



Quelle: <https://www.zevrail.de/artikel/optimierte-produktentwicklung-von-der-simulation-zur-serie>

2023 (Jahrgang 147) / Ausgabe 05 / Sprache: Deutsch

Optimierte Produktentwicklung: Von der Simulation zur Serie

Autoren: Dipl.-Ing. Dr. techn. Daniel Schöllhammer, Dipl.-Ing. Dr. techn. Florian Pichler, Dipl.-Ing. Dr. techn. Samir Omerović, Dipl.-Ing. Dr. mont. Christian Koczwarra, Dipl.-Ing. Dr. techn. Harald Daxberger

Zusammenfassung

Die Bahninfrastruktur muss auch zukünftig den Herausforderungen hinsichtlich Sicherheit, Leistungsfähigkeit und Automatisierung gerecht werden. Für den Einsatz von Gleisbaumaschinen wird damit eine termingerechte und ordnungsgemäße Durchführung der erforderlichen Arbeiten noch wichtiger. Dies bedeutet für Plasser & Theurer, dass konventionelle Produktentwicklungsprozesse, bei unverändert hoher Qualität, weiterentwickelt und verkürzt werden müssen. Durch Anwendung eines simulationsgetriebenen Produktentwicklungsprozesses wird Plasser & Theurer diesen Anforderungen gerecht. Moderne Simulationsmethoden begleiten den Entwicklungsprozess von der Konzeptphase bis zur Serienreife und ergänzen damit herkömmliche Labor- und Feldtests. Im Folgenden werden der beschriebene Entwicklungsprozess und die zentrale Rolle der Simulation anhand eines Beispiels in der Aggregatentwicklung gezeigt. Die Vorteile für den Kunden sind erprobte und speziell an seine Bedürfnisse angepasste Produkte.

1 Einleitung und Motivation

Die aktuellen ökologischen und verkehrspolitischen Herausforderungen (steigendes Transportaufkommen, höhere Geschwindigkeiten [1, 2]) führen zu umfangreichen Investitionen in die Bahninfrastruktur. Der Bahnsektor bietet eine technisch ausgereifte Verkehrs- und Transportinfrastruktur, die bei geeigneter Primärenergieerzeugung bereits heute CO₂-neutral betrieben werden kann. Daher besteht in den Bereichen Infrastrukturerichtung und Instandhaltung hohe Nachfrage. So sieht der ÖBB-Rahmenplan bis 2028 Investitionen im Umfang von rund 19 Mrd. Euro für den Ausbau der heimischen Schieneninfrastruktur sowie rund 4 Mrd. Euro für die Instandhaltung vor [3]. In Deutschland waren für das Jahr 2022

Investitionen in die Bundesschienenwege in der Höhe von 8,9 Mrd. Euro geplant und somit erstmals mehr in Schienenwege als in Straßen vorgesehen [4].

Um die bei notwendigen Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten auftretenden Einschränkungen des Regelbetriebes gering zu halten bzw. ganz zu vermeiden, müssen diese möglichst schnell und effizient durchgeführt werden. Das häufigste Instandhaltungsverfahren im Gleisbau ist das Stopfen. Dabei wird der Gleisrost mit einem Hebe- und Richtaggregat in eine korrigierte Gleislage bewegt. Um ein stabiles Schwellenaufleger zu schaffen, muss der entstandene Hohlraum unter der Schwelle durch Stopfaggregat mit Gleisschotter verfüllt und anschließend verdichtet werden. Danach kann durch eine dynamische Gleisstabilisierung der Querverschiebewiderstand sofort erhöht und die Gleissetzung kontrolliert vorweggenommen werden [5]. Neben der benötigten hohen Arbeitsgeschwindigkeit haben für den Infrastrukturbetreiber die hohe Qualität der durchgeführten Arbeiten und ein möglichst dauerhaftes Arbeitsergebnis Vorrang. Für den Maschinenbetreiber wiederum sind die ordnungsgemäße und termingerechte Verrichtung der beauftragten Arbeiten und damit die Zuverlässigkeit der eingesetzten Maschinen von größter Bedeutung.

Bei der Überarbeitung oder kompletten Neuentwicklung von Stopfaggregaten oder Aggregaten zur dynamischen Gleisstabilisierung gilt es daher, im Rahmen des Entwicklungsprozesses die angestrebte Robustheit und das Erreichen der festgelegten Leistungsdaten sicherzustellen. Zu diesem Zweck wird die Entwicklung von Aggregaten durch Simulationen, Prüfstandsversuche und Felderprobungen unterstützt. Ein Vorteil einer solchen Vorgehensweise ist die Möglichkeit, detaillierte Analysen einzelner Bauteile mit Hilfe simulierter Belastungstests durchzuführen, wodurch allfällige Optimierungen bereits in einem frühen Entwicklungsstadium vorgenommen werden können.

2 Der Entwicklungsprozess

Die Anforderung, möglichst zügig und effizient serienreife Produkte zu entwickeln, legt eine Optimierung aller Phasen des Entwicklungsprozesses nahe. Bild 1 zeigt den schematischen Ablauf am Beispiel der Entwicklung von Arbeitsaggregaten (Stopfaggregate, Aggregate zur dynamischen Gleisstabilisierung etc.). Dieser Prozess beginnt mit der Spezifikation, wobei die Leistungsdaten und die technischen Rahmenbedingungen für das zu entwickelnde Aggregat festgelegt werden.

