

# 23. Gothaer Technologenseminar

*"Betriebsprozesssimulation mit Hilfe von Eisenbahntrainingsanlagen"  
- Einsatz in Lehre, Forschung und Wissenschaft -*

## Grundsätzliche Erwartungen und Anforderungen an Prozesssimulation

Univ.-Doc. Dr.-Ing. Ferenc Parádi

Tran-SYS GmbH Budapest

# Simulationstechnik

Seit 20 Jahren

in enger Zusammenarbeit von



Funkwerk Information Technologies GmbH

und

Tran-SYS System Technik GmbH

# Anwendungsbereiche

## Ausbildung/Training

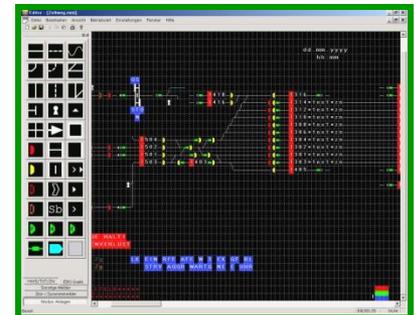
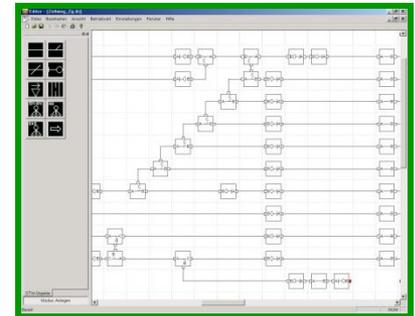
- Bedien- und Wartungspersonal
- Grundausbildung, Anlagenerstschulung, Weiterbildung
- Streßtraining

## Unterstützung der Planung

- Stellwerksplanung
- Technologieplanung

## Test/Analyse

- Verifikation der Stellwerkspläne und Betriebsprogramme
- Dynamische Funktionsanalyse



# Simulation

**Ausarbeitung von Modellen und Durchführung von Versuchen mit den Modellen zur Untersuchung der Funktion des Eisenbahnbetriebsprozesses, wobei die zielgerichtet ausgewählten Funktions- bzw. Betriebsdaten mit Zahlen derart dargestellt werden, daß sie die Untersuchungen ermöglichen**

**Was soll während der Simulation gelöst werden?**



# Simulation

**Ausarbeitung von Modellen und Durchführung von Versuchen mit den Modellen zur Untersuchung der Funktion des Eisenbahnbetriebsprozesses, wobei die zielgerichtet ausgewählten Funktions- bzw. Betriebsdaten mit Zahlen derart dargestellt werden, daß sie die Untersuchungen ermöglichen**

# Was soll während der Simulation gelöst werden?

- **Ausarbeitung von Modellen,  
Entwicklungs- und Vorbereitungsphase**

# Simulation

**Ausarbeitung von Modellen und Durchführung von Versuchen mit den Modellen zur Untersuchung der Funktion des Eisenbahnbetriebsprozesses, wobei die zielgerichtet ausgewählten Funktions- bzw. Betriebsdaten mit Zahlen derart dargestellt werden, daß sie die Untersuchungen ermöglichen**

# Was soll während der Simulation gelöst werden?

- **Ausarbeitung von Modellen,  
Entwicklungs- und Vorbereitungsphase**
- **Durchführung von Versuchen,  
Versuchsphase**

# Simulation

**Ausarbeitung von Modellen und Durchführung von Versuchen mit den Modellen zur **Untersuchung der Funktion des Eisenbahnbetriebsprozesses**, wobei die zielgerichtet ausgewählten Funktions- bzw. Betriebsdaten mit Zahlen derart dargestellt werden, daß sie die Untersuchungen ermöglichen**

# Was soll während der Simulation gelöst werden?

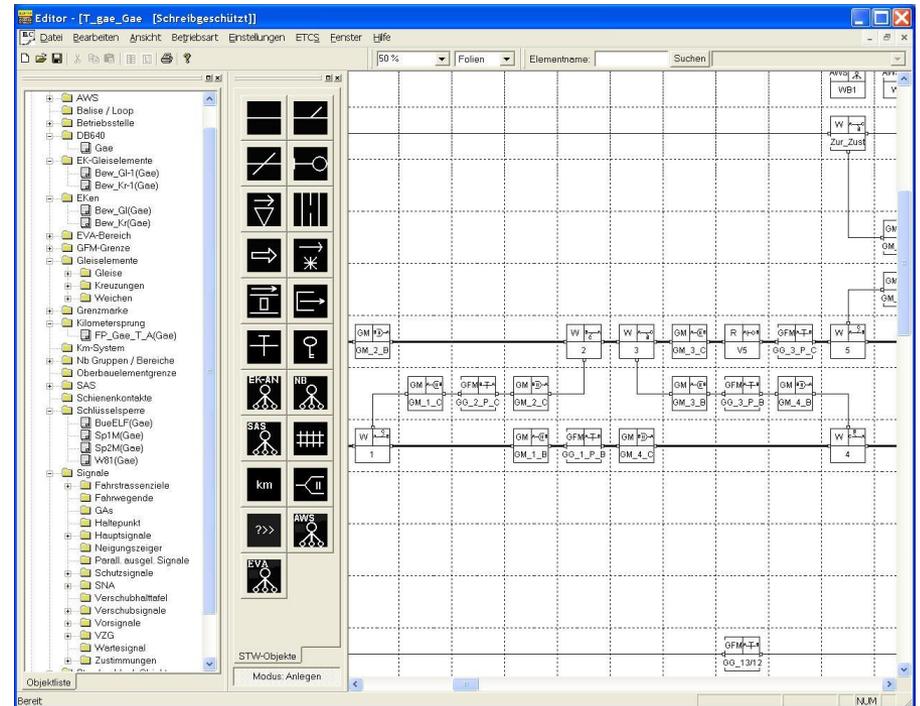
- **Ausarbeitung von Modellen,  
Entwicklungs- und Vorbereitungsphase**
- **Durchführung von Versuchen,  
Versuchsphase**
- **Untersuchung der Funktion des Eisenbahnbetriebsprozesses,  
Auswertungsphase**

# Entwicklungsphase

1. Ausarbeitung eines **statischen Modells** zur Abbildung der **Topologie** des Eisenbahngleisnetzes und Abbildung der maßgebenden Objektparameter.  
Dieses Modell basiert auf Graphentheorie, heutzutage **Knoten-Kanten-Modell** genannt

