



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation

Bundesamt für Verkehr

A red and grey high-speed train (TGV) is stopped at a station platform. The train is viewed from the rear, with the word 'Dienstfahrt' (service trip) visible on the front display. The platform has a black and white checkered safety pattern. In the background, there are residential buildings and trees under a clear sky.

AB-EBV Revision 2020

Teilprojekt Bremsen

Revisionsbericht

01.12.2020

Quelle Foto: www.voev.ch



Revisionsbericht zum Teilprojekt Bremsen

Veröffentlichung Revisionsbericht zu den Bremsgrundlagen Meterspur

Zweck und Inhalt des Berichts

1. Grundlagen Bremse Meterspur AB-EBV 2016 konsolidieren
2. Identifikation der vorzunehmenden Änderungen
3. Dokumentation der durchgeführten Analysen und Ergebnisse
4. Nachvollziehbare Dokumentation von technischen Herleitungen
5. Detaillierte Dokumentation bereitstellen als Ausgangspunkt für künftige Weiterentwicklungen im Bereich Bremse Meterspur



Revisionsbericht zum Teilprojekt Bremsen

Veröffentlichung Revisionsbericht zu den Bremsgrundlagen Meterspur

Der Bericht wendet sich an:

1. Experten, welche sich tiefer über Hintergründe und die Zusammenhänge der Änderungen informieren wollen und an detaillierteren Herleitungen interessiert sind
2. Ersteller von Betriebsvorschriften, in Bezug auf die neuen Bremsbewertungskennlinien und die Anhaltwegberechnung
3. Die Fachspezialisten, die sich über individuell angepasste Optimierungsmöglichkeiten informieren wollen



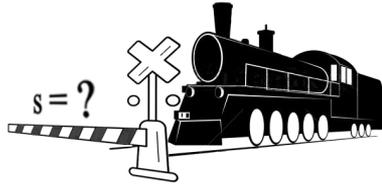
Revisionsbericht zum Teilprojekt Bremsen

Übersicht zur Struktur und Inhalt des Revisionsberichts

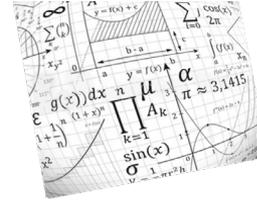


AB-EBV
(AB 52.2)

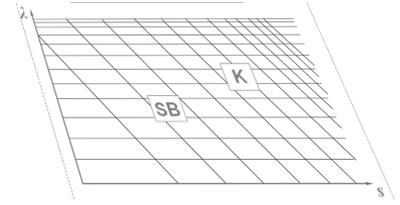
**Analyse zum
Revisionsbedarf**



**Konsolidierung Grund-
lagen AB-EBV 2016**



**Ausarbeitung des
Referenzmodells**



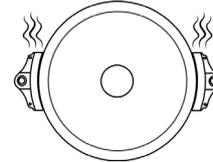
**Reibwerte und
Bremsbewertung**



**Schutzzielanalyse
von Bremstabellen**



**Konstruktion von
Bremstabellen**



**Thermische
Belastbarkeit**



**Bestimmung von
Anhaltewegen**



Revisionsbericht zum Teilprojekt Bremsen

Analyse des postulierten Revisionsbedarf

- Kontinuierlicher Wegfall der GG-Bremssohlen infolge der nationalen Lärmsanierungsaktion
- Zunehmende Anzahl an Fahrzeugen mit Scheibenbremse oder Bremssohlen aus Verbundstoffen mit unterschiedlichen Reibwertcharakteristiken gegenüber GG-Bremssohlen
- Die möglichen Fahrgeschwindigkeiten moderner Fahrzeuge liegen ausserhalb der Vorgaben zur Bremsbewertung gemäss AB-EBV 2016
- Die Bremstabellen IIA, III und IV nach AB-EBV 2016 wirken sich auf den Bahnbetrieb mit modernen Fahrzeugen bremstechnisch zu einschränkend aus



