

84111 Schienenfahrzeugtechnik I

Prof. Dr. Raphael Pfaff

9. April 2020

Fachhochschule Aachen

Präliminarien

Prof. Dr. Raphael Pfaff

 pfaff@fh-aachen.de

 @RailProfAC

 www.raphaelpfaff.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

- 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

- 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

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



Inhalt der Vorlesung i

Präliminarien

Requirements Engineering

Fahrzeugkonstruktion

Bauformen

Begrenzungen

Wagenkastenrohbau

Laufwerk (Fahrwerk)

Einführung Zugdynamik

Zugdynamik

Kuppelstoß, Crash

Inhalt der Vorlesung ii

Kraftschluss, Schlupf

Fahrwiderstand, Zugkraft, Zugbremsung

Einführung Spurführung

Spurweiten

- Studierende können, ausgehend von einer Kenntnis der Grundlagen des Systems Schienenfahrzeug, Anforderungen an Schienenfahrzeuge und ihre Subsysteme formulieren.
- Studierende kennen die Grundlagen von Spurführung und Zugdynamik sowie von Fahrzeug- und Drehgestellkonstruktion.
- Studierende können sich selbstständig in ein Thema der Schienenfahrzeugtechnik einarbeiten und zu den Ergebnissen präsentieren.
- Studierende können Mess- und Simulationsergebnisse in Berichtform dokumentieren.



Fehlt etwas?



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

Themenplan, Kapitel aus Ihme (2016)

Link zum Buch (Im VPN)

Thema	Kapitel
Requirements Engineering	tbd - Lehrbrief?
Zugdynamik & Fahrwiderstand	2
Fahrzeugkonstruktion	6
Laufwerke	5, 6.6
Einführung Spurführung	tbd - Lehrbrief?
Kuppelstoß, Crash	tbd - Lehrbrief?

Selbststudium und semesterbegleitende Prüfung

- Konzepterstellung Parkbahn-Lokomotive
 - Nach IMechE-Lastenheft + Zusatzanforderungen
 - Ggf. enger Kostenrahmen
- Ablauf
 1. Anforderungsabdeckung / Grobkonzept (High-Level Design)
 2. Detailed Design (Standardisierter Antriebsstrang und Bremse)
 - a) Wagenkasten
 - b) Drehgestell
 3. Nachweisführung
 - a) Wagenkasten: Festigkeit
 - b) Drehgestell: Entgleisungssicherheit
- Dokumentation durch technische Berichte
- Gewichtung Berichte: in Summe 100% der Modulnote

Requirements Engineering

Warum Requirements Engineering (RE)?

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

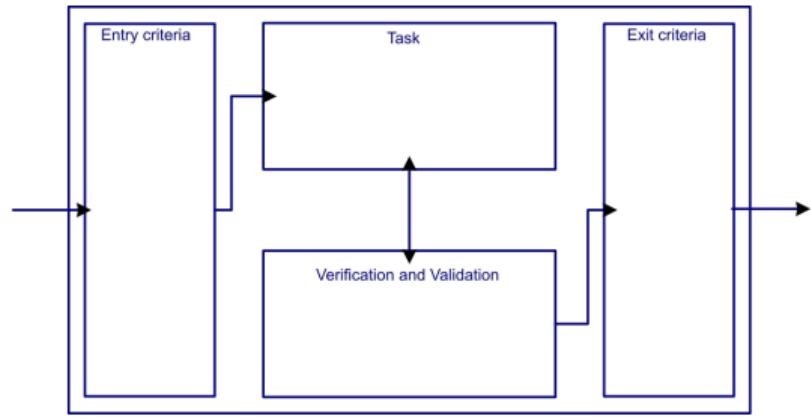
Key-Aspects of Requirements Engineering

- Stakeholder Involvement
- Technical Reviews
- Traceability

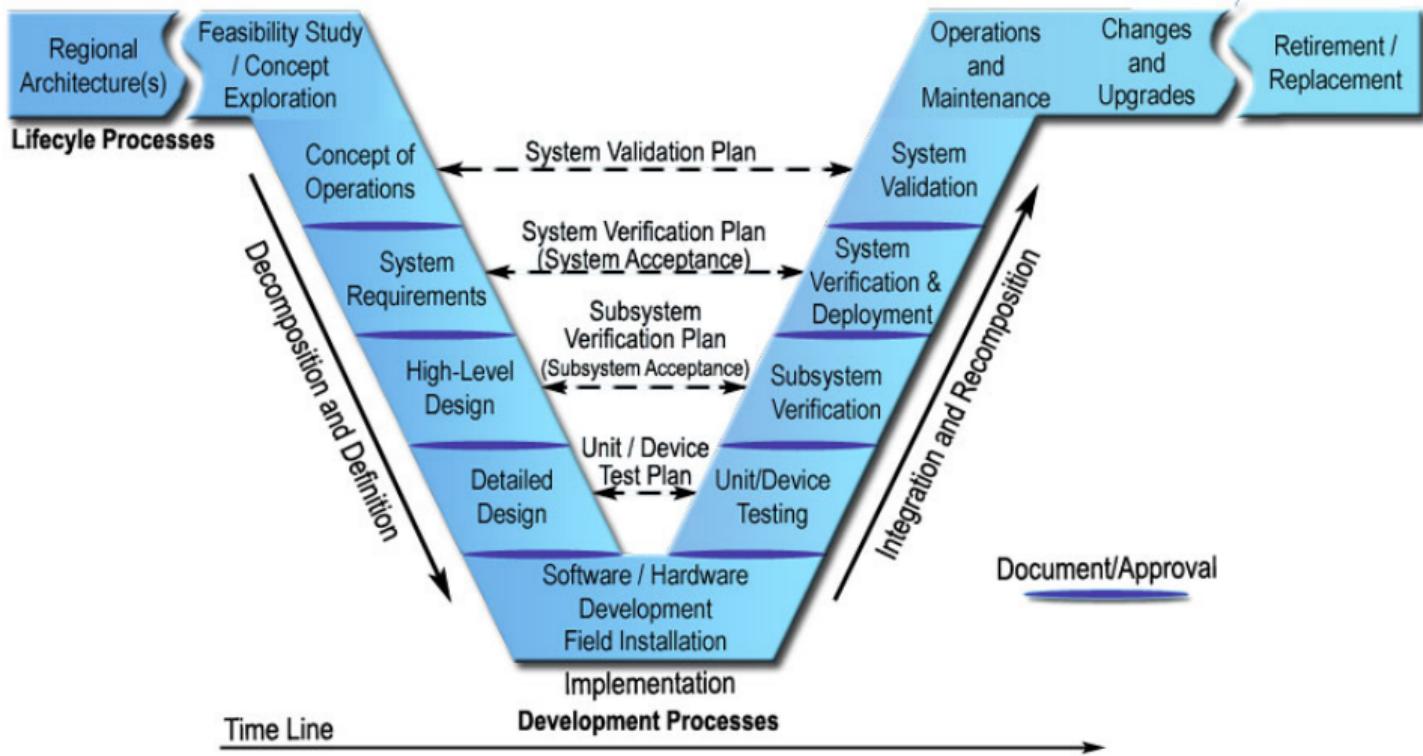
Generisches Phasenmodell

Für jede Phase festzulegen:

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



V-Modell für Requirements Engineering

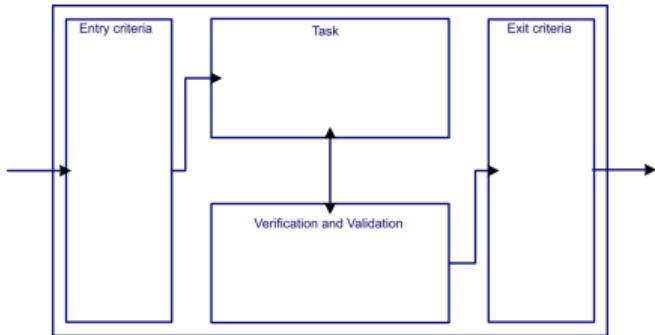


Requirements Analysis

Leitfragen:

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

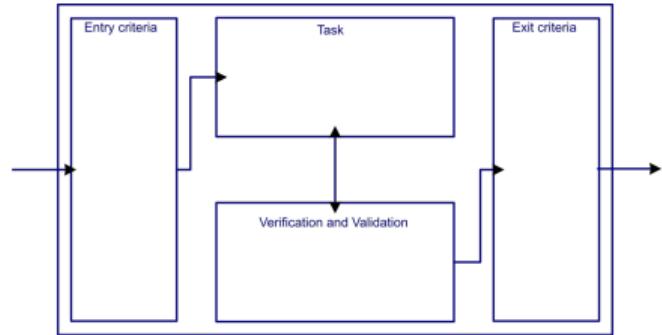
Typischer Meilenstein: Initial Design Review (IDR)



System Specification

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:

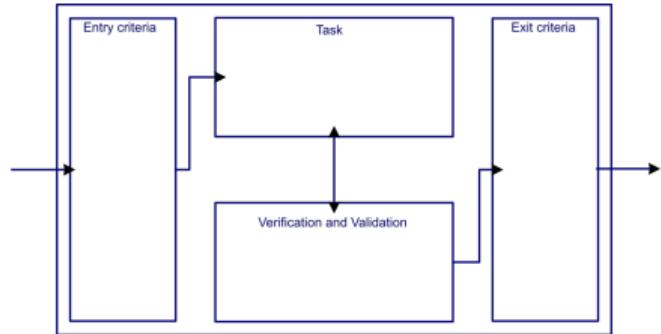
Preliminary Design Review (PDR)

