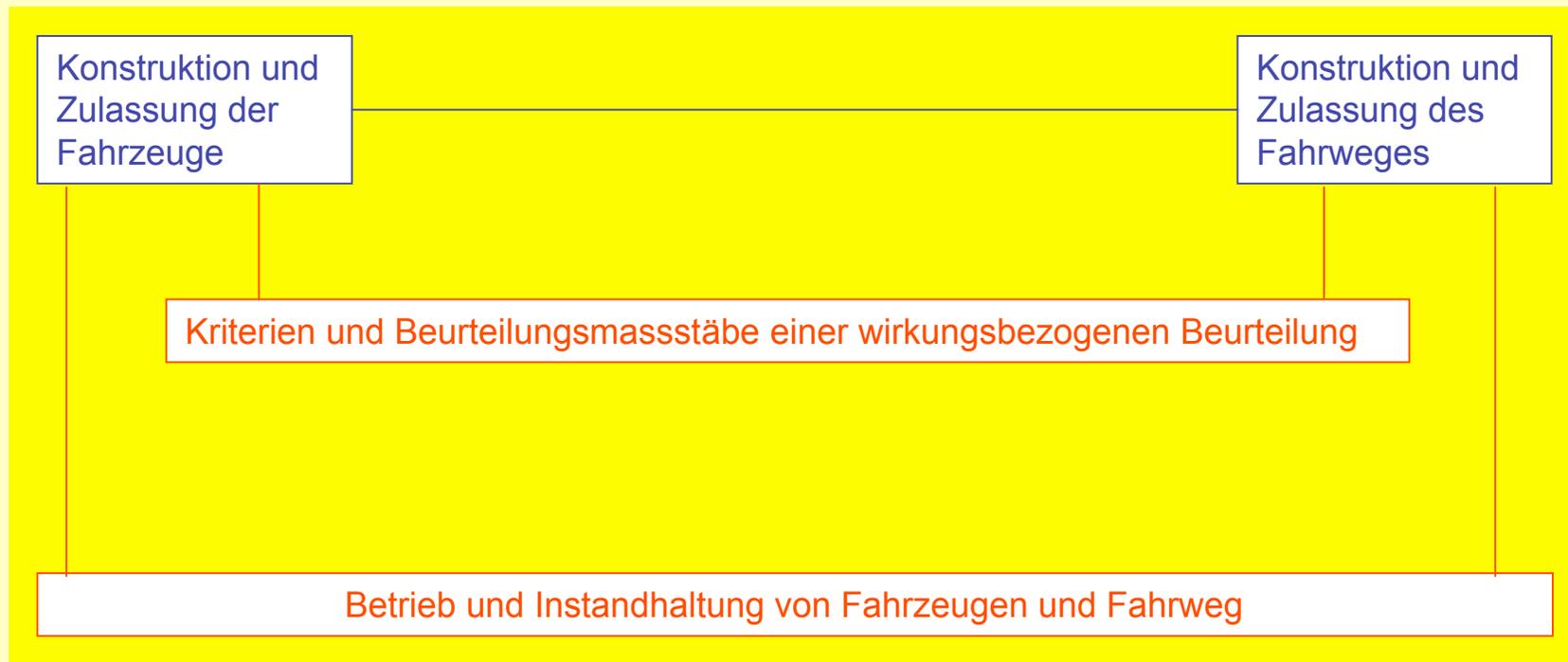


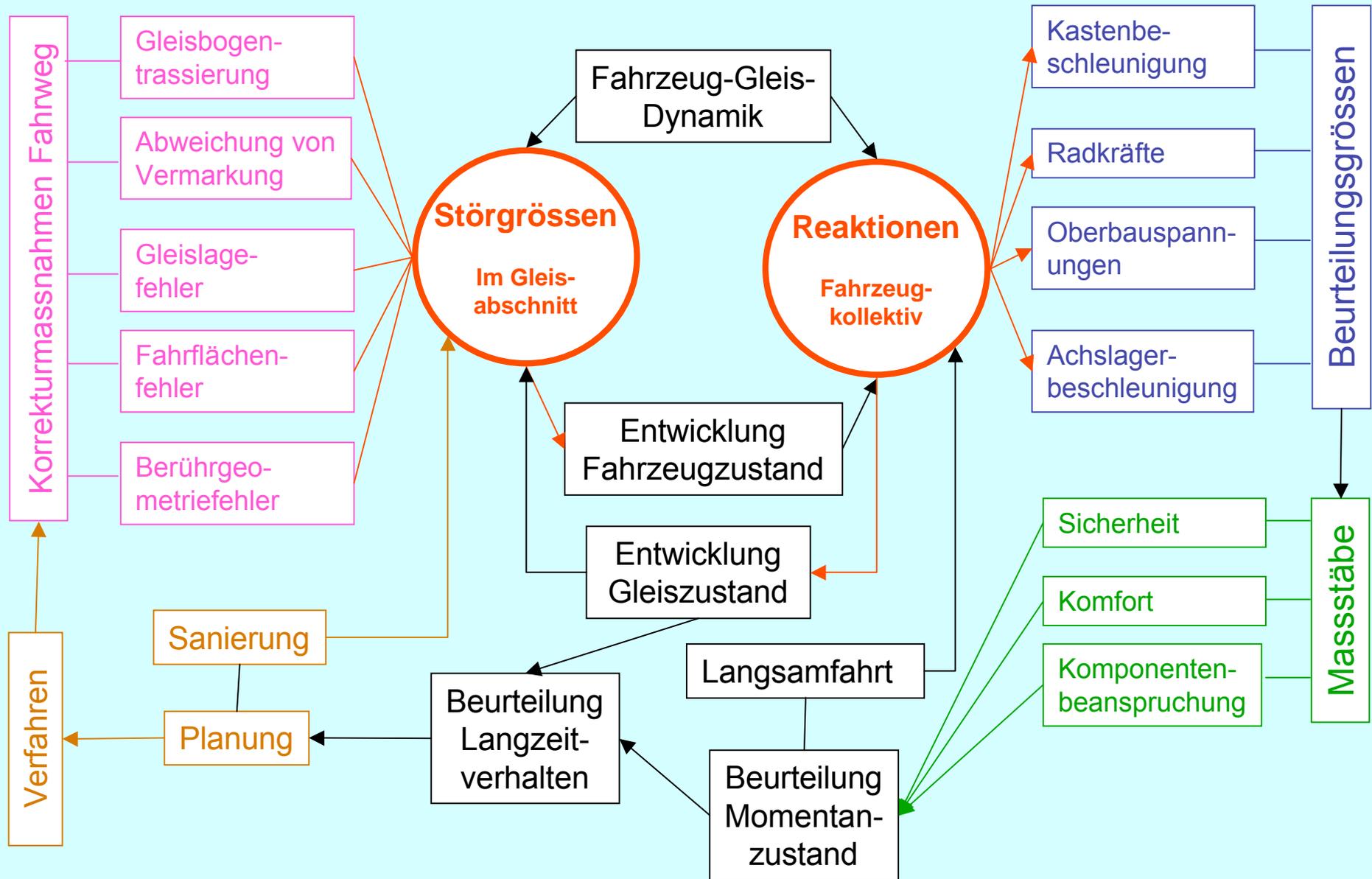
Fahrtechnische Prüfungen

Zusammenwirken von Fahrzeug und Fahrweg

Die Gleis- und Fahrzeuginstandhaltung muss die Einhaltung von Grenzwerten im Hinblick auf Sicherheit, Komfort und Komponentenbeanspruchung gewährleisten. Dies ist aber nur möglich, wenn bei der Konstruktion und Zulassung der Fahrzeuge und des Oberbaus ein entsprechender Abnutzungsvorrat sichergestellt ist.



Konzept der Gleisinstandhaltung



➔ Fahrbahnqualität als wichtige Einflussgrösse auf das Fahrzeugverhalten

Zulassungsarten für Fahrzeuge

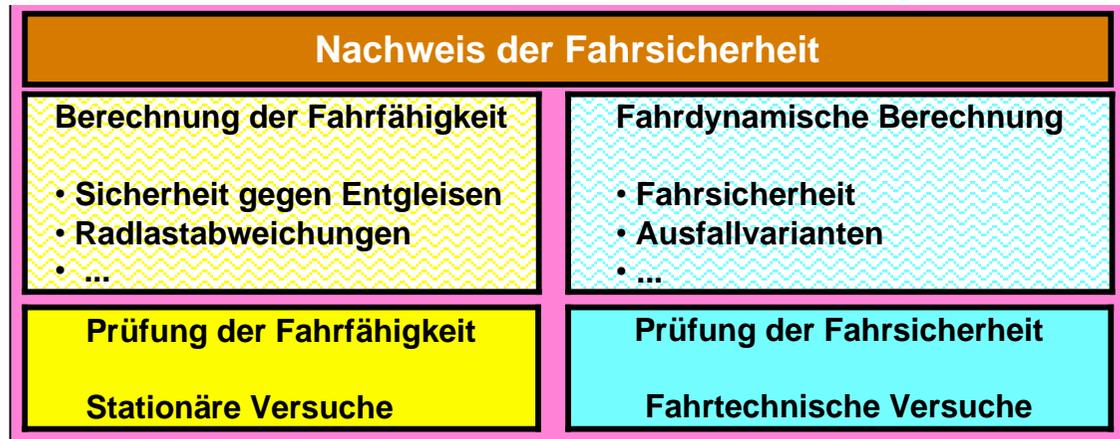
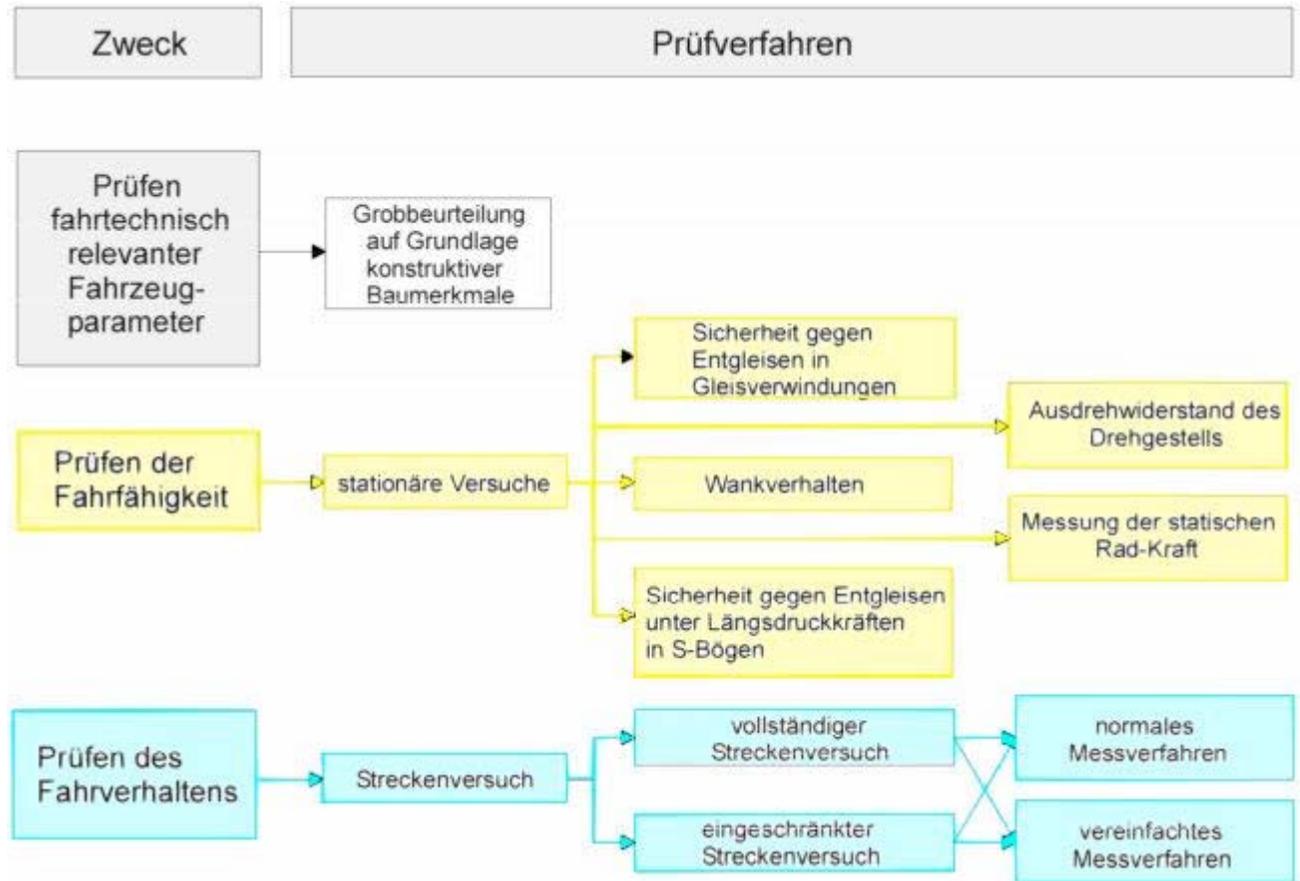
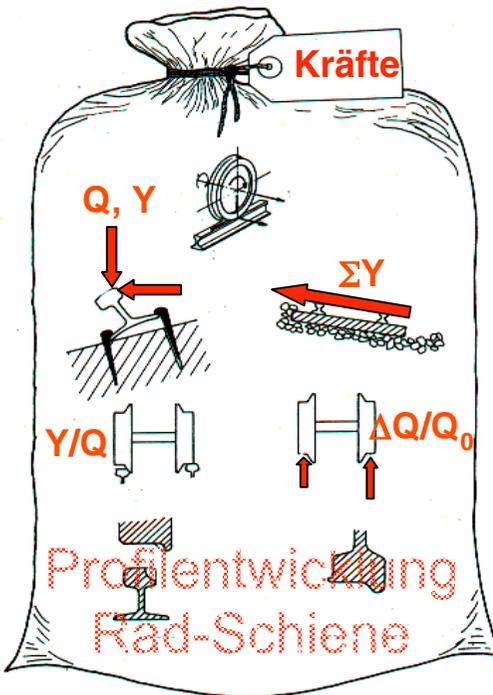
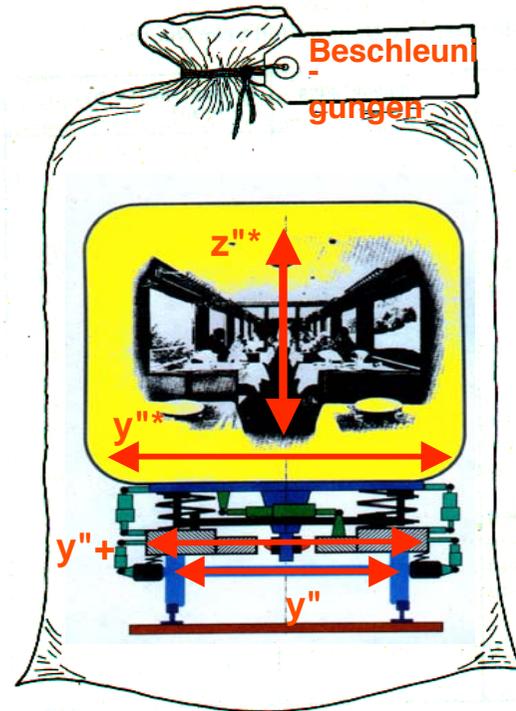
Internationale Zulassung - Netzzulassung - Streckenzulassung