Basierend auf diesen Vorgaben, folgt die CAD-gestützte Konstruktion mit der Konzeptions-, Entwurfs- und Detailkonstruktionsphase. In den weiteren Simulationsstudien (auf Basis der vorliegenden CAD-Konstruktion) werden die in der Spezifikation festgelegten technischen Merkmale überprüft sowie das Systemverhalten bewertet. Nach der Bestätigung der Systemcharakteristika und eventuellen Optimierungsschleifen (zwischen Konstruktion und Simulation) wird der Prototyp gebaut. Die praktische Erprobung wird dann auf einem speziell dafür entwickelten Prüfstand durchgeführt. Nach den positiv abgeschlossenen Belastungstests können noch ergänzende Feldtests durchgeführt werden. Die in den Simulationen, Prüfstandläufen und Feldtests gewonnenen Erkenntnisse und Messdaten finden in diesem

iterativen Prozess jeweils Eingang in die Konstruktion, wodurch diese Schritt für Schritt optimiert wird. Dieser Prozess sichert somit von der ersten Entwurfsphase bis zur Auslieferung des serienreifen Aggregates, dass konzeptionelle, strukturelle oder funktionelle Defizite frühzeitig erkannt und vorhandene Potenziale ausgeschöpft werden können. Eine konsequente Umsetzung dieser Entwicklungsschleife führt zu verbesserten Einzelbauteilen sowie zu einem verbesserten Zusammenspiel der Baugruppen und damit einem besseren Gesamtsystemverhalten.

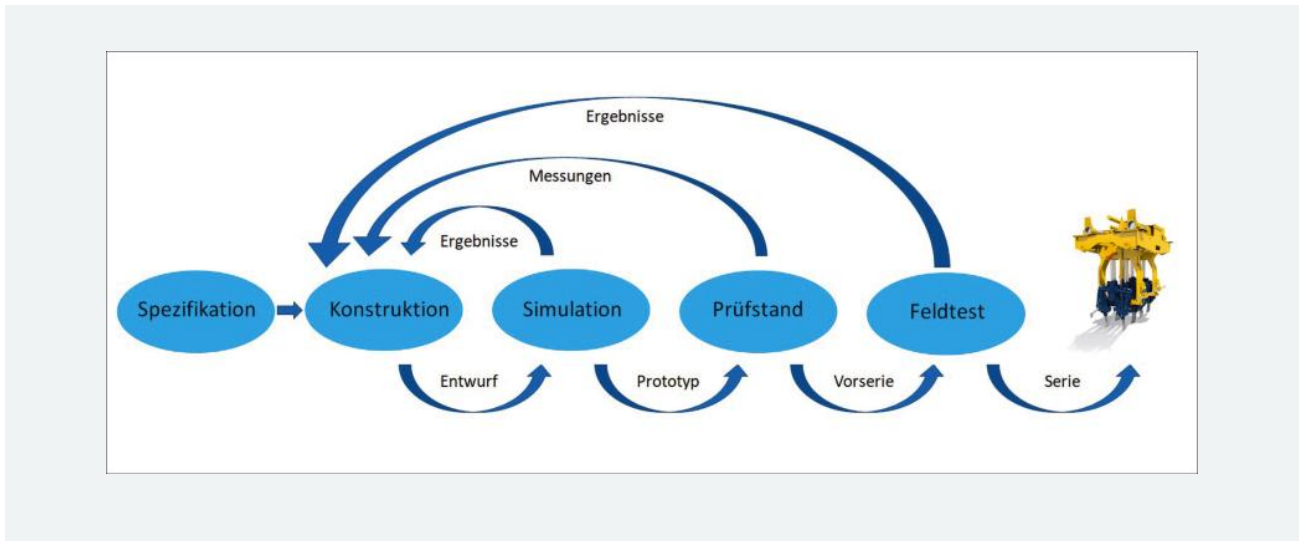


Bild 1: Entwicklungsprozess unterstützt durch Simulationen, Prüfstandsversuche und Feldtests

3 Spezifikation

Bevor der eigentliche Entwicklungsprozess startet, müssen die Anforderungen an das fertige Aggregat festgelegt werden. Plasser & Theurer deckt dabei als weltweit agierende Gruppe ein sehr breit gefächertes Anforderungsprofil ab. Dies ergibt sich aus gesetzlichen Bestimmungen und Normen sowie aus den Bedürfnissen der Maschinen- und Infrastrukturbetreiber. Man vergleiche beispielsweise eine Hochgeschwindigkeitsstrecke für Personenverkehr mit einer Lokalbahn oder dem Schwerlastnetz eines Minenbetreibers. Erwartungsgemäß ergeben sich aus den unterschiedlichen Belastungen auch angepasste Toleranzen bezüglich Gleisgeometrie. Eine weitere Herausforderung stellen die verschiedenen Oberbauformen dar. Alleine die Spurweite unterscheidet sich deutlich in einzelnen Regionen, oftmals auch innerhalb eines Landes [6]. Spezielle Bauelemente (z.B. Weichen) sorgen dabei für zusätzliche Komplexität. Außerdem prägen kulturelle Unterschiede weltweit maßgeblich die Arbeitsweise in den verschiedenen Regionen. Um dem breiten Anforderungsprofil gerecht werden zu können, werden bei Bedarf spezielle, an die Bedürfnisse des jeweiligen Kunden angepasste Lösungen angeboten. Dies bedeutet allerdings einen

erheblichen Entwicklungsaufwand, der mit Hilfe modernster Entwicklungsprozesse effizient durchführbar ist. Besonders die Integration neuester Simulationsmethoden erlaubt es, frühzeitig zu erkennen, wenn die geforderten Leistungsdaten nicht eingehalten werden und entsprechend konstruktive Maßnahmen zu treffen sind.

