

Schweizerische
Lokomotiv- und Maschinenfabrik
CH-8401 Winterthur

SLM Technische Mitteilungen

Juli 1974



Textnachdruck und Wiedergabe von Bildern unter Quellenangabe
bei Einsendung von zwei Belegexemplaren gestattet.

Herausgegeben von der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik
CH-8401 Winterthur
Telephon 052/85 41 41, Telex 76131 slm ch

Mechanischer Teil der Hochleistungslokomotive Typ Re6/6 der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB)

621.335.2:625.2.028.6 Re 6/6

Dieses Heft befaßt sich einleitend mit den Entwicklungsgrundlagen und den Hauptdaten der neuen Hochleistungslokomotive Typ Re6/6 für die Schweizerischen Bundesbahnen. Anschließend werden neben der Grundkonzeption des mechanischen Teils die mechanischen Hauptkomponenten, wie Drehgestell, Lokomotivkasten, Abfederung und Bremsen, behandelt. Den Schluß des Artikels bildet eine Betrachtung der Meßfahrten und Betriebserfahrungen.

Einleitung

Die Zugförderung auf den Schweizer Alpentransitlinien wurde seit Beginn der fünfziger Jahre zunehmend von Ae6/6-Lokomotiven übernommen. Von diesen Fahrzeugen, deren mechanischer Teil die SLM in Zusammenarbeit mit den SBB entwickelte, wurden in den Jahren 1952 bis 1966 insgesamt 120 Einheiten gebaut. Dank diesen für Personen- sowie Güterzugsdienst geeigneten Lokomotiven war es möglich, den während der beiden vergangenen Jahrzehnte insbesondere auf der Gotthardlinie stark angewachsenen Transitverkehr zu bewältigen.

Der stets ansteigende Verkehrsbedarf zwingt die SBB auch weiterhin, außer der Verbesserung der festen Anlagen (wie dem Ausbau von Bahnhöfen, der Haupt- und Zufahrtslinien oder der Erweiterung der Sicherungsanlagen), zu zusätzlichen Maßnahmen im traktionstechnischen Bereich. Die Bedeutung der Traktionstechnik für eine kurz- oder mittelfristige Kapazitätssteigerung wird um so entscheidender, je mehr sich die Möglichkeiten zur Verbesserung der baulichen Anlagen verringern oder nur in einem langfristigen Rahmen erreichen lassen.

Nach der im Jahre 1966 abgeschlossenen Auslieferung der Ae6/6-Lokomotiven wurde als weitere traktionstechnische Maßnahme zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Gotthardstrecke im Verlaufe des Jahres 1971 eine Serie von 20 Re4/4^{III}-Lokomotiven in Dienst gestellt. Der Einsatz dieser Fahrzeuge, die bis auf das Übersetzungsverhältnis ihrer Antriebe mit den Re4/4^I [1] nahezu identisch sind, ist jedoch im Zuge der Kapazitätssteigerung der Gotthardlinie eine in ihren Auswirkungen beschränkte Einzelmaßnahme. Sie läßt eine längerfristige und umfassendere Lösung der Traktionsprobleme weitgehend offen.

Einen wesentlichen Schritt zur Kapazitätssteigerung, vor allem auf der Gotthardlinie, sieht man in der Einführung einer auf deren Bedürfnisse zugeschnittenen Hochleistungslokomotive. Sie soll mit der Zeit die für den vermehrten Einsatz auf Flachlandstrecken vorgesehene Ae6/6 ersetzen.

Grundlagen der Entwicklung

Für die neue Lokomotive kam grundsätzlich nur ein sechsachsiges Fahrzeug mit einem Gesamtgewicht von 120 t in Frage. Damit aber auf den Steilrampen des Gotthards von 27‰ maximale Anhängelasten von 800 t gegenüber 650 t der Ae6/6 in Einzeltraktion befördert werden können, waren

die Adhäsionseigenschaften zu verbessern. Diese Maßnahme verbunden mit der Forderung, daß die Lokomotive mit erhöhten Kurvengeschwindigkeiten, d.h. nach der Reihe R, verkehren kann, führten zu einer Erhöhung der Leistung von rund 6000 PS (Ae6/6) auf rund 11000 PS. Die Erfüllung der Forderung zur Fahrt nach der Reihe R führt auf den kurvenreichen Strecken des Gotthards zu einer merklichen Steigerung der mittleren Fahrgeschwindigkeit und zu entsprechenden Fahrzeitverkürzungen. Mit Rücksicht auf einen späteren Einsatz der Lokomotive in dem zur Diskussion stehenden Gotthard-Basistunnel wurde ihre Höchstgeschwindigkeit auf 140 km/h angesetzt. All diese Forderungen legten den zu bauenden Lokomotivtyp fest und führten zur Seriebezeichnung Re6/6.

Bei der Aufstellung des Pflichtenheftes für das neue Fahrzeug konnten die SBB weitgehend von den mit den vierachsigen Hochleistungslokomotiven der Typen Re4/4^I und Re4/4^{III} gemachten Messungen und Erfahrungen ausgehen. Es galt dabei vor allem, die ausgezeichneten Adhäsionseigenschaften sowie das günstige Verhalten der vierachsigen Lokomotive bezüglich der zwischen Rad und Schiene auftretenden Seitenkräfte auf das sechsachsige Fahrzeug zu übertragen. Die vier im Jahre 1969 von den SBB in Auftrag gegebenen Prototyplokomotiven Re6/6 11601–11604 entstanden in enger Zusammenarbeit zwischen der Abteilung Zugförderung und Werkstätten der SBB in Bern, der BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Baden, als Lieferant des elektrischen Teils, und der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik (SLM) in Winterthur, dem Lieferanten des mechanischen Teils.

Damit die Lokomotive zur Fahrt mit erhöhten Kurvengeschwindigkeiten entsprechend der Reihe R zugelassen werden kann, ist die Forderung nach kleinen Seitenkräften zwischen Rad und Schiene bedingungslos zu erfüllen. Dies schloß bei der Re6/6 von Anfang an die Anwendung dreiachsiger Drehgestelle wie bei der Ae6/6 mit der Achsanordnung Co'Co' aus. Die Re6/6 erhielt deshalb drei zweiachsige Drehgestelle (Achsanordnung Bo'Bo'Bo'), die gegenüber den dreiachsigen zu wesentlich kleineren quasistatischen sowie dynamischen Seitenkräften zwischen Rad und Schiene führen. Auch bei dieser Lokomotive war, wie bei der Ae6/6, der Einbau einer die Drehgestelle verbindenden Querkupplung notwendig, um die zwischen Rad und Schiene auftretenden quasistatischen Richt-, Führungs- und Schwellenkräfte zu begrenzen. Zur Erfüllung der Forderung nach einer möglichst guten Ausnutzung des Adhäsionsgewichtes wurde, wie bei den Re4/4^I und Re4/4^{III}-Lokomotiven, für die Zugkraftübertragung die Tiefzugvorrichtung vorgesehen.

Bei der Konzeption des mechanischen Teils der Lokomotive war davon auszugehen, daß die elektrische Ausrüstung, wie bei den Re4/4^I und Re4/4^{III}-Lokomotiven, in klassischer Weise, d.h. für die Speisung der Fahrmotoren mit Wechselstrom von 16 $\frac{2}{3}$ Hz, auszuführen ist.

Für die SLM war die gestellte Aufgabe in mancher Hinsicht nicht völlig neu, da die Firma bereits Ende der fünfziger Jahre für die Rhätische Bahn sechssachsige Lokomotiven des Typs Ge6/6 und der Achsfolge Bo'Bo'Bo' entwickelt hatte, von denen bis zum Jahre 1965 insgesamt sieben Einheiten gebaut wurden [2]. Die mit diesen Fahrzeugen gewonnenen Erkenntnisse bildeten eine wichtige Grundlage zur Entwicklung des mechanischen Teils der Re6/6-Lokomotiven. Die ersten Studien für diese Lokomotiven sahen denn auch in gleicher Weise wie bei den Ge6/6 einen in zwei Hälften unterteilten Lokomotivkasten vor, die durch ein auf Zughakenhöhe liegendes Gelenk verbunden sind. Dieses Gelenk läßt eine freie Relativbewegung der beiden Kastenhälften um eine feste Querachse zu. In Kombination mit den Drehgestellen (mit der Tiefzugvorrichtung ausgerüstet) ließ diese Lösung ein sehr gutes Verhalten bezüglich der statischen Achsentlastungen und -belastungen erwarten.

Eine Zweiteilung des Kastens ist jedoch auch mit verschiedenen Nachteilen verbunden. Die Lokomotive wird im Aufbau des mechanischen und bezüglich der Gestaltung des elektrischen Teils komplizierter. Ein zweiteiliger Kasten erschwert dessen Handhabung in den Unterhaltswerkstätten oder auf der Strecke nach Entgleisungen. Zudem ist eine Lokomotive mit zweiteiligem Kasten der einteiligen Ausführung bezüglich des Fahrkomforts bei höheren Geschwindigkeiten eher unterlegen. Die SLM untersuchte von Beginn an auch Möglichkeiten, die Lokomotive mit ungeteiltem Kasten zu bauen, die gleichzeitig die Forderung nach einer optimalen Achsdruckverteilung in Abhängigkeit von den Zugkräften zu erfüllen vermochten. Die Studien führten zu verschiedenen Lösungsvarianten, die sich vor allem in der Ausführung der

zwischen dem Kasten und den Drehgestellen angeordneten Sekundärfederung unterscheiden.

Eine Variante war durch die Ausbildung der Sekundärfedern als Luftfedern gekennzeichnet. Mit pneumatischem Parallelschalten der Luftfedern des vordern und mittleren Drehgestells gelingt es, die Forderung nach einem optimalen Achsdruckausgleich weitestgehend zu erfüllen. Der Einbau der integralen Luftfederung verschafft zudem die Möglichkeit, die Neigung des Lokomotivkastens um seine Längsachse zu steuern. Dies ist besonders bei der Fahrt mit hohen Geschwindigkeiten in Kurven von Vorteil. Der Kasten wird hier zur teilweisen Kompensation der auf ihn wirkenden freien Seitenbeschleunigung in einem von Kurvenradius und Geschwindigkeit abhängigen Maß nach der Kurveninnen-seite geneigt.

Eine gute Achsdruckverteilung beim einteiligen Kasten läßt sich auch durch den Einbau von Sekundärfedern unterschiedlicher Weichheit über den äußeren Drehgestellen sowie über dem mittleren Drehgestell erzielen. Die Größe der effektiven Federsteifigkeiten für optimale Achsdruckverhältnisse ist dabei maßgebend abhängig von der Neigung der Tiefzugstangen, die die Drehgestelle mit dem Kasten verbinden. Kennzeichnend für diese Lösung ist, daß die Federkonstante der Sekundärfedern über dem mittleren Drehgestell wesentlich kleiner sein muß als jene der Federn über den beiden äußeren Gestellen. Konstruktiv kann diese Forderung weitgehend optimal erfüllt werden, wenn die Sekundärfedern des mittleren Gestells als Luftfedern mit großem Zusatzvolumen ausgebildet werden, während für die Sekundärfederung der äußeren Gestelle Schraubenfedern Verwendung finden. Beim Einbau von Schraubenfedern über allen Drehgestellen ist es



1 Lokomotive Re6/6 11601 mit geteiltem Kasten.

nicht möglich, den Idealfall vollkommen zu verwirklichen, da sich die erforderliche große Weichheit der Schraubenfedern über dem mittleren Drehgestell aus Dimensionsgründen nicht erreichen läßt. Die Abweichung vom Idealfall kann jedoch in verhältnismäßig engen Grenzen gehalten werden.

Bei den vier Re6/6-Prototyplokomotiven wurden sämtliche erwähnten Haupt- und Untervarianten verwirklicht. Die Re6/6 11601 und 11602 wurden mit zweiteiligem Kasten und weitgehend gleichen Drehgestellen wie bei der Re4/4^{II} gebaut. Für die Lokomotiven Re6/6 11603 und 11604 kam der einteilige Kasten zur Ausführung, wobei durch schrittweises Umgestalten der Fahrzeuge folgende Elemente zum Einbau gelangten:

- Verschiedene Kombinationen der integralen Luftfederung
- Integrale Schraubenfederung
- Schraubenfederung über den äußeren Drehgestellen und Luftfederung über dem mittleren Drehgestell

Hauptdaten der Lokomotive Re6/6

Die Hauptdaten der Prototyplokomotiven (*Bilder 1* und *2*) gehen aus den beiden Typenskizzen *Bilder 3* und *4* sowie aus der *Tabelle 1* hervor. Die Lokomotiven sind als Hochleistungs-Triebfahrzeuge konzipiert und können nach der Reihe R (d. h. mit erhöhten Kurvengeschwindigkeiten) verkehren. Bei einem Gesamtgewicht der Lokomotive von 120 t und 27‰ Steigung müssen auf den Rampenstrecken des Gottthards Anhängelasten von 800 t mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h befördert werden. Die Führungskräfte zwischen Rad und Schiene sind in der gleichen Größenordnung wie

die der Re4/4^{II}. Dies trägt wesentlich zur Schonung der Geleise, besonders der in Kurven gelegenen Abschnitte, und der Radreifen bei. Dieses günstige Verhalten wird vor allem durch folgende Maßnahmen und Eigenschaften erreicht:

- Anwendung von drei zweiachsigen Drehgestellen
- Geringe unabgefederte Radsatzmasse
- Kleines Trägheitsmoment um den Drehgestell-Schwerpunkt
- Anwendung einer Querkupplung zwischen den Drehgestellen zur Verringerung der statischen Führungskräfte und des Anlaufwinkels der führenden Radsätze
- Anwendung gefederter Radsatzzentrierungen zur Vermeidung dynamischer Spitzenkräfte
- Kleiner Koppelungsgrad zwischen den bewegten einzelnen Lokomotivmassen

Die Lokomotiven weisen wenige dem Verschleiß unterworfenere Teile auf. Soweit unterhaltsintensivere Elemente vorhanden sind, wurde auf deren gute Zugänglichkeit geachtet.

