

Deutsche Maschinentechnische Gesellschaft e. V. (DMG)

Seminar E1/2024 „Grundlagen der Bahnsysteme“

Mannheim 14.-16. Mai 2024

# Infrastruktur

## Trassierung und bauliche Anlagen

Prof. Dr.-Ing. Hans-Christoph Thiel (ex BTU Cottbus-Senftenberg)

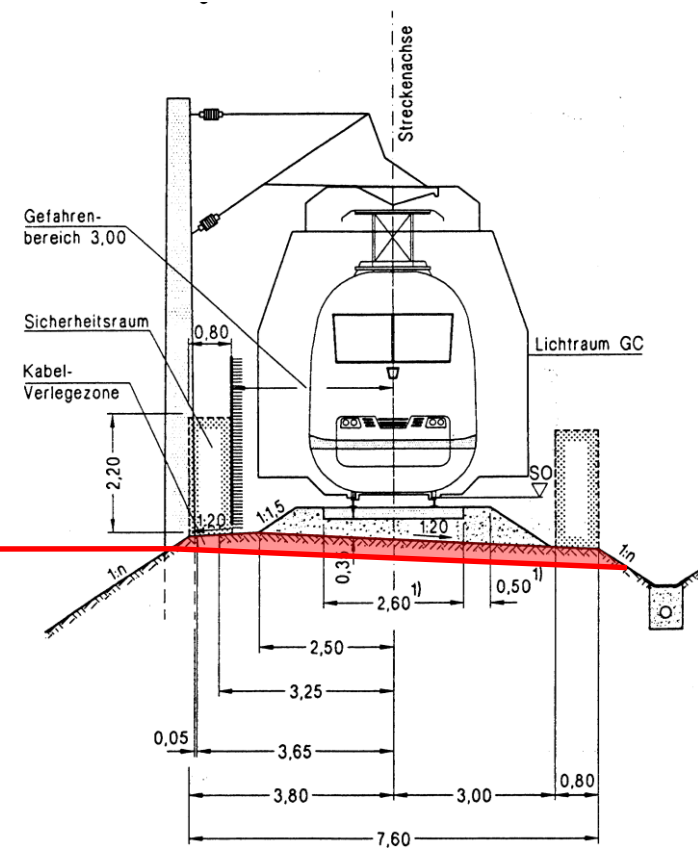


1. dynamisches logisches (Verkehrsbeziehungs-)Netz versus quasi statisches physisches (Verkehrswege)Netz
2. Stahlrad-Stahlschiene-Spurführung mit energetischem Vorteil (geringe Rollreibung), jedoch mit begrenztem Reibvermögen (lange Bremswege)
3. Fahren im geschützten Raumabstand
4. Eigenheiten der Verkehrsdienstleistung (schwer steuerbarer Verkehrswirkungsgrad)
5. Europäische Verkehrspolitik mit Trennung von Infrastruktur (Netz, Bahnbetrieb) und Verkehr (Verkehrsdienstleistung/Logistik)

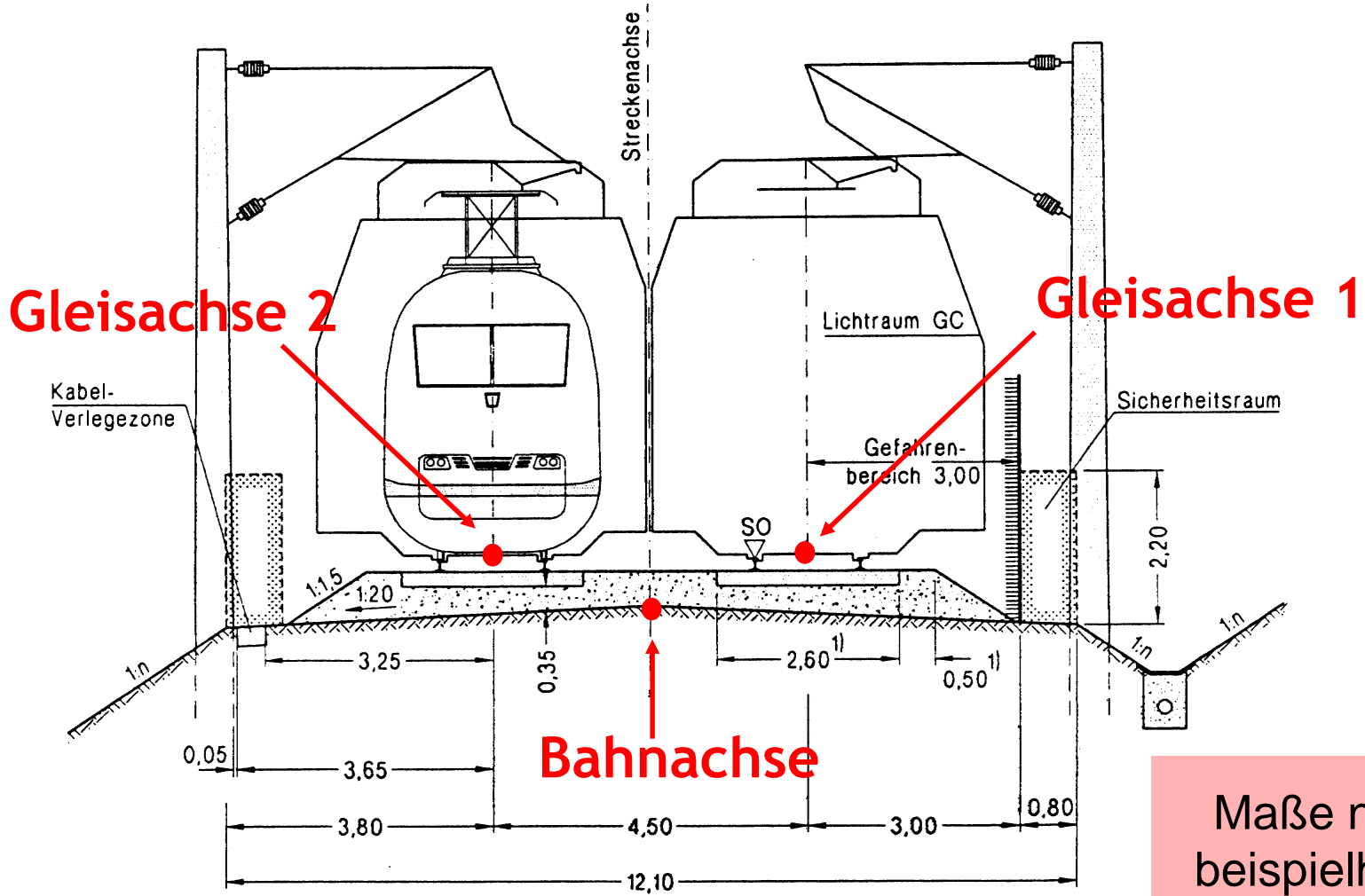
1. Begriffe
2. Fahrbahnkonstruktion
3. Fahrzeugbegrenzung / Lichter Raum
4. Gleis-/Weichengeometrie
5. Bahnkörper und Linienführung
6. Trassieren
7. Bahnhöfe
8. Literatur

# 1. Begriffe

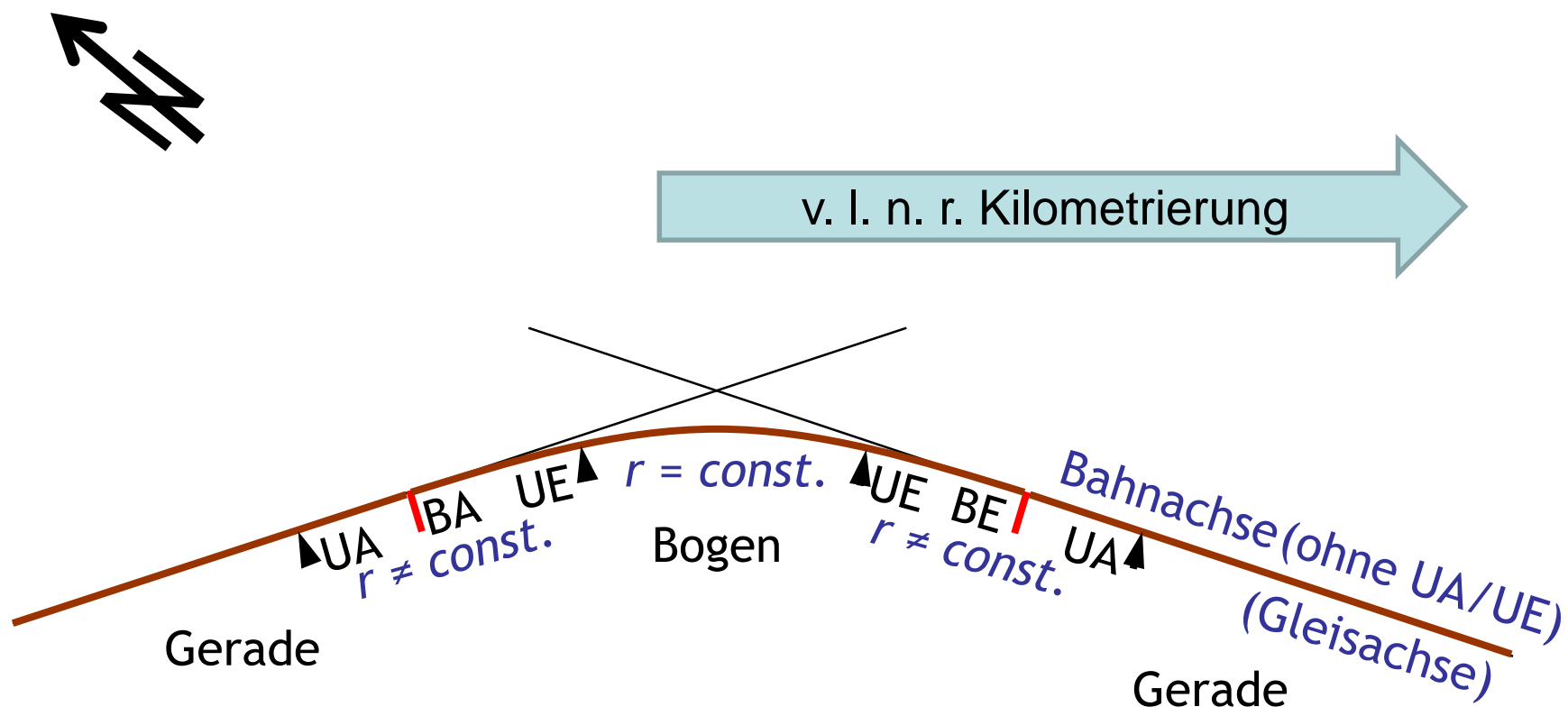
Bahnkörper	Oberbau	Schienen	
		Kleineisen	
		Schwellen	
		Bettung	
		Planumsschutzschicht	
	Unterbau	Erdbauwerke	Dämme
			Einschnitte
			Anschnitte
			Geländegeleiche
		Entwässerungsanlagen	Bahngraben
			verrohrte Gräben
			Tiefenentwässerung
	Kunstabauten	Stützwände	
		Brücken/Viadukte	
		Tunnel	



# 1. Begriffe / Fahrweggeometrie



# 1. Begriffe / Fahrweggeometrie

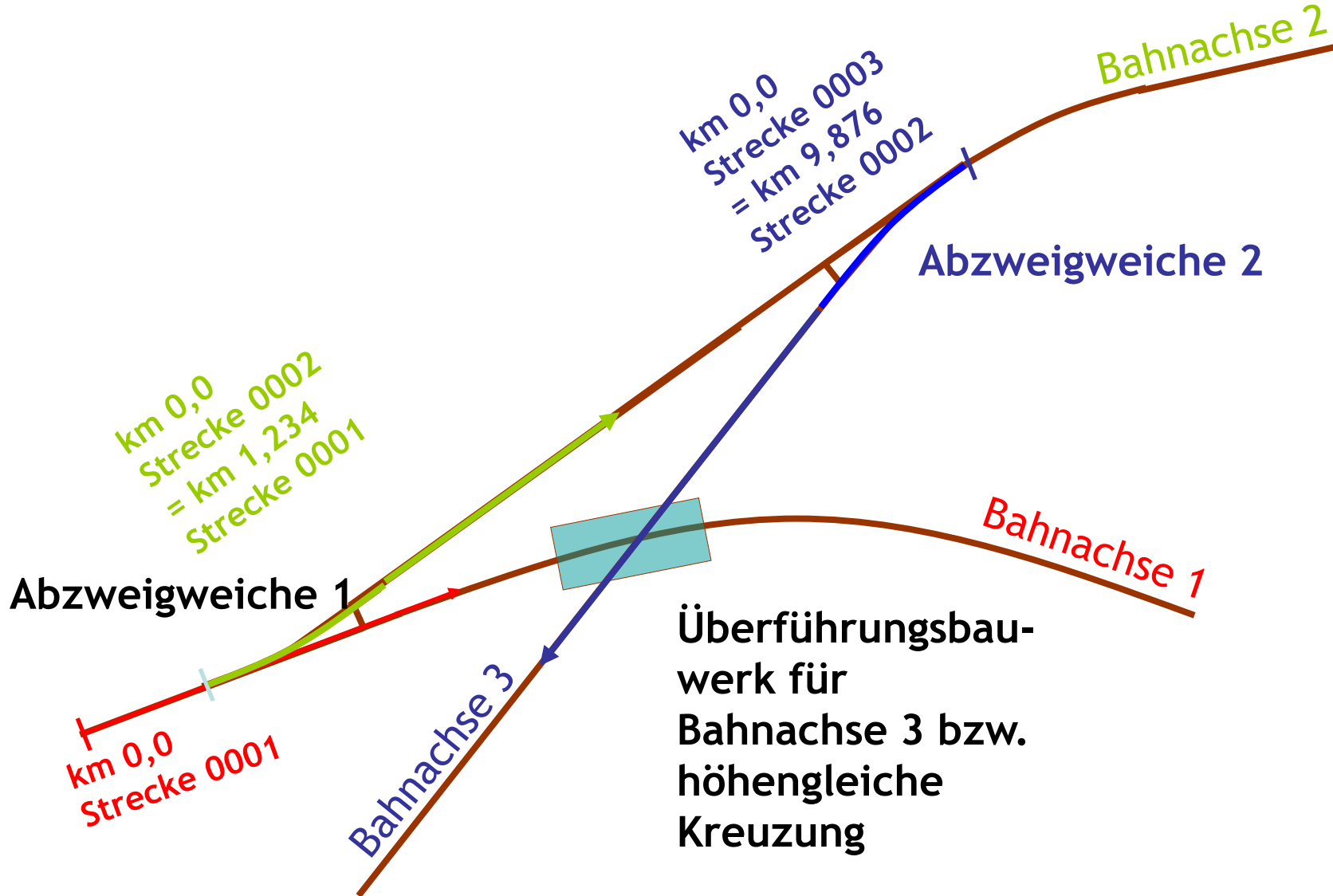


## Vereinfachter Lageplan - Ausschnitt

# 1. Begriffe / Fahrweggeometrie



# 1. Begriffe / Fahrweggeometrie





# 1. Begriffe / Bahnanlage

- alle Grundstücke, Bauwerke und sonstigen Einrichtungen - ... zur Abwicklung oder Sicherung des Reise- oder Güterverkehrs.
- zzgl. Nebenbetriebsanlagen + sonstige Anlagen ... Be- und Entladen ... Zu- und Abgang gestatten.
- Fahrzeuge gehören nicht zu den Bahnanlagen.