Jedenfalls ist es zur Durchführung eines geregelten Konstruktionsprozesses notwendig, die gewünschten Anforderungen festzulegen. Erst anhand der daraus resultierenden Spezifikation kann in den folgenden Schritten eine Bewertung der Konstruktion durch Simulationsergebnisse oder mittels Prüfstands- bzw. Feldversuchen vorgenommen werden. Darauf aufbauend wird entschieden, ob die geforderten Ziele erreicht werden oder die Konstruktion einer Überarbeitung bedarf.

4 Konstruktion

Die Überarbeitung bzw. die Neukonstruktion von Aggregaten beruht auf der Spezifikation auf Basis der jahrzehntelangen Erfahrung der Konstrukteurinnen und Konstrukteure von Plasser & Theurer. Die Spezifikation und bereits bekannte Lastfälle ermöglichen eine gezielte Bemessung und Dimensionierung der Aggregatkomponenten. Zusätzlich wird stetig an einer Standardisierung einzelner Komponenten gearbeitet. Eine Plattformbildung, inspiriert von der Automobilindustrie, kann bei der Vereinheitlichung der Konstruktion einen wesentlichen Beitrag leisten. Dadurch soll die Variantenvielfalt einzelner Komponenten reduziert werden. Die Notwendigkeit, jedes Bauteil eines neuen Produkts von neuem auf Herz und Nieren zu testen, entfällt somit. Positiver Nebeneffekt dieser Standardisierung ist eine bessere Verfügbarkeit von Ersatzteilen sowie eine Kostenreduktion. Bei diesen Vereinheitlichungen wird allerdings immer auf die individuellen Anforderungen der weltweit angesiedelten Kunden eingegangen. Daraus ergibt sich die besondere konstruktive Herausforderung bei der Entwicklung neuer Produkte. Beispielsweise muss ein Stopfaggregat für die Verwendung auf einer Schmalspurstrecke andere Anforderungen (z.B. reduzierter Bauraum) erfüllen als für die Normalspur.

Bei der Konstruktion neuer Aggregate fließen immer auch die Erfahrungen der Kunden mit ein (Bild 2). Plasser & Theurer pflegt traditionell eine sehr enge Beziehung zu diesen, um auch Rückmeldungen und Erfahrungsberichte zu den eigenen Produkten in die Neuentwicklungen aufzunehmen.

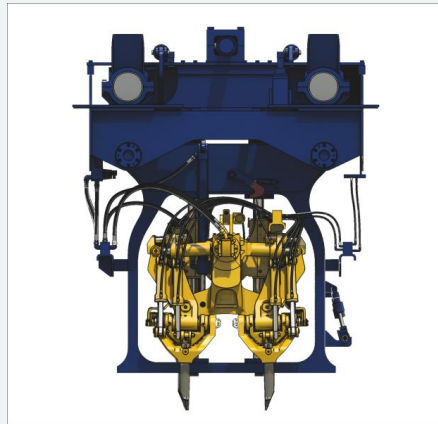


Bild 2: Schematische Darstellung eines Stopfaggregats (Rahmen in blau, Arbeitsaggregat in gelb, Stopfpickel in grau)

5 Simulation

Aus Gründen der Einfachheit wird in Folge der strukturmechanische Entwicklungsprozess anhand eines Beispiels veranschaulicht. Gezeigt werden der Prozessablauf sowie die vorteilhafte Verknüpfung von verschiedenen Methoden und Tools zur simulationsgestützten Aggregatentwicklung. Die Simulation ist im Bild 1 schematisch dargestellten Entwicklungsprozess von zentraler Bedeutung und steht in direkter Wechselwirkung mit den Eingangsgrößen aus Konstruktion, Prüfstand und Feldtests. Andererseits beeinflussen die Erkenntnisse aus der Simulation wiederum Konstruktion und Regelungsstrategien von Aggregaten. Bild 3 zeigt schematisch das Zusammenspiel der Simulationsergebnisse mit den anderen Teilgebieten des Entwicklungsprozesses. Dies wird im Folgenden anhand der Optimierung eines einzelnen Bauteils näher erläutert. Dabei ist die Mehrkörpersimulation (MKS) eine wesentliche Schnittstelle zwischen den einzelnen Teilgebieten der Aggregatentwicklung.

Die MKS ist eine numerische Simulationsmethode, mit der das dynamische Verhalten mehrerer miteinander verbundener Körper (oder Bauteile) approximiert werden kann. Dabei werden die einzelnen Teile im Allgemeinen als Starrkörper modelliert. Für Spezialanwendungen können die einzelnen Komponenten auch mit flexiblen bzw. elastische Eigenschaften modelliert werden. Körper oder einzelne Komponenten sind dabei durch Gelenke und/oder Kräfte miteinander verbunden. Das bedeutet, dass im Simulationsmodell Massenkräfte, externe Kräfte und Zwangskräfte durch Gelenke berücksichtigt werden. Einen guten Überblick über die Entwicklung der MKS sowie zu Strategien für die Einbindung flexibler Körper bieten die Beiträge von Schiehlen [7] und Shabana [8].

Durch ein robustes und verifiziertes MKS-Modell lassen sich die Gelenkkräfte, Belastungen und

Bewegungsmoden des Systems bereits während des Konstruktionsprozesses mit hoher Zuverlässigkeit vorhersagen. So können, z.B. durch gezieltes Verändern der Bauteilmassen und Schwerpunktlagen, bereits in einer frühen Entwicklungsphase die Bauteilbelastungen und Vibrationen verringert werden. Des Weiteren ist es möglich, die MKS in Co-Simulationen einzusetzen. Dabei werden mehrere Methoden und Tools gekoppelt und deren jeweilige Vorteile bzw. Stärken genutzt. Diese Vorgangsweise wird bei Plasser & Theurer unter anderem zur Entwicklung und Testung neuer Steuerungsalgorithmen verwendet. Zusätzlich bietet die Co-Simulation die Möglichkeit, andere physikalische Effekte und Größen zu berücksichtigen, die durch klassische Modellbildung (z.B. Dynamik des Hydraulikkreises) beschrieben werden.

