

84111 Schienenfahrzeugtechnik I

Prof. Dr. Raphael Pfaff

Fachhochschule Aachen

5. April 2018

Teil 1

Präliminarien

Prof. Dr. Raphael Pfaff

Lehr- und Forschungsgebiet Schienenfahrzeugtechnik

 pfaff@fh-aachen.de

 @RailProfAC

 www.raaphaelpfaff.net

Prezume: <http://goo.gl/iq6lhh>

- Raum 02305
- Sprechstunde nach Vereinbarung



Vorstellungsrunde

- Wer bist Du?
- Was erwartest Du von SFT1?
- Was kann ich tun, damit SFT1 Dein Traummodul wird?
- Was muss ich tun, damit Du SFT1 hasst?

Anforderungen “First Cycle” - Bachelor

Anforderungen gemäß Dublin Descriptors

- Knowledge and understanding in a field of study
 - Typically supported by textbooks
 - Some aspects informed by knowledge on the forefront of the field of study
- Apply knowledge and understanding indicating a professional approach
- Gather and interpret data to inform judgement
- Communicate information, ideas, problems and solutions
- Learning skills to undertake further study with high degree of autonomy



Anforderungen “Niveau 6” - Bachelor

Anforderungen gemäß Deutschem Qualifizierungsrahmen

- Breites und integriertes Wissen
 - Wissenschaftliche Grundlagen
 - Praktische Anwendungen
- Breites Spektrum an Methoden
 - Neue Lösungen erarbeiten und bewerten
- Verantwortlich in Expertenteams arbeiten oder leiten
- Ziele für Lern- und Arbeitsprozesse definieren, reflektieren und bewerten
- Lern- und Arbeitsprozesse eigenständig und nachhaltig gestalten



Anforderungen BEng Schienenfahrzeugtechnik

Was zeichnet einen Bachelor der Schienenfahrzeugtechnik aus?

- Wissenschaftliches Arbeiten
 - Nutzung Primärliteratur und Normen
 - Erstellung Seminararbeiten
- Selbstlernkompetenz
 - Beispiel: Nutzung Lehrbuch statt Skript
- Verfassung wissenschaftlicher und technischer Texte
- Fachvortrag zu Seminararbeit



Wie schaffen? - Growth Mindset!

Theorie der Psychologin Carol Dweck, Harvard Dweck (2012)

Fixed Mindset:

- Fähigkeiten,
- Intelligenz und
- Talent

sind feste Persönlichkeitsmerkmale und nicht änderbar. Daher das Bestreben, nicht dumm zu wirken.

Growth Mindset:

- Fähigkeiten,
- Intelligenz und
- Talent

können durch Anstrengung, gute Lehre und Hartnäckigkeit entwickelt werden. Nicht jeder ist gleich, aber jeder kann sich weiterentwickeln.