Revisionsbericht zum Teilprojekt Bremsen

Konsolidiertes Verständnis der Vorgaben gemäss AB-EBV 2016

- Herleitung des Berechnungsmodells «BAV_Orig», auf dem die Bremsbewertungskennlinien nach AB-EBV Stand 2016 basieren
- Verifikation des Berechnungsmodells «BAV_Orig» gegenüber den Angaben gemäss Kommentar Nr. 7 zur EBV
- Verifikation des Berechnungsmodells «BAV_Orig» im Zusammenhang mit den «Bremskurven BAV/zf/Mn» aus den Jahren 1983 und 1985
- Formulierung des Rechengangs
- Klärung der anzuwendenden Sicherheitsreserven für die Distanzen zwischen Vor- und Hauptsignal, beziehungsweise zwischen Kontrolllicht und Bahnübergang mit Bezug auf Kommentar Nr. 4 zur EBV



Revisionsbericht zum Teilprojekt Bremsen

Ausarbeitung des Referenzmodells

- Ausarbeitung eines Referenzmodells, für die Beurteilung der Güte des Berechnungsmodells «BAV_Orig»
- Für die Formulierung der physikalischen Zusammenhänge während des Bremsvorgangs, konnte keine symbolische Lösung gefunden werden
- Lancierung des Referenzmodells basierend auf numerischer Integration gemäss dem Verfahren nach Runge-Kutta 4. Ordnung «RK₄»
- Vergleich der nach «BAV_Orig» beziehungsweise «RK₄» berechneten Anhaltwege für die GG-Charakteristik in der Ebene und bis 80 ‰ Gefälle
- Analyse zur Vereinfachung der Integration nach «RK₄» mit Festlegung für das Referenzmodell: «RK₂» nach der Methode von Heun



Revisionsbericht zum Teilprojekt Bremsen

Bremsbewertung bei unterschiedlichen Bremscharakteristiken

- Aufnahme der Reibwertcharakteristiken K, SB und GG
- Variantenprüfung für die Kalibrierung neuer Bremsbewertungskennlinien in Bezug auf Bestandesfahrzeuge bewertet nach AB-EBV Stand 2016
- Festlegung von Bremsbewertungskennlinien mit kombinierter Reibwertcharakteristik der Scheibenbremse und von K-Bremssohlen
- Erweiterung des Bremsbewertungsbereichs von 100 auf 120 km/h
- Analyse der Performance-Verluste als Folge der Bremseigenschaften bei unterschiedlichen Bremscharakteristiken
- Vergleich neue Bremsbewertung mit kombinierter Reibwertcharakteristik zu bisheriger Bremsbewertung gemäss AB-EBV Stand 2016



Revisionsbericht zum Teilprojekt Bremsen

Schutzziele und Analyse der bestehenden Bremstabellen IIA, III und IV

- Gewährleistung des zuverlässigen Anhaltens auf allen zu befahrenden Streckenabschnitten
- Sicherstellung einer ausreichenden Bremswegstabilität
- Vermeidung der thermischen Überlastungen von Bremskomponenten
- Festsetzung eines maximalen Anhalteweges für Bremstabellen
- Analyse der Bremstabellen IIA, III, und IV in Bezug auf die Effektivverzögerung p_e mit GG-Bremssohlen hinsichtlich zuverlässiges Anhalten
- Definition für die Bremswegstabilität β und deren Evaluation für die Bremstabellen IIA, III, und IV auf Basis der GG-Charakteristik



