Berufsbildungswissenschaftliche Schriften
Leuphana-Seminar-Schriften zur Berufs- und Wirtschaftspädagogik
Band 4: Die BBS Friedenstraße auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung ISSN 1864-3485
S. 89-98

Rolf Steinhilper, Stefan Freiberger

Neue Qualifikation zur Kfz-Ersatzteilversorgung durch Austauschteileproduktion (Remanufacturing) von mechatronischen Baugruppen

Abstract

In den heutigen Fahrzeugen ist eine große Anzahl an elektronischen und mechatronischen Systemen integriert. Die steigenden Rückrufraten und Pannenzahlen zeigen, dass vor allem innovative Systeme die Zuverlässigkeit von Fahrzeugen gefährden bzw. große Herausforderungen an den Service stellen. Diese komplexen Systeme können von heutigen Werkstätten nicht mehr repariert werden, was oft zu deren Ersatz durch Neuteile führt. Die Austauschteileproduktion (englisch: Remanufacturing; deutsch Refabrikation) von mechanischen und elektromechanischen Systemen zu Austauschteilen anstelle deren Neuproduktion steuert diesen Problemen erfolgreich entgegen. Der Artikel zeigt auf, mit welchen Verfahren und Technologien elektronische und mechatronische Systeme aufgearbeitet werden können, was in der Zukunft im großen Maßstab auch neue Qualifikationen der in dieser Kfz-Service-Wertschöpfungskette tätigen Fachleuten erfordert.

Inhalt

1. Einleitung
2. Auswirkungen
3. Auswahl von Systemen
4. Technische Herausforderungen im Remanufacturing von Automobil-Mechatronik
5. Spezifikationen
6. Eingangsfunktionsprüfung
7. Prüfung und Fehlerdiagnose von Elektronikbaugruppen
8. Ausblick

1. Einleitung

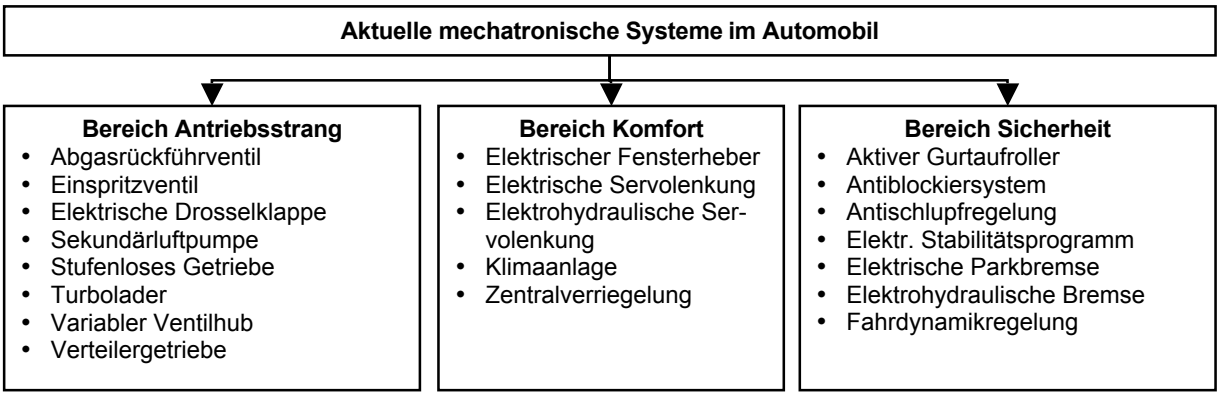
Heute ist eine große Anzahl an innovativen, komplexen und vernetzten mechatronischen Systemen im Antriebsstrang sowie in den Sicherheits- und Komfortsystemen der aktuellen Kraftfahrzeuge verbaut. In Fahrzeugen der Ober- und Mittelklasse sind mehrere Duzend und in Kleinwagen einige mechatronische Systeme verbaut. Bild 1 zeigt einen Ausschnitt über die verbauten mechatronischen Systeme in heutigen Fahrzeugen.

Das optimale Zusammenspiel zwischen Aktoren, Sensoren, Elektronikbaugruppen und der Mechanik sowie die fehlerfreie Funktion jedes Teilsystems sind die Grundvoraussetzungen für die Funktion der Systeme. Bereits eine kurzzeitige Fehlfunktion eines Bauteils kann zum Ausfall des gesamten Systems führen.

Sowohl die geschilderten Vernetzungen und Abhängigkeiten, als auch die unüberschaubar hohe Anzahl an Varianten, die hohe Integrationsdichte von Funktionen, die hohe Komplexität, die extremen Umgebungsbedingungen bez. Temperaturschwankungen, Luftfeuchte, Vibrationen etc. und der Druck auf Entwickler, einen Entwurf in

möglichst kurzer Zeit fertig zu stellen, haben, vor allem bei besonders innovativen Fahrzeugen, die Zuverlässigkeit in den letzten Jahren verringert. Die hohe Komplexität und Variantenvielfalt hat dazu geführt, dass sogar markengebundene Werkstätten fehlerhafte mechatronische Systeme zwar über das On-Board-Diagnosesystem (OBD) erkennen aber nicht mehr diagnostizieren und reparieren können. Daraus resultiert, dass unabhängig von der Schwere des Fehlers, das gesamte System ausgetauscht werden muss.

