

Verkehrssysteme des Öffentlichen Verkehrs

Methoden zur Optimierung der Betriebsplanung und -steuerung im ÖPNV

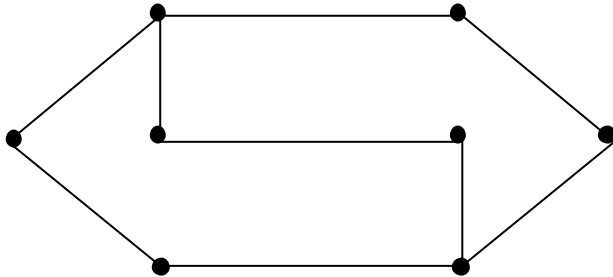
Einsatz von Automatisierungstechnik zur Qualitätssteigerung

- ▶ **Definitionen und Beispiele**
- ▶ **Regler für Regelmäßigkeit und Pünktlichkeit**
- ▶ **Expertensystem**
- ▶ **Kundeninformation in Echtzeit mittels SMS**
- ▶ **Messung des Fahrkomforts**

Was wird im ÖPNV geplant?:

- ▶ **Linienetzplan**
- ▶ **Fahrplan** (Umlaufpläne, Personal/ Wageneinsatz, Fahrgastinfosysteme, ...)
- ▶ **Fahrzeuge und Verkehrswege** (Fahrzeugtechnik, Trassierung, Energieversorgung, Betriebshöfe, Werkstätten, Haltestellen, RBL, VLSA, Sicherungsanlagen, ...)
- ▶ **Instandhaltung** (Wartung, Reinigung, Life-Cycle-Costs, ...)
- ▶ **Tarifplan** (Vertrieb, Kundenservice, Einnahmensicherung)

Problemformulierung



$$\text{Min} : Z = c_1 \sum_{i,j=1}^n d_{ij} \cdot t_{ij} + c_2 \sum_{k \in R_{SR}} f_k \cdot t_k$$

$$f_k \geq f_{\min} \quad \forall k \in R_{SR} \quad \text{Taktbeschränkung}$$

$$l_k \leq l_{\max} \quad \forall k \in R_{SR} \quad \text{Kapazitätsbeschränkung}$$

Genetischer Algorithmus

Randomly initialize the population
repeat

 find objective function value
 find fitness function value
 generate next population using operators
 reproduction
 crossover
 mutation

until convergence

Fitness function:

$$F(i) = V - \frac{O(i) \cdot P}{\sum_{j=1}^P O(i)}$$

Beispiel – Fahrplanauskunft GIS

fahrplanauskunft

wir bewegen die stadt.

suche per eingabe

von haltestelle ort

nach haltestelle ort abfahrt: uhr . .

erweiterte suchoptionen

- abfahrtszeit
- ankunftszeit
- nicht umsteigen
- fahrradmitnahme

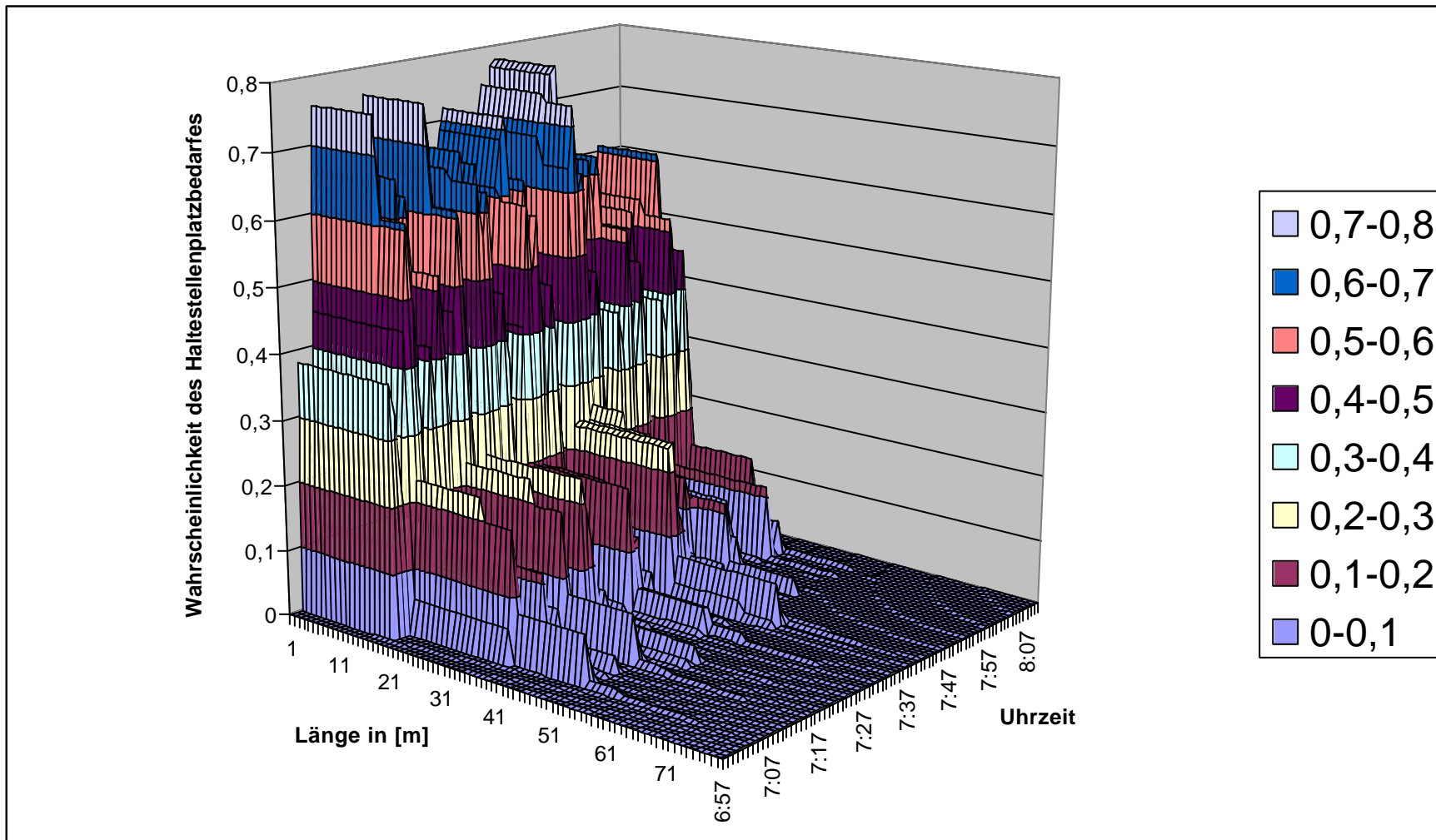
suche nach bezeichnung

haltestelle
strassenname ibk
linien der IVB
wichtiger punkt
adresse
ort

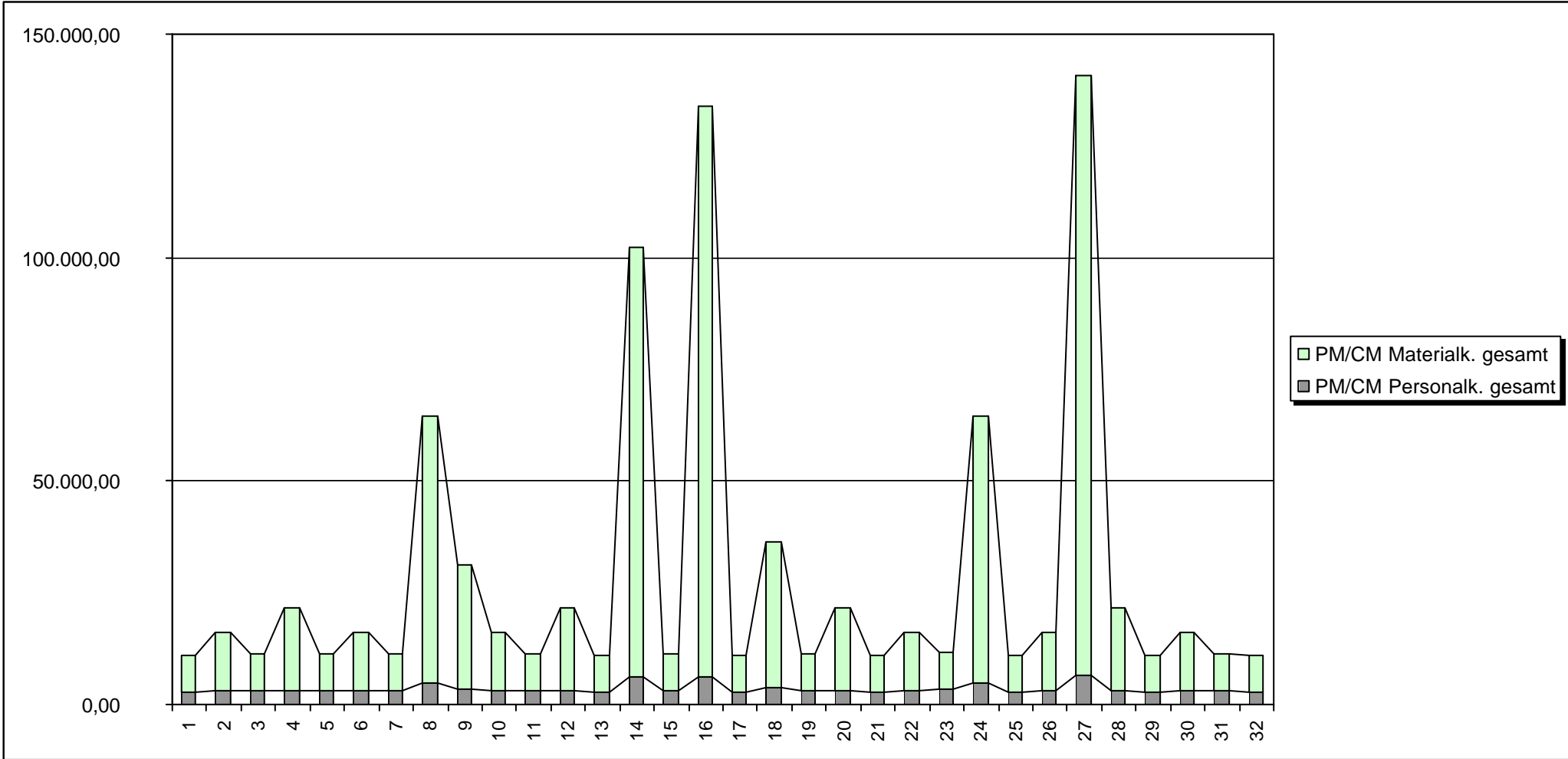
suche mittels plan

Internetzone

Beispiel - Haltestellenplatzbedarf



Beispiel – Life-Cycle-Costs



Beispiel - Einnahmensicherung

DIVA-ERGOFAP Kartenfenster

Datei Statistik Einstellungen Ansicht Fenster ?