Die gesamte elektrische Ausrüstung mit Ausnahme der Fahrmotoren befindet sich im Kasten. Der Leistungs-Transformator als größter Einzelteil der elektrischen Ausrüstung steht zwischen den Drehgestellen 1 und 2, während der Regulier-Transformator mit Stufenschalter und Ölpumpe zwischen den Drehgestellen 2 und 3 untergebracht ist. Die Fahrdrathspannung beträgt 15000 V und wird auf die Motorspannung von maximal 620 V transformiert. Die übrigen Teile der im Kasten untergebrachten elektrischen Ausrüstung, wie Ventilatorgruppen, Wendeschalter, Fahr- und Bremsumschalter, Hüpfer, Bremsdrosselspulen, sind auf den Aufbauten über den Drehgestellen angeordnet.



2 Lokomotive Re6/6 11603 mit einteiligem Kasten.

Tabelle 1: Hauptdaten der Lokomotive Re6/6

Spurweite	1 435 mm	
Stromart: Einphasen-Wechselstrom 16 2/3 Hz	15 000 V	
Triebraddurchmesser, neu	1 260 mm	
Triebraddurchmesser, halb abgenutzt	1 230 mm	
Getriebeübersetzung	1 : 2,64	
	dauernd	einstündig
Leistung am Rad	9 843 PS	10 600 PS
Entsprechende Fahrgeschwindigkeit	110,6 km/h	105,6 km/h
Entsprechende Zugkraft am Radumfang bei halb abgenutzten Radreifen	24 000 kp	27 200 kp
Kurzzeitige Anfahrzugkraft bei halb abgenutzten Radreifen	40 200 kp	
Zugkraft am Radumfang bei Höchstgeschwindigkeit	20 000 kp	
Höchstgeschwindigkeit	140 km/h	

Gewichte

	Lokomotive		
	11601-02	11603*	11604
Mechanischer Teil, einschließlich Antriebe	62,3 t	63,7 t	64,0 t
Elektrischer Teil	58,3 t	58,3 t	58,3 t
Ausrüstung, Sand usw.	0,4 t	0,4 t	0,4 t
Dienstgewicht	121,0 t	122,4 t	122,7 t

* Mit Schraubenfedern am mittleren Drehgestell, ohne Hochdruckkompressor für die Versorgung der integralen Luftsekundärfederung

Konzeption des mechanischen Teils

Allgemeines

Die äußerst anspruchsvollen Traktionsaufgaben der Lokomotive, niedergelegt im Pflichtenheft der Schweizerischen Bundesbahnen, erforderten besondere Maßnahmen bei der Konzeption des Übertragungssystems der Zugkräfte und des sekundären Abstützungssystems des Lokomotivkastens.

Wie aus den *Bildern 1 bis 4* ersichtlich ist, gliedert sich der Aufbau der Re6/6-Prototyplokomotiven in drei zweiachsige Drehgestelle und einen selbsttragenden Lokomotivkasten in Leichtstahlbauart, der die Zug- und Stoßvorrichtungen aufnimmt. Mit dem Verwenden dreier Drehgestellen mußte einer gleichmäßigen Verteilung des Lokomotivkastengewich-

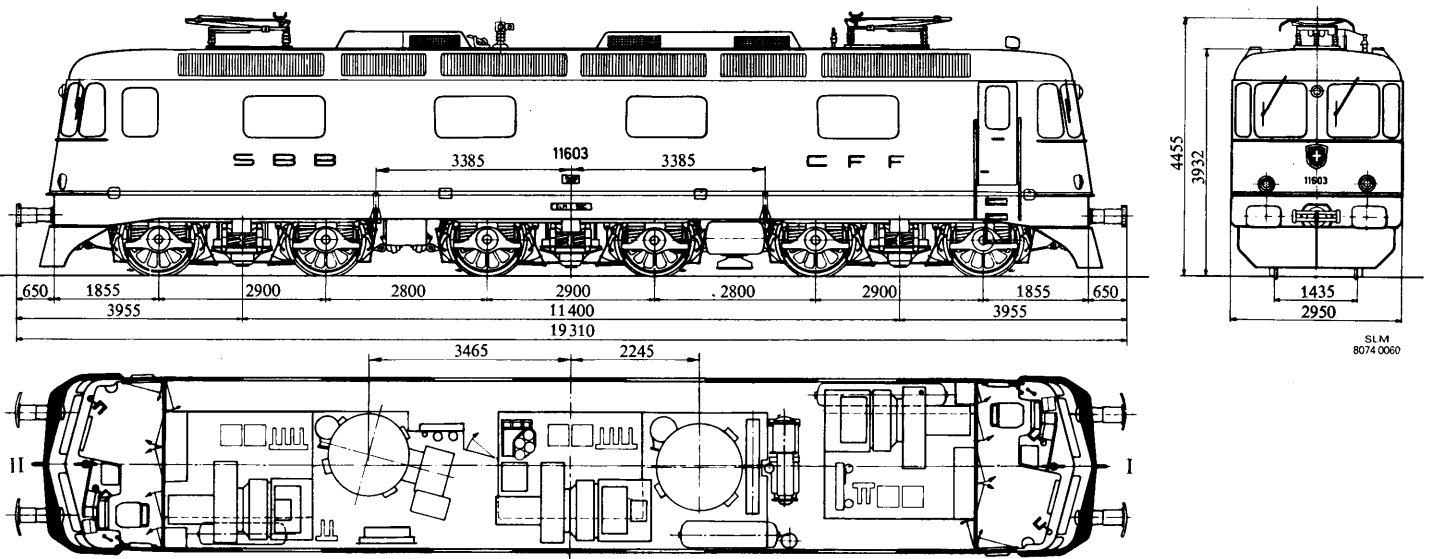
tes auf dieselben besondere Beachtung geschenkt werden. Ebenso mußte für eine günstige Achsdruckverteilung beim Ausüben von Zugkräften und beim Befahren von Gefällsbrüchen gesorgt werden. Die Zugkraft der Lokomotive wird zwischen den Rädern und Schienen und auf der vorgegebenen Höhe *H* der Zug- und Stoßvorrichtung am Kasten übertragen, wodurch unvermeidbare Achsdruckänderungen an den Radsätzen entstehen. Die kleinsten Achsdruckänderungen und die günstigste Achsdruckverteilung ergeben sich dann, wenn keine zusätzlichen Kippmomente auf die Drehgestelle einwirken. Zur Erfüllung dieser Forderung sind zwischen den Drehgestellen und dem Kasten zur Übertragung der Zug- und Bremskräfte Tiefzugvorrichtungen mit schräg angeordneten Tiefzugstangen eingebaut. Die Stangenrichtung ist an jedem Drehgestell so gewählt, daß ihr Schnittpunkt mit der Drehgestellmitte etwa auf Schienenoberkante liegt. Diese Konstruktion gewährleistet bei Ausübung von Zug- und Bremskräften gleiche Achsdrücke der vor- und nachlaufenden Triebradsätze jedes Drehgestells. Die Überlegungen zur Verwirklichung eines statisch bestimmten bzw. quasistatischen Zustandes des Lokomotivkasten-Abstützungssystems führten zu zwei Grundkonzeptionen des mechanischen Teils (*Bild 5*):

- Geteilter Lokomotivkasten in Form eines statisch bestimmt abgestützten Trägers mit Gelenk über dem mittleren Drehgestell
- Einteiliger Lokomotivkasten, Herstellung eines quasistatischen Zustandes mit weichen Federn über dem mittleren Drehgestell oder Schaffung eines statisch bestimmten Abstützungszustandes mit einem Ausgleich zwischen zwei Drehgestellen

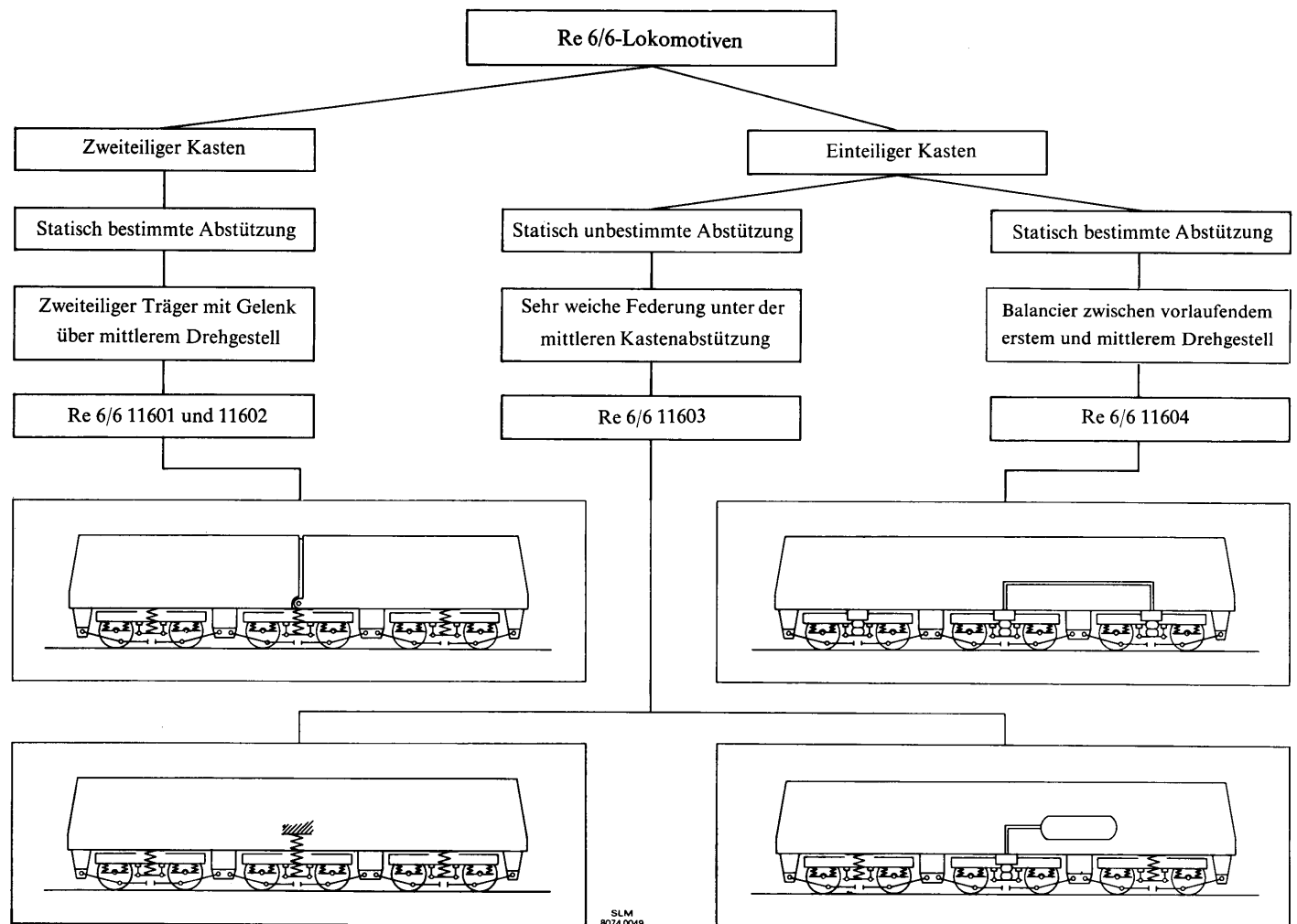
Achsdruckänderungen der Lokomotive mit geteiltem Kasten

Die statisch bestimmte Abstützung der drei Drehgestelle und des geteilten Lokomotivkastens gewährleistet eine von den Elastizitäten der Abstützungsorgane und der Form der Fahrbahn unabhängige Größe der Achslasten. Die statischen Achsdruckänderungen, mitbestimmend für die Adhäsionsausnutzung des Lokomotivgewichtes, sind zugkraftbedingt.

