

Mehr Züge, weniger Verspätungen - Neue Wege bei Planung und Betrieb von Eisenbahnsystemen

Marco Lüthi

Verkehrsingenieurtag - 7. März 2008



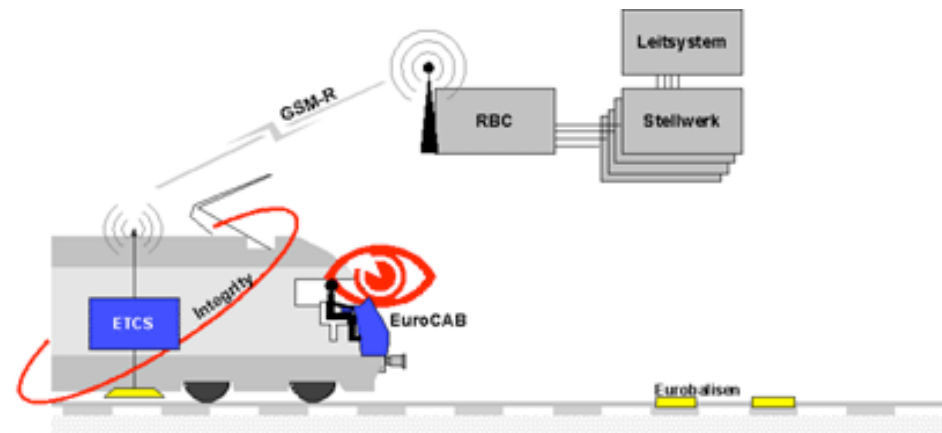
Herausforderungen

- Bestehendes Eisenbahnnetz wird punktuell an der Kapazitätsgrenze betrieben
- Prognosen zeigen eine weitere Zunahme des Schienenverkehrs sowohl für den Güter- wie auch für den Personenverkehr
- Gesteigerter Qualitäts- und Kostendruck

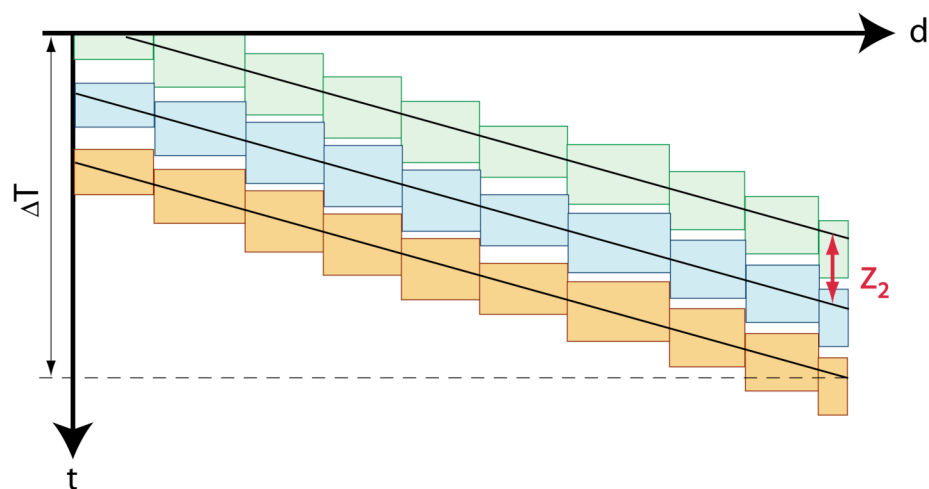
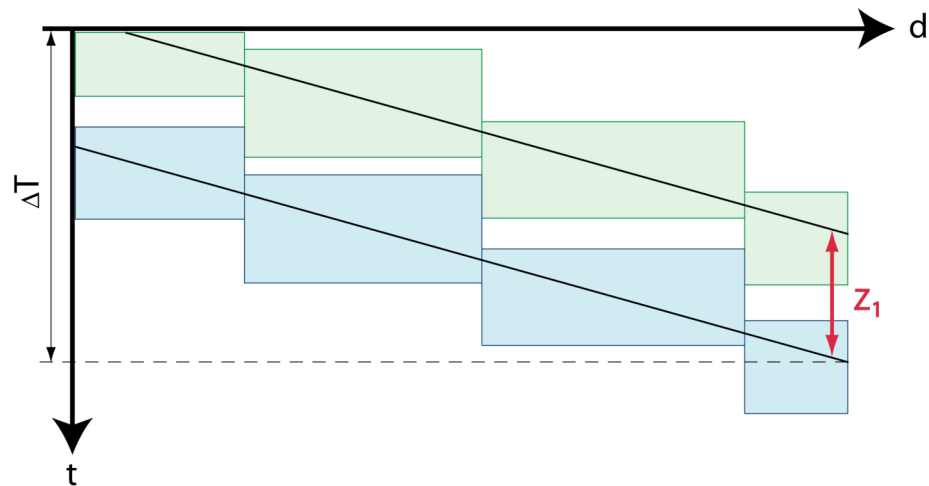
Möglichkeiten zur Leistungssteigerung



