



Mathematik – Treiber wirtschaftlichen Fortschritts

Beispiele von Projekten
durchgeführt im **MATHEON**,
ZIB und in den Berliner Universitäten

Prof. Dr. Martin Grötschel
MATHEON, ZIB und TU Berlin

20.12.2012, Übersichtsvorlesung in ADM I, WS 2012/13

DFG Research Center MATHEON
Mathematics for key technologies





1. Einführung
2. Mathematische Modellierung elektromagnetischer Wellen und deren Folgen
3. Mathematische Modellierung von Strömungen und deren Folgen



1. Einführung
2. Mathematische Modellierung elektromagnetischer Wellen und deren Folgen
3. Mathematische Modellierung von Strömungen und deren Folgen



Vollständige Bezeichnung:

DFG-Forschungszentrum

Mathematik für Schlüsseltechnologien:

Modellierung, Simulation und Optimierung

realer Prozesse.



MATHEON und seine Trägerinstitutionen

Freie Universität Berlin (FU)

Humboldt-Universität zu Berlin (HU)

Technische Universität Berlin (TU)

Weierstraß Institut für Angewandte Analysis und Stochastik (WIAS)

Zuse-Institut Berlin (ZIB)

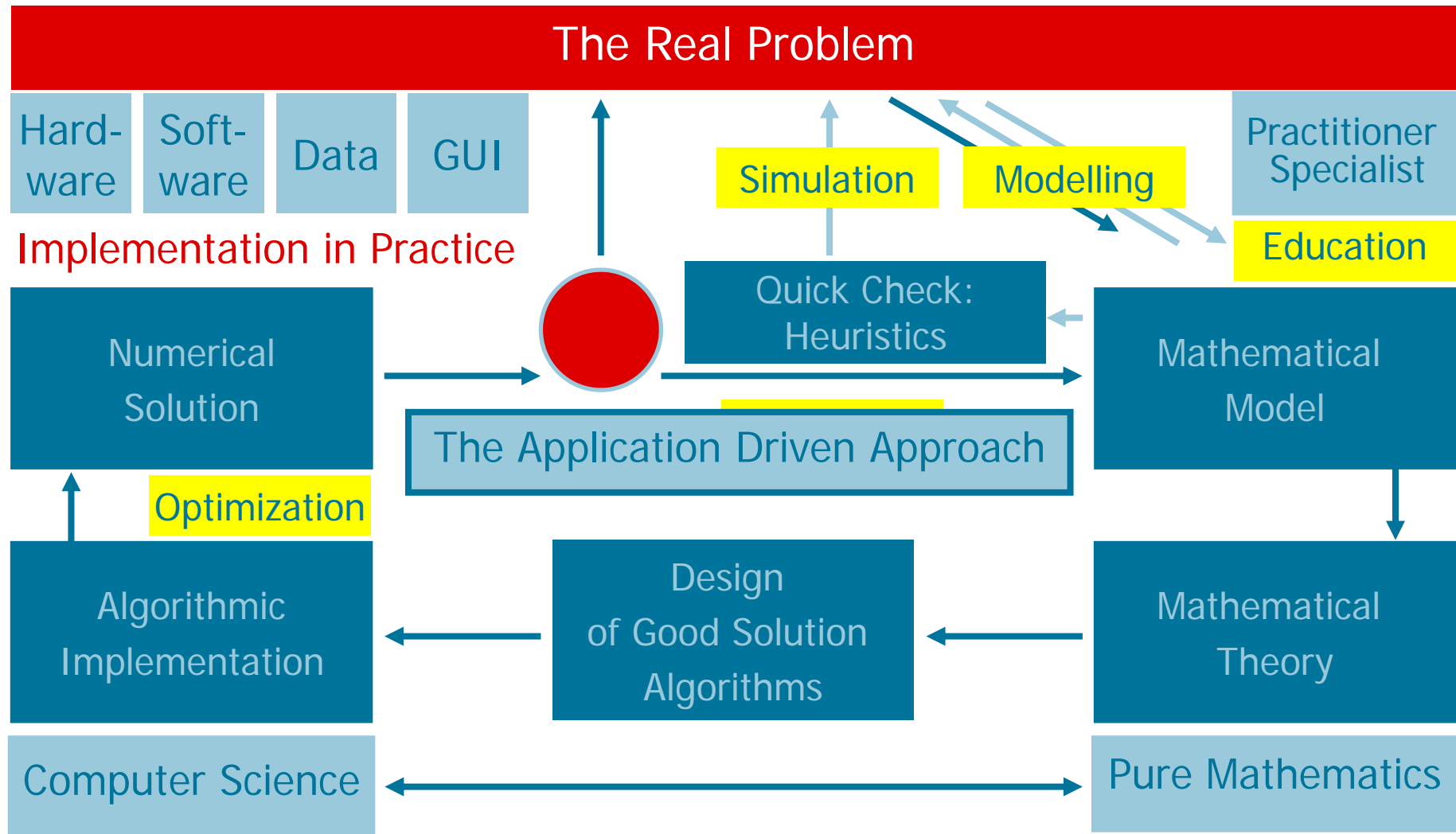




Was macht MATHEON ?



The problem solving cycle in modern applied mathematics





1. Einführung
2. **Mathematische Modellierung elektromagnetischer Wellen und deren Folgen**
3. Mathematische Modellierung von Strömungen und deren Folgen
4. Weitere Anwendungen

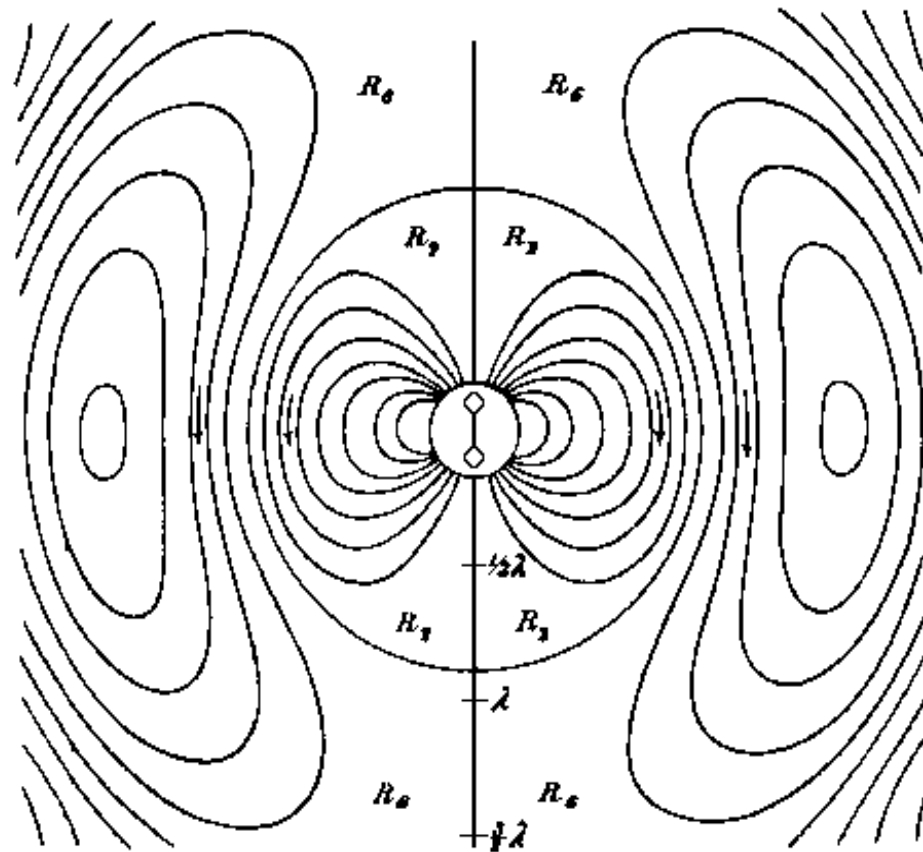


Die Maxwellgleichungen

Die Maxwellgleichungen
zur Modellierung
elektromagnetischer Wellen
(von Langwellen bis
Röntgenstrahlen)

Skizze der Wellenausbreitung
von Heinrich Hertz

*Annalen der Physik und
Chemie* N. F. Bd. XXXVI, 1889





(1831-1879)



Maxwellsche Gleichungen 1873

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{D}$$

Ampèresches Gesetz

Fließende Ladungen erzeugen das magnetische Feld

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{B}$$

Faradaysches Gesetz

Ein veränderliches Magnetfeld erzeugt ein elektrisches Feld

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$$

Das Magnetfeld hat keine Quellen

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho$$

Die Quellen des elektrischen Feldes sind elektrische Ladungen

+ Materialgleichungen



Radio

Fernsehen

Sprechfunk

RFID

Mobilfunk

Autoschlüssel

Funküberwachung

Funksteuerung

...

Technische Idee

Grundsätzliches Verständnis

Geschäftsidee

Umsetzung

Konkurrenz

Verbesserung

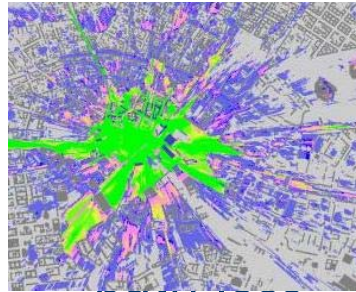
Zusammenarbeit von:

- Ingenieuren
- Kaufleuten
- Juristen
- Informatikern
- Mathematikern
- ...



Isotropic Prediction

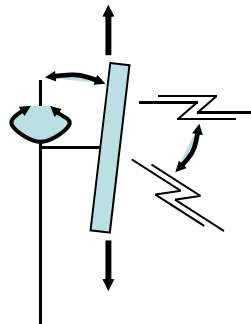
- Available for each potential antenna location