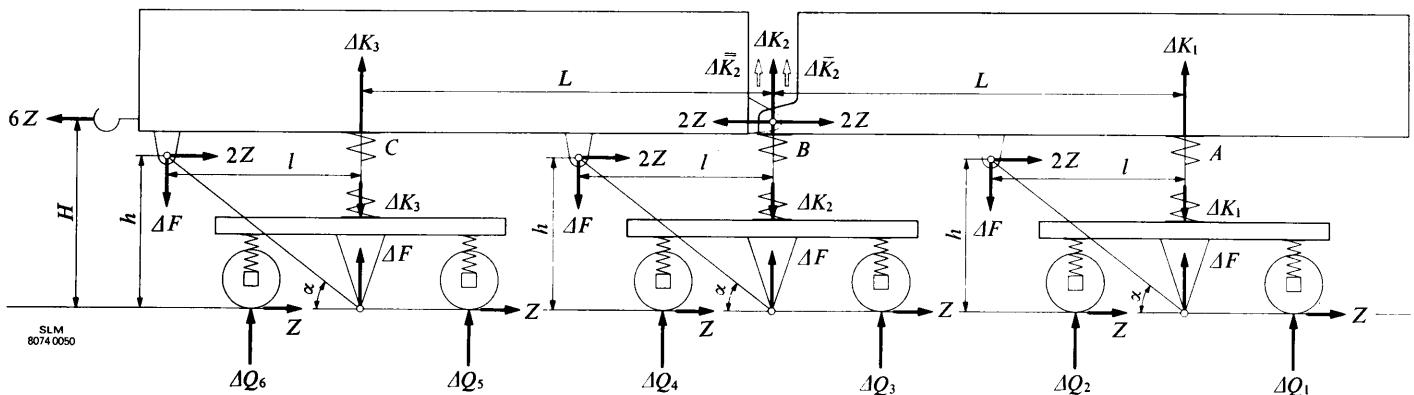
15 kV/16 2/3 Hz ~



4 Typenskizze der Lokomotive Re6/6 11603.



5 Varianten der Re6/6-Prototyplokomotiven.



6 Kräfteschema der Lokomotive mit geteiltem Kasten.

Die statischen Achsdruck- und Federkraftänderungen an den Abstützpunkten können aus den Gleichgewichtsbedingungen für den Kasten und die Drehgestelle berechnet werden (Bild 6). Bleiben entstehende Schrägstellungen der Kastenhälften unberücksichtigt, so gilt mit den Ausdrücken:

Q Achsdruck

F Vertikalkomponente der Zugstangenkraft

K Kastenstützkraft

Z Zugkraft je Achse

H Zughakenhöhe über Schienenoberkante

L Stützbasis jeder Kastenhälfte

h Höhe der Tiefzulanlenkung am Kasten über Schienenoberkante

l Entfernung der Tiefzulanlenkung am Kasten vom zugehörigen Kastenabstützpunkt

für das Momentengleichgewicht an der Kastenhälfte 1 um den Stützpunkt B am mittleren Drehgestell

$$-\Delta K_1 L - 2Z(H - h) + \Delta F(L - l) = 0 \quad (1)$$

und um den Stützpunkt A am vorderen Drehgestell

$$-\bar{\Delta K}_2 L + 2Z(H - h) + \Delta F l = 0 \quad (2)$$

Die Momentengleichung für die Kastenhälfte 2 lautet um den Stützpunkt C

$$-\bar{\Delta K}_2 L - 4Z(H - h) + \Delta F(L - l) - \Delta F l = 0 \quad (3)$$

und um den Stützpunkt B

$$-\Delta K_3 L + 4Z(H - h) + \Delta F(L + l) + \Delta F l = 0 \quad (4)$$

Aus den Gleichungen (1)–(4) und mit $\Delta F = 2Z \frac{h}{l}$ errechnen sich die Änderungen der Kastenstützkräfte zu

$$\Delta K_1 = -2Z \left(\frac{H}{L} - \frac{h}{l} \right) \quad (5)$$

$$\Delta K_2 = \Delta \bar{K}_2 + \Delta \bar{K}_2 = -2Z \left(\frac{H}{L} - \frac{h}{l} \right) \quad (6)$$

$$\Delta K_3 = +2Z \left(2 \frac{H}{L} + \frac{h}{l} \right) \quad (7)$$

Die auf jedes Drehgestell wirkende Vertikalkomponente der Drehgestell-Zugkraft beträgt

$$\Delta F = -2Z \frac{h}{l} \quad (8)$$

Aus der Summe der Kraftänderungen am Drehgestell ergeben sich somit die Achs- und Federdruckänderungen an den Primärfedern:

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 = \frac{1}{2} (\Delta F + \Delta K_1) = -Z \frac{H}{L} \quad (9)$$

$$\Delta Q_3 = \Delta Q_4 = \frac{1}{2} (\Delta F + \Delta K_2) = -Z \frac{H}{L} \quad (10)$$

$$\Delta Q_5 = \Delta Q_6 = \frac{1}{2} (\Delta F + \Delta K_3) = +2Z \frac{H}{L} \quad (11)$$

Bild 7 zeigt die Achsdruckänderungen der Lokomotive mit geteiltem Kasten.

Aus den Gleichungen (5) bis (7) ist ersichtlich, daß sich für

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l} = \frac{H}{L} \quad (12)$$

d. h. für den Fall, daß die schräg angeordneten Tiefzugstangen die Wirkungslinie der Hakenzugkraft in der Mitte des jeweils nachlaufenden Drehgestells oder beim letzten Drehgestell in der dafür gedachten Entfernung schneiden, folgende Beziehungen für die Änderung der Kastenstützkräfte ergeben:

$$\Delta K_1 = \Delta K_2 = 0 \quad (13)$$

und

$$\Delta K_3 = 6Z \frac{H}{L} \quad (14)$$

Für $\operatorname{tg} \alpha = 0$, entsprechend dem theoretischen Einbau horizontaler und auf Schienenoberkante wirkender Tiefzugstangen, werden die Druckänderungen an den Kastenstützpunkten

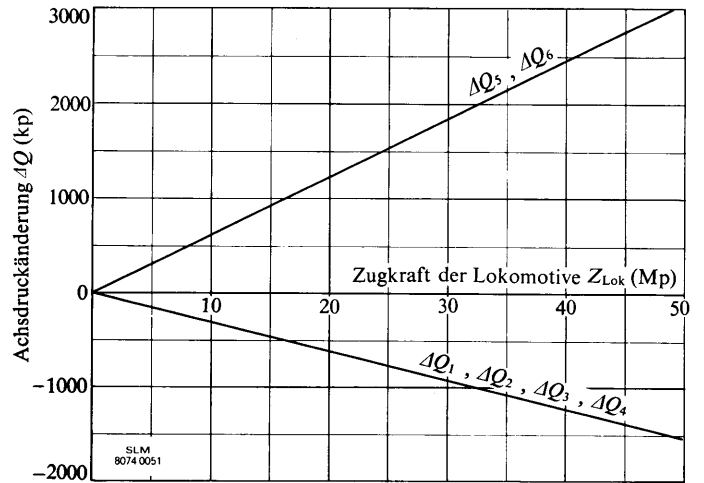
$$\Delta K_1 = \Delta K_2 = -2Z \frac{H}{L} \quad (15)$$

und

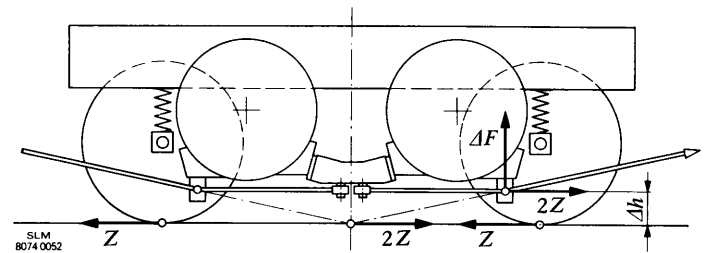
$$\Delta K_3 = 4Z \frac{H}{L} \quad (16)$$

In der Praxis kann die Tiefzugstange zwischen Drehgestell und Kasten natürlich nicht auf der Schienenoberkante angreifen, sondern wird zur Einhaltung des Lichtraumprofils in einer Höhe Δh über der Schienenoberkante geknickt und umgelenkt (Bild 8). Dies hat keine Änderung der aufgestellten Gleichungen zur Folge, da das Kippmoment der Rollenstützkräfte durch ein entgegengesetztes Moment der Drehgestellzugkraft kompensiert wird.

Ergänzend sei noch auf einen Spezialfall hingewiesen. Wird bei schleudernden Achsen des vorlaufenden ersten Dreh-



7 Achsdruckänderungen der Lokomotiven mit statisch bestimmten Sekundärabstützungen (für Lokomotive mit geteiltem Kasten sowie für Lokomotive mit ungeteiltem Kasten und pneumatischem Balancier).



8 Kräfteschema an der Tiefzuganlenkung des Drehgestells.

gestells angenommen, daß sie keine Zugkraft mehr entwickeln ($Z_1 = Z_2 = 0$), dann können die hintere Kastenhälfte und die zwei nachlaufenden Drehgestelle als eine Lokomotive mit zwei Drehgestellen betrachtet werden. Die Achsdrücke verändern sich dann wie folgt:

am vorderen Drehgestell

$$\Delta Q_3' = \Delta Q_4' = -2Z \frac{H}{L} \quad (17)$$

am hinteren Drehgestell

$$\Delta Q_5' = \Delta Q_6' = +2Z \frac{H}{L} \quad (18)$$

Bei zeitweisem Schleudern des vorlaufenden Drehgestells springen somit die Achsdruckänderungen am mittleren Drehgestell zeitweise von

$$\Delta Q_3 = \Delta Q_4 = -Z \frac{H}{L}$$

auf

$$\Delta Q_3' = \Delta Q_4' = -2Z \frac{H}{L} \quad (19)$$

Achsdruckänderungen der Lokomotive mit einteiligem Kasten
Lokomotive mit nichtausgeglichene Federgruppen an der Kastenabstützung

Der Kasten der Lokomotive mit drei nichtausgeglichene Federgruppen an der Kastenabstützung ist auf seinen drei Drehgestellen statisch unbestimmt abgestützt. Bild 9 zeigt die am Kasten und an den Drehgestellen angreifenden Kräfte.

Die Gleichgewichtsbedingungen für den Kasten lauten:

$$\Delta K_1 + \Delta K_2 + \Delta K_3 - 3\Delta F = 0 \quad (20)$$

$$-\Delta K_1 2L - \Delta K_2 L + 3\Delta F(L - l) - 6Z(H - h) = 0 \quad (21)$$

Die Kastenstützkraftänderungen sind durch die Einfedernwerte und die Federsteifigkeiten bestimmt. Dabei bedeuten:

- c_D Federsteifigkeit der Drehgestell-Primärfederung
- $c_{K1} = c_{K3}, c_{K2}$ Federsteifigkeiten der Federgruppen an der Kasten-Sekundärabstützung
- $c_1 = c_3, c_2$ Steifigkeiten der hintereinandergeschalteten Primär- und Sekundärfederungen an den Drehgestellen
- y_1, y_2, y_3 Vertikale Verschiebungen der Kastenstützpunkte

Die resultierenden Federsteifigkeiten sind:

$$c_1 = \frac{c_D \cdot c_{K1}}{c_D + c_{K1}}; \quad c_2 = \frac{c_D \cdot c_{K2}}{c_D + c_{K2}} \quad (22)$$

Die Ansätze für die Federstützkraft-Änderungen an den Kastenfedern lauten:

$$\Delta K_1 = c_1 y_1 \quad (23)$$

$$\Delta K_2 = c_2 y_2 \quad (24)$$

$$\Delta K_3 = c_1 y_3 \quad (25)$$

Das Geradebleiben des Kastens führt zur geometrischen Bedingung

$$2y_2 = y_1 + y_3 \quad (26)$$

Die Ansätze (23) bis (25) in die Gleichungen (20) und (21) eingesetzt und umgeformt ergeben mit $\Delta F = 2Z \frac{h}{l}$

$$c_1 y_1 + c_2 y_2 + c_1 y_3 - 6Z \frac{h}{l} = 0 \quad (27)$$

$$-2c_1 y_1 - c_2 y_2 - 6Z \left(\frac{H}{L} - \frac{h}{l} \right) = 0 \quad (28)$$

und zusammen mit der geometrischen Bedingung (26) errechnen sich daraus die Verschiebungen

$$y_1 = -3Z \left[\frac{h}{l} \frac{c_2}{2c_1 + c_2} + \left(\frac{H}{L} - \frac{h}{l} \right) \right] \frac{1}{c_1} \quad (29)$$

$$y_2 = 6Z \frac{h}{l} \frac{1}{2c_1 + c_2} \quad (30)$$

$$y_3 = 3Z \left[\frac{h}{l} \left(\frac{4}{2c_1 + c_2} + \frac{c_2}{c_1(2c_1 + c_2)} \right) + \left(\frac{H}{L} - \frac{h}{l} \right) \frac{1}{c_1} \right] \quad (31)$$