Möglichkeiten zur Leistungssteigerung



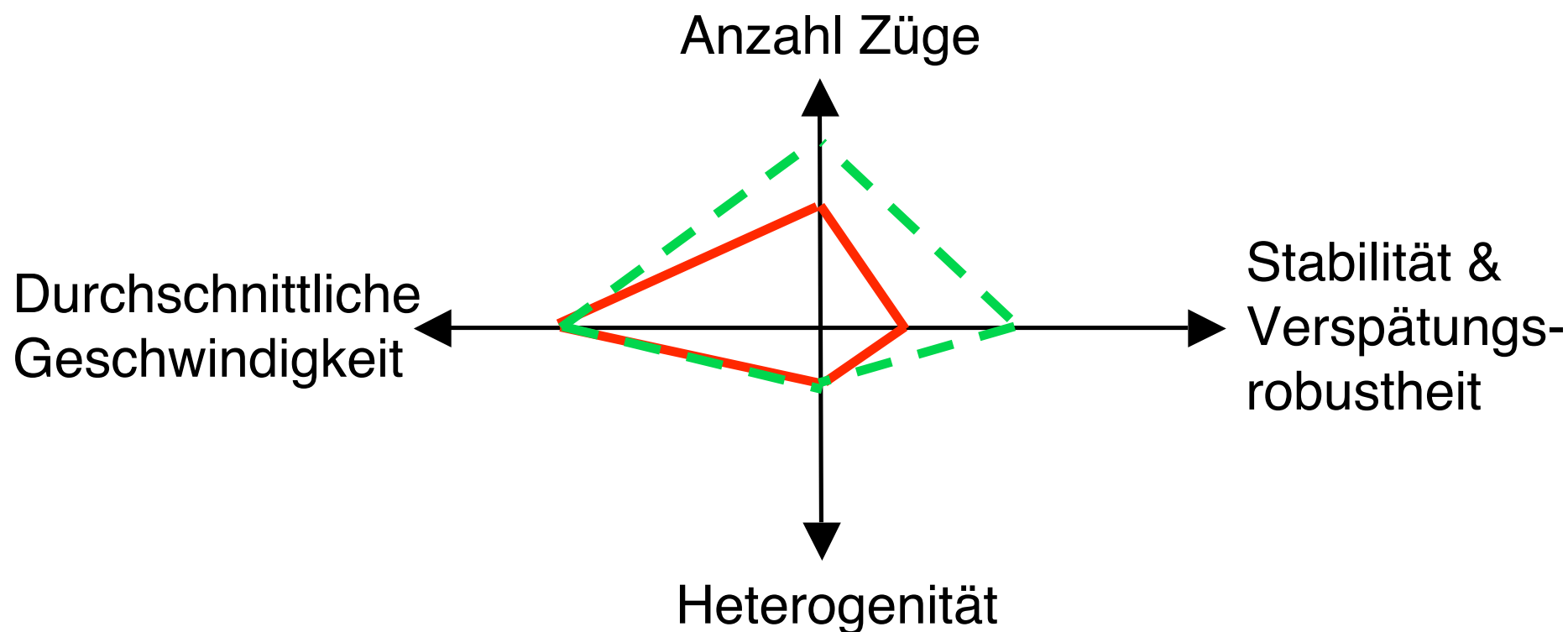
Möglichkeiten zur Leistungssteigerung



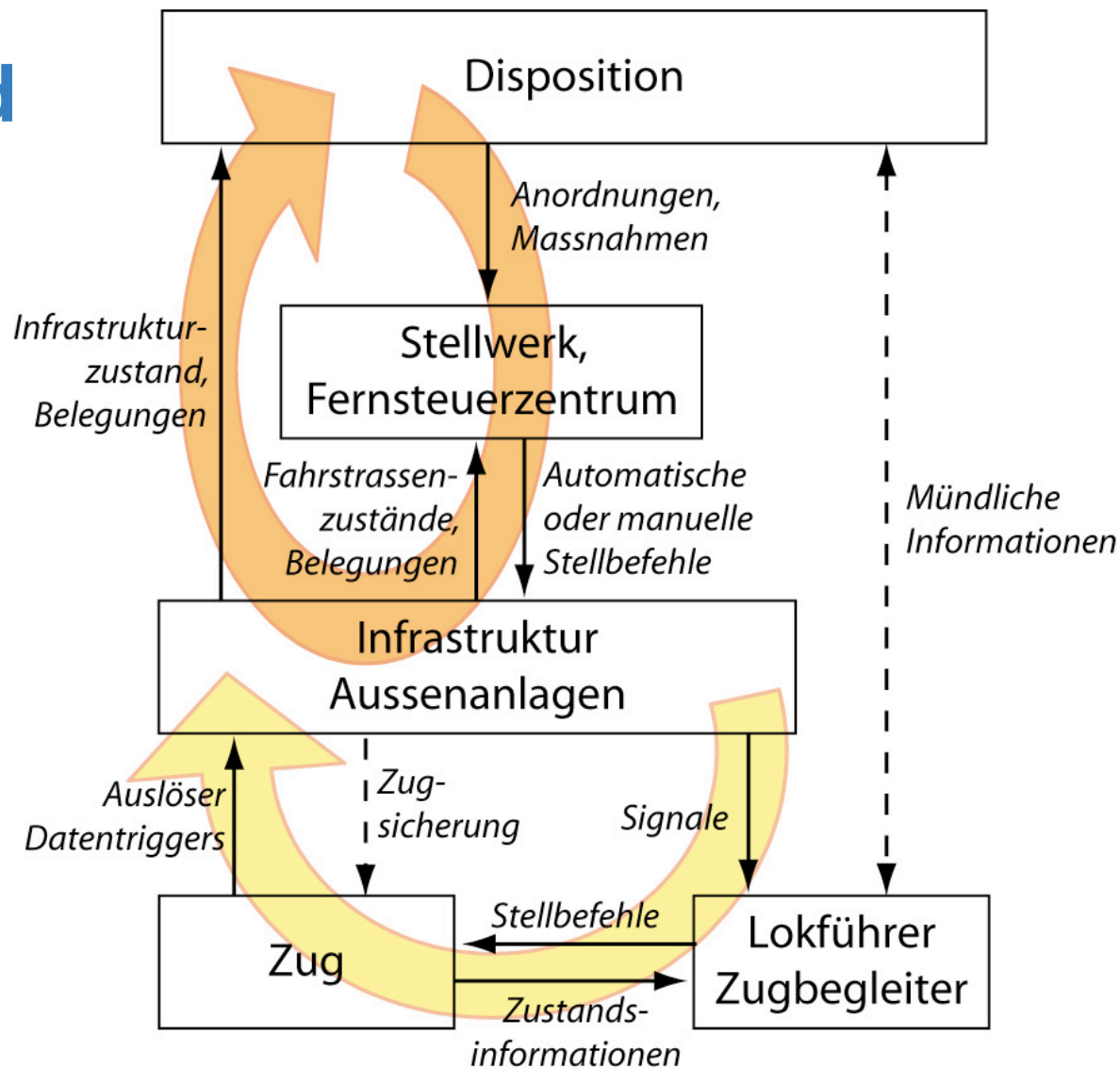
Möglichkeiten zur Leistungssteigerung

- Bauliche Massnahmen
- Signaltechnische Massnahmen
- Verplante Reserven reduzieren und intelligent verteilen
 - Fahrzeitreserven
 - Haltezeitreserven
 - Pufferzeit zwischen zwei Zügen

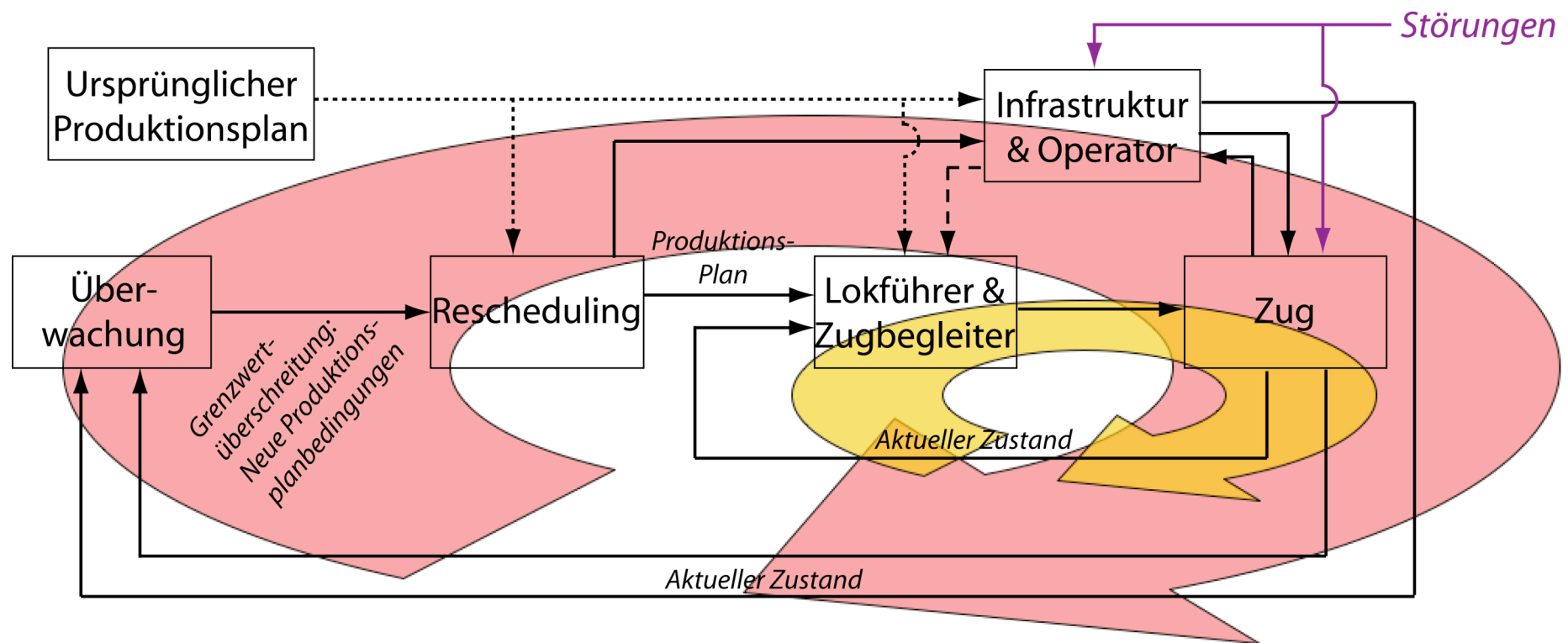
Kapazitäts-Viereck (UIC Kodex 406)



Disposition und Eisenbahnbetrieb heute



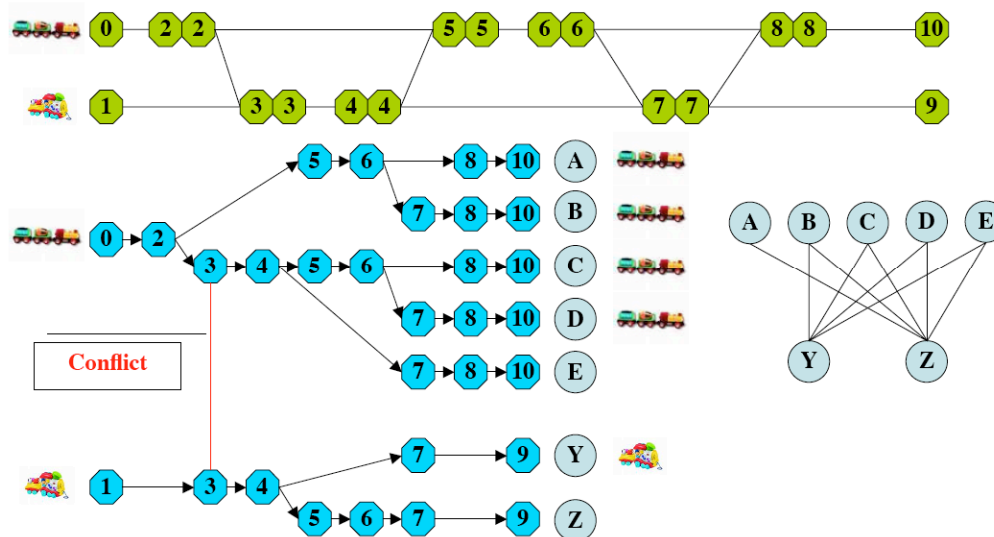
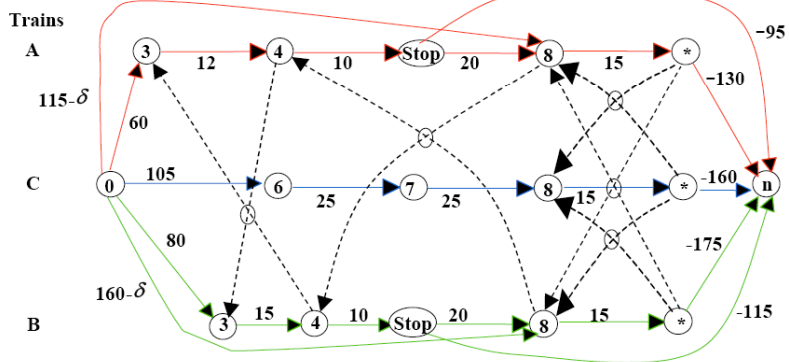
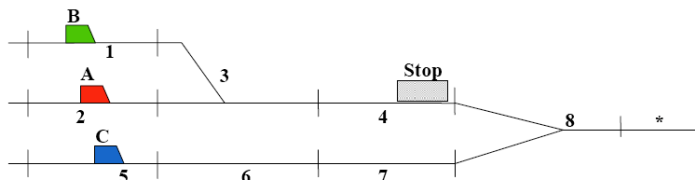
Aufbau des Integrated Real-Time Rescheduling Systems



