Bericht 7-003

Projekt-Nr.: 08.069.00

Konzepte zur Lärmsanierung von Lokomotiven & Triebfahrzeugen

durch Umrüstung der Bremsklotz-Sohlen

PROSE AG
Zürcherstrasse 41
CH-8400 Winterthur
Schweiz
Tel: +41 52 262 74 00
Fax: +41 52 262 74 01

Verfasser

	Name	Datum	Unterschrift
Erstellt	Christian Czolbe	30.11.2010	
Erstellt	Robert Sieglitz	31.10.2010	
Geprüft	Christoph Deiss	30.11.2010	
Freigegeben	Christian Czolbe	30.11.2010	

Verteiler

Firma	Abteilung	Name	Kopien	Bemerkungen
BAFU	Lärmbekämpfung	Jean Daniel Liengme	2	auch als pdf
BAV	Rollmaterial	Jörg Wohlwend	2	
PROSE AG	N&E	Christian Czolbe	1	
PROSE AG	M&T	Archiv	1	

Dieses Dokument gibt Kenntnis von Gegenständen, an denen die PROSE AG, 8400 Winterthur (Schweiz), Eigentumsrechte hat. Weder Erhalt noch Besitz dieses Dokuments verleihen oder übertragen das Recht, seinen Inhalt als Ganzes, einen Teil davon, eine darin enthaltene Information, oder irgendwelche Gegenstände oder Vorrichtungen zu kopieren oder bekannt zu machen oder irgendwelche Methoden oder Prozesse anzuwenden, ausser nach schriftlicher Genehmigung durch die PROSE AG, 8400 Winterthur (Schweiz) oder schriftlicher Vereinbarung mit dieser Firma.

Revisionsindex

	Erstellt; Geprüft; Freigegeben	Datum
Bericht 7-001	Christian Czolbe; Robert Sieglitz, Christoph Deiss, Christian Czolbe	

Änderungen

Revision	Seite	Abschnitt	Beschreibung

1 ZUSAMMENFASSUNG 9
2 AUFGABENSTELLUNG 11
2.1 ENTWICKLUNGSSTAND 11
2.2 ZIELDEFINITION 11
3 SANIERUNGSKONZEPT ALLGEMEIN 13
3.1 VORGEHENSWEISE 13
3.2 EIGNUNG BZW. UMRÜSTUNG DER RÄDER 13
3.3 AUSTAUSCH GG-SOHLE DURCH SINTER-SOHLE 13
3.4 ANPASSUNG BREMSKRÄFTE 14
3.5 BREMSSTEUERUNG MIT PRIORITÄT E-BREMSE 14
3.6 PROTOTYPEN-UMRÜSTUNG UND ERPROBUNG 15
3.7 BEISPIEL UND KONZEPT DER RE 450 16
4 RELEVANTE BAUTEILE UND TECHNISCHE INFORMATIONEN 18
4.1 BREMSBELÄGE 18
4.2 BREMSZYLINDER 20
4.3 BREMSBERECHNUNG 20
4.4 BREMSSTEUERUNG 21
4.5 STEUERVENTIL 21
4.6 RÄDER 22
5 KTU-LOKOMOTIVE RE 456 24
5.1 FAHRZEUGBESCHREIBUNG 25
5.2 UMRÜSTUNG DER RÄDER 25
5.3 ANPASSUNG DER BREMSKRÄFTE 27
5.4 ÄNDERUNG DER BREMSSTEUERUNG 27
5.5 AUFWAND UND MENGENGERÜST 29
5.6 PROTOTYPEN-UMRÜSTUNG UND ERPROBUNG 30
5.7 ERPROBUNGSPHASE 31
5.8 TECHNISCHE UNTERLAGEN 32
6 TRIEBWAGEN RBDE 565 / RBDE 566 II 35
6.1 FAHRZEUGBESCHREIBUNG 35
6.2 UMRÜSTUNG DER RÄDER 37
6.3 ANPASSUNG DER BREMSKRÄFTE 38
6.4 ÄNDERUNG DER BREMSSTEUERUNG 38
6.5 BESONDERHEITEN 40
6.6 PROTOTYPEN-UMRÜSTUNG UND ERPROBUNG 41
6.7 ERPROBUNGSPHASE 42
6.8 TECHNISCHE UNTERLAGEN 43

7 UNIVERSALLOK RE 4/4 (RE 425) 47
7.1 FAHRZEUGBESCHREIBUNG 48
7.2 UMRÜSTUNG DER RÄDER 48
7.3 ANPASSUNG DER BREMSKRÄFTE 50
7.4 ÄNDERUNG DER BREMSSTEUERUNG 51
7.5 BESONDERHEITEN 52
7.6 PROTOTYPENUMRÜSTUNG UND ERPROBUNG 53
7.7 ERPROBUNGSPHASE 54
7.8 TECHNISCHE UNTERLAGEN 56
8 UNIVERSALLOK RE 4/4" (RE 420) 59
8.1 FAHRZEUGBESCHREIBUNG 59
8.2 UMRÜSTUNG DER RÄDER 60
8.3 ANPASSUNG DER BREMSKRÄFTE 62
8.4 ÄNDERUNG DER BREMSSTEUERUNG 62
8.5 PROTOTYPENUMRÜSTUNG UND ERPROBUNG 65
8.6 ERPROBUNGSPHASE 65
8.7 TECHNISCHE UNTERLAGEN 67
9 UNIVERSALLOK RE 4/4''' (RE 430) 70
9.1 FAHRZEUGBESCHREIBUNG 70
9.2 UMRÜSTUNG DER RÄDER 71
9.3 ANPASSUNG DER BREMSKRÄFTE 71
9.4 ÄNDERUNG DER BREMSSTEUERUNG 71
9.5 PROTOTYPENUMRÜSTUNG UND ERPROBUNG 71
9.6 ERPROBUNGSPHASE 72
9.7 BREMSBERECHNUNG UND KONSTRUKTIONSUNTERLAGEN 73
10 UNIVERSALLOK RE 6/6 (RE 620) 76
10.1 FAHRZEUGBESCHREIBUNG 76
10.2 UMRÜSTUNG DER RÄDER 77
10.3 ANPASSUNG DER BREMSKRÄFTE 77
10.4 ÄNDERUNG DER BREMSSTEUERUNG 77
10.5 PROTOTYPENUMRÜSTUNG UND ERPROBUNG 77
10.6 ERPROBUNGSPHASE 78
10.7 TECHNISCHE UNTERLAGEN 79

Begriffe und Abkürzungen

Begriffe	Bedeutung
bandagierte Räder	Radscheibe mit wechselbaren Bandagen (Radreifen)
Bremsberechnung	Berechnung des Bremsweges anhand Reibwerte, Massen & Kräfte
Bremsgestänge	überträgt Kräfte vom Bremszylinder zum Bremsschuh
Bremsklotz / Bremssohle	Bremsmittel mit spezifischen Reibwert
Bremsschuh	Halter für ein / mehrere Bremsklötzer
Bremssteuerung	zentrale Steuerung der Lok, Anteil e-Bremse / p-Bremse
Bremszylinder	erzeugt Bremskraft bei gegebenen Bremszylinderdruck
e-Bremse	elektrodynamische Bremse
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
G-Bremse	Güterzug Bremseinstellung
GG-Sohle	Grauguss Bremssohle
K-Sohle	Komposit Bremssohle hohes konst. Reibwertniveau 0.35
LL-Sohle	Komposit Bremssohle GG-Reibwertniveau 0.11
L-Sohle	Komposit Bremssohle niedriges konst. Reibwertniveau 0.17
Monobloc	Vollrad aus einem Stück gegossen
p-Bremse	pneumatische Bremse
P-Bremse	Personenzug Bremseinstellung (mittlere Bremszylinderdrücke)
R-Bremse	Rapid Bremseinstellung (hohe Bremszylinderdrücke)
Speichenräder	Radscheibe gegossen besteht aus Speichen
Steuerventil	reagiert auf Signale vom Bremsventil und steuert Bremszylinderdruck
Stundenleistung	maximal abrufbare konstante Leistung für Dauerbetrieb
Übersetzung	Kraftverhältnis vom Bremszylinder zum Bremsklotz

1 Zusammenfassung

Eine umfassende Lärmminderung im Schienenverkehr ist nur mit modernem Rollmaterial möglich. Das Rollgeräusch bildet bei denen im Schweizer Streckennetz typischerweise gefahrenen Geschwindigkeiten die Hauptursache für den Schienenverkehrslärm. Es wird von rauen Rad- und Schienenlaufflächen verursacht. Die Radlaufflächen von Graugussklotz gebremsten Fahrzeugen sind rau, was teilweise auf sehr ähnliche Materialeigenschaften von Klotz und Rad sowie hohen Anpressdrücken beim Bremsen zurückführbar ist. Durch neuartige Bremsklotzmaterialien und -Mischungen werden trotz funktionaler Reibwerte die Laufflächen nicht mehr aufgeraut sondern glatt gehalten.

Mit diesen Bremsklötzen ist eine sofortige Rollgeräuschminderung zwischen 7 und 10 dB zu erzielen. Aus diesem Grund wird momentan u.a. die gesamte Güterwagenflotte der SBB auf neue Bremssohlen (K- oder L-Sohle) umgerüstet. Von der Lärmbilanz ist es sinnvoll, nun auch die älteren Triebfahrzeuge mit solchen Bremsklötzen umzurüsten, hierzu müssen die Machbarkeit und technischen Voraussetzungen vorab geklärte werden. Nach einer Vorauswahl bezüglich Einsatzdauer, Einsatzzweck und Stückzahl wurden folgende Triebfahrzeuge der Baureihen Re 456, RBDe 565 / 566 II, Re 425, Re 420, Re 430 und Re 620 bezüglich einer Umrüstung der Bremssohlen untersucht.

Bei Triebfahrzeugen eignet sich aus thermischen wie mechanischen Gesichtspunkten eine L-Sohle mit einem etwa halb so hohen Reibwertniveau wie bei einer K-Sohle. Beim Einsatz von LL-Sohlen wären keine Anpassungen der Bremskräfte nötig, sie sind jedoch noch nicht für den Betrieb zugelassen und wurden daher nicht weiter betrachtet.

Auf Grund des unterschiedlichen Reibwertverlaufs der L-Sohle müssen die bestehenden Bremsanlagen so angepasst werden, dass Bremsweg und thermische Belastung im zulässigen Bereich liegen. Dies kann bei allen Fahrzeugen durch Senkung der Bremszylinderdrücke erreicht werden, was eine Anpassung oder in wenigen Fällen ein Tausch des Steuerventils zur Folge hat. Aus den Konstruktionsunterlagen konnten die technischen Spezifikationen der jeweiligen Bremssysteme und deren Anpassungsbereiche entnommen werden. Bestehende Bremsgestänge oder Bremszylinder müssen bei keinem der genannten Fahrzeugtypen getauscht werden.

Die neuartigen Bremsmaterialien aus Verbundstoffen haben eine schlechtere Wärmeleitfähigkeit als Grauguss. Die Bremsdrücke bzw. Bremsklotzkräfte wurden so berechnet, dass bei einer Umrüstung die entstehende Wärmeenergie annähernd konstant gehalten wird. In der Realität geht auf Grund der ungleichen Wärmeleitfähigkeit von Rad und Bremsklotz jedoch ein grösserer Anteil ins Rad als bei der Verwendung von Grauguss-Klötzen. Für diese Wärmeeinwirkung sind Speichenräder und bandagierte Räder nicht ausgelegt und müssen daher durch Monobloc Räder ersetzt werden. Da keine passenden Radtypen innerhalb der Flotten verfügbar sind, bedeutet dies bei allen hier behandelten Triebfahrzeugen die Auslegung und Beschaffung neuer Räder.

Auf Betreiben von SOB, SZU und BLS wurde in einer Machbarkeitsstudie [6] für eine Umrüstung von L-Sohlen auf bandagierten Rädern bei den KTU-Loks Re 456 abgeklärt, ob die höhere thermische Belastung einen sicheren Betriebseinsatz erlaubt bzw. unter welchen Einschränkungen dieser erfolgen kann. Nach derzeitigem Erkenntnisstand aus Simulation [8] und Messungen ist dies mit einem höheren Radreifen-Grenzmass höchstwahrscheinlich realisierbar und sollte an einem Prototypen weiter untersucht werden.

Ausgehend von einem Vorschlag der SBB wurde in einer weiteren Machbarkeitsstudie die Umrüstung der Einheitsloks (Re 420, 430 und 620) auf Radscheibenbremsen [7] untersucht. Hierbei wurden die vorhandenen Bauräume, Lagerpunkte und Festigkeitsanforderungen des Drehgestellrahmens abgeklärt. Die Primärfedern und der Getriebekasten nehmen nach dieser Studie jedoch zuviel Bauraum ein, sodass für die Bremszangen inklusiv Bewegungsraum schlussendlich nicht genügend Raum zur Verfügung steht. In der Konsequenz müssten tiefergehende Änderungen am Drehgestell unternommen werden, welche einen Umbau auf Radscheibenbremsen aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll erscheinen lassen.

Im weiteren Vorgehen wird empfohlen, mindestens ein Prototyp je Fahrzeugtyp gemäss hier erarbeiteter Konzepte umzurüsten und in einer Erprobungsphase von 12-18 Monaten in den relevanten Betriebsituationen zu testen. Nur so können gesicherte Aussagen über das Verschleissverhalten und thermische Belastung der Räder getroffen werden. Einer etwaigen erhöhten thermischen Radbeanspruchung kann anschliessend durch Änderung der Bremssteuerung und dem Verhältnis E-Bremse zur P-Bremse erfolgen.

Dieser Bericht beinhaltet einen allgemeinen technischen Teil mit Beschreibung des Umrüstkonzeptes in Abschnitt 3 und der relevanten Bauteile in Abschnitt 4. Die einzelnen Fahrzeugtypen sind jeweils in einem eigenen Kapitel abgehandelt inklusive technischer Unterlagen, sodass auf einen Anhang verzichtet werden konnte. Für eine Abstimmung mit dem jeweiligen EVU können einzelne Umrüstkonzepte der Fahrzeugtypen aus dem Kontext des Gesamtberichtes entnommen werden.

2 Aufgabenstellung

Im relevanten Geschwindigkeitsbereich der Eisenbahn in der Schweiz wird der Schienenverkehrslärm durch das Rollgeräusch dominiert. Das Rollgeräusch wird im Wesentlichen durch die Rauheiten der Laufflächen von Rad und Schiene verursacht. Im Auftrag vom BAV und BAFU sollen die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten zur Lärmminderung an älteren Triebfahrzeugen durch Umrüstung der Bremssysteme untersucht werden.

2.1 Entwicklungsstand

Bei den Fahrzeugen sind vor allem die Grauguss-Bremssohlen Verursacher von hohen Radrauheiten. Ein Austausch der Bremssohlen auf K-Sohlen, Sinter-Sohlen oder gar Scheibenbremsen bewirkt glatte Radlaufflächen und dadurch im Mittel einen um 7-10 dB geringeren Schallemissionspegel.

Die Umrüstung des älteren Rollmaterials in der Schweiz ist diesbezüglich im vollen Gange und bei der Wagenflotte der Schweizerischen Bundesbahn bereits bei etwa 80 % angelangt. Auch bei den Privatbahnen mit ihrem technisch sehr vielfältigen Flottenbestand sind Bestrebungen dazu im Gange. Mit dieser langfristig angelegten Wagenmodernisierung konnten bisher nahezu alle Personenwagen und ein Grossteil der Güterwagen auf lärmarme Bremssysteme umgerüstet werden. Als unmittelbare Konsequenz sollen nun auch bei älteren Triebfahrzeugen die Grauguss-Bremssohlen ersetzt werden.

In einer Vorstudie der PROSE AG, Bericht 2-167 (2006): Studie zur Thematik "Lärmminderung an Triebfahrzeugen", wurden die Lärmminderungsmassnahmen und -potentiale an den Triebfahrzeugen im Bestand aufgeführt. Ein hohes Lärmminderungspotential im Flottenbestand wird demnach der Umrüstung der Bremsanlage hauptsächlich bei älteren Fahrzeugen zugestanden, die noch über einen längeren Zeitraum (ca. 15 Jahre) in Betrieb stehen werden.

2.2 Zieldefinition

Primär wird eine Lärmsanierung bei diesen Fahrzeugtypen durch den Ersatz der GG-Sohle (wahrscheinlich mit Sinter-Sohle oder K-Sohle) erzielt, da hiermit glatte Radlaufflächen generiert und dadurch das Rollgeräusch deutlich reduziert werden kann. Hierfür wurden die verschiedenen Triebfahrzeuge in einer Vorauswahl nach den folgenden Gesichtspunkten beurteilt:

- Fahrzeugbestand genügend gross (Anzahl)
- Lebenserwartung noch mindestens 15 Jahre
- Möglichst wenig Änderungen am mechanischen Teil
- Aufwand und Kosten für eine Umrüstung gering (Material, Wartung)

Tabelle 1 listet die sanierungsfähigen Fahrzeuge gemäss den erwähnten Kriterien auf und nennt gleichzeitig wichtige Daten zu den bisher eingebauten Bremsen sowie Ansprechpartner bei den einzelnen EVU.

Tabelle 1: Übersicht über die zu sanierenden Fahrzeuge

	Re 456 (KTU)	RBDe 565 / 566 II	Re 425	Re 420 / Re 430	Re 620
Initial-Konzept	Streckenlok	Triebwagen	Streckenlok	Streckenlok	Streckenlok
Stück	14	35	34	271	88
Kontaktperson	Siegrist (SOB)	Schmid, B. (BLS)	Schmid, B. (BLS)	Carrara, G. (SBB)	Carrara, G. (SBB)
Bedienerhandbuch	Noch nicht vorhanden	Vorhanden	Vorhanden	Vorhanden	Noch nicht vorhanden
Radbauart	Bandagierte Scheibenräder	Bandagierte Scheibenräder	Bandagierte Speichenräder	Bandagierte Speichenräder	Bandagierte Speichenräder
Bremszylinder-Drücke	VHB R: 7.0bar / P-G: 3.9bar	R: 5.4 bar P: (RIC): 3.2 bar	R: 7.0 bar G: 3.8 bar	R: 6.8bar / P-G: 3.9bar	R: 6.8bar / P-G: 3.9bar
Bremszylindertyp	KNORR	KNORR, SAB	Westinghouse 10“	Westinghouse 10“	Westinghouse 10“
Bremssohlentyp	SBB S8 GG	SBB S8 GG	SBB S10 GG	SBB S6 GG	SBB S6 GG
Räder	Bandagierte Scheibenräder	Bandagierte Scheibenräder	Bandagierte Speichenräder	Bandagierte Speichenräder	Bandagierte Speichenräder

Die für eine Umrüstung in Frage kommenden Fahrzeugtypen und Bremssohlen müssen unter folgenden Gesichtspunkten eingeschätzt werden:

- Reibwerte und Reibwertverlauf möglichst ähnlich der verwendeten GG-Sohlen, um Anpassungen und Tauschaufwand gering zu halten
- Eignung für die speziellen Streckenbedingungen in der Schweiz wie Rampenfahrten und Steilstrecken
- Anpassung der Bremssteuerung, möglichst Erhöhung vom Anteil E-Bremse
- Anpassung des Steuerventils, evtl. R-Bremse invertieren

Aus erster Sicht erscheint hierfür eine L-Sohle aus Sintermaterial geeignet, welche ein niedrigeres Reibwertniveau als die K-Sohle aufweist und bereits bei der Re 450 erfolgreich zur Lärmsanierung eingesetzt wird.

Der vorliegende Bericht soll klären, an welchen der in [1] genannten Fahrzeuge welche technischen Änderungen vorgenommen werden müssen, um diese mit Verbund-Bremsklotzsohlen ausrüsten zu können.

3 Sanierungskonzept allgemein

Als Vorbild dient die Umrüstung Re 450 S-Bahn Zürich, welche mit Sinter-Bremssohlen ausgestattet wurde und ein überarbeitetes Bremskonzept mit Priorität E-Bremse bekam. Dies wurde im Rahmen des Projekts Eurosabot umgesetzt.

3.1 Vorgehensweise

Jedes Fahrzeug ist separat zu betrachten und seine individuellen Gegebenheiten und Einsatzbedingungen in der Auslegung und Konstruktion zu berücksichtigen.

Für die entsprechenden Triebfahrzeuge soll geprüft werden, ob die Massnahme der SBB-Re-450-Lärmsanierung in grossen Teilen übernommen werden kann. Geplant ist, nach Möglichkeit für alle Fahrzeuge folgende Schritte durchzuführen.

- Eignung bzw. Umrüstung der Räder (auf Monobloc-Rad)
- Verwendung von Sinter-Bremssohlen
- Anpassung der Bremskräfte
- R-Bremse invers genutzt (zur Begrenzung der thermischen Last)
- Bremssteuerung mit Priorität E-Bremse
- Anpassung im Bremsluftsystem

3.2 Eignung bzw. Umrüstung der Räder

Sämtliche hier zur Umrüstung auf K- oder L-Sohlen vorgesehenen Fahrzeuge sind mit bandagierten Rädern ausgerüstet. Durch ihr thermisches Verhalten leiten moderne Bremssohlen jedoch mehr Wärme in das Rad ein, wodurch der Radreifen einer grösseren Beanspruchung ausgesetzt wird. Die thermoelastische Verformung, welche das Risiko von Spannungsrissen erhöht, steigt. Weiterhin werden durch die Aufweitung der Radreifen die Bereiche ausreichendere Normalspannungen herabgesetzt und damit das übertragbare Drehmoment reduziert. Aus diesem Grunde existieren nahezu keine Betriebserfahrungen von modernen Bremssohlen auf bandagierten Rädern. Im Allgemeinen muss daher ohne detaillierte Klärung der Machbarkeit aus Sicherheitsgründen davon ausgegangen werden, dass eine Umrüstung der Fahrzeuge auf Monobloc-Räder Voraussetzung ist, um diese sicher mit K- oder L-Sohlen zu betreiben.

3.3 Austausch GG-Sohle durch Sinter-Sohle

Durch den Austausch der GG-Sohlen durch K-Sohlen oder L-Sohlen werden glatte Radlaufflächen erzeugt und damit der gewünschte lärmmindernden Effekt erzielt. Bei den hier betrachteten Triebfahrzeugen sind L-Sohlen aus Sintermaterial zu favorisieren, da ihr Reibwertniveau dem der GG-Sohlen ähnlich ist, tiefer als bei K-Sohlen liegt und damit die gewünschte Bremsleistung für Lokomotiven erbracht werden kann.

Der höhere Reibwert bzw. konstante Reibwertverlauf von Sinter- oder K-Sohlen erfordert eine Anpassung der Bremskräfte einerseits, um die nötige Bremsleistung bei jeder Geschwindigkeit aufzubringen und andererseits, um den thermischen Lasteintrag in das Rad zu begrenzen.

Hierbei ist zu klären, inwiefern dies durch mechanische Anpassungen am System oder durch die Änderung der Bremssteuerung zu erzielen ist. Dazu werden benötigt:

- Bremsrechung mit GG-Bremssohlen als Basis
- Bremsrechnung mit Sinter-Bremssohlen für die anzupassenden Bremszylinderdrücke oder allenfalls Bremszylinderübersetzung resp. Bremszylindergrösse

Ferner müssen neben den Sohlen selbst auch die Halter für die Sohlen getauscht werden, da diese aus Sicherheitsgründen (Vertauschbarkeit) nicht kompatibel sind.

3.4 Anpassung Bremskräfte

Moderne Verbund-Bremsklotzsohlen weisen andere Reibwertniveaus und -verläufe auf, daher müssen die Bremskräfte bzw. die Bremszylinderdrücke angepasst werden. Mögliche Komponenten, die ersetzt werden oder angepasst werden müssen, sind:

- Übersetzung Bremszylinder / -gestänge
- Steuerventil
- Bremsventil der direkten Bremse
- Diverse Kleinteile im Pneumatiksysteme (Druckventile, Druckvergleicher, Druckanpasser, Bremsschuh)

In der Steuerung müssen folgende Änderungen vorgenommen werden:

- Reduzierung der Bremszylinderdrücke, ggf. Realisierung der inversen R-Bremse

GG-Bremssohlen haben bei höheren Geschwindigkeiten einen abfallenden Reibwertverlauf. Um dies zu kompensieren, wird der Bremszylinderdruck in der Regel zweistufig, geschwindigkeitsabhängig gesteuert. Bei höheren Geschwindigkeiten wirkt damit ein höherer Bremszylinderdruck – die R-Bremse. Bei der Verwendung von K- und L-Sohlen muss dieser Mechanismus geändert werden, da sonst zu viel thermische Energie ins Rad gelangt.

3.5 Bremssteuerung mit Priorität E-Bremse

Stellt sich nach einer Probephase heraus, dass der Anteil der pneumatischen Bremse zur Vermeidung von zu starker Überhitzung der Räder weiter reduziert werden muss, so sind weitere Massnahmen erforderlich. Aus Gründen der Energieeffizienz sowie zur Verschleissminimierung sind bereits heute viele Bremssysteme der Fahrzeuge auf Vorrang E-Bremse eingestellt. Weitere Optimierungen dieses Verhältnisses können durch

Änderungen in der Fahrzeugsoftware (automatische Bremssteuerung, Bremsverteilung) oder durch betriebliche Änderungen erzielt werden:

- Bremsgewichtung automatisch (fester Anteil an E-Bremse und pneumatisch, kann nicht bei allen Fahrzeugen umgesetzt werden)
- Bremsgewichtungen manuell (durch Lokomotivführer, schon heute bei allen Fahrzeugen möglich)

Die Regelung der E-Brems-Kraft erfolgt stufenweise und folgt innerhalb eines bestimmten Geschwindigkeitsbereiches einer ausgewählten Motorkennlinie. Würde die Bremskraft bzw. der entstehende Strom unzulässig hoch oder niedriger als nötig, wird in die nächste Stufe umgeschaltet. Dieses Prinzip ist beispielhaft an der Lokomotive Re 6/6 in Abbildung 1 dargestellt.

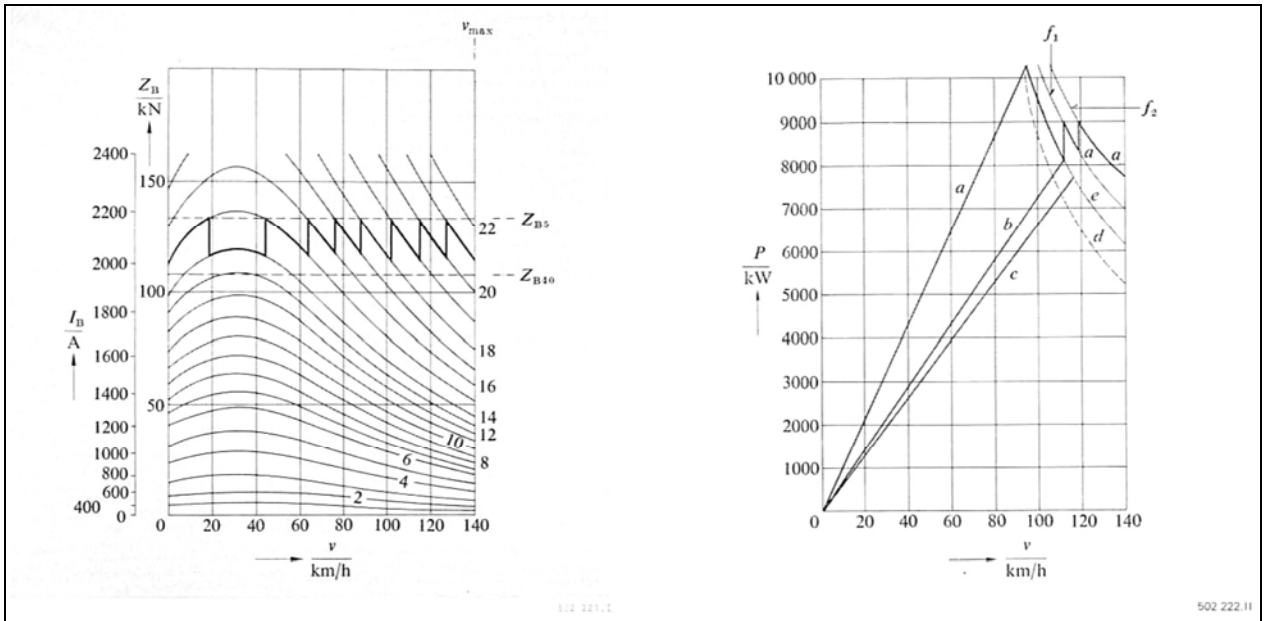


Bild 4 – Motorbrems-Kennlinien der Lokomotive Re6/6 bei 15 kV Netzspannung

I_B = Fahrmotorstrom bei Netzbremsbetrieb
v = Fahrgeschwindigkeit
Z_B = Bremskraft am Rad
Z_{B40} = Bremskraft am Rad bei Beharrung (während 40 min)
Z_{B5} = Bremskraft am Rad bei Verzögerung (während 5 min)
2...22 = Bremsstufen

Der ausgezogene Linienzug entspricht dem Bremskraftverlauf bei Verzögerung mit Strombegrenzungseinstellung.

Bild 5 – Leistungs-Kennlinien der Lokomotive Serie Re6/6 bei 15 kV Netzspannung

a = Grenzleistung in Funktion der Geschwindigkeit
b = Stundenleistung in Funktion der Geschwindigkeit
c = Dauerleistung in Funktion der Geschwindigkeit
d = Leistungsverlauf bei Netzspannung am Motor von 560 V
e = Leistungsverlauf bei höchster Fahrstufe und vollem Feld
f_1 = Leistungsverlauf bei Feldschwächstufe 1
f_2 = Leistungsverlauf bei Feldschwächstufe 2

Abbildung 1: Wirkprinzip der E-Bremse der Re 6/6

3.6 Prototypen-Umrüstung und Erprobung

Bei den zu sanierenden Fahrzeugen werden im täglichen Betrieb hohe Anforderungen an Räder und Bremssystem gestellt. Je nach Einsatz im Regional- oder Güterverkehr dominieren entweder häufiges Anfahren und Bremsen oder ausgedehnte Phasen, in denen eine hohe Zug- oder Bremskraft aufgebracht werden muss. Um die nötige Zuverlässigkeit zu gewährleisten und auftretende Probleme im Vorfeld zu erkennen und zu lö-

sen, sollten je Fahrzeugart erst wenige „Prototypen“ saniert werden und ausgiebig im Betrieb getestet werden. Für eine solche Erprobungsphase werden mindestens 12 Monate anberaumt, um auch die Einflüsse der verschiedenen Jahreszeiten mit entsprechenden Witterungs- und Umwelteinflüssen auf Reibwert, Bremsleistung, Abnutzung, Zuverlässigkeit etc. berücksichtigen zu können.

Der akustische Effekt, die Lärmminderung beim Rollgeräusch, stellt sich kurzfristig nach wenigen Bremsvorgängen am Fahrzeug ein. Dies wird durch Vorbeifahrtmessungen vor und nach einer Umrüstung validiert. Das Temperatur- und Verschleissverhalten kann jedoch erst nach längerer Laufzeit beurteilt werden, daher ist die Testphase von 12 Monaten nötig. Ebenfalls soll die Tauglichkeit der Bremse im Alltag nachgewiesen werden, wozu ein Feedback der Triebfahrzeugführer einzuholen ist. Erst nach erfolgreicher Testphase sollten die insgesamt bis zu 428 Fahrzeuge umgerüstet werden.

3.7 Beispiel und Konzept der Re 450

Die 115 Fahrzeuge der Re 450 wurden im Jahr 1999 einer Fahrzeugsanierung unterzogen, wobei verschiedene Bremssohlen untersucht wurden, siehe Tabelle 2. Ein Teil der Massnahmen hinsichtlich Lärmminderung innerhalb des Bremssystems wurde wie folgt umgesetzt:

- Tausch der GG-Sohlen gegen L-Sohlen Jurid 795 mit einem Reibwert von 0.17
- Anpassung der Bremszylinderdrücke
- Umkehrung der R-P-Stufung

Tabelle 2: Aus SLM-Untersuchung zur Re 450 von 1996

	GG S8	Abex 319	Jurid PM120	Ceramulat C17
Reibwert	0.15	0.32	0.16	0.18
0-50 km/h	P: 4.5 bar	P: 3.8 bar	P: 3.0 bar	P: 2.2 bar
50-120 km/h	R: 6.8 bar	R: 2.8 bar	R: 2.0 bar	R: 1.5 bar

Die Radbeanspruchung und das Verschleissverhalten bei Verwendung von L-Sohlen aus Sinter werden aus den Erfahrungen der SBB folgendermassen beschrieben:

„Die Re 450 ist mit Vollrädern ausgestattet, welche besser für hohe Temperatureinträge durch K-Sohlen oder L-Sohlen geeignet sind. Es traten anfangs dennoch vereinzelt Risse im Rad auf, welche jedoch nicht eindeutig auf die verwendeten Bremssohlen zurückzuführen waren. Es können auch Qualitätsschwankungen der Räder als Ursache dafür herangezogen werden. Mit den aktuellen L-Sohlen aus Sinter ist die SBB bezüglich Rad-Verschleiss zufrieden. Ein direkter Vergleich von GG-Sohle zu L-Sohle wurde jedoch für die Re 450 und auch für Fahrzeuge mit ähnlichem Einsatzprofil nicht unternommen.“

Der Aufwand für die Lärmsanierung einzelner Fahrzeuge der Re 450 ist nur noch schwer zu errechnen, da der Lieferant SLM einen Teil der Kosten für die Sanierung aufgrund von Lieferdiskrepanzen übernommen hat.

