

Veranstaltungsort:

Heinz Nixdorf MuseumsForum
Fürstenallee 7, 33102 Paderborn

- **Mechatronische Produkte**
(neue Funktionalitäten, Industrie 4.0, Kosteneffizienz, Zuverlässigkeit, ...)
- **Ressourceneffizienz**
(Energie, Material, ...)
- **Automatisierte Mobilität**
(Konzepte, Modelle, Sensorik)
- **Systems Engineering und Entwicklungsmanagement**
(Prozesse, Verfahren, Software, ...)
- **Innovative Konzepte und digitale Geschäftsmodelle**
(Modelle, Regelung, Optimierung, Eco-Systeme)
- **Nutzerfreundlichkeit und Akzeptanz**
(Assistenzsysteme, Schnittstellen, Interaktion, Gesetzgebung, ...)
- **Systemvernetzung und Systemintegration**
(Konzepte, Verfahren, ...)
- **Smarte Aktoren**
(Konzepte, Beispiele, ...)
- **Serienfertigung mechatronischer Produkte**
(Fallbeispiele, Komponenten, Architektur, Qualitätsmanagement, ...)

www.VDI-Mechatroniktagung.de

Neue Ansätze für die Inbetriebnahme moderner Fahrzeuge

New approaches for the commissioning of modern vehicles

Prof. Dr.-Ing. Rainer Müller, Leonie Schirmer M.Sc., Marcel Otto M.Sc., Matthias Scholer, M.Sc.

ZeMA – Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik gGmbH, Lehrstuhl für Montagesysteme, Universität des Saarlandes. rainer.mueller@zema.de, l.schirmer@mst.uni-saarland.de, marcel.otto@zema.de, m.scholer@zema.de

Kurzfassung

Heutige Kraftfahrzeuge stellen komplexe mechatronische Systeme dar. Dem gegenüber stehen Trends in der Produktion, wie bspw. Industrie 4.0. Die Trends wirken sich auch auf die automobilen Endmontage aus, da hier neue Produkt- und Produktionstechnologien aufeinander treffen. Insbesondere bei sicherheitskritischen, mechatronischen Funktionen, wie z.B. bei Fahrerassistenzsystemen, kommen bei der Inbetriebnahme im sogenannten Bandende neue Anforderungen hinzu. Denn nur sichere Fahrzeuge dürfen die Produktion verlassen und auf die Straße geschickt werden. Die Inbetriebnahme der neuen Funktionen im Zusammenspiel zwischen Mechanik, Elektronik und Informatik führt jedoch zu steigenden Aufwänden, die in langen Prozesszeiten, parallelisierten Prozessen und hohen Investitionskosten für Messmittel resultieren. Um die Aufwände im End-of-Line zu reduzieren, wird eine Vorverlagerung der Inbetriebnahme in die Montagelinie oder zum Zulieferer angestrebt. Dafür werden einerseits neue Prozesstechnologien, andererseits neue Methoden zur Absicherung der Inbetriebnahmekonzepte benötigt. Zwei mögliche Ansätze werden in dem Beitrag vorgestellt.

Abstract

Today's motor vehicles are complex mechatronic systems. On the other hand, there are trends in production, such as Industry 4.0. These trends also have an impact on automotive final assembly, where new product and production technologies meet. Particularly in the case of safety-critical mechatronic functions, such as driver assistance systems, new requirements are being added to the end-of-line commissioning. Only safe vehicles may leave production and be sent onto the road. The commissioning of the new functions in the interaction between mechanics, electronics and information technology, leads to increased expenditure, which results in long process times, parallel processes and high investment costs for measuring equipment. In order to reduce the end-of-line effort, the aim is to move commissioning to the assembly line or to the supplier. On the one hand, this requires new process technologies, and on the other hand new methods for safeguarding commissioning concepts. Two possible approaches are presented in this paper.

1 Einleitung

Im Bereich der automobilen Endmontage ist die Inbetriebnahme der Fahrzeuge ein wichtiger Faktor zur Sicherstellung der Produktfunktion. Die Inbetriebnahme besteht aus der Justage, der Parametrierung und der Funktionsprüfung der mechatronischen Fahrzeugkomponenten [1]. Durch ständig wachsende Funktions- und Assistenzsystemumfänge der Fahrzeuge steigt auch die Anzahl und Komplexität der Inbetriebnahme-Prozesse, die im Bandende-Bereich (EOL) durchgeführt werden müssen. Für viele Inbetriebnahmeprozesse beträgt die Prozesszeit mehr als die Taktzeit der Montagelinie. Zusätzlich wird für die Inbetriebnahme eine durchgängige Referenz benötigt. Deswegen wird die Verkettung der Montagelinie aufgebrochen und die Prozesse werden auf mehreren Prüfständen parallelisiert. Die Ausstattung des EOL mit mehreren parallelen Prüfständen führt jedoch zu hohen Investitionskosten sowie für die Durchführung der Einstellung und die Verkettung der Prozesse zu hohen Personalkosten. Um diesem entgegenzuwirken, werden ständig Maßnahmen getroffen die Prozesszeiten auf den Prüfständen zu optimieren bzw. Inbetriebnahmeprozesse in andere Bereiche auszulagern.

