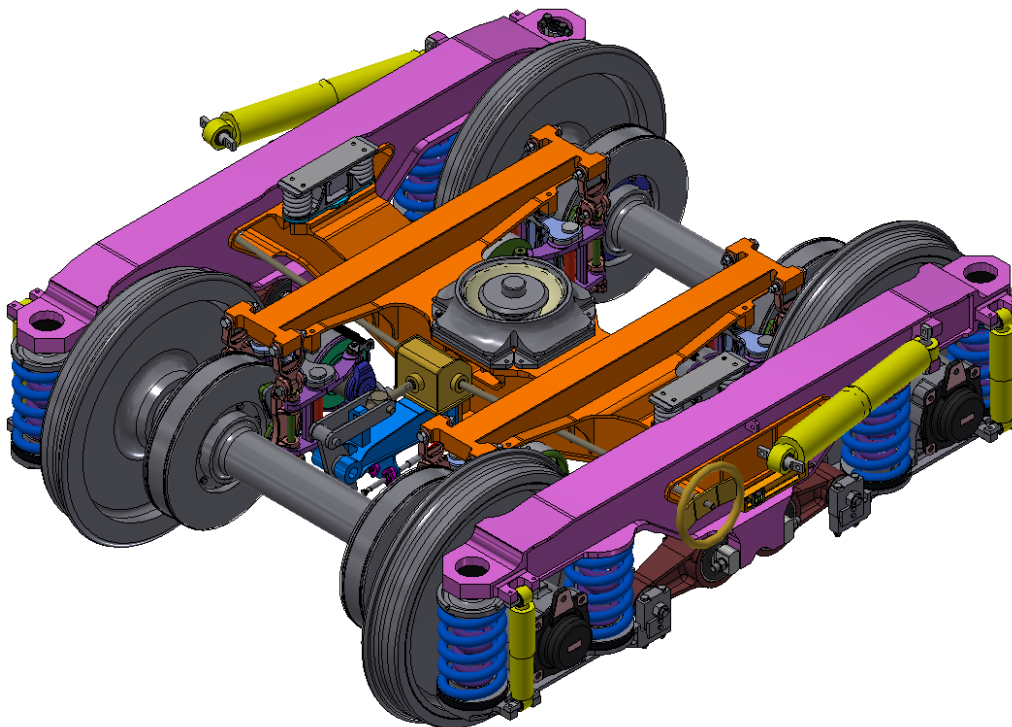


Drehgestellentwicklung Formica 25 UNI

Technischer Bericht

Bericht



17.164.00 – SWISS RAIL Solution AG
FORMICA 25

Erstellt	Geprüft	Freigegeben		
T. Döring	R. Trachsler	A. Burth		
Dokumentnummer	Ausgabedatum	Revision	Revisionsdatum	Status
01-03-00179	03.03.2020	0.00	03.03.2020	Released

PROSE AG

Zürcherstrasse 41
8400 Winterthur
Schweiz

www.prose.one

Tel +41 52 262 74 00
Fax +41 52 262 74 01
info.winterthur@prose.one

Verteiler

Firma/Abteilung/Name	Bemerkungen

Revisionsindex

	Ersteller	Prüfer	Freigebender	Datum
01-03-00179	T. Döring	R. Trachsler	A. Burth	03.03.2020
Rev.				
Rev.				
Rev.				
Rev.				
Rev.				

Modifikationen

Revision	Beschreibung

Dieses Dokument gibt Kenntnis von Gegenständen, an denen die PROSE AG, 8400 Winterthur (Schweiz), oder eines ihrer Tochterunternehmen 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.

Dieses Schreiben wurde maschinell erstellt und ist ohne Unterschrift gültig.

Inhalt

1	Dokumentenverzeichnis	4
1.1	Standards und Normen.....	4
2	Einleitung.....	5
2.1	Aufgabenstellung	5
2.2	Projektumfang und Ziele.....	5
2.3	Zulassungskonzept	6
2.4	Beschreibung Konzept/Design Lösung.....	7
2.5	Radsatz	8
2.6	Bremskomponenten	9
2.7	Primärfederstufe	10
2.8	Sekundärfederstufe	12
2.9	Drehgestellrahmen.....	14
2.10	Schnittstellen zum Wagenkasten	15
3	Zusatzausrüstung	15
3.1	Gleitschutz	15
3.2	Bremslastventil	16
3.3	Achsgenerator.....	16
4	Lauftechnik	17
4.1	Laufstabilität.....	22
4.2	Lauftechnische Eigenschaften	22
5	Festigkeit	22
5.1	Drehgestellrahmen.....	22
5.2	Achslagergehäuse.....	22
6	Zulassungskonzept	22
7	Lärm und Verschleiss	23
8	Instandhaltung	24
9	Lieferanten.....	25
9.1	Radsatz	25
9.2	Bremsen.....	25
9.3	Radsatzlager.....	25
9.4	Gummi-Metall-Elemente	25
9.5	Schwingungsdämpfer	26
9.6	Weitere.....	26
	Fazit	26
10	26	

1 Dokumentenverzeichnis

1.1 Standards und Normen

- [1] *Alstom LHB GmbH: Schlussbericht Forschungsprojekt Low Emission Bogie LEMBO, Salzgitter, März 2004.*
- [2] *Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile, 6. Auflage, Forschungskuratorium Maschinenbau, Frankfurt am Main, 2012.*
- [3] *UIC 510-1, Wagons Running Gear Normalisation, 9th edition, 1.1. 78*
- [4] *DVS 1612, Gestaltung und Dauerfestigkeitsbewertung von Schweissverbindungen mit Stählen im Schienenfahrzeugbau, Deutscher Verband für Schweißen und Verwandte Verfahren E.V., August 2014.*
- [5] *EN 13749:2005, Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Festlegungsverfahren für Festigkeitsanforderungen an Drehgestellrahmen, Europäisches Komitee für Normung, März 2011*
- [6] *EN 12663-1:2010+A1; Bahnanwendungen - Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von Schienenfahrzeugen - Teil 1: Lokomotiven und Personenzüge (und alternatives Verfahren für Güterwagen)*
Europäisches Komitee für Normung, Dezember 2014
- [7] *EN ISO 3095 :2013, Akustik - Bahnanwendungen Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen (ISO 3095:2013); Deutsche Fassung EN ISO 3095:2013*
- [8] *EN 13979-1:2017-03 Entwurf: Bahnanwendungen - Radsätze und Drehgestelle - Vollräder - Technische Zulassungsverfahren - Teil 1: Geschmiedete und gewalzte Räder; Deutsche und Französische Fassung prEN 13979-1:2017*
- [9] *BMVI Forschungsprojekt: www.innovativer-Gueterwagen.de, 2017-2019 bei dem PROSE Typentests und Akustikmessungen auf der Geraden und im Bogen durchgeführt hat.*
- [10] *DIN 7190-1:2017-02 Pressverbände - Teil 1: Berechnungsgrundlagen und Gestaltungsregeln für zylindrische Pressverbände*
- [11] *DIN EN 13261:2011 Bahnanwendungen - Radsätze und Drehgestelle - Radsatzwellen - Produktanforderungen; Deutsche Fassung EN 13261:2009+A1:2010*
- [12] *EN 13103-1:2019-02, Bahnanwendungen - Radsätze und Drehgestelle - Teil 1: Konstruktionsleitfaden für außengelagerte Radsatzwellen; Deutsche Fassung EN 13103-1:2017*
- [13] *EN 14363:2016 - Bahnanwendungen – Versuche und Simulationen für die Zulassung der fahrtechnischen Eigenschaften von Eisenbahnfahrzeugen – Fahrverhalten und stationäre Versuche*

2 Einleitung

2.1 Aufgabenstellung

Mit dem Projekt Formica 25 UNI hat sich Swiss Rail Solution zum Ziel gesetzt, eine modernes und innovatives Güterwagendrehgestell zu entwickeln, welches Verbesserungen im Güterverkehr auf der Schiene bringen soll.

Das Konzept des Formica 25 UNI (UNI = universell einsetzbar) soll einen aussengelagerten Drehgestellrahmen haben und soll ein vollwertiger Ersatz für die weitverbreiteten Y25 Lösungen sein. Gleichzeitig soll es bezüglich Lärm und Verschleiss deutlich besser sein, sowie eine geringere LCC Kosten bei hohen Laufleistungen haben.

2.2 Projektumfang und Ziele

Nachfolgend sind die gesetzten Projektziele im Detail aufgelistet.

Anforderung	Formica 25 UNI
Gewicht:	Zielgrösse: 5000 kg
Höchstgeschwindigkeit:	120 km/h bei 22.5t Achslast; 140 km/h bei 18t Achslast
Kosten je Drehgestell	Max. 35'200.- CHF
Instandhaltungsintervall für IS2	1'000'000 km
ROI vs. Y25 mit Scheiben- / Klotzbremse	100'000 km/a : 2.4 / 77.0 200'000 km/a : 1.2 / 54.9
Gleitschutzsystem:	Vorhanden
Raddämpfung:	Räder mit geradem Steg und SYOPE-Beschichtung
Fahrt Gleisbogen / Entgleisungssicherheit:	Hydraulisches Achslenkerlager ermöglicht stabilen Lauf und radiale Einstellbarkeit der Räder Entgleisungsdetektoren
Diagnosesysteme (Sensorik / Telematik):	Achsgeneratoren für Stromversorgung, Telematik und Sensorik nach Kundenwunsch
Lärmpegel	Vorbeifahrpegel eines Güterwagens mit den neuen Drehgestellen: - $L_{pAeq,apl} = 79 \text{ dB(A)} + 10 \cdot \log(apl/0.225)$.

Tabelle 1: Zielsetzung für Formica 25 UNI

2.3 Zulassungskonzept

Mit den Formica 25 UNI soll beim BAV eine Zulassung nach TSI WAG und TSI NOI erwirkt werden. Aufbauend auf der bereits vorhandenen TSI Zulassungen der Güterwagen mit Y25 Drehgestellen können weitere Güterwagentypen über sogenannte Deltazulassungen umgerüstet und in Betrieb gesetzt werden. Das Ziel ist es, Wagen mit dem Formica 25 UNI ohne weitere Hürden in Europa zuzulassen und uneingeschränkt betreiben zu können.

Die bestehenden Y25 Drehgestelle können gemäss Bericht LEMBO [1] die heutigen Anforderungen einer Zulassung nicht mehr vollständig erfüllen, geniessen aber einen Bestandsschutz, da sie seit Jahrzehnten erfolgreich im Einsatz sind. Da es sich bei den Formica 25 UNI Drehgestellen um eine Neuentwicklung handelt, müssen natürlich auch alle normativen und gesetzlichen Anforderungen erfüllt werden.