© Digital Building Model Berlin (2002),
E-Plus Mobilfunk GmbH & Co. KG

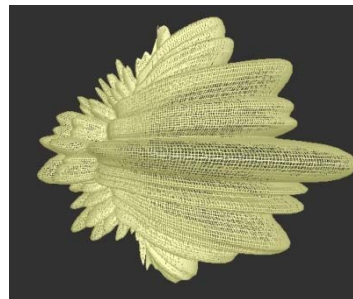
Antenna Configuration

- Azimuth
- Tilt
- Height

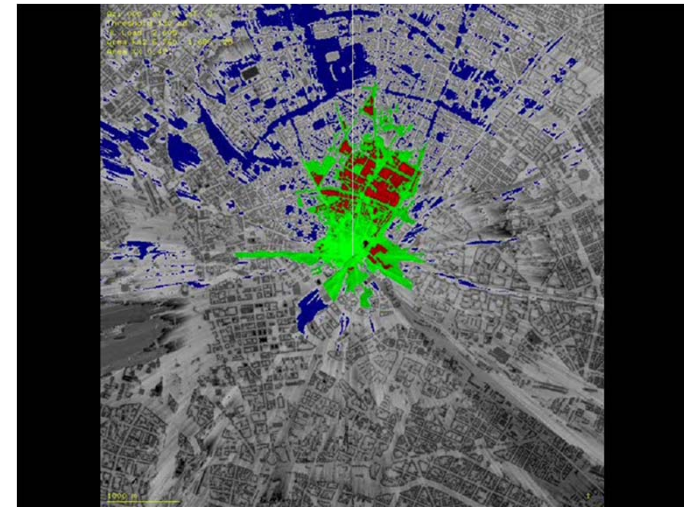


Antenna Diagram

- Signal propagation in different directions



Antenna Prediction

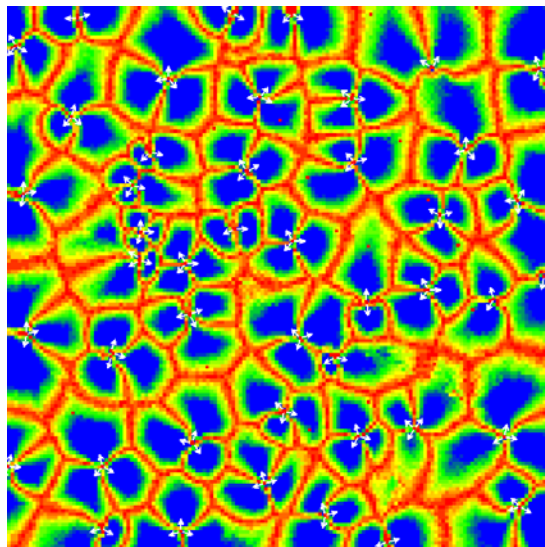


© Digital Building Model Berlin (2002), E-Plus Mobilfunk GmbH & Co. KG, Germany

height: 41m, electrical tilt: 0-8°, azimuth 0-120°

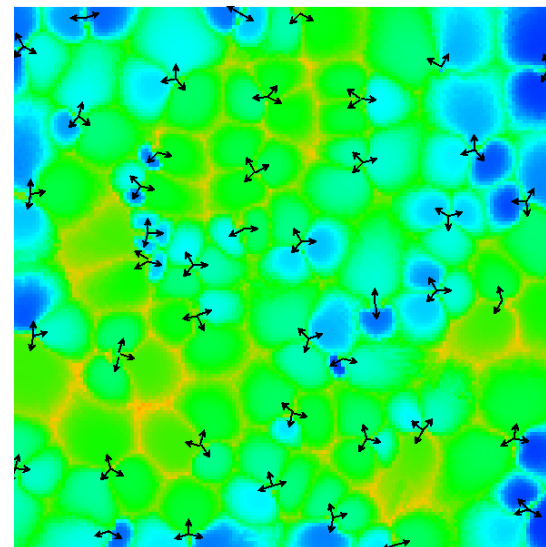


Interferenz & Abdeckung in einem Berliner Netz



Wenig
Interferenz

Viel
Interferenz

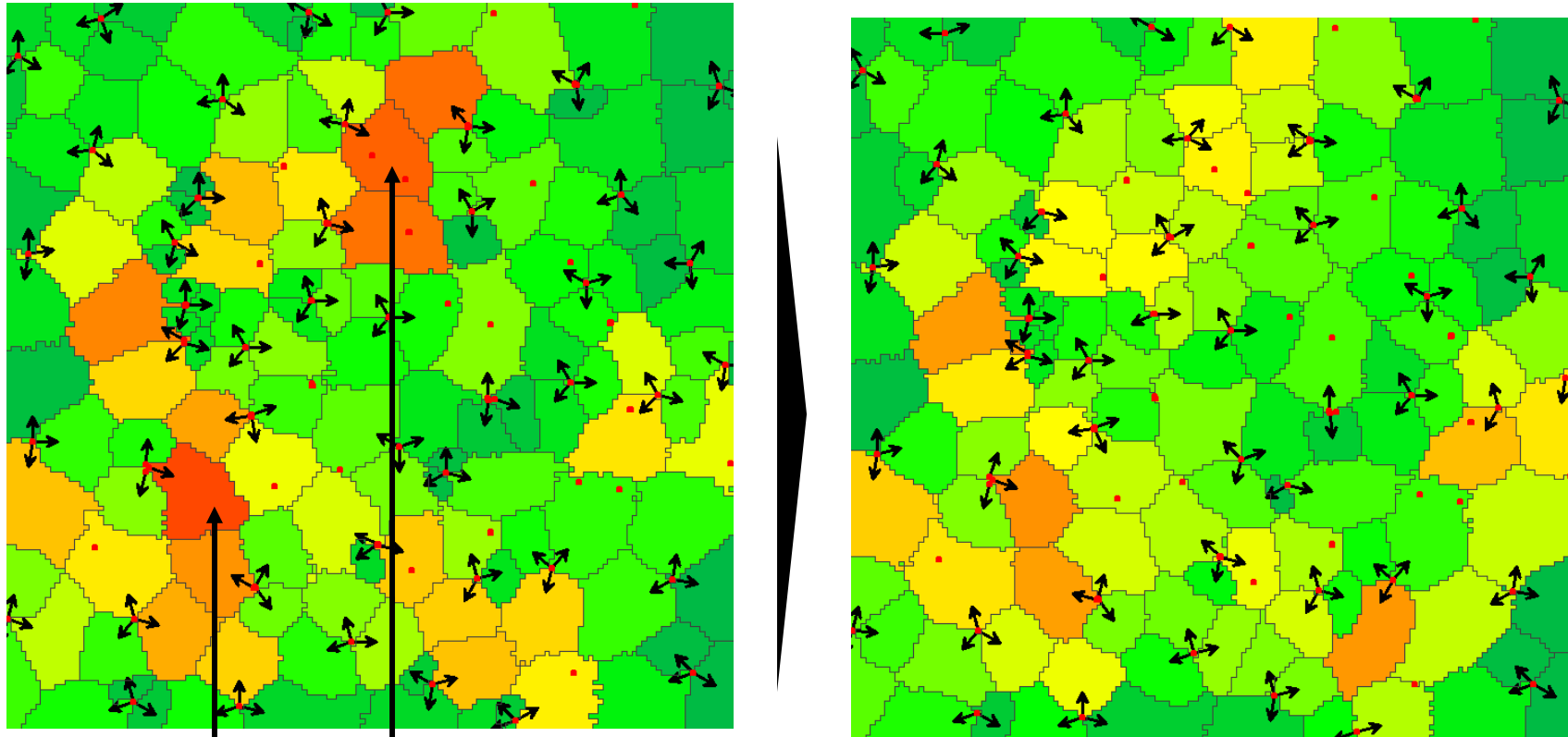


Gute
Abdeckung

Schlechte
Abdeckung



Netzoptimierung in Berlin: Last verteilen

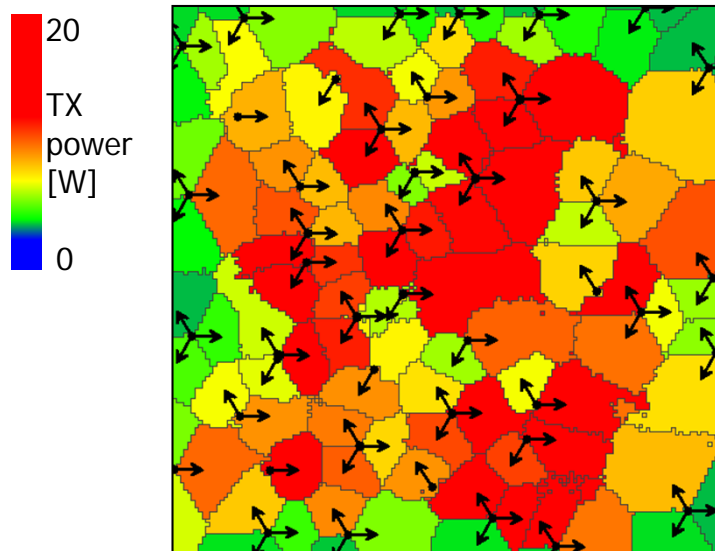


Überlastete Zellen → Last umverteilen → Weniger Probleme

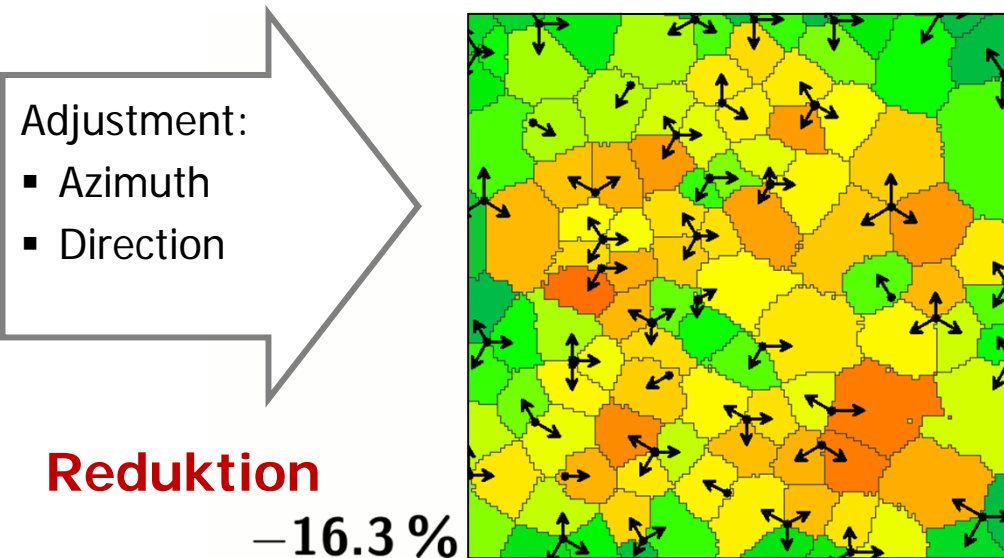


Optimierung: Reduktion der Netzerlast

Start-Konfiguration

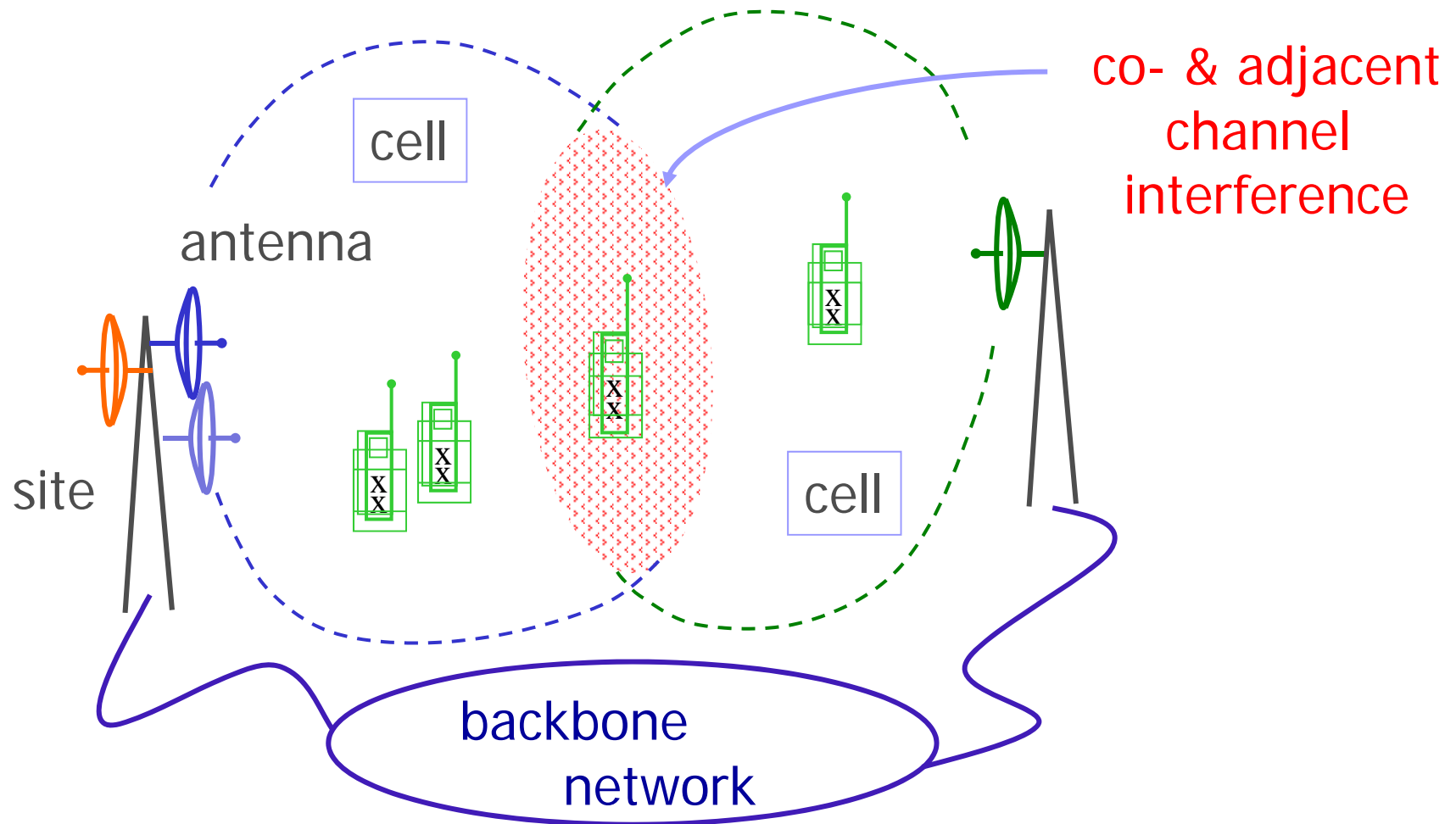


Optimierte Konfiguration





Antennen & Interferenz

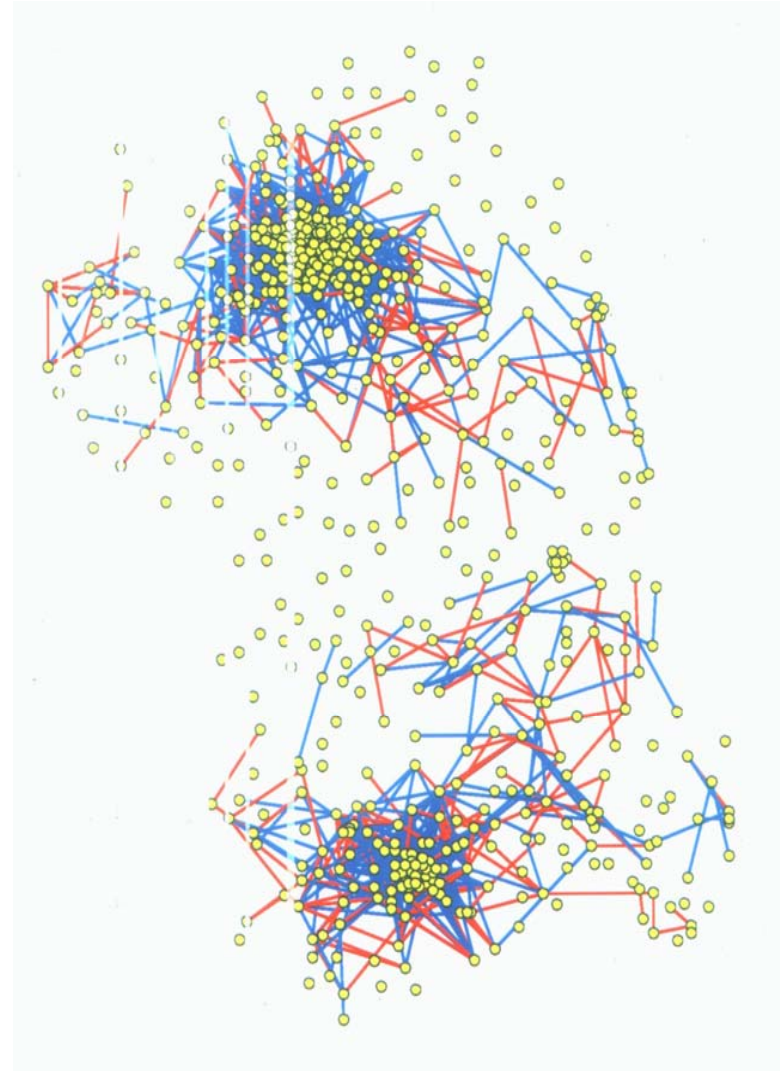
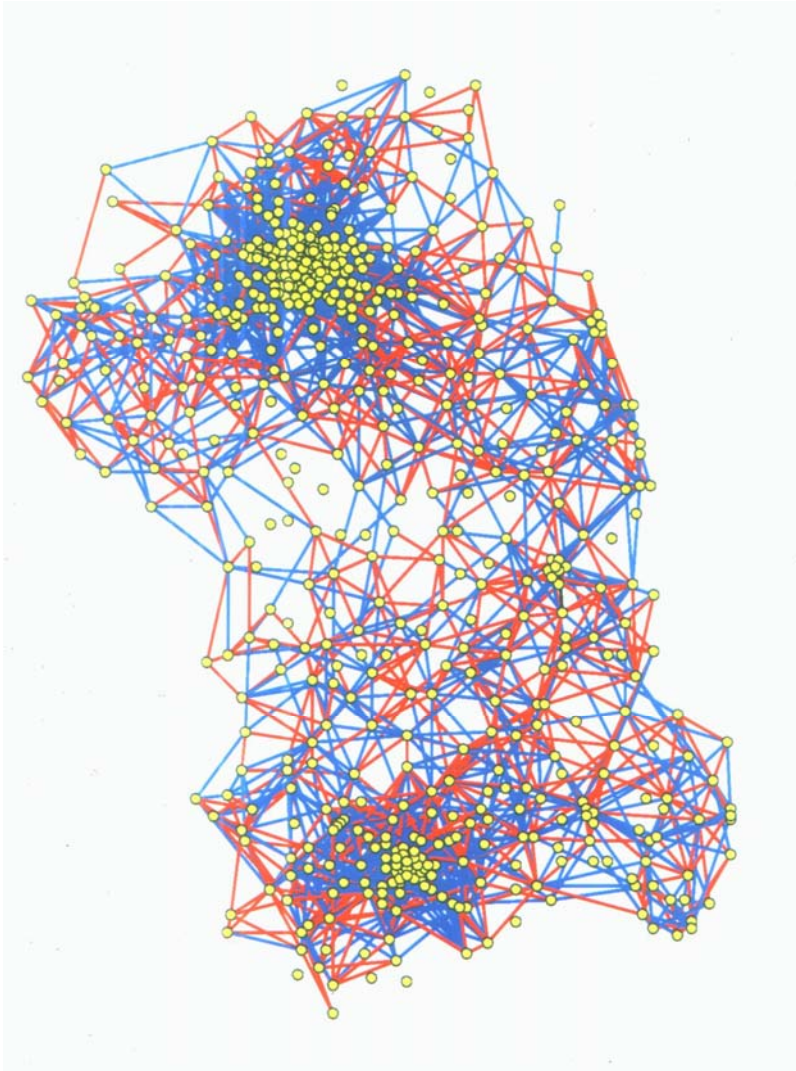




Minimum Interference Frequency Assignment Problem (FAP)