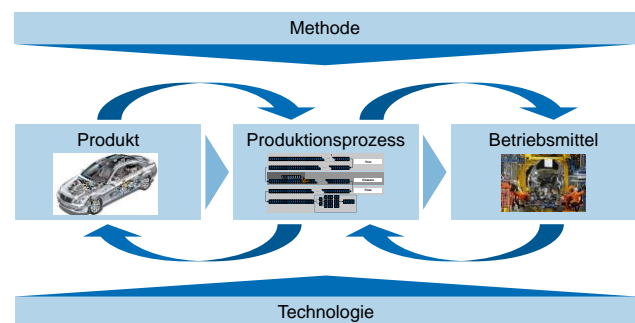


Bild 1: Spannungsfeld zwischen Produkt, Prozess und Betriebsmittel sowie Methode und Technologie

Die Weiterentwicklung der Inbetriebnahme, wie bspw. die Verlagerung der Inbetriebnahmeprozesse aus dem EOL in die Montagelinie oder sogar zu (internen) Zulieferern, findet im Spannungsfeld zwischen Produkt, Produktionsprozess und Betriebsmittel statt. Nach der Produktauslegung werden die Produktionsprozesse basierend auf dem Produkt gestaltet und darauf wiederum die Betriebsmittel. In die andere Richtung formieren die Betriebsmittel die Produktionsprozesse aus denen schließlich das Produkt Fahrzeug entsteht. Das System aus Produkt, Prozess und Betriebsmittel kann bei komplexen mechatronischen Produkten, wie modernen Fahrzeugen ebenfalls

beliebig komplex werden. Um das System zu kontrollieren ergeben sich zwei Möglichkeiten: systematische Untersuchung und Gestaltung durch neue Methoden, sowie der gezielten Veränderung durch neue Produkt- und Prozesstechnologien. Beide Ansätze sollten Hand in Hand angewandt werden. Eine methodische Untersuchung der Inbetriebnahme zeigt das Optimierungspotenzial, das mit der Entwicklung neuer Technologien gehoben werden kann. Die Machbarkeit des Einsatzes neuer Technologien wird wiederum durch die Methoden nachgewiesen.

Dieser Beitrag präsentiert eine Methode zur Untersuchung des aktuellen Systems Produkt-Prozess-Betriebsmittel im automobilen Bandende, die auch die Machbarkeit neuer Technologien nachweisen kann. Als neue Technologie wird die Einstellung der geometrischen Fahrachse betrachtet, welche die Grundlage für viele weitere Inbetriebnahmeprozesse darstellt.

2 Stand der Technik

Im folgenden Stand der Technik wird ein Einblick in die aktuellen EOL Technologien gegeben und Absicherungsmethoden für ein zukünftiges Bandende aufgezeigt.

2.1 Aktuelle Prozesstechnologien im End-of-Line

Die Fahrzeugproduktion ist in mehrere Montagebereiche aufgeteilt. Im letzten Bereich der Montagelinie folgt eine Reihe von Inbetriebnahmeprozessen, die das Fahrzeug in einen qualitativ guten funktionsfähigen Zustand versetzen.

Ein wichtiger Punkt für das fehlerfreie Arbeiten der Fahrerassistenzsysteme ist die Inbetriebnahme der zugehörigen Sensorik. Bei der Inbetriebnahme werden die Sensoren zu einem geometrischen Bezug des Fahrwerks kalibriert. Diesen Bezug bildet die geometrische Fahrachse des Fahrzeugs. Bild 2 zeigt, wie sich die Fahrachse bestimmen lässt. Die beiden Einzelspurwinkel α_{hl} und α_{hr} der Hinterachsräder schneiden sich bei Verlängerung in einem Punkt. Beide Einzelspurwinkel bilden den Gesamtspurwinkel α . Die Winkelhalbierende $\alpha/2$ der Gesamtspur an der Hinterachse bildet daraus die geometrische Fahrachse. Somit wird die geometrische Fahrachse allein durch die Hinterachse definiert. [2]

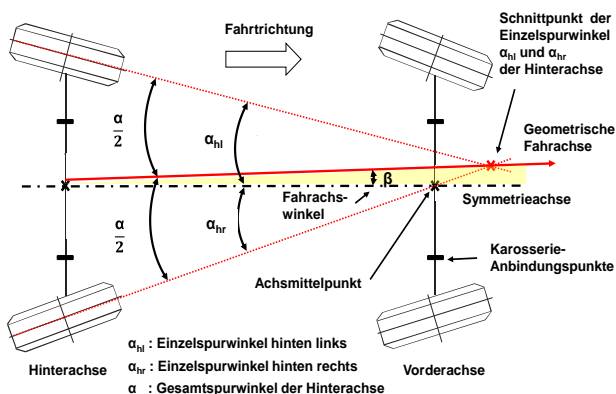


Bild 2: Fahrwerkgeometrien des Fahrzeugs

Nicht nur die Ausrichtung und Kalibrierung der Fahrerassistenzsystem-Sensorik zur geometrischen Fahrachse ist wichtig, sondern auch die Ausrichtung der Fahrachse in Bezug zur Fahrwerkgeometrie des Fahrzeugs. Hierbei ist auch die Fahrzeugsymmetrieachse von Bedeutung. Diese bildet sich durch die Mittelpunkte der Fahrzeugvorder- und -hinterachse. Der Winkelversatz zwischen der geometrischen Fahrachse und der Fahrzeugsymmetrieachse wird als Fahrachswinkel β bezeichnet. Dieser Winkel ist meistens sehr eng vom Fahrzeughersteller mit wenigen Winkelminuten toleriert. [2]