Entwicklung im Growth Mindset

Fixed mindset

Growth mindset

Herausforderungen

Hindernisse

Anstrengung

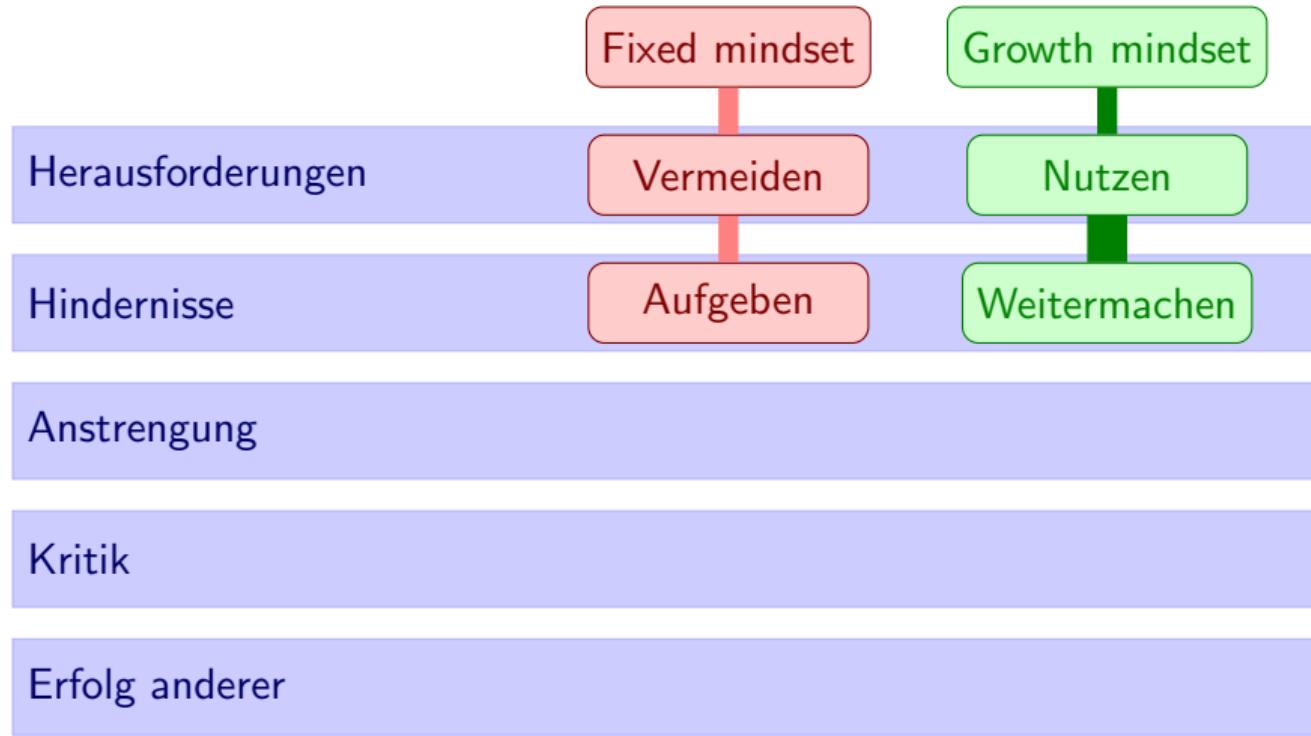
Kritik

Erfolg anderer

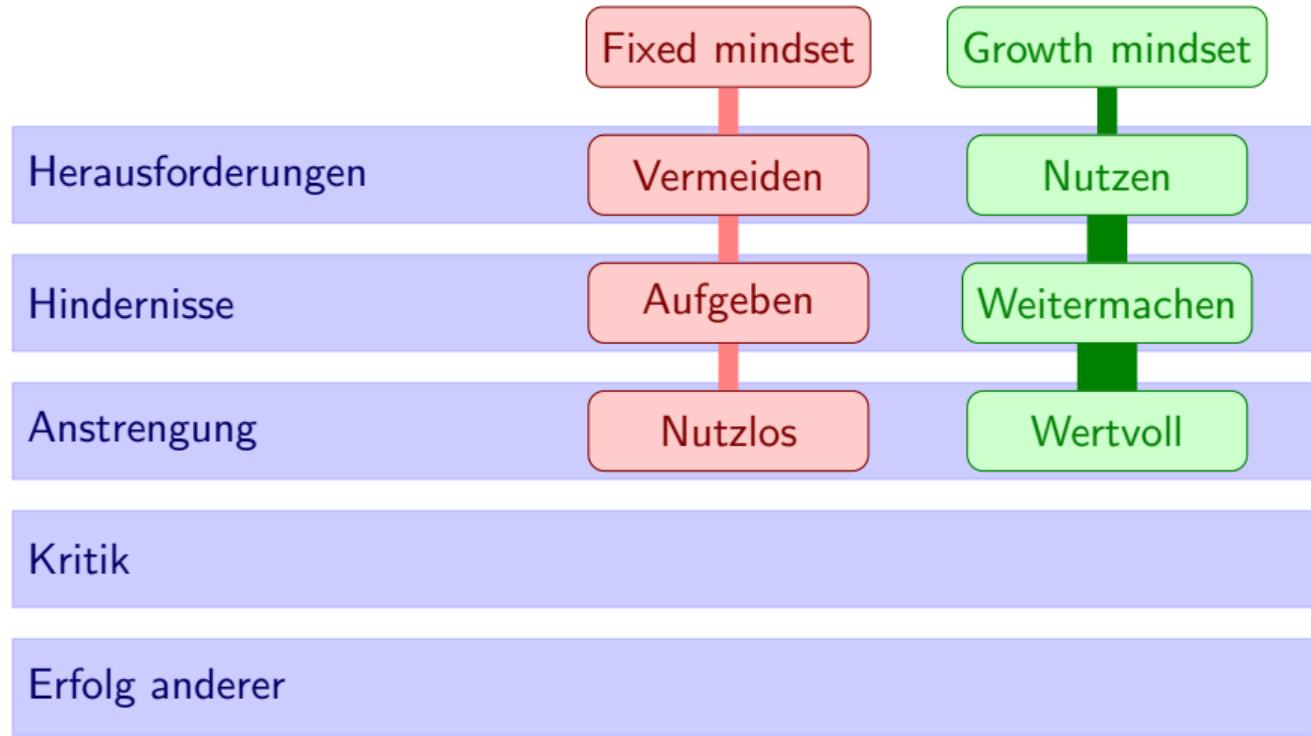
Entwicklung im Growth Mindset



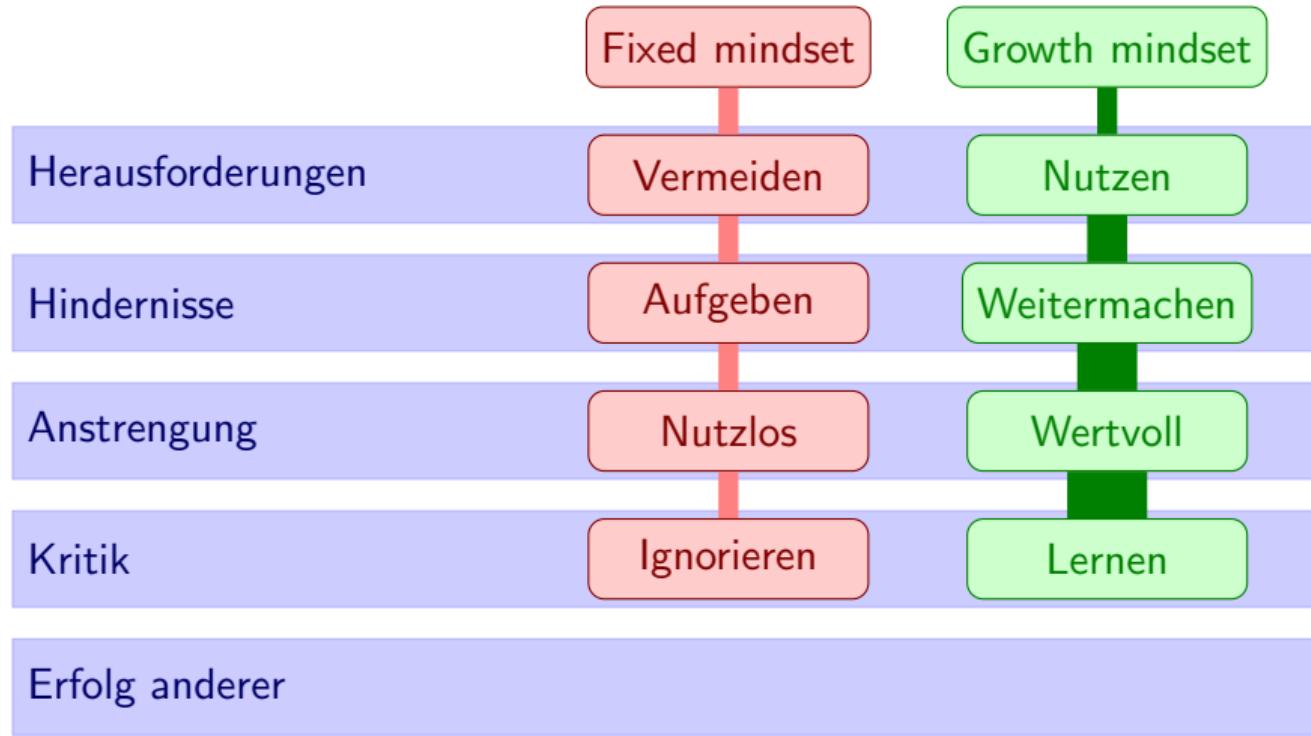
Entwicklung im Growth Mindset



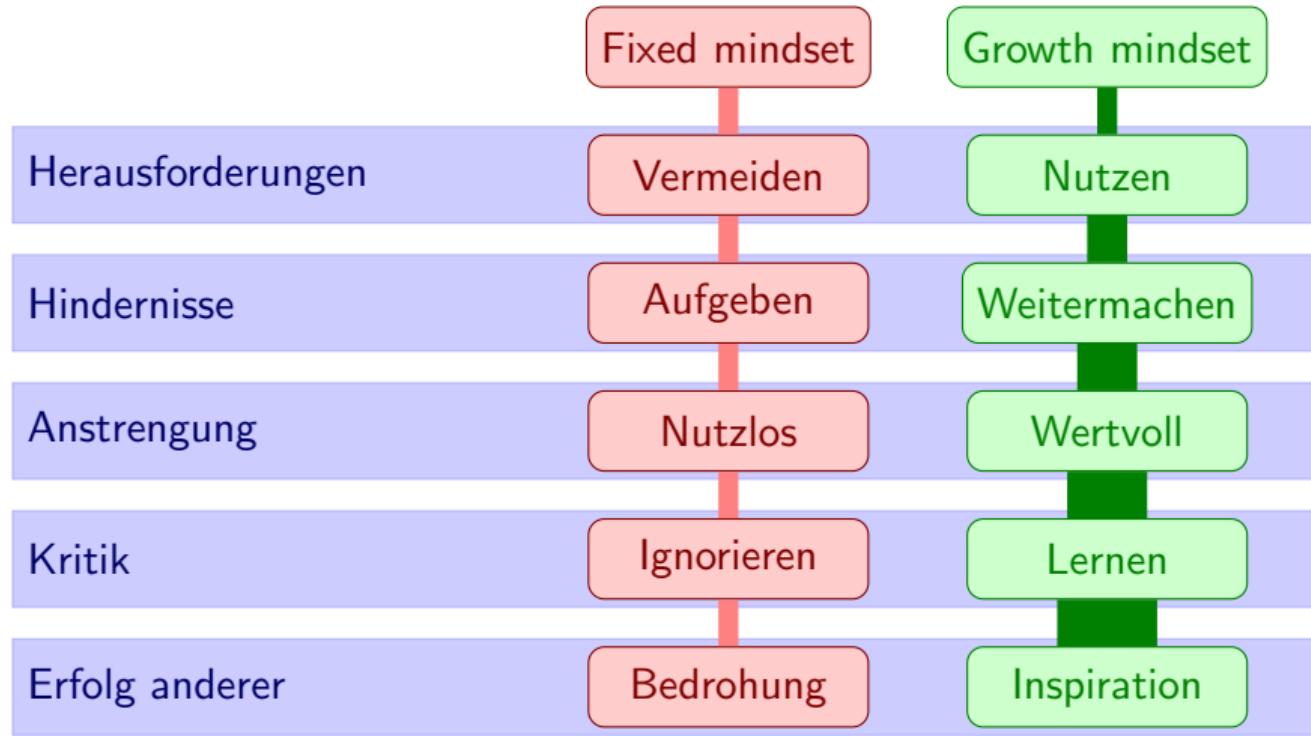
Entwicklung im Growth Mindset



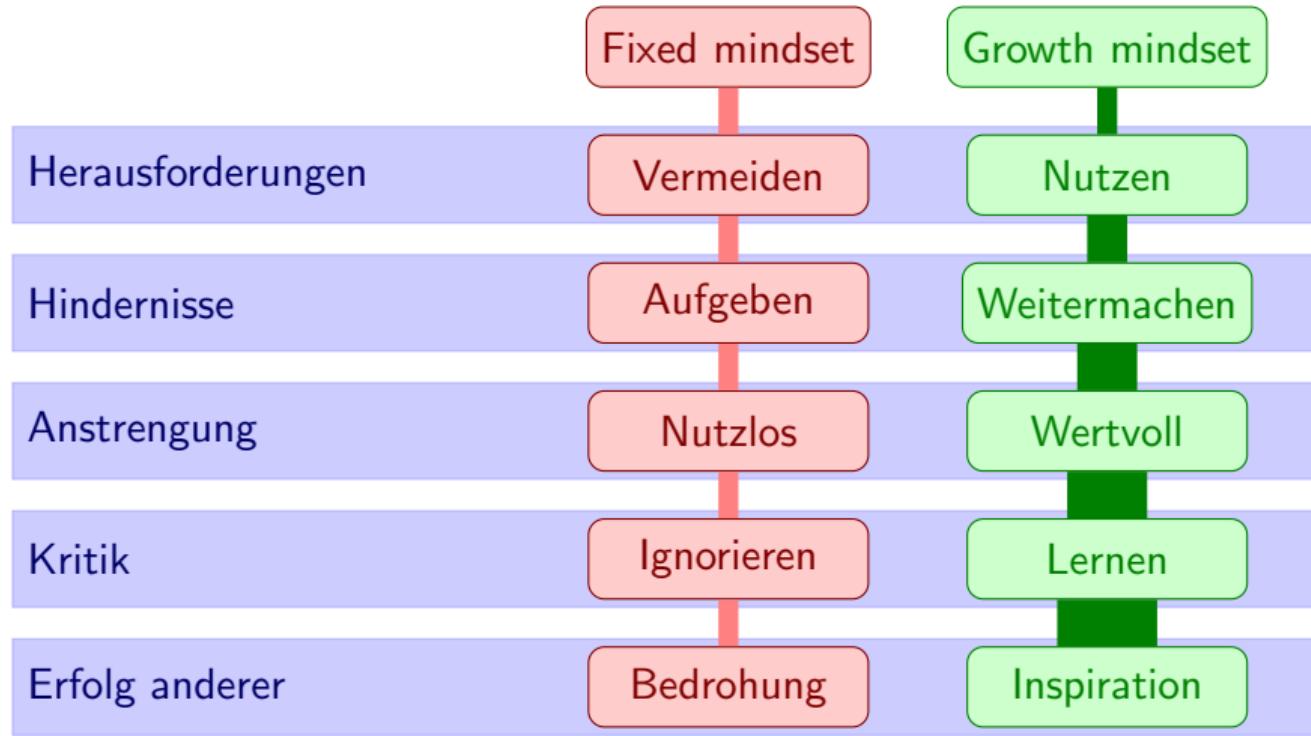
Entwicklung im Growth Mindset



Entwicklung im Growth Mindset



Entwicklung im Growth Mindset



Rolle des Lehrenden

*A teacher is never a giver
of truth; he is a guide, a
pointer to the truth that
each student must find for
himself.*

Bruce Lee



Inhalt der Vorlesung I

- 1 Präliminarien
- 2 Güterwagen
- 3 Personenfahrzeuge
- 4 Requirements Engineering
- 5 Fahrzeugkonstruktion
 - Bauformen
 - Begrenzungen
 - Wagenkastenrohbau
- 6 Laufwerk (Fahrwerk)
- 7 Einführung Zugdynamik
- 8 Zugdynamik
 - Kuppelstoß, Crash
 - Kraftschluss, Schlupf
 - Fahrwiderstand, Zugkraft, Zugbremsung
- 9 Einführung Spurführung

Inhalt der Vorlesung II

- Spurweiten

Vorlesungsinhalte



⌚ Fehlt etwas?

Was könnt Ihr noch gebrauchen? z.B. für die Railway Challenge, euer Mobilitätsfenster, ...

Themenplan

Das Lehrbuch von *Janicki et al.* (*Janicki et al., 2013*) ist Pflichtlektüre in diesem Modul, für weitere vertiefende Literatur siehe Literaturverzeichnis. Vorschläge für Themen der Seminararbeit sind willkommen!

Thema	Kapitel aus (<i>Janicki et al., 2013</i>)
Präliminarien, Güterwagen, Personenfahrzeuge	6, 7.1
Einführung Zugdynamik	1.5.1, 1.5.2, 2.4
Zugdynamik - Einführung, Kraftschluss, Schlupf	1.5.2