FAP ist ein ganzzahliges Optimierungsproblem:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{vw \in E^{co}} c_{vw}^{co} z_{vw}^{co} + \sum_{vw \in E^{ad}} c_{vw}^{ad} z_{vw}^{ad} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{f \in F_v} x_{vf} = 1 && \forall v \in V \\ & x_{vf} + x_{wg} \leq 1 && \forall vw \in E^d, |f - g| < d(vw) \\ & x_{vf} + x_{wf} \leq 1 + z_{vw}^{co} && \forall vw \in E^{co}, f \in F_v \cap F_w \\ & x_{vf} + x_{wg} \leq 1 + z_{vw}^{ad} && \forall vw \in E^{ad}, |f - g| = 1 \\ & x_{vf}, z_{vw}^{co}, z_{vw}^{ad} \in \{0, 1\} \end{aligned}$$



2877
Antennen

50 Kanäle

Interferenz-
Reduktion:
83.6%



Firmenprofil

atesio

Kunden

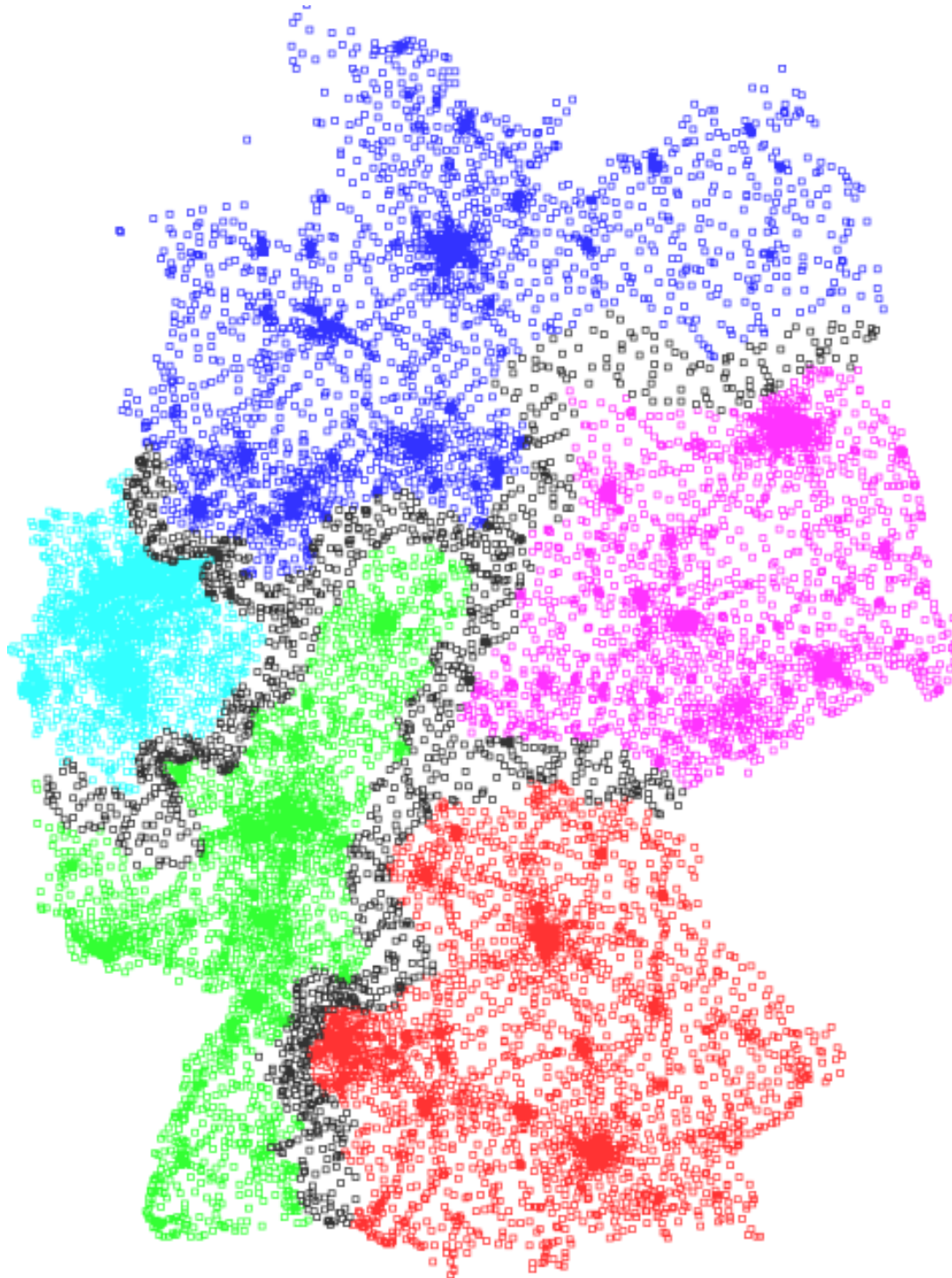
Hintergrund



- Gründung 2000
- Schwerpunkt: Telekommunikation
- Gründer mit Projekten im Bereich Funk- und Festnetze seit 1994
- Spin-Off des Zuse-Institut Berlin
- Zahlreiche (Innovations-)Preise

Kundenvorteile

- Unabhängige Bewertungen
- Analyse großer Zusammenhänge
- Sicherheit bei Entscheidungen
- Planbarere Netzqualität
- Geringere Produktionskosten



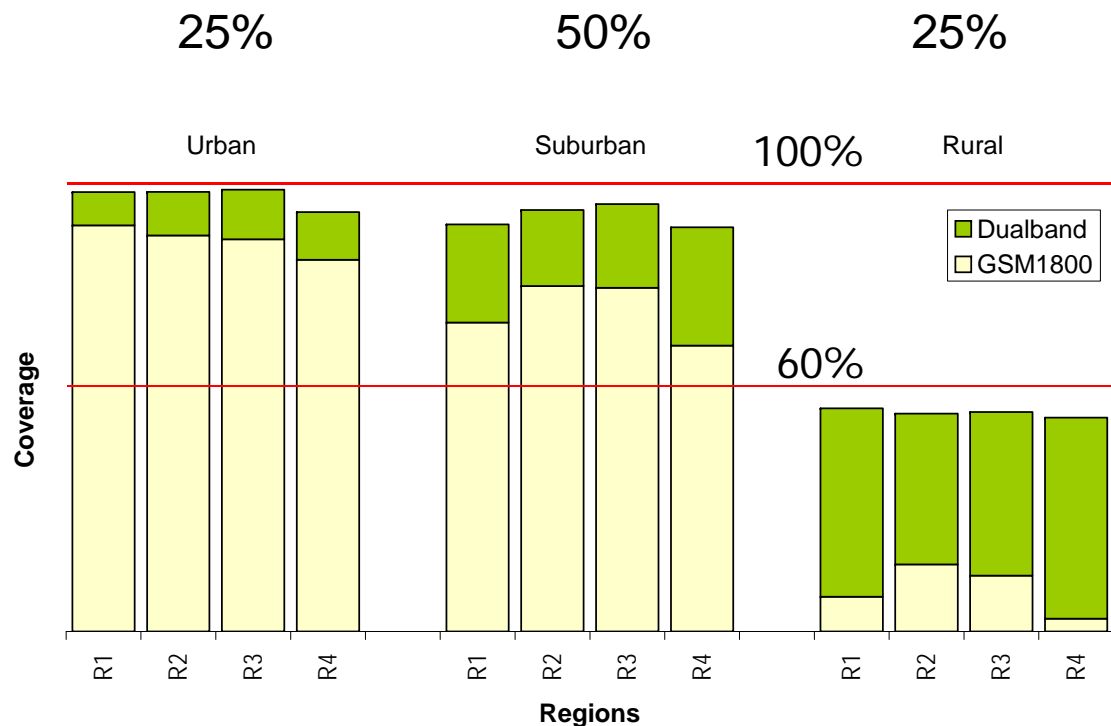
- ▷ Optimierung je Region aller
 - ▶ Standorte
 - ▶ Sektoren
 - ▶ Bänder
- ▷ Zusammenführung der Ergebnisse aller Regionen
- ▷ Optimierung eines Streifens entlang der Regionsgrenzen
- ▷ Optimierung des 1800 MHz-Anteils von Dualband-Sektoren

neueste Untersuchung
von atesio



Herausforderungen bei nationalem Netzausbau

Bevölkerungsverteilung (Umsatz)



