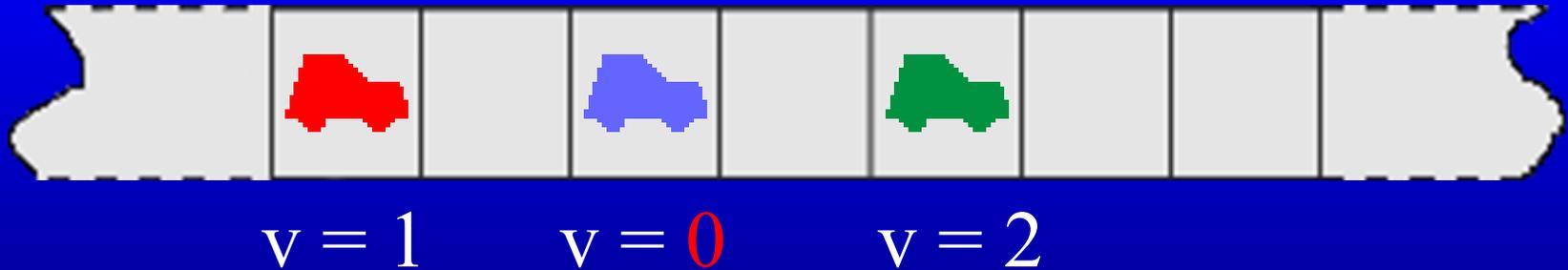
Zellularautomat (II)



- Beschleunigen: $v \leftarrow \min(v + 1, v_{\max})$
- Bremsen: $v \leftarrow \min(v, \text{gap})$



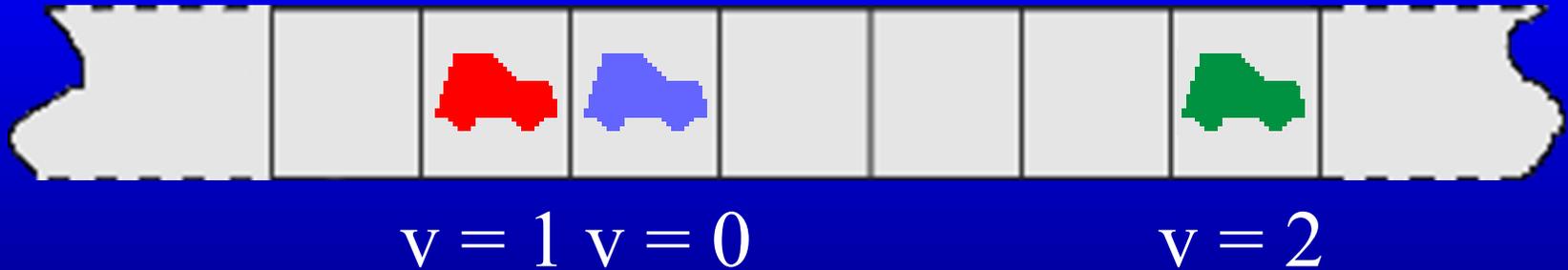
Zellularautomat (III)



- Beschleunigen: $v \leftarrow \min(v + 1, v_{\max})$
- Bremsen: $v \leftarrow \min(v, \text{gap})$
- Trödeln mit Wahrscheinlichkeit p_{dec} :
 $v \leftarrow \max(v - 1, 0)$



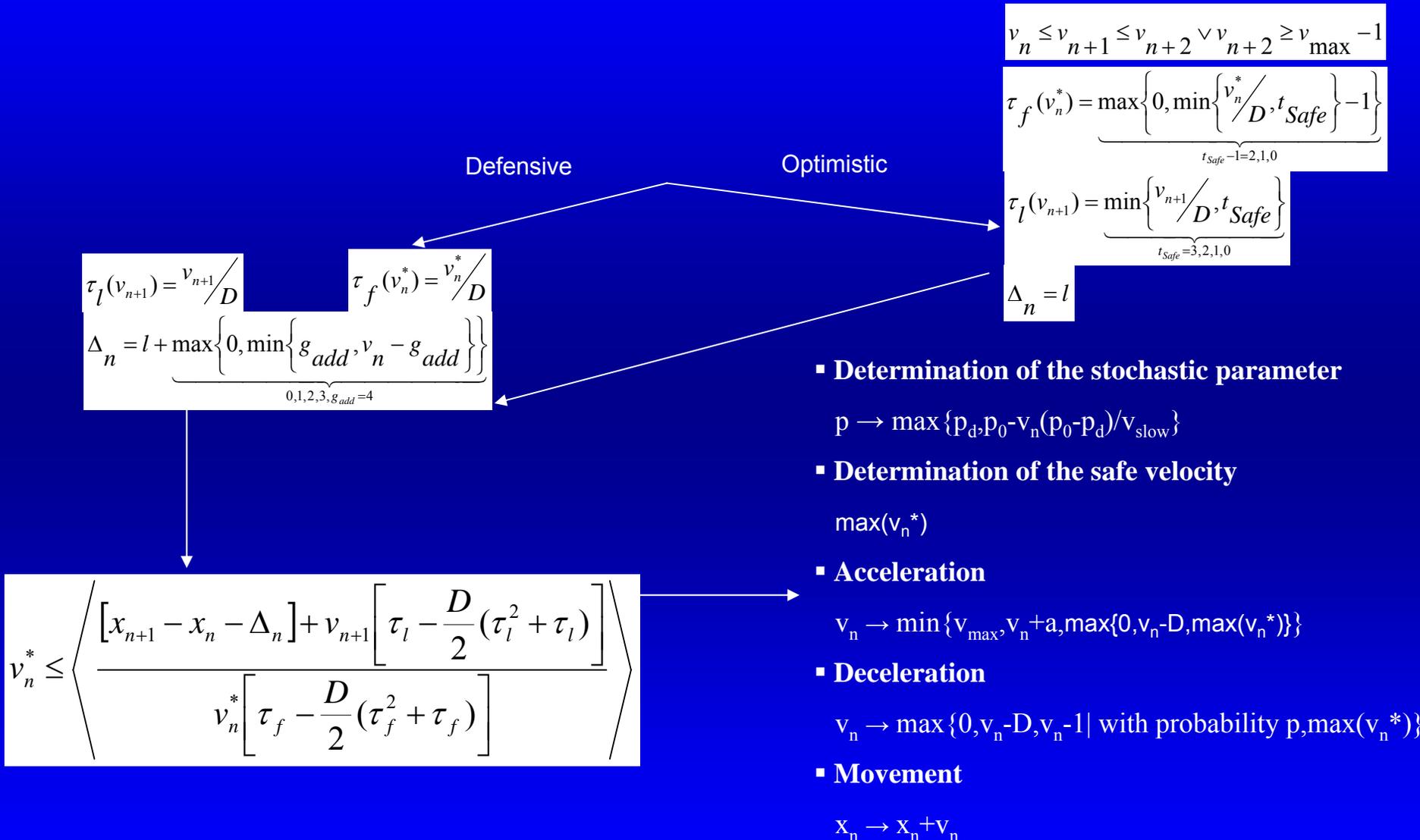
Zellularautomat (IV)



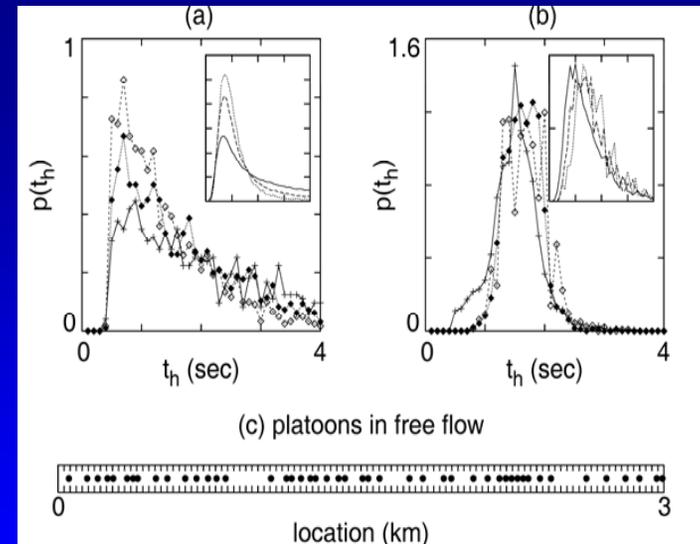
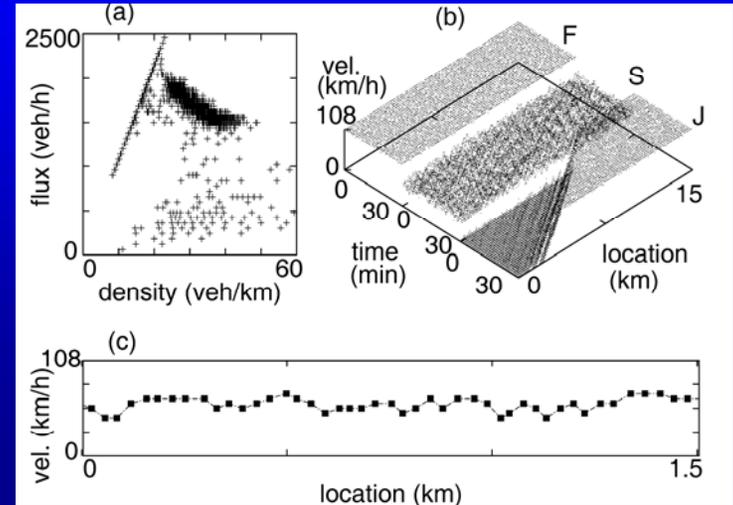
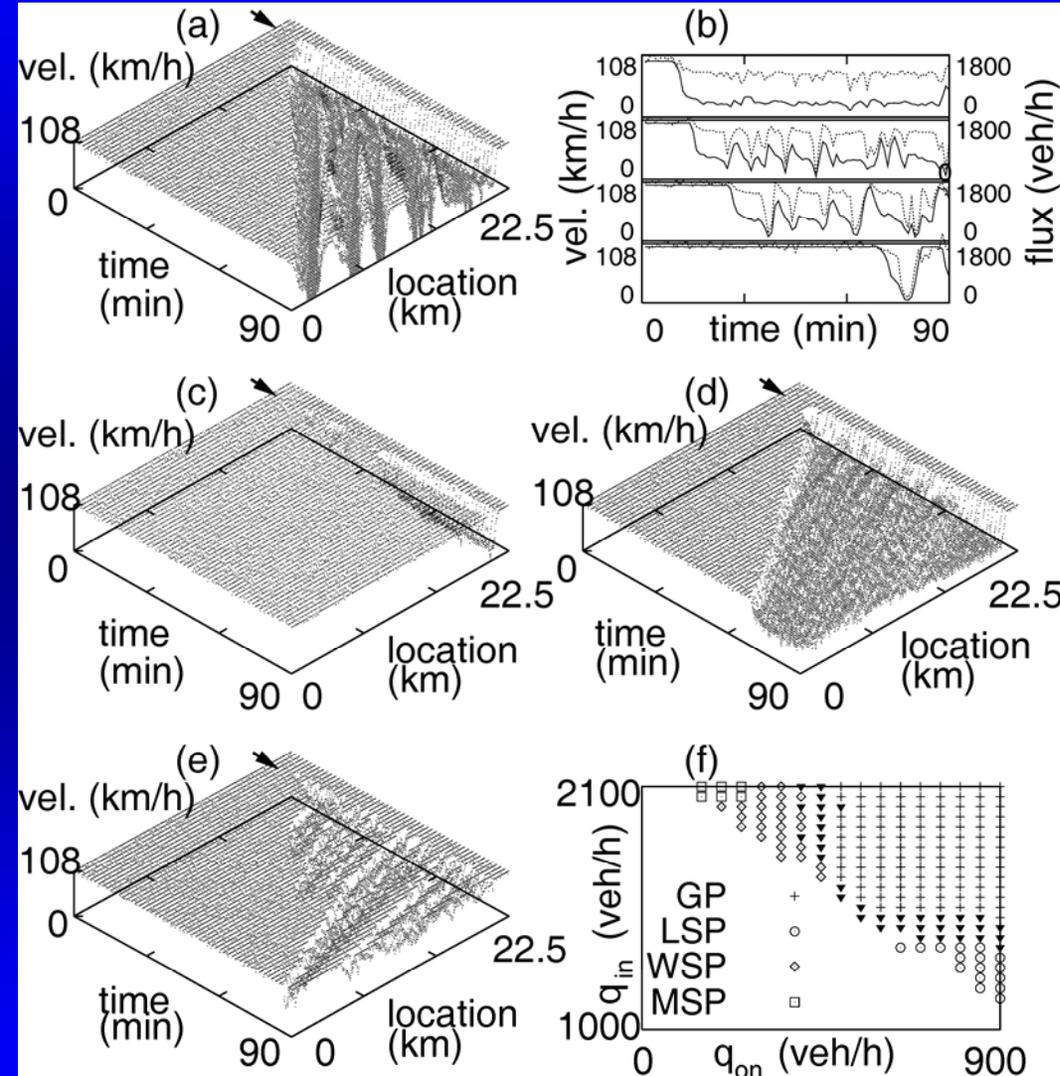
- Beschleunigen: $v \leftarrow \min(v + 1, v_{\max})$
- Bremsen: $v \leftarrow \min(v, \text{gap})$
- Trödeln mit Wahrscheinlichkeit p_{dec} :
 $v \leftarrow \max(v - 1, 0)$
- Fahren: $x \leftarrow x + v$



