

Methode zur Unterstützung des Entscheidungsprozesses über mögliche Verbesserungsmaßnahmen in einer Verpackungsmaschine

Von Ehrenstein, Philipp; Dipl.-Ing.; OPTIMA nonwovens GmbH

Kurzfassung

Um Maßnahmen zu Verbesserungen an einem mechatronischen Handhabungssystem für den Transport von Windeln vorzunehmen, wäre eine strukturierte Methode vorteilhaft, da aktuell angewandte Vorgehensweisen durch Intuition geprägt sind. Diese intuitiven Vorgehensweisen bergen Nachteile sowohl in der Objektivität als auch bei der Dokumentation. Aus diesem Grund ist für das beschriebene mechatronische Handhabungssystem eine Methode zur Unterstützung des Entscheidungsprozesses entwickelt worden. Mit Hilfe eines Probandentests erfolgte eine erste Überprüfung.

Durch die Methode erhält der Anwender eine Schritt für Schritt Anleitung, welche sich durch ein möglichst rationales Vorgehen auszeichnet und in der Lage ist die Wirkung subjektiver Einflüsse bei notwendigen Entscheidungen zu reduzieren.

1 Einleitung

Für den Verpackungsprozess von Windeln soll innerhalb der Firma OPTIMA nonwovens GmbH ein bestehendes mechatronisches Handhabungssystem hinsichtlich verschiedener technischer Ziele verbessert werden. Konkret handelt es sich bei dem Handhabungsprozess um einen innermaschinellen Transport der Windeln. Realisiert ist dieser Prozess mit Hilfe eines permanentmagneterregten Langstatorlinearmotors. Die Firmenbezeichnung lautet Speed Rail System (SRS), zu sehen ist dieses in *Abbildung 1*.

Da es sich bei dem SRS um ein komplexes mechatronisches System handelt, welches verschiedenste Wechselwirkungen zwischen den Domänen – Maschinenbau, Informationstechnik und Elektrotechnik – aufweist, erfolgte bisher kein Entschluss auf explizite Verbesserungsmaßnahmen.

Eine Möglichkeit potenzielle Maßnahmen zu evaluieren, ist die Intuition des, mit dem mechatronischen System vertrauten, Ingenieurs. Allgemein wird durch die Intuition eine Vielzahl von guten und sehr guten Lösungen gefunden. Allerdings ist eine Voraussetzung die bewusste und entsprechend intensive Beschäftigung mit dem vorliegenden Problem. Bei einer rein intuitiven Arbeitsweise ist zudem nachteilig, dass der richtige Einfall nicht zum gewünschten Zeitpunkt erfolgt, denn dieser kann nicht erzwungen oder erarbeitet werden.

Weiterhin ist das intuitive Ergebnis stark von den subjektiven Einflüssen, Erfahrungen und Qualifikationen des Ingenieurs abhängig. Somit besteht die Gefahr, dass die Lösung sich nur innerhalb des fachlichen Horizontes des Ingenieurs bewegt (vgl. [1, S. 69]).

