

OPEN TRACK

Simulation von Eisenbahnnetzen

Das Forschungsprojekt *Objektorientierte Modellierung im Eisenbahnwesen* des Institutes für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) der ETH Zürich hatte zum Ziel, eine benutzerfreundliche, auf verschiedenen Rechnerplattformen lauffähige Applikation zu entwickeln, mit welcher verschiedenste Fragestellungen des Eisenbahnbetriebes durch Simulation desselben beantwortet werden können. Daraus ist das Produkt *OpenTrack - Simulation von Eisenbahnnetzen* entstanden, welches heute bei Bahnverwaltungen, in der Eisenbahnindustrie, in Ingenieurbüros und an Hochschulinstituten im Einsatz ist.

Die Komponenten des Simulationswerkzeuges sind in Abb. 1 dargestellt. Vordefinierte Züge bewegen sich unter den Randbedingungen der Fahrplandaten auf einer definierten Gleisanlage. Die Simulation berechnet sekundengenau die Bewegungen aller Züge und bildet das exakte Verhalten der Sicherungsanlagen nach. Die während dem Simulationslauf gesammelten Prozessdaten können später in bahntypischen Auswertungen visualisiert werden (z.B. Grafische Fahrpläne, Belegungsdiagramme, Verspätungsstatistiken etc.)

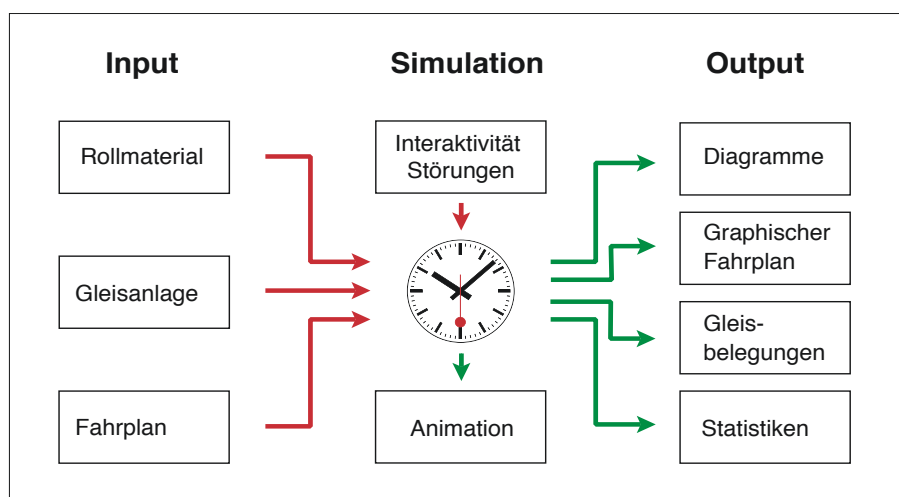


Abbildung 1: Komponenten des Simulationswerkzeuges

Rollmaterial

Jede Lokomotive wird durch ihre technischen Daten wie Motorisierung, Gewicht, Länge, etc. beschrieben. Eine Datenbank in Form eines sog. Depots verwaltet die erfassten Triebfahrzeuge. Einem effektiv während der Simulation verkehrenden Zug werden eine oder mehrere Lokomotiven aus einem Depot zugeordnet und mit den entsprechenden Wagen versehen. Solche vordefinierte Zugkompositionen (z.B. eine Lok Re 460, 13 Einheitswagen IV und ein Steuerwagen) können dann beliebig oft und für verschiedenste Zugläufe verwendet werden, weil sie ebenfalls aus einer Datenbank abrufbar sind.

Daten der Gleisanlage

Die Gleisanlage wird in Form eines mathematischen Graphen (Menge von Knoten und Kanten) beschrieben. Die Topologie kann mittels eines Gleisbildeditors grafisch erfasst und verwaltet werden. Den verschiedenen Elementen des Graphen können Attribute zugeordnet werden. So haben z.B. Kantenobjekte eine Länge, eine Steigung, Maximalgeschwindigkeiten für verschiedene Zugskategorien und vieles mehr. Neben den Knoten und Kanten des Graphen können mit dem Gleisbildeditor noch weitere Objekte der Eisenbahninfrastruktur wie Signale, Stationen und Fahrstrassen kreiert und verwaltet werden. Die Abb. 2 zeigt einen Ausschnitt aus einer Gleisanlage einer Station.