Revisionsbericht zum Teilprojekt Bremsen

Konstruktion von Bremstabellen

- Untersuchung des Zusammenhangs von Effektivverzögerung p_e und Bremswegsensitivität β für die Grauguss und die K-Bremssohlen
- Festlegung der minimalen Effektivverzögerung mit $p_e \geq 0,13 \text{ ms}^{-2}$ und der maximalen Bremswegsensitivität mit $\beta \leq 4 \%$ für die Konstruktion von Bremstabellen mit Einhaltung des maximalen Anhaltwegs $s \leq 1000 \text{ m}$
- Evaluation der [Limitierungseffekte](#) im Feld der Betriebsparameter
- Die für die Konstruktion von Bremstabellen aufgestellten Limitierungskriterien setzen grundsätzlich eine homogene Verteilung der Bremskräfte im Zugverband voraus
- Die Bremstabelle S2020 berücksichtigt keinen Zuglängeneinfluss



AB-EBV 2020, Teilprojekt Bremsen Meterspur

Konstruktion von Bremstabellen

- Definition eines Temperaturmodells zur Berechnung der thermischen Belastbarkeit von Rad und Klotzbremse mittels Simulation
- Definition des Limitierungskriteriums zur Vermeidung einer thermischen Überlastung der Bremse
 - nach zwei aufeinanderfolgenden Schnellbremsungen,
 - zulässige Höchsttemperatur von 500 °C an der Radlauffläche
- Festlegung des Limitierungskriterium zur Wahrung der thermischen Belastbarkeit für Radsatzlasten bis maximal 16 t
- Die nicht eingeklammerten Bremsverhältnisse in der [Bremstabelle S2020](#) gelten nur für klotzgebremste Fahrzeuge uneingeschränkt



Revisionsbericht zum Teilprojekt Bremsen

Anhaltweg bei unterschiedlichen Bremscharakteristiken

- Anhaltwegberechnung mit kombinierter Reibwertcharakteristik
- Analyse zum unterschiedlichen Anhaltewegverhalten in der Ebene gegenüber Neigungen bei kombinierter Reibwertcharakteristik
- Bestimmung des «sicheren Anhalteweges» mittels Maximalwertbildung der Anhaltewege je Reibwertcharakteristik
- Betrachtung einer Methodik für die optimierte Bestimmung «sicherer Anhaltewege» für Fahrzeuge mit GG-Bremssohlen und einer Fahrzeughöchstgeschwindigkeit von mehr als 80 km/h
- Überarbeitung der Bremskurven in Ergänzung a zum Kommentar Nr. 4 der EBV und Vergleich zur Vorgängerversion der «Ergänzung a».



Referenzmodell für die Anhaltewege



Mittels numerischer Integration nach dem Verfahren von Runge-Kutta und der Methode nach Heun