Ein wesentlicher Vorteil der MKS (wie bei vielen numerischen Simulationen) ist, dass mit vergleichsweise geringem Aufwand Varianten- und Parameterstudien durchgeführt werden können. Konkret bedeutet das, dass der Einfluss geänderter Bauteile (Masse, Trägheit, Geometrie, Steifigkeiten, Dämpfungen, etc.) auf das Bewegungsverhalten sowie auf die Belastungen schnell untersucht werden kann. Ebenso können verschiedene, vor allem auch extreme Betriebszustände sowie Versagensfälle gefahrlos analysiert werden. Eine wichtige Eingangsgröße für die MKS sind die externen Kräfte, die von außen auf das System wirken. Bei Aggregaten von Gleisbaumaschinen betrifft das die Reaktionskräfte des Gleisschotter. Um diese Kräfte abschätzen zu können, werden im Entwicklungsprozess unterschiedliche Strategien verfolgt:

- Numerische Simulation mittels Diskrete-Elemente-Methode (DEM)
- Parametrierbares Boden-/Schottermodell
- Messdaten (von Messstopfpickeln (MSP))

Diese Strategien ergänzen einander, daher können beispielsweise die Ergebnisse der DEM durch Messungen verifiziert werden. Andererseits lassen sich von den Erkenntnissen der DEM Verbesserungen für zukünftige Messsysteme ableiten. Das parametrierte Schottermodell kann durch Parameteridentifikation an das Verhalten der Messdaten oder der DEM-Simulation angepasst werden. Die DEM sowie die Verwendung von Messdaten wird im Folgenden in kompakter Form erläutert. Ein Beispiel für ein parametriertes Schottermodell für Gleisstopfmaschinen kann in [9] nachgelesen werden.

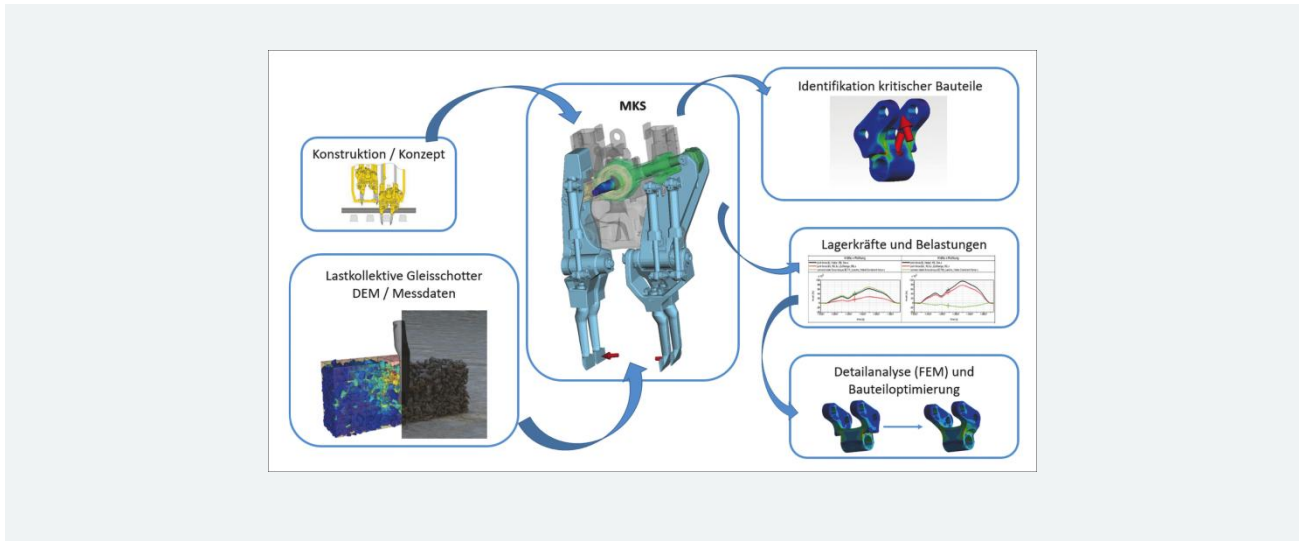


Bild 3: Zusammenspiel moderner Simulationswerkzeuge im Entwicklungsprozess: Exemplarische Darstellung der Eingangs- und Ausgangsgrößen bei der Optimierung einer Aufhängung an einem Stopfaggregat

5.1 Diskrete-Elemente-Methode als Baustein für Gesamtsimulationen im Eisenbahnbau

Die DEM stellt den letzten Stand der Technik für die numerische Modellierung granularer Materie dar. Das komplexe Gesamtverhalten von Granulaten entsteht dabei durch eine Vielzahl vergleichsweise einfacher Interaktionen von Einzelkörnern oder Partikeln. Der immanent diskontinuierliche Charakter der Fragestellung macht somit eine kontinuumsmechanische Modellierung (z.B. FEM) schwierig oder gar unmöglich. Die DEM kann man als Mehrkörpersimulation für die Schotterpartikel beschreiben, für mehr Informationen sei auf [10] und die darin enthaltenen Referenzen verwiesen. Die Methode umfasst eine Vielzahl der Parameter, die das Gesamtverhalten des Schotters definieren (z.B. Geometrie und Festigkeit der einzelnen Schotterkörner, Art des Kontaktes, Oberflächenrauigkeiten etc.). Bei geeigneter Modellierung lassen sich sowohl kurzzeitdynamische Phänomene als auch das Langzeitverhalten (Setzungen) abbilden. Direkte Ergebnisse der Simulation sind unter anderem die zeitliche Beschreibung aller Partikelgeschwindigkeiten, interpartikulärer Kräfte, Häufigkeit von Partikelbrüchen, Porenzahl in einzelnen Bereichen sowie das Kontaktkräftenetzwerk. Bild 4 zeigt exemplarisch die Ergebnisse einer DEM-Simulation.