Unterschieden wird in Bahnanlagen

- der Bahnhöfe,
- der freien Strecke und
- sonstige Bahnanlagen

# 1. Begriffe / Bahnanlage

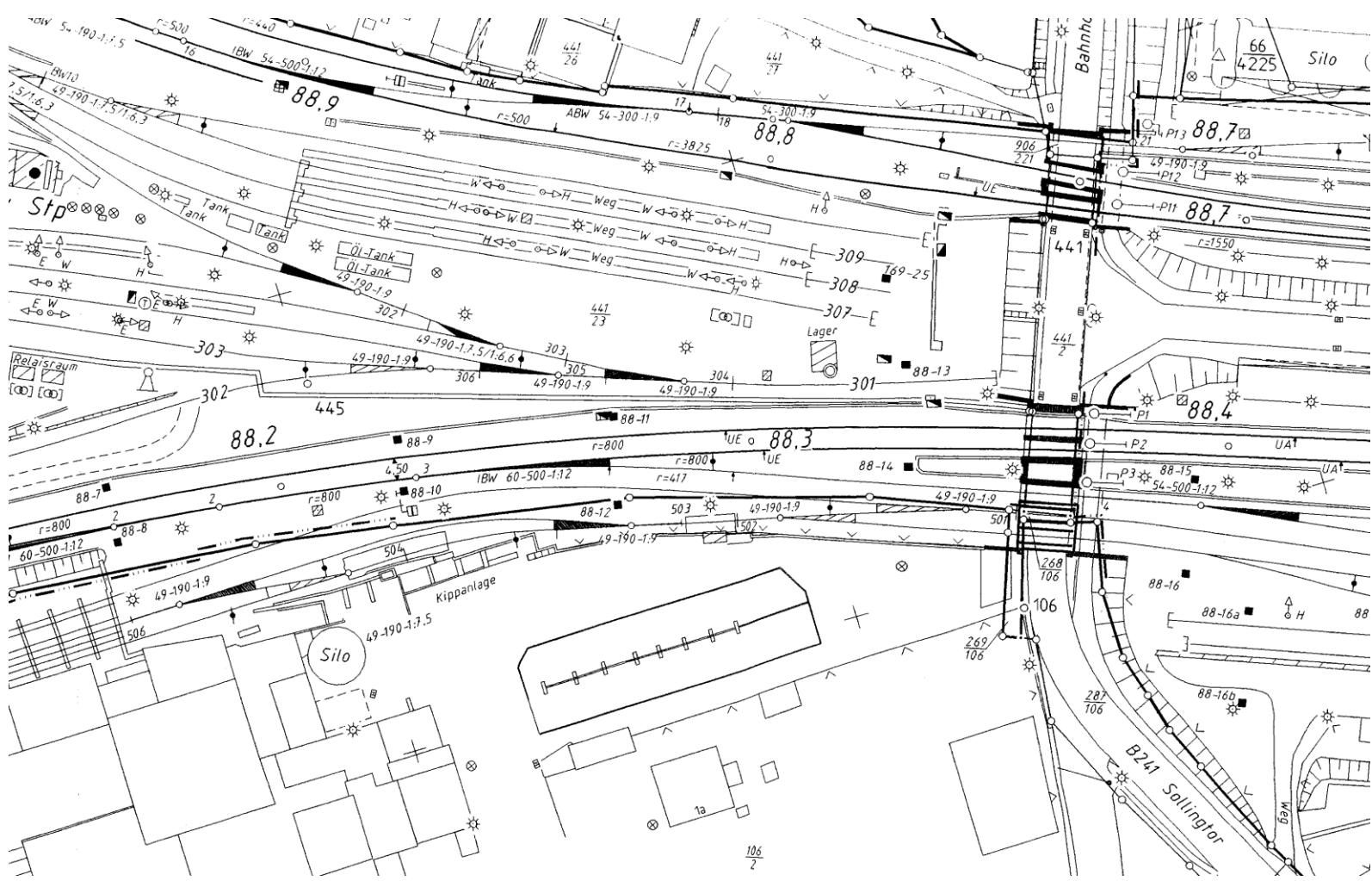
- Abzweigstellen
- Überleitstellen
- Anschlussstellen
- Ausweichanschlussstellen
- Haltepunkte
- Haltestellen
- Deckungsstellen

→ [www.gesetze-im-internet.de/ebo/](http://www.gesetze-im-internet.de/ebo/)

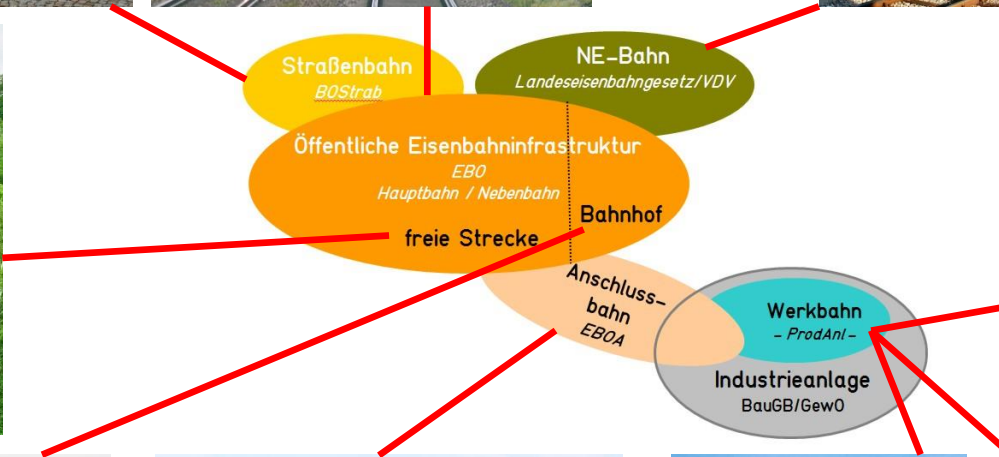
EBO § 4 Begriffserklärungen

→ Kramer, Urs; Kunz, Wolfgang (Hrsg.):  
Eisenbahnrecht Bände I bis IV. Systematische Sammlung mit  
Erläuterungen der deutschen, europäischen und  
internationalen Vorschriften.  
Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft

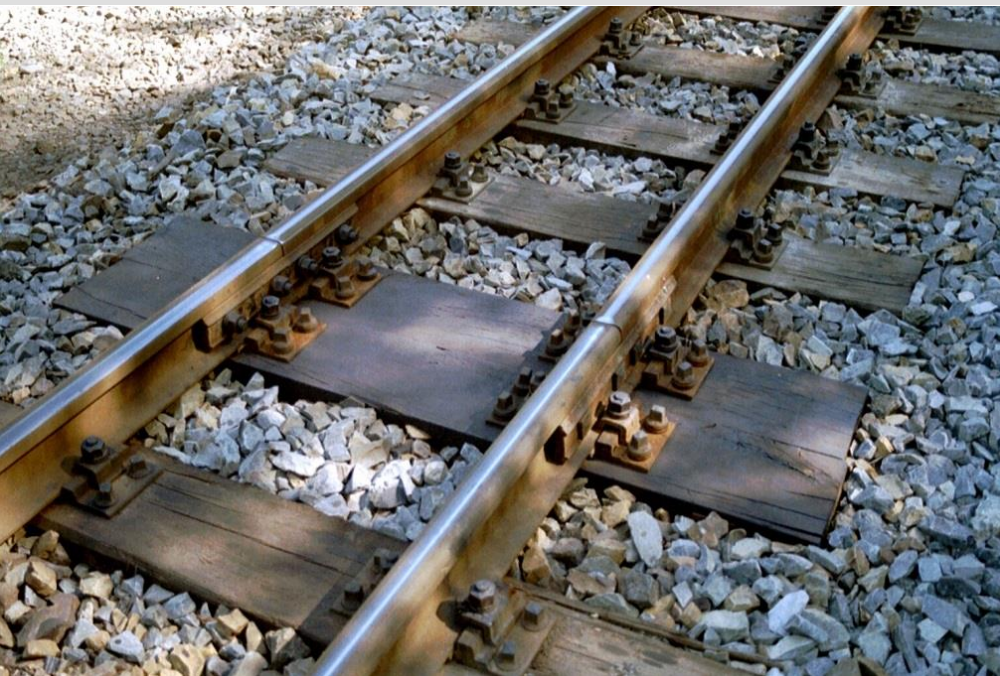
# 1. Begriffe / Gleisplan „lesen“



# 1. Begriffe / Bahnanlagen / Zuordnung



## 2. Fahrbahnkonstruktion - Oberbau



lückig



lückenlos

## 2. Fahrbahnkonstruktion - Oberbau

Der Oberbau der Eisenbahn umfasst die oberhalb des Unterbauplanums liegenden Teile des Bahnkörpers: Gleis und Bettung.

Das Gleis besteht aus den Elementen

- Schienen
- Schwellen und
- Kleineisen.

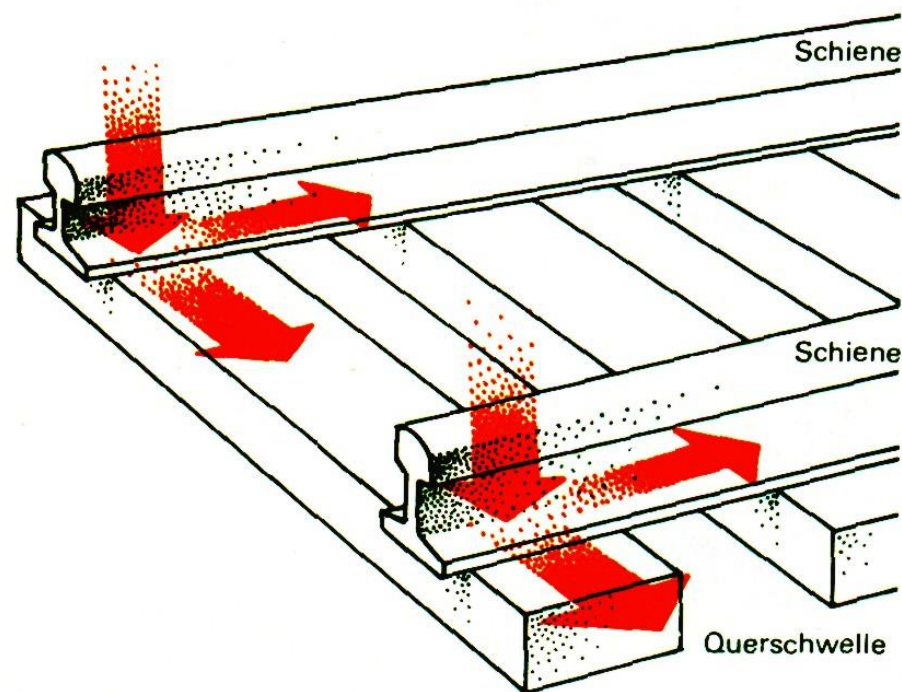
Zum Oberbau zählen auch Weichen.

Einwirkungen sind:

vertikal ▶ Verkehrslast, Einwirkung aus Laufkontaktgeometrie

längs ▶ Traktions-/Bremskräfte, verhinderte temperaturbed. Längenänderung

quer ▶ Kräfte aus Bogenfahrt und Spurspiel, kritische Kniekraft aus verhinderter Längsdehnung



## 2. Fahrbahnkonstruktion - Oberbau

Forderungen an der Oberbau:

- Betriebssicherheit (Spurführung)
- Laufruhe der Schienenfahrzeuge
- Wirtschaftlichkeit der Oberbauerhaltung

Nicht nur den gegebenen Anforderungen gerecht werden, sondern auch zu erwartende Steigerung der Verkehrsbelastung aufnehmen.

In allen Teilgebieten des Eisenbahnbaus Deutschlands, insbesondere der Bahnen des Bundes bzw. des öffentlichen Verkehrs, werden nur geregelte Bauprodukte eingesetzt.

# 2. Fahrbahnkonstruktion - Schienen

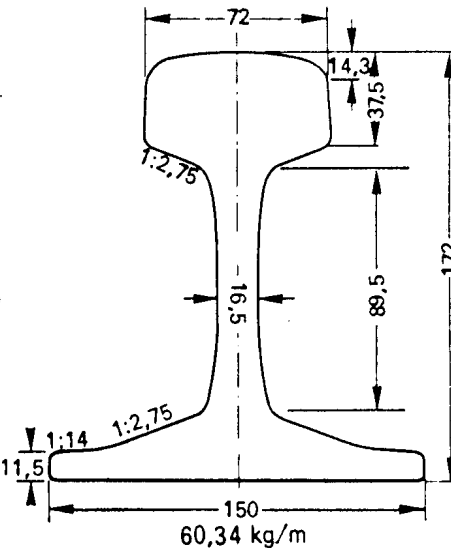
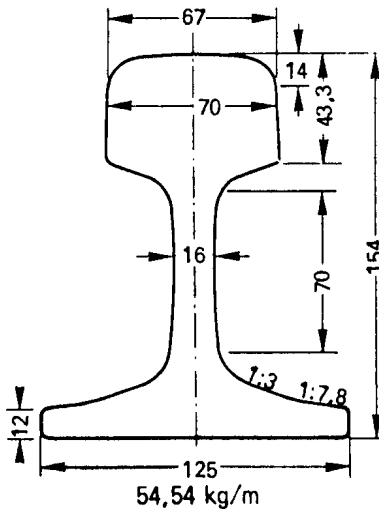
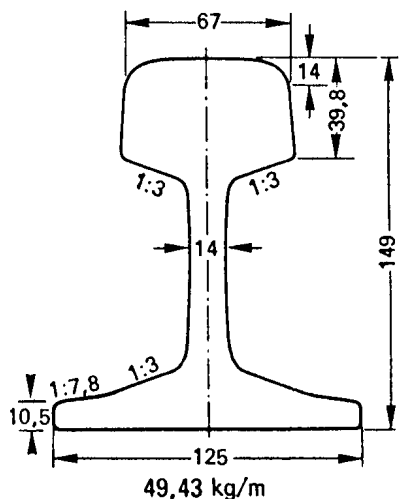
gekennzeichnet durch:

- kräftiger, verschleißgünstiger Schienenkopf
- hoher, für das Widerstandsmoment vorteilhafter Schienensteg
- breiter, die Druckverteilung und die Standsicherheit günstig beeinflussender Schienenfuß.

S49

S54

UIC 60



## DIN EN 13674-1

- 49 E 1 (bislang S 49)
- 54 E 3 (bislang S 54)
- 60 E 1 (bislang UIC 60)



# 2. Fahrbahnkonstruktion – industr. Herstellung



## 2. Fahrbahnkonstruktion – industr. Herstellung



## 2. Fahrbahnkonstruktion – Feste Fahrbahn

- Ziel, Gleislagefehler vermeiden!
- Bei Schotterbettung sind Gleislagefehler unvermeidbar, entstehen u. a. belastungsabhängig.
- Entwicklung des schotterlosen Oberbaus "Feste Fahrbahn" (FF)
- Anstelle der (ungebundenen) Schotterbettung wird eine Tragschicht eingesetzt, die eine vollständige gebundene Tragschicht sein muss.