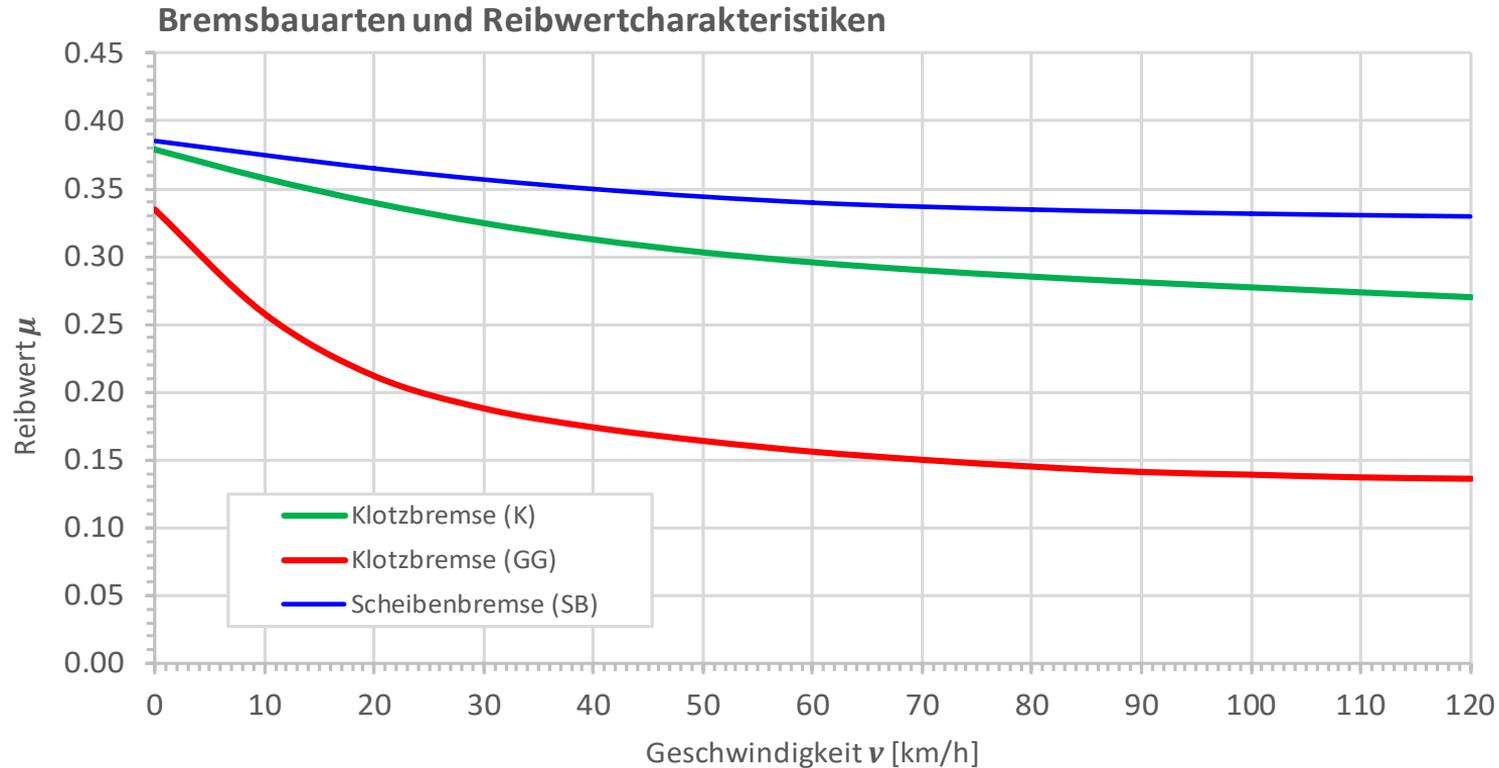
$$s = \sum_{n=0}^{v_n=0} v_n \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot \bar{a}_n \cdot \Delta t^2 \quad \text{mit} \quad \bar{a}_n = \frac{(k_1 + k_2)}{2(1 + \xi)}$$

$$k_1 = -\left(1 - e^{-\left(\frac{3t_n}{\tau}\right)}\right) \cdot \frac{P}{G} \cdot \frac{\lambda}{100} \cdot \mu_{k(v)} - a_{w(v)} - a_{s(i)} \quad \text{wobei } v = v_n$$

$$k_2 = -\left(1 - e^{-\left(\frac{3(t_n + \Delta t)}{\tau}\right)}\right) \cdot \frac{P}{G} \cdot \frac{\lambda}{100} \cdot \mu_{k(v)} - a_{w(v)} - a_{s(i)} \quad \text{wobei } v = v_n + \Delta t \cdot k_1$$