Fahrerverhaltens-Modell (Lee et al)



Verkehrsphasen



Verkehrslage in NRW

Hochrechnung für Bundesautobahnen

Verkehrsinfo.NRW



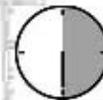
- ▶ Erläuterungen
- ▶ Technische FAQ
- ▶ Impressum
- ▶ english version

Verkehrsinformationssystem autobahn.NRW

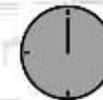
Mit den folgenden Links können Sie direkt auf die entsprechende Karte gelangen:



aktuelle Verkehrslage



Prognose 30 min



Prognose 60 min

NRW Übersicht
Aachen
Köln
Ruhrgebiet
Ruhrgebiet West
Ruhrgebiet Ost
Ostwestfalen
Münsterland
Sauerland
Bonn
Niederrhein

NRW Übersicht
Aachen
Köln
Ruhrgebiet
Ruhrgebiet West
Ruhrgebiet Ost
Ostwestfalen
Münsterland
Sauerland
Bonn
Niederrhein

NRW Übersicht
Aachen
Köln
Ruhrgebiet
Ruhrgebiet West
Ruhrgebiet Ost
Ostwestfalen
Münsterland
Sauerland
Bonn
Niederrhein



Ministerium für
Verkehr,
Energie und
Landesplanung
des Landes
Nordrhein-Westfalen

Straßen.NRW.
Landesbetrieb Straßenbau NRW



Physik
von Transport
und Verkehr



Dieses Projekt wurde von
der europäischen Union
finanziell unterstützt



autobahn.NRW

Expansion for motorway network

Friday, 09.07.2004, 15:49 h



Current Traffic State Forecast 30 min Forecast 60 min

- colour-blind mode
- ⊙ Info on Roadworks

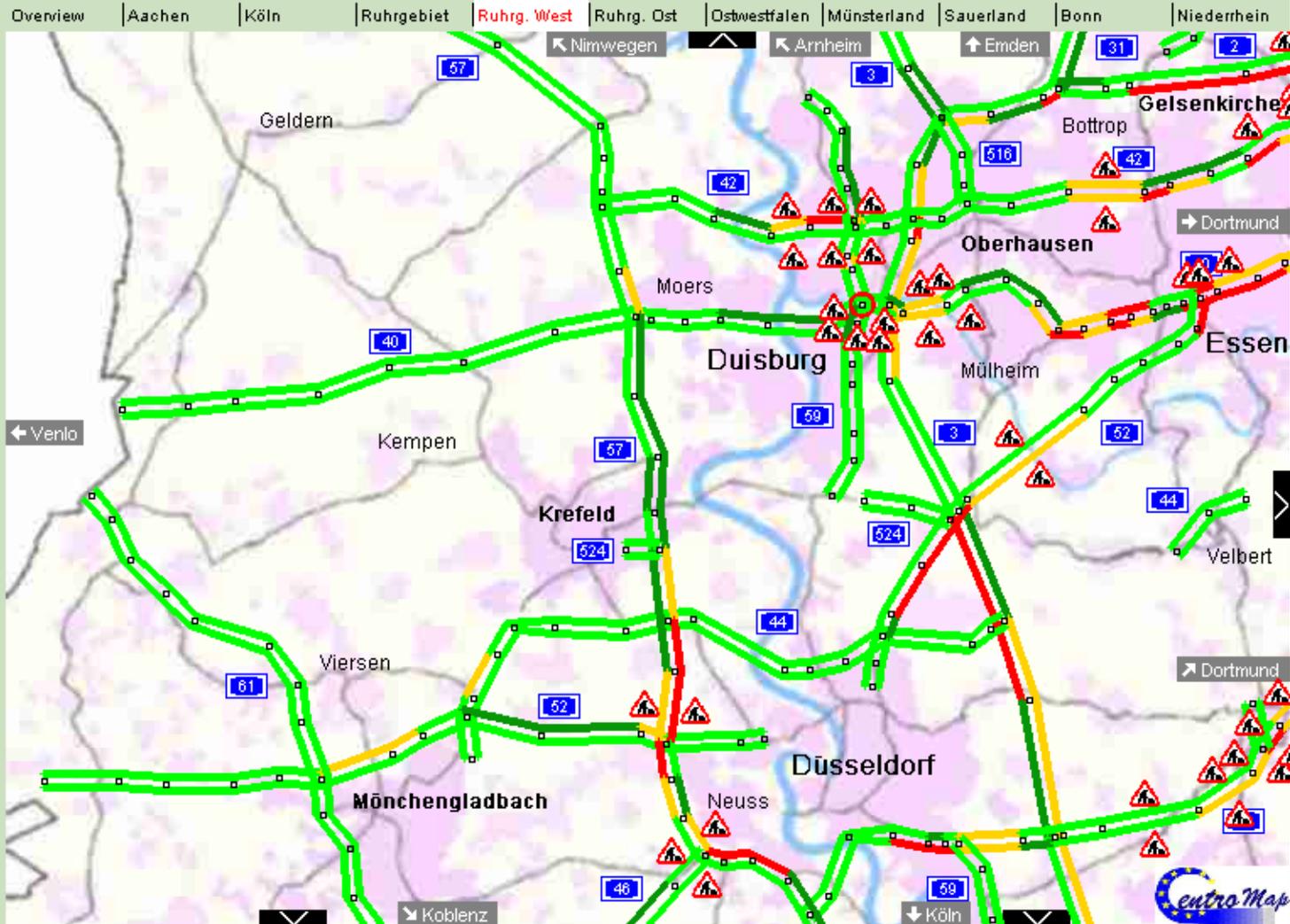
Traffic State

- free
- dense
- viscous
- congested

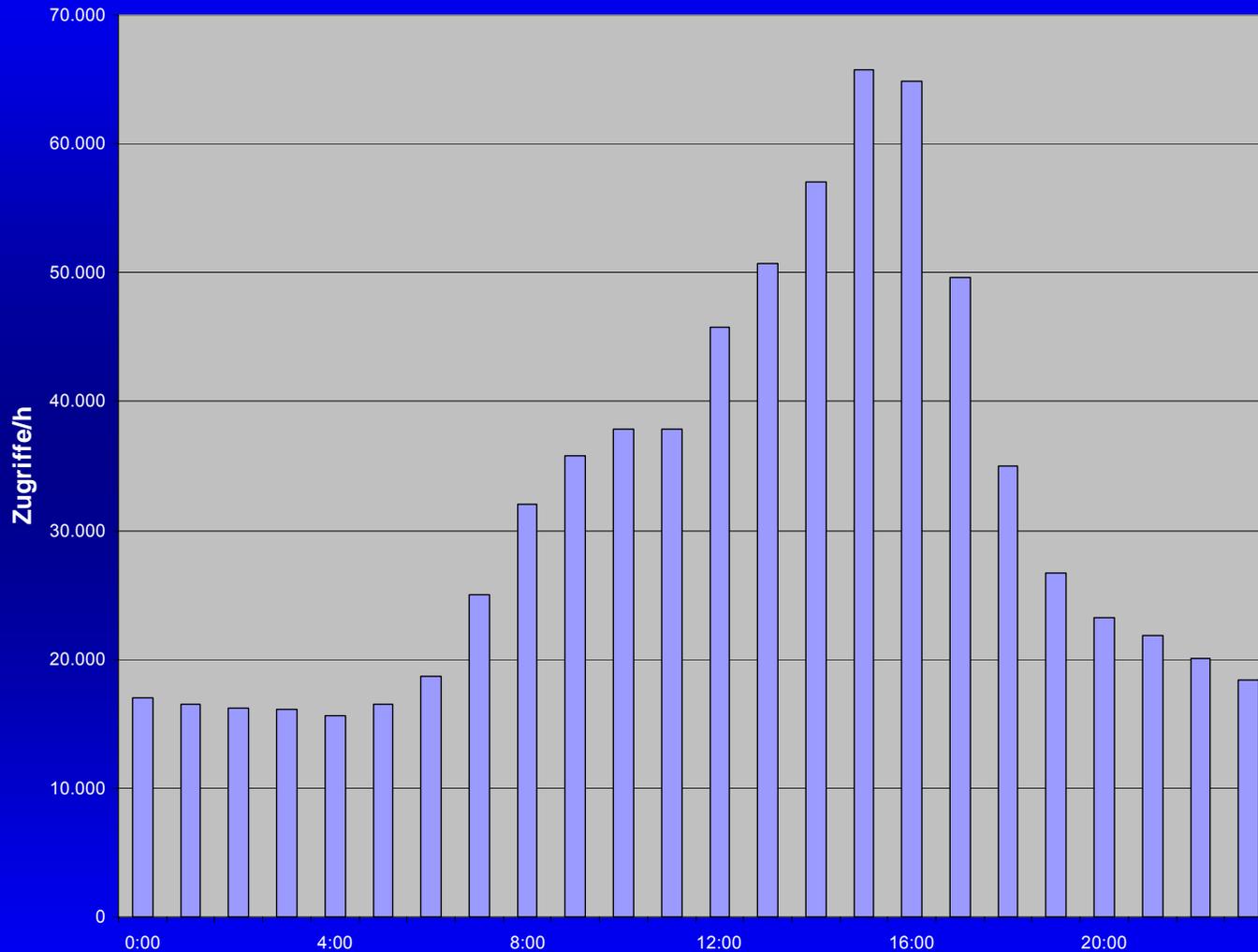
- roadworks with low jam risk
- roadworks with high jam risk
- junction
- closure
- (part-) closure of the junction