Grundsätze des Integrated Real-Time Rescheduling Systems

- Exakter (Sekunden-genauer), konfliktfreier (Fahrstrassen-genauer) Fahrplan
- Rasche Handlung bei einer Abweichung oder Störung (real-time Rescheduling) und Entwicklung eines neuen Fahrplans
- Die Produktion wird präzise ausgeführt (Anzeigeelement für Lokführer wird benötigt)
- ‚Kontinuierlicher‘ Datenaustausch zwischen allen beteiligten Akteuren (Ortung und ‚Lenkung‘ der Züge)

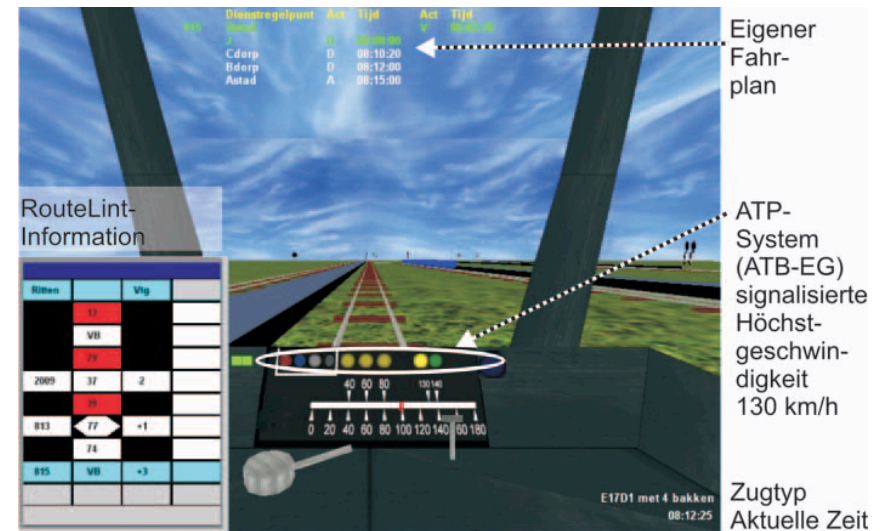
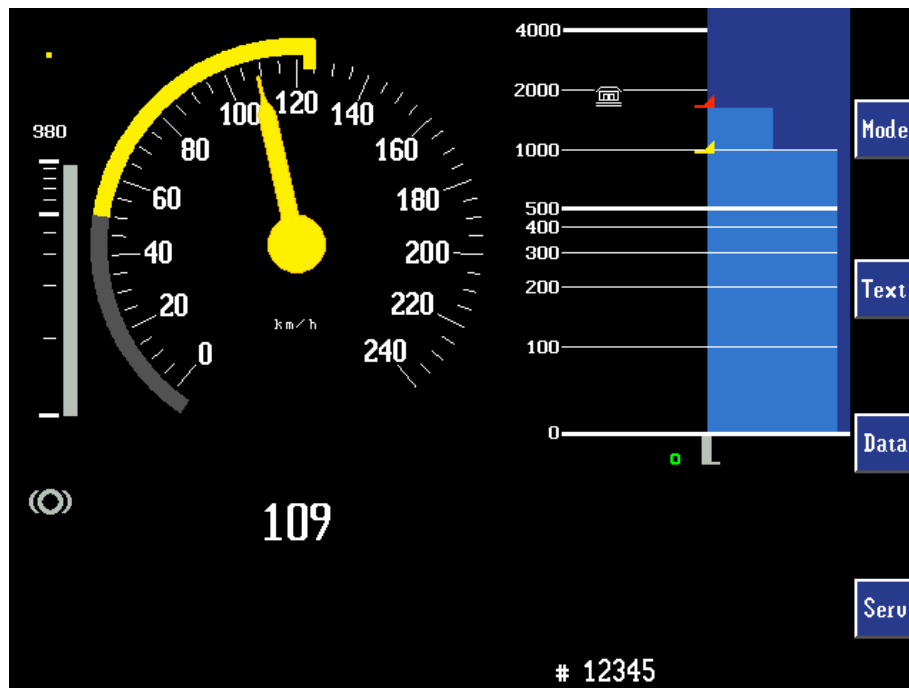
Real-Time Rescheduling



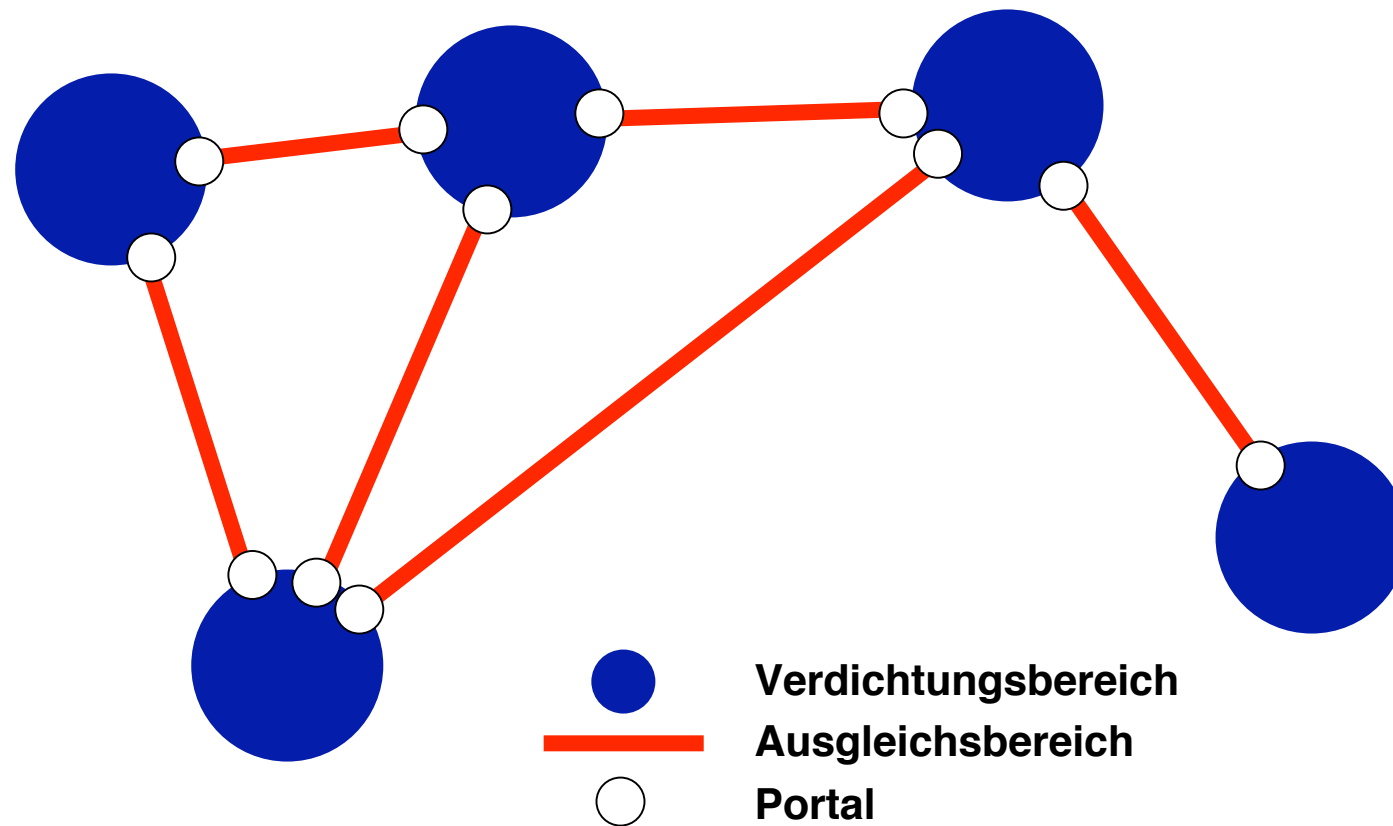
$$f = \sum_{\text{Züge}} \left(\sum_{j=1}^{m_j} k_j \Delta t_j + \sum S_{\text{Anschlüsse}} + \sum \Delta G \right) \cdot k_i \xrightarrow{\Omega} \min$$

$$w(\xi) = \sum_{k=1}^{l(\xi)} s_{i_k i_{k-1}} = \sum_{k=1}^{l(\xi)} (d_{i_{k-1}}^0 - d_{i_k}^0 + [A_T]_{i_k i_{k-1}}) = d_j^0 - d_i^0 + \sum_{k=1}^{l(\xi)} [A_T]_{i_k i_{k-1}}$$