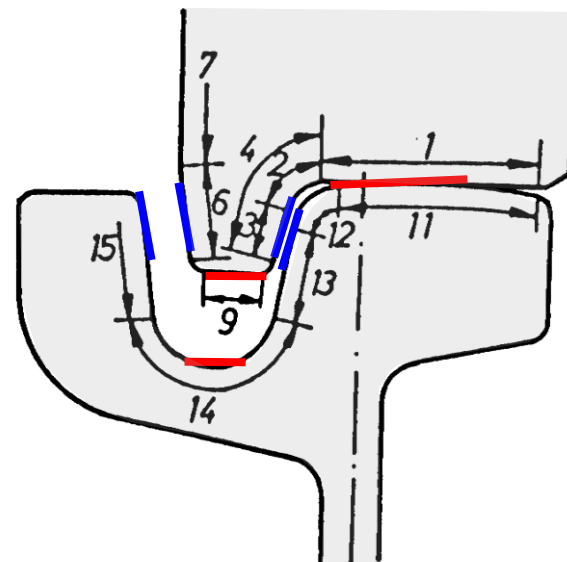
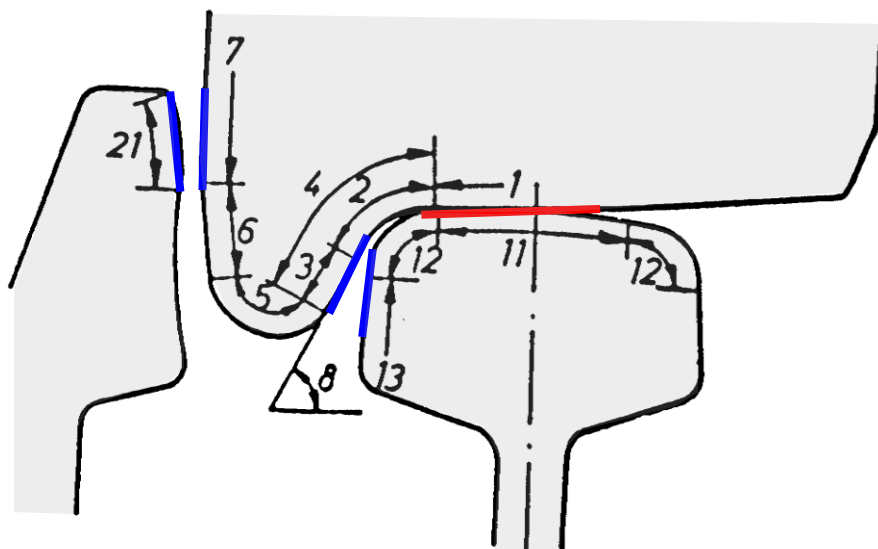
## 2. Fahrbahnkonstruktion – Feste Fahrbahn



## 2. Fahrbahn – Interaktion zu Radprofil(en)

Stütz- und Führungselemente  
nach **EBO**, Radumriss nach  
DIN 25 112, Teil 3

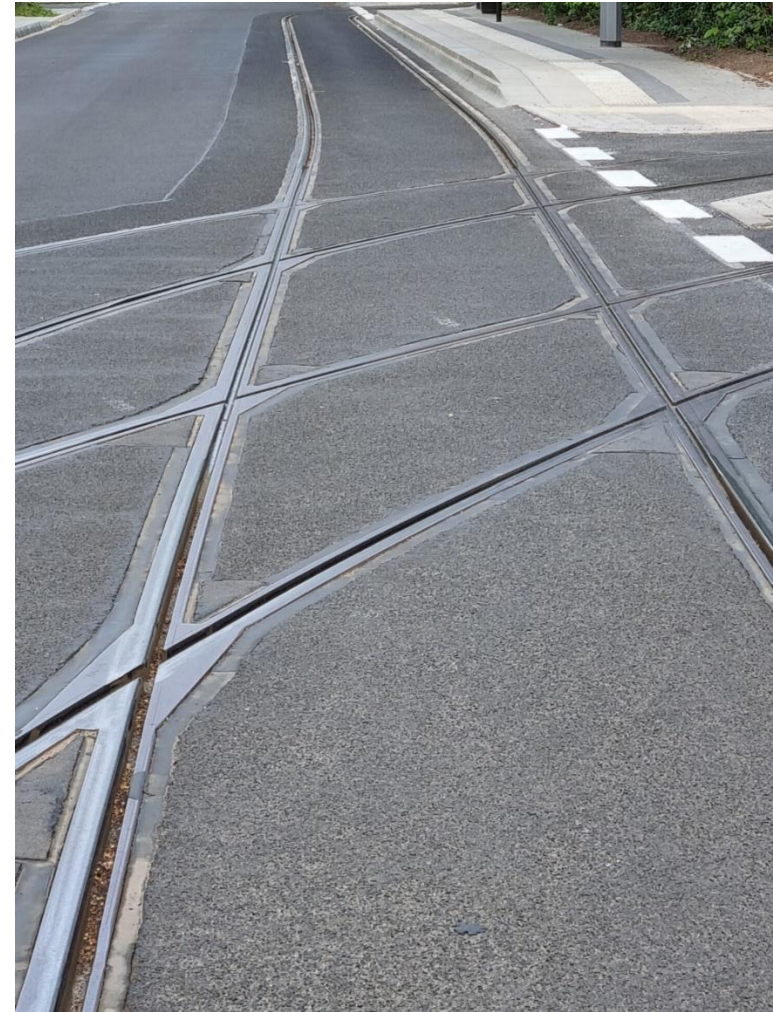
Stütz- und Führungselemente  
nach **BOStrab**, Radumriss  
nach DIN 25 112 Teil 1/Teil 2



— tragen

— führen [lenken]

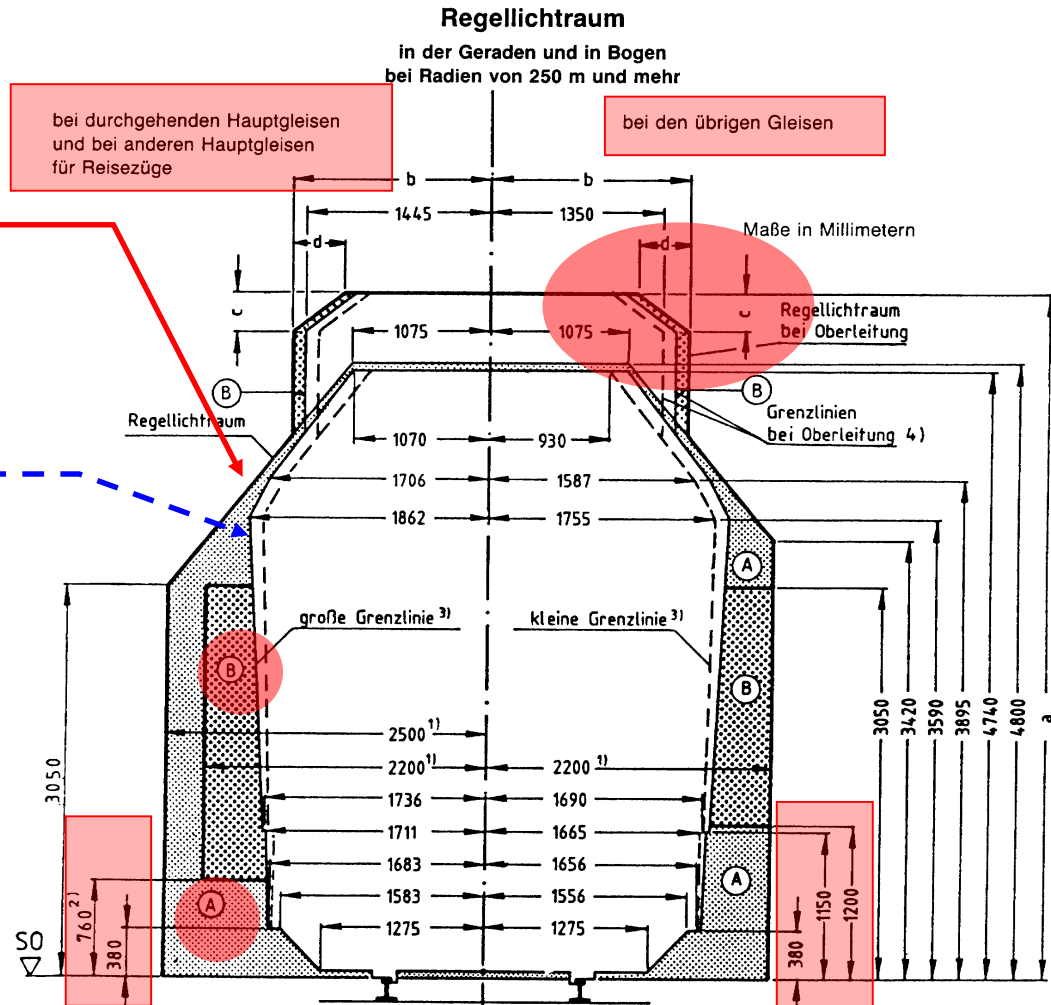
## 2. Fahrbahn – Interaktion zu Radprofil(en)



# 3. Fahrzeugbegrenzung / Lichter Raum

Lichtraum-  
umgrenzungslinie  
(LUL)

Kinematische  
Grenzlinie



Die Maße beziehen sich auf die Verbindungslinie der Schienenoberkanten (SO) in Sollage; die Mittellinie steht senkrecht auf der Verbindungslinie.

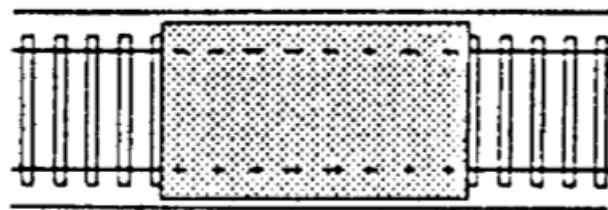
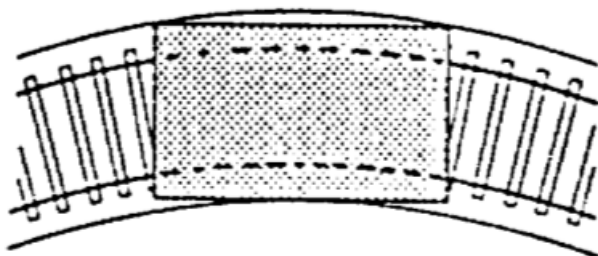
Unterer Teil der Grenzlinie siehe Bild 2

### 3. Fahrzeugbegrenzung / Lichter Raum

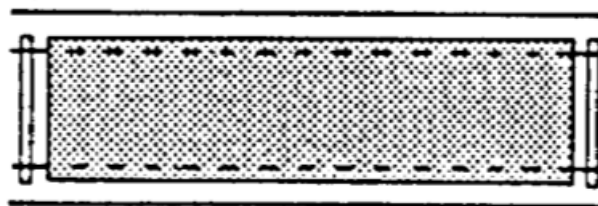
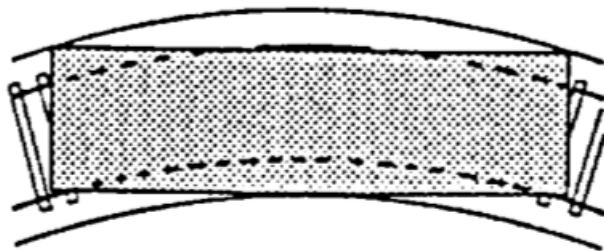
LUL/FBL = **konstant bis  $r \geq 250$  m**

→ lange Fahrzeugkästen müssen schmal sein und rücken von den Begrenzungslinien deutlich nach innen ab!

a) eines kurzen und breiten Fahrzeugs  
im Bogen und in der Geraden



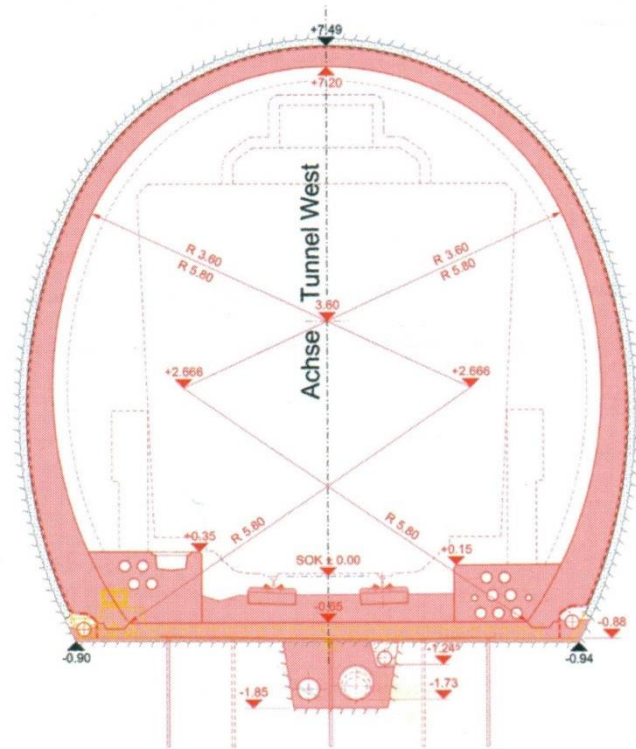
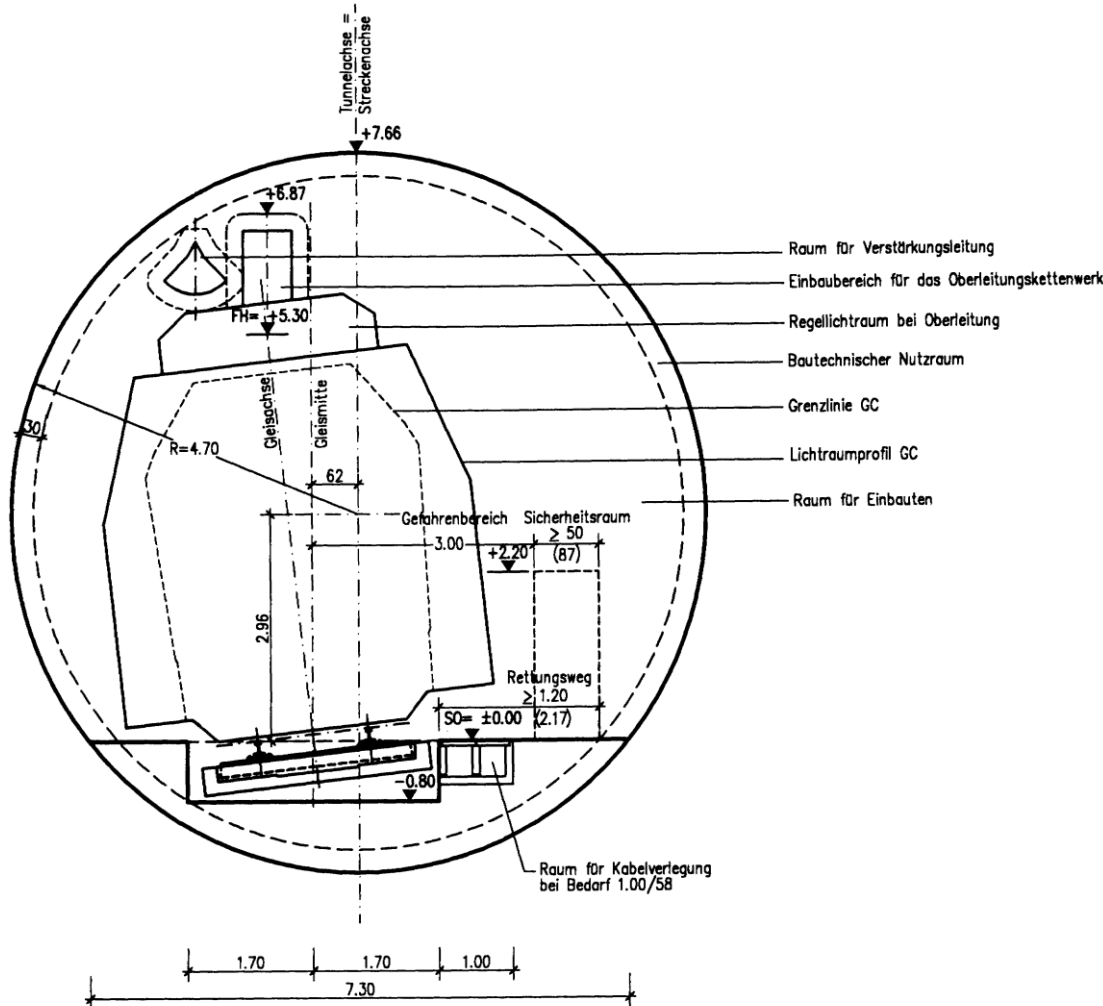
b) eines langen und schmalen Fahrzeugs  
im Bogen und in der Geraden