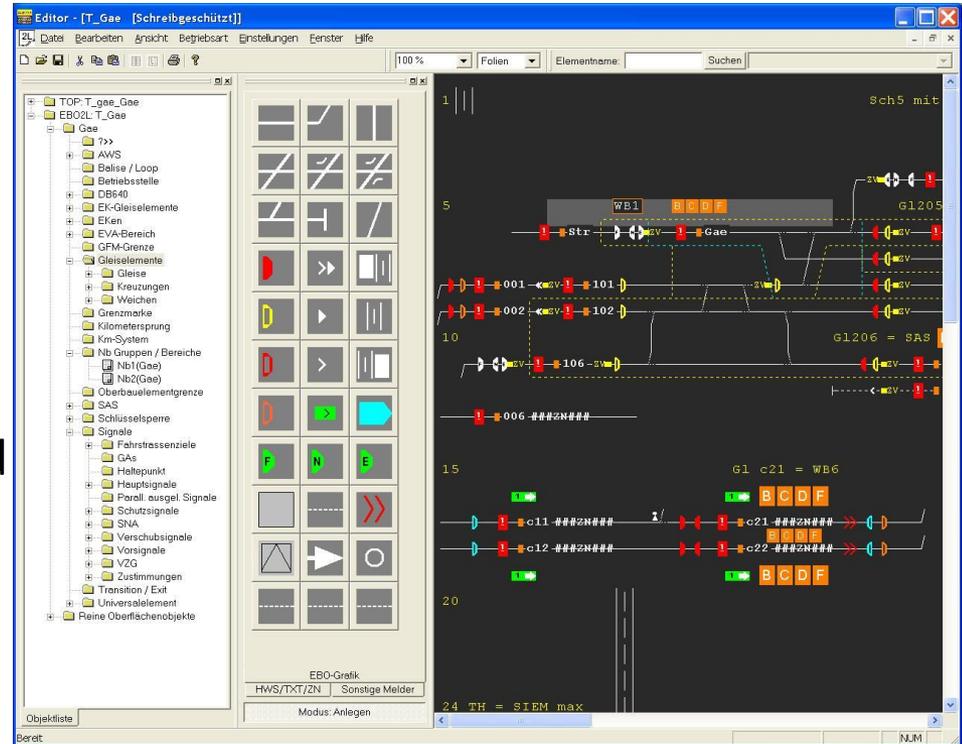
# Entwicklungsphase

2. Ausarbeitung eines **Infrastruktureditors**, mit dessen Hilfe die Daten der Topologie und die physischen (z.B. Weichen, Signale) bzw. logischen (z.B. Fahrstrassen) Objekte zusammen-gestellt und in einer **Datenbank** gespeichert werden können.



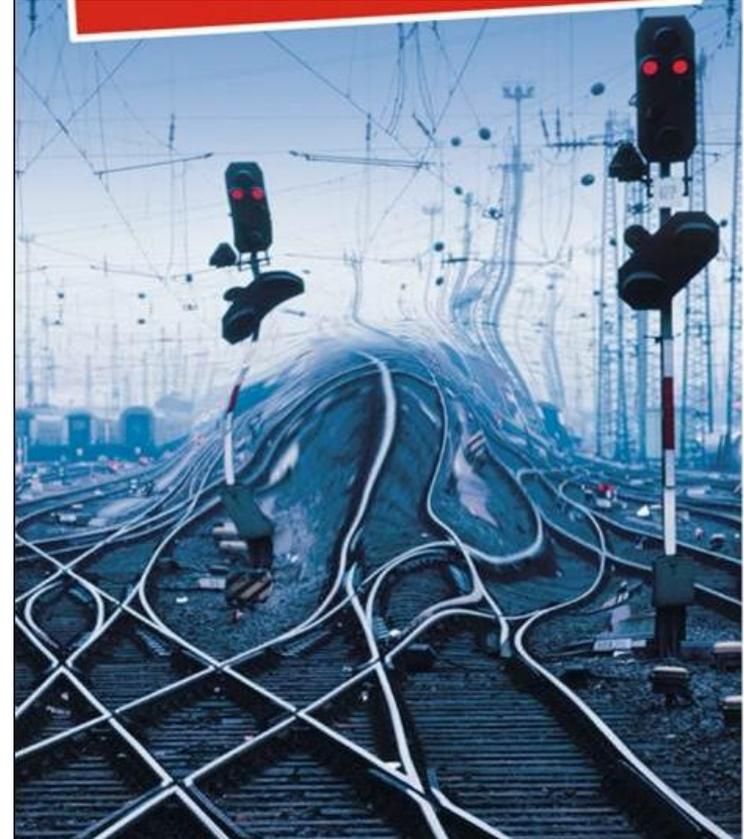
# Entwicklungsphase

3. Ausarbeitung eines **Oberflächeeditors** (graphisches Editor), mit dessen Hilfe die Graphik der Bedienoberfläche der Stellwerkes und die Zuordnung der graphischen Parameter zu den Stellwerkszuständen editiert und in einer **Datenbank** gespeichert werden können.



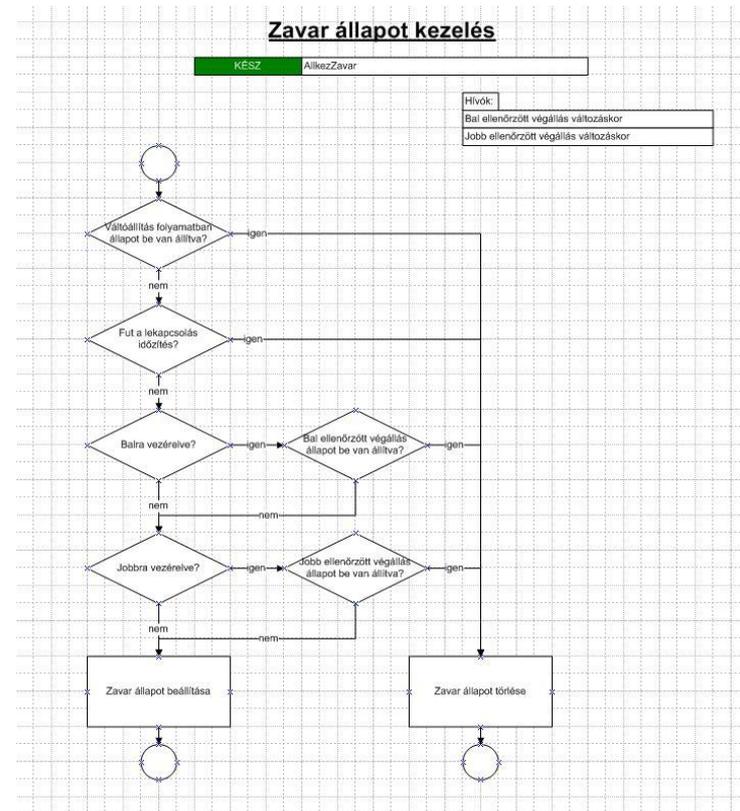
# Entwicklungsphase

4. Ausarbeitung eines algorithmischen Modells zur **Abbildung** der Funktionalität und der Zustände der **Aussenanlagen** (inkl. Störzustände) (Weichen, Signale usw.).