Damit werden die Kastenstützkraft-Änderungen

$$\Delta K_1 = -3Z \left[\frac{h}{l} \frac{c_2}{2c_1 + c_2} + \left(\frac{H}{L} - \frac{h}{l} \right) \right] \quad (32)$$

$$\Delta K_2 = 6Z \frac{h}{l} \frac{c_2}{2c_1 + c_2} \quad (33)$$

$$\Delta K_3 = 3Z \left[\frac{h}{l} \frac{4c_1 + c_2}{2c_1 + c_2} + \left(\frac{H}{L} - \frac{h}{l} \right) \right] \quad (34)$$

und die Achsdruckänderungen

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 = \frac{1}{2}(\Delta K_1 + \Delta F) \quad (35)$$

$$\Delta Q_3 = \Delta Q_4 = \frac{1}{2}(\Delta K_2 + \Delta F) \quad (36)$$

$$\Delta Q_5 = \Delta Q_6 = \frac{1}{2}(\Delta K_3 + \Delta F) \quad (37)$$

und mit ΔF nach Gleichung (8) zu

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 = -\frac{3}{2}Z \frac{h}{l} \left(\frac{c_2}{2c_1 + c_2} + \frac{H}{L} \frac{l}{h} - \frac{1}{3} \right) \quad (38)$$

$$\Delta Q_3 = \Delta Q_4 = -\frac{3}{2}Z \frac{h}{l} \left(\frac{2}{3} - \frac{2c_2}{2c_1 + c_2} \right) \quad (39)$$

$$\Delta Q_5 = \Delta Q_6 = \frac{3}{2}Z \frac{h}{l} \left(\frac{4c_1 + c_2}{2c_1 + c_2} + \frac{H}{L} \frac{l}{h} - \frac{5}{3} \right) \quad (40)$$

Für die Bedingung

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 = \Delta Q_3 = \Delta Q_4 \quad (41)$$

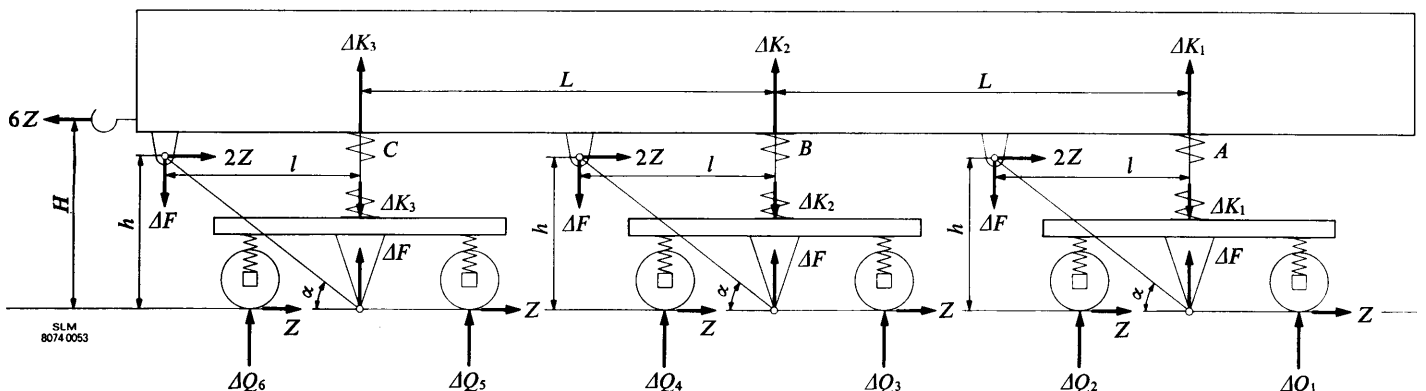
läßt sich aus den Gleichungen (38) und (39) eine Federsteifigkeit c_2 bzw. c_{K2} am mittleren Drehgestell errechnen:

$$c_{K2} = \frac{2c_D c_{K1} \left(1 - \frac{H}{L} \frac{l}{h} \right)}{c_D \left(2 + \frac{H}{L} \frac{l}{h} \right) + 3c_{K1} \frac{H}{L} \frac{l}{h}} \quad (42)$$

Bei der Voraussetzung (12), $\text{tg } \alpha = \frac{h}{l} = \frac{H}{L}$, wird $c_{K2} = 0$,

d.h., es muß eine Feder unendlicher Weichheit eingebaut werden, damit Gleichung (41) erfüllt ist.

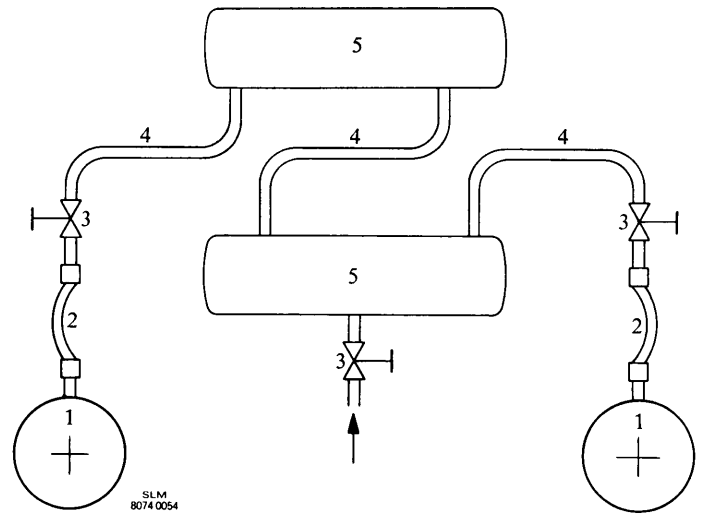
Die Bedingung (41) (optimale Achsdruckverteilung bei Ausübung von Zugkräften) sowie die Bedingung, daß beim Befahren von Gefällsbrüchen keine Achsdruckänderungen auftreten, verlangen bei der Lokomotive mit einteiligem Kasten eine sehr weiche Federung in der Abstützung des mittleren Drehgestells. Mit Rücksicht auf die Austauschbarkeit ist die Drehgestell-Primärfederung an jedem Drehgestell gleich ausgeführt. Wie *Bild 5* zeigt, ist die Lokomotive Re6/6 11603 so konzipiert, daß eine Sekundärabstützung mit Schraubenfedern oder eine Luftfederabstützung am mittleren Dreh-



9 Kräfteschema der Lokomotive mit ungeteiltem Kasten.

gestell eingebaut werden kann. Da der zur Verfügung stehende Konstruktionsraum zum Einbau einer sehr weichen Schraubenfeder beschränkt ist, weicht die Federkonstante der eingebauten Schraubenfeder vom theoretischen Optimum ab.

Die Luftfederabstützung am mittleren Drehgestell der Lokomotive 11603 besteht aus den beiden Luftfederbälgen und einem rund 1300 l Luft fassenden Zusatzreservoir mit entsprechend dimensionierten Verbindungsleitungen. Die Federn werden mit annähernd konstantem Druck betrieben, und nur Luftverluste durch Undichtheiten werden ersetzt. Bei Undichtheiten und Temperaturschwankungen wird der Druck durch die auf $p_0 = 5,2$ atü eingestellten Druckreduzier- und Sicherheitsventile konstant gehalten. Die Speisung wird dabei von dem Bremsluftkompressor oder über die Hauptluftbehälter des pneumatischen Bremssystems besorgt. *Bild 10* zeigt das Schema der Luftfederung am mittleren Drehgestell. Die Federkonstante c_{K2} ist außer von dem Luftvolumen auch maßgeblich durch die Balgform (Änderung der von der Luft beaufschlagten Federfläche als Funktion der Federhöhenänderung) bestimmt. Die Charakteristik der Federung, mit und ohne Zusatzbehälter, ist aus *Bild 11* ersichtlich. Die Achsdruckänderungen für die nur schraubengefederte Lokomotive und für die Lokomotive mit Luftfeder am mittleren Drehgestell zeigt *Bild 12*.



1 Luftfederbalg
2 Schlauchanschluß
3 Durchgangshahn
4 Überströmleitung
5 Zusatzluftbehälter

Inhalt des Luftfedersystems

Luftfederbalg bei $H_0 = 184$ mm $2 \times 29,0 = 58,0$ dm³
 Zusatzbehälter und Überströmleitung $2 \times 611,0 = 1222,0$ dm³
 Gesamtes im System eingeschlossenes Luftvolumen 1280,0 dm³
 Druck bei $H_0 = 184$ mm: $p_0 = 5,2$ kp/cm²

10 Schema der Luftfederung mit Zusatzvolumen am mittleren Drehgestell.

Lokomotive mit Balanciers

Bei der Lokomotive mit pneumatischen Balanciers zwischen der Kastenabstützung des ersten vorlaufenden und des mittleren Drehgestells ist

$$\Delta K_1 = \Delta K_2 \quad (43)$$

Die Gleichungen (20) und (21) vereinfachen sich damit und unter Berücksichtigung von $\Delta F = 2Z \frac{h}{l}$ auf

$$2\Delta K_1 + \Delta K_3 - 6Z \frac{h}{l} = 0 \quad (44)$$

$$-3\Delta K_1 - 6Z \left(\frac{H}{L} - \frac{h}{l} \right) = 0 \quad (45)$$

Daraus folgen die Druckänderungen an den Kastenfedern

$$\Delta K_1 = \Delta K_2 = -2Z \left(\frac{H}{L} - \frac{h}{l} \right) \quad (46)$$

$$\Delta K_3 = 2Z \left(2 \frac{H}{L} + \frac{h}{l} \right) \quad (47)$$

Die Achsdruckänderungen werden unter Berücksichtigung von Gleichung (8)

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 = \Delta Q_3 = \Delta Q_4 = \frac{1}{2} (\Delta K_1 + \Delta F) = -Z \frac{H}{L} \quad (48)$$

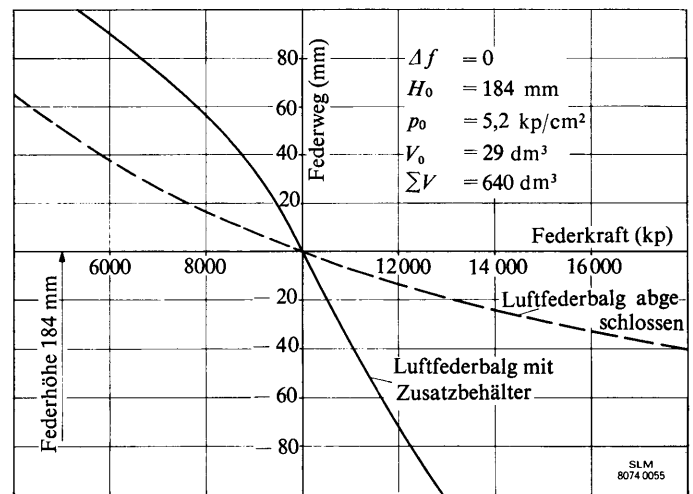
$$\Delta Q_5 = \Delta Q_6 = \frac{1}{2} (\Delta K_3 + \Delta F) = 2Z \frac{H}{L} \quad (49)$$

Die Achsdruckänderungen sind gleich wie die der Lokomotive mit geteiltem Kasten und entsprechen jenen in *Bild 7*.

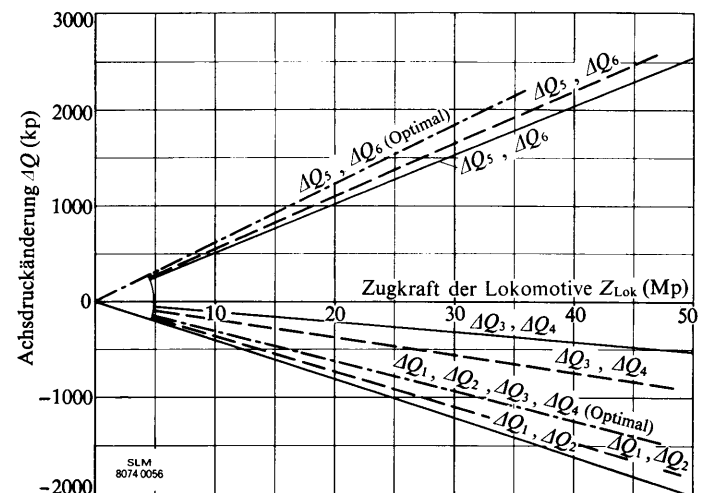
Für $\tan \alpha = \frac{h}{l} = \frac{H}{L}$ (12) wird außerdem

$$\Delta K_1 = \Delta K_2 = 0 \quad (50)$$

$$\Delta K_3 = 6Z \frac{H}{L} \quad (51)$$



11 Charakteristik der Luftfeder zur mittleren Kastenabstützung.



— Lokomotive mit ungeteiltem Kasten (Schraubenfeder-Sekundärabstützung)
 - - - Lokomotive mit ungeteiltem Kasten (Schraubenfeder-Sekundärabstützung an den Enddrehgestellen sowie Luftfeder-Abstützung am mittleren Drehgestell)

12 Achsdruckänderungen der Lokomotive mit statisch unbestimmten Sekundärabstützungen.

Drehgestelle

Allgemeine Baugrundsätze für die Drehgestelle beider Prototypvarianten

Die guten Erfahrungen mit den von der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik gelieferten Drehgestellen legten es nahe, auch bei der Neuentwicklung der Drehgestelle für die Re6/6-Prototyplokomotiven die Konstruktionsprinzipien wieder anzuwenden, die sich als erfolgreich erwiesen haben. Es lag daher auf der Hand, bewährte Baugruppen der Re4/4^{II}- und Re4/4^{III}-Serielokomotiven, wie Triebradsätze, Achslager mit Achslagerzentrierungen, Bremszylinder und Bremsgestängesteller, komplett als Austauschbaugruppen zu übernehmen. Es war zudem von Vorteil, Baugruppen, wie Achslagerführungen und Zahnradverschalungen, so zu entwickeln oder zu modifizieren, daß sie in die Prototyp-Drehgestelle beider Varianten und in die später folgenden einheitlichen Seriedrehgestelle eingebaut werden konnten.