Driver-Machine Interface



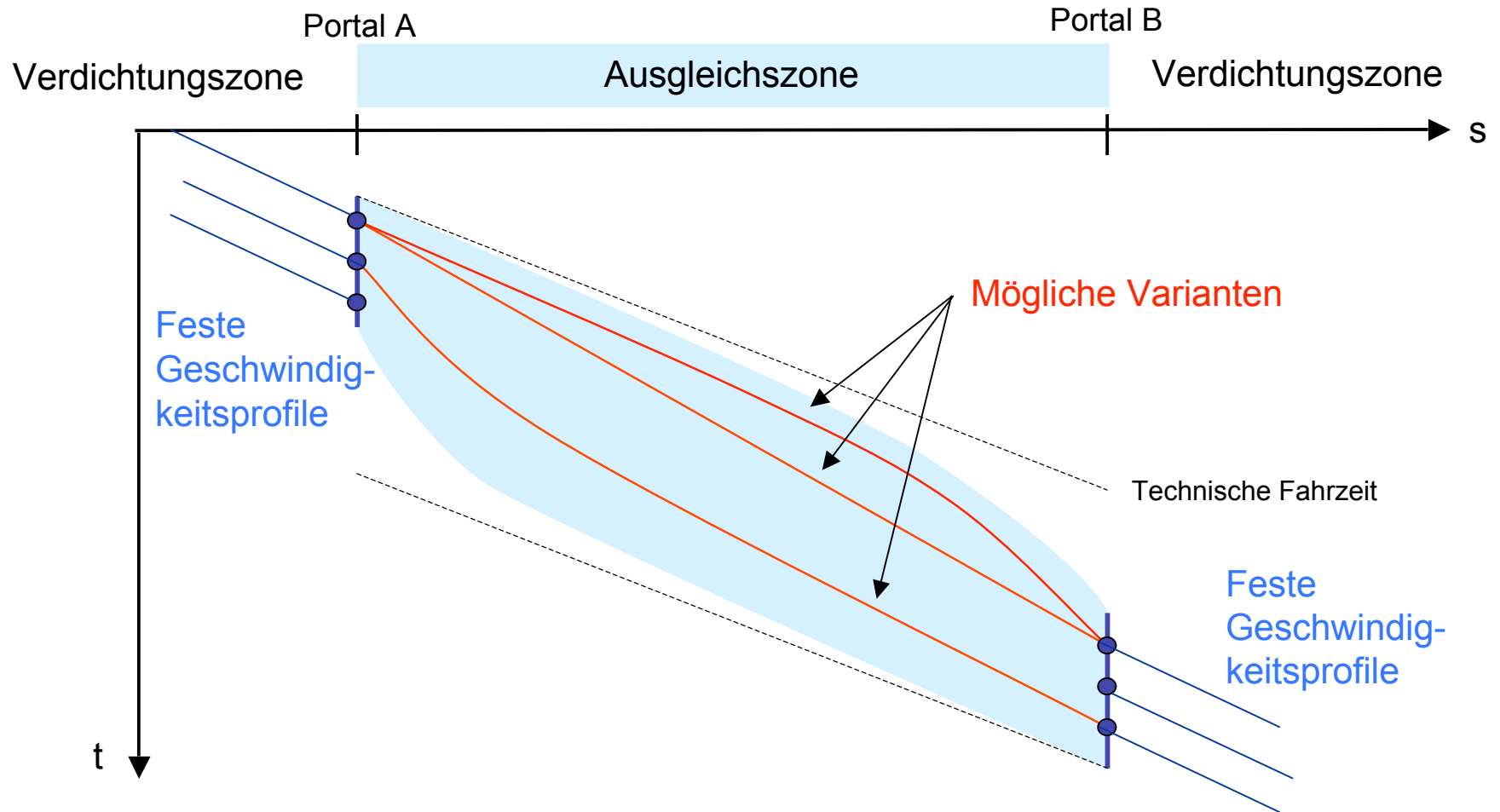
Management der geplanten Reserven- Netzwerk Einteilung



Management der geplanten Reserven- Netzwerk Einteilung

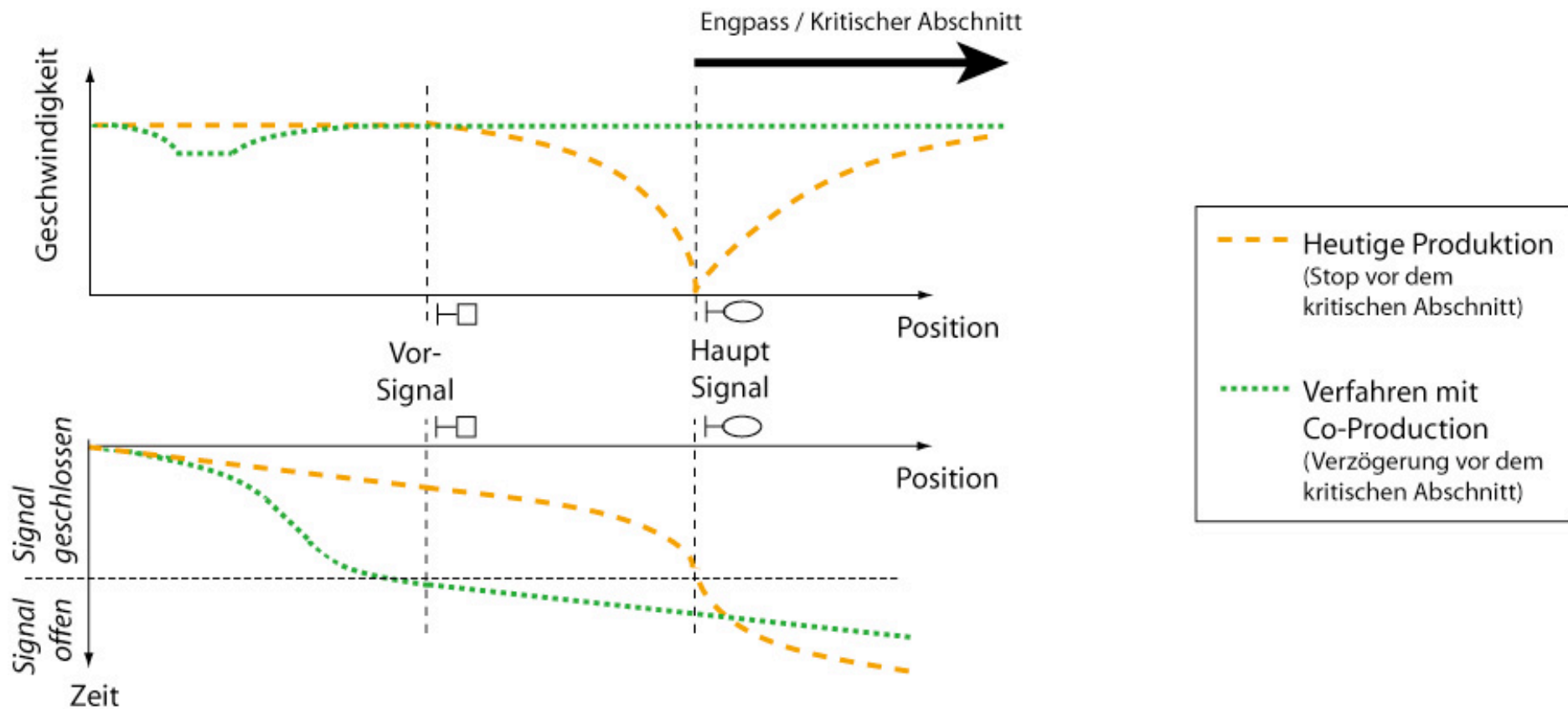
- Verdichtungsbereich
 - Örtliche Reserven als Handlungsspielraum
 - Maximale Auslastung
- Ausgleichsbereich
 - Zeitliche Reserven als Handlungsspielraum
 - Schlüsselfrage: Wieviel (zeitliche) Reserven werden benötigt?