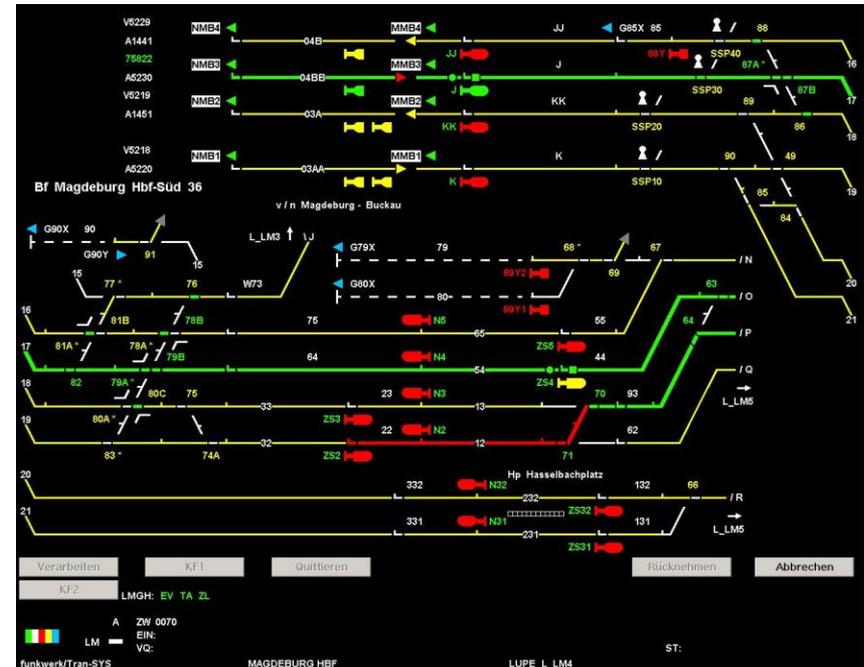
# Entwicklungsphase

5. Ausarbeitung eines algorithmischen Modells zur möglichst vollständigen **Abbildung** der **Stellwerkslogik** (inkl. Störzustände).



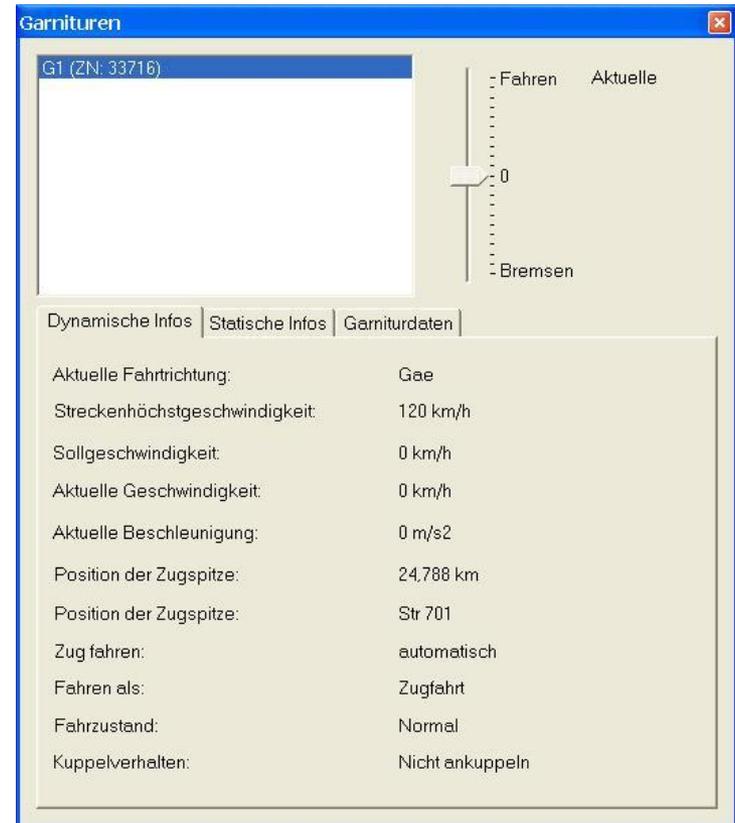
# Entwicklungsphase

6. Ausarbeitung eines algorithmischen Modells zur möglichst vollständigen **Abbildung** der **Bedienoberfläche** des abgebildeten Stellwerkes (inkl. Bedienmenüs und Stöorzustände).