Problem  
langer  
Fahrzeuge

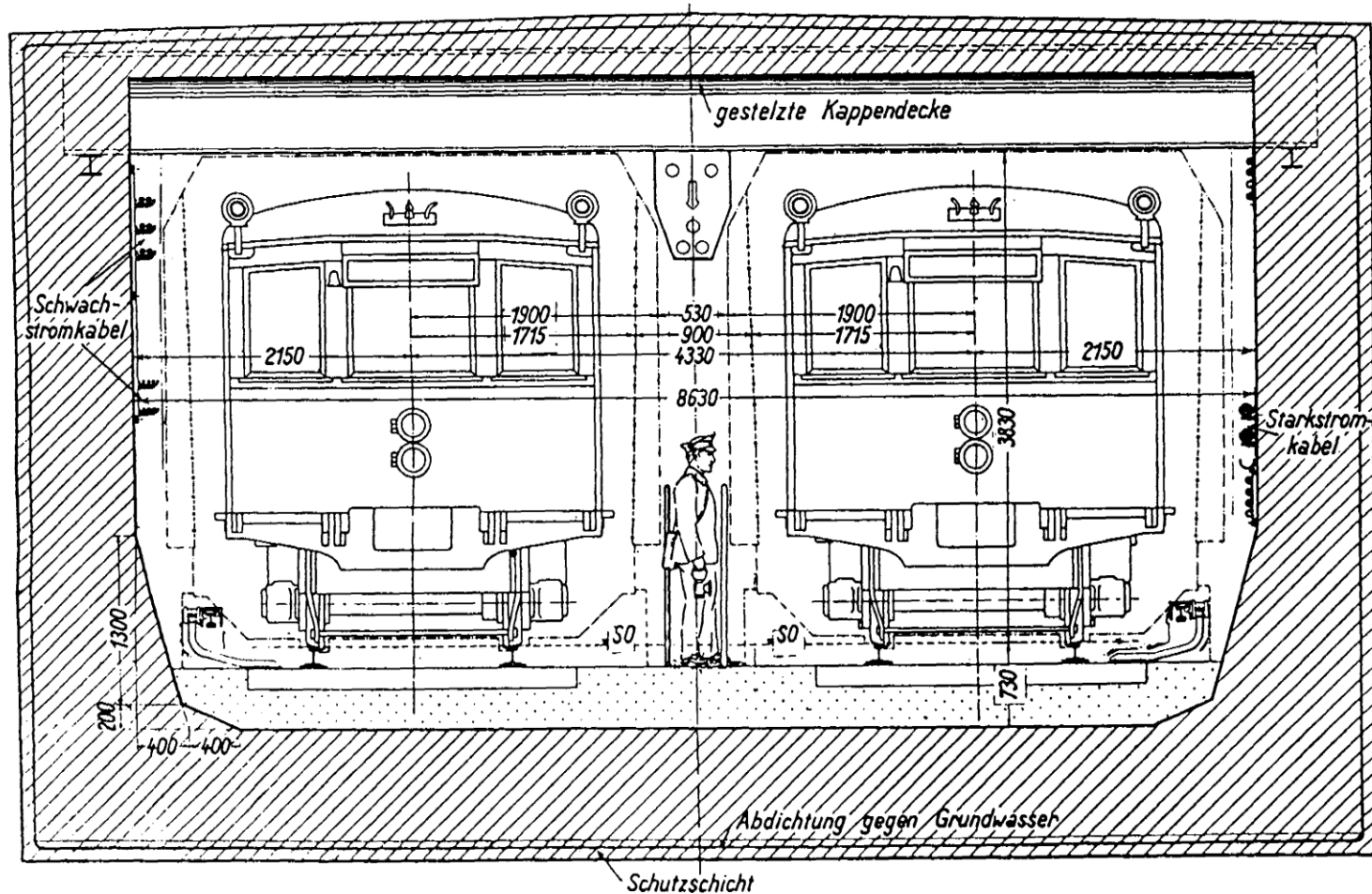


# 3. Fahrzeugbegrenzung / Lichter Raum



## Raumbedarf in Tunnelanlagen

# 3. Fahrzeugbegr. / Lichter Raum / Sonderfälle

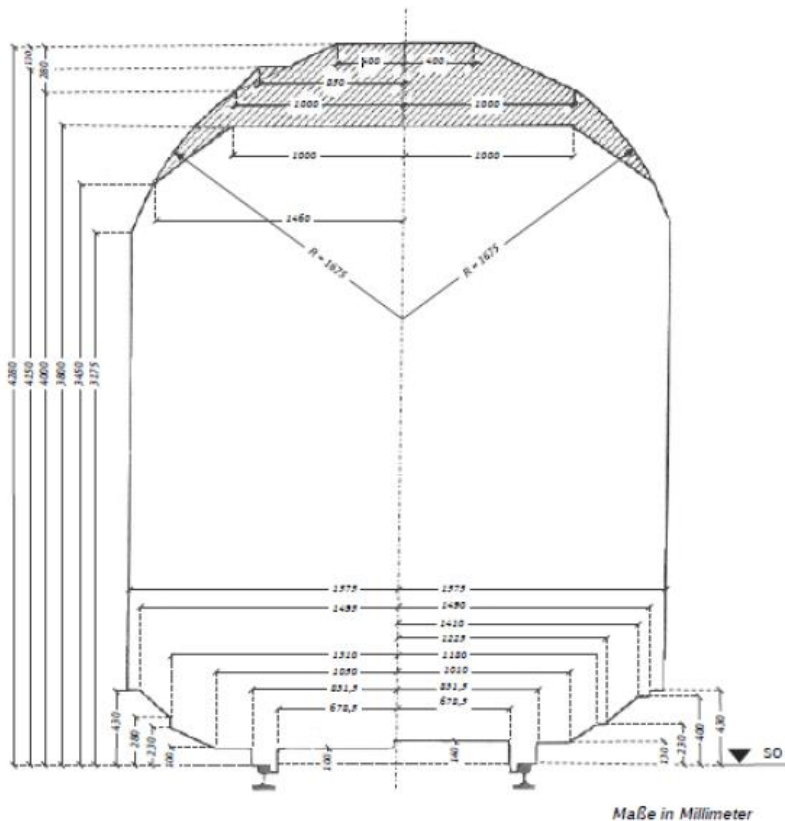


## S-Bahn Berlin

# 3. Fahrzeugbegr. / Lichter Raum / Sonderfälle

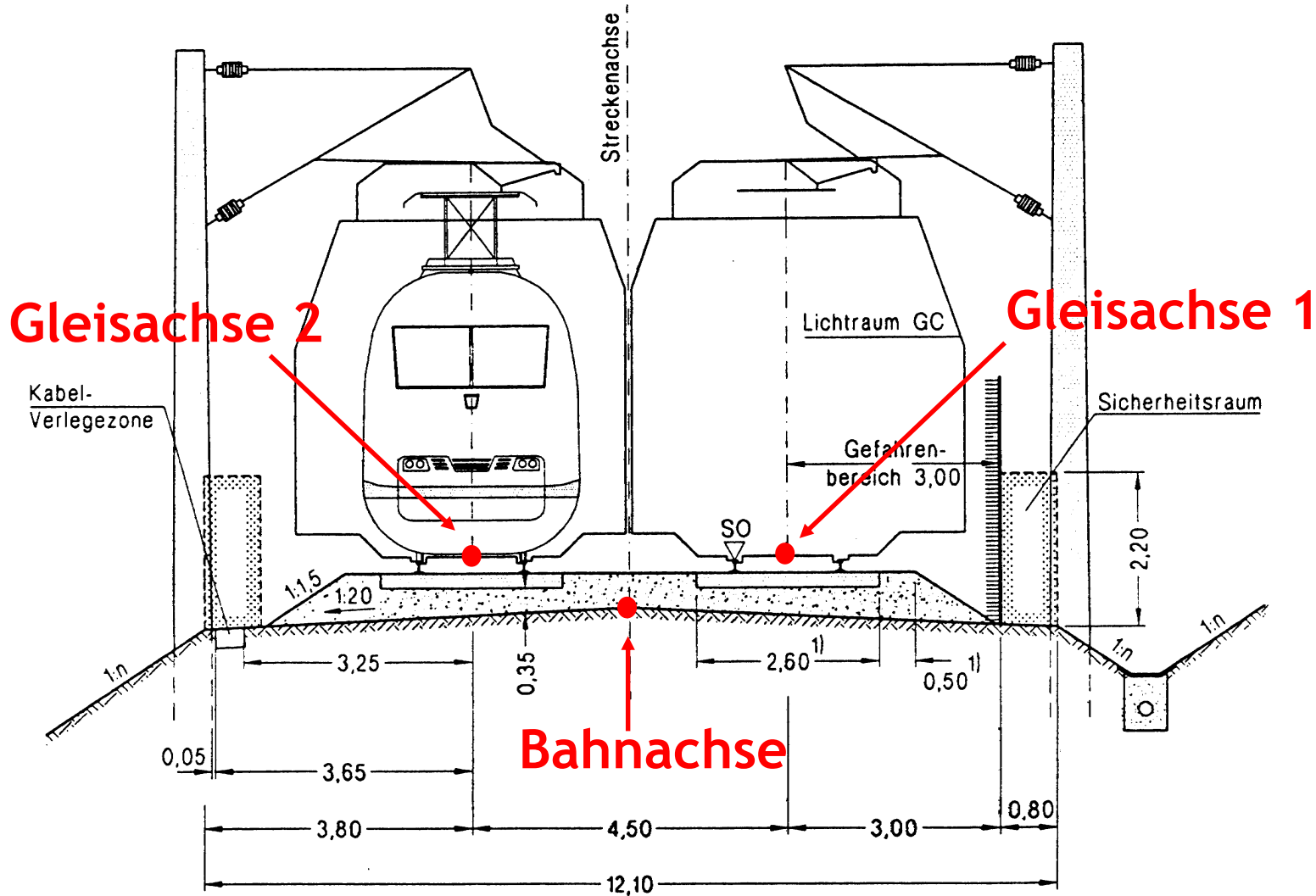
Unfall mit AOC / S-Bahn Hamburg / 26.04.2024

Statische Begrenzungslinie S-Bahn Hamburg



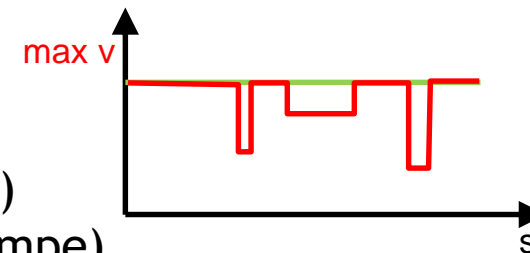
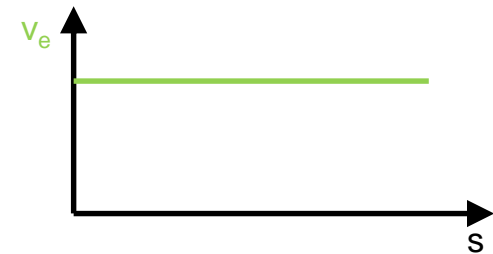
## S-Bahn Hamburg

# 4. Gleis- / Weichengeometrie



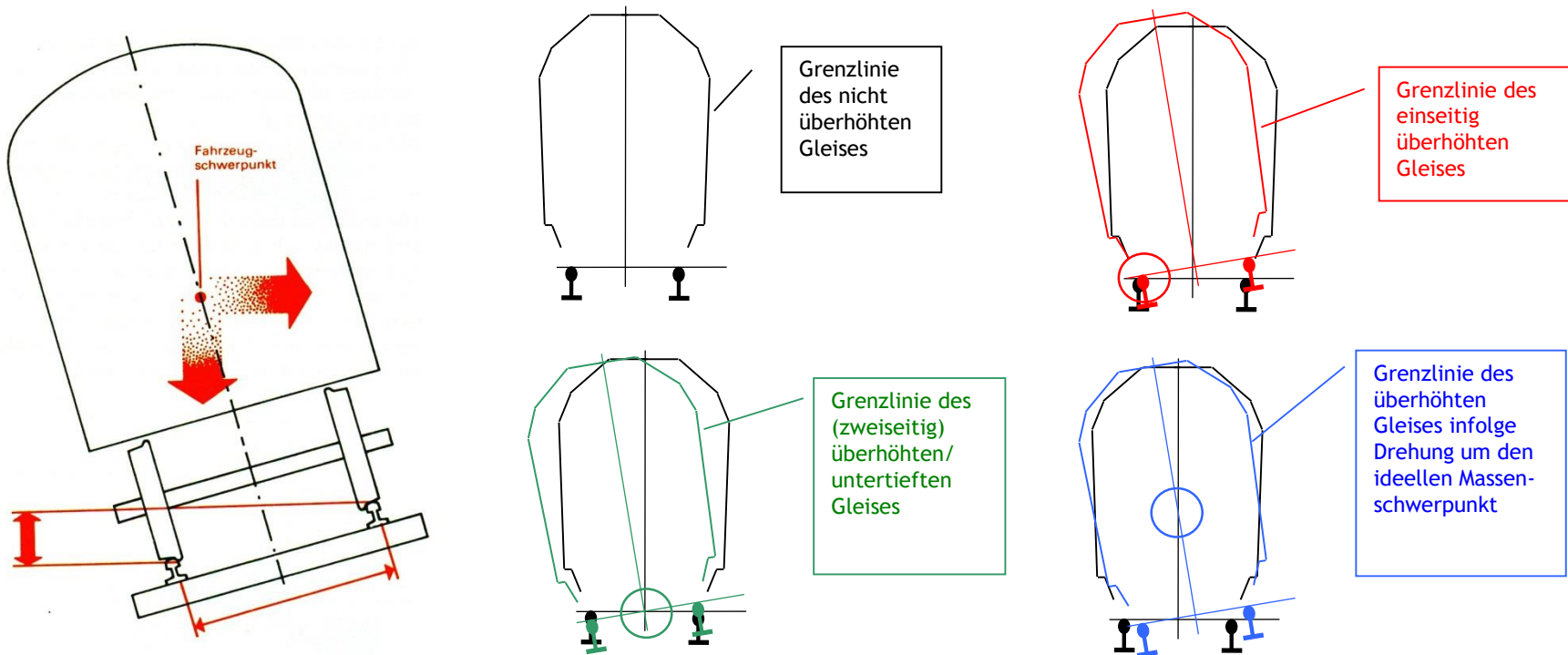
Es wird in folgende bahnbetriebliche und bautechnische Geschwindigkeitsbegriffe unterschieden:

- (fahrriktungsabhängige) Streckengeschwindigkeit (ex Leitgeschwindigkeit, Entwurfsgeschwindigkeit ;  $v_e$ ), dokumentiert in Geschwindigkeitskonzeption (Geko).
- Örtlich zugelassene Höchstgeschwindigkeit  $\max v$ , ist die Geschwindigkeit, mit der sich Schienenfahrzeuge infolge örtlicher Bedingungen bzw. Einschränkungen von
  - **Bogenradius**  $r$  [m]
  - **Überhöhung**  $u$  [mm] (Gleisquerneigung)
  - **Länge der Krümmungsänderung**  $l_u$  [m] (Übergangsbogen)
  - **Maß der Gleisverwindung**  $m$  [Ganzzahl] (Überhöhungsrampe)
  - **Länge der Zwischengerade**  $l_z$  [m] bei gegensinnigen Gleisbögen und
  - **Ausrundungsradius** bei (Längs-)Neigungswechsel  $r_a$  [m] höchstens bewegen dürfen, dokumentiert im Verzeichnis der örtlich zugelassenen Geschwindigkeiten (VzG).
- Das VzG ist die Grundlage der Fahrzeitermittlung.



# 4. Gleis- / Weichengeometrie - Überhöhung

- Bogenfahrt ... Fliehbeschleunigung
- Fliehbeschleunigung den Fahrgast nicht spüren lassen!
- Überhöhung einbauen! **Schienenverschleiß ausgleichen!**
- Problem: Standsicherheit bei  $v = 0$  km/h!