Die Drehgestellrahmen der äußeren und mittleren Drehgestelle beider Prototypvarianten stützen sich über körper-schallisierende Gummiringe und Schraubenfedern auf die Achslagergehäuse ab. Wie bei allen Drehgestellfahrzeugen der SLM führen zylindrische, in die Längsträger des Drehgestellrahmens eingepreßte Zapfen die Achsbüchsen. Jeder dieser Zapfen gleitet in einer Bronze-Stahl-Büchse, die über einen radial vorgespannten Silentblock mit dem Achslagergehäuse verbunden ist. Kantbewegungen des Radsatzes und der Achsbüchse sowie Toleranzunterschiede in den Abständen der Führungszapfen werden von den Silentblöcken aufgenommen. Die Schmierung der gleitenden Teile geschieht in einem nach außen staubdicht abgeschlossenen Ölbad. Parallel zu jeder Schraubenfeder sind Reibungsdämpfer mit Einstellvorrichtung eingebaut, die der Dämpfung der Schwingungen der gefederten Drehgestellmassen dienen.

Zur Verringerung der dynamischen Führungskräfte zwischen Rad und Schiene sowie der dynamischen Achslager-Querkräfte erhielten die mit zwei Zylinderrollenlagern je Achschenkel gelagerten und mit bandagierten Stahlguß-Speichenrädern versehenen Triebradsätze eine mit jedem Achslager kombinierte, querelastische Radsatzzentrierung, die eine Querverschiebung des Radsatzes gegenüber dem Drehgestellrahmen um ± 10 mm erlaubt. Dazu ist in jedes Achsschenkelende eine Schraubenfeder mit einer Federkonstante von 1000 kp/cm und einer Vorspannung von 1500 kp eingebaut. Zur Übertragung der Federkräfte auf die Achsbüchsenführung dient ein in das Achslagergehäuse eingebautes Rillenkugellager. Die Vorspannung der beiden Federn bewirkt im Bereich der Achslagerquerkraft 0–3000 kp eine starre Radsatzführung. Nach Überwinden der Vorspannkraft mit Achslagerquerkräften größer als 3000 kp wird die Radsatzführung elastisch. Die federnd übertragene größte Endkraft beträgt 5000 kp. Eingebaute Anschläge begrenzen den elastischen Bereich. Wie eingehende Versuche zeigten, hat die querelastische Radsatzzentrierung vor allem in bezug auf den Abbau der dynamischen Spitzenkräfte eine günstige Wirkung. Die Parameter Vorspannkraft, Federkonstante, Federweg und elastisch übertragene Endkraft bedürfen jedoch einer genauen Abstimmung mit den Querkupplungsparametern.

Die zwischen den einzelnen Drehgestellen wirkende Querkupplung dient der Verringerung des Anlaufwinkels und der statischen Richtkräfte der vorlaufenden Räder bei Kurvenfahrt. Zusammen mit der Spurkranzschmierung, Typ SBB, bewirkt sie eine bedeutende Verminderung der Spurkranzab-

nutzung. Die Querkupplung besteht bei den Prototyplokomotiven aus einer am mittleren Drehgestell auf einem der äußeren Längsträger des Drehgestellrahmens drehbar gelagerten Welle (*Bild 13*). An den Enden dieser Welle sind Hebel befestigt, die durch Stangen mit den Deichseln der Enddrehgestelle gelenkig verbunden sind. Eine dieser Verbindungsstangen ist zur Aufnahme eines Schraubenfedersatzes als Querkupplungstopf ausgebildet und wirkt federnd. Die Federkonstante des Federsatzes beträgt 500 kp/cm und seine Vorspannung 2500 kp. Durch Serieschaltung des Schraubenfedersatzes mit der in beschränktem Maße torsionselastischen Querkupplungswelle erreicht die Federkonstante der Querkupplung, nach Überwindung der Vorspannkraft des Federsatzes bis zu seiner inneren Begrenzung nach 40 mm Weg, einen Wert von 430 kp/cm.

Der Federtopf und die Lagergehäuse der Querkupplungswelle sind nach außen staubdicht abgeschlossen und mit einer Dauerfettschmierung versehen. In den Gelenken werden abgedichtete Kunststofflager verwendet. Die Deichseln der äußeren Drehgestelle sind in Holmbauart ausgeführt und an den inneren Kopfträgern der Drehgestellrahmen beweglich in vertikaler Richtung angelenkt.

Zur Übertragung der Motorleistung auf die Triebradsätze wurde für die Prototyplokomotiven Re6/6 ein von den Lokomotiven Re4/4^{II} und Re4/4^{III} abgeleiteter Federantrieb der Bauart BBC gewählt. Das schrägverzahnte und im Einsatz gehärtete und geschliffene Großrad ist mit zwei Kegelrollenlagern auf dem Hohlwellenstummel gelagert. Die Innen- und Außenringe der Kegelrollenlager sind mit dem zylindrischen Teil des Hohlwellenstummels bzw. mit der Nabenbohrung des Großrades durch Festsitze verbunden. Diese Ringe sind zudem axial mit steifen Dichtungsdeckeln und hochfesten Verschraubungen gegen Rutschen infolge Vibrationen gesichert. Ein druckfestes Fett besorgt die Schmierung. Eine neuentwickelte und durch eingehende Versuche überprüfte Labyrinthdichtung begünstigt lange Schmierintervalle. Der zum Motor hin offene Hohlwellenstummel ist mit seinen vier langen axialen Flanschkannten am Motor eingepaßt und mit sechs hochfesten Schrauben am Fahrmotor-Statorgehäuse befestigt. Durch diese Lagerungsart des Großrades auf dem Fahrmotorgehäuse werden große Kippwinkel am Zahnrad verhindert und ein guter Zusammenlauf mit dem Ritzel gewährleistet. Das auf der Rotorwelle warm aufgeschrumpfte Ritzel ist aus hochfestem Einsatzstahl gefertigt. Seine Schrägverzahnung ist im Einsatz gehärtet, und die Ritzelzähne weisen einen speziellen Balligschliff auf, womit bei allen Drehmomenten ein einwandfreies Tragen ohne Kantenpressungen an den Zahnradenden erreicht wird. Die Übersetzung beträgt 1:2,64 und die Zentrale 660 mm.

Die federnde Übertragung des Drehmomentes auf das Triebachsen-Großrad erfolgt durch in die Federkammern des Großrades eingreifende Arme des Mitnehmers, der durch einen Schrumpfsitz mit der antriebsseitigen Speichenradnabe verbunden ist. Die in den Kammern über Druckfedern mit Vorspannung abgestützten Federteller wälzen sich dabei mit ihren den Mitnehmerarmen zugewandten Flächen auf den leicht zylindrisch geformten Enden der Mitnehmerarme ab. Alle Getriebeteile werden von einem Radkasten umschlossen, in dem sich ein Ölsumpf für die Tauchschmierung der Zahnräder und andere gleitende Teile befindet. Besonders ausgebildete Labyrinthdichtungen sorgen für eine einwandfreie Abdichtung nach außen und innen. Die Achsantriebe eines Drehgestells liegen jeweils auf der gleichen Lokomotivseite.

Für die Zug- und Bremskraftübertragung zwischen Kasten und Drehgestellen sind schräg angeordnete Tiefzugstangen eingebaut. Kastenseitig sind die beiden Zugstangen jedes Drehgestells kardanisch drehbar in konischen Druck-Schub-Gummifedern mit Vorspannung angelenkt (Bild 8). Im Drehgestell ist jede Schrägzugstange durch ein scharnierartiges Gelenk mit einer zweiten, horizontal angeordneten Zugstange verbunden. Diese Zugstange ist im Bereich der Drehgestellmitte um einen in der Zugkrafttraverse gelagerten Vertikalzapfen drehbar. Die die beiden Triebmotoren verbindende Zugkrafttraverse ist so weit gegen die Schienenoberkante heruntergezogen, daß bei abgenutzten Radbandagen und maximaler Drehgestell-Einfederung gerade noch die vorgeschriebene Profilverfreiheit vorhanden ist. Die geneigte und die horizontale Stange als Teil einer Zugstangenkombination drückt sich im Knickpunkt über Kunststoffrollen nach oben an. Die Vorspannung der beiden Gummifedern ist so groß gewählt, daß selbst bei maximaler Zugkraft die Kunststoffrollen der entlasteten Zugstange noch nach oben drücken und damit ein Abheben der Rollen vermieden wird.

Die Sekundärabstützung des Kastens auf jedes Drehgestell erfolgt über einen unter dem Drehgestellrahmen hindurch führenden, mit den kastenseitigen Stützfüßen verschraubten Kastenquerträger. Dieser Querträger stützt sich auf Federn ab, die ihrerseits in den durch die Federtraverse verbundenen Federwannen aufliegen. Federtraverse und Federwannen bilden einen unteren Wiegebalken, der mit vier Pendeln am Drehgestellrahmen aufgehängt ist. Mit verschleißfreien Gummilagern ausgestattete Lenker (ein Quer- und zwei Längslenker) sind zwischen dem Kastenquerträger und dem unteren Wiegebalken eingebaut und verhindern, daß die Federn bei der horizontalen Quer- und Drehbewegung des Kastens gegenüber dem Drehgestell auf Querschub beansprucht werden. Die Quer- und Drehbewegung sowie die Längsbewegung des Drehgestells werden durch die mit spherilastischen Gummilagern versehenen Pendel aufgenommen. Diese Pendel lassen gegenüber einer konventionellen Wiegenaufhängung zwei Freiheitsgrade mehr zu. Länge und Neigung der Pendel sind so gewählt, daß bei Fahrt in der Geraden die durch Stöße auftretenden Kastenquerbeschleunigungen und Seitenauslässe klein bleiben und bei Kurvenfahrt keine Anschläge zwischen Kasten und Drehgestellen auftreten. Zur Erreichung optimaler Laufeigenschaften werden die Vertikal- und Querschwingungen des Kastens gedämpft. Dazu sind parallel zu

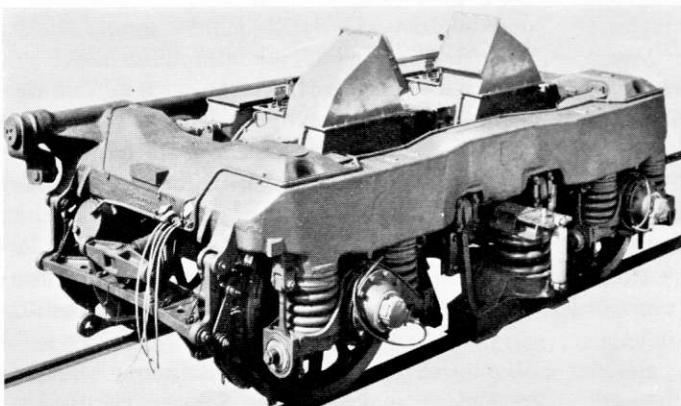
den Stützfedern hydraulische Vertikalschwingungsdämpfer und zwischen den Drehgestellkopfträgern und dem Kasten Horizontalflüssigkeitsdämpfer eingebaut.

Zweiachsige Drehgestelle erleichtern den Einbau einer einfachen, aus wenigen Teilen bestehenden Bremse. Jeder Radsatz wird von einem Bremszylinder, der auf dem zugehörigen Kopfstück des Drehgestells angeschraubt ist, gebremst. Dabei wirkt der Bremszylinder auf eine Hebelwelle ein, an die ein Gestängereger System Charmilles zur Spieleinstellung angelenkt ist. Hebel, Traversen und Zugstangen übertragen die Abzugskräfte des Gestängereglers auf die zwölf Radsatz-Bremsklotzsohlen aus Spezialgußeisen. Die einfache Gestaltung der Bremse bewirkt ein niedriges Gewicht und einen günstigen Gestängewirkungsgrad. Je ein angeschweißter Zusatzhebel auf den führerstandseitigen Bremswellen der Enddrehgestelle dient zur Anlenkung der mit einem Schlitzloch versehenen Abzugstange der Handbremse, die nur als Festhaltebremse im Stillstand dient. Die theoretische Abbremsung beträgt 175% und der Gestängewirkungsgrad nahezu 70%.