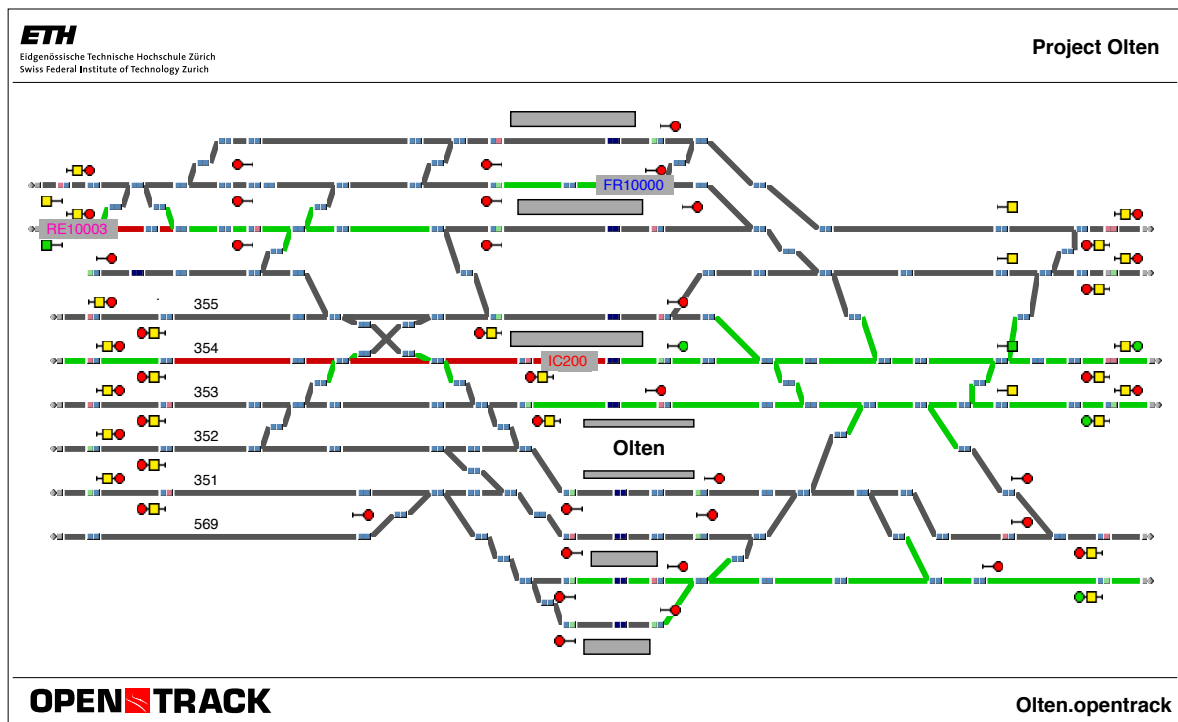


Abbildung 2: Gleistopologie einer Station

Fahrplandaten

Die Fahrplandatenbank verwaltet die Eckdaten der zu simulierenden Zugbewegungen. So werden etwa die geplanten Abfahrtszeiten der Züge an den verschiedenen Halteorten festgehalten, die minimalen Aufenthaltszeiten definiert und Anschlussbeziehungen zwischen Zügen festgelegt.

Simulation

Während der Simulation versuchen die verkehrenden Züge, die vorgebenen Fahrplandefinitionen möglichst zeitgerecht zu erfüllen. Das Vorwärtskommen der Züge wird durch das Lösen der Bewegungsdifferentialgleichung berechnet, d.h. aus der max. Zugkraft, den Fahrwiderständen und den Parametern der Gleisinfrastruktur wird die maximal mögliche Beschleunigung pro Zeitschritt ermittelt. Durch Integration der Beschleunigungsfunktion erhält man die Geschwindigkeit des Zuges und durch nochmaliges Integrieren die zurückgelegte Strecke. Die Stellwerke, welche die Gleisanlage, bzw. die Züge sichern, haben zusätzlichen Einfluss auf das Fortkommen der Fahrzeuge, z.B. wegen belegten Fahrwegabschnitten oder einschränkenden Fahrinformationen an Signalen.

Während der Simulation werden die Prozessdaten (z.B. Beschleunigung, Geschwindigkeit, Distanz, etc.) jedes Zug für seinen ganzen Fahrweg gespeichert, um nachher die gesammelten Daten an die verschiedenen Auswertungen weiterzugeben.

Die Simulation kann in einem Animationsmodus durchgeführt werden, so dass der Benutzer auf der Gleisanlage die fahrenden Züge, die belegten und die reservierten Abschnitte von Fahrstrassen und die Zustände aller Signale sieht.