Subsystem Design

Leitfragen:

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

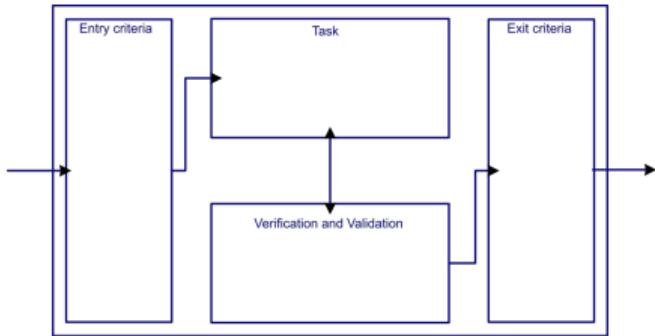
Typischer Meilenstein: Critical Design Review (CDR)



Module Design

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

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

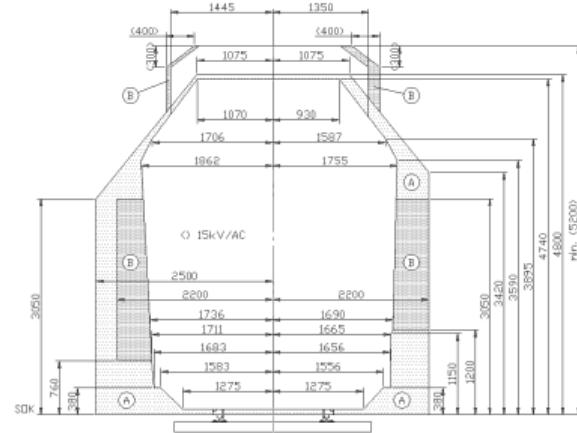
- Tragendes Untergestell
- Selbsttragender Wagenkasten



Wagenkasten in Integralbauweise

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

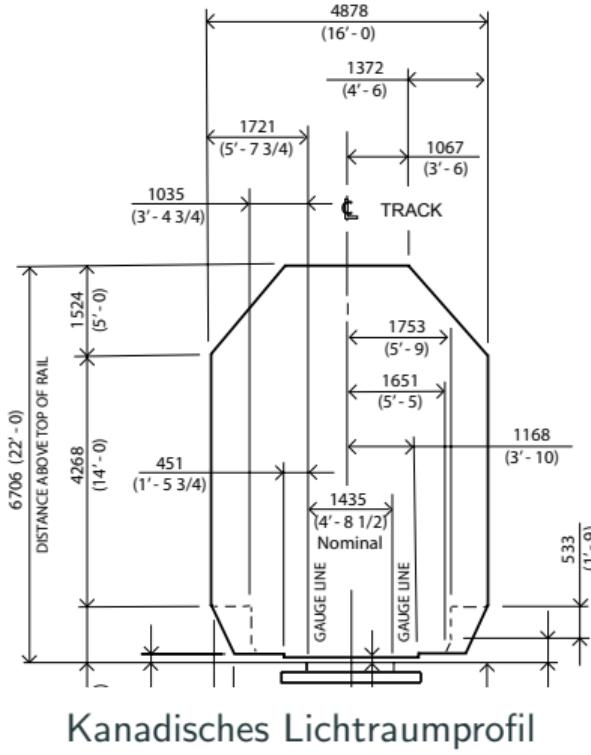


Lichtraumprofil G2 gemäß EBO

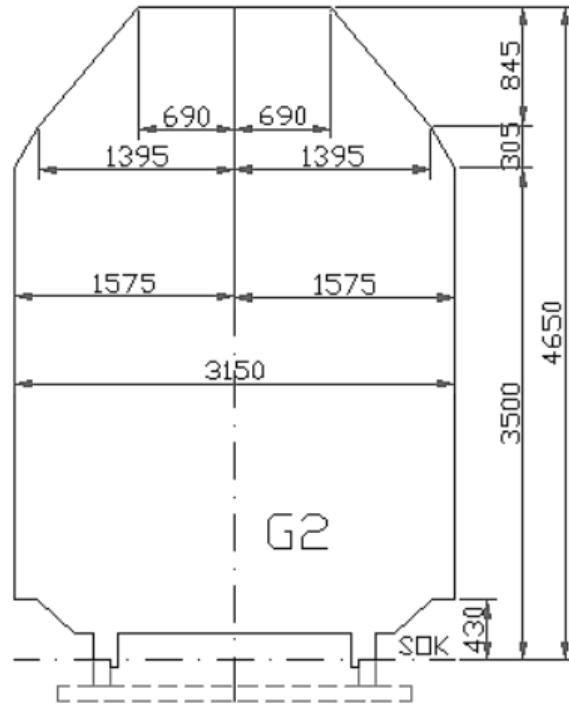
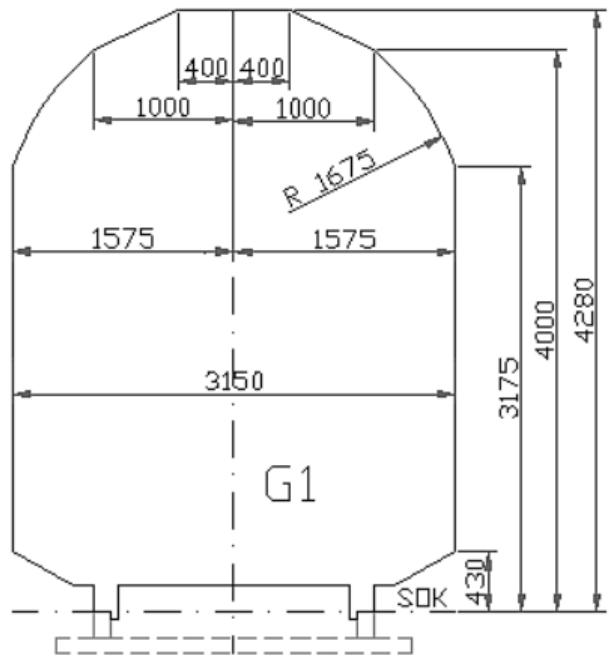
Quelle: Christian Lindecker

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



Fahrzeuggrenzung: Querschnitt



Quelle: Christian Lindecker



Breiteneinschränkung und Lichtraumbedarf

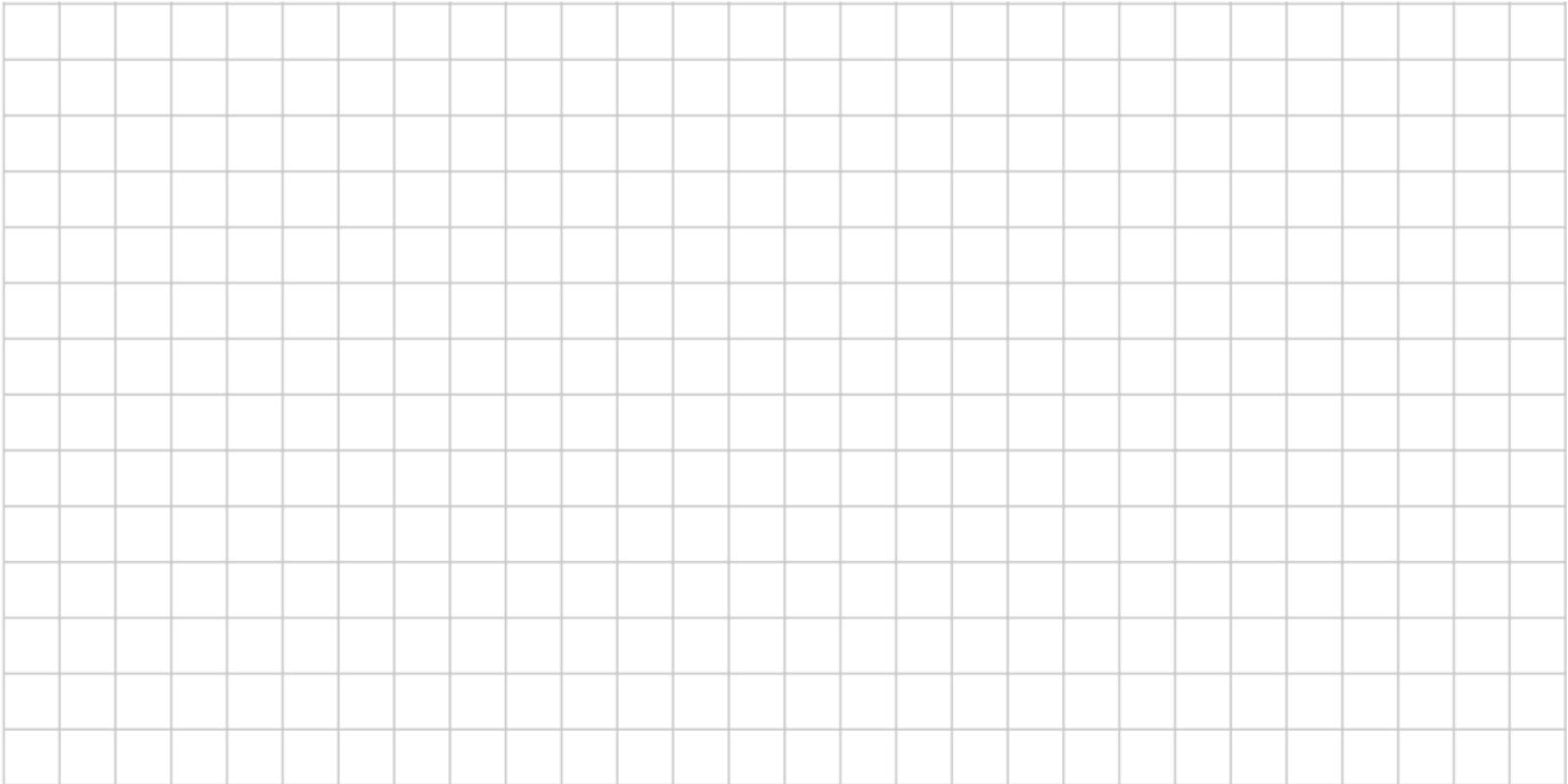


Radsatzlasten und Meterlasten

- 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



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.