Ebenfalls von Interesse sind die Kontaktkräfte mit anderen Objekten, z.B. Stopfpickeln, bzw. daraus resultierende Spannungen im Stopfpickel. Viele Ergebnisse sind bei Labor- und Feldversuchen nicht oder nur unter hohem finanziellem Aufwand zugänglich. Somit sind vor allem Parameterstudien für Betriebsparameter, Bauteilformen und Ähnliches in einem kontrollierten Umfeld und unter vertretbarem finanziellem Einsatz möglich. Ein wichtiger Teil der Simulation ist die numerische Validierung bzw. eine

Kalibrierung des Gesamtmodelles, siehe auch die dazu verwendeten Beispiele in [10]. Dabei können auch Messdaten herangezogen werden, um die Simulationsparameter bzw. das Schottermodell abzugleichen.

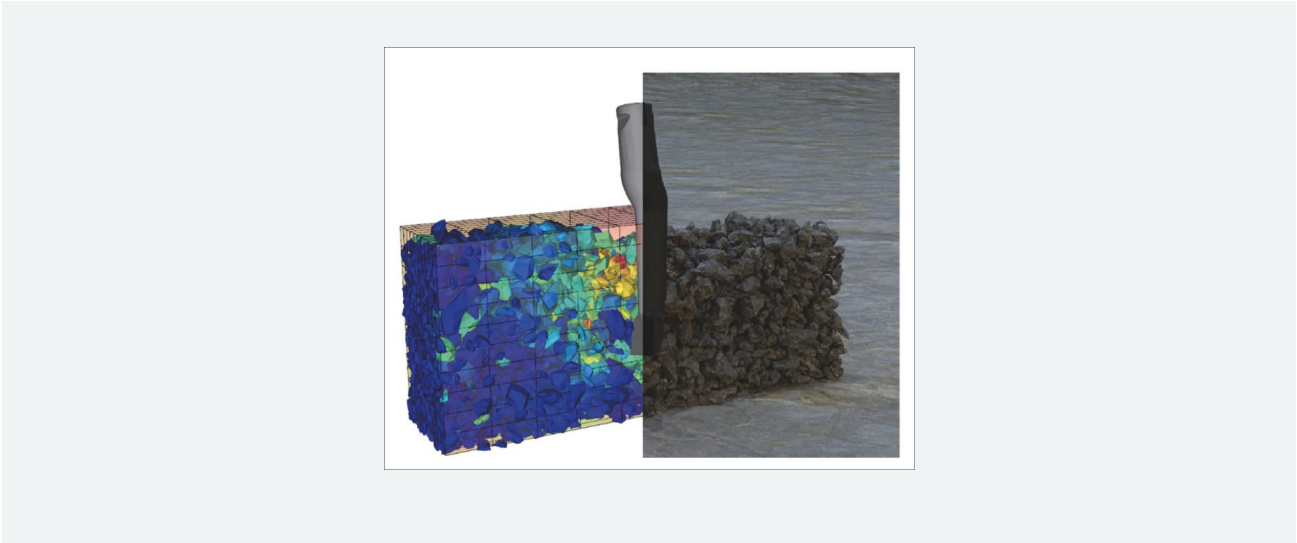


Bild 4: Ergebnisse einer DEM-Simulation beim Eindringen eines Pickels in den Gleisschotter. Die farbliche Kodierung der Partikel (Gleisschotter) stellt die absoluten Partikelgeschwindigkeiten dar (niedrige Geschwindigkeit mit blauen Partikeln, hohe Geschwindigkeit mit roten Partikeln)

5.2 Messdaten (MSP)

Um repräsentative Ergebnisse aus der MKS zu erhalten, ist es notwendig, die Belastungen auf die Stopfaggregate möglichst genau zu kennen. Aus diesem Grund wurde eine breit angelegte Messkampagne durchgeführt. Dazu wurden bereits mehrere Stopfaggregate mit „führenden“ Stopfpickeln, sogenannten Messstopfpickeln (MSP) ausgestattet (Bild 5). Dabei handelt es sich um speziell entwickelte Stopfpickel mit mehreren Dehnungsmessstreifen (DMS). Diese werden im eingebauten Zustand mittels Referenzmessung kalibriert (Bild 5 b)), sodass die auf den Pickel wirkenden Kräfte präzise messbar sind. Dieses System ist besonders für die Grundlagenforschung vorteilhaft, da die einwirkenden Kräfte direkt am Pickel gemessen und somit Artefakte aus dem Hydrauliksystem ausgeschlossen werden können. Der hier verwendete Messstopfpickel erlaubt es, sowohl Eintauchkräfte (Normalkraft F_N) als auch Beistellkräfte (Querkraft F_Q) zu messen. Dadurch kann die Belastung, die auf die einzelnen Stopfaggregate ausgeübt wird, mit hoher Genauigkeit erfasst und protokolliert werden. Bild 5 zeigt exemplarisch die Normalkraft beim Eindringen der Stopfpickel (Bild 5 c)) sowie die Querkraft beim Beistellprozess (Bild 5 d)). Diese Kraftverläufe können anschließend als Eingangsgrößen für die MKS verwendet werden. Außerdem bilden sie eine hervorragende Basis, um DEM-Simulationen zu kalibrieren.