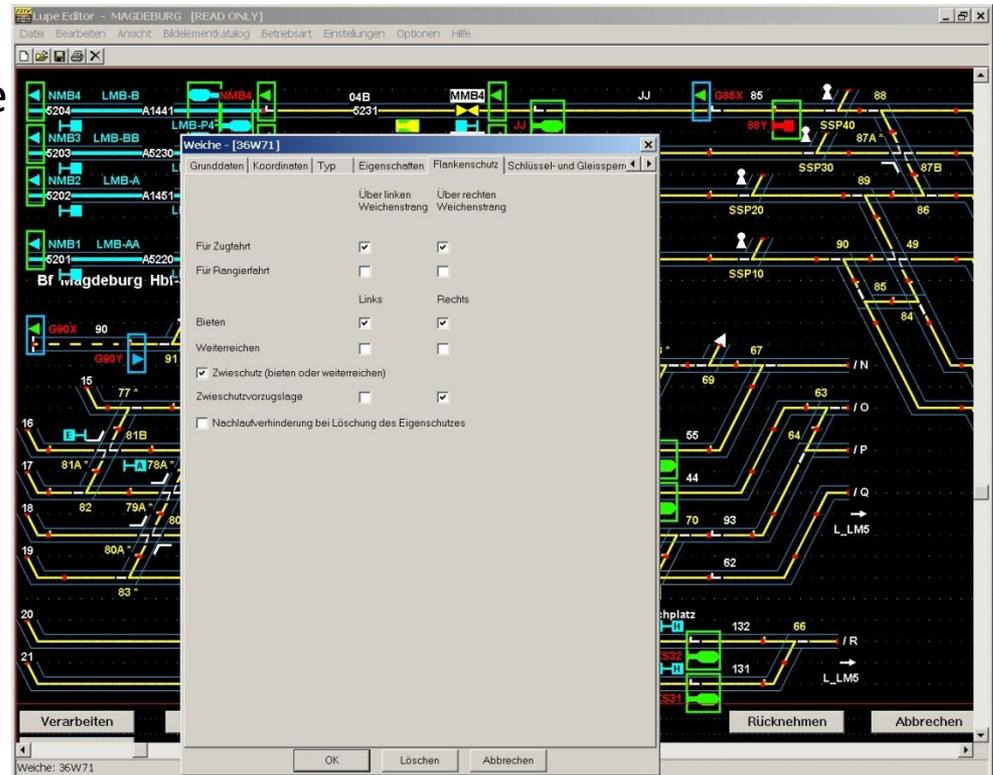
# Entwicklungsphase

7. Ausarbeitung eines algorithmischen Modells zur **Fahrtensimulation** sowohl für Zugfahrten als auch für Rangierfahrten mit Berücksichtigung der Fahrdynamik und des Fahrplans sowie der Störzustände.



# Vorbereitungsphase

Editierung (**Projektierung**) des zu simulierenden Bereiches mit Hilfe des Infrastruktur- und des Oberflächeeditors



# Versuchsphase

- Durchführung der Simulation für einen bestimmten Zeitraum
- Bedienung des “Stellwerkes” über einen oder mehrere Bedienplätze durch Fdl (evtl. durch ZL)
- Bedienung des “Stellwerkes” über wirklichkeitstreue Bedienoberfläche
- Züge (Rangiereinheiten) werden fahrplanmäßig eingesetzt und gestartet
- Züge (Rangiereinheiten) fahren nach Infrastrukturzustand und Fahrdynamik



# Auswertungsphase

Das Ziel in der Auswertungsphase ist es, die Qualität bzw. die Problempunkte des durchgeführten Betriebsprozesses festzustellen und zu identifizieren.

Dies ist möglich:

- während der Simulation (On-Line Auswertung)
- nach der Simulation (Off-Line Auswertung)

# On-Line Auswertung

- Interview von Bedienern (Fdl) über ihre Erfahrungen und Vorschläge
- Markersetzung durch Bediener in bestimmten Situationen, die später ausführlich auszuwerten sind

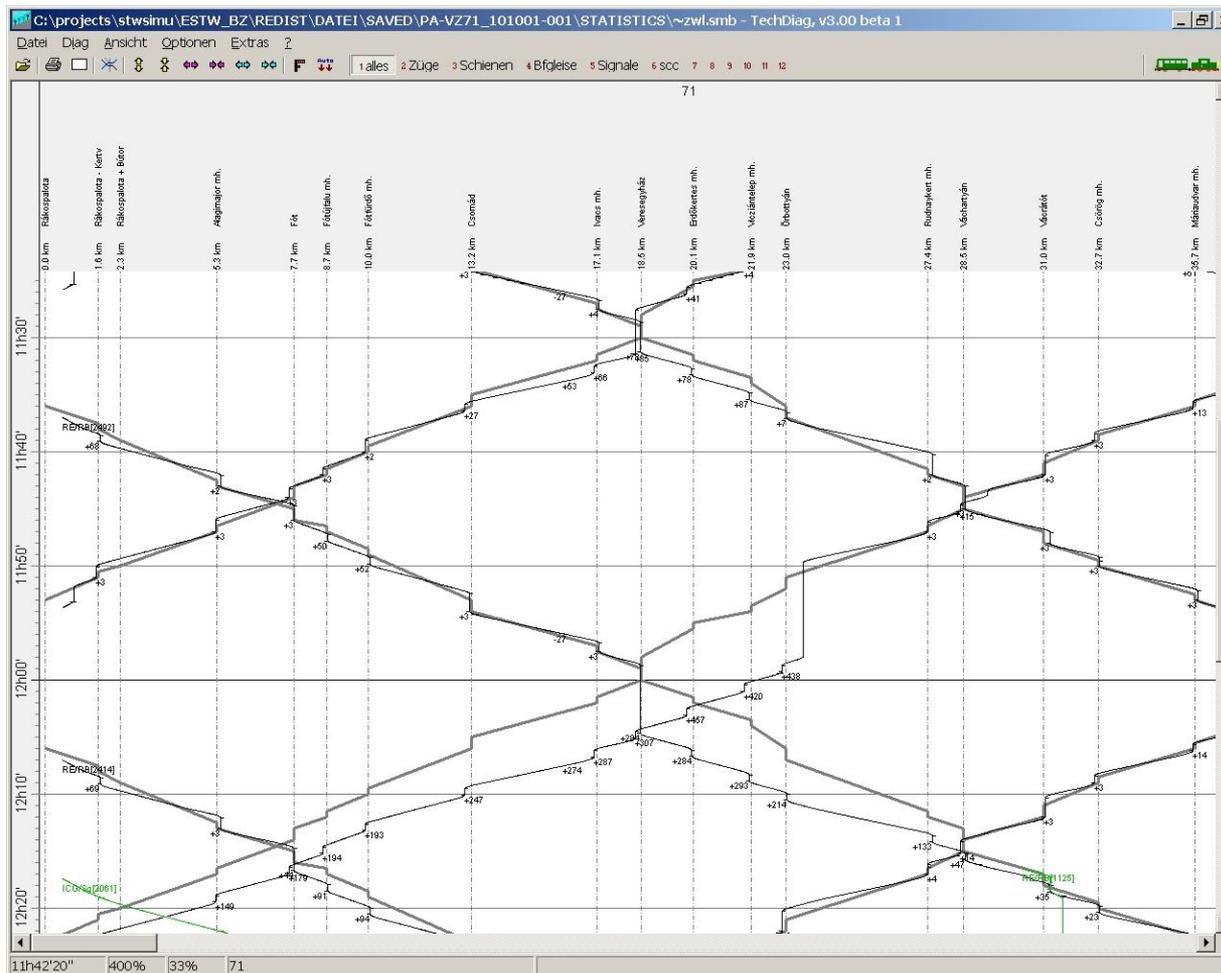
# Off-Line Auswertung

Analyse der in der Versuchsphase erstellten

- Protokolle (Logs) über z.B.
  - Bedienungen
  - Zustandsänderungen der Züge, der Objekte
- Tabellen über z.B.
  - Verspätungen
  - Gleisbelegungen
  - Zustandsänderungen von Objekten
  - Gleisausnutzungstabelle
- Graphische Darstellungen z.B.
  - Geschwindigkeitsdiagramme
  - Zeit-Weg Linien (ZWL)
  - Objektzustandsdiagramm
  - Kombination ZWL und Objektzustandsdiagramm
  - Kombination der ZWL mit Soll und Ist-Werten
  - Gleisausnutzungsbild
- Weitere Auswertetools ???