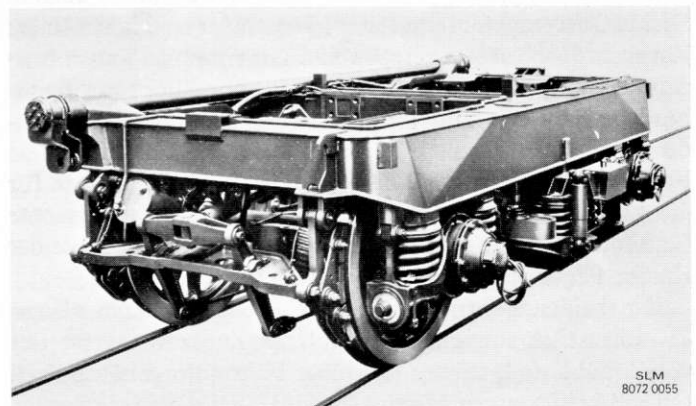
Pneumatisch betätigte Sanderanlagen dienen der Verbesserung des Reibschlusses zwischen Rad und Schiene im Anfahrzustand des Fahrzeuges und bei schlechten Schienenzuständen. Die Sanderventile, angeschraubt an die Untergurte der Bodenrahmen-Längsträger des Kastens und verbunden mit den darüber eingebauten Sandbehältern, versorgen über Schläuche und Rohre die Sandermundstücke. Die Sanderrohre sind an den Achslagergehäusen befestigt. Diese Bauweise gestattet kleine Abstände zwischen Mundstück und Schienenoberkante bzw. Radlaufläche. Bei funktionsgerechter Ausbildung des Mundstückes und richtiger Drosselung der Sandmenge sowie Einhaltung einer bestimmten Luftgeschwindigkeit läßt sich eine günstige Sandverteilung zwischen Schiene und Radlaufläche erzielen. Gesandet wird vor den vorlaufenden Rädern jedes Drehgestells.

Drehgestelle der Lokomotive mit geteiltem Kasten

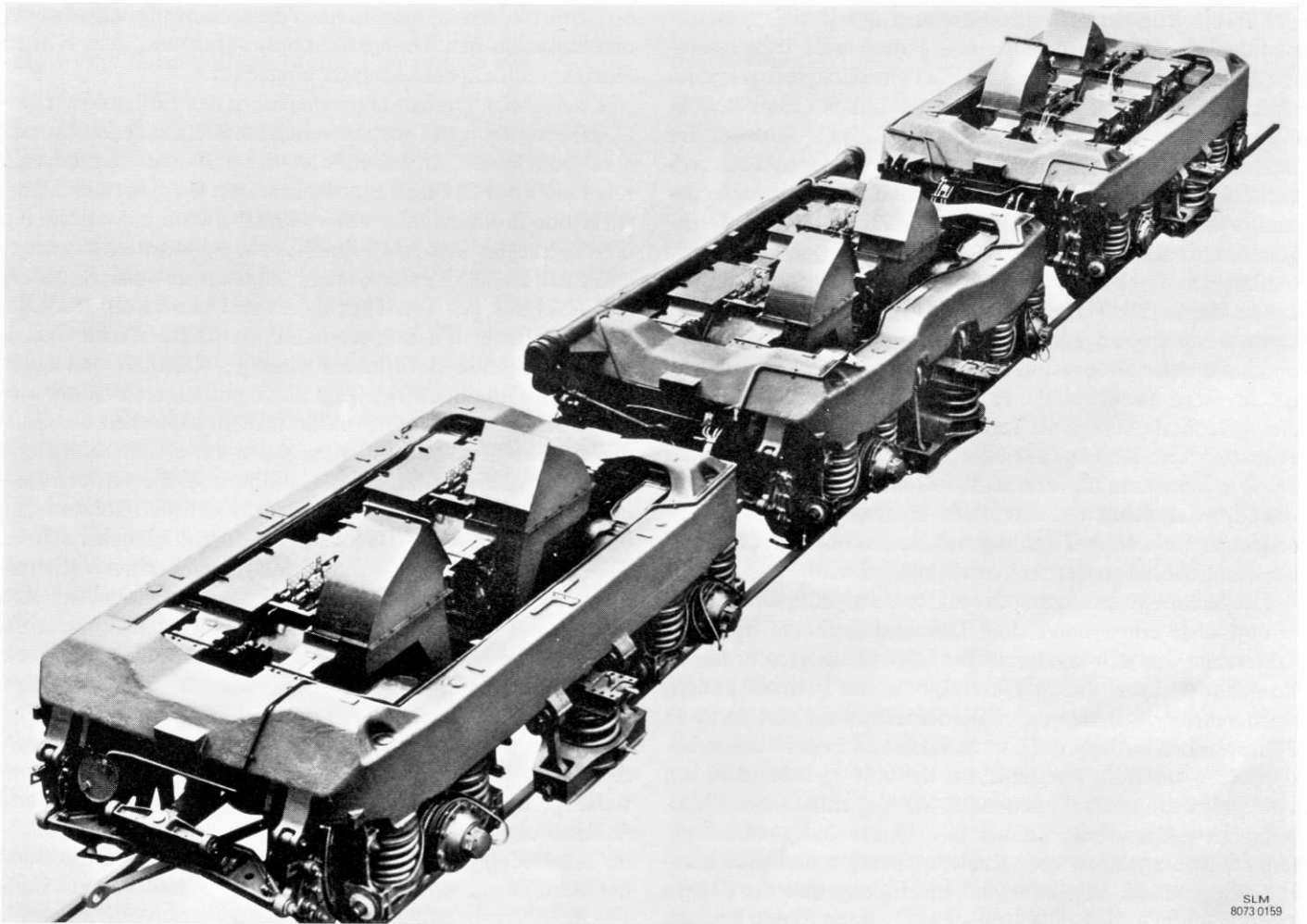
Die Drehgestelle der Lokomotive mit geteiltem Kasten haben, wie die der Re4/4^{II}- und Re4/4^{III}-Lokomotiven, einen Radstand von 2800 mm. Ebenso entsprechen sie ihnen weitgehend im Aufbau. Veränderungen ergaben sich insbesondere wegen der Unterbringung größerer Fahrmotoren und der Einengung infolge der größeren Drehgestellausschläge bei Kurvenfahrt. Am mittleren Drehgestell ist zusätzlich die Querkupplungswelle untergebracht. Der Rahmen zu diesem



13 Mittleres Drehgestell der Lokomotiven Re6/6 11601/02 mit Querkupplungswelle.



14 Mittleres Drehgestell der Lokomotive mit Sekundär-Schraubenfederabstützung, ohne Fahrmotoren.



15 Drehgestelle der Lokomotiven Re6/6 11601/02.

Gestell ist für die seitlichen Kastengelenke eingezogen. *Bild 15* zeigt die drei Drehgestelle mit der sie verbindenden Querkupplung.

Der Drehgestellrahmen der beiden äußeren Drehgestelle ist als kombinierte Stahlguß-Blech-Schweißkonstruktion ausgeführt und besteht im wesentlichen aus den beiden Längs- und Kopfträgern in Hohlträgerbauart. Der innere und der äußere Kopfträger sowie die beiden Längsträger-Untergurte sind je in einem Stück aus gut schweißbarem Stahl niederen Kohlenstoffgehaltes gegossen (durchschnittliche Wanddicke 10 mm). Der einfach ausgebildete Obergurt der Längsträger besteht aus abgekantetem Stahlblech von ebenfalls 10 mm Dicke. Ober- und Untergurt der Längsträger sind in neutralen Zonen zu Hohlträgern verschweißt. Die einzelnen Träger werden durch Schweißen in Bereichen gut überblickbarer Spannungsverhältnisse zum fertigen Drehgestellrahmen verbunden. Die gegossenen Träger gestatten eine zweckmäßige Formgebung der Querschnittsübergänge, der Fassungen für die Achslager-Führungszapfen und der Befestigungselemente für Motoren und Bremsen. Zudem können die Supporte der Kasten-Pendelaufhängung mitgegossen werden.

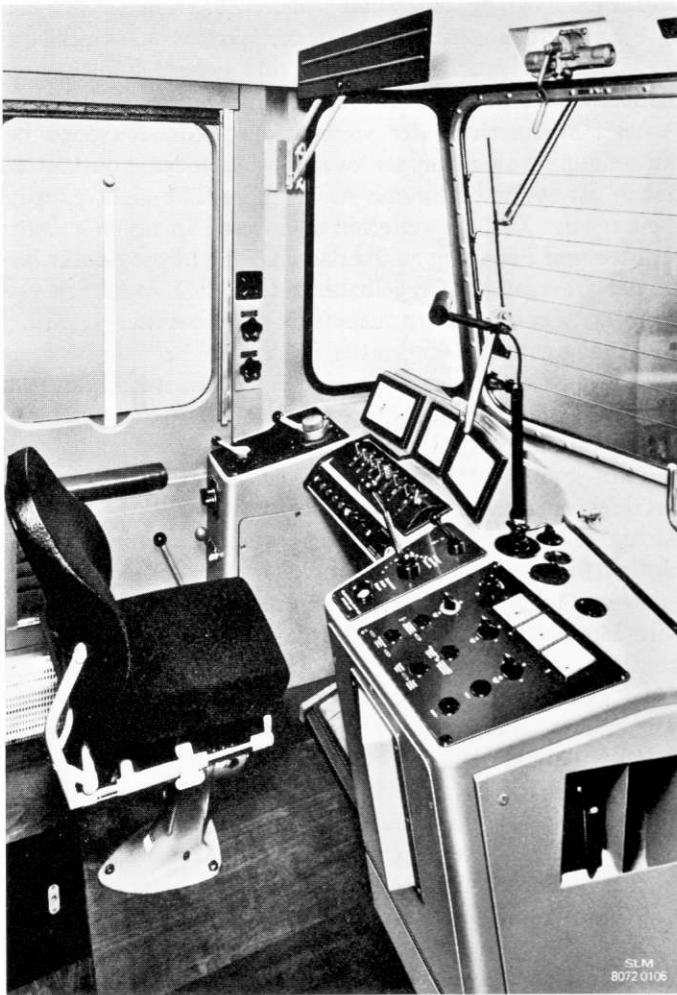
Die beiden Fahrmotoren, die mit einem kurzen oberen Zwischenstück sowie mit der unteren Zugkrafttraverse fest verschraubt sind, stützen sich über Fahrmotorgehäuse-Pratzen mit keilförmigen Montagebeilagen auf die angegossenen Kopfträgerhörner ab und sind mit diesen verschraubt. Diese Baugruppe trägt somit zu einer zusätzlichen Versteifung des

robusten, gedrunenen Drehgestellrahmens bei. Die Sekundärabstützung des Kastens besorgen an jedem Drehgestell zwei Schraubenfedersätze, bestehend aus je drei konzentrisch ineinander angeordneten Schraubenfedern. Die mit Spherilastik-Kugelsilentblöcken angelenkten Pendel sind an den äußeren Drehgestellen 450 mm lang, der Pendelwinkel beträgt rund 6° . Die Pendellänge des mittleren Drehgestells beträgt 665 mm und der Pendelwinkel $5,6^\circ$. Die Längsträger des Drehgestellrahmens zum mittleren Drehgestell sind, wie erwähnt, in Drehgestellmitte nach innen gezogen. Darum sind sie nicht in Kombinationsbauweise gefertigt, sondern aus einem Stück gegossen.

Drehgestelle der Lokomotive mit einteiligem Kasten

Die Drehgestelle der Lokomotive mit einteiligem Kasten weisen einen Radstand von 2900 mm auf. *Bild 14* zeigt ein mittleres Drehgestell mit Sekundärschraubenfedern. Die Vergrößerung des Drehgestellradstandes um 100 mm gegenüber der Lokomotive mit zweiteiligem Kasten erlaubt den wahlweisen Einbau von je zwei nebeneinanderliegenden Schraubenfedersätzen mit konzentrisch ineinander angeordneten Schraubenfedern oder eines Luftfederbalges an jeder Kastenabstützstelle.

Bei der Lokomotive mit einteiligem Kasten und nicht-ausgeglichenen Federgruppen an der Sekundärabstützung braucht das mittlere Drehgestell eine wesentlich weichere Federung als die äußeren Drehgestelle. So ist bei der nur



16 Führerstand.

schraubengefederten Lokomotive ohne Balanciers die Federkonstante der Sekundärabstützung an den äußeren Drehgestellen ungefähr doppelt so groß wie jene der Abstützung am mittleren Gestell. Der Einbau einer Luftfederung am mittleren Drehgestell gemäß *Bild 10* bewirkt eine noch größere Federweichheit und damit eine noch günstigere Achsdruckverteilung bei Ausübung von Zugkraft und beim Befahren von Gefällsbrüchen. Die beiden Luftfederbälge sind über ihre Zusatzbehälter mit Rohren großen Querschnittes miteinander verbunden. Diese Maßnahme trägt ferner zur Kleinhaltung der Wankeigenfrequenz bei.

