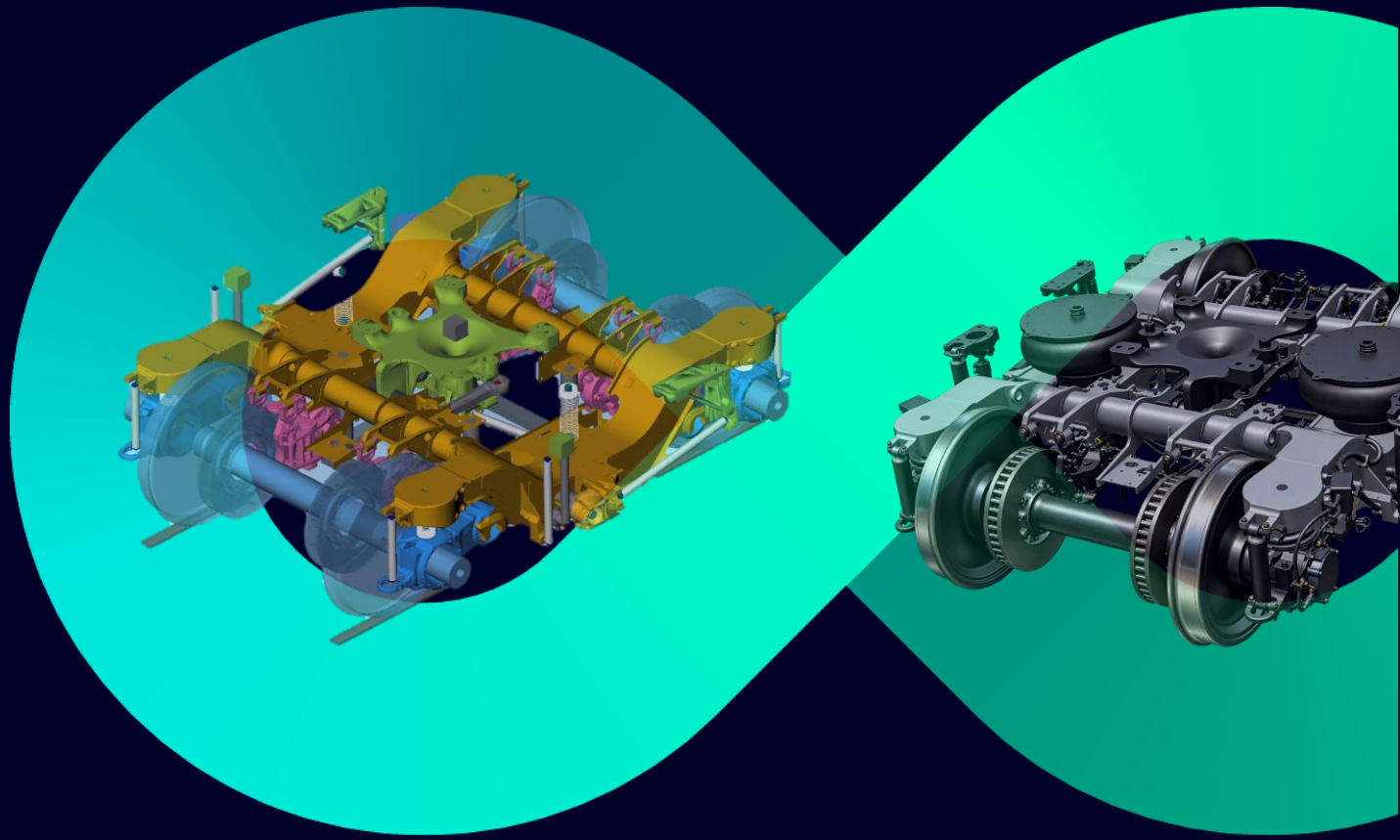
Next Gen Railway Certification

Der Weg zu virtuellen Tests

Dr. Thomas Moshammer
Dr. Bernhard Girstmair

Schienenfahrzeugtagung Graz, November 2026



SIEMENS

Warum sollten wir einen bewährten Nachweisweg überhaupt verändern?

Ausgangslage

Termindruck

Enge Projekttermine & kurze Markt-einführungszeiten erhöhen den Bedarf an planbaren Nachweisen.

Versuchsrisiken

Prüfstrecken, Wetter, Logistik und Messtechnik erzeugen Abhängigkeiten und Zusatzaufwand.

Variantenvielfalt

Plattformen und kundenspezifische Derivate verlangen einen skalierbaren Ansatz.

Wie können wir reale Messungen gezielt nutzen und Nachweise effizient auf Varianten übertragen?