Zugdynamik II - Fahrwiderstand, Zugkraft, Zugbremsung	1.5, 5.2
Einführung Spurführung	1.4
Kuppelstoß, Crash	
Fahrzeugkonstruktion	2.1.1 - 2.1.9
Bauformen, Begrenzungen, Aufbau	
Werkstoffe, Fügetechnik, Brandschutz, Passive Safety	
Laufwerke	2.2.1 - 2.2.13
Einführung, Radsatz, Drehgestell	
Federung, Dämpfung, Anbauten	

Semesterbegleitende Prüfung, Praktikum

- Anhand Railway Challenge und *Service Learning* für EVS
 - Aufgaben werden abgestimmt
- Dokumentation durch technische Berichte
- Gewichtung Berichte: in Summe 100% der Modulnote

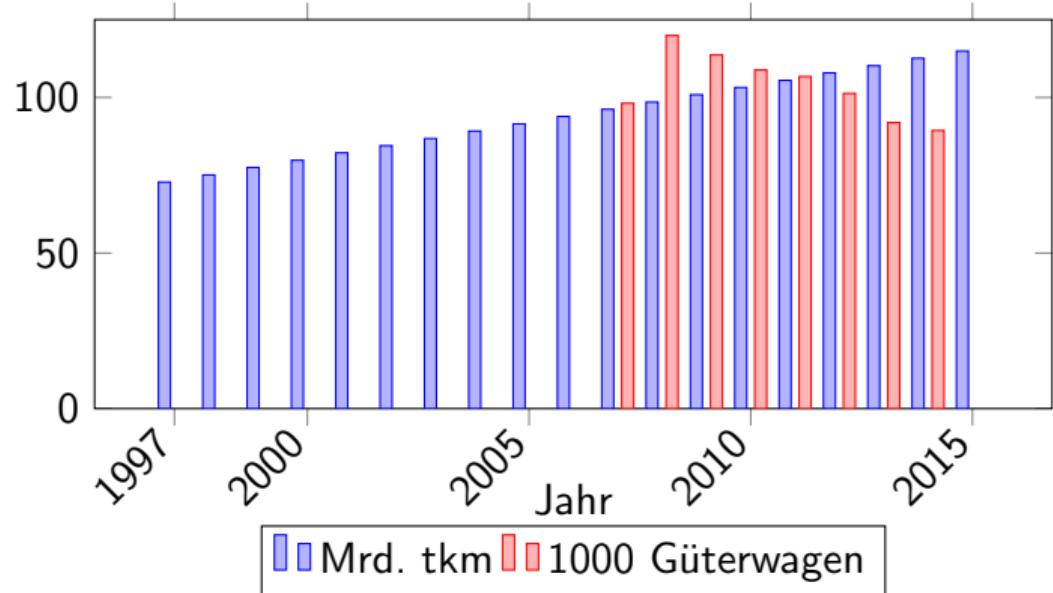
Semesterbegleitende Prüfung, Praktikum

VORLESUNG	ÜBUNG	PROJEKT/SEMINARARBEIT
Einführung Fahrzeuge Anforderungen		
Fahrzeugkonstruktion	Festigkeits- anforderungen und -nachweis	Konstruktion Wagen für Emma
Laufwerke	Radsätze	
Recap Zugdynamik	Zugdynamik	Grenzlastberechnung Gravita (für EVS)
Kraftschluss Schlupf	Kraftschluss Schlupf	
Fahrwiderstand, Zugkraft, Zugbremsung Kuppelstoß, Crash	Zugdynamik II	Nachweisführung Railway Challenge
Spurführung		
Vertiefung		

Teil 2

Güterwagen

Zahlen zum Güterverkehr



Einführung

- Größte Gruppe an Fahrzeugen
- Universalwagen
 - Standardisierte Verkehre
 - z.B. Flachwagen
- Sonderbauart
 - Bestimmte Verkehre
 - z.B.
Containertragwagen,
Pkw-Transportwagen
- Häufig im Privatbesitz
- Anspruchsvoll trotz einfacher Technik

Regelbauart:

E	offene Wagen
G	gedeckte Wagen
K	Flachwagen (2 RS)
O	gemischte Offen-Flachwagen
R	Drehgestell-Flachwagen

Sonderbauart:

F	offene Wagen
H	gedeckte Wagen
I	Kühlwagen
L	Flachwagen mit unabhängigen RS
S	Drehgestell-Flachwagen
T	Wagen mit öffnungsfähigem Dach
U	Sonderwagen
Z	Kesselwagen