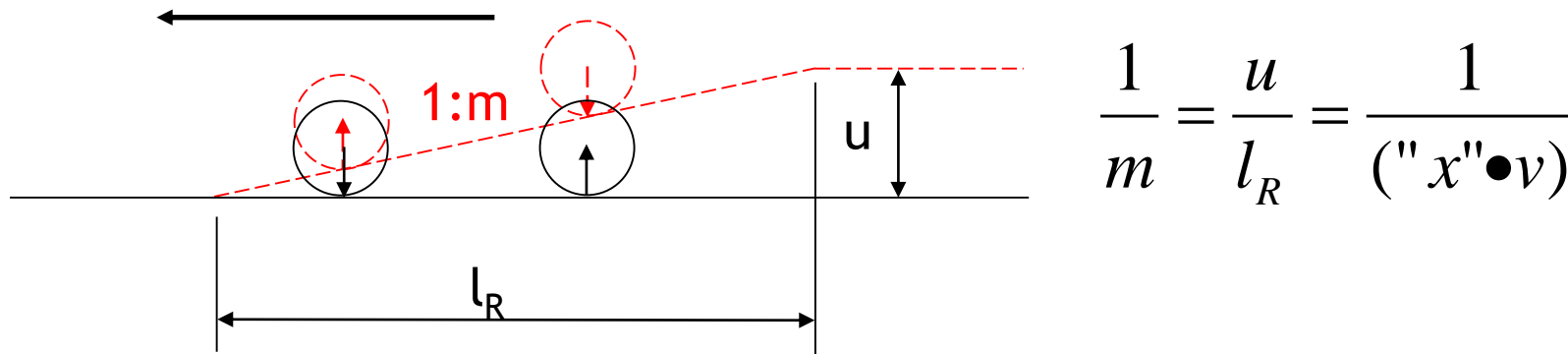
# 4. Gleis-/Weichengeometrie - Interaktion Fahrzeuge



# 4. Gleis-/Weichengeometrie - Interaktion Fahrzeuge

Jede Änderung der Überhöhung ist durch eine Überhöhungsrampe herzustellen!

Geometrische Formen sind gerade und geschwungene Rampen.



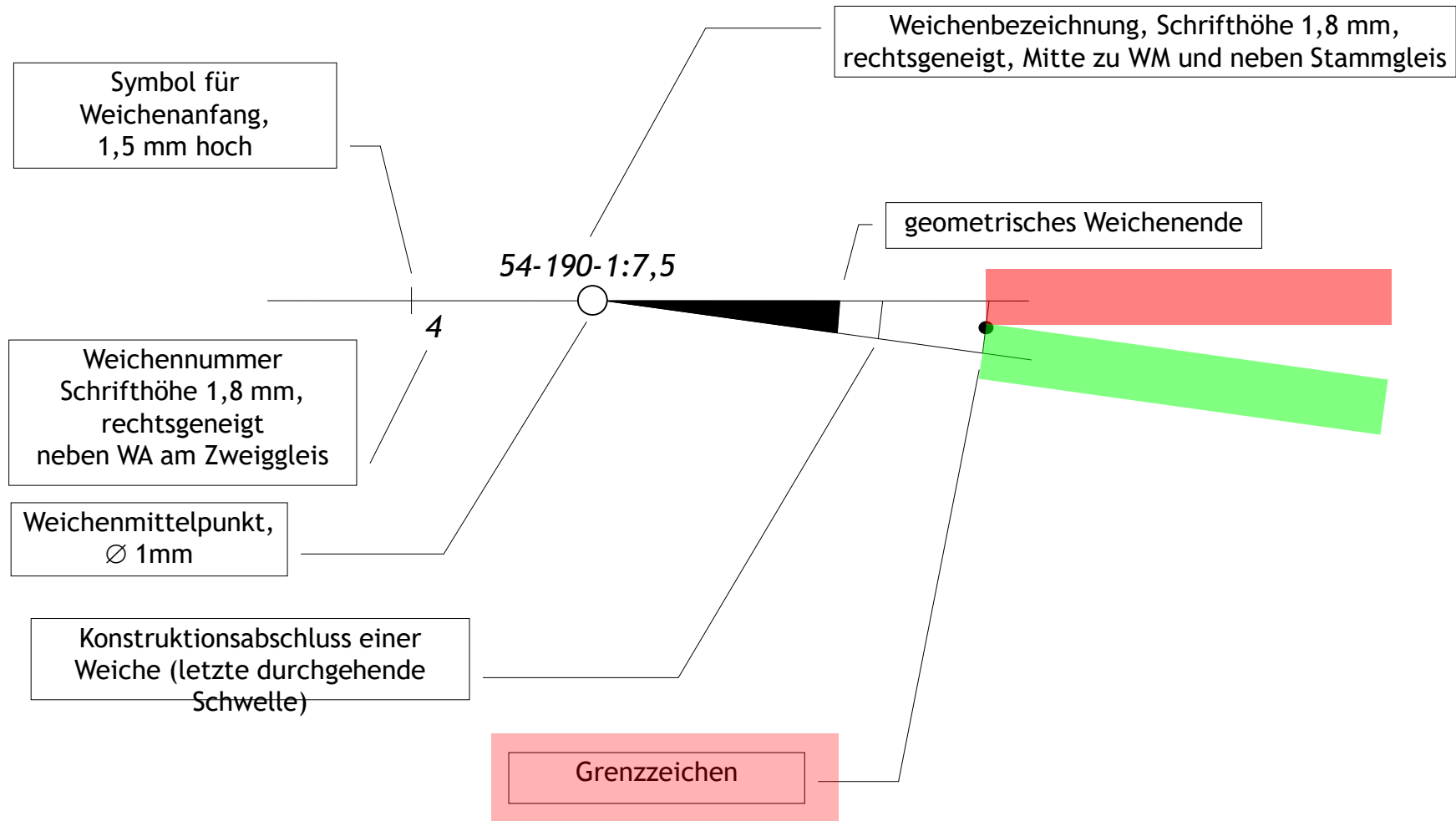
	gerade Rampe	geschwungene Rampe	
		nach SCHRAMM	nach BLOSS
Regelwert	$l_R = 10 \cdot v_e \cdot \frac{u}{1000}$	$l_{RS} = 10 \cdot v_e \cdot \frac{u}{1000}$	$l_{RB} = 7,5 \cdot v_e \cdot \frac{u}{1000}$
Ermessensgrenzwert	$l_R = 8 \cdot v_e \cdot \frac{u}{1000}$	$l_{RS} = 8 \cdot v_e \cdot \frac{u}{1000}$	$l_{RB} = 6 \cdot v_e \cdot \frac{u}{1000}$
Ausnahmewert	$l_R = 5 \cdot v_e \cdot \frac{u}{1000}$		



# 4. Gleis-/Weichengeometrie



# 4. Weichengeometrie



## 4. Weichengeometrie

Welchen Zweiggleisradius muss eine Weiche haben?

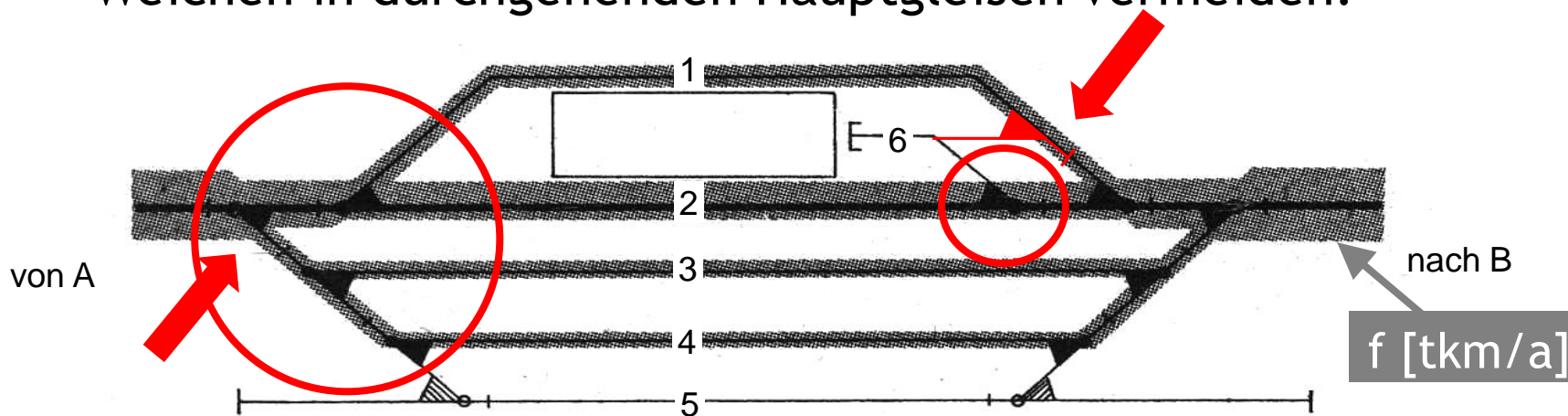
$r = f(v)$  mit  $u = 0$  und  $a_q = 0,65 \text{ m/s}^2$  ( $= u_f = 100 \text{ mm}$ )

$$a_q = \frac{v^2}{12,96 \cdot r} - \frac{u}{153}$$

r [m]	190	300	500	760	1.200	2.500
v [km/h]	40	50	60 (65)	80	100	130 (145)

## 4. wirtschaftliche Weichenverwendung

- Weichen vermeiden, insbesondere Kreuzungsweichen und Kreuzungen.
- Weichen in durchgehenden Hauptgleisen vermeiden.



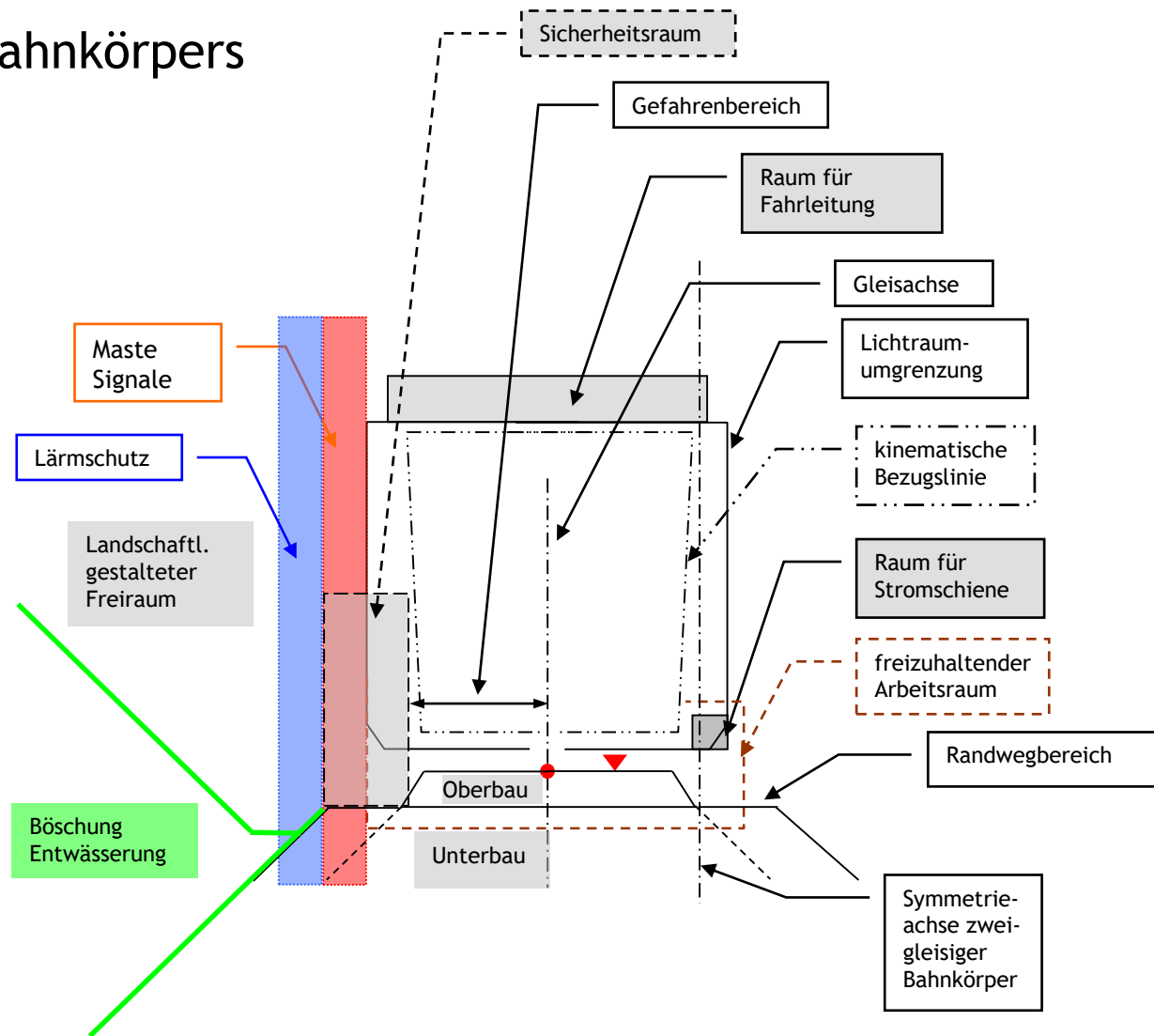
- Bogenweichen vermeiden.
- Querbeschleunigung und Querbeschleunigungsänderung (Ruck) vermeiden/minimieren.