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



- 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

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



Quelle: Siemens Pressebild

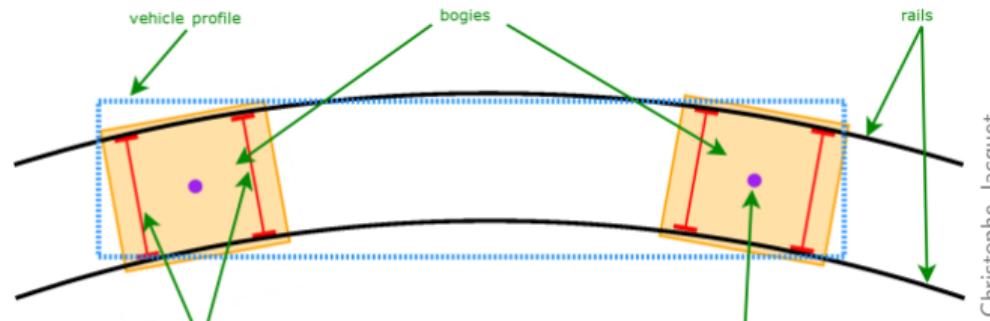
Prüfen der Aussenkontur

Laufwerk (Fahrwerk)

Laufwerk (Fahrwerk)

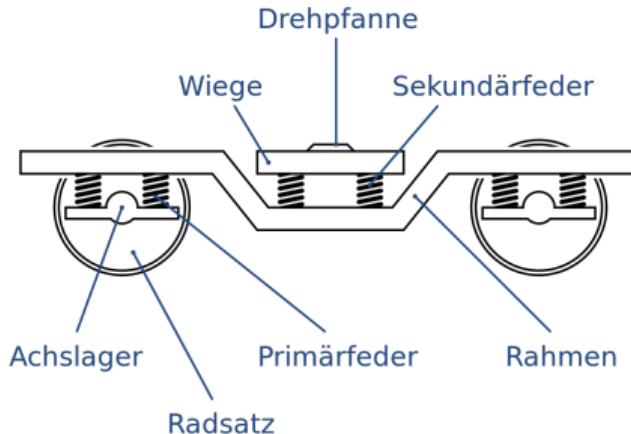
Grundsätzliche Anforderungen

- 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



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

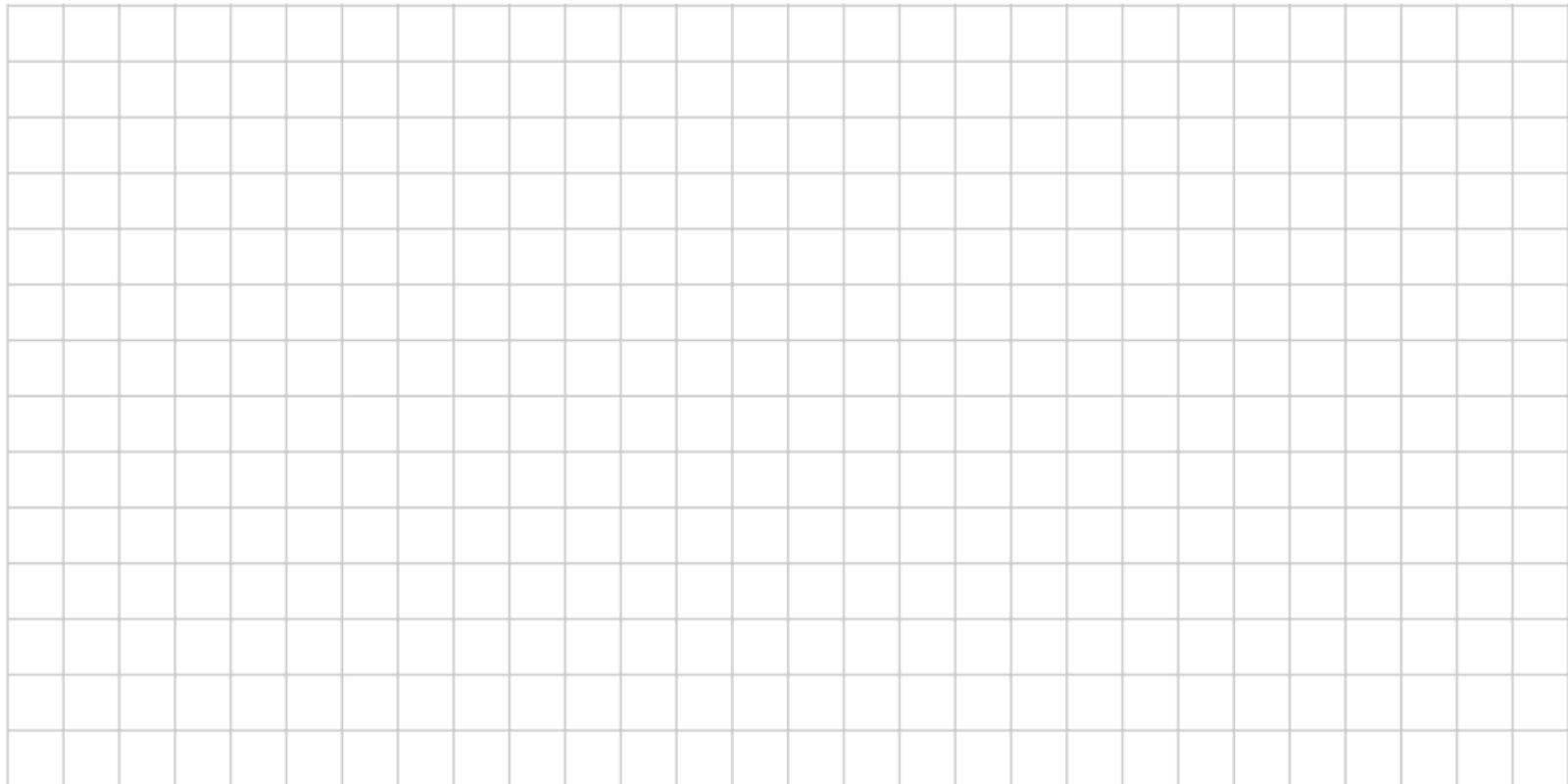


Begrenzungen und Anschläge





Federcharakteristika



Verbindung Drehgestell - Wagenkasten

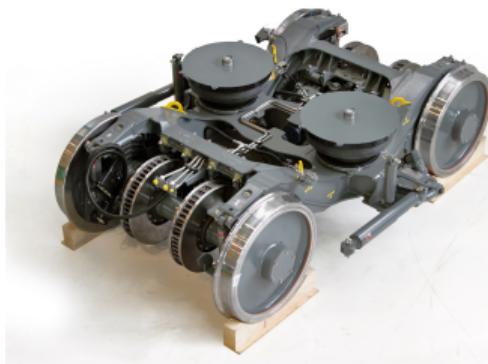
- Drehpfanne
 - Flach
 - Kugelig
- Drehbar um Drehzapfen
- Meist Übertragung der Längskräfte
- Evtl. zusätzlich Abstützung auf Gleitplatten
- Weitere Verbindungen:
 - Wankstütze
 - Schlingerdämpfer



Quelle: Manuel Schneider

Radsatzaufhängung

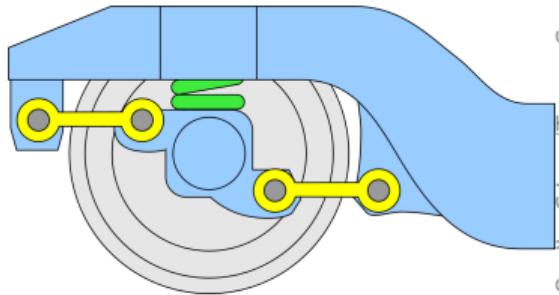
- Üblich: zweistufige Federung
 - Primärstufe:
 - Radsatz gegen Drehgestellrahmen
 - Beschleunigung bis 100 g
 - Sekundärstufe:
 - Drehgestellrahmen gegen Fahrzeug
 - Hohe Anforderungen an Dämpfung



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

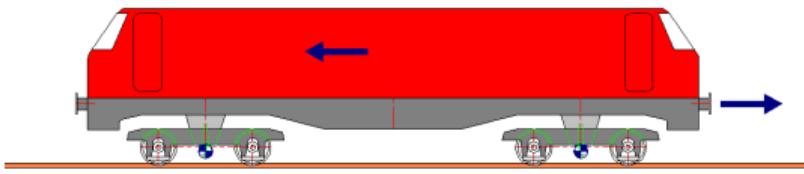
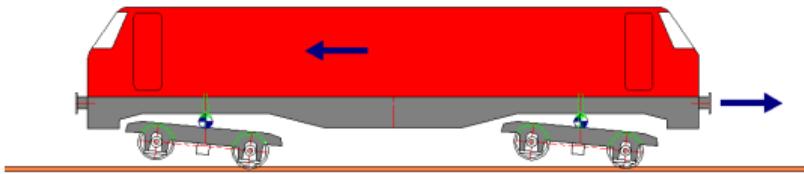
- Üblich: zweistufige Federung
 - Primärstufe:
 - Radsatz gegen Drehgestellrahmen
 - Beschleunigung bis 100 g
 - Sekundärstufe:
 - Drehgestellrahmen gegen Fahrzeug
 - Hohe Anforderungen an Dämpfung
- Bei Güterwagen auch einstufige Federung