- Explanation
- Imprint
- deutsche Version

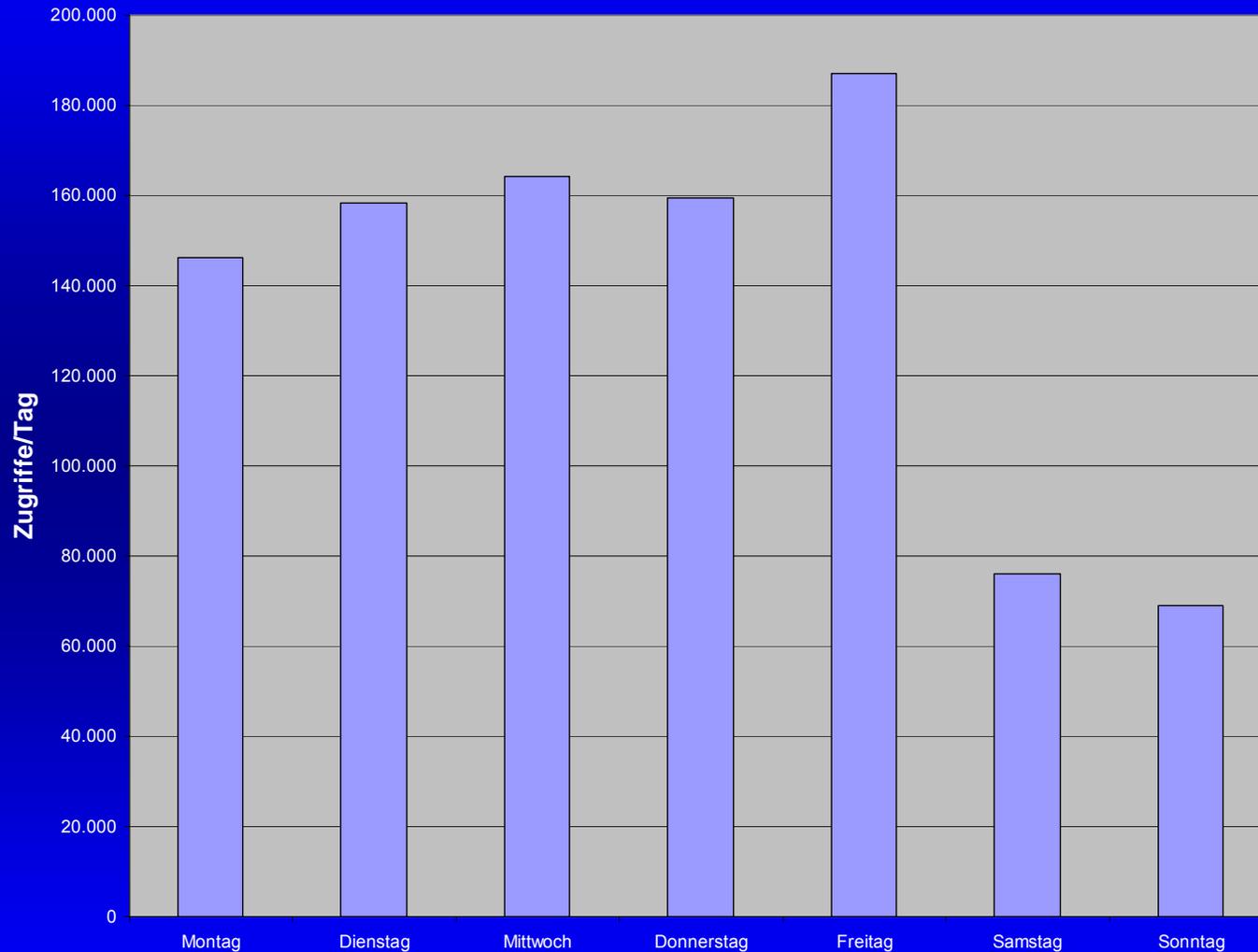
Version 2.5

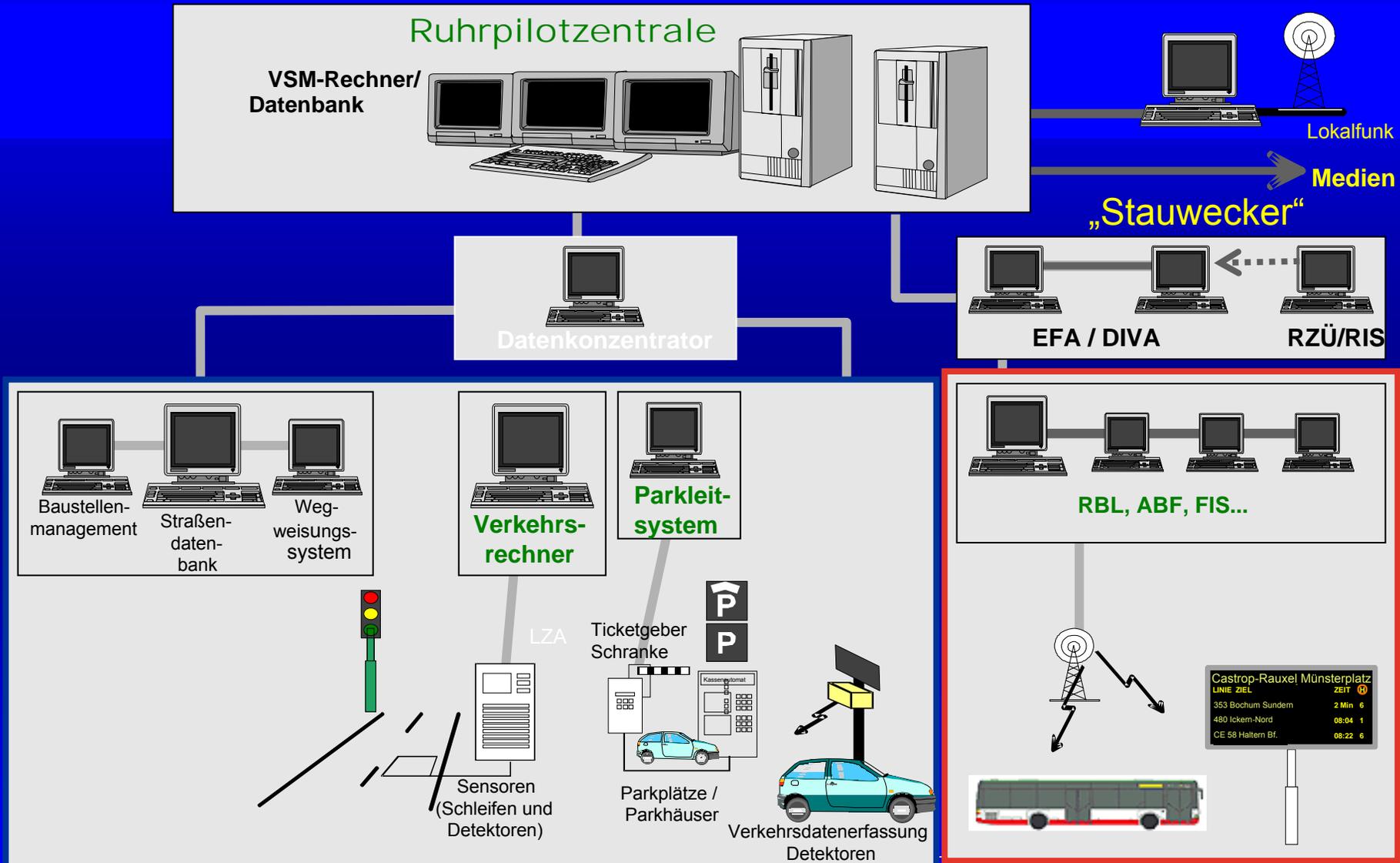


Zugriffszahlen/Stunde



Zugriffszahlen/Wochentag



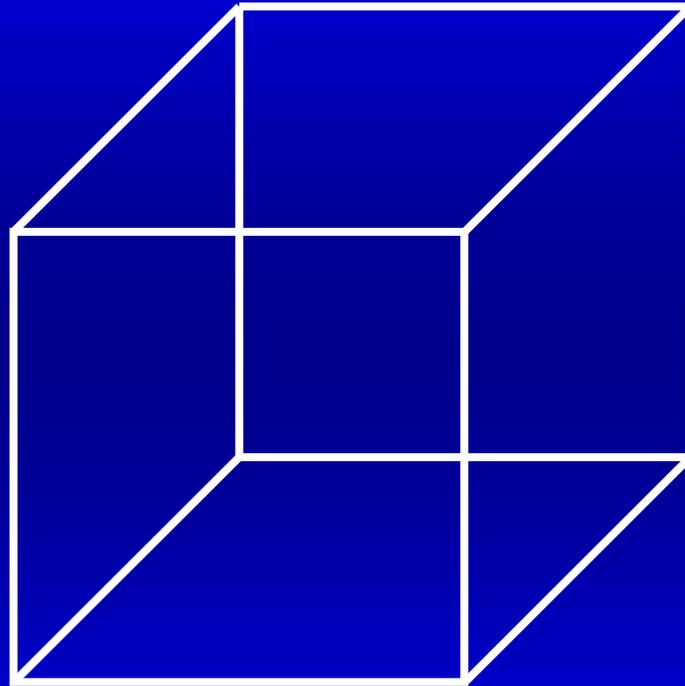


Zeiten im Verkehr

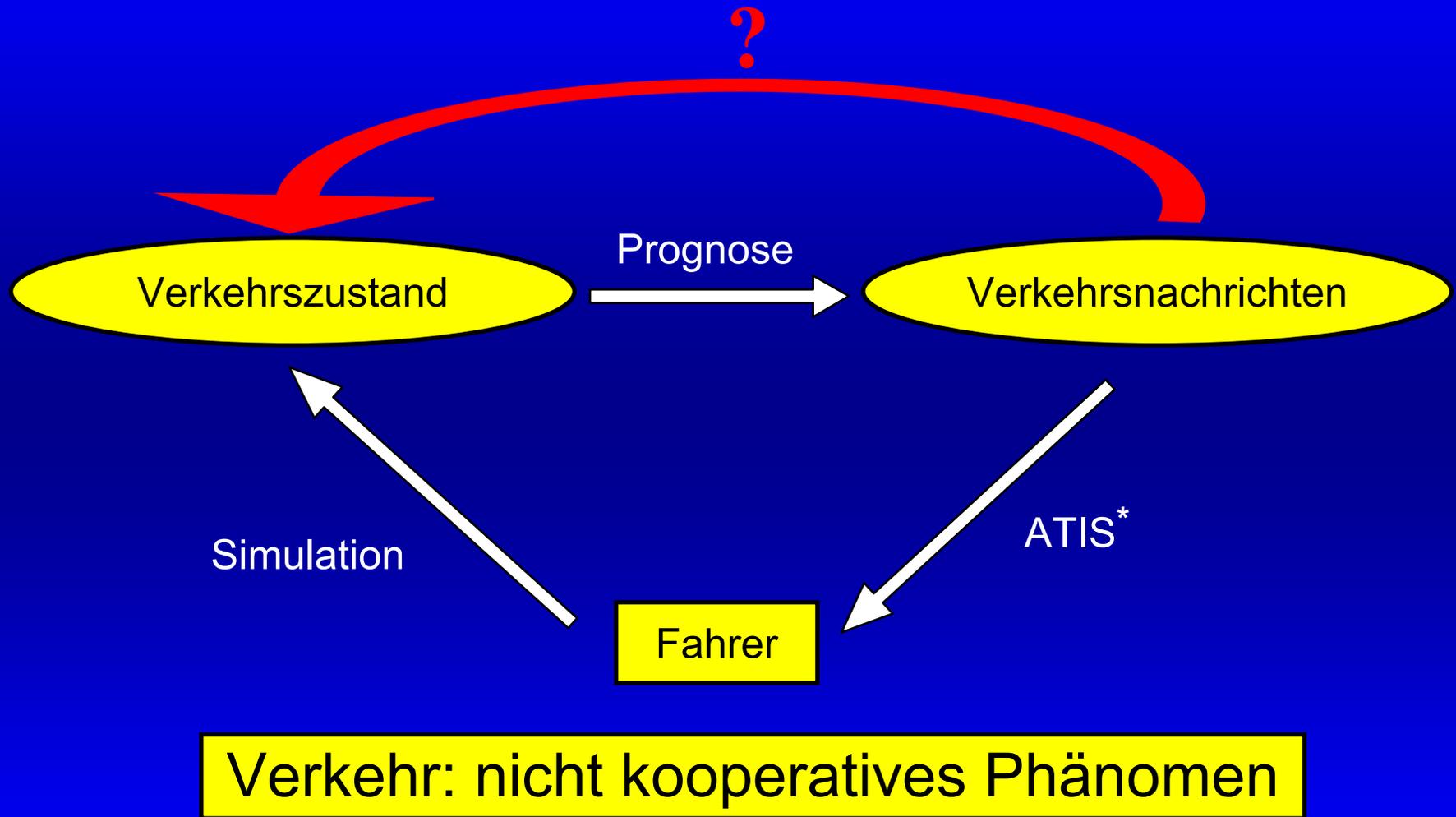
- ❑ Sicherheitsabstand („halber Tacho“): 1,8 sec
- ❑ Reaktionszeit: 1 sec (bis zu 3 sec)
(„Applaus-Synchronisation“)
- ❑ Anfahrverzögerung („Capacity-Drop-Phänomen“): ~ 2 sec
- ❑ Menschliches Integrations-Vermögen: 3 - 4,5 sec
(„Wie lange dauert die Gegenwart?“)
- ❑ „Simple Heuristics“ (Straßenüberquerung 1 h)
- ❑ Restgeschwindigkeit 50/70 km/h (30 km/h?)
- ❑ Wahrnehmung von Überholvorgängen (2/3, 1/3)