⌚ Sammeln von Anforderungen

Anforderungen gemäß WAG TSI I

- Festigkeit gemäß EN12663-2
 - Zwei Kategorien: F-I: Allgemein, F-II: nicht ablaufen/abstoßen
 - Längsdruckkraft: F-I: 2000 kN, F-II: 1200 kN
 - Zugkraft: 1000/1500 kN (je nach Anschlag)
- Integrität: bewegliche Teile sind gegen Positionsänderungen gesichert
- Begrenzungslinie abhängig vom Zielprofil
- Radsatzlast gemäß EN 15228
- Kompatibilität mit Gleisfreimeldeanlagen
 - Gleisstromkreise
 - Achszähler
 - Kabelschleifen
- Zustandsüberwachung der Radsatzlager
 - Fahrzeugseitig
 - Streckenseitig (gemäß EN15437-1:2009)
- Laufsicherheit

Anforderungen gemäß WAG TSI II

- Sicherheit gegen Entgleisen unter Gleisverwindung
- Dynamisches Verhalten gem. EN14363 oder mittels validiertem Modell
- Laufwerk
 - Festigkeit gemäß EN13749
 - Forderungen an Radsäze und Räder gemäß WAG TSI
- Bremse
 - Sicherheitsbetrachtung gemäß Common Safety Methods (CSM, (EG) Nr. 352/2009)
 - Ausfall einer Einheit bei Mehrfachfehler
 - Ausfall mehrerer Einheiten bei Einfachfehler
 - Bremsleistung
 - Durch Berechnung gemäß EN14531-6
 - Durch Versuch gemäß UIC 544-1
 - Feststellbremse
 - Zustandsanzeige
 - Wärmekapazität
 - Dauerbremsung mit 45 kW (70 km/h, 40 km, $i = 2,1\%$)

Anforderungen gemäß WAG TSI III

- Gleitschutz für Scheibenbremsen oder Klotzbremse mit $\mu_m > 0,12$
- Umgebungsbedingungen
 - T1: -25 °C bis +40 °C
 - T2: -40 °C bis +35 °C
 - T3: -25 °C bis +45 °C
 - Schnee, Eis und Hagel gemäß EN50125-1
- Brandschutz
 - Abschirmung potenzieller Brandquelle von der Ladung
 - Anforderungen an Materialien, Kabel und Flüssigkeiten
- Dokumentation
 - Betriebsunterlagen
 - Instandhaltungsvorschriften

EG-Konformität nach TSI WAG

- Für einige Elemente (Interoperabilitätskomponenten) wird von einer EG-Konformität ausgegangen:
 - Einachsige Laufwerke: Doppelschakenaufhängung, Niesky 2, S 2000
 - Drehgestelle mit zwei Radsätzen: Y25-Familie, zweiachsiges Lenkdrehgestell
 - Dreiachsige Drehgestelle mit Schakenaufhängung
- Auch für gewisse Materialien in Bezug auf Entflammbarkeit sowie Brandschutzwände

Teil 3

Personenfahrzeuge

Einführung

Die Eisenbahn verkauft *quality time!*

- Anspruchsvolle Fahrgäste
 - Verschiedene Ansprüche je nach Verkehrsart
 - Art und Ausstattung an Gattungsbezeichnung zu erkennen
- Umsetzung als Wagen oder Triebzug
- Wichtige Aspekte:
 - Inneneinrichtung und Grundriss
 - Zugang
 - Ausstattung
 - Energieversorgung
 - Fahrkomfort
 - Fahrgastströme
 - Reisegeschwindigkeit
- In verschiedenen Kulturen verschiedene Akzeptanz des Bahnverkehrs!

Gattungssystematik

Gattungsbuchstabe		Kennbuchstabe	
A	Sitzwagen 1. Klasse	m	Reisezugwagen oder Wagen eines Triebzugs
AB	Sitzwagen 1. und 2. Klasse	n/y	Nahverkehrswagen
B	Sitzwagen 2. Klasse	x	S-Bahn-Wendezugwagen
D	Gepäckwagen	f	mit Führerraum
D...	Doppelstockwagen	p	klimatisiert, Großraum
...R	mit Küche, Bistro	o	vergrößerte Abteile
...D	mit Gepäckabteil	b	Rollstuhleinrichtungen
WL	Schlafwagen	d	mit Mehrzweckraum
WR	Speisewagen	r	mit Rapidbremse
		h/z	Energieversorgung

Schutzziel gem. TSI

- „Die für die Betätigung durch die Fahrgäste vorgesehenen Einrichtungen müssen so konzipiert sein, dass sie deren Sicherheit nicht gefährden, wenn sie in einer voraussehbaren Weise betätigt werden, die den angebrachten Hinweisen nicht entspricht.“

Inneneinrichtung

- Unterschiedliche Bedürfnisse in den verschiedenen Verkehrsarten
- Häufig sehr detailliert Inhalt von Verkehrsausschreibungen
 - Transportmöglichkeiten (Fahrrad, Kinderwagen, Rollstühle,...)
 - Sitzplätze, Tische
 - Überwachungssysteme (CCTV)
- Einstieg
 - Fernverkehr: Wagenende
 - Regional-, Nahverkehr: Dritteleinstieg (oder häufiger)
- Sitzanordnungen
 - Abteil: 4, 5, 6 Sitze je Abteil, Seitengang
 - Großraum: i.d.R. 3 oder 4 Sitzplätze je Reihe, Mittelgang
 - In UK, China: 5 Sitzplätze je Reihe
- Sitzplatzanzahl: Effizienz dominiert

Barrierefreiheit I

Transversale PRM TSI *people with reduced mobility* stellt Anforderungen dar.

- Definition People with reduced mobility
 - Personen, die mit der Nutzung von Eisenbahnen (Fahrzeuge und Infrastruktur) Schwierigkeiten haben
- Außentür:
 - Kontrast zum Fahrzeug, Bedienung auf oder neben dem Türblatt, Sicht- und Hörbare Warnung bei Betätigung
 - Lichte Weite mindestens 800 mm (HST), mindestens 1000 mm (CR)
- Zustiegshilfe
 - Wünschenswert: angepasste Fahrzeuge für Infratruktur
 - Sonst: Rampen, Überfahrbrücken etc.
- Inneneinrichtung
 - Verfügbarkeit von Haltegriffen, Vorrangsitzen (10%)
 - Rollstuhlpätze: 1 ($L_{Zug} < 30$ m) bis 4 ($L_{Zug} > 300$ m)
 - Hilferufvorrichtung

Barrierefreiheit II

Transversale PRM TSI *people with reduced mobility* stellt Anforderungen dar.

- Rampen eingeschränkt zulässig
- Haltestangen, D = (30...40) mm
- Toiletten
 - Vorhandensein einer Universaltoilette
- Fahrgastinformation:
 - Piktogramme (max. 5 zusammen)
 - Taktile Informationen
 - Displays etc. von 51% der Fahrgastplätze und allen Rollstuhlplätzen lesbar

Energieversorgung

- In Wagen:

- Dominierend: Zugsammelschiene gemäß UIC 552
- Verschiedene Spannungen und Frequenzen, z.B.:
 - AC 1000 V 16,7 Hz
 - AC 1500 V 50 Hz
 - DC 1500 V
 - DC 3000 V
- Strom: (800...1000) A (je Kupplung 600 A)
- Stromart erfordert Glättung/Wechselrichtung
- Vereinzelt Achgeneratoren

- In Triebzügen:

- Verbindung im Rahmen der Fahrzeugverdrahtung
- Bordnetzspannung 24 V, 72 V, 110 V (je -30%/+25%)

Türen und Türsteuerung

- Wichtige Aspekte:
 - Öffnungsweite
 - Druckertüchtigung
 - Festigkeit (insb. HST)
 - Sicherheit
- Bauarten:
 - Drehfalttür
 - Schwenkschiebetür in verschiedenen Bauarten
- Türsteuerung:
 - Verschiedene Verfahren (Automatisierung):
 - Türsicherung
 - TB 0
 - SAT
 - TAV



Quelle: Wikimedia/LostHawlos



Quelle: Wikimedia/Lief Jørgensen

Klimatisierung

Die Aufgaben Heizen, Belüften und Klimatisieren werden häufig integriert (HVAC).

■ Ausführungen:

- Heute dominierend: elektrische Energieversorgung
- Noch im Bestand: Dampf/elektrische Heizungen, Ölheizungen
- Für Kühlung: Kühlmittel- und Kaltluftanlagen

■ Aufgaben:

- Heizen: Innenraumtemperatur auf bestimmtem Niveau halten
- Belüftung: benötigte Luftmenge zuführen
- Klimatisieren: Innenraumtemperatur auf bestimmtem Niveau halten

■ Herausforderungen:

- Große Fahrzeugflächen und -scheiben
- Hohe, schwankende Personenzahlen
- Installationsraum
- Türöffnung
- Feuchtigkeitszufuhr (nasse Reisende)
- Zugfreiheit

Fahrgastnotruf

Der Fahrgastnotruf löst die Notbremse bei TSI-konformen Fahrzeugen ab.