Quelle: Ketamin

Verbindung Drehgestell - Wagenkasten

- Drehpfanne
 - Flach
 - Kugelförmig
- Hochanlenkung
- Tiefanlenkung



Quelle: Christian Lindecker

Drehgestellrahmen

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



Quelle: A1AA1A

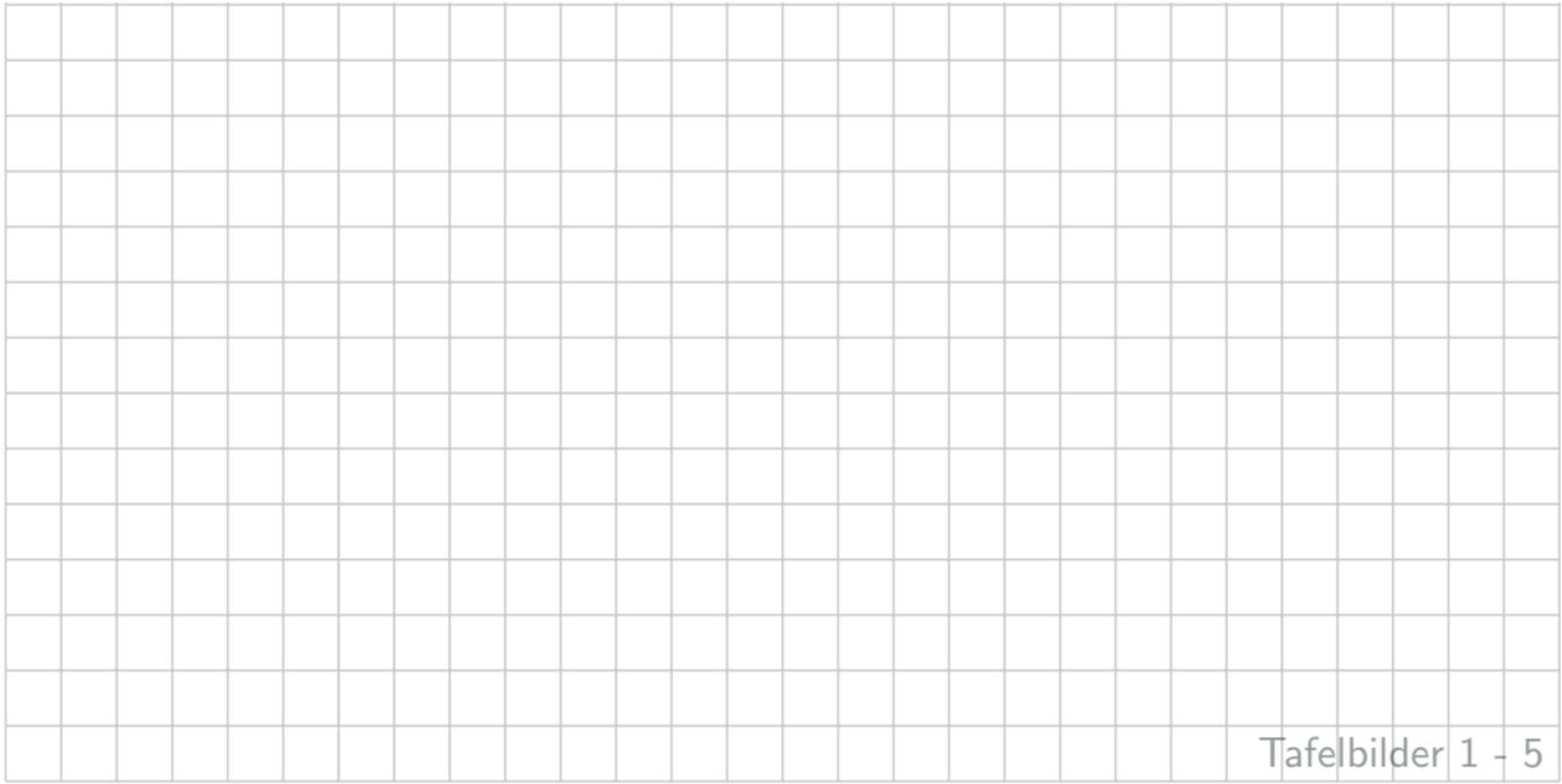


Quelle: A1AA1A

Einführung Zugdynamik

Einführung Zugdynamik

Powerpoint icon Einführung Zugdynamik am Tafelbild



Tafelbilder 1 - 5

Zugdynamik

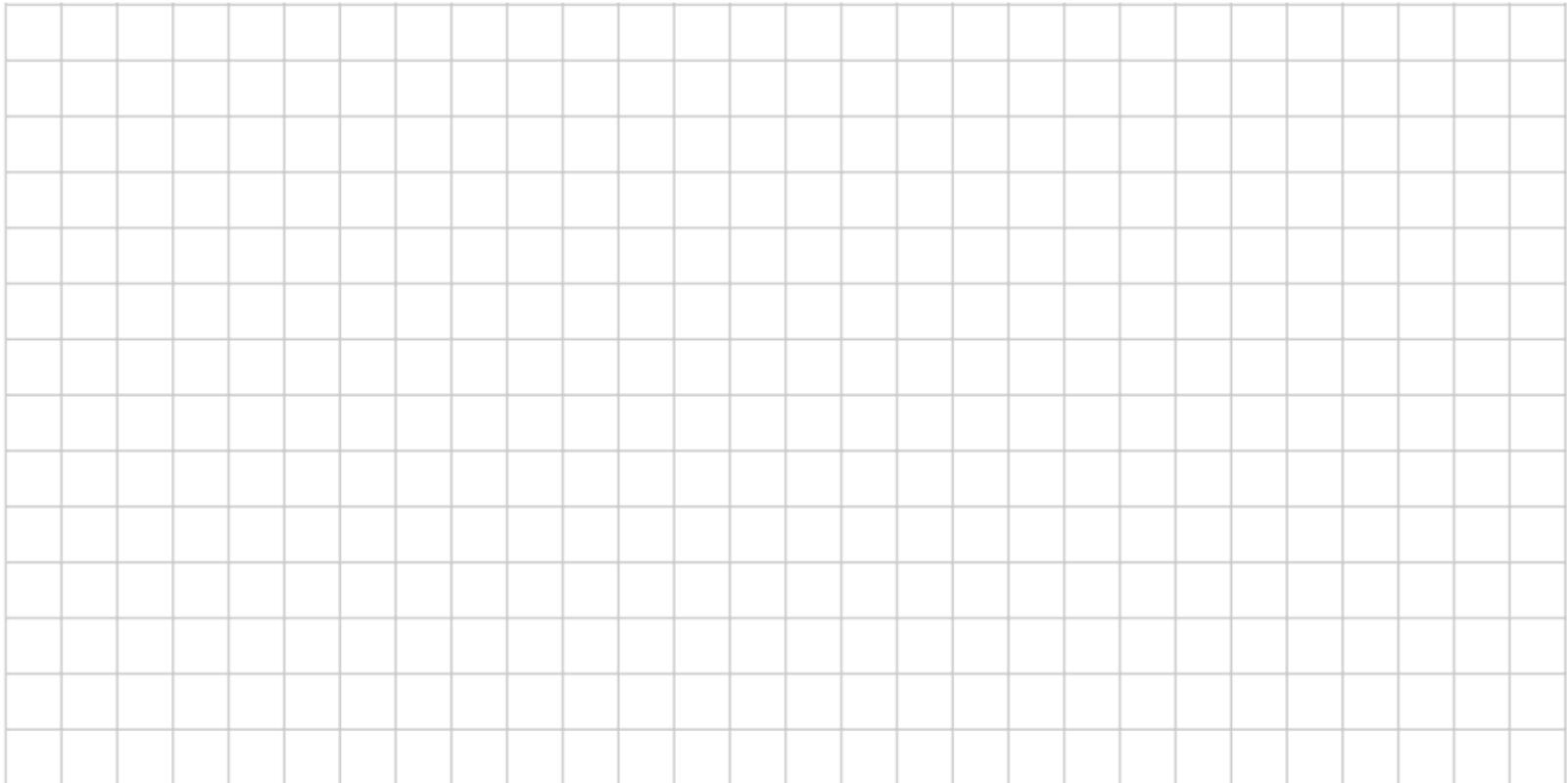
Zugdynamik

Zugdynamik

Kuppelstoß, Crash



Reversibler Energieverzehr: Lösungen, Wirkungsgrade

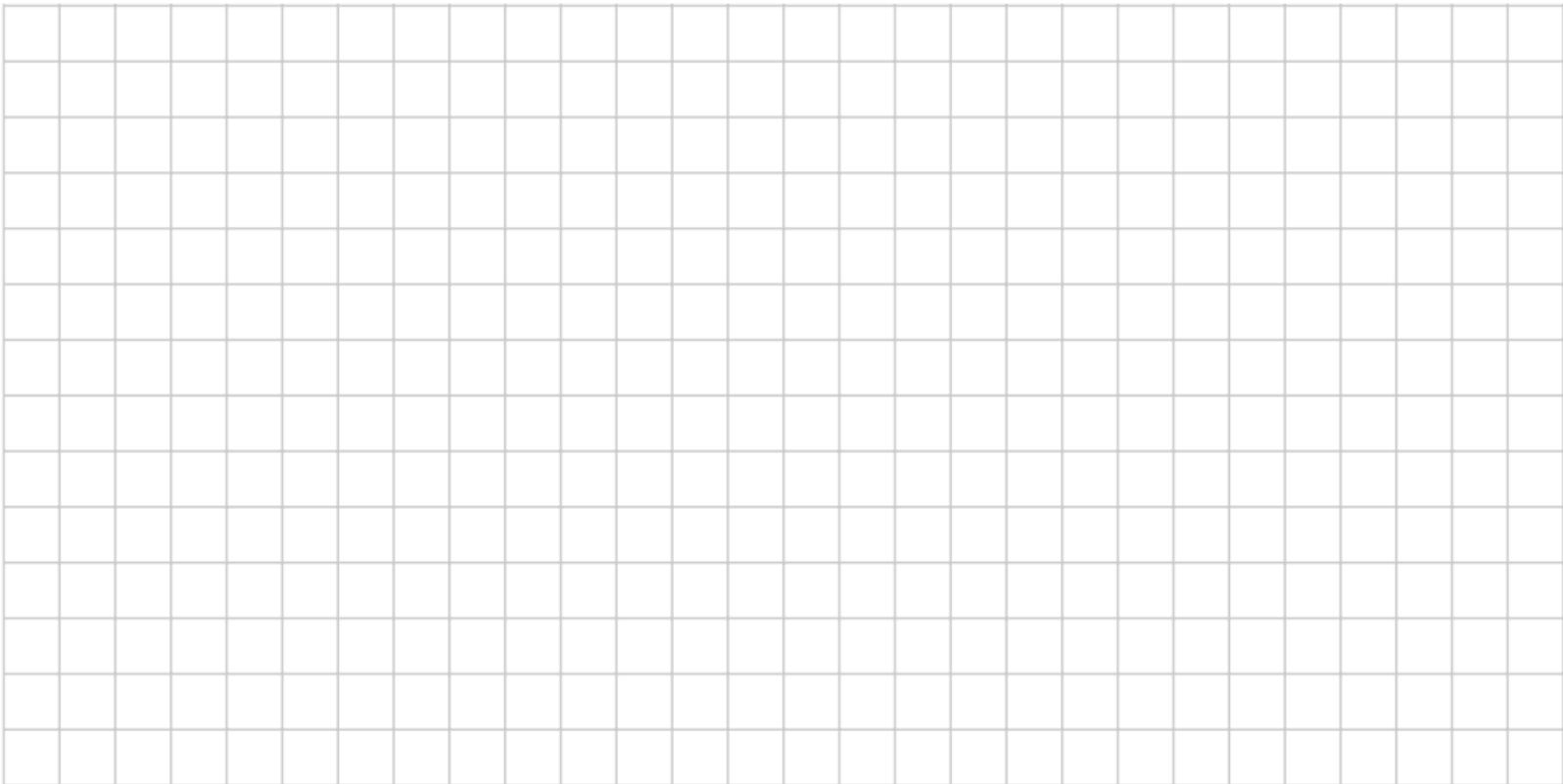


Crash: Anforderungen der EN15227 (DIN EN 15227, 2010)