Neckerscher Würfel



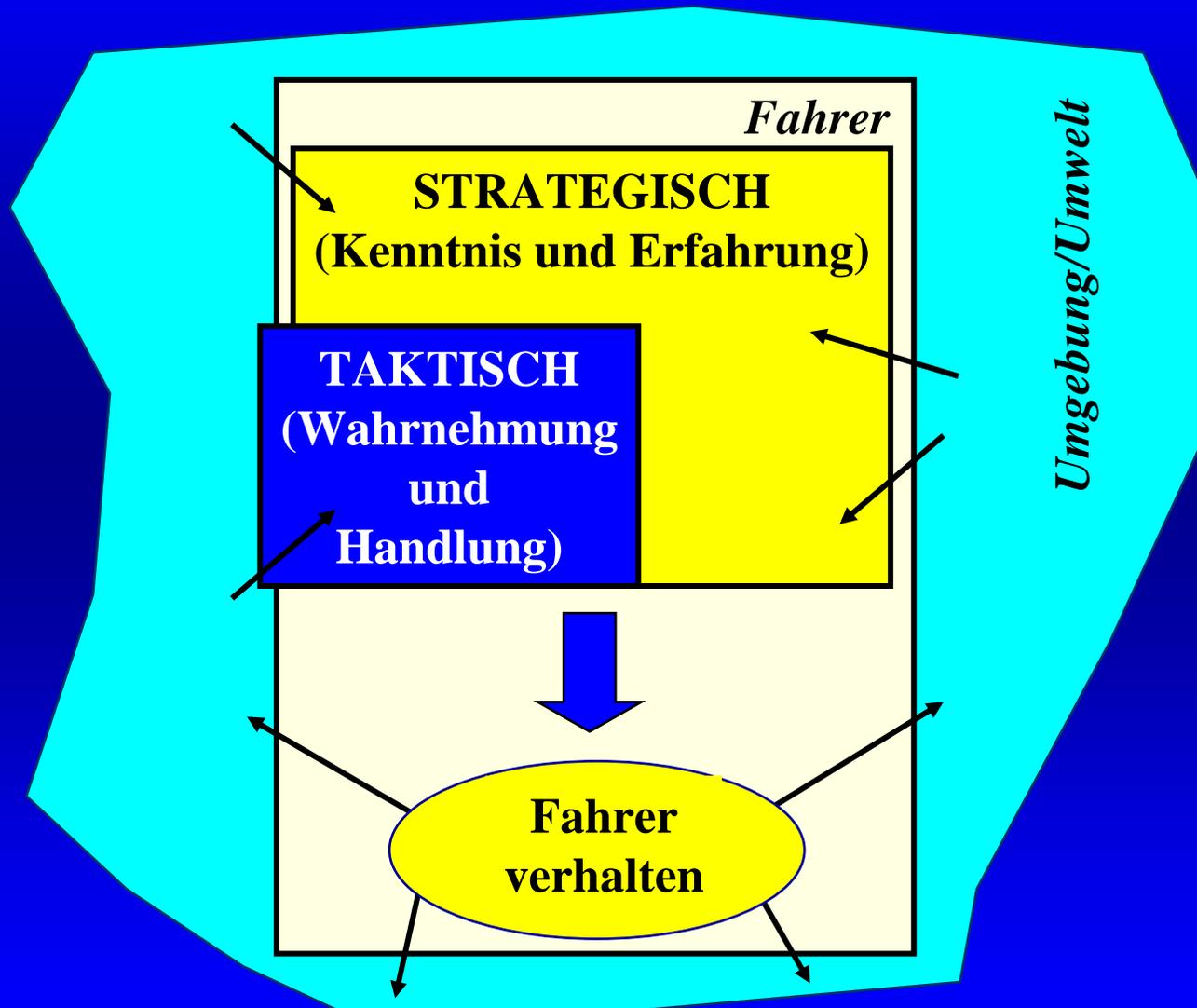
Antizipatorische Verkehrsvorhersage



*Advanced Traveler Information Systems



Fahrer-Modell

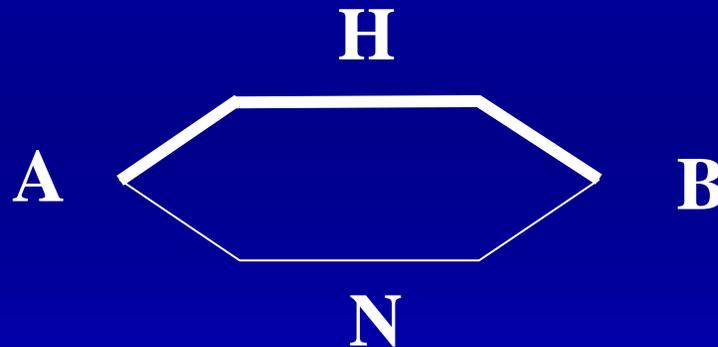


Reaktion auf Verkehrsnachrichten (I)

Experimentdesign

Fahrt von **A** nach **B**

Zwei Routen **H** und **N** (**H** Hauptstrecke, **N** Nebenstrecke)



Jeder der 18 Teilnehmer wählt in jeder Runde entweder die Hauptstrecke **H** oder die Nebenstrecke **N**.

Gespielt werden 200 Runden



Reaktion auf Verkehrsnachrichten (II)

n_H Anzahl der Teilnehmer, die H wählen

n_N Anzahl der Teilnehmer, die N wählen

Fahrtzeiten		Periodenauszahlung: $P = 40 - T$	
Für H	$T_H = 6 + 2n_H$	$T = T_H$	Für Fahrer auf H
Für N	$T_N = 12 + 3n_N$	$T = T_N$	Für Fahrer auf N

Anfangskapital: 200

Auszahlung = Anfangskapital + Summe der Periodenauszahlungen

Umrechnungsfaktor: 1,5 Pfennig pro Auszahlungseinheit (Taler)



Reaktion auf Verkehrsnachrichten (III)

Informationen der Spieler

Je 6
Beobachtungen

Informationen: Experiment I

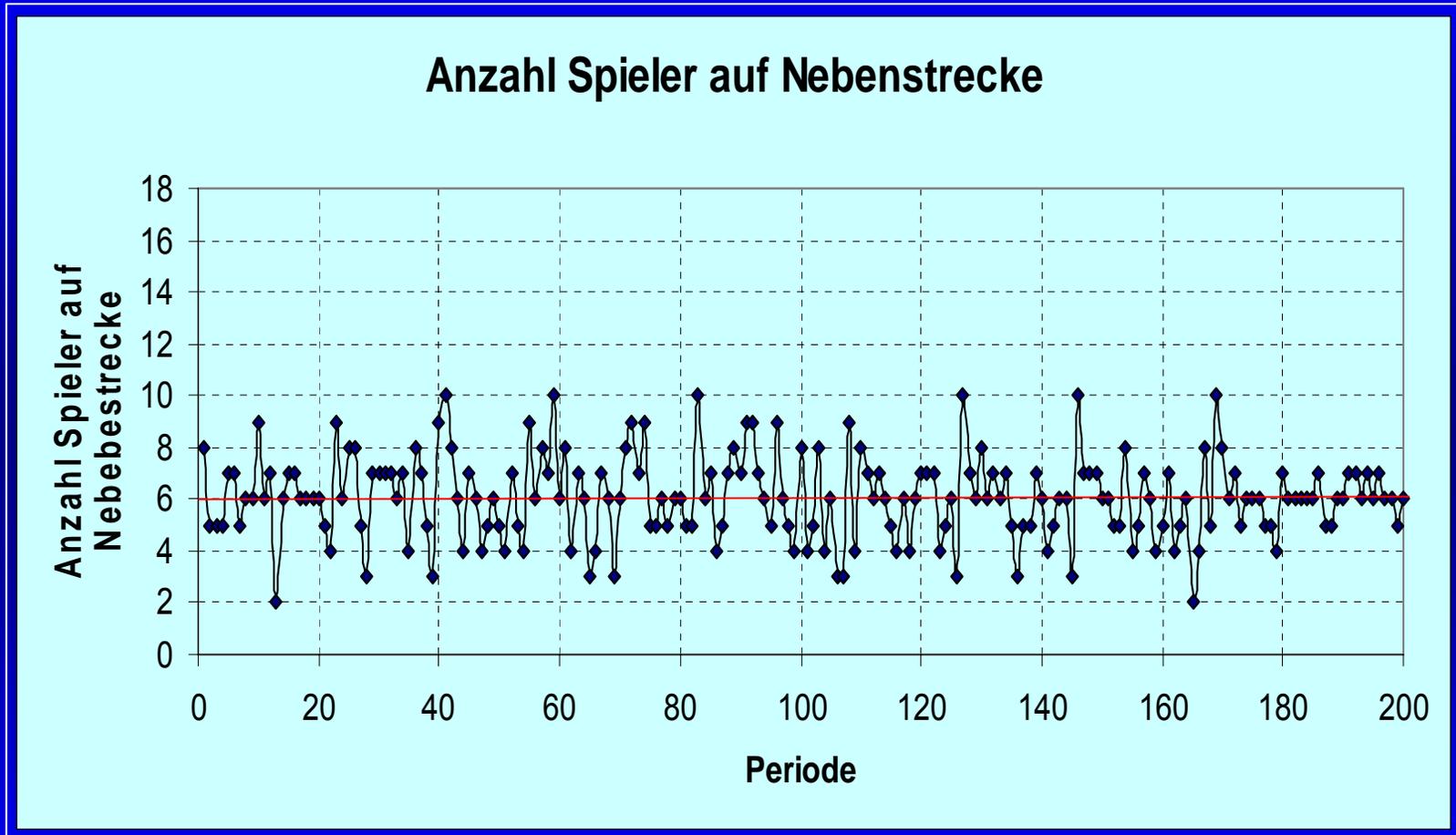
Die Fahrtzeit auf der zuletzt gewählten Strecke
Die zuletzt gewählte Strecke
Periodenauszahlung in der letzten Runde in **Taler**
Kumulierte Auszahlung vor der Wahl in **Taler**
Laufende Nummer der aktuellen Runde

Informationen: Experiment II (zusätzlich)

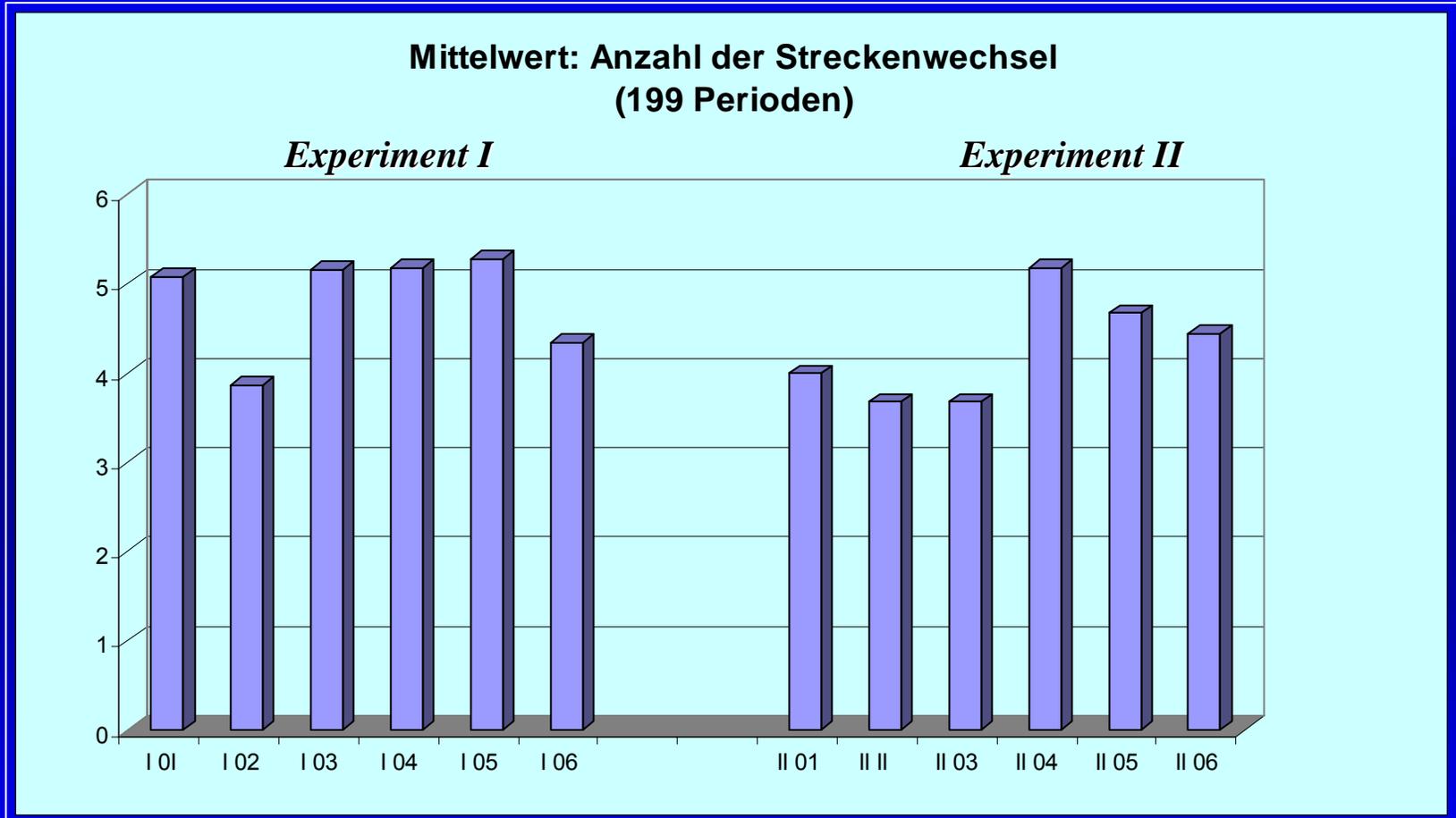
Die Fahrtzeit auf der Strecke, die in der letzten Runde **nicht** gewählt wurde.