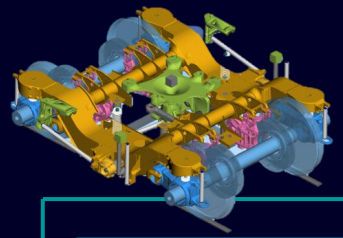
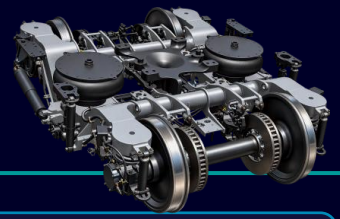
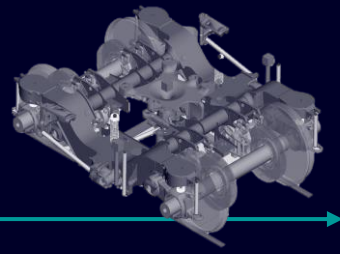
SIEMENS

Prozess für virtuelle Tests - erweitertes V-Modell

Digitale Zwillinge für
- System- und Komponentendesign
- Virtuelles Testen der Anforderungen

Streckentests/Tytests für
- Überprüfung Lasten & Komponentenauslegung
- Homologation

- **Validierte digitale Zwillinge** für
  - Virtuelles Testen
  - Virtuelle Homologation

Zeit

Gesetze & Standards Anforderungen
Fahrzeugsystem
Drehgestell-Subsystem
Komponente
Realisierung

Homologation
Fahrzeugtest
Test von Subsystemen
Test der Komponenten

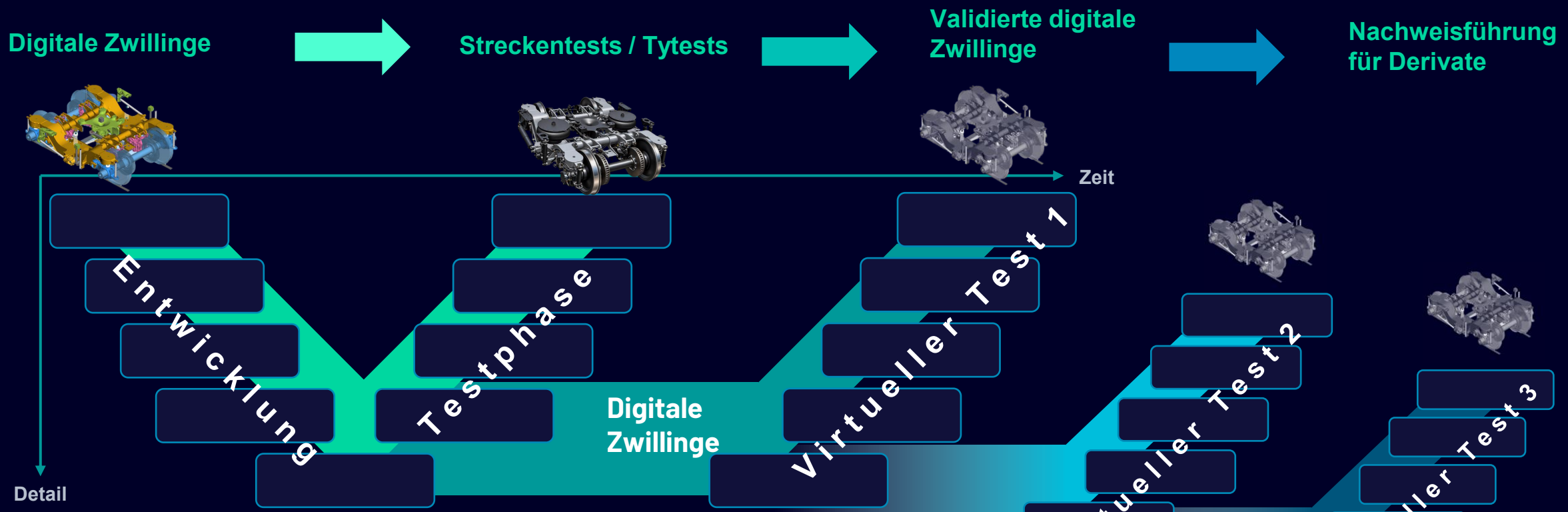
Validiert / Kalibriert Digitale Zwillinge

Virtuelle Homologation
Virtueller Fahrzeugtest
Virtueller Test von Subsystemen
Virtueller Test der Komponenten
(Ableitung der) Realisierung

Detail

DIGITAL TWIN @BG SIEMENS

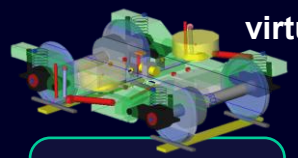
Prozess für virtuelle Tests - erweitertes V-Modell

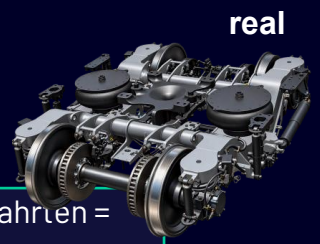


Vorteil: Skalierbarkeit des digitalen validierten Zwilling

DIGITAL TWIN @BG SIEMENS

Kann ein validiertes Modell wirklich auf Varianten übertragen werden?





