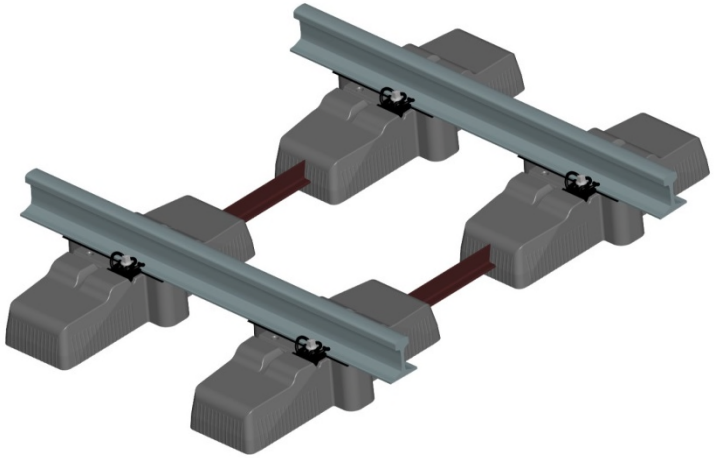
Biblock-Bahnschwellen aus Kunststoff-Rezyklaten

Gudrun Gräbe, Michael Dieterle, Andreas Stolzenberg, Gerhard Linde, Dieter Kästingschäfer, Reinhard Lorenz, Jörg Frenzel



Quelle: Georg Utz GmbH

HighTechMatBau Konferenz

Berlin, 31.01.2018

© Fraunhofer

HYPERION Verwaltung GmbH

G-12 FreiForm GmbH

utz

Fraunhofer ICT

Inhalt

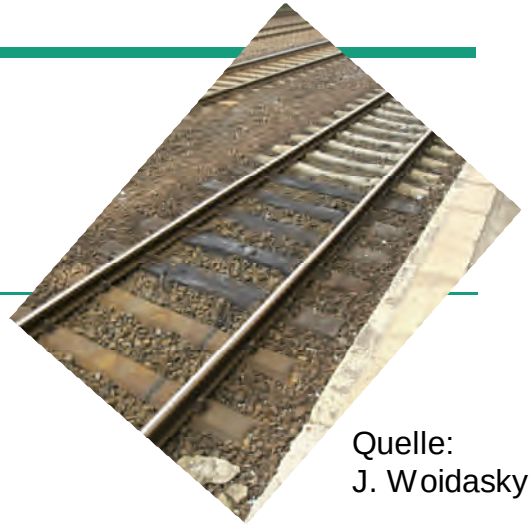
- Einleitung
  - Situation in Deutschland
  - Motivation
- Projektarbeiten:
  - Materialmischung und Schwellendesign,
  - Spritzgusswerkzeug und Herstellung
  - Prüfung
  - Lebenszykluskostenanalyse LCC
- Zusammenfassung und Ausblick

Quelle: Fraunhofer ICT

© Fraunhofer

Einleitung

Situation in Deutschland



Quelle:
J. Woidasky

- Streckennetz 60.000 km,
  davon 2.000 km Hochgeschwindigkeitsstrecken > 160km/h
- Schwellen im Bestand:
  Material: Beton (70%), Stahl (15%) , Holz (15%)
  bisher 5.000 Kunststoffschwellen im Netz der DB
  Form: Monoblock (Varianten) oder Y-Form
  Biblockschwellen bisher nicht in D, traditionell aber in F
- Ersatzbedarf Schwellen gesamt in Deutschland: 2 Mio Schwellen/Jahr
- Auswechselbedarf Holzschwellen: 40.000/Jahr
- Holzschwellen dürfen nicht mehr mit Teeröl behandelt werden

© Fraunhofer

Einleitung

Motivation

Vorteile des Materials Kunststoff

- Lange Lebensdauer
- Beständigkeit gegen Frost und Betriebsflüssigkeiten, kein Betonkrebs
- Verwendung von Rezyklaten erhöht die Ressourceneffizienz
- Geringeres Gewicht als Beton/Stahl

Vorteile der zweigeteilten Bauform

- Erhöhter Querverschiebe- und Schienendurchschubwiderstand, d.h. verbesserte Lagestabilität im Gleis
  → als Ersatz für alle gängigen Schwellentypen geeignet
- Vergrößerung des Verlegeabstands durch Verbreiterung der Auflagefläche möglich
- Material und Bauform bewirken eine verringerte Schallabstrahlung