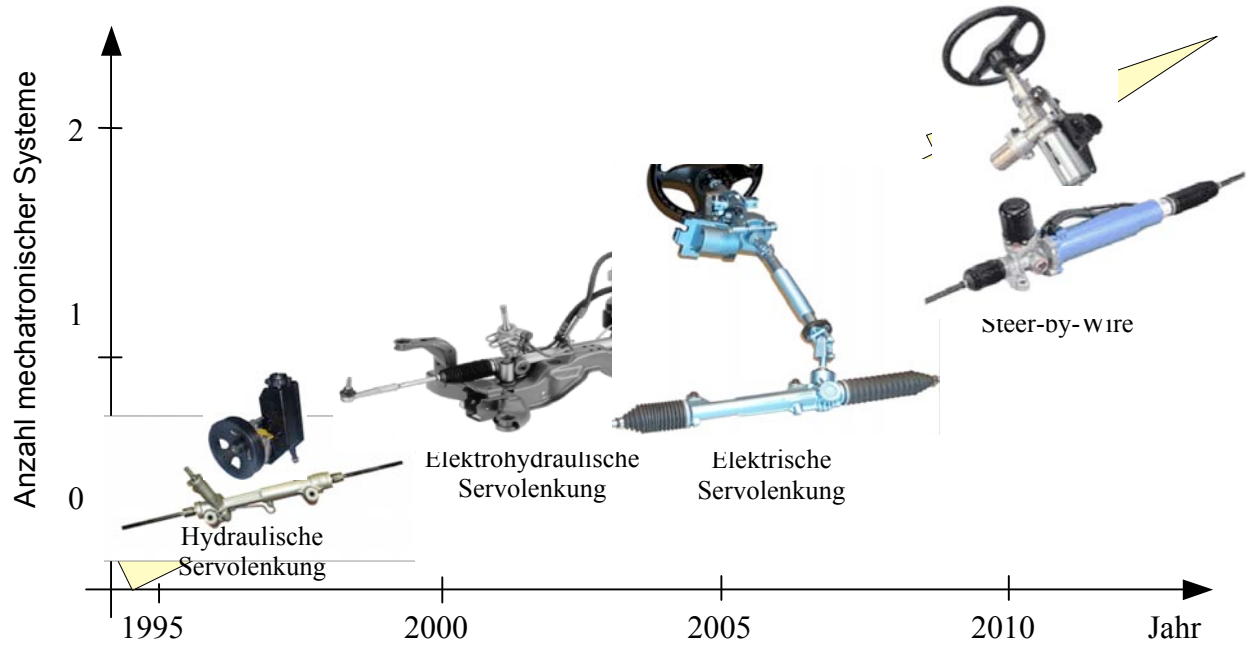
Bild 1: Aktuelle mechatronische Systeme in Fahrzeugen.



2. Auswirkungen

Da der Bestand an Kraftfahrzeugen in Deutschland rund 50 Mio. Stück (Statistische Ämter 2010) und in Europa rund 225 Mio. Stück beträgt (ACEA 2009) und stetig weiter wächst, sind in Deutschland mehrere 100 Mio. und in Europa ca. 1 Mrd. mechatronische Systeme im Fahrzeug verbaut. Bild 2 verdeutlicht den Trend hin zu mechatronischen Systemen am Beispiel der Lenkungssysteme.

Bild 2: Trend zu mechatronischen Systemen am Beispiel der Lenkungssysteme.