Engineering

2.4 Beschreibung Konzept/Design Lösung

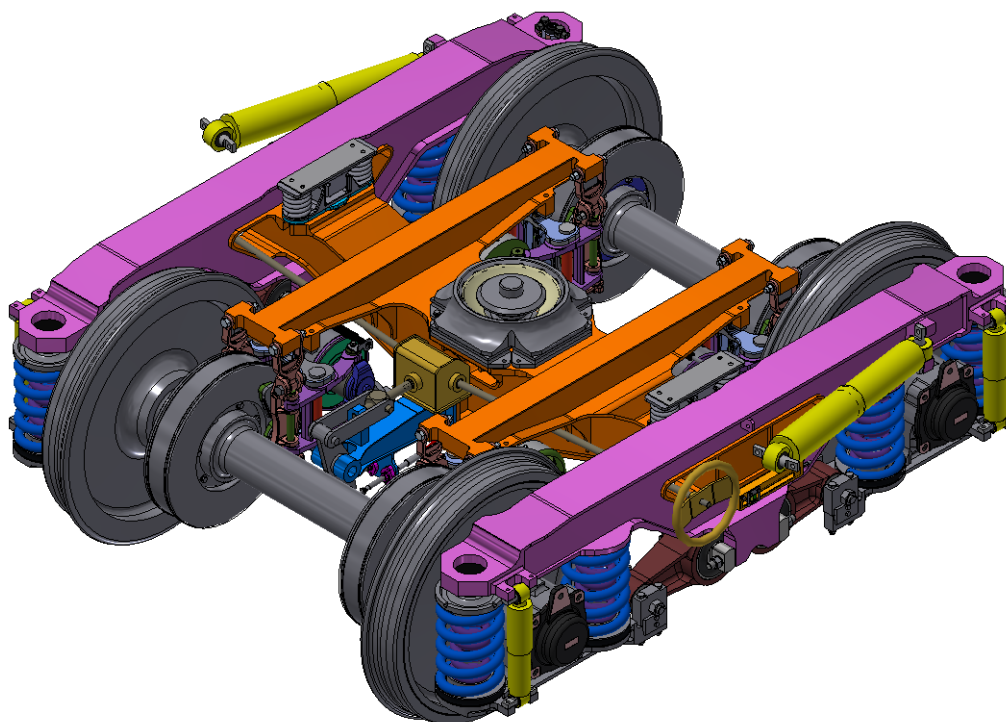


Abbildung 2-1: Komplettes Drehgestell

Da die Funktionalität und die Schnittstellen des bestehenden Y25 sehr starke restriktive Vorgaben auferlegen, konnten die einzelnen Systeme nicht getrennt bearbeitet werden. Umso wichtiger war die Erarbeitung eines Drehgestell-Konzeptes, das das System gesamtheitlich abbildet.

In den folgenden Kapiteln werden die Teilsysteme einzeln beschrieben, ausgehend von der unteren Schnittstelle zum Gleis, bis zur oberen Schnittstelle zum Wagenkasten.

Die meisten Güterwagen in Europa sind heute mit Drehgestellen nach dem Y25-Prinzip ausgestattet. Entsprechend gibt es von den Y25 heute viele verschiedene Ausführungen und Varianten und deshalb gibt es auch eine Vielzahl von Schnittstellen. Es wurde entschieden, das Formica 25 UNI auf die Standard-Drehpfannenhöhe von 925 mm zu konstruieren, da damit die meisten Anwendungen abgedeckt werden können.

Durch die Kompatibilitätsvorgaben und die Betriebs- und Einsatzbedingungen des Drehgestells sind die möglichen Stellschrauben, mit denen die Laufstabilität des Drehgestells optimiert werden könnte, relativ begrenzt. Dazu kommt die Eigenschaft, dass immer das "schwächste Glied" die Instabilität auslöst.

Die wichtigste Baugruppe des Drehgestells für die Zielerreichung der Laufeigenschaften ist die Primärfederstufe. Diese wurde in der Konzeptphase nochmals von Grund auf analysiert. Der Entscheid fiel am Ende auf ein klassisches Achslagergehäuse, welches über einen gummigelagerten Lenker für die Längs- und Querverführung angelenkt wird. Die Vertikalfederung wird mittels zweier identischer Schraubendruckfeder - Pakete realisiert, welche eine annähernd gleiche Federkennlinie wie beim Y25 aufweisen. Damit wird in allen Beladungszuständen ein sicherer Betrieb gewährleistet. Eine zusätzliche Gummischichtfeder unter den Federpaketen bewirkt eine Schallentkopplung und reduziert den auf die Schraubendruckfedern wirkenden Querweg. Zusätzlich verfügt die Primärstufe über einen hydraulischen Dämpfer, da Reibelemente wie beim Y25 aus Lärm- und Verschleissgründen nicht mehr zeitgemäss sind. Insgesamt erfolgt in der Primärstufe keine reibende Führung oder Dämpfung.

Die Sekundärstufe ist bei einem Y25 nur minimal vorhanden und im gleichen Moment das schwächste Glied für die Sicherstellung der Laufstabilität!

Die lauftechnischen Simulationen haben jedoch auch gezeigt, dass trotz den primärseitigen Massnahmen die Laufstabilität bis zu den geforderten Geschwindigkeiten rechnerisch nicht nachgewiesen werden konnte. Deshalb ist die Möglichkeit des Einsatzes von Drehdämpfern in der Geradeausfahrt vorgesehen. Die endgültige Notwendigkeit der Dämpfer und für welche Fahrgeschwindigkeiten diese wirklich nötig sind, muss in Messfahrten nachgewiesen werden.

2.5 Radsatz

Es wird angestrebt, einen existierenden Radsatz eines etablierten Herstellers zu beschaffen, der auch schon die nötigen Zertifikate hat.

Die Räder sind aus Gründen der besseren akustischen Eigenschaften mit einem geradem Radsteg ausgestattet (Abbildung 2-1). Entgegen den heute üblichen Rädern mit geschwungenem Radsteg, die durch die Verwendung von Klotzbremsen nötig sind.

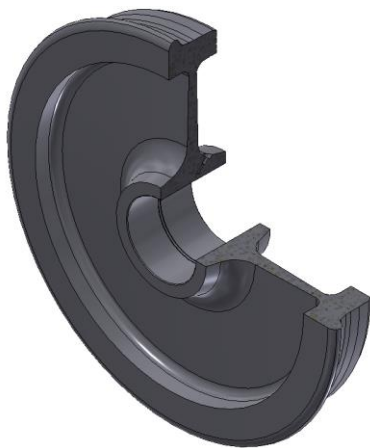


Abbildung 2-2: Rad mit gerader Radscheibe

Zwischen den beiden Rädern sind zwei Wellenbremsscheiben angebracht. Die Bremsscheiben-Nabe ist auf die Wellensitze aufgedrückt, die Scheiben sind mit der Nabe verschraubt. Die Verwendung von getrennten Scheiben ermöglicht einen Wechsel ohne Raddemontage.

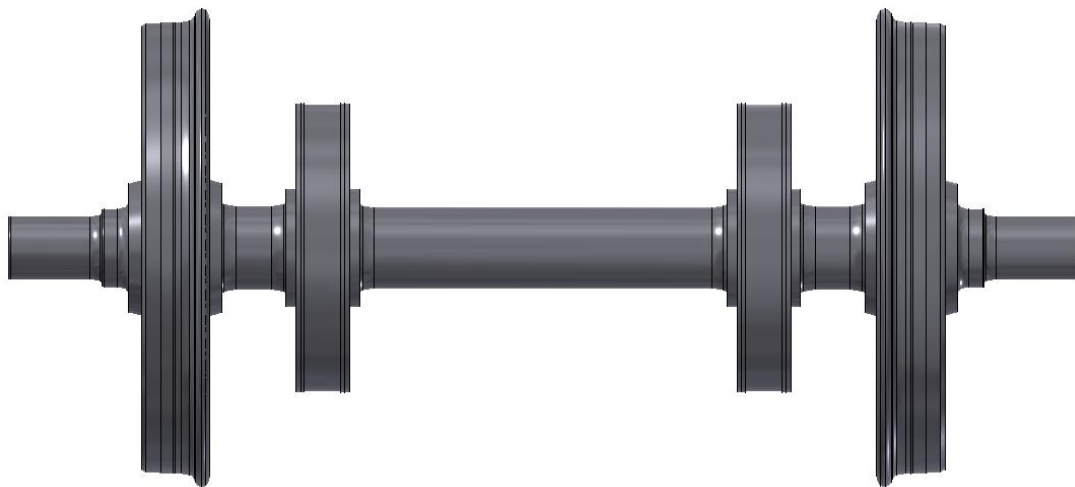


Abbildung 2-3: Radsatz mit Anordnung der Bremsscheiben

Die Radsatzlager haben dieselben Dimensionen wie klassische Y25-Radsätze. Die Lagerdimensionen für das Y25 sind nach UIC-510-1 [3] vorgegeben.

Im Formica 25 UNI wird die Verwendung eines Kegelrollenlagers statt ein Zylinderrollenlagers in Betracht gezogen. Dies hat Vorteile bezüglich des Querspiels, jedoch ist es teurer in der Anschaffung und im Unterhalt. Auch sind die Unterhaltswerke für Güterwagen noch nicht ausgerüstet für Kegelrollenlager.

Der Entscheid konnte in der Konzeptphase noch nicht getroffen werden. Da die Dimensionen beider Lager identisch sind, hat dieser Entscheid jedoch keinen direkten Einfluss auf das Konzept.

2.6 Bremskomponenten

In der Konzeptphase hat sich die Evaluation der Bremsen als herausfordernder als erwartet gezeigt. Hauptgründe dafür:

- Ein Güterwagendrehgestell mit Scheibenbremsen ist eine Rarität und bedeutet bei der Erstellung der Anforderungen und der Erstellung der technischen Spezifikation die Berücksichtigung von vielen neuen Aspekten.
- Die Lieferanten von Bremssystemen haben keine Standardlösung für den Einsatz von Scheibenbremsen in Güterwagen.
- Die höhere Geschwindigkeit bis 140 km/h bei Güterwagen wurde bislang noch nicht angewendet.
- Die ursprüngliche Vorstellung, dass alle Bremskomponenten im Drehgestell angebracht werden können und es am ursprünglichen Luftanschluss des Wagenkastens angeschlossen wird, hat sich als nicht realistisch erwiesen.

Im Drehgestell werden, wie schon von Beginn an vorgesehen, je zwei Bremszangen pro Radsatz installiert, also vier Bremszangen und vier Bremsscheiben pro Drehgestell. Diese sind hängend am Rahmen befestigt, es werden aber weiterhin noch andere Anschlussmöglichkeiten geprüft.

Für jeden Radsatz ist vorgesehen, eine Bremszangeneinheit mit Handbremse auszurüsten. Wenn nötig, können dadurch alle Achsen blockiert werden. Im Zugverbund wird dies nicht nötig sein, die Handbremskomponenten würden in diesem Falle nicht in allen Drehgestellen installiert werden.

