

# Fahrsimulator für Bahnbaumaschinen und Oberbaufahrzeuge

Plasser & Theurer entwickelt einen Fahrsimulator für den Bahnbaubereich auf der Grundlage des Zusi Bahnsimulators.



Abb. 1: Hybridmaschine Unimat 09-8x4/4S BR-Dynamic E³

MICHAEL POSCHMANN |  
CHRISTOPH FEYRER |  
CHRISTIAN STUDNICKA |  
MARIO RAMMERSTORFER

Fahrsimulatoren für die moderne Aus- und Weiterbildung von Triebfahrzeugführern (Tf) sind mittlerweile anerkannter Standard. Einer der großen Vorteile ist es, gefahrlos Störungen an Fahrzeugen und Infrastruktur sowie besondere Stresssituationen trainieren zu können. In Europa haben sich daher auch einige Hersteller etabliert, deren Angebot von einfachen Pultsimulatoren bis zu genau nachgebauten Führerstands-kabinen reicht. Fahrzeugseitig umfasst das Angebot moderne Elektro- und Diesellokomotiven sowie viele Typen von Heavy-Rail- und Light-Rail-Triebwagen.

Speziell für gleisgebundene Bahnbaumaschinen und Oberbaufahrzeuge (Abb. 1 und 2) fehlte bislang ein Angebot, einerseits wegen des deutlich kleineren Marktes, andererseits wegen der hohen Entwicklungskosten.

Plasser & Theurer (P&T) als größter Systemhersteller auf diesem Sektor hat das zum Anlass genommen, diese Lücke zu schließen. Entwickelt wurde ein entsprechendes Produkt, das die charakteristischen Fahrdynamiken, die verschiedenen Antriebssysteme und die Nachbildung originalgetreuer Führerpulte einschließt. Auch die Hybridmaschinen mit elektrischer Energie-



Abb. 2: Hochleistungs-Instandhaltungsfahrzeug Plasser CatenaryCrafter für die ÖBB-Infrastruktur AG

versorgung über die Oberleitung und einem Verbrennungsmotor sollten abbildbar sein.

## Wesentliche Anforderungen an einen Simulator für Bahnbaumaschinen

Bei Projektstart wurden von einem internen Team die spezifischen Anforderungen an einen Fahrsimulator erfasst und in einem funktionalen und einem technischen Lastenheft dokumentiert.

Die Anforderungen lassen sich grob in folgende Bereiche gliedern:

- Fahrdynamik von Gleisbaumaschinen (hydrostatischer/hydrodynamischer und elektrischer Antrieb)
- Fahrdynamik von Oberbaufahrzeugen (dieselelektrischer und vollelektrischer Antrieb)
- originalgetreues Fahrerpult (umrüstbar bzw. anpassbar für Gleisbaumaschinen und Oberbaufahrzeuge)

- Betriebssysteme (Österreich und Deutschland)
- Zugbeeinflussungssysteme (Punktförmige Zugbeeinflussung – PZB Indusi, European Train Control System – ETCS Level 1 und Level 2)
- vollständige Nachbildung der Steuerungssoftware der simulierten Fahrzeuge mit allen Anzeigen
- umfassendes Streckennetz mit spezifischen Betriebsszenarien wie:
  - Überstellfahrten von Maschinen
  - Fahrten auf die freie Strecke (Sperrfahrten und andere Nebenfahrten)
  - Fahrten in und aus einer Anschlussbahn oder Ausweichanschlussstelle
  - Fahrten in und aus einem Baugleis
  - Befahren von Steilstrecken mit und ohne wirkende dynamische Bremse.