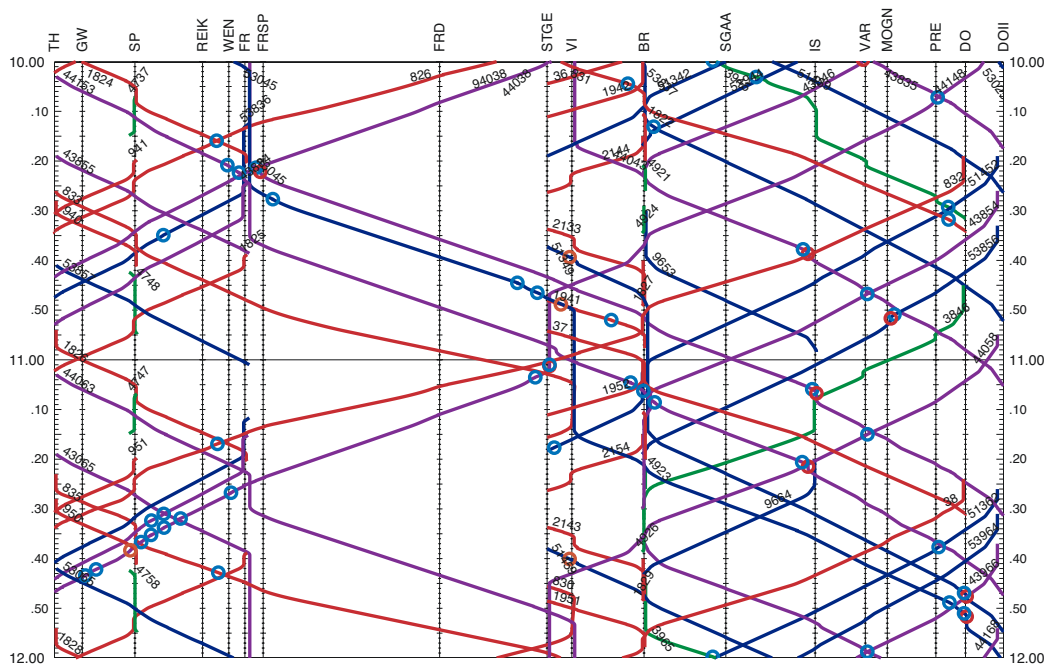


Abbildung 3: Bildfahrplan, Grafischer Fahrplan

Auswertungen

OpenTrack bietet eine Fülle von Simulationsauswertungen. Es sind Auswertungen pro Zug, pro Strecke oder pro Station möglich. Pro Zug kann z.B. das Beschleunigungsverhalten über die gefahrene Strecke, die Geschwindigkeit über die Strecke (Abb. 4), allfällige Behinderungen (geschlossene Signale, verspätete Anschlusszüge) und weiteres mehr ausgegeben werden. Streckenbezogen werden grafische Fahrpläne (Abb. 3) und Sperrzeitentrepfen angezeigt und auf Stationen werden Ist-Fahrplanzeiten, Durchfahrzeiten und Belegungen der Stationsgleise (Abb. 5) mitgeschrieben.