Netzwerk Einteilung - Reservezeiten



G. Caimi, F. Chudak, M. Fuchsberger, M. Laumanns:
Solving The train scheduling problem in a main station area via a resource constrained space-time integer multi-commodity flow, 2007

Effekt der gezielten Zugsteuerung



Zusammenfassung und Ausblick

- Integrated Real-Time Rescheduling bietet ein hohes Potential um die Kapazität bei gleichbleibender Stabilität zu steigern.
- Integrated Real-Time Rescheduling benötigt eine sehr hohe Präzision in der Produktion und rasche Reaktionen bei Störungen.

Zusammenfassung und Ausblick

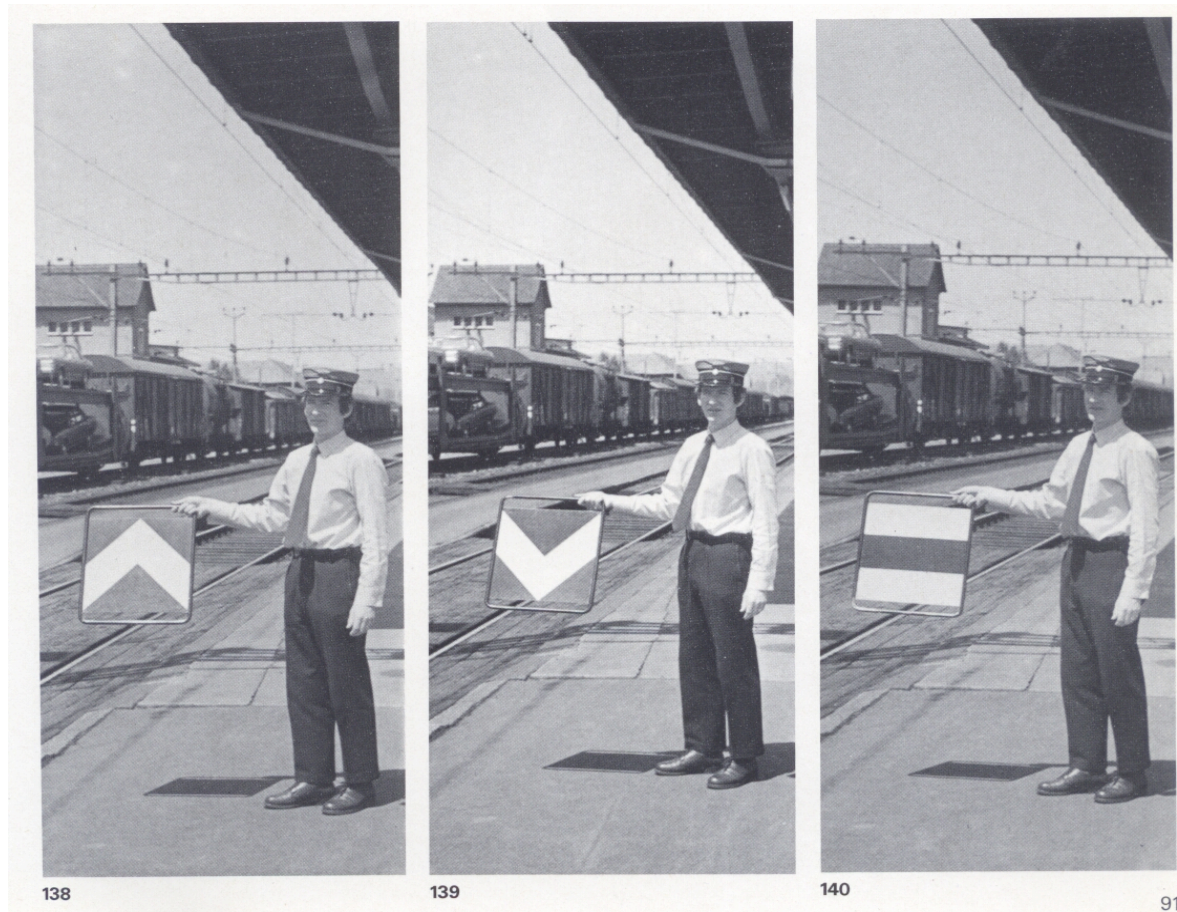
- Integrated Real-Time Rescheduling ermöglicht zudem:
 - Konsistente und durchgehende Planungsmethoden für sämtliche Zeithorizonte (Vergleich von Fahrplänen);
 - Verbessertes Informations-Management;
 - Verbesserte Transparenz bei Planung und Betrieb; und
 - Reduktion des Energieverbrauchs.

Zusammenfassung und Ausblick

- Weitere Forschung und Entwicklungsarbeiten sind nötig:
 - Erstellen und testen der einzelnen Elemente;
 - Evaluieren der dynamischen Rescheduling Aspekte beim Zusammenwirken der einzelnen Elemente;
 - Analyse über optimale Grösse und Verteilung der Pufferzeiten
 - Entwicklung von (noch) schnelleren Rescheduling Algorithmen; und,
 - Anpassungen von existierenden Prozessen (insbesondere Abfahrprozess)

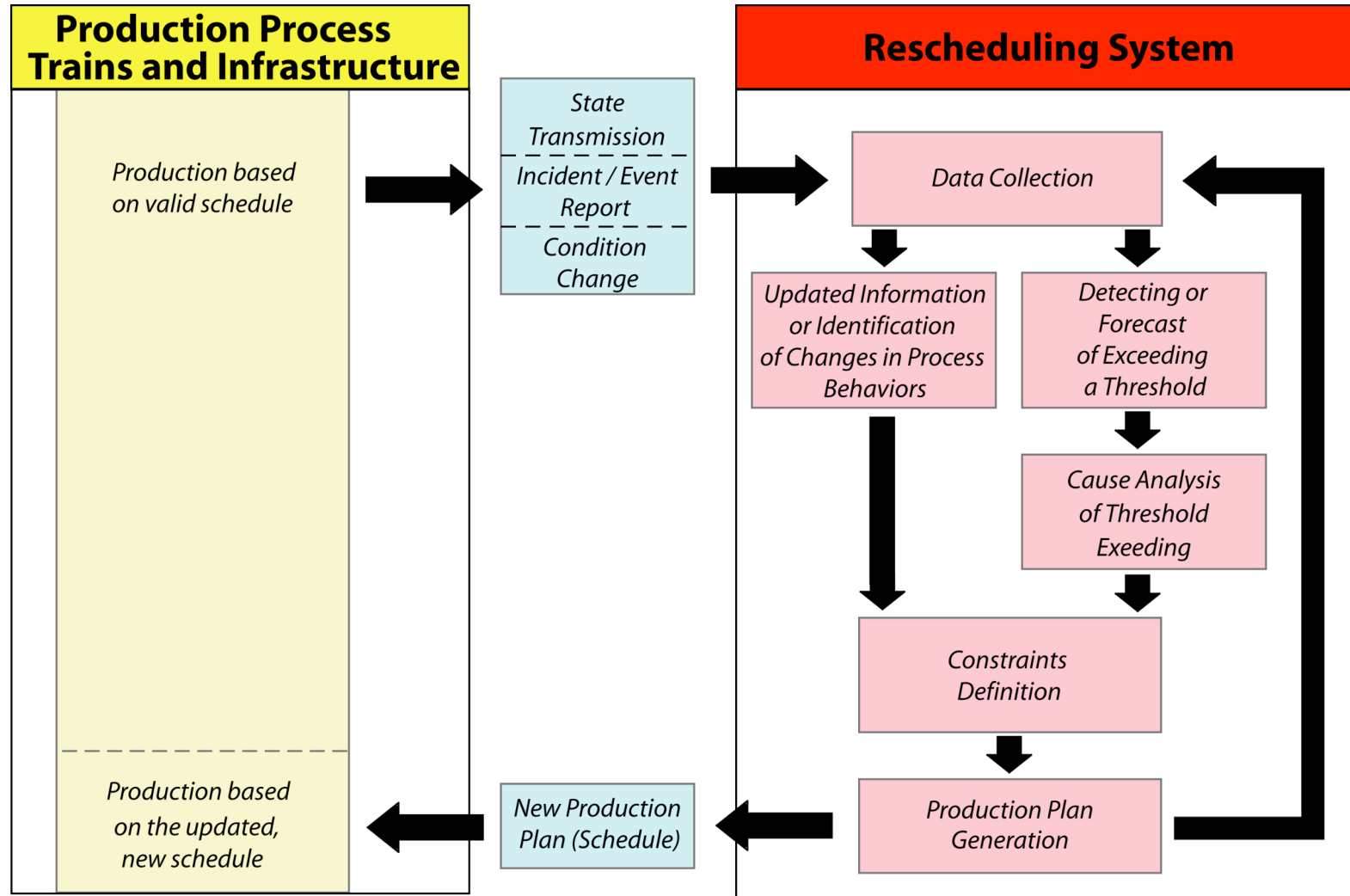
- Neue Tools = Neue Grenzen
Europaweiter Standard ist gefordert!

