

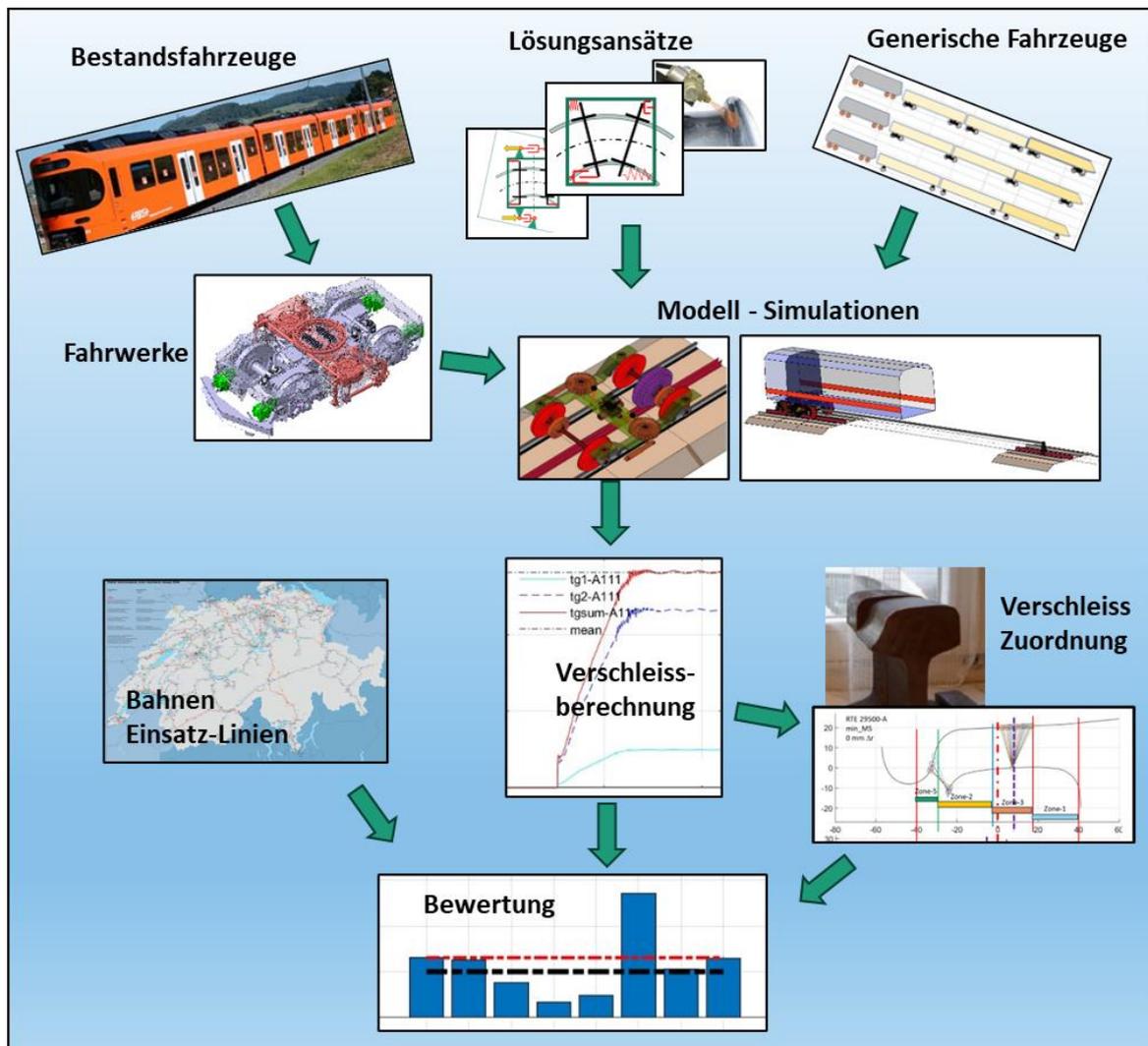
FIMO Livrable 1.4 Evaluation conceptuelle

Maîtrise de système Interaction Véhicule/Voie ferrée à écartement métrique

Projet: 5 Véhicules

Module: Analyse de système «FIMO»

Rapport technique - traduit «Management Summary»



ID: RAILPlusSF-00071

Date / Statut: 10.06.2025 / Approuvé

Nombre de pages 3

Niveau de confidentialité: Publique

Auteur de la traduction: Thibaud Pinna / TMR SA

Vérifié: Charles Runge / charlesrungework

Approuvé: RAILplus

Format de citation: Schneider Richard, RAILplus / RSE: Konzeptionelle Bewertung,
RAILPlusSF-00021, 22.11.2023

La version allemande de ce rapport est l'original et fait donc foi.