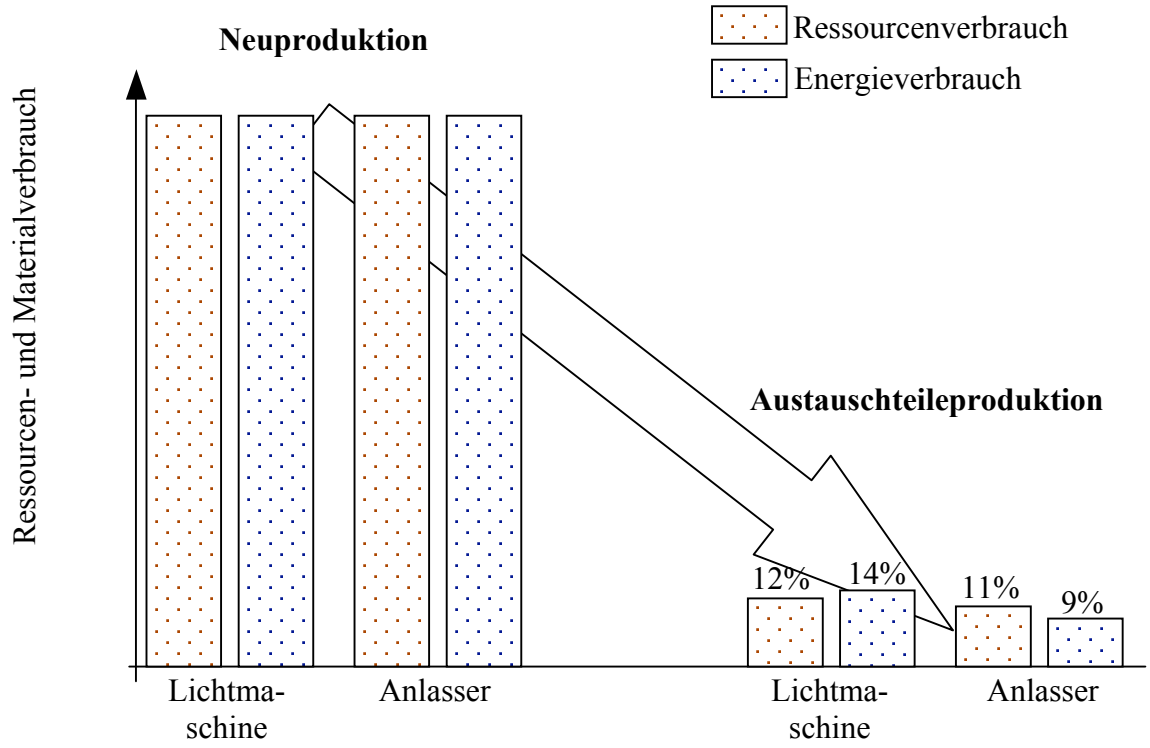
Durch die hohe Anzahl an verbauten mechatronischen Systemen, die Probleme in der Zuverlässigkeit und die Tatsache, dass Werkstätten die Systeme nicht mehr reparieren können, führt zu einem hohen Bedarf an mechatronischen Systemen als Ersatzteile.

Die konventionelle Produktion von Originalersatzteilen als Neuteile bedarf eines hohen Einsatzes an Energie und Ressourcen. Eine Alternative hierzu bietet die Austauschteileproduktion, auch Remanufacturing und Refabrikation genannt. Sie ist im Sektor Automobil bereits bei mechanischen Systemen wie Bremsbacken, Motorblöcken, Getrieben etc. und bei elektromechanischen Systemen wie Anlassern, Lichtmaschinen etc. weit verbreitet.

Die Produktion von Austauschteilen geht in den USA auf die Jahre um 1940 zurück. 1947 sind von Volkswagen in Deutschland die ersten Automobil-Bauteile aufgearbeitet worden. Alleine in den USA sind heute mehr als 70.000 Unternehmen im Remanufacturing tätig, die Branche generiert etwa 52 Mrd. $ Umsatz und beschäftigt fast 500.000 Mitarbeiter (Lund 1996; Lund / Hauser 2003). Somit ist sie größer als die Stahlindustrie. Durch die Tatsachen, dass die Refabrikation nicht ausschließlich in den USA angesiedelt ist und jährlich zweistellig wächst, liegen die heutigen Zahlen deutlich über den oben dargestellten Angaben für die USA.

Die Refabrikation der Systeme verbraucht weniger als 15% der Energie und weniger als 15% des Materials verglichen mit der Neuproduktion. Bild 3 veranschaulicht dies an zwei Beispielen.

Bild 3: Ressourcen- und Energieeinsparung durch Austauschteileproduktion.



Bereits heute werden durch das Remanufacturing weltweit 14.000.000 Tonnen Ressourcen pro Jahr eingespart. Dies entspricht umgerechnet einem Güterzug der 3.000 km lang ist und 230.000 voll beladene Waggons hat (Steinhilper 1999). Die jährliche

Energieeinsparung durch Remanufacturing entspricht umgerechnet 16.000.000 Barrel Rohöl, einer Flotte von 350 vollen Öltankern oder der jährlichen Leistung von acht typischen Kernkraftwerken. Das Remanufacturing von mechatronischen Systemen würde einen weiteren signifikanten Beitrag zur Ressourcen- und Energieeinsparung beitragen.