Die Fahrzeughinterachse wird bei der Fahrzeugmontage als Modul montiert und voreingestellt. Je nach Hersteller lassen sich Spur- und/oder Sturzwerte zum eigenen Achsbezugssystem einstellen. Die Lage der geometrischen Fahrachse im fertig montierten Fahrzeug wird von dieser Voreinstellung und der Einbaulage der Hinterachse zur Karosserie bestimmt. Aufgrund von Toleranzen kann in der Fahrzeugendmontage beim Fügen der Fahrzeugachsen mit der Karosserie die geometrische Fahrachse nicht exakt auf der Fahrzeugsymmetrieachse liegen. Bei zu hohen Abweichungen ist am Ende der Montagelinie oder in der Nacharbeitslinie eine spätere Korrektur durch Einstellung der Einzelspuren an der Hinterachse notwendig.

Das Fahrzeug wird nach Verlassen der Hauptmontagelinie und nach erfolgtem Motorerstart in die Fahrzeuginbetriebnahme verbracht. Aufgrund der zeitintensiven Prozesse auf den Prüfständen, ist die Linientaktzeit, die meistens zwischen ca. 1 bis 2 Minuten liegt, nicht einzuhalten. Aus diesem Grund werden die Linien des EOL, wie Bild 3 beispielhaft zeigt, in parallele Strukturen aufgefächert. Dadurch werden die Prüfmittel mehrmals benötigt wodurch, entsprechend der Funktionalität und Ausstattung der Prüfstände, für den Fahrzeughersteller hohe Investitions- und Betriebskosten entstehen.

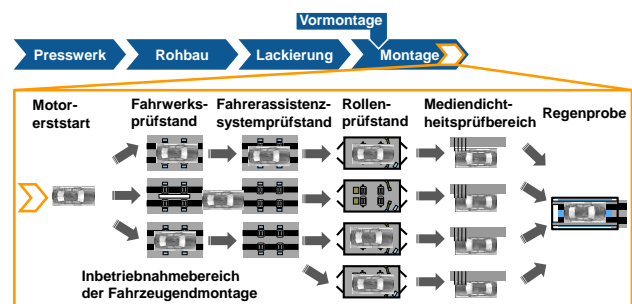


Bild 3: Beispielhafter Aufbau eines EOL

Auf dem Fahrwerkgeometrieprüfstand werden in erster Linie Fahrwerkparameter wie Spur und eventuell Sturz eingestellt. Dem Prüfstand nachgelagert folgt der Fahrerassistenzsystemprüfstand zur Inbetriebnahme der Umfoldsensorik des Fahrzeugs. Maßgeblich dafür ist die geometrische Fahrachse des Fahrzeugs, die zur Position des Fahrzeugchassis im Prüfstand bekannt ist. Je nach System wird ein Target des Prüfstands zur geometrischen Fahrachse ausgerichtet. Dies kann für eine Fahrzeugkamera-Kalibrierung beispielsweise eine Zielplatte mit Referenzmustern sein. Aufgrund der hohen geforderten Genauig-

keiten bei diesem Vorgang von ca. $\pm 0,02^\circ$ (ca. 1 Winkelminute) zwischen Fahrachse und Target ist die benötigte Mess-/Prüfstandtechnik sehr kostenintensiv. Hinzu kommt, dass aktuell nur eine Inbetriebnahme stattfindet und keine spätere Überprüfung erfolgt, ob die Inbetriebnahme erfolgreich war. Dies ist jedoch für zukünftige Fahrzeugsysteme, wie das autonome Fahren erforderlich, da die Systeme ab dem Verlassen der Produktion bei Kilometer Null zuverlässig arbeiten sollen [3].

2.2 Absicherungsmethoden für das End-of-Line

Das Ziel der Absicherung ist eine Analyse der Zuverlässigkeit eines Systems im Vergleich zum (gesellschaftlich) akzeptierten Risiko. Die steigende Komplexität mechatronischer Produkte ist dabei eine große Herausforderung, denn je größer die Anzahl der abzusichernden Funktionen, desto unzuverlässiger ist das Gesamtverhalten des Systems. [4]

Neben digitalen Methoden ist eine weitere Möglichkeit zur Absicherung die Kombination von Methoden des Toleranz- und Qualitätsmanagements: [3]

Variation Risk Management (VRM)