Liste des changements

Version	Date	Responsable	Description
0.1	14.05.2025	Thibaud Pinna	Premier brouillon
0.2	11.06.2025	Thibaud Pinna	Brouillon modifié
0.3	17.06.2025	Charles Runge	Rapport édité et finalisé
1.0	30.07.2025	RAILplus	Rapport approuvé

Management Summary

FIMO est une méthode ou un procédé d'analyse et d'optimisation de l'interaction véhicule/voie ferrée. Le terme FIMO signifie :

→ **FIMO = Fahrzeug-Fahrweg Interaktion Meterspur Optimierung** (=Optimisation de l'interaction voie métrique véhicule-voie ferrée)

Afin d'analyser le comportement des véhicules existants et futurs, RSE a développé, avec le soutien d'autres participants au projet, un système de simulation et d'évaluation permettant d'analyser systématiquement et de représenter de manière transparente les relations complexes de l'interaction mécanique véhicule/voie ferrée et roue/rail ainsi que les multiples exigences qui en découlent.

Les solutions évaluées doivent au moins réduire l'usure de la roue et du rail dans une mesure telle qu'un conditionnement du champignon du rail (SKK) ne soit plus nécessaire et que, si possible, on puisse même renoncer au graissage des boudins de roue (SKS). Dans certaines circonstances, il n'est de toute façon pas possible de renoncer au graissage des boudins en raison de la preuve de la sécurité contre le déraillement selon le DE-OCF 54.1.

Comme les modélisations simplifiées ne sont pas adaptées au domaine roue-rail, une modélisation de véhicule entièrement tridimensionnelle [1], incluant le contact en deux points et le déplacement vers l'avant du point de contact des boudins dans le contact roue-rail, a été développée. L'objectif est de calculer le comportement d'usure et d'endommagement de la roue par le contact roue-rail avec tous les concepts de traction et les approches de solution possibles. Le modèle a été vérifié par des calculs comparatifs avec Simpack [9]. La vérification montre une très bonne concordance entre les résultats obtenus avec les deux systèmes Simpack et FIMO.

La qualité du modèle peut être résumée comme suit :

- Le modèle correspond à l'état de la technique.
- Le contact roue-rail est très détaillé et peut être considéré comme équivalent à l'« Equivalent Elastic Contact » dans Simpack.
- Le modèle fournit des résultats fiables tant sur le plan qualitatif que quantitatif.

Outre les calculs et les évaluations proprement dits et compte tenu de la diversité existante des variantes et des options, il convient de procéder à une délimitation par étapes afin, d'une part, de limiter les dépenses et, d'autre part, de permettre de garder la vue d'ensemble et la transparence. La diversité et la complexité peuvent être constatées à partir des chiffres clés suivants :

Lignes:	43	de 12 chemins de fer, dont 36 lignes adhérence, 7 mixtes adhérence-crémaillère
Nombre de trains:	28	de 8 chemins de fer avec 16 véhicules existants et 12 trains génériques
Nombre d'organes de roulement:	74	dont 60 pour l'adhérence et 14 pour la crémaillère
Variantes:	11	du graissage des boudins à la commande active des essieux.
Sensibilité:	9	avec 3 profils roue/rail et 3 niveaux de traction
Rayons de courbes:	8	classes de rayons

Sans réduction correspondante des variantes lors des calculs, cela conduirait à plus de 55'000 calculs pour plus de 2'700 variantes. Lors de la réduction du nombre de variantes, nous avons fait attention à ne négliger aucune solution, aussi utopique soit-elle, mais aussi à ne pas consacrer inutilement du temps à des solutions qui ne présentent manifestement aucun potentiel de réussite.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de la première étude sur l'analyse de la sensibilité ainsi que de la délimitation des variantes :