Plan: WVST Bzw: <Alle Betriebszweige> <Alle>

Freitag, 04.02.2000

Dienst	Person	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
03/1	RIN								00	00	30		00	30	30				
04/1	MUG	02602	03811	30															
06/1	WÖL																		
08/1	BIE	01411	03921	30															
09/1	SCH	02602	02581	30															
20/1	FAU		01153	30	01071														
22/1	WEB		01403	30	01431														
24/1	SIG									32	10	30							
26/1	GIE		04331	04861	30														

Prüfabchnitte

Statistik, Zeitbereiche A, B, C vom 01.01.1999 bis 31.12.1999
Quote: 2,60 %, Geprüfte FG: 335022, Beanstandungen: 8708, Prüfungen: 2279

Prü...	Prü...	Name	Qu...	Gep...	Be...		
04	322	Echterd-Harthausen	2,27	793	18	9	
01	403	Hbf Vogelsang Bus	2,72	1324	36	10	
03	811	Büsnau Vaihingen	2,30	1001	23	10	
03	841	Vaihingen Sifi Messe	2,70	1187	32	10	
Sper...	CW	Cannstatter Wasen	2,52	437	11	11	
02	422	Wag/Ostendstr. - Hbf	4,32	1226	53	11	
04	321	Filderbus Gesamt	3,35	1133	38	11	
01	431	HBF - Messe Li.43	2,79	1435	40	14	
02	421	Schloß. Wag/Oste.	2,60	1615	42	14	
02	602	Fellbach Oeffingen	2,82	2201	62	14	
03	423	HBF - Schreiberstr.	2,81	2420	68	14	

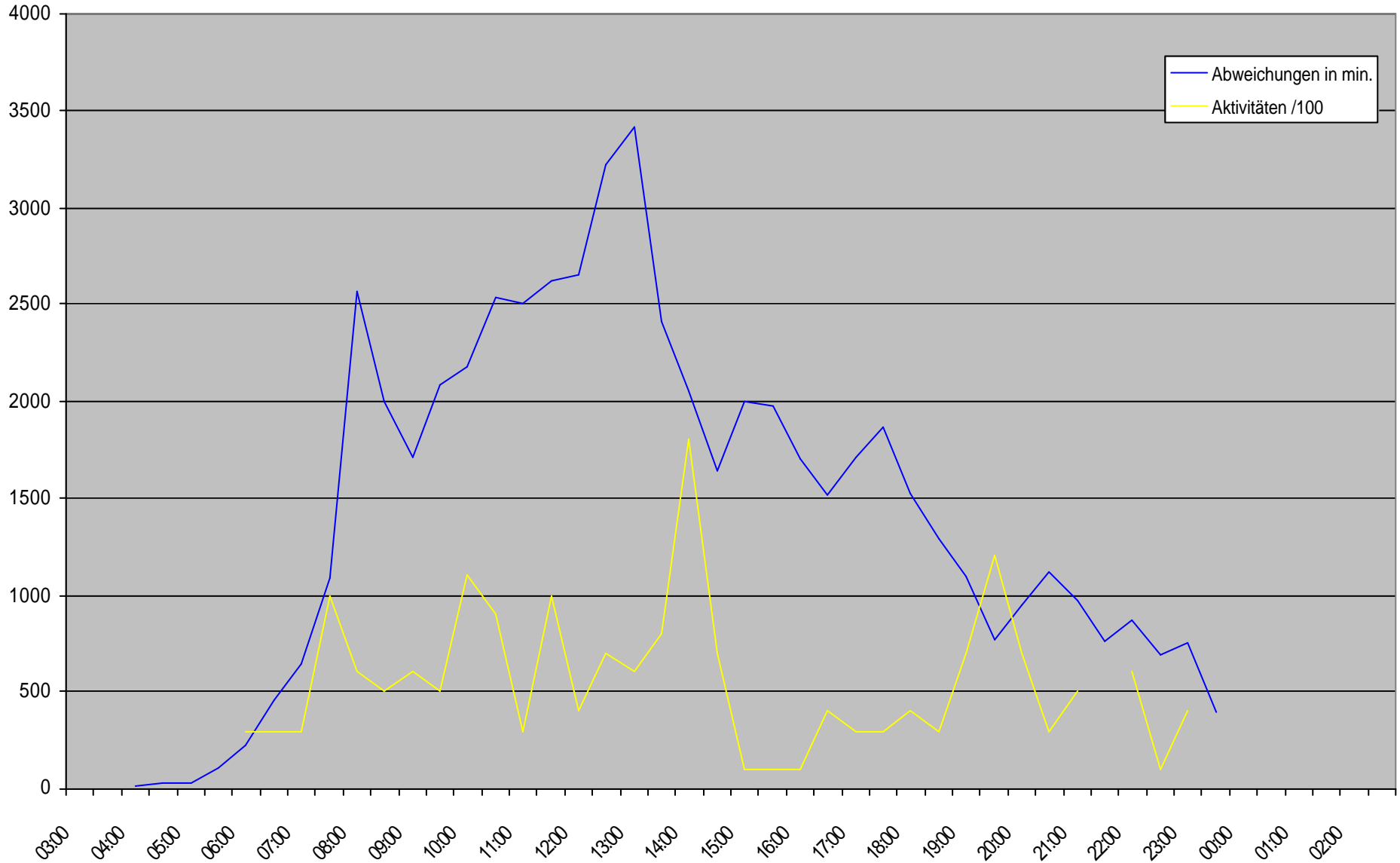
Kartenfenster

X: 3514380 Y: 753326 18:50:12 09.05.2000 RF

Was wird im ÖPNV gesteuert?:

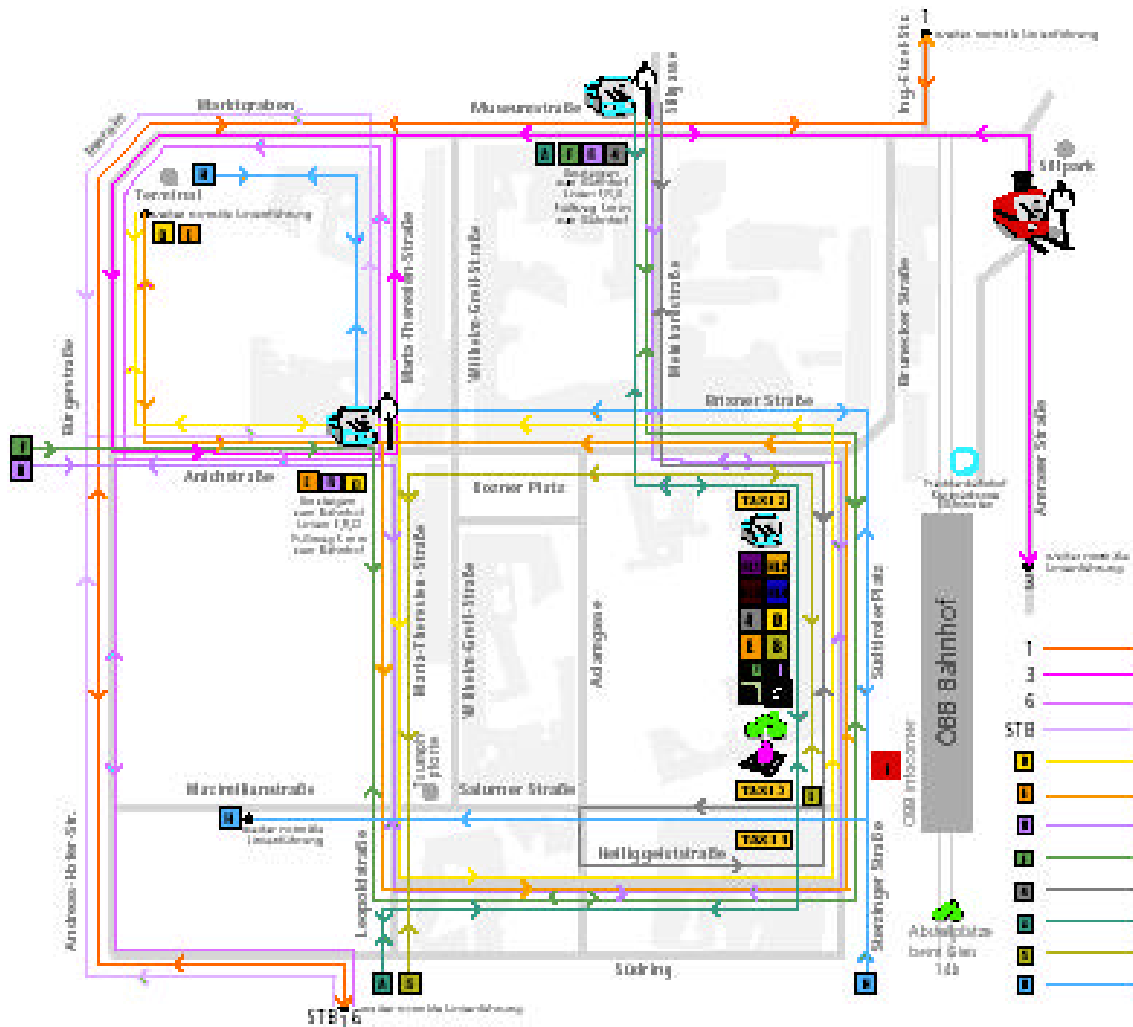
- ▶ **Betrieb im engeren Sinne** (Minimierung der Abweichungen vom Soll -> Qualitätssicherung)
- ▶ **Organisatorische Änderung**
- ▶ **Angebotsänderung**

Beispiel – Fahrplanabweichung im Netz



Beispiel – Angebotsänderung

projekt bahnhof neu



O-Bus und Dieselbuslinien

Diese Linien bleiben während der gesamten Bauzeit am Südtiroler Platz. Für die Linien DVE wird eine neue Endstation am Busbahnhof errichtet. Alle Regionallinien verkehren unverändert, der Busbahnhof bleibt vorerst „unberührt“.



Straßenbahnen

Die Gleise der Straßenbahnen wurden verlagert. Die neuen Streckenführungen der Linien 1, 3, 6 und Südtiroler Platz entnehmen Sie bitte dem Plan.



Taxi

Je nach Baufortschritt werden die Taxis in unmittelbarer Nähe zum Bahnhof ihre Standorte einrichten: Salurner Straße/MPPreis, Brnxner Straße/Europastüber, Südtiroler Platz/BAWAG.



Radfahrer

Fahrad-Abstellplätze befinden sich am ehemaligen Gleis 14b der Mittenwaldbahn.



Fußgänger und Pendler

Gehwege werden entsprechend den einzelnen Baustapen eingerichtet. Während der gesamten Bauphase steht den Fußgängern ein Gehweg zur Verfügung.

Automatisierungstechnik

- ▶ **Prozessautomatisierung**
- ▶ **Regelungstechnik**
- ▶ **Nachrichtentechnik**
- ▶ **Informatik**

Die Entwicklung der Automaten gibt der menschlichen Rasse eine neue und sehr nützliche Ansammlung mechanischer Sklaven, die ihre Arbeit verrichten.

Norbert Wiener (1894 - 1964), US-amerikanischer Mathematiker, entwickelte Grundlagen von Informationstheorie und Kybernetik