keine neuen Antennenstandorte,
nur Umrüstung bestehender

Abdeckung geht verloren

Änderungen an Standorten
verschieben Zellflächen

Abschaltung des Roamings
reißt Lücken auch in Städten

GSM1800 liefert schwache Deep-
Indoor-Versorgung

Kapazitätsbedarf wächst

Zu wenige 900er-Kanäle für volle
Kapazitätsversorgung

Verkehrswachstum erfordert
Anpassungen im Access-Netz

Abdeckung effektiv gewinnen

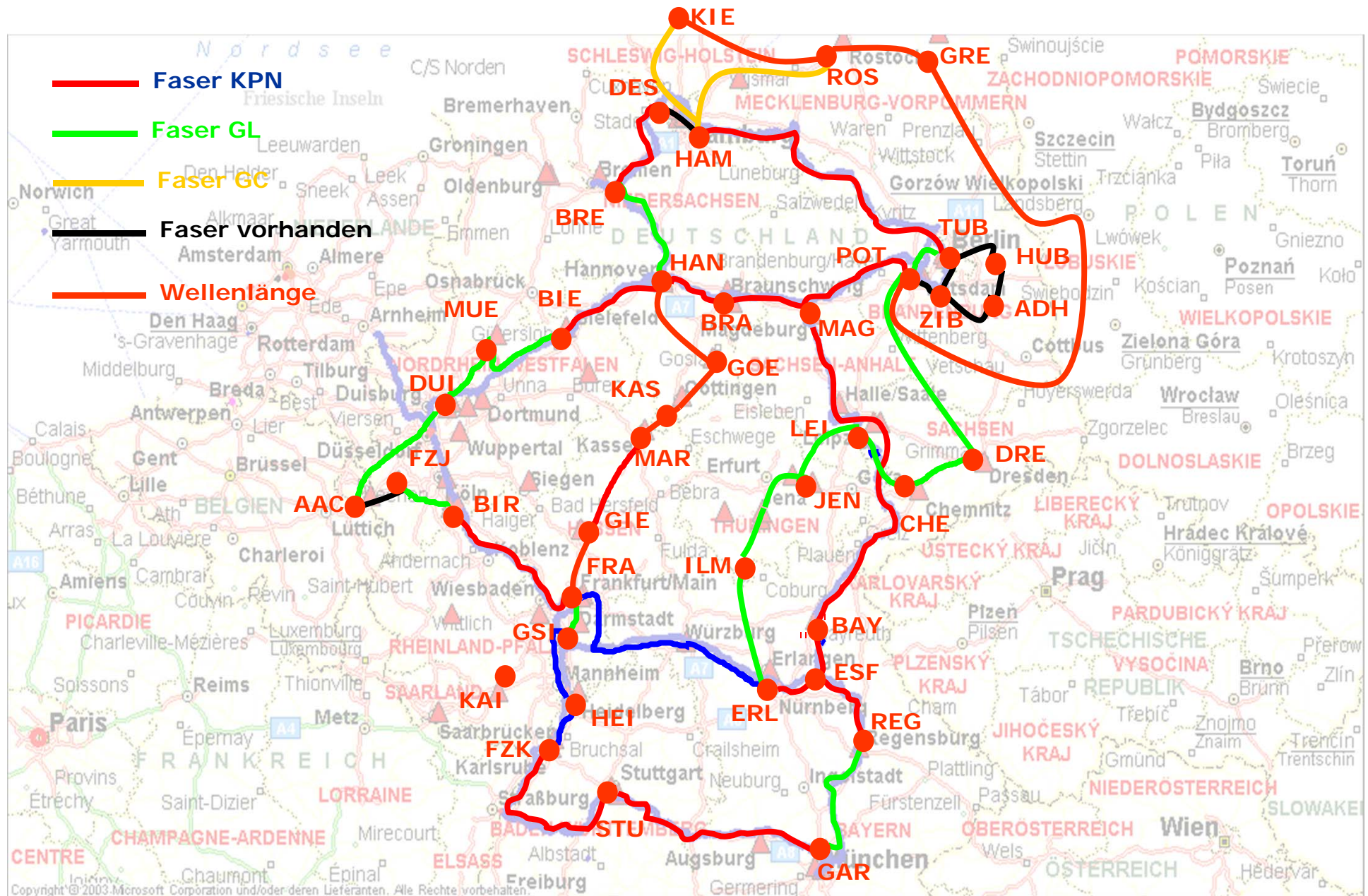
Netz bisher besonders dünn in
umsatzschwachen Gebieten

Verzahnung von Zellflächen über
Bänder hinweg





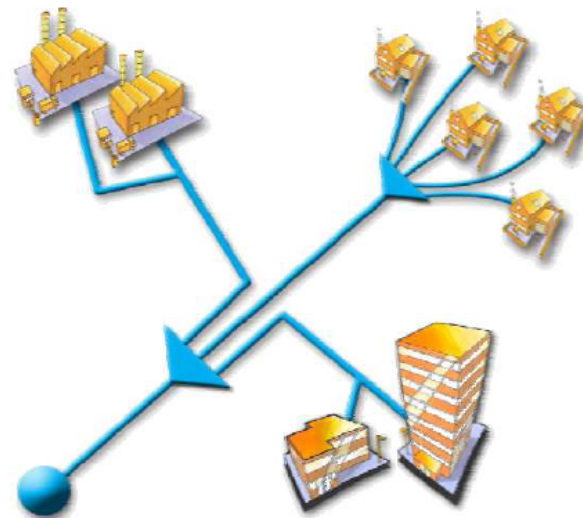
Standort & Topologie-Planung für das DFN-Netz: optimale Lösung



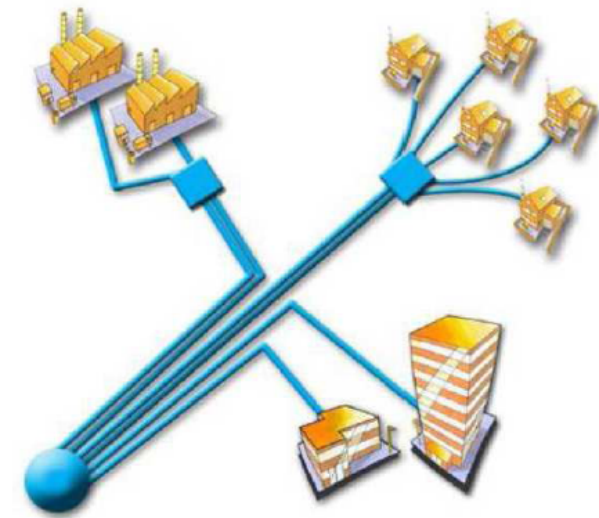


- ▷ Fiber Io Ihe x
 - ➔ Telecommunication access networks: “last mile” of connection between customer homes (or business units) and telecommunication central offices
 - ➔ Fiber optic technology: much higher transmission rates, lower energy consumption
- ▷ Multitude of choices in the planning of FTTx networks

Architecture:



PON



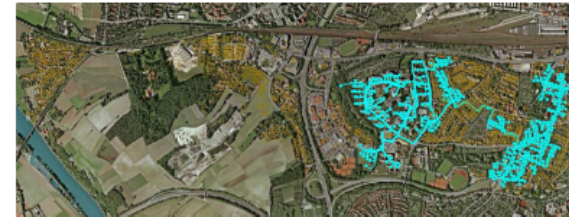
Point-to-point



- ▷ Fiber Io Ihe x
 - ➔ Telecommunication access networks: “last mile” of connection between customer homes (or business units) and telecommunication central offices
 - ➔ Fiber optic technology: much higher transmission rates, lower energy consumption
- ▷ Multitude of choices in the planning of FTTx networks

Target coverage rate:

60%



80%



100%





▷ BMBF funded project 2009–2011



➔ Partners:

atesio

 **Fraunhofer**
Heinrich-Hertz-Institut

 **BENTZ CONSULTING**
Kommunikationsnetze

 **VPI systems**®

➔ Industry Partners:

 **R-KOM**

 **Draka**

 Breitband Kompetenz Zentrum
Niedersachsen

▷ Compute FTTx network in several steps:

1. step: network topology

a) connect BTPs to DPs

b) connect DPs to COs

➔ integer linear program: concentrator-location

2. step: cable & component installation

3. step: duct installation

➔ integer linear program: cable-duct-installation



FTTH-Planungsbeispiel





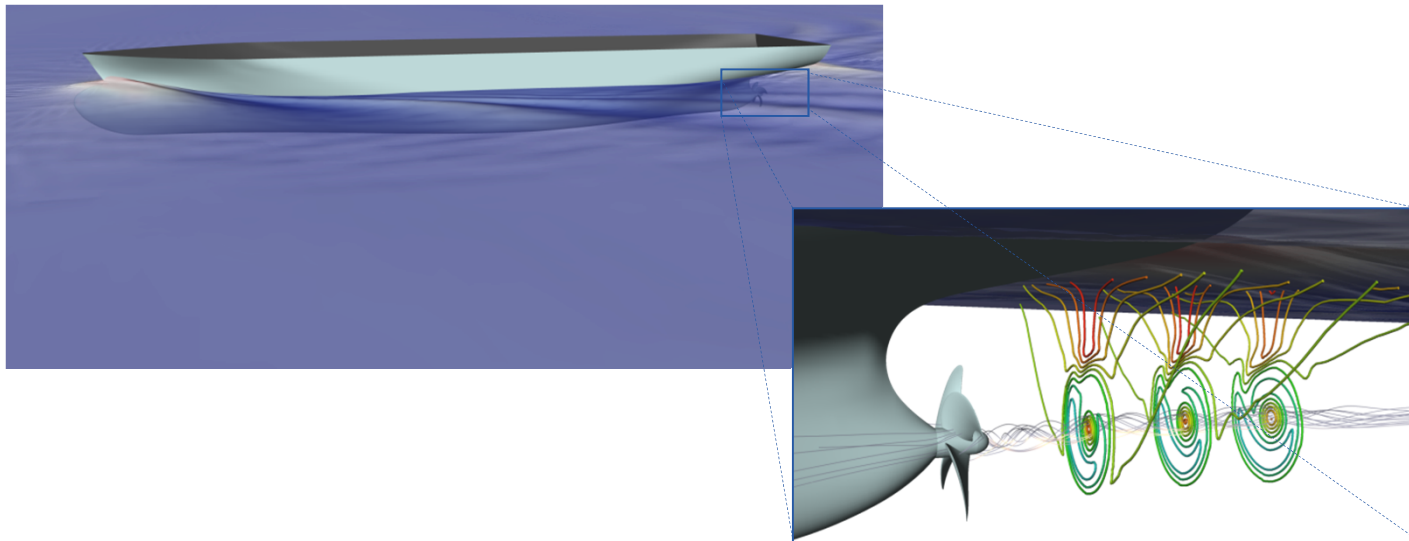
1. Einführung
2. Mathematische Modellierung elektromagnetischer Wellen und deren Folgen
3. **Mathematische Modellierung von Strömungen und deren Folgen**
4. Weitere Anwendungen



Die Grundgleichung der Strömungsmechanik

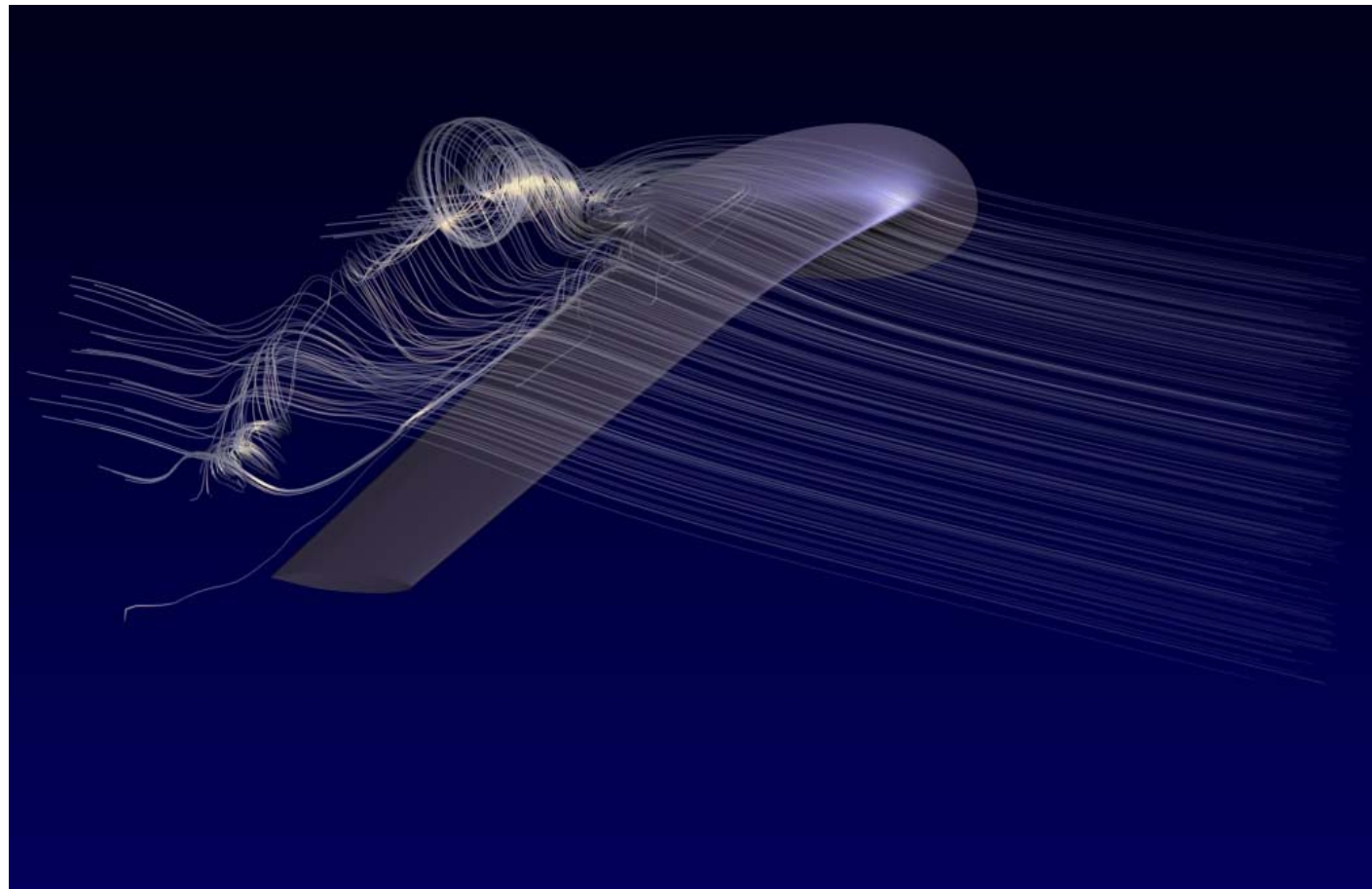
Ein System nichtlinearer partieller Differentialgleichungen
2. Ordnung.