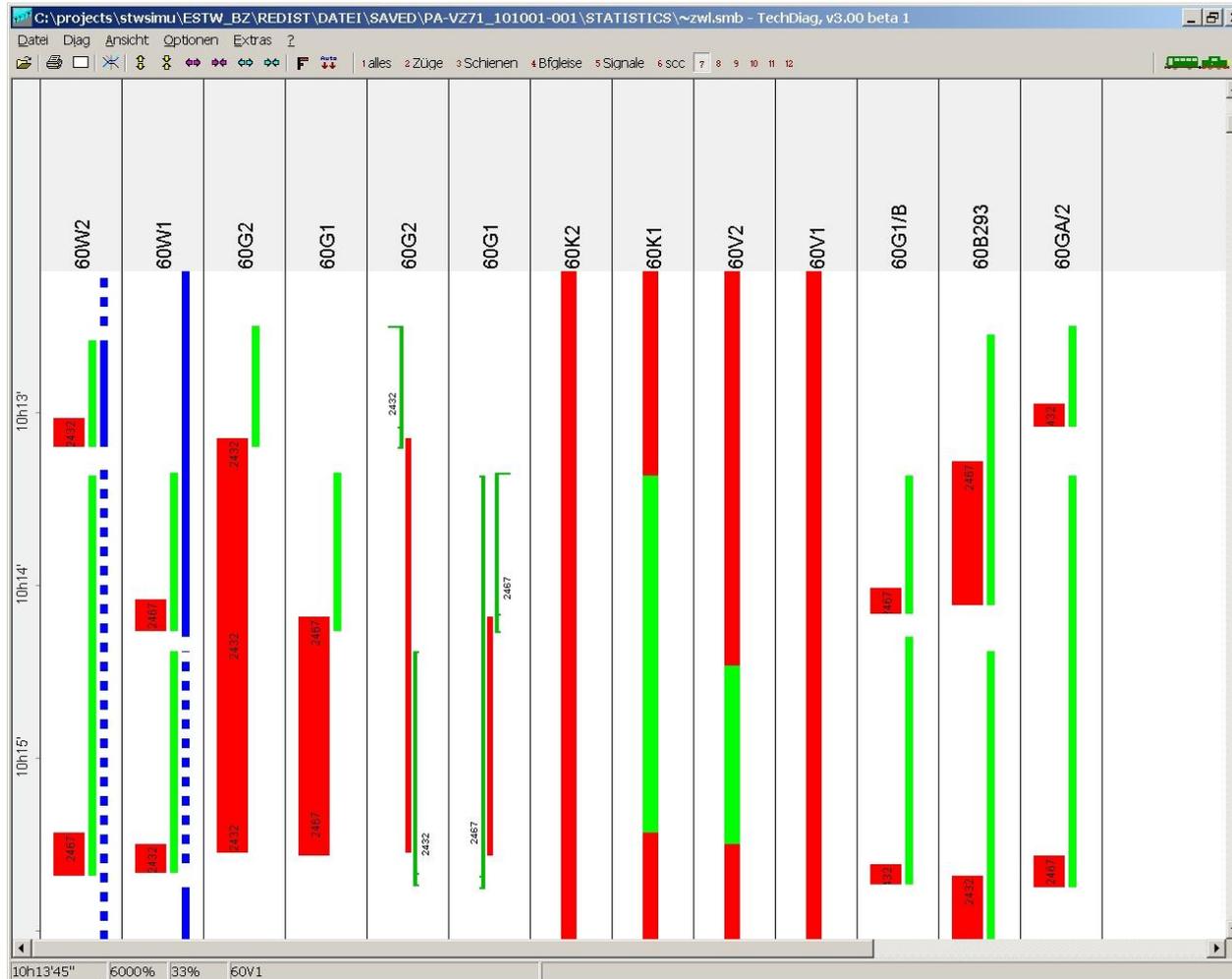
# Beispiele über graphische Darstellungen

## Zeit-Weg-Linie mit Soll- Ist-Werten



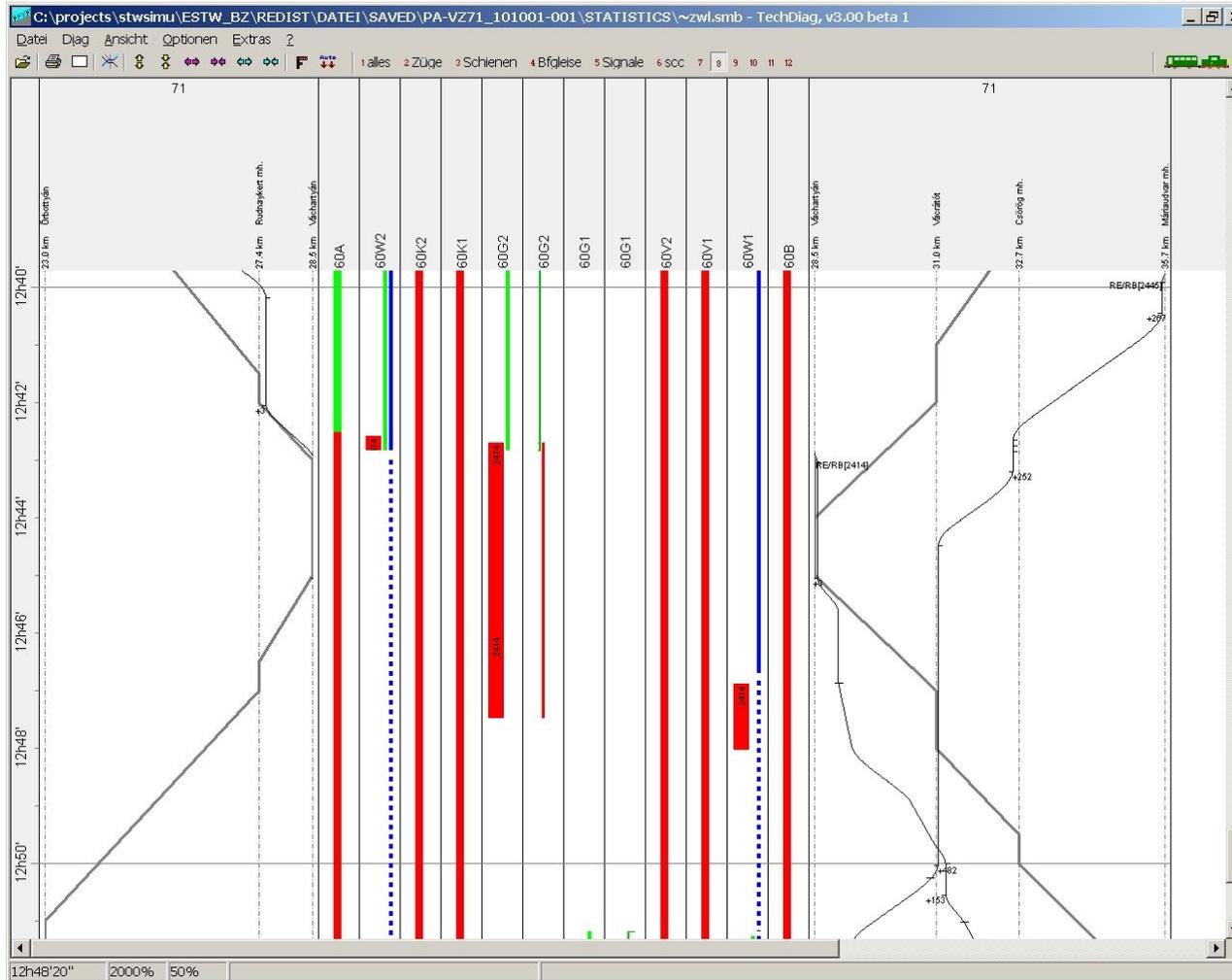
# Beispiele über graphische Darstellungen