**ZUVERLÄSSIGKEIT -
ERHÖHT DEN KUNDENNUTZEN**

KUNDENNUTZEN



MOBILITÄTSBERATUNG

VERSTÄNDLICHKEIT DES ANGEBOTES

FAHRZEUGAUSFALL

BEHINDERUNGSFREIHEIT

UMLEITUNGSINFORMATION

STÖRUNGSABWEICHUNGSINFORMATION

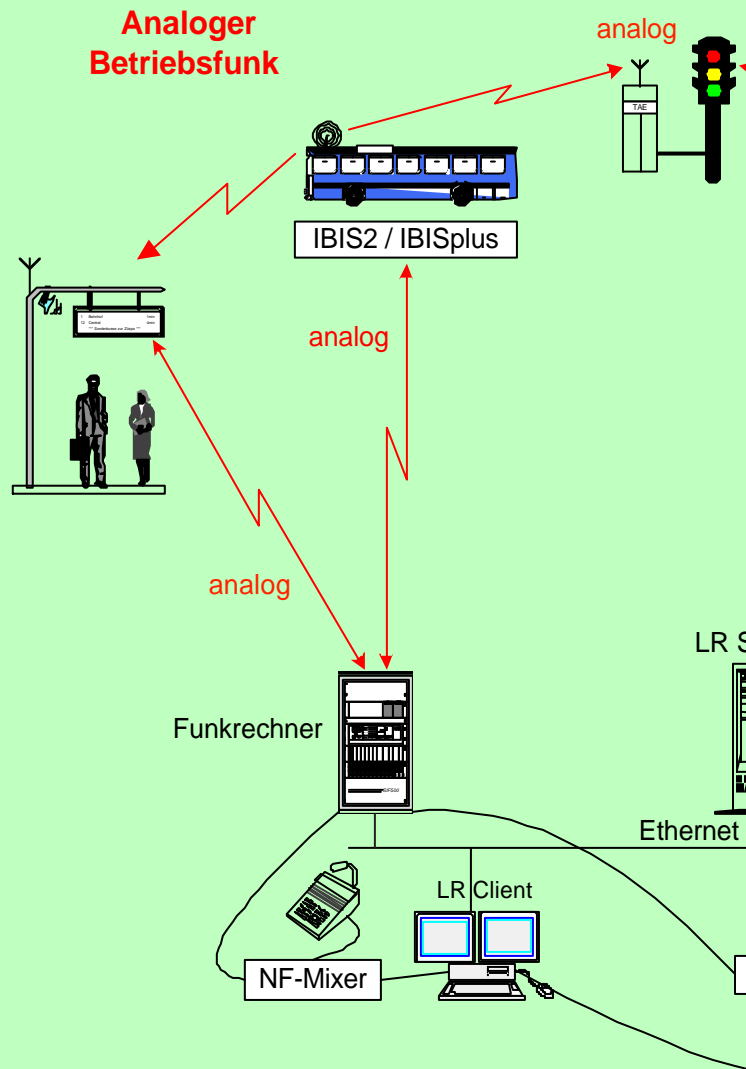
STÖRUNGSABBAU

STÖRUNGEN

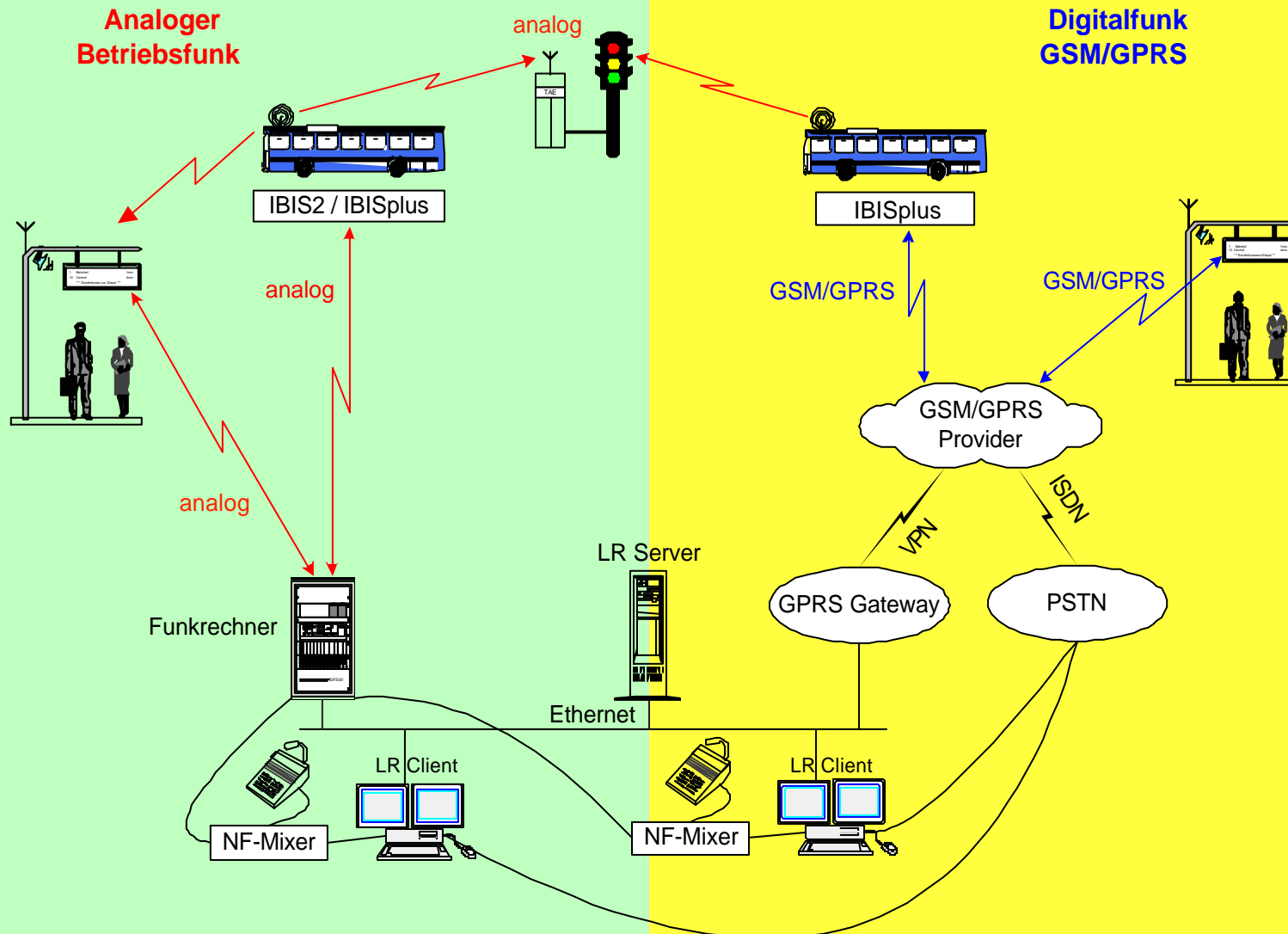
PÜNKTLICHKEIT

FÄHIGKEIT ZUR BEWÄLTIGUNG VON AUSNAHMESITUATIONEN

Grobkonzept RBL mit Analogfunk und GSM/GPRS



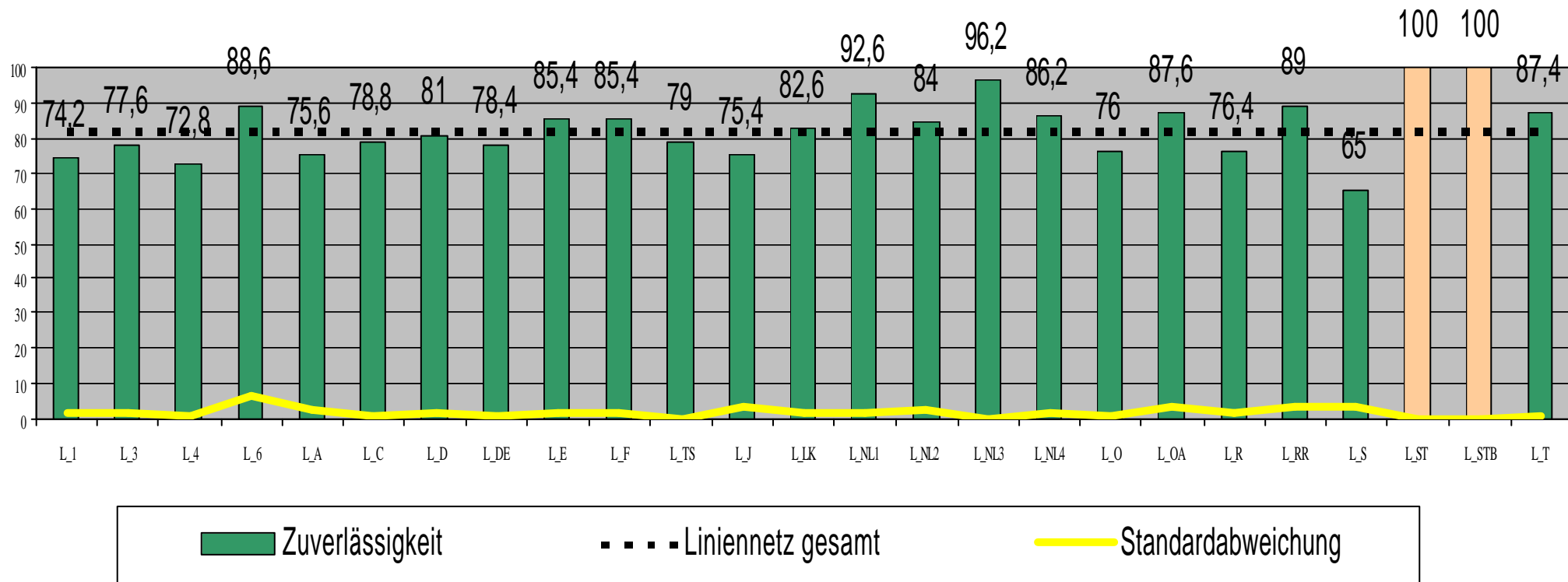
Grobkonzept RBL mit Analogfunk und GSM/GPRS

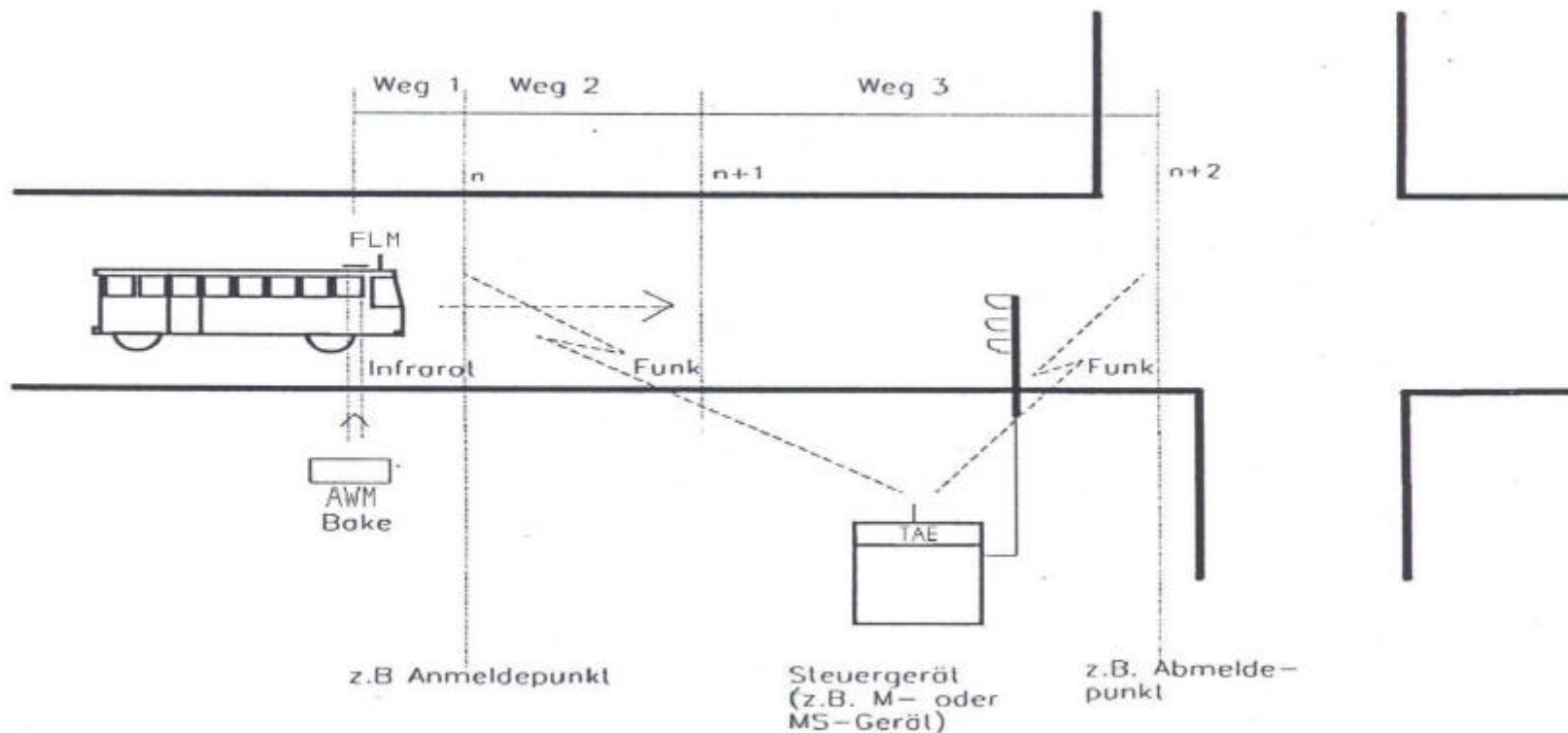


RBL Ergebnisse

- ▶ **Verbesserung der Pünktlichkeit, Regelmäßigkeit und Zuverlässigkeit**
- ▶ **Sicherung der Fahrplananschlüsse**
- ▶ **Verbesserte Information an Fahrgäste im Fahrzeug und an den Haltestellen**
- ▶ **Lichtsignalbeeinflussung zur Bevorzugung**
- ▶ **Betriebsstatistiken zur Unterstützung der Verkehrs- und Betriebsplanung**