© Fraunhofer

Einleitung

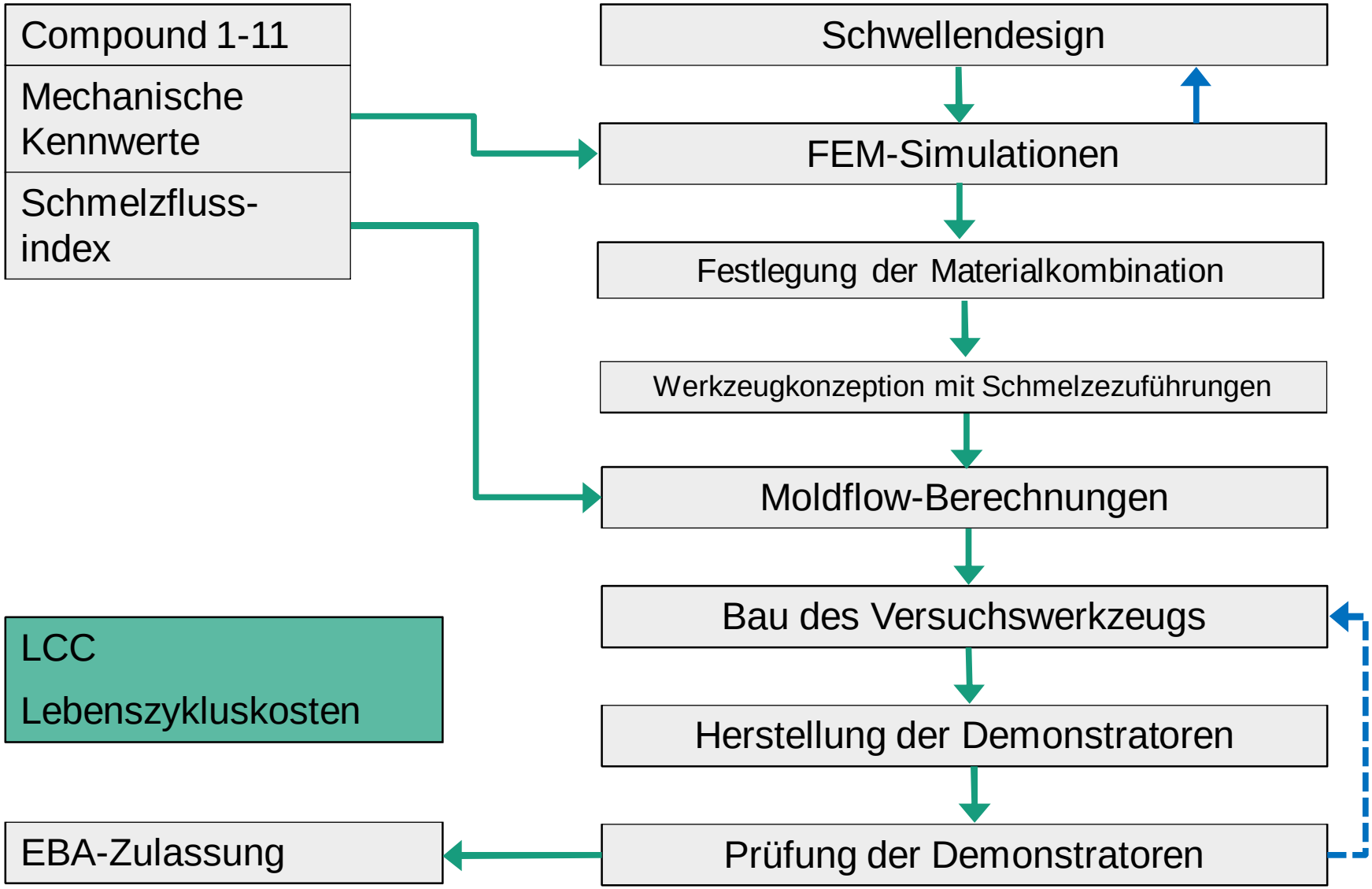
Motivation

Vorteile einer durch Spritzguss hergestellten Kunststoffschwelle

- Lässt Hohlräume zu, in die ggf. Sensoren zur Gewichtsmessung und Streckenüberwachung eingebaut werden können

© Fraunhofer

Projektarbeiten - Vorgehensweise



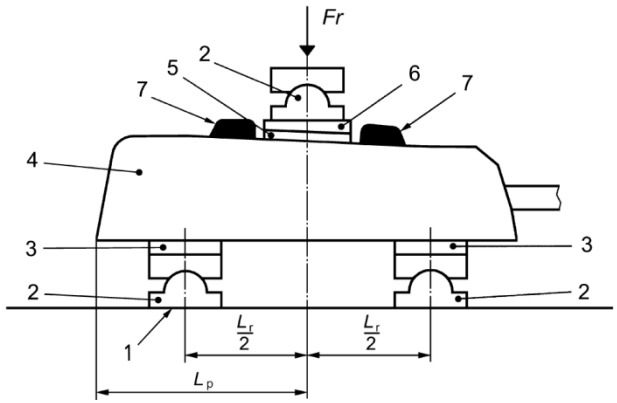
© Fraunhofer

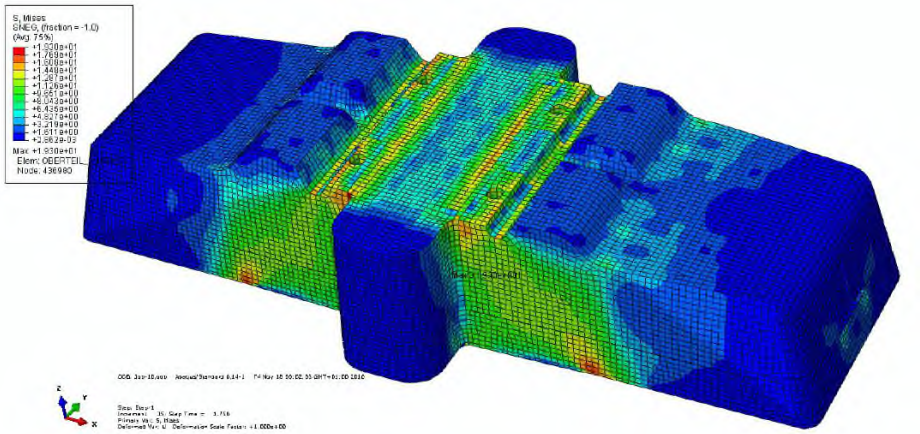
Materialkennwerte - Auswahl

Probename	Zugmodul	Zugfestigkeit	Wärmeform-beständigkeit	Charpy Kerbschlag-zähigkeit	Melt Flow Index (230°C; 2,16 kg)	Dichte
	E in MPa	σ_M in MPa	HDT-A in °C	KJ/m²	MFR in g/10 min	g/cm³
Compound 3	2825	26,08	58,6	4,9	0,422	1,46
Compound 9	1231	19,37	50,1	4,4	8,48	1,20
Compound 12	**2852**	**21,6**		**3,2**	**8,8**	**1,29**