Plattform-entwicklung → Erstausleitung Plattform → Messfahrten = Referenz Drehgestell

Status Quo Zulassung

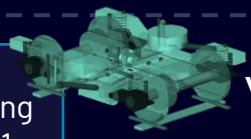
Folge-Ausleitung Plattform

- Ähnlichkeit zu Referenz gegeben → Versuchs-befreiung
- Abweichend zu Referenz → ergänzende Versuche

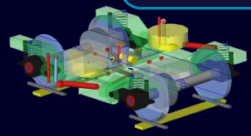
- Referenzfahrzeug physisch absichern
- Simulationsmodell daran validieren
- Varianten innerhalb des Gültigkeitsbereichs bewerten
- Zusatzversuche auf relevante Abweichungen fokussieren

Virtuelle Zulassung

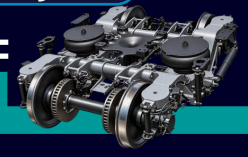
Validierung auf Basis Referenz Fahrzeug → Virtuelle Nachweisführung Anwendung #1



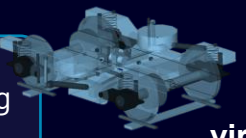
Skalierbarkeit !!!



=



→ Virtuelle Nachweisführung Anwendung #2



SIEMENS

Der Aufwand wird dadurch doch viel größer?

Paradigmenwechsel

	KLASSISCH	VIRTUELL
Technologie	Mess- & Versuchstechnik	**Simulation & Validierung**
Regelwerke	Normen zur Versuchsdurchführung	**Normen zu Validierung**
Voraussetzung	Verfügbarkeit Prüffahrzeug & Strecke	**Verfügbarkeit Daten**
Herausforderung	Versuchsrandbedingungen	**Sensitivitätsanalysen & Gültigkeitsbereich**
Übertragbarkeit	Eingeschränkt	**Skalierbar innerhalb definierter Grenzen**

Der Nutzen entsteht über Plattformen, Derivate und wiederholte Anwendungen.

SIEMENS

Ist virtuelle Nachweisführung normativ überhaupt abgesichert ?

EN17833 Generisches Framework

- Für Bahnanwendungen um physische Tests zu ergänzen / ersetzen
- Für Anwendungen in denen Simulation noch nicht als Nachweis etabliert ist.

Was ist die geforderte Glaubwürdigkeit (Credibility) der Simulation?

- Konsequenzen (Risiko) vs Systemeigenschaften
- Ergebnis: Credibility Level 1 – 4

EN14363 - Fahrtechnik

Simulation von Streckenfahrversuchen
Validierung nach Methode:

- 1) Analysen des Ansprechverhaltens
- 2) Mathematischer Vergleich Messung vs Simulation

Anwendungsbereich für virtuelle Nachweise

- keine wesentliche Erhöhung der Geschwindigkeit
- keine Zulassung neuer Typen

Definition von Validierungsgrenzen !

49 CFR §213.345 (US)

Validiertes Simulationsmodell ist Teil der Nachweisführung

Validierung auf Basis:

- Statischer Versuche
- Dynamische Versuche

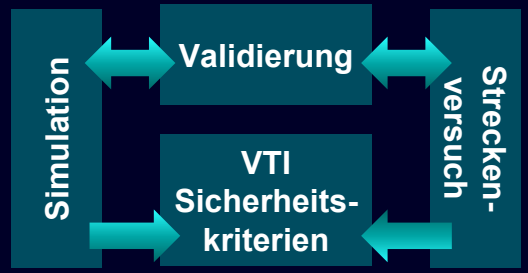
Simulation auf **M**inimal **C**ompliant **A**nalytical **T**rack (MCAT) ist Teil der Zulassung.

		Design-Stufe			
		Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
Konsequenz-stufe	Stufe 1	1	1	2	3
	Stufe 2	2	2	3	4
	Stufe 3	3	3	4	4
	Stufe 4	4	4	4	4

TR-Stab: Stabilität Deutschland

Anwendung nationales Regelwerk

- Präzisierung der Validierungsgrenzen
- Beschreibung der Szenarien für Nachweis



DIGITAL TWIN @BG SIEMENS

Warum war der geplante Weg im Desiro HC Israel Projekt nicht möglich?