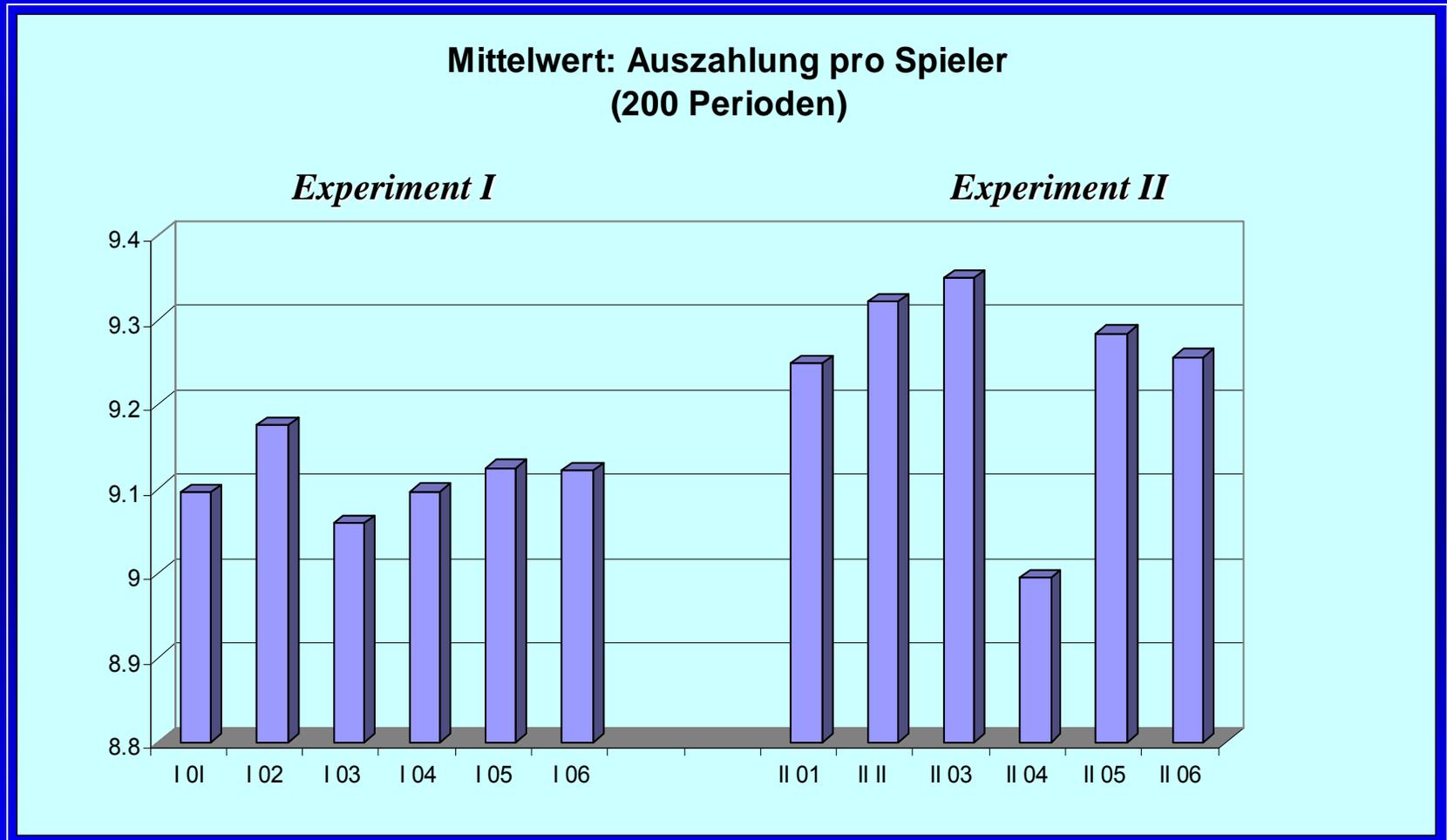
Reaktion auf Verkehrsnachrichten (IV)



Reaktion auf Verkehrsnachrichten (V)



Reaktion auf Verkehrsnachrichten (VI)



Extended Payoff Sum Model

Extended payoff sum model

Strategie Vektor

1	Hauptstr.
2	Nebenstr.
3	Direkt
4	Gegenläufig

Simulationen

Anfangswerte (x_1, x_2, x_3, x_4)

$$x_1 = 1, \dots, 10$$

$$x_2 = 1, \dots, 10$$

$$x_3 = 0, \dots, 10$$

$$x_4 = 0, \dots, 10$$

1000 Läufe für 200 Perioden
für jeden Anfangsvektor

[4,3,3,2] ist der einzige Anfangsvektor mit der Eigenschaft, daß die simulierten Mittelwerte in den Bereich der experimentell gemessenen fallen..

	min Ex I & II	Simulations	max Ex I & II
mean(#(players[S]))	5.85	5.88	6.17
std_dev(#(players[S]))	1.53	1.65	1.94
mean(#(road_ch))	3.67	5.17	5.28
mean(#(last_road_ch))	154.78	183.73	190.39
mean(yule)	0.12	0.14	0.37
std_dev(yule)	0.52	0.60	0.74



Reaktion auf Verkehrsnachrichten

Ergebnisse

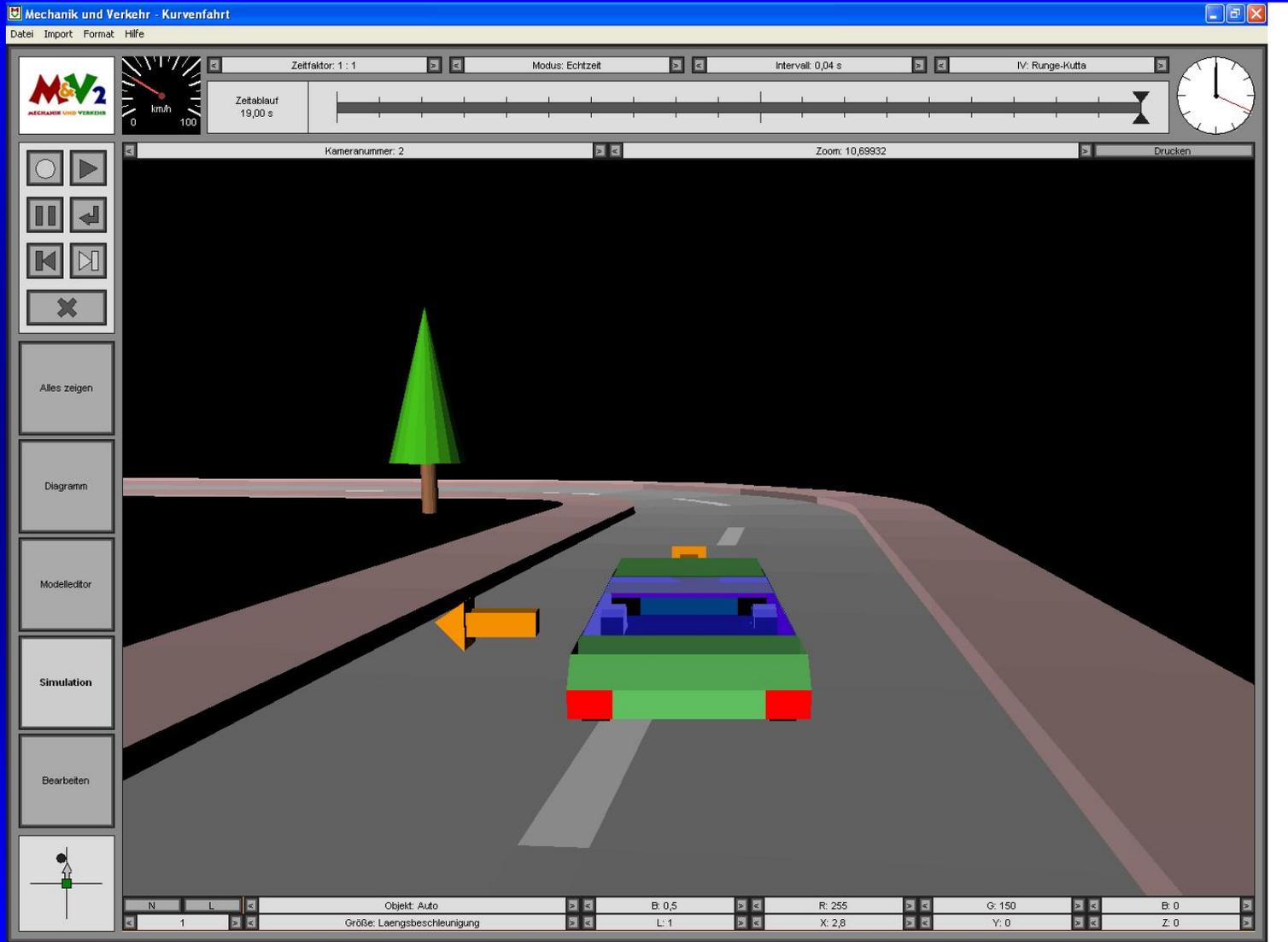
1. *Mittlere Anzahl der Spieler auf der Haupt- und Nebenstrecke liegen nahe am Gleichgewicht.*
2. *Fluktuationen bleiben in beiden Experimenten bis zum Ende.*
3. *Fluktuationen sind signifikant geringer in Experiment II .*
4. *Die Gesamtanzahl der Streckenwechsel ist signifikant größer in Experiment I.*
5. *Drei Typen können klassifiziert werden: direkt („Sensibler“, 44%), gegenläufig („Taktierer“, 14%) und konservativ („Unsensibel“, 40,5% und „Stoiker“, 1,5%).*
6. *Anzahl der Streckenwechsel und ihre Gesamtauszahlungen sind in allen Beobachtungen negativ korreliert.*