Reibwertcharakteristiken

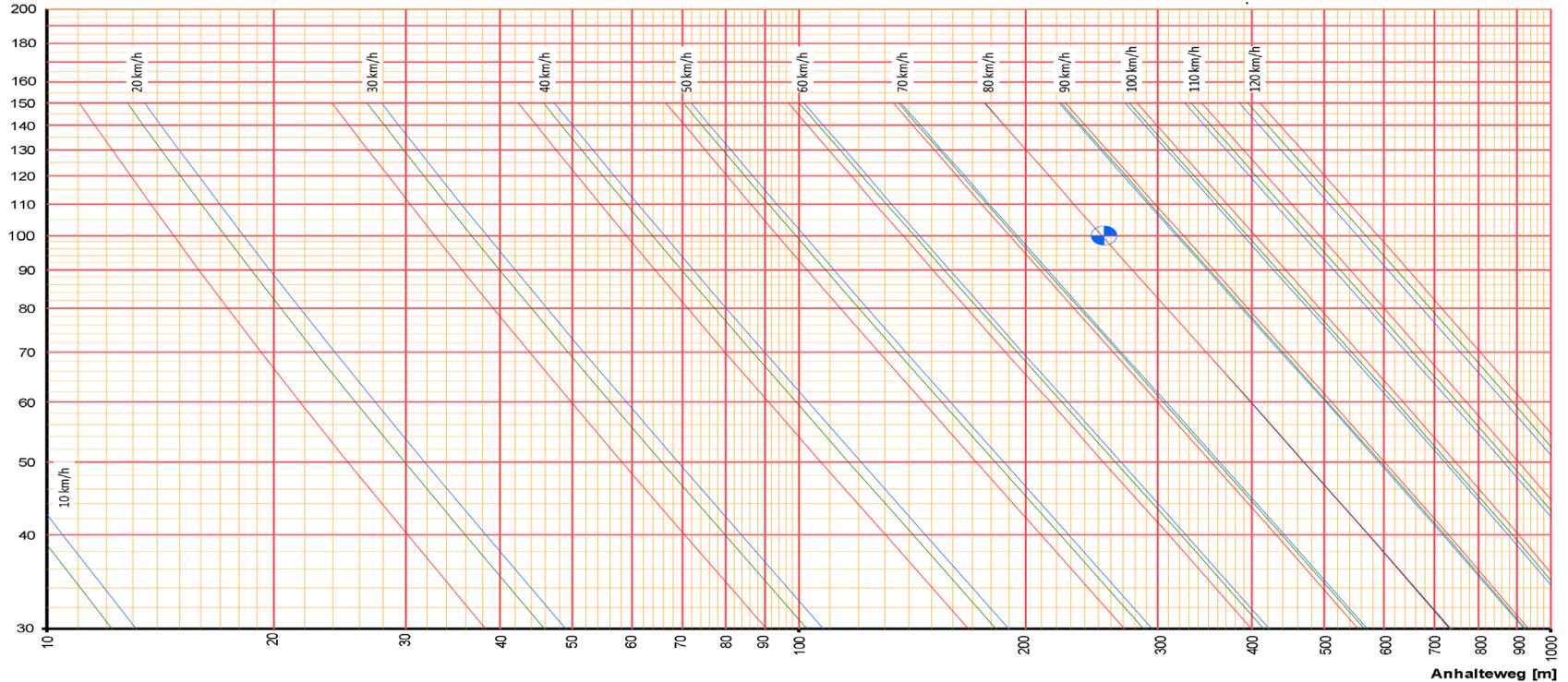




Anhaltewege für die Bremsbewertung



Situation mit unterschiedlichen Reibwertcharakteristiken (GG, K, SB)