4 Relevante Bauteile und technische Informationen

Bei der Einführung moderner Verbund-Bremsklotzsohlen müssen an diversen Bauteilen Änderungen vorgenommen werden. Im Folgenden wird auf die einzelnen Komponenten eingegangen sowie Änderungsmöglichkeiten und Grenzen aufgezeigt.

4.1 Bremsbeläge

Die an Schienenfahrzeugen verwendeten Bremssohlen (Bremsklötze) werden entsprechend ihrer Materialzusammensetzung und ihres Reibwertniveaus bezeichnet. Die lange Zeit als Standard gebräuchlichen Grauguss-Sohlen führen bei Eisenbahnrädern zu erhöhter Radrauheit und damit verbunden hohem Rollgeräusch. Neuere Bremssohlen, sogenannte Verbundstoff-Bremsklotzsohlen „V-BKS“ (K-Sohle, L-Sohle und LL-Sohle), bestehen aus einem anderen Materialmix und rauen die Laufflächen der Räder kaum noch auf. Durch glatte Räder verringert sich der Rollgeräuschanteil gegenüber GG-Sohlen-gebremsten Fahrzeugen um etwa 10 dB. Die V-BKS-Bremsmaterialien sind in drei Klassen mit unterschiedlichen Reibwertniveaus unterteilt. Reibwertniveau und -verläufe in Abhängigkeit der Fahrgeschwindikeit müssen bei einem Sohlenwechsel durch eine entsprechende Anpassung der Bremskräfte und Bremssteuerung an den Fahrzeugen kompensiert werden. Leider haben die neuen V-BKS-Bremsmaterialien auch Nachteile und bringen u. U. einen erhöhten Radverschleiss sowie schlechtere Adhäsion mit sich, was bei angetriebenen Rädern zum Schleudern und bei Laufrädern zum Gleiten führen kann (Flachstellengefahr).

Unterteilung nach Materialzusammensetzung

- Grauguss / P10
- Spezielles Graugusseisen mit definierten Mangan-, Silizium- und Phosphoranteilen (1%, 1.4%, 3% werden entsprechend als P10, P14 bzw. P30 bezeichnet)
- Organische Bremssohlen (V-BKS) und Bremsbeläge
- Reibmaterialien: Eisenspäne, Messingwolle, mineralische Fasern
- Bindemittel: Phenolharze, Melaminharze, synthetischer Kautschuk
- Füllstoffe: Glimmer, Kreide, Talkum
- Gleitmittel: Graphit, Sulfide, Koks
- Reibstützer: Harze, Gummimehl
- Hilfsstoffe: Weichmacher, Lösemittel, Vulkanisationsbeschleuniger
- Gesinterte Bremssohlen (V-BKS) und Bremsbeläge
- Bremsbeläge für höhere Beanspruchungen
- Unterteilung nach Reibwertniveau

Unterteilung nach Reibwertniveau / Bezeichnung:

- GG-Sohlen μ = 0.15 Standardbremssohle mit niedrigem Reibwert / spez. Verlauf*
- K-Sohlen μ = 0.25 Bremssohlen mit hohem Reibwert / konst. Verlauf**
- L-Sohlen μ = 0.17 Bremssohlen mit niedrigem Reibwert / konst. Verlauf
- LL-Sohlen μ = 0.11 Bremssohlen frei tauschbar mit P10-Sohlen

* GG-Sohlen weisen mit steigender Geschwindigkeit einen parabolisch abnehmenden Reibwertverlauf auf.

** Bei K- / L- / LL- Sohlen ist der Reibwert über der Geschwindigkeit annähernd konstant.

K-Sohlen (einige zugelassen gem. UIC-Baurichtlinie für Güterwagen)

Als K-Sohlen werden Komposit- oder Sintersohlen mit hohem Reibwertniveau bezeichnet. Durch zusätzliche Additive kann das Reibwertniveau von Kompositmaterialien entsprechend angepasst bzw. geändert werden. Weitere Additive werden zugesetzt, um einen gleichmässigen Reibwert über der Temperatur und bei Nässe zu erreichen, sowie den Verschleiss zu reduzieren. Tabelle 3 ermöglicht einen Überblick über bisher getestete K-Sohlen.

Von den zugelassenen Sorten sind Cosid 810 und Jurid 816M tauschbar. Bei allen anderen hier aufgelisteten Sorten läuft das Zulassungsverfahren noch, diese können somit nur für Versuche genutzt werden.

Tabelle 3: Material und Eigenschaften verschiedener K-Sohlen

Bezeichnung	Material	Zulassung	Bemerkung
Cosid 810	organisch	Ja	Freigabe durch UIC und ERA
Bremskerl 8675H	organisch	Nein	hat Wintertest nicht bestanden
Jurid 816M	organisch	Ja	Freigabe durch UIC und ERA
Abex 333-1	Sinter	-	μ=0.25
Becorit 929-1SG	organisch	Nein	Ist nicht freigegeben von ERA
Becorit K26	organisch		
Icer 909	organisch		
Jurid 836	organisch		μ=0.25 bis 0.32
Jurid 838	organisch		μ=0.22 bis 0.4
Jurid 738	Sinter	Ja	μ=0.25 bis 0.30, UIC-Freigabe für Güterwagen
Jurid 796	Sinter		μ=0.27 bis 0.32
Jurid 798	Sinter		μ=0.30 bis 0,35

L-Sohlen (einige zugelassen gem. UIC-Baurichtlinie für Güterwagen)

Werden L-Sohlen als Kompositsohlen ausgeführt, muss durch Additive das Reibwertniveau entsprechend reduziert werden. Tabelle 4 Listet einige L-Sohlen auf.

Tabelle 4: Material und Eigenschaften verschiedener L-Sohlen

Bezeichnung	Material	Zulassung	Bemerkung
Jurid 833		-	μ=0.12 bis 0.23
Jurid 832		-	μ=0.12 bis 0.32
Jurid 865	Organisch		μ=0.15 bis 0.20, diverse Serieneinsätze
Jurid 795	Sinter	Ja	μ=0.14 bis 0.30
Abex 308		-	μ=0.17

LL-Sohlen (einige für Versuche gem. UIC-Anwendungsrichtlinie für Güterwagen freigegeben)

Werden LL-Sohlen als Kompositsohlen ausgeführt, muss durch Additive das Reibwertniveau entsprechend reduziert werden. Tabelle 5 listet einige LL-Sohlen auf.

Tabelle 5: Material und Eigenschaften verschiedener LL-Sohlen

Bezeichnung	Material	Freigabe für Versuche	Bemerkung
Jurid 777	Sinter	Ja	μ=0.15 vorläufig gem. Anwendungsrichtlinie
Becorit C840	organisch		
Cosrail C952-1	Sinter		
Jurid 847-10	organisch		
Becorit IB116*	organisch	Ja	vorläufig gem. Anwendungsrichtlinie

Insbesondere für den Einsatz in Triebfahrzeugen und Streckenlokomotiven für den Güterverkehr im Schweizer Schienennetz sind bereits gute Erfahrungen mit K-Sohlen oder L-Sohlen zumeist aus Sinter-Metall vorhanden.

Wahl eines geeigneten Bremsbelages

Grundsätzlich gibt es drei verschiedene Arten Komposit-Bremsbeläge, die nach ihren Reibwerten klassifiziert sind. Den geringsten fahrzeugseitigen Umbauaufwand stellt dabei die Umrüstung auf LL-Sohlen dar, welche direkt und ohne weitere Massnahmen am Bremssystem mit den vorhandenen Graugussklötzen getauscht werden können. Da sich diese Bremsbeläge jedoch noch im Teststadium befinden und noch keine Zulassungen vorhanden sind, scheidet die Umrüstung auf LL-Sohlen aus. Alternativ bieten sich K- und L-Sohlen an, wobei K-Sohlen ein so hohes Reibwertniveau aufweisen, dass hierbei der Bremszylinder kleiner dimensioniert und damit ausgetauscht werden muss. L-Sohlen hingegen weisen ein mittleres Reibwertniveau auf, bei dem lediglich die Bremszylinderdrücke abgesenkt werden müssen – der Bremszylinder selbst muss nicht getauscht werden. Im weiteren Verlauf wird daher die Umrüstung auf L-Sohlen verfolgt.

4.2 Bremszylinder

Über den Bremszylinder bzw. den Bremszylinderdruck und über die mechanische Übersetzung lässt sich letztendlich die jeweils benötigte Bremsklotzkraft am Rad einstellen. Tendenziell müssen bei einem Austausch der GG-Sohlen durch L-Sohlen die Kräfte / Drücke herabgesetzt werden. Im Konzept ist für die jeweiligen Fahrzeugtypen zu klären, ob genügend mechanischer Spielraum für einen solchen Eingriff vorhanden ist oder ein Tausch einzelner Komponenten notwendig wird.

4.3 Bremsberechnung

Die Dimensionierung einer Bremsanlage wird im Rahmen einer Bremsberechung abgeschätzt, um Bremsklotzkräfte, Bremszylinderdrücke, etc. in Abhängigkeit des geänderten Reibmaterials festzulegen. Diese Grössen wurden so gewählt, dass sich durch die Umrüstung der Bremssohlen das Bremsvermögen des Fahrzeuges nicht ändert und aus

der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit der gleiche Bremsweg erreich wird. Für die endgültige Zulassung gemäss UIC 544 muss allerdings das Bremsgewicht (Mass für das Bremsvermögen eines Fahrzeugs) mittels eines Versuches ermittelt werden.

4.4 Bremssteuerung

Durch die Bremssteuerung ist die aktuelle Aufteilung der Bremsarten (pneumatische Bremse, Magnetschienenbremse und elektro-dynamische Bremse) am jeweiligen Fahrzeugtyp vorgegeben. Die Bremsarten werden abhängig der Traktionsart und Geschwindigkeit zu festen Anteilen eingesetzt. Das Signal zur Steuerung geht in der Regel vom Lokführer aus oder wird automatisch eingeleitet. Bei älteren Triebfahrzeugen findet die Aufteilung der Bremsarten z. T. noch von Hand statt, so muss bei der Re 420 bei einer elektrodynamischen Bremsung ein Schalter zur Unterdrückung der pneumatischen Bremse betätigt werden.

Die automatische Bremssteuerung kann nur durch den Softwarelieferant (Bombardier, Siemens) per Update oder Programmänderung geändert werden. Bei einer Umrüstung auf eine Sinter-Bremssohle ist eine Anpassung der Bremssteuerung zur Einhaltung des Bremsweges nicht notwendig. Es kann jedoch sein, dass im späteren Versuch ein anderes Verschleissverhalten von Klotz oder Rad auftritt, welchem mit einer Änderung der Bremssteuerung begegnet werden kann.

4.5 Steuerventil

Das Steuerventil hat die Aufgabe, den abfallenden Reibwertverlauf der GG-Bremssohlen bei höheren Geschwindigkeiten zu kompensieren. Dies wird in der Regel zweistufig, geschwindigkeitsabhängig gesteuert: Stufe P (für die niedrigen Geschwindigkeiten – niedriger Bremszylinderdruck) und Stufe R (für hohe Geschwindigkeiten – höherer Bremszylinderdruck).

Bei K- und L-Sohlen mit über der Geschwindigkeit konstantem Reibwert muss diese Bremsschaltung angepasst bzw. sogar umgekehrt werden (inverse R-Bremse), da sonst bei hohen Geschwindigkeiten zu viel thermische Energie in das Rad gelangt. In Abbildung 2 ist am grünen Verlauf zu erkennen, wie die Bremskraft und somit der Bremszylinderdruck (rechte obere Grafik) und die Bremsleistung (rechte untere Grafik) dosiert werden müssen, um den Wärmeeintrag ins Rad zu begrenzen. Eine solche Umschaltung ist grundsätzlich möglich und wird am Steuerventil eingestellt. Die Bremszylinderdrücke müssen separat angepasst werden.

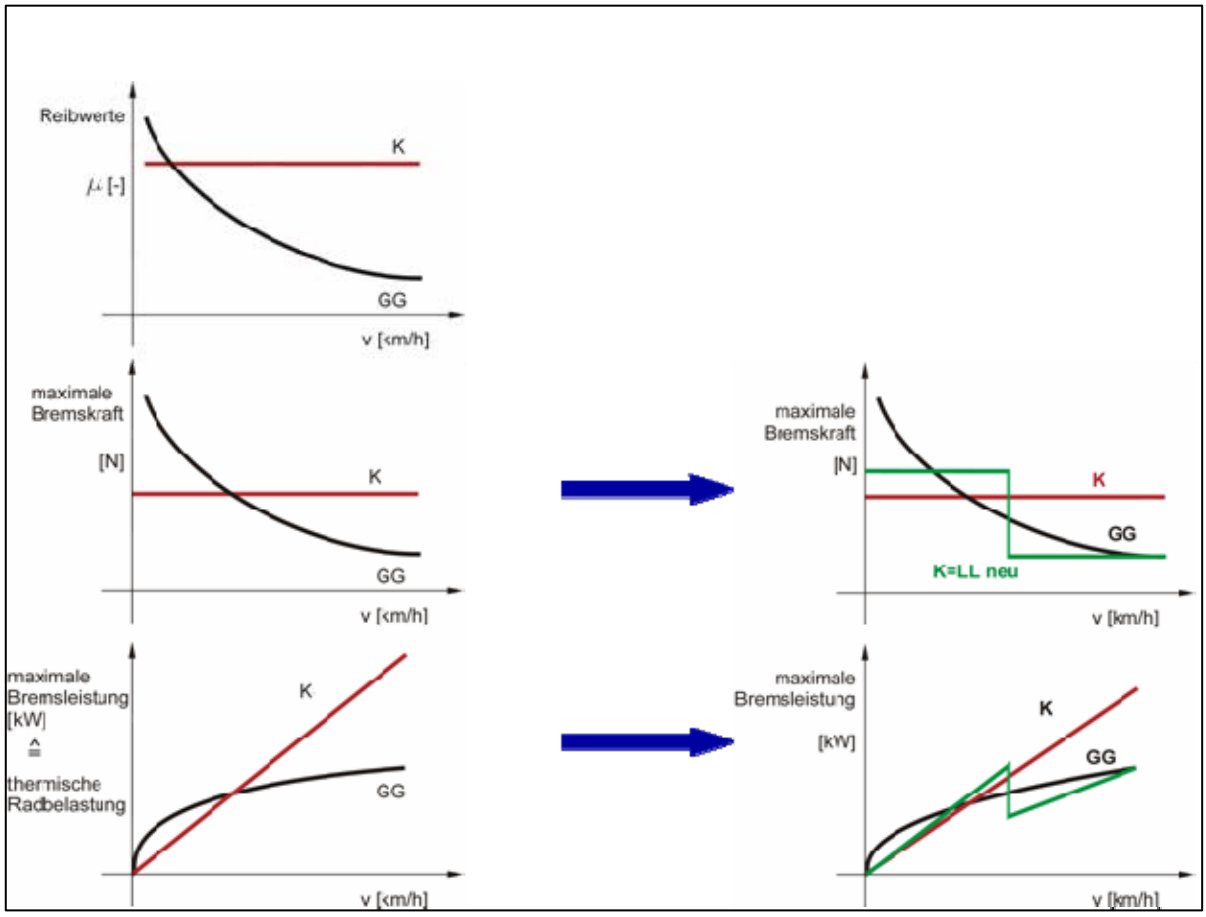


Abbildung 2 Reibwertverlauf von K- & GG-Sohlen, Prinzip umgekehrte R-Bremse

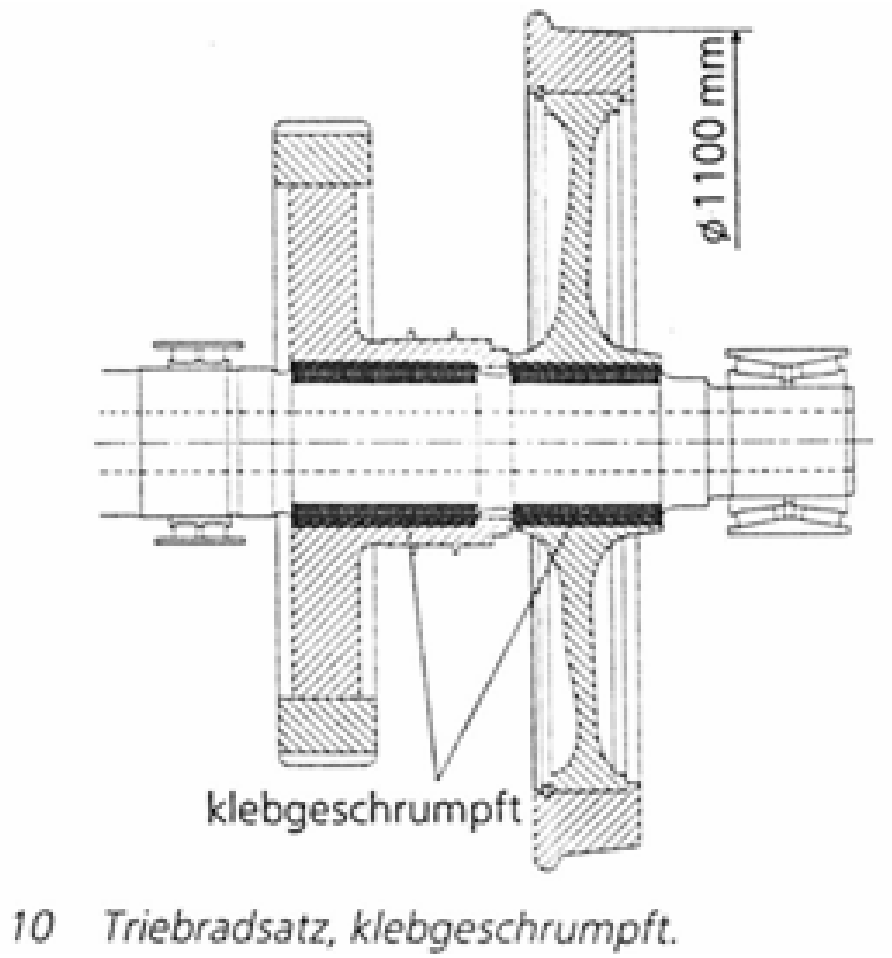
4.6 Räder

Alle hier behandelten Triebfahrzeuge sind derzeit mit bandagierten Rädern ausgestattet, siehe Abbildung 3. Moderne Bremssohlen mit anderen Reibwerten und Bremskräften bringen durch ihr thermisches Verhalten mehr Wärme in den Radkörper und in die Bandagen als GG-Sohlen. Diese erhöhte Wärmezufuhr führt bei Radreifen zu einer grösseren thermoelastischen Verformung, welche das Risiko von Spannungsrissen erhöht. Weiterhin wird durch die Aufweitung der Radreifen das übertragbare Drehmoment reduziert.

Bisher wurden K-Sohlen daher nur auf Vollrädern betrieben, Erkenntnisse über das reale Verhalten sowie die Betriebssicherheit von bandagierten Rädern mit K- oder L-Sohlen sind rar. Es wird daher zunächst als Voraussetzung für eine solche Lärmsanierung von einer Umrüstung auf Vollräder ausgegangen.

Es ist jedoch denkbar (im Fall der Re 456 erwünscht), die bandagierten Räder beizubehalten. Dazu müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Limitierung der pneumatischen Bremsleistung
- Thermoelastische Berechungen der Rad-Brems-Konstellation
- Vorläufige Zulassung und weitere Prüfstandsmessungen



10 Triebradsatz, klebgeschrumpft.

Abbildung 3: Bandagiertes Rad einer KTU-Lokomotive Re 456

Ein Radtausch ist jedoch bei den meisten Fahrzeugen (z. B. Einheitsloks) mit einer Neuentwicklung und Zulassung einer geeigneten Radbauart verbunden, da solche Räder nicht im Teilebestand vorrätig sind. Dass an anderen Fahrzeugen bereits geeignete Räder (für eine Übernahme ohne Anpassungen am Radkörper) im Einsatz sind, ist eher unwahrscheinlich.

Im Zuge des Radtausches kann es zu vermehrtem Kurvenkreischen und Makroschlupf-Pfeifen kommen, da Monobloc-Räder deren Bildung begünstigen. Dieses Problem kann neu vor allem bei den leichten Fahrzeugen KTU-Lokomotive Re 456 und NPZ RBDe 565 auftreten. Im Rahmen der Sanierungsmassnahmen muss daher auch über geeignete Radschallabsorber nachgedacht werden, die den entstehenden Schall aufnehmen.

5 KTU-Lokomotive Re 456

Die Re 456 ist eine vierachsige Lokomotive mit Umrichtertechnik, die in den späten achtziger Jahren von SLM und BBC entwickelt und für Schweizer Privatbahnen (Konzessionierte Transport-Unternehmungen, kurz KTU) konstruiert wurde. Es gibt zur Zeit 14 Loks, welche mit bandagierten Rädern ausgerüstet sind.

Abbildung 4: KTU-Lokomotive Re 456

Sie unterscheiden sich lediglich in den verwendeten Radsatzwellen und Fügetechniken zwischen Radscheibe und Radsatzwelle. Die Fahrzeuge sind entsprechend Tabelle 6 auf die einzelnen EVUen aufgeteilt.

Tabelle 6: In der Schweiz vorhandene Re 456-Lokomotiven

Betreiber	Inbetriebnahme	Anz.	Ausf. Radsatzwelle	Fügetechnik Rad-Welle
SOB	1987	6	Vollwellen	Formschrumpfung
SZU	1987, 1993	6	Hohlwellen	Klebeschrumpfung
BLS	1993	2	Hohlwellen	Klebeschrumpfung

Aus Erfahrungen der SOB weisen ihre Fahrzeuge mit bandagierten Rädern (Re 456) eine um 50 % höhere Laufleistung auf als solche mit Monobloc-Rädern (Reisezugwagen Voralpen-Express), da die Radreifen aus widerstandsfähigerem Material ausgeführt werden können. Mit einigen Fahrzeugen der Re 456 wurden Laufleistungen von 700’000 km realisiert. Entsprechend ist die SOB sehr skeptisch eingestellt gegenüber einer Lärmsanierung, wenn diese mit einem Wechsel auf Monobloc-Räder verbunden wäre.

5.1 Fahrzeugbeschreibung

Die Re 456 (KTU) ist eine Bo'Bo'-Lokomotive von SLM, BBC und ABB mit einer Dauerleistung von 3.200 kW und einer Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h. Die Länge über Puffer beträgt 16.600 mm bei einem Gesamtgewicht von 69 t sowie einer Anfahrzugkraft von 240 kN.

In der Bremsausrüstung ist ein Steuerventil (Typ LST 101,151) der Oerlikon-Bührle AG eingebaut. An einem Drehgestell sind jeweils zwei Klotzbremseinheiten mit UIC-Typ 250 (GG-Sohlen Typ S8) und Bremszylindern PR 216 L diagonal zu zwei Klotzbremseinheiten mit PR 216 LF (mit Federspeicher) angeordnet. Die Gesamtübersetzung zwischen Bremszylinder und Klotz beträgt i = 3.8. Aus Tabelle 7 und Tabelle 8 gehen einige relevante technische Daten hervor.

Tabelle 7: Technische Daten der Klotzbremseinheit der Re 456

Klotzbremseinheit	PR 216 L	Federspeicher
Wirksame Kolbenfläche	366.4 cm²	238.5 cm²
Totvolumen	350 cm³	137 cm³
Hubvolumen	366.4 · Klotzhub	1870 · Klotzhub
Max. Betriebsdruck	8 bar	
Übersetzungsbereich	i_{min}= 2.2 i_{max} = 4.0	
Klotzkraft	P = (3664 · c - 500) i 0.95 - 550 [N]	
Max. Klotzhub	abhg. von i	
Nachstellkapazität	140 mm	140 mm

Tabelle 8: Drücke und Kräfte der Klotzbremseinheit der Re 456 bei Übersetzung von i = 3.8

			Automatische Druckluft-bremse		**Feder-speicher**
Bremsart			R	P/G	
Brems- bzw. Lösedruck	P	bar	7.5	3.6	5.3
Bremsklotzkraft	Fkl	kN	90.0	41.85	32.0
Anzahl der Doppel-klötze pro DG	N		8	8	4
Totale Bremsklotzkraft pro DG	Fkl x n	kN	720.0	334.88	128.0
Theor. Abbremsung	$A = \frac{Fkl \cdot n \cdot 100}{2 \cdot Q}$	%	200	93	35.56

5.2 Umrüstung der Räder

Die Radsätze sind aktuell mit bandagierten Scheibenrädern bestückt. Für einen sicheren Einsatz mit L-Sohlen sind zum heutigen Zeitpunkt nur Vollräder geeignet, was demzufolge ein Tausch der Räder mit sich bringen würde. Erkenntnisse über das reale Verhalten sowie die Betriebssicherheit von bandagierten Rädern mit K- oder L-Sohlen sind rar. Die Betreiber der Re 456 zeigen sind jedoch bestrebt, die bandagierten Räder aufgrund ihres günstigen Verschleissverhaltens beizubehalten. Neue Vollräder müssten zudem erst für zwei unterschiedliche Fügeverfahren und jeweils sechs Lokomotiven zugelassen werden und würden zu erheblichen Mehraufwand führen.

Daher wurde eine Machbarkeitsuntersuchung [6] über den Einsatz von L-Sohlen auf bandagierten Rädern durchgeführt, welche durch Simulation und Messung folgende Fragestellung untersucht hat:

- Limitierung der pneumatischen Bremsleistung
- Thermoelastische Berechungen der Rad-Brems-Konstellation
- Zulassungsfähigkeit und weitere Prüfmodi

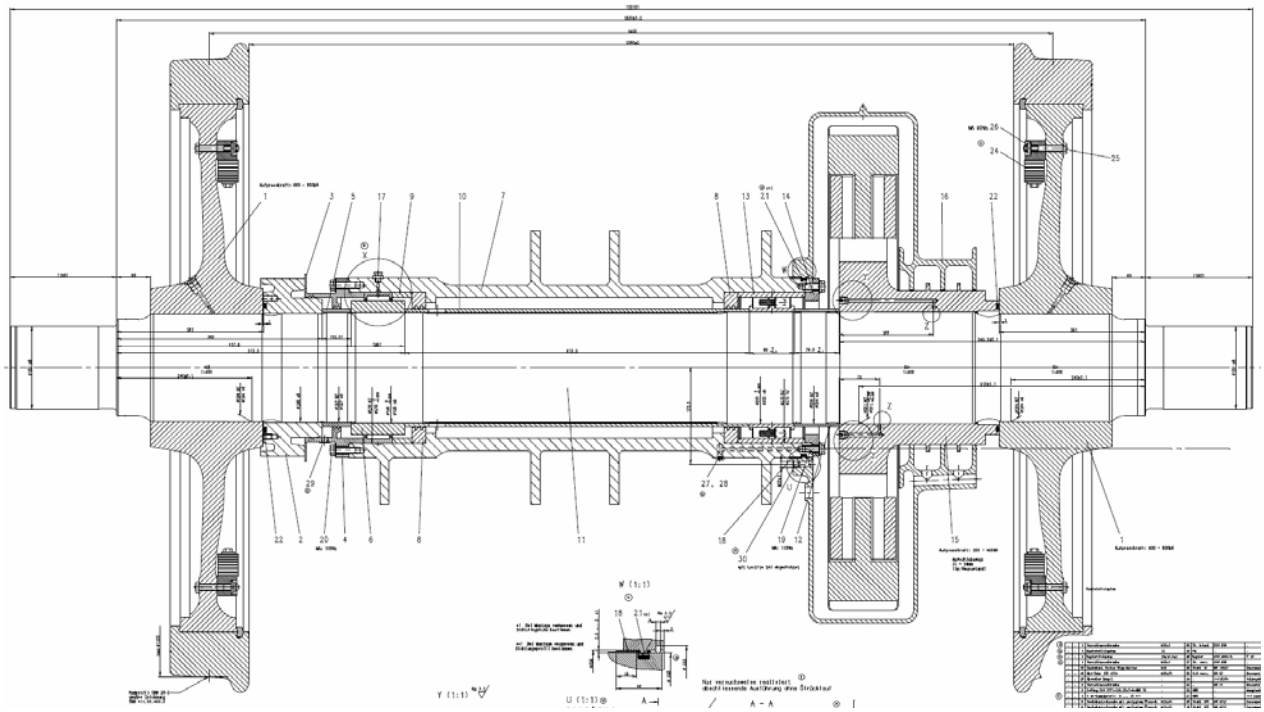


Abbildung 5: Zeichnung Triebradsatz Re 456

Eine thermische Nachweis-Rechnung [6] von Schnellbremsungen und Rampen-Notbremsungen hat ergeben, dass die Temperaturen in Rad und Bandage signifikant ansteigen und die übertragbaren Kräfte und Momente sinken. Bei einem neuen Radreifen mit 1'100 mm Raddurchmesser sind demnach keine Einschränkungen im Betrieb zu erwarten, im Bereich des Grenzmasses ist dies nach vorliegender Simulation kritisch, muss jedoch noch abschließend bewertet werden. Das Grenzmass der Radreifen beträgt zugunsten der thermischen Belastbarkeit 1'036 mm statt dem Minimum laut Zeichnung von 1'020 mm. Diese betriebliche Massnahme wurde von der SOB aufgrund des vorhandenen Lichtraumprofils eingeführt. Es kann allerdings sein, dass sich trotz theoretischer Unbedenklichkeitsbetrachtung zusätzliche betriebliche Einschränkungen ergeben (z. B. beim Verhalten nach einer Schnellbremsung). Diese werden im Rahmen einer Prototypen-Untersuchung abgeklärt.

Der Wärmeeintrag und damit verbundene Gefügeveränderungen im Radreifen bei starker thermischer Belastung kann am Prototyp-Fahrzeug ggf. auch metallurgisch untersucht werden. Mittels Markierungen an Radreifen und Radsteg kann auf einfache Art überprüft werden, ob sich der Radreifen auf Grund der Beanspruchungen verdreht.

5.3 Anpassung der Bremskräfte

Die Anpassung der Bremskräfte kann ausschliesslich durch eine Änderung des Bremszylinderdruckes erfolgen. Das in Kapitel 4.5 erläuterte Prinzip der inversen R-Bremse ist hierfür nicht erforderlich, allerdings muss der Bremszylinderdruck sowohl bei P-Bremsung als auch bei R-Bremsung deutlich herabgesetzt werden: Von Fahrzeughöchstgeschwindigkeit herab bis zur Umschaltgeschwindigkeit von 50 km/h beträgt der Bremszylinderdruck rein rechnerisch nun 2.6 statt 7.5 bar, darunter 2.2 statt 3.6 bar. Die Bremsrechnung sowie die hierfür herangezogenen Eingabeparameter finden sich in Kapitel 5.9. Für den Vergleich zur ursprünglichen Bremsauslegung wurde ebenfalls mit einer Umschaltgeschwindigkeit von 50 km/h gerechnet, in der Praxis wurde dieser auf knapp 40 km/h angepasst (38 km/h). Bei den neu vorgesehenen Sintersohlen mit annähernd konstantem Reibwert über den gesamten Geschwindigkeitsbereich der Lok kann anhand der Betriebsversuche getestet werden, ob auf die Umschaltung der Bremsstufen ganz verzichtet werden kann (nur noch einstufige Bremse).

5.4 Änderung der Bremssteuerung

Ein geänderter Bremszylinderdruck erfordert auch eine Druckanpassung in der Bremssteuerung. Anhand des Pneumatikschemas sollte dies durch eine reine Anpassung des Steuerventils und / oder des Druckübersetzers möglich sein, siehe Abbildung 6. Ob beide Elemente gleichzeitig verändert werden müssen (Zusammenwirken), muss in einem nächsten Schritt bei einer Umrüstung der Fahrzeuge in Zusammenarbeit mit dem Lieferanten der Pneumatikkomponenten geklärt werden. Die direkt wirkende Rangierbremse ist von den oben erwähnten Anpassungen nicht betroffen. Diese wird mittels Rangierbrems-Steuerventils betätigt und steuert dadurch direkt das Druckniveau in den Bremszylindern der Lokomotive.