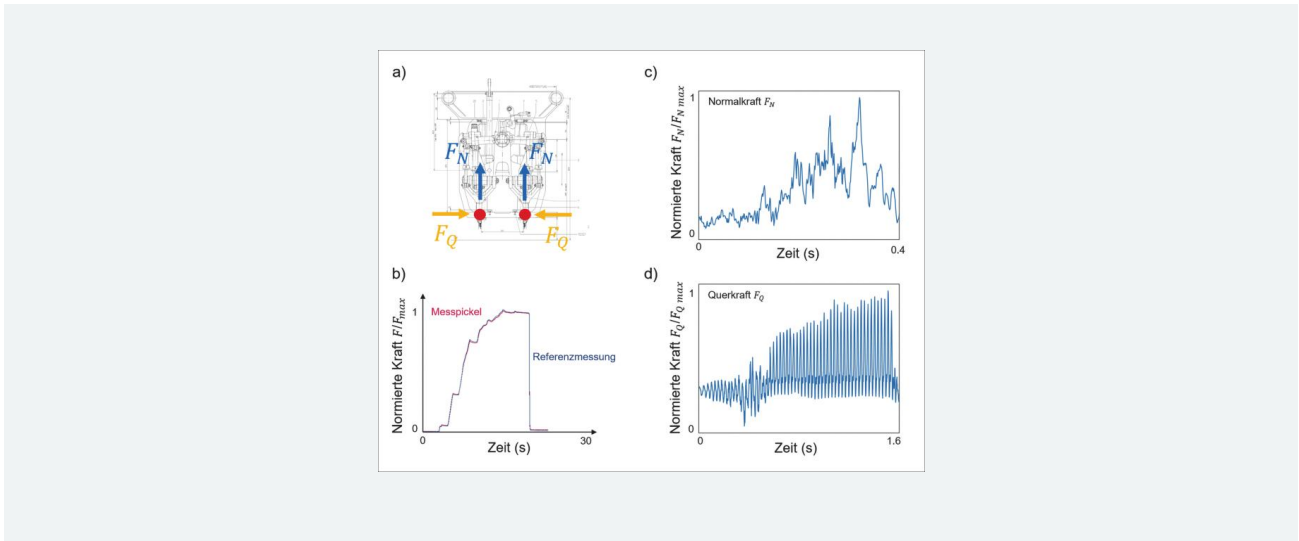


Bild 5: Schematische Darstellung der DMS-Positionierung (rot) an einem Stopfaggregat a). Exemplarische Kalibrierung eines eingebauten MSP b). Darstellung des Normalkraftverlaufs beim Eindringprozess c) und des Querkraftverlaufs d) beim Stopfvorgang

5.3 Erweiterung der MKS auf flexible Körper und Identifikation kritischer Bauteile

Ursprünglich wurde die MKS zur Berechnung starrer Körper entwickelt und ab den 1980er Jahren für linear elastische Bauteile erweitert. Häufig wird dazu eine Finite-Elemente-Struktur durch Modellreduktion so weit vereinfacht, dass die wesentlichen elastischen und dynamischen Eigenschaften durch wenige Freiheitsgrade beschrieben werden können. Viele gängige Modellreduktionsverfahren basieren auf der Modalanalyse einer Finite-Elemente-Struktur mit anschließender Superposition der Eigenschwingungsformen. Somit können das dynamische Deformationsverhalten sowie die Spannungen innerhalb eines Bauteils während einer dynamischen Simulation rechenzeiteffizient untersucht werden. Dadurch lassen sich kritische Bauteile identifizieren, die in weiterer Folge mittels der Finite-Elemente-Methode (FEM) genauer untersucht und mit Hilfe der Kräfte aus der MKS auf Dauerfestigkeit bewertet werden. Zusammenfassend können durch die zielgerichtete Anwendung der MKS frühzeitig (bereits in der Konzept- bzw. Konstruktionsphase) kritische Bauteile erkannt und durch die gewonnenen Erkenntnisse Verbesserungsvorschläge an die Konstruktion rückgemeldet werden. Bild 6 zeigt beispielhaft, wie die Spannungen in einem kritischen Bauteil durch konstruktive Maßnahmen reduziert werden konnten und der Festigkeitsnachweis für Dauerfestigkeit sowie für Extremlastfälle erbracht wurde.