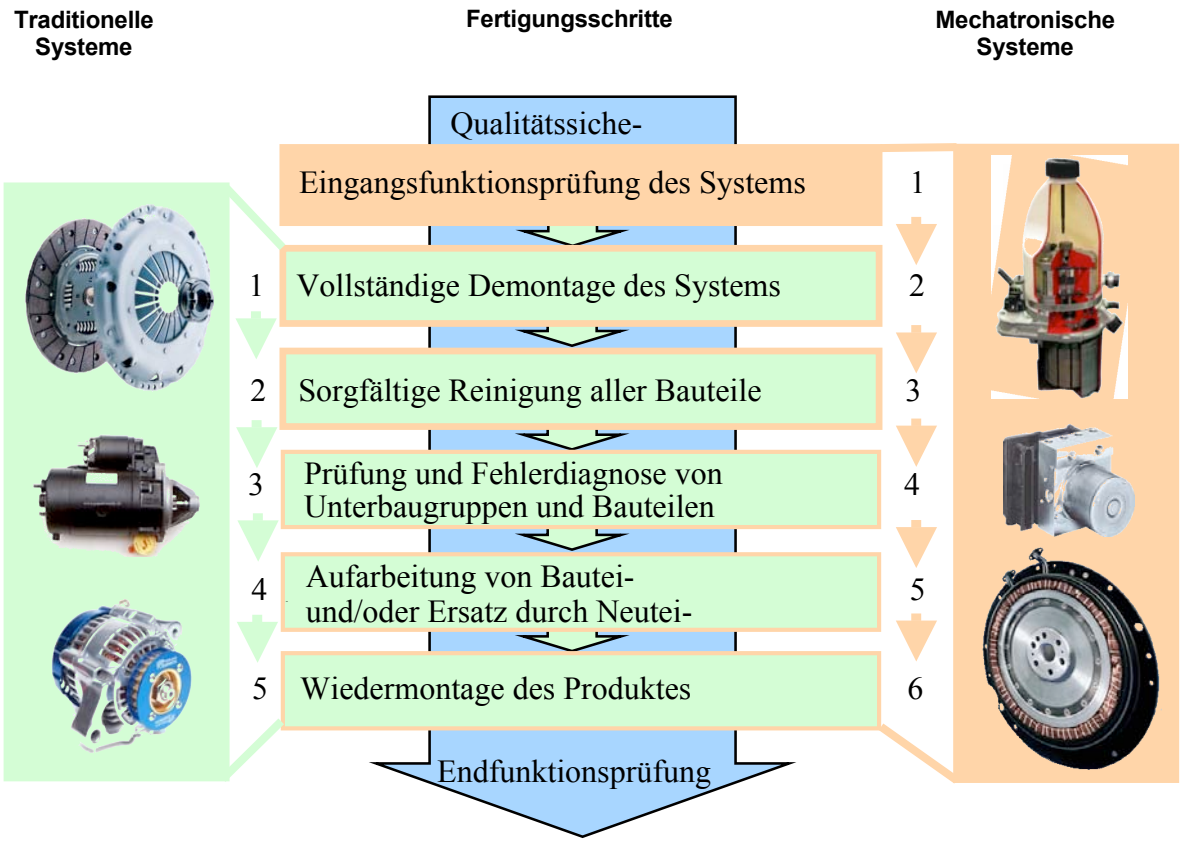
3. Auswahl von Systemen

Zur Produktion von Austauschteilen werden vor allem die Wirtschaftlichkeit sowie die technische Machbarkeit vorausgesetzt. Der Verkaufspreis eines aufgearbeiteten Systems ist vom Originalneuteilpreis abhängig. Kfz-Austauschteile werden in der Regel zu Preisen von 45% bis 65% verglichen zum Originalneuteilpreis angeboten (Lund / Hauser 2003). Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit als Entscheidungshilfe bei der Auswahl geeigneter mechatronischer Systeme zur Aufarbeitung wurde am Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik der Universität Bayreuth eine Excel-Tabelle mit allen wichtigen Kennwerten erstellt. In der Tabelle werden alle auftretenden fixen und variablen Kosten für die vor- und nachgelagerten sowie internen Prozesse im Remanufacturing definiert. Ein in Excel integriertes, auf Visual Basic for Application basiertes Programm berechnet anhand der Eingabedaten die Wirtschaftlichkeit auf Basis einer Break-Even-Analyse in Abhängigkeit von den aufzuarbeitenden Stückzahlen. Das Ergebnis der Berechnung zeigt, dass unter den Randbedingungen im Remanufacturing ein Großteil der Systeme zu Kosten unter 50% verglichen zum Originalneupreis aufgearbeitet werden kann und dass der Break-Even-Point bereits bei einer geringen Stückzahl erreicht wird. Somit stellt sich die Refabrikation für viele mechatronische Systeme als wirtschaftlich dar.

4. Technische Herausforderungen im Remanufacturing von Automobil-Mechatronik

Das Remanufacturing von mechatronischen Systemen erfolgt anhand von sechs aufeinander folgenden Schritten, die Bild 4 zeigt.

Bild 4: Prozessschritte im Remanufacturing von traditionellen und mechatronischen Systemen (Steinhilper / Rosemann / Freiberger 2006)



Neben den zahlreichen traditionellen (mechanischen und elektromechanischen) Systemen, die bereits industriell aufgearbeitet werden, ist die Aufarbeitung von mechatronischen Systemen hingegen bis heute noch nicht im industriellen Maßstab umgesetzt, vor allem wegen:

- dem Fehlen von Spezifikationen,
- dem Fehlen an Wissen bezüglich der Eingangsfunktionsprüfung sowie
- dem Fehlen an Wissen bezüglich der Prüfung und Fehlerdiagnose von Elektronikbaugruppen.

5. Spezifikationen

Für alle Verfahren zum Einsatz in der Prüfung und Fehlerdiagnose von mechatronischen Gesamtsystemen und Elektronikbaugruppen werden Spezifikationen benötigt. Diese Spezifikationen beschreiben, zwischen welchen Grenzen sich Ausgangssignalwerte oder daraus berechnete Kennwerte oder Parameter, abhängig von den Werten und dem Zeitverlauf der Eingangssignale, aufhalten dürfen. Diese Spezifikationen stehen im Allgemeinen nur dem Originalhersteller zur Verfügung. Markenunabhängige, oft mittelständige Refabrikationsunternehmen müssen diese in der Praxis oft selbst ermitteln, obwohl (in der Theorie) die aktuelle Gesetzgebung eigentlich die Zugänglichkeit aller relevanten Serviceinformationen auch für markenunabhängige Akteure im Servicemarkt fordert.