Die Aufhängung des Wiegebalkens jedes Drehgestells erfolgt durch Pendel, deren Gelenke in den Längsträgern der Drehgestellrahmen und an den Wiegebalken in Form von halbkugelförmigen Spherilastik-Silentblöcken ausgebildet sind. An den äußeren Drehgestellen sind die Pendel 586 mm lang, und der Pendelwinkel beträgt 12° , während das mittlere Drehgestell 820 mm lange, senkrechte Pendel aufweist.

Die Drehgestellrahmen des mittleren und der beiden äußeren Drehgestelle sind in Leichtbauweise ausgeführt. Sie setzen sich aus Hohlträgern zusammen, die mit Ausnahme der mittleren Querträger, die als gegossene Hohlträger ausgebildet sind und angegossene Motorbefestigungssupporte haben, vor allem aus zusammengeschweißten Gurt- und Stegblechen bestehen. Gurt- und Stegbleche aus kerbunempfindlichem Stahl, sorgfältige Gestaltung der Übergänge zwischen den

Längs- und Querträgern sowie eine geeignete Reihenfolge der Schweißoperationen erlauben es, die Drehgestellrahmen leicht und beanspruchungsgerecht zu gestalten.

Die beiden Fahrmotoren gleicher Bauart wie die der Lokomotiven mit geteiltem Kasten stützen sich mit ihren Pratzen auf dem gemeinsamen mittleren Querträger des Drehgestells sowie (mit angeschraubten Verlängerungspratzen) auf die zugehörigen Kopfträger ab. So wird die Montage und Demontage eines einzelnen Motors erleichtert. Ferner sind die beiden Fahrmotoren über die untere Zugkrafttraverse miteinander verschraubt.

Lokomotivkasten

Gemeinsame Baugrundsätze der beiden Kastenvarianten

Der Lokomotivkasten in geteilter und ungeteilter Ausführung ist eine selbsttragende und verwindungssteife Schalenkonstruktion. Sie setzt sich aus Bodenrahmen, Seitenwänden, Führerstandswänden und Dach zusammen. Die Kastenschale besteht aus Stahlblechen und ist durchweg geschweißt. Beide Stoßbalken an den Kastenenden sind mit hohlkörperförmigen Längsträgern aus 5 mm dicken Abkantblechen, verschiedenen Querträgern und einem 3 mm dicken Bodenblech zu einem widerstandsfähigen Bodenrahmen verschweißt. Diese Balken sind für die Aufnahme der zukünftigen automatischen Zug- und Druckkupplung bemessen und vorbereitet und enthalten je zwei Puffer mit energieverzehrenden Zerstörungselementen. Da der Bodenrahmen einen Hauptanteil der Zug- und Stoßkräfte zu übertragen hat, wurde für eine gute Krafteinleitung in die Längsträger und für einen beanspruchungsgerechten Kraftfluß gesorgt. Die mit einem Profilskelett verstärkten Seiten- und Stirnwände sowie die Aufbauten über den Drehgestellen sind auf dem Bodenrahmen aufgeschweißt. Der Dachaufbau setzt sich aus Spanten, Blechen und Hohlprofil-Längsträgern zusammen, wobei die Längsträger mit den Seitenwänden verschweißt sind. Der Dachaufbau sorgt für die notwendige Steifigkeit der vorwiegend auf Druck beanspruchten Bereiche der Kastenschale.

Große Luken in den Dachpartien erlauben den Aus- und Einbau von Maschinen und Apparaten. Zur leichteren Handhabung und zur Gewichtseinsparung sind die zugehörigen Dachdeckel aus Leichtmetall hergestellt.

Die beiden Endführerstände sind in der Grundkonzeption gleich wie die der Re4/4^{II}- und Re4/4^{III}-Lokomotiven. In der Stirnpartie sind die beiden Führerstände mit einem festgeschweißten Führertischteil zusätzlich verstärkt. Der ausbaubare, in Blockbauweise konzipierte Tisch ist für die Montage und Verdrahtung der elektrischen Apparate leicht und handlich gebaut. *Bild 16* zeigt die Anordnung des Führertisches und der Instrumente. Die Stirnwand der Führerstände ist mit zwei großen, heizbaren Frontfenstern, die das Sonnenlicht stark reflektieren, und mit zwei kleineren Eckfenstern versehen.

Der Zugang zum Maschinenraum befindet sich für jeden Führerstand bei einer seitlich in der Rückwand angeordneten Tür. Die Rückwände sind zu Apparateschränken ausgebildet. Ein Z-förmiger, gegen die elektrischen Apparate hin abgeschrankter Gang verbindet die Führerkabinen. Mit dem Bodenrahmen sind drei große Aufbauten verschweißt, auf denen die dem jeweils entsprechenden Drehgestell zugeordneten elektrischen Apparate platziert sind. Die beiden größten und schwersten Einzelteile der elektrischen Ausrüstung, der Leistungs- sowie der Regulier-Transformator,

sind zwischen den Drehgestellen in entsprechende Wannens des Bodenrahmens eingelassen.

Der Maschinenraum steht unter leichtem Überdruck. Die dafür abgezweigte kleine Luftmenge stammt von den drei Fahrmotorventilatoren. Dabei saugt jeder einzelne die Kühlluft für je zwei benachbarte Fahrmotoren über beidseitig in den Dachrundungen eingelassene Düsenlüftungsgitter und angeschlossenen Beruhigungsraum an.

Geteilter Lokomotivkasten

Der in der Mitte geteilte Lokomotivkasten, dessen Hälften mit einem scharnierartigen Gelenk über dem mittleren Drehgestell verbunden sind, stützt sich statisch bestimmt auf die drei Drehgestelle ab. Die Teilung des Kastens und das Vorhandensein von Aufbauten über dem mittleren Drehgestell bedingen zueinander offene Kastenschalenhälften. Ein von der vorderen in die hintere Kastenschalenhälfte ragender Kragen der Kastenschale und ein innerhalb des Kragens montierter Faltenbalg schützen den Maschinenraum vor Schmutz und Bremsstaub. Das scharnierartige Kastengelenk, aufgespaltet in zwei Einzelgelenke und montiert in die seitlichen Längsträger jeder Bodenrahmenhälfte, liegt auf Zughakenhöhe. Spherilastik-Gummisilentblöcke sind als Gelenke weitgehend verschleißfrei. Da die Biegemomente der Vertikalkräfte, bedingt durch kleine Stützabstände der Kastenhälften, verhältnismäßig klein sind, wurde für die Seitenwände aus Gewichtsgründen Blech von lediglich 2 mm Dicke verwendet.

Zum Abheben der Kastenhälften bzw. des ganzen Lokomotivkastens dienen seitlich an die Längsträger des Bodenrahmens angeschweißte Tragösen. Diese Ösen sind in Längsrichtung so verteilt, daß beim Anheben auf jeder Öse die gleich große Kraft wirkt, wodurch die Kippgefahr verringert wird. Beim Abheben des ganzen Kastens wird gegenseitiges Einknicken beider Hälften durch die zusätzliche Montage von Druckklaschen im Bereich der seitlichen Längsträger des Dachs verhindert.

Einteiliger Lokomotivkasten

Der in seinem Aufbau einfachere, einteilige Lokomotivkasten ist für den wechselweisen Einbau dreier verschiedener Sekundärfedersysteme konzipiert. Dazu sind die beiden Hauptquerträger zwischen den Enddrehgestellen und dem mittleren Drehgestell für die Variante Schraubenfedern – Luftfedern – Schraubenfedern als Sekundärfedersystem zu Behältern für ein Luftzusatzvolumen von je rund 600 l ausgebildet.

Um störenden Biegeschwingungen der langen Kastenschale entgegenzuwirken und die gegenüber dem zweiteiligen Kasten größeren Biegemomente aufzunehmen, sind die Seitenwände aus 2,5 mm Blech entsprechend dicker und die seitlichen Längsträger des Bodenrahmens und des Dachs als Hohlprofile mit großem Trägheitsmoment ausgebildet. Dies ließ sich mit einer in bezug auf den zweiteiligen Kasten leicht angehobenen Fußbodenhöhe über Schienenoberkante bzw. Tieferlegung der seitlichen Maschinenraumfenster erreichen.

Der einteilige Kasten zeichnet sich insbesondere durch eine einfache Verlegung der elektrischen Kabel und der pneumatischen Rohrleitungen aus.

Integrale Luftfederung mit pneumatischem Balancier

Mit der Steigerung der Geschwindigkeit und Leistung zukünftiger Triebfahrzeuge steigen auch die Anforderungen an Laufgüte und Ausnutzung des Adhäsionsgewichtes. Höhere

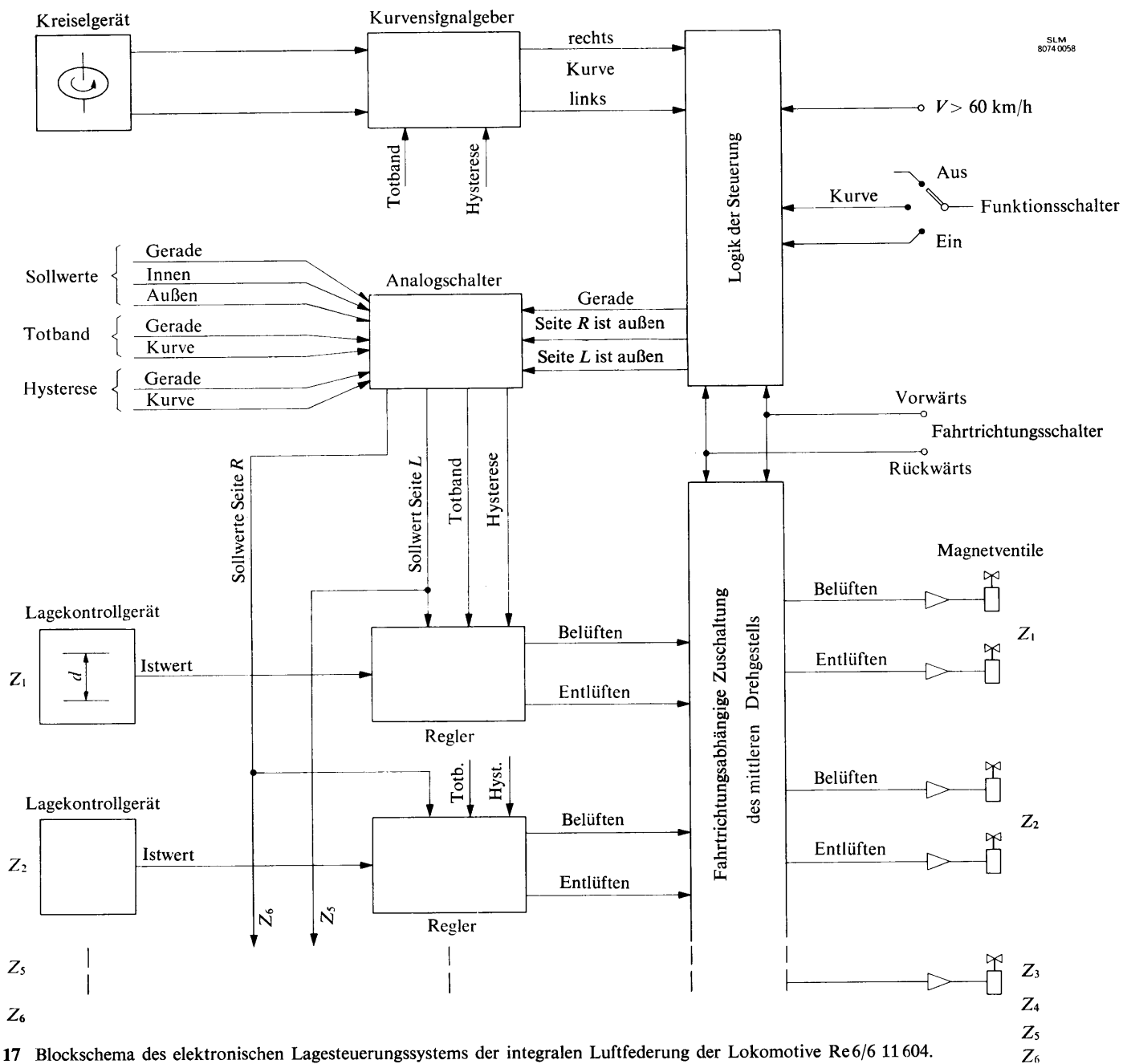
Kurvengeschwindigkeiten und größere Zugkräfte werden entsprechend größere Auslenkungen des Kastens aus seiner Normlage bewirken. Um trotzdem eine sichere Führung des Stromabnehmers am Fahrdrabt zu gewährleisten und die Achslasten innerhalb der vorgegebenen Grenzen auch bei Anwendung von mehr als zwei Drehgestellen konstant zu halten, ist es für bestimmte Anwendungsfälle nicht günstig, die Lage des Kastens weiterhin dem freien Spiel von äußeren Kräften und Federung zu überlassen. Eine Lösung dafür bietet der Übergang auf regelbare, durch einen Ausgleich verbundene Sekundärfedern zusammen mit einer geeigneten Lageregelung zum Auffangen der Störeinflüsse.