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\nabla p' + \nu \Delta \mathbf{u} + \mathbf{f}' \quad \text{inkompressibler Fall}$$





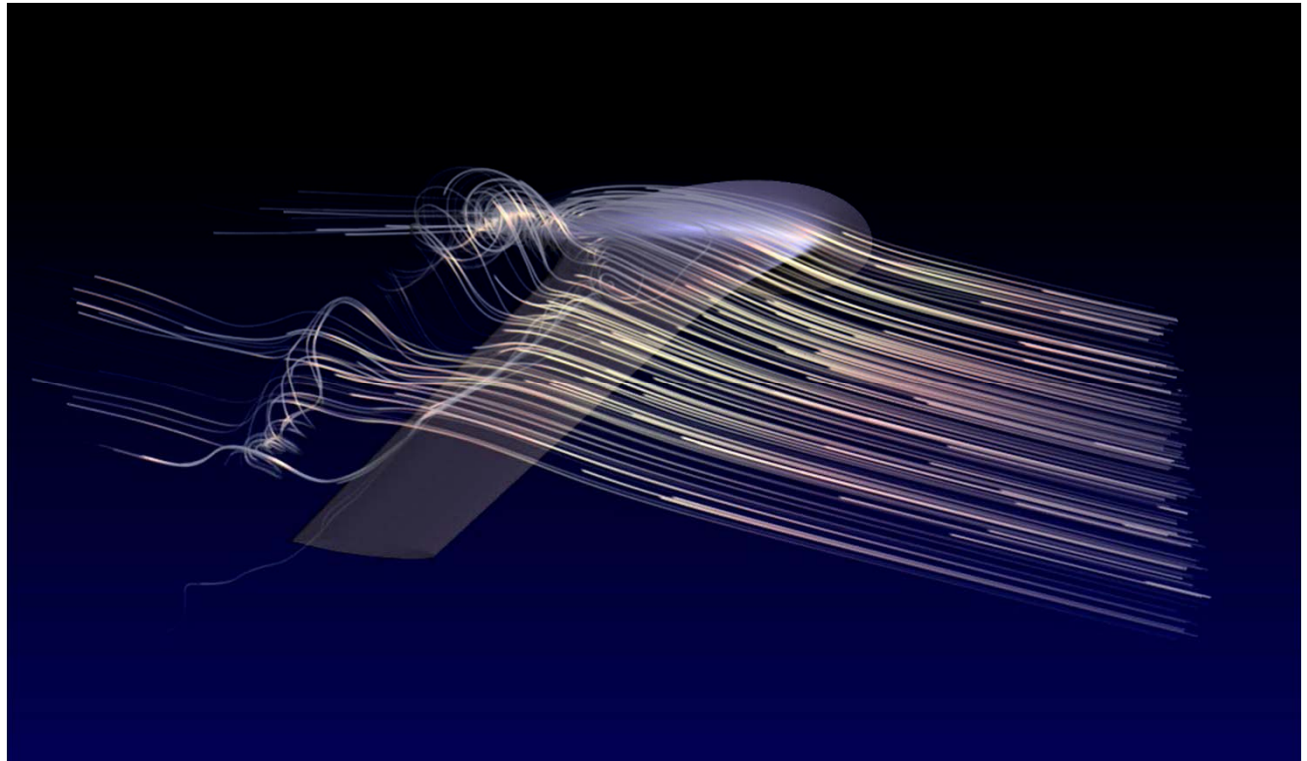
Allgemeiner: Die kompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen





Allgemeiner: Die kompressiblen Navier-Stokes- Gleichungen

Die Visualisierung der Lösungen ist ein eigenes sehr schwieriges Thema der Mathematik.





Ein 1-Million \$ Problem des Clay Institutes



Clay Mathematics Institute

Dedicated to increasing and disseminating mathematical knowledge

[HOME](#)

[ABOUT CMI](#)

[PROGRAMS](#)

[NEWS & EVENTS](#)

[AWARDS](#)

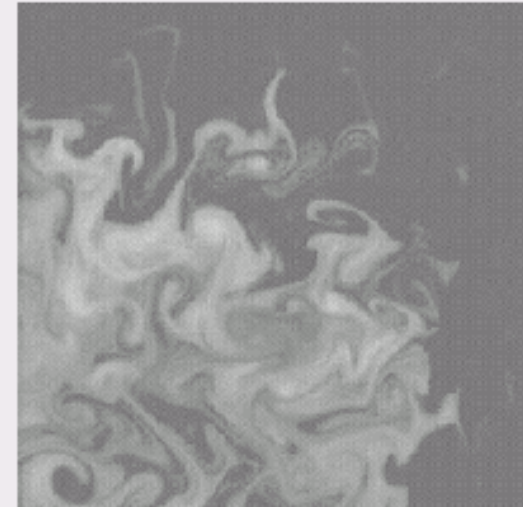
[SCHOLARS](#)

[PUBLICATIONS](#)

Navier-Stokes Equation

Waves follow our boat as we meander across the lake, and turbulent air currents follow our flight in a modern jet. Mathematicians and physicists believe that an explanation for and the prediction of both the breeze and the turbulence can be found through an understanding of solutions to the Navier-Stokes equations. Although these equations were written down in the 19th Century, our understanding of them remains minimal. The challenge is to make substantial progress toward a mathematical theory which will unlock the secrets hidden in the Navier-Stokes equations.

- ▶ [The Millennium Problems](#)
- ▶ [Official Problem Description — Charles Fefferman](#)
- ▶ [Lecture by Luis Caffarelli \(video\)](#)





Als der A 380 erstmals auf die Rollbahn fuhr und flog,
hat sich niemand gewundert.



- Flugzeuge: sicher, energieminimal,
- Flugverkehr: kollisionsfreier kostenminimaler Verkehr
- Flugplan
- Revenue Management
- Air Line Crew Scheduling (Piloten, Stewardessen)
- Robust Tail Assignment (Puffer zum Auffangen von Verzögerungen)

Ähnliche Probleme bei

- Bussen
- Bahnen



Kennt noch jemand Pan Am oder TWA?

Warum sind diese Fluggesellschaften verschwunden?

Monopole/staatliche Eingriffe & Wettbewerb



PEOPLEexpress wurde am 30. April 1981 als eine der ersten Billigfluggesellschaften der USA gegründet und nahm im selben Jahr den Flugbetrieb auf. Nach einem phänomenalen Wachstum scheiterte PEOPLEexpress schließlich an der Übernahme der ehemaligen Frontier Airlines (nicht zu verwechseln mit der noch heute aktiven, "neuen" Frontier). Obwohl die fusionierte Gesellschaft zur fünftgrößten Fluglinie der USA wurde, zeigte sich, dass die Geschäftsmodelle der beiden Fluglinien einfach zu unterschiedlich waren, um Synergien zu nutzen und am Markt erfolgreich bestehen zu können. Hinzu kam, dass nun auch andere Fluggesellschaften in das Marktsegment der Billigflieger drängten. PEOPLEexpress wurde schließlich am 1. Februar 1987 von Continental Airlines übernommen und vollständig in diese integriert.

http://de.wikipedia.org/wiki/People_Express



Einführung von Revenue Management (Yield Management)

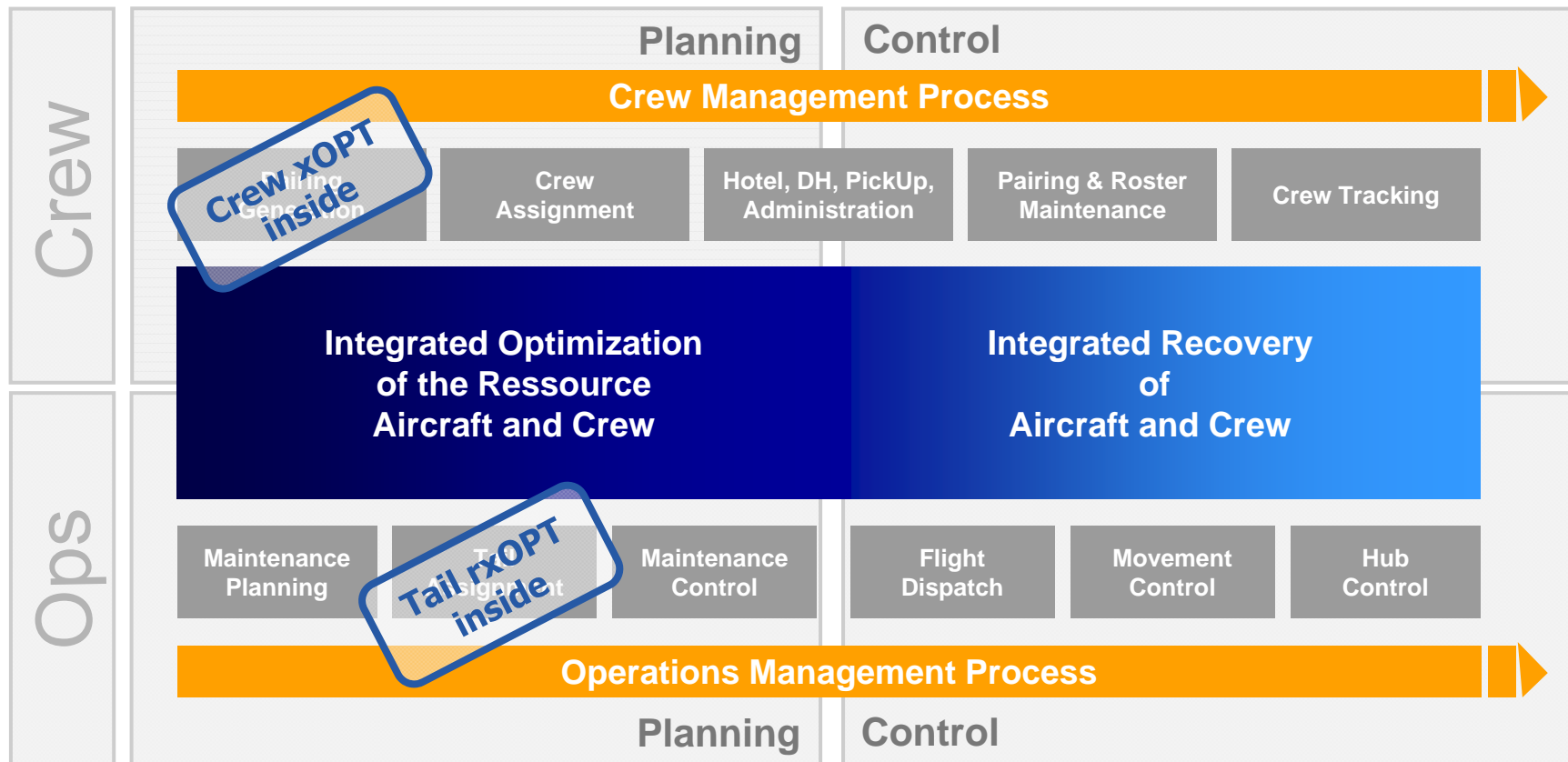
(Dies ist der Grund dafür, dass heute (beinahe) keine zwei Fluggäste in einem Flugzeug denselben Preis bezahlen.)

- Im Anschluss daran: massive Durchforstung der Effizienz aller Prozesse
- Konsequenz: Einsatz von Mathematik auf breiter Front. Einsatzplanung von Personal und Gerät, etc.
- Weitere Konsequenz: Wer nicht nachzog, verschwand vom Markt.

Workflow Oriented and Integrated Optimization: How fast business processes can follow IT?



Slide of LSB





How can I ...

SIEMENS

By overall Optimization of Rail Operations

Objectives

- Maximum utilization of available resources, reducing „total costs of ownership“
- Creating timetables by optimizing assets (trains, infrastructure), people (crews) and other operating costs (energy, maintenance)
- Online correction/re-action in case of failures
- Continuous information to all stakeholders (passenger, staff, management)
- Fulfilling business targets (e.g. performance contracts)
- Easy to use, easy to use, easy to use, ...

Mathematik, Informatik, Ingenieurwissenschaften, Betriebswirtschaft



▷ Schweizer Sonntagszeitung 24.08.2008

Ein ganz scharfer Fahrplan

Mit einer neuen Planungssoftware holt die SBB das Letzte an Kapazität aus ihrem Streckennetz

VON MICHAEL SOUKUP

Die Schweiz hat das dichteste Eisenbahnnetz der Welt. Und es platzt aus allen Nähten. Mittlerweile brausen täglich 6800 Personen- und 2800 Güterzüge durch das Land. Über jeden Meter Schiene rollen Tag für Tag mehr als 90 Züge – in Deutschland sind's halb so viele. Seit der Jahrtausendwende nahm die Auslastung um ein Fünftel zu, bis 2014 kommen weitere 10 Prozent dazu. Allein letztes Jahr schwoll der Personenverkehr um sechs Prozent an.

Mit Hardware kann die SBB das Wachstum zurzeit nicht bewältigen: Der nächste grosse Streckenausbau wird nicht vor 2015 fertig sein, ausserdem stehen die ersten paar der dringend benötigten Doppelstock-Triebzüge ebenfalls erst in ein paar Jahren zur Verfügung. Das Problem muss mit Software gelöst werden. Als erste Publikation konnte die Sonntagszeitung einen Blick auf das neue «netzweite Trassensystem (NeTS)» werfen.