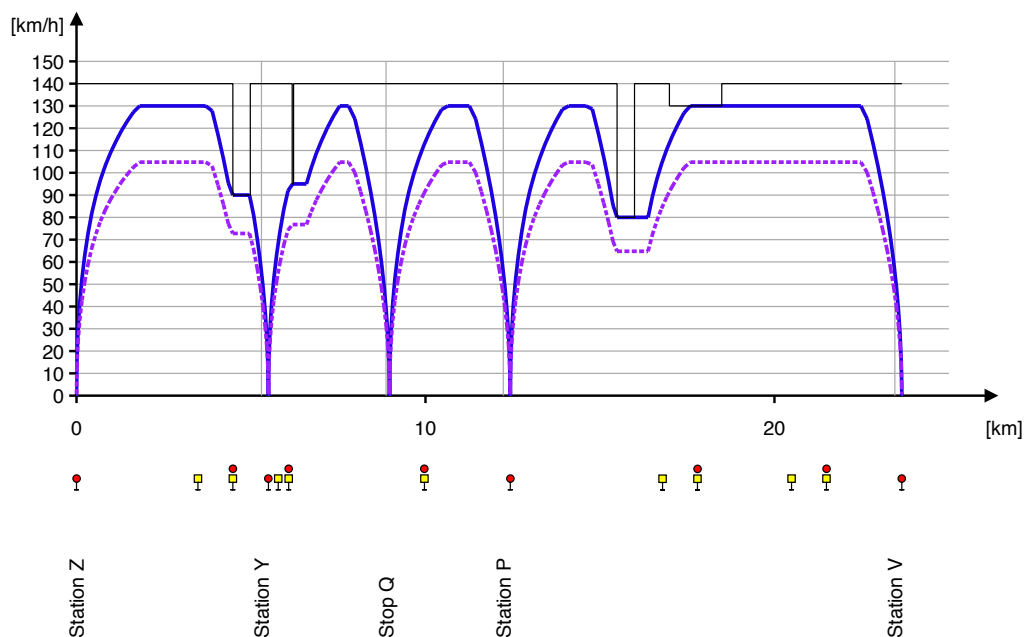


Abbildung 4: Geschwindigkeits/Strecken-Diagramm

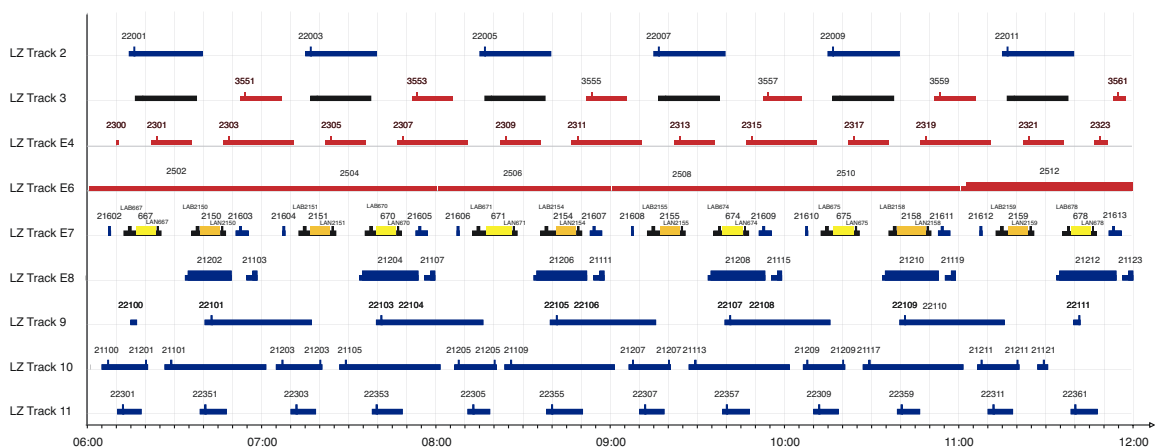


Abbildung 5: Belegung von Stationsgleisen

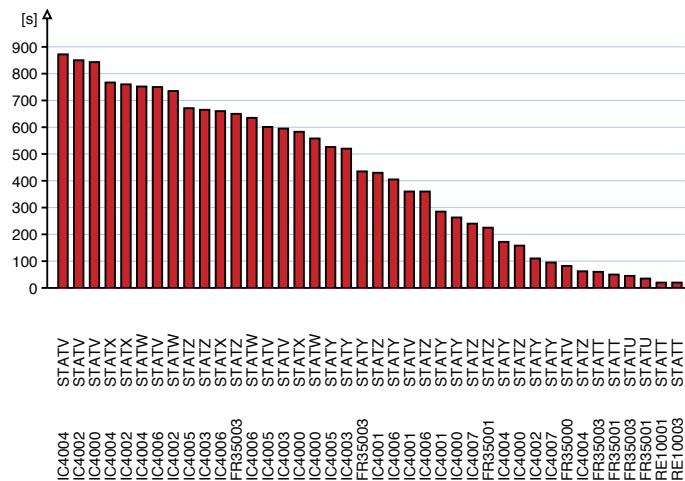


Abbildung 6: Verspätungsstatistik

Alle Auswertungen können sowohl in grafischer als auch in textueller Form dargestellt werden. Die Abb. 6 zeigt ein Balkendiagramm einer Verspätungsstatistik, in Abb. 7 ist ein in ASCII-Text verfügbarer Soll/Ist-Vergleich dargestellt, welcher direkt in Excel eingelesen werden kann.