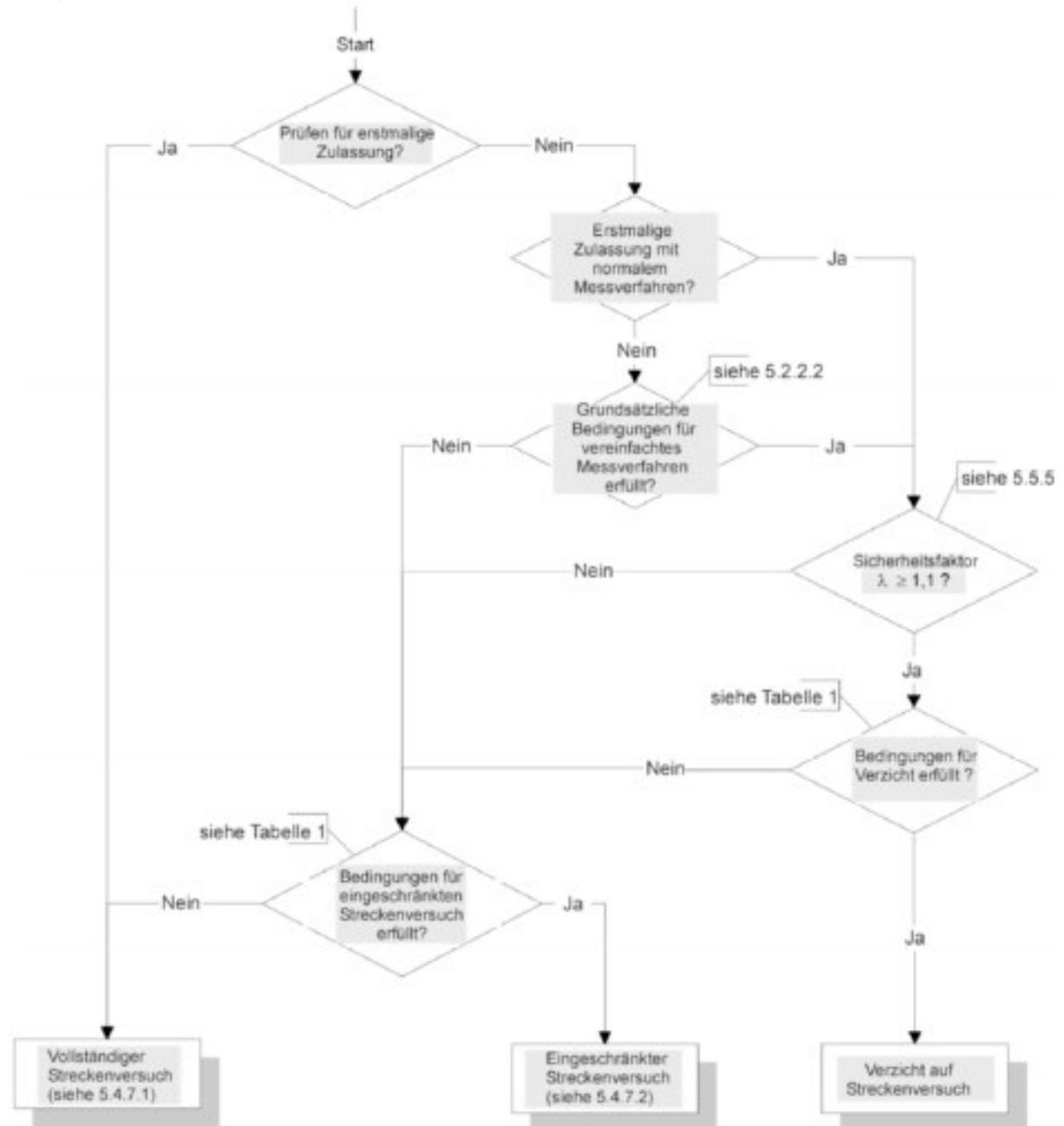
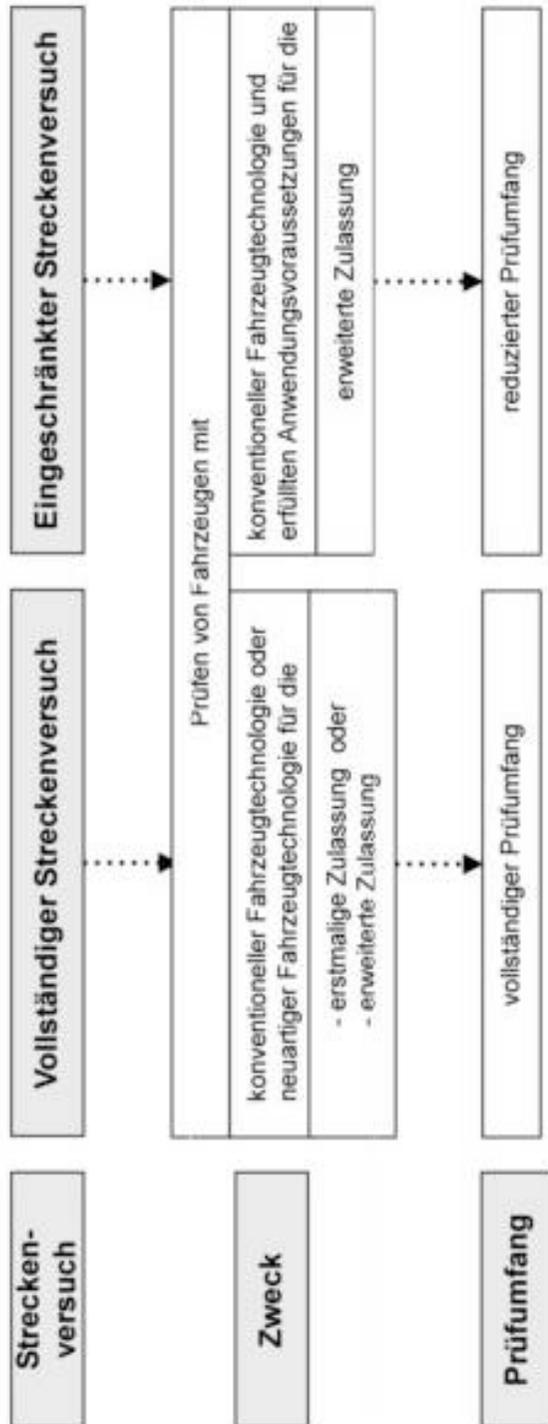
Fahrtechnik: Anerkannte Regeln der Technik



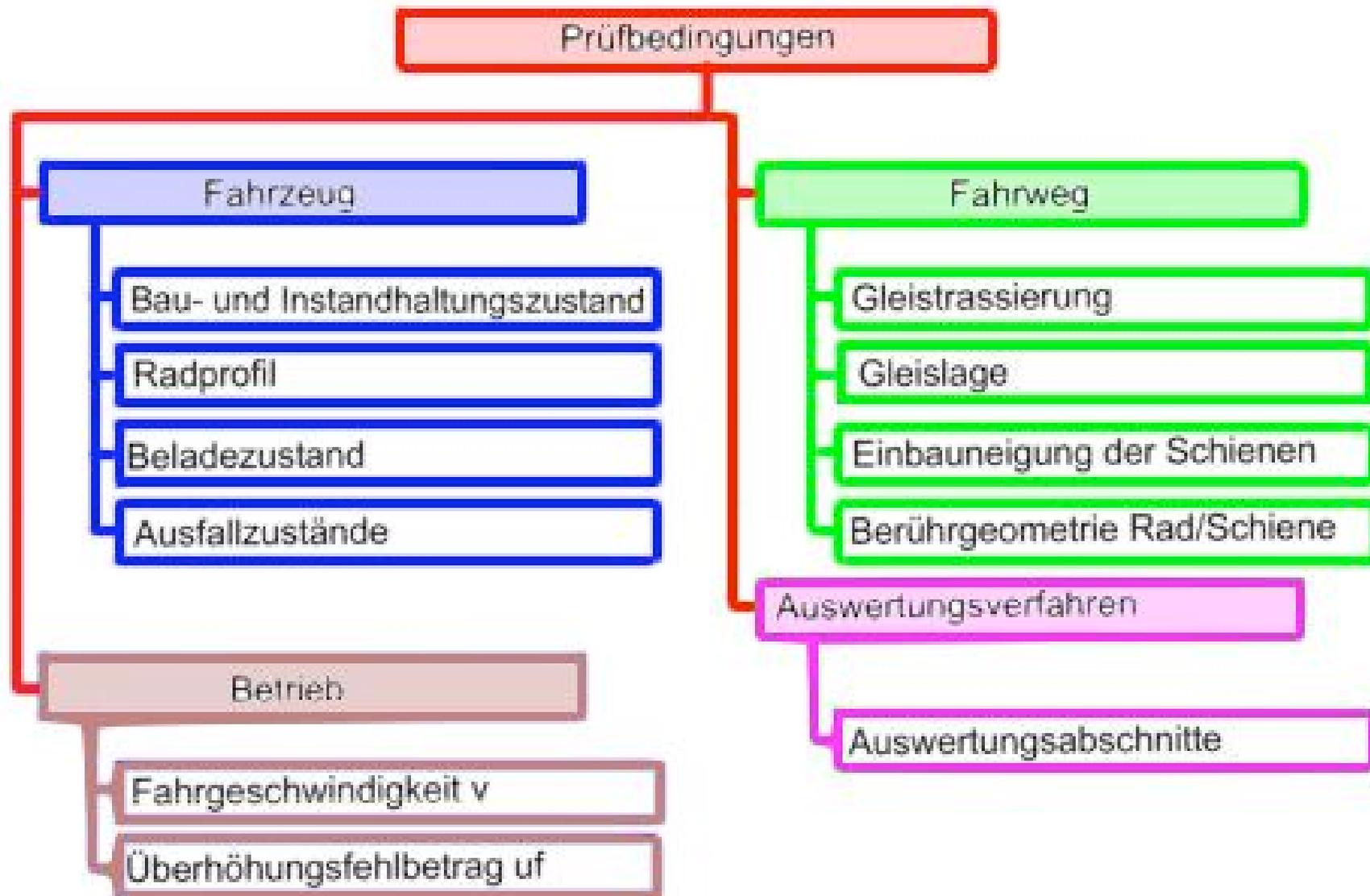
Struktur der Versuchselemente nach EN 14363



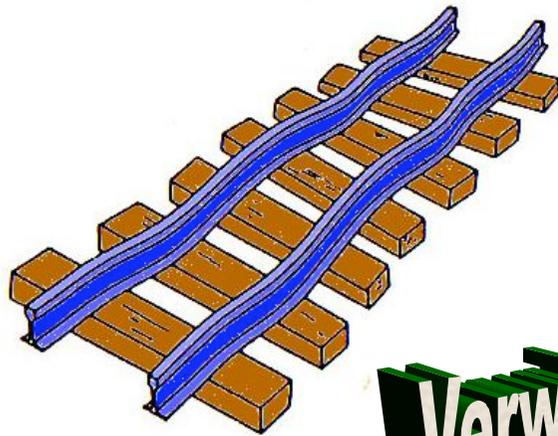
Prinzipien für Streckenversuche nach EN 14363



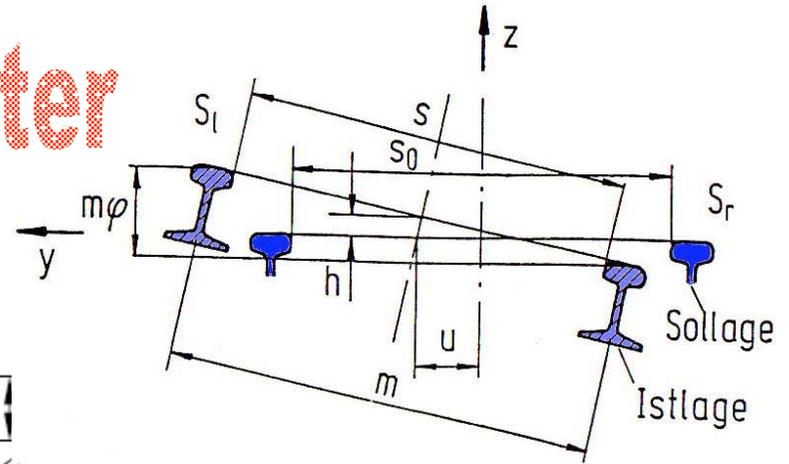
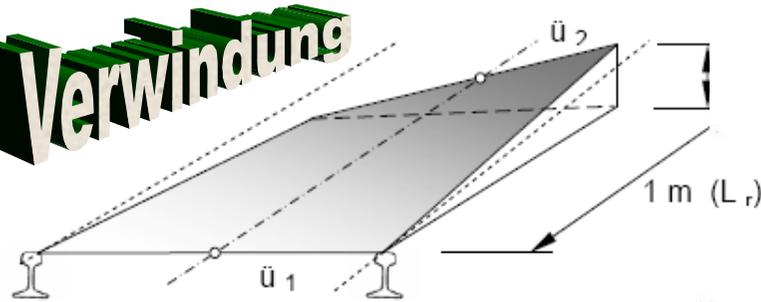
Gliederung der Prüfbedingungen nach EN 14363