© Fraunhofer

Simulative Berechnung der 3-Punkt-Biegebelastung gemäß DIN EN 13230-3





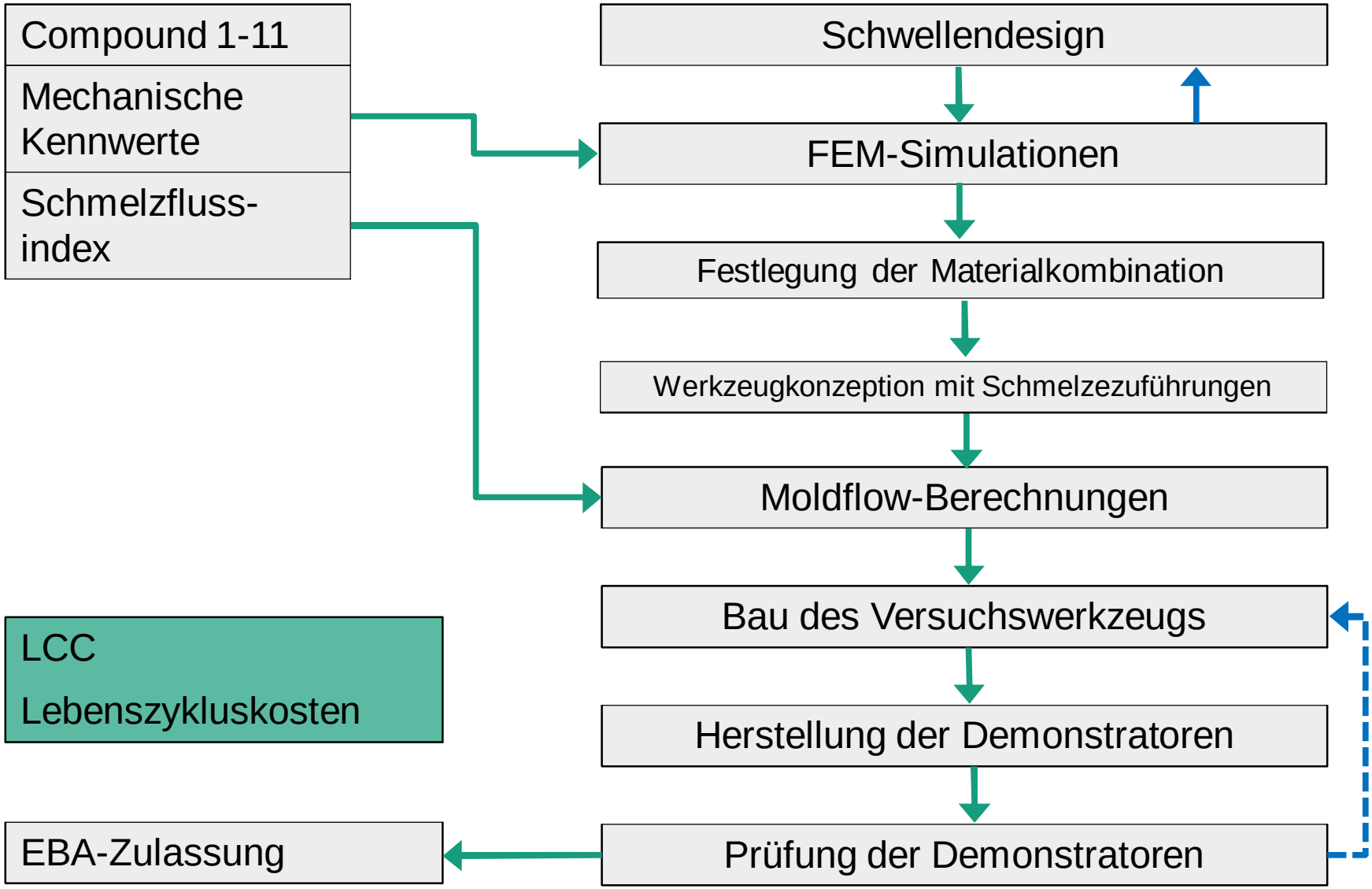
Quelle: KIT-FAST

DIN EN 13230-3:
Bahnanwendungen – Oberbau – Gleis- und Weichenschwellen aus Beton –
Teil 3: Bewehrte Zweiblockschwellen;
Deutsche Fassung prEN 13230-3:2014