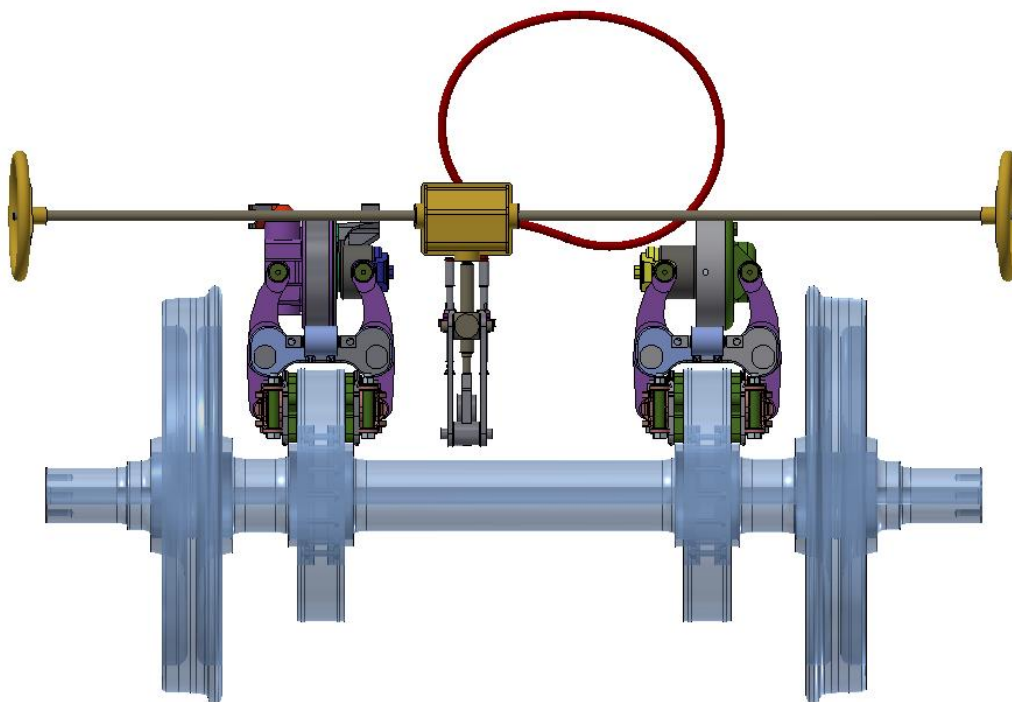


Abbildung 2-4: Bremskomponenten im Drehgestell für einen Radsatz

Die Anpassungen für das Bremssystem ausserhalb des Drehgestells werden in Kapitel 3.1 beschrieben.

2.7 Primärfederstufe

Die Primärfederstufe hat sich in der Konzeptphase als grösste Herausforderung erwiesen. Diese muss in einem Y25-kompatiblen System mehrere Funktionen übernehmen. In einem klassischen Personenwagendrehgestell gibt es eine primäre und eine sekundäre Federstufe, was die Trennung der Funktionen ermöglicht. In einem Y25-System gibt es jedoch keine klassische Sekundärfederstufe, da die Ausdrehung über die Drehpfanne erfolgt und diese in vertikaler Richtung als starr angenommen wird. Die seitlichen Gleitelemente dienen im Wesentlichen der Abstützung.

Damit die Funktionalität kompatibel zum Y25 bleibt, wurde entschieden, ein Achslagergehäuse mit zwei identischen Federpaketen zu verwenden. Diese Federpakete bestehen aus zwei linearen Schraubendruckfedern, die ineinander stehen. Durch verschiedene Längen der Federn ergibt sich eine progressive Federkennlinie, da die steifere innere Feder erst zu einem späteren Zeitpunkt in den Eingriff kommt.

Unter dem Federpaket wird eine Gummischichtfeder als Körperschall-Entkopplungselement eingesetzt, eine klassische Lösung, um unerwünschte Rad-Schiene-Störungen von den Federn und vom Rahmen fern zu halten.

Das Achslagergehäuse nimmt das Radsatzlager auf, und bildet Auflageflächen für die Federpakete, Anschlussstelle für den Achslenker, die primäre Abhebesicherung, den Anschluss für den primären Vertikaldämpfer sowie die Schnittstelle zum Lagerdeckel. An diesem können dann auch verschiedene Ausrüstungen montiert werden.

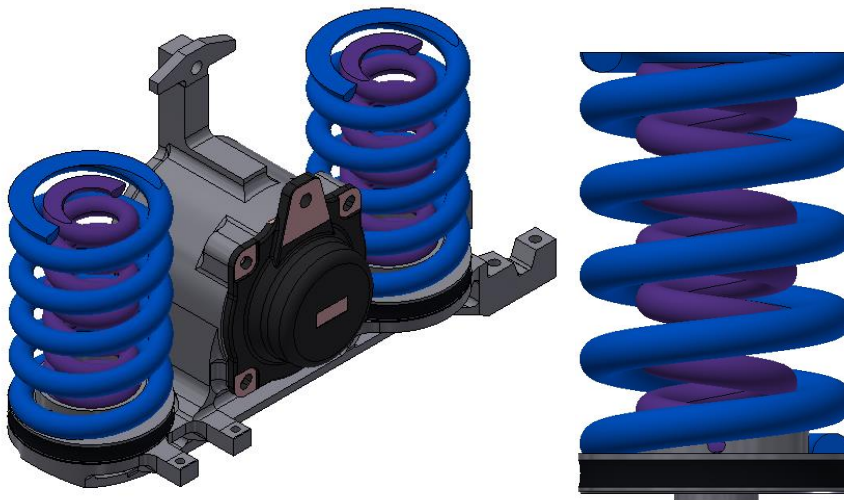


Abbildung 2-5: Achslagergehäuse komplett mit Federn und einzelnes Federpaket mit Gummischichtfeder

Der Dämpfer ist nicht mittig zwischen den Federpaketen angeordnet, was zu einem leichten "kippen" des Lagergehäuses führen kann. Die Berechnungen haben aber gezeigt, dass dies nicht gravierend ist, gegenüber den Vorteilen des zugänglichen Achslagerdeckels.

Die Achsführung wird mittels eines Lenkers von ca. 300 mm Länge realisiert. Dieser ist an den Enden mit je einer unterschiedlichen Gummibuchse ausgestattet, damit die konzeptbedingte Kinematik realisiert werden kann. Auf der Drehgestellseite besteht das Lager aus einem klassischen Achslenkerlager (ALL) mit Aussendurchmesser 190 mm. Dieses Lager kann auch durch ein modernes hydraulisches Achslenkerlager (HALL) ersetzt werden, welches eine weichere Führung der Radsätze in Längsrichtung bei niedrigen Geschwindigkeiten ermöglicht.

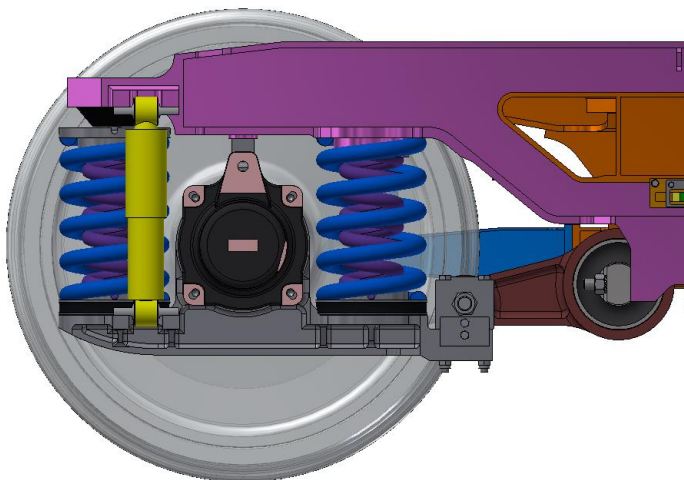


Abbildung 2-6: Komplette Primärfederstufe

Der Anstellwinkel des Lenkers wurde auf eine radiale Einstellbarkeit des Radsatzes hin optimiert. Somit wird der Radsatz in Kurven unter Vertikal-Dynamik kurvenfreundlich angesteuert. Unnötiger Lärm und Rad-Schiene-Kräfte werden reduziert.

Position von Federpaketen und Dämpfer verunmöglichen eine Verwendung von identischen Lagergehäusen auf der rechten und linken Seite. So wird also eine rechte und eine linke Version des Achslagergehäuses zu fertigen sein. Für die Prototypen werden diese vermutlich aus dem vollen Material gefräst, für eine Serienproduktion muss eine Gusslösung angestrebt werden.

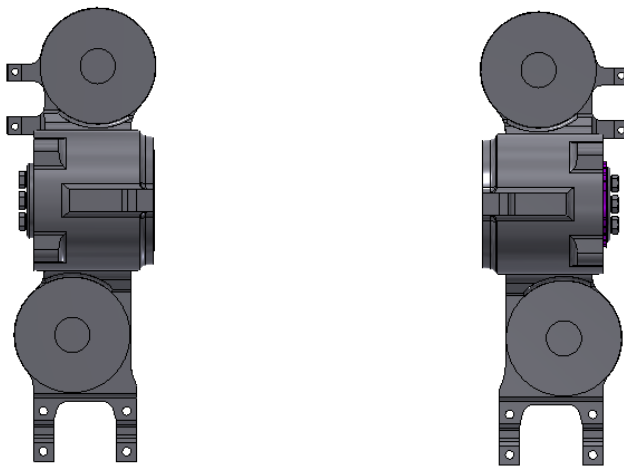


Abbildung 2-7: Rechte und Linke Ausführung des Achslagergehäuses

2.8 Sekundärfederstufe

Analog zu einem Y25-Drehgestell ist die Sekundärfederstufe sehr begrenzt. Grundsätzlich handelt es sich dabei um eine mittige Drehpfanne, die starr angebracht ist und nur den Freiheitsgrad der Ausdrehung hat. Seitlich gibt es Gleitelemente, welche über wenige mm Luft zwischen dem Gegenstück auf dem Wagenkasten und dem Drehgestell haben. Nach 12 mm Federweg geht dieses Element in den Hartanschlag.