1. Halbjahr 2003





LSA – Beeinflussung über Datenfunk

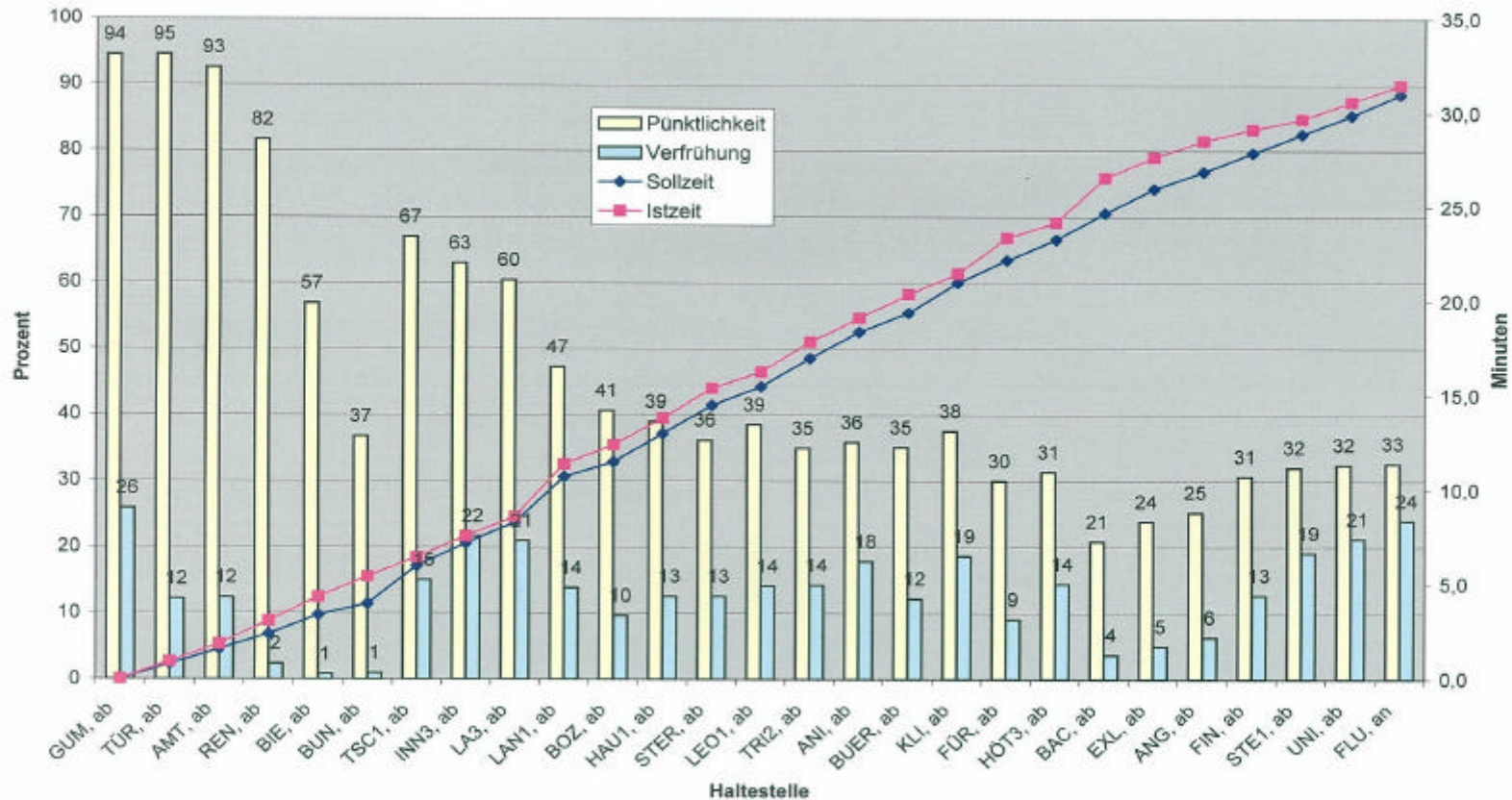
RBL – rechnergestütztes Betriebsleitsystem

Innsbrucker Verkehrsbetriebe
und Stubaitalbahnen GmbH

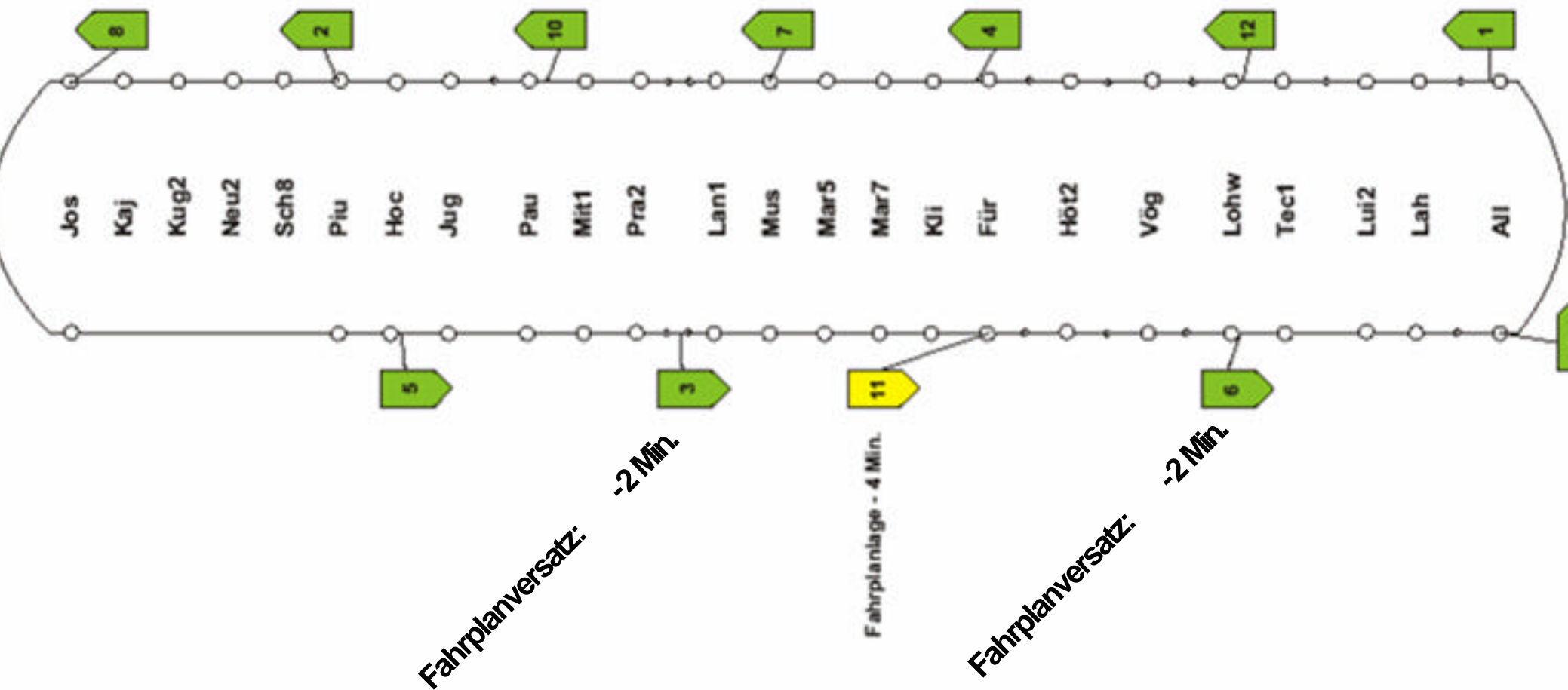
Linie: F
Bedienqualität

25.06.03

TA: 11 Datum: 8.1.-20.3.2003 Zeitraum: 700-1900 Uhr
Anzahl der Fahrten: 857



Ausgangssituation:



Problemformulierung

Diskreter Zustandsraum

$$\underline{x}(k+1) = \underline{x}(k) + \underline{d}(k) + \underline{w}(k) + \underline{u}(k)$$

$$y(k) = c_1 \cdot \sum_i \Delta x(k) + c_2 \cdot \sum_i x(k)$$

Nebenbedingungen:

$$\underline{w}(k) > \underline{x}(k) + \underline{d}(k) + \underline{u}(k) \Rightarrow \underline{x}(k+1) = 0$$

$$\underline{d}(k) < 0$$

$$\underline{u}(k) \text{ beschränkt}$$

x ... Fahrplanabweichung

d ... Störung

w ... Wendezeit

u ... Fahrplanversatz

c_1, c_2 ... Kostenfaktoren

y ... Ausgangsfunktion

k ... Abtastschritt

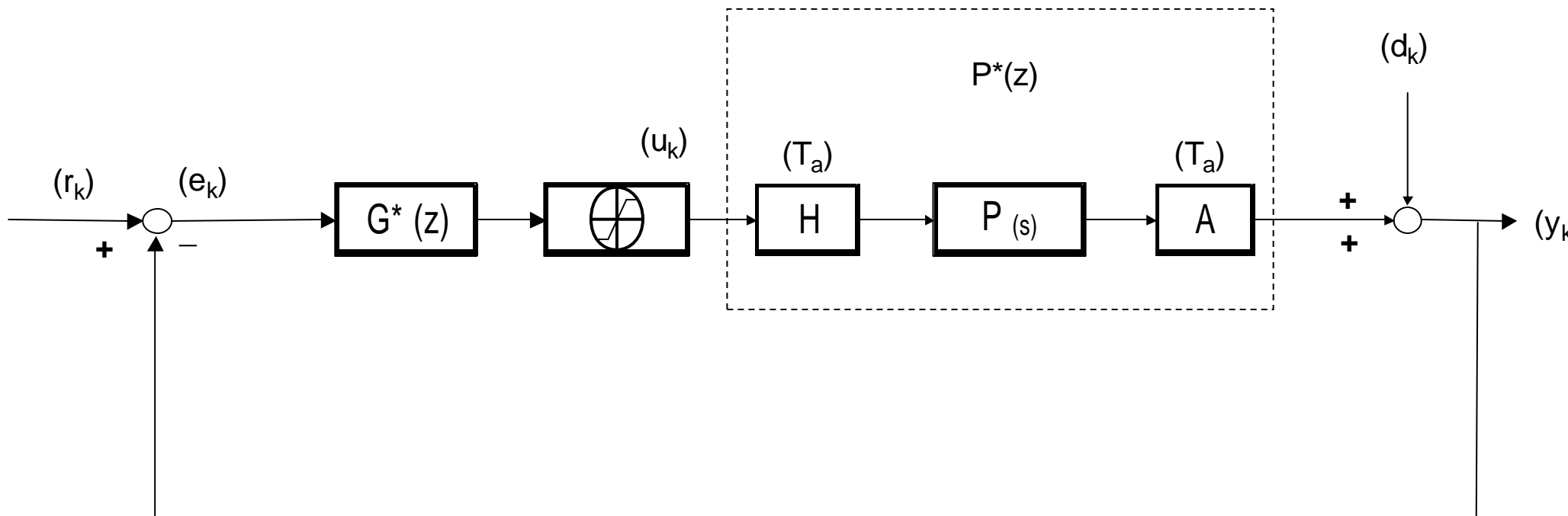
i ... Fahrzeuge

$$\Delta_1 x_2(k) = x_1(k) - x_2(k)$$

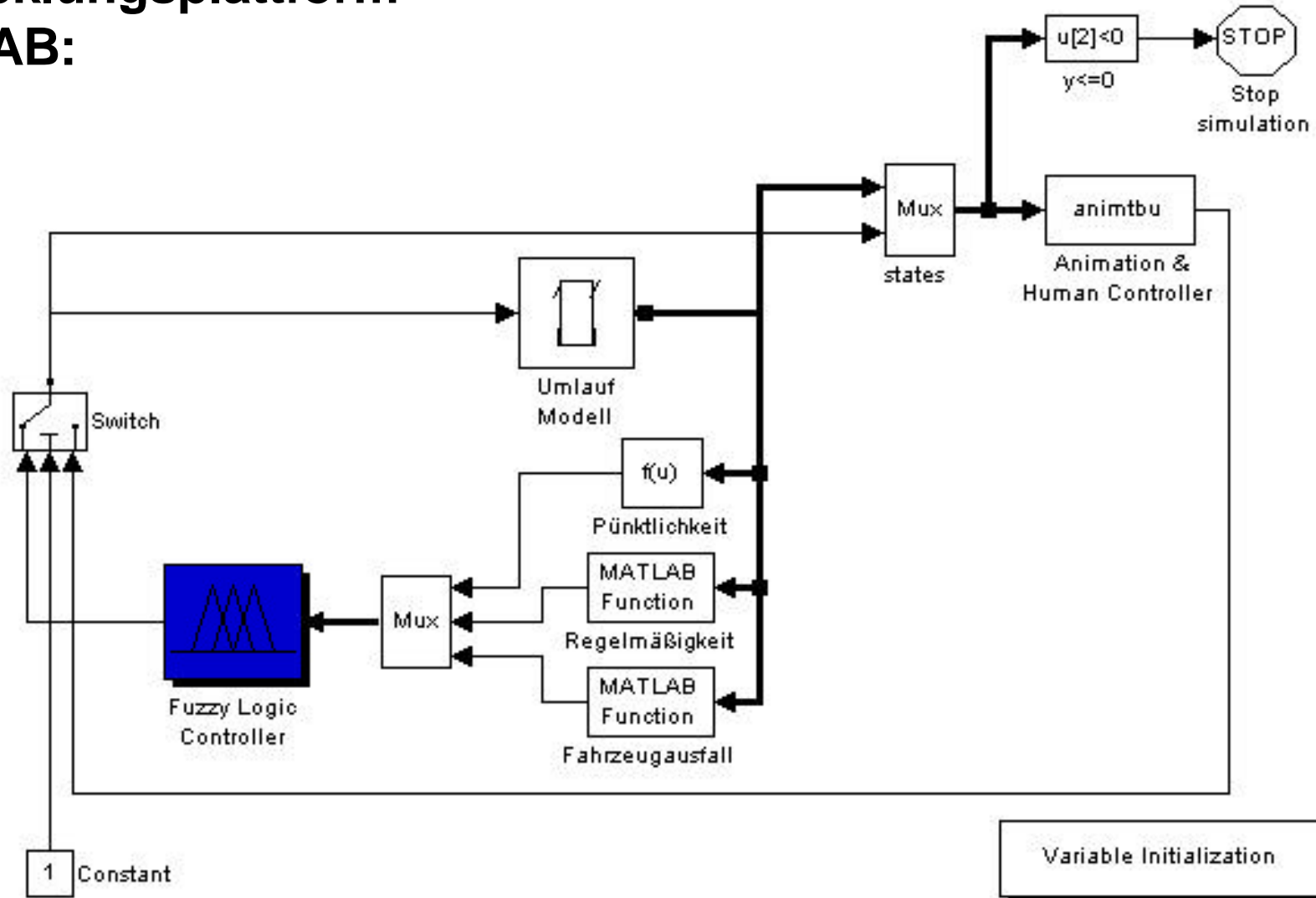
Lösungsansatz:

- ▶ **Unbeschränkte nichtlineare Minimierung**
- ▶ **Beschränkte nichtlineare Minimierung**
- ▶ **Quadratische und lineare Programmierung**
- ▶ **Petri Netze**
- ▶ **Genetische Algorithmen**
- ▶ **Spieltheorie**
- ▶ **Dynamische Programmierung**
- ▶ **Neurale Netze**
- ▶ **Fuzzy Logik**
- ▶ **Regelungssysteme**

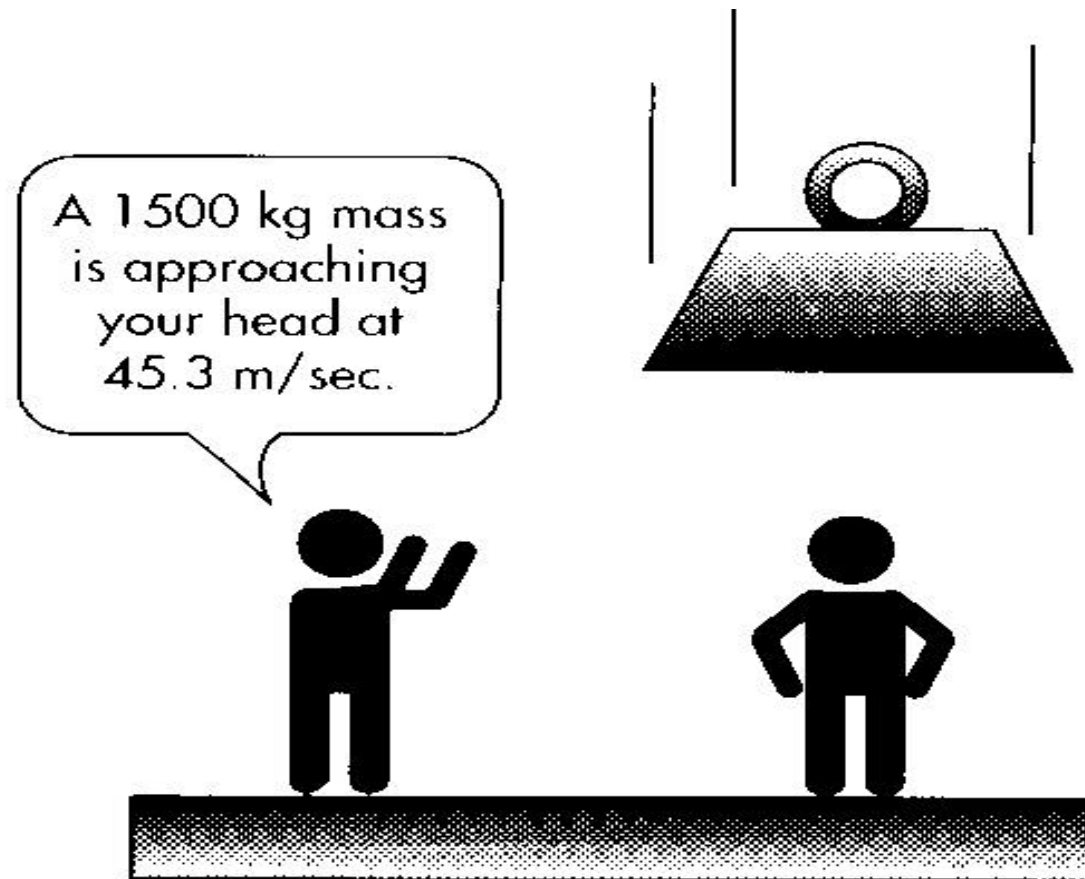
Abtastregelkreis:



Entwicklungsplattform MATLAB:

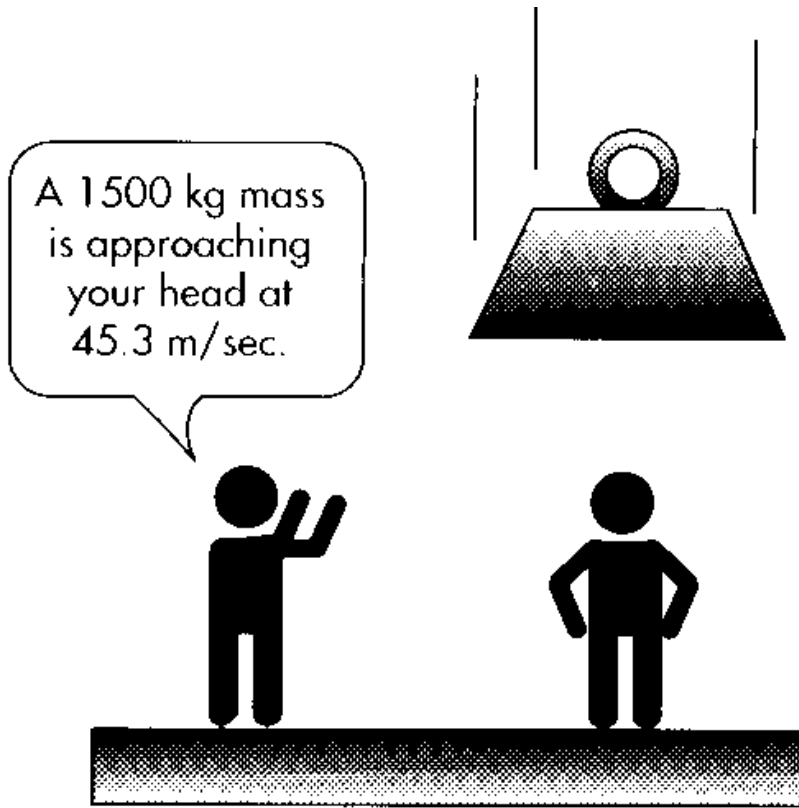


Fuzzy - Welt

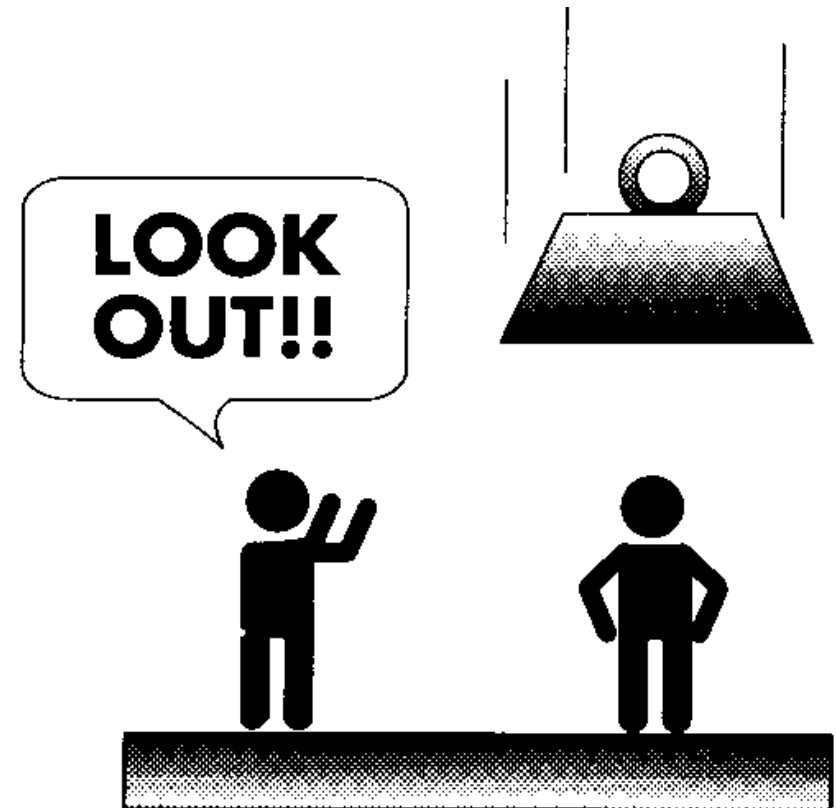


Precision

Fuzzy Logic - Welt

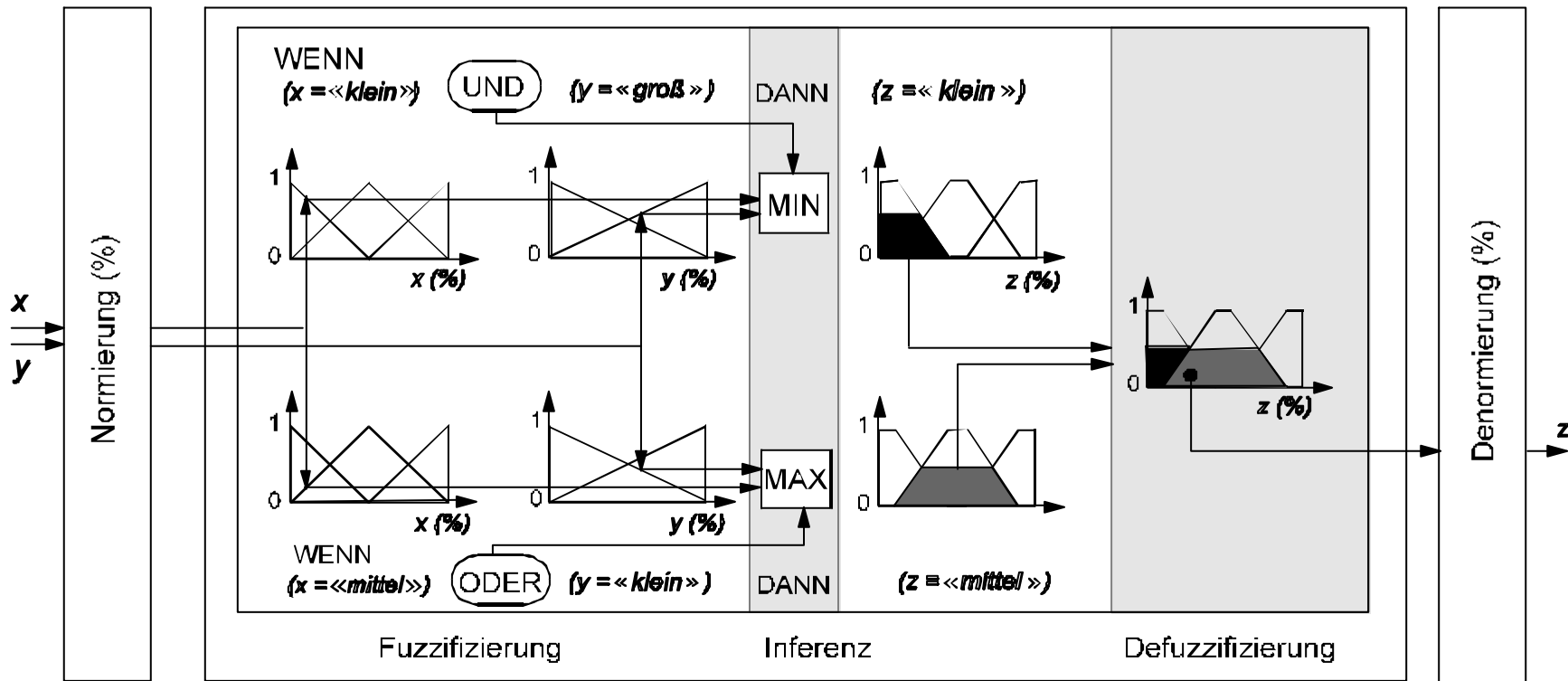


Precision



Significance

Regler für Regelmäßigkeit und Pünktlichkeit



Mathematische Beschreibung:

$$B_i = A_i \circ R, \quad i = 1, \dots, n \quad \dots \text{unscharfe Relationengleichung}$$

$$m_B(y) = \max_{1 \leq i \leq n} \left(\sup_{x \in X} \min \{ m_{A_i}(x), m_{B_i}(x) \} \right) \cdot m_{B_i}(y) \quad \dots \text{Methode der Aktivierungsgrade}$$