Course	Station	Arr. Planned [HH:MM:SS]	Dep. Planned [HH:MM:SS]	Arr. Actual [HH:MM:SS]	Dep. Actual [HH:MM:SS]	Arr. Del. [s]	Dept. Del. [s]
18021	ZMUS	07:04:00	07:05:20	HH:MM:SS	07:07:00	0	100
18021	ZMUO	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	07:07:26	0	0
18021	ZSTH	07:09:00	07:10:30	07:09:04	07:10:30	4	0
18021	ZHOT	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	07:11:40	0	0
18021	STET	07:14:00	07:14:00	HH:MM:SS	07:13:52	0	-8
18021	NGUT	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	07:14:20	0	0
18021	CHRI	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	07:14:50	0	0
18021	DUE	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	07:15:22	0	0
18021	SCWE	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	07:16:56	0	0
18021	NAEN	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	07:18:16	0	0
18021	UST	07:21:00	HH:MM:SS	07:20:26	HH:MM:SS	-34	0
18022	UST	HH:MM:SS	07:37:20	HH:MM:SS	07:39:00	0	100
18022	NAEN	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	07:40:46	0	0
18022	SCWE	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	07:42:06	0	0

Abbildung 7: Auswertung in Excel

Applikation OpenTrack

OpenTrack ist erhältlich für die Betriebssysteme *Windows (XP, 7, 8, 10)* und *Mac OS X*.

Die Applikation ist in zwei verschiedenen Varianten erhältlich. Mit der Vollversion von *OpenTrack* können beliebig viele Züge pro Simulationslauf verkehren. Bei der Version *OpenTrack Light*, die vorwiegend für Zuglaufrechnungen vorgesehen ist, existiert eine Limite von maximal zwei zu simulierenden Zügen pro Simulationslauf.

Die Abb. 8 zeigt ein Beispiel der laufenden Applikation OpenTrack während eines Simulationslaufes. Die fahrenden Züge werden auf der Gleistopologie visualisiert.

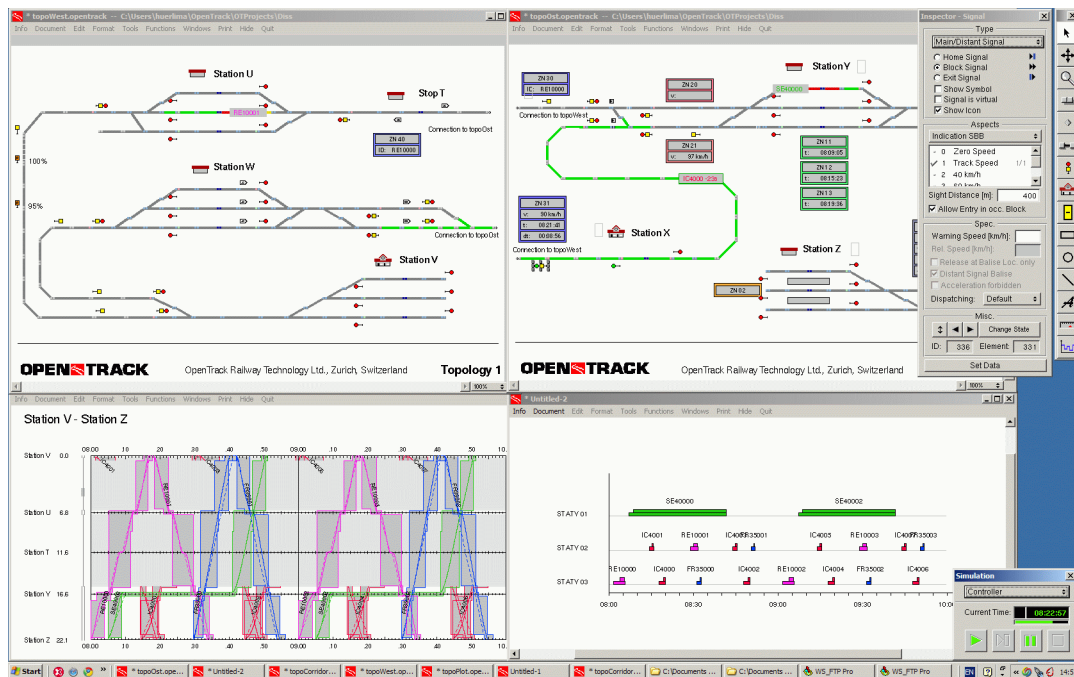


Abbildung 8: Screenshot (OpenTrack für Windows XP)

Weitere Informationen

OpenTrack Railway Technology GmbH
 Gubelstrasse 28
 CH - 8050 Zürich
 Schweiz

Tel: + 41 -44- 310 19 90
 Fax: + 41 -86- 044 310 19 90
 E-Mail: info@opentrack.ch
 WWW: <http://www.opentrack.ch>