Das VRM hat die Organisation der mit Abweichungen verbundenen Risiken zum Ziel und ist vor allem in der Flugzeugbranche verbreitet. Eine zentrale Rolle übernehmen Key Characteristics (KCs) die als quantifizierbares Merkmal mit nicht akzeptablem Einfluss auf das Produkt definiert sind. Die KCs werden im KC Flowdown, einer Baumstruktur, miteinander verknüpft, um so Wechselwirkungen sichtbar zu machen. Anschließend wird das Risiko abgeschätzt, die Produktfunktion aufgrund zu hoher Abweichungen nicht realisieren zu können. [5]

Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)

Ziel der FMEA ist die Identifikation potenzieller Produkt- und Prozessfehler während der Planung sowie die Bewertung deren Schwere und Abstimmung. Dabei verknüpft der Fehlerbaum Fehler, Fehlerursachen und -folgen. [4]

Toleranzketten

Toleranzketten visualisieren und berechnen das Zusammenspiel von Toleranzen in Hinblick auf eine geforderte Schließtoleranz, wobei selbst die Simulation geometrischer Toleranzen (Maß-, Form- und Lagetoleranzen) schwierig ist, bspw. aufgrund der Notwendigkeit Gelenke und lichte Weiten zu modellieren. [6]

Die grundsätzliche Absicherung eines Produktes und seiner Toleranzen schafft der Prozess- und Betriebsmittelplanung einen Rahmen, legt die genaue Ausführung jedoch nicht fest. Für einen Nachweis der Machbarkeit von Produktionskonzepten und die Sicherstellung von Produktfunktionen und -sicherheit für jedes einzelne Produkt fehlen derzeit Methoden. Diese sollten insbesondere die Wechselwirkungen der Abweichungen in der Prozesskette und im Materialfluss, bspw. aufgrund sich kreuzender Montagelinien betrachten. Durch die sich kreuzenden Materialströme werden die Wechselwirkungen im System Produkt, Prozess und Betriebsmittel noch komplexer. Bild 4 zeigt, dass Achsen die auf Montagelinie 2 und Fahrwerkstand 1 überprüft werden, von allen drei Achseinstellanlagen stammen können.

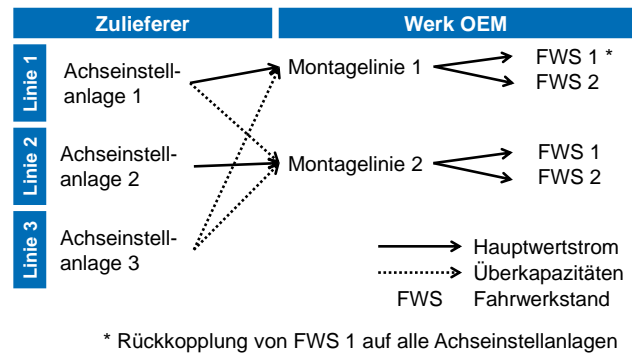


Bild 4: Beispielhafte Materialströme für Hinterachsen zwischen den Prozessen

Zudem sind für die Montage mechatronischer Produkte Inbetriebnahmeprozesse von großer Bedeutung, die mit existierenden Ansätzen oft nicht abgebildet werden können. Für die (Um-) Planung ist außerdem ein Systemmodell von Vorteil, das direkt Veränderungen im System zeigt und sich nicht auf (vermeidbare) Fehler konzentriert.

3 Neuer Ansatz für die Inbetriebnahme im automobilen EoL

Aus der grundsätzlichen Idee Inbetriebnahmeumfänge aus dem EoL in die Montagelinie und zum (internen) Zulieferer zu verlagern, werden Konzepte für eine neu aufgeteilte Inbetriebnahme sowie eine neue Technologie abgeleitet. Diese werden dann durch die Merkmalentstehungsanalyse auf grundsätzliche Machbarkeit geprüft. Ziel ist die abgesicherte Neugestaltung des EoL, welche sowohl technische als auch wirtschaftliche Gesichtspunkte verfolgt.

3.1 Ansatz für eine effizientere und abgesicherte Inbetriebnahme

Um den zuvor genannten Wechselwirkungen in den Materialströmen entgegenzuwirken, soll durch eine neue Technologie Abhilfe geschaffen werden. Das Radadaptionssystem (RAS), welches am ZeMA in Saarbrücken erforscht und entwickelt wurde, soll die Inbetriebnahme der Hinterachsmodule innerhalb des Materialstroms effizienter gestalten. Das ist möglich da ein System, jeweils einer Montagelinie zugeordnet ist.

Weiterhin sollen durch dieses System die Inbetriebnahmeprozesse auf dem Fahrwerkstand (FWS) in die Hauptmontagelinie vorverlagert werden. Zu diesen Prüfumfängen zählen unter anderem die Inbetriebnahmen der Fahrerassistenzsysteme. Um die Fahrerassistenzsystem-Sensorik in der Montagelinie im Folgenden in Betrieb nehmen zu können, muss die geometrische Fahrachse des Fahrzeugs bereits im Montagegehänge der Fließmontagelinie ermittelt werden. Hierbei muss beachtet werden, dass der Messprozess der Fahrwerksparameter der Hinterachse spannungsfrei und bei eingefederter Fahrzeugachse erfolgen muss.