Um Kunden auch vor Ort schulen zu können, soll der Simulator mobil aufgebaut werden. Für ein möglichst realistisches Schulungsszenario mit Betrieb auf den Gleisen sollen zusätzlich auch andere Bahnbaumaschinen und auch Fahrzeuge wie Multifunktions- und Siloeinheiten (MFS) modelliert werden (Abb. 3). Um verschiedene Fahrzeugtypen auch am Führerpult original darzustellen, soll das entsprechende Segment (mit Fahr-Bremshebel bzw. Geschwindigkeits-Vorwahlhebel) austauschbar ausgeführt werden. Die haptischen Elemente sollen über eine zentrale Steckverbindung leicht angeschlossen bzw. getrennt werden können (Abb. 4 und 5). Das Umschalten der Antriebsmodi während der Fahrt soll ebenfalls der echten Maschine nachgebildet werden und während des Fahrens möglich sein.

**Auswahl eines Partners für die Simulationssoftware**

Nach dem Erstellen der Spezifikation wurde in einem zweistufigen Ausschreibungsverfahren ein Partner für die Lieferung der Simulationssoftware ermittelt. Wesentlich war neben Erfüllung der Spezifikation auch die Bereitschaft, ein derartiges Entwicklungsprojekt zu begleiten, da der Markt für Bahnbaufahrzeuge klein



Abb. 3: Screenshot mit Bahnbaufahrzeugen (Stopfmaschine, CatenaryCrafter)

ist und keine großen Stückzahlen erwarten lässt. Die Produktion von Bahnbaumaschinen ist trotz aller Bemühungen um Standardisierung von Komponenten und Einführung von Modulbauweisen immer noch Sondermaschinenbau. Dieser stellt auch an Fahrsimulatoren besondere Anforderungen hinsichtlich der Flexibilität in der Anpassung an echte Maschinen. Für das Projekt wurde am Ende des Auswahlverfahrens der marktverfügbare Simulator von Zusi Bahnsimulatoren [1], genutzt und hinsichtlich der speziellen Anforderungen funktional erweitert und angepasst. Er erlaubt die Verwendung der Zugsicherungssysteme PZB, Linienförmige Zugbeeinflussung (LZB) und ETCS (Level 1 und Level 2) in den Ausprägungen Deutschland und Österreich mit den jeweiligen länderspezifischen Betriebsverfahren. Die Darstellung der Signale und Verfahrensweisen basiert auf der Fahrdienstvorschrift und dem Signallbuch der Deutschen Bahn AG sowie der ÖBB-Betriebsvorschrift 30.01 (V3) und dem ÖBB-Signallbuch 30.02 (V2). Für die Anwendung stehen verschiedene Streckenmodule zur Verfügung. Es handelt sich dabei um die Modellierung fiktiver Abschnitte an-

stelle der Nachbildung realer Strecken. Dies erlaubt eine höhere „Ereignisdichte“ betrieblicher Sondersituationen und damit die effiziente Nutzung der verfügbaren Trainingszeit am Simulator.

Die Trainer können eigene Fahrplanszenarien erstellen. Dabei wird ein selbst gesteuerter Zug definiert, der um beliebig viele KI-gesteuerte „Dekozüge“ im Umfeld ergänzt werden kann, um verschiedene Verkehrsdichten zu simulieren. Diese Fahrten bewegen sich anhand ihrer Fahrplanvorgaben und unter Berücksichtigung der Streckenbelegung selbstständig im Netz. Das Auslösen von Sonderereignissen ist sowohl ad hoc an der Trainerstation als auch automatisiert möglich, gestützt auf Fahrplanszenarien. Solche Sonderereignisse sind beispielsweise das Ansprechen oder die Störung von Sicherungssystemen, Fahrzeugstörungen oder Geräteausfälle. Ferner können Sondersituationen an Signalanlagen dargestellt werden wie etwa Fahrten auf Ersatzsignal oder Befehlsfahrten, verzögerte Fahrtstellung, Signallrückfall, zweifelhafte Signalbilder, Gegenstände im Gleis, in der Fahrleitung oder Bahnübergangsstörungen.