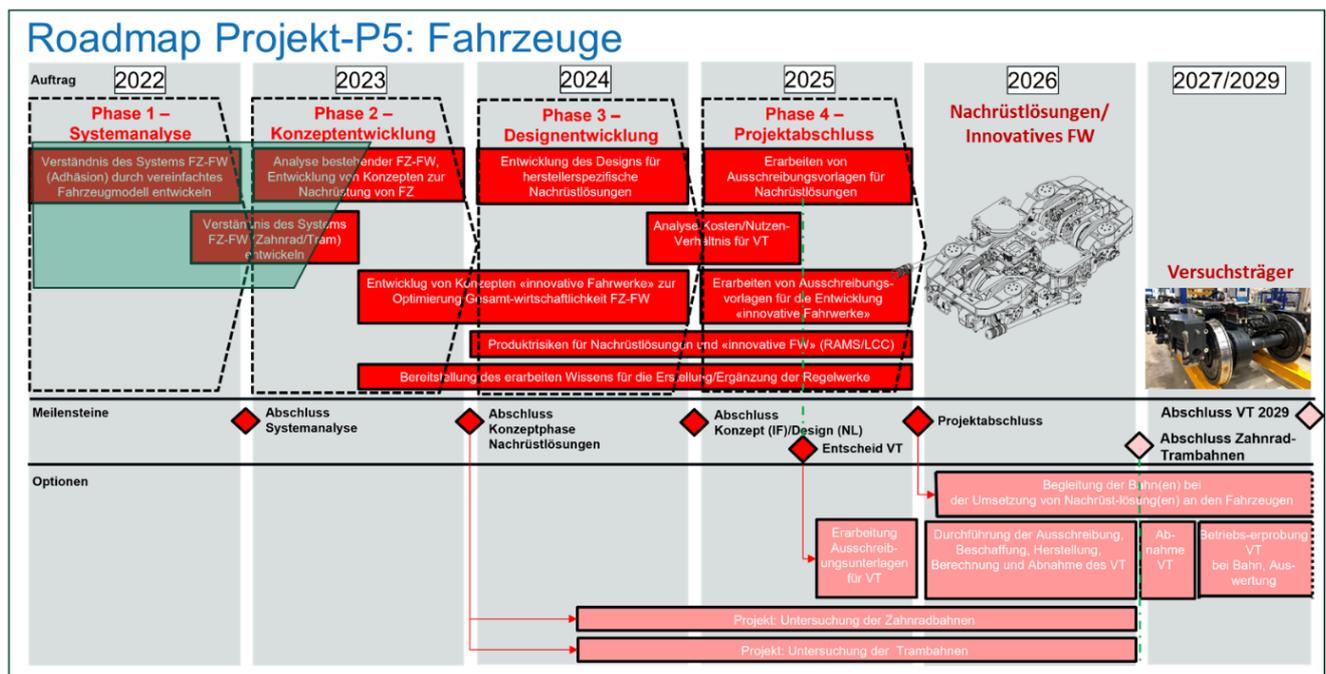
1. Un profil de roue adapté à l'usure est nécessaire pour un fonctionnement avec faible niveau d'usure.
2. L'un des paramètres déterminants pour le niveau d'usure d'un train avec des organes de roulement conventionnels peut être déterminé par le produit « charge par essieu * empattement » des organes de roulement du train concerné.
3. Etant donné que la charge par essieu est difficile à réduire, il convient de veiller à ce que les empattements des organes de roulement soient les plus courts possibles sur les nouveaux véhicules, indépendamment du concept de train (ce qui n'est possible que de manière limitée sur les véhicules à crémaillère).
4. Le concept de train influence l'espace de montage à disposition ainsi que la charge sur les organes de roulement et donc la charge par essieu.
5. Un profil de roue non adapté à l'usure avec un Δr insuffisant (delta-r) ne peut être compensé ni par un concept d'organe de roulement quelconque, ni par une commande active des essieux, ni par la commande de traction.
6. Si l'alignement radial des essieux n'est pas complet, c'est-à-dire même en cas de commande active des essieux avec une commande réduite, l'utilisation de la lubrification des boudins reste nécessaire.
7. En fonction de la grandeur des rayons de courbes (répartition des courbes), différents mécanismes de commande des essieux dans les organes de roulement sont nécessaires.
 - 7.1 Les plages de rayon de courbes correspondant à l'applicabilité des différents mécanismes de commande sont élaborées dans le cadre de travaux de recherche de la maîtrise de système interaction véhicule/voie ferrée.
 - 7.2 L'utilisation des différents mécanismes de commande pour des solutions de rééquipement est élaborée dans le cadre d'une étude de faisabilité du projet P5.
 - 7.3 Pour les véhicules neufs, le développement d' « organes de roulement innovants » sera examiné de manière approfondie dans le cadre d'une étude séparée.
 - 7.4 Pour l'évaluation de l'usure, les lignes des chemins de fer ont été réparties en 4 catégories de rayons de courbes avec différentes plages de rayons. Celles-ci représentent les fréquences correspondantes dans les quatre catégories de rayons de courbes « très petits », « petits », « moyens » et « grands ».
8. Un bon alignement radial des essieux minimise en outre le crissement dans les courbes ainsi que la formation d'usure ondulatoire et d'excentricité des roues. Cela permet de se passer d'éventuels absorbeurs de bruit sur les roues. Ces thèmes sont traités de manière approfondie dans les projets P3/P4.
9. En cas de vitesses de glissement élevées, supérieures à environ 3 km/h, l'usure de la roue augmente fortement. En cas de service fréquent dans de telles conditions, il est recommandé de mettre en place une régulation de la traction avec un faible glissement et une protection efficace contre le patinage. Les zones de patinage sont automatiquement éliminées avec cette procédure.
10. Pour des rayons de courbes inférieurs à 200 m environ, les systèmes passifs de guidage des essieux atteignent leurs limites physiques, indépendamment du profil des roues.
11. En cas d'exploitation en régime crémaillère, la vitesse et l'accélération transversale plus faibles entraînent une usure moindre du boudin et de la surface de roulement, le risque de formation de fissures augmente.