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

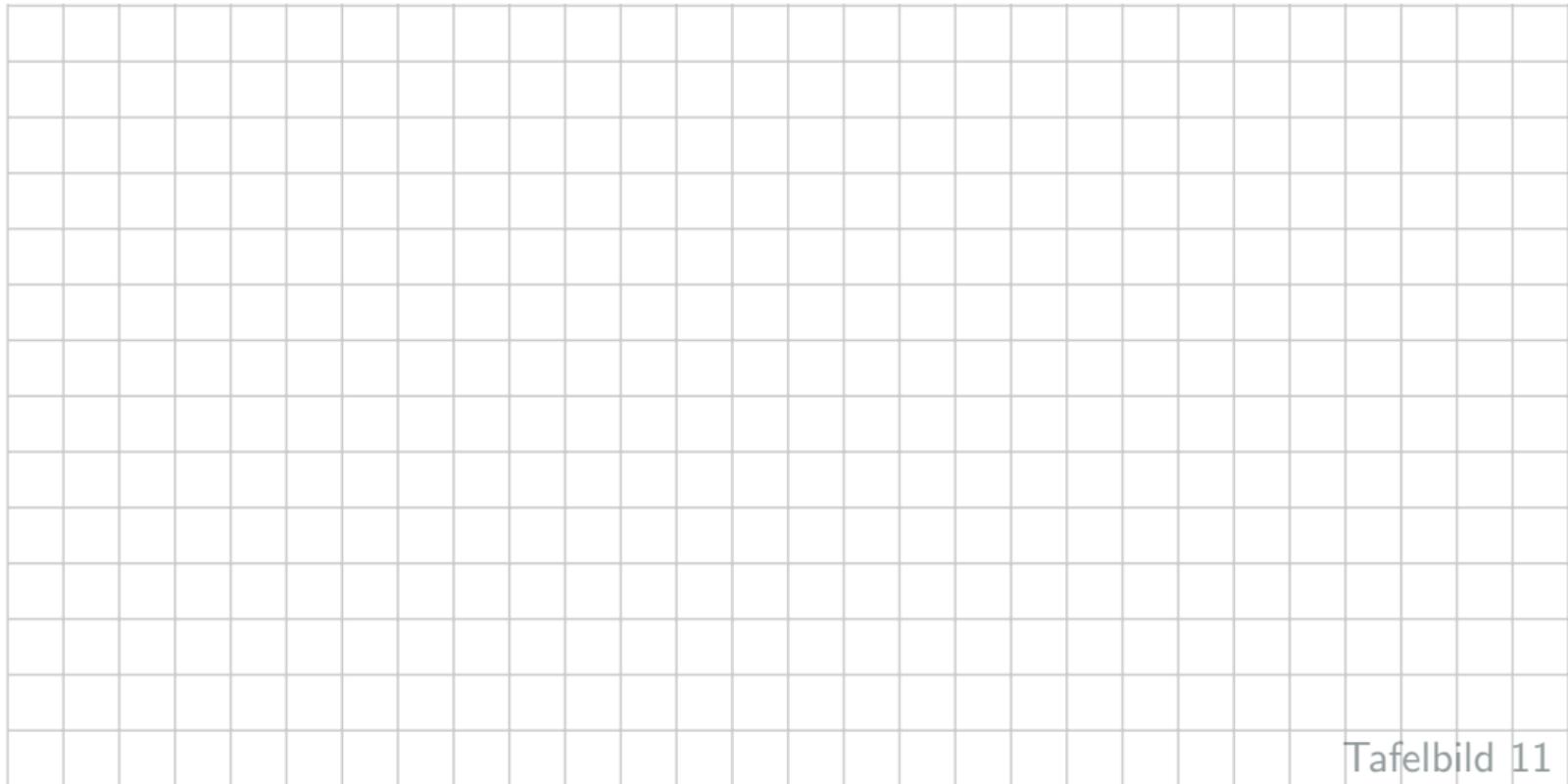
Umsetzung Anforderungen EN 15227



Kraftschluss, Schlupf



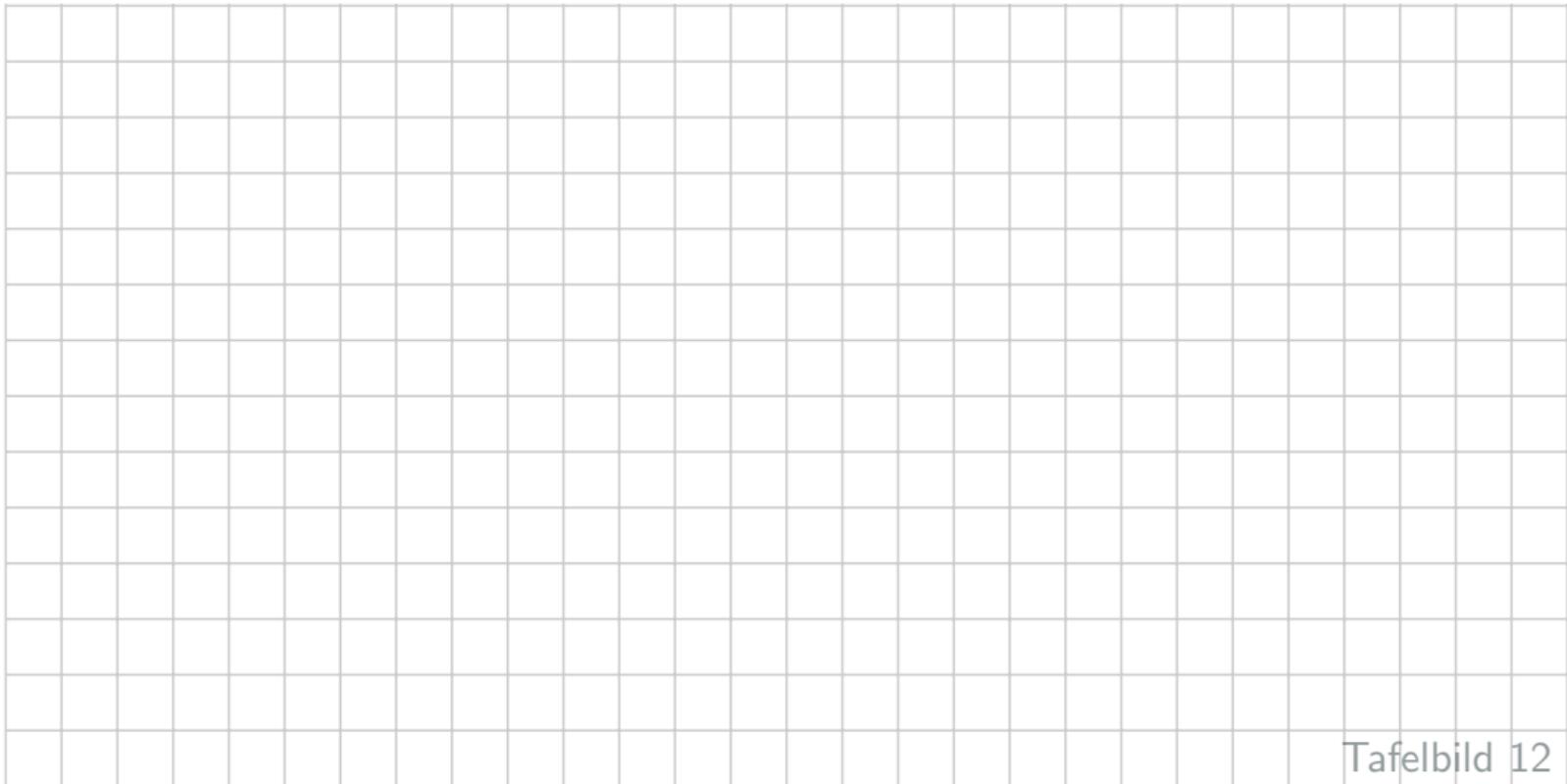
Kräfte am Rad



Tafelbild 11



Physikalische Kraftschlusstheorie



Tafelbild 12



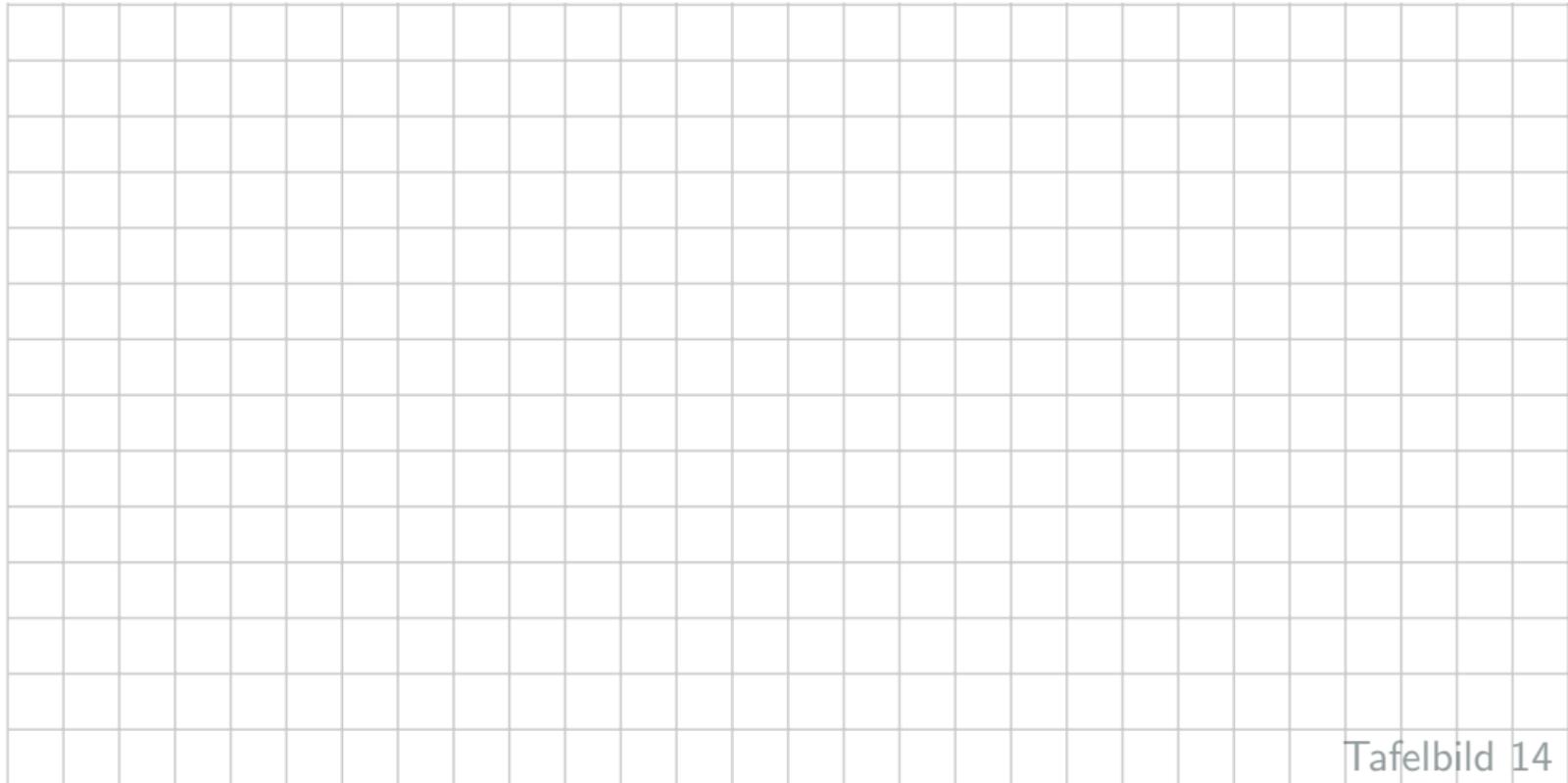
Kraftschluss-Schlupf-Gesetz



Tafelbild 13