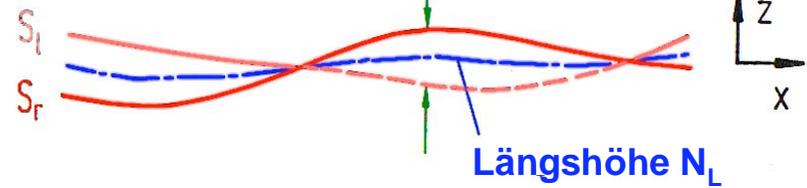
Gleisparameter



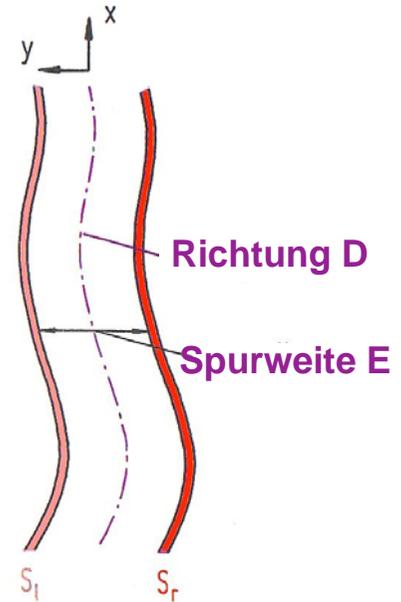
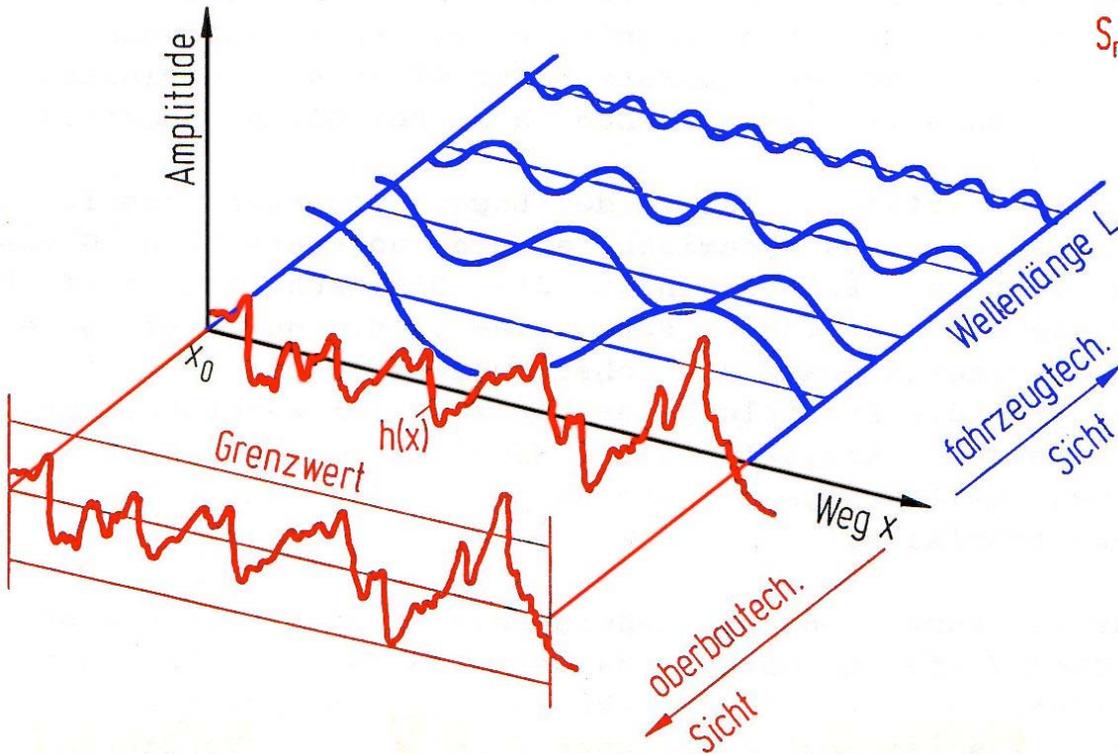
Verwindung

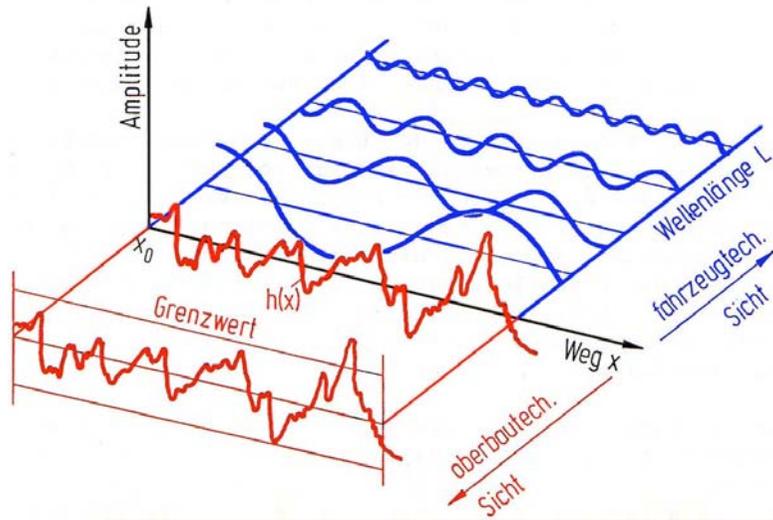


gegenseitige Höhe $m\varphi$



Längshöhe N_L



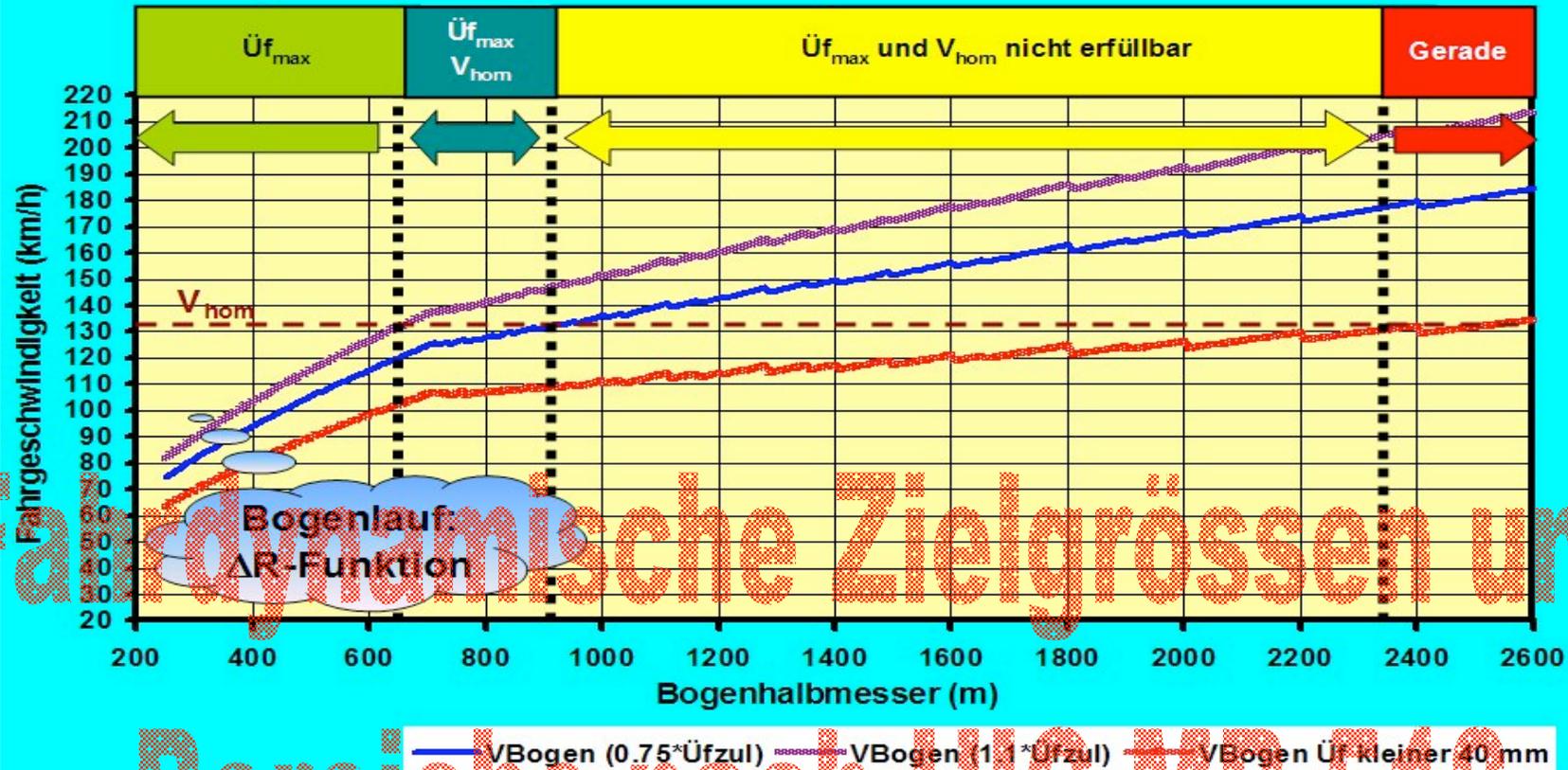


Qualitätsniveaus der Gleislage

Nach EN 14363 nur aus oberbau-technischer Sicht festgelegt

| Örtlich zulässige Geschwindigkeit in km/h | Richtung | | Längshöhe | |
|--|----------------------------------|------|-----------|------|
| | Werte des Qualitätsniveaus in mm | | | |
| | QN 1 | QN 2 | QN 1 | QN 2 |
| Absoluter Größtwert Δy_{\max}^0 und Δz_{\max}^0 (Mittelwert bis Spitze) | | | | |
| $V \leq 80$ | 12 | 14 | 12 | 16 |
| $80 < V \leq 120$ | 8 | 10 | 8 | 12 |
| $120 < V \leq 160$ | 6 | 8 | 6 | 10 |
| $160 < V \leq 200$ | 5 | 7 | 5 | 9 |
| $200 < V \leq 300$ | 4 | 6 | 4 | 8 |
| Standardabweichung Δy_{\square}^0 und Δz_{\square}^0 | | | | |
| $V \leq 80$ | 1,5 | 1,8 | 2,3 | 2,6 |
| $80 < V \leq 120$ | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2,1 |
| $120 < V \leq 160$ | 1,0 | 1,3 | 1,4 | 1,7 |
| $160 < V \leq 200$ | 0,8 | 1,1 | 1,2 | 1,5 |
| $200 < V \leq 300$ | 0,7 | 1,0 | 1,0 | 1,3 |

Klassifizierung der Trassierung aufgrund der fahrdynamischen Zielgrößen für z. B. V_{max} 120 km/h



| Bereich | Geschwindigkeit | Überhöhungsfehlbetrag | Anzahl Versuchsabschnitte | Länge Versuchsabschnitt |
|--|--------------------------------------|--|---|--|
| Geraden und Bögen mit sehr grossen Radien | $V = 1.1 \cdot V_{zul}$ | $\dot{U}_f \leq 40 \text{ mm}$ | $N \geq 25$ | $l = 250 \text{ m}$ für $V_{zul} \leq 220 \text{ km/h}$ $l = 500 \text{ m}$ für $V_{zul} > 220 \text{ km/h}$ |
| Bögen mit grossen Radien | $V_{zul} < V \leq 1.1 \cdot V_{zul}$ | $0.75 \cdot \dot{U}_{fzul} \leq \dot{U}_f \leq 1.1 \cdot \dot{U}_{fzul}$ $\dot{U}_f = 1.1 \cdot \dot{U}_{fzul}$ | $N_1 \geq 25$ $N_2 \geq 0.2 \cdot N_1$ | $l = 100 \text{ m}$ für $V_{zul} \leq 140 \text{ km/h}$ $l = 250 \text{ m}$ für $V_{zul} \leq 220 \text{ km/h}$ $l = 500 \text{ m}$ für $V_{zul} > 220 \text{ km/h}$ |
| Bögen mit kleinen Radien ($400 \text{ m} \leq R < 600 \text{ m}$) | - | $0.75 \cdot \dot{U}_{fzul} \leq \dot{U}_f \leq 1.1 \cdot \dot{U}_{fzul}$ $\dot{U}_f = 1.1 \cdot \dot{U}_{fzul}$ | $N_1 \geq 50$ $N_2 \geq 0.2 \cdot N_1$ | $l = 100 \text{ m}$ |
| Bögen mit kleinen Radien ($250 \text{ m} \leq R < 400 \text{ m}$) | - | $0.75 \cdot \dot{U}_{fzul} \leq \dot{U}_f \leq 1.1 \cdot \dot{U}_{fzul}$ $\dot{U}_f = 1.1 \cdot \dot{U}_{fzul}$ | $N_1 \geq 50$ $N_2 \geq 0.2 \cdot N_1$ | $l = 70 \text{ m}$ |

Instrumente - Kriterien - Verfahren für die fahrtechnische Prüfung



Bögen

Fahrtechnisches Verhalten von
Güterwagen unter besonderer
Berücksichtigung
der Berührung Rad/Schiene

UIC-Merkblatt 518

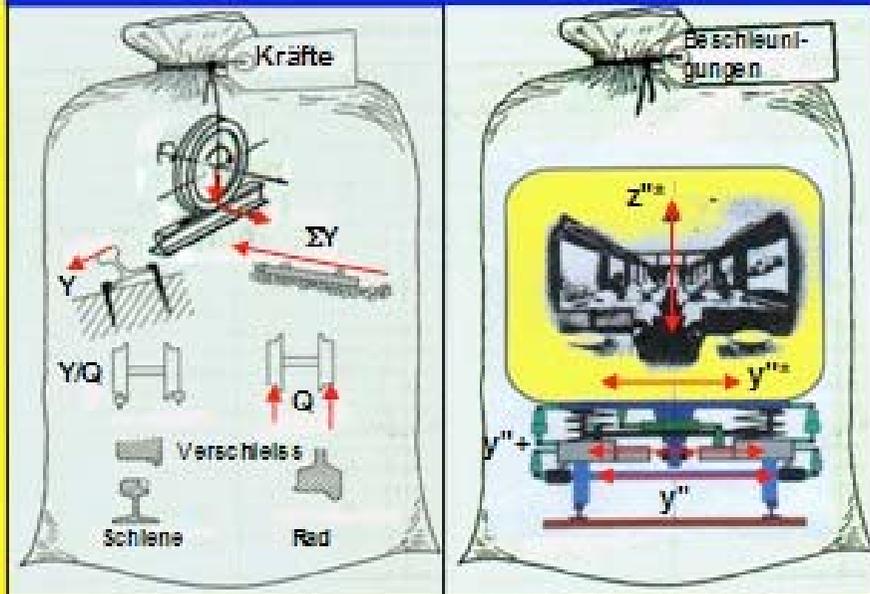


Geraden

Beurteilungsinstrumente

- Messradsätze
- H-Kraftbolzen
- Beschleunigungsaufnehmer
- Wegmesser
- Statistische Methoden

Beurteilungskriterien



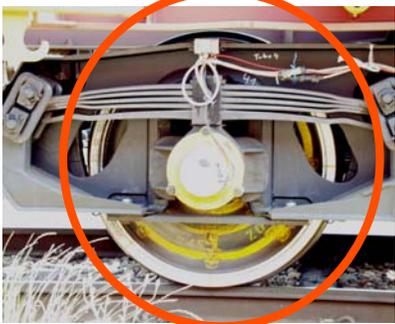
Verfahrensweisen

- Prüfungsbefreiung
- Vollständige Prüfung
- Vereinfachte Prüfung
- Ergänzende Prüfung