Pour une évaluation détaillée, ainsi qu'avant de prendre une décision sur le choix de système, il convient de faire appel à des experts pour une évaluation spécifique au chemin de fer.

Le processus FIMO offre un potentiel d'analyse et d'optimisation supplémentaire dans les domaines suivants :

1. Soutien au développement de solutions pour le rééquipement de véhicules existants
2. Soutien à l'évaluation de véhicules pour l'acquisition de nouveaux matériels
3. Estimation des intervalles de reprofilage à prévoir pour les solutions proposées sur la base du retour d'expérience
4. Données d'entrée pour le développement de profils de roues appropriés
5. Contributions à l'évaluation du comportement à l'usure du rail (par ex. réduction de l'usure ondulatoire, détermination de lois d'usure individuelles)
6. Indicateurs déterminants pour la poursuite de l'analyse de la rentabilité dans le projet P6
7. Déduction des bases pour le développement d'un organe de roulement dit innovant
8. Optimisation des régulations de traction et analyses vibratoires de torsion sur les essieux-axes
9. Soutien dans le choix de solutions prometteuses pour une analyse détaillée

L'affectation de ce rapport au plan de projet P5 est indiquée par une zone verte dans la roadmap ci-dessous. Le présent rapport représente essentiellement les résultats de la phase 1 et est donc essentiellement général et non spécifique aux chemins de fer (évaluation FIMO 1).



Dans la phase 2 (développement du concept), une évaluation spécifique aux chemins de fer (évaluation FIMO 2) sera effectuée sur la base des analyses de la phase 1 (analyse du système), ainsi que de l'étude de faisabilité pour les solutions de rééquipement. Cela permettra ensuite de déterminer et de spécifier les solutions les plus prometteuses et réalisables pour les différents chemins de fer.

Abréviations

Abr.	Abréviation
FIMO	F ahrzeug- F ahrweg I nteraktion M eterspur O ptimierung (=Optimisation de l'interaction voie métrique véhicule-voie ferrée)
SKK	Conditionnement du champignon du rail
SKS	Lubrification des boudins de roue
Δr	Delta-r : Différence de rayon de roulement entre les roues d'un train de roues

Glossaire

Terme	Description
Commande active des essieux	Essieu commandé par un actionneur, en fonction de certaines valeurs mesurées
Concept de train	Type de construction du véhicule. Peut varier selon le type de bogies et/ou la disposition des essieux
Concepts d'organes de roulement	Type d'organe de roulement. Peut varier selon la géométrie (diamètre des roues, empattement), les conditions de charge (charge par essieu) et les fonctions (type d'entraînement)
Organe de roulement conventionnel	Bogies avec deux essieux
Organe de roulement innovant	Organe de roulement développé dans le but de réduire l'usure dans le système roue/rail, en utilisant les technologies les plus récentes disponibles
Simpack	Logiciel commercial de simulation des systèmes multicorps
Solutions de rééquipement	Solutions mises en œuvre par des modifications sur les organes de roulement actuellement en service
Système de guidage	Mécanismes passifs (par tringlerie, couplages) ou actifs (par actionneurs) permettant un alignement radial
Usure ondulatoire	Usure ondulatoire ou courtes ondes : irrégularités périodiques de surface de 5 à 30 cm de longueur et 0,1–1 mm de profondeur
Véhicules à crémaillère	Véhicule avec entraînement mixte : adhérence pure et crémaillère
Véhicules existants	Véhicules actuellement en service sur les chemins de fer à voie métrique
Véhicules génériques	Véhicules pouvant être conçus sur la base de la fonctionnalité et de l'exploitation
Véhicules neufs	Véhicules qui n'existent pas encore et qui peuvent être développés à l'avenir