# 4. wirtschaftliche Weichenverwendung

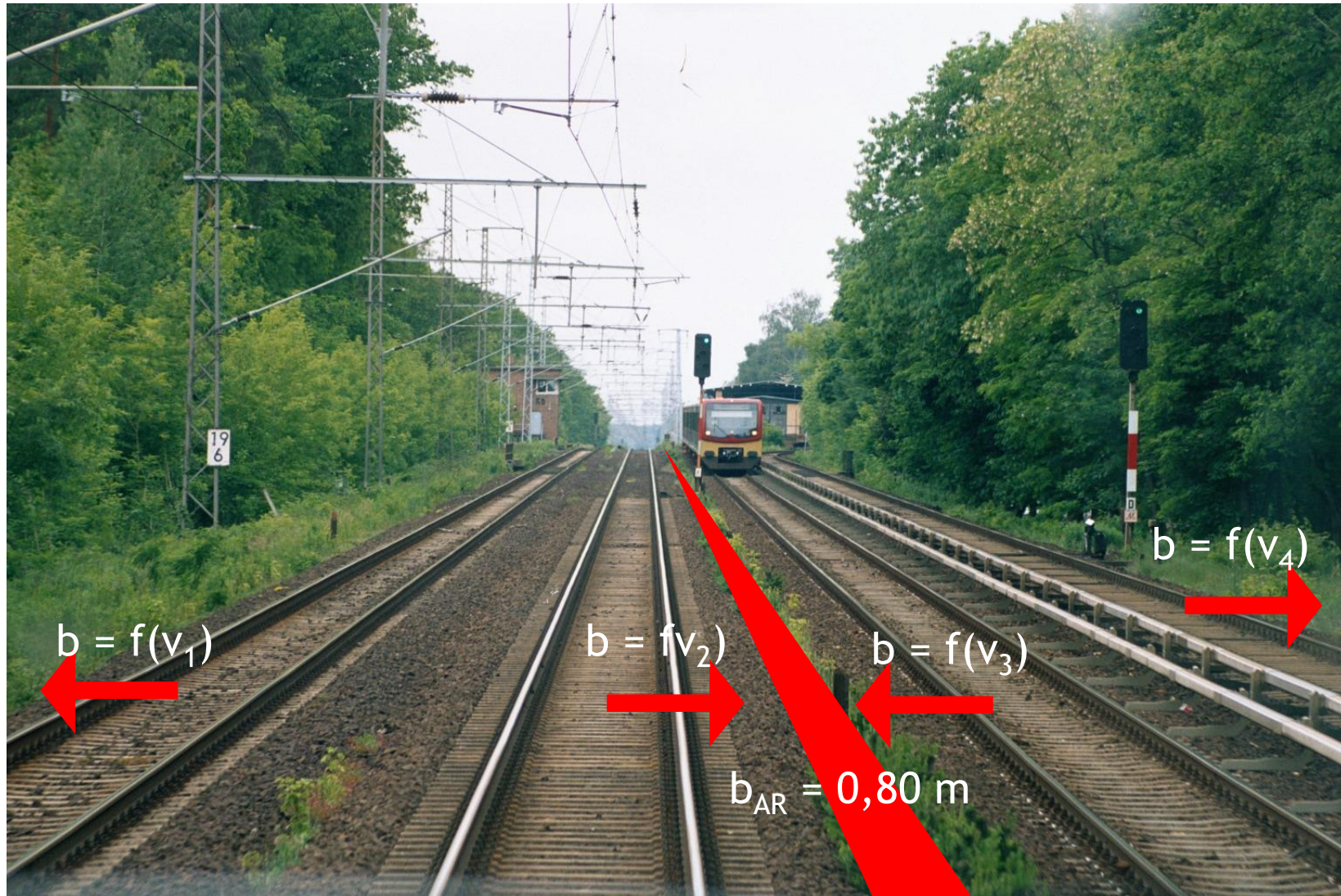


# 5. Bahnkörper und Linienführung

## Struktur des Bahnkörpers

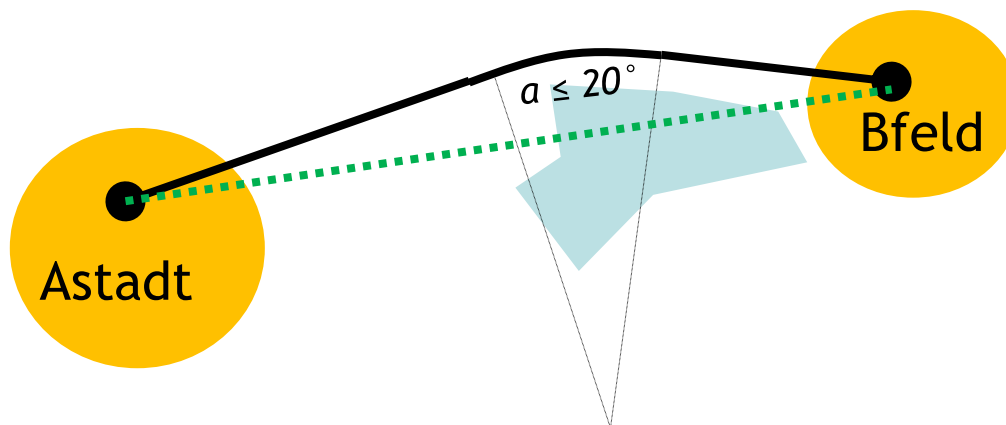


# 5. Bahnkörper + Linienführung / Gefahrenbereich



Eisenbahnstrecken sollen nach folgenden Grundsätzen trassiert werden:

- geradlinige kürzeste Verbindung ohne künstliche Längenentwicklung (*recta sequi* (Folge der Geraden)  
... Motto der Erbauer der Gloggnitzer Bahn)
- jeder Bogen soll notwendig und gerechtfertigt sein
- Umgehung von Hindernissen mit Bögen mit kleinem Zentriwinkel ( $\leq 20^\circ$ ), Bogenmittelpunkt in Höhe des Hindernisses



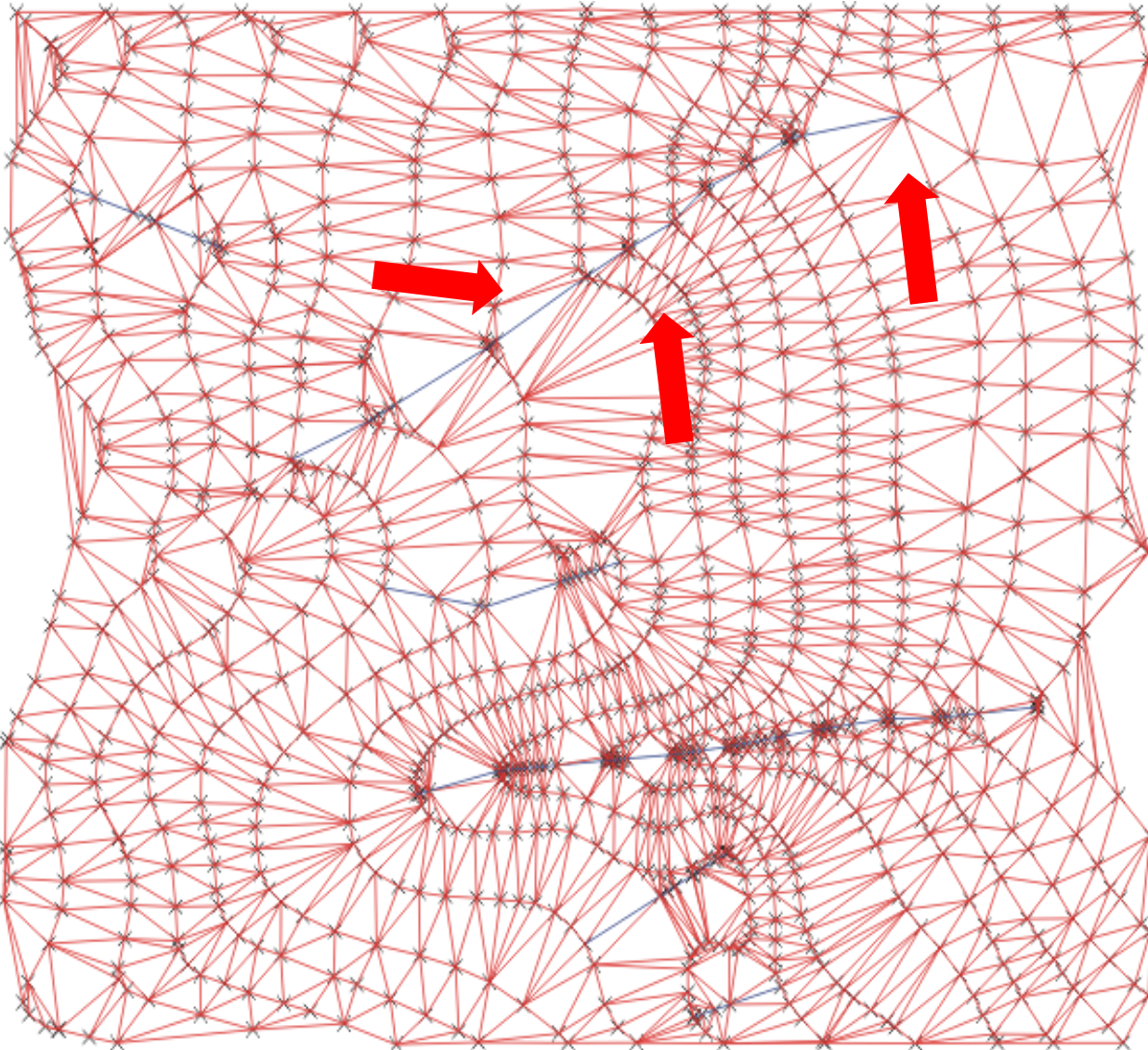


# 5. Bahnkörper und Linienführung/Ausbaustrecke(n)



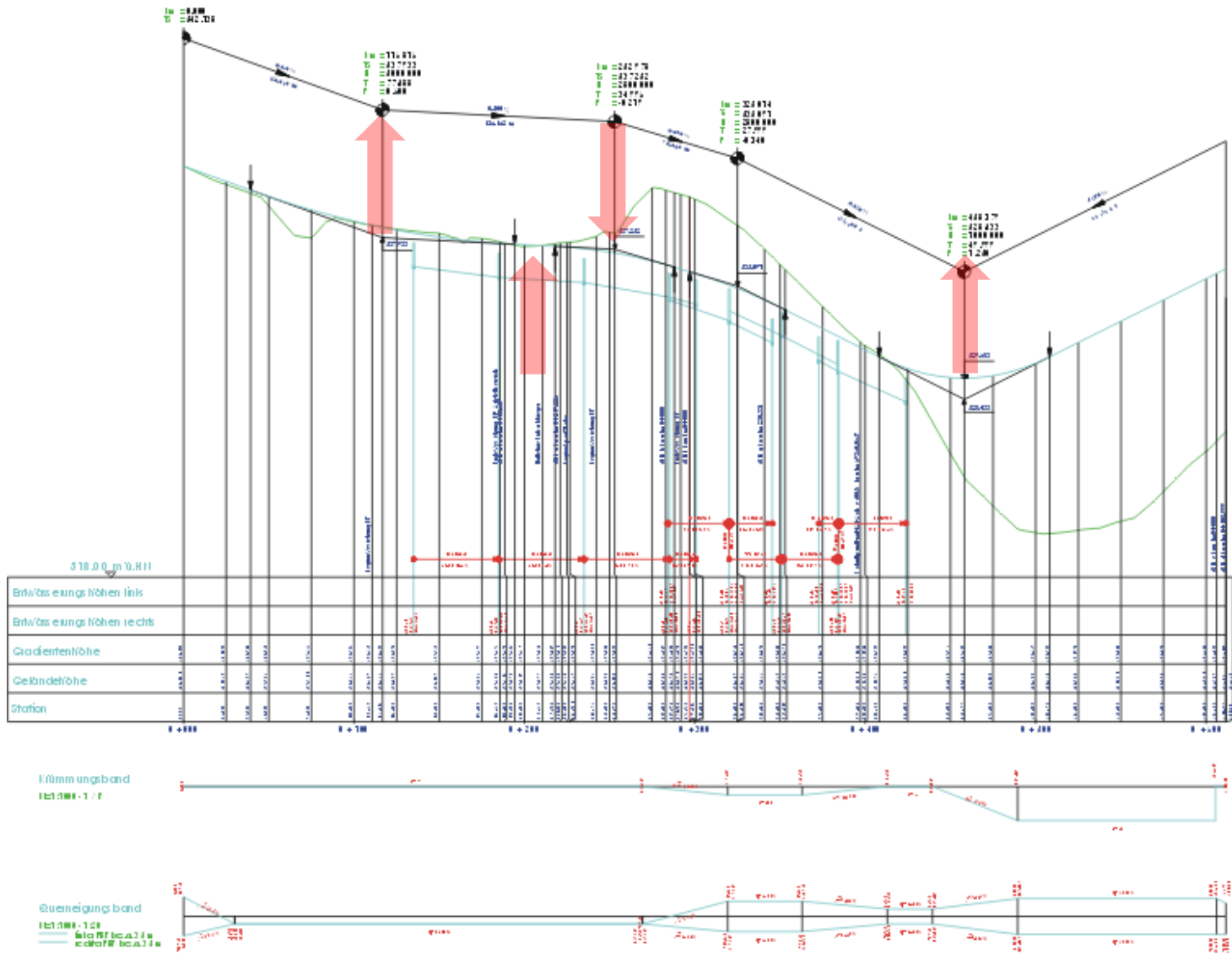
© Schweers+Wall, 2017

# 6. Trassieren



- Digitales Geländemodell statt Messtischblatt
- Trassenfindung mit KorFin®
- Trassierung mit ProVI®, CARD1®, VESTRA®

# 6. Trassieren



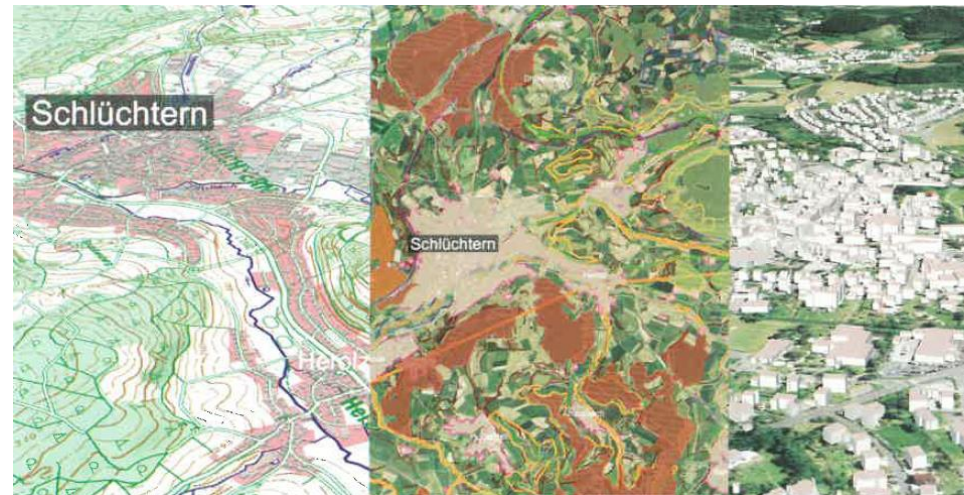
# 6. Trassieren - digital mit ► KorFin®



→ Trassenfindung über den Weg der geringsten Planungswiderstände

→ Import:

- Raumdaten
- Schutzgebiete
- Baugrund ...



# 6. Trassieren digital mit KorFin® / 5D-Modell [BIM IIM]



Korridorfinder 3.4.0.10 BETA [ korridorfinder.rsm, S84 Meissen, VAR 01 ]

Übersicht | Raummodell

### Querprofilansicht [VAR 01]

Aktuelle Station: 0+000

Position: 1

Element: 1

Segment: 1

Station: 0+000

Querschnitt: Modellierung FFB

Auswertung Fläche

Auswertung Segmentvolumen

Auswertung Volumensumme

Abtrag (Summe)	0.00
Auftrag (Summe)	0.00
Bilanz (Summe)	0.00
Schotter (Summe)	0.00
Feste Fahrbahn (Summe)	0.00
Auswertung Totalsumme	
Abtrag (total)	3476
Auftrag (total)	8559

Tunnel 1: 153.13 m

Abschnitt 3: 2952.77 m (47810)

Segment: 1

Station: 0+000

Lagekoordinaten: 5402254.6, 56639

Z-Wert: 105.63 m

Z-Wert Gelände: 107.66 m

Z-Wert Differenz: -2.03 m

Radius: -10323.3 m

1/Krümmung (HP): 8.8 m

Abtrag: 0.00 m³

Auftrag: 1113.20 m³

### Kostentabelle [Kostenschätzung]

Eigenschaften und Parameter	Posn	Position	Kostenan	Kost Einh	Menge	Menge Einheit	Kosten	Kost Einh
VAR 01	1000	Grundstück						
Gleis 7	1010	Grundstückswert						
Gleis 6		Grunderwerbsfläche	0,00	€/m²	23.395,92	m²	0,00	€
Gleis 12		Zwischensumme Pos. 101-XXX					0,00	€
Gleis 7		Zwischensumme Pos. 100-XXX					0,00	€
Gleis 13		Zwischensumme Pos. 100-XXX					0,00	€
Gleis 15		Zwischensumme Pos. 100-XXX					0,00	€
Gleis 16		Zwischensumme Pos. 100-XXX					0,00	€
Parameter	2000	Herrichten und Erschließen						
Allgemein	3000	Bauwerke - Baukonstruktionen Hochb						
Währung	3080	sonstige Anlagen						
Mehrwertsteuer (%)	3082	Bahnsteig - Personenbahnsteige einschl. Unt	300,00	€/m²	20,00	m²	6.000,00	€
Position 100000	3082	Bahnsteigüberdachung - einschl. Fundamenti	650,00	€/m²	20,00	m²	13.000,00	€
Grunderwerbsfläche	3082	Wetterschutzhäuschen - aus Beton oder Met	12.400,00	€/Stk.	2,00	Stk.	24.800,00	€
Position 300000		Zwischensumme Pos. 308-XXX					43.800,00	€
Bahnsteig (€/m²)	3100	Erdbauwerke und Tunnel						
Fläche Bahnsteig (m²)	3110	Erdbauwerke						
Fläche Bahnsteigüberdachung (m²)	3111	Damm - einschl. Randweg, Oberboden und B	12,00	€/m³	167.827,17	m³	2.013.926,10	€
Wetterschutzhäuschen	3112	Finschnitt - einschl. Randweg, Oberboden un	12,00	€/m³	71.039,21	m³	852.470,51	€