Sensoren zur Überprüfung der Aspekte der Fahrsicherheit

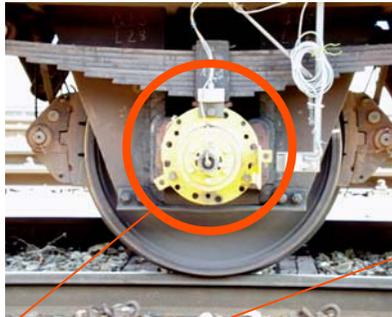
Normales Verfahren

- Messradsätze
Kräfte R/S
- Beschleunigungen
Fahrzeugkasten



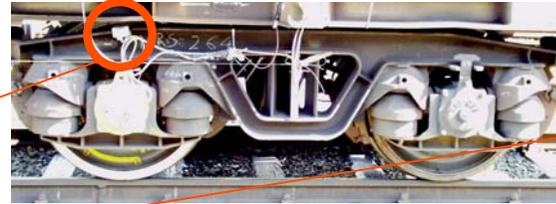
Vereinfachte Verfahren

- H-Kräfte
- Beschleunigungen
Fahrzeugkasten



Beschleunigungen

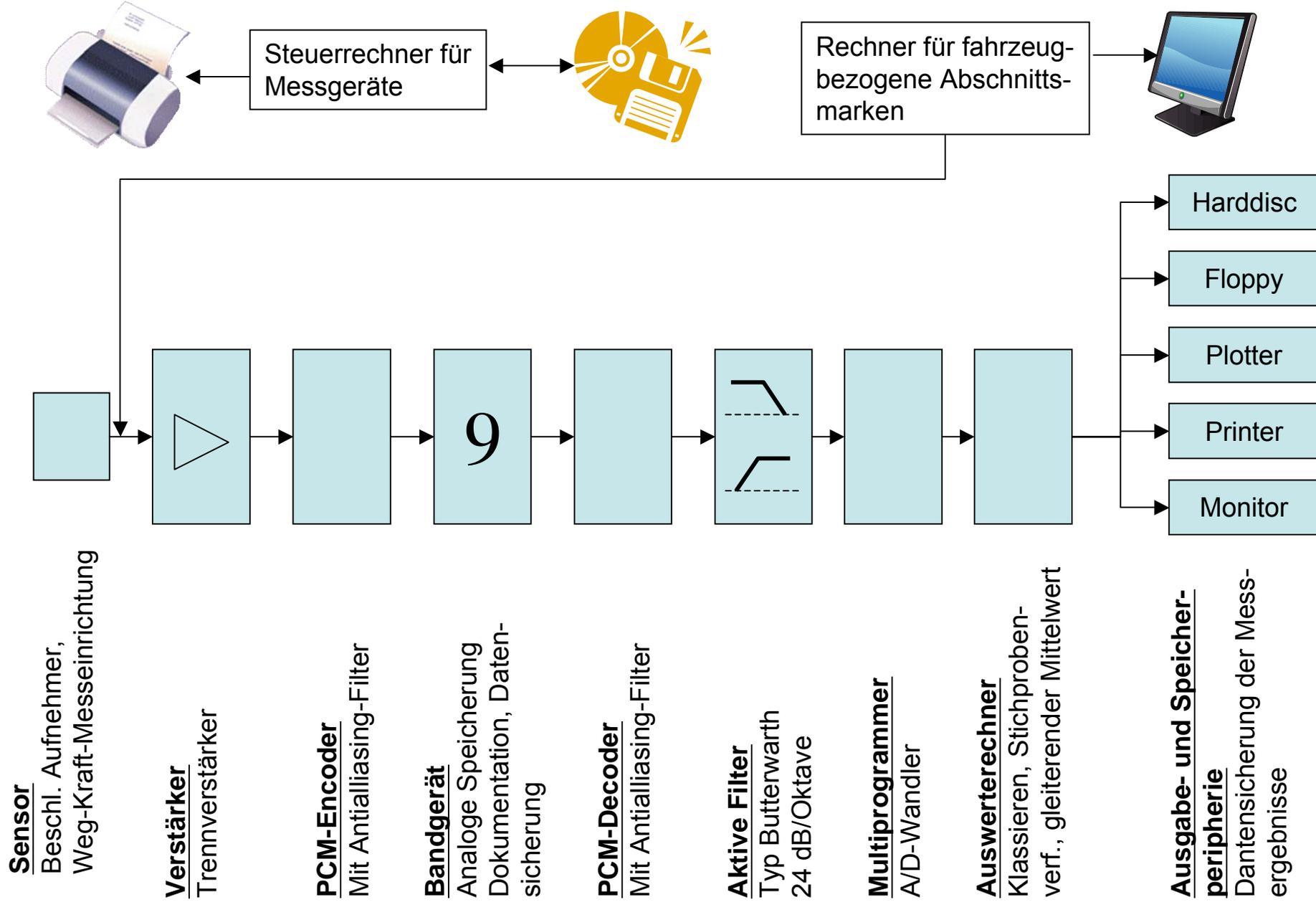
- Fahrzeuge mit
Drehgestellen
- Kasten
- DG-Rahmen



- Fahrzeuge mit
Einzelradsätzen
- Kasten
- Radsatzlager



Prinzipielles Messschema für fahrtechnische Versuche

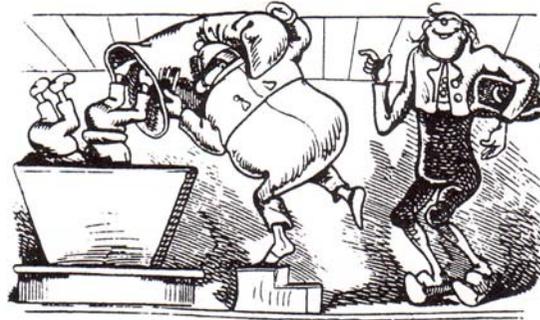


Umwandlung und Abtastung von Messsignalen

Max und Moritz, frei nach W. Bush



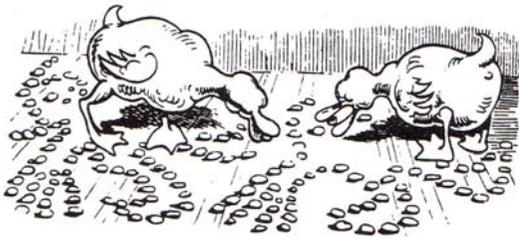
«Meister Müller, he heran!
Mahl er das, so schnell er kann!»



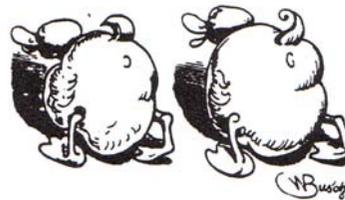
«Her damit!» Und in den Trichter
Schüttelt er die Bösewichter.



Rickerack! Rickerack!
Geht die Mühle mit Geknacke.

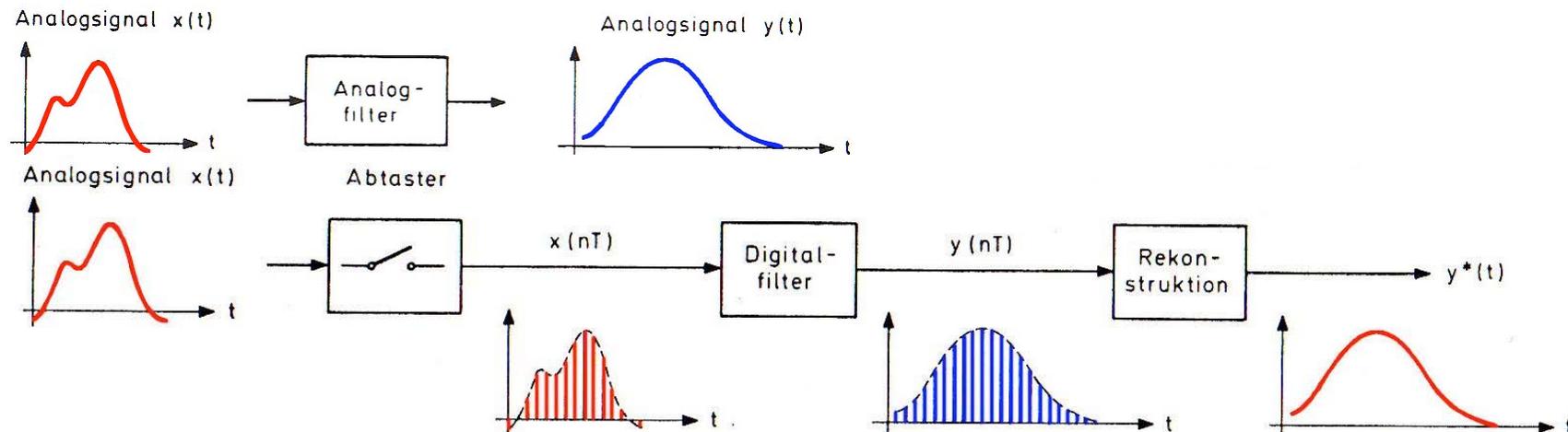


Hier kann man sie noch erblicken
fein geschrotet und in Stücken.

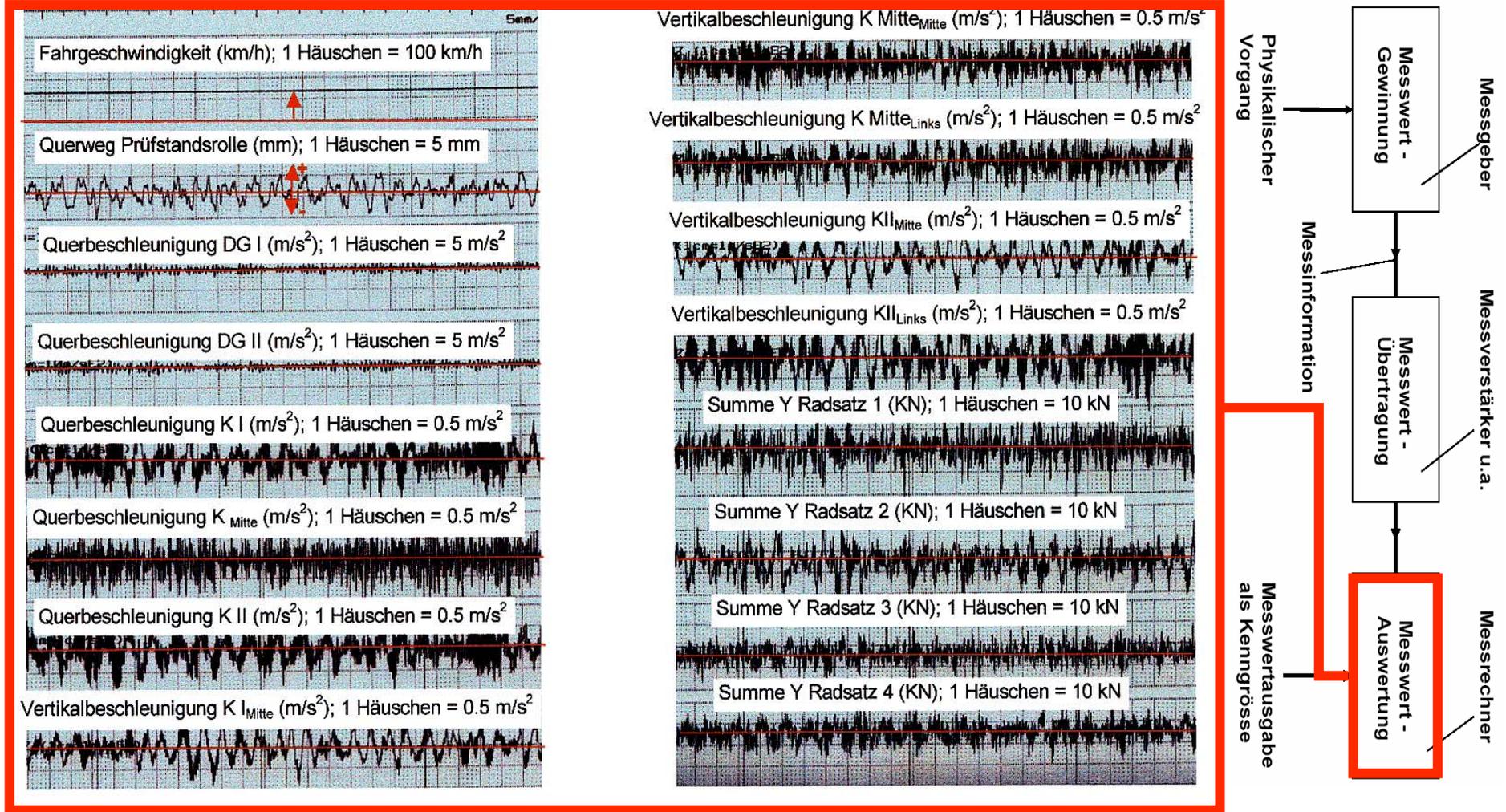


Doch sogleich verzehret sie
Meister Müllers Federvieh.

„Max und Moritz wurden so fein gemahlen, dass ihre ehemalige Gestalt auch im „abgetasteten“ Zustand noch erkennbar war“

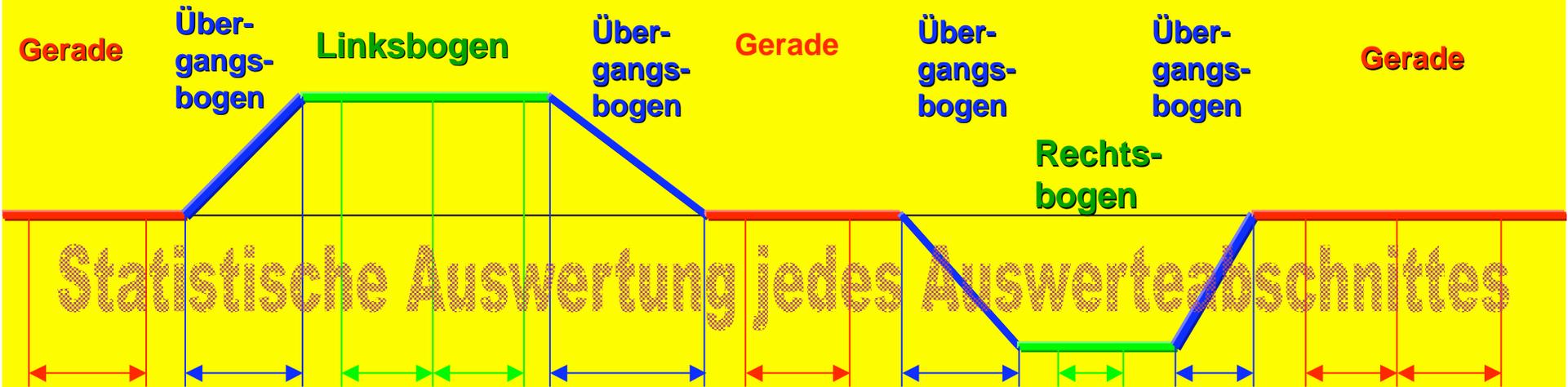


Analogschriebe verschiedener Beurteilungsgrößen auf gerader Strecke



Messgrößen werden mit Signalen übertragen. Man definiert ein Signal als den Träger einer Information. Die durch Signale übertragenen Messinformationen werden zur Prozessidentifizierung oder zur Prozesskontrolle benutzt. Es besteht die Aufgabe, Gütekriterien zur Prozessidentifizierung oder zur Prozesskontrolle in Form von Kenngrößen zu erhalten. Kenngrößen werden mit statistischen Methoden aus den Analogsignalen ermittelt.