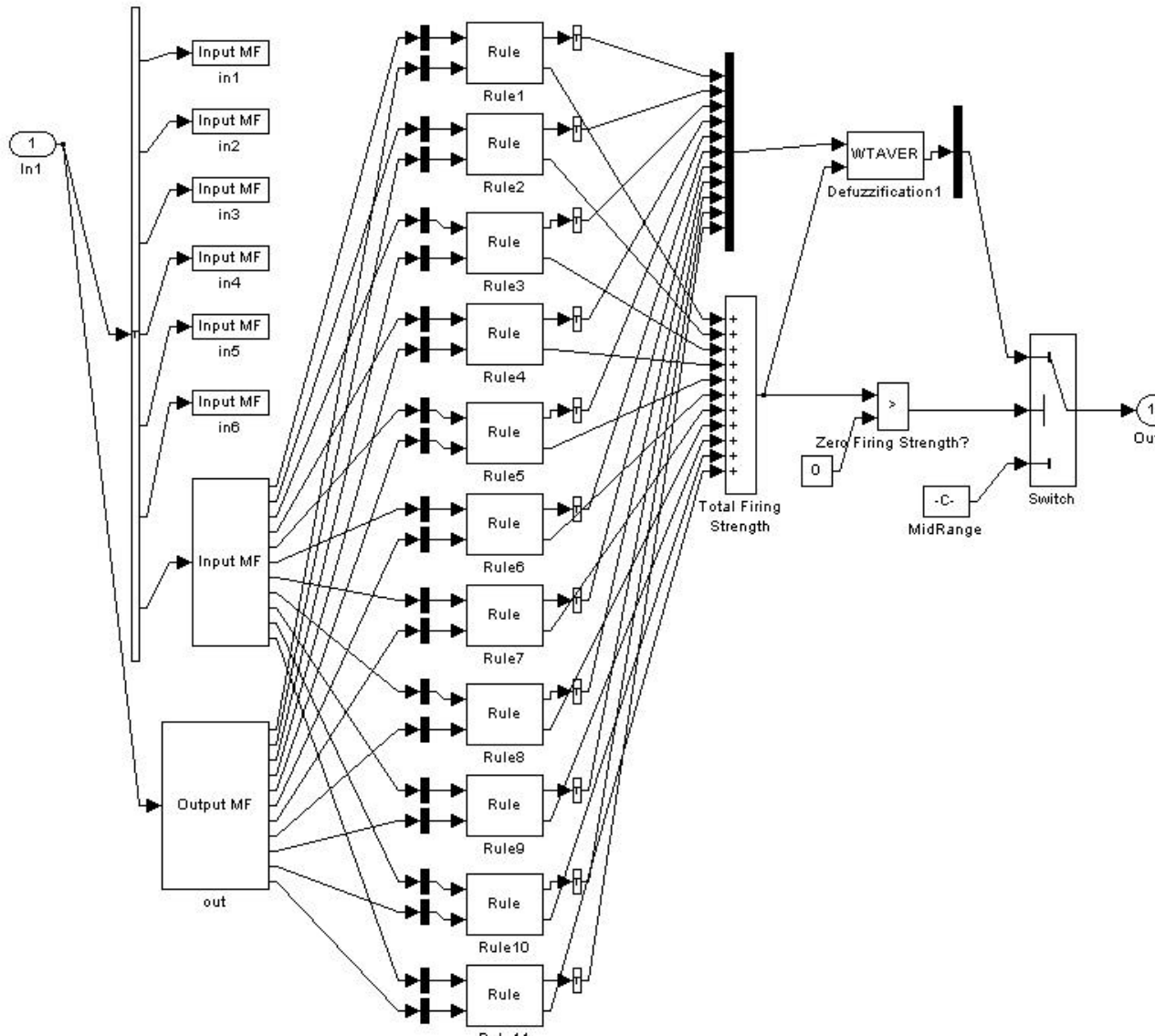
$$y_0(B) = \frac{1}{\text{card}(B)} \cdot \int_Y y \cdot m_B(y) \cdot dy \quad \dots \text{Schwerpunktmethode}$$

n ... Anzahl der Kontrollregeln

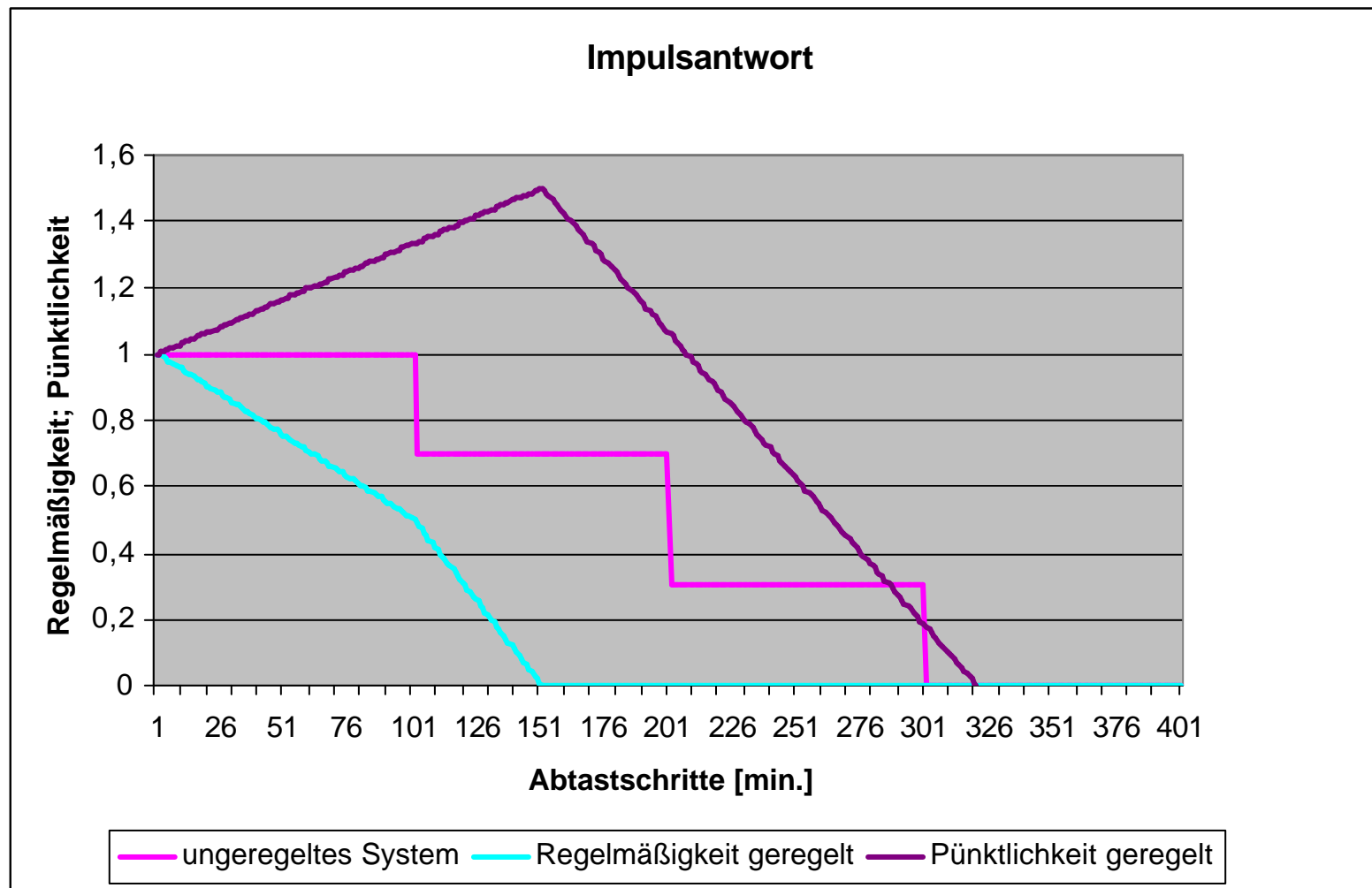
R ... charakteristische unscharfe Relation zum System der Kontrollregeln

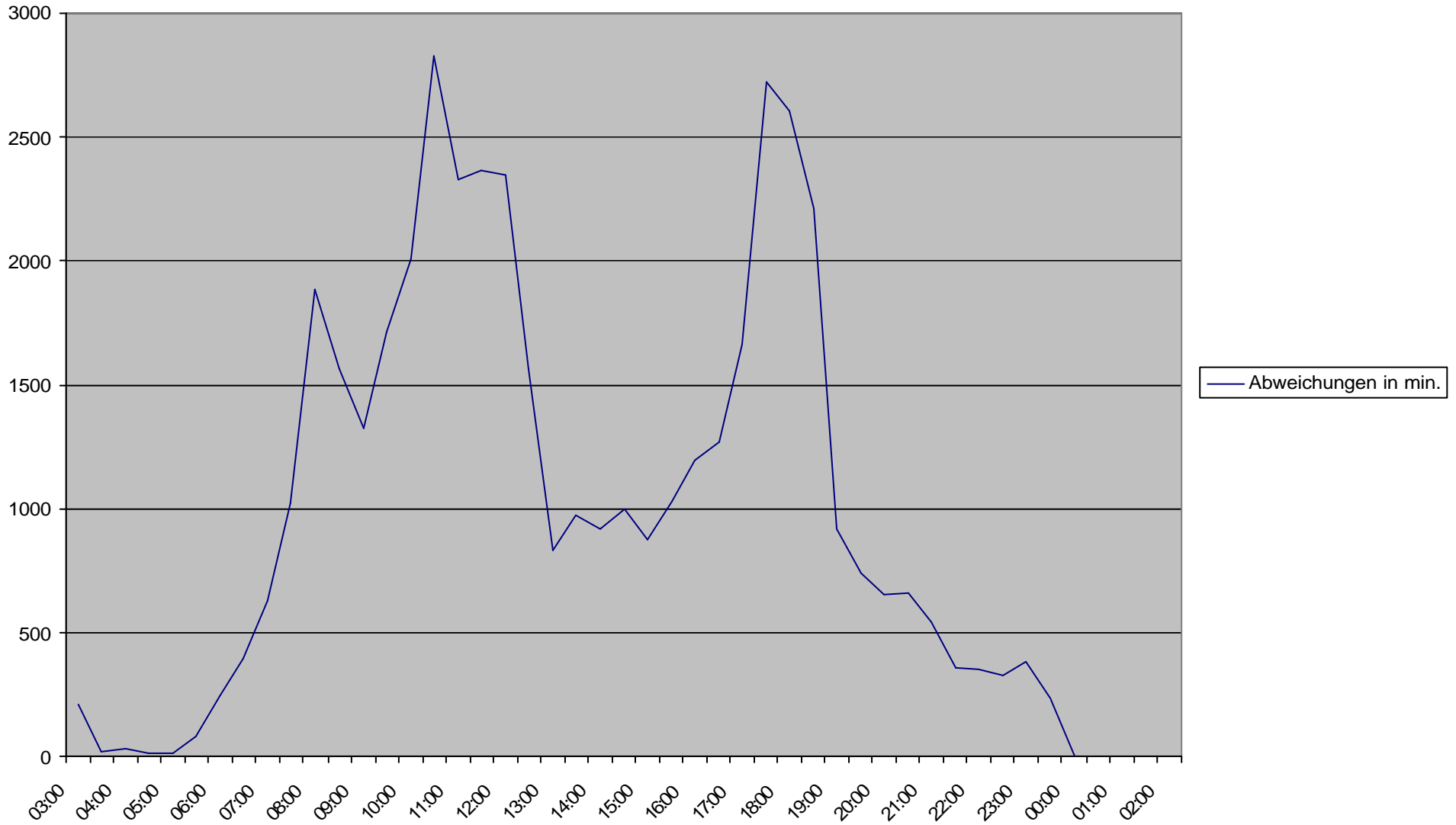
[IF $u = A_i$ THEN $v = B_i$]

Regler für Regelmäßigkeit und Pünktlichkeit



Ergebnis:





Disposition im Störfall birgt folgende Problempunkte:

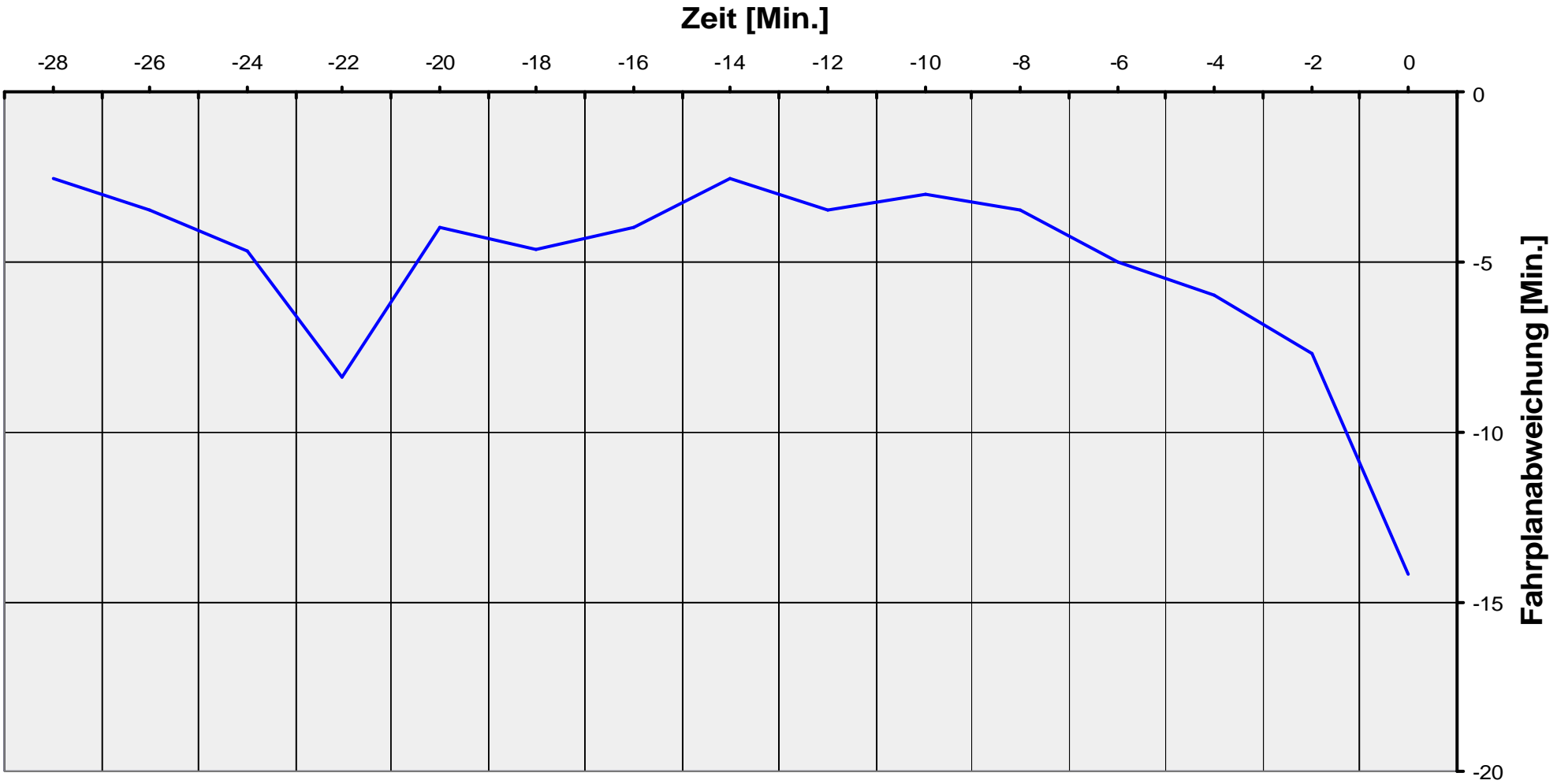
- ▶ Belastung des Leitstellenpersonals:
 - ▶ unübersichtliche Gesamtlage der Ereignisse (Probleme wachsen an),
 - ▶ unsichere Prognosemöglichkeit (wann beruhigt es sich),
 - ▶ zahlreicher Informationsbedarf ist gegeben (Kunden, Öffentlichkeit, Personal, Einsatzkräfte);
 - ▶ zeitkritische Handlungen sind notwendig um negative Auswirkungen zu minimieren.

- ▶ Unterschiedliche Qualität des Störungsmanagements:
 - ▶ von Erfahrung, Wissen, Tagesverfassung, usw. des Leitstellenpersonals abhängig,
 - ▶ Reproduktion und Objektivierung der gesetzten Handlungen nur schwer möglich.

Anforderungen:

- ▶ Dispositionshilfe
 - ▶ der Erfahrungsschatz des Leitstellenpersonals soll zur Verfügung stehen
 - ▶ Überblick über die Situation soll graphisch aufbereitet werden
 - ▶ Prognose über die Dauer der Störung soll vorliegen
 - ▶ umfassende Abwicklung des Störprozesses soll möglich sein (Prioritäten)
 - ▶ Dialogfähigkeit der Dispositionshilfe soll Änderungen der Rahmenbedingungen ermöglichen (z.B. fehlendes Personal)

- ▶ Aufzeichnung der Aktivitäten
 - ▶ Soll/Ist-Vergleich der Aktivitäten soll den Änderungsbedarf bei der Dispositionshilfe darstellen
 - ▶ Schulungen sollen anhand von reproduzierten Störfällen möglich sein
 - ▶ Kennzahlenermittlung der Dispositionsqualität





RBL-Störungserkennung

Linie/Kurs	Ort	FPL-Abw.	Dauer/Trend	Ursache	Prognose
A/3	HUN3	-11:20	11' 75°	Straßensperre	30'

Ursache
Straßensperre ▼

Prognose
30' ▼

Eintragen

Summen

Anzahl: 6

Zeit[min]: 0

Reserven: 2

Vorschlag

Statistik

Bearbeitung beenden

Erfahrungen:

- ▶ Modell-Regeln
 - ▶ anhand aufgetretener Störungen erarbeitet das Leitstellenpersonal die Aktivitäten-Checklisten (Konsenslösung)
 - ▶ einfache Implementierungsmöglichkeit durch Verwendung von Standardsoftware-Tool MATLAB
- ▶ Störungserkennung automatisch im 5 Minuten-Intervall
 - ▶ Datenquelle: Betriebsprotokoll
 - ▶ Zusatzprogramm: dialogfähige Verarbeitung von Randbedingungen mittels unter Betriebssystem Window NT
- ▶ Störungsanalyse
 - ▶ Statistik über Ursache, Ort, Zeitpunkt, Linie und Wirkung, sowie Qualität der Dispositionshilfe
 - ▶ Nachjustierung der Regeln nach Beurteilung der Disponenten

**Echtzeit-
Fahrplaninformationen
am Handy
mittels SMS**



Dialogablauf

- ▶ **Sprachunterstützte Servicebox**
 - **Abspielen einer Begrüßungsmeldung**
 - **Aufforderung zur Eingabe des Haltestellencodes**
 - **Eingabe des Haltestellencodes per DTMF**
 - **Aufforderung zur Einschränkung auf bestimmte Linien**
 - **Eingabe der Liniencodes per DTMF**
 - **Abspielen einer Abschiedsmeldung**

- ▶ **Durch Abspeichern der Servicenummer inkl. der benötigten Eingabecodes im Handy, ist eine besonders schnelle und bequeme Abfrage möglich.**

- ▶ **SMS-Anfrage: „? Haltestellenname“**

SMS-Inhalt 1/2

- Haltestelle

- pro ausgewählter Linie
 - Linie
 - nächste Abfahrt
 - übernächste Abfahrt (tagsüber)
 - letzte Abfahrt (abends)
 - falls Kurs gestört
 - Störungsursache
 - Voraussichtliche Störungsdauer

Beispiele:

- 1) Coca-Cola-Fabrik Linie 4 in 9' nächste um 11:13
- 2) Roseggerstrasse Linie 3 in 3' letzte um 23:37

SMS-Inhalt 2/2

Bei Störung der Linie :

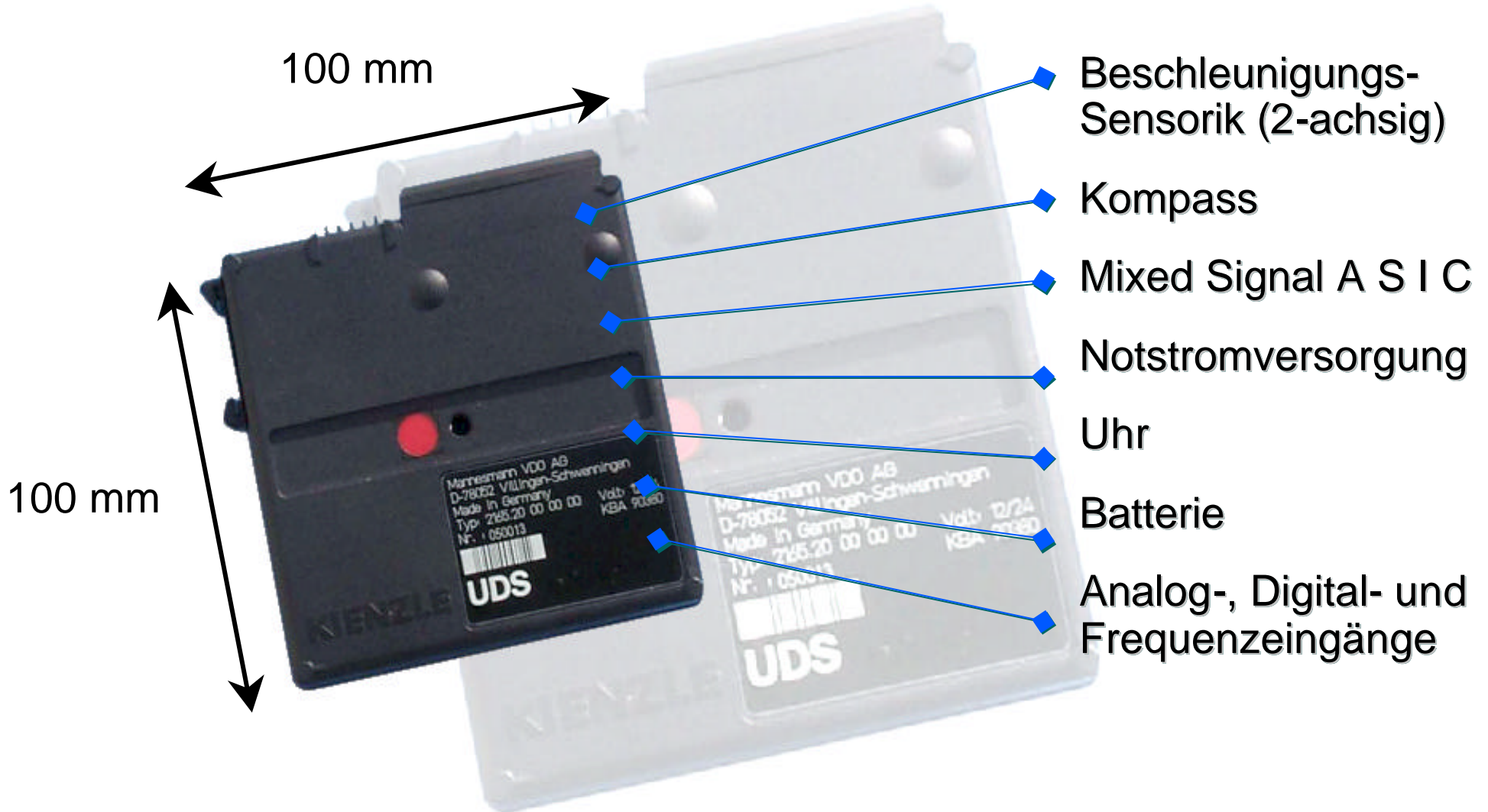
Flughafen Linie F Störung wegen Verkehrsunfall. Dauer ca. 11 Min. Wir bitten um Verstaendnis