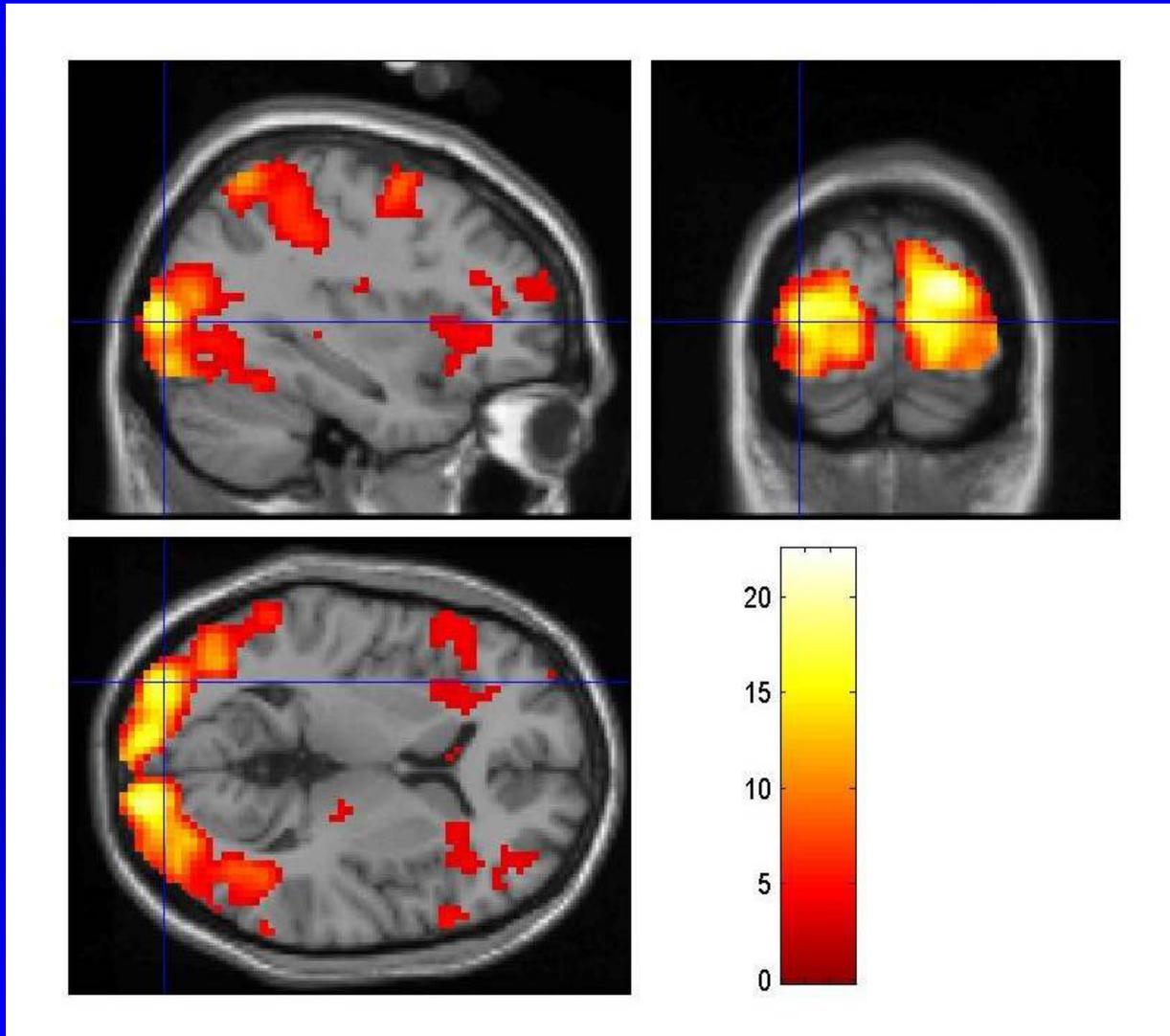
fMRT



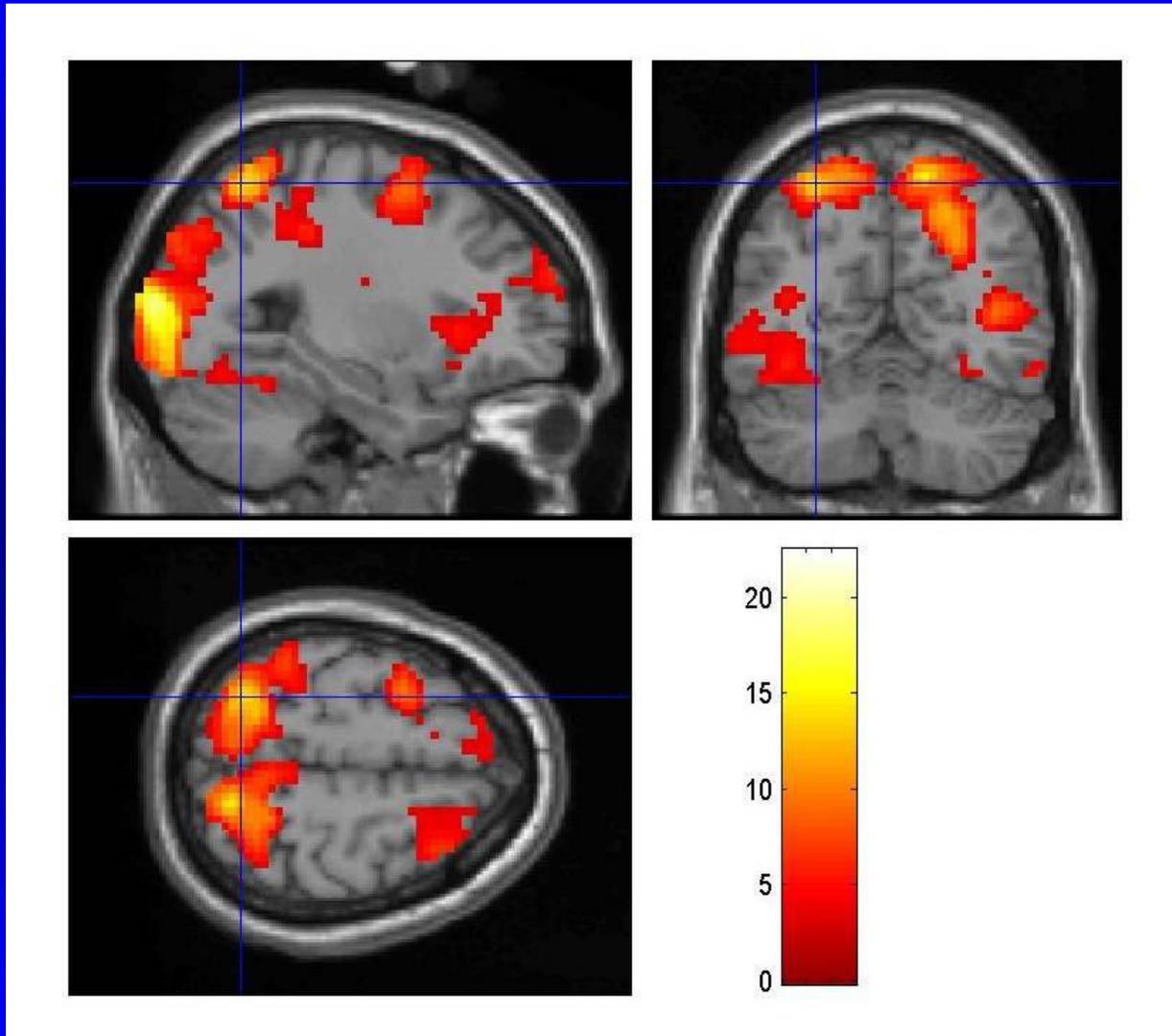
Simulation



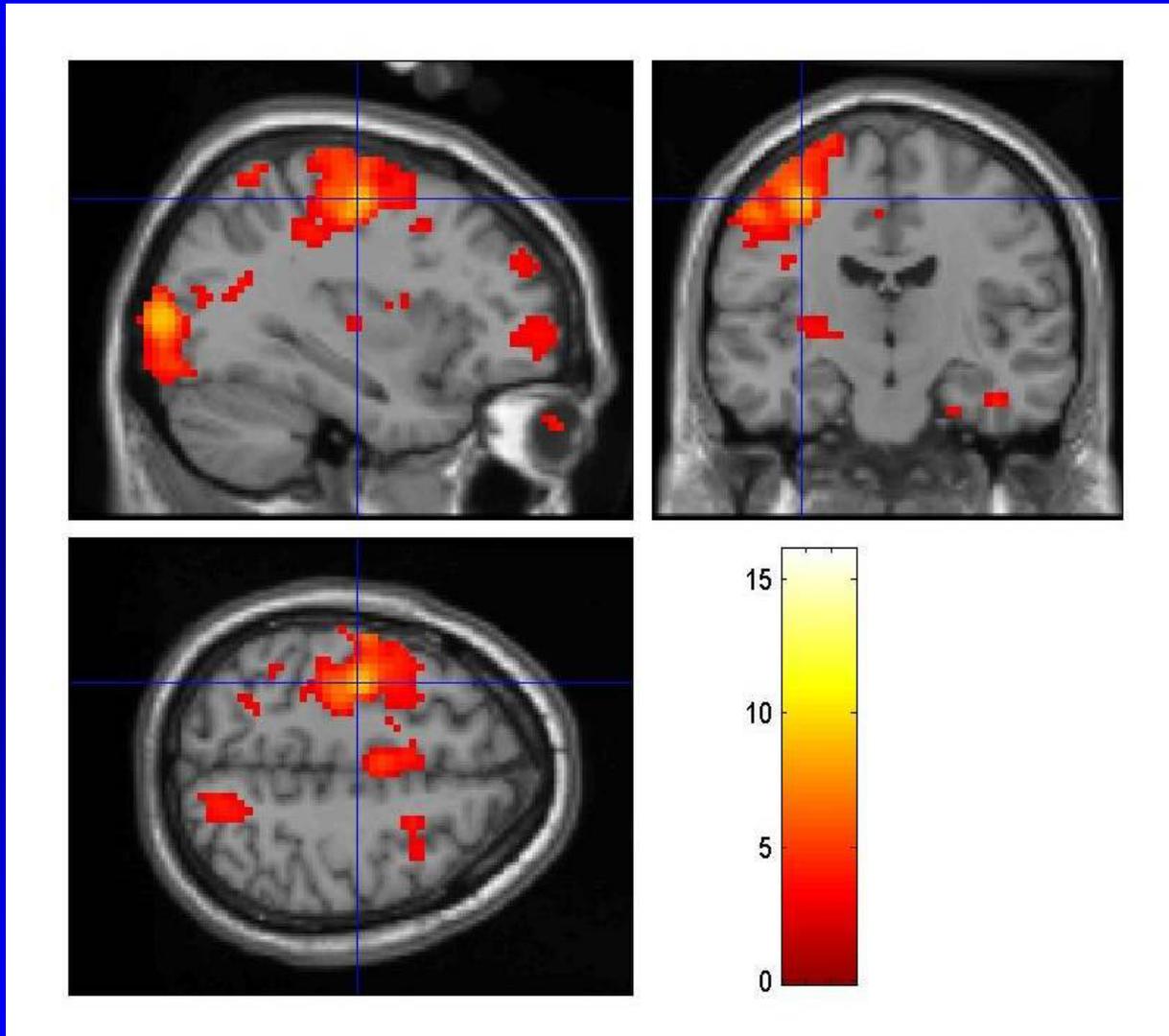
Sehen



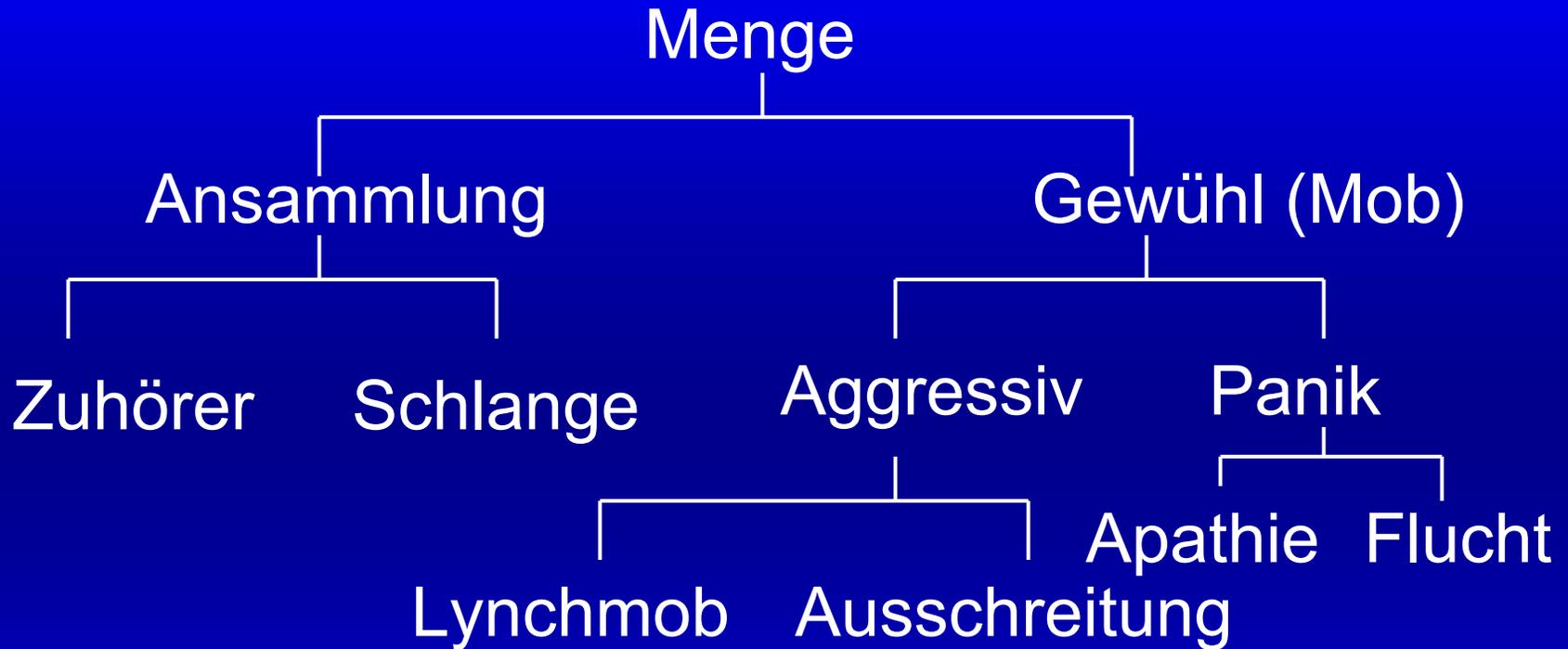
Sehen



Fahren



Begriffe



Massenphänomene

Spurbildung

Staus und Gedränge



Spurbildung



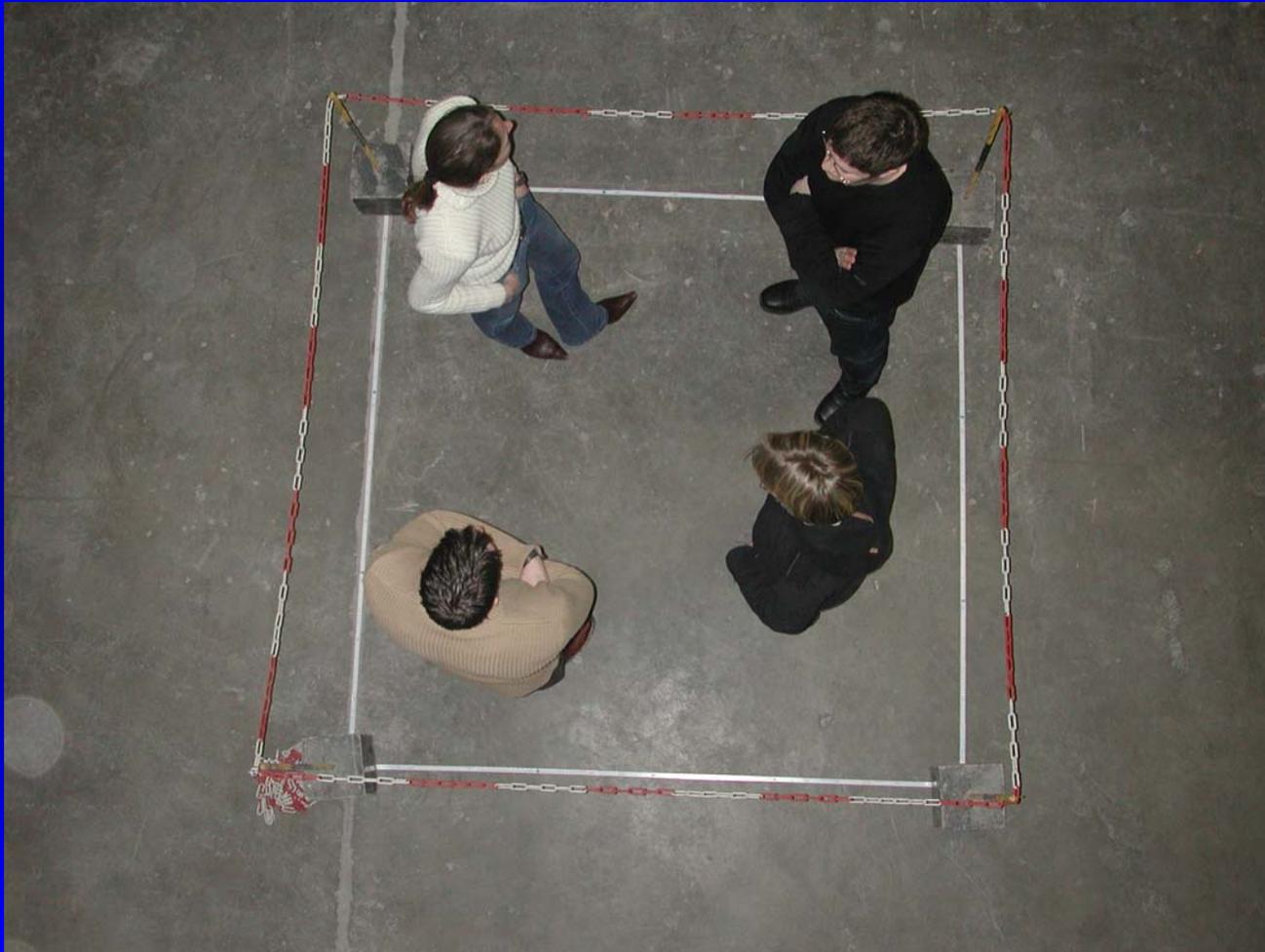
Simulation?