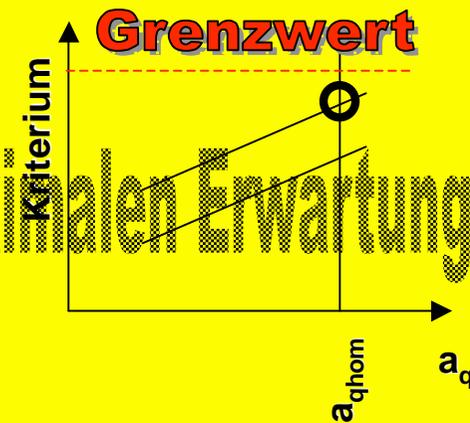
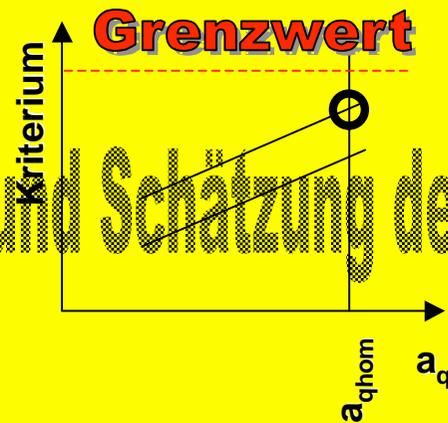
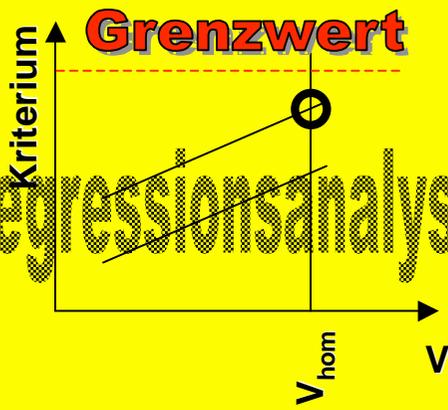
Fahrtechnische Zulassungsprüfung nach UIC-Merkblatt 518




 Auswerteabschnitte
 Geraden


 Auswerteabschnitte
 Übergangsbögen


 Auswerteabschnitte
 Vollbögen



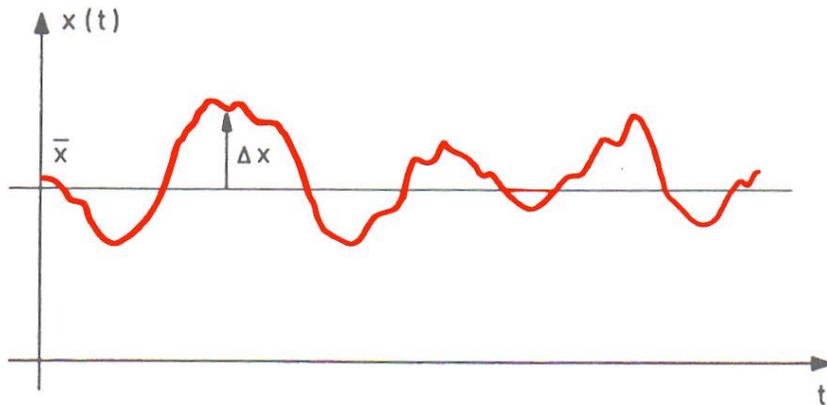
Regressionsanalyse und Schätzung des maximalen Erwartungswertes

Fahrzeugbezogene Streckenzulassung unter realen Betrieb

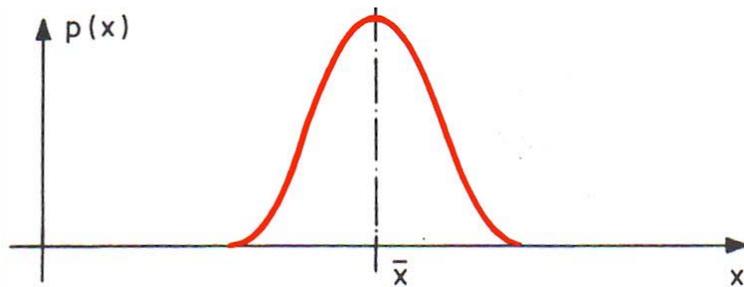


- Strecke wird unabhängig von der Trassierung kontinuierlich in Abschnitte gleicher Länge unterteilt
- Jeder Abschnitt wird für alle interessierenden Beurteilungsgrößen statistisch ausgewertet
- Die Überschreitungen werden in einer Tabelle mit dem genauen Ort derselben festgehalten

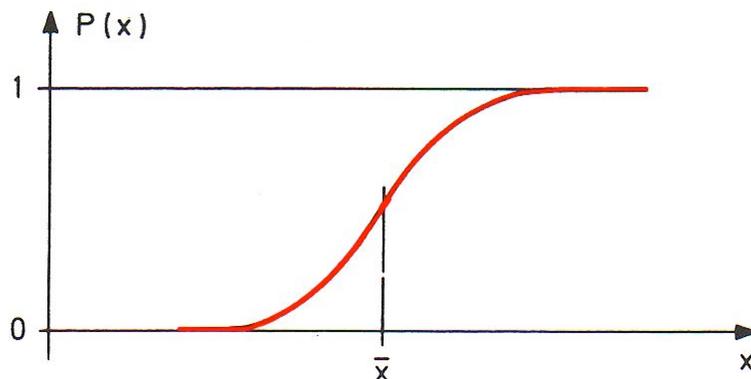
Definition einiger statistischer Parameter von Signalen



Ein beliebiges Signal kann durch die Überlagerung eines Mittelwertes \bar{x} und einer Abweichung Δx dargestellt werden.



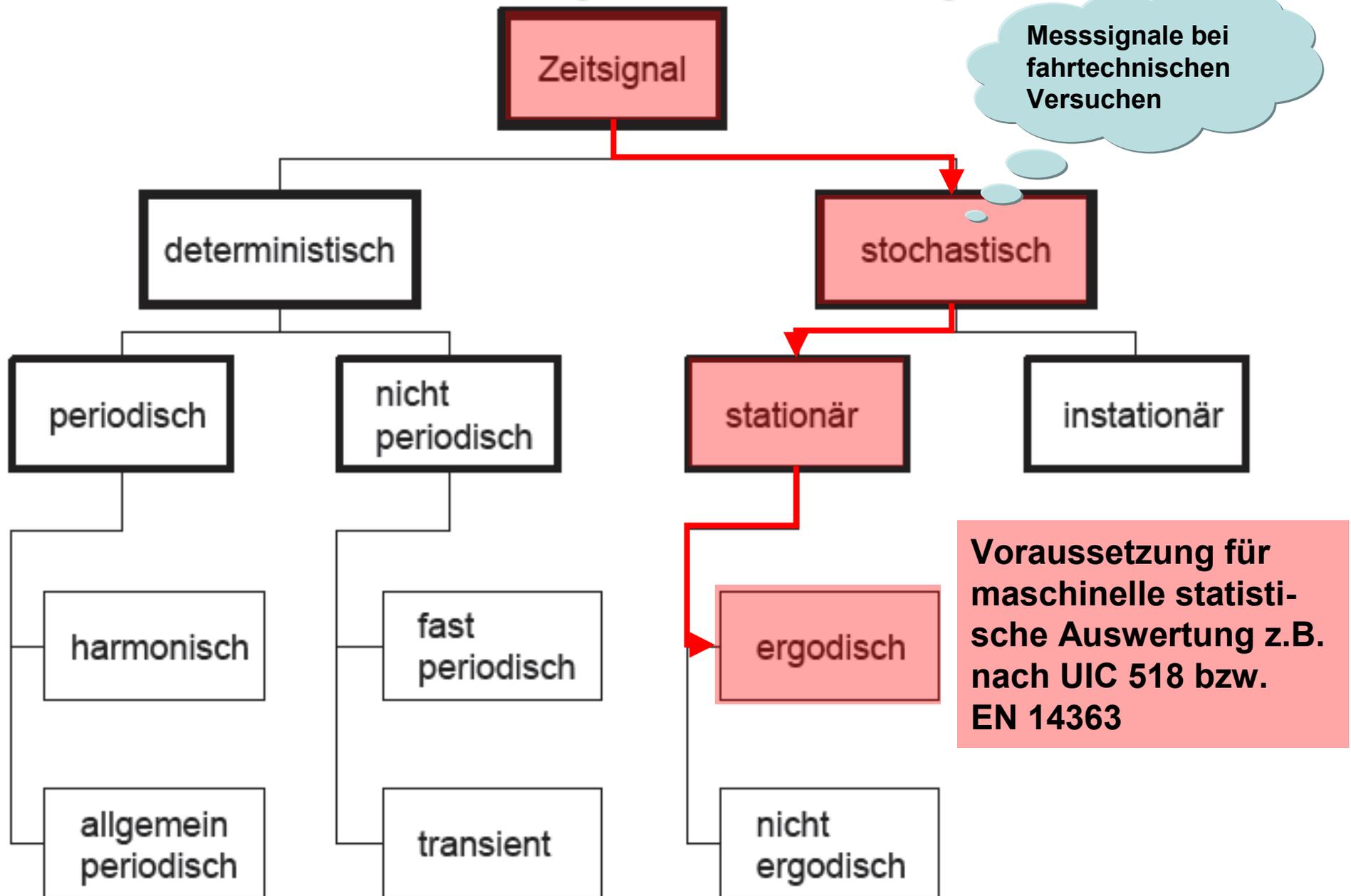
$p(x)$ ist die Dichtefunktion des Signals $x(t)$



Die Verteilungsfunktion oder Summenwahrscheinlichkeit $P(x)$ ist das Integral von $p(x)$ über x definiert

$$P(x) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx$$

Klassifizierung von Zeitsignalen



Stationäre Zufallsprozesse

Für die Schätzung statistischer Parameter spielt der Begriff der Stationarität eine wichtige Rolle. Als stationär wird ein Prozess dann angesehen, wenn die statistischen Eigenschaften des Prozesses nicht von der Zeit abhängen. Stationäre Prozesse sind unempfindlich gegenüber Zeitverschiebungen. Diese Eigenschaften von Messsignalen aus fahrtechnischen Untersuchungen werden dann erzielt, wenn die Ergebnisse verschiedenen Klassen zugeordnet werden, wie zum Beispiel:

- Klassierte Bogenhalbmesser (kleine, mittlere, grosse, sehr grosse),
- Klassen der unausgeglichene Querbeschleunigungen auf Gleisebene,
- Geschwindigkeitsklassen,
- Klassen in Abhängigkeit der Grösse der Gleislageabweichungen,

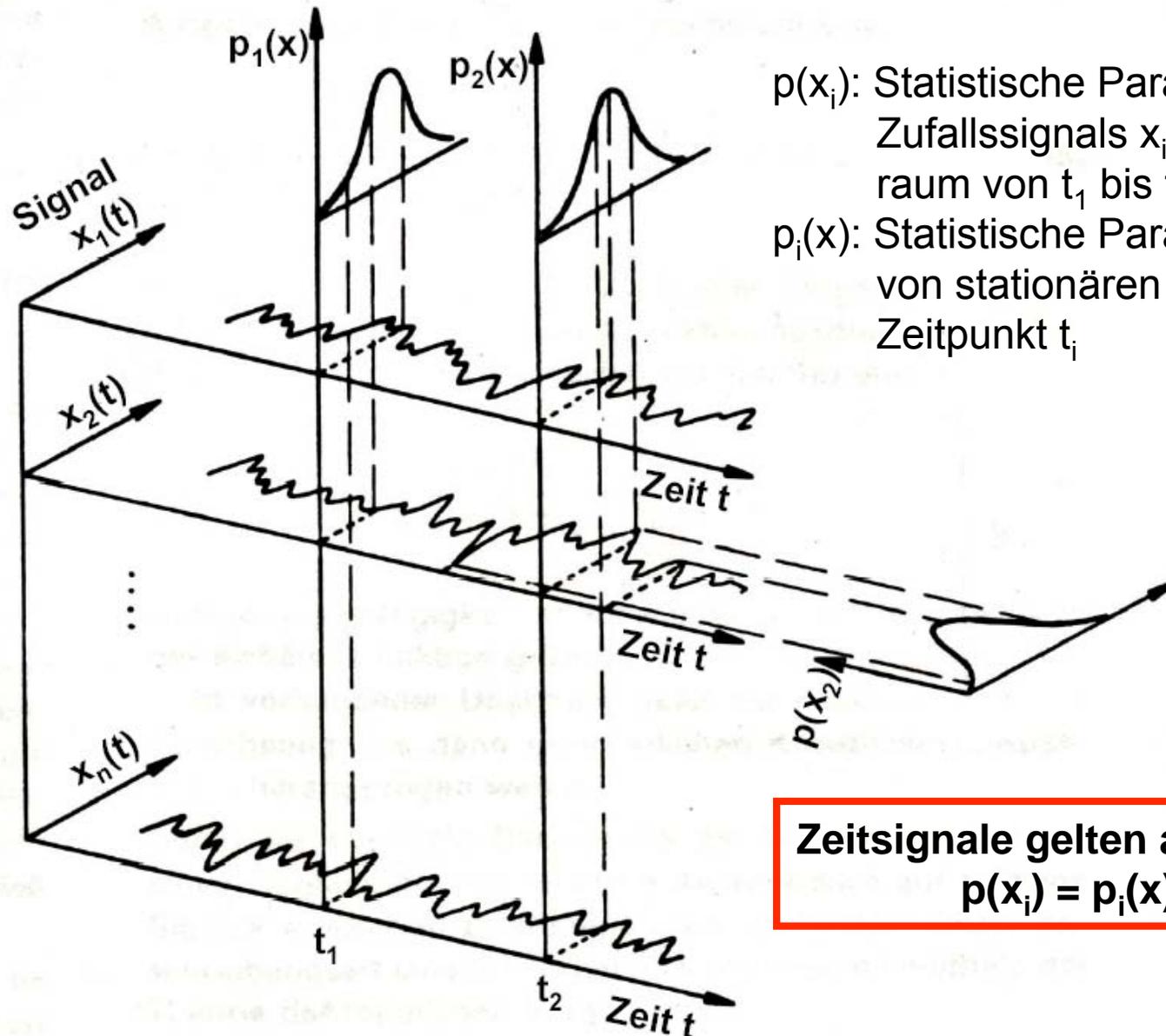
Instationäre Zufallsprozesse

Ändern sich die statistischen Eigenschaften eines Signals mit der Zeit, dann redet man von einem instationären Signal. In gewissen Fällen ändern sich die statistischen Eigenschaften nur langsam. Solche Signale werden als quasistationär bezeichnet. Beispiele von instationären Vorgängen sind:

- die Fahrt durch die Übergangsbögen, wo sich Überhöhung und Bogenhalbmesser bei Ein- und Ausfahrt verändern,
- die Fahrt über den ablenkenden Strang der Weichen,
- die Fahrt über vereinzelte diskrete Gleislagefehler.