Abb. 4: Fahrstand einer Stopfmaschine mit dem charakteristischen Fahr-Bremshebel von P&T



Abb. 5: Fahrstand Oberbaufahrzeug CatenaryCrafter mit Geschwindigkeits-Vorwahlhebel und Fahr-Bremshebel (elektrodynamische Bremse und Schnellbremsstellung)

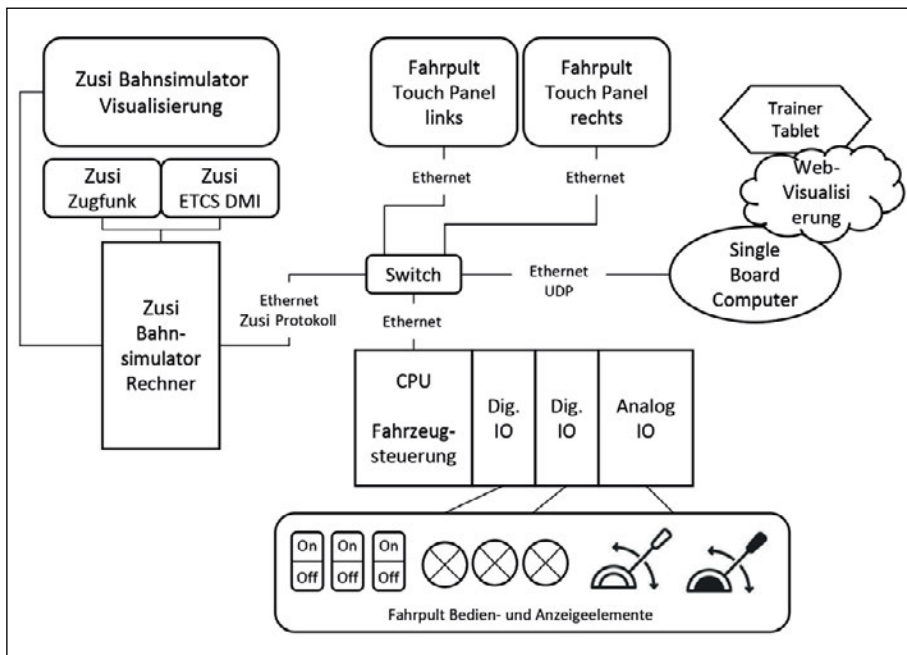


Abb 6: Steuerungstechnischer Aufbau des P&T-Fahrsimulators

Der Zusi Bahnsimulator ermöglicht den Tf das interaktive Stellen von Infrastruktureinrichtungen wie Handweichen und elektrisch ortsgestellten Weichen, Gleisperrern, Schutzhalttafeln sowie die Sicherung von Eisenbahnkreuzungen mittels Hilfeinschaltung. Damit werden auch die bei Baufahrzeugen betrieblich relevanten Situationen abgedeckt, neben Zugfahrten auch Verschub- oder Nebenfahrten. Das Softwaremodul Zugfunk-Anwendung ermöglicht die Kommunikation zwischen der Ausbilderstation – in unterschiedlichen betrieblichen Rollen – und den Tf zur authenti-

schen Nachbildung von Abläufen, z. B. beim Ausstellen von Befehlen, GSM-R-Ausfall oder Absetzen eines Notrufs.

Alle relevanten Fahrdaten und Betätigungen des Fahrpults bei Simulatorfahrten werden aufgezeichnet. Die Darstellung in Diagrammen dient zur Dokumentation von Überwachungsfahrten und Prüfungen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit einer videobasierten Aufzeichnung von Fahrten zur Dokumentation und als Lehrmaterial für Unterrichtsveranstaltungen.