(Waterpark Tokyo)



1 Person/qm



2 Personen/qm



3 Personen/qm



4 Personen/qm



5 Personen/qm

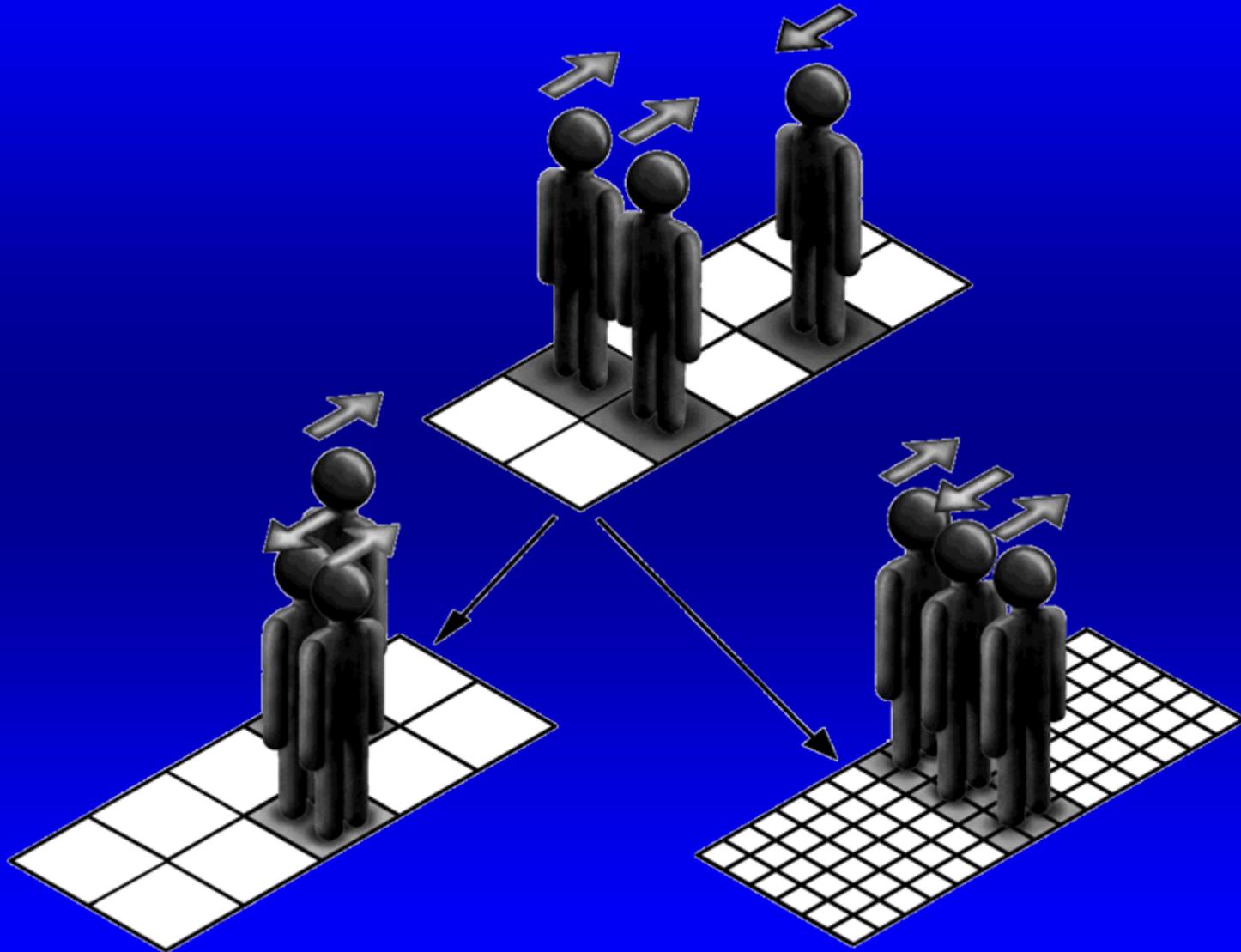


Auswirkungen von Panik

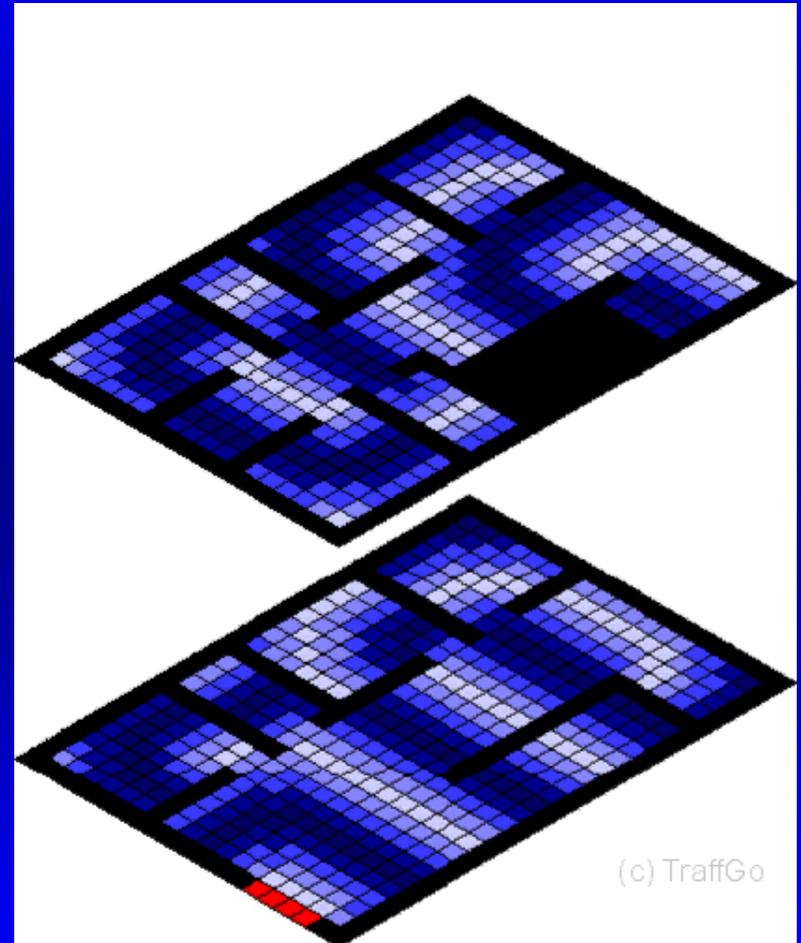
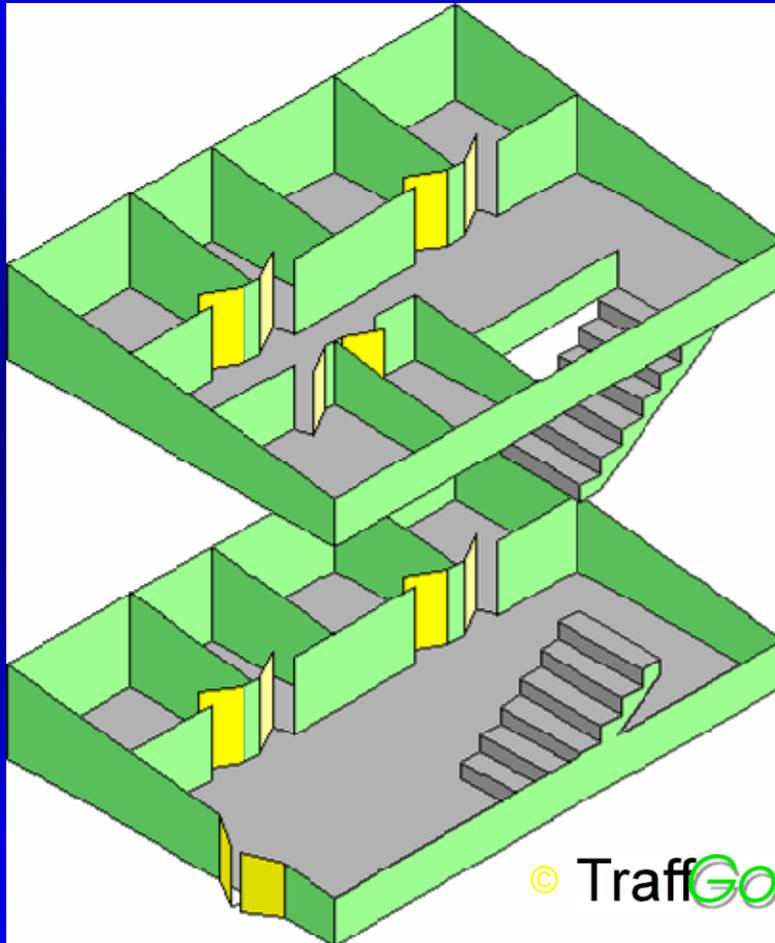
- (stark) eingeschränkte Wahrnehmung: Tunnelblick
- Herdentrieb: Anziehung auf größere Entfernungen
- Feuchte Hände/Füße > ...
- Blut fließt aus Kopf/Bauch in Bewegungsmuskulatur > Bewegungsdrang
- Blut wird dicker > schnellere Verkrustung
- Ungeduld > Richtungsumkehr
- Aufhebung sozialer Beziehungen (bis auf eigene Kinder)
- Aber auch: passive Panik > Apathie



Fußgängerdynamik



Simulation, Orientierung



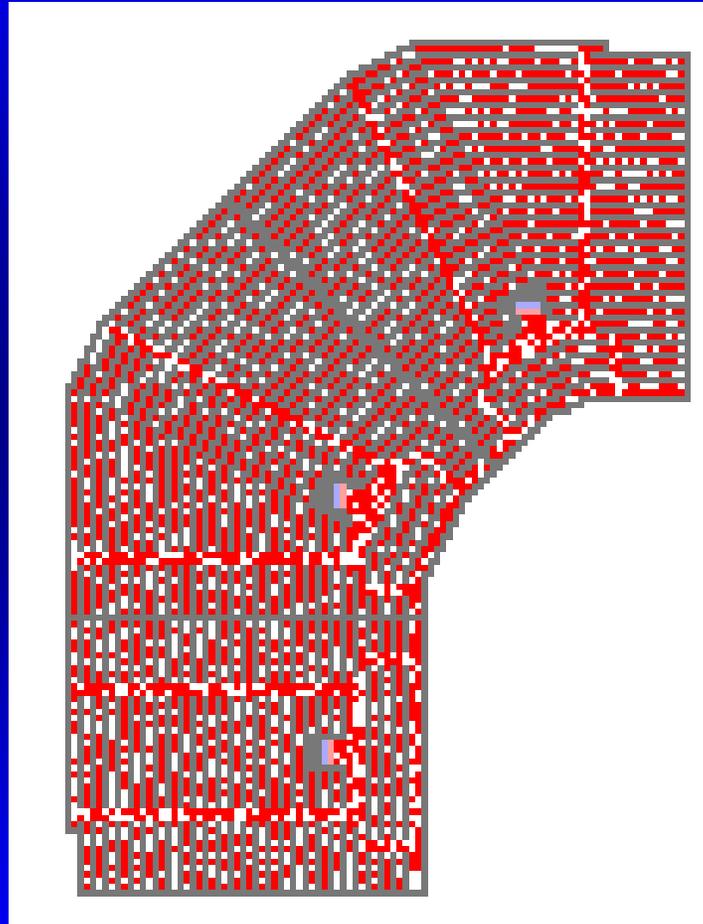
Problem: Pedestrian Flow



- High Density
- Little Coordination
- Pedestrian-Management
- Missing Informations