Das kürzlich von SBB-Informatikern eingeführte Computerprogramm kitzelt aus dem über 3000 Kilometer langen Strecken-

netz den letzten «Zugmeter» heraus. «Heute verfügt keine andere Bahn, weder in Europa noch sonst wo auf der Welt, über derart leistungsfähige, elektronische Werkzeuge», sagt SBB-Projektleiter Uwe Kolk.

Der aktuelle Fahrplan wurde noch mit Systemen konstruiert, die während der letzten zwanzig Jahre entwickelt wurden. «So wie die ersten Digitalkameras, die Ende der Achtzigerjahre auf dem Markt kamen, bilden die alten Computersysteme der Fahrplanplanung den Plan nur unscharf und in geringer Auflösung ab.»

Bei Weichen und Signalen wird die Fahrzeit gemessen

In den vergangenen fünf Jahren entwickelte ein Team von über 60 Leuten unter der Leitung der Zürcher Informatikfirma Netceera in Zusammenarbeit mit SBB, Ergon und Nose das neue Planungswerkzeug. «Es bildet, wie die modernen Digitalkameras die Urteilsfotos, den Fahrplan in sehr hoher Auflösung, sprich Genauigkeit ab», erklärt der 44-jährige Wirtschaftsinformatiker Kolk. Bestand der Plan früher vornehmlich aus den Abfahrtszeiten aus einem

Bahnhof und Ankunftszeiten im folgenden Bahnhof, so errechnet NeTS die Fahrzeit an jeder Weiche und an jedem Signal. Im Fachjargon heisst dieses Vorgehen **gleisgenau**.

Seit dem 21. Juli entwickeln die ersten 50 SBB-Planer mit dem neuen System den Fahrplan 2010. Bis zum Fahrplanwechsel am 12. Dezember 2009 werden 500 weitere Personen ihre Tätigkeit auf NeTS aufnehmen. Dabei wird die Maschine mit Umengen von Informationen gefüttert. Wenn beispielsweise der IC 828 in Zürich um 15.00 nach Bern abfährt, müssen die Fahrplanplaner vorher gegen 200 Parameter berücksichtigen: Tageszeit, das Rollmaterial, die Zugart, die Zuglänge, die Gleislänge oder Konflikte bei der Ein- und Ausfahrt. Auf den gesamten Fahrplan hochgerechnet, verarbeitet NeTS etwa 3,6 Milliarden Informationseinheiten. Diese Informationsflut benötigt zwischen 500 bis 700 Gigabytes Speicherplatz.

Doch nicht spannend wird es erst, wenn sich etwas ausser Plan ereignet. Wegen Hunderten von Baustellen, Sonderzügen für Fussballspiele, Grossereignissen wie



Details für den Fahrplan 2010: Nur für Lalen verwirrtlich

ALLES AUF EINEN BLICK

Der **Screen Shot** wurde auf dem **Testsystem von NeTS** erstellt und zeigt den Stand erster Planungsarbeiten für die **Fahrplanperiode 2010**. Oben rechts ist eine **Grossansicht des Hauptgleisbelegungsplans** des Zürcher

Hauptbahnhofs zu sehen. Unten ein **Zeit-Weg-Liniendiagramm** der Strecke von Zürich Richtung Bern. Links Mitte findet sich der **Trasseneditor** mit allen editierbaren Parametern (Trassen), darunter die **Trassenliste**.

der Autosalon oder den schwer planbaren Gütertransporten muss der Fahrplan eines Zuges immer wieder angepasst werden. Solche Veränderungen haben Einfluss auf die Fahrzeit. Früher ordnete der Disponent diese als Reservezeiten einem Zug pauschal zu. Allfällige Umfahrungsmöglichkeiten lagen nur auf Papier vor.

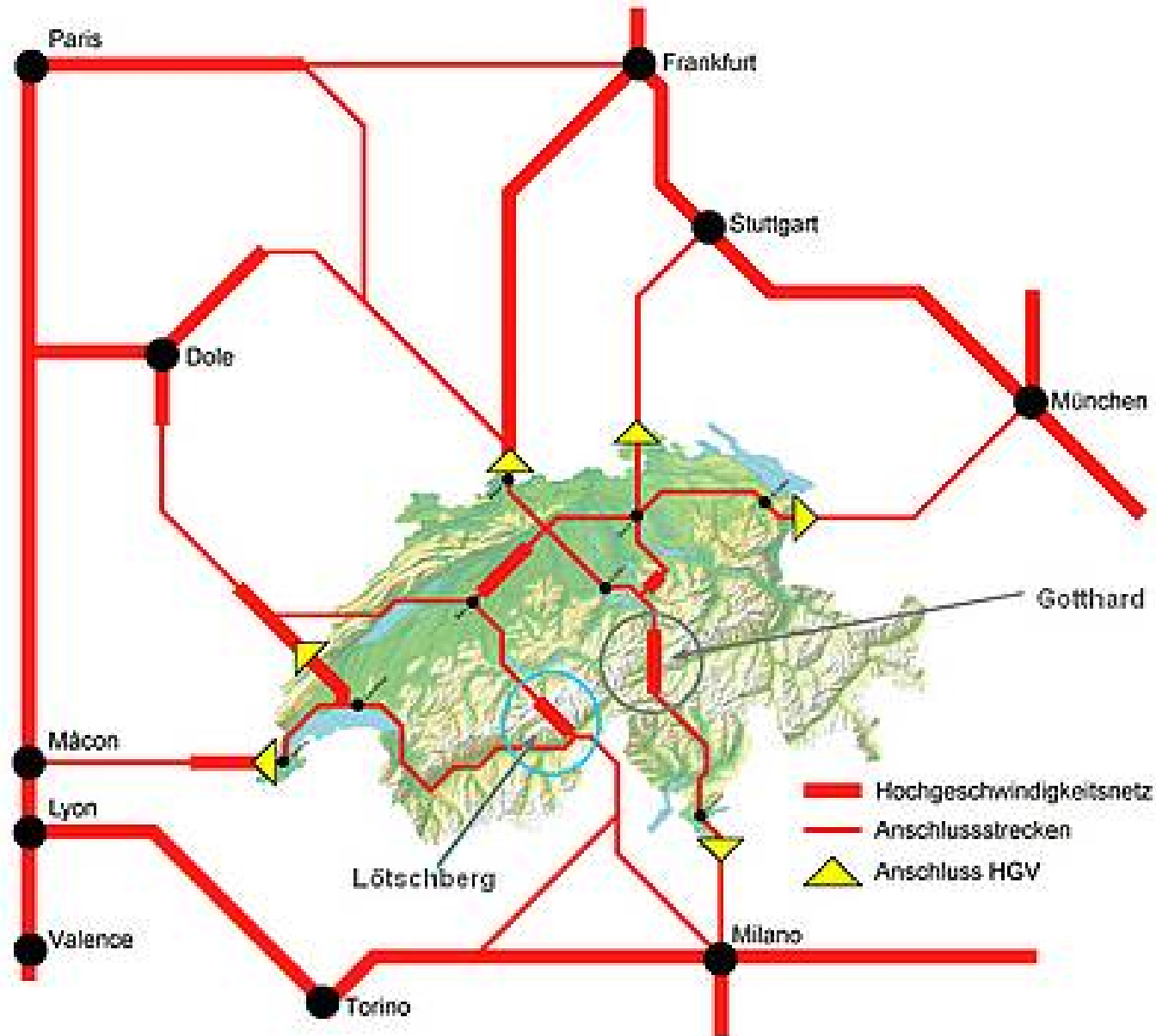
Probleme mit Kaffeemaschinen kann das System nicht lösen

Heute werden Alternativen blitzschnell auf Knopfdruck generiert, und die besten ausgewählt. Allfällige Verspätungen lassen sich so auf ein Minimum reduzieren. Das NeTS passt schliesslich auch die Einsatzzeiten der Lokführer, Rangierleute, Reinigungskräfte und Elvetino-Mitarbeiter an.

Doch ein Problem kann auch das neue digitale Wunderding nicht lösen: Die dauernd kaputten Kaffeemaschinen-Akkus der über hundert Elvetino-Railbars. «Leider haben wir heute nur Cappuccino aus Pulver». Das nervt Steuard wie Reisende gleichermaßen. Höchste Zeit, dass sich die SBB auch diesem Problem mit oberster Priorität widmen.



European „Bottlenecks“





Long Distance Passenger Transport

Given

- ▶ Timetabled trips, possible deadheads
- ▶ Railcars
- ▶ Composition rules
- ▶ Maintenance rules
- ▶ Regularity rules

Find

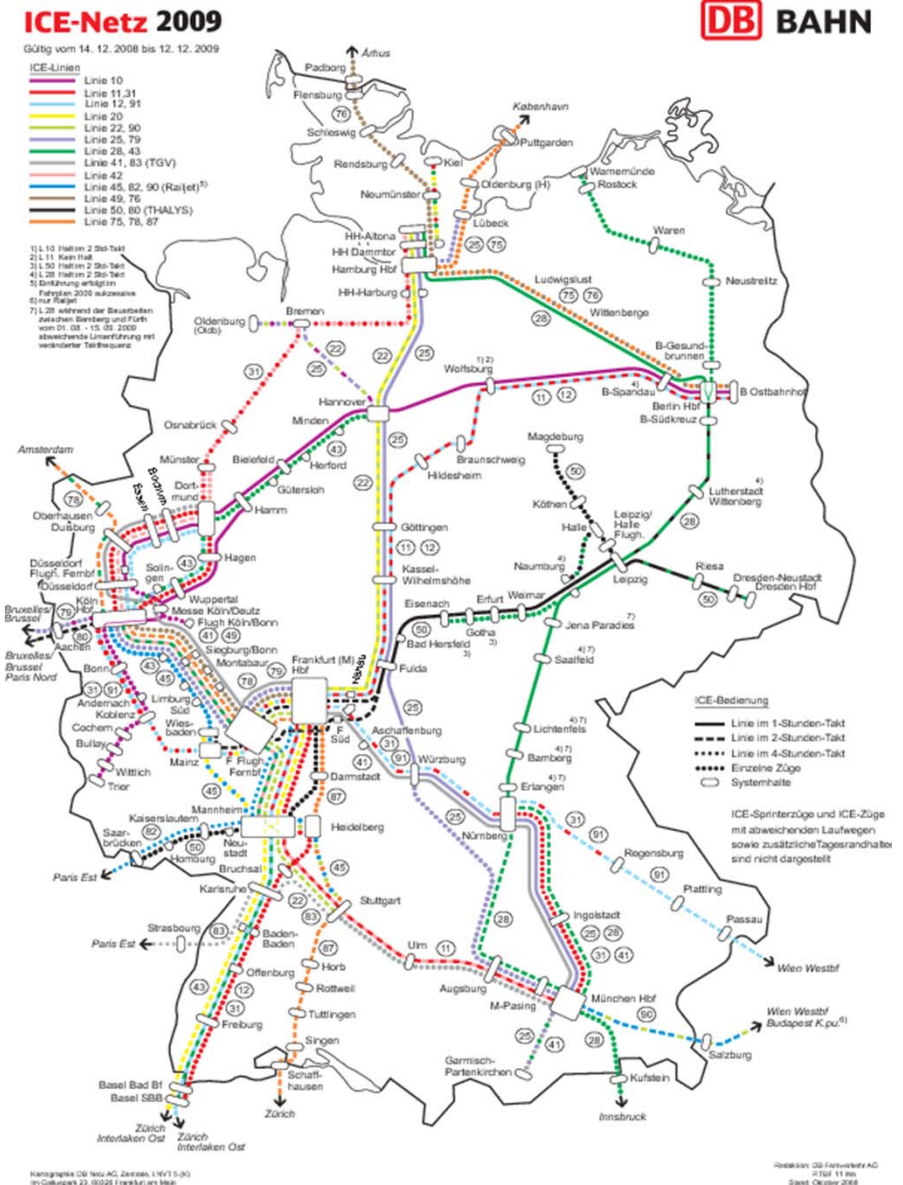
- ▶ Train compositions
- ▶ Railcar rotations

Objectives

- ▶ Minimize fleet/costs
- ▶ Maximize regularity

Scenarios

- ▶ Standard week
- ▶ Dated problem





Timetabled Trips

(ICE1 standard week)