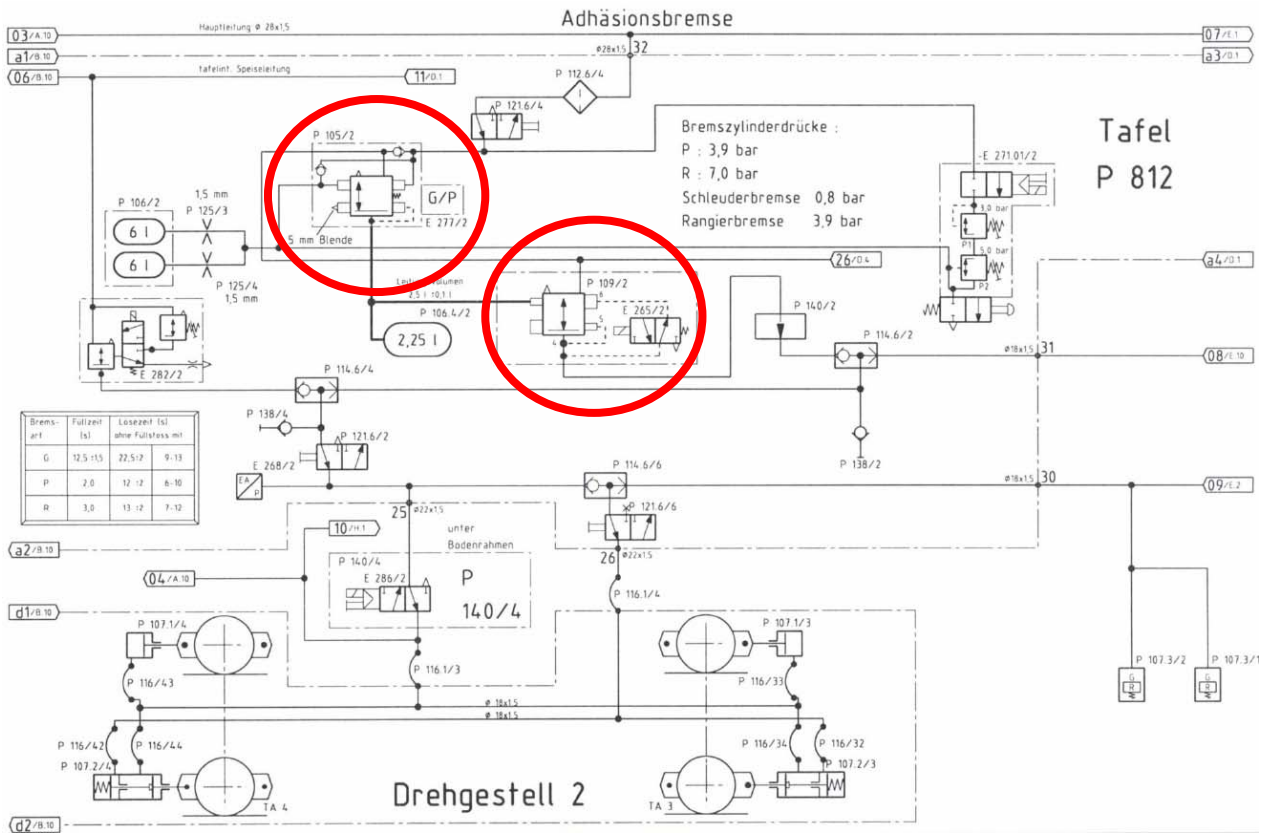


Abbildung 6: Pneumatikschema mit Steuerventil und Drucküberset zer der Re 456

Beim Steuerventil und beim Drucküberset zer kann jeweils das Innenleben angepasst werden, um das benötigte Druckniveau für den neuen Bremszylinderdruck zu erreichen. Das genaue Vorgehen bei der Anpassung und den Umbau der Komponenten muss im konkreten Fall direkt mit den Lieferanten geklärt werden. Im Bremssystem sind verschiedentlich Doppelrückschlagventile im Einsatz. Bei der Anpassungen (Absenkung) von Steuer- und Bremsdruck muss beachtet werden, dass auf die Anschlüsse solcher Ventile unterschiedliche Drücke wirken. Ansonsten besteht die Gefahr von undefinierten Ventil-Stellungen.

Die E-Bremse soll prioritär und mit der höchst möglichen Kraft wirksam sein. Bei Geschwindigkeitsreduzierung in Richtung Stillstand des Fahrzeugs soll diese erst so spät wie möglich durch die P-Bremse unterstützt bzw. abgelöst werden. Dieses Vorgehen mindert den Verschleiss an den Bremsklötzen und reduziert die vom Rad bei Betriebsbremsungen aufzunehmende thermische Energie auf das Mindestmass. Das Fahrpersonal (der SOB) ist bereits entsprechend geschult, dass die E-Bremse maximal ausgenutzt werden soll, so dass hier keine grundsätzliche Änderung möglich ist. Eine Optimierungsmöglichkeit wäre allenfalls, bei normalen Betriebsbedingungen die Wagen pneumatisch und die Lok lediglich elektrisch zu bremsen. Ein Tausch der Bremsklötze an der Lok ist aufwändiger als an den Wagen, ein geringerer Klotzverschleiss an den Loks bringt diesbezüglich neben geringerer thermischen Belastung der Räder ebenfalls noch Vorteile.

5.5 Besonderheiten

Die Re 456 sind mit einem elektronischen Gleit- und Schleuderschutz ausgerüstet, welcher über die Bremszylinder ebenfalls direkt auf die Räder wirkt. Durch die neuen Reibverhältnisse der Sintersohlen muss an ersten Fahrzeugen geprüft werden, ob die Druckübersetzer für die Gleit- und Schleuderschutzventile ebenfalls angepasst werden müssen. Die Wirkungsweise kann anhand von Fahr- und Bremsversuchen getestet werden.

Aus Sicht der EVU's soll sich die Zugkraft nicht verringern. Die geringere Rauheit der Laufflächen durch die neu verwendeten Sintersohlen verringert die Adhäsion zwischen Rad und Schiene. Je nach Witterungseinflüssen kann dies beim Anfahren / Bremsen einen deutlich spürbaren Einfluss haben, was gerade auf dem topographisch sehr anspruchsvollen Streckennetz der SOB mit bis zu 50 ‰ Steigung resp. Gefälle kritisch ist. Da bei Feuchtigkeit und in Kombination mit der geringeren Laufflächenrauheit die Adhäsionsgrenze früher als bisher erreicht wird, ist eine optimale Einstellung des Schleuderschutzes auf die Reibverhältnisse mit Sintersohlen wichtig.

Andererseits führt eine geringere Adhäsion beim Bremsen schneller zum Blockieren der Räder und damit zu Flachstellen. Ein Blockieren kann zudem aber auch den Bremsweg deutlich verlängern und stellt damit ein erhebliches Sicherheitsrisiko dar. Nach Informationen von SOB ist bei der Re 456 ein anderer Gleitschutzrechner eingebaut als bei der Re 450 (S- Bahn Zürich). Die bei SOB im Einsatz stehende Variante führt unter speziellen Betriebsbedingungen zu Problemen. Zusammen mit den EVU's sollte im Zuge einer Lärmsanierung daher geklärt werden, ob eine Modernisierung der Gleitschutzelektronik (Impulsgeber, Software, Hardware) aus betrieblichen Gründen notwendig ist. Eine solche Gleitschutzmodernisierung sollte ebenfalls gleich an allfälligen Prototyp-Fahrzeugen umgesetzt und getestet werden.

Die neu vorgesehenen Sinter-Bremsklötze sollen zur Sicherheit wegen der möglichen Vertauschbarkeit mit anderen Sohlen durch Nocken im Bremsklotz „codiert" sein. Durch die Nocken passen die Sinterklötze dann nicht mehr in den bestehenden Bremsklotzhalter für Grauguss-Sohlen. Wenn diese bestehenden Bauteile nicht nachbearbeitet werden können, müssen zusätzlich die Bremsklotzhalter ersetzt werden.

Sinter-Bremsklötze erzielen durch ihr Reibverhalten mit hoher Wahrscheinlichkeit glatte Laufflächen und führen zu geringerer Lärmentwicklung. Bezüglich Laufleistung können jedoch keine garantierten Voraussagen gemacht werden, hier sind die Erfahrungen aus anderen Bremsumrüstungen ähnlicher Fahrzeugtypen nicht direkt übertragbar, da Laufverhalten und Betrieb mitunter stark unterschiedlich ausfallen. Anhand der Erfahrungen der SBB Re 450 (S-Bahn Zürich) können fahrzeugspezifische Eigenheiten, unterschiedliche Materialpaarungen oder Einsatzbedingungen übermässigen Verschleiss oder gar Schäden auf der Lauffläche oder am Bremsklotz hervorrufen. Falls möglich sollten daher gleichzeitig Sinterklötze verschiedener Hersteller mit identischem Reibwert getestet

werden. Je nach Werkstoff kann im Vergleich zu Grauguss-Sohlen ein Blockieren der Räder bei kalten Bremsklötzen weniger häufig vorkommen.

Der Einsatz der Sanderanlage zur Verbesserung der Adhäsion unter schlechten Witterungseinflüssen ist in Kombination mit gewissen Bremsklotzwerkstoffen unter Umständen nicht ideal. Der Sand kann je nach Werkstoff und Anpressdruck ebenfalls zu starkem Bremsklotzverschleiss führen und Abbröckelungen oder Materialausbrüchen verursachen.

5.6 Aufwand und Mengengerüst

Tabelle 9 fasst die nötigen Umbaumassnahmen bei der Re 456 zusammen. Nur wenige Bauteile müssen dabei ersetzt werden, an den meisten Komponente können die notwendigen Anpassungen vorgenommen werden. In der Tabelle ist daher eine dem Ersetzungsaufwand entsprechende Prozentzahl angegeben. 100 % bedeuten, dass dieses Bauteil komplett getauscht werden muss und keine Anpassungen möglich sind. Bei den Bremssohlen muss zudem eher von einer Umstellung auf ein Substitut als von einem Ersatz gesprochen werden, da ohnehin auch Kosten für den Tausch verschlissener GG-Teile anfallen.

Tabelle 9: Umrüstungsaufwand bei Re 456

Re 456	Anz. je Fzg.	Ersetzungsaufwand	Menge für 1 Fzg.	Menge für 14 Fzg.
Sinterbremssohlen	32	100 %	32	448
Bremssohlenhalter	16	100 %	16	224
Park-Bremszylinder PR 216 LF	4	0 %	-	-
Bremszylinder PR 216 L	4	0 %	-	-
Brems-Gestänge	8	0 %	-	-
Steuerventil	2	10 % (Anpassung)	2	28
Drucküberset̀zer	2	10 % (Anpassung)	2	28
Räder	8	noch unbekannt	(8)	(112)

5.7 Prototypen-Umrüstung und Erprobung

Bei den KTU-Lokomotiven Re 456 ist es unter Verwendung von Vollrädern möglich, nur mit Änderung der Bremszylinderdrücke und der daraus erforderlichen weiteren Massnahmen den Bremsweg des Fahrzeuges mit L-Sohlen an den bisherigen Bremsweg anzupassen. Zu beachten ist, dass die Datenlage der Brems-Übersetzung nicht eindeutig ist. Es kann nicht nachvollzogen werden, ob der gegebene Wert von i=3.8 (siehe Abbildung 9) vom Bremszylinder bis zum Ausgang der Klotzbremseinheit oder bis zu jedem Doppelklotz definiert ist. Es wird davon ausgegangen, dass der Wert die Übersetzung zu jedem Doppelklotz darstellt, er wird daher mit zwei multipliziert. Ohne diesen Schritt würden unplausibel lange Bremswege erreicht werden. Der Bremsweg des Fahrzeugs beträgt aus der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit von 130 km/h mit der angepassten Übersetzung nach wie vor 652 m. Auch im Zwischenbereich ist er nahezu mit dem ursprünglichen identisch, was auch eine in etwa gleiche Wärmeleistungsentwicklung

über der Zeit mit sich führt. Bremszylinder oder Gestänge müssen nicht getauscht werden.

5.8 Erprobungsphase

Da die KTU-Lokomotiven Re 456 zur Zeit bei drei verschiedenen Betreibern eingesetzt werden (SOB 6 Fzg.e, SZU 6 Fzg.e, BLS 2 Fzg.e) und diese über sehr unterschiedliche Verschleissbilder am Rad berichten, sollte bei jedem der beiden EVUen ein Fahrzeug umgebaut und erprobt werden. Auf die unterschiedlichen Fügetechniken zwischen Rad und Welle bei den beiden Betreibern wird der höhere Wärmeeintrag gemäss der durchgeführten Simulation allerdings keinen Einfluss haben, da die Erwärmung nicht bis in diesen Bereich fortschreitet.

Zu Beginn resp. vor der Erprobungsphase sollen folgende Messungen an den Fahrzeugen gemacht werden, um die Sicherheit im Betrieb sowie die erzielte Lärmminderung zu dokumentieren:

- Bremswegmessung mit dem Fahrzeug nach der Umrüstung
- Vorbeifahrmessung (Lärmemission) bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten vor und nach der Umrüstung. Durchführung gemäss TSI Noise und EN 3095.
- Wirkung der Stillstandsbremse im Gefälle

Speziell auch im Hinblick auf das topographisch sehr anspruchsvollen Streckennetz der SOB mit bis zu 50 ‰ Steigung resp. Gefälle ist aus Sicht der EVU's das Thema Adhäsion sehr wichtig. Durch die geringere Laufflächenrauheit kann diese je nach vorherrschenden Witterungsbedingungen verringert sein. Untersuchungen bezüglich Zugkraft unter verschiedenen Umwelt- und Einsatzbedingungen sowie eine Überprüfung von Gleit- und Schleuderschutzvorrichtungen soll ebenfalls in Absprache mit den jeweiligen EVU vorgesehen werden.

Weitere Schritte bezüglich einer allfälligen Umrüstung (inkl. Erprobungsphase) zur Lärmsanierung an den Re 420 müssen direkt mit den EVU's abgesprochen werden. Einerseits ist die Flottenpolitik entscheiden, Fahrzeuge der ersten Serie werden möglicherweise schon bald abgestellt. Andererseits muss ein Umbau zur Lärmsanierung entsprechend den Instandhaltungsintervallen der Fahrzeuge geplant und die pneumatische Anpassung der Ventile etc. direkt mit den Lieferanten geklärt werden. In der Regel werden die Bremskomponenten zur Wartung resp. Umbau (Anpassung) nach Ausbau während der Revision zu den Lieferanten geschickt. Die Inbetriebnahme der Fahrzeuge mit Feinabstimmung der Komponenten inkl. betriebsinterner Dokumentation / Richtlinien etc. bedingt Initialaufwand. Die Fahrzeugdisposition für die Umrüstungen und die Beobachtung der Prototypen während der Erprobungsphasen kann nur durch die EVU's erfolgen. Gerade das Verschleissverhalten der geänderten Bauteile soll in regelmässigen Abständen kontrolliert werden. Auch allfällige fahrtechnische Veränderungen durch die

Verschleissprofile können am Besten kurz vor einer notwendigen Reprofilierung im Feldversuch überprüft werden. Die Umstellung von Radreifen auf Monobloc-Räder hat bei den EVU's auch Einfluss auf die Abläufe in der Radsatzinstandhaltung, bei Logistik und Einkauf. Nicht zuletzt muss das Fahrpersonal ebenfalls auf die neuen Eigenschaften / Bremsverhalten eingeschult werden. Auch ob das längerfristige Betreiben der lärmsanierten Fahrzeuge in Wartung und Unterhalt kostenneutral ist, dürfte für das entsprechende EVU von grossem Interesse sein.

5.9 Technische Unterlagen

Für die in Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellten Bremsberechnungen werden folgende Unterlagen herangezogen:

Anordnung der Klotzbremseinheiten pro Drehgestell

Drehgestell innen

1 Knorr Klotzbremseinheit Bauart PR 216 L
Zchng. Knorr 1B 74932
Ausführungsform:
Bestellschlüssel: I / 90634 /123
Übersetzungsverhältnis: I = 3,8
Rückstellvorrichtung mit Sechskant SW 55

1 Knorr Klotzbremseinheit mit Federspeicher
Bauart PR 216 LF
Zchng. Knorr 1B 74935
Ausführungsform:
Bestellschlüssel: I / 90636 /1226
Übersetzungsverhältnis: I = 3,8
Rückstellvorrichtung mit Sechskant SW 55
Hilfslöseeinrichtung des Federspeichers mit Vierkant SW 14 (beidseitig angeordnet)

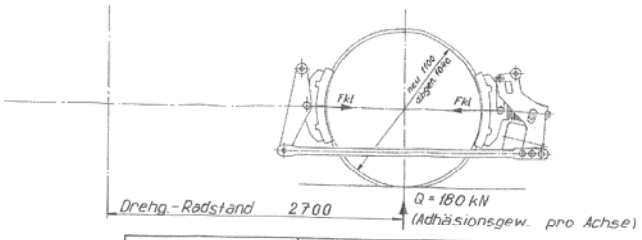
Drehgestell aussen

gleiche Art und Anzahl wie Drehgestell innen, nur diagonal zu innen angeordnet

Bremsklotzsohle

UIC - Typ 250

1 Federspeicher pro Achse



			automatische Druckluftbremse		Feder-speicher
Bremsart			R	P/G	
Brems- bzw. Lösedruck	P	bar	7,5	3,6	5,3
Bremsklotzkraft	Fkl	kN	90,0	41,86	32,0
Anzahl der Doppel-Klötze pro Drehg.	n		8	8	4
Totale Bremsklotz-kraft pro Drehg.	Fkl × n	kN	720,0	334,88	128,0
Theoretische Abbremsung	$A = \frac{Fkl \times n \times 100}{2 \times Q}$	%	200	93	35,56

Abbildung 7: Daten Bremsanlage Re 456 [8]

		Betriebszylinder Service brake cylinder	Federspeicher Spring brake
Wirksame Kolbenfläche Effective piston area		366.4 cm^2	283.5 cm^2
Totvolumen Dead volume		350 cm^3	137 cm^3
Hubvolumen = 366.4 [cm^2] · Klotzhub [cm] · i Cylinder capacity = 366.4 [cm^2] · stroke of brake shoe [cm] · i		cm^3	1870 cm^3
Max. Betriebsdruck Max. pressure		c = 8 bar	siehe Diagramm see diagram
Übersetzungsbereich Rigging ratio		$i_{min.} = 2.2$ $i_{max.} = 4.0$	
Klotzkraft Shoe force	P = (3664 · c - 500) · i · 0.95 - 550	N	siehe Diagramm see diagram

Abbildung 8: Daten Klotzbremseinheit Re 456 [10]

Bremsberechnung Re 456 Grauguss

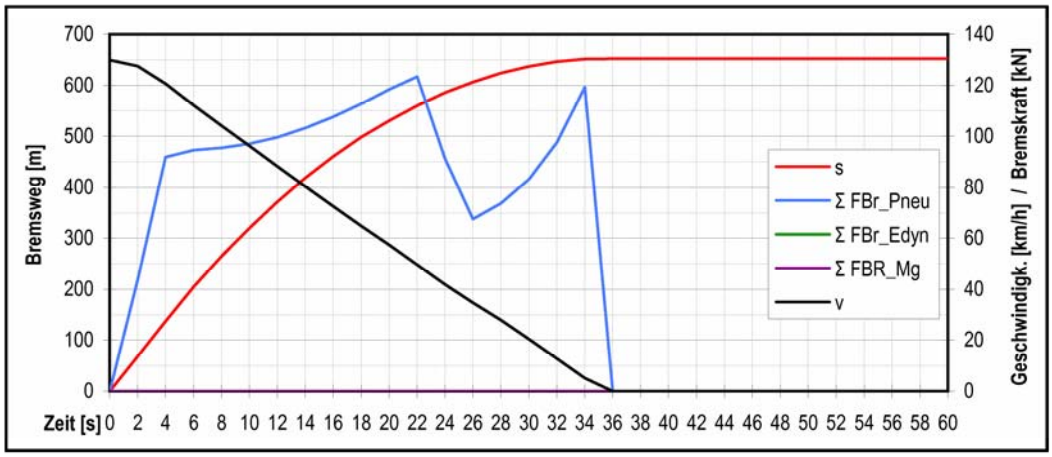
Allg. Simulationsdaten

Zeitschritt [s]
0.10

Maximal zulässiger Reibwert Rad/Schiene
0.12

Berechnung mit Fahrwiderstand?
ja

Ausgangsge-schwindigkeit [km/h]
130.0



Zugkonfiguration

	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.3	Fzg.4	Fzg.5	Fzg.6	Fzg.7	Fzg.8	Fzg.9	Fzg.10	Fzg.11	Fzg.12	Fzg.13	Fzg.14
Fahrzeugmasse [t]	69.00													
Anteil rotierende Masse [%]	10.80													
Zuladung [t]	0.00													
E-Bremse	aus													
Mg-Bremse	aus													
Längskraft auf nächst.Fzg.[kN]	0.0													

Rechnung

t [s]	ΣF_{Br_Pneu} [kN]	ΣF_{Br_Edyn} [kN]	ΣF_{Br_FW1} [kN]	ΣF_{Br_ges1} [kN]	$\varnothing a_1$ [m/s]	ΣF_{BR_Mg} [kN]	ΣF_{Br_FW2} [kN]	ΣF_{Br_ges2} [kN]	$\varnothing a_2$ [m/s]	$\varnothing a_{ges}$ [m/s]	v [km/h]	s [m]
0	0.0	0.0	2.2	2.2	-0.03	0.0	5.8	5.8	-0.08	-0.10	130.0	0.0
2	43.7	0.0	2.2	45.9	-0.60	0.0	5.5	5.5	-0.07	-0.67	127.5	68.1
4	91.8	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	5.0	5.0	-0.06	-1.13	120.7	137.1
6	94.6	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	4.3	4.3	-0.06	-1.12	112.2	204.9
8	95.4	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	3.7	3.7	-0.05	-1.11	104.2	264.9
10	97.1	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	3.2	3.2	-0.04	-1.10	96.2	320.5
12	99.7	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	2.7	2.7	-0.03	-1.10	88.3	371.6
14	103.2	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	2.2	2.2	-0.03	-1.09	80.4	418.3
16	107.6	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	1.8	1.8	-0.02	-1.09	72.6	460.7
18	112.8	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	1.4	1.4	-0.02	-1.08	64.8	498.7
20	118.5	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	1.1	1.1	-0.01	-1.08	57.4	530.9
22	123.5	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	0.8	0.8	-0.01	-1.07	49.6	560.5
24	91.2	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	0.6	0.6	-0.01	-1.07	41.9	585.8
26	67.5	0.0	2.2	69.7	-0.91	0.0	0.4	0.4	-0.01	-0.92	34.7	606.9
28	73.7	0.0	2.2	75.9	-0.99	0.0	0.3	0.3	0.00	-1.00	27.9	624.2
30	83.2	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	0.1	0.1	0.00	-1.06	20.4	637.6
32	97.7	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	0.1	0.1	0.00	-1.06	12.7	646.7
34	119.3	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	0.0	0.0	0.00	-1.06	5.1	651.5
36	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.4
38	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.4
40	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.4
42	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.4
44	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.4
46	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.4
48	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.4
50	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.4
52	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.4
54	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.4
56	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.4
58	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.4
60	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.4

Abbildung 9: Bremsberechnung Re 456 Grauguss

Bremsberechnung Re 456 Jurid

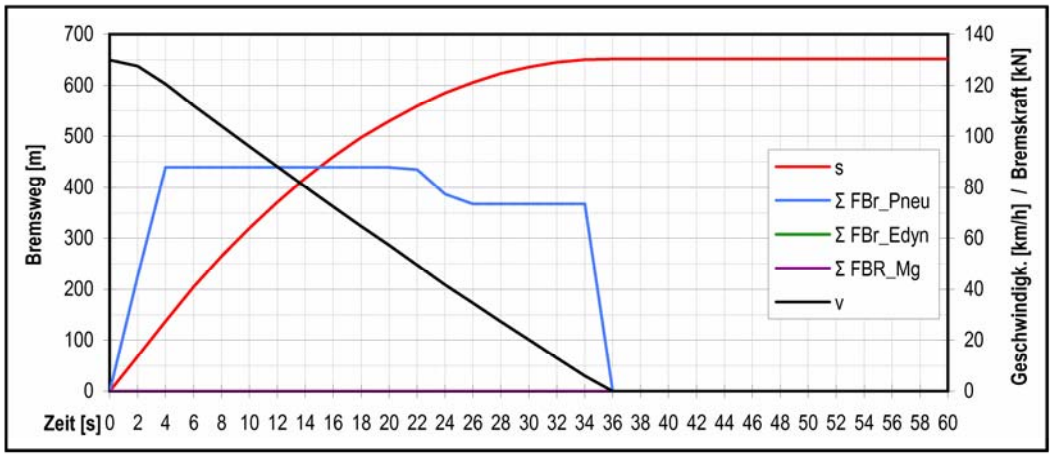
Allg. Simulationsdaten

Zeitschritt [s]
0.10

Maximal zulässiger Reibwert Rad/Schiene
0.12

Berechnung mit Fahrwiderstand?
ja

Ausgangsge-schwindigkeit [km/h]
130.0



Zugkonfiguration

	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.3	Fzg.4	Fzg.5	Fzg.6	Fzg.7	Fzg.8	Fzg.9	Fzg.10	Fzg.11	Fzg.12	Fzg.13	Fzg.14
Fahrzeugmasse [t]	69.00													
Anteil rotierende Masse [%]	10.80													
Zuladung [t]	0.00													
E-Bremse	aus													
Mg-Bremse	aus													
Längskraft auf nächst.Fzg.[kN]	0.0													

Rechnung

t [s]	ΣF_{Br_Pneu} [kN]	ΣF_{Br_Edyn} [kN]	ΣF_{Br_FW1} [kN]	ΣF_{Br_ges1} [kN]	$\varnothing a_1$ [m/s]	ΣF_{BR_Mg} [kN]	ΣF_{Br_FW2} [kN]	ΣF_{Br_ges2} [kN]	$\varnothing a_2$ [m/s]	$\varnothing a_{ges}$ [m/s]	v [km/h]	s [m]
0	0.0	0.0	2.2	2.2	-0.03	0.0	5.8	5.8	-0.08	-0.10	130.0	0.0
2	45.1	0.0	2.2	47.3	-0.62	0.0	5.6	5.6	-0.07	-0.69	127.6	68.1
4	87.9	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	5.0	5.0	-0.06	-1.13	120.6	137.1
6	87.9	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	4.3	4.3	-0.06	-1.12	112.1	204.9
8	87.9	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	3.7	3.7	-0.05	-1.11	104.0	264.8
10	87.9	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	3.1	3.1	-0.04	-1.10	96.1	320.2
12	87.9	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	2.7	2.7	-0.03	-1.10	88.1	371.3
14	87.9	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	2.2	2.2	-0.03	-1.09	80.3	418.0
16	87.9	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	1.8	1.8	-0.02	-1.09	72.4	460.3
18	87.9	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	1.4	1.4	-0.02	-1.08	64.6	498.2
20	87.9	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	1.1	1.1	-0.01	-1.08	57.2	530.3
22	86.9	0.0	2.2	81.2	-1.06	0.0	0.8	0.8	-0.01	-1.07	49.5	559.8
24	77.3	0.0	2.2	79.5	-1.04	0.0	0.6	0.6	-0.01	-1.05	41.8	585.1
26	73.5	0.0	2.2	75.7	-0.99	0.0	0.4	0.4	-0.01	-1.00	34.5	606.1
28	73.5	0.0	2.2	75.7	-0.99	0.0	0.3	0.3	0.00	-0.99	27.4	623.2
30	73.5	0.0	2.2	75.7	-0.99	0.0	0.1	0.1	0.00	-0.99	20.2	636.4
32	73.5	0.0	2.2	75.7	-0.99	0.0	0.1	0.1	0.00	-0.99	13.1	645.5
34	73.5	0.0	2.2	75.7	-0.99	0.0	0.0	0.0	0.00	-0.99	6.0	650.7
36	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.0
38	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.0
40	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.0
42	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.0
44	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.0
46	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.0
48	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.0
50	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.0
52	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.0
54	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.0
56	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.0
58	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.0
60	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	652.0

Abbildung 10: Bremsberechnung Re 456 Jurid

6 Triebwagen RBDe 565 / RBDe 566 II

Die RBDe 565 der BLS AG sind Triebwagen, die mit den zugehörigen Steuer- und Zwischenwagen als Pendelzüge im Regionalverkehr eingesetzt werden. Von der ursprünglichen EBT (Emmental-Burgdorf-Thun Bahn) wurden weitere Fahrzeuge dieses Typs in Flotte integriert, welche unter der Bezeichnung RBDe 566 II geführt werden.

Abbildung 11: RBDe 565 mit Steuerwagen

6.1 Fahrzeugbeschreibung

Die Motordrehgestelle aller 22 Triebwagen RBDe 565 und jene der 13 Triebwagen RBDe 566 II (siehe Abbildung 11) sind mit bandagierten Rädern ausgerüstet in Kombination mit Graugusssohlen. Die Laufradsätze der Abt-Steuerwagen und B-Zwischenwagen wurden in der Vergangenheit bereits erfolgreich auf Vollräder zur Verwendung von Kunststoffbremssohlen umgerüstet.

Gemäss Ausführungsbestimmungen zu den Fahrdienstvorschriften (AB FDV; R 301.11) sind auf den Triebwagen Kunststoffsohlen nicht zulässig. Eine einheitliche Ausrüstung der Pendelzüge mit identischen Bremsklötzen ist demnach nicht zulässig.

Im Rahmen einer Lärmsanierung müssten also nur bei den Triebdrehgestellen der RBDe 565 / RBDe 566 II auf Vollräder gewechselt werden, da ein Austausch der Bremssohlen auf K- oder L-Sohle höhere thermische Lasten im Rad bewirkt. Optional können bei Vollrädern auch noch Radscheibenabsorber angebracht werden. Die Triebwagen sind 25’000 mm lang, mit zwei Triebdrehgestellen ausgestattet und wiegen im Leerzustand 69.5 t (Zuladung 8.4 t). Das Fahrzeug verfügt über eine ein- und ausschaltbare R-Bremse (Stellung RIC, PRIC vs. Stellung R, PR). Die aktuell verbauten Klotzbremseinheiten sind vom Typ L BF 2S-90 und R BF 2S-90 mit SBB-Typ-S8-GG-Sohlen (UIC 250). Aus Tabelle 10 und gehen weitere relevante technische Daten hervor.

Tabelle 10: Technische Daten der Klotzbremseinheit des RBDe 565

Klotzbremseinheit	SAB BF 2S-90	Knorr SZ 1908
Wirksame Kolbenfläche	366.4 cm²	
Totvolumen		
Hubvolumen		
Max. Betriebsdruck	6 bar	
Übersetzung	i = 4.0	i = 3.6
Klotzkraft		
Max. Klotzhub		70 mm
Klotzspiel	5 mm	
Nachstellkapazität	140 mm	

Gemäss aktuellen Informationen von BLS (Stand: November 2010) werden die total 35 Fahrzeuge RBDe 565 / 566II bis 2025 aus dem aktiven Fahrdienst ausscheiden. Eine genaue Staffelung der Stilllegung ist nicht bekannt. Nach diesen Angaben sind also die letzten Einheiten noch knapp 15 Jahre im Einsatz.

Je vier RBDe 567 dürften momentan noch bei TRN und TPF im Einsatz sein. Diese unterscheiden sich äusserlich stark von den BLS-Fahrzeugen, in den elektrischen und mechanischen Komponenten entsprechen diese aber weitgehend den „Privatbahn-NPZ“. Der aktuelle Aus- / Umrüstungsstand der Fahrzeuge wurde von PROSE im Verlaufe dieses Projektes nicht geklärt. Die Flottenpolitik von TRN und TPF ist ebenfalls nicht bekannt. Bei allfälligen Lärmsanierungsmassnahmen können diese Firmen für weitere Schritte aber ebenfalls mit einbezogen und angefragt werden.

Tabelle 11: Drücke und Kräfte der Klotzbremseinheit des RBDe 565

			Automatische Druckluft-bremse		**Feder-speicher**
Bremsart			R, P_R	RIC, P_{RIC}	
Brems- bzw. Lösedruck	P	bar	5.0	3.0	
Bremsklotzkraft	Fkl	kN	59.7 (61.7)	34.8 (36.4)	12.75
Anzahl der Doppel-klötze pro Wagen	n		16	16	16
Totale Bremsklotzkraft pro DG	Fkl x n	kN	954.9 (987.4)	559.1 (582.2)	204
Theor. Abbremsung	$A = \frac{Fkl \cdot n \cdot 100}{2 \cdot Q}$	%	140 (144.8)	82 (84.8)	32.5

6.2 Umrüstung der Räder

Für einen sicheren Betrieb und die erhöhte thermische Belastung der Räder sind die vorhandenen bandagierten Räder durch Monobloc-Räder zu ersetzen. Ein auf die Triebwagen abgestimmter Radtyp, welche für Klotzbremsen geeignet ist, müssen vorab konstruiert und berechnet werden. Im Vergleich zu den härteren Radreifen ist der Verschleiss an den Monobloc-Rädern erwartungsgemäss höher, was bei der Konstruktion durch möglichst viel „Verschleissreserve“ kompensiert werden soll.