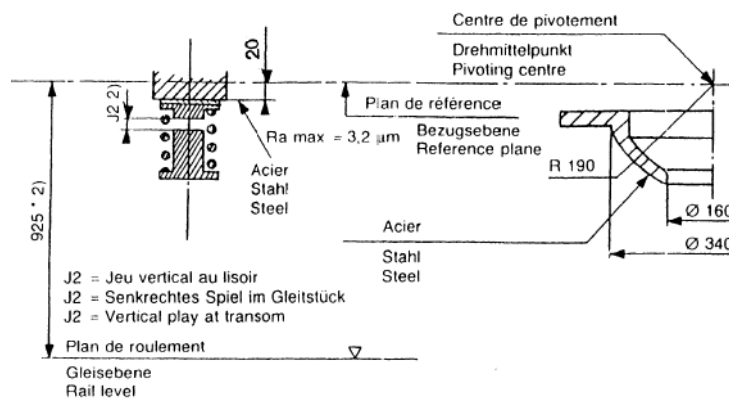


Abbildung 2-8: Definition der Schnittstelle nach UIC 510-1

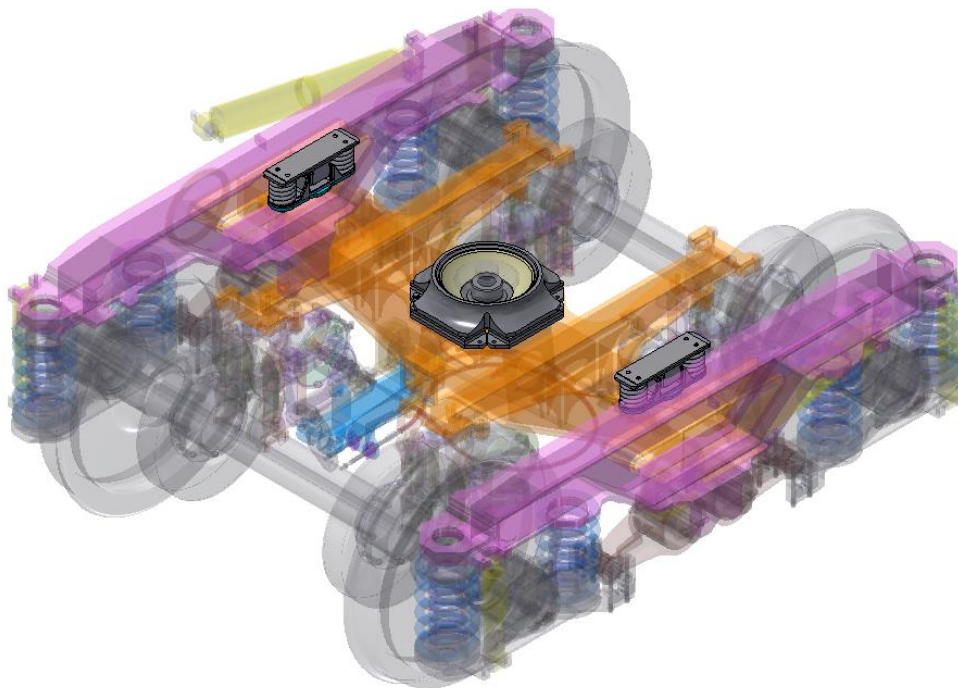


Abbildung 2-9: Platzierung der Sekundärstufe im Drehgestell

Um die Laufstabilität beim Formica 25 UNI zu erhöhen, wurde die Sekundärfederung etwas erhöht: Die Drehpfanne wurde mit Gummielementen unterlegt, damit eine definierte Verschiebung in Querrichtung möglich ist. Erst die Analysen zu einem späteren Zeitpunkt werden zeigen, wie notwendig die Gummielemente tatsächlich sind. Sollte sich herausstellen, dass diese den erwarteten Mehrwert nicht bringen, dann würden sie weggelassen.

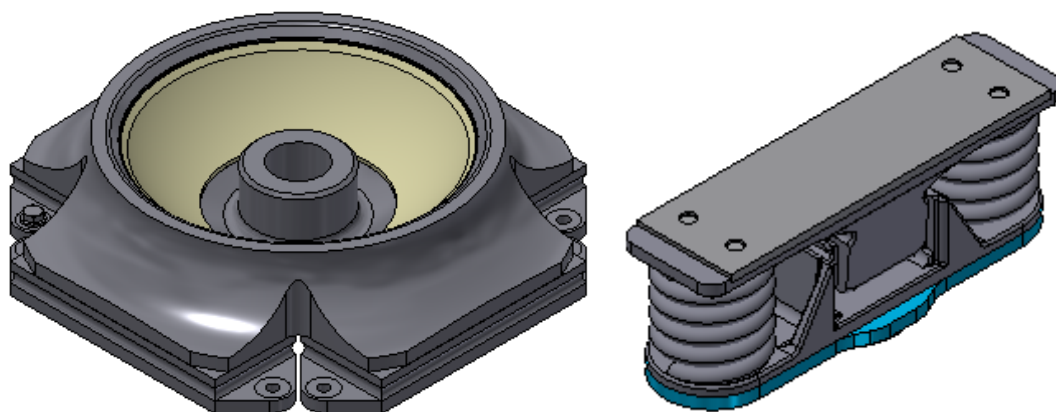


Abbildung 2-10: Drehpfanne und seitliches Gleitstück

Die lauftechnischen Untersuchungen haben eine Labilität um die Hochachse aufgezeigt. Um die Stabilität in diesem Bereich zu erhöhen, wird die Verwendung eines Schlingerdämpfers pro Seite vorgesehen. Der Dämpfer ist hydraulisch so ausgelegt, dass er nur auf den Geraden Kräfte aufbaut, in den Kurven aber weitgehend ausgeschaltet ist. Die Montage erfolgt zum aktuellen Stand an den Langträger sowie am Wagenkasten. Die verschiedenen Wagenkästen werden jeweils eine individuelle Lösung benötigen.

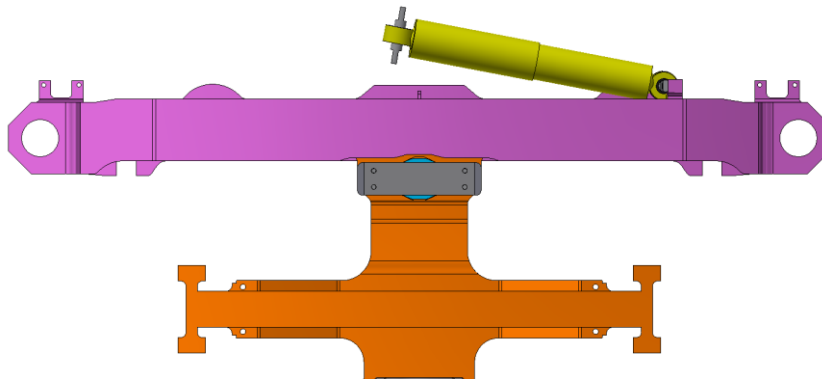


Abbildung 2-11: Schlingerdämpfer

2.9 Drehgestellrahmen

Der Rahmen besteht aus einem geschweissten H-Rahmen mit zwei Langträgern in Kastenform und einem Querträger ebenfalls in Kastenform. Zum jetzigen Stand wird der Querträger durch die Längsträger gesteckt und verschweisst.

Auf den Querträgern sind die Supporte angeschweisst, woran die Bremszangeneinheiten fixiert sind.

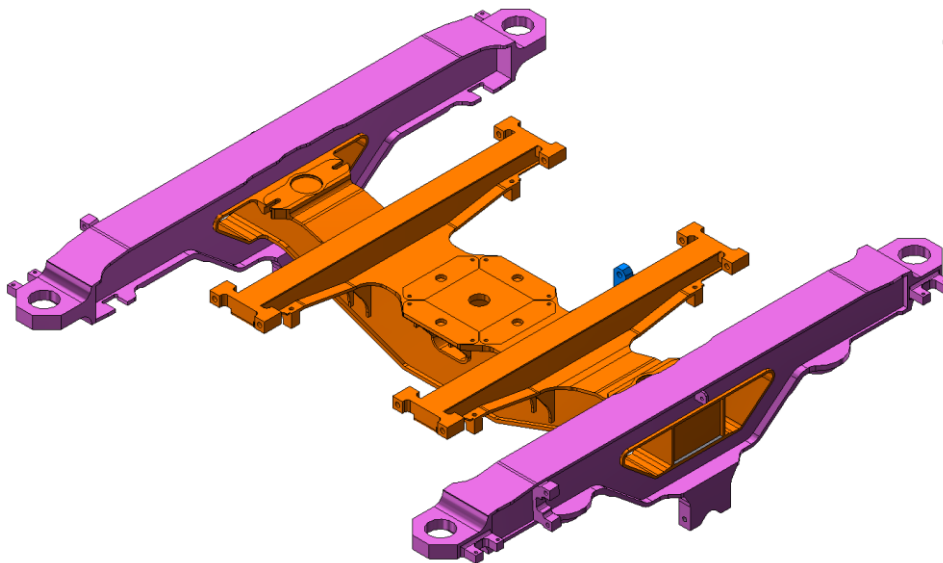


Abbildung 2-12: Drehgestellrahmen

Der Rahmen ist so konzipiert, dass der komplett geschweisste Rahmen nicht bearbeitet werden muss. Die benötigten bearbeiteten Stellen werden vorgängig im Einzelteil bearbeitet und danach mit Lehren geometrisch genau eingeschweisst.

Während der Konzeptphase wurden auch alternative Lösungen für den Rahmen in Betracht gezogen (z.B. Stahlgusskomponenten). Mit der kurzen Entwicklungszeit und den kleinen Stückzahlen für den Prototyp wurde diese Lösung nicht weiterverfolgt.

Ein offener Längsträger (Doppel-T-Träger) wurde auch überprüft. Diese Bauart weist aber eine zu tiefe Torsionssteifigkeit auf, was die Schweißnähte massiv überbelastet hätte.

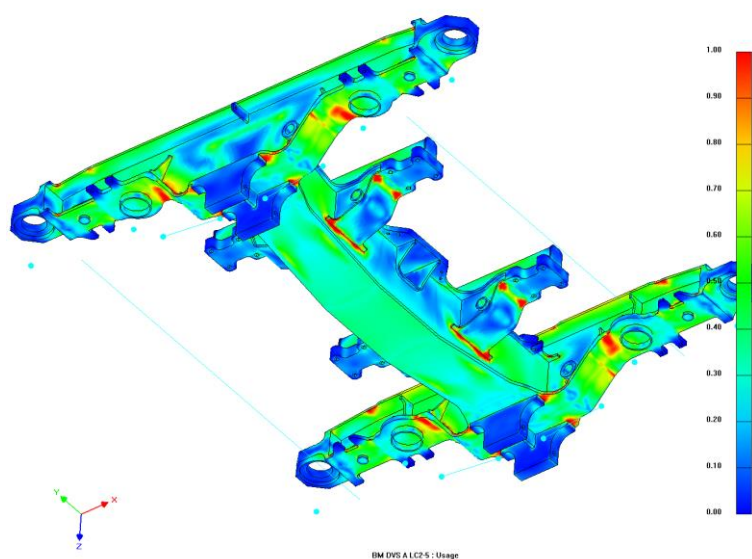


Abbildung 2-13: Versuch die Längsträger als Doppel-T-Träger im Ermüdungslastfall

2.10 Schnittstellen zum Wagenkasten

Wie schon oben beschrieben (siehe Abbildung 2-10), besteht die wichtigste Schnittstelle zum Wagenkasten in der Drehpfanne. Diese wird auf gleiche Weise bedient wie im Y25, evtl. jedoch mit einem etwas längeren Bolzen für die Befestigung / Anhebesicherung.

Die seitlichen Gleitstücke wurden von PROSE so optimiert, dass sie kein Längsspiel haben (Y25 hat 1-2 mm), denn dies wäre unvorteilhaft für die Laufstabilität.

Die Luftanschlüsse für die Versorgung der Bremsen ist eine weitere Schnittstelle. Wegen den Scheibenbremsen (insbesondere in Kombination mit Gleitschutz) müssen diese am Wagenkasten angepasst werden.

3 Zusatzausrüstung

Unter Zusatzausrüstungen fallen Komponente und Systeme, die im Baukastenprinzip beim Drehgestell verbaut werden können, jedoch in der Standardversion nicht vorhanden sind. Diese haben zwar grosse Vorteile könnten aber die Attraktivität im Markt senken (durch z.B. Mehrgewicht, Mehrkosten, etc.).

3.1 Gleitschutz

SWISS Rail Solution hat sich beim Drehgestell zum Ziel gesetzt, bei Scheibenbremsen nicht nur die normativen Anforderungen einzuhalten (dann wäre bis 120 km/h nicht zwingend ein Gleitschutz nötig), sondern die Möglichkeit zu bieten, einen Gleitschutz auch bei tieferen Geschwindigkeiten einzusetzen zu können. Dies soll als Option möglich sein damit Flachstellen, welche erheblichen Lärm verursachen, weitgehend vermieden werden können.