Radschlupf: weitere Einflüsse

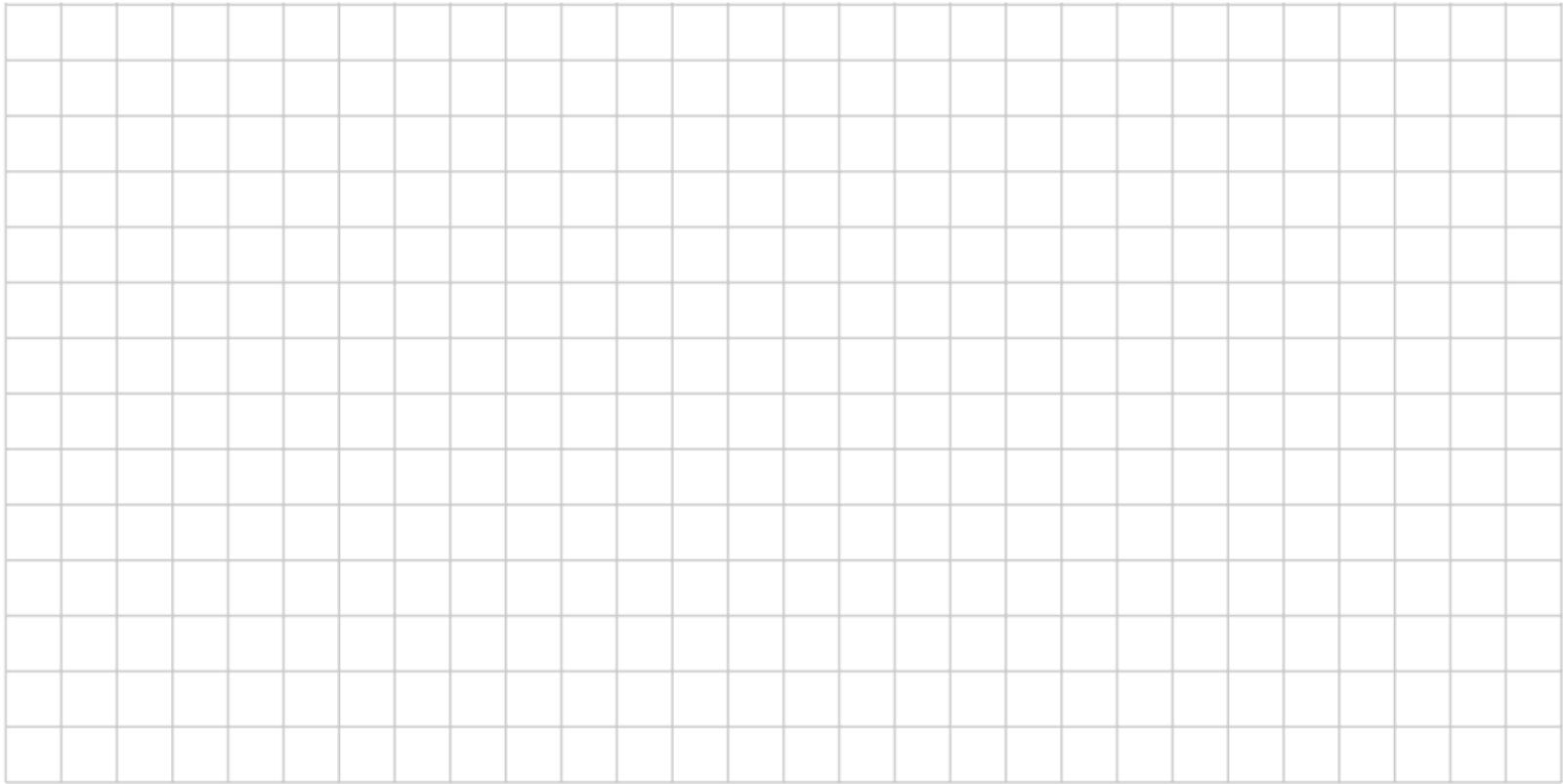


Tafelbild 14

Zugdynamik

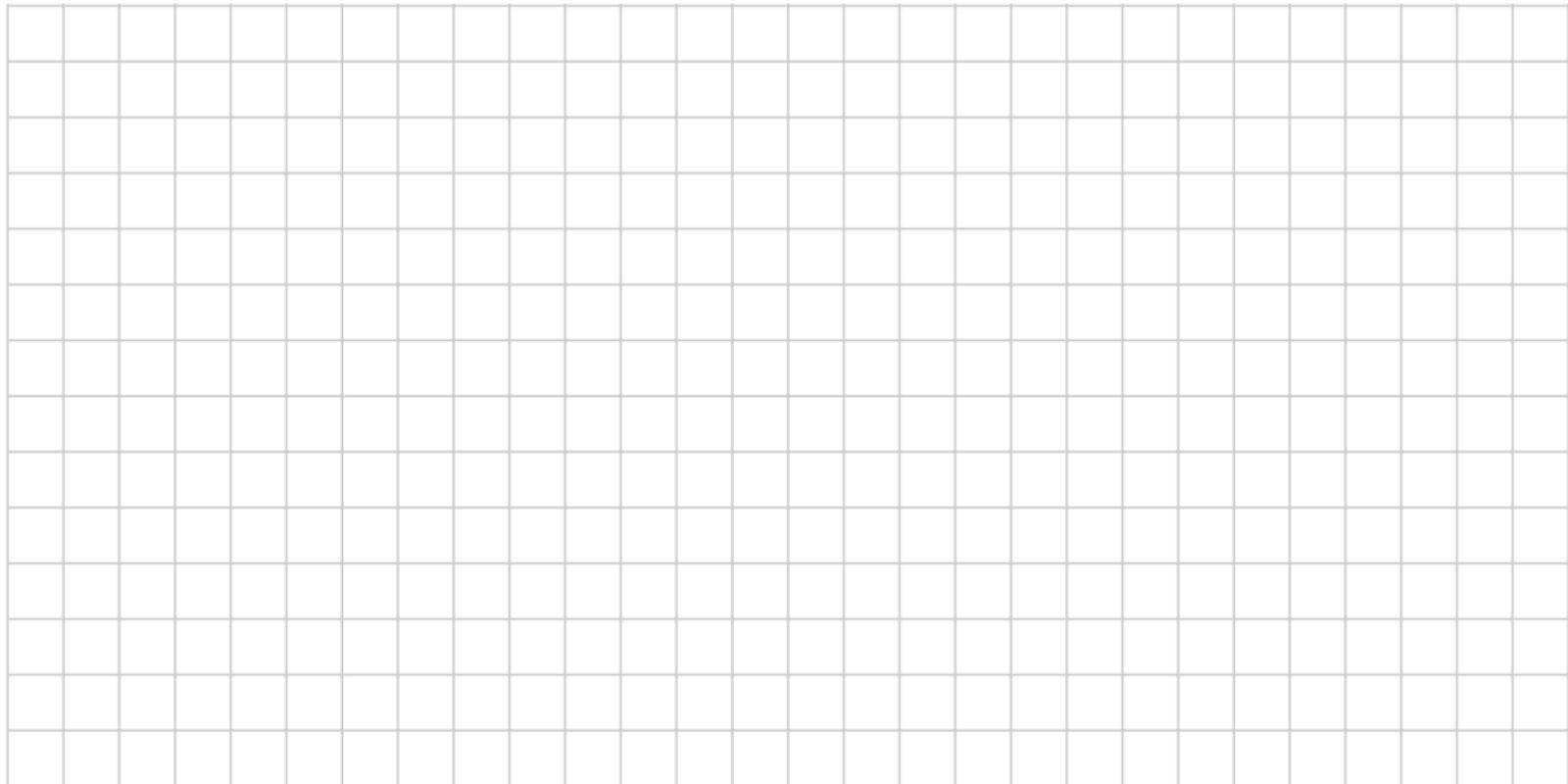
Fahrwiderstand, Zugkraft, Zugbremsung

Sammlung Fahrwiderstände am Tafelbild





Zugkraftdiagramm am Tafelbild

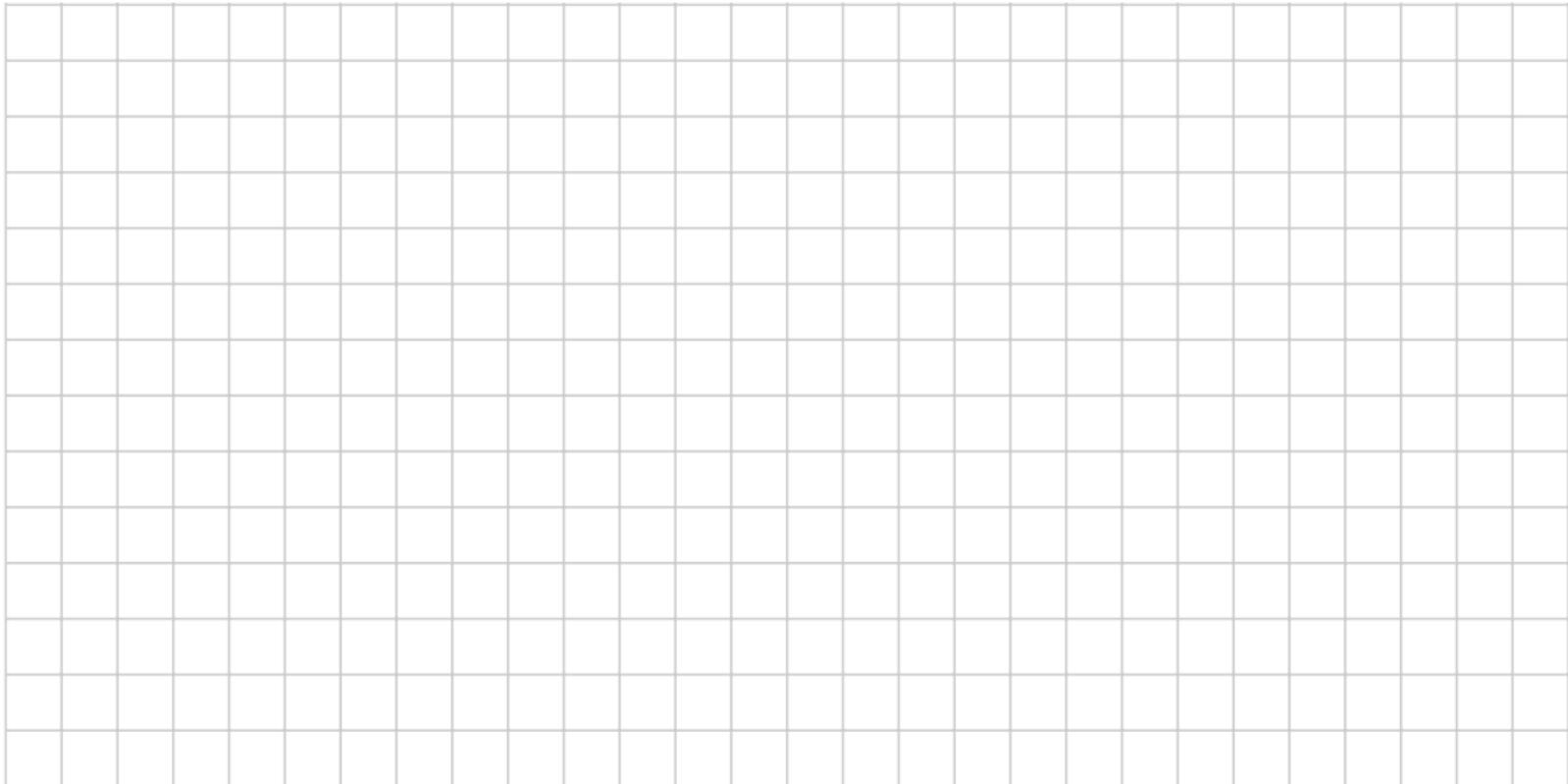


Modelle für Zugdynamik

- 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