Rot: stark belastete Bereiche

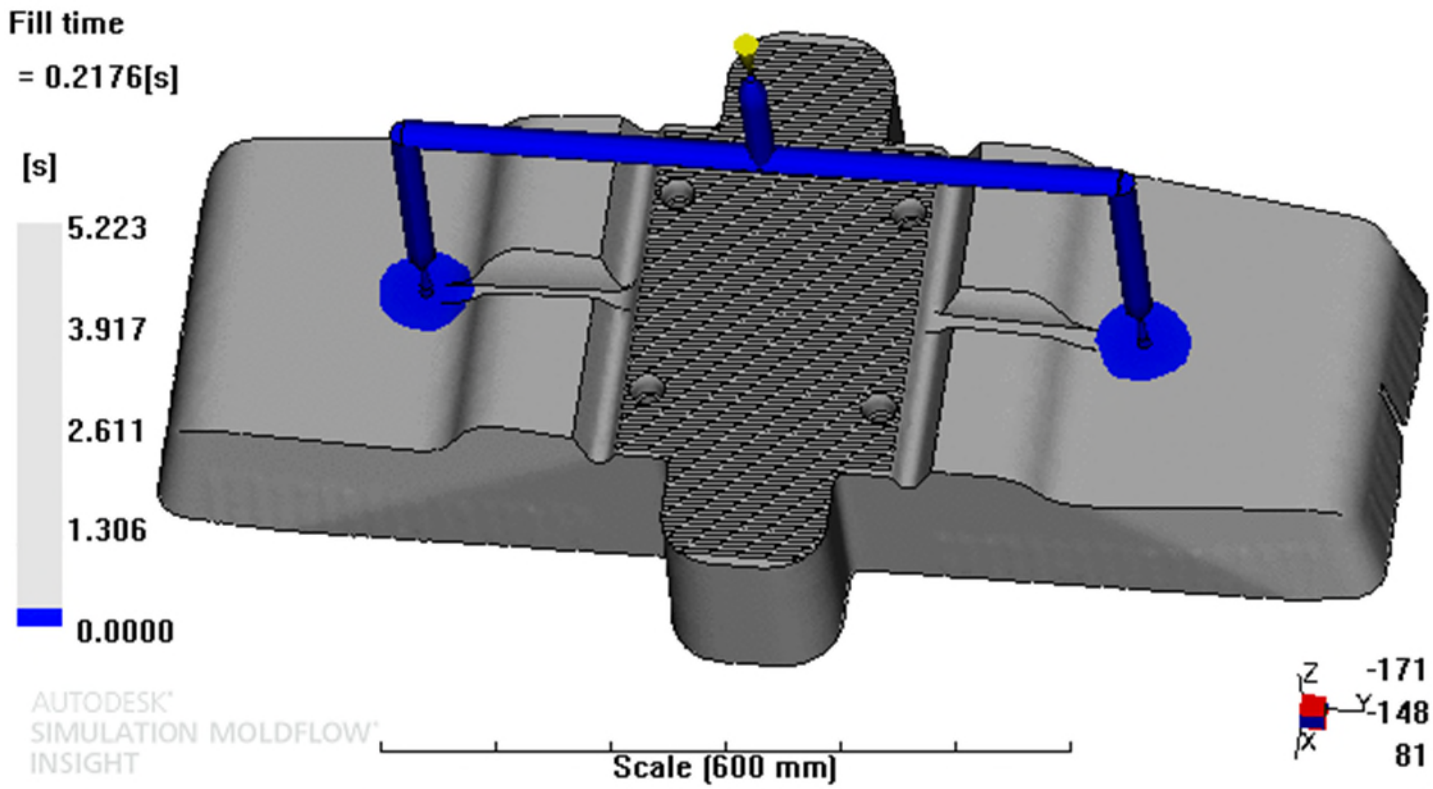
© Fraunhofer

Projektarbeiten - Vorgehensweise



© Fraunhofer

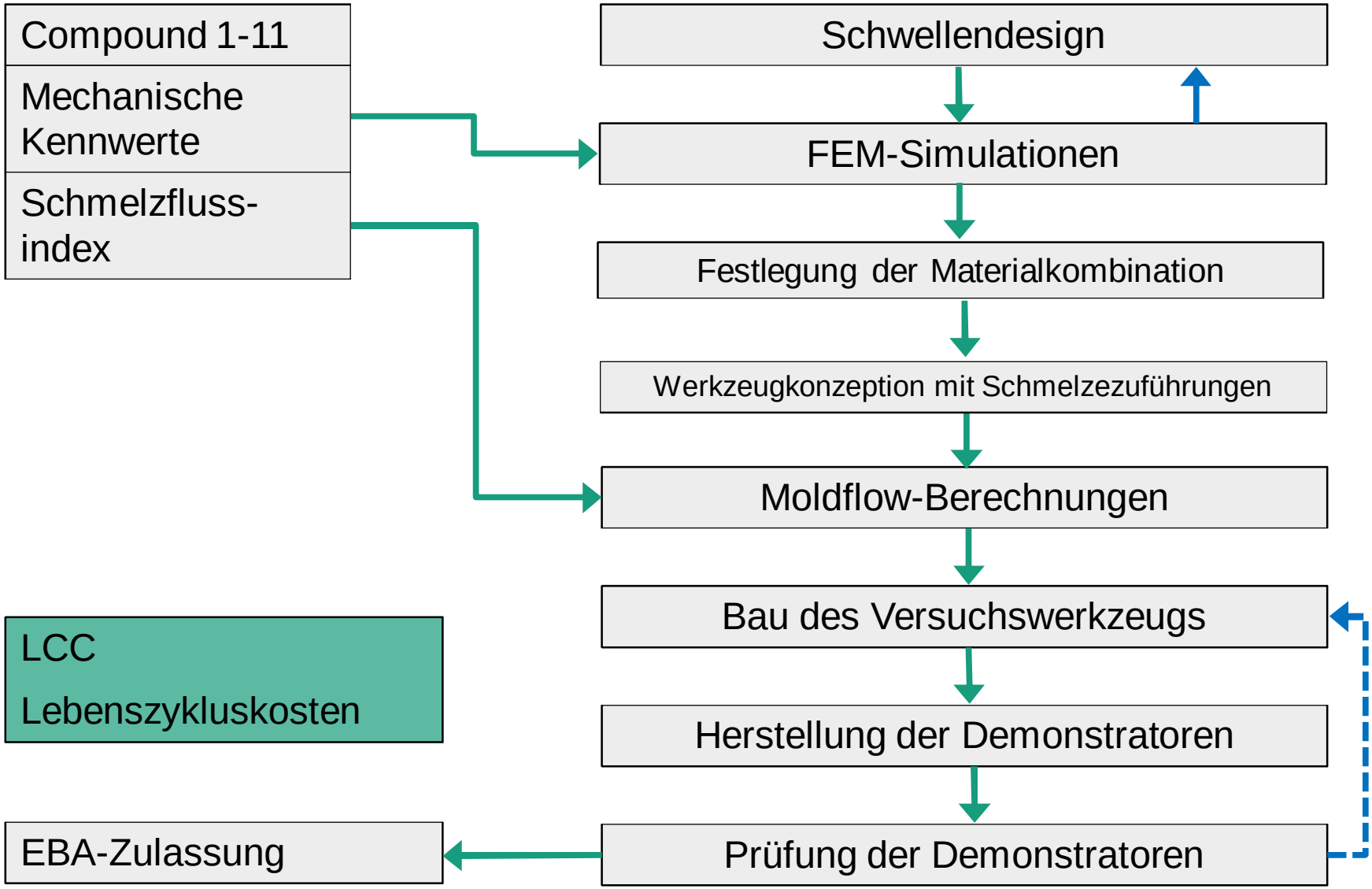
Simulation des Formfüllverhaltens - Moldflow