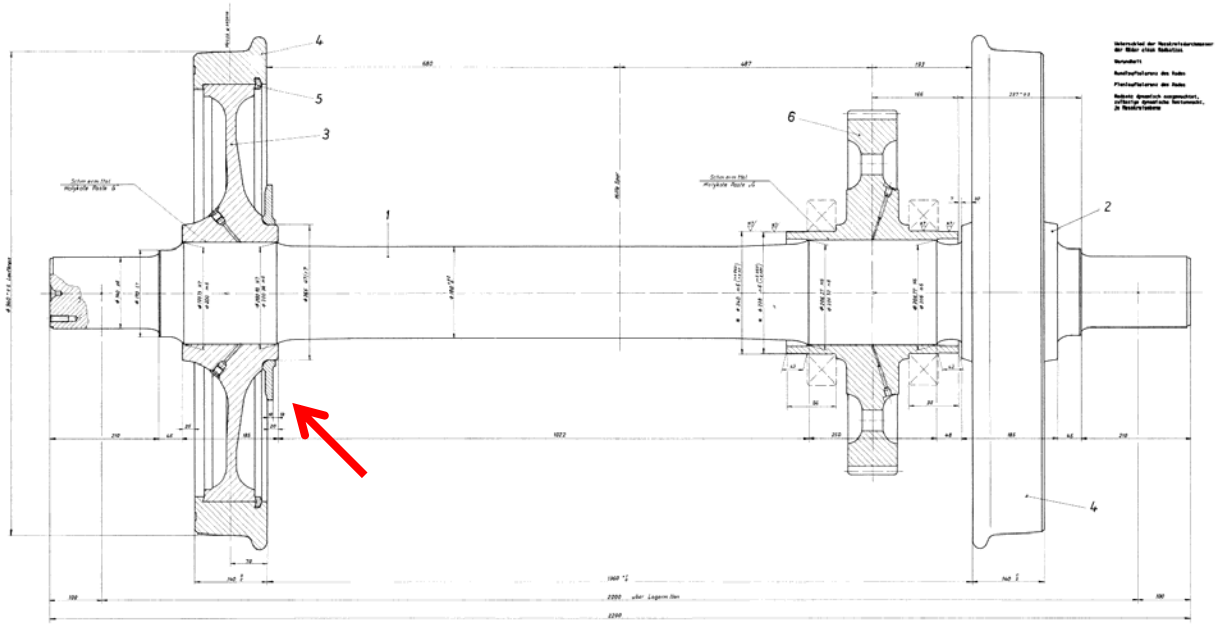


Abbildung 12: Treibradsatz RBDe 565 / RBDe 566 II mit Kontaktscheibe (links)

Wie der Abbildung 12 entnommen werden kann, unterscheiden sich die Räder nur leicht im Bereich der Nabe. Für die Andrehung der Kontaktscheibe kann derselbe Rad-Rohling verwendet werden. Diese Kontaktscheibe (Pos. 6) wird entweder jeweils neu beschafft oder muss beim Tausch der Monobloc-Räder demontiert und am neuen Radkörper aufgepresst werden.

Ein Ersatz der Speichenräder durch Monobloc-Räder bedeutet Mehraufwand im Unterhalt der Radsätze und Mehrkosten in der Beschaffung von Ersatzmaterial (komplexere Räder anstelle von Radreifen). Der Einfluss des Radwerkstoffes auf die Laufleistung / Lebensdauer der Räder lässt sich erst anhand eines Betriebsversuches ermitteln. In Zusammenarbeit mit den EVU’s sollte daher vorgängig geklärt werden, ob eine Rückvergütung für lärmsanierte Achsen (in Rp / km?) über die geplanten Instandhaltungsintervalle die Mehrkosten im Fahrzeugunterhalt decken.

Abbildung 13: bandagierte Räder der Triebwagen RBDe 565 / RBDe 566 II

Das neue Monobloc-Rad der Laufdrehgestelle der Abt-Steuerwagen und B-Zwischenwagen, welche bereits auf Vollräder und Kunststoff-Bremsklötze umgerüstet sind, können für die Triebradsätze nicht verwendet werden. Neben deutlich geringerem Verschleissmass und Radbreite 135 mm anstatt 140 mm unterscheiden sich die Räder im Nabenbereich sehr stark. Der konische Presssitz für die Triebradsatzwelle hat einen Durchmesser von nominal ø200mm, die Laufradsatzwelle nur von rund ø155mm.

6.3 Anpassung der Bremskräfte

Die Anpassung der Bremskräfte kann ausschliesslich durch eine Änderung des Bremszylinderdruckes erfolgen. Das in Kapitel 4.5 erläuterte Prinzip der inversen R-Bremse ist hierfür nicht erforderlich, allerdings muss der Bremszylinderdruck sowohl bei P-Bremsung als auch bei R-Bremsung deutlich herabgesetzt werden: Von Fahrzeughöchstgeschwindigkeit herab bis zur Umschaltgeschwindigkeit von 50 km/h betrug dieser 5.0, darunter 3.0 bar. Die Umschaltung kann voraussichtlich aufgegeben werden, der Bremszylinderdruck beträgt rein rechnerisch nun konstant 2.0 bar (einstufige Bremse). Die Bremsrechnung sowie die hierfür herangezogenen Eingabeparameter finden sich in Kapitel 6.8.

6.4 Änderung der Bremssteuerung

Ein geänderter Bremszylinderdruck erfordert auch eine Druckanpassung in der Bremssteuerung. Anhand des Pneumatikschemas sollte dies durch eine reine Anpassung des Steuerventils und / oder des Druckübersetzers möglich sein, siehe Abbildung 22. Ob beide Elemente gleichzeitig verändert werden müssen (Zusammenwirken), muss in einem nächsten Schritt bei einer Umrüstung der Fahrzeuge in Zusammenarbeit mit dem Lieferanten der Pneumatikkomponenten geklärt werden. Die direkt wirkende Rangierbremse ist von den oben erwähnten Anpassungen nicht betroffen. Diese wird mittels

elektro-pneumatischen Rangierbrems-Steuerventils betätigt und steuert dadurch direkt das Druckniveau in den Bremszylindern des Triebwagens.

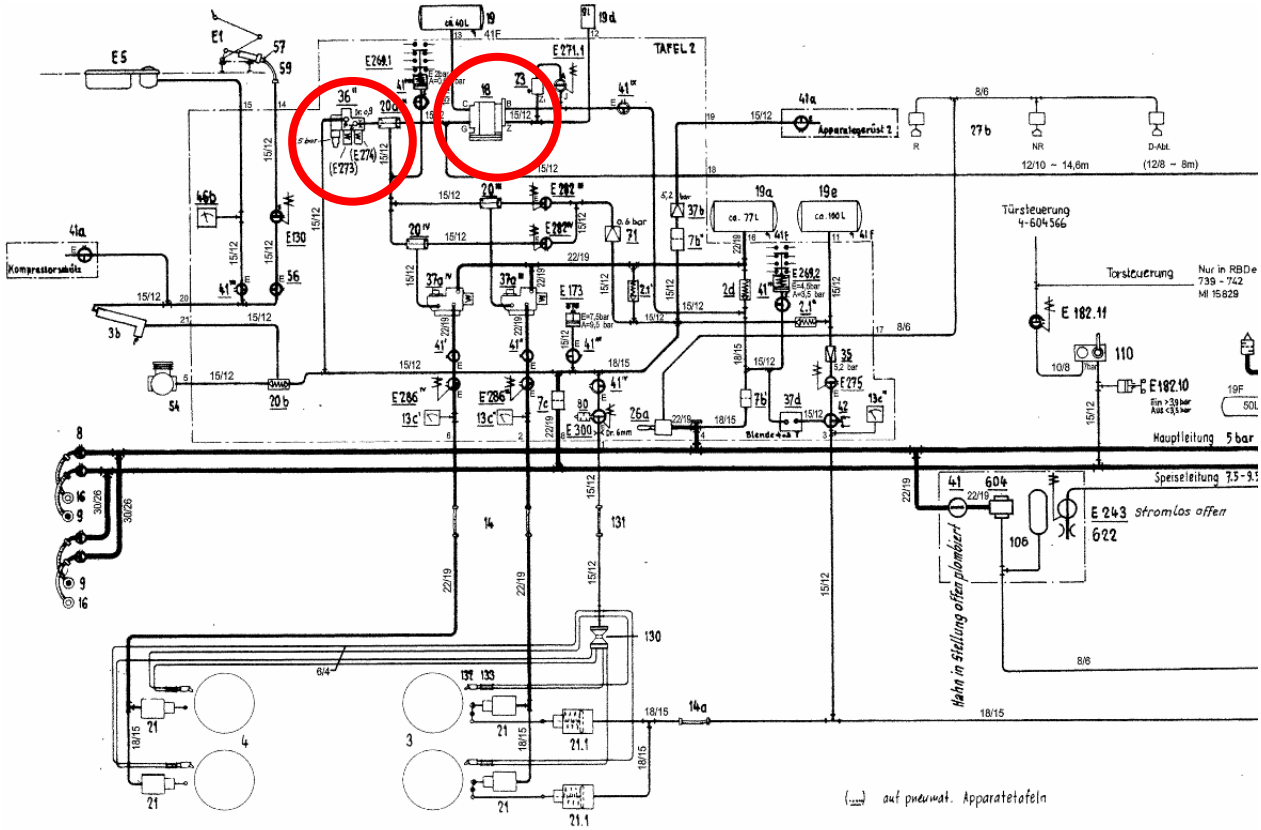


Abbildung 14: Pneumatikschema mit Steuerventil und Drucküberset zer RBDe 565/566 II

Beim Steuerventil und beim Drucküberset zer kann jeweils das Innenleben angepasst werden, um das benötigte Druckniveau für den neuen Bremszylinderdruck zu erreichen. Das genaue Vorgehen bei der Anpassung und den Umbau der Komponenten muss im konkreten Fall direkt mit den Lieferanten geklärt werden. Im Bremssystem sind verschiedentlich Doppelrückschlagventile im Einsatz. Bei der Anpassungen (Absenkung) von Steuer- und Bremsdruck muss beachtet werden, dass auf die Anschlüsse solcher Ventile unterschiedliche Drücke wirken. Ansonsten besteht die Gefahr von undefinierten Ventil-Stellungen.

Die E-Bremse soll prioritär und mit der höchst möglichen Kraft wirksam sein. Bei Geschwindigkeitsreduzierung in Richtung Stillstand des Fahrzeugs soll diese erst so spät wie möglich durch die P-Bremse unterstützt bzw. abgelöst werden. Dieses Vorgehen mindert den Verschleiss an den Bremsklötzen und reduziert die vom Rad bei Betriebsbremsungen aufzunehmende thermische Energie auf das Mindestmass. Das Fahrpersonal ist bereits entsprechend geschult, dass die E-Bremse maximal ausgenutzt werden soll, so dass hier keine grundsätzliche Änderung möglich ist.

6.5 Besonderheiten

Die RBDe 565 / 566 II sind mit einem elektronischen Gleit- und Schleuderschutz ausgerüstet, welcher über die Bremszylinder ebenfalls direkt auf die Räder wirkt. Durch die neuen Reibverhältnisse der Sintersohlen muss an ersten Fahrzeugen geprüft werden, ob die Druckübersetzer für die Gleit- und Schleuderschutzventile ebenfalls angepasst werden müssen. Die Wirkungsweise kann anhand von Brems- oder Fahrversuchen getestet werden.

Aus Sicht der EVU's soll sich die Zugkraft nicht verringern. Die geringere Rauheit der Laufflächen durch die neu verwendeten Sintersohlen verringert die Adhäsion zwischen Rad und Schiene. Je nach Witterungseinflüssen kann dies beim Anfahren / Bremsen einen deutlich spürbaren Einfluss haben. Wenn je nach Witterung durch die geringere Laufflächenrauheit die Adhäsionsgrenze früher als bisher erreicht wird, ist eine optimale Einstellung des Schleuderschutzes auf die Reibverhältnisse mit Sintersohlen wichtig.

Andererseits führt eine geringere Adhäsion beim Bremsen schneller zum Blockieren der Räder und damit zu Flachstellen. Ein Blockieren kann zudem den Bremsweg deutlich verlängern und stellt damit ein erhebliches Sicherheitsrisiko dar. Zusammen mit den EVU's sollte im Zuge einer Lärmsanierung geklärt werden, ob der vorhandene Gleitschutz optimal funktioniert oder eine Modernisierung der Gleitschutzelektronik (Impulsgeber, Software, Hardware) aus betrieblichen Gründen notwendig ist. Eine allfällige Gleitschutzmodernisierung sollte ebenfalls gleich an den Prototyp-Fahrzeugen umgesetzt und getestet werden.

Die neu vorgesehenen Sinter-Bremsklötze sollen zur Sicherheit wegen der möglichen Vertauschbarkeit mit anderen Sohlen durch Nocken im Bremsklotz „codiert" sein. Durch die Nocken passen die Sinterklötze dann nicht mehr in den bestehenden Bremsklotzhalter für Grauguss-Sohlen. Wenn diese bestehenden Bauteile nicht nachbearbeitet werden können, müssen zusätzlich die Bremsklotzhalter ersetzt werden.

Sinter-Bremsklötze erzielen durch ihr Reibverhalten mit hoher Wahrscheinlichkeit glatte Laufflächen und führen zu geringerer Lärmentwicklung. Bezüglich Laufleistung können jedoch keine garantierten Voraussagen gemacht werden, hier sind die Erfahrungen aus anderen Bremsumrüstungen ähnlicher Fahrzeugtypen nicht direkt übertragbar, da Laufverhalten und Betrieb mitunter stark unterschiedlich ausfallen.

Anhand der Erfahrungen der SBB Re 450 (S-Bahn Zürich) können fahrzeugspezifische Eigenheiten, unterschiedliche Materialpaarungen oder Einsatzbedingungen übermässigen Verschleiss oder gar Schäden auf der Lauffläche oder am Bremsklotz hervorrufen. Falls möglich sollten daher gleichzeitig Sinterklötze verschiedener Hersteller mit identischem Reibwert getestet werden.

Der Einsatz der Sanderanlage zur Verbesserung der Adhäsion unter schlechten Witterungseinflüssen ist in Kombination mit gewissen Bremsklotzwerkstoffen unter Umständen nicht ideal. Der Sand kann je nach Werkstoff und Anpressdruck ebenfalls zu starkem Bremsklotzverschleiss führen und Abbröckelungen oder Materialausbrüchen verursachen.

6.6 Prototypen-Umrüstung und Erprobung

Für einen sicheren Betrieb und die erhöhte thermische Belastung der Räder sind die vorhandenen bandagierten Räder durch Monobloc-Räder zu ersetzen. Ansonsten ist es möglich, nur mit Änderung der Bremszylinderdrücke und der daraus erforderlichen weiteren Massnahmen den Bremsweg des Fahrzeuges mit neuen Sohlen an den bisherigen Bremsweg anzupassen. Zu beachten ist, dass die Datenlage der Brems-Übersetzung nicht eindeutig ist. Es kann nicht nachvollzogen werden, ob der gegebene Wert von i=4.0 (siehe Abbildung 16) vom Bremszylinder bis zum Ausgang der Klotzbremseinheit oder bis zu jedem Doppelklotz definiert ist. Es wird davon ausgegangen, dass der Wert die Übersetzung zu jedem Doppelklotz meint, er wird daher mit 2 multipliziert. Ohne diesen Schritt würden unplausibel lange Bremswege erreicht werden. Der Bremsweg des Fahrzeugs beträgt aus der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit von 125 km/h mit der angepassten Übersetzung nach wie vor ca. 656 m. Auch im Zwischenbereich ist er nahezu mit dem ursprünglichen identisch, was auch eine in etwa gleiche Wärmeleistungsentwicklung über der Zeit mit sich führt. Bremszylinder oder Gestänge müssen nicht getauscht werden.

In Tabelle 12 ist der Umbauaufwand für die RBDe-565-Fahrzeuge beziffert. Es ist ersichtlich, welche Teile beibehalten werden können und welche Komponenten in welcher Stückzahl ersetzt resp. angepasst werden müssen.

Tabelle 12: Umrüstungsaufwand bei RBDe 565

RBDe 4/4 RBDe 565	Anz. je Fzg.	Austausch nötig?	Menge für 1 Fzg.	Menge für 34 Fzg.
Sinterbremssohlen	32	ja	32	1088
Bremssohlenhalter	16	ja	16	544
Bremseinheit L BF2S-90	2	nein	-	-
Bremseinheit R BF2S-90	2	nein	-	-
Bremseinheit mit Handkurbel L	2	nein	-	-
Bremseinheit mit Handkurbel R	2	nein	-	-
Federspeicherzyl.	4	nein	-	-
Brems-Gestänge	8	nein	-	-
Steuerventil	1	ja (Anpassung)	1	34
Drucküberset zer	4	ja (Anpassung)	4	136
Räder	8	ja	8	272

6.7 Erprobungsphase

Das Netz der BLS stellt verschiedene Anforderungen an die dort verkehrenden Fahrzeuge. Aus diesem Grunde sollten von den NPZ RBDe 565 für den Probebetrieb zwei Triebwagen mit Sinter-Bremsklotzsohlen ausgerüstet werden. Ein Fahrzeug sollte auf den S-Bahn-Strecken um Bern verkehren, das andere Fahrzeug sollte bergreiche Strecken wie die Lötschberg-Strecke bedienen. Diese Fahrzeuge sollten dann während der Erprobungsphase auch nicht ihre Versuchsstrecke wechseln bzw. getauscht werden.

Zu Beginn resp. vor der Erprobungsphase sollen folgende Messungen an den Fahrzeugen gemacht werden, um die Sicherheit im Betrieb sowie die erzielte Lärmminderung zu dokumentieren:

- Bremswegmessung mit dem Fahrzeug nach der Umrüstung
- Vorbeifahrmessung (Lärmemission) bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten vor und nach der Umrüstung. Durchführung gemäss TSI Noise und EN 3095.
- Wirkung der Stillstandsbremse im Gefälle

Aus Sicht der EVU's ist das Thema Adhäsion sehr wichtig. Durch die geringere Laufflächenrauheit kann diese je nach vorherrschenden Witterungsbedingungen verringert sein. Untersuchungen bezüglich Zugkraft unter verschiedenen Umwelt- und Einsatzbedingungen sowie eine Überprüfung von Gleit- und Schleuderschutzvorrichtungen soll ebenfalls in Absprache mit den jeweiligen EVU vorgesehen werden.

Weitere Schritte bezüglich einer allfälligen Umrüstung (inkl. Erprobungsphase) zur Lärmsanierung an den RBDe 565 / 566 II müssen direkt mit den EVU's abgesprochen werden. Einerseits ist die Flottenpolitik entscheiden, die Fahrzeuge der BLS AG werden gemäss aktuellen Informationen bis 2025 aus dem aktiven Betrieb ausscheiden. Andererseits muss ein Umbau zur Lärmsanierung entsprechend den Instandhaltungsintervallen der Fahrzeuge geplant und die pneumatische Anpassung der Ventile etc. direkt mit den Lieferanten geklärt werden. In der Regel werden die Bremskomponenten zur Wartung resp. Umbau (Anpassung) nach Ausbau während der Revision zu den Lieferanten geschickt. Die Inbetriebnahme der Fahrzeuge mit Feinabstimmung der Komponenten inkl. Betriebsinterner Dokumentation / Richtlinien etc. bedingt Initialaufwand. Die Fahrzeugdisposition für die Umrüstungen und die Beobachtung der Prototypen während der Erprobungsphasen kann nur durch die EVU's erfolgen.

Gerade das Verschleissverhalten der geänderten Bauteile soll in regelmässigen Abständen kontrolliert werden. Auch allfällige fahrtechnische Veränderungen durch die Verschleissprofile können am Besten kurz vor einer notwendigen Reprofilierung im Feldversuch überprüft werden. Die Umstellung von Radreifen auf Monobloc-Räder hat bei den EVU's auch Einfluss auf die Abläufe in der Radsatzinstandhaltung, bei Logistik und Einkauf. Nicht zuletzt muss das Fahrpersonal ebenfalls auf die neuen Eigenschaf-

ten / Bremsverhalten eingeschult werden. Auch ob das längerfristige Betreiben der lärmsanierten Fahrzeuge in Wartung und Unterhalt kostenneutral ist, dürfte für das entsprechende EVU von grossem Interesse sein.

6.8 Technische Unterlagen

Für die in Abbildung 17 und Abbildung 18 dargestellten Bremsberechnungen werden folgende Unterlagen herangezogen:

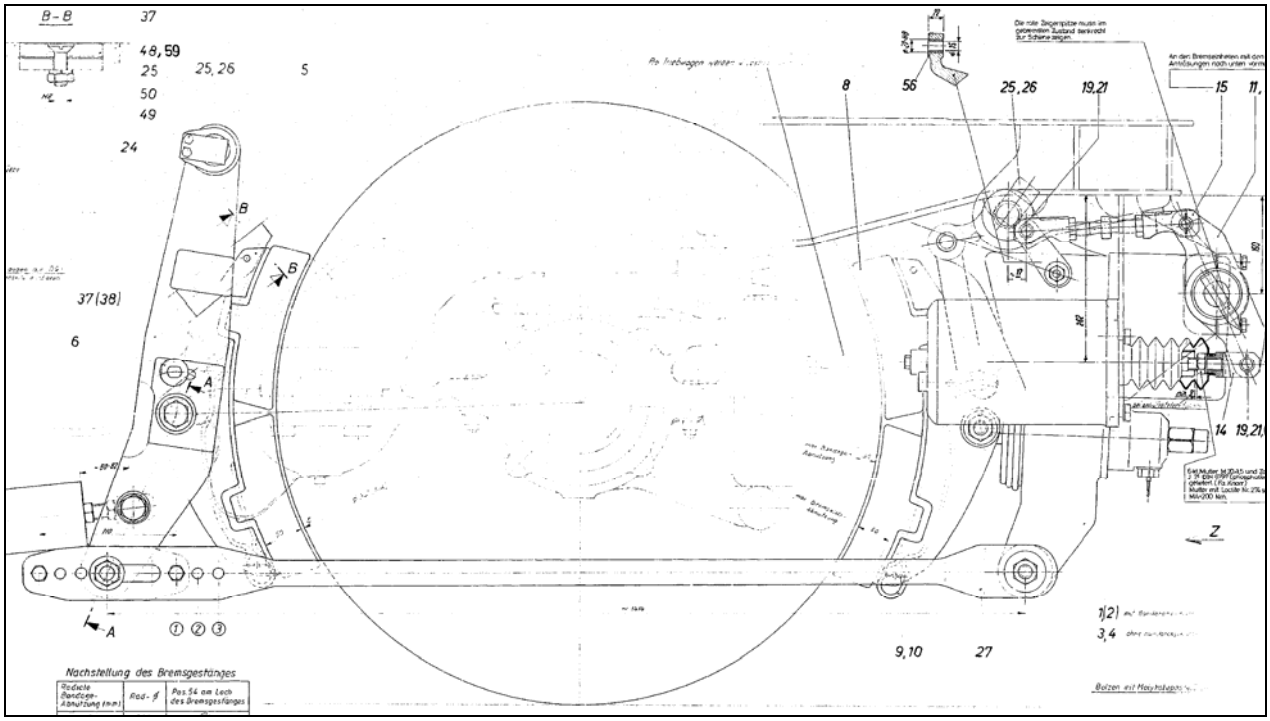


Abbildung 15: Bremsanordnung RBDe 565 [11]

Technische Daten

Gewichte	Tara	:	69'500
	Zuladung	:	8'400
	Brutto	:	77'900

Umschaltgeschwindigkeit R-RIC

R-Bremse	Ein	80 km/h ↑
R-Bremse	Aus	50 km/h ↓

Druckluftbremse

- pro Triebdrehgestell 4 Bremsklotz-Einheiten			SAB, Typ BF 2S-90
- Bremsklotz-Einheit-Kolbenfläche $A = \frac{21{,}6^2 \cdot \pi}{4}$		=	366,4 cm^2
- Rückzugfederkräfte $F_k = F_r$		=	500 N
- Uebersetzung der Bremseinheit U		=	4,0
- Wirkungsgrad der Bremseinheit während im Stand	$\eta E_{stat.}$	=	0,89
- Wirkungsgrad der Bremseinheit während der Fahrt	ηE_{dyn}	=	0,92
- Wirkundsgrad des Bremsgestänges im Stand	ηG_{stat}	=	0,90
- Wirkungsgrad des Bremsgestänges während der Fahrt	$\eta G_{dyn.}$	=	0,93
- Bremszylinderdruck in Stellung RIC, P_{RIC}		=	3,0 bar
- Bremszylinderdruck in Stellung R, P_R		=	5,0 bar
- Klotzspiel	S_{k1}	=	5 mm
- Einzelklotz m. Doppelanordnung			SBB Typ S 8

Abbildung 16: Daten Bremsanlage RBDe 565 [12]

Bremsberechnung RBDe 565 Grauguss

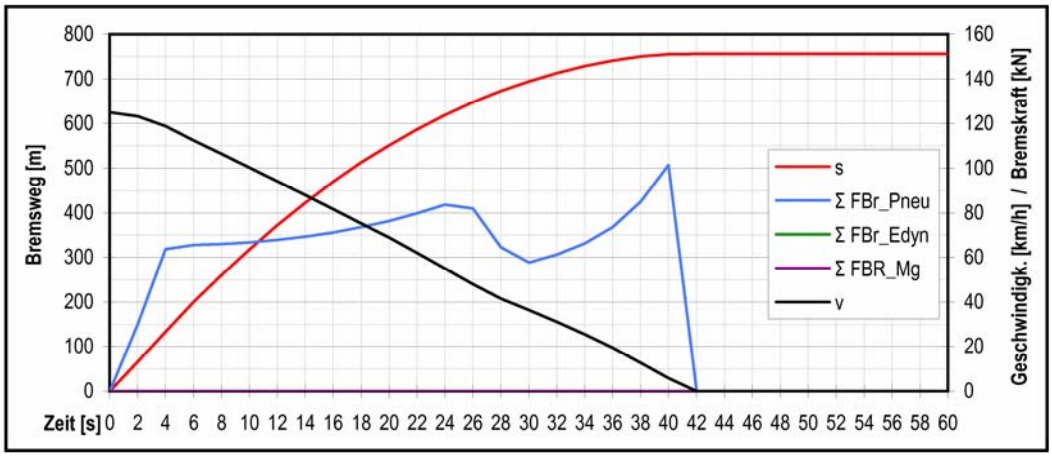
Allg. Simulationsdaten

Zeitschritt [s]
0.10

Maximal zulässiger Reibwert Rad/Schiene
0.12

Berechnung mit Fahrwiderstand?
ja

Ausgangsgeschwindigkeit [km/h]
125.0



Zugkonfiguration

	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.3	Fzg.4	Fzg.5	Fzg.6	Fzg.7	Fzg.8	Fzg.9	Fzg.10	Fzg.11	Fzg.12	Fzg.13	Fzg.14
Fahrzeugmasse [t]	69.50													
Anteil rotierende Masse [%]	10.80													
Zuladung [t]	8.40													
E-Bremse	aus													
Mg-Bremse	aus													
Längskraft auf nächst.Fzg.[kN]	0.0													

Rechnung

t [s]	ΣF_{Br_Pneu} [kN]	ΣF_{Br_Edyn} [kN]	ΣF_{Br_FW1} [kN]	ΣF_{Br_ges1} [kN]	$\varnothing a_1$ [m/s]	ΣF_{BR_Mg} [kN]	ΣF_{Br_FW2} [kN]	ΣF_{Br_ges2} [kN]	$\varnothing a_2$ [m/s]	$\varnothing a_{ges}$ [m/s]	v [km/h]	s [m]
0	0.0	0.0	2.2	2.2	-0.03	0.0	5.4	5.4	-0.06	-0.09	125.0	0.0
2	30.0	0.0	2.2	32.2	-0.38	0.0	5.2	5.2	-0.06	-0.44	123.3	65.6
4	63.8	0.0	2.2	66.0	-0.77	0.0	4.9	4.9	-0.06	-0.83	118.8	133.0
6	65.7	0.0	2.2	67.9	-0.79	0.0	4.3	4.3	-0.05	-0.85	112.4	200.3
8	66.1	0.0	2.2	68.3	-0.80	0.0	3.9	3.9	-0.05	-0.84	106.4	261.0
10	66.8	0.0	2.2	69.0	-0.81	0.0	3.5	3.5	-0.04	-0.85	100.3	318.3
12	67.8	0.0	2.2	70.1	-0.82	0.0	3.0	3.0	-0.04	-0.86	94.1	372.3
14	69.3	0.0	2.2	71.5	-0.84	0.0	2.7	2.7	-0.03	-0.87	87.9	422.8
16	71.3	0.0	2.2	73.5	-0.86	0.0	2.3	2.3	-0.03	-0.89	81.6	469.8
18	73.7	0.0	2.2	75.9	-0.89	0.0	1.9	1.9	-0.02	-0.91	75.2	513.2
20	76.4	0.0	2.2	78.6	-0.92	0.0	1.6	1.6	-0.02	-0.94	68.8	551.2
22	79.8	0.0	2.2	81.8	-0.96	0.0	1.3	1.3	-0.02	-0.97	62.0	587.4
24	83.7	0.0	2.2	81.8	-0.96	0.0	1.0	1.0	-0.01	-0.97	55.0	619.8
26	82.0	0.0	2.2	81.8	-0.96	0.0	0.8	0.8	-0.01	-0.97	48.0	648.3
28	64.7	0.0	2.2	66.9	-0.78	0.0	0.6	0.6	-0.01	-0.79	41.5	673.0
30	57.7	0.0	2.2	59.9	-0.70	0.0	0.5	0.5	-0.01	-0.71	36.3	694.5
32	61.3	0.0	2.2	63.5	-0.74	0.0	0.3	0.3	0.00	-0.75	31.1	713.2
34	66.3	0.0	2.2	68.5	-0.80	0.0	0.2	0.2	0.00	-0.80	25.6	728.9
36	73.6	0.0	2.2	75.8	-0.89	0.0	0.1	0.1	0.00	-0.89	19.5	741.4
38	84.9	0.0	2.2	81.8	-0.96	0.0	0.1	0.1	0.00	-0.96	12.8	750.2
40	101.5	0.0	2.2	81.8	-0.96	0.0	0.0	0.0	0.00	-0.96	5.9	755.3
42	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.6
44	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.6
46	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.6
48	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.6
50	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.6
52	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.6
54	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.6
56	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.6
58	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.6
60	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.6

Abbildung 17: Bremsberechnung RBDe 565 Grauguss

Bremsberechnung RBDe 565 Jurid

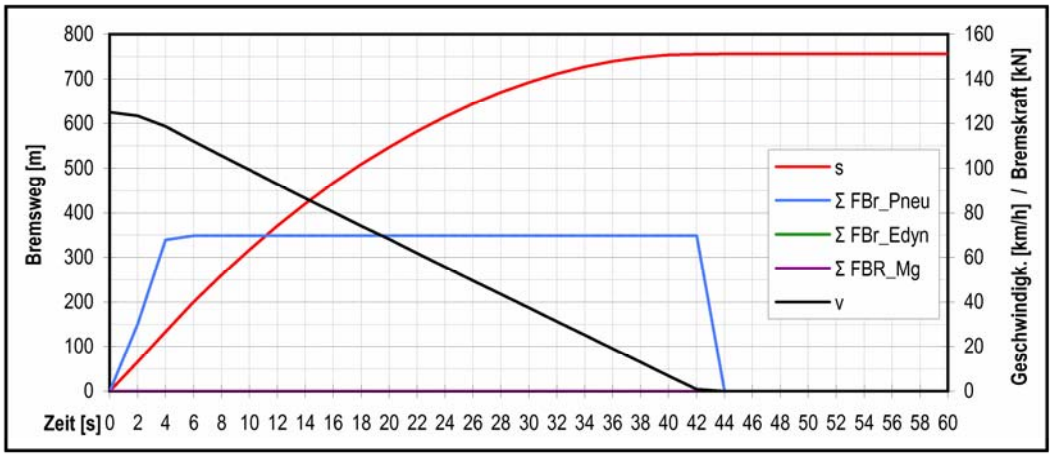
Allg. Simulationsdaten

Zeitschritt [s]
0.10

Maximal zulässiger Reibwert Rad/Schiene
0.12

Berechnung mit Fahrwiderstand?
ja

Ausgangsge-schwindigkeit [km/h]
125.0



Zugkonfiguration

	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.3	Fzg.4	Fzg.5	Fzg.6	Fzg.7	Fzg.8	Fzg.9	Fzg.10	Fzg.11	Fzg.12	Fzg.13	Fzg.14
Fahrzeugmasse [t]	69.50													
Anteil rotierende Masse [%]	10.80													
Zuladung [t]	8.40													
E-Bremse	aus													
Mg-Bremse	aus													
Längskraft auf nächst.Fzg.[kN]	0.0													

Rechnung

t [s]	ΣF_{Br_Pneu} [kN]	ΣF_{Br_Edyn} [kN]	ΣF_{Br_FW1} [kN]	ΣF_{Br_ges1} [kN]	$\varnothing a_1$ [m/s]	ΣF_{BR_Mg} [kN]	ΣF_{Br_FW2} [kN]	ΣF_{Br_ges2} [kN]	$\varnothing a_2$ [m/s]	$\varnothing a_{ges}$ [m/s]	v [km/h]	s [m]
0	0.0	0.0	2.2	2.2	-0.03	0.0	5.4	5.4	-0.06	-0.09	125.0	0.0
2	30.1	0.0	2.2	32.3	-0.38	0.0	5.2	5.2	-0.06	-0.44	123.5	65.7
4	67.9	0.0	2.2	70.1	-0.82	0.0	4.8	4.8	-0.06	-0.88	118.8	133.0
6	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	4.3	4.3	-0.05	-0.89	112.0	200.2
8	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	3.8	3.8	-0.04	-0.89	105.6	260.6
10	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	3.4	3.4	-0.04	-0.88	99.2	317.4
12	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	3.0	3.0	-0.03	-0.88	92.9	370.7
14	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	2.6	2.6	-0.03	-0.87	86.6	420.4
16	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	2.2	2.2	-0.03	-0.87	80.3	466.7
18	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	1.9	1.9	-0.02	-0.87	74.0	509.5
20	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	1.6	1.6	-0.02	-0.86	68.1	546.9
22	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	1.3	1.3	-0.02	-0.86	61.9	583.0
24	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	1.1	1.1	-0.01	-0.86	55.8	615.6
26	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	0.8	0.8	-0.01	-0.85	49.6	644.8
28	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	0.6	0.6	-0.01	-0.85	43.5	670.5
30	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	0.5	0.5	-0.01	-0.85	37.4	692.9
32	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	0.3	0.3	0.00	-0.85	31.2	711.9
34	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	0.2	0.2	0.00	-0.85	25.1	727.4
36	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	0.1	0.1	0.00	-0.84	19.1	739.6
38	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	0.1	0.1	0.00	-0.84	13.0	748.4
40	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	0.0	0.0	0.00	-0.84	6.9	753.9
42	69.8	0.0	2.2	72.0	-0.84	0.0	0.0	0.0	0.00	-0.84	0.8	756.0
44	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.0
46	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.0
48	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.0
50	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.0
52	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.0
54	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.0
56	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.0
58	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.0
60	0.0	0.0	2.2	2.2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	756.0

Abbildung 18: Bremsberechnung RBDe 565 Jurid

7 Universallok Re 4/4 (Re 425)

Die Re 4/4 (siehe Abbildung 19) wurden als Universallokomotiven mit guter Bergleistung bei SLM und BBC beschafft. Sie werden bei der BLS zusammen mit den Re 465 und Re 485 im Güterverkehr eingesetzt, ausserdem verkehren sie mit Steuerwagen auf der S11 (S-Bahn Bern) zwischen Interlaken und Zweisimmen sowie mit den Autozügen Kandersteg - Goppenstein und Iselle.