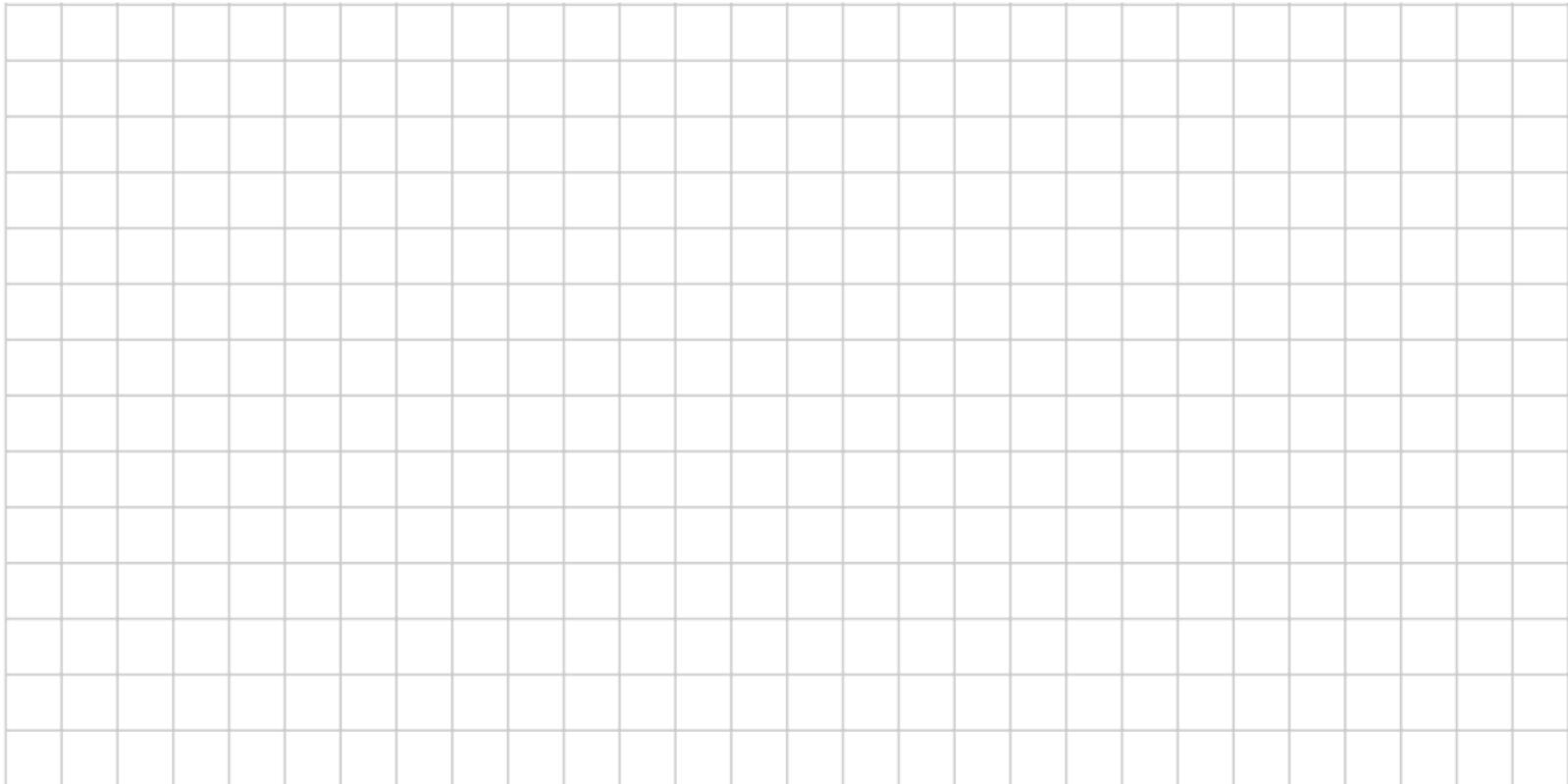


Neigungskraft am Tafelbild





Zugbremsung am Tafelbild



Einführung Spurführung

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



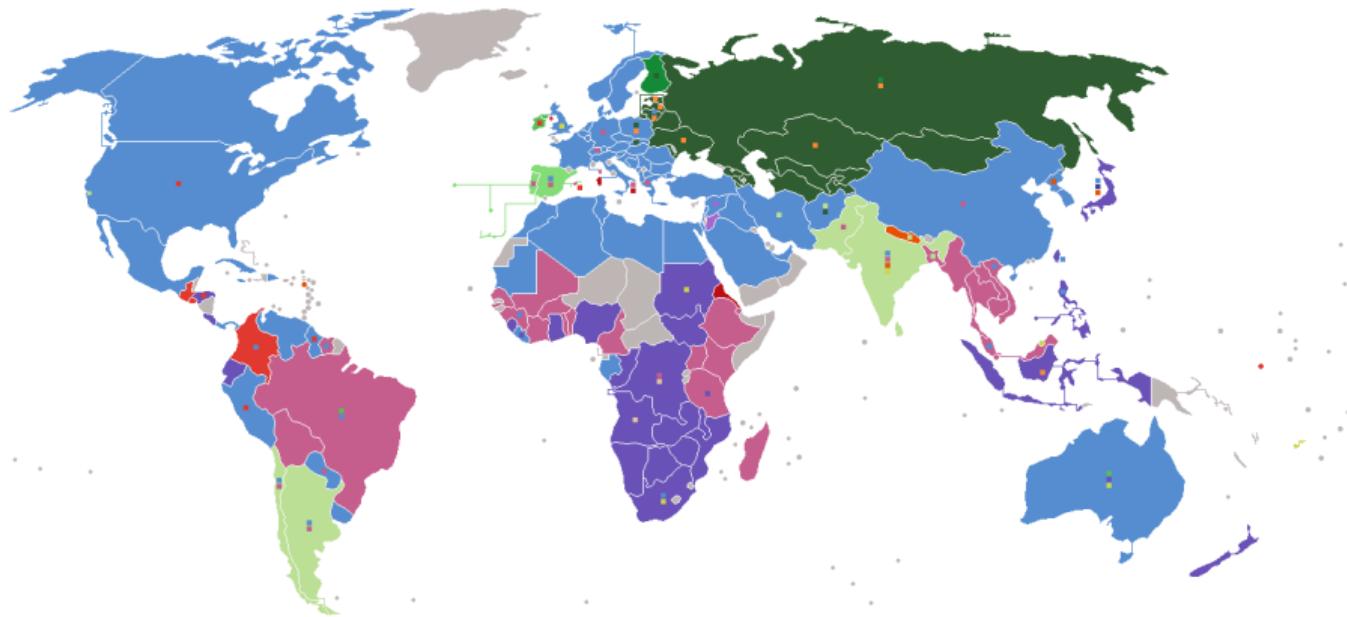
Definition (Spurweite)

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

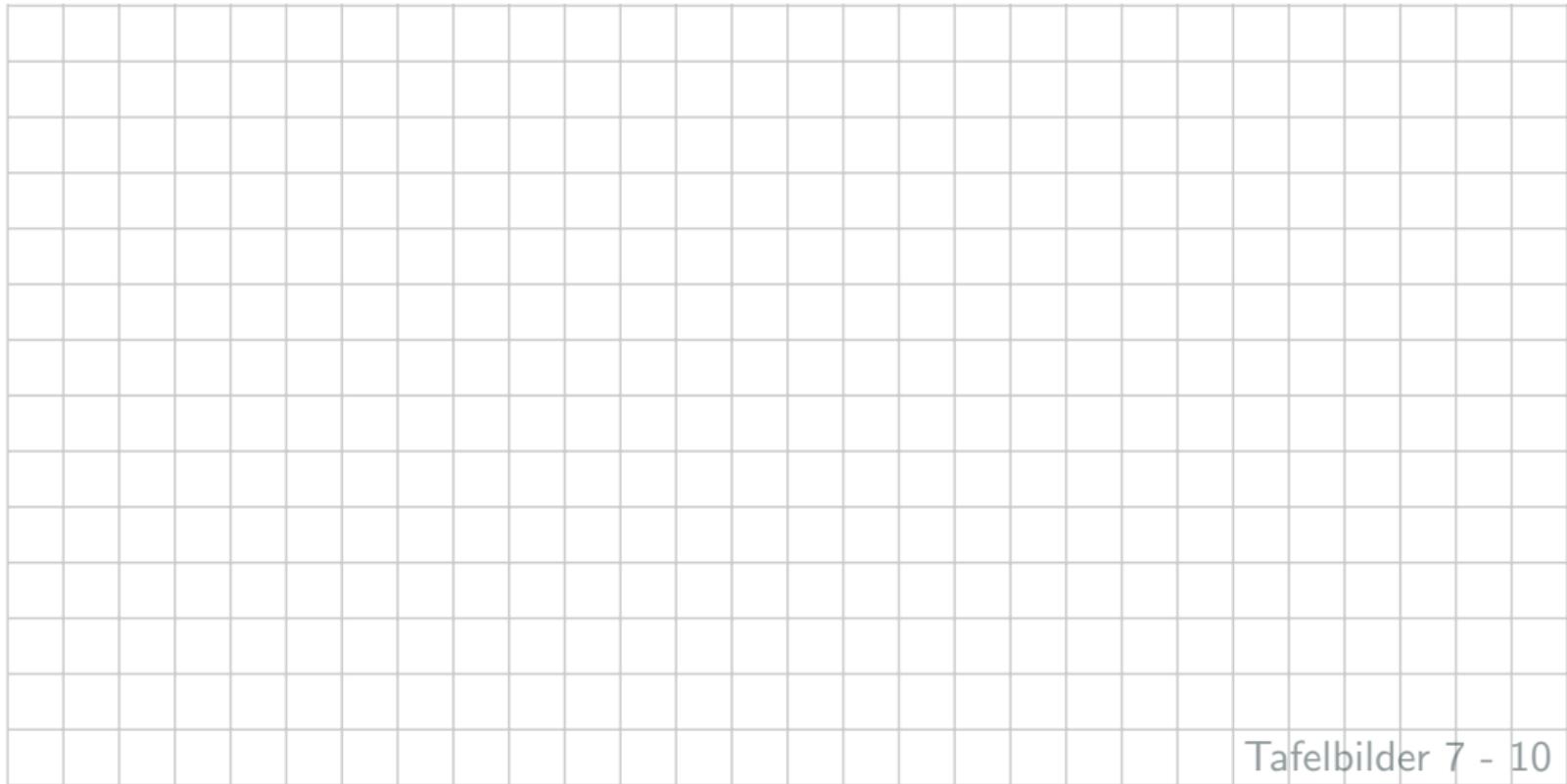


	1676	1668	1600	1524	1520	1435	1372	1067	1050	1000	950	914	762	750	610	600
ft in	5'6"	5'5.67"	5'3"	5'	4'11.8"	4'8.5"	4'6"	3'6"	3'5.3"	3'3.4"	3'1.4"	3'	2'6"	2'5.5"	2'	1'11.6"

Quelle: ?



Einführung Spurführung



Tafelbilder 7 - 10

Literatur

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.

Joachim Ihme. *Schienenfahrzeugtechnik.* Springer, 2016.

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