Quelle: Georg Utz GmbH

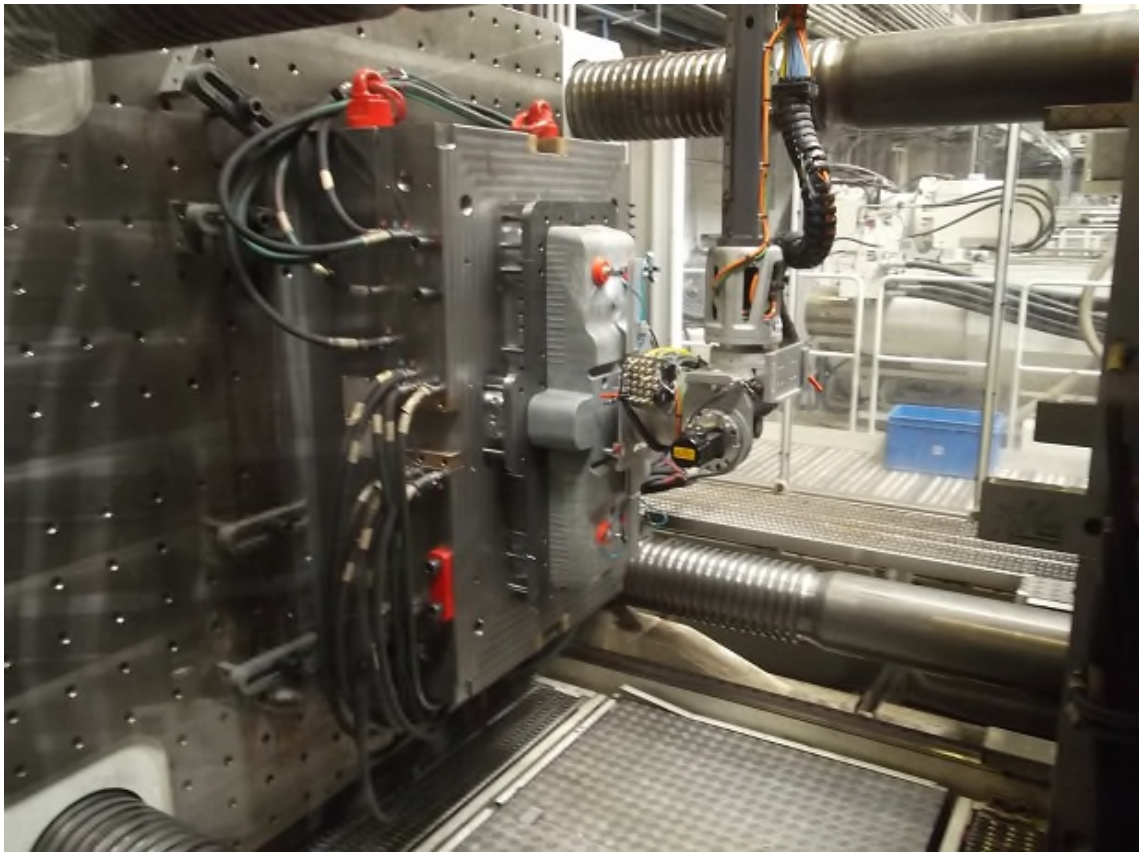
© Fraunhofer

Projektarbeiten - Vorgehensweise



© Fraunhofer

Herstellungsversuche



Blick in die Spritzgussanlage während des Auswurfs eines Oberteils

Quelle: Georg Utz GmbH

© Fraunhofer

Herstellungsversuche

Quelle: Fraunhofer ICT

- Optimierung von:
  Werkzeugtemperatur, Nachdruck, Zykluszeit, Trocknung des Compounds

© Fraunhofer

Schwellenprüfungen:

Schraubenauszugstests

Quelle: TU München

Anforderung: Zugkraft > 30 kN

© Fraunhofer

Schwellenprüfungen:

3-Punkt-Biegeversuch am Schienenauflager

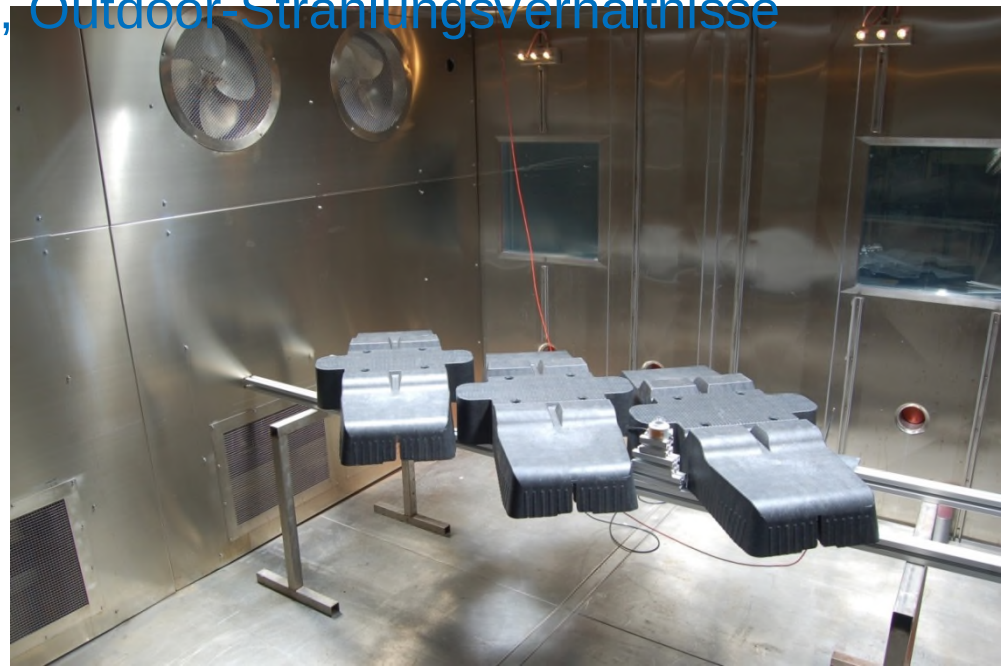
Anforderung an B70 Betonschwelle:
176 kN bis zur Rissbildung

Quelle: TU München

© Fraunhofer

Simulation von Umwelteinflüssen: UV-Bestrahlungstest

240 Stunden, Outdoor-Strahlungsverhältnisse



Quelle:
Fraunhofer ICT

Shore-D-Härte:

Vergleichsprüfkörper ohne Besonnung (20 Messpunkte):	57,3 ± 4,0
Besonnte Prüfköper (46 Messpunkte):	57,2 ± 4,1

© Fraunhofer

Lebenszykluskostenanalyse LCC

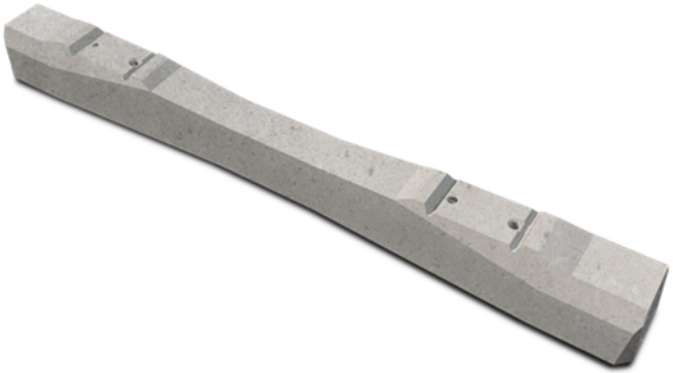
1. Ziel- und Untersuchungsrahmen
2. Datenerfassung
3. Berechnung
4. Auswertung

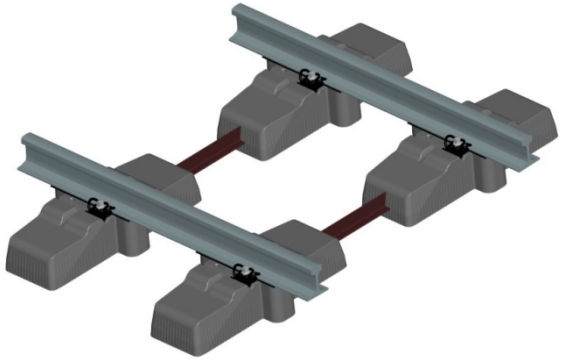
© Fraunhofer

Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel der Studie

- Vergleich der Lebenszykluskosten (Life Cycle Costs - LCC) der Schwelle 2020 mit einem Betonmonoblock-Bahnschwellensystem über **1km** Streckennetz
- Über die reinen Anschaffungs- und Herstellungskosten hinaus sind hierzu die Kosten der Nutzungs- und Entsorgungsphase miteinzubeziehen





Quelle: www.railone.de

© Fraunhofer

Ziel und Untersuchungsrahmen

1 2 3 4

Definition Funktionelle Einheit (fE)

- What does it do?
  Streckenschwellen – nicht: feste Fahrbahn
- How much?
  1km Streckennetz (1250 Stk. Schwellen/km nach [Frenzel et al. 2010])
- How well?
  mit Prüfungszulassung durch das Eisenbahnbundesamt
- How long?
  über eine Lebensdauer von **50 Jahren** [Sievers et al. 2011]

Frenzel, J., Mayerhöfer, J., Frenzel, J.: Neuartige Flügelschwelle in Bi-Block-Ausführung (2010); EI-Eisenbahningenieur.

Sievers, H., Siefer, T., Pachel, J.: Life Cycle Cost am Beispiel von frei bewitterten und im Tunnel verlegten Holzschwellen im Einsatz der Hamburger HOCHBAHN (2011); TU Braunschweig, Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und –betrieb.