Bremsbewertung mit kombinierter Reibwertcharakteristik



Bremsbewertungskennlinien

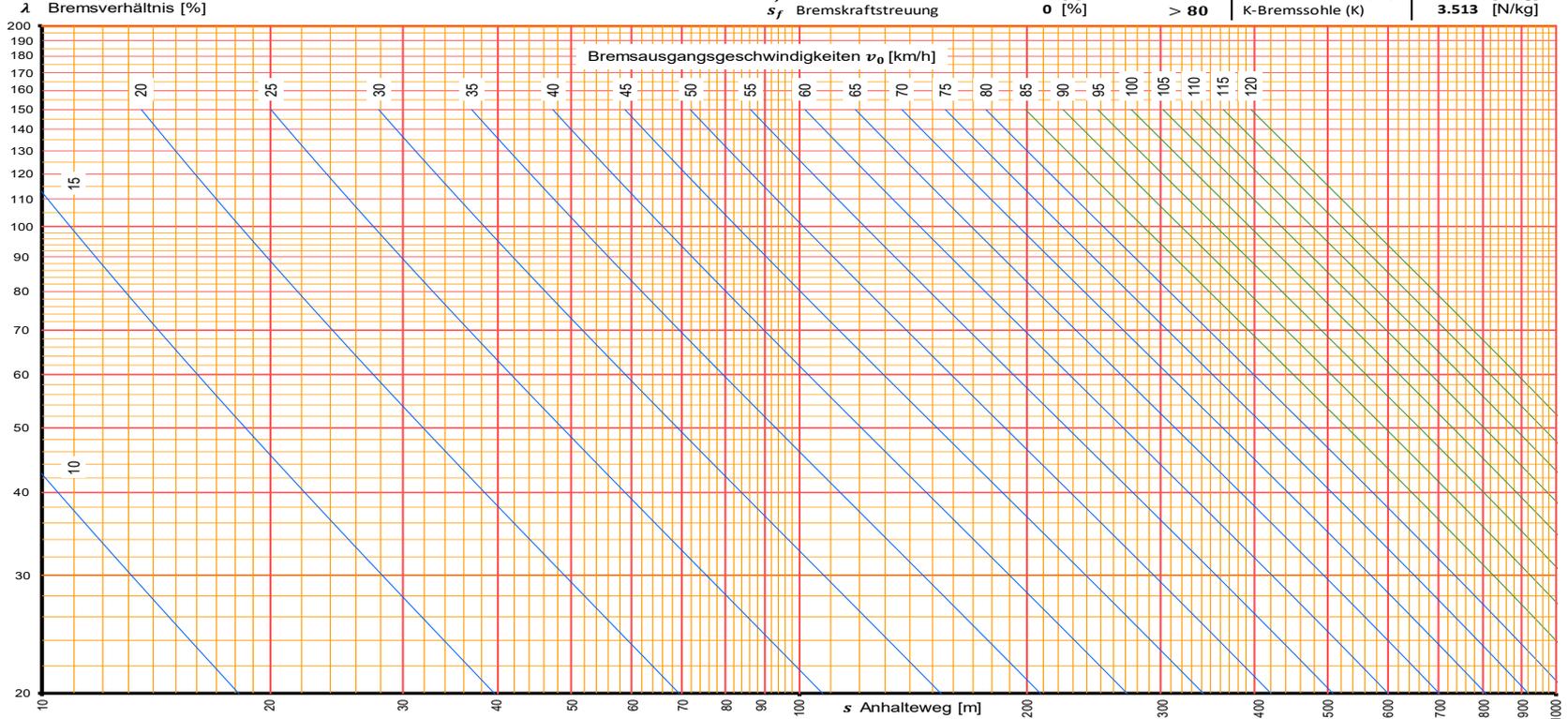
für einzelne, aus der Fahrt abgebremste Fahrzeuge

Berechnungsparameter:

i Streckenneigung	0	[%]
τ Bremszylinderfüllzeit 95%	2.6	[s]
ξ Anteil rotierende Masse	0.055	[1]
s_f Bremskraftstreuung	0	[%]

Kombinierte Reibwertcharakteristik:

v_0 [km/h]	Charakteristik $\mu(v)$	Abbremsung P/G
≤ 80	Scheibenbremse (SB)	3.092 [N/kg]
> 80	K-Bremssohle (K)	3.513 [N/kg]