Ergodizität bei einem Zufallssignal

Darstellung einer Anzahl Realisierungen eines Zufallsprozesses



$p(x_i)$: Statistische Parameter des stationären Zufallssignals $x_i(t)$ im Beobachtungszeitraum von t_1 bis t_2
 $p_i(x)$: Statistische Parameter aus einer Schar von stationären Zufallssignalen $x_i(t)$ zum Zeitpunkt t_i

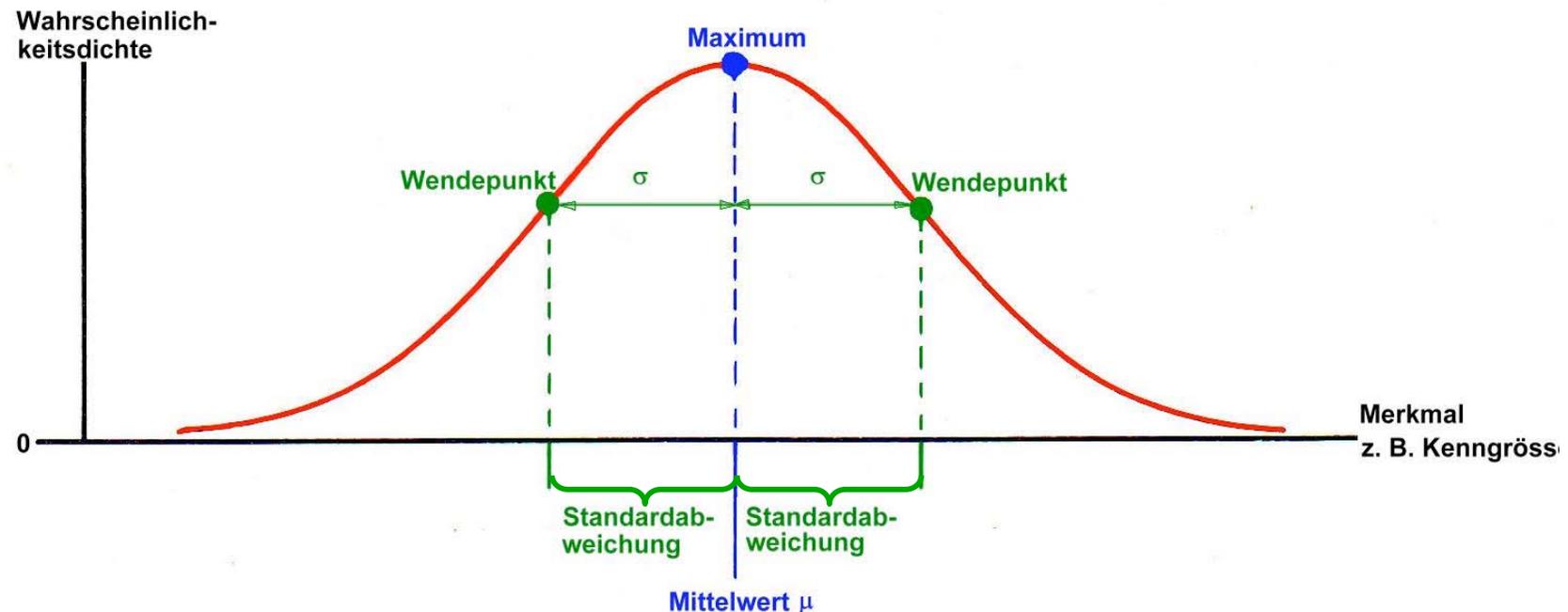
**Zeitsignale gelten als ergodisch, wenn
 $p(x_i) = p_i(x)$ für $i=1 \dots n$**

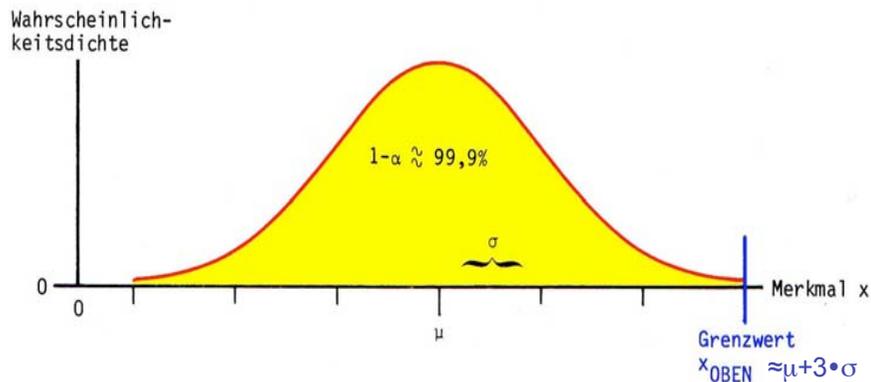
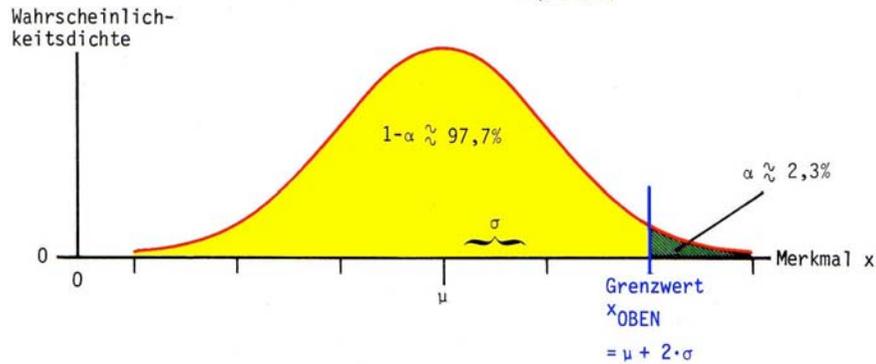
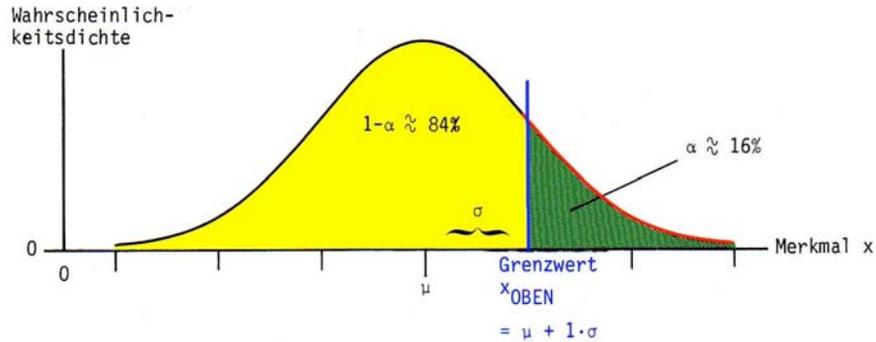
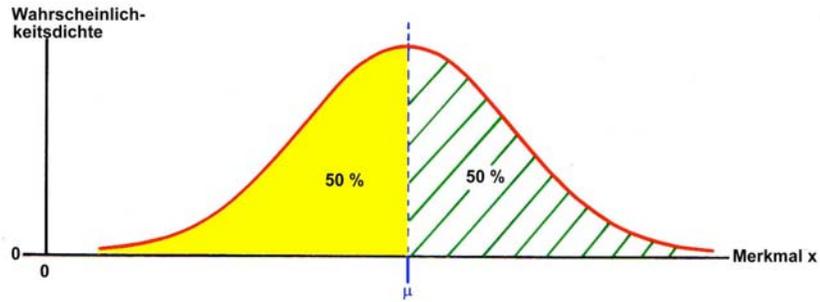
Normalverteilung

Den fahrtechnischen Auswerteverfahren liegt die Modellvorstellung zugrunde, dass die stichprobenmässig angefallenen Messwerte aus einer unendlich grossen Grundgesamtheit von Messwerten stammen, die

- sich um einen Schwerpunkt ballen,
- von diesem Schwerpunkt nach oben wie nach unten in gleicher Weise abweichen und
- mit zunehmender Entfernung von diesem Schwerpunkt immer seltener auftreten.

Diese Beschreibung wird durch die unten aufgeführte Figur veranschaulicht. Hier ist die bei diesen Merkmalen vorliegende so genannte Normalverteilung dargestellt.





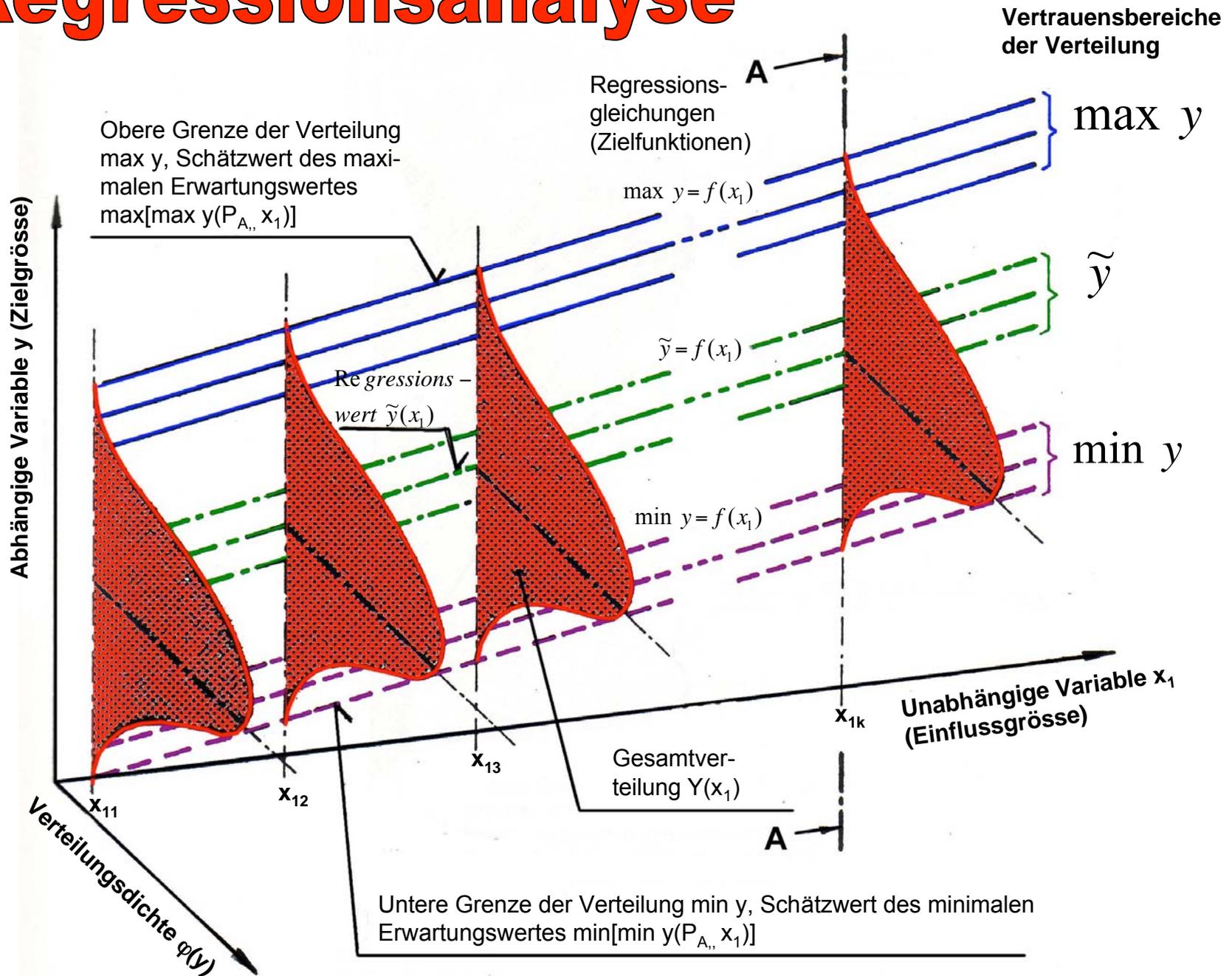
Berechnung des oberen Grenzwertes:

$$x_{oben} = \mu + u_{1-\alpha} \cdot \sigma$$

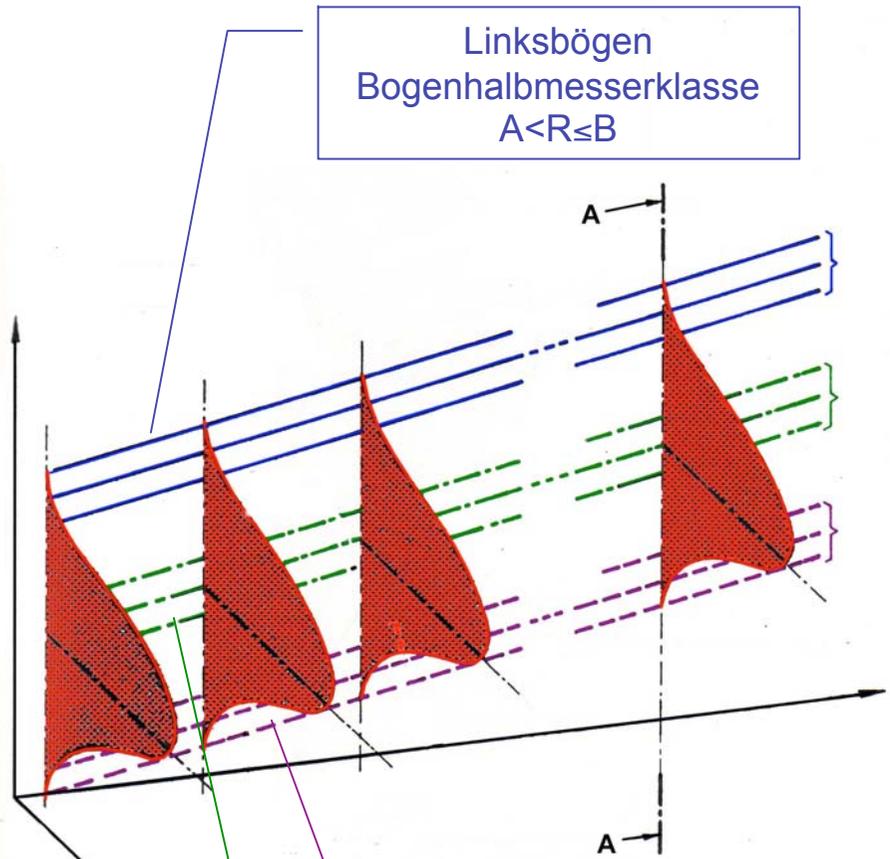
| Einseitig oberer Schwellenwert | Anteil „unterhalb“ |
|--------------------------------|--------------------|
| $U_{1-\alpha}$ | $1-\alpha$ in % |
| 0 | 50 |
| 1 | 84.13 |
| 2 | 97.725 |
| 3 | 99.8650 |
| 4 | 99.996833 |

| Anteil „unterhalb“ | Einseitig oberer Schwellenwert |
|--------------------|--------------------------------|
| $1-\alpha$ in % | $U_{1-\alpha}$ |
| 90 | 1.282 |
| 95 | 1.645 |
| 99 | 2.326 |
| 99.9 | 3.090 |