Aus diesem Grund soll bei dem hier gewählten Ansatz das Radadaptionssystem die Verbindung zwischen Fahrzeug und Messtechnik herstellen. Das System soll in Verbindung mit einer Messtechnik die geometrische Fahrachse des Fahrzeugs automatisiert ermitteln. Diese ermittelten

Parameter sollen im Nachgang zur Inbetriebnahme der Fahrerassistenzsysteme via Targets in der Fließmontage als Bezug dienen.

Bei erfolgreicher Verlagerung der Inbetriebnahmen in die Montagelinie, soll ein FWS noch zu Nacharbeit und zur Absicherung der Fahrzeugsysteme genutzt werden. Zu dieser Absicherung soll das Fahrzeug über den Prüfstand gefahren werden, der nach kurzer Prüfung lediglich via Ampelsignal anzeigt, ob die Inbetriebnahme korrekt war oder das Fahrzeug Nacharbeit benötigt. Ein weiterer Vorteil durch den neuen Prozess ist, dass in der Montagelinie und am EOL unterschiedliche Prüftechnologien zur Inbetriebnahme und Absicherung verwendet werden. In Bild 5 ist diese Zielvorstellung zu diesem Gesamtkonzept aufgezeigt.

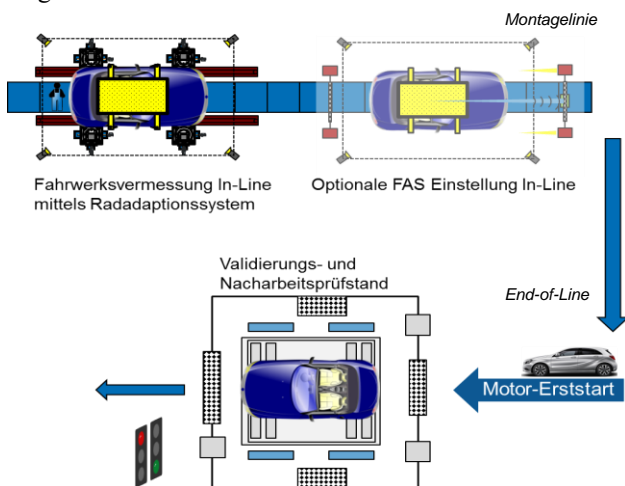


Bild 5: Zielbild einer modernen Fahrzeuginbetriebnahme inklusive der Absicherung der Fahrzeugsysteme

Durch die Verlagerung der Prüfumfänge in die Montagelinie werden Rüstzeiten minimiert, was zu einer Annäherung an den Montagelinien-Grundtakt führt und somit zur Effizienzsteigerung beiträgt.

Mittels des Radadaptionssystems soll das Fahrwerk in der Produktionslinie vermessen werden. Dabei kann es so skaliert werden, dass es nur die Hinterachse oder das gesamte Fahrwerk vermessen kann.

Jedoch auch bei der Inbetriebnahme mit dem neuen System ergibt sich folgende Herausforderung:

Ein frühes Einstellen ist oft bezüglich der Zugänglichkeiten und der Prüfung im Modul zu bevorzugen. Optimal wird eine spätere Einstellung des Produktes in seinem Endzustand bevorzugt, da die Einstellung nicht mehr durch weitere Prozesse beeinflusst wird.

Um die Umfänge in der Inbetriebnahme so klein wie möglich zu halten, soll folgendes Konzept betrachtet werden:

Die Hinterachse wird als Modul entwickelt, montiert und als solches auch geprüft. Bei der Prüfung erfolgt die Einstellung auf einen Voreinstellwert. Die Einstellung der Hinterachse wird nach der Aufrüstung im Antriebsstrang und dem Einbau der Hinterachse in der Hochzeit als Basis für die weitere Inbetriebnahme mit dem Radadaptionssystem überprüft. Sollte dabei eine evtl. Nacharbeit notwendig

sein, kann diese je nach Bedarf direkt in der Montagelinie oder auf dem Validierungs- und Nacharbeitungsprüfstand am EOL durchgeführt werden.

Um die Einflüsse der Prozesse zwischen Einstellung der Hinterachse und Nachmessung der geometrischen Fahrachse auszugleichen wird der QM-Regelkreis eingeführt. Das heißt die Hinterachse wird nicht auf den eigentlichen Zielwert des EOL eingestellt, sondern über den Regelkreis wird ein Voreinstellwert vorgegeben, der die Prozesseinflüsse aus dem Fügen mit der Karosserie ausgleicht. Da die Prüfstände jedoch mehrmals am EOL vorhanden sind, kann dies negative Auswirkungen auf den Regelkreis haben. Durch ein einzelnes Radadaptionssystem in der Produktionslinie kann daher der Regelkreis vereinfacht und effizienter gestaltet werden.

3.2 MEWA als neue Absicherungsmethode

Die Merkmalentstehungs- und -wechselwirkungsanalyse (MEWA) ist eine Methode des prozessorientierten Toleranzmanagements aus der Montage heraus. Ziel ist die Planung und Optimierung von Prozess- und Betriebsmittelabweichungen bzw. -toleranzen, wobei sowohl Wechselwirkungen im Materialstrom als auch Messunsicherheiten und Inbetriebnahmeprozesse betrachtet werden. Die MEWA soll eine einfache Methode darstellen, welche die grundsätzliche Erreichbarkeit neuer (Inbetriebnahme-) Konzepte prüft.