Abbildung 19: Universallok Re 4/4 (Re 425)

Früher zogen sie auch Züge des Personenfernverkehrs. Die Loks 161 bis 180 gehören buchmässig BLS Cargo, werden aber mit den anderen 15 Loks gemeinsam eingesetzt. Die Fahrzeuge 170 bis 189 sind mit ETCS ausgerüstet und können somit (auch als führendes Triebfahrzeug) den Lötschbergbasistunnel und die Neubaustrecke Mattstetten - Rothrist befahren. Die Loks 191 bis 195 sind für den Personenverkehr mit Railvox-Geräten ausgerüstet.

Da die Vielfachsteuerung der Re 425 nicht mit dem System IIId kompatibel ist, mit dem die von der SBB übernommenen EW III (für RE Bern - Luzern und Neuchâtel) ausgerüstet sind, wurden inzwischen 12 Re 4/4'' (und weitere 5 Steuerwagen) der SBB für den Personenverkehr (S-Bahn Bern) übernommen und als Re 420.5 eingereiht.

Am 4. August 2007 wurden die Re 4/4 170, 175, 184 und 187 bei einem Unfall im Rangierbahnhof Biel schwer beschädigt. Die 187 wurde anschließend verschrottet, die anderen Loks werden wieder aufgebaut. Nach aktuellen Informationen von BLS (Stand: November 2010) sind insgesamt 34 Loks dieser Serie in Betrieb. Die Abstellung erster Loks mit niedrigen Nummern (160er Serie) mit Baujahr ab 1964 wird voraussichtlich 2015 beginnen. Die letzten Loks (190er Serie) mit Baujahr ab 1980 werden voraussichtlich ca. 2027 abgestellt. Nur die wenigen Loks der 190er Serie werden also noch ca. 15 Jahre im offiziellen Fahrbetrieb verbleiben und kämen damit für eine Umrüstung in Frage.

7.1 Fahrzeugbeschreibung

Das Fahrgestell ist dem der SBB Re 4/4'' ähnlich, ansonsten gibt es jedoch diverse Unterschiede. So wird die Kraft mit einer anders konstruierten Tiefzuganlenkung und Seilzug auf die Schienen gebracht. Statt Sandereinrichtungen besitzt die Lok Schienendüsen. Die Stundenzugkraft beträgt 226 kN bei 77.5 km/h.

Die Ansteuerung der Fahrmotoren erfolgt über einen BBC-Trafo, einen Stufenschalter und einen Diodengleichrichter. Die elektrische Bremse bis 800 A Bremsstrom wirkt mithilfe der Dachwiderstände. Die Lokomotive kann mit allen vielfachsteuerbaren Loktypen der BLS in Vielfachsteuerung verkehren. Die R-Bremse ist ein- und ausschaltbar (Stellung RIC, P_{RIC} vs. Stellung R, P_R). Aus den Tabelle 13 und Tabelle 14 gehen weitere relevante technische Daten hervor.

Tabelle 13: Technische Daten der Klotzbremseinheit der Re 4/4 (Re 425)

Klotzbremseinheit	W 10" Hub200	
Wirksame Kolbenfläche	126.7	
Totvolumen		
Hubvolumen	126.7 x 20.35	
Max. Betriebsdruck		
Übersetzung		
Klotzkraft		
Max. Klotzhub		
Klotzspiel		
Nachstellkapazität		

Tabelle 14: Drücke und Kräfte der Klotzbremseinheit der Re 4/4 (Re 425)

			Automatische Druckluft-bremse		**Feder-speicher**
Bremsart			R, P_R	RIC, P_{RIC}	
Brems- bzw. Lösedruck	P	bar	6.59	3.85	
Bremsklotzkraft	Fkl	kN	73	42	
Anzahl der Doppel-klötze pro DG	N		8	8	
Totale Bremsklotzkraft pro DG	Fkl x n	kN	583	337	
Theor. Abbremsung	$A = \frac{Fkl \cdot n \cdot 100}{2 \cdot Q}$	%	153	82	

7.2 Umrüstung der Räder

Für einen sicheren Betrieb und die erhöhte thermische Belastung der Räder sind die vorhandenen bandagierten Speichenräder durch Monobloc-Räder zu ersetzen. Wie bei den Re 420, Re 430 und Re 620 müssen pro Triebradsatz antriebsbedingt zwei unterschiedliche Monobloc-Räder, welche für Klotzbremsen geeignet sind, vorab konstruiert und berechnet werden. Im Vergleich zu den härteren Radreifen ist der Verschleiss an den Monobloc-Rädern erwartungsgemäss höher, was bei der Konstruktion durch möglichst viel „Verschleissreserve“ kompensiert werden soll.

Wie der nachfolgenden Abbildung 20 entnommen werden kann, unterscheiden sich die Räder im Bereich der Nabe deutlich. Der Mitnehmer, welcher in das Antriebszahnrad des Getriebes greift, überträgt sämtliche Antriebs- / Bremskräfte über seinen Presssitz zuerst auf den Radkörper (Radnabe) und anschliessend über den Wellenpresssitz auf die Radsatzwelle und damit auch auf das gegenüberliegende Rad. Beim künftigen Tausch der Räder nach Erreichen der Verschleissgrenze und entsprechender Kilometerlaufleistung muss dann jeweils auch der Mitnehmer demontiert und nach Anpassung der neuen Nabenpresssitze wieder auf dem neuen Rad montiert werden. Am gegenüberliegenden Rad muss die Kontaktscheibe (Pos. 6) ebenfalls beim Tausch der Monobloc-Räder demontiert und am neuen Radkörper aufgepresst werden.

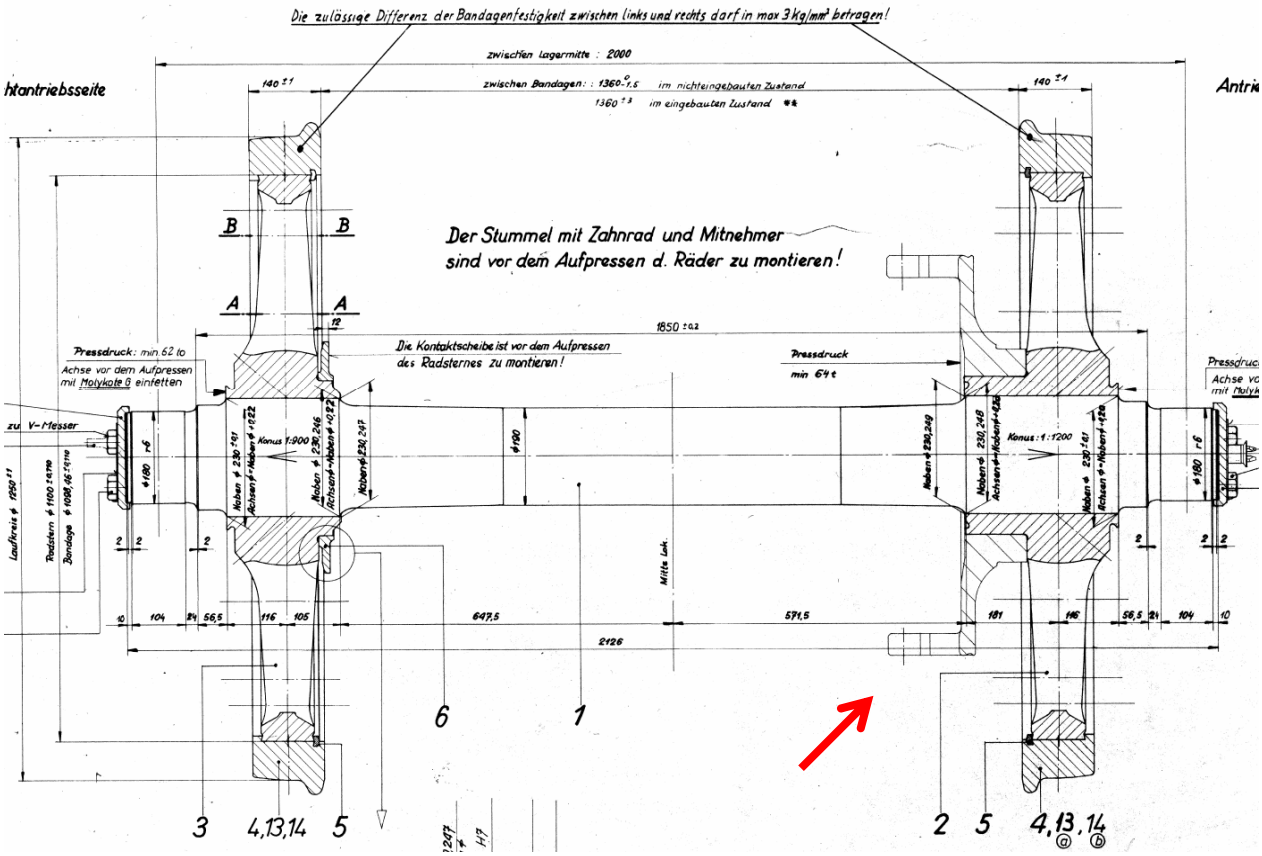


Abbildung 20: Zeichnung Triebradsatz und Mitnehmer (rechts)

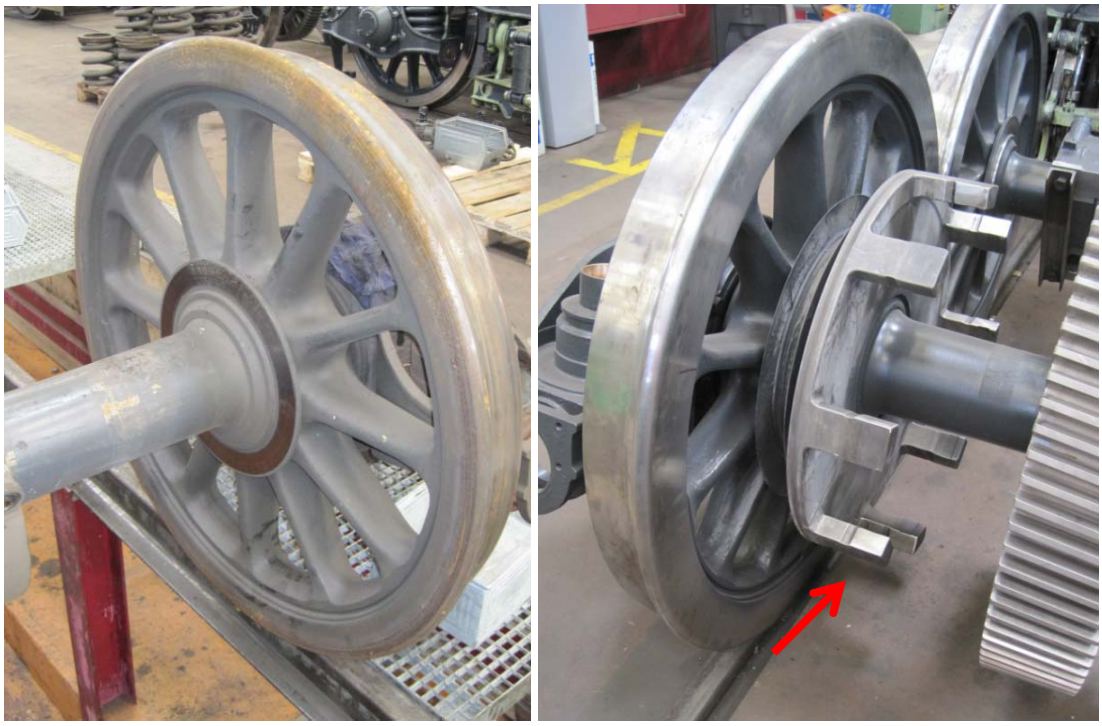


Abbildung 21: Bilder der Speichenräder eines Radsatzes, rechts Mitnehmerseite

Die Triebradsätze bei allen Lokomotiven der Baureihen Re 420, Re 425, Re 430 und Re 620 weisen dasselbe Konstruktionsprinzip und nahezu identische Abmessungen auf. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass bei den genannten Lokomotivreihen die gleichen Räder oder zumindest die gleichen Schmiederohlinge genutzt werden können. Da die beiden Radtypen pro Radsatz (antriebsbedingt) dadurch trotzdem in grossen Stückzahlen benötigt würden, sollte dies bei einer „flottenübergreifenden“ Umrüstung auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht kein grösseres Hindernis darstellen.

Ein Ersatz der Speichenräder durch Monobloc-Räder bedeutet Mehraufwand im Unterhalt der Radsätze und Mehrkosten in der Beschaffung von Ersatzmaterial (komplexere Räder anstelle von Radreifen). Der Einfluss des Radwerkstoffes auf die Laufleistung / Lebensdauer der Räder lässt sich erst anhand eines Betriebsversuches ermitteln. In Zusammenarbeit mit den EVU’s sollte daher vorgängig geklärt werden, ob eine Rückvergütung für lärmsanierte Achsen (in Rp / km?) über die geplanten Instandhaltungsintervalle die Mehrkosten im Fahrzeugunterhalt decken.

7.3 Anpassung der Bremskräfte

Die Anpassung der Bremskräfte kann ausschliesslich durch eine Änderung des Bremszylinderdruckes erfolgen. Das in Kapitel 4.5 erläuterte Prinzip der inversen R-Bremse muss dabei nicht angewendet werden, allerdings muss der Bremszylinderdruck voraussichtlich sowohl bei P-Bremsung als auch bei R-Bremsung deutlich gesenkt: Von 0 bis 50 km/h soll er nun rein rechnerisch anstatt 3.85 bar neu 2.0 bar betragen, bei höheren Geschwindigkeiten statt 6.59 nur noch 2.43 bar. Die Bremsrechnung sowie die hierfür herangezogenen Eingabeparameter finden sich in Kapitel 7.8. Bei den neu vorgesehe-

nen Sintersohlen mit annähernd konstantem Reibwert über den gesamten Geschwindigkeitsbereich der Lok kann anhand der Betriebsversuche getestet werden, ob auf die Umschaltung der Bremsstufen ganz verzichtet werden kann (nur noch einstufige Bremse).

7.4 Änderung der Bremssteuerung

Ein geänderter Bremszylinderdruck erfordert auch eine Druckanpassung in der Bremssteuerung. Anhand des Pneumatikschemas sollte dies durch eine reine Anpassung des Steuerventils und / oder des Druckübersetzers möglich sein, siehe Abbildung 22. Ob beide Elemente gleichzeitig verändert werden müssen (Zusammenwirken), muss in einem nächsten Schritt bei einer Umrüstung der Fahrzeuge in Zusammenarbeit mit dem Lieferanten der Pneumatikkomponenten geklärt werden. Die direkt wirkende Rangierbremse ist von den oben erwähnten Anpassungen nicht betroffen. Diese wird mittels Rangierbrems-Steuerventils betätigt und steuert dadurch direkt das Druckniveau in den Bremszylindern der Lokomotive.

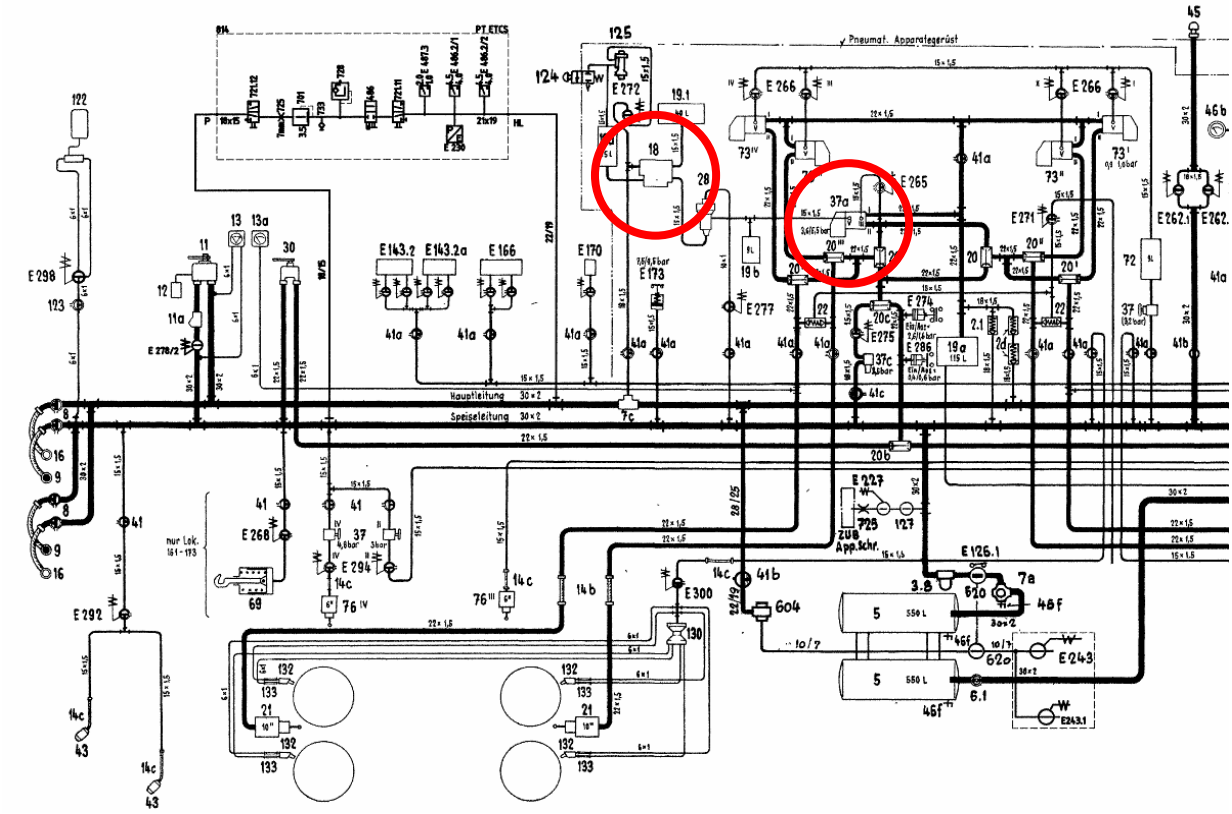


Abbildung 22: Pneumatikschema mit Steuerventil und Druckübersetzer Re 425

Beim Steuerventil und beim Druckübersetzer kann jeweils das Innenleben angepasst werden, um das benötigte Druckniveau für den neuen Bremszylinderdruck zu erreichen. Das genaue Vorgehen bei der Anpassung und den Umbau der Komponenten muss im konkreten Fall direkt mit den Lieferanten geklärt werden. Im Bremssystem sind verschiedentlich Doppelrückschlagventile im Einsatz. Bei der Anpassungen (Absenkung)

von Steuer- und Bremsdruck muss beachtet werden, dass auf die Anschlüsse solcher Ventile unterschiedliche Drücke wirken. Ansonsten besteht die Gefahr von undefinierten Ventil-Stellungen.

Die E-Bremse soll prioritär und mit der höchst möglichen Kraft wirksam sein. Bei Geschwindigkeitsreduzierung in Richtung Stillstand des Fahrzeugs soll diese erst so spät wie möglich durch die P-Bremse unterstützt bzw. abgelöst werden. Dieses Vorgehen mindert den Verschleiss an den Bremsklötzen und reduziert die vom Rad bei Betriebsbremsungen aufzunehmende thermische Energie auf das Mindestmass. Das Fahrpersonal ist bereits entsprechend geschult, dass die E-Bremse maximal ausgenutzt werden soll, so dass hier keine grundsätzliche Änderung möglich ist.

7.5 Besonderheiten

Die Re 425 sind mit einem Schleuderschutz ausgerüstet, welcher über die Bremszylinder ebenfalls direkt auf die Räder wirkt. Durch die neuen Reibverhältnisse der Sintersohlen muss an ersten Fahrzeugen geprüft werden, ob die Druckübersetzer für die Schleuderschutzventile ebenfalls angepasst werden müssen. Die Wirkungsweise kann anhand von Bremsversuchen getestet werden.

Aus Sicht der EVU's soll sich die Zugkraft nicht verringern. Die geringere Rauheit der Laufflächen durch die neu verwendeten Sintersohlen verringert die Adhäsion zwischen Rad und Schiene. Je nach Witterungseinflüssen kann dies beim Anfahren / Bremsen einen deutlich spürbaren Einfluss haben. Da bei Feuchtigkeit und in Kombination mit der geringeren Laufflächenrauheit die Adhäsionsgrenze früher als bisher erreicht wird, ist eine optimale Einstellung des Schleuderschutzes auf die Reibverhältnisse mit Sintersohlen wichtig.

Ein wirkungsvoller Gleitschutz konnte beim Bau der Lokomotiven dem damaligen Stand der Technik entsprechend noch nicht mit der heute bekannten Elektronik (Hard- und Software) realisiert werden. Bei der Re 425 wird mittels Pneumatikzylinder ein Seilzug zwischen Drehgestell und Fahrwerk betätigt, wenn sich die Drehzahlen der beiden Triebradsatzwellen zu stark unterscheiden. Über den Seilzug werden der Achsdruck und damit die Traktionsverhältnisse an den Rädern variiert. Zusammen mit den EVU's sollte im Zuge einer Lärmsanierung geklärt werden, ob die Nachrüstung eines elektronisch geregelten Gleitschutzes aus betrieblichen Gründen verlangt wird und ob dies mit vertretbarem Aufwand machbar ist (Nachrüstung). Eine geringere Adhäsion führt beim Bremsen schneller zum Blockieren der Räder und damit zu Flachstellen. Ein Blockieren kann zudem aber auch den Bremsweg deutlich verlängern und stellt damit ein erhebliches Sicherheitsrisiko dar. Ein solcher Gleitschutz sollte nach Möglichkeit ebenfalls bereits an allfälligen Prototyp-Fahrzeugen umgesetzt und getestet werden.

Die neu vorgesehenen Sinter-Bremsklötze sollen zur Sicherheit wegen der möglichen Vertauschbarkeit mit anderen Sohlen durch Nocken im Bremsklotz „codiert“ sein. Durch die Nocken passen die Sinterklötze dann nicht mehr in den bestehenden Bremsklotzhalter für Grauguss-Sohlen. Wenn diese bestehenden Bauteile nicht nachbearbeitet werden können, müssen zusätzlich die Bremsklotzhalter ersetzt werden.

Sinter-Bremsklötze erzielen durch ihr Reibverhalten mit hoher Wahrscheinlichkeit glatte Laufflächen und führen zu geringerer Lärmentwicklung. Bezüglich Laufleistung können jedoch keine garantierten Voraussagen gemacht werden, hier sind die Erfahrungen aus anderen Bremsumrüstungen ähnlicher Fahrzeugtypen nicht direkt übertragbar, da Laufverhalten und Betrieb mitunter stark unterschiedlich ausfallen.

Anhand der Erfahrungen der SBB Re 450 (S-Bahn Zürich) können fahrzeugspezifische Eigenheiten, unterschiedliche Materialpaarungen oder Einsatzbedingungen übermässigen Verschleiss oder gar Schäden / Ausbröckelungen auf der Lauffläche oder am Bremsklotz hervorrufen. Falls möglich sollten daher gleichzeitig Sinterklötze verschiedener Hersteller mit identischem Reibwert getestet werden.

Der Einsatz der Sanderanlage zur Verbesserung der Adhäsion unter schlechten Witterungseinflüssen ist in Kombination mit gewissen Bremsklotzwerkstoffen unter Umständen nicht ideal. Der Sand kann je nach Werkstoff und Anpressdruck ebenfalls zu starkem Bremsklotzverschleiss führen und Abbröckelungen oder Materialausbrüchen verursachen.

7.6 Prototypenumrüstung und Erprobung

Für einen sicheren Betrieb und die erhöhte thermische Belastung der Räder sind die vorhandenen Speichenräder durch Monobloc-Räder zu ersetzen. Ansonsten ist es möglich, nur mit Änderung der Bremszylinderdrücke und der daraus erforderlichen weiteren Massnahmen den Bremsweg des Fahrzeuges mit neuen Sohlen an den bisherigen Bremsweg anzupassen. Er beträgt aus der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit von 140 km/h nun 944 m gegenüber 945 m zuvor. Im Zwischenbereich muss allerdings teilweise ein deutlich längerer Bremsweg hingenommen werden, das Maximum beläuft sich hierbei auf eine Verlängerung von 54 m aus 110 km/h. Bremszylinder oder Gestänge müssen nicht getauscht werden.

In Tabelle 15 ist der Umbauaufwand für die Re-4/4 (Re 425) Fahrzeuge beziffert. Es ist ersichtlich, welche Teile behalten werden können und welche Komponenten in welcher Stückzahl ersetzt werden müssen.

Tabelle 15: Umrüstungsaufwand bei Re 4/4 (Re 425)

Re 4/4 (Re 425)	Anz. je Fzg.	Austausch nötig?	Menge für 1 Fzg.	Menge für 33 Fzg.
Sinterbremssohlen	32	ja	32	1'056
Bremssohlenhalter	16	ja	16	528
Bremszylinder	4	nein	-	-
Brems-Gestänge	8	nein	-	-
Steuerventil	1	ja (Anpassung)	1	33
Drucküberset zer	1	ja (Anpassung)	1	33
Räder	8	ja	8	264

7.7 Erprobungsphase

Die Fahrzeuge der Re 4/4 (Re 425) werden sowohl im Güter-, als auch im Personenverkehr eingesetzt. Auf Grund der sehr ähnlichen Lokomotivkonzeption zur Re 4/4'' (Re 420) / Re 4/4''' (Re 430) der SBB werden bei diesen beiden Fahrzeugen im Erprobungszeitraum ähnliche Ergebnisse bezüglich Radverschleiss und Lärmreduktion wie bei der Re 4/4 (Re 425) der BLS erwartet. Um dazu entsprechende Betriebserfahrungen zu sammeln, sollte es deshalb genügen, zuerst einen der beiden Fahrzeugtypen zu testen. Auf Grund der hohen bei der SBB verfügbaren Lokomotiv-Stückzahlen und um die Belastung der BLS niedrig zu halten, sollte der zu erprobende Fahrzeugtyp zuerst die Re 4/4'' (Re 420) der SBB sein. Näheres zu der Erprobungsphase der Re 420 findet sich in Kapitel 8.7.

Durch die notwendigen Anpassungen / Einstellungen der Re 425 an den Pneumatikkomponenten (Drucküberset zer, Steuerventil) sowie einer allfälligen Nachrüstung mit elektronisch geregeltem Gleitschutz ist ebenfalls eine Erprobungsphase notwendig. Dabei soll dann auch das konkrete Verhalten bezüglich Rad- und Bremsklotzverschleiss unter realen Strecken- und Einsatzbedingungen der BLS verifiziert werden.

Zu Beginn resp. vor der Erprobungsphase sollen folgende Messungen an den Fahrzeugen gemacht werden, um die Sicherheit im Betrieb sowie die erzielte Lärmminderung zu dokumentieren:

- Bremswegmessung mit dem Fahrzeug nach der Umrüstung
- Vorbeifahrmessung (Lärmemission) bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten vor und nach der Umrüstung. Durchführung gemäss TSI Noise und EN 3095.
- Wirkung der Stillstandsbremse im Gefälle

Aus Sicht der EVU's ist das Thema Adhäsion sehr wichtig. Durch die geringere Laufflächenrauheit kann diese je nach vorherrschenden Witterungsbedingungen verringert sein. Untersuchungen bezüglich Zugkraft unter verschiedenen Umwelt- und Einsatzbedingungen sowie eine Überprüfung von Gleit- und Schleuderschutzvorrichtungen soll ebenfalls in Absprache mit den jeweiligen EVU vorgesehen werden.

Weitere Schritte bezüglich einer allfälligen Umrüstung (inkl. Erprobungsphase) zur Lärmsanierung an den Re 425 müssen direkt mit BLS abgesprochen werden. Einerseits ist die Flottenpolitik entscheiden, Fahrzeuge der ersten Serie werden gemäss aktuellen Informationen schon bald abgestellt. Andererseits muss ein Umbau zur Lärmsanierung entsprechend den Instandhaltungsintervallen der Fahrzeuge geplant und die pneumatische Anpassung der Ventile etc. direkt mit den Lieferanten geklärt werden. In der Regel werden die Bremskomponenten zur Wartung resp. Umbau (Anpassung) nach Ausbau während der Revision zu den Lieferanten geschickt. Die Inbetriebnahme der Fahrzeuge mit Feinabstimmung der Komponenten inkl. Betriebsinterner Dokumentation / Richtlinien etc. bedingt Initialaufwand. Die Fahrzeugdisposition für die Umrüstungen und die Beobachtung der Prototypen während der Erprobungsphasen kann nur durch die EVU's erfolgen. Gerade das Verschleissverhalten der geänderten Bauteile soll in regelmässigen Abständen kontrolliert werden. Auch allfällige fahrtechnische Veränderungen durch die Verschleissprofile können am Besten kurz vor einer notwendigen Reprofilierung im Feldversuch überprüft werden.

Die Umstellung von Radreifen auf Monobloc-Räder hat bei den EVU's auch Einfluss auf die Abläufe in der Radsatzinstandhaltung, bei Logistik und Einkauf. Nicht zuletzt muss das Fahrpersonal ebenfalls auf die neuen Eigenschaften / Bremsverhalten eingeschult werden. Auch ob das längerfristige Betreiben der lärmsanierten Fahrzeuge in Wartung und Unterhalt kostenneutral ist, dürfte für das entsprechende EVU von grossem Interesse sein.