■ Ausstattung:

- Jedes Abteil, Vorräume und alle anderen abgetrennten Bereiche ausser Toiletten und Übergänge
- Sichtbar und gekennzeichnet
- Alarm kann nicht abgebrochen werden
- Alarm wird Tf visuell und akustisch angezeigt
- Tf kann bestätigen, dies wird Fahrgästen mitgeteilt
- Kommunikation mit Tf
- Rücksetzung durch Zugpersonal



Fahrgastinformationssysteme

■ Aufgaben:

- Information des Reisenden: Zuglauf, nächster HAlt, etc.
- Kommunikation (betrieblich und öffentlich, Mobilfunk-Repeater, WLAN, ...)
- Unterhaltung
- Kommunikation im Notfall (siehe SFT2: Notbremsanforderung)

■ Umsetzung:

- Anzeigen
- Elektroakustische Anlage (ELA)

Fahrgastinformationssysteme

■ Aufgaben:

- Information des Reisenden:
Zuglauf, nächster HAlt, etc.
- Kommunikation (betrieblich
und öffentlich,
Mobilfunk-Repeater, WLAN,
...)
- Unterhaltung
- Kommunikation im Notfall
(siehe SFT2:
Notbremsanforderung)

■ Umsetzung:

- Anzeigen
- Elektroakustische Anlage
(ELA)



Requirements Engineering

Warum Requirements Engineering (RE)?

Requirements Engineering befasst sich mit dem systematischen Erfassen, Umsetzen und Prüfen von Anforderungen im Entwicklungsprozess.

- Qualität: Qualität ist das Maß der Erfüllung der Anforderungen an ein Produkt.
- Kosten- und Termintreue
- Einbindung der Stakeholder (Ansprechsteller)
- Systematisierung der Beschaffung und des Engineerings

Key-Aspects of Requirements Engineering

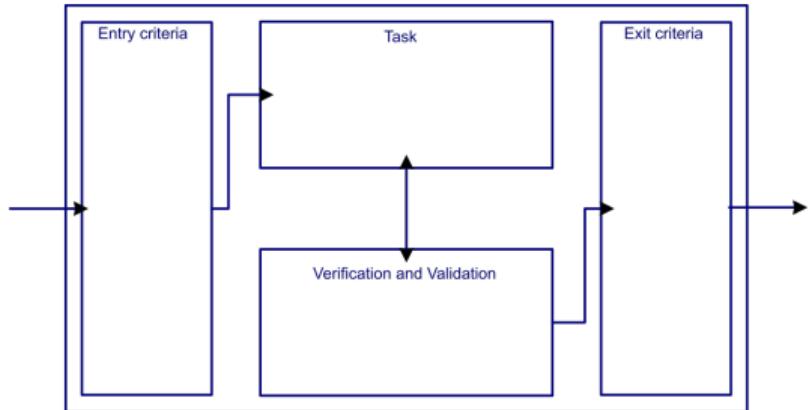
- Stakeholder Involvement
- Technical Reviews
- Traceability

Generisches Phasenmodell

Modell einer beliebigen Phase eines Entwicklungsprozesses

Für jede Phase festzulegen:

- Purpose
- Inputs
- Entry Criteria
- Roles
- Verification steps
- Outputs
- Exit criteria
- Resources
- Management review activities



⚡ V-Modell für Requirements Engineering

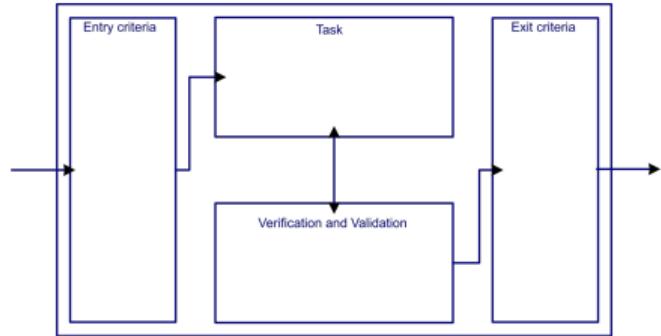
Requirements Analysis

Ermitteln der System Level Requirements

Leitfragen:

- What are the stakeholders?
 - What is the system to do?
 - How well it is to do it?
 - Under what conditions?

Typischer Meilenstein: Initial Design Review (IDR)



System Specification

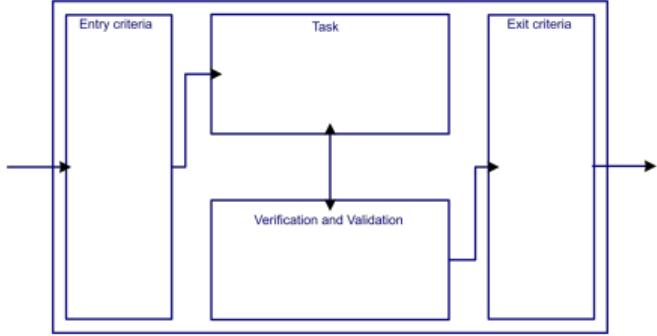
Top Level Design: Architektur, Lösungen, Subsysteme

Leitfragen:

- Is the required system feasible?
- What are system and subsystem borders?
- What are associated costs/lead times/risks?
- How can the risk be reduced?
- Which system integration steps are necessary?

Typischer Meilenstein:

Preliminary Design Review (PDR)



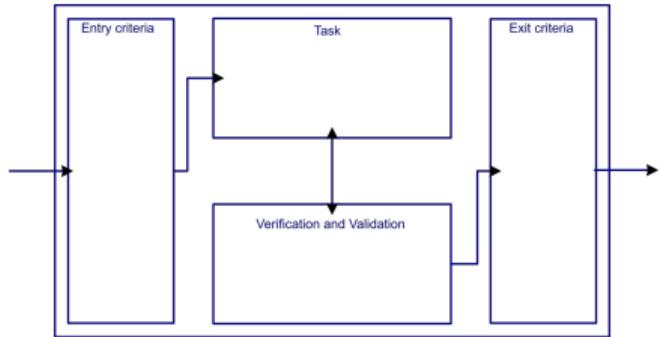
Subsystem Design

Lower Level Design: Architektur, Lösungen, Module

Leitfragen:

- What are the subsystem requirements?
 - Make or Buy?
 - Which deliverables (e.g. documentation) are requested?
 - What is the suitable subsystem structure?

Typischer Meilenstein: Critical Design Review (CDR)

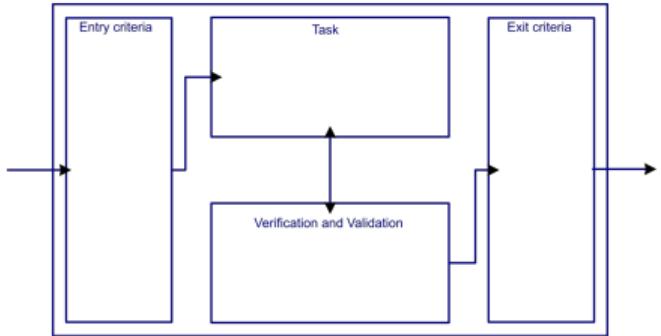


Module Design

“Build to Specifications”: Zeichnungen, Schemata,...

Leitfragen:

- How can the module be realised efficiently?
 - What are critical characteristics of the module and its parts?
 - Can service proven modules be used or adapted?