### Längsschnitt

Stationsdaten

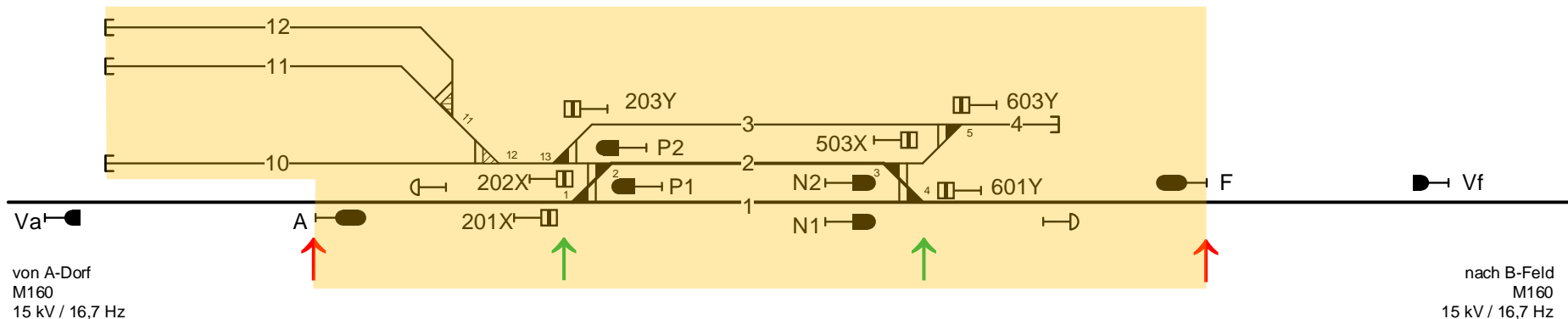
0+250 0+500 0+750 1+000 1+250 1+500 1+750 2+000 2+250 2+500 2+750 3+000 3+250 3+500 3+750 4+000 4+250 4+500

■ LKrümmung ■ LKrümmung~ ■ s ■ Volumensumme

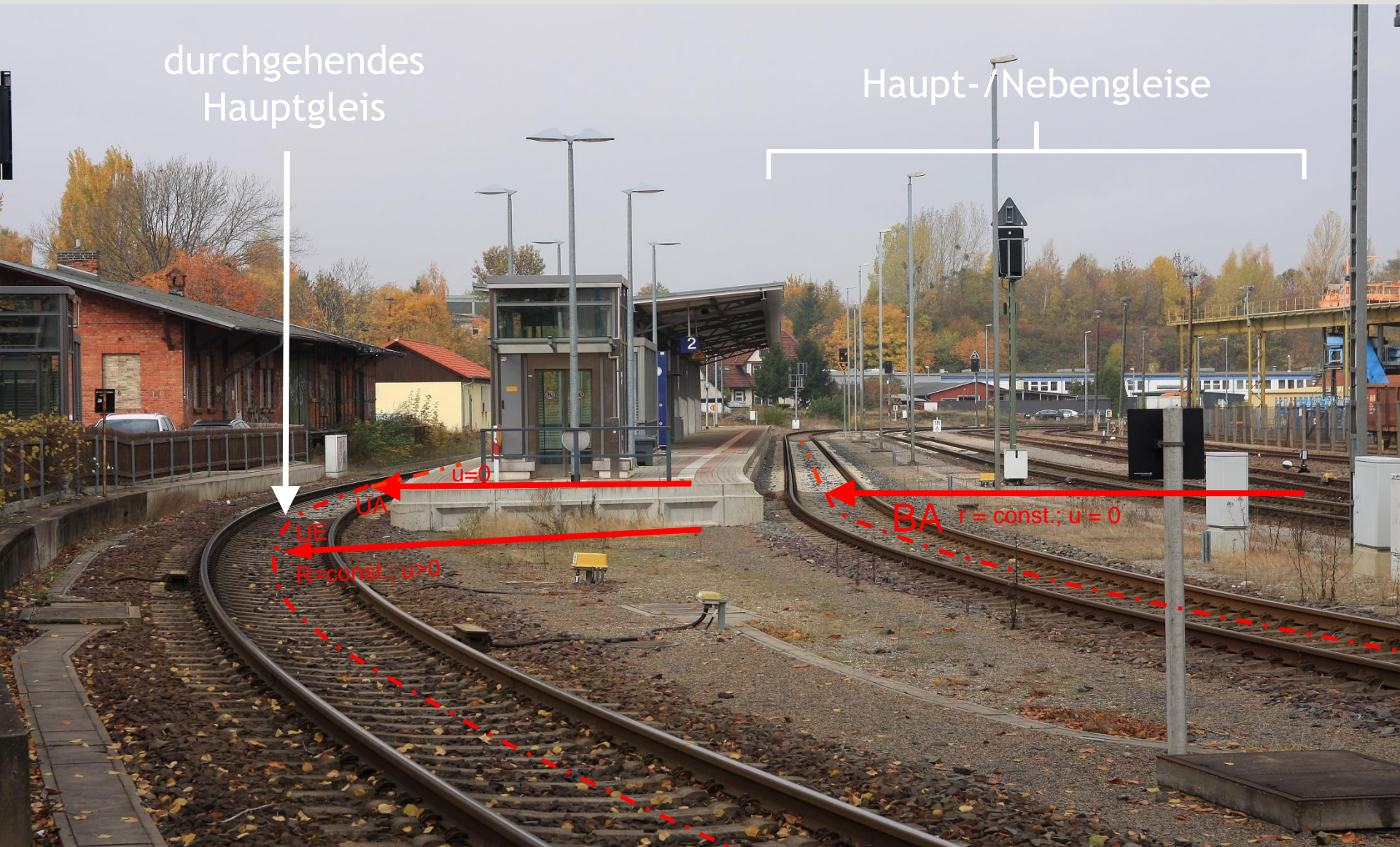
Modellausschnitt ( 5402247.46, 5663989.03, 118.39 ) - ( 5402133.19, 5664122.81, 111.63 ) | Meldung - Kostenparameter für "Gleis 7" berechnet.

# 7. Bahnhof - Begriff

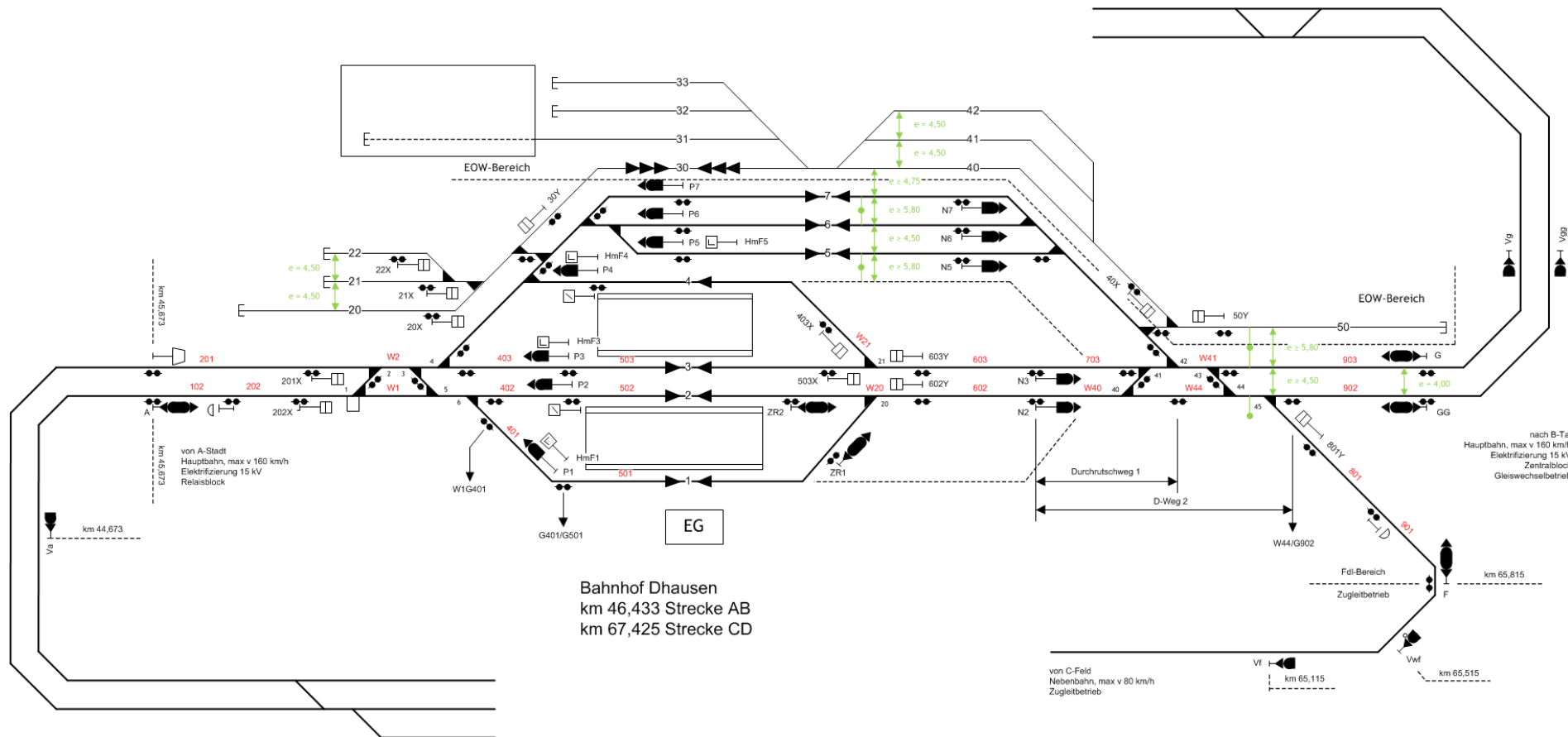
- Begriff am Fallbeispiel „kleiner Zwischenbahnhof“ (Ks-Signale / ESTW)
- betriebliche Grenze des Bahnhofs: Einfahrsignale (↑)
- bauliche Grenze des Bahnhofs: Spitzenweichen (↑)
- Hauptgleise ... regelmäßig von Zügen befahrene Gleise (hier Gleise 1+2)  
sonst: Nebengleise (nur Rangieren, hier alle Gleise, außer Gleise 1+2)
- Fortführung der Hauptgleise der freien Strecke im Bahnhof sind durchgehende Hauptgleise (hier Gleis 1 [ $v_e$ ; max v]).



# 7. Bahnhof - Gleisgeometrie



# 7. Bahnhof – Fahrwegelemente (Gleisplan)

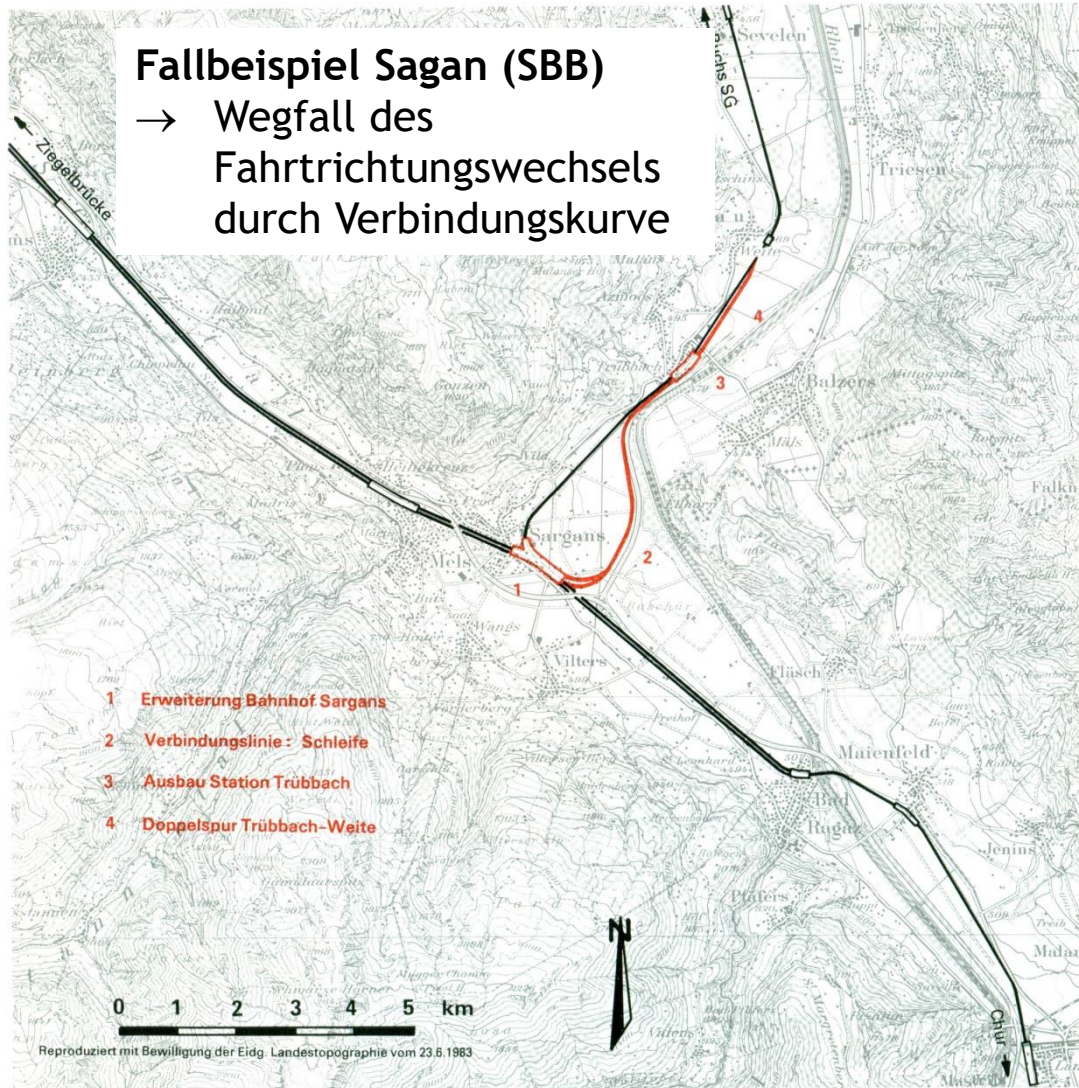


unmaßstäblich verzerrter Gleisplan [**VISIO®-Tool Signalschablone**]

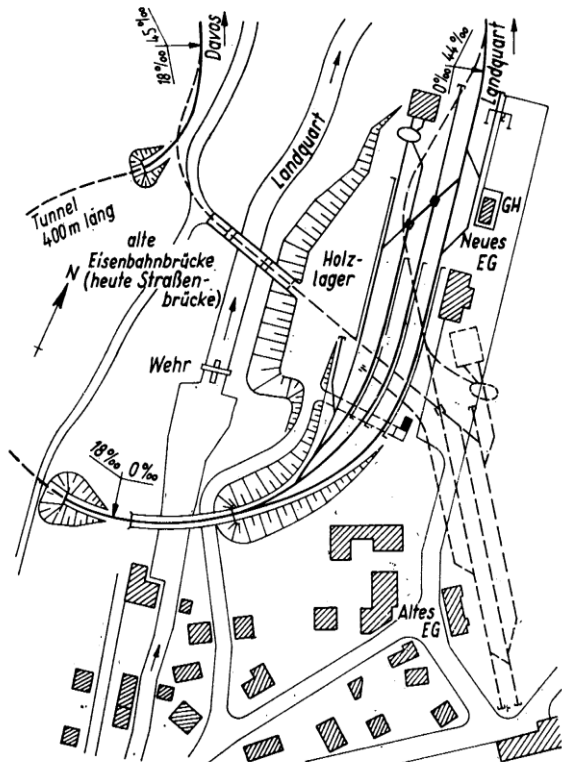
- Hauptgleis, Nebengleis, Weiche, Gleisabschluss, Empfangsgebäude, Bahnsteig, Ladehalle
- Einfahr-, Ausfahr-, Zwischen, Rangiersignal, Achszählgerät
- Gleis-, Weichen-, Signalbezeichnung, Gleisbenutzung, Gleisabstand
- Streckenwidmung