Besten Dank



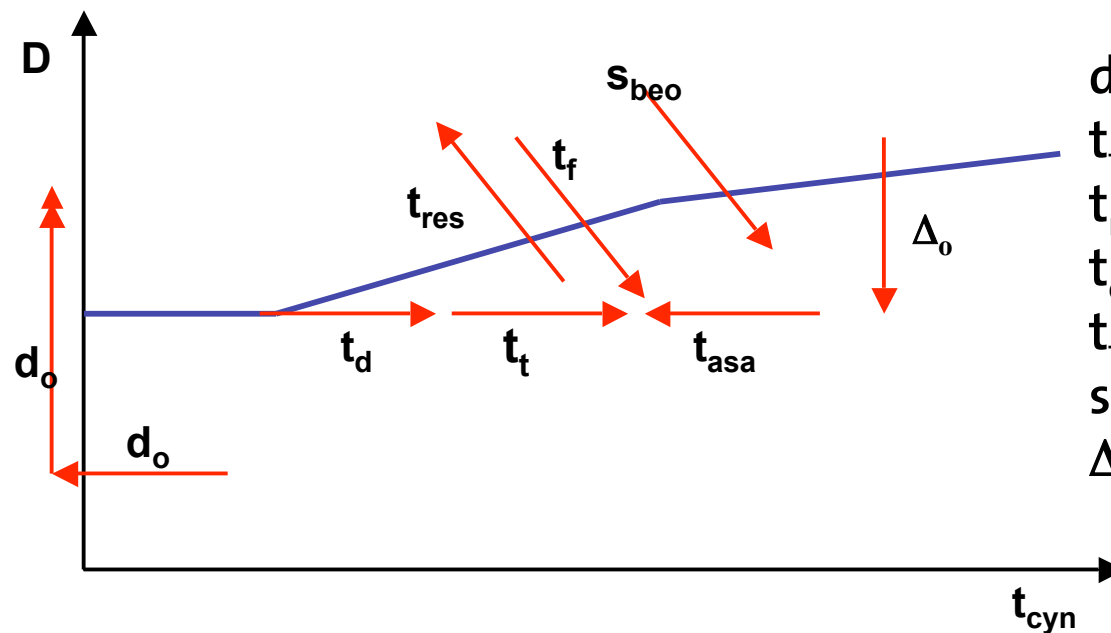
Quelle: R.W. Butz: Signale der Schweizer Bahnen, Orell Füssli Verlag, Zürich 1972

The Railway Rescheduling Process



Einfluss der Reschedulingsdauer

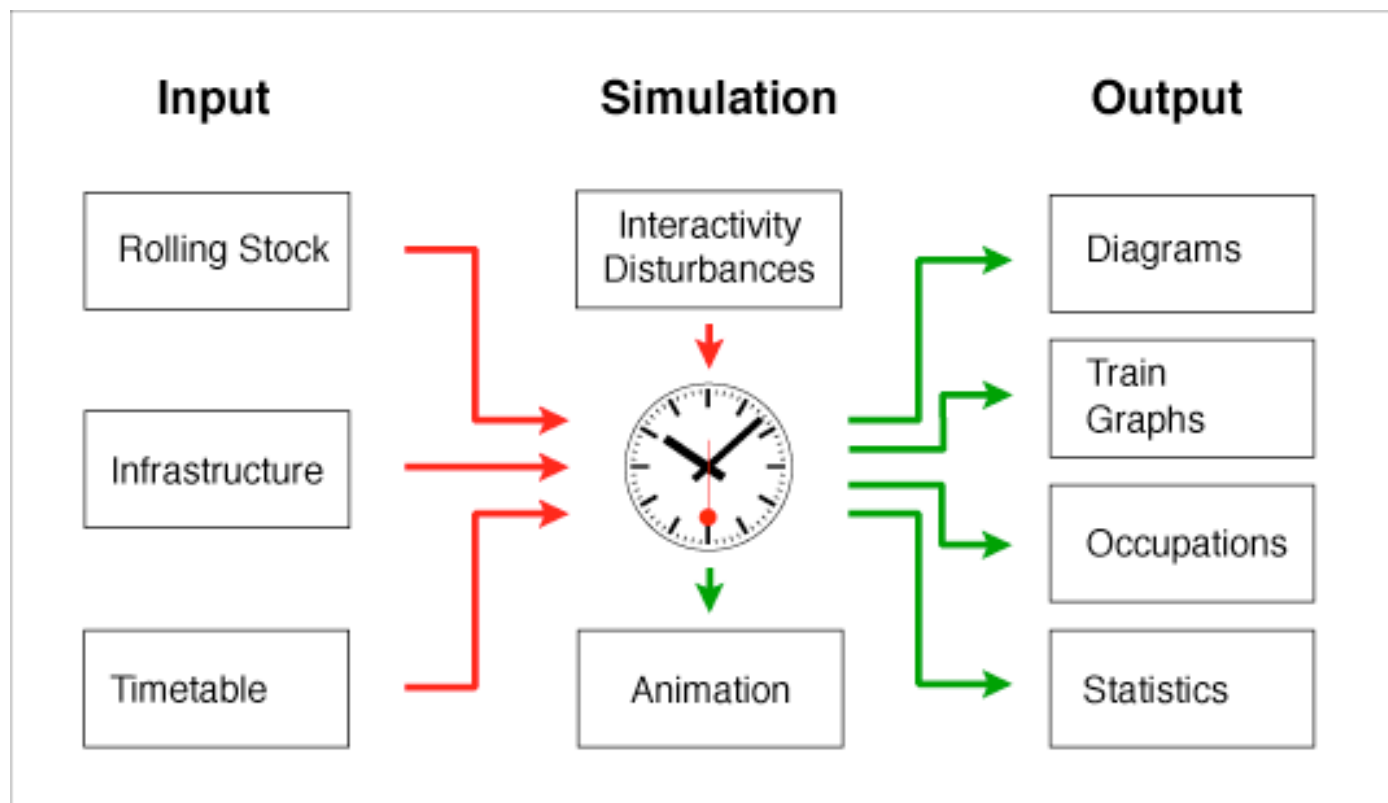
Qualitative Beschreibung der Effekte



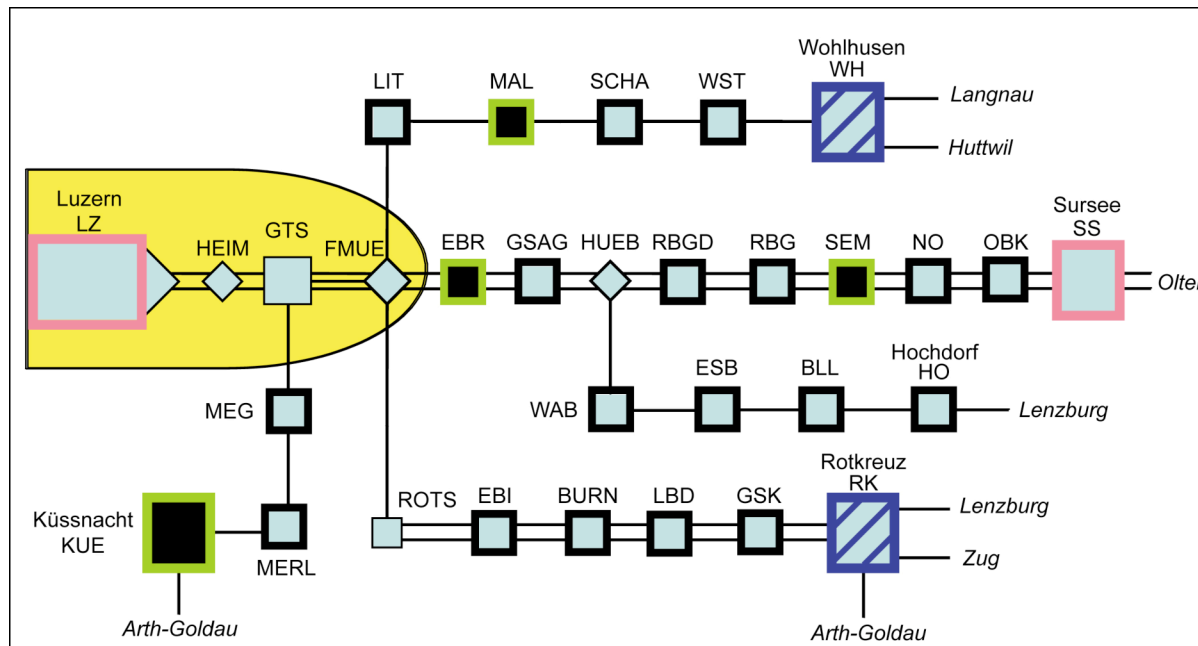
- d_o : Verspätung am Beginn
- t_f : Fahrplanabhängige Reserve
- t_{res} : Dauer des Rescheduling
- t_d : Abstand Bahnhof-Knoten
- t_t : Technische Reserve
- s_{beo} : Beobachtbarkeit des Systems
- Δ_o : Gewinn dank Optimierung