Fahrzeugkonstruktion

Abschnitt 1

Bauformen

Konstruktionsprinzipien der Wagenkästen

Differenzialbauweise

- Fertigung aus Halbzeugen:
 - Einzelteile einfach geformt
 - Formgebung durch Fügen und Umformen

Integralbauweise

- Fertigung aus komplex geformten Elementen:
 - z.B. Strangpressprofile
 - Formgebung durch Fügen und Zerspanen

Tragfunktion

- Tragendes Untergestell
- Selbsttragender Wagenkasten



Quelle: Siemens Pressebild

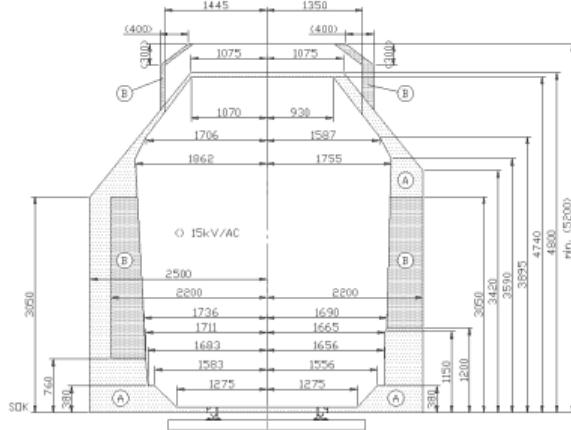
Wagenkasten in Integralbauweise

Abschnitt 2

Begrenzungen

Lichtraumprofil streckenseitig

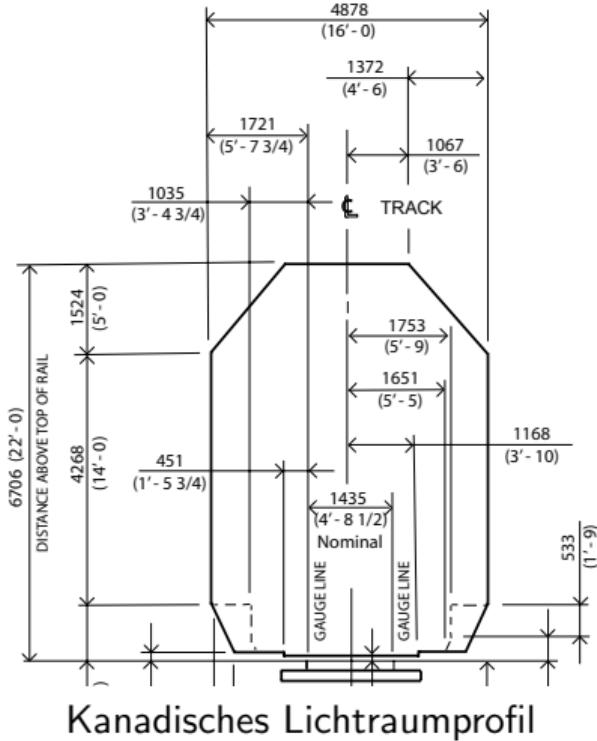
- Streckenseitiges Lichtraumprofil muss berücksichtigen
 - Beladungszustände
 - Dynamische Bewegungen:
 - Ein-/Ausfedern
 - Wanken
 - Nicken
 - Bogenfahrt
 - Kompatibilität mit anderen Fahrzeugen
 - Deutsches Regelprofil: G2
 - Europäisch: G1
 - Betrieblich
 - Lademaßüberschreitungen möglich



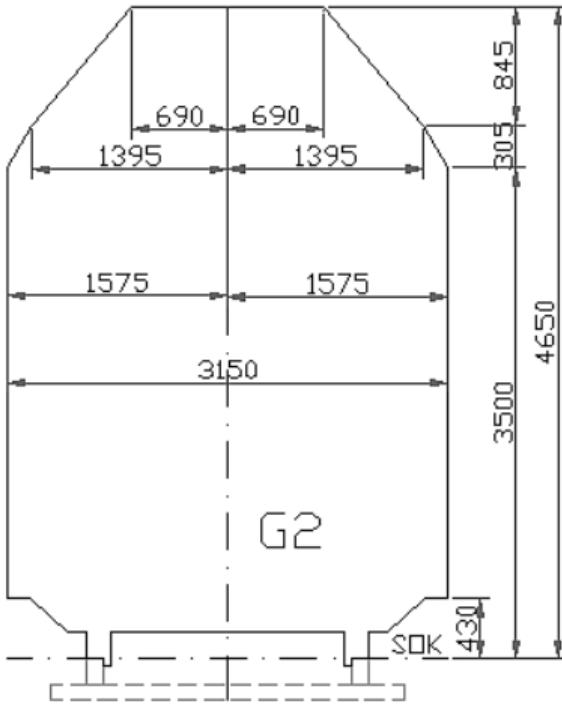
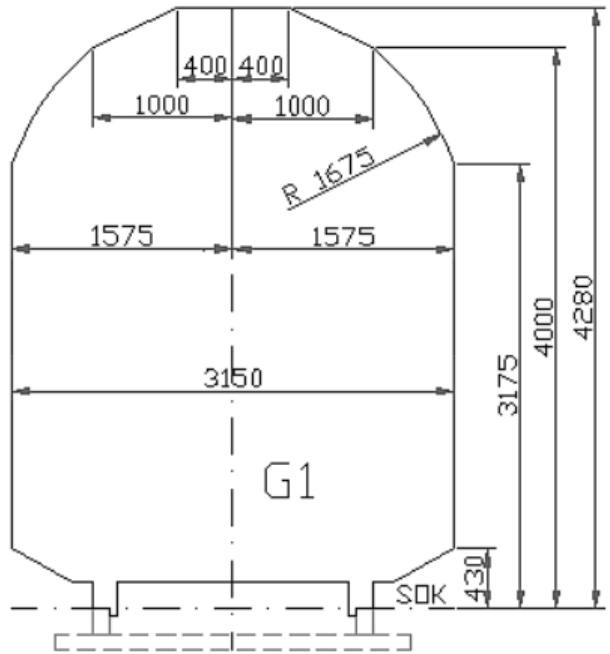
Lichtraumprofil G2 gemäß EBO

Lichtraumprofil streckenseitig

- Streckenseitiges Lichtraumprofil muss berücksichtigen
 - Beladungszustände
 - Dynamische Bewegungen:
 - Ein-/Ausfedern
 - Wanken
 - Nicken
 - Bogenfahrt
 - Kompatibilität mit anderen Fahrzeugen
- Deutsches Regelprofil: G2
- Europäisch: G1
- Betrieblich
Lademaßüberschreitungen möglich



Fahrzeugbegrenzung: Querschnitt



Quelle: Christian Lindecker

⌚ Breiteneinschränkung und Lichtraumbedarf

Radsatzlasten und Meterlasten

- Beschränkung der Radsatzlast:
 - Gemäß Streckenkategorie
 - Normativ, z.B. TSI Loc&Pas (für HGV), EN 15528
- Beschränkung der Streckenlast
 - z.B. für Brückenbauwerke, Oberbau

Klasse	Radsatzlast	Meterlast
A	16 t	5,0 t/m
B1	18 t	5,0 t/m
B2	18 t	6,4 t/m
C2	20 t	6,4 t/m
C3	20 t	7,2 t/m
C4	20 t	8,0 t/m
D2	22,5 t	6,4 t/m
D3	22,5 t	7,2 t/m
D4	22,5 t	8,0 t/m
E4	25 t	8,0 t/m
E5	25 t	8,8 t/m

⌚ Längen- und Gewichtseinschränkungen

Abschnitt 3

Wagenkastenrohbau

Anforderungen an den Wagenkasten *car body*

- Festigkeit (EN 12663):
 - Zug-/Druckkräfte im Zugverband
 - Crash-Szenarien (EN 15227)
 - Drucksöße, Druckdichtigkeit
 - Durchbiegung unter Beladung
 - Schwingungen
- Kunden-/ betriebliche Anforderungen
 - Lebensdauer
 - Reparaturfreundlichkeit, Ersatzteilverfügbarkeit
 - Geringe Masse
 - Design
 - Entsorgung/Recycling
- Normative/gesetzliche Anforderungen
 - Brandschutz (DIN 5510, EN 45545, ...)
 - Material (EG 1907/2006 REACH)
 - Crash und Festigkeit s.o.
- Systemimmanente Anforderungen (Schwingungen, elastische Verformung,...)