© Fraunhofer

HYPERION Verwaltung GmbH

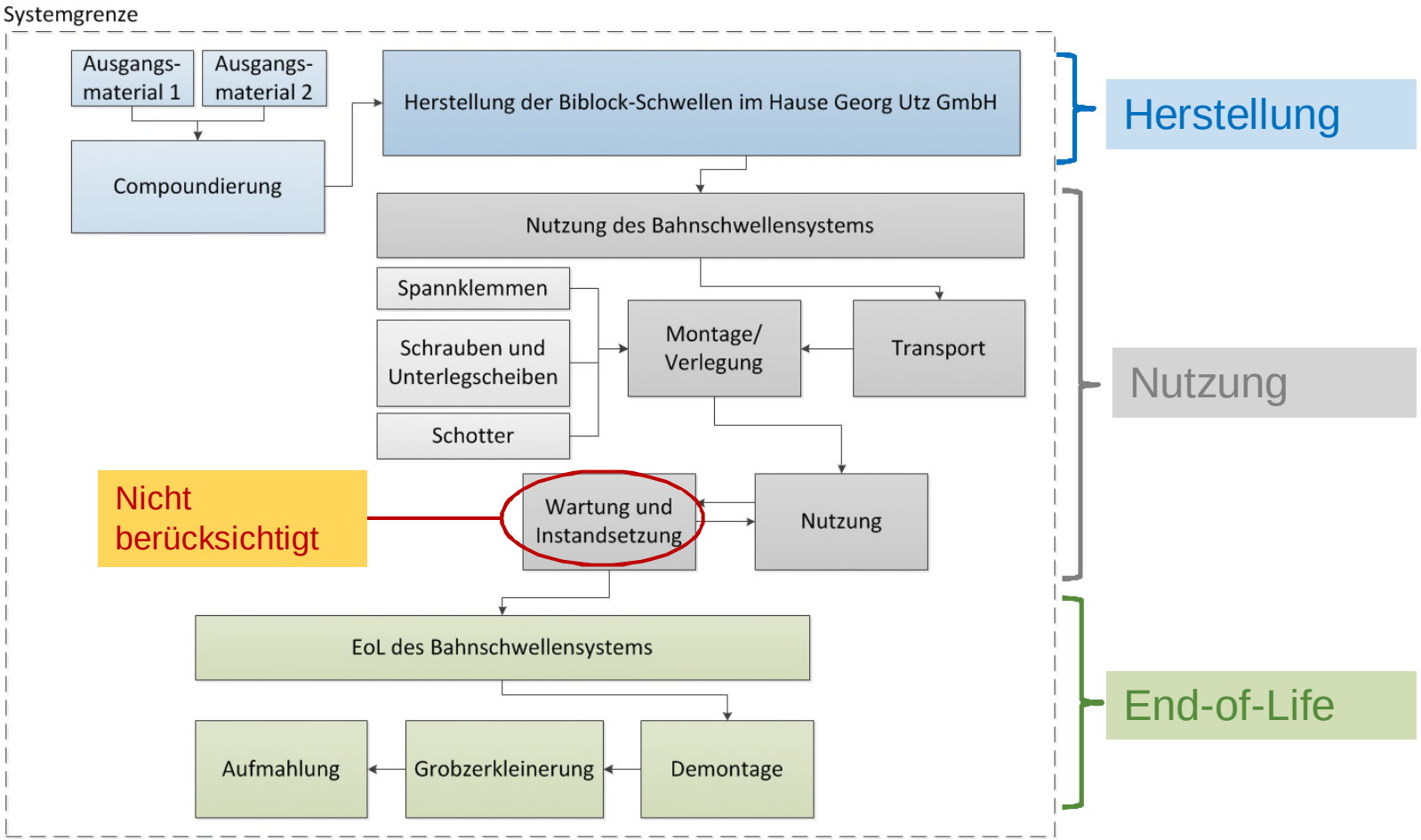
G-12 FreiForm GmbH

utz

Fraunhofer ICT

Ziel und Untersuchungsrahmen

Definition Produktsystem



© Fraunhofer

Datenerfassung

Szenario Schallreduzierung

- Vorteil Holz gegenüber Beton ca. 3 dB
  Es wird davon ausgegangen, dass das Material Kunststoff eine ebenso hohe Schallreduktion bringt
- Verwendung von Schienenstegdämpfern (SSD) oder Schienenstegabschirmungen (SSA) reduziert Schallemission um 2-3 dB, bewirkt aber erhebliche Mehrkosten
- Szenario:
  Betonschwelle ohne und mit SSD/SSA
  Schwelle2020 ohne und mit SSD/SSA

Hecht, M.: Entstehung und Zusammensetzung des Lärm beim Schienenverkehr; Lärmreduzierungsmöglichkeiten. Vortrag, 4. VPI-Symposium Hamburg, 2014

© Fraunhofer

Datenerfassung und Berechnung

1 2 3 4

Herstellung, Nutzung und End-of-Life

- Herstellung
  - Anlageninvestitionskosten und weitere Fixkosten
  - Material- und Energieeinsatz
  - Personaleinsatz
- Nutzung
  - Kostenabschätzung für Einbau, Nutzung, Wartung inkl. Personal, Gerät & Material in Anlehnung an [Sievers, et al. 2011]
  - Szenario Schallreduzierung
- End-of-Life
  - Anlageninvestitionskosten und weitere Fixkosten
  - Material- und Energieeinsatz
  - Personaleinsatz
  - Erlöse für Recyclingmaterial

∑ Kosten Herstellung (inkl. Befestigungs-material) (€/fE)

+

∑ Kosten Nutzung (€/fE)

+/-

∑ Kosten/Ertrag EoL (€/fE)

=

Life Cycle Costs (LCC) (€/fE)