Simulation

OPEN TRACK



Simulation



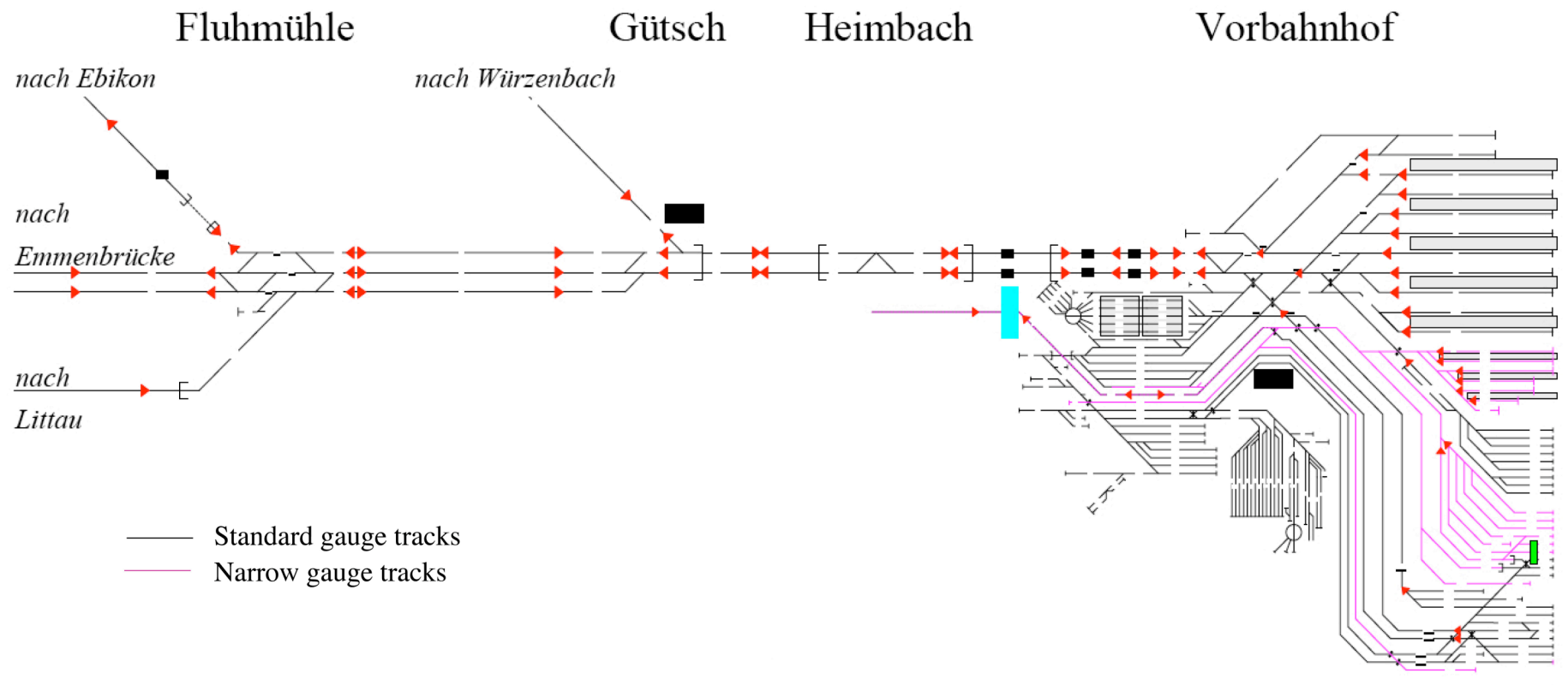
Legend

- Condensation Area

Station categories:

- Junction / No Stop
- No Stop
- Commuter Train (RE) Station
- Regional Express (RX) and RE Station
- Inter-Regio (IR), RX and RE Station
- Inter-City (IC), IR, RX and RE Station

Simulation

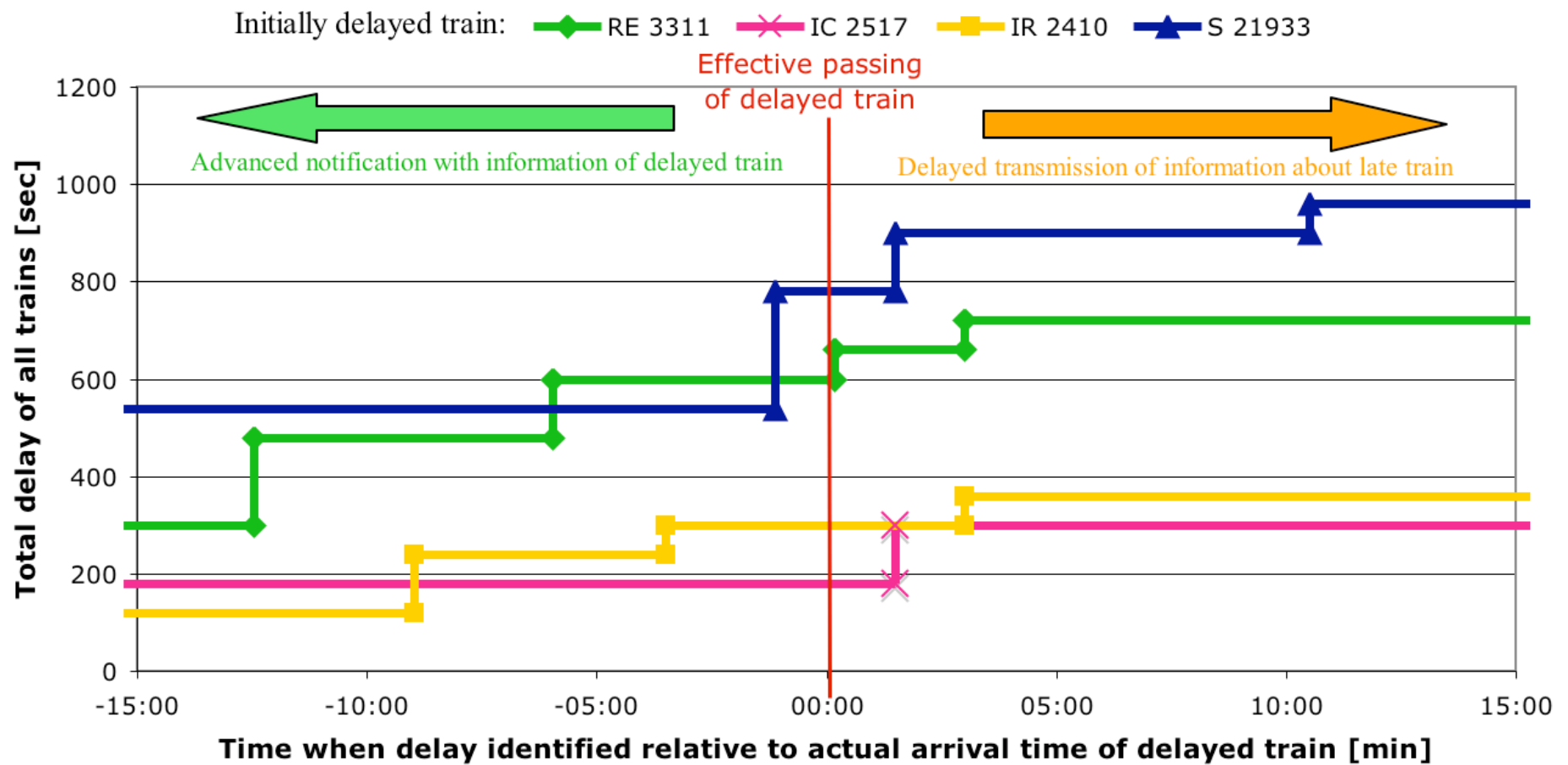




Simulation

- Effects of the outer rescheduling loop, the influence of the point of time when the rescheduling is initiated and the impact of the rescheduling process duration
- Impact of the production accuracy (the inner control loop) on capacity and stability