7.8 Technische Unterlagen

Für die in Abbildung 24 und Abbildung 25 dargestellten Bremsberechnungen wird folgende Unterlage herangezogen, siehe Abbildung 23:

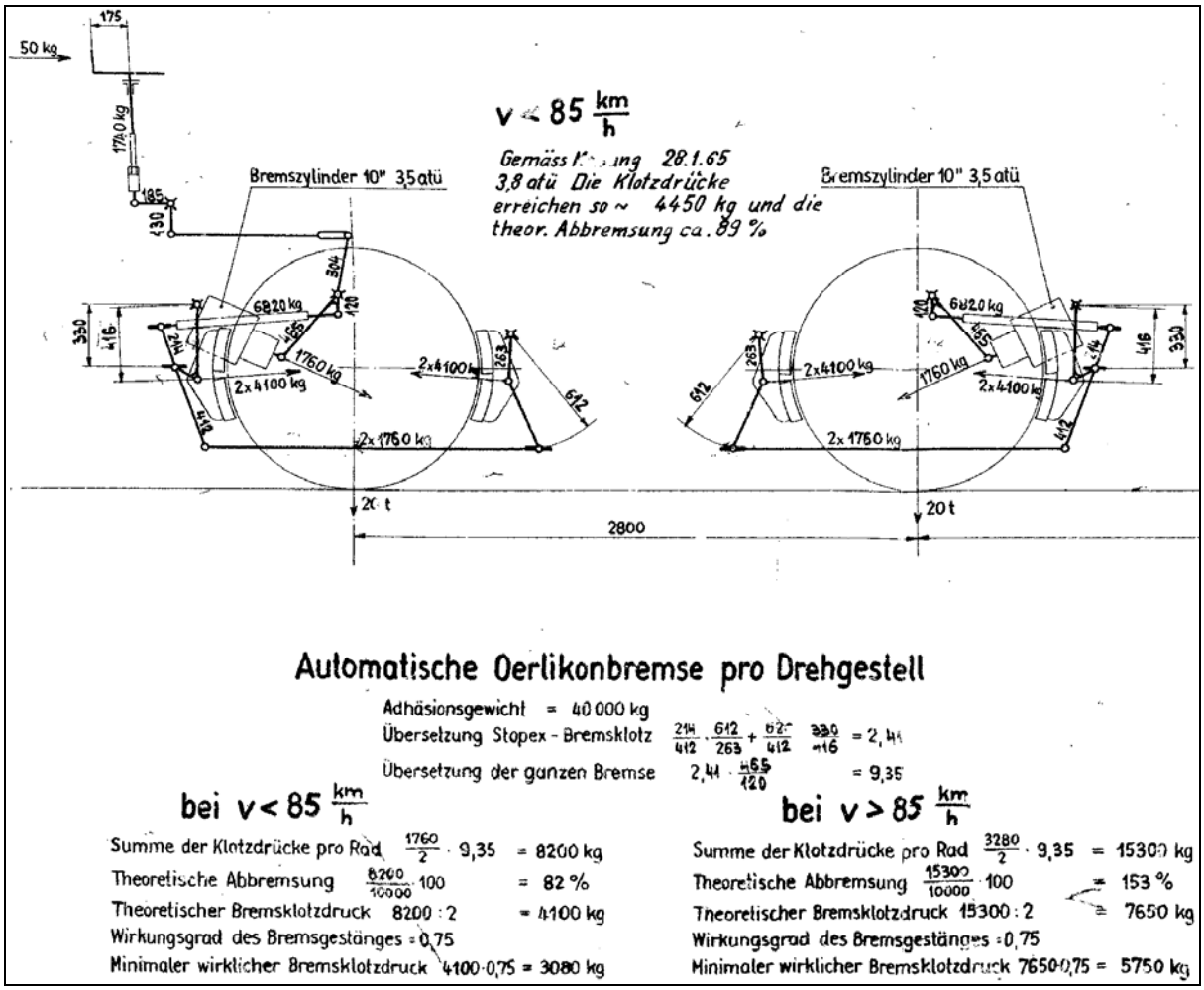


Abbildung 23: Daten Bremsanlage Re 425 [13]

Bremsberechnung Re 425 Grauguss

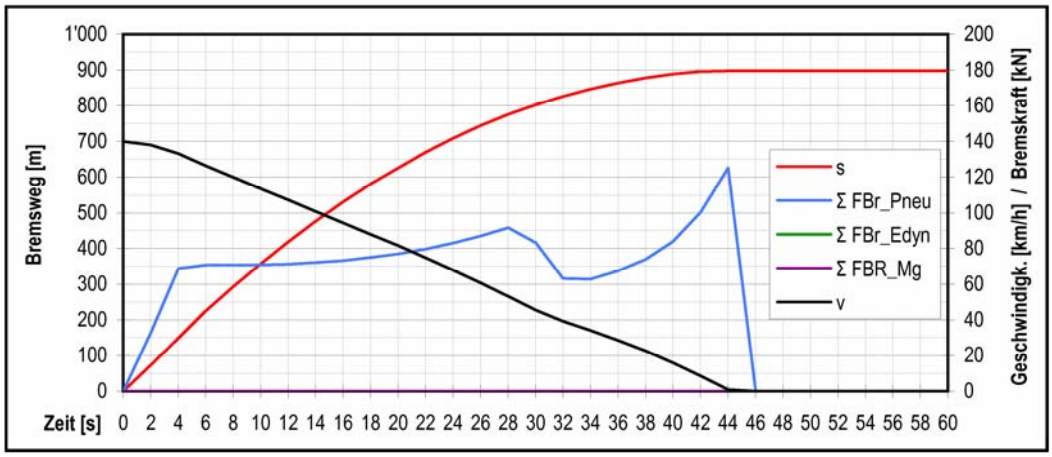
Allg. Simulationsdaten

Zeitschritt [s]
0.10

Maximal zulässiger Reibwert Rad/Schiene
0.12

Berechnung mit Fahrwiderstand?
ja

Ausgangsge-schwindigkeit [km/h]
140.0



Zugkonfiguration

	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.3	Fzg.4	Fzg.5	Fzg.6	Fzg.7	Fzg.8	Fzg.9	Fzg.10	Fzg.11	Fzg.12	Fzg.13	Fzg.14
Fahrzeugmasse [t]	80.00													
Anteil rotierende Masse [%]	10.80													
Zuladung [t]	0.00													
E-Bremse	aus													
Mg-Bremse	aus													
Längskraft auf nächst.Fzg.[kN]	0.0													

Rechnung

t [s]	ΣF_{Br_Pneu} [kN]	ΣF_{Br_Edyn} [kN]	ΣF_{Br_FW1} [kN]	ΣF_{Br_ges1} [kN]	$\varnothing a_1$ [m/s]	ΣF_{BR_Mg} [kN]	ΣF_{Br_FW2} [kN]	ΣF_{Br_ges2} [kN]	$\varnothing a_2$ [m/s]	$\varnothing a_{ges}$ [m/s]	v [km/h]	s [m]
0	0.0	0.0	2.6	2.6	-0.03	0.0	7.8	7.8	-0.09	-0.12	140.0	0.0
2	32.8	0.0	2.6	35.4	-0.40	0.0	7.5	7.5	-0.09	-0.48	138.1	73.5
4	68.8	0.0	2.6	71.3	-0.80	0.0	7.0	7.0	-0.08	-0.88	133.2	148.9
6	70.7	0.0	2.6	73.2	-0.83	0.0	6.3	6.3	-0.07	-0.90	126.4	224.5
8	70.7	0.0	2.6	73.3	-0.83	0.0	5.7	5.7	-0.06	-0.89	120.0	292.8
10	70.9	0.0	2.6	73.5	-0.83	0.0	5.1	5.1	-0.06	-0.89	113.6	357.6
12	71.3	0.0	2.6	73.9	-0.83	0.0	4.5	4.5	-0.05	-0.88	107.2	418.8
14	72.1	0.0	2.6	74.6	-0.84	0.0	4.0	4.0	-0.05	-0.89	100.8	476.5
16	73.3	0.0	2.6	75.8	-0.86	0.0	3.5	3.5	-0.04	-0.90	94.4	530.7
18	74.9	0.0	2.6	77.5	-0.87	0.0	3.1	3.1	-0.03	-0.91	87.9	581.2
20	77.0	0.0	2.6	79.6	-0.90	0.0	2.6	2.6	-0.03	-0.93	81.6	625.9
22	79.7	0.0	2.6	82.3	-0.93	0.0	2.2	2.2	-0.03	-0.95	74.9	669.3
24	83.0	0.0	2.6	85.6	-0.97	0.0	1.8	1.8	-0.02	-0.99	67.9	708.9
26	87.0	0.0	2.6	89.5	-1.01	0.0	1.5	1.5	-0.02	-1.03	60.7	744.5
28	91.7	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	1.1	1.1	-0.01	-1.08	53.1	776.0
30	83.2	0.0	2.6	85.8	-0.97	0.0	0.8	0.8	-0.01	-0.98	45.5	803.3
32	63.2	0.0	2.6	65.8	-0.74	0.0	0.6	0.6	-0.01	-0.75	39.3	826.7
34	62.9	0.0	2.6	65.4	-0.74	0.0	0.5	0.5	-0.01	-0.74	34.0	846.9
36	67.5	0.0	2.6	70.0	-0.79	0.0	0.3	0.3	0.00	-0.79	28.5	864.3
38	74.0	0.0	2.6	76.5	-0.86	0.0	0.2	0.2	0.00	-0.87	22.6	878.4
40	83.9	0.0	2.6	86.5	-0.98	0.0	0.1	0.1	0.00	-0.98	16.0	889.0
42	100.3	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	0.0	0.0	0.00	-1.06	8.5	895.8
44	125.1	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	0.0	0.0	0.00	-1.06	0.9	898.3
46	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	898.3
48	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	898.3
50	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	898.3
52	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	898.3
54	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	898.3
56	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	898.3
58	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	898.3
60	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	898.3

Abbildung 24: Bremsberechnung Re 425 Grauguss

Bremsberechnung Re 425 Jurid

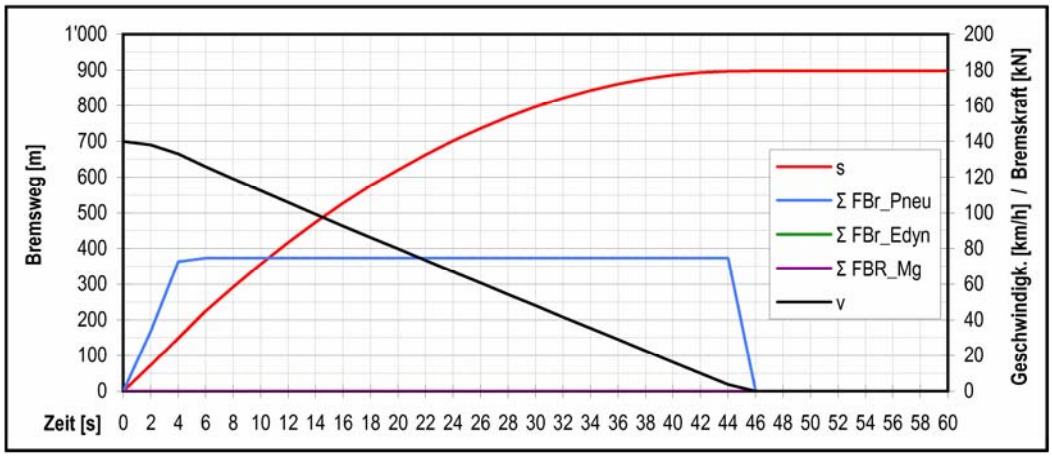
Allg. Simulationsdaten

Zeitschritt [s]
0.10

Maximal zulässiger Reibwert Rad/Schiene
0.12

Berechnung mit Fahrwiderstand?
ja

Ausgangsge-schwindigkeit [km/h]
140.0



Zugkonfiguration

	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.3	Fzg.4	Fzg.5	Fzg.6	Fzg.7	Fzg.8	Fzg.9	Fzg.10	Fzg.11	Fzg.12	Fzg.13	Fzg.14
Fahrzeugmasse [t]	80.00													
Anteil rotierende Masse [%]	10.80													
Zuladung [t]	0.00													
E-Bremse	aus													
Mg-Bremse	aus													
Längskraft auf nächst.Fzg.[kN]	0.0													

Rechnung

t [s]	ΣF_{Br_Pneu} [kN]	ΣF_{Br_Edyn} [kN]	ΣF_{Br_FW1} [kN]	ΣF_{Br_ges1} [kN]	$\varnothing a_1$ [m/s]	ΣF_{BR_Mg} [kN]	ΣF_{Br_FW2} [kN]	ΣF_{Br_ges2} [kN]	$\varnothing a_2$ [m/s]	$\varnothing a_{ges}$ [m/s]	v [km/h]	s [m]
0	0.0	0.0	2.6	2.6	-0.03	0.0	7.8	7.8	-0.09	-0.12	140.0	0.0
2	33.7	0.0	2.6	36.2	-0.41	0.0	7.5	7.5	-0.09	-0.49	138.1	73.5
4	72.7	0.0	2.6	75.2	-0.85	0.0	7.0	7.0	-0.08	-0.93	133.1	148.9
6	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	6.3	6.3	-0.07	-0.94	125.9	224.3
8	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	5.6	5.6	-0.06	-0.93	119.2	292.3
10	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	5.0	5.0	-0.06	-0.93	112.5	356.5
12	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	4.4	4.4	-0.05	-0.92	105.8	417.1
14	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	3.9	3.9	-0.04	-0.91	99.2	473.9
16	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	3.4	3.4	-0.04	-0.91	92.6	527.1
18	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	2.9	2.9	-0.03	-0.90	86.1	576.6
20	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	2.5	2.5	-0.03	-0.90	79.9	620.4
22	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	2.1	2.1	-0.02	-0.90	73.5	662.9
24	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	1.8	1.8	-0.02	-0.89	67.0	701.8
26	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	1.5	1.5	-0.02	-0.89	60.6	737.2
28	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	1.2	1.2	-0.01	-0.88	54.3	769.0
30	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	0.9	0.9	-0.01	-0.88	47.9	797.3
32	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	0.7	0.7	-0.01	-0.88	41.6	822.1
34	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	0.5	0.5	-0.01	-0.88	35.2	843.3
36	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	0.3	0.3	0.00	-0.87	28.9	861.1
38	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	0.2	0.2	0.00	-0.87	22.6	875.3
40	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	0.1	0.1	0.00	-0.87	16.4	886.1
42	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	0.0	0.0	0.00	-0.87	10.1	893.3
44	74.6	0.0	2.6	77.2	-0.87	0.0	0.0	0.0	0.00	-0.87	3.8	897.1
46	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	897.7
48	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	897.7
50	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	897.7
52	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	897.7
54	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	897.7
56	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	897.7
58	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	897.7
60	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	897.7

Abbildung 25: Bremsberechnung Re 425 Jurid

8 Universallok Re 4/4'' (Re 420)

Die Re 420 sind Universallokomotiven der SBB sowie in kleinerer Stückzahl auch bei der BLS und kommen dementsprechend bei allen Kategorien von Reisezügen wie auch Güterzügen zum Einsatz. Der vielseitige Einsatz verlangt eine möglichst hohe Zugkraft bis zur Höchstgeschwindigkeit von 140 km/h. Mit rund 277 abgelieferten Lokomotiven ist die Re 420 die bisher grösste Triebfahrzeugserie in der Schweiz. Die Fahrzeuge wurden in den 1964 bis 1985 gebaut und in Verkehr gesetzt.

Abbildung 26: Universallok Re 4/4'' (Re 420)

8.1 Fahrzeugbeschreibung

Hohe Adhäsionsausnützung zeichnet diese Lokomotive der Bauart Bo'Bo' aus, deren Zweckbestimmung in der Führung schwerer Schnellzüge und schnell fahrender Güterzüge im Flachland und leichterer Schnellzüge am Gotthard liegt.

Die Anwendung der Querkupplung und seitenelastischen Achszentrierung ergibt trotz hoher Stundenleistung und Zugkraft sehr geringe Kräfte zwischen Rad und Schiene, was auch bei 20 Tonnen Achslast erhöhte Kurven- und Maximalgeschwindigkeiten zulässt und den Spurkranzverschleiss auf ein Minimum reduziert. Seit 1960 gaben die Schweizerischen Bundesbahnen bei der Schweizerischen Rollmaterialindustrie über 250 Lokomotiven dieses Typs (siehe Abbildung 26) in Auftrag.

Zurzeit sind insgesamt 250 Lokomotiven des Typs Re 420 verteilt auf SBB Cargo (238) und BLS (12) im Einsatz. Die Loks sind mit der Vielfachsteuerung IIId ausgerüstet und können so mit diversen SBB-Lokomotiven und -Triebwagen verkehren. Aus Tabelle 16 gehen weitere relevante technische Daten der Bremsanlage hervor.

PROSE liegen derzeit keine Angaben der EVU's bezüglich der Flottenpolitik vor. Dies muss durch das BAFU direkt mit den jeweiligen EVU's geklärt werden. Die Abstellung

erster Loks mit Baujahr ab 1964 kann möglicherweise schon innert weniger Jahren erfolgen und damit die Flottengrösse reduzieren.

Tabelle 16: Drücke und Kräfte der Klotzbremseinheit der Re 4/4'' (Re 420)

			Automatische Druckluft-bremse		**Feder-speicher**
Bremsart			R, P_R	RIC, P_{RIC}	
Brems- bzw. Lösedruck	P	bar	6.89	3.95	
Bremsklotzkraft	Fkl	kN	83	47	
Anzahl der Doppel-klötze pro DG	N		8	8	
Totale Bremsklotzkraft pro DG	Fkl x n	kN	663	375	
Theor. Abbremsung	$A = \frac{Fkl \cdot n \cdot 100}{2 \cdot Q}$	%	175	100	

8.2 Umrüstung der Räder

Ein möglicher Umbau der Triebradsätze auf Radbremsscheiben würde ebenfalls eine geringe Laufflächenrauheit gewährleisten. Auch die thermische Belastung von Radreifen oder Monobloc-Rädern wäre dadurch gelöst. Eine entsprechende Machbarkeitsstudie [7] über die Umrüstung der Universallokomotiven Re 420, Re 430 und Re 620 wurde durchgeführt. Die Einbauuntersuchung zeigt allerdings, dass im bestehenden Bauraum zwischen Rad / Antrieb sowie Rad / Primärfederung nicht ausreichen Platz für die Bremszangen vorhanden ist. Daher kommt für eine Lärmsanierung dieser Triebfahrzeuge nur die Umrüstung der bestehenden Klotzbremseinheiten auf Sinter-Sohlen in Frage.

Für einen sicheren Betrieb und die erhöhte thermische Belastung der Räder durch die Sintersohlen sind die vorhandenen bandagierten Speichenräder durch Monobloc-Räder zu ersetzen. Wie bei den Re 425, Re 430 und Re 620 müssen pro Triebradsatz antriebsbedingt zwei unterschiedliche Monobloc-Räder, welche für Klotzbremsen geeignet sind, vorab konstruiert und berechnet werden. Im Vergleich zu den härteren Radreifen ist der Verschleiss an den Monobloc-Rädern erwartungsgemäss höher, was bei der Konstruktion durch möglichst viel „Verschleissreserve“ kompensiert werden soll. Wie der nachfolgenden Abbildung 27 entnommen werden kann, unterscheiden sich die Räder antriebsbedingt im Bereich der Nabe deutlich.

Der Mitnehmer, welcher in das Antriebszahnrad des Getriebes greift, überträgt sämtliche Antriebs- / Bremskräfte über seinen Presssitz zuerst auf den Radkörper (Radnabe) und anschliessend über den Wellenpresssitz auf die Radsatzwelle und damit auch auf das gegenüberliegende Rad. Beim künftigen Tausch der Räder nach Erreichen der Verschleissgrenze und entsprechender Kilometerlaufleistung muss dann jeweils auch der Mitnehmer demontiert und nach Anpassung der neuen Nabenpresssitze wieder auf dem neuen Rad montiert werden. Am gegenüberliegenden Rad muss die Kontaktscheibe (Pos. 6) ebenfalls beim Tausch der Monobloc-Räder demontiert und am neuen Radkörper aufgepresst werden.

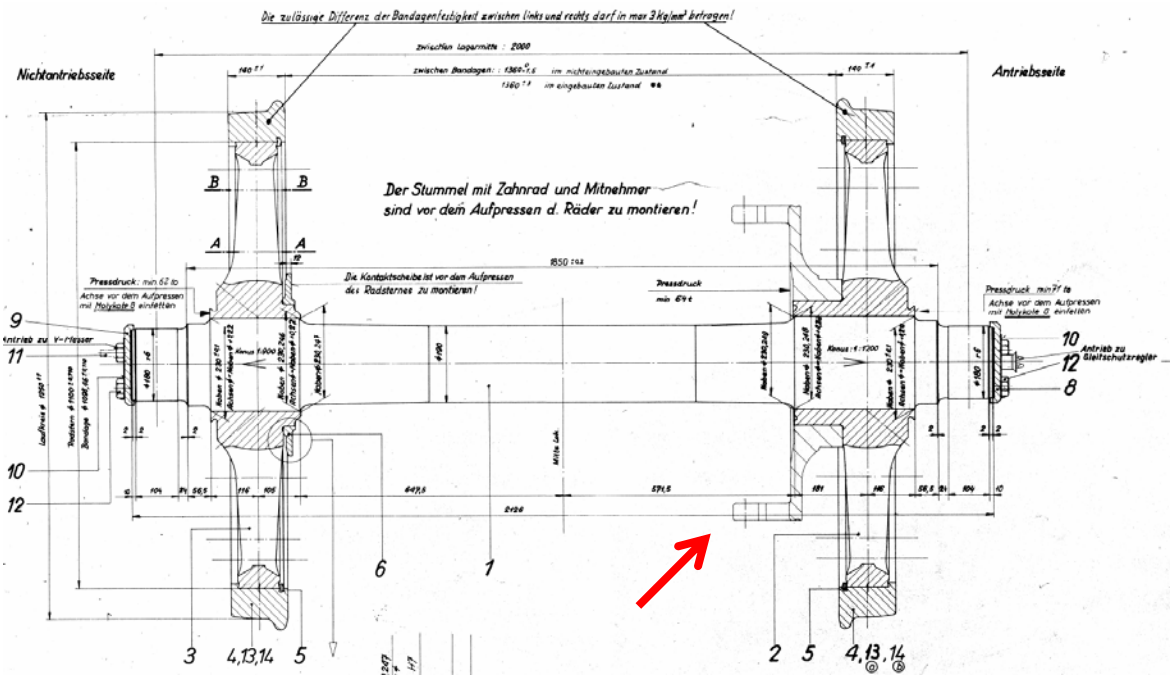


Abbildung 27: Zeichnung Triebradsatz und Mitnehmer (Beispiel: Re 425)

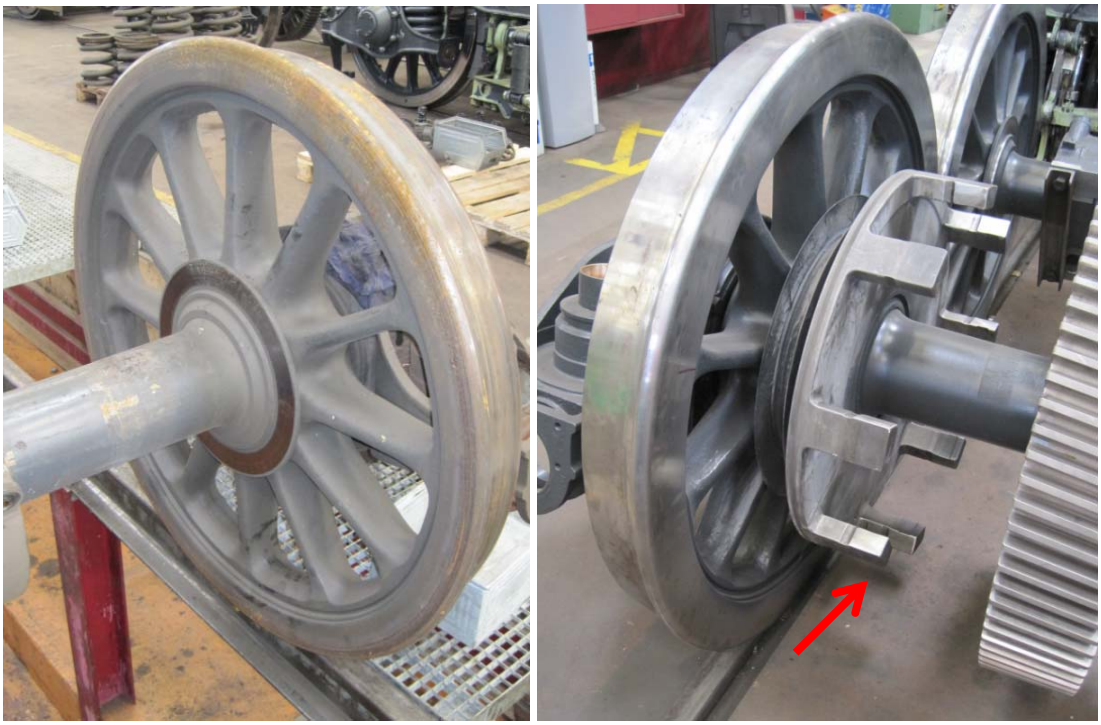


Abbildung 28: Bilder der unterschiedlichen Räder pro Radsatz (Beispiel: Re 425)

Die Triebradsätze bei allen Lokomotiven der Baureihen Re 420, Re 425, Re 430 und Re 620 weisen dasselbe Konstruktionsprinzip und nahezu identische Abmessungen auf. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass bei den genannten Lokomotivreihen die gleichen Räder oder zumindest die gleichen Schmiederohlinge genutzt werden können. Da die beiden Radtypen pro Radsatz (antriebsbedingt) dadurch trotzdem in grossen Stückzahlen benötigt würden, sollte dies bei einer „flottenübergreifenden“ Umrüstung auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht kein grösseres Hindernis darstellen.

Ein Ersatz der Speichenräder durch Monobloc-Räder bedeutet Mehraufwand im Unterhalt der Radsätze und Mehrkosten in der Beschaffung von Ersatzmaterial (komplexere Räder anstelle von Radreifen). Der Einfluss des Radwerkstoffes auf die Laufleistung / Lebensdauer der Räder lässt sich erst anhand eines Betriebsversuches ermitteln. In Zusammenarbeit mit den EVU's sollte daher vorgängig geklärt werden, ob eine Rückvergütung für lärmsanierte Achsen (in Rp / km?) über die geplanten Instandhaltungsintervalle die Mehrkosten im Fahrzeugunterhalt decken.

8.3 Anpassung der Bremskräfte

Die Anpassung der Bremskräfte kann ausschliesslich durch eine Änderung des Bremszylinderdruckes erfolgen. Das in Kapitel 4.5 erläuterte Prinzip der inversen R-Bremse muss dabei nicht angewendet werden, allerdings muss der Bremszylinderdruck sowohl bei P-Bremsung als auch bei R-Bremsung deutlich gesenkt werden. Von 0 bis 50 km/h soll er rein rechnerisch statt 3.95 bar nun 2.0 bar betragen, bei höheren Geschwindigkeiten statt 6.89 bar nur noch 2.54 bar. Die Bremsrechnung sowie die hierfür herangezogenen Eingabeparameter finden sich in Kapitel 0. Bei den neu vorgesehenen Sintersohlen mit annähernd konstantem Reibwert über den gesamten Geschwindigkeitsbereich der Lok kann anhand der Betriebsversuche getestet werden, ob auf die Umschaltung der Bremsstufen ganz verzichtet werden kann (nur noch einstufige Bremse).

8.4 Änderung der Bremssteuerung

Ein geänderter Bremszylinderdruck erfordert auch eine Druckanpassung in der Bremssteuerung. Anhand des Pneumatikschemas sollte dies durch eine reine Anpassung des Steuerventils und / oder des Drucküberset zers möglich sein, siehe Abbildung 22. Ob beide Elemente gleichzeitig verändert werden müssen (Zusammenwirken), muss in einem nächsten Schritt bei einer Umrüstung der Fahrzeuge in Zusammenarbeit mit dem Lieferanten der Pneumatikkomponenten geklärt werden. Die direkt wirkende Rangierbremse ist von den oben erwähnten Anpassungen nicht betroffen. Diese wird mittels Rangierbrems-Steuerventils betätigt und steuert dadurch direkt das Druckniveau in den Bremszylindern der Lokomotive.

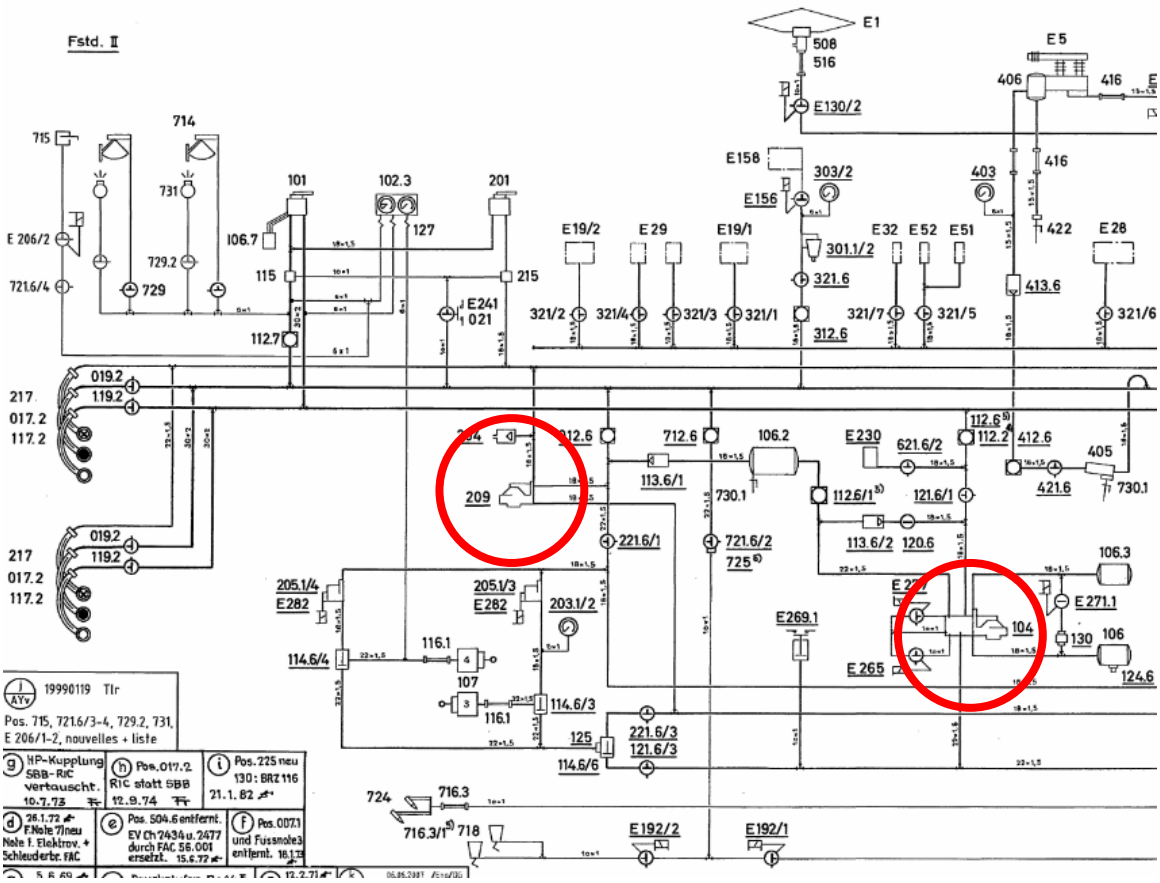


Abbildung 29: Pneumatikschema mit Steuerventil und Drucküberset zer Re 420

Beim Steuerventil und beim Drucküberset zer kann jeweils das Innenleben angepasst werden, um das benötigte Druckniveau für den neuen Bremszylinderdruck zu erreichen. Das genaue Vorgehen bei der Anpassung und den Umbau der Komponenten muss im konkreten Fall direkt mit den Lieferanten geklärt werden. Im Bremssystem sind verschiedentlich Doppelrückschlagventile im Einsatz. Bei der Anpassungen (Absenkung) von Steuer- und Bremsdruck muss beachtet werden, dass auf die Anschlüsse solcher Ventile unterschiedliche Drücke wirken. Ansonsten besteht die Gefahr von undefinierten Ventil-Stellungen.

Die E-Bremse soll prioritär und mit der höchst möglichen Kraft wirksam sein. Bei Geschwindigkeitsreduzierung in Richtung Stillstand des Fahrzeugs soll diese erst so spät wie möglich durch die P-Bremse unterstützt bzw. abgelöst werden. Dieses Vorgehen mindert den Verschleiss an den Bremsklötzen und reduziert die vom Rad bei Betriebsbremsungen aufzunehmende thermische Energie auf das Mindestmass. Das Fahrpersonal ist bereits entsprechend geschult, dass die E-Bremse maximal ausgenutzt werden soll, so dass hier keine grundsätzliche Änderung möglich ist.

8.5 Besonderheiten

Die Re 420 sind mit einem Schleuderschutz ausgerüstet, welcher über die Bremszylinder ebenfalls direkt auf die Räder wirkt. Durch die neuen Reibverhältnisse der Sintersohlen muss an ersten Fahrzeugen geprüft werden, ob die Drucküberset zer für die Schleuderschutzventile ebenfalls angepasst werden müssen. Die Wirkungsweise kann anhand von Bremsversuchen getestet werden.

Aus Sicht der EVU's soll sich die Zugkraft nicht verringern. Die geringere Rauheit der Laufflächen durch die neu verwendeten Sintersohlen verringert die Adhäsion zwischen Rad und Schiene, was gerade für die Fahrzeuge im Gotthardverkehr kritisch ist. Je nach Witterungseinflüssen kann dies beim Anfahren / Bremsen einen deutlich spürbaren Einfluss haben. Da bei Feuchtigkeit in Kombination mit der geringeren Laufflächenrauheit die Adhäsionsgrenze früher als bisher erreicht wird, ist eine optimale Einstellung des Schleuderschutzes auf die Reibverhältnisse mit Sintersohlen wichtig.

Ein wirkungsvoller Gleitschutz konnte beim Bau der Lokomotiven dem damaligen Stand der Technik entsprechend noch nicht mit der heute bekannten Elektronik (Hard- und Software) realisiert werden. Zusammen mit den EVU's sollte im Zuge einer Lärmsanierung geklärt werden, ob die Nachrüstung eines elektronisch geregelten Gleitschutzes aus betrieblichen Gründen verlangt wird und ob dies mit vertretbarem Aufwand machbar ist (Nachrüstung). Eine geringere Adhäsion führt beim Bremsen schneller zum Blockieren der Räder und damit zu Flachstellen. Ein Blockieren kann zudem aber auch den Bremsweg deutlich verlängern und stellt damit ein erhebliches Sicherheitsrisiko dar. Ein solcher Gleitschutz sollte nach Möglichkeit ebenfalls bereits an allfälligen Prototyp-Fahrzeugen umgesetzt und getestet werden.

Die neu vorgesehenen Sinter-Bremsklötze sollen zur Sicherheit wegen der möglichen Vertauschbarkeit mit anderen Sohlen durch Nocken im Bremsklotz „codiert" sein. Durch die Nocken passen die Sinterklötze dann nicht mehr in den bestehenden Bremsklotzhalter für Grauguss-Sohlen. Wenn diese bestehenden Bauteile nicht nachbearbeitet werden können, müssen zusätzlich die Bremsklotzhalter ersetzt werden.