Bei der Verwendung eines Gleitschutzes werden zusätzliche Komponenten benötigt, die in einem klassischen Y25 mit Klotzbremse nicht vorhanden sind:

- Sensor am Radsatzende für Detektion der Blockierung (Polrad)
- Gleitschutzrechner

- Zusätzlicher Luftbehälter
- Ventil für Gleitschutz
- Stromversorgung für Gleitschutzrechner

Da die Platzverhältnisse im Drehgestell limitiert sind, müssen gewisse Komponenten des Bremssystems im Wagenkasten untergebracht werden. Das Bremssystem kann also in zwei Teile aufteilt werden:

- Drehgestellseitig: Bremsscheiben, Bremszangeneinheiten, Handbremse inkl. Handrad, Gleitschutzsensor
- Wagenkastenseitig: Bremsventil, Gleitschutzrechner, Stromversorgung (Speicherung), Zusatzluftbehälter, Gleitschutzventil

Die Schnittstelle zwischen Wagenkasten und Drehgestell ist bei der Sekundärstufe, wo auch bei klassischen Drehgestellen die Luftanschlüsse liegen.

Alternativ zum Gleitschutz könnte evtl. auch ein Blockierschutz in Betracht gezogen werden.

3.2 Bremslastventil

Damit die Bremskraft abhängig von dem Beladungszustand geregelt werden kann, ist es vorgesehen, mindestens ein Lastventil pro Drehgestell einzusetzen. Dieses liegt in Serie zu einem Primärfederpaket. Es wird auch in Betracht gezogen, mehrere Lastventile einzusetzen, um eine eichfähige Wiegeeinheit zu realisieren.

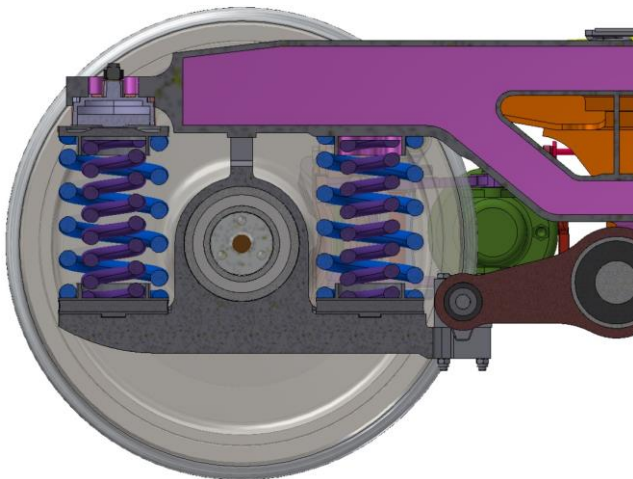


Abbildung 3-1: Bremslastventil in Primärstufe

3.3 Achsgenerator

Eine wichtige Komponente ist der Stromgenerator. Dieser ist relativ klein ausgelegt und dient der Energieversorgung für den Gleitschutz oder weitere Komponenten, die elektrisch gespeisen werden (z.B. Positionierungssystem, oder elektrische Kupplung).

Für die Stromerzeugung gibt es verschiedene Ansätze, wie z.B. Komponenten, die im Lagerdeckel installiert werden und mit der drehenden Achse verbunden sind oder solche, welche stromerzeugende Elemente im Lager selber integriert haben. Diese sind austauschbar und integrierbar, darum ist hier die Auswahl in der Konzeptphase noch nicht abgeschlossen.

4 Lauftechnik

Wesentliche Anforderungen aus dem Bereich der Lauftechnik sind ein sicherer und stabiler Lauf sowie eine nicht übermässige Fahrwegbeanspruchung. Für eine Zulassung muss das Drehgestell die Grenzwerte der einschlägigen Normen zwingend erfüllen. Darüber hinaus soll das Formica 25 UNI-Drehgestell gegenüber bestehenden Lösungen Vorteile hinsichtlich Lärm und Verschleiss aufzeigen.

Dabei werden die Lauftechnischen Eigenschaften des Drehgestells mit Hilfe einer sogenannten Mehrkörpersimulation (MKS) untersucht.

4.1 Laufstabilität

Die Laufstabilität wird durch das Zusammenwirken des Eigenschwingverhaltens des gesamten Waggons und der Anregung durch den Rad-Schiene-Kontakt bestimmt. Ab einem bestimmten Geschwindigkeitsbereich fällt das dynamische System in eine Bewegungsform mit erhöhten Schwingungen, die erst wieder abklingt, wenn die sogenannte kritische Geschwindigkeit unterschritten wird. Für den Grundentwurf des Formica 25 UNI Drehgestells unter einem typischen Containertragwagen beträgt die kritische Geschwindigkeit ca. 98 km/h. Die weiteren Untersuchungen zeigen, dass sich dieser Wert durch Einstellung der vorhandenen Parameter nicht entscheidend erhöhen lässt. Ebenso führt eine Vielzahl von technischen Massnahmen nicht zu einer wesentlichen Verbesserung des stabilen Laufs. Es wird festgestellt, dass die Drehhemmung zwischen Drehgestell und Wagenkasten den entscheidenden Faktor darstellt, dessen Einfluss im Rahmen des Grundentwurfes nicht aufgewogen werden kann. Eine Möglichkeit, die vorhandene Drehhemmung zu erhöhen, ist der Einbau eines Schlingerdämpfers. Hierdurch konnte eine kritische Geschwindigkeit von etwa 160 km/h ermittelt werden. Dies ermöglicht die Zielgeschwindigkeit von 140 km/h zu erreichen.

4.2 Lauftechnische Eigenschaften

Die zulassungsrelevanten Streckenprofile und Geschwindigkeiten für die Beurteilung der Fahrsicherheit und der Fahrwegbeanspruchung stellen naturgemäss Extremfälle dar. Diese können zwar in der betrieblichen Praxis auftreten, eignen sich jedoch nur eingeschränkt für die Beurteilung betriebsrelevanter Vorteile gegenüber bestehenden Lösungen. Aus diesem Grund wird für den Vergleich eine generische Streckenführung verwendet, die gewissermassen einen Auszug typischer Alltagssituationen von Güterwagen abbildet. Die Teststrecke setzt sich aus einem 300 m Rechtsbogen, einem 500 m Linksbogen und einem 1000 m Rechtsbogen zusammen. In Verbindung mit der gewählten Überhöhungen der drei Bögen bewirkt die Testgeschwindigkeit von 80 km/h, dass der Güterwagen auf der Teststrecke im 300 m Bogen eine Querschleunigung nach Bogen aussen erfährt, wohingegen die Querschleunigung im 500 m Bogen und im 1000 m Bogen nach Bogen innen wirkt. Dies ist typisch für den Betriebsalltag von Güterwagen, da diese sich hauptsächlich auf Streckenprofilen bewegen, deren Bogenabschnitte in erster Linie für die Befahrung von Personenzügen mit höheren Geschwindigkeiten ausgelegt sind. Bei der Untersuchung wird ein Containertragwagen vom Typ JMR CTW 2004 mit 60 t Gesamtgewicht untersucht.

Massgeblich für das günstigere Verschleissverhalten des Formica 25 UNI Drehgestells gegenüber bestehenden Lösungen wie des Y 25 ist die verbesserte Einstellbarkeit der Radsätze im Bogen. Dies bedeutet gewissermassen, dass die Radsätze der durch den Bogenlauf vorgegebenen Schrägstellung, der sogenannten radialen Einstellung, besser folgen können. Dies wird durch die Führung der primären Federstufe mittels Radlenker und dessen elastischen Verbindungselemente erreicht. Die Ergebnisse zur Laufstabilität zeigen, dass die Längssteifigkeit des Achslenkerlagers (ALL) 20 kN/mm betragen sollte. Andererseits erfordert ein gutes Bogenlaufverhalten eine möglichst geringe Längssteifigkeit. Eine Lösung dieses lauftechnischen Widerspruchs bietet der Einsatz von sogenannten hydraulischen Achslenkerlagern (HALL). Hierbei ändert sich die

Längssteifigkeit mit der Frequenz, so dass das HALL im Bogen (niedrige Frequenzen) weicher ist als in der Geraden (hohe Frequenzen). Ein typischer Wert für die untere Grenze der Längssteifigkeit verfügbarer HALLs ist 2 kN/mm. In der Untersuchung wird das HALL modelltechnisch mit seinen zwei Stufen umgesetzt, da das Umschaltverhalten für die Beurteilung der Bogenlaufeigenschaften nicht von Bedeutung ist.

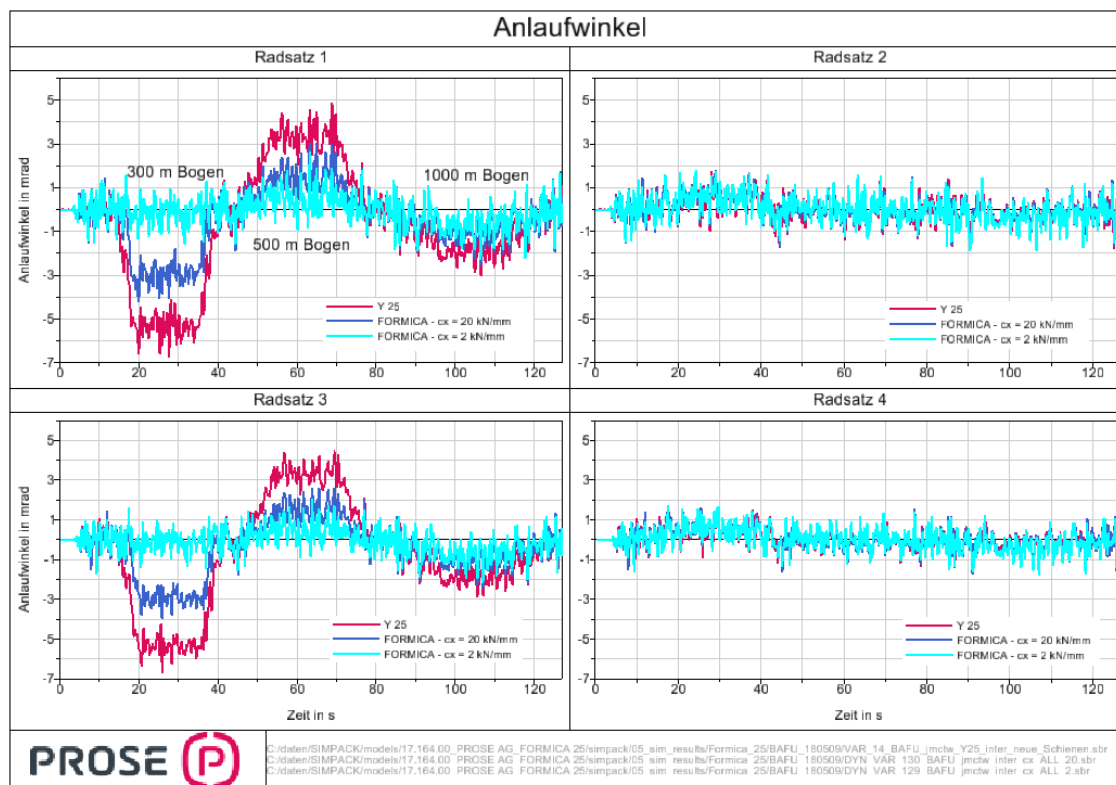


Abbildung 4-1: Vergleich des Y 25 Drehgestells und der beiden Varianten des Formica 25 UNI Drehgestells mit 20 kN/mm und 2 kN/mm Gesamtlängssteifigkeit der primären Federstufe. Verlauf des Anlaufwinkels der vier Radsätze auf der Teststrecke für den Containertragwagen JMR CTW 2004 mit 60 t Gesamtgewicht (typischer Betriebsfall).