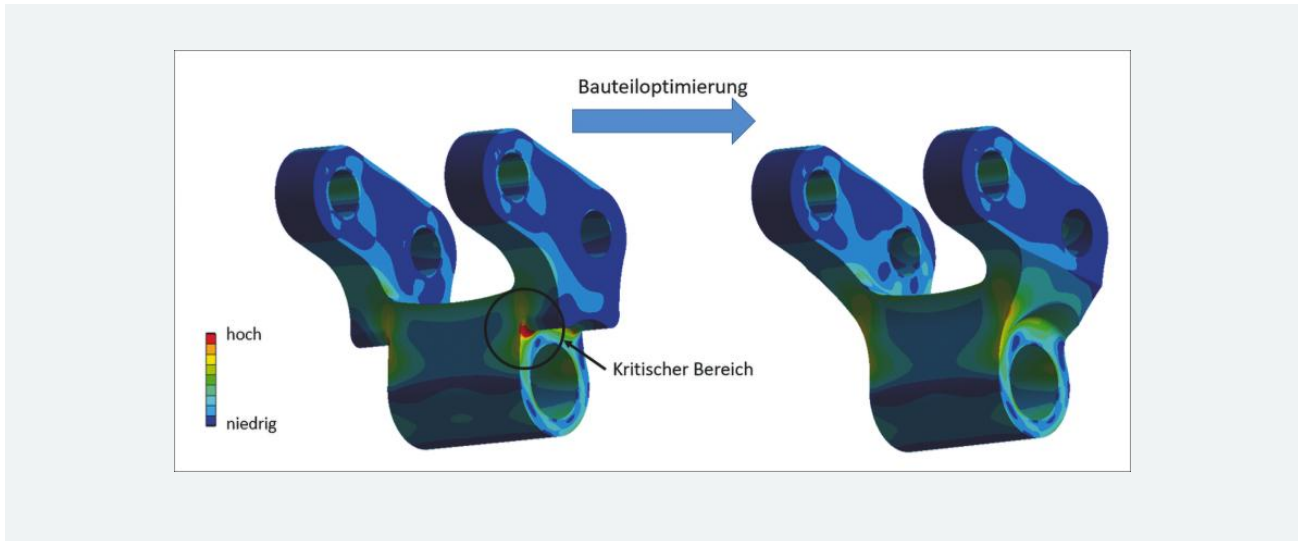


Bild 6: Reduktion der maximal auftretenden Vergleichsspannungen (von Mises) durch konstruktive Maßnahmen (Bereiche hoher Spannung in rot, Bereiche mit niedriger Spannung in blau)

6 Prüfstand

Im Anschluss an die Optimierung mittels Simulationsmethoden wird der erste Prototyp gebaut, wobei die Herstellung von Gussteilen viel Zeit in Anspruch nimmt. Um den Entwicklungsprozess zu beschleunigen, setzt Plasser & Theurer auf innovativen Metall-3D-Druck. Dadurch ist es möglich, bereits in einem frühen Stadium vollständig funktionsfähige Prototypenaggregate zu fertigen. Diese werden dann auf einem eigens dafür entwickelten Prüfstand (Bild 7) auf Herz und Nieren getestet. Er ist mit umfangreicher Sensorik bestückt, um die auftretenden Kräfte und Beschleunigungen präzise zu erfassen und zu dokumentieren. Außerdem werden die Temperaturen an wichtigen Punkten (z.B. an Wälzlagern) sowie die Leistungsaufnahme und Hydraulikdrücke aufgezeichnet. Um die im Feldeinsatz auftretenden Belastungen nachbilden zu können, ist dieser Prüfstand mit einer eigens entwickelten hydraulisch aktuierten Mechanik zur Emulation der Schotterreaktionskräfte ausgestattet. Damit kann sowohl der Eindringprozess als auch der Beistellprozess für unterschiedliche Schottertypen und Maschineneinstellungen nachgebildet werden. Für möglichst realistische Belastungsszenarien wird wie schon bei der MKS und der DEM-Simulation auf Messdaten zurückgegriffen. Bild 7 zeigt exemplarisch die Verteilungsfunktion für maximale Eindringkräfte (Normalkräfte) sowie für maximal auftretende dynamische Beistellkräfte (Querkräfte). Zusammen mit weiteren Einsatzparametern lässt sich ein repräsentatives Prüfprotokoll für den Aggregate-Prüfstand erstellen. Dieses Protokoll beinhaltet nicht nur eine realistische Abbildung der tatsächlich auftretenden maximalen Belastungen, sondern ermöglicht auch, die Einflüsse unterschiedlicher Betriebsmodi (lokale Arbeitsrichtlinien) zu berücksichtigen. Somit lassen sich die Lastkollektive an die weltweit unterschiedlichen Einsatzbedingungen anpassen. Bei den Prüfstandsversuchen werden sowohl komplette

Aggregate als auch einzelne Baugruppen und Sensoren vor ihrem Feldeinsatz gezielt einem strengen Belastungstest unterzogen. Dabei wird jedes noch so kleine Detail (Kabelführung, Montageposition etc.) überprüft und optimiert.

Ein weiterer Vorteil eines solchen kontrollierten Prüfablaufs liegt in der Reproduzierbarkeit. Dadurch lassen sich beispielsweise die Auswirkungen etwaiger konstruktiver Änderungen deutlich besser testen und interpretieren. Gewonnene Erkenntnisse werden direkt in der Konstruktion berücksichtigt und die vorgelagerten Simulationen noch weiter optimiert.

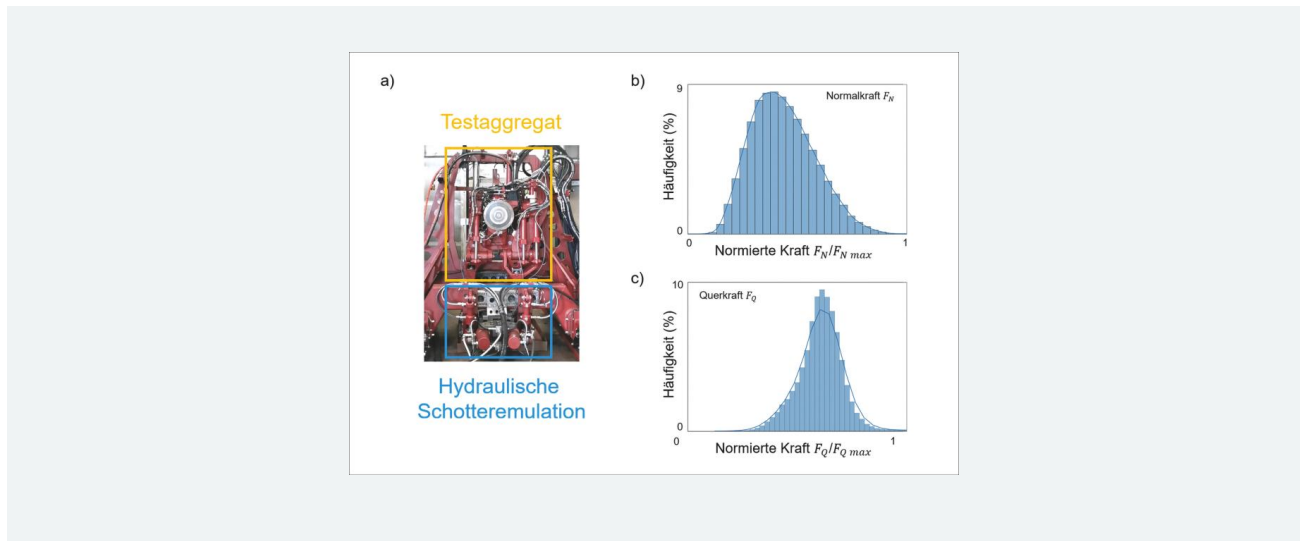


Bild 7: Prüfstand für Stopfaggregate a). Verteilungsfunktion der maximalen Eindringkräfte b) und maximalen Beistellkräfte c)