## Objektzustandsdiagramm



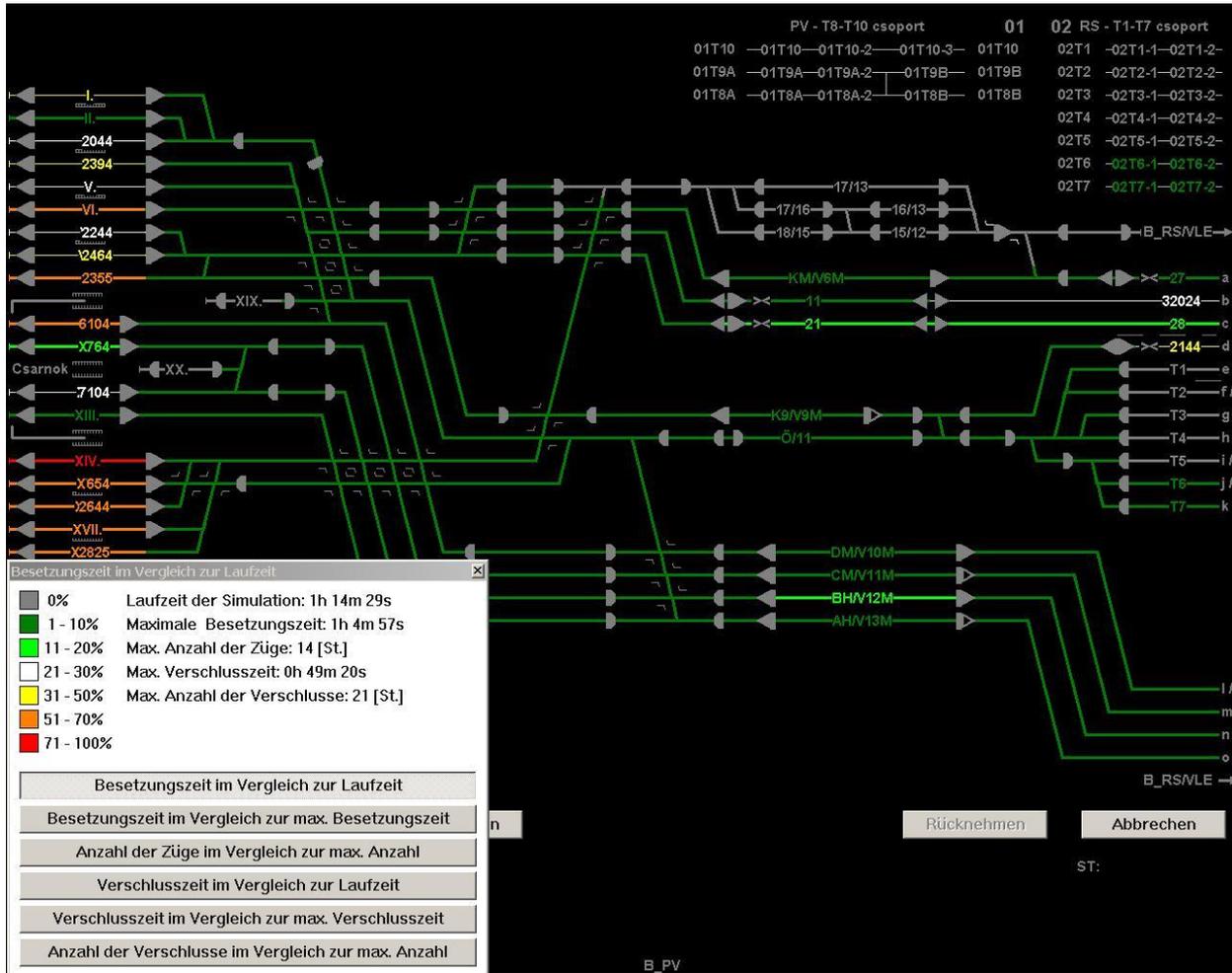
# Beispiele über graphische Darstellungen

## Kombination der mit ZWL Objektzustandsdiagramm



# Beispiele über graphische Darstellungen

## Gleisausnutzungsbild



# Anforderungen an die Simulation

- Beobachtbarkeit
- Flexible Konfiguration zum Simulationsstart
- Möglichkeit des Simulationsstarts aus dem gespeicherten Prozesszustand
- Möglichkeit der Beeinflussung der Simulation mit gespeicherten Aktionen (Ereignisfolge)
- Zustandsinformationen während der Simulation für Bediener
- Fortlaufende Speicherung der nötigen Informationen während der Simulation