Sinter-Bremsklötze erzielen durch ihr Reibverhalten mit hoher Wahrscheinlichkeit glatte Laufflächen und führen zu geringerer Lärmentwicklung. Bezüglich Laufleistung können jedoch keine garantierten Voraussagen gemacht werden, hier sind die Erfahrungen aus anderen Bremsumrüstungen ähnlicher Fahrzeugtypen nicht direkt übertragbar, da Laufverhalten und Betrieb mitunter stark unterschiedlich ausfallen. Anhand der Erfahrungen der SBB Re 450 (S-Bahn Zürich) können fahrzeugspezifische Eigenheiten, unterschiedliche Materialpaarungen oder Einsatzbedingungen übermässigen Verschleiss oder gar Schäden / Ausbröckelungen auf der Lauffläche oder am Bremsklotz hervorrufen. Falls möglich sollten daher gleichzeitig Sinterklötze verschiedener Hersteller mit identischem Reibwert getestet werden.

Der Einsatz der Sanderanlage zur Verbesserung der Adhäsion unter schlechten Witterungseinflüssen ist in Kombination mit gewissen Bremsklotzwerkstoffen unter Umständen nicht ideal. Der Sand kann je nach Werkstoff und Anpressdruck ebenfalls zu starkem Bremsklotzverschleiss führen und Abbröckelungen oder Materialausbrüchen verursachen.

8.6 Prototypenumrüstung und Erprobung

Für einen sicheren Betrieb und die erhöhte thermische Belastung der Räder sind die vorhandenen Speichenräder durch Monobloc-Räder zu ersetzen. Ansonsten ist es möglich, nur mit Änderung der Bremszylinderdrücke und der daraus erforderlichen weiteren Massnahmen den Bremsweg des Fahrzeuges mit neuen Sohlen an den bisherigen Bremsweg anzupassen. Der Bremsweg aus der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit von 140 km/h beträgt nach wie vor 851 m. Im Zwischenbereich muss allerdings teilweise ein deutlich längerer Bremsweg hingenommen werden, das Maximum beläuft sich hierbei auf eine Verlängerung von 51 m aus 110 km/h. Bremszylinder oder Gestänge müssen nicht getauscht werden.

In Tabelle 17 ist der Umbauaufwand für die Re-4/4"- (Re-420) Fahrzeuge beziffert. Es ist ersichtlich, welche Teile behalten werden können und welche Komponenten in welcher Stückzahl ersetzt werden müssen

Tabelle 17: Umrüstungsaufwand bei Re 4/4" (Re 420)

Re 4/4" (Re 420)	Anz. je Fzg.	Austausch nötig?	Menge für 1 Fzg.	Menge für 250 Fzg.
Sinterbremssohlen	48	ja	48	12’000
Bremssohlenhalter	32	ja	32	8’000
Westinghouse-Bremszylinder 10“	4	nein	-	-
Brems-Gestänge	4	nein	-	-
Steuerventil	1	ja (Anpassung)	1	250
Drucküberset zer	1	ja (Anpassung)	1	250
Räder	8	ja	8	2’000

8.7 Erprobungsphase

Die Re 4/4’’ (Re 420) / Re 4/4’’’ (Re 430) sind Universallokomotiven, die in allen Betriebsbereichen eingesetzt werden. Es ergeben sich die drei Aufgabenfelder Regionalverkehr, Fernverkehr und Güterverkehr. Für die Bereiche Regional- und Güterverkehr sollte je ein Fahrzeug lärmsaniert und ausschliesslich im entsprechenden Bereich getestet werden. Auf eine Durchmischung der beiden Testfahrzeuge sollte verzichtet werden, da sich stark unterschiedliche Anforderungen an die Räder ergeben. An die im Fernverkehr eingesetzten Fahrzeuge ergeben sich bezüglich der Räder und der Bremsen keine zusätzlichen Anforderungen, die nicht auch durch die Tests im Regional- oder Güterverkehr abgedeckt werden können. Auf ein gesondertes Testfahrzeug für den Bereich Fernverkehr kann somit aus unserer Sicht verzichtet werden. Es wird empfohlen, für den

Regionalverkehrs-Test ein Fahrzeug Re 420 auszurüsten und für den Güterverkehr eine Re 430.

Zu Beginn resp. vor der Erprobungsphase sollen folgende Messungen an den Fahrzeugen gemacht werden, um die Sicherheit im Betrieb sowie die erzielte Lärmminderung zu dokumentieren:

- Bremswegmessung mit dem Fahrzeug nach der Umrüstung
- Vorbeifahrmessung (Lärmemission) bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten vor und nach der Umrüstung. Durchführung gemäss TSI Noise und EN 3095.
- Wirkung der Stillstandsbremse im Gefälle

Speziell auch im Hinblick auf die Fahrzeuge im Gotthardverkehr ist aus Sicht der EVU's das Thema Adhäsion sehr wichtig. Durch die geringere Laufflächenrauheit kann diese je nach vorherrschenden Witterungsbedingungen verringert sein. Untersuchungen bezüglich Zugkraft unter verschiedenen Umwelt- und Einsatzbedingungen sowie eine Überprüfung von Gleit- und Schleuderschutzvorrichtungen soll ebenfalls in Absprache mit den jeweiligen EVU vorgesehen werden.

Weitere Schritte bezüglich einer allfälligen Umrüstung (inkl. Erprobungsphase) zur Lärmsanierung an den Re 420 müssen direkt mit den EVU's abgesprochen werden. Einerseits ist die Flottenpolitik entscheiden, Fahrzeuge der ersten Serie werden möglicherweise schon bald abgestellt. Andererseits muss ein Umbau zur Lärmsanierung entsprechend den Instandhaltungsintervallen der Fahrzeuge geplant und die pneumatische Anpassung der Ventile etc. direkt mit den Lieferanten geklärt werden. In der Regel werden die Bremskomponenten zur Wartung resp. Umbau (Anpassung) nach Ausbau während der Revision zu den Lieferanten geschickt. Die Inbetriebnahme der Fahrzeuge mit Feinabstimmung der Komponenten inkl. Betriebsinterner Dokumentation / Richtlinien etc. bedingt Initialaufwand. Die Fahrzeugdisposition für die Umrüstungen und die Beobachtung der Prototypen während der Erprobungsphasen kann nur durch die EVU's erfolgen. Gerade das Verschleissverhalten der geänderten Bauteile soll in regelmässigen Abständen kontrolliert werden. Auch allfällige fahrtechnische Veränderungen durch die Verschleissprofile können am Besten kurz vor einer notwendigen Reprofilierung im Feldversuch überprüft werden. Die Umstellung von Radreifen auf Monobloc-Räder hat bei den EVU's auch Einfluss auf die Abläufe in der Radsatzinstandhaltung, bei Logistik und Einkauf. Nicht zuletzt muss das Fahrpersonal ebenfalls auf die neuen Eigenschaften / Bremsverhalten eingeschult werden. Auch ob das längerfristige Betreiben der lärmsanierten Fahrzeuge in Wartung und Unterhalt kostenneutral ist, dürfte für das entsprechende EVU von grossem Interesse sein.

8.8 Technische Unterlagen

Für die in Abbildung 31 und Abbildung 32 dargestellten Bremsberechnungen wird folgende Unterlage herangezogen:

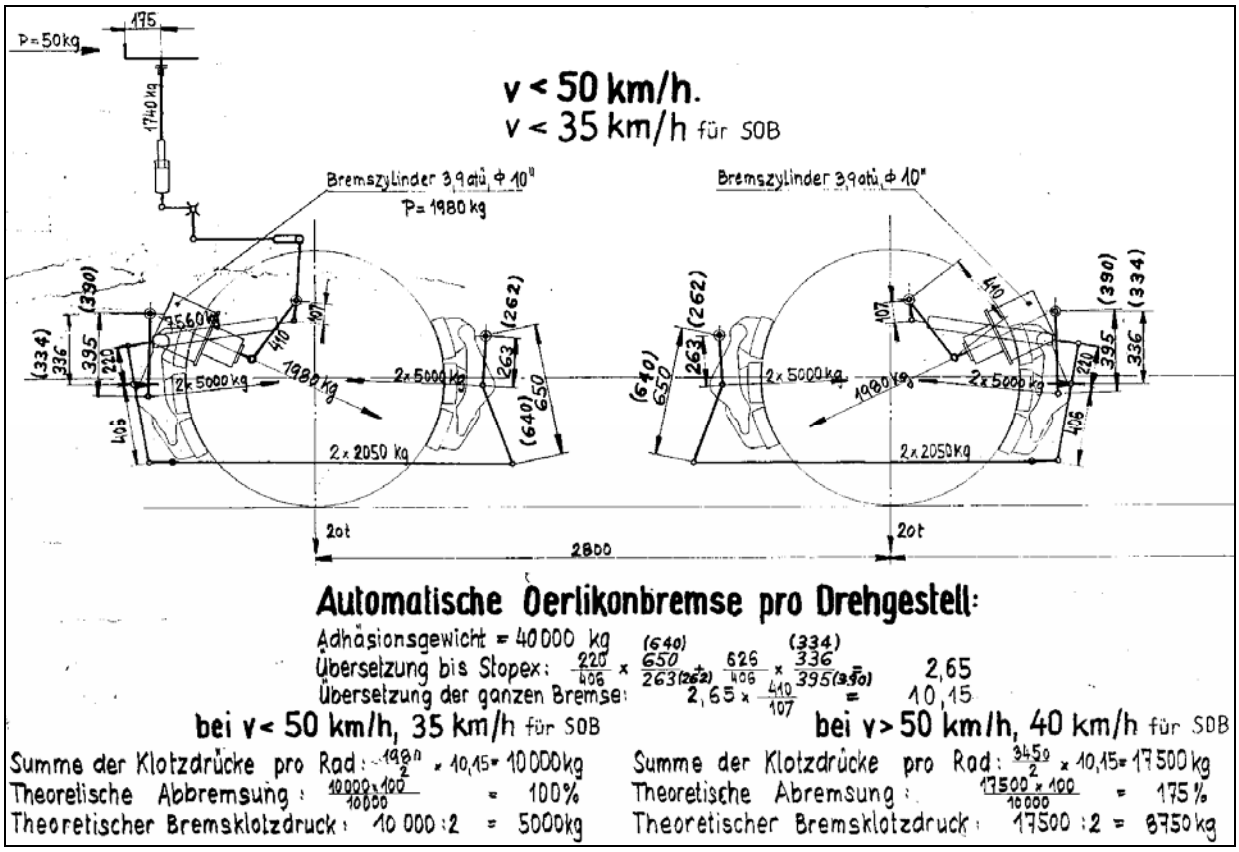


Abbildung 30: Daten Bremsanlage Re 420 [14]

Bremsberechnung Re 420 Grauguss

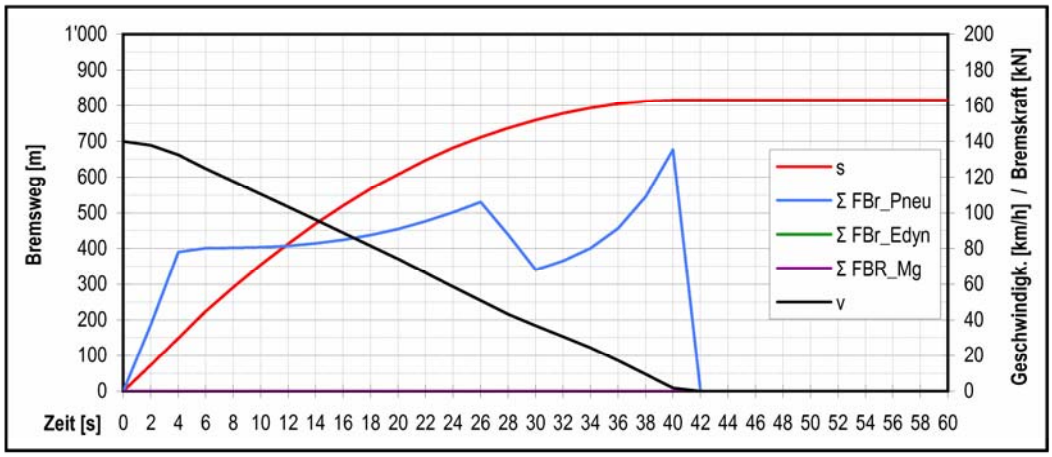
Allg. Simulationsdaten

Zeitschritt [s]
0.10

Maximal zulässiger Reibwert Rad/Schiene
0.12

Berechnung mit Fahrwiderstand?
ja

Ausgangsge-schwindigkeit [km/h]
140.0



Zugkonfiguration

	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.3	Fzg.4	Fzg.5	Fzg.6	Fzg.7	Fzg.8	Fzg.9	Fzg.10	Fzg.11	Fzg.12	Fzg.13	Fzg.14
Fahrzeugmasse [t]	80.00													
Anteil rotierende Masse [%]	10.80													
Zuladung [t]	0.00													
E-Bremse	aus													
Mg-Bremse	aus													
Längskraft auf nächst.Fzg.[kN]	0.0													

Rechnung

t [s]	ΣF_{Br_Pneu} [kN]	ΣF_{Br_Edyn} [kN]	ΣF_{Br_FW1} [kN]	ΣF_{Br_ges1} [kN]	$\varnothing a_1$ [m/s]	ΣF_{BR_Mg} [kN]	ΣF_{Br_FW2} [kN]	ΣF_{Br_ges2} [kN]	$\varnothing a_2$ [m/s]	$\varnothing a_{ges}$ [m/s]	v [km/h]	s [m]
0	0.0	0.0	2.6	2.6	-0.03	0.0	7.8	7.8	-0.09	-0.12	140.0	0.0
2	37.3	0.0	2.6	39.9	-0.45	0.0	7.5	7.5	-0.08	-0.53	137.9	73.4
4	78.1	0.0	2.6	80.7	-0.91	0.0	6.9	6.9	-0.08	-0.99	132.5	148.6
6	80.3	0.0	2.6	82.9	-0.93	0.0	6.2	6.2	-0.07	-1.00	124.9	223.6
8	80.4	0.0	2.6	83.0	-0.94	0.0	5.5	5.5	-0.06	-1.00	117.7	290.9
10	80.8	0.0	2.6	83.3	-0.94	0.0	4.8	4.8	-0.05	-0.99	110.5	354.1
12	81.5	0.0	2.6	84.0	-0.95	0.0	4.2	4.2	-0.05	-1.00	103.3	413.4
14	82.8	0.0	2.6	85.4	-0.96	0.0	3.7	3.7	-0.04	-1.00	96.1	468.7
16	84.8	0.0	2.6	87.4	-0.99	0.0	3.1	3.1	-0.04	-1.02	88.9	520.0
18	87.6	0.0	2.6	90.1	-1.02	0.0	2.6	2.6	-0.03	-1.05	81.4	567.3
20	90.9	0.0	2.6	93.5	-1.05	0.0	2.2	2.2	-0.02	-1.08	74.2	608.2
22	95.2	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	1.7	1.7	-0.02	-1.08	66.4	647.2
24	100.2	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	1.4	1.4	-0.02	-1.08	58.6	681.8
26	105.9	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	1.0	1.0	-0.01	-1.07	50.8	712.0
28	87.7	0.0	2.6	90.2	-1.02	0.0	0.7	0.7	-0.01	-1.03	43.1	738.0
30	68.1	0.0	2.6	70.7	-0.80	0.0	0.5	0.5	-0.01	-0.80	36.6	760.0
32	73.0	0.0	2.6	75.6	-0.85	0.0	0.4	0.4	0.00	-0.86	30.7	778.7
34	80.2	0.0	2.6	82.7	-0.93	0.0	0.2	0.2	0.00	-0.94	24.3	793.9
36	91.3	0.0	2.6	93.9	-1.06	0.0	0.1	0.1	0.00	-1.06	17.1	805.3
38	109.0	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	0.0	0.0	0.00	-1.06	9.5	812.6
40	135.3	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	0.0	0.0	0.00	-1.06	1.8	815.7
42	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	815.8
44	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	815.8
46	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	815.8
48	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	815.8
50	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	815.8
52	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	815.8
54	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	815.8
56	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	815.8
58	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	815.8
60	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	815.8

Abbildung 31: Bremsberechnung Re 420 Grauguss

Bremsberechnung Re 420 Jurid

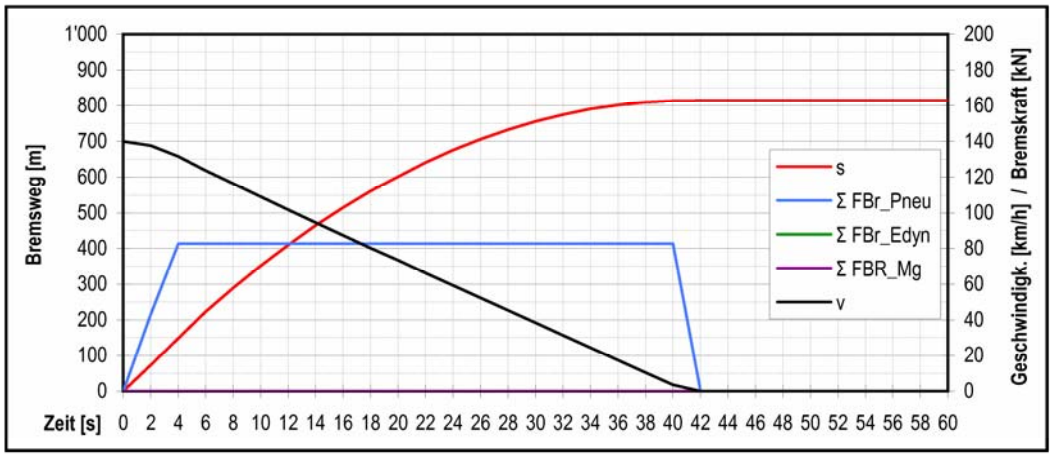
Allg. Simulationsdaten

Zeitschritt [s]
0.10

Maximal zulässiger Reibwert Rad/Schiene
0.12

Berechnung mit Fahrwiderstand?
ja

Ausgangsge-schwindigkeit [km/h]
140.0



Zugkonfiguration

	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.3	Fzg.4	Fzg.5	Fzg.6	Fzg.7	Fzg.8	Fzg.9	Fzg.10	Fzg.11	Fzg.12	Fzg.13	Fzg.14
Fahrzeugmasse [t]	80.00													
Anteil rotierende Masse [%]	10.80													
Zuladung [t]	0.00													
E-Bremse	aus													
Mg-Bremse	aus													
Längskraft auf nächst.Fzg.[kN]	0.0													

Rechnung

t [s]	ΣF_{Br_Pneu} [kN]	ΣF_{Br_Edyn} [kN]	ΣF_{Br_FW1} [kN]	ΣF_{Br_ges1} [kN]	$\varnothing a_1$ [m/s]	ΣF_{BR_Mg} [kN]	ΣF_{Br_FW2} [kN]	ΣF_{Br_ges2} [kN]	$\varnothing a_2$ [m/s]	$\varnothing a_{ges}$ [m/s]	v [km/h]	s [m]
0	0.0	0.0	2.6	2.6	-0.03	0.0	7.8	7.8	-0.09	-0.12	140.0	0.0
2	43.2	0.0	2.6	45.8	-0.52	0.0	7.5	7.5	-0.08	-0.60	137.8	73.4
4	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	6.9	6.9	-0.08	-1.04	131.6	148.3
6	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	6.1	6.1	-0.07	-1.03	123.8	222.7
8	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	5.4	5.4	-0.06	-1.02	116.4	289.3
10	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	4.7	4.7	-0.05	-1.02	109.1	351.8
12	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	4.1	4.1	-0.05	-1.01	101.8	410.3
14	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	3.5	3.5	-0.04	-1.00	94.5	464.7
16	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	3.0	3.0	-0.03	-1.00	87.3	515.1
18	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	2.5	2.5	-0.03	-0.99	80.2	561.6
20	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	2.1	2.1	-0.02	-0.99	73.4	602.0
22	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	1.7	1.7	-0.02	-0.98	66.3	640.7
24	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	1.4	1.4	-0.02	-0.98	59.3	675.5
26	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	1.1	1.1	-0.01	-0.97	52.3	706.4
28	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	0.8	0.8	-0.01	-0.97	45.3	733.4
30	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	0.6	0.6	-0.01	-0.97	38.3	756.5
32	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	0.4	0.4	0.00	-0.97	31.3	775.7
34	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	0.2	0.2	0.00	-0.96	24.3	791.1
36	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	0.1	0.1	0.00	-0.96	17.4	802.6
38	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	0.0	0.0	0.00	-0.96	10.5	810.2
40	82.7	0.0	2.6	85.3	-0.96	0.0	0.0	0.0	0.00	-0.96	3.5	814.0
42	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	814.5
44	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	814.5
46	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	814.5
48	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	814.5
50	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	814.5
52	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	814.5
54	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	814.5
56	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	814.5
58	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	814.5
60	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	814.5

Abbildung 32: Bremsberechnung Re 420 Jurid

9 Universallok Re 4/4''' (Re 430)

Abbildung 33: Universallok Re 4/4''' (Re 430)

9.1 Fahrzeugbeschreibung

Diese Fahrzeuge unterscheiden sich von denen der Re 4/4'' (Re 420) durch eine grössere Getriebeübersetzung (von 28:87). Sie weisen damit eine um 24kN höhere Anfahrzugkraft von 279 kN auf, als die Re 420. Die 21 Re 430 sind allesamt im Besitz der SBB Cargo und verrichten ihren Einsatz vorwiegend am Gotthard. Sie sind mit der Vielfachsteuerung IIId ausgerüstet und können so mit diversen SBB-Lokomotiven und Triebwagen verkehren.

PROSE liegen derzeit keine Angaben der EVU's bezüglich der Flottenpolitik vor. Dies muss durch das BAFU direkt mit den jeweiligen EVU's geklärt werden. Die Abstellung erster Loks mit Baujahr ab 1967 kann möglicherweise schon innert weniger Jahren erfolgen und damit die Flottengrösse reduzieren.

Aus Tabelle 18 gehen weitere relevante technische Daten der Bremsanlage hervor.

Tabelle 18: Drücke und Kräfte der Klotzbremseinheit der Re 4/4''' (Re 430)

			Automatische Druckluft-bremse		**Feder-speicher**
Bremsart			R, P_R	RIC, P_{RIC}	
Brems- bzw. Lösedruck	P	bar	7.5	3.95	
Bremsklotzkraft	Fkl	kN	98	51	
Anzahl der Doppel-klötze pro DG	N		8	8	
Totale Bremsklotzkraft pro DG	Fkl x n	kN	787	409	
Theor. Abbremsung	$A = \frac{Fkl \cdot n \cdot 100}{2 \cdot Q}$	%	207	109.6	

9.2 Umrüstung der Räder

Für einen sicheren Betrieb und die erhöhte thermische Belastung der Räder sind die vorhandenen bandagierten Speichenräder analog Re 420 durch Monobloc-Räder zu ersetzen, siehe dazu Kapitel 8.2.

9.3 Anpassung der Bremskräfte

Die Anpassung der Bremskräfte kann ausschliesslich durch eine Änderung des Bremszylinderdruckes erfolgen. Das in Kapitel 4.5 erläuterte Prinzip der inversen R-Bremse muss dabei nicht angewendet werden, allerdings muss der Bremszylinderdruck sowohl bei P-Bremsung als auch bei R-Bremsung deutlich gesenkt werden. Von 0 bis 50 km/h soll er rein rechnerisch statt 3.95 bar nun 2.0 bar betragen, bei höheren Geschwindigkeiten statt 7.5 nur noch 2.94 bar. Die Bremsrechnung sowie die hierfür herangezogenen Eingabeparameter finden sich in Kapitel 9.8. Bei den neu vorgesehenen Sintersohlen mit annähernd konstantem Reibwert über den gesamten Geschwindigkeitsbereich der Lok kann anhand der Betriebsversuche getestet werden, ob auf die Umschaltung der Bremsstufen ganz verzichtet werden kann (nur noch einstufige Bremse).

9.4 Änderung der Bremssteuerung

Ein geänderter Bremszylinderdruck erfordert analog Re 420 auch eine Druckanpassung in der Bremssteuerung, siehe dazu Kapitel 8.4.

9.5 Besonderheiten

Aufgrund der sehr ähnlichen Bauweise der Lokomotiven sind die selben Besonderheiten analog Re 420 zu beachten, siehe dazu Kapitel 8.5.

9.6 Prototypenumrüstung und Erprobung

Für einen sicheren Betrieb und die erhöhte thermische Belastung der Räder sind die vorhandenen Speichenräder durch Monobloc-Räder zu ersetzen. Ansonsten ist es möglich, nur mit Änderung der Bremszylinderdrücke und der daraus erforderlichen weiteren Massnahmen den Bremsweg des Fahrzeuges mit neuen Sohlen an den bisherigen Bremsweg anzupassen. Der Bremsweg beträgt aus der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit von 125 km/h nach wie vor 581 m. Auch hier verlängert sich der Bremsweg im Zwischenbereich, maximal um 29 m aus 90 km/h. Bremszylinder oder Gestänge müssen nicht getauscht werden.

In Tabelle 19 ist der Umbauaufwand für die Re-4/4" (Re 430) Fahrzeuge beziffert. Es ist ersichtlich, welche Teile behalten werden können und welche Komponenten in welcher Stückzahl ersetzt werden müssen.

Tabelle 19: Umrüstungsaufwand bei Re 4/4''' (Re 430)

Re 4/4''' (Re 430)	Anz. je Fzg.	Austausch nötig?	Menge für 1 Fzg.	Menge für 21 Fzg.
Sinterbremssohlen	48	ja	48	1'008
Bremssohlenhalter	32	ja	32	672
Westinghouse-Bremszylinder 10"	4	nein	-	-
Brems-Gestänge	4	nein	-	-
Steuerventil	1	ja (Anpassung)	1	21
Druckübersetzer	1	ja (Anpassung)	1	21
Räder	8	ja	8	168

9.7 Erprobungsphase

Es wird empfohlen, von den Re 4/4''' (Re 430) ein Fahrzeug testweise vorab umzurüsten. Dieses sollte ausschliesslich im Güterverkehr eingesetzt werden.

Zu Beginn resp. vor der Erprobungsphase sollen folgende Messungen an den Fahrzeugen gemacht werden, um die Sicherheit im Betrieb sowie die erzielte Lärmminderung zu dokumentieren:

- Bremswegmessung mit dem Fahrzeug nach der Umrüstung
- Vorbeifahrmessung (Lärmemission) bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten vor und nach der Umrüstung. Durchführung gemäss TSI Noise und EN 3095.
- Wirkung der Stillstandsbremse im Gefälle

Speziell auch im Hinblick auf die Fahrzeuge im Gotthardverkehr ist aus Sicht der EVU's das Thema Adhäsion sehr wichtig. Durch die geringere Laufflächenrauheit kann diese je nach vorherrschenden Witterungsbedingungen verringert sein. Untersuchungen bezüglich Zugkraft unter verschiedenen Umwelt- und Einsatzbedingungen sowie eine Überprüfung von Gleit- und Schleuderschutzvorrichtungen soll ebenfalls in Absprache mit den jeweiligen EVU vorgesehen werden.

Weitere Schritte bezüglich einer allfälligen Umrüstung (inkl. Erprobungsphase) zur Lärmsanierung an den Re 430 müssen direkt mit den EVU's abgesprochen werden. Einerseits ist die Flottenpolitik entscheiden, Fahrzeuge der ersten Serie werden möglicherweise schon bald abgestellt. Andererseits muss ein Umbau zur Lärmsanierung entsprechend den Instandhaltungsintervallen der Fahrzeuge geplant und die pneumatische Anpassung der Ventile etc. direkt mit den Lieferanten geklärt werden. In der Regel werden die Bremskomponenten zur Wartung resp. Umbau (Anpassung) nach Ausbau während der Revision zu den Lieferanten geschickt. Die Inbetriebnahme der Fahrzeuge mit Feinabstimmung der Komponenten inkl. Betriebsinterner Dokumentation / Richtlinien etc. bedingt Initialaufwand. Die Fahrzeugdisposition für die Umrüstungen und die Beobachtung der Prototypen während der Erprobungsphasen kann nur durch die EVU's erfolgen. Gerade das Verschleissverhalten der geänderten Bauteile soll in regelmässigen Ab-

ständen kontrolliert werden. Auch allfällige fahrtechnische Veränderungen durch die Verschleissprofile können am Besten kurz vor einer notwendigen Reprofilierung im Feldversuch überprüft werden. Die Umstellung von Radreifen auf Monobloc-Räder hat bei den EVU's auch Einfluss auf die Abläufe in der Radsatzinstandhaltung, bei Logistik und Einkauf. Nicht zuletzt muss das Fahrpersonal ebenfalls auf die neuen Eigenschaften / Bremsverhalten eingeschult werden. Auch ob das längerfristige Betreiben der lärmsanierten Fahrzeuge in Wartung und Unterhalt kostenneutral ist, dürfte für das entsprechende EVU von grossem Interesse sein.