Um die Prüfspezifikationen für mechatronische Systeme aus dem Automobil zu ermitteln, bieten sich die folgenden Möglichkeiten an (Freiberger / Steinhilper / Stöber / Fischerauer 2006):

- statistische Analyse von neuen Originalsystemen,
- Reverse Engineering von Originalsystemen,
- In-situ Messungen bei Fahrversuchen.

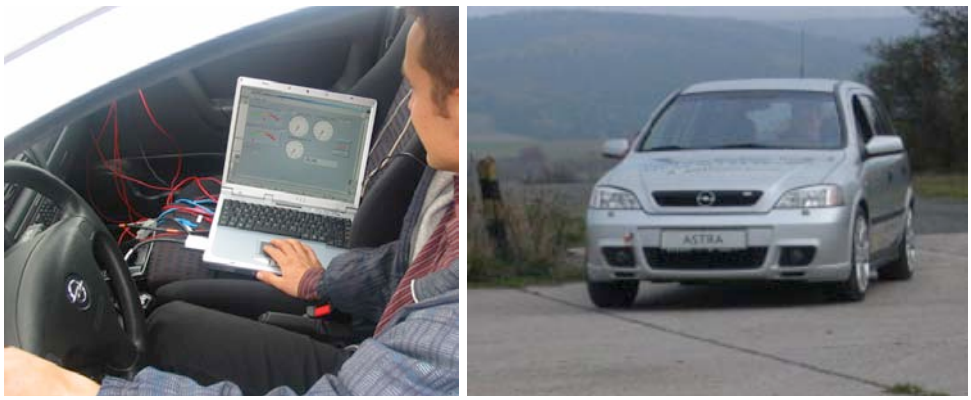
Bei der statistischen Analyse wird eine Reihe von neuen Originalsystemen getestet. Voraussetzung für die Durchführung dieses Verfahrens ist die Bekanntheit der Eingangssignale der Systeme. Aus den Messungen der Ausgangssignale auf definierte Eingangssignale können über statistische Auswertungen die Toleranzgrenzen entweder direkt für die Ausgangssignale oder indirekt für die Kennwerte oder Parameter des Prozesses definiert werden.

Für das Reverse Engineering von mechatronischen Systemen müssen vom Aufbau über die Schaltpläne bis hin zu den gespeicherten Informationen in Bauteilen des Systems alle für die Prüfung und Fehlerdiagnose relevanten, Daten ermittelt werden. Abhängig von der Komplexität der Elektronikbaugruppe variiert der Aufwand zum Reverse Engineering erheblich. Durch die nach dem Aufwand des Reverse Engineerings detaillierten Kenntnisse über das System, schafft diese Möglichkeit gute Voraussetzungen für eine hohe Fehlererkennungs- und Fehlerdiagnoserate in den nachgeschalteten Prüfprozessen.

Eine weitere Möglichkeit zur Spezifikationsfindung sind In-situ Messungen bei Fahrversuchen. Für die Fahrversuche werden nacheinander verschiedene neue und gebrauchte Systeme in ein Versuchsfahrzeug eingebaut. Weiterhin müssen diverse Sensoren, welche die relevanten Eingangs-, Internen- sowie Ausgangssignale des zu untersuchen mechatronischen Systems messen, ins Kraftfahrzeug verbaut werden. Ein festgelegter Versuchsplan schreibt die Fahrmanöver vor, um möglichst alle wichtigen Betriebsbedingungen des zu untersuchenden Systems abzudecken. Diese Möglichkeit hat den Vorteil, dass neben den internen Signalen und Ausgangssignalen gleichzeitig auch die Eingangssignale des mechatronischen Systems ermittelt werden können.

Bild 5 zeigt links einen Einblick in die Fahrgastzelle und rechts das Versuchsfahrzeug während der Ermittlung der Spezifikationen durch In-situ Messungen bei Fahrversuchen des Lehrstuhls Umweltgerechte Produktionstechnik (LUP) für ein mittelständisches Refabrikationsunternehmen in Schweden.

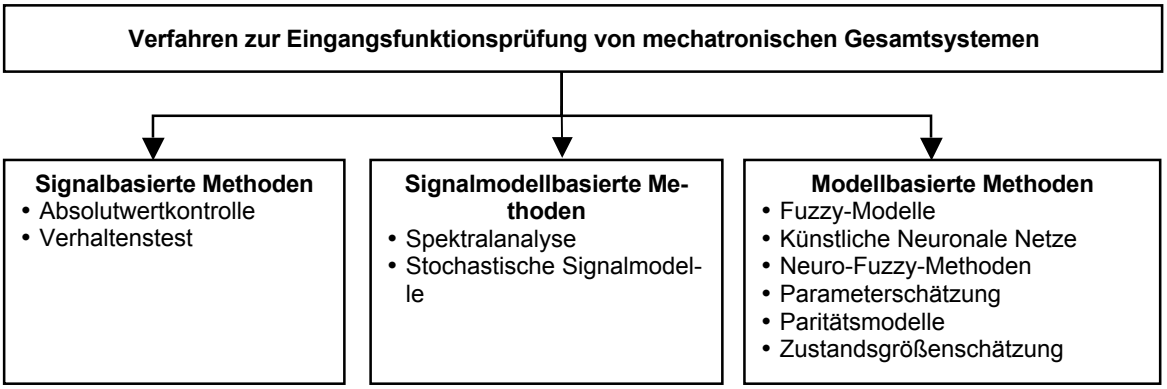
Bild5: In-situ Messungen bei Fahrversuchen zur Spezifikationsfindung.