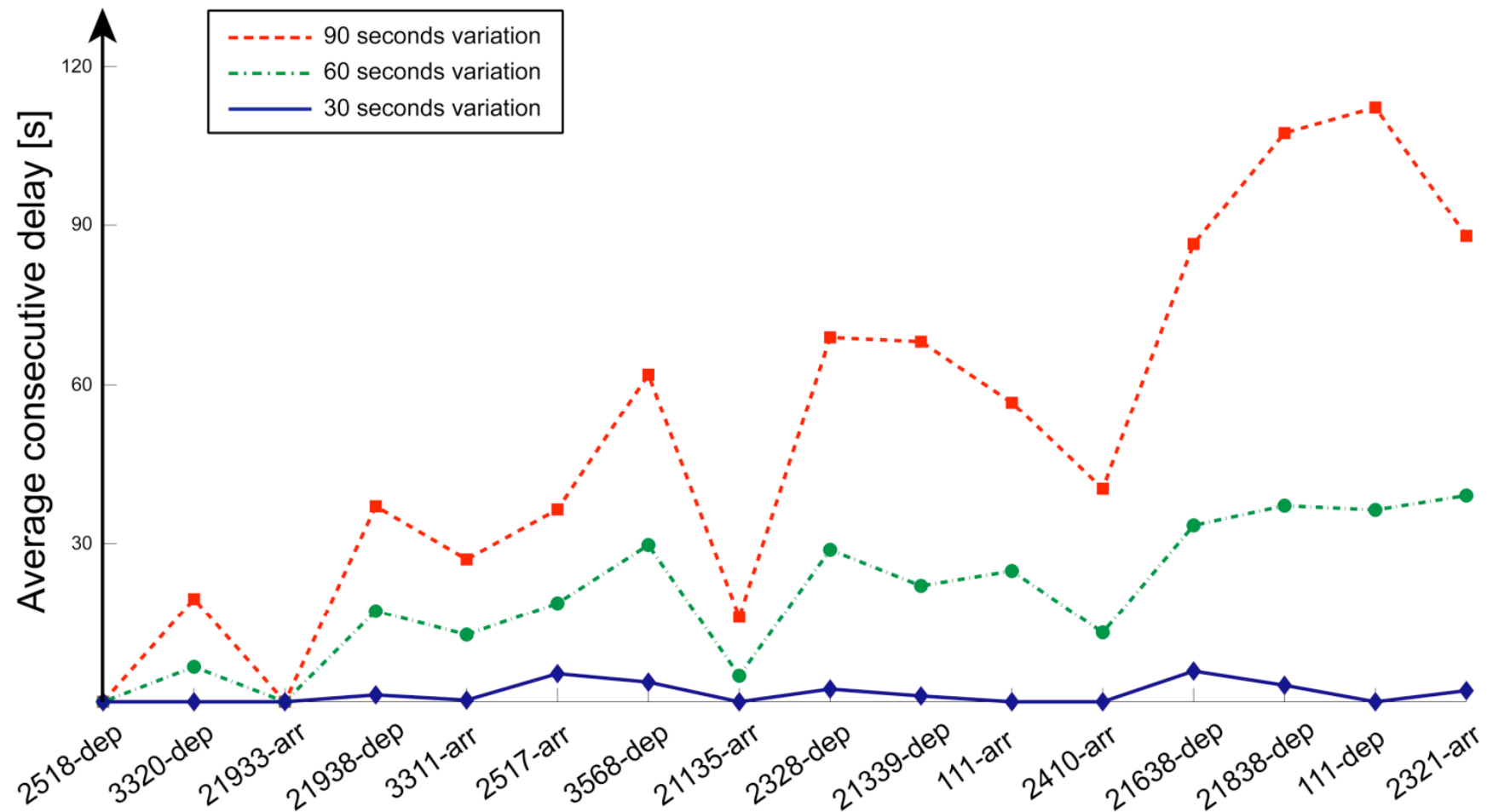
Simulation Results - 1



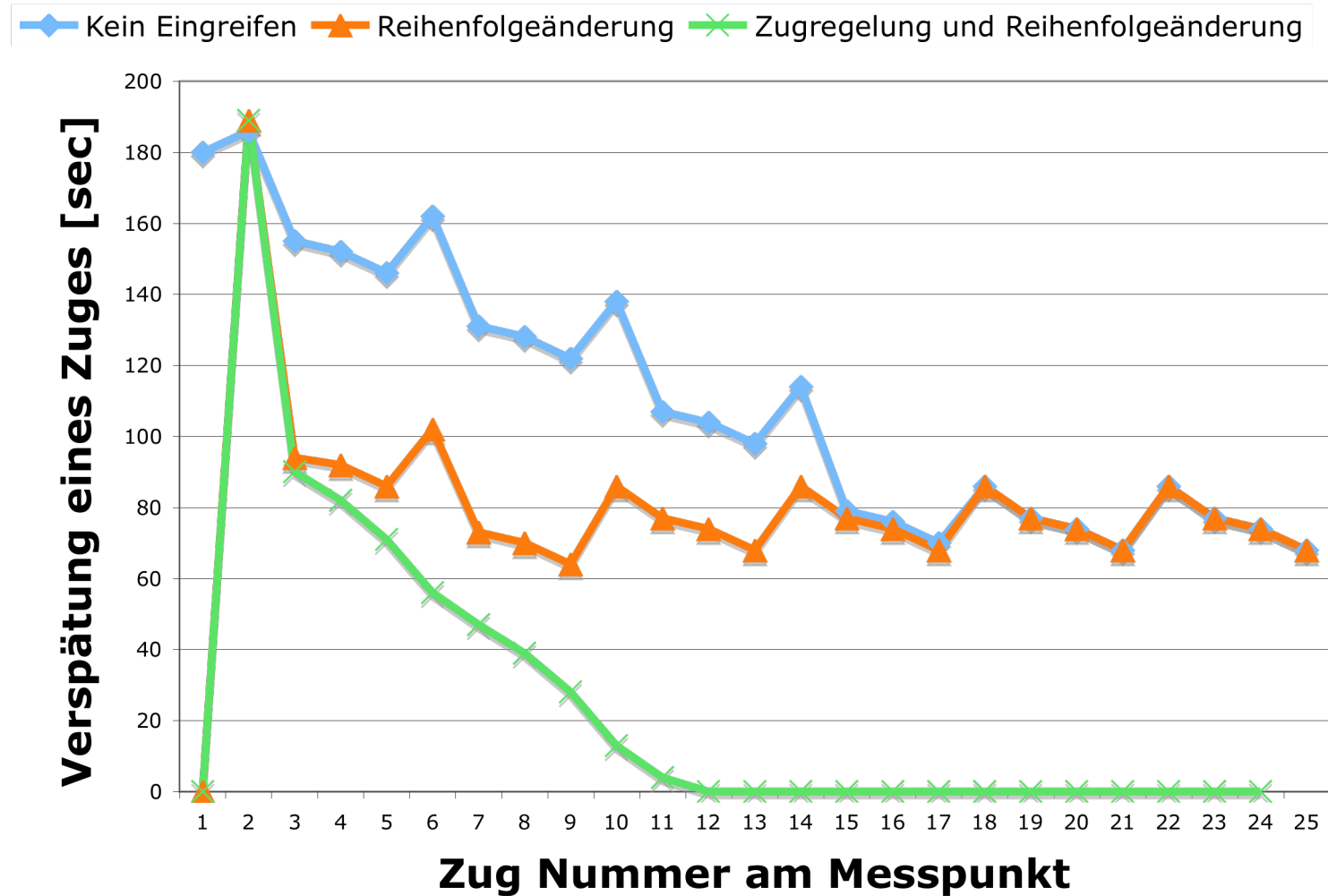
Simulation Results - 1

Initially delayed train		2518	3311	3311	2517	2517	111	3320	21933
Original delay [s]		120	120	240	120	240	120	120	180
Regular timetable	Total knock-on delays without rescheduling [sec]	660	600	1500	180	960	240	540	780
	Reduction knock-on delays with Rescheduling but no speed-up of trains [%]	55	20	72	67	94	25	67	23
	Reduction knock-on delays with Rescheduling including speed-up of trains [%]	82	70	72	67	94	100	89	54
Dense timetable	Total knock-on delays without rescheduling [s]	1620	1860	2400	900	2820	1020	1860	2040
	Reduction knock-on delays with Rescheduling but no speed-up of trains [%]	81	55	33	60	94	59	84	53
	Reduction knock-on delays with Rescheduling including speed-up of trains [%]	93	68	33	60	94	100	97	53

Simulation Results - 2



Simulation Results



Simulation Results

- Co-production can reduce (secondary-)delays by about 50-75% compared to actual operational behaviour.
- Speeding up trains is a very efficient way to reduce delays.
- Rescheduling duration and system observe-ability have a significant impact on overall system performance.
- When co-production is used in combination with an ultra-short block system (60 meters), capacity in bottleneck areas could be improved up to 40% without reducing punctuality level.