9.8 Bremsberechnung und Konstruktionsunterlagen

Für die in Abbildung 35 und Abbildung 36 dargestellten Bremsberechnungen wird folgende Unterlage herangezogen:

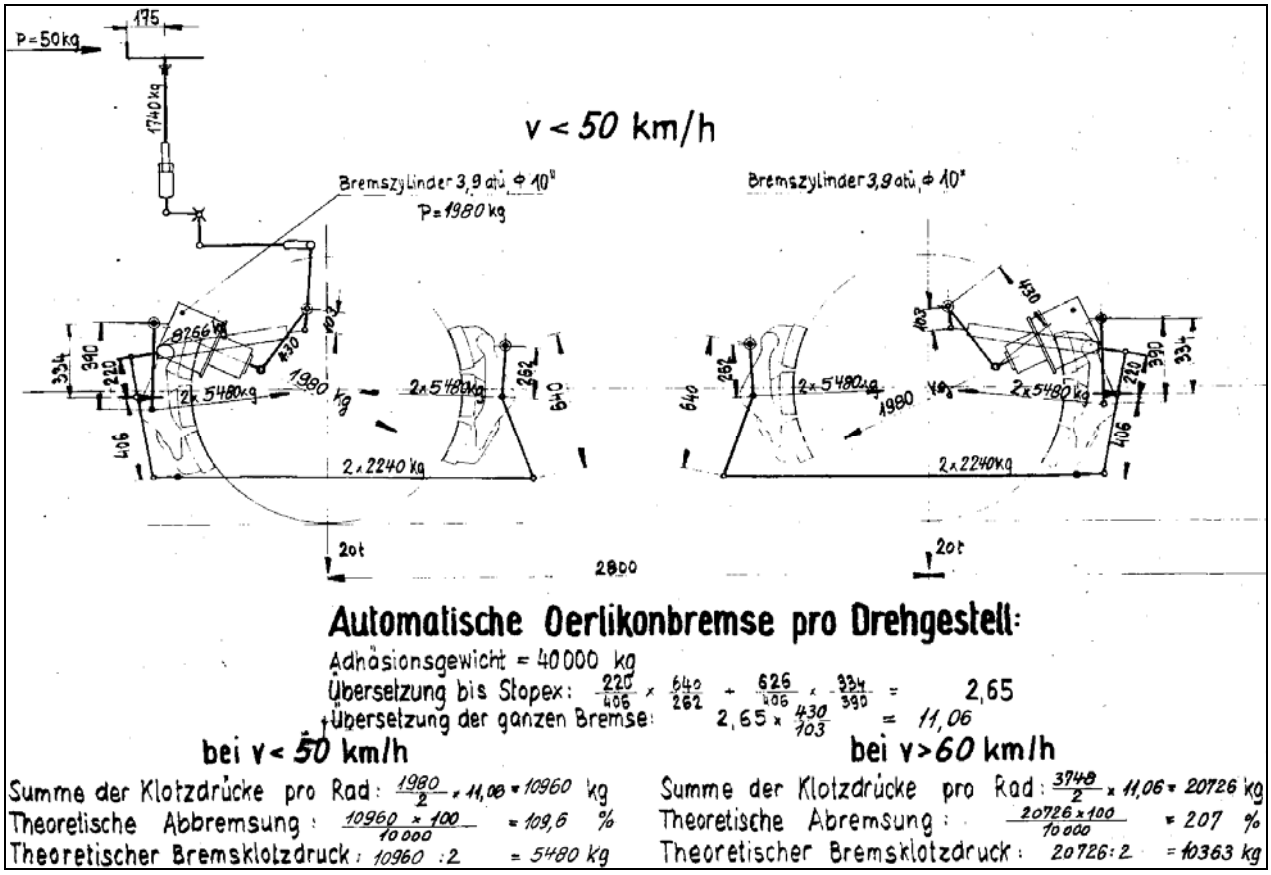


Abbildung 34: Daten Bremsanlage Re 430 [15]

Bremsberechnung Re 430 Grauguss

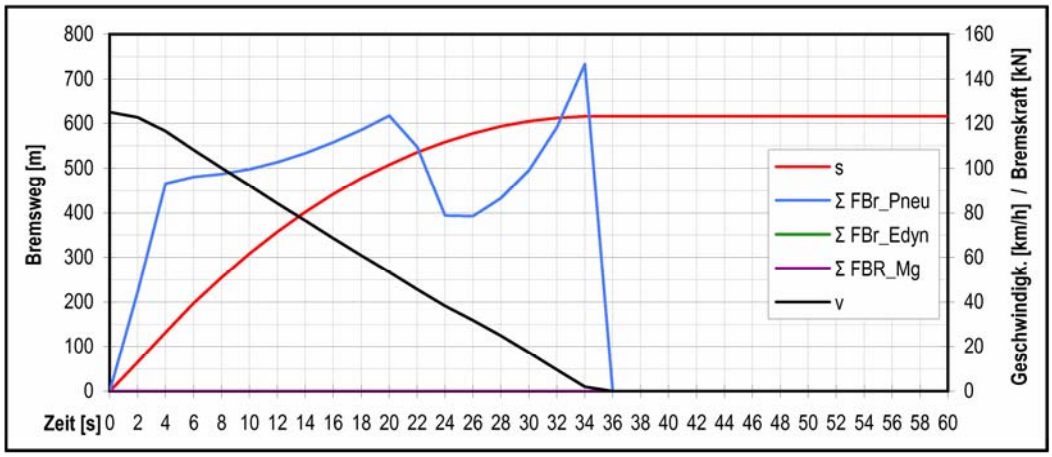
Allg. Simulationsdaten

Zeitschritt [s]
0.10

Maximal zulässiger Reibwert Rad/Schiene
0.12

Berechnung mit Fahrwiderstand?
ja

Ausgangsgeschwindigkeit [km/h]
125.0



Zugkonfiguration

	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.3	Fzg.4	Fzg.5	Fzg.6	Fzg.7	Fzg.8	Fzg.9	Fzg.10	Fzg.11	Fzg.12	Fzg.13	Fzg.14
Fahrzeugmasse [t]	80.00													
Anteil rotierende Masse [%]	10.80													
Zuladung [t]	0.00													
E-Bremse	aus													
Mg-Bremse	aus													
Längskraft auf nächst.Fzg.[kN]	0.0													

Rechnung

t [s]	ΣF_{Br_Pneu} [kN]	ΣF_{Br_Edyn} [kN]	ΣF_{Br_FW1} [kN]	ΣF_{Br_ges1} [kN]	$\varnothing a_1$ [m/s]	ΣF_{BR_Mg} [kN]	ΣF_{Br_FW2} [kN]	ΣF_{Br_ges2} [kN]	$\varnothing a_2$ [m/s]	$\varnothing a_{ges}$ [m/s]	v [km/h]	s [m]
0	0.0	0.0	2.6	2.6	-0.03	0.0	6.2	6.2	-0.07	-0.10	125.0	0.0
2	44.6	0.0	2.6	47.1	-0.53	0.0	6.0	6.0	-0.07	-0.60	122.8	65.5
4	93.1	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	5.4	5.4	-0.06	-1.12	116.6	132.1
6	96.1	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	4.6	4.6	-0.05	-1.11	108.1	197.5
8	97.4	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	4.0	4.0	-0.04	-1.11	100.1	255.2
10	99.6	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	3.4	3.4	-0.04	-1.10	92.2	308.5
12	102.7	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	2.8	2.8	-0.03	-1.09	84.3	357.5
14	106.7	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	2.3	2.3	-0.03	-1.09	76.4	402.0
16	111.6	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	1.9	1.9	-0.02	-1.08	68.6	442.2
18	117.2	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	1.5	1.5	-0.02	-1.08	60.8	478.0
20	123.4	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	1.1	1.1	-0.01	-1.08	53.5	508.1
22	109.5	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	0.8	0.8	-0.01	-1.07	45.7	535.5
24	78.8	0.0	2.6	81.4	-0.92	0.0	0.6	0.6	-0.01	-0.92	38.2	558.7
26	78.5	0.0	2.6	81.1	-0.91	0.0	0.4	0.4	0.00	-0.92	31.8	578.0
28	86.5	0.0	2.6	89.1	-1.00	0.0	0.2	0.2	0.00	-1.01	24.9	593.7
30	99.2	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	0.1	0.1	0.00	-1.06	17.3	605.3
32	118.3	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	0.0	0.0	0.00	-1.06	9.7	612.7
34	146.7	0.0	2.6	94.2	-1.06	0.0	0.0	0.0	0.00	-1.06	2.0	615.8
36	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	615.9
38	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	615.9
40	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	615.9
42	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	615.9
44	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	615.9
46	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	615.9
48	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	615.9
50	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	615.9
52	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	615.9
54	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	615.9
56	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	615.9
58	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	615.9
60	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	615.9

Abbildung 35: Bremsberechnung Re 430 Grauguss

Bremsberechnung Re 430 Jurid

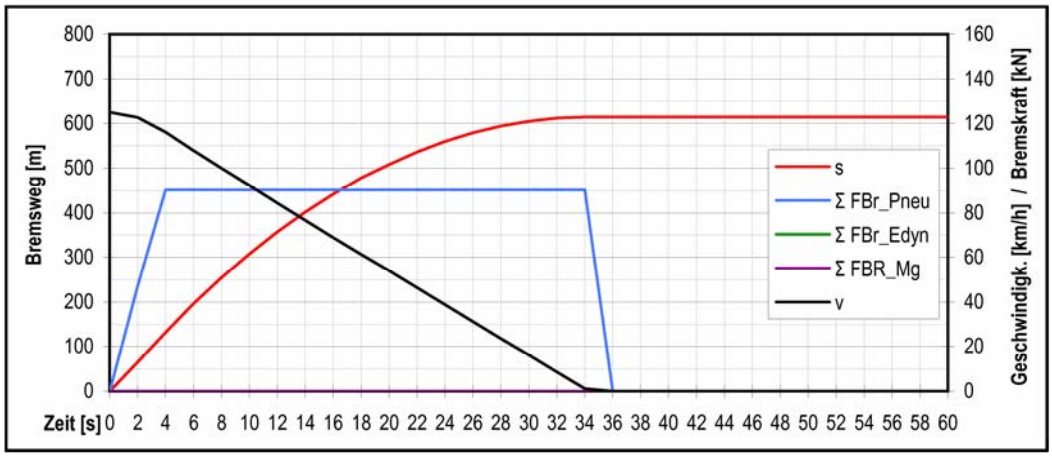
Allg. Simulationsdaten

Zeitschritt [s]
0.10

Maximal zulässiger Reibwert Rad/Schiene
0.12

Berechnung mit Fahrwiderstand?
ja

Ausgangsge-schwindigkeit [km/h]
125.0



Zugkonfiguration

	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.3	Fzg.4	Fzg.5	Fzg.6	Fzg.7	Fzg.8	Fzg.9	Fzg.10	Fzg.11	Fzg.12	Fzg.13	Fzg.14
Fahrzeugmasse [t]	80.00													
Anteil rotierende Masse [%]	10.80													
Zuladung [t]	0.00													
E-Bremse	aus													
Mg-Bremse	aus													
Längskraft auf nächst.Fzg.[kN]	0.0													

Rechnung

t [s]	ΣF_{Br_Pneu} [kN]	ΣF_{Br_Edyn} [kN]	ΣF_{Br_FW1} [kN]	ΣF_{Br_ges1} [kN]	$\varnothing a_1$ [m/s]	ΣF_{BR_Mg} [kN]	ΣF_{Br_FW2} [kN]	ΣF_{Br_ges2} [kN]	$\varnothing a_2$ [m/s]	$\varnothing a_{ges}$ [m/s]	v [km/h]	s [m]
0	0.0	0.0	2.6	2.6	-0.03	0.0	6.2	6.2	-0.07	-0.10	125.0	0.0
2	47.2	0.0	2.6	49.7	-0.56	0.0	6.0	6.0	-0.07	-0.63	122.7	65.5
4	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	5.3	5.3	-0.06	-1.11	116.2	132.0
6	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	4.6	4.6	-0.05	-1.10	107.9	197.2
8	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	4.0	4.0	-0.04	-1.09	100.0	254.9
10	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	3.4	3.4	-0.04	-1.08	92.2	308.2
12	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	2.8	2.8	-0.03	-1.08	84.4	357.1
14	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	2.3	2.3	-0.03	-1.07	76.7	401.8
16	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	1.9	1.9	-0.02	-1.07	69.0	442.1
18	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	1.5	1.5	-0.02	-1.06	61.3	478.2
20	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	1.2	1.2	-0.01	-1.06	54.0	508.5
22	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	0.9	0.9	-0.01	-1.06	46.4	536.3
24	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	0.6	0.6	-0.01	-1.05	38.8	559.9
26	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	0.4	0.4	0.00	-1.05	31.3	579.2
28	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	0.2	0.2	0.00	-1.05	23.7	594.4
30	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	0.1	0.1	0.00	-1.05	16.2	605.4
32	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	0.0	0.0	0.00	-1.05	8.6	612.1
34	90.2	0.0	2.6	92.7	-1.05	0.0	0.0	0.0	0.00	-1.05	1.1	614.7
36	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	614.8
38	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	614.8
40	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	614.8
42	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	614.8
44	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	614.8
46	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	614.8
48	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	614.8
50	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	614.8
52	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	614.8
54	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	614.8
56	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	614.8
58	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	614.8
60	0.0	0.0	2.6	2.6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	614.8

Abbildung 36: Bremsberechnung Re 430 Jurid

10 Universallok Re 6/6 (Re 620)

Abbildung 37: Universallok Re 6/6 (Re 620)

10.1 Fahrzeugbeschreibung

Um die geforderte Traktion zu erreichen, war eine Konstruktion mit sechs Triebachsen nötig. Um dennoch gute Kurvenlaufeigenschaften mit niedrigem Verschleiss zu erreichen, wurden bei der Re 6/6 (Re 620, siehe Abbildung 37) im Gegensatz zur Ae 6/6 drei Drehgestelle eingebaut, wobei sich das mittlere stark seitlich bewegen kann. Um einen besseren Kurveneinlauf der nachlaufenden zwei Drehgestelle zu ermöglichen, wurden zwischen den drei Drehgestellen elastische Querkupplungen eingebaut. Zwei der vier Prototypen erhielten wie die Ge 6/6'' der Rhätischen Bahn (RhB) einen geteilten Lokkasten, wobei sich das Gelenk nur vertikal bewegen kann, um sich Gefälleänderungen anzupassen.

Die bei den anderen zwei Prototypen gewählte weichere Sekundärabfederung des mittleren Drehgestells hatte sich aber im Betrieb derart nachhaltig bewährt, dass bei der Serienausführung der einteilige Kasten gewählt wurde. Trotzdem sind die zwei Prototypen mit geteiltem Kasten immer noch im Regelbetrieb tätig.

Das Design ist der Form der Re 4/4'' angelehnt, ebenso die Bedienung und die herkömmliche Trafotechnik, welche bei der Re 6/6 zuletzt eingesetzt wurde. Bei der Re 6/6 sind allerdings zwei Transformatoren (Leistungstransformator und Regeltransformator) vorhanden, die sich im Lokomotivkasten zwischen den Drehgestellen befinden.

Wie bei den Re 4/4'' / Re 4/4''' ist es geplant, alle Lokomotiven mit einer Führerstandsklimaanlage auszurüsten, ab Ende 2005 werden die ersten Maschinen umgebaut.

Zurzeit verkehren alle 88 Lokomotiven für SBB Cargo am Gotthard und meistens in Vielfachsteuerung mit einer Re 420 oder Re 430.

PROSE liegen derzeit keine Angaben der EVU's bezüglich der Flottenpolitik vor. Dies muss durch das BAFU direkt mit den jeweiligen EVU's geklärt werden. Die Abstellung erster Loks mit Baujahr ab 1972 kann möglicherweise schon innert weniger Jahren erfolgen und damit die Flottengrösse reduzieren.

10.2 Umrüstung der Räder

Für einen sicheren Betrieb und die erhöhte thermische Belastung der Räder sind die vorhandenen bandagierten Speichenräder analog Re 420 durch Monobloc-Räder zu ersetzen, siehe dazu Kapitel 8.2.

10.3 Anpassung der Bremskräfte

Die Anpassung der Bremskräfte kann ausschliesslich durch eine Änderung des Bremszylinderdruckes erfolgen. Das in Kapitel 4.5 erläuterte Prinzip der inversen R-Bremse muss dabei nicht angewendet werden, allerdings muss der Bremszylinderdruck sowohl bei P-Bremsung als auch bei R-Bremsung deutlich gesenkt werden: Von 0 bis 50 km/h soll er statt 3.95 nun 2.0 bar betragen, bei höheren Geschwindigkeiten statt 6.89 bar nur noch 2.48 bar. Die Bremsrechnung sowie die hierfür herangezogenen Eingabeparameter finden sich in Kapitel 0. Bei den neu vorgesehenen Sintersohlen mit annähernd konstantem Reibwert über den gesamten Geschwindigkeitsbereich der Lok kann anhand der Betriebsversuche getestet werden, ob auf die Umschaltung der Bremsstufen ganz verzichtet werden kann (nur noch einstufige Bremse).

10.4 Änderung der Bremssteuerung

Ein geänderter Bremszylinderdruck erfordert analog Re 420 auch eine Druckanpassung in der Bremssteuerung, siehe dazu Kapitel 8.4.

10.5 Besonderheiten

Aufgrund der sehr ähnlichen Bauweise der Lokomotiven sind die selben Besonderheiten analog Re 420 zu beachten, siehe dazu Kapitel 8.5.

10.6 Prototypenumrüstung und Erprobung

Für einen sicheren Betrieb und die erhöhte thermische Belastung der Räder sind die vorhandenen Speichenräder durch Monobloc-Räder zu ersetzen. Ansonsten ist es möglich, nur mit Änderung der Bremszylinderdrücke und der daraus erforderlichen weiteren Massnahmen den Bremsweg des Fahrzeuges mit neuen Sohlen an den bisherigen Bremsweg anzupassen. Er beträgt aus der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit von 140 km/h nun 858 m gegenüber 859 m zuvor. Im Zwischenbereich muss allerdings teilweise ein deutlich längerer Bremsweg hingenommen werden, das Maximum beläuft sich hier-

bei auf eine Verlängerung von 54 m aus 110 km/h. Bremszylinder oder Gestänge müssen nicht getauscht werden.

In Tabelle 20 ist der Umbauaufwand für die Re-6/6 (Re-620) Fahrzeuge beziffert. Es ist ersichtlich, welche Teile behalten werden können und welche Komponenten in welcher Stückzahl ersetzt werden müssen

Tabelle 20: Umrüstungsaufwand bei Re 6/6 (Re 620)

Re 6/6 (Re 620)	Anz. je Fzg.	Austausch nötig?	Menge für 1 Fzg.	Menge für 88 Fzg.
Sinterbremssohlen	72	ja	72	6’336
Bremssohlenhalter	48	ja	48	4’224
Westinghouse Bremszylinder 10“	6	nein	-	-
Brems-Gestänge	6	nein	-	-
Steuerventil	2	ja (Anpassung)	2	176
Drucküberset zer	2	ja (Anpassung)	2	176
Räder	12	ja	12	1’056

10.7 Erprobungsphase

Da die Re 6/6 (Re 620) nur im Güterverkehr eingesetzt wird, genügt hier die Umrüstung eines Fahrzeugs Auf Grund der gleichen Konstruktionsbasis wie bei der Re 4/4’’ (Re 420) / Re 4/4’’ (Re 430) werden zwar keine neuen Erkenntnisse erwartet, jedoch wird auf Grund der hohen Stückzahl der beiden Baureihen von zusammen 359 Lokomotiven die Ausrüstung eines weiteren Fahrzeuges für dennoch sinnvoll erachtet.

Zu Beginn resp. vor der Erprobungsphase sollen folgende Messungen an den Fahrzeugen gemacht werden, um die Sicherheit im Betrieb sowie die erzielte Lärmminderung zu dokumentieren:

- Bremswegmessung mit dem Fahrzeug nach der Umrüstung
- Vorbeifahrmessung (Lärmemission) bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten vor und nach der Umrüstung. Durchführung gemäss TSI Noise und EN 3095.
- Wirkung der Stillstandsbremse im Gefälle

Speziell auch im Hinblick auf die Fahrzeuge im Gotthardverkehr ist aus Sicht der EVU’s das Thema Adhäsion sehr wichtig, Durch die geringere Laufflächenrauheit kann diese je nach vorherrschenden Witterungsbedingungen verringert sein. Untersuchungen bezüglich Zugkraft unter verschiedenen Umwelt- und Einsatzbedingungen sowie eine Überprüfung von Gleit- und Schleuderschutzvorrichtungen soll ebenfalls in Absprache mit den jeweiligen EVU vorgesehen werden.

Weitere Schritte bezüglich einer allfälligen Umrüstung (inkl. Erprobungsphase) zur Lärmsanierung an den Re 620 müssen direkt mit den EVU’s abgesprochen werden. Einerseits ist die Flottenpolitik entscheiden, Fahrzeuge der ersten Serie werden möglicher-

weise schon bald abgestellt. Andererseits muss ein Umbau zur Lärmsanierung entsprechend den Instandhaltungsintervallen der Fahrzeuge geplant und die pneumatische Anpassung der Ventile etc. direkt mit den Lieferanten geklärt werden. In der Regel werden die Bremskomponenten zur Wartung resp. Umbau (Anpassung) nach Ausbau während der Revision zu den Lieferanten geschickt. Die Inbetriebnahme der Fahrzeuge mit Feinabstimmung der Komponenten inkl. Betriebsinterner Dokumentation / Richtlinien etc. bedingt Initialaufwand. Die Fahrzeugdisposition für die Umrüstungen und die Beobachtung der Prototypen während der Erprobungsphasen kann nur durch die EVU's erfolgen. Gerade das Verschleissverhalten der geänderten Bauteile soll in regelmässigen Abständen kontrolliert werden. Auch allfällige fahrtechnische Veränderungen durch die Verschleissprofile können am Besten kurz vor einer notwendigen Reprofilierung im Feldversuch überprüft werden. Die Umstellung von Radreifen auf Monobloc-Räder hat bei den EVU's auch Einfluss auf die Abläufe in der Radsatzinstandhaltung, bei Logistik und Einkauf. Nicht zuletzt muss das Fahrpersonal ebenfalls auf die neuen Eigenschaften / Bremsverhalten eingeschult werden. Auch ob das längerfristige Betreiben der lärmsanierten Fahrzeuge in Wartung und Unterhalt kostenneutral ist, dürfte für das entsprechende EVU von grossem Interesse sein.

10.8 Technische Unterlagen

Für die in Abbildung 39 und Abbildung 40 dargestellten Bremsberechnungen wird folgende Unterlage herangezogen:

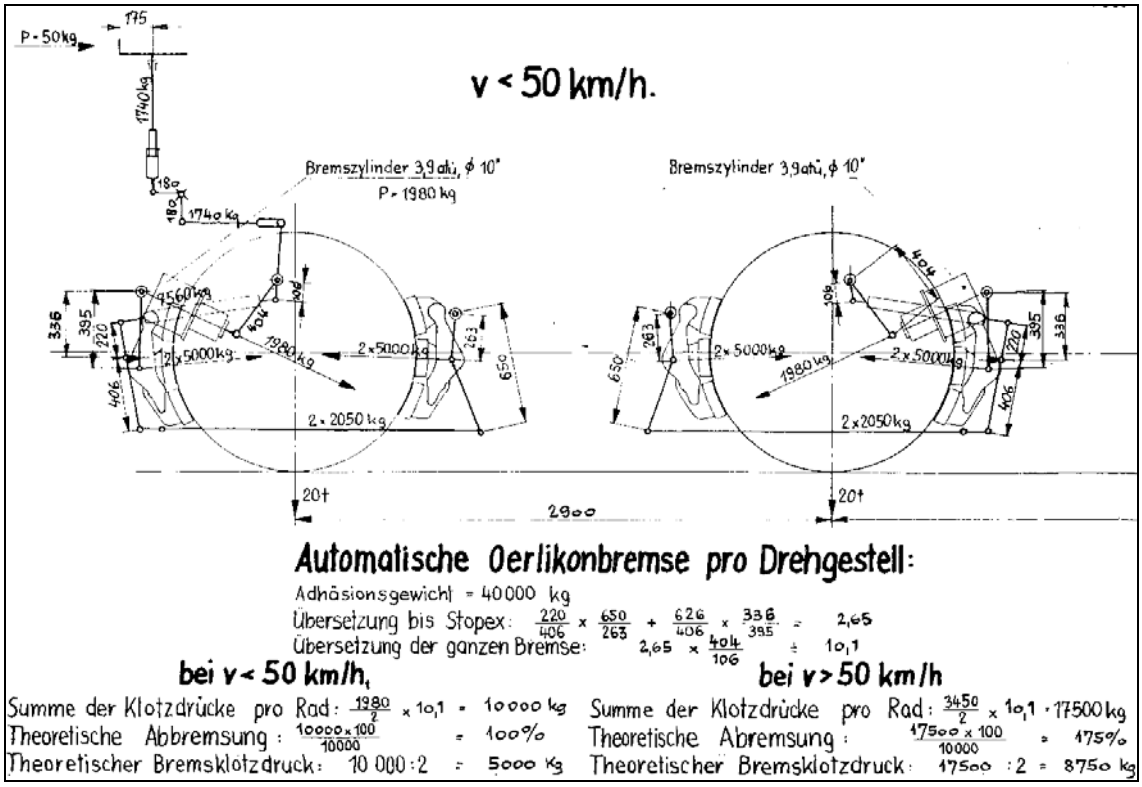


Abbildung 38: Daten Bremsanlage Re 620 [16]

Bremsberechnung Re 620 Grauguss

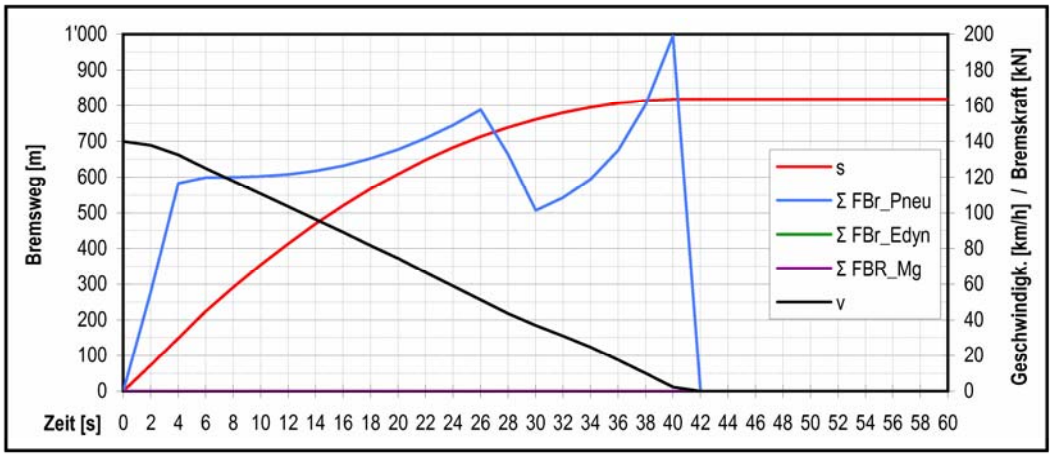
Allg. Simulationsdaten

Zeitschritt [s]
0.10

Maximal zulässiger Reibwert Rad/Schiene
0.12

Berechnung mit Fahrwiderstand?
ja

Ausgangsge-schwindigkeit [km/h]
140.0



Zugkonfiguration

	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.3	Fzg.4	Fzg.5	Fzg.6	Fzg.7	Fzg.8	Fzg.9	Fzg.10	Fzg.11	Fzg.12	Fzg.13	Fzg.14
Fahrzeugmasse [t]	120.00													
Anteil rotierende Masse [%]	10.80													
Zuladung [t]	0.00													
E-Bremse	aus													
Mg-Bremse	aus													
Längskraft auf nächst.Fzg.[kN]	0.0													

Rechnung

t [s]	ΣF_{Br_Pneu} [kN]	ΣF_{Br_Edyn} [kN]	ΣF_{Br_FW1} [kN]	ΣF_{Br_ges1} [kN]	$\varnothing a_1$ [m/s]	ΣF_{BR_Mg} [kN]	ΣF_{Br_FW2} [kN]	ΣF_{Br_ges2} [kN]	$\varnothing a_2$ [m/s]	$\varnothing a_{ges}$ [m/s]	v [km/h]	s [m]
0	0.0	0.0	3.8	3.8	-0.03	0.0	11.6	11.6	-0.09	-0.12	140.0	0.0
2	55.7	0.0	3.8	59.5	-0.45	0.0	11.3	11.3	-0.08	-0.53	137.9	73.4
4	116.6	0.0	3.8	120.5	-0.91	0.0	10.4	10.4	-0.08	-0.98	132.5	148.6
6	119.9	0.0	3.8	123.7	-0.93	0.0	9.3	9.3	-0.07	-1.00	124.9	223.6
8	120.0	0.0	3.8	123.9	-0.93	0.0	8.2	8.2	-0.06	-0.99	117.8	290.9
10	120.5	0.0	3.8	124.3	-0.94	0.0	7.3	7.3	-0.05	-0.99	110.6	354.3
12	121.6	0.0	3.8	125.4	-0.94	0.0	6.4	6.4	-0.05	-0.99	103.5	413.7
14	123.5	0.0	3.8	127.4	-0.96	0.0	5.5	5.5	-0.04	-1.00	96.3	469.1
16	126.5	0.0	3.8	130.3	-0.98	0.0	4.7	4.7	-0.04	-1.02	89.1	520.5
18	130.6	0.0	3.8	134.4	-1.01	0.0	4.0	4.0	-0.03	-1.04	81.7	567.8
20	135.5	0.0	3.8	139.3	-1.05	0.0	3.3	3.3	-0.02	-1.07	74.5	609.0
22	141.9	0.0	3.8	141.3	-1.06	0.0	2.6	2.6	-0.02	-1.08	66.7	648.1
24	149.2	0.0	3.8	141.3	-1.06	0.0	2.1	2.1	-0.02	-1.08	58.9	682.9
26	157.7	0.0	3.8	141.3	-1.06	0.0	1.6	1.6	-0.01	-1.07	51.2	713.3
28	132.6	0.0	3.8	136.4	-1.03	0.0	1.1	1.1	-0.01	-1.03	43.5	739.5
30	101.4	0.0	3.8	105.2	-0.79	0.0	0.8	0.8	-0.01	-0.80	36.9	761.6
32	108.6	0.0	3.8	112.4	-0.85	0.0	0.6	0.6	0.00	-0.85	31.0	780.4
34	118.9	0.0	3.8	122.8	-0.92	0.0	0.4	0.4	0.00	-0.93	24.6	795.8
36	135.1	0.0	3.8	138.9	-1.04	0.0	0.2	0.2	0.00	-1.05	17.6	807.5
38	160.8	0.0	3.8	141.3	-1.06	0.0	0.1	0.1	0.00	-1.06	9.9	815.0
40	199.2	0.0	3.8	141.3	-1.06	0.0	0.0	0.0	0.00	-1.06	2.3	818.3
42	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	818.5
44	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	818.5
46	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	818.5
48	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	818.5
50	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	818.5
52	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	818.5
54	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	818.5
56	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	818.5
58	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	818.5
60	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	818.5

Abbildung 39: Bremsberechnung Re 620 Grauguss

Bremsberechnung Re 620 Jurid

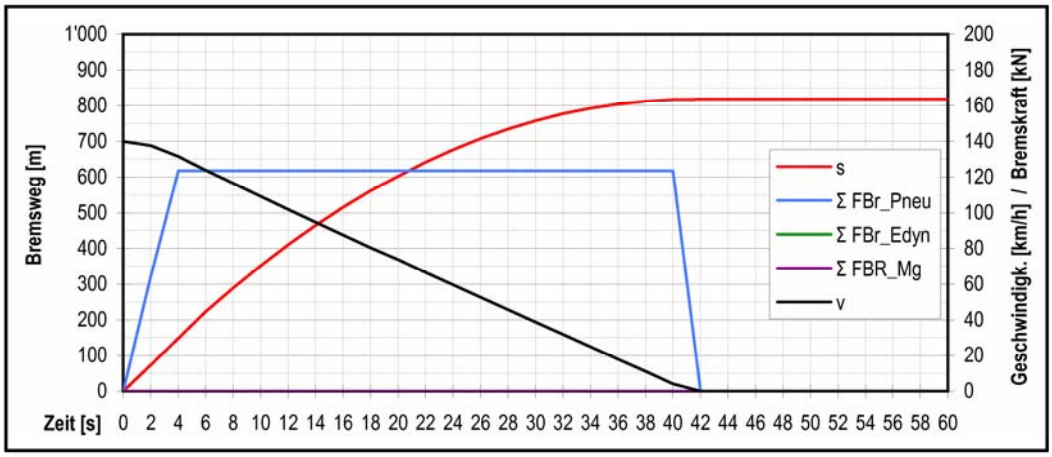
Allg. Simulationsdaten

Zeitschritt [s]
0.10

Maximal zulässiger Reibwert Rad/Schiene
0.12

Berechnung mit Fahrwiderstand?
ja

Ausgangsge-schwindigkeit [km/h]
140.0



Zugkonfiguration

	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.3	Fzg.4	Fzg.5	Fzg.6	Fzg.7	Fzg.8	Fzg.9	Fzg.10	Fzg.11	Fzg.12	Fzg.13	Fzg.14
Fahrzeugmasse [t]	120.00													
Anteil rotierende Masse [%]	10.80													
Zuladung [t]	0.00													
E-Bremse	aus													
Mg-Bremse	aus													
Längskraft auf nächst.Fzg.[kN]	0.0													

Rechnung

t [s]	ΣF_{Br_Pneu} [kN]	ΣF_{Br_Edyn} [kN]	ΣF_{Br_FW1} [kN]	ΣF_{Br_ges1} [kN]	$\varnothing a_1$ [m/s]	ΣF_{BR_Mg} [kN]	ΣF_{Br_FW2} [kN]	ΣF_{Br_ges2} [kN]	$\varnothing a_2$ [m/s]	$\varnothing a_{ges}$ [m/s]	v [km/h]	s [m]
0	0.0	0.0	3.8	3.8	-0.03	0.0	11.6	11.6	-0.09	-0.12	140.0	0.0
2	64.5	0.0	3.8	68.4	-0.51	0.0	11.3	11.3	-0.08	-0.60	137.8	73.4
4	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	10.3	10.3	-0.08	-1.03	131.6	148.3
6	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	9.1	9.1	-0.07	-1.03	123.9	222.7
8	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	8.1	8.1	-0.06	-1.02	116.5	289.4
10	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	7.1	7.1	-0.05	-1.01	109.2	352.0
12	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	6.2	6.2	-0.05	-1.00	101.9	410.5
14	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	5.3	5.3	-0.04	-1.00	94.7	465.1
16	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	4.5	4.5	-0.03	-0.99	87.6	515.6
18	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	3.8	3.8	-0.03	-0.99	80.4	562.2
20	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	3.2	3.2	-0.02	-0.98	73.7	602.8
22	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	2.6	2.6	-0.02	-0.98	66.7	641.6
24	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	2.1	2.1	-0.02	-0.97	59.6	676.6
26	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	1.6	1.6	-0.01	-0.97	52.6	707.7
28	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	1.2	1.2	-0.01	-0.97	45.7	734.9
30	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	0.9	0.9	-0.01	-0.96	38.7	758.3
32	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	0.6	0.6	0.00	-0.96	31.8	777.8
34	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	0.4	0.4	0.00	-0.96	24.9	793.4
36	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	0.2	0.2	0.00	-0.96	18.0	805.2
38	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	0.1	0.1	0.00	-0.96	11.1	813.2
40	123.5	0.0	3.8	127.3	-0.96	0.0	0.0	0.0	0.00	-0.96	4.2	817.3
42	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	817.9
44	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	817.9
46	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	817.9
48	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	817.9
50	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	817.9
52	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	817.9
54	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	817.9
56	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	817.9
58	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	817.9
60	0.0	0.0	3.8	3.8	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	817.9

Abbildung 40: Bremsberechnung Re 620 Jurid

Literaturangaben

[1] PROSE AG, Bericht 2-167 (2006): Studie zur Thematik "Lärmminderung an Treibfahrzeugen" 06.09.2006

[2] Knorr Bremse (2003) Grundlagen der Bremstechnik

[3] Jurid Reibwerkstoffe für Schienenfahrzeuge (2002), 26 Seiten pdf

[4] Michael John (2006) Betriebserfahrungen der Hupac mit K-Sohlen, Pisa, 09.-10. November 2006

[5] Richtlinie 2002/49/EG (2002): Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm, Europäisches Parlament und Rat

[6] PROSE AG, Bericht 7-007 (2010): Machbarkeitsstudie zur Umrüstung der KTU Lokomotiven Re 456 mit L-Sohlen auf bandagierten Rädern

[7] PROSE AG, Bericht 7-006 (2010): Machbarkeitsuntersuchung Einheitsloks Re 420, Re 430 und Re 620 mit Radscheibenbremsen

[8] pinPlus AG: Bericht 091019_001_t02 (2010): Machbarkeit für Re456 K-Sohlen auf bandagierten Rädern Thermisch transient / mechanisch gekoppelte Simulation Klotzbremsung 20. September 2010

[9] SLM, Zeichnung 3-10-111.687 Bremsschema

[10] Knorr-Bremse, Zeichnung 1B74935/A Klotzbremseinheit PR216 LF

[11] SIG, Zeichnung 604 922 Bremsanordnung

[12] SIG, Bericht 228'661 Bremsberechnung RBDe 565

[13] SLM, Zeichnung 10-100-125 Bremsschema

[14] SLM, Zeichnung 10-98 948 Bremsschema

[15] SLM, Zeichnung 10-106 057 a Bremsschema

[16] SLM, Zeichnung 10-106 710 Bremsschema