6. Eingangsfunktionsprüfung

Für die Eingangsfunktionsprüfung von mechatronischen Gesamtsystemen stehen in der Literatur sehr viele verschiedene Verfahren zur Auswahl. Nicht alle bekannten Verfahren können aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen in der Refabrikation eingesetzt werden. Bild 6 stellt die prinzipiell möglichen Verfahren zum Einsatz in der Eingangsfunktionsprüfung von mechatronischen Gesamtsystemen dar.

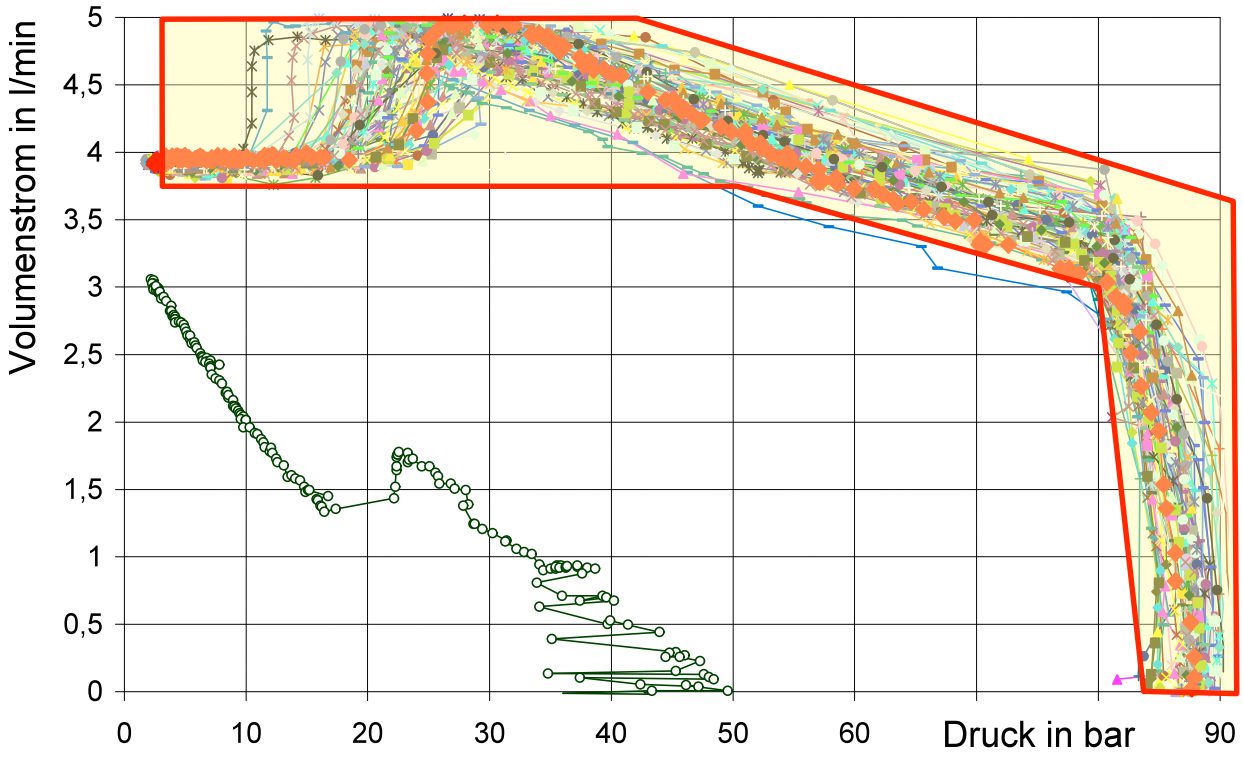
Bild 6: Verfahren zur Eingangsfunktionsprüfung von mechatronischen Gesamtsystemen.



In einem Forschungsprojekt des LUP werden die Verfahren des Bildes 6 hinsichtlich des Modellbildungsaufwands, dem technischen Nutzen und dem wirtschaftlichen Aufwand, bewertet. Zudem werden Verfahren kombiniert, um eine möglichst hohe Fehlererkennungs- und Fehlerdiagnoserate bei vertretbaren Investitionen zu ermöglichen. Unter den speziellen Randbedingungen in der Refabrikation wie u. a. hohe Variantenvielfalt, geringe Automatisierung und vergleichsweise geringes Systemwissen stellt die Kombination aus der direkten visuellen Diagnose (Sichtprüfung) und dem Verhaltenstest die am besten geeignete Variante dar.