Als Mass für die Einstellbarkeit der Radsätze im Bogen dient der sogenannte Anlaufwinkel, siehe Abbildung 4-1. Dieser wird zwischen dem Radsatz und der Tangente des Gleises gemessen. Ein Anlaufwinkel von 0 rad entspricht somit der beabsichtigten radialen Einstellung des Radsatzes. Insbesondere im 300 m Bogen bei den beiden Drehgestell-führenden Radsätzen (1 und 3) zeigt sich die verbesserte Einstellbarkeit des Formica 25 UNI Drehgestells gegenüber dem Y 25. Mit dem weichen HALL wird dabei nahezu eine radiale Einstellung erreicht. Im 1000 m Bogen und an den Drehgestell-nachlaufenden Radsätzen (2 und 4) sind die Unterschiede zwischen den drei Fällen gering.

Eine wichtige Beurteilung des Verschleissverhaltens ist die sogenannte Verschleisszahl. Diese ergibt sich aus dem Produkt aus der im Kontakt wirkenden Schlupfkraft und dem Schlupf. Abbildung 4-2 zeigt die Gesamtverschleisszahl der vier Radsätze für die drei Fälle. An den Drehgestell-führenden Radsätzen (1 und 3) zeigt sich ein deutlicher Vorteil des Formica 25 UNI. So beträgt die Verschleisszahl im Falle des 300 m Vollbogens am Radsatz 1 beim Y 25 rund 400 N, beim längssteifen FORMICA rund 250 N und beim längsweichen Formica 25 UNI rund 50 N. Dies bedeutet eine Verringerung auf 63 % beziehungsweise 13 % der Verschleisszahl des Y 25.

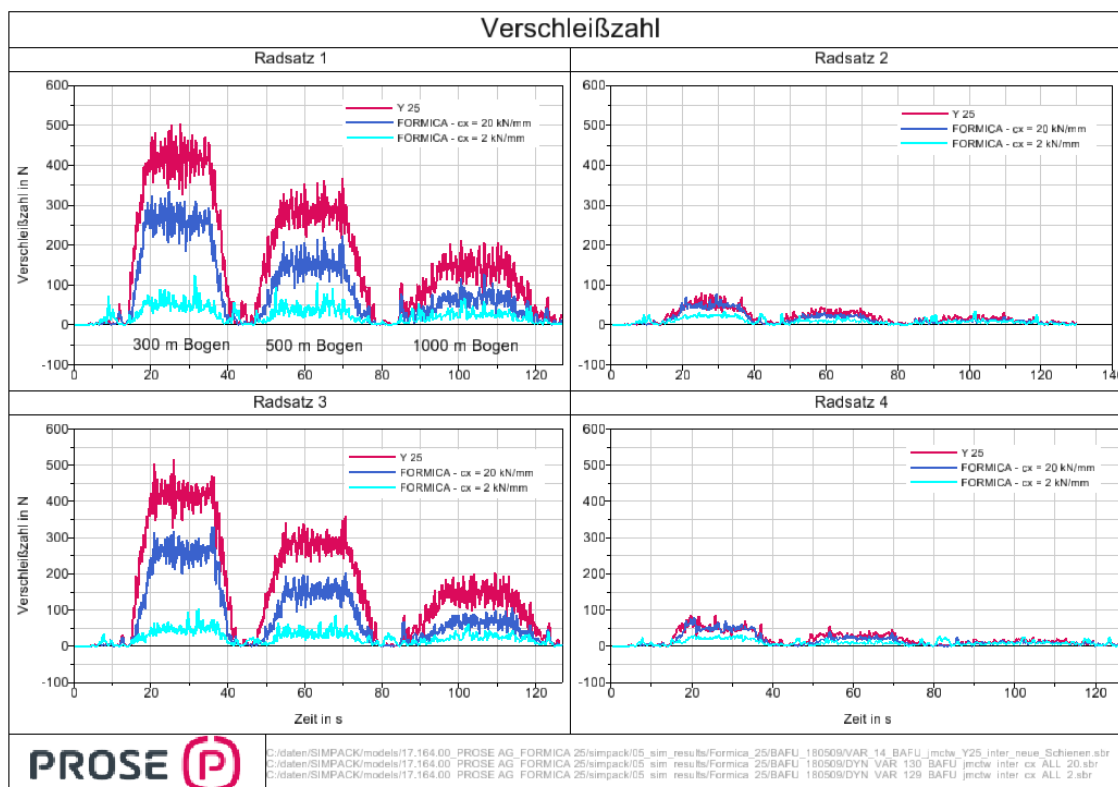


Abbildung 4-2: Vergleich des Y 25 Drehgestells und der beiden Varianten des Formica 25 UNI Drehgestells mit 20 kN/mm und 2 kN/mm Gesamtlängssteifigkeit der primären Federstufe. Verlauf der Verschleißzahl der vier Radsätze auf der Teststrecke für den Containertragwagen JMR CTW 2004 mit 60 T Gesamtgewicht (typischer Betriebsfall).

4.3 Dynamisches Fahrverhalten

Die Beurteilung der Fahrsicherheit und der Fahrwegbeanspruchung beruht auf der Evaluierung des Fahrverhaltens bei der Fahrt auf ausgewählten Streckenprofilen. Diese sogenannten Prüfbereiche unterscheiden sich in Bogenradius, Geschwindigkeit V und freier Seitenbeschleunigung a_q [13]. Ein wichtiges Mass zur Beurteilung ist dabei die Summe der Querkräfte zwischen Rad und Schiene je Radsatz, welche als "Summe Y" bezeichnet wird.

Im Laufe des Projekts hat sich gezeigt, dass das verfolgte Grundkonzept des Formica 25 UNI Drehgestells hinsichtlich der Querdynamik Mängel aufweist. Dies betrifft sowohl Fahrten auf Geraden und Bögen mit sehr grossen Radien (Prüfbereich 1), als auch die Bögen mit grossen Radien (Prüfbereich 2) und die engen Bögen (Prüfbereich 4). Hierbei treten in der für die Beurteilung der Entgleisungssicherheit massgeblichen Grösse "Summe Y" starke Grenzwertüberschreitungen auf.

Ursächlich hierfür ist zum einen die fehlende Querdämpfung des Grundkonzepts. Zum anderen sind viele technische Randbedingungen bereits durch die Vorgabe der Erfüllung der 1:1 Kompatibilität zum Y 25 Drehgestell definiert. Hierbei ist fraglich, ob innerhalb dieses Rahmens die Grenzwerte eingehalten werden können.

Zum Zwecke der Beurteilung sowohl des Grundkonzepts des Formica 25 UNI Drehgestells als auch von überarbeiteten, generischen Konzepten (Formica UNI Variante 1 und Variante 2) werden die Ergebnisse der drei Prüfbereiche für die verschiedene Drehgestelltypen verglichen. Das Y 25 mit längssteifer Achsführung dient dabei als Vergleichsgrösse. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass das Y 25 innerhalb der engen Randbedingungen eine gute technische Lösung darstellt. Es dient somit auch zur Beurteilung des innerhalb der Randbedingungen erreichbaren.

Im Folgenden sind die wesentlichen Eigenschaften der Drehgestelltypen zusammengefasst:

1) Drehgestell Y 25:

- Sekundärstufe: Drehpfanne und Gleitstücke mit $\mu = 0.3$. Kein Querweg, keine Querdämpfung.
- Primärstufe: zweistufige Federung mit lastabhängiger Dämpfung in Querrichtung durch Lenoir-Reibdämpfung.

2) Drehgestell Formica 25 UNI (wie ursprünglich im Konzept vorgesehen):

- Sekundärstufe: wie beim Y25, keine Drehdämpfung.
- Primärstufe: zweistufige Federung, Längsführung durch Radlenker (wirkt versteifend in Querrichtung), keine Querdämpfung.

3) Drehgestell Formica UNI Variante 1 (generisch):

- Sekundärstufe: Drehhemmung durch generischen Schlingerdämpfer (entspricht Wirkung von Gleitstücken und Drehpfanne mit $\mu = 0.44$).
- Primärstufe: vertikal wie Y25, längs geführt mit definierter Steifigkeit (ohne Quereinfluss des Lenkers).
- 5 mm Primärqueranschlag, 12 mm Sekundäranschlag, Steifigkeit in beiden Ebenen abhängig von der Beladung, Querdämpfung nur sekundär und abhängig von der Beladung

4) Drehgestell Formica UNI Variante 2 (generisch):

- Sekundärstufe: Drehhemmung durch generischen Schlingerdämpfer (entspricht Wirkung von Gleitstücken und Drehpfanne mit $\mu = 0.44$).
- Primärstufe: vertikal wie Y25, längs geführt mit definierter Steifigkeit (ohne Quereinfluss des Lenkers).
- 10 mm Primärqueranschlag, 15 mm Sekundäranschlag, Querdämpfung und Steifigkeit in beiden Ebenen und jeweils abhängig von der Beladung

Grundidee der generischen Formica Varianten ist es, durch eine beladungsabhängige Abstimmung der Steifigkeiten und Dämpfungen in Querrichtung eine Entkopplung der Querdynamik des Wagenkastens von den Rad -Schiene-Kräften zu erreichen. Bei der beladungsabhängigen Abstimmung handelt es sich um eine aus lauftechnischer Sicht wünschenswerte Systemeigenschaft. Aufgrund des zu erwartenden, übermässig hohen technischen Aufwands wurde die tatsächliche Umsetzung jedoch nicht über den Charakter von rudimentären Studien hinaus untersucht.

Zur Beurteilung des Laufverhaltens werden fünf weit verbreitete Typen von Güterwaggons und jeweils drei Beladungszustände verglichen:

- Tara: unbeladener Wagenkasten mit ca. 20 t Fahrzeuggewicht.
- 28 t: Beladung mit 28 t Fahrzeuggewicht, so dass gerade die zweite Federstufe der Primärstufe in Eingriff kommt. Das Verhältnis aus Steifigkeiten und Massenträgheiten ist hierdurch ungünstig.
- Brutto: voll beladener Wagenkasten mit 90 t Fahrzeuggewicht.

Die Prüfbereiche 1 (PB1) und 2 (PB2) werden jeweils mit einer Geschwindigkeit von 132 km/h befahren. Dies entspricht der geforderten Maximalgeschwindigkeit von 120 km/h plus 10 % Übergeschwindigkeit. Beim Prüfbereich 4 (PB4) wird ein 300 m Bogen mit 86 km/h befahren.

Ergebnis der Simulationen ist die Abweichung des Maximalwerts gegenüber dem Grenzwert für die Summe der Führungskräfte "Summe Y". Die Überschreitungen für die verschiedenen Drehgestellvarianten und Prüfbereiche sind zeilenweise in Tabelle 4-1 zusammengefasst.