Die MEWA wird als eine Toolbox verschiedener Methoden entwickelt, mit dem neuen Merkmalentstehungsbaum (MEB) als Herzstück. Der MEB wird mit Methoden aus dem Toleranzmanagement und dem Qualitätsmanagement kombiniert und erweitert. Aus dem Toleranzmanagement werden dabei insbesondere Toleranzketten und deren Berechnung genutzt; aus dem Qualitätsmanagement kommen statistische Untersuchungen zum Einsatz.

Die MEWA hat vier Betrachtungsbereiche bzw. Sichtweisen wovon jeweils zwei im Zusammenspiel stehen:

Merkmalentstehung

Beschreibung der grundsätzlichen Zusammenhänge der Merkmale von Produkt, Prozessen und Betriebsmitteln im MEB. Zielmerkmal und oberstes Merkmal im MEB ist ein (Prozess-)kundenmerkmal, im EOL z.B. die genaue Einstellung der geometrischen Fahrachse als Grundlage für folgende Prozesse. Prozesse und Betriebsmittel werden in Modulen zusammengefasst und zur Wiederverwendung in einer Bibliothek gespeichert.

Merkmalentstehung im Materialstrom

In der Montage entstehen die Merkmale an unterschiedlichen Stellen in der Montage, das heißt auch an unterschiedlichen Stellen im Materialstrom, wobei sie unterschiedliche Betriebsmittel durchlaufen. Selbst wenn Materialstrom und Betriebsmittel ähnlich sind, so wirken sie sich nie gleich auf die Produkte aus. Die Unterschiede sind vor allem bei Mess- und Einstellprozessen interessant, da diese oft den Endzustand des Produktes bestimmen. Auch die Merkmalentstehung im Materialstrom wird in einer Baumstruktur dargestellt.

Statistische Analyse des Merkmalentstehungsbaums

Die gezielte Anwendung von Hypothesentests und Regressionsanalysen zeigt Zusammenhänge und deren Stärke zwischen den Merkmalen und unterstützt damit die Konzentration auf die für die Fragestellung wichtigen Merkmale. Außerdem werden die Hypothesentests genutzt, um die reale Entstehung der Merkmale im Materialstrom, bspw. zwischen zwei Linien, zu vergleichen. Zusätzlich können klassische statistische Methoden wie Pareto-Diagramme zur Analyse der Fehlerdaten genutzt werden.

Kausale Analyse des Merkmalentstehungsbaums

Analyse des Optimierungspotenzials der Merkmalszusammenhänge. Die Merkmalentstehungsbäume werden auf Formen geprüft, die auf einen großen Einfluss einzelner Merkmale schließen lassen. Des Weiteren werden die statistischen Zusammenhänge aus den vorangegangenen Hypothesentests und Regressionsanalysen auf Kausalität geprüft. Zudem wird untersucht, ob sich kreuzende Materialströme die Abweichungen der Zielmerkmale (KC) beeinflussen.

4 Implementierung der Optimierungsansätze

Um die Effizienz der Inbetriebnahme in der Fahrzeugproduktion zu steigern, muss als erster Schritt die Spureinstellung der Hinterachse betrachtet werden, da sich aus dieser die geometrische Fahrachse definiert. Diese geometrische Größe dient als Referenz für alle weiteren Inbetriebnahmeprozesse, wie bspw. die Einstellung der Spurwerte an der Vorderachse, als auch die Kalibrierung der Umfeldsensoren und Scheinwerfer des Fahrzeugs.

Das Radadaptionssystem soll im Folgenden die geometrische Fahrachse des Fahrzeugs frühzeitig in der Montagelinie erfassen. Das System besteht aus dem Radadaptionkopf, der Kopfaufhängung, der Schwimmereinheit und der kinematischen Bewegungseinheit. Durch diese Teilsysteme werden die Prozessanforderungen, wie intelligentes Verbinden mit der Radnabe und spannungsfreies Einfedern bis in die konstruktive Nulllage (Herstellervorgabe) des Fahrzeugs, erfüllt. [7] Daraus sind gleiche Bedingungen wie auf einem heutigen Fahrwerkprüfstand geschaffen.

Der Radadaptionkopf kann über Polymerhülsen eine schnelle prozesssichere Verbindung herstellen [8]. Durch dieses Verfahren können sowohl Hubkräfte, als auch rotatorische Momente auf die Fahrzeugradnabe übertragen oder aufgenommen werden.

Das Messsystem hinter dem Adaptionkopf ist mit einem Stereokamerasystem zur Ermittlung der Adaptionkoordinaten, einem Sensor zum Erfassen der Fahrzeughöhenlage und drei Triangulationssensoren zur Fahrwerkgeometriemessung ausgestattet. Durch Rotation der Radnabe über den Radadaptionkopf, kann eine Umschlagkompensationsmessung erfolgen und die Fahrwerkparameter in der Nulllage des Fahrzeugs vermessen werden.