Grundsätzlich erlaubt der Zusi Bahnsimulator die flexible Anbindung originaler

Fahrzeug-Hardware für unterschiedliche Führerstandsneubauten. Im vorliegenden Fall wurde dabei die vorhandene TCP-Daten-schnittstelle projektspezifisch erweitert. Besonderes Augenmerk wurde auf die fachgerechte Umsetzung der für den Simulator nachgebildeten Fahrzeugtypen gelegt. Das vorbildnahe dynamische Verhalten der Baumaschinen, spezifische Fahrzeugfunktionen, aber auch die Ansteuerung der Soundkulisse basierend auf Original-Tonaufnahmen tragen wesentlich zum realitätsnahen Fahr-eindruck bei. So wurden Antriebsmodelle der Vorbildfahrzeuge implementiert. Ebenso ist der Hybridantrieb nachgebildet, der die dynamische Umschaltung zwischen Diesel- und Elektroantrieb während der Fahrt erlaubt. Die Kalibrierung der Antriebsmodelle erfolgte auf der Grundlage von Spezifikationen und Ergebnissen von Messfahrten, die vom Fahrzeughersteller beigestellt wurden.

**Implementation der Steuerungstechnik**

**P&T-Simulator-Fahrpult**

Das P&T-Simulator-Fahrpult wurde mittels einer P-IC (Plasser IntelligentControl)-Fahrzeugsteuerung wie am realen Fahrzeug aufgebaut. Dazu gehören eine Prozessor-Einheit, mehrere Digital- und Analog-IO-Einheiten sowie zwei TDD (Technik- und Diagnose-Display) für die Tf. Sämtliche Bedien- und Anzeigeelemente am Fahrpult wie diverse Hebel, Schalter und Leuchtmelder sind über die P-IC-IO-Einheiten angebunden und werden dort zentral eingelesen und aufgearbeitet. Die beiden TDD sind per Ethernet an die P-IC-Fahrzeugsteuerung angebunden. Abb. 6 zeigt den schematischen Aufbau der Steuerungstechnik für den Fahrsimulator.