7 Feldtest

Feldtests sind seit jeher eine etablierte Methode, neu entwickelte Produkte zu testen. Besonders im Schwermaschinenbau (z.B. bei Stopfmaschinen) und bei Kleinserien bedeutet das einen enormen zeitlichen und personellen Aufwand. Am Computermodell simulierte Belastungstests waren lange Zeit schlichtweg nicht möglich. Moderne Simulationsmethoden und die immer leistungsfähigeren Computersysteme erlauben es nun, Belastungstests am Computer zu simulieren. Kombiniert man diese Methoden mit Prüfstandstests, können Feldversuche im modernen Maschinenbau auf ein Minimum reduziert werden. Trotz dieser technischen Möglichkeiten werden bei Plasser & Theurer immer noch zahlreiche Feldtests durchgeführt. Dafür steht neben eigenen Maschinen auch ein weltweites Netz an Entwicklungspartnern zur Verfügung, mit denen in enger Kooperation getestet wird. Die aus diesen Versuchen gewonnenen Erkenntnisse dienen dazu, die Resultate aus den vorherigen Prozessschritten zu bestätigen. Neben diesen Ergebnissen fließen die in der Praxis gesammelten Erfahrungen in zukünftige Entwicklungen mit ein.

8 Fazit

Um den wachsenden Anforderungen des modernen Bahnbaus weltweit gerecht zu werden, fordern Infrastrukturbetreiber immer individuellere Lösungen. Um diese zuverlässig anbieten zu können, wäre bei einem konventionellen Produktentwicklungsprozess eine Vielzahl an Versuchen und Feldtests notwendig, wodurch aufgrund von Streckensperrungen, Geräteeinsatz, Personalkosten etc. beträchtliche Aufwände entstehen. Mit Hilfe eines optimierten Produktentwicklungsprozesses mit den Möglichkeiten moderner Simulationsmethoden lassen sich diese Aufwände deutlich reduzieren. Mit virtuellen Belastungstests können etwaige Defizite schon frühzeitig erkannt werden und müssen nicht erst in einer aufwendigen Prototypenphase identifiziert und optimiert werden. Kombiniert man diese Methoden mit den umfangreichen Testmöglichkeiten eines speziell entwickelten Prüfstandes, lassen sich die notwendigen Feldversuche auf ein Minimum reduzieren. Feldtests können mit einem bereits optimierten Produkt durchgeführt werden, wodurch auch hier eine höhere Verfügbarkeit erreicht wird.

Durch konsequente Umsetzung des simulationsunterstützten Produktentwicklungsprozesses sind die Aggregate der Firma Plasser & Theurer bestens für die stetig steigenden Anforderungen im modernen Gleisbau gewappnet.

Literatur

- [1] European Commission: Action plan to boost long distance and cross-border passenger rail. Directorate-General for Mobility and Transport, 2021.
- [2] UNECE: 2021 Transport Statistics Infocards. https://unece.org/sites/default/files/2021-04/Infocards_2021_ENG_forweb%20light.pdf, abgerufen am 13.04.2023.
- [3] BMK; ÖBB Infra: Präsentation Rahmenplan 2023-2028. https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:5c6e2539-62bf-4652-87be-f401b0b90216/OeBB_Rahmenplan23-28_Praesentation_final-2.pdf, abgerufen am 13.04.2023.
- [4] Deutscher Bundestag: Ab 2022 mehr Investitionen in Schiene als in Straße geplant. <https://www.bundestag.de/presse/hib/831740-831740>, abgerufen am 13.04.2023.
- [5] Auer, F.; Antony, B.: Der Dynamische Gleisstabilisator auf Schiene. Eisenbahntechnische Rundschau 5 (2019), S. 48–51.
- [6] Hansmann, F.; Nemetz W.: Der Gleislage auf der Spur: Grundlagen – Fehlerermittlung – Korrektur – Qualität: Ein vergleichender Überblick über die DACH-Staaten. PMC, Leverkusen, Hamburg, 2019.
- [7] Schiehlen, W.: Multibody System Dynamics: Roots and Perspectives. Multibody System Dynamics, Volume 1, Issue 2 (1997), S. 149–188.
- [8] Shabana, A. A.: Flexible Multibody Dynamics: Review of Past and Recent Developments. Multibody System Dynamics, Volume 1, Issue 2 (1997), S. 189–222.
- [9] Barbir, O.; Pistol, J.; Kopf F. et al.: Gleisstopfen: Modellierung der Stopfpickel-Schotterbett-Interaktion. Geotechnik, Ausgabe 42, Nr. 4 (2019), S. 219–228.
- [10] Omerovic, S.; Philipp, T.; Auer F.: Die Anwendung der Diskrete-Elemente-Methode im Eisenbahnbau: Inverse Parameterbestimmung. Eisenbahntechnische Rundschau, Nummer 6 (2019), S. 44–48.