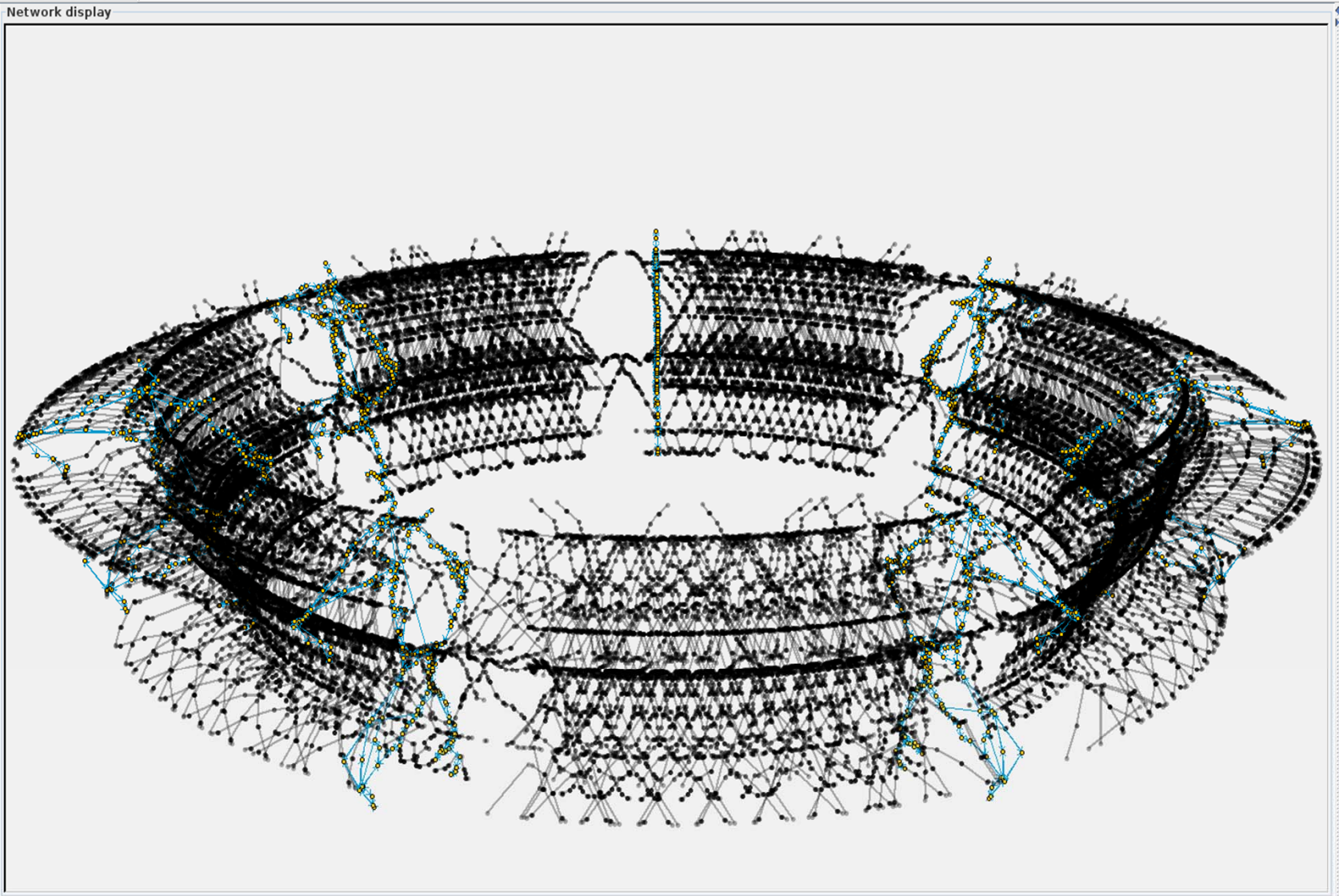
TraVis 2008

File Options

Help

Animati...

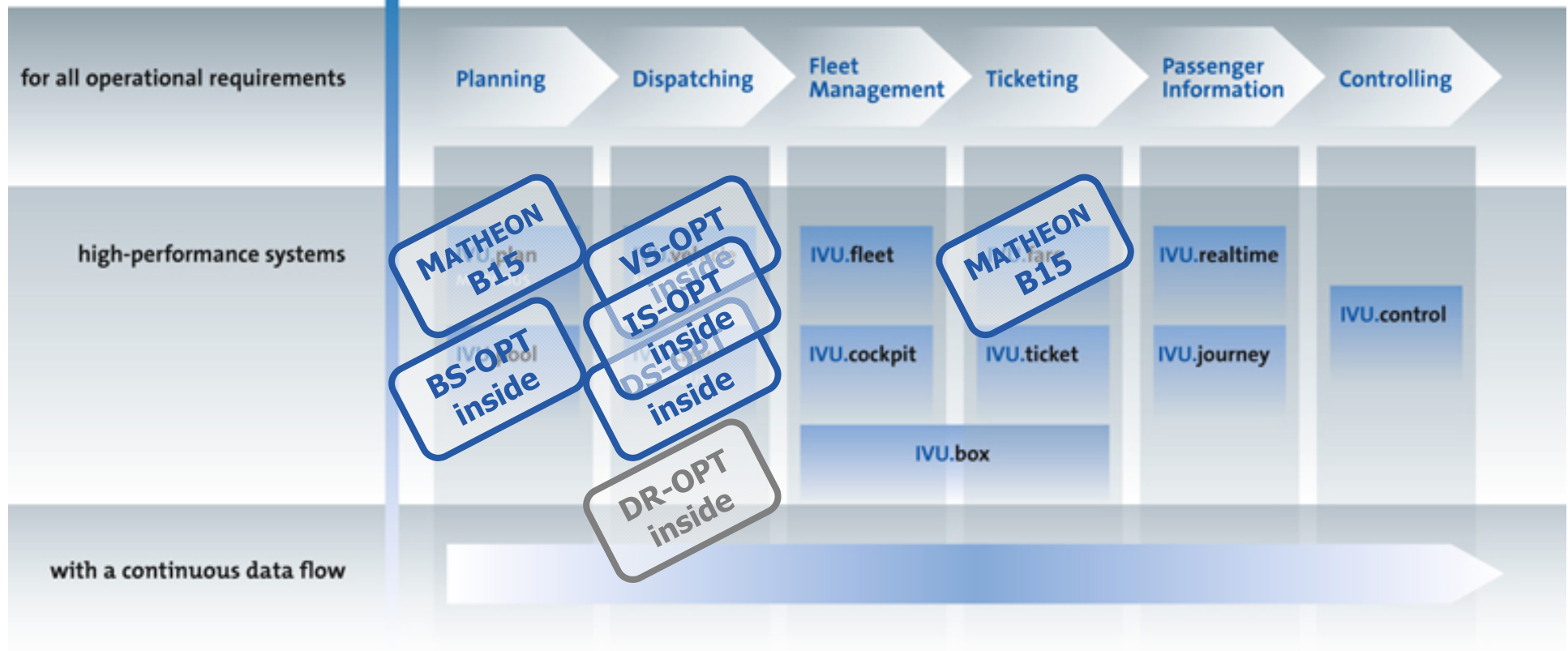
- Train paths
- Tracks
- Stations
- Requests
 - [00] 5
 - [01] 5
 - [02] 5
 - [03] 70
 - [04] 71
 - [05] 72
 - [06] 73
 - [07] 74
 - [08] 75
 - [09] 76
 - [10] 77
 - [11] 78
 - [12] 79
 - [13] 270
 - [14] 271
- Traintypes



Memory usage: 532 MB | 19.93 %

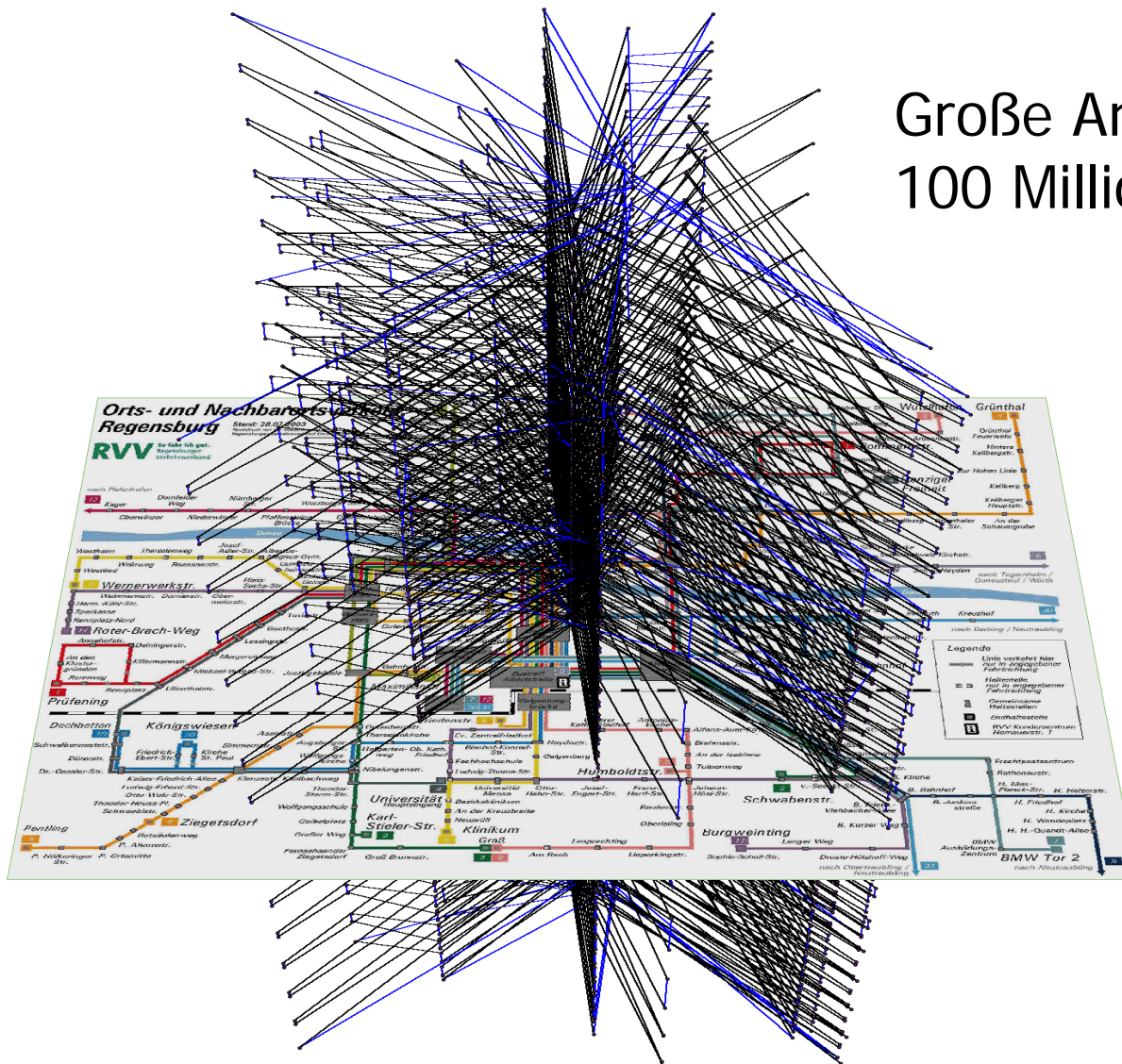


IVU suite The IVU.suite for Public Transport





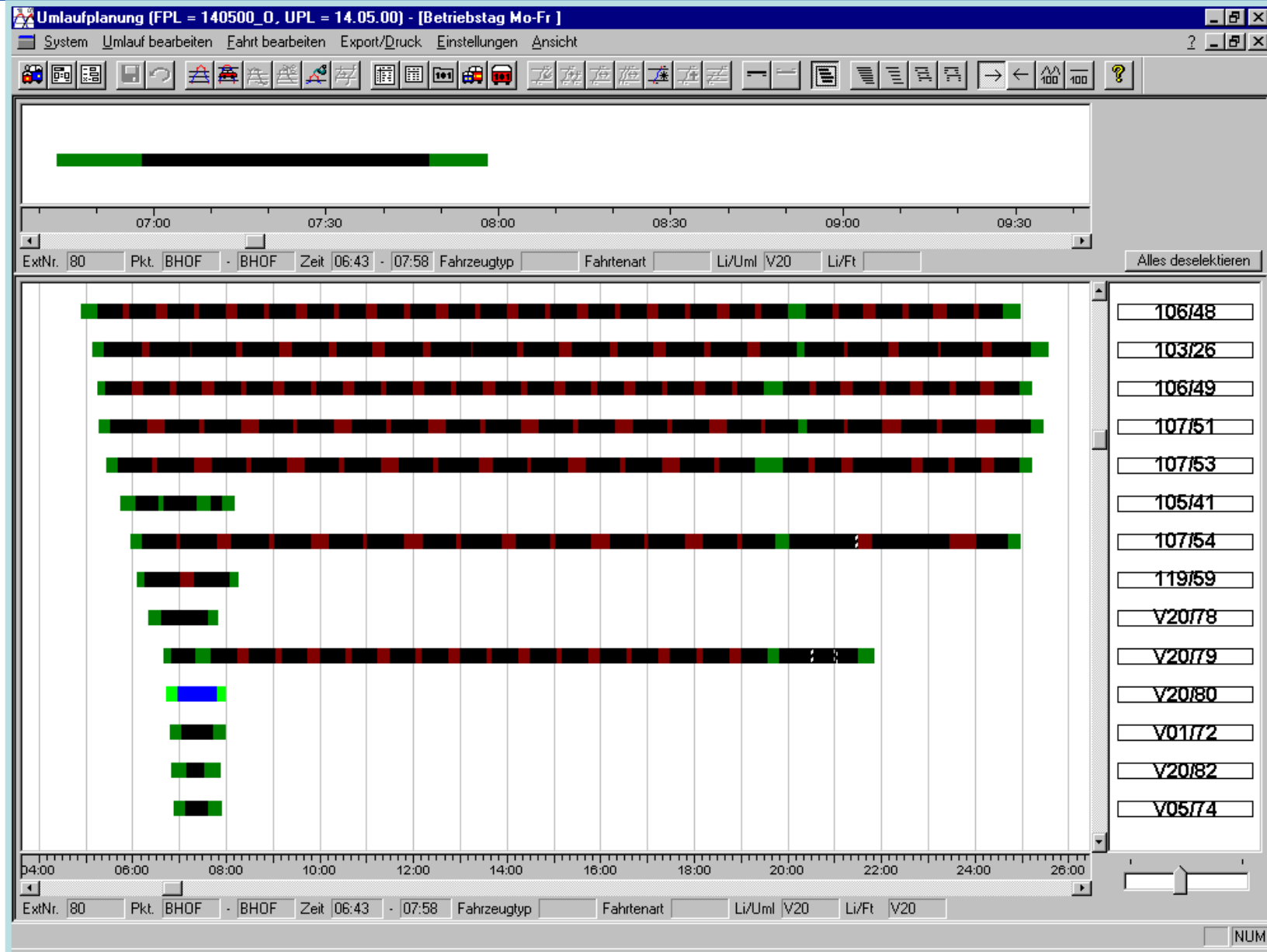
Fahrzeugeinsatzplanung im öffentlichen Nahverkehr