Prüfbereiche	Abweichungen des Grenzwertes von Summe Y														
	Containertragwagen			Schüttgutwagen			Kurzer Flachwagen			Langer Flachwagen			Kesselwagen		
	tara	28t	90t	tara	28t	90t	tara	28t	90t	tara	28t	90t	tara	28t	90t
= PB1															
Y25	99%	115%	-14%	87%	116%	77%	29%	109%	-14%	95%	113%	-11%	77%	100%	69%
Formica 25 UNI	80%	135%	106%	107%	124%	146%	21%	140%	122%	123%	125%	103%	97%	105%	131%
Formica UNI Var 1	-36%	-32%	-30%	1%	3%	-29%	-13%	-16%	-22%	-1%	-38%	-20%	0%	-8%	-29%
Formica UNI Var 2	-47%	-54%	-65%	-24%	-41%	-60%	-33%		-115%	-47%	-56%	-47%	-35%	-44%	-59%
= PB2															
Y25	96%	91%	7%		94%	38%	37%	85%	-12%	86%	76%	-9%	57%	86%	22%
Formica 25 UNI	100%	141%	51%	162%	126%	109%	51%	121%	69%	115%	126%	36%	129%	149%	146%
Formica UNI Var 1	-6%	-19%	13%	40%	5%	51%	-5%	15%	19%	-3%	27%	3%	-7%	-9%	36%
Formica UNI Var 2	-35%	-14%	26%	4%	-11%	10%	-28%		-62%	-22%	-18%	-19%	2%	-15%	-16%
= PB4															
Y25	-47%	-41%	-18%	-39%	-38%	-25%	-49%	-33%	-14%	-39%	-38%	-18%	-46%	-43%	-34%
Formica 25 UNI	-39%	-29%	-9%	-31%	-14%	-12%	-36%	-23%	-8%	-30%	-17%	-14%	-38%	-31%	-24%
Formica UNI Var 1	-29%	-1%	-18%	-15%	-23%	-13%	-41%	-17%	-6%	-16%	-20%	-16%	-32%	-33%	-37%
Formica UNI Var 2	-39%	-37%	3%	-23%	-34%	-29%	-42%		-96%	-31%	-32%	-26%	-36%	-34%	-36%

Tabelle 4-1: Vergleich des Y 25 Drehgestells und des Formica 25 UNI Drehgestells in der Grundversion und zwei generischen Varianten. Abweichung des Maximalwertes der Summe der Querkraft zwischen Rad- und Schiene ("Summe Y") vom Grenzwert für verschiedene Güterwagen und drei Beladungszustände "tara", "28 t" und "90 t" in den verschiedenen Prüfbereichen. Prüfbereich 1: Gerade mit $V = 132 \text{ km/h}$, Prüfbereich 2: 702 m Bogen mit $V = 132 \text{ km/h}$ und $a_q = 0.94 \text{ m/s}^2$, Prüfbereich 4: 300 m Bogen mit $V = 86 \text{ km/h}$ und $a_q = 0.94 \text{ m/s}^2$. Für weisse Felder liegt kein Berechnungsergebnis vor.

Es zeigen sich starke Grenzwertüberschreitungen für das Y 25 in beinahe allen Prüfbereichen und Fahrzeugen beziehungsweise Beladungszuständen. Die Überschreitungen des Formica 25 UNI sind vergleichbar und teilweise sogar höher. Auffällig sind dabei die Bruttobeladungen, welche beim Formica 25 UNI durchgehend kritisch sind, beim Y 25 teilweise unterhalb der Grenzwerte. Grund hierfür ist die steife, auf hohe Beladungen ausgelegte Abstimmung des Y 25 mit einer beladungsabhängigen Dämpfung auf Grundlage Lenoir-Prinzips.

Die Ergebnisse der generischen Formica UNI Variante 1 sind deutlich besser, allerdings ergeben sich für einige Wagentypen und Beladezustände deutliche Überschreitungen. Die besten Ergebnisse ergeben sich für die generische Formica UNI Variante 2. Hierbei treten einzig für einige Wagentypen beim 90 t Beladezustand massgebliche Überschreitungen auf.

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse, dass das Formica 25 UNI in seinem Grundkonzept unverhältnismässig hohe Überschreitungen im massgeblichen Grenzwert "Summe Y" zeigt. Das querdynamische Verhalten ist daher ungenügend. Die Ergebnisse der generischen Variante 2 zeigen zudem, dass das Grundkonzept nur durch massive technische Verbesserungen annähernd zufriedenstellende Ergebnisse liefern kann. Die technische Umsetzung dieser Massnahmen ist jedoch sehr komplex und in der Gesamtbetrachtung nicht zielführend. Aufgrund der erwarteten, übermässig hohen Kosten in Anschaffung und Wartung wurde dieses Konzept daher nicht über den Charakter einer rudimentären Studie hinaus verfolgt.

Als ein Fazit zeigen die Ergebnisse aus Tabelle 4-1, dass innerhalb des Grundkonzepts des Formica 25 UNI Drehgestells keine zufrieden stellende Variante gefunden wurde, welche die Grenzwerte für die Summe der Führungskräfte "Summe Y" bei vertretbarem technischen Aufwand einhält. Eine spätere Zulassung im Rahmen von Fahrversuchen ist mit diesen Überschreitungen aus heutiger Sicht nicht möglich. Das Formica 25 UNI Konzept wurde daher im weiteren Projektverlauf nicht weiterverfolgt.

5 Festigkeit

5.1 Drehgestellrahmen

Der Entwurf des Drehgestellrahmens in Kastenkonstruktion wurde einer ersten FEM Berechnung unterzogen. Dabei wurde die Auslastung des Grundmaterials bewertet (Abbildung 5-1).

Die Auslastung ist hoch bis sehr hoch, was in einem ersten Entwurf in einer Konzeptphase üblich ist.

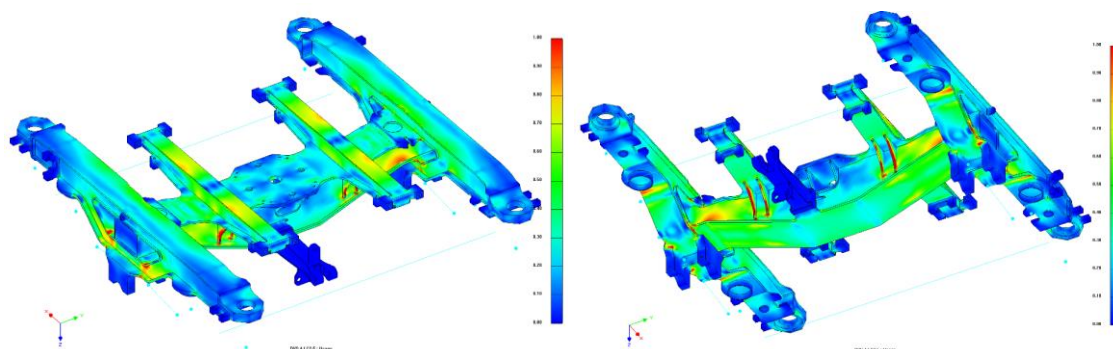


Abbildung 5-1: Grundmaterialauswertung DG-Rahmen

Eine Auswertung der Schweißnähte wurde noch nicht durchgeführt, wird aber in der Konstruktionsphase grosser Bestandteil der Festigkeitsauswertungen und Optimierungen sein.

5.2 Achslagergehäuse

Als weitere wichtige Komponente, die jedoch nur aus einem Einzelteil besteht, wurde das Achslagergehäuse berechnet. In Abbildung 5-2 sind die Lastfälle der Längslast (generiert durch den Achsenlenker) und die Vertikallast (generiert durch die Federn und Achse) dargestellt. Dabei ist auch hier die Auslastung im Grundmaterial an ein paar Stellen hoch bis sehr hoch. In der nächsten Phase wird es hier noch Optimierungen bezüglich Festigkeit und Gewicht brauchen.

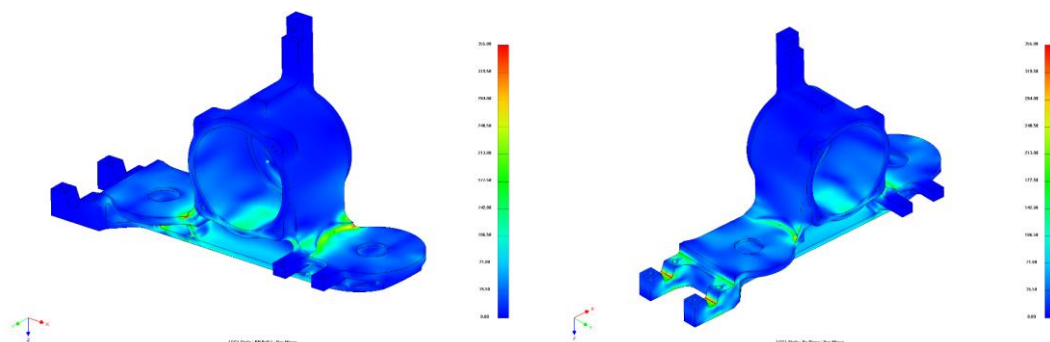


Abbildung 5-2: von-Mises Spannungen Achslagergehäuse, maximale Vertikallast und maximale Längslast

6 Zulassungskonzept

In einem ersten Schritt soll das Drehgestell nach TSI-WAG zertifiziert werden. Danach soll das neue Drehgestell an drei unterschiedliche jedoch zugelassene Güterwagen integriert und eine Betriebsbewilligung (Zulassung) erlangt werden. In der nachfolgenden Abbildung ist das Vorhaben graphisch dargestellt.

Für jeden der drei repräsentativen Güterwagentypen (bereits vorhandenen Zulassungen mit Y25 Drehgestellen) wird beim BAV eine Zulassung mit den Formica UNI Drehgestell erwirkt.

- 1 x Schüttwagen mit CH-Zulassung

- 1 x Doppeltaschenwagen mit CH-Zulassung
- 1 x Containerwagen mit TSI Zulassung

Aufbauend auf den bereits vorhandenen Zulassungen der Güterwagen mit Y25 Drehgestellen, können weitere Güterwagentypen über sogenannte Deltazulassungen umgerüstet und in Betrieb gesetzt werden.

Wagen mit dem Formica Uni können damit ohne weitere Hürden zugelassen und betrieben werden.