Regressionsanalyse



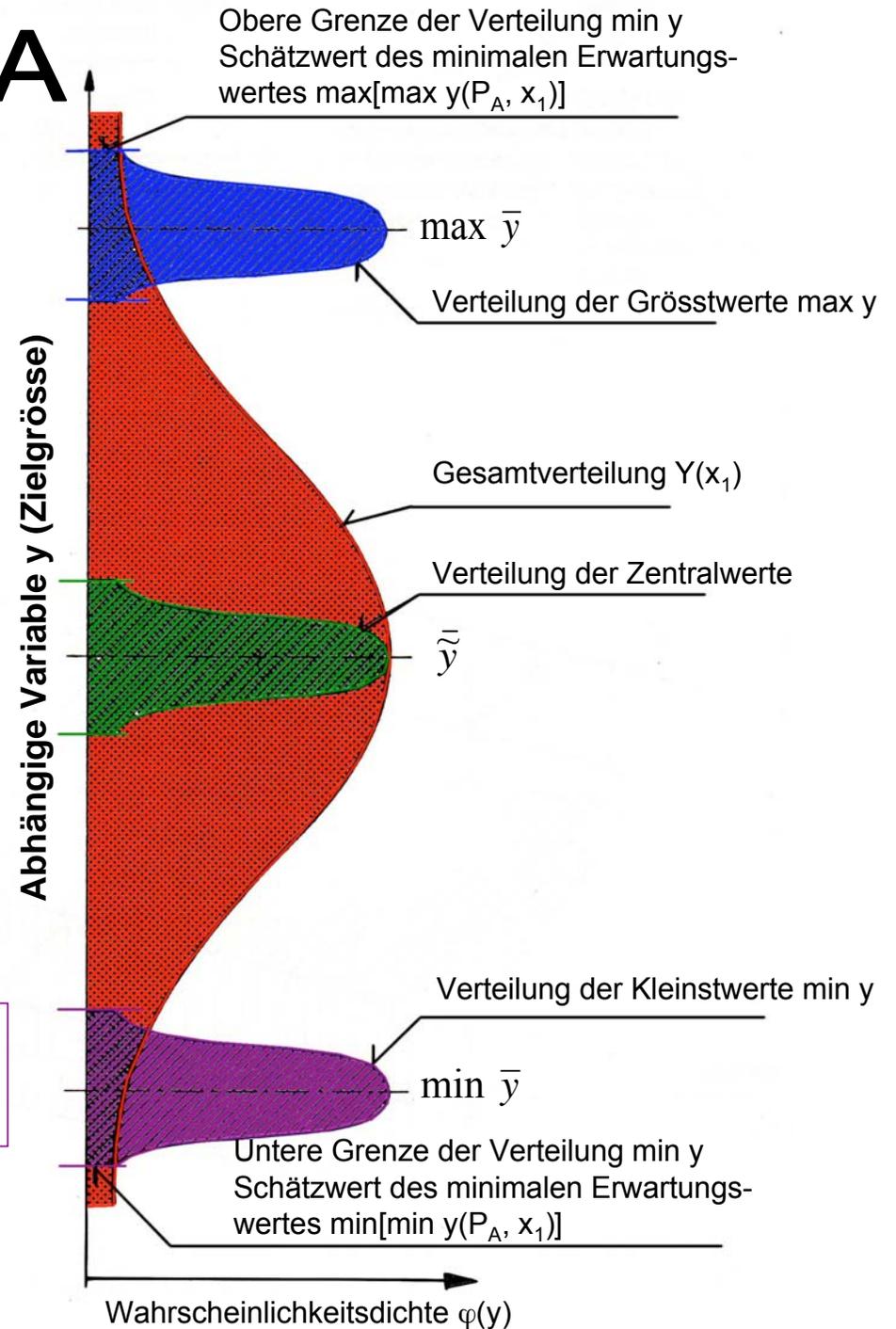
Schnitt A-A



Linksbögen
Bogenhalbmesserklasse
 $A < R \leq B$

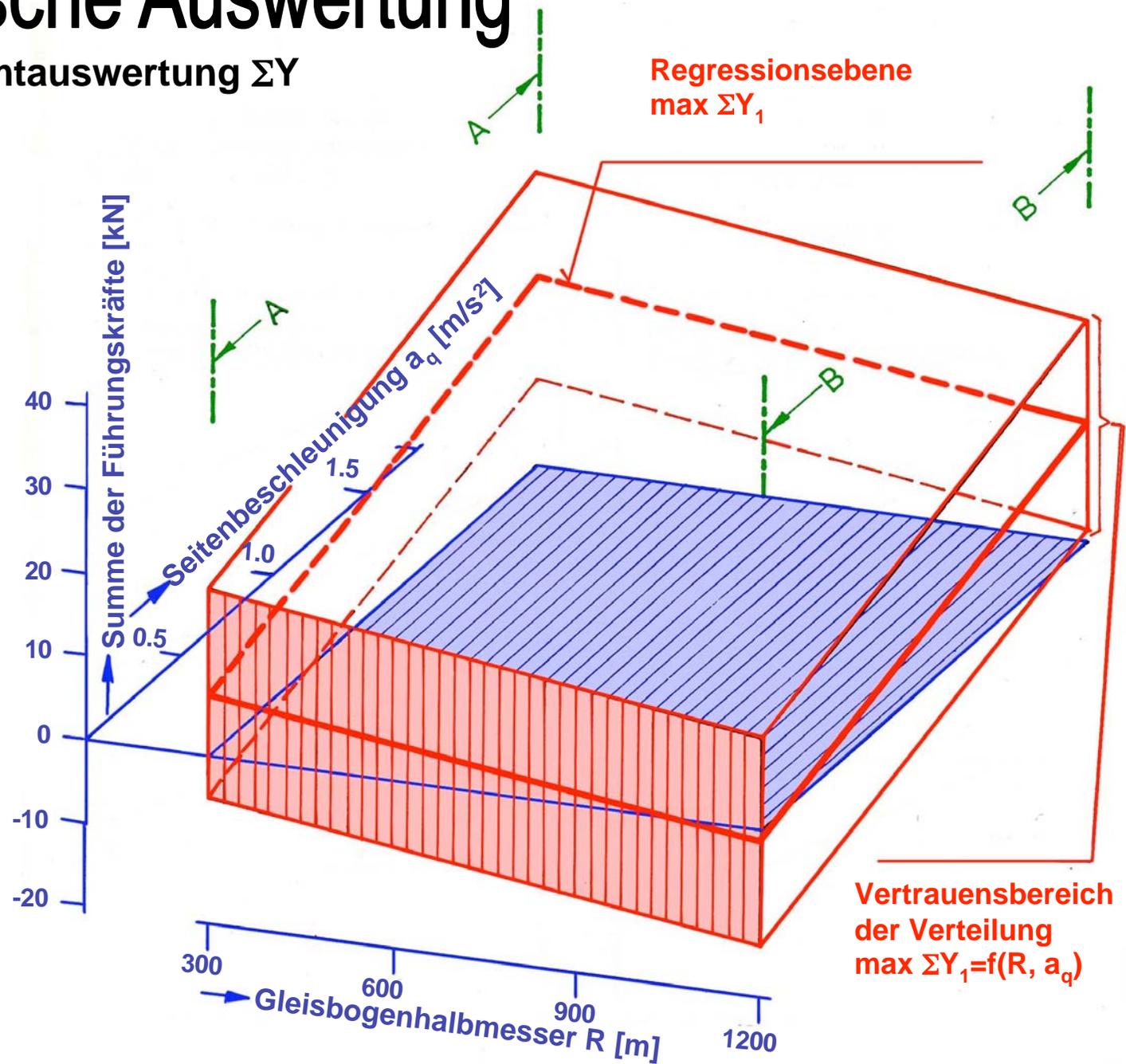
Rechtsbögen
Bogenhalbmesserklasse
 $A < R \leq B$

Geraden



Statistische Auswertung

Gesamtauswertung ΣY



Schnitt A...A

Schnitt B...B

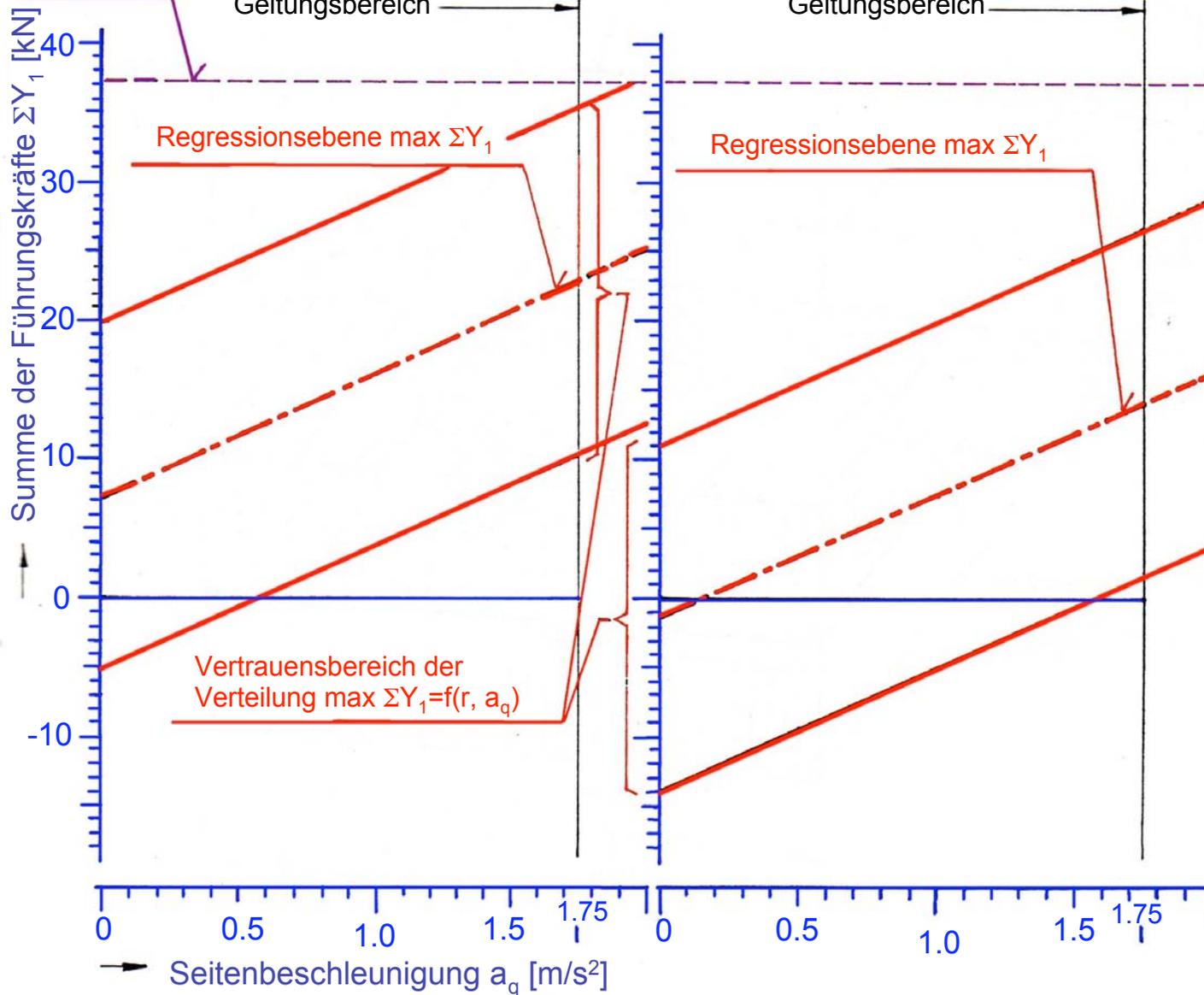
Bezugsgröße:
Grenzwert $\lim \Sigma Y_1$

R = 300 m

R = 1200 m

Geltungsbereich

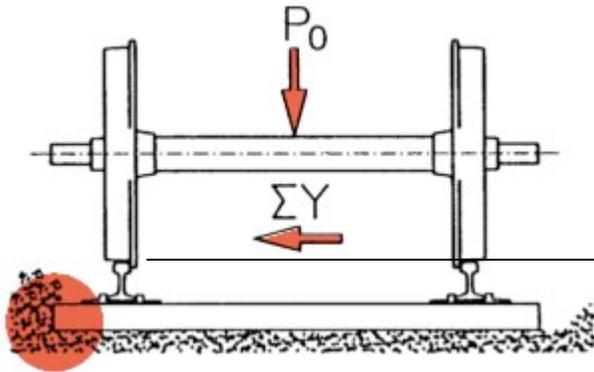
Geltungsbereich



Grenzwerte der Beurteilungsgrößen - Sicherheit – Kräfte Rad/Schiene

Fahrsicherheit

Summe der Führungskräfte

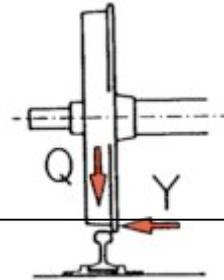


$$(\Sigma Y_{2m})_{\text{lim}} = \alpha \cdot (10 + P_0 / 3)$$

Instabilität

$$(s\Sigma Y)_{\text{lim}} = (\Sigma Y_{2m})_{\text{lim}} / 2$$

Quotient Y/Q



$$[(Y/Q)_{2m}]_{\text{lim}} = 0.8$$

nach ORE C138 / RP9

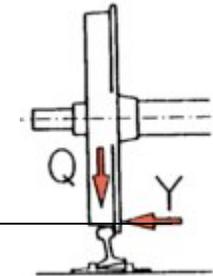
$$Y/Q = 1.2$$

nach ORE B55 RP8

Kippen

$$\eta_{\text{lim}} = 1$$

Fahrwegbeanspruchung



$$Q_{\text{lim}} = 90 + Q_0$$

$$(Q_{qst})_{\text{lim}} = 145 \text{ kN}, (155 \text{ kN})$$

$$(B_{qst})_{\text{lim}} = 180 \text{ kN}$$

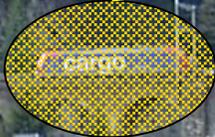
$$(Y_{qst})_{\text{lim}} = (30 + 10500 \cdot R_m) \text{ kN}$$

Varianten von fahrtechnischen Prüfungen

| Art der Prüfung | Prüfbereiche | Reihung des Versuchsträgers im Zug und besondere Bedingungen | Beurteilungsgrößen und Auswerteverfahren |
|-----------------------------|---|---|--|
| Ertragbare Längsdruckkräfte | 150 m S-Bogen mit 6 m Zwischengerade | - Reihung gemäss UIC 530-2 - - Druckkraft am Puffer des Prüfobjektes 200 bzw. 240 kN | Nach UIC 530-2 |
| Internationale Zulassung | Bereiche und Bedingungen festgelegt in UIC 518, EN 14363 | Festgelegt in UIC 518, EN 14363 | Nach UIC 518 bzw. EN 14363 |
| Nachschiebebetrieb | Streckenbereiche mit erhöhten Nachschiebekräften | - Reihung gemäss UIC 530-2 oder nach Betriebsanforderungen - Druckkraft am Puffer des Prüfobjektes gemäss Anforderungen des Betriebs | Nach UIC 518 bzw. EN 14363. Die Auswerteabschnitte werden kontinuierlich, ohne Berücksichtigung der Trassierungsmerkmale festgelegt. Pro Auswerteabschnitt fällt ein Messwert an, keine Regressionsanalysen und Schätzwerte |
| Streckenzulassung | Gesamte Einsatzstrecke | Ungünstigster Zustand im Zugverband | Wie bei der Prüfung zum Nachschiebebetrieb |
| Fahrzeugoptimierung | Auswahl nach Problemstellungen am zu optimierenden Fahrzeug | Auswahl nach Problemstellung am zu optimierenden Fahrzeug | Grundsätzlich nach UIC 518 bzw. EN 14363. Zusätzliche Analysemethoden je nach Problemstellungen am zu optimierenden Fahrzeug |