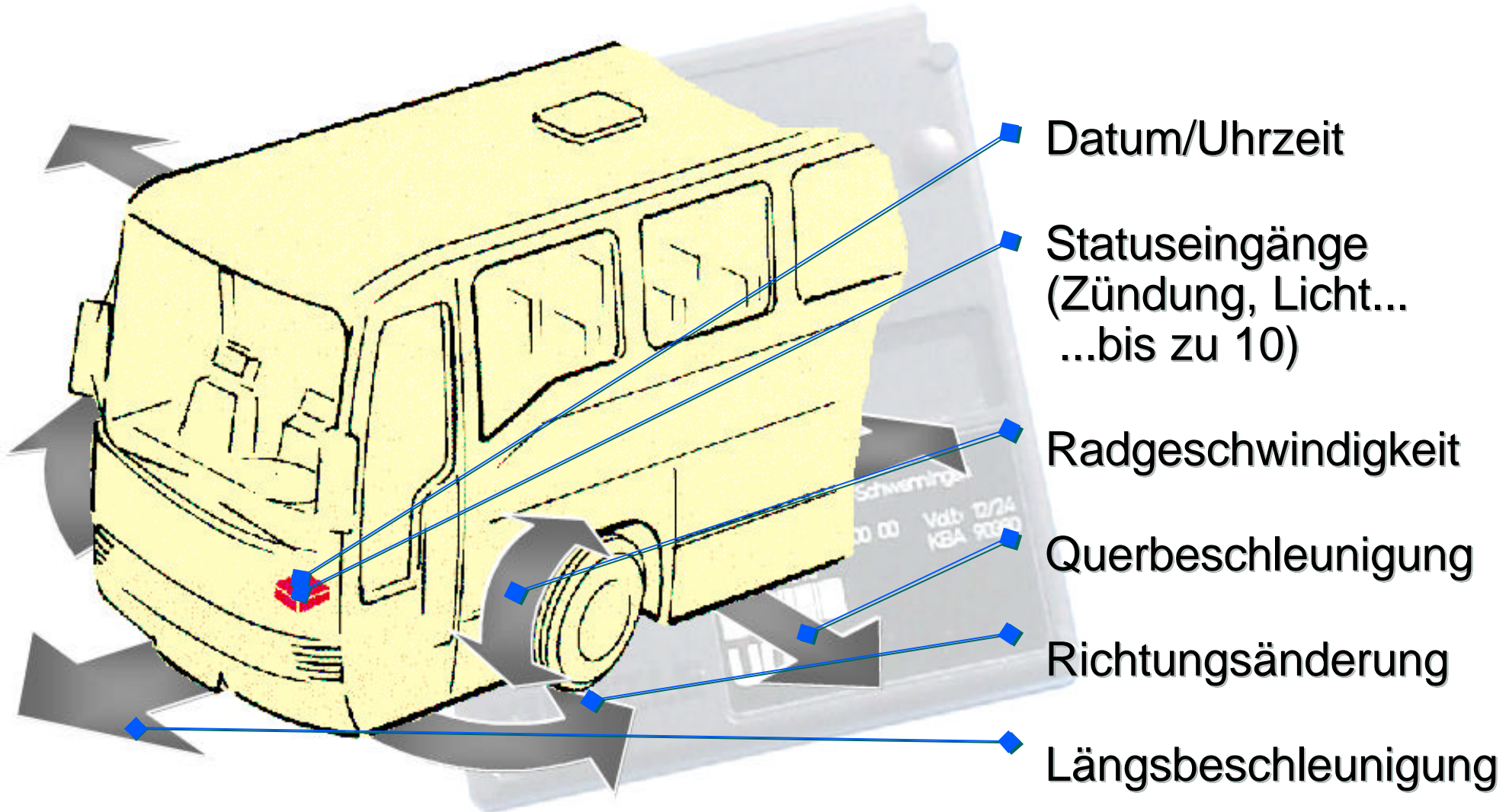
Nach Ende der Störung wird automatisch eine weitere SMS („good news“) verschickt :

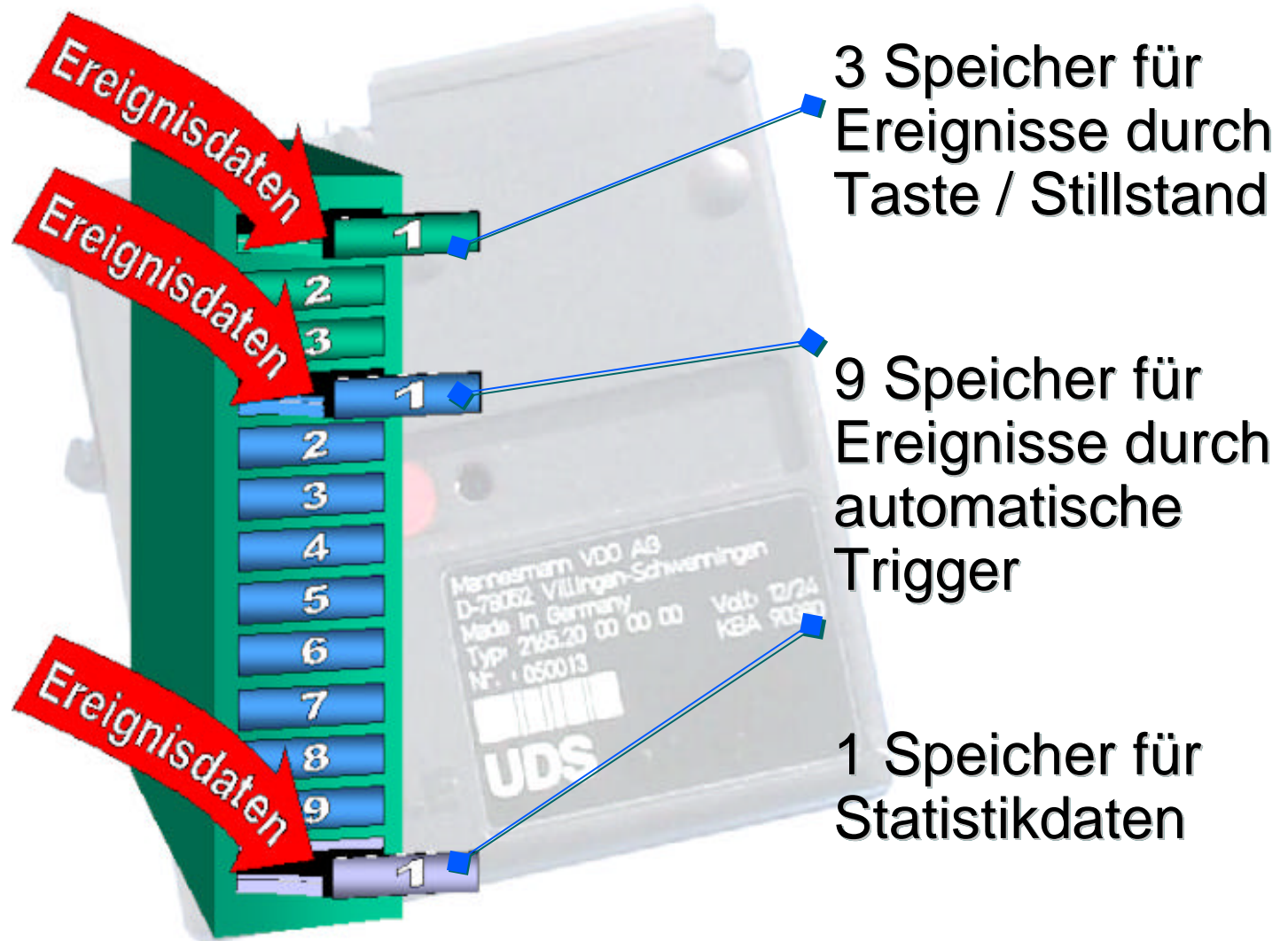
Linie F Störung beendet. Linie F in 13' naechste um 16:35

Fahrplan - Echtzeitinformation

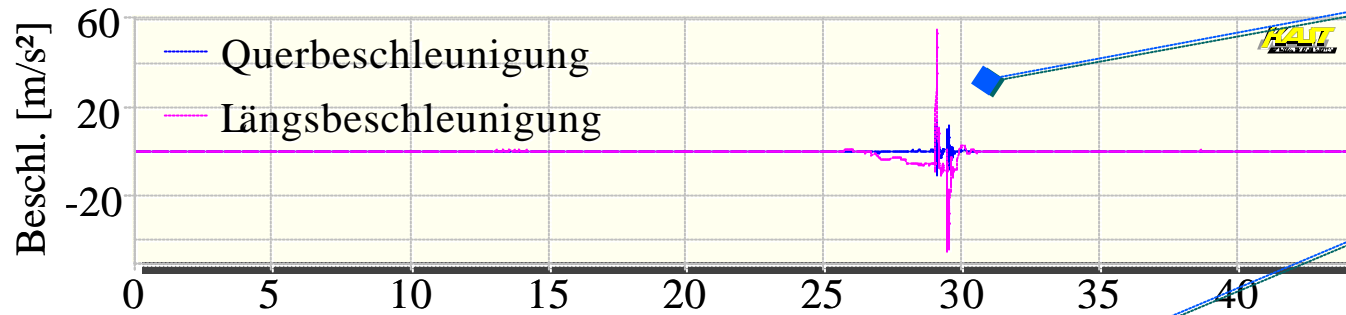








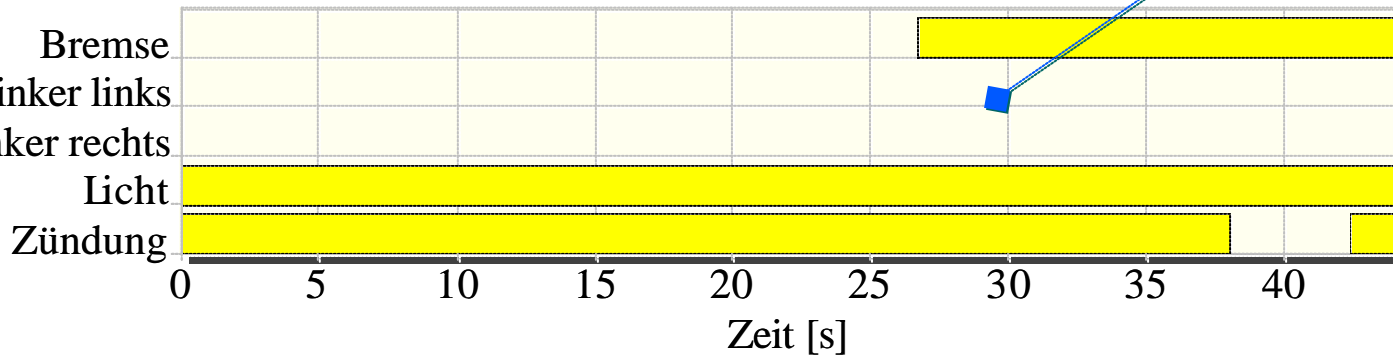
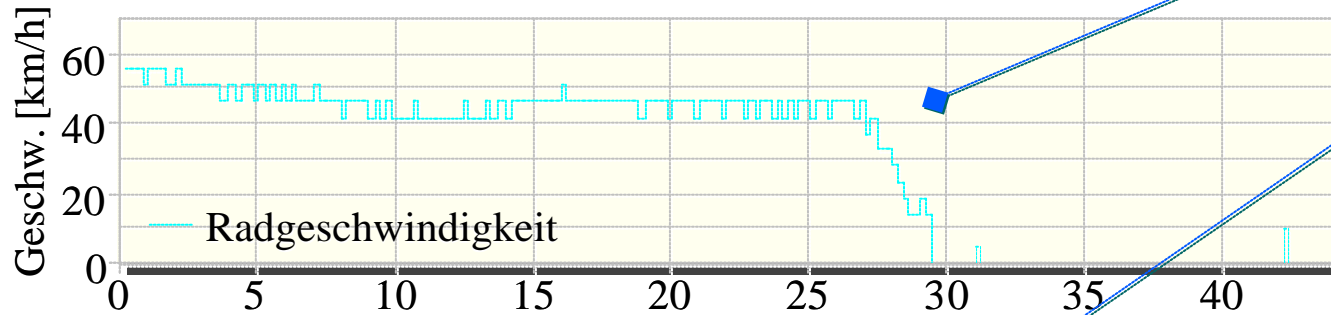
Messung des Fahrkomforts



Beschleunigungen

Geschwindigkeit

Status-
Informationen



- ▶ **UDS - Ausgang zum Datenfunk wird so parametrisiert, dass gröbere Rucks' in die Leitstelle übertragen werden - Sensitivitätseinstellung, sodass ungünstige Fahrweisen oder Unfälle erkannt werden.**
- ▶ **Bei Ansprechen der UDS nimmt Leitstelle mit FahrerInnen Sprechfunk-Kontakt auf und fragt nach.**
- ▶ **Bei Unfall werden UDS-Daten zeitnah zum Unfall ausgelesen und binnen 4 Tagen ausgewertet.**
- ▶ **Bei Schulfahrten wird die Sensitivität im Schulfahrzeug erhöht und der Mitarbeiter zu einer umsichtigen Fahrweise geführt.**