PHYSISCHE TESTS SIND NICHT MÖGLICH

Beginn des Krieges: 07.10.2023



- Reisewarnung: Sicherheitsstufe 4
- Kein Messteam darf in Israel im ersten Quartal 2024 arbeiten

WAS JETZT?

IDEE

VIRTUELL TESTS





On Track Tests: Plan Q1/2024



DIGITAL TWIN @BG SIEMENS

Welche Daten haben wir und wie können wir sie nutzen?

WELCHE DATEN UND MODELLE HABEN WIR UND WELCHE CHANCEN ERGEBEN SICH DARAUS



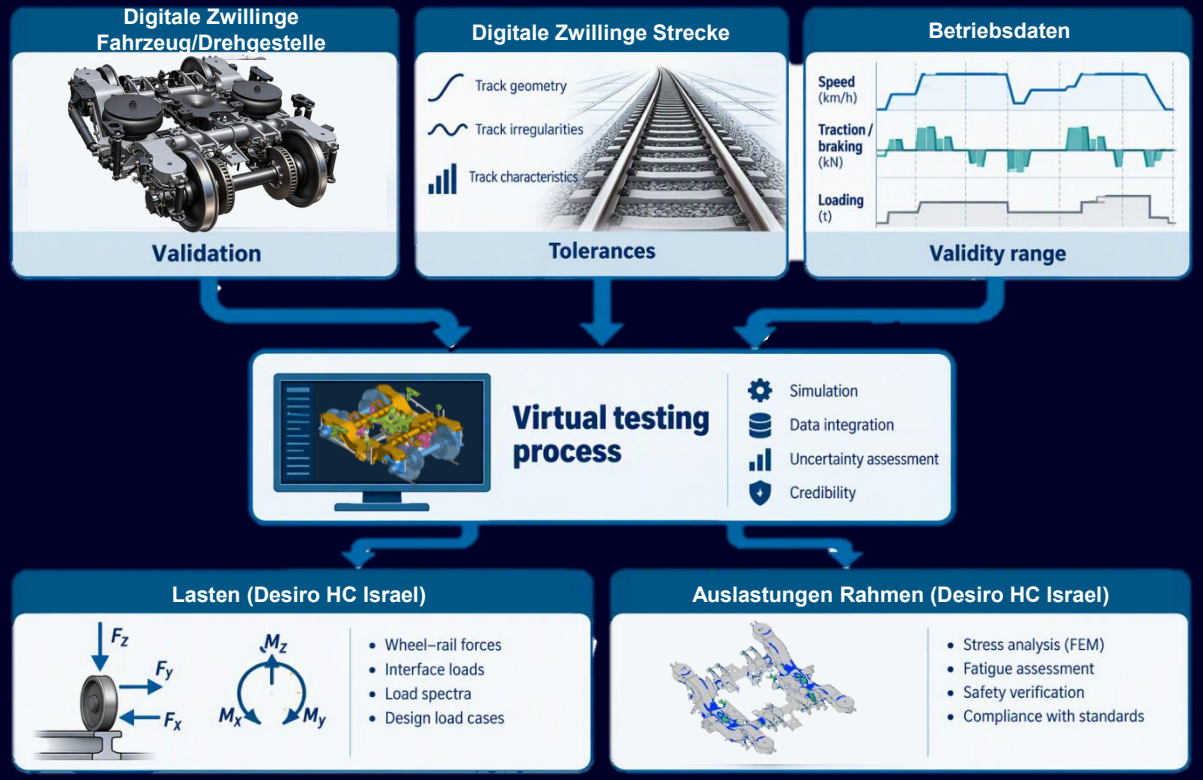
Daten aus dem Basisprojekt (Rhein-Ruhr-Express)

- Digitale Zwillinge: Züge, Drehgestelle, Komponenten
- Digitale Zwillinge: Srecke
- Messdaten aus Streckenmessungen
- Typtestdaten der Drehgestellrahmen
- Daten der Railigent X Fahrwerksdiagnose
- Railigent X Betriebsdaten



Daten aus Desiro HC Israel

- Digitale Zwillinge: Züge, Drehgestelle, Komponenten
- Digitale Zwillinge: Strecke
- Railigent X Daten aus dem laufenden Betrieb



1. **Validierung/Kalibrierung von Digitalen Zwillingen mit Daten des Basis-Projekts RRX**
2. **Virtuelle Tests von Drehgestellen und Drehgestellkomponenten mit validierten digitalen Zwillingen unter Strecken- und Betriebsbedingungen in Israel.**