In Kombination des Radadaptionssystems mit Bodenlinearen für den Fließbetrieb in der Montagelinie abzubilden und mit einem Targetsystem, lassen sich aus den gemessenen Geometrien die Assistenzsysteme kalibrieren.

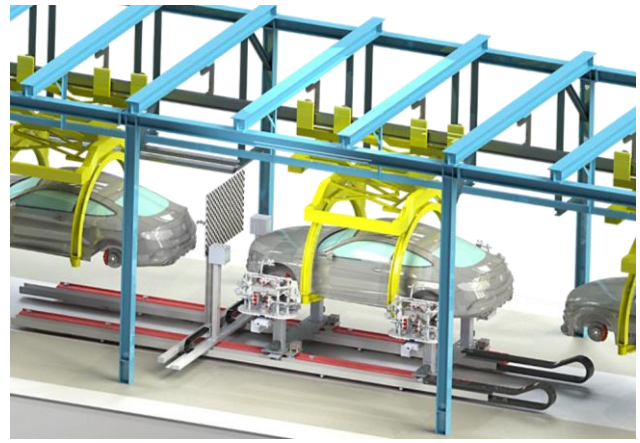


Bild 6: Neue Inbetriebnahme-Technologie in der Modelllandschaft am ZeMA

Bild 6 zeigt den prototypischen Aufbau des Gesamtsystems. Das Targetsystem kann dabei je nach Sensor unterschiedlich ausfallen. So werden beispielsweise bei Kamerasystemen Zielplatten mit Mustern verwendet, wie die Abbildung zeigt.

Erste Untersuchungen des Prototypens haben bereits gezeigt, dass das System für den Einsatz in der Produktion geeignet ist. Dabei wurden die Prüf- und eine Messmittelfähigkeit nachgewiesen. Auch die Reproduzierbarkeit des Gesamtsystems, die im Bereich von 0,005° liegt zeigt, dass das System den Prozessanforderungen gerecht wird.

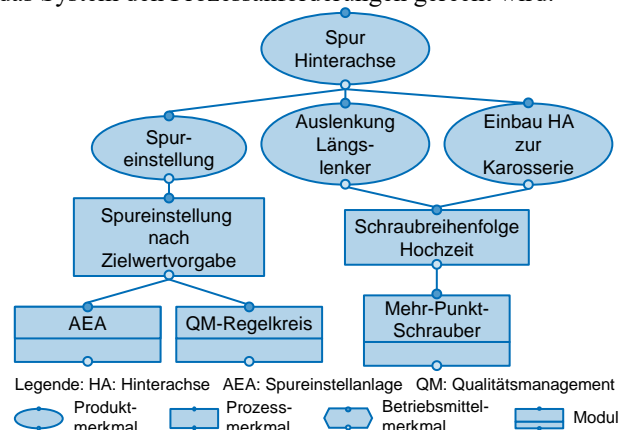


Bild 7: Merkmalentstehungsbaum (MEB) für die Einstellung der Spur der Hinterachse

Die grundsätzliche Merkmalentstehung für die Spur der Hinterachse stellt sich wie im Bild 7 dar. Die Spur ist produktseitig abhängig von der Spureinstellung, der Auslenkung des Längslenkers und dem Einbau der Hinterachse zur Karosserie. Diese hängen wiederum von den Prozessmerkmalen Zielwertvorgabewert bei der Spureinstellung und der Schraubreihenfolge beim Fügen mit der Karosserie ab. Der Zielwert hängt vom Qualitätsmanagement(QM)-Regelkreis und der gesamten Spureinstellanlage ab (hier als Modul dargestellt, da sie tiefer betrachtet werden könnte und kein Merkmal darstellen). Die Schraubreihenfolge hängt betriebsmittelseitig vom in der Hochzeit genutzten Mehr-Punkt-Schrauber ab. Hier zeigt sich der Unterschied zwischen den Konzepten: bei einer Einstellung am Ende

der Linie würde der Baum nur von dem Ast Spureinstellung abhängen. Jedoch ist im MEB bei den entsprechenden Konzepten kein Unterschied zwischen einer klassischen Einstellung auf dem FWS und einer Einstellung im Radadaptionssystem zu sehen.

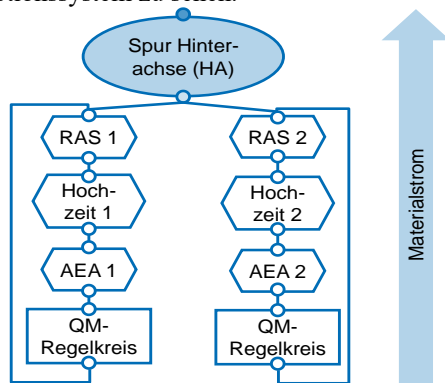


Bild 8: Merkmalsentstehungsbaum im Materialfluss (abstrahiertes Beispiel aus der industriellen Anwendung)

Der Unterschied zwischen der Nachmessung auf dem Fahrwerkstand und der Messung durch das Radadaptionssystem ist im Merkmalsentstehungsbaum im Materialfluss zu sehen. In Bild 8 ist klar die Durchgängigkeit der beiden Montagelinien bei der Nutzung des RAS zusehen. Wechselwirkungen entstehen im dargestellten Beispiel nur innerhalb einer Linie und übertragen sich nicht auf die andere Linie. Zudem ist der Einfluss der Qualitätsregelkreise zu sehen.