Limitierungsbereiche in Bremstabellen



Gefälle i [%]	Geschwindigkeit v [km/h]																						
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
0	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	25	28	31	35	39	44	48	53
5	25	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	29	33	36	40	44	49	53	58
10	29	30	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	34	37	41	45	49	53	58	63
15	33	34	35	35	35	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	39	42	46	50	54	58	63	68
20	38	38	39	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	43	47	51	55	59	63	68	73
25	42	43	43	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	45	48	52	56	60	64	68	73	78
30	46	47	48	48	48	49	49	49	49	49	49	49	49	49	50	53	57	60	64	69	73	78	83
35	50	51	52	52	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	54	58	61	65	69	74	78	83	88
40	55	56	56	57	57	57	58	58	58	58	58	58	58	58	59	62	66	70	74	78	83	88	93
45	59	60	61	61	61	62	62	62	62	62	63	63	63	63	64	67	71	75	79	83	88	93	98
50	64	64	65	66	66	67	67	67	67	68	68	68	68	68	68	72	76	80	84	88	93	98	103
55	69	70	70	71	72	72	72	73	73	73	74	74	74	74	74	77	81	85	89	93	98	103	108
60	74	75	76	76	77	77	78	78	78	79	79	80	80	80	80	82	85	89	94	98	103	108	113
65	79	80	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	86	86	86	90	94	98	103	108	113	118
70	84	85	86	87	87	88	89	89	89	90	91	91	92	92	92	92	95	99	103	108	113	118	124
75	89	90	91	92	93	93	94	95	95	96	96	97	97	98	98	98	100	104	108	113	118	123	129
80	94	95	96	97	98	99	99	100	100	101	102	103	103	103	104	104	105	109	113	118	123	128	134

Farblgende:

λ_{β}	λ_{pe}	λ_s	$\lambda_{pe+\beta}$	λ_{pe+s}
-------------------	----------------	-------------	----------------------	------------------



Die Bremstabelle S2020



Gefälle [%]	Geschwindigkeit v [km/h]																							
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	
0	21	22	22	22	22	23	23	23	22	22	22	22	22	22	22	25	28	31	35	39	44	48	53	
5	25	26	26	27	27	27	27	27	27	27	27	27	26	26	26	29	33	36	40	44	49	53	58	
10	29	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	34	37	41	45	49	53	58	63	
15	34	34	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	35	36	39	42	46	50	54	58	63	(68)	
20	38	39	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	43	47	51	55	59	63	(68)	(73)	
25	42	43	44	44	44	44	45	45	45	45	45	45	45	45	45	48	52	56	60	64	(68)	(73)	(78)	
30	46	47	48	48	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	50	53	57	60	64	(69)	(73)	(78)	(83)	
35	51	52	52	53	53	53	53	54	54	54	54	54	54	54	55	58	61	65	(69)	(74)	(78)	(83)	(88)	
40	55	56	56	57	57	58	58	58	58	58	58	59	60	60	62	64	66	(70)	(74)	(78)	(83)	(88)	(93)	
45	59	60	61	61	62	62	62	62	63	63	64	65	66	66	67	69	(71)	(75)	(79)	(83)	(88)	(93)	(98)	
50	64	64	65	66	66	67	67	67	67	69	70	71	72	73	73	(74)	(76)	(80)	(84)	(88)	(93)	(98)	(103)	
55	69	70	70	71	72	72	72	73	73	74	76	77	78	79	(79)	(80)	(81)	(85)	(89)	(93)	(98)	(103)	(108)	
60	74	75	76	76	77	77	78	78	78	80	81	83	84	85	(85)	(86)	(87)	(89)	(94)	(98)	(103)	(108)	(113)	
65	79	80	81	82	82	83	83	84	84	86	87	89	90	(91)	(92)	(92)	(93)	(94)	(98)	103	(108)	(113)	(118)	
70	84	85	86	87	87	88	89	89	89	91	93	95	96	(97)	(98)	(98)	(99)	(99)	103	108	(113)	(118)	(124)	
75	89	90	91	92	93	93	94	95	95	97	99	101	102	103	104	104	105	106	108	113	118	123	129	
80	94	95	96	97	98	99	99	100	100	103	105	106	108	109	110	110	111	111	113	118	123	128	134	