DIGITAL TWIN @BG SIEMENS

Implementierungsstrategie für virtuelle Tests von Desiro HC Israel

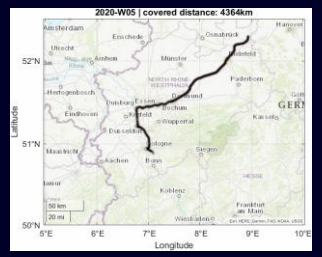
SCHRITT 1: VALIDIERUNG VON DITIGTALEN ZWILLINGEN IM REFERENZPROJEKT

Real Asset → **Digitaler Zwilling**

Streckemessungen am Rhein-Ruhr-Express







Messgrößen
- Anfahrkräfte
- Bremskräfte
- GPS/Geschwindigkeit
- Gyro
- Auflasten
- Kräfte / Dehnungen
- Beschleunigungen
- Verdrängungen

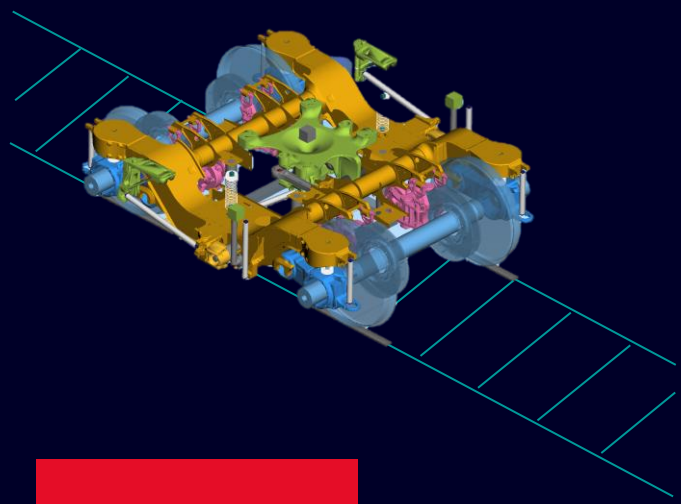
Processing

Input

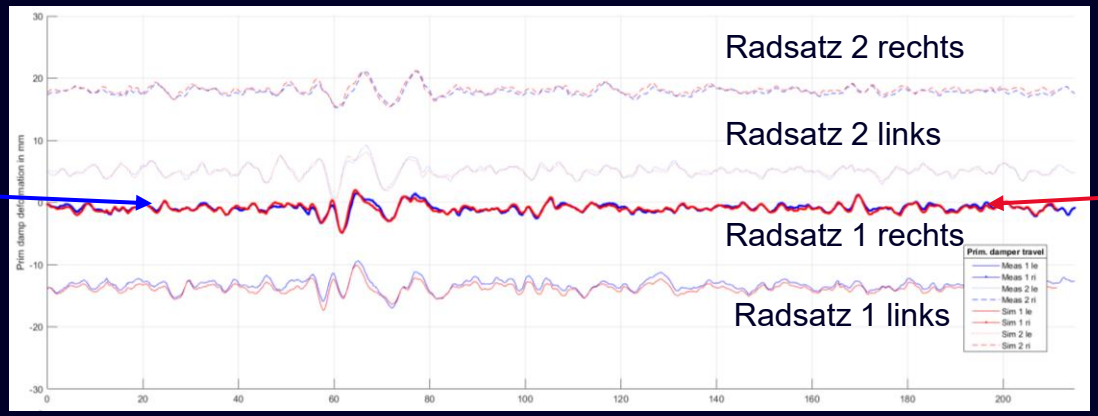
Betrieb
- Beladung
- Haltestellenabstände

Strecke
- Trassierung
- Streckenfehler

Validierung digitale Zwillinge



Gemessene Federwege



Simulierte Federwege

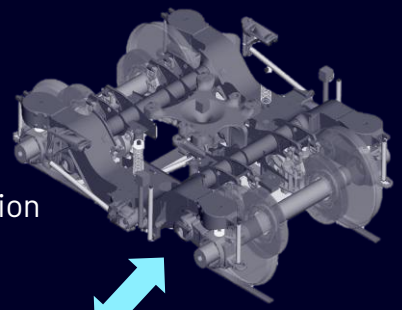
DIGITAL TWIN @BG SIEMENS

Implementierungs-Strategie Virtuelles Testen des Desiro HC Israel

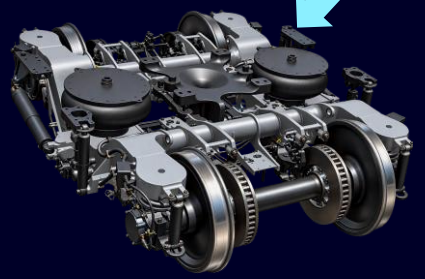
STEP 2: VIRTUELLES TESTEN DES DESIRO HC ISRAEL ZUGES MIT HILFE VON VALIDERTEN DIGITALEN ZILLINGEN UND RAILIGENT X BETRIEBSDATEN