Bei der Lokomotive mit einteiligem Kasten, integraler Luftfederung und pneumatischem Balancier ist an jeder Kastenabstützstelle ein Luftfederbalg als Federelement eingebaut. In der Ruhelage beträgt die Federhöhe $H_0 = 18,4$ cm und das dabei eingeschlossene aktive Luftvolumen $V_0 = 29$ l, nach Abzug des Volumens für die eingebauten Gummifedern der Notlauf Federung und für die Lenkerverbindung des Wiegenführung-Längslenkers. Bei einem Luftdruck p_0 von 5,2 atü wird eine Stützkraft P_0 von 10000 kp erzeugt, und die Federkonstante im Arbeitspunkt $c = dP/dh$ beträgt 1113 kp/cm (Bild 11). Diese Federkonstante gilt nur im unmittelbaren Bereich des Arbeitspunktes für die abgeschlossene Luftfeder. Durch Zu- und Abführen von Luft mit der Regelung bei größeren Auslenkungen tritt etwas verzögert eine Verhärtung auf. In Querrichtung sind beide Federbälge jedes Drehgestells durch eine Druckausgleichsvorrichtung (bestehend aus Differenzdruckschalter und Magnetventil) und einer Querüberströmleitung mit Durchgangshahnen verbunden.

Die Luftfedern der linken und rechten Fahrzeugseite sind mit je einer Leitung in Längsrichtung verbunden, wobei die in Fahrtrichtung hintere Feder durch Magnetventilerregung über ein selbsttätiges Absperrventil abgetrennt wird. Diese Schaltung ergibt in Längsrichtung zwischen den Sekundärfedern des ersten vorlaufenden und des mittleren Drehgestells einen Ausgleich (pneumatischer Balancier).

Die Luftfedern lassen sich durch Belüften aus dem System des Speisedruckes p von 10 atü und Entlüften an die Umgebung steuern. Dazu dienen rein mechanisch betätigte Luftfederventile, die zu jedem Luftfederbalg der äußeren Enddrehgestelle unter dem Lokomotivkasten-Längsträger aufgehängt sind. Die mittleren Luftfedern werden mit der entsprechenden Steuerung am vorderen ersten Drehgestell über die Längsüberströmleitung gesteuert. Die Luftfederventile können elektrisch durch Erregung von Magnetventilen über Kolbenventile außer Funktion gesetzt werden. Jede Luftfeder kann zudem über zwei im Steuergerüst angeordnete Magnetventile (mit Strömungsdrossel und Schalldämpfer für die Entlüftung) auch elektrisch gesteuert werden.

Die Lage der gesteuerten Luftfeder muß dauernd überwacht werden. Bei der rein mechanisch-pneumatischen Regelung wird durch das Luftfederventil mit einer Rückführstange über die als Stellmotor wirkende Luftfeder ein geschlossener Regelkreis gebildet. Dieser Regelkreis regelt die Kastenabstützung auf konstante Höhe und gleicht Störungen selbstständig aus. Jede der vier äußeren Abstützungen ist mit dieser individuellen Lageregelung versehen. Dabei vollzieht sich über die Längsüberströmleitung ein Druckausgleich zwischen den Luftbälgen des in Fahrtrichtung vordersten und des mittleren Drehgestells. Die Luftfedern des nachlaufenden Enddrehgestells sind durch die Erregung eines Magnetventils abgetrennt.



17 Blockschema des elektronischen Lagesteuerungssystems der integralen Luftfederung der Lokomotive Re6/6 11604.

Bei der elektronischen Lageregelung setzt sich der Regelkreis wie folgt zusammen:

Der kontaktlose Weggeber (Lagekontrollgerät) mißt als Regelgröße die Federhöhe d und gibt das entsprechende Signal an das elektronische Steuergerät, wo die Regelabweichung gebildet wird, weiter. Entsprechend dieser Regelabweichung wird durch die Erregung der Magnetventile der betreffende Luftfederbalg be- oder entlüftet, bis die Störung ausgeglichen ist. Die vier Regler befinden sich in einem Gerät im Führerstand I. Die Einstellwerte der Regler (Sollwert, Totband, Hysterese) werden zentral eingegeben und gelten für alle vier Regler. Damit ist gewährleistet, daß sich alle Luftfedern gleich verhalten. Wird durch die Auslenkung des Kastens das Totband für Geradeausfahrt des Kreislergerätes überschritten, so gibt dieses ein Signal über Kurvenfahrt an das elektronische Steuergerät. Dieses Signal trifft zusammen mit dem vom Wendeschalter kommenden Fahrtrichtungssignal die Entscheidung, ob entweder die Seite R oder die Seite L der Loko-

motive auf der kurvenäußeren Seite liegt. Damit kann die Belüftung der kurvenäußeren bzw. die Entlüftung der kurveninneren Federbälge eingeleitet werden, bevor die denselben Vorgang auslösende Regelabweichung eintritt. Diese Regelung kann ganzzeitig oder nur während der Kurvenfahrt als Ergänzung der mechanisch-pneumatischen Regelung dienen. Erscheint bei der mechanisch-pneumatischen Regelung das Kreiselsignal, so wird diese umgeschaltet. In beiden Regelfällen fallen bei der Erregung der Magnetventile die Luftfederventile aus. *Bild 17* zeigt das Blockschema für die elektronische Lagesteuerung der Luftfederung.

Bremsen

Die Lokomotiven sind mit einer zweistufigen, geschwindigkeitsabhängigen Luftdruckbremse (automatisch, indirekt), mit einer Rangier- oder direkten Bremse sowie mit einer individuell auf jede Achse wirkenden Schleuderbremse aus-

gestattet. Mit der automatischen Bremse (Bauart Oerlikon), bestehend aus dem Führerbremventil FV4A und den zwei Steuerventilen LSt1 als Hauptteile, können außer der Lokomotive auch die angehängten Wagen gebremst werden. Diese Bremse ist die eigentliche Betriebsbremse. Sie tritt bei Druckabfall in der die Wagen und die Lokomotive verbindenden Hauptleitung in Aktion. Das Führerbremventil FV4A steuert den Druck in der Hauptleitung und regelt damit die Bremsstärke des ganzen Zuges. Das Steuerventil, Typ LSt1, steuert in Abhängigkeit vom Hauptleitungsdruck den Druck in den Bremszylindern der Lokomotive. Dieses ist beim Bremsen wie beim Lösen abstufbar. Mit dem Steuerventil wird auch die R- und G-Bremse ausgelöst. Die R-Bremse führt zu erhöhten Bremszylinderdrücken und damit zu einer stärkeren Bremsung im Bereich höherer Fahrgeschwindigkeiten, während bei der G-Bremse, die bei der Führung langer Güterzüge zur Anwendung gelangt, eine längere Füllzeit und damit ein langsamer Anstieg der Bremswirkung erreicht wird.

Die Rangierbremse wirkt nur auf die besetzte und bei Vielfachtraktion auch auf die mitgesteuerte Lokomotive und wird vorwiegend nur für Rangierfahrten verwendet.

Die Schleuderschutzbremse (Charmilles/BBC) kann vom Lokomotivführer oder automatisch durch die Schleuderschutzeinrichtung betätigt werden. Sie bewirkt eine rasch eintretende leichte Bremsung der Triebäder, wodurch der Schleudertendenz oder einem bereits eingetretenen Schleudern der Radsätze wirkungsvoll begegnet werden kann.

Die pneumatische Bremse und die elektropneumatischen Apparate werden von einem zweistufigen Kolbenkompressor (Typ 2A320, Fabrikat BBC) mit Luft versorgt. Das Förderolumen beträgt 42 l/s bei einem Verdichtungsdruck von 10 atü. Die Druckluft wird in vier in Serie geschalteten Hauptluftbehältern von 900 l Inhalt gespeichert, wovon je zwei unter dem Bodenrahmen und im Lokomotivkasten montiert sind. Die Wasserabscheider befinden sich unter dem Lokomotivkasten, was einen guten Abscheidungsgrad gewährleistet.

Zwei im Maschinenraum angeordnete zentrale Gerüste (Typ TUBO), ähnlich ausgeführt wie überdimensionale Ventilplatten, tragen die pneumatischen Apparate, wie Ventile, Absperrhahnen usw. Alle Dichtungen sind als O-Ringdichtungen ausgebildet, und ein schneller Austausch von beschädigten Apparaten ist möglich.

Meßfahrten, Betriebserfahrungen und Schlußfolgerungen

Die vier Prototyplokomotiven wurden im Verlauf des Jahres 1972 geliefert und anschließend eingehend erprobt. Diese Erprobung bezweckte vor allem die Messung der in Kurven unterschiedlicher Radien zwischen Rad und Schiene bei verschiedenen Geschwindigkeiten auftretenden Seitenkräfte. Ferner wurde das Adhäsions- und Fahrverhalten, insbesondere der Fahrkomfort, ermittelt. Die Messung der zwischen Rad und Schiene wirkenden Seiten- und Vertikalkräfte wickelte sich nach der bekannten Methode der SBB ab [3]. Sie führte durch schrittweise Optimierung der Fahrzeuge bezüglich der Kennwerte der Achsquerfederung sowie der Querkupplungsfederung zu guten Ergebnissen. Es zeigt sich jedoch, daß, mit Rücksicht auf eine möglichst ausgeglichene Verteilung der Radlasten in den Kurven auf die kurvenäußeren sowie kur-

veninneren Räder, der Angriffspunkt für die zwischen dem inneren und den äußeren Drehgestellen wirkende Querkupplungskraft möglichst tief angeordnet sein sollte.

Die Lokomotiven mit dem zwei- sowie dem einteiligen Kasten zeigten bezüglich der Laufeigenschaften und des Fahrkomforts gute Ergebnisse. Erwartungsgemäß schnitten die Fahrzeuge mit einteiligem Kasten besser ab.

Die auf der Strecke La Sarraz-Vallorbe mit großen Anhängelasten durchgeführten Adhäsionsversuche waren bei allen geprüften Varianten erfolgreich. Vor allem konnte nachgewiesen werden, daß die Adhäsionseigenschaften der Lokomotive mit einteiligem Kasten in allen Varianten ihrer Sekundärfederung besser sind als die der Fahrzeuge mit zweiteiligem Kasten.

Die Ergebnisse der während rund zweier Jahre durchgeführten Versuche bildeten die Grundlage für die Konzeption des mechanischen Teils der Serienlokomotiven. Obwohl die Lokomotive mit zweiteiligem Kasten durchweg zu guten Ergebnissen führte, überwogen im gesamten doch die Vorteile der einteiligen Variante, so daß diese der Serienausführung zugrunde gelegt wurde. Bezüglich der definitiven Ausbildung der Sekundärfederung war es jedoch schwieriger, die geeignete Wahl zu treffen. Zunächst wurde die relativ aufwendige integrale Luftfederung ausgeschieden, da ihre besonderen Vorteile, wie die automatische Einstellung der Kastenneigung in den Kurven, für die SBB nicht in Betracht kamen. Vor allem ist nicht vorgesehen, die Re6/6 für Fahrten mit Kurvengeschwindigkeiten einzusetzen, die die Werte der Reihe R überschreiten. Zudem besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Kastenneigung bei hohen freien Seitenbeschleunigungen durch den Einbau rein mechanischer Elemente (z. B. Wankstabilisatoren) zu begrenzen. Als endgültige Lösung für die Sekundärfederung der Serienlokomotiven wurde die integrale Schraubenfederung gewählt, die durch eine besonders einfache Konstruktion gekennzeichnet ist. Auf den Einbau einer theoretisch weitestgehend optimal wirkenden Sekundärfederung mit Schraubenfedern über den äußeren Drehgestellen und einer besonders weichen Luftfederung über dem mittleren Drehgestell wurde verzichtet. Diese Lösung ergab gegenüber der endgültig gewählten Variante nahezu dasselbe Adhäsionsverhalten der Lokomotive.

Ende Februar 1973 erteilten die SBB der SLM eine Bestellung für die Lieferung der mechanischen Teile von 45 Re6/6-Serienlokomotiven. Die Ablieferung der Fahrzeuge (elektrischer Teil: BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie.) wird sich innerhalb von zwei Jahren vollziehen und bis 1977 abgeschlossen sein. Diese Lokomotiven werden die Kapazität der schweizerischen Alpentransversalen erheblich steigern.

Literatur

- [1] Die elektrische Lokomotive Re4/4^{II} der Schweizerischen Bundesbahnen und die bei der Entwicklung für den mechanischen Teil aufgetretenen Probleme. SLM Technische Mitteilungen, April 1971.
- [2] Die meterspurigen Einphasen-Wechselstrom-Lokomotiven von 2400 PS Leistung, Serie Ge6/6, Achsfolge Bo'Bo'Bo', Nr. 701 und 702, der Rhätischen Bahn. SLM Technische Mitteilungen, November 1958.
- [3] WEBER, H.H.: Schnelleres Befahren von engen Gleisbogen durch elektrische Triebfahrzeuge unter spezieller Berücksichtigung der Kräfte zwischen Rad und Schiene. Glasers Annalen, Bd. 94, Februar/März 1970, H. 2/3.