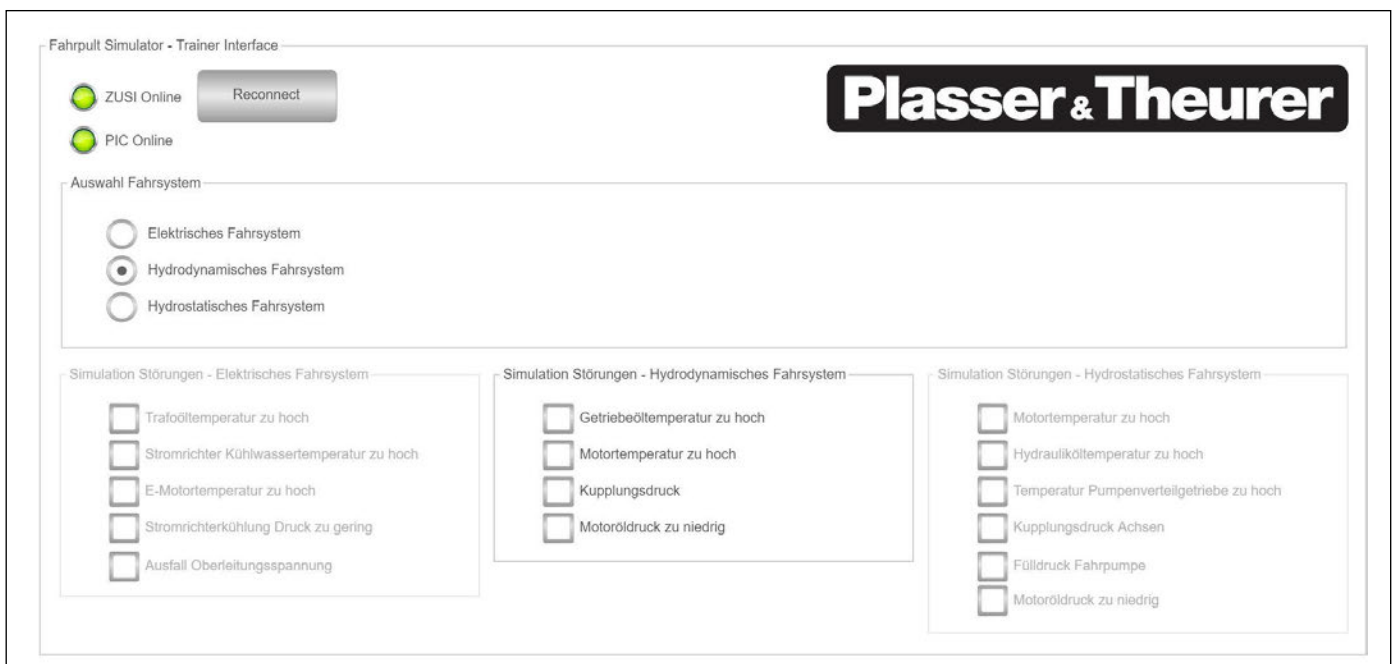


Abb. 7: Trainer-Tablet mit den Auswahlmöglichkeiten charakteristischer Fahrzeugstörungen



Abb. 8: Ansicht P&T-Simulator-Fahrpult

#### Kommunikation P&T-Simulator-Fahrpult – Zusi Simulation

Als Eingabegerät für die Bedienung der Fahrzeuge stellt der Zusi Bahnsimulator unterschiedliche Optionen zur Verfügung. Am Simulationsrechner können eine Standard-PC-Tastatur oder auch DirectInput-Geräte wie z.B. Joysticks oder Gamepads angeschlossen und zur Steuerung verwendet werden. Des Weiteren können Hardware-Elemente wie Schalter und Analoggeber mittels generischen USB HID (Human Interface Device)-Karten am Simulationsrechner angebunden werden. Zusi stellt für den Datenaustausch mit der Fahrpult-Hardware auch ein eigenes TCP-basiertes Protokoll zur Verfügung. Da am P&T-Simulator-Fahrpult alle Ein- und Ausgabedaten zentral in der P-IC-Fahrzeugsteuerung bereitstehen, wurde diese Schnittstelle zur Anbindung des Fahrpults an die Simulation gewählt. Der Zusi Simulationsrechner nimmt in diesem Protokoll eine Serverfunktion ein, und Clients wie in diesem Fall die P-IC-Fahrzeugsteuerung können sich per Befehl anmelden. Die Daten werden dann in einer XML-ähnlichen Struktur verschickt, die aus Knoten und Attributen besteht.

Das Zusi Protokoll wurde in der P-IC-Fahrzeugsteuerung in den IEC 61131 Programmiersprachen ST (Structured Text) und FBD (Function Block Diagram) implementiert. Als Unterstützung bei der Entwicklung von Client-Anwendungen mit dem Protokoll stehen von Zusi Tools zur Verfügung, über die sich Datenpakete für Debugging-Zwecke versenden und empfangen lassen. Der Zusi Simulationsrechner wurde in das Netzwerk der P-IC-Fahrzeugsteuerung eingebunden. Nach dem Hochstarten des P&T-Simulator-



Abb. 9: Ansicht P&T-Fahr Simulator

Fahrpults meldet sich dieses als Client am Zusi Server an, wonach diverse Daten aus der laufenden Simulation wie Fahrzeuggeschwindigkeit, Bremsdrücke, Dieselmotor-Drehzahl, Traktionsmotor-Strom/Spannung etc. zur Darstellung durch die Fahrzeugsteuerung am Fahrpult in Quasi-Echtzeit ausgelesen werden. Ebenso werden die Stellungen von Bedienelementen wie diverse Schalter, Fahrhebel, Bremshebel etc. aus der Fahrzeugsteuerung des Fahrpults an die laufende Simulation übergeben.

### Trainer-Tablet zur Simulation von Fahrzeugstörungen

Für Schulungszwecke sollen die Trainer jederzeit während einer laufenden Simulation unterschiedliche Störszenarien am Fahrzeug aktivieren können, um mit der zu schulenden Person das richtige Verhalten zu trainieren. Dazu wurde eine Web-Visualisierung an die Fahrpultsteuerung angebunden, die eine Aktivierung simulierter Störszenarien vom Trainer per Web-Browser an einem Tablet erlaubt (Abb. 7). Eine Aktivierung löst die zugehörigen Alarmmeldungen am TDD des Fahrpults aus, und sämtliche Fahrzeugdaten werden an den Display-Anzeigen entsprechend dem Störszenario angesteuert.