Digitaler Zwilling → **Homologation**

Validierte Digitale Zwillinge



Virtuelle Repräsentation



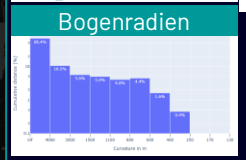
Physische Repräsentation

Echtzeit Daten von Zügen (Railigent X)









Einsatz Israel

Betrieb

- Beladung
- Haltestellenabstände

Track

- Streckenführung
- Streckenfehler

Domain Expertise

Virtuelles Testen Israel

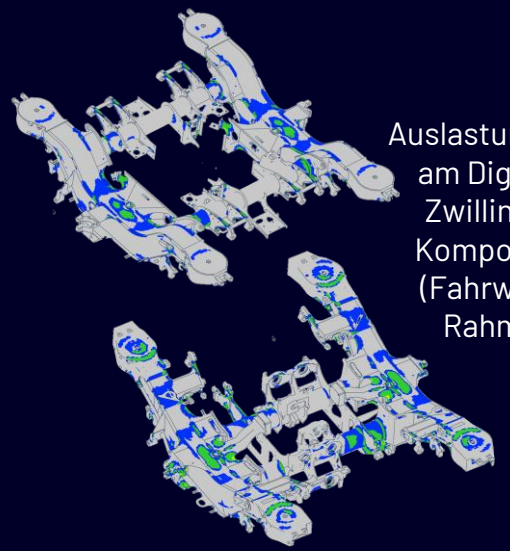
- Kräfte, Momente, Last Spektren, etc.
- FEM Modell



- Beurteilung der Auswirkungen des Betriebs auf die Komponenten

Virtuelles Testen





Auslastungsgrad am Digitalen Zwilling der Komponente (Fahrwerks-Rahmen)

DIGITAL TWIN @BG SIEMENS

Vertrauen kann nur durch Nachvollziehbarkeit aufgebaut werden!

ABSTIMMUNG MIT DER GENEHMIGUNGSBEHÖRDE

- RRX-Betriebs-messungen
- Fahrwerks-Diagnose Daten
- Streckendaten
- Open Railway Map
- Typtests Ermüdungstests

Validierung auf Lastebene

Digitale Zwillinge Modellverifikation

Vergleichen von gemessene Daten mit Simulationsergebnissen



Virtueller-Israel-Betrieb

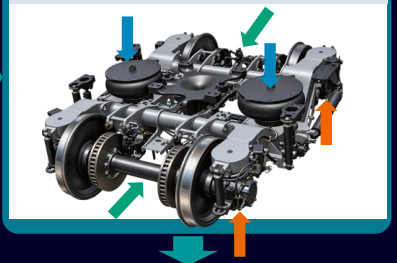
Das validierte Fahrzeugmodell auf neue Betriebsbedingungen übertragen



- Bogenverteilung
- Haltestellenabstände
- Antriebs- und Bremsvorgänge
- Beladungsvorgänge
- Umgebungsrandbedingungen

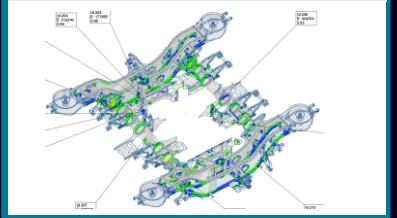
Lastsimulation

Betriebslasten auf Komponenten



FEM-Bewertung Rahmen

Festigkeits- und Ermüdungsbewertung



Validierung auf Komponentenebene

- **Frühe Einbindung Consultants**
- **Validierte Referenz**
- **Definierter Gültigkeitsbereich**
- **Transparente Annahmen und Unsicherheit**
- **Rückverfolgbarkeit von Daten zu Entscheidung**