© Fraunhofer

HYPERION Verwaltung GmbH

G-12 FreiForm GmbH

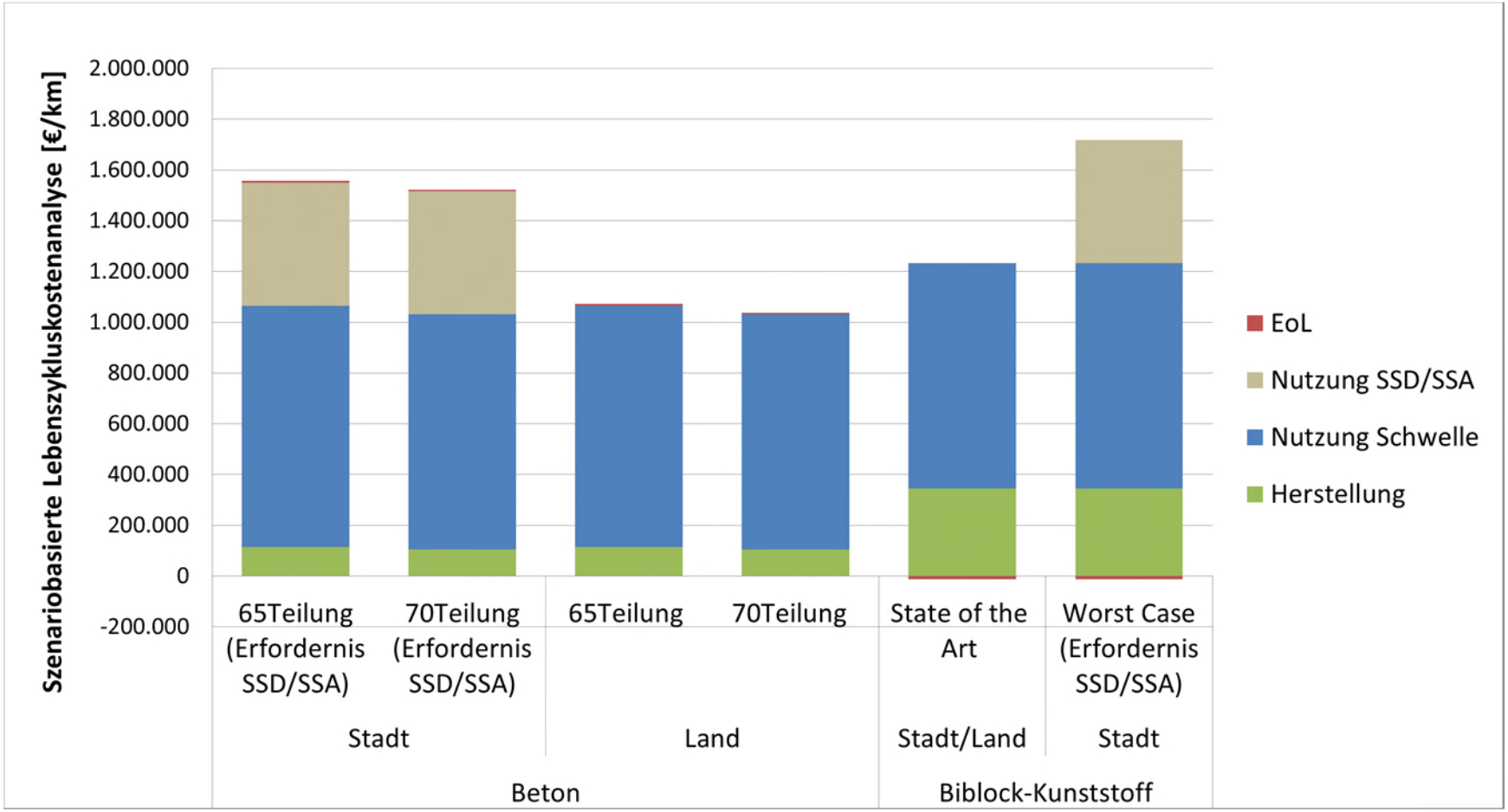
utz

Fraunhofer ICT

Auswertung

1 2 3 4

Szenarioanalyse der Lebenszykluskosten



© Fraunhofer

HYPERION Verwaltung GmbH

G-12 FreiForm GmbH

utz

Fraunhofer ICT

Fazit

LCC:

- Die Schwelle2020 eignet sich in besonderem Maße für die Installation in Fahrbahnsystemen, in denen für die Betonmonoblockschwellen lärmreduzierende Systeme zu installieren sind
- Entscheidender Kostenfaktor ist die Lebensdauer/Liegedauer der Alternativsysteme. Bei Kunststoff gehen wir von 50 Jahren aus

Außerdem Vorteile

- bei tragarmen Böden
- in Bereichen, in denen eine verbesserte Lagestabilität im Gleis erforderlich ist

© Fraunhofer

Zusammenfassung

- Materialauswahl ✓
- Festigkeitsberechnungen ✓
- Moldflow-Simulation ✓
- Bau des Werkzeugs ✓
- Herstellung Demonstratoren ✓
- Erste Tests am Schwellenkörper ✓
- LCC ✓

© Fraunhofer

Ausblick

- Ausstehende orientierende Tests und Lebensdauerprüfungen
- Weitere Werkzeugmodifikation (Schraubenlöcher)
- Vollständige Prüfungen nach Erfordernissen EBA und DB Netze
- Teststrecke

Dank

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

VDI Technologiezentrum

FKZ: 13XP5013A -13XP5013C

© Fraunhofer

HYPERION Verwaltung GmbH

G-12 FreiForm GmbH

utz

Fraunhofer ICT