Große Anwendungsfälle:
100 Millionen Variable

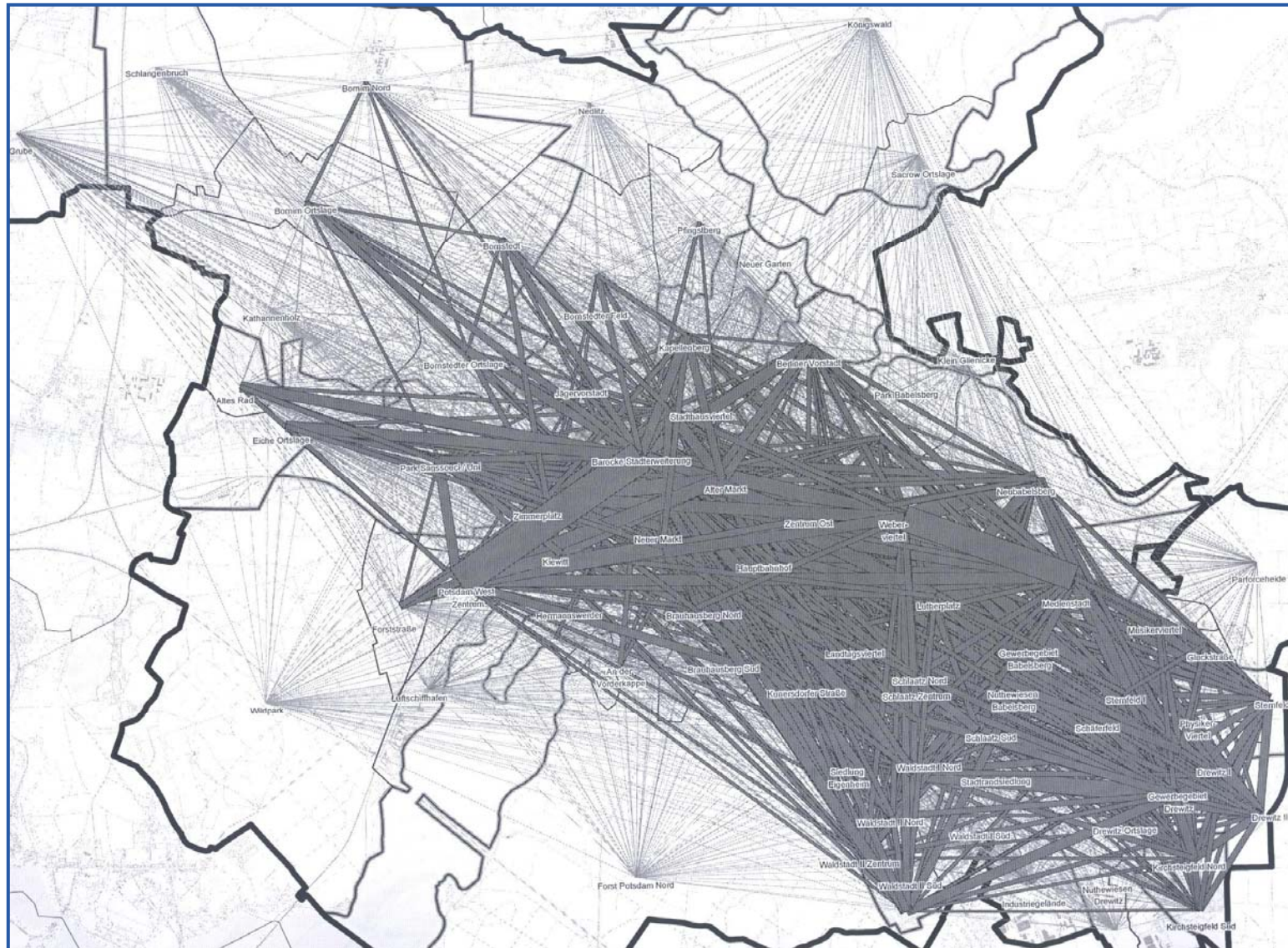


Fahrzeugeinsatzplanung



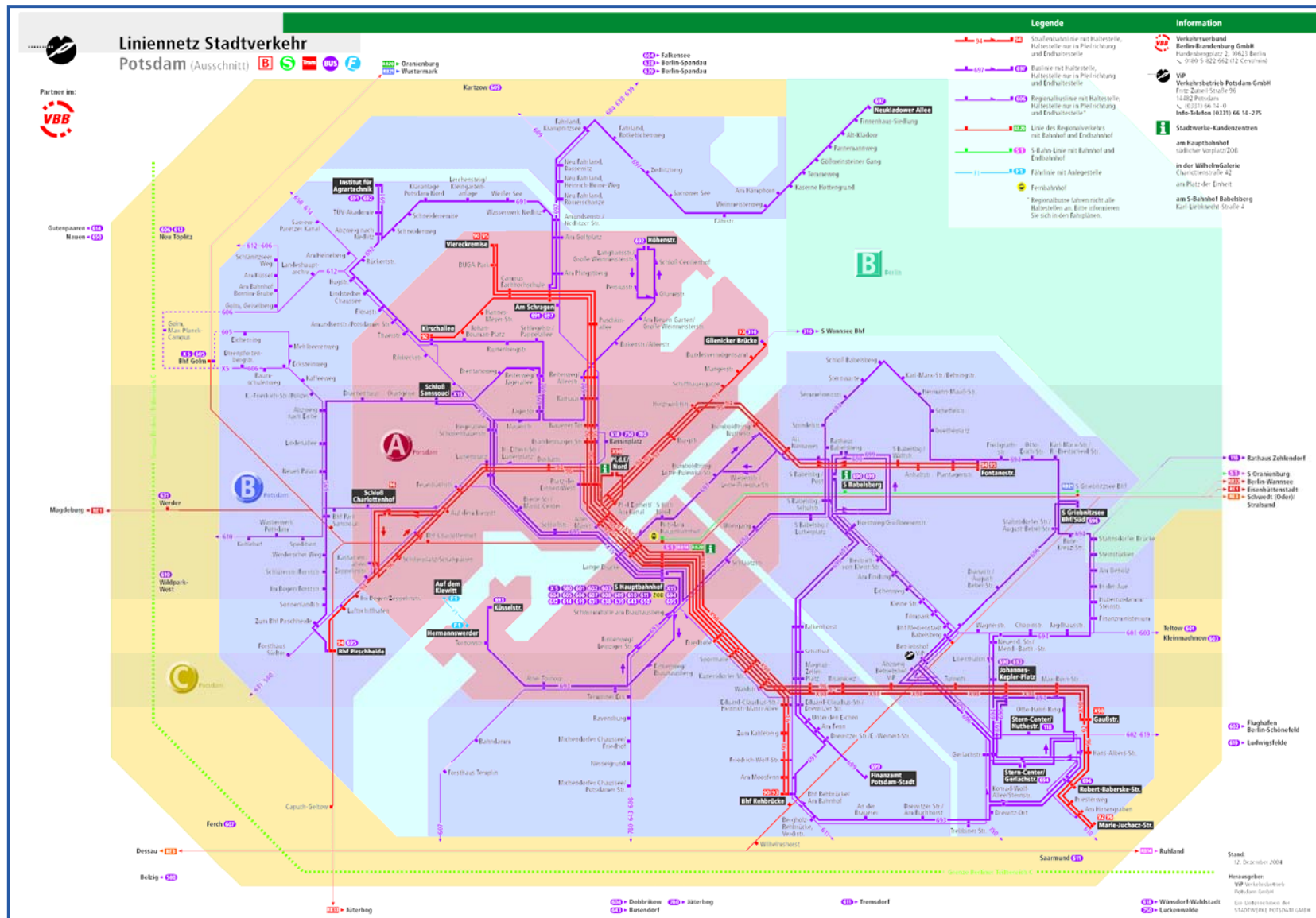


Nahverkehrsnachfrage in Potsdam: O-D-Matrix





MATHEON B15: Linienplan Potsdam





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

ABSCHNITT V

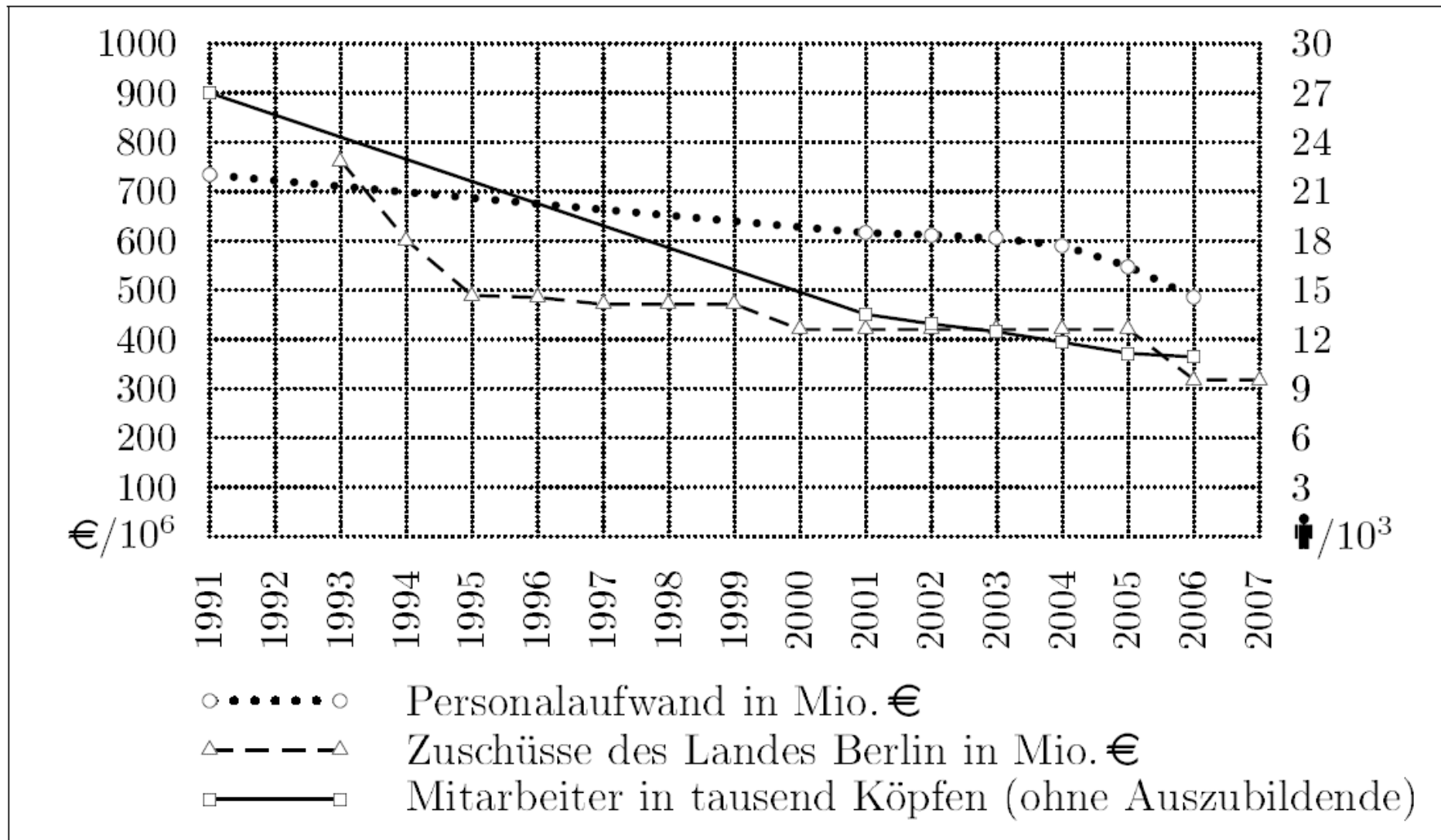
Unterbrechungen und Ruhezeit

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.



Einsparungen: Die BVG in Zahlen





Mathematik – Treiber wirtschaftlichen Fortschritts

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

Prof. Dr. Martin Grötschel
MATHEON, ZIB und TU Berlin

Übersichtsvorlesung in ADM I, WS 2012/13

DFG Research Center MATHEON
Mathematics for key technologies



28. 9. 2012