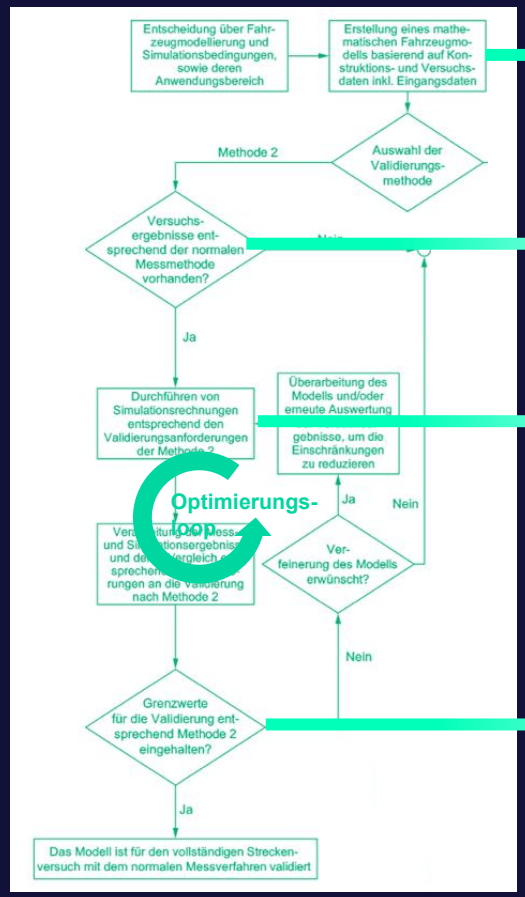
ERFOLGREICHE HOMOLOGATION

Glaubwürdige End-to-End-Nachweiskette

DIGITAL TWIN @BG SIEMENS

Umsetzung Validierung nach EN14363 - Fahrtechnik

Prozess Validierung
EN14363 Methode 2



Modul in Toollandschaft



Modell-aufbau

Strecken Messung

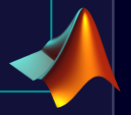
Fahrzeug Messung

Synchronisation

Generierung von Simulationsszenarien

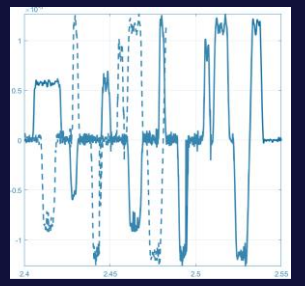
Verarbeitung & Bewertung

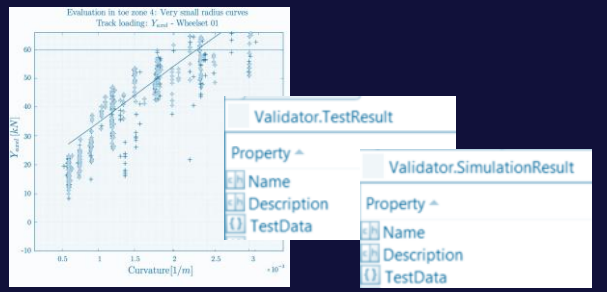
Optimierungsloop

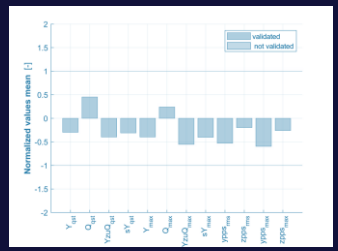


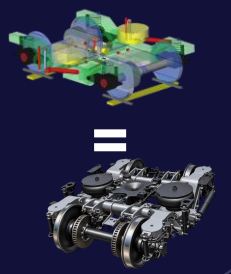
Validierungs Metriken

Beispiel







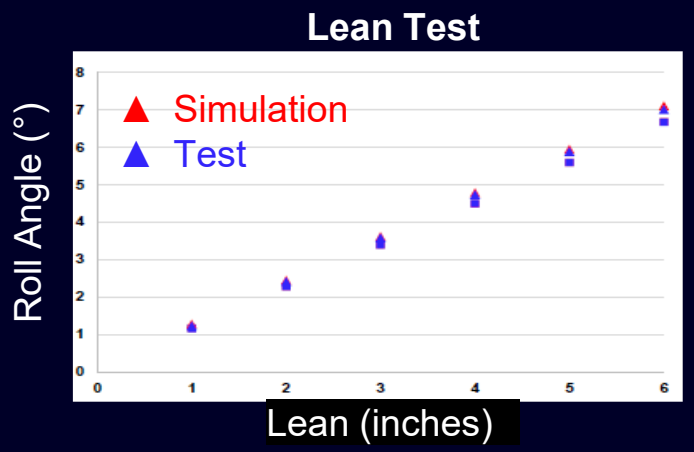


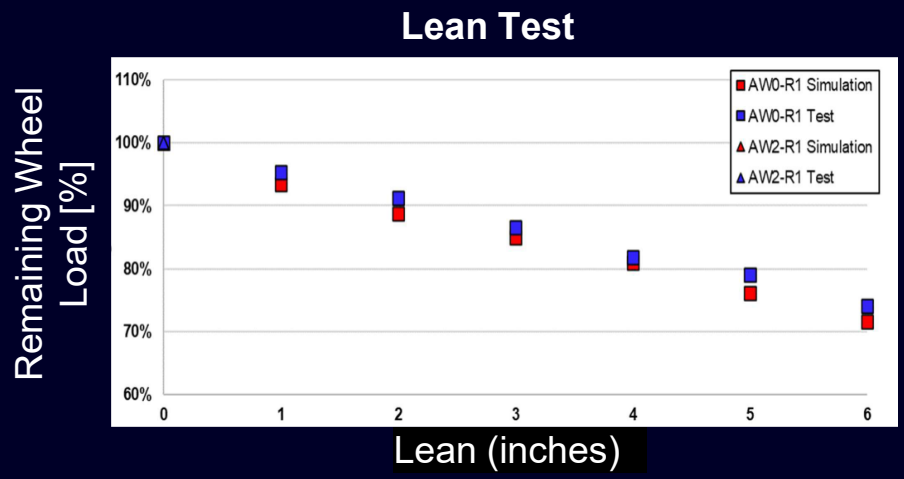
SIEMENS

Validierung für Zulassung nach 49 CFR §213.345 (USA)

- Validierung Static Lean Test (Wankwinkel, Radkräfte)
- Vergleichbar mit EN14363 – Methode 1, statischer Teil







Grundsätzlich sehr hohe Übereinstimmung von Simulation und Messung bei statischen Tests

Frei verfügbar | © Siemens 2026 | Dr. Thomas Moshammer, Dr. Bernhard Girstmair | Fahrwerksentwicklung Graz | 50. Schienenfahrzeugtagung Graz, 2026-11

SIEMENS

Funktioniert virtuelles Testen auch im hochsensitiven Grenzbereich?

Fahrtechnik – Validierung Stabilität nach Methode 1 EN14363

Warum anspruchsvoll?

- Hohe Nichtlinearität
- Komplexer Rad-Schiene-Kontakt mit vielen Einflussgrößen
- Streuung von Steifigkeit und Dämpfung der eingesetzten Federungselemente
- Unsicherheiten in den Eingangsdaten (Profile, Gleislage, Reibwerte, Versuchsrand-bedingungen)

→ Hohe Sensitivität der Ergebnisse

Beispielhafte Modellabweichungen

Fahrzeugtyp	Szenario	Größe	Abweichung Amplitude [%]	Abweichung Frequenz [Hz]