Leichtbau der Wagenkästen

- Alle Elemente an Aufnahme der Beanspruchungen beteiligen
- Gut (leicht) ertragbar:
 - Zug- und Druckkräfte
- Mit zusätzlichem Material ertragbar:
 - Torsions- und Biegemomente
- Höherfeste Materialien werden zögerlich angenommen
 - Bedenken bei Wartbarkeit und Lebensdauer



Werkstoffe für Wagenkästen

■ Stahl:

- Klassisch eingesetzt: Baustähle S235, S355
- Ebenfalls anzutreffen: Edelstähle, z.B. X5CrNi18-10
- Gut zu fügen und umzuformen
- Dauerfestigkeit und elastisch/plastisches Verhalten gutmütig

■ Aluminium:

- Geringere Dichte, geringerer E-Modul
- Dauerfestigkeitsgrenze wenig ausgeprägt
- Schweißnähte wenig ermüdungsfest
- Fügeverfahren erfordern getrennte Behandlung von Stahl

■ Kunststoffe:

- In der Regel faserverstärkt (GFK, CFK)
- Ermöglichen Integralbauweise und Funktionsintegration
- Auch als Sandwichmaterialien

■ Waben und Schaummaterialien:

- Eingesetzt im Deformationsbereich

Hauptbaugruppen des Rohbaus

- Untergestell
 - (Mittel/Aussen-) Langträger
 - Querträger
- Seitenwände
 - Druckwechselbelastung
- Dach
 - Wasserablauf
- Endwände
 - Schnittstellen, Crash
- Kopfmodule
 - Vorfertigung, Schnittstellen, Crash



Quelle: Voith Pressebild

Prozess Wagenkastenfertigung

Bei allen Schritten zu beachten: Teils extremer Verzug durch Wärmeeinleitung

1 Einzelteilstiftigung

- Schneiden,
Schweißnahtvorbereitung,
Kanten, etc.

2 Baugruppenfertigung

- Schweißen, evtl. Bearbeitung
- Hand- oder Roboterschweißen
je nach Naht
- Vermessung

3 Wagenkastenaufbau

- Vorsprengung bei statischer
Durchbiegung
- Dichtigkeitsprüfung

4 Richten

5 Sandstrahlen



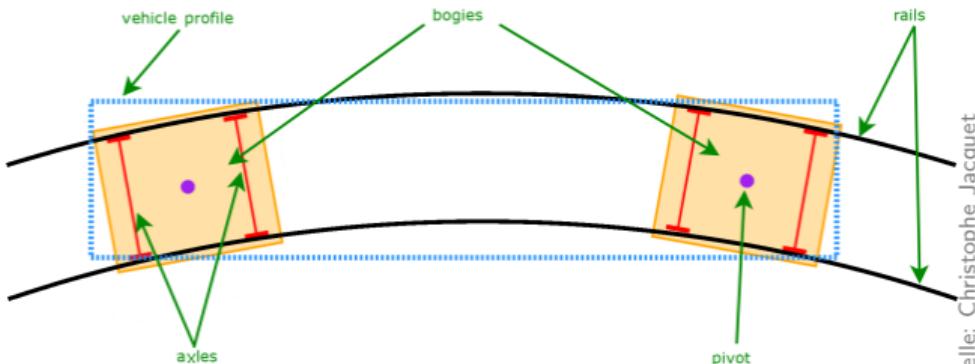
Prüfen der Aussenkontur

Teil 6

Laufwerk (Fahrwerk)

Grundsätzliche Anforderungen

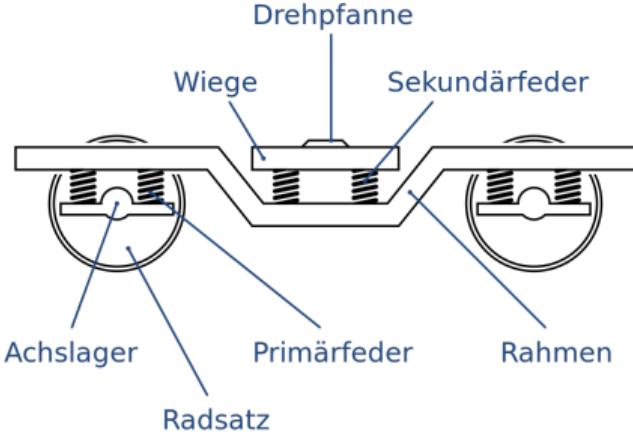
- Übertragung und Ausgleich der Vertikallasten zwischen Rad und Schiene
- Spurführung des Fahrzeugs
- Übertragung und Begrenzung der dynamischen Kräfte, aufgrund von:
 - Gleislagefehlern
 - Bögen
 - Weichen
 - Dynamik zwischen den Fahrzeugen
- Wirksame Dämpfung von angeregten Schwingungen
- Übertragung von Traktions- und Bremskräften



Quelle: Christophe Jacquet

Anatomie der Eisenbahndrehgestelle *bogies*

- Radsätze *wheelset*
- Räder *wheels*
- Radsatzlager *axlebox*
- Radsatzaufhängung *suspension*
 - Federn
 - Dämpfer
- Begrenzungen und Anschläge
- Wagenkastenanbindung
- Drehgestellrahmen *bogie frame*



Quelle: Partim

Radsätze

- Unterscheidung:
 - Innen-/Aussenlagerung
 - Bremse
 - Klotzbremse
 - Radbremsscheibe
 - Wellenbremsscheibe
 - Antriebe
 - Symmetrisch
 - Asymmetrisch



Quelle: Falk2

Radsatzlager

- Heute überwiegend Wälzlager
- Zylindrische Lager:
 - Vorteile bei der Übertragung von Radsatzlasten
 - Wenig bis keine Querführung
- Konische Lager:
 - Reduzierte ertragbare Radsatzlasten
 - Sehr gute Querführung



Quelle: Ketamin

Unterscheidung

- Konstruktionsprinzip:

- Einteilig
 - Bereift

- Querschnitt:

- Gerade
 - S-förmig
 - Konisch
 - Wellenform

⌚ Begrenzungen und Anschläge

⌚ Federcharakteristika

Verbindung Drehgestell - Wagenkasten

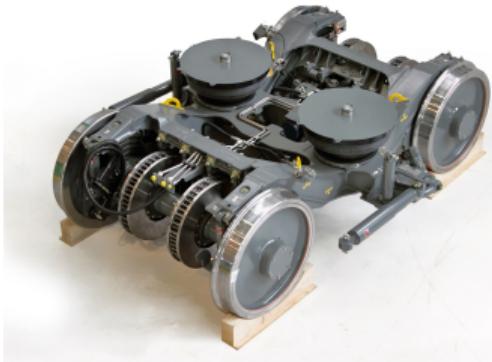
- Drehpfanne
 - Flach
 - Kugelig
- Drehbar um Drehzapfen
- Meist Übertragung der Längskräfte
- Evtl. zusätzlich Abstützung auf Gleitplatten
- Weitere Verbindungen:
 - Wankstütze
 - Schlingerdämpfer



Quelle: Manuel Schneider

Radsatzaufhängung

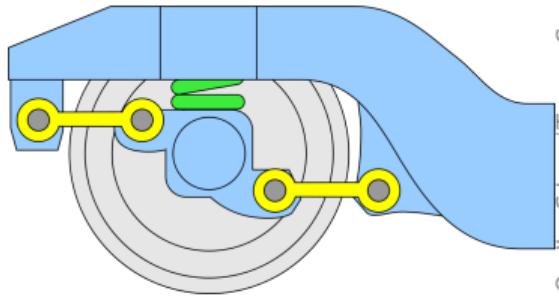
- Üblich: zweistufige Federung
 - Primärstufe:
 - Radsatz gegen Drehgestellrahmen
 - Beschleunigung bis 100 g
 - Sekundärstufe:
 - Drehgestellrahmen gegen Fahrzeug
 - Hohe Anforderungen an Dämpfung



Quelle: Siemens Pressebild

Radsatzaufhängung

- Üblich: zweistufige Federung
 - Primärstufe:
 - Radsatz gegen Drehgestellrahmen
 - Beschleunigung bis 100 g
 - Sekundärstufe:
 - Drehgestellrahmen gegen Fahrzeug
 - Hohe Anforderungen an Dämpfung



Quelle: Cdang/Tennen-Gas

Radsatzaufhängung

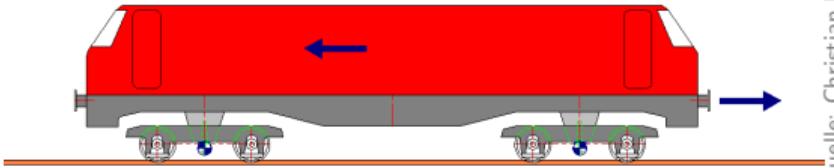
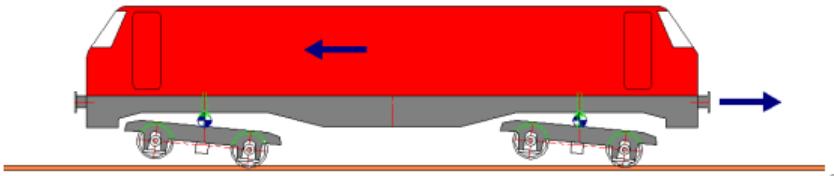
- Üblich: zweistufige Federung
 - Primärstufe:
 - Radsatz gegen Drehgestellrahmen
 - Beschleunigung bis 100 g
 - Sekundärstufe:
 - Drehgestellrahmen gegen Fahrzeug
 - Hohe Anforderungen an Dämpfung
- Bei Güterwagen auch einstufige Federung