Versuchsobjekt



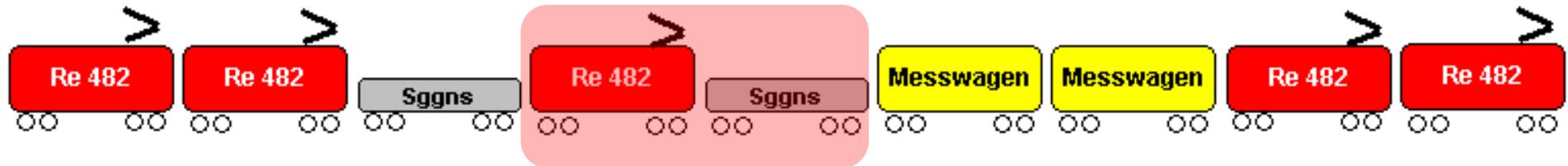
Talfahrt



Bergfahrt

**Versuchszug mit verschiedenen Aufgabenstellungen
auf der Gotthard-Nord-Rampe**

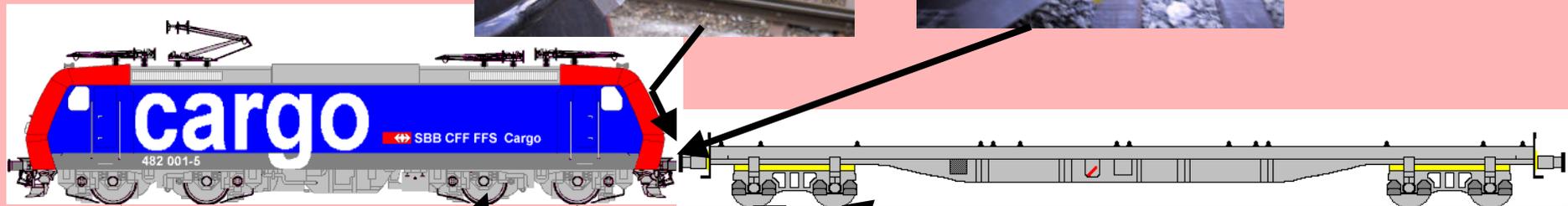
Messtechnische Ausrüstung des Versuchszugs



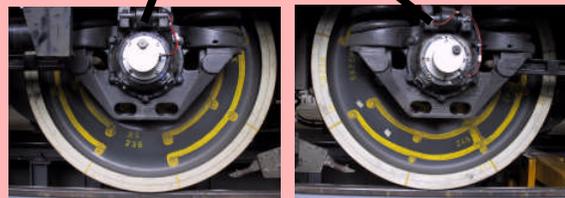
Kamera
Pufferüberwachung



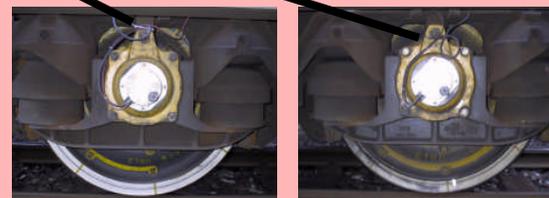
Wegmesstechnik
Pufferüberlappung



Messradsatz
Dimensionierung



Messradsätze Lok
Fahrtechnik



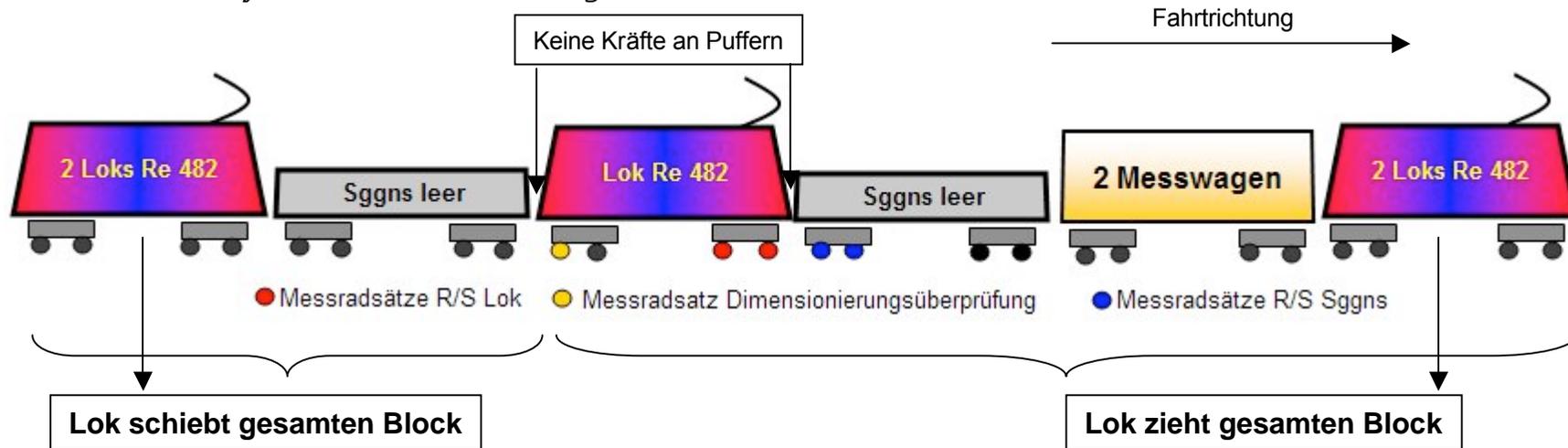
Messradsätze Wagen Sggns
Fahrtechnik

Versuchszug mit verschiedenen Aufgabenstellungen auf der Gotthard-Nord-Rampe

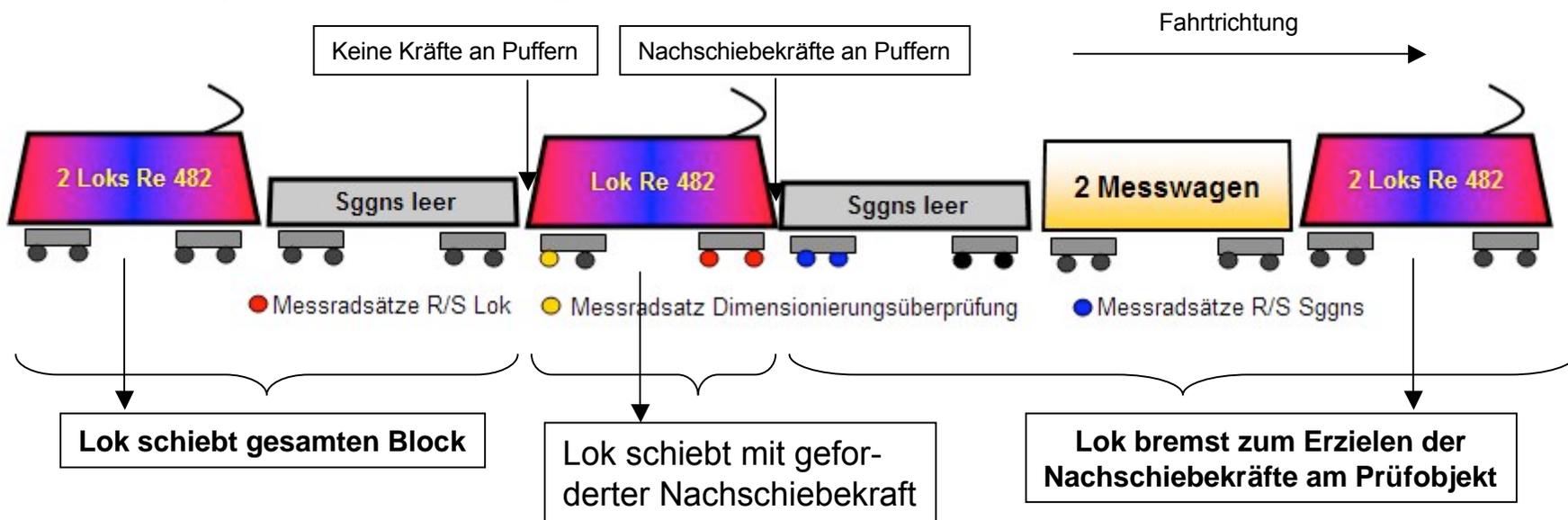
| Aufgabenstellung | Versuchstechnische Anforderungen | Erfüllung der Anforderungen |
|---|--|---|
| Fahrtechnische Prüfung der Lok im Bereich kleiner Bogenhalbmesser | <ul style="list-style-type: none"> - Fahrzeug unbeeinflusst - Fahrzeug ohne Brems- und Zugkraft | <ul style="list-style-type: none"> - Keine Kräfte auf die Seitenpuffer der Lok - Lok gezogen möglichst am Ende des Versuchszugs |
| Eignung der Lok zum Nachschieben von Güterzügen auf Gebirgsstrecken | <ul style="list-style-type: none"> - Aufbringen der erforderlichen Nachschiebekraft auf den nachgeschobenen Zug - Repräsentatives Fahrzeug am nachgeschobenen Lokpuffer | <ul style="list-style-type: none"> - Auf Steigungsstrecken werden bis zu 500 Tonnen Zugmasse nachgeschoben, Anfahrbeschleunigung 0.05 m/s^2 - Langer Güterwagen mit grossen Überhang (z. B. Sggns) |
| Dimensionierungsüberprüfung der Räder und Radsatzwellen der Lok | <ul style="list-style-type: none"> - Fahrzustände: Leerlauf, volle Zugkraft, volle Bremskraft - Trassierungsauswahl mit repräsentativen Elementen für den Einsatzspiegel | <ul style="list-style-type: none"> - Spezielle Zusammensetzung des Versuchszuges mit verteilter Traktion - gerade Strecken, Bögen mit mittleren und kleinen Bogenhalbmessern, Weichen, Werkstattgleise |

Beispiele für Lastfälle für Lauftechnik und Nachschieben Fahrtechnik

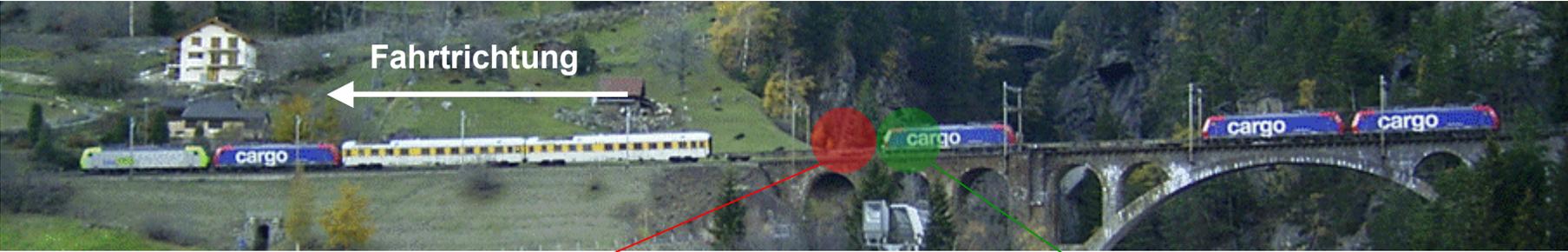
Lastfall a) Versuchsobjekt im Leerlauf



Lastfall b) Versuchsobjekt schiebt nach



Beispiel Ergebnisdarstellung: Gesamte Strecke (Streckenzulassung)

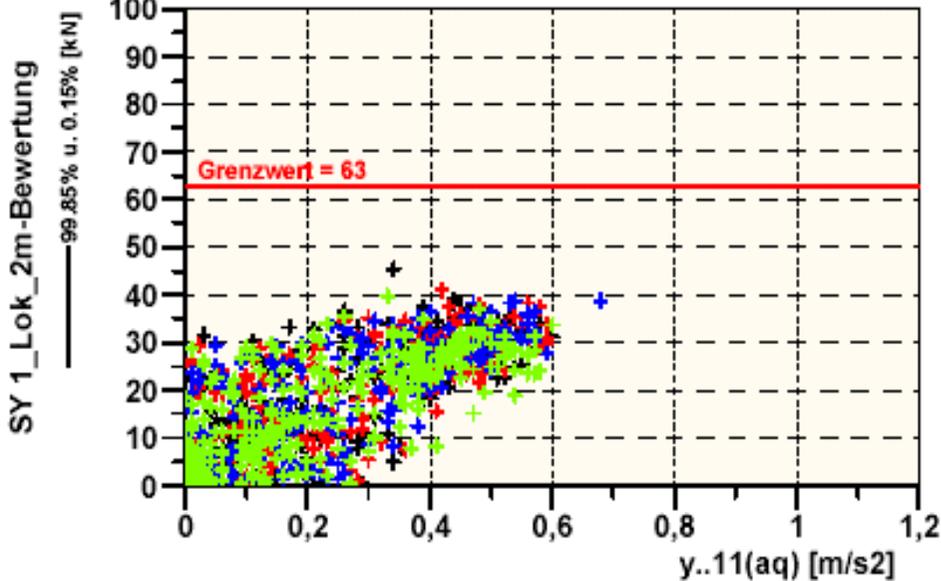
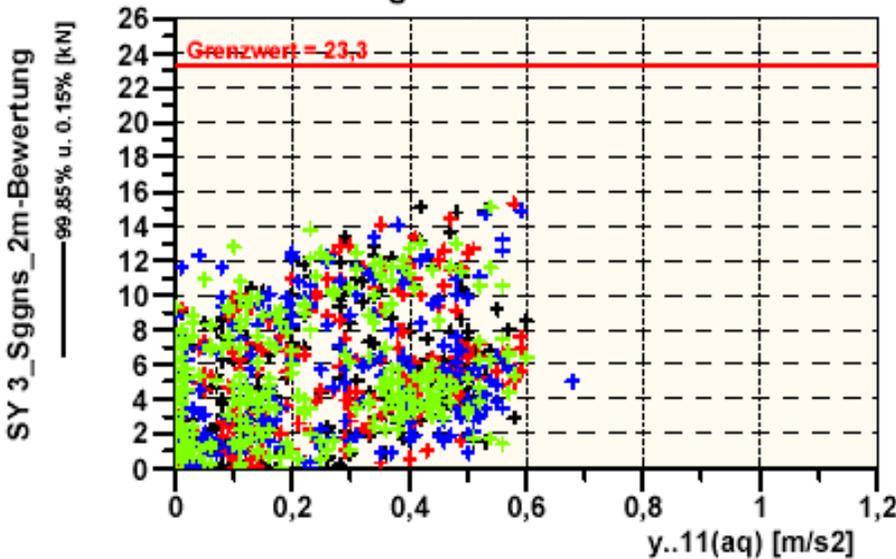


Sggn's

Lok

gesamte Strecke

gesamte Strecke



Nachschiebekräfte am Lokpuffer

- +++++ - 150 kN am Puffer
- +++++ - 175 kN am Puffer
- +++++ - 200 kN am Puffer
- +++++ - 225 kN am Puffer

Beispiel Ergebnisdarstellung: Gotthard Bergrampe (Festigkeit)



Gotthard, Bergwärts, vorlaufend, Stahlpuffer, 28,5 km

- R1X0_BPZ_Versuch_065 ; Beharrung, $D = 8,92E-03$
- R1X0_BPZ_Versuch_068 ; volle Zugkraft, $D = 1,25E-03$
- R1X0_BPZ_Versuch_076 ; 150 kN, $D = 4,77E-03$
- R1X0_BPZ_Versuch_074 ; 175 kN, $D = 3,16E-03$