# Anforderungen an die Simulation

## Beobachtbarkeit

- Proportionale Zeitabbildung
  - **Echtzeitsimulation**
  - Zeitlupe (1/2, 1/5, evtl. 1/10)
  - Zeitraffung (2, 5, evtl. 10)
- Stop/Start während der Simulation
- Replay der durchgeführten Simulation

# Anforderungen an die Simulation

## Konfiguration zum Simulationsstart

- Auswahl des Simulationsmodus
- Auswahl der simulierten Bereiche
- Auswahl der Simulationsstartzeit (Tag, Zeitpunkt)
- Auswahl des Simulationsfahrplans

The screenshot shows a configuration window titled 'KONFIGURATION' with the subtitle 'K O N F I G U R A T I O N'. The main title is 'Fdl-Bedienplatz unabhängig von der BZ'. The configuration options are as follows:

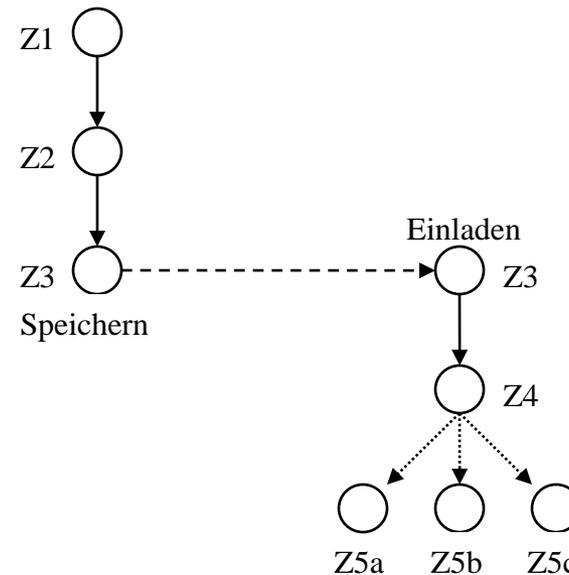
- Datum/Uhrzeit:** 29 . 10 . 2003 Mi 10 : 40 : 40
- Rechnerzeit wird aktiv
- Name Fahrplan Datei:** ----- ohne -----
- ESTW/ UZ Auswahl:** A list of test areas including Alcatel\_awanst\_test, Awanst\_test, Bbap\_test, Bf-st-klon\_test, Biederitz, Bischofswerda, Braunschweig, Calbe, Cir-elke\_test, Cir-elke\_test\_a\_test, Deckung\_test, Einsiedlerhof, and Finnentrop. There are right and left arrow buttons between the list and the 'Simulierte ESTW/ UZ' field.
- Simulierte ESTW/ UZ:** An empty rectangular field.
- CRT-Monitore
- TFT-Monitore

At the bottom, there are two buttons: 'OK' and 'Beenden'.

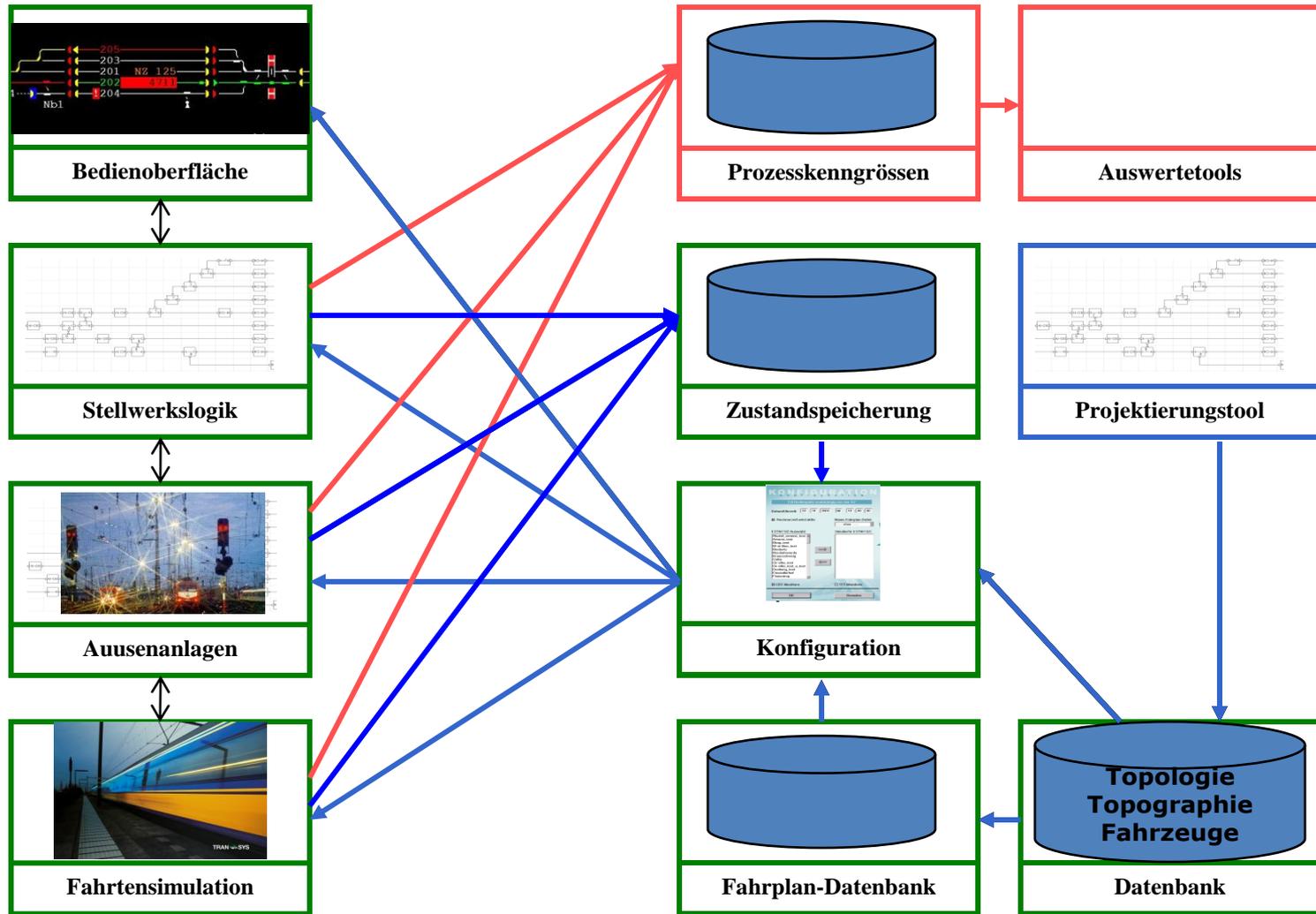
# Anforderungen an die Simulation **Simulationstart vom gespeicherten**