Das folgende Bild zeigt beispielhaft an 100 gebrauchten mechatronischen Servolenkungssystemen deren Verhalten anhand ihrer Kennlinien auf.

Bild 7: Ergebnis des Verhaltenstest von 100 gebrauchten Servolenkungssystemen.

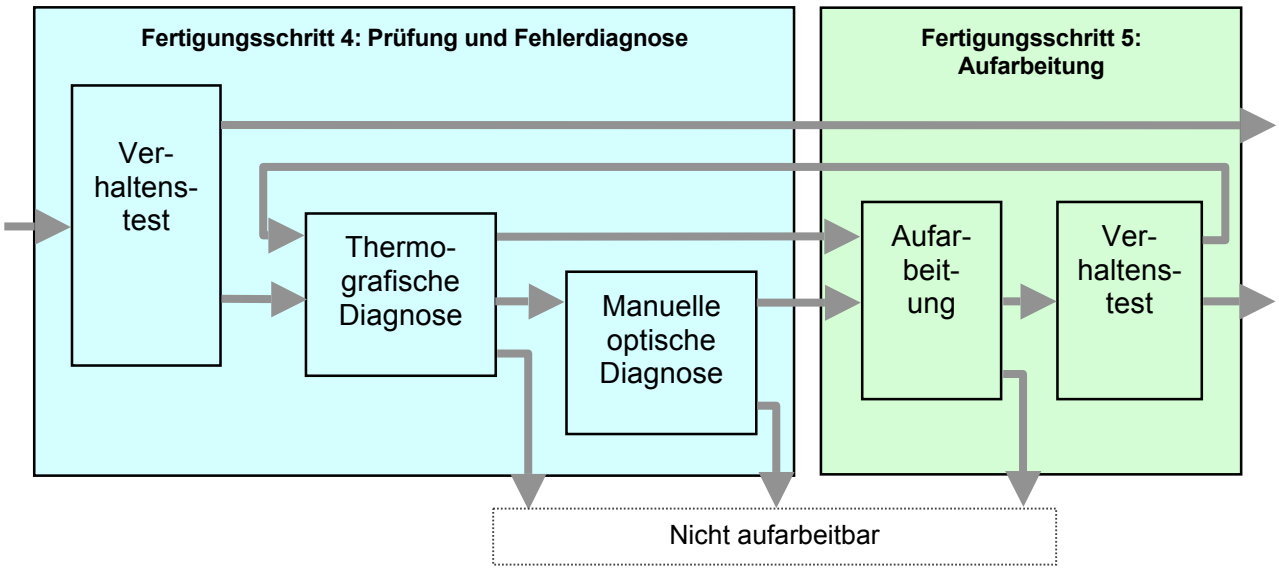


Anhand der festgelegten Spezifikationen (eingeschlossener Bereich zwischen der durchgezogenen Linie) sowie den Erkenntnissen aus Fehlerbaumanalysen, der Remanufacturing-FMEA (Freiberger / Landenberger / Wrobel 2006) sowie Expertenwissen kann die Funktionsfähigkeit jedes einzelnen Systems beurteilt werden.

7. Prüfung und Fehlerdiagnose von Elektronikbaugruppen

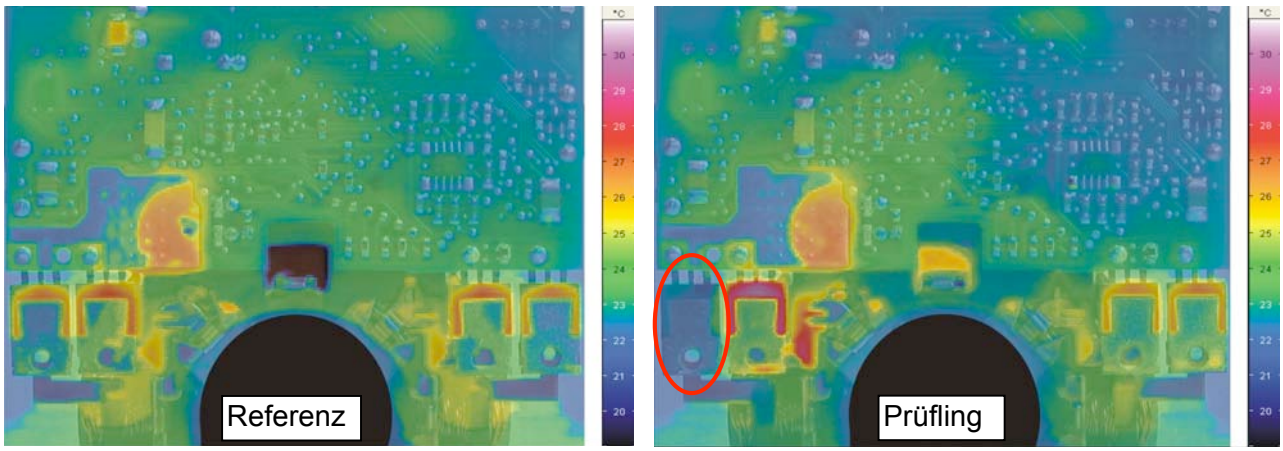
Jedes mechatronische System im Fahrzeug beinhaltet mindestens eine Elektronikbaugruppe. In modernen Kraftfahrzeugen sind bis zu 100 Elektronikbaugruppen vorhanden (Becker 2005), die zum Teil in mechatronischen Systemen verbaut sind und für die eine sichere Prüfung und Fehlerdiagnose im Remanufacturing ermöglicht werden muss. Wie auch bei der Gesamtsystemprüfung werden derzeit geeignete Prüfverfahren und -folgen erforscht. Bild 8 fasst als Ergebnis die Verfahren und Folgen zur Elektronikbaugruppenprüfung und -diagnose zusammen.