Lokomotive	SD-Ausfall	Summe Y	8,30	0,08
	SD-Ausfall	ay^+	1,80	0,08
Nahverkehrs-Zug 1	SD-Ausfall	Wagen 1: ay^+	-1,50	0,50
	SD-Ausfall	Wagen 2: ay^+	-4,80	0,50
Nahverkehrs-Zug 2	Nominal	ay^+	-1,20	0,25
	SD-Ausfall	ay^+	-2,90	1,25

Trotz hoher Sensitivität sind die Abweichungen i.d.R. < 5%

→ Simulation kann für virtuelle Nachweise genutzt werden

SIEMENS

Ersetzt Simulation künftig den physischen Test?

Takeaways

Virtuelle Zulassung ist ein Entwicklungspfad zu effizienteren, planbareren und skalierbaren Nachweisen.

Technologie vorhanden

Betriebs- & Versuchsdaten, validierte MKS-Modelle

Normativer Rahmen

EN 17833 für Simulations-glaubwürdigkeit von noch nicht etablierten simulativen Nachweisen

EN 14363 für Fahrtechnik

Mehrwert durch Skalierung

Größter Nutzen bei Plattformen, Varianten und neuen Einsatz-profilen.

DIE ZUKUNFT IST NICHT TEST ODER SIMULATION.

ES IST DIE INTELLIGENTE KOMBINATION VON BEIDEN WELTEN.

SIEMENS

Welchen Nachweis würden Sie als nächstes virtualisieren?

Q&A

Frei verfügbar | © Siemens 2026 | Dr. Thomas Moshammer, Dr. Bernhard Girstmair | Fahrwerksentwicklung Graz | 50. Schienenfahrzeugtagung Graz, 2026-11

SIEMENS

Dr. Thomas Moshammer



Head of Department
Structure –Simulation-Validation
Bogie Engineering
Innovation Area Lead
Adv. Methods, Digital Twin, Eng. Data
Analytics & Lean Development

Eggenberger Strasse 31
8020 Graz
Austria

Mobile: +43 664 8855 4579

E-mail:
Thomas.Moshammer@siemens.com

Dr. Bernhard Girstmair



Head of Group
Vehicle Dynamics
Bogie Engineering
Innovation Area Program Manager
Adv. Methods, Digital Twin, Eng. Data
Analytics & Lean Development

Eggenberger Strasse 31
8020 Graz
Austria

Mobile: +43 664 6151032

E-mail:
Bernhard.Girstmair@siemens.com