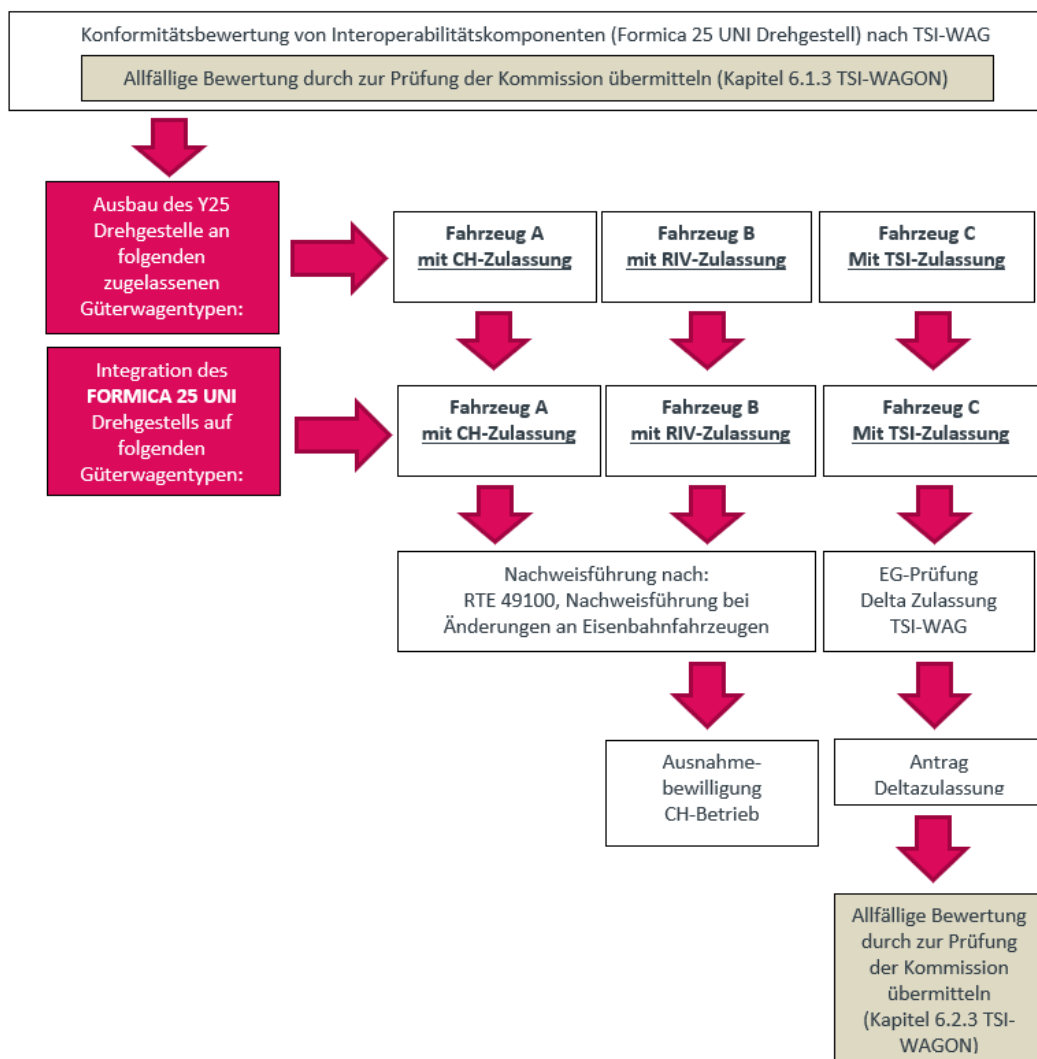


Abbildung 6-1: Vorgehen für die Zulassung

7 Lärm und Verschleiss

Vom Drehgestell eines Güterwagens wird der wesentliche Anteil des Fahrgeräuschs insbesondere dem Rollgeräusch abgestrahlt. Das Rollgeräusch wird in erster Linie über die Rauheiten von Rad- und Schiene verursacht und in zweiter Linie über die Dämpfung, Abstrahlgrad und vibroakustischer Transfer in den Rahmen.

Die Räder der Formica Drehgestelle sind mit Scheibenbremsen ausgerüstet, welche aus bisherigen Erkenntnissen die geringsten Radrauheiten gegenüber Klotz-gebremsten Rädern aufweisen. Auch der Radverschleiss ist bei Scheibenbremsen gering, da kein Abrieb beim Bremsen erfolgt.

Die Räder haben ausserdem einen geraden Radsteg und evtl. einen Dämpfungsring aus Metall, was zu geringerer Radschallabstrahlung gegenüber gewellten Rädern führen wird.

Die Primärstufe mit Stahlfedern ist über eine Gummischichtfeder schwingungstechnisch vom Rahmen entkoppelt, sodass möglichst wenig Schwingungsenergie vom Achslager in den Rahmen übertragen wird.

In einem 700m Bogen sind Güterwagen i.d.R. um 3-6 dB lauter als auf der Geraden. Bei modifizierten Y25 DG-Konstruktion mit weicheren Primärfedern kann die Einstellbarkeit in Bögen verbessert werden, was auch zu geringeren Vorbeifahrpegeln führt. Bei Messungen dieser modifizierten Y25DG wurden Pegelminderungen im Bogen zwischen 1 und 2 dB gegenüber dem Standard Y25 DG ermittelt. Beim Formica DG ist diese Einstellbarkeit optimal umgesetzt und so werden Pegelminderungen in Gleisbögen von mehr als 2 dB erwartet.

8 Instandhaltung

Es wird angestrebt, die Komponenten untereinander so zu paaren, damit sich daraus sinnvolle Instandhaltungsintervalle ergeben. Damit ist die maximale Ausnützung der Komponenten gegeben und die LCC Kosten werden optimiert.

Da aber Abnutzung und Verschleiss von vielen Faktoren abhängen (Einsatzort, Beladungszustände, Laufleistung, etc.) wird von bekannten durchschnittlichen Bedingungen ausgegangen. Für die Berechnung wurde die Tabelle 2 erstellt.

			Formica 25 UNI			
			Zeit zwischen Intervallen in Jahren			
Laufleistung Drehgestell	km/Jahr		100'000	150'000	200'000	
Rad						
Reprofilieren	km	Unterhalt	250'000	2.5	1.7	1.3
Anzahl Reprofilierungen	#		6			
Tausch Radscheibe	km	IS2	1'500'000	15.0	10.0	7.5
Ultraschallprüfung	km	IS1	750'000	7.5	5.0	3.8
Radsatzwelle						
Ultraschallprüfung	km	IS1	750'000	7.5	5.0	3.8
Tausch	km	IS2	1'500'000	15.0	10.0	7.5
Bremsscheibe						
Laufleistung	km	IS2	1'500'000	15.0	10.0	7.5
Bremsbelag						
Laufleistung	km	Unterhalt	250'000	2.5	1.7	1.3
Lager						
Lebensdauer	km Jahre	IS2	1'500'000 12	12.0	10.0	7.5
Federpakete						
Gummi-Metalteile						
Lebensdauer	Jahre	IS2	12	12	12	12
Dämpfer						
Lebensdauer	km Jahre					
IS2	min			15.0	12.0	12.0
	max			12.0	10.0	7.5
IS1	min			7.5	5.0	3.8
	max			7.5	5.0	3.8
Unterhalt	min			2.5	1.7	1.3
	max			2.5	1.7	1.3

Tabelle 2: Betrachtung Instandhaltung

9 Lieferanten

Die Zusammenarbeit mit den Lieferanten stellt sich als grössere Herausforderung dar als angenommen. Mehrere Lieferanten wurden für verschiedenen Komponenten angefragt, wobei die Reaktionszeit und Kooperationsbereitschaft sehr unterschiedlich ist.

9.1 Radsatz

- Lucchini: Hat den Entwurf der Spezifikation erhalten und mit einem CBC (Clause by Clause) Kommentiert. Sie hatten schon in der Offertphase einen möglichen Radsatz angegeben.
- BHH-Bonatrans: Es hat ein erstes Gespräch stattgefunden und sie haben grosses Interesse gezeigt. Jedoch sind die technischen Abklärungen noch nicht so richtig in Gang gekommen.

9.2 Bremsen

- Knorr Bremsen: Sind der erste Lieferant, der auf unsere Anfrage kompetent und mit Engagement reagiert haben. Hier laufen verschiedene Abklärungen. Knorr ist ein etablierter Lieferant von kompletten Bremssystemen und führend in innovativen Komponenten.
- Faiveley: Ähnlich wie Knorr sind sie ein Anbieter von Komplettsystemen. In unserem Falle war die Kontaktaufnahme schwierig. Lange Zeit wurde auf unsere Anfragen bei mehreren Personen nicht reagiert. Vorerst laufen keine Abklärungen.
- Daco/Kovis: Diese zwei Anbieter arbeiten zusammen, um Komplettsysteme anzubieten. Kovis ist ein Hersteller von Bremsscheiben und Daco von Bremseinheiten. Zusammen möchten sie auch im Projekt involviert sein. Da sie auf dem Markt als eher günstigere Anbieter bekannt sind, werden die technischen Abklärungen auch weiterverfolgt. Momentan ist der Engpass bei einer Terminfindung.

9.3 Radsatzlager

- SKF: Erste Gespräche haben stattgefunden und existierende Lagerlösung wurden präsentiert. Die detaillierten Abklärungen (wie z.B. Lebensdauer und 140 km/h) sind in Abklärung. Es muss ein zugelassenes und zertifiziertes Lager verwendet werden.
- Schäffler FAG: gleicher Stand wie SKF.
- Kinex: wird als weiterer Lagerlieferant auch involviert werden.

9.4 Gummi-Metall-Elemente

- Trelleborg: Der Lieferant wurde sehr früh in der Konzeptphase angefragt, denn diese Komponenten sind massgebend für die Primärstufe. Die Zusammenarbeit läuft gut. Trelleborg ist der Lizenzinhaber für HALL Elemente, diese können also nur über Trelleborg beschafft werden.
- Rex: Ein erstes Gespräch hat stattgefunden. Sobald die Anfragen nötig sind, wird mit Rex Kontakt aufgenommen.
- Jörn: Dieser Hersteller wurde angefragt wegen einer speziellen Buchse mit explizit hohen Steifigkeiten aus dem LKW-Bereich. In Kombination mit dem ALL/HALL kann der geforderte Achslenker in den nötigen Steifigkeiten realisiert werden.

9.5 Schwingungsdämpfer

- Gerep: Erste Abklärungen wurden mit dem Lieferanten gemacht. Die Hilfsbereitschaft ist sehr hoch.

9.6 Weitere

Anbieter von weiteren Komponenten wurden noch nicht kontaktiert, weil die Lieferzeiten als nicht so kritisch betrachtet werden.

10 Fazit

Mit den Berechnungen zur Lauftechnik der eingeschlagenen Lösungsvariante hat sich gezeigt, dass die grösste Herausforderung in der Querdynamik eines Fahrzeugs mit Formica 25 UNI Drehgestellen liegt.

Bei vertieften Berechnungen und Analysen in der Entwicklungsphase stellte sich im Sommer 2018 heraus, dass ein Konzept basierend auf einer Y25-Alternative mit Aussenlagerung auf Basis der bestehenden TSI-Vorschriften nicht zulassungsfähig ist.

Nach dieser Erkenntnis wurde anlässlich eines Reviews von der gemeinsamen Projektgruppe aus Auftraggeber und Swiss Rail Solution (SRS) eine Umstellung des Drehgestellkonzepts beschlossen. Die Entwicklung wurde auf ein innengelagertes Drehgestell-Konzept, dem Formica HP, mit deutlich grösserem Verbesserungspotential hinsichtlich Lebensdauerkosten, Laufeigenschaften, Verschleiss, Energie und Gewicht umgestellt. Mit dem Konzept des innengelagerten Drehgestells können ökonomische und technologische Vorteile gegenüber einem Y25 Drehgestell in den Bereichen Wirtschaftlichkeit, reduzierte Lärmemission, maximale Gewichtsreduktion und verbesserte Laufeigenschaften erreicht werden.

Die Entwicklung des innengelagerten Drehgestells Formica HP ist in Bericht 04-03-02079 dokumentiert.