### Inbetriebnahme

In der Phase der Inbetriebnahme wurden zunächst alle Fahrzeugfunktionen wie Fahr-, Beschleunigungs- und Bremsverhalten getestet und auf Plausibilität überprüft. Das musste getrennt erfolgen für die beiden realisierten Fahrzeugtypen und alle implementierten Antriebssysteme (dieselhydrostatisch, dieselhydrodynamisch, diesel-elektrisch und vollelektrisch). Danach wurden die implementierten Fahrzeugstörungen auf richtige Anzeigen und Auswirkungen getestet. Sie werden wie auf den echten Bahnbaumaschinen am P&T-Fahrpult

angezeigt und müssen vom Trainee entsprechend abgearbeitet werden. Nach einer ausführlichen Testphase, die nach einer getrennt von der Entwicklung erstellten Test Requirement Specification durchgeführt wurde, der Programmierung der hauptsächlich bahnauspezifischen Schulungsszenarien und der Erstellung aller benötigten betrieblichen Unterlagen (z.B. Streckenbuch, Buchfahrpläne, Verzeichnisse von Langsamfahrstellen) konnte der Simulator in den regulären Schulungsbetrieb übernommen werden (Abb. 8 und 9).

### Zusammenfassung und Ausblick

Nach einer entsprechenden Phase der Inbetriebnahme sowie dem Erstellen und Programmieren der verschiedenen Betriebs- und Störungsszenarien für Trainings- und Prüfungsfahrten konnte der Fahrsimulator vollinhaltlich in Betrieb genommen werden. Dabei hat es sich als großer Vorteil herausgestellt, dass die Betriebsszenarien vom Anwender frei programmiert werden können. Ein nicht zu unterschätzender Aufwand ist das Erstellen der entsprechenden betrieblichen Unterlagen, obwohl Zusi hierfür ein Tool zum automatischen Generieren von Buchfahrplänen anbietet.

Da sowohl die Simulationssoftware als auch das Streckennetz von Zusi laufend weiterentwickelt werden, können immer wieder neue Betriebsszenarien ergänzt werden. So ist z.B. auch die Simulation des Einfahrens in einen italienischen oder ungarischen Grenzbahnhof bereits möglich.

Der weltweit erste Fahrsimulator für Gleisbaumaschinen und Oberbaufahrzeuge wird von der Franz Plasser Dienstleistungsgesellschaft als behördlich genehmigte Schuleinrichtung betrieben. Damit vervollständigt P&T das für seine Kunden umfassend angebotene Trainings- und Schulungsprogramm für den Betrieb von Bahnbaumaschinen und Oberbaufahrzeugen. ■

### QUELLEN

[1] <https://www.zusi.de/>



#### Dr.-Ing. Michael Poschmann

Projektleiter Zusi Bahnsimulatoren  
Braunschweig  
michael.poschmann@zusi.de



#### Dipl.-Ing. (FH) Christoph Feyrer

Entwicklung Steuerungstechnik  
Plasser & Theurer, Export von Bahnbaumaschinen Ges. m.b.H., AT-Linz  
christoph.feyrer@plassertheurer.com



#### Dipl.-Ing. Christian Studnicka

Geschäftsführer  
Franz Plasser Dienstleistungsgesellschaft  
m.b.H., AT-Linz  
christian.studnicka@plassertheurer.com



#### Ing. Mario Rammerstorfer, M.Sc.

Leitung technische Projekte  
Franz Plasser Dienstleistungsgesellschaft  
m.b.H., AT-Linz  
mario.rammerstorfer@plassertheurer.com