# 7. Bahnhof – Anpassung logisches/phisches Netz

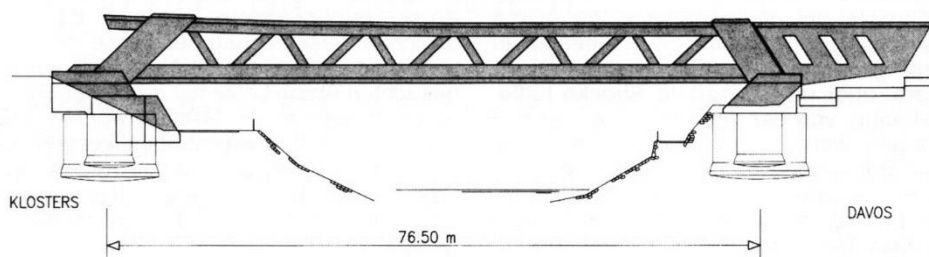
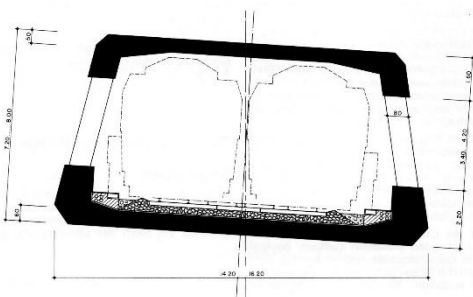
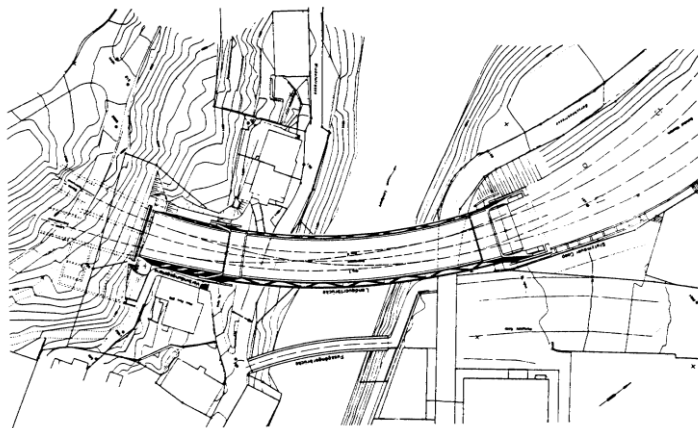


# 7. Bahnhof – bahnbetriebliche Anpassung

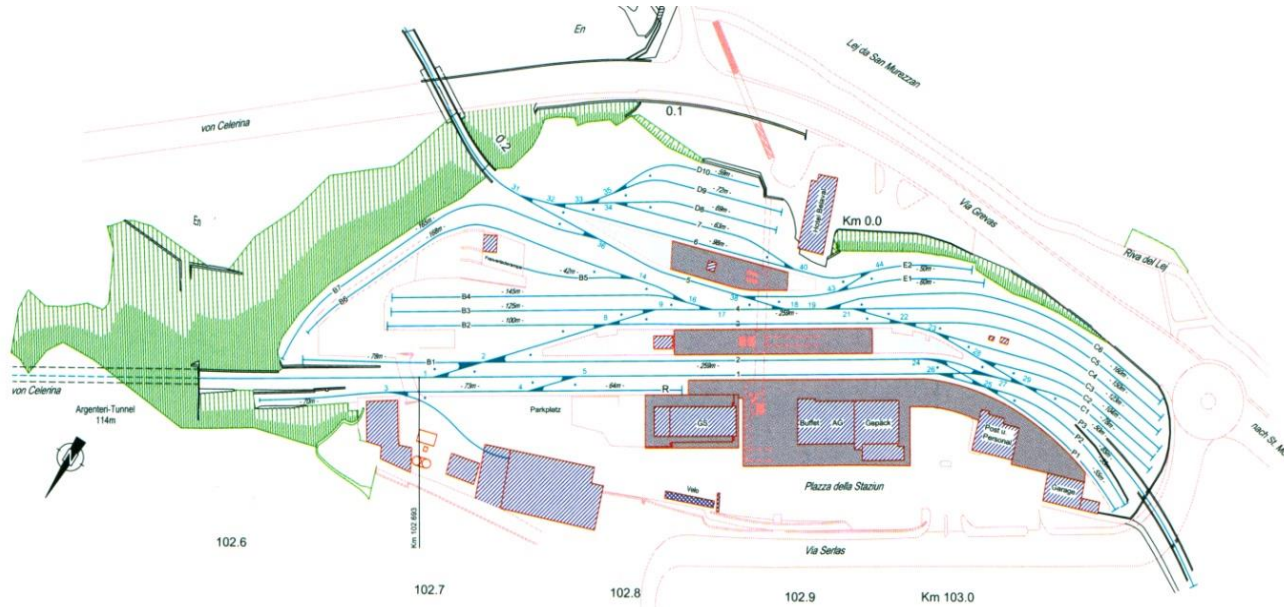


## Fallbeispiel Klosters (RhB)

- Kopfbahnhof/Spitzkehre bei Dampftraktion (Lokwechsel)
- E-Traktion gestattet Zwischenbahnhof
- Trennungsbahnhof für Vereina-Linie
- (Brücken)Überbau in Überhöhung

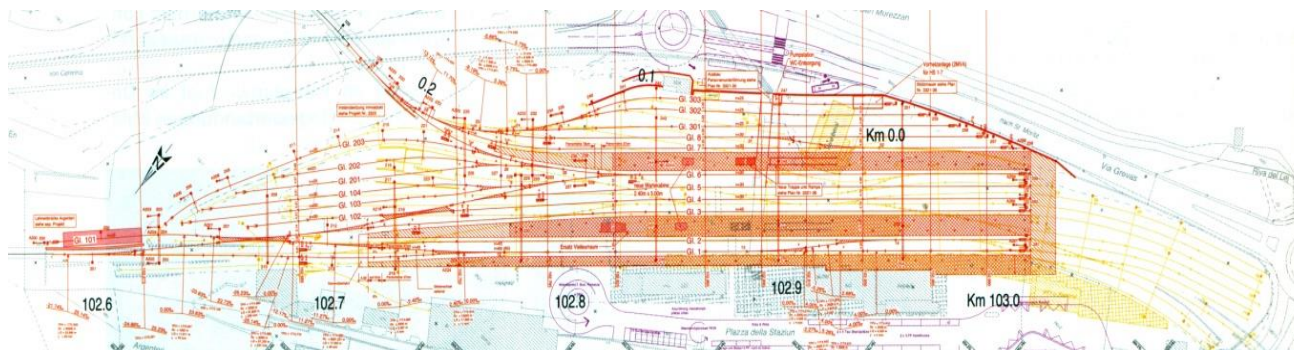


# 7. Bahnhof – Anpassung an Traktion und Zugbildung



## St.Moritz (RhB)

- 100jährige Option der Linienverlängerung
  - ▶ Endbahnhof in Durchgangsform
- Systemwechselbahnhof Albulabahn (AC) + Berninabahn (DC)
- bedeutende Traktionsentwicklung
- Taktverkehr



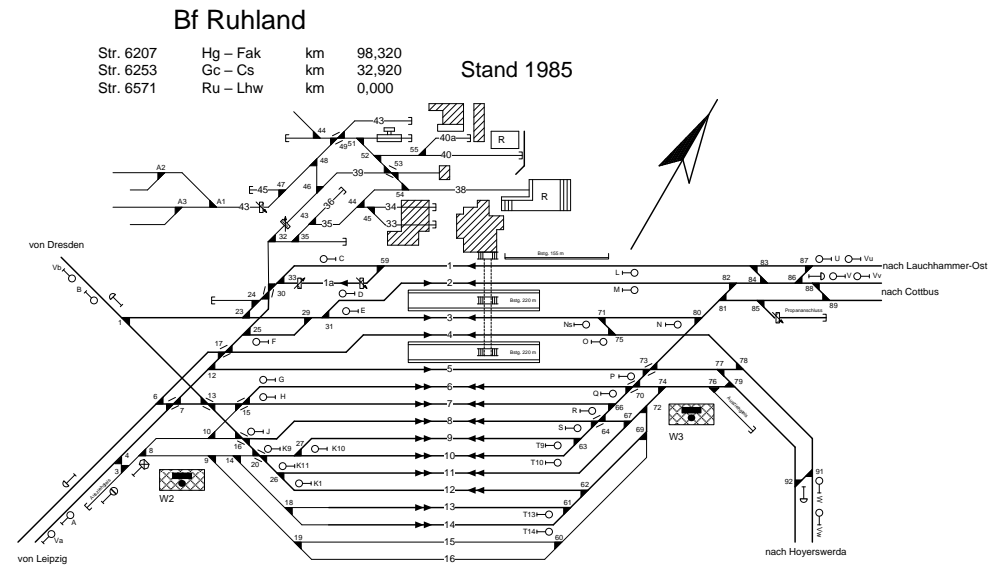
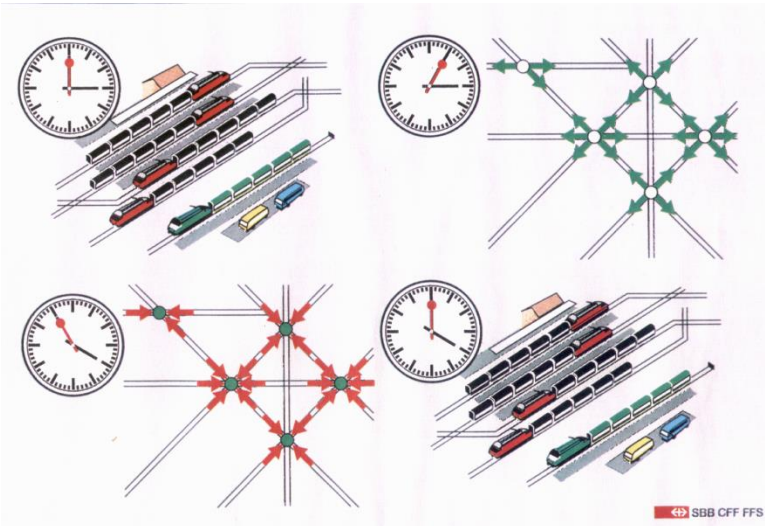
- neu 2015: Umbau Endbahnhof in Kopfform
- Wende- / Triebzüge
- erweiterte Nutzlängen



## St.Moritz (RhB)

- 100jährige Option der Linienerläuterung  
▶ Endbahnhof in Durchgangsform
- Systemwechselbahnhof Albulabahn (AC) + Berninabahn (DC)
- bedeutende Traktionsentwicklung
- Taktverkehr
  
- neu 2015:  
Umbau Endbahnhof in Kopfform
- Wende-/Triebzüge
- erweiterte Nutzlängen

# 7. Bahnhof – Anpassung an Integralen Taktfahrbahn



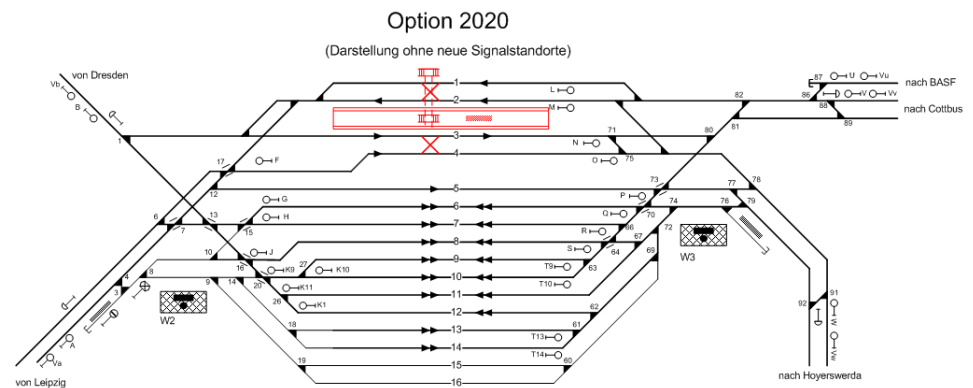
© BTU 2012, Prof. Thiel

## ITF öV Schweiz

- Korrespondenzhalt aller Verkehrsmitteln an einer Verkehrsstation (Knoten) + Stationsausbau
- opt. Fahrgeschwindigkeit und verkehrlich begründeter Infrastrukturausbau (Kante)

## ITF-Knoten Ruhland (SN/BB)

- Option 2020 mit Infrastrukturminimum und max. Fahrgastnutzen
- tatsächl. Dilemma EP/AP ohne VEP kein volkwirt./verkehrl. Optimum



© BTU 2012, Prof. Thiel

# 8. Literatur




- **Eberhard Jänsch u. a. (Hrsg.):** Handbuch - Das System Bahn  
3. Auflage 2021, revidierte Ausgabe
- **Matthews, Volker; Menius, Reinhard:** Bahnbau und Bahninfrastruktur.  
10., überarb. u. akt. Aufl. 2020, Vieweg+Teubner
- **Jochim, Haldor; Lademann, Frank:** Planung von Bahnanlagen.  
Grundlagen - Planung - Berechnung. 2. Aufl., 2017, Hanser Fachbuchverlag
- **Freystein, Hartmut; u.a.:** Handbuch für das Entwerfen von Bahnanlagen  
3. Aufl., rev. Ausg, Verlag Eurailpress Hamburg 2015
- **Obergrießer, Mathias:** Digitale Werkzeuge zur integrierten  
Infrastrukturbauwerksplanung. Am Beispiel des Schienen- und  
Straßenbaus. 2017, Springer, Berlin

- 
- **Periodika:**
    - ZEVrail - Glasers Annalen
    - EI ... Eisenbahn-Ingenieur
    - ETR ... Eisenbahntechnische Rundschau
    - EIK ... Eisenbahn Ingenieur Kompendium [ex Kalender]
    - S+D Signal+Draht









# 8. Literatur

https://www.b-tu.de/owncloud/apps/files/?dir=/Transfer\_DMG\_Seminar&fileid=96141166



- Alle Dateien
- Neueste
- Favoriten
- Freigaben
- Tags
- Geteilt mit Kreisen

Transfer\_DMG\_Seminar + Neu

<input type="checkbox"/>	Name
<input type="checkbox"/>	 0-2BegriffeAbk.pdf
<input type="checkbox"/>	 0-3Zeichnung.pdf
<input type="checkbox"/>	 0-4Zeichnung historisch.pdf
<input type="checkbox"/>	 0-5Hinweise.pdf
<input type="checkbox"/>	 0-7WortschatzDE.pdf
<input type="checkbox"/>	 0-8GeschichteDaten.pdf
<input type="checkbox"/>	 0-9Personen.pdf
<input type="checkbox"/>	 Eisenbahnwesen_Literatur.pdf

# Kontakt Daten



Prof. Dr.-Ing. Hans-Christoph Thiel  
ex BTU Cottbus-Senftenberg, Lehrstuhl Eisenbahnwesen

Fon +49 351 30928155

[www.b-tu.de/fg-eisenbahn](http://www.b-tu.de/fg-eisenbahn) / [hc.thiel@b-tu.de](mailto:hc.thiel@b-tu.de)



<https://www.vue-rail.de/>