Bild 8: Verfahren und Folgen zur Elektronikbaugruppenprüfung und -diagnose.



Der Verhaltenstest übernimmt an erster Stelle im 4. Fertigungsschritt die Fehlererkennung. Fehlerhafte Baugruppen gelangen zur thermografische Diagnose, die in vielen Fällen eine exakte Diagnostizierung von vorhandenen Fehlern ermöglicht. Das Verfahren beruht auf dem Vergleich von Referenzaufnahmen von fehlerfreien Neubaugruppen mit Aufnahmen von fehlerhaften Baugruppen (Freiberger 2006). Bild 9 stellt links eine Aufnahme einer fehlerfreien und rechts eine Aufnahme einer fehlerhaften Baugruppe gegenüber. Links unten in der rechten Aufnahme ist der markierte fehlerhafte Transistor zu erkennen.

Bild 9: Thermografieaufnahme einer Referenz- und einer Prüflingselektronikbaugruppe.



Die beiden Verfahren des Verhaltenstest und der thermografischen Diagnose stellen den Kern der Prüfung und Fehlerdiagnose von Elektronikbaugruppen dar. Die fehlerhaften Baugruppen gelangen, wie Bild 8 zeigt, zum nächsten Prozessschritt, der Aufarbeitung mit nachgeschaltetem Verhaltenstest, der die fehlerfreie Funktion der Baugruppe nachweisen muss. Nach Aufarbeitung aller Bauteile und Baugruppen, Wiedermontage und Endfunktionsprüfung kann das mechatronische System für einen weiteren Lebenszyklus beim Kunden im Fahrzeug eingesetzt werden.

8. Ausblick

Die geschilderten Verfahren werden in naher Zukunft bei führenden Remanufacturingunternehmen eingeführt, um die Austauschteileproduktion von mechatronischen Systemen in die industrielle Praxis umzusetzen. Die Produktion von Austauschteilen wird die Neuproduktion von Originalneuteilen zwar verringern im Servicemarkt aber zu überproportional mehr neuen Arbeitsplätzen mit hohen Qualifikationsanforderungen führen.

Literatur

Statistische Ämter des Bundes und der Länder. 2010. Verkehr – Bestand an Kraftfahrzeugen. www.statistik-portal.de. Wiesbaden. 19.04.2010.

ACEA – Association des Constructeurs d'Automobiles. 2009.European Motor Vehicle Parc 2007. www.acea.be, Brüssel.

Lund, Robert T. 1996. The Remanufacturing Industry: Hidden Giant. Boston University Study, funded by Argonne National Laboratory. Massachusetts.

Lund Robert T.; Hauser William. 2003. The Remanufacturing Industry - Anatomy of a Gigant. Boston University, Massachusetts.

Steinhilper, Rolf. 1999. Produktrecycling - Vielfachnutzen durch Mehrfachnutzung. Stuttgart.

Steinhilper, Rolf; Rosemann, Bernd; Freiberger, Stefan. 2006. Product and Process Assessment for Remanufacturing of Computer Controlled Automotive Components. In: Proceedings of 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Leuven May 31st - June 2nd.

Freiberger, Stefan; Steinhilper, Rolf; Stöber, Ralf; Fischerauer, Gerhard. 2006. How to remanufacture partially documented mechatronic systems. In: ReMaTecNews - Automotive Remanufacturing International, Volume 6. Amsterdam.

Freiberger, Stefan; Landenberger, Daniel; Wrobel, Stefanie. 2006. FMEA in der Refabrikationsindustrie – Erfassen, bewerten, vermeiden. In: Quality Engineering, Nr. 04.

Becker, Rolf. 2005. Elektronische Bauteile und Komponenten für die Automobilindustrie. In: Elektronik automotive. Nr. 1.

Freiberger, Stefan. 2006. Remanufacturing of Mechatronics and Electronics. APRA Mechatronics and Electronics Division, Harrisburg, www.apra-europe.org, May 9th - 10th.

Keywords

Nachhaltigkeit, mechatronische Systeme, Remanufacturing, Kfz, Refabrication, Ressourceneinsparung, Energieeinsparung, Fehlerdiagnose, Automobil, Ersatzteile

Angaben zu den Autoren

Steinhilper, Rolf, Prof. Dr.-Ing., Universität Bayreuth, Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik und Fraunhofer IPA, Projektgruppe Prozessinnovation
Freiberger, Stefan, Dr. Ing., Universität Bayreuth, Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik und Fraunhofer IPA, Projektgruppe Prozessinnovation