## Prozesszustand

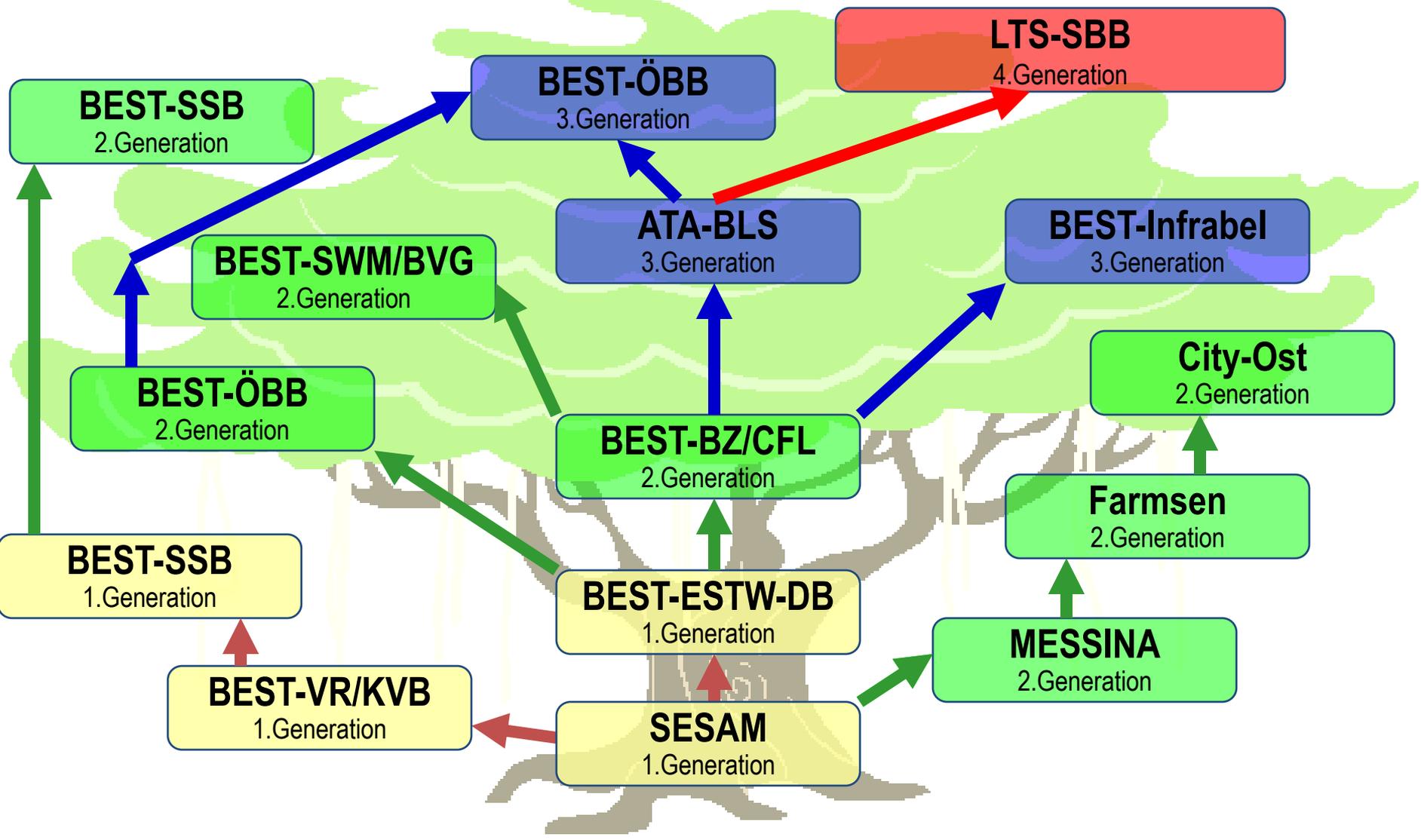
- Speichern des Prozesszustandes
  - Zeitgesteuert
  - Manuell gesteuert
- Auswahl des Prozesszustandes zum Simulationsstart



# Systemaufbau BEST



# Familienbaum BEST



# 1. Generation

- Grundfunktionen der Schulungsanlage
- Einzelplatzsimulationen
- Vom Lehrer generierter Zugverkehr
- Vereinfachte Fahrdynamik
- Zeitgesteuerte Ereignissfolge
- Einfacher Systemaufbau



# 2. Generation

- Weiterentwickeltes Topologiemodell
- Mehrplatzsimulationen
- Fahrplangesteuerter Zugverkehr
- Vollständige Fahrdynamik
- Zeitgesteuerte Ereignisfolge
- Modularisierter Systemaufbau, jedoch 1 Anwendung



# 3. Generation

- Neues Topologiemodell
- Frei konfigurierbare Mehrplatzsimulationen
- Frei konfigurierbare Zugkompositionen
- Neuer fahrplangesteuerter Zugverkehr
- Vollständige Fahrdynamik
- Zeit- und ereignisgesteuerte Ereignisfolge
- Modularisierter Systemaufbau, frei konfigurierbare Verteilung der unterschiedlichen Anwendungen



# 4. Generation

- Portierung des Simulationssystems für Win7 (64 bit)
- Neues Graphikmodell zur Bedienoberfläche
- Neue Lösungen zur Bedienoberfläche
- Neuer Editor zum Projektierungstool
- Weiterentwickeltes Konfigurationstool zum Simulationsstart
- Neue Auswertetools



Quelle: Transrapid international

# Weitere Anforderungen, Möglichkeiten

- Präzisierung des Modells für Fahrtensimulation, um die Fahrstrategie des Lokführers zu berücksichtigen
  - Zeitverzögerung beim Start
  - Beschleunigungsintensität
  - Bremsintensität
  - Berücksichtigung der Reibungszugkraft
- Berechnung der Leistungsaufnahme der Züge und der daraus resultierenden Unterwerksbelastung und des Spannungsabfalls
- Schnittstelle zum CBT
- Schnittstelle zum Dispositionssystem
- Schnittstelle zum Fahrsimulator
- Schnittstelle zur Modellbahn
- Schnittstelle zum echten Bedienpult

# Motto

**Die Simulation ist ein ausgezeichnetes Hilfsmittel, jedoch es muß berücksichtigt werden, daß das Leben erfindungsreicher als unseres Modell ist.**

**Danke für Ihre Aufmerksamkeit**