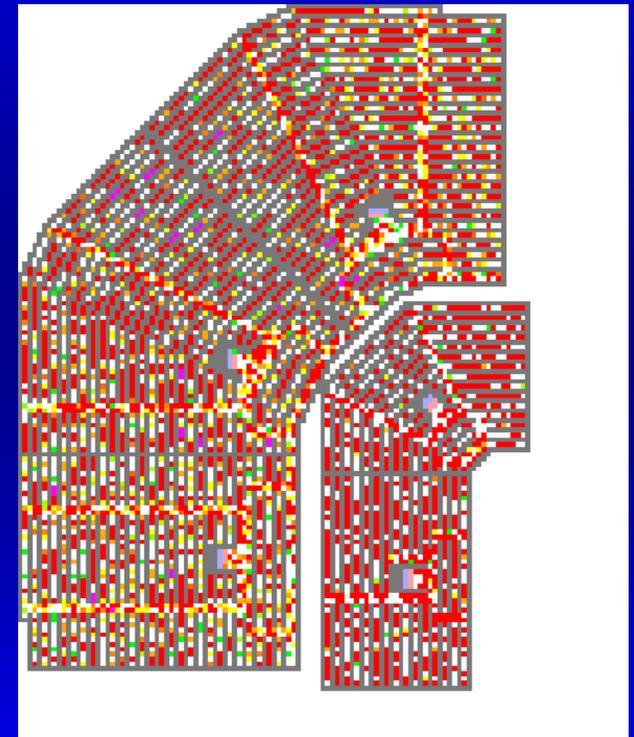
Entleerung eines Blockes



Vergleich I



T = 2 Minuten



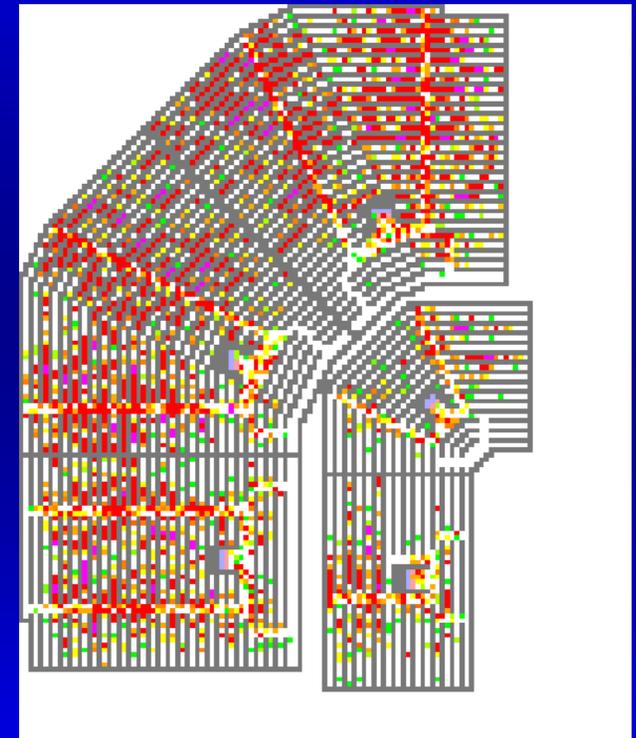
T = 20 Sekunden



Vergleich II



T = 5 Minuten



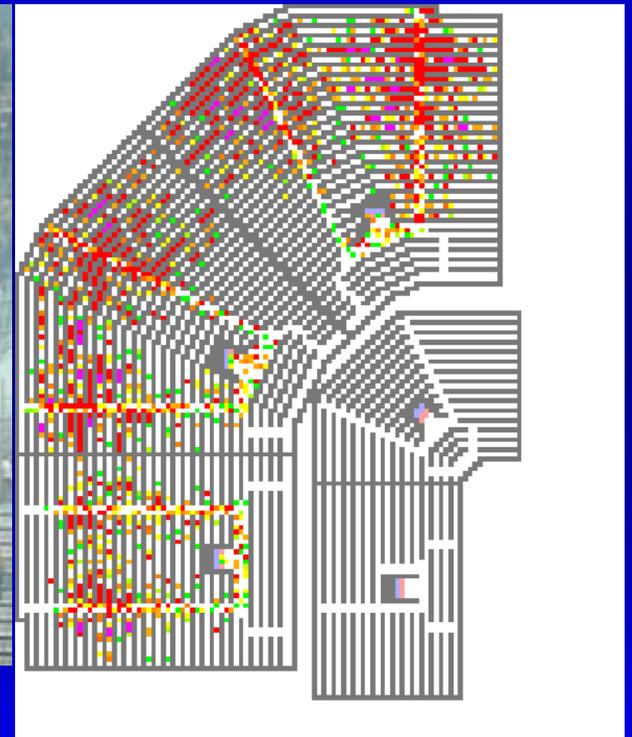
T = 3 Minuten



Vergleich III



T = 7 Minuten



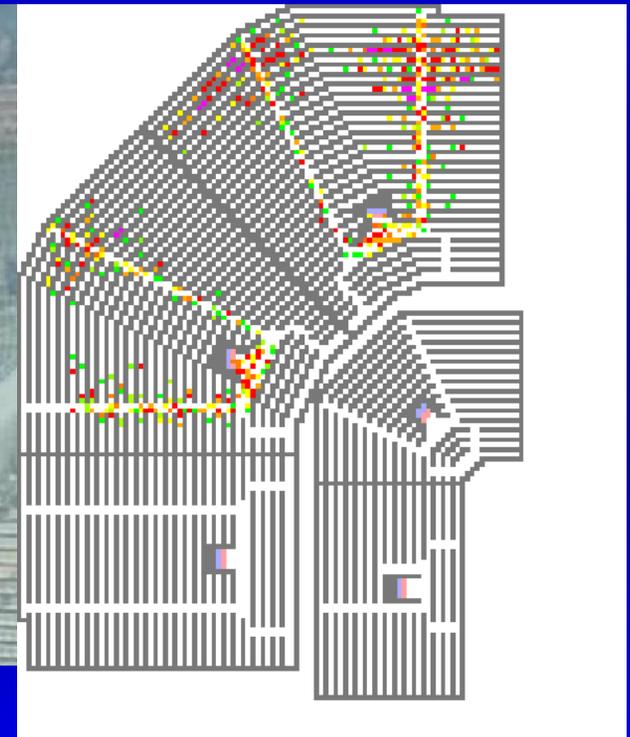
T = 6 Minuten



Vergleich IV



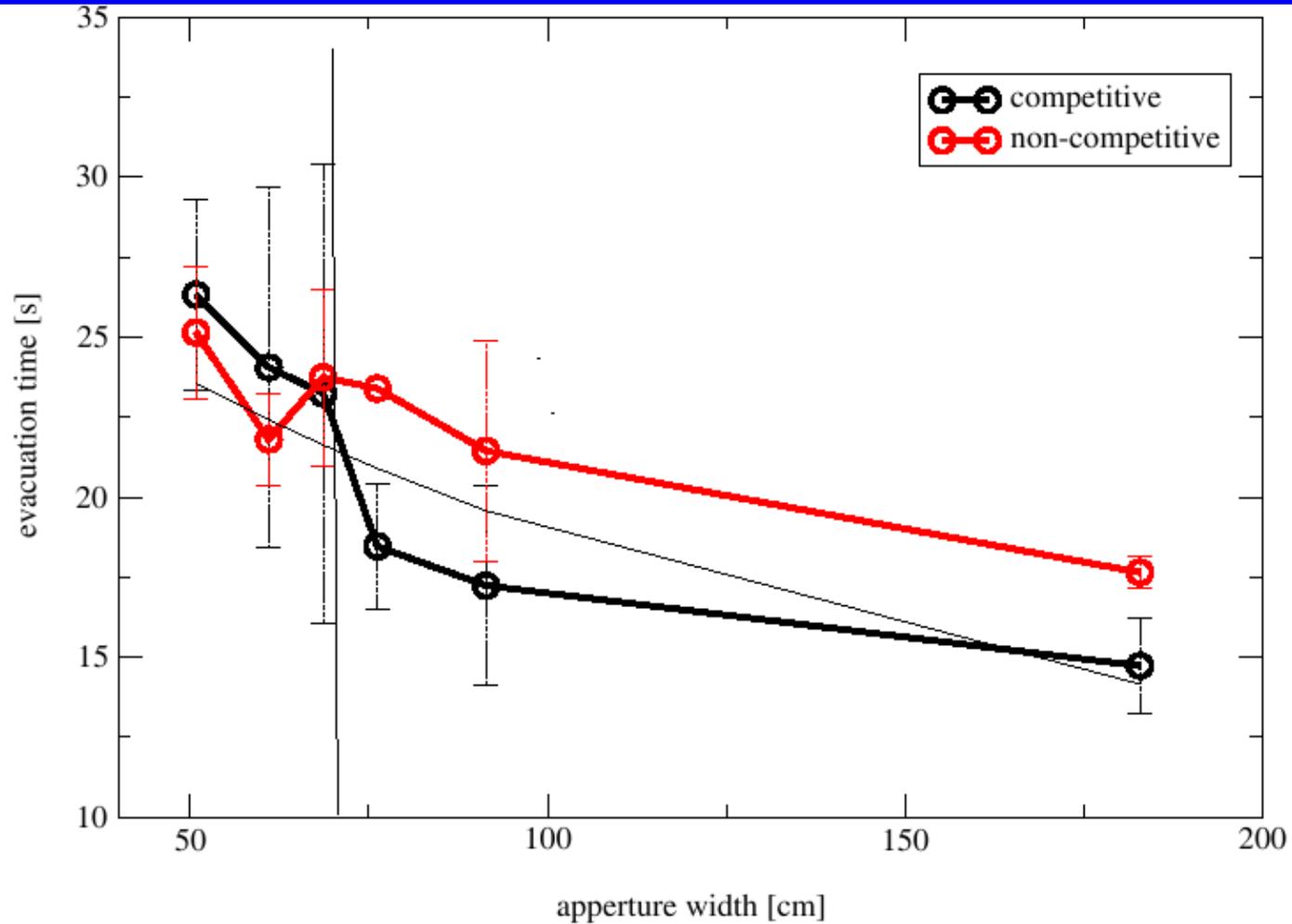
T = 10 Minuten



T = 10 Minuten



Wettbewerb



Hajj



Hajj



Ameisenverkehr



Ameisenunfall



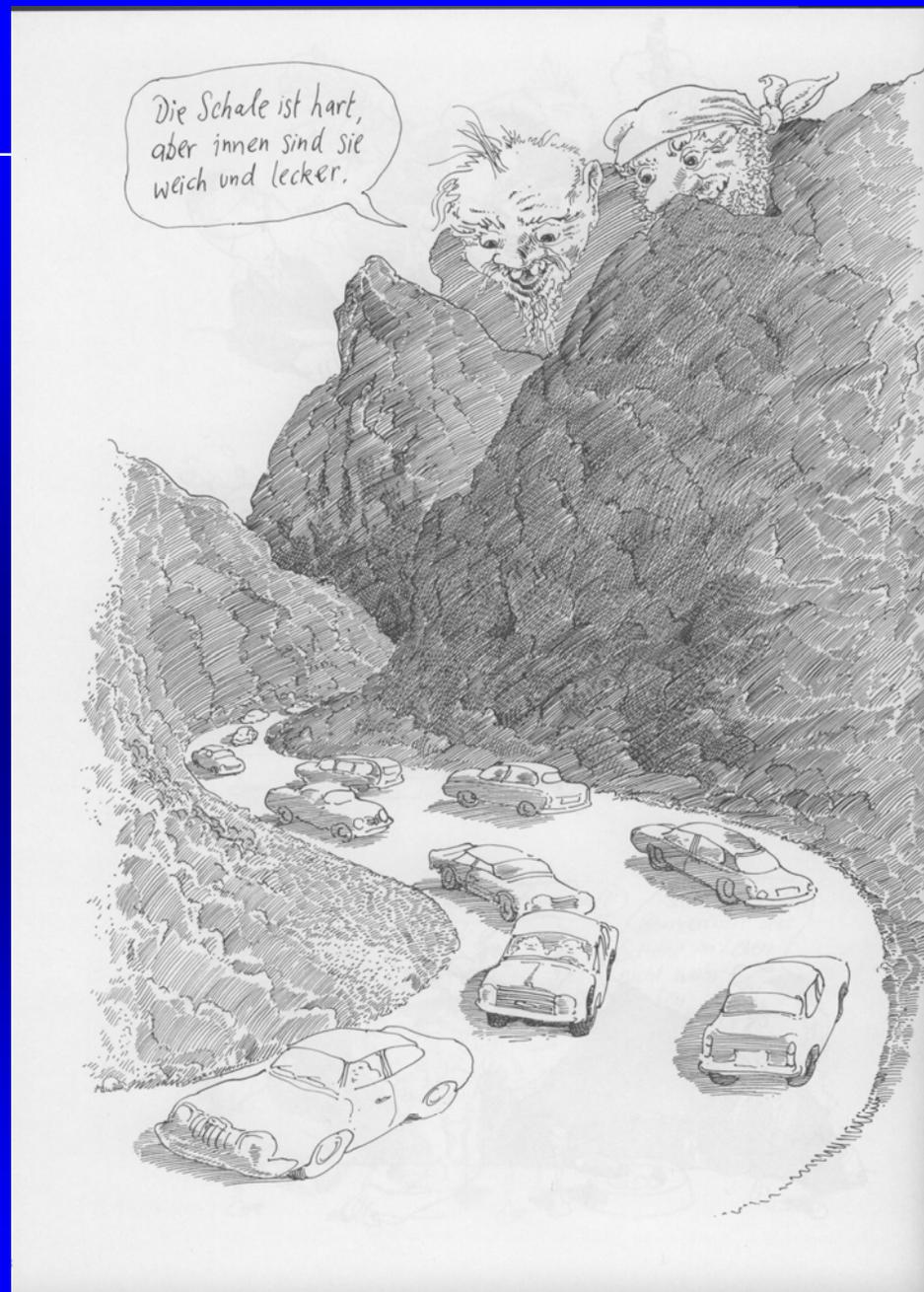
Ameisenpfade



Internet-Adresse

<http://www.ptt.uni-duisburg.de>





„Die Schale ist
hart, aber innen
sind sie weich
und lecker“

F.K. Waechter