Quelle: Ketamin

Verbindung Drehgestell - Wagenkasten

- Drehpfanne
 - Flach
 - Kugelförmig
- Hochanlenkung
- Tiefanlenkung



Quelle: Christian Lindecker

Drehgestellrahmen

- Form:
 - H-Form
 - O-Form
- Herstellung:
 - Schweißen
 - Gießen



Quelle: AlAAIA



Quelle: AlAAIA

Teil 7

Einführung Zugdynamik

⊕ Einführung Zugdynamik am Tafelbild

Tafelbilder 1 - 5

Teil 8

Zugdynamik

Abschnitt 1

Kuppelstoß, Crash

⚡ Reversibler Energieverzehr: Lösungen, Wirkungsgrade

Crash: Anforderungen der EN15227 (DIN EN 15227, 2010)

Szenario	Hindernis	Kollisionsgeschwindigkeit v_c			
		C I	C II	C III	C IV
1	Identische Zugeinheit	36	25	25	15
2	Güterwagen 80 t	36	-	25	-
	129 t Regionalzug	-	-	10	-
3	Deformierbar 15 t	$v_{lc} - 50$	-	25	-
	Starr 3 t	-	-	-	25

- Zusätzlich: Anforderungen an Bahnräume
- Überlebensraum und maximale Verzögerungen müssen eingehalten werden
- Nachweis über Komponententests und validierte Modelle möglich

⊕ Umsetzung Anforderungen EN 15227

Abschnitt 2

Kraftschluss, Schlupf

⚡ Kräfte am Rad

Tafelbild 11

Physikalische Kraftschlusstheorie

Tafelbild 12

⚡ Kraftschluss-Schlupf-Gesetz

Tafelbild 13

⌚ Radschlupf: weitere Einflüsse

Tafelbild 14

Abschnitt 3

Fahrwiderstand, Zugkraft, Zugbremsung

⌚ Sammlung Fahrwiderstände am Tafelbild

⊕ Zugkraftdiagramm am Tafelbild

Modelle für Zugdynamik

- Massenpunktmodell
 - z.B. Einzelfahrzeuge, Überschlagsrechnungen
- Homogenes starres Massenbandmodell
 - z.B. Reisezüge
- Inhomogenes starres Massenbandmodell
 - z.B. lange Güterzüge
- Elastisches homogenes Massenbandmodell
 - z.B. Triebzüge
- Elastisches inhomogenes Massenbandmodell
 - Allgemeines Modell

⌚ Neigungskraft am Tafelbild

⌚ Zugbremsung am Tafelbild

Teil 9

Einführung Spurführung

Spurweite *track gauge*

■ Spurweiten

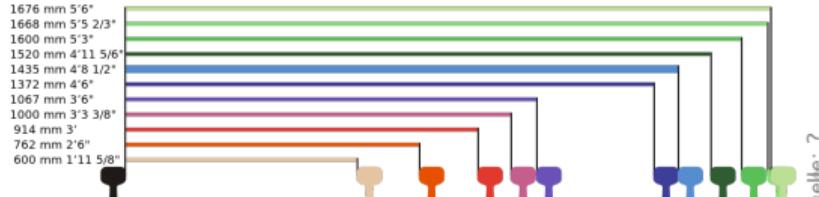
- Begründet aus wirtschaftlichen und militärischen Motiven:
- Regelspur: 1435 mm
- Breitspur *wide gauge*
 - Russische Spur: 1520 mm
 - Indische Spur: 1676 mm
 - Iberische Spur: 1668 mm
- Schmalspur *narrow gauge*
 - Kapspur: 1067 mm
 - Meterspur: 1000 mm

Definition (Spurweite)

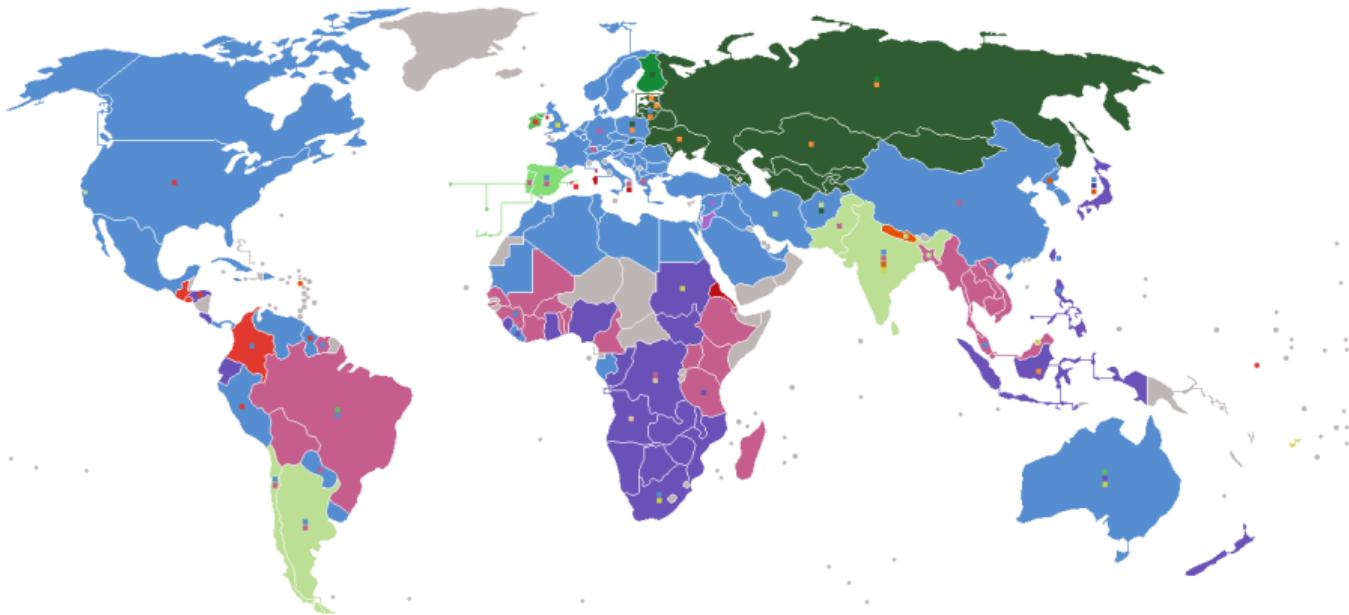
Die Spurweite ist der Abstand der Schienen zueinander, gemessen ($14,5 \pm 0,5$) mm unterhalb der Schienenoberkante tsi (2014).

Definition (Spurweitentoleranz)

Abhängig von Netz und Strecke ist die Spurweite toleriert, üblich in Deutschland: (1435^{+35}_{-5}) mm.



Geografische Verteilung der Spurweiten



	1676	1668	1600	1524	1520	1435	1372	1067	1050	1000	950	914	762	750	610	600
ft in	5'6"	5'5.67"	5'3"	5'	4'11.8"	4'8.5"	4'6"	3'6"	3'5.3"	3'3.4"	3'1.4"	3'	2'6"	2'5.5"	2'	1'11.6"

Quelle: ?

⌚ Einführung Spurführung

Tafelbilder 7 - 10

Literatur I

Technical specification for interoperability relating to the infrastructure subsystem of the rail system in the European Union. Number 1299/2014/EU. European Railway Agency, 2014.

DIN EN 15227. *DIN EN 15227: Bahnanwendungen - Anforderungen an die Kollisionssicherheit von Schienenfahrzeugen.* DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2010.

Carol S. Dweck. *Mindset: How You Can Fulfil Your Potential.* Constable & Robinson, 2012.

Jürgen Janicki, Horst Reinhard, and Michael Rüffer. *Schienenfahrzeugtechnik.* Bahn Fachverlag, 2013.

Dietrich Wende. *Fahrdynamik des Schienenverkehrs.* Vieweg und Teubner, 2003.