Bei der Absicherung neuer Konzepte kann für eine statistische Untersuchung teilweise auf vorhandene, übertragbare Daten zurückgegriffen werden. Um die Wechselwirkungen der Prozesse auch in den Daten zu erkennen, muss die Nachverfolgbarkeit der einzelnen Achsen in den Daten hergestellt werden, bspw. über durchgehende IDs.

In den untersuchten Daten war klar festzustellen, dass die Nachmessung abhängig von der Einstellung beim Zulieferer ist. Das soll natürlich so sein und zeigt, dass der Regelkreis grundsätzlich funktioniert.

Eine Anwendung von Hypothesentests auf historischen Daten zeigte eine Abhängigkeit der Nacharbeit vom Prüfstand, d.h. die Systeme und Linien sind nicht gleich. Aus dieser Erkenntnis können Hinweise für die Absicherung zukünftiger Systeme abgeleitet werden: Eine Querkalibrierung zwischen Mess- und Prüfständen ist von zentraler Wichtigkeit, um eine Vergleichbarkeit in den Linien herzustellen. Die Querkalibrierung wird noch wichtiger soll nur ein Regelkreis genutzt werden. Dies funktioniert grundsätzlich, jedoch muss dann noch mehr auf die Vergleichbarkeit der Linien geachtet werden.

Ein Design of Experiment zeigte zudem wie die Auslenkung des Längslenkers die Spur der Hinterachse beeinflusst: hier ist ein proportionaler, fast linearer Zusammenhang zwischen Auslenkung und Spur zu sehen.

Die kausale Analyse des MEB und des Materialstroms zeigt auch, wie wichtig die gute Gestaltung des Fügeprozesses und des Qualitätsregelkreises ist, da sich diese direkt auf die Spur auswirken.

Zusammenfassend lässt sich folgende Aussage treffen: Die mit dem Radadaptionssystem erzielte Strukturierung der Linien verhindert viele Wechselwirkungen im Vorhinein. Ein besonderes Augenmerk muss produktseitig auf eine montagegerechte bzw. inbetriebnahmegerechte Hinterachse und prozessseitig auf eine genaue Ausgestaltung des QM-Regelkreises, bspw. in Verbindung mit einer Querkalibrierung, gelegt werden.

5 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das neue prototypisch entwickelte Radadaptionssystem einen großen Beitrag in Richtung Einlinigkeit und Neustrukturierung des Bandendes leistet. Die Möglichkeit der Strukturierung der Linien in der automobilen Endmontage zeigt auch die Betrachtung des möglichen Konzepts mittels der MEWA. Diese zeigt die Voraussetzungen bei der montagegerechten Konstruktion und der Prozessgestaltung. In der MEWA werden dabei die Kernprozesse im Materialstrom sichtbar, welche genau die zu betrachteten Prozesse zur Absicherung darstellen. Beide Ansätze, sowohl das Radadaptionssystem als auch die MEWA, schaffen erst die Grundlage für neue Gesamtkonzepte für die Inbetriebnahme autonom fahrender Fahrzeuge in einem schlanken EOL. Diese Grundlage muss in den nächsten Jahren durch weitere Forschung erweitert werden.

6 Literatur

- [1] Müller, R.: *Gestaltungsrichtlinien. Montagegerecht*. In: Feldhusen J.; Grote, K.-H. (Hg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 8. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2013. S. 702-725.
- [2] Heißing, B.; Ersoy, M.; Gies, S.: *Fahrwerkhandbuch*. Springer Vieweg: Wiesbaden, 2013
- [3] Gresser, J.: *Ganzheitliche Absicherung der Inbetriebnahme. Eine Methodik zur Absicherung der Inbetriebnahme von mechatronischen Komponenten und Systemen am Beispiel des autonomen Fahrens*. Dissertation 2018. Saarbrücken.
- [4] Pfeifer, T.; Schmitt, R.: *Qualitätsmanagement. Strategien, Methoden, Techniken*. 4., Aufl. München: Hanser, Carl, 2008.
- [5] Thornton, A.C.: *Variation risk management. Focusing quality improvements in product development and production*. Hoboken, NJ: Wiley, 2004.
- [6] Polini, W.: *Geometric Tolerance Analysis*. In: Colosimo, B.M.; Senin, N. (Hg.): *Geometric Tolerances. Impact on Product Design, Quality Inspection and Statistical Process Monitoring*. London: Springer-Verlag London, 2011. S. 39-68.
- [7] Patent no. DE 10 2016 110 830.8 "Vorrichtung zur Befestigung einer Adaptionplatte an einer Radnabe eines Fahrzeugs und Verfahren zum Betrieb einer Adaptionplatte an einer Radnabe eines Fahrzeugs".
- [8] Patent no. DE 10 2011 011 407.6 "Verfahren und Prüfmaschine für die Inbetriebnahme eines Kraftfahrzeugs".