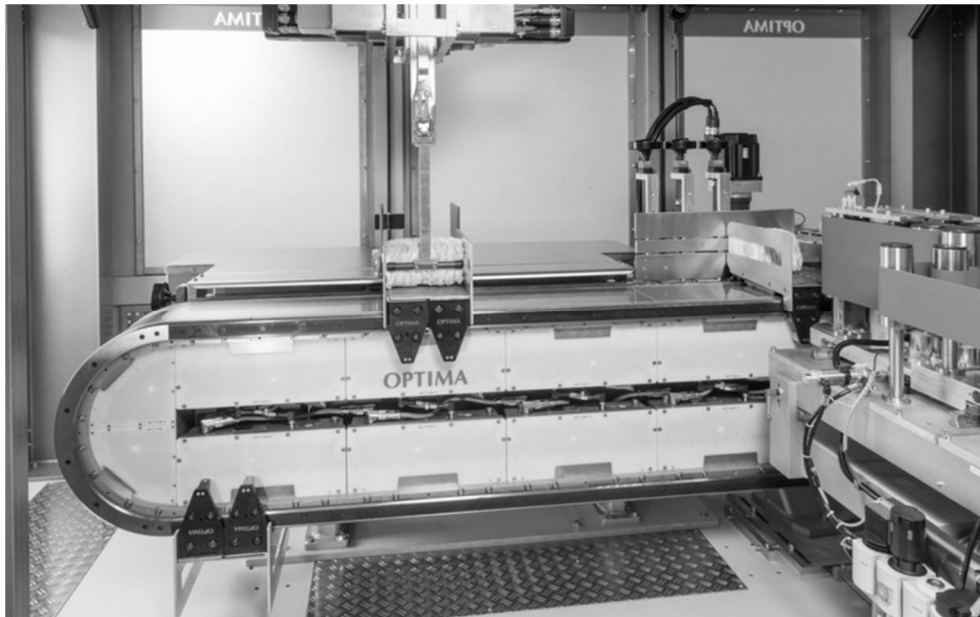


Abbildung 1 - Speed Rail System der Firma OPTIMA nonwovens GmbH während des Windeltransports [2]

Vielmehr ist eine systematische Methode zur Unterstützung des Ingenieurs anzustreben, welches die Problemstellung an dem o.g. SRS schrittweise und anhand formalisierter Regeln bearbeitet. Eine solche Methode zur Auswahl, Evaluierung und Priorisierung potenzieller Verbesserungsmaßnahmen an einem bestehenden mechatronischen System ist jedoch nicht vorhanden.

2 Ziel und allgemeines Vorgehen der Methode

Damit die Grundlage endgültiger Entscheidungen an dem SRS zu möglichen Verbesserungsmaßnahmen nicht weiterhin durch Intuition geprägt ist, ist eine entsprechende präskriptive Methode zu entwickeln. Anhand dieser Methode sind potenzielle Verbesserungsmaßnahmen auszuwählen, zu evaluieren und zu priorisieren. Des Weiteren dient die Methode als Leitfaden und Dokumentation für den Entscheidungsweg.

Subjektive Einflüsse sind bei Entscheidungen naturgemäß vorhanden und können weder eliminiert noch sollten sie vernachlässigt werden. Jedoch ist durch einen standardisierten Umgang mit subjektiven Einflüssen eine Reduzierung deren Wirkungen möglich (vgl. [1, S. 179]). Sollte kein standardisierter Umgang umsetzbar sein, ist die subjektive Wirkung klar hervorzuheben.

Die Methode hat nicht die Absicht die Entscheidungen abzunehmen. Mit Hilfe der vorliegenden Methode soll der Entscheidungsprozess durch einen strukturierten, möglichst rationalen und nachvollziehbaren Ablauf unterstützt werden und dazu beitragen über den komplexen Prozess präzise kommunizieren zu können (vgl. [3, S. 20]). Die endgültige Entscheidung über das Für oder Wider bestimmter Maßnahmen wird nicht durch die Methode gefällt.

3 Die Anwendung der Methode

3.1 Voraussetzungen

Um die Methode für ein mechatronisches System anwenden zu können, sind verschiedene Voraussetzungen zu beachten. Diese lassen sich in zwei Kategorien unterteilen:

Systemspezifische Voraussetzungen

Abgeleitet nach der Definition einer Verbesserung, etwas Bestehendes besser zu machen, kann die Methode nur auf bereits vorliegende mechatronische Systeme angewandt werden. Die Teilfunktionen mit den Funktionsträgern müssen bereits gegeben sein. Aus diesem Grund eignet sich die Methode nicht für Neuentwicklungen, bei denen die Machbarkeitsbetrachtungen ausstehen.

Der Fokus der Methode liegt auf der Ermittlung des Verbesserungspotenzials „klassischer“ mechatronischer Systeme. Das bedeutet, dass der Schwerpunkt des mechatronischen Systems auf der Domäne Maschinenbau liegt (vgl. [4, S. 173]).

Das mit der Methode verfolgbare Ziel beschränkt sich auf technische Verbesserungen. Eine Bewertung hinsichtlich eines sog. „kaufmännischen“ Ziels ist nicht möglich. Zudem erfolgt durch die Funktionsträger des vorliegenden mechatronischen Systems eine Eingrenzung der Größenordnung. Es ist z.B. nicht möglich bei einem bestehenden Messsystem, welches im Millimeter-Bereich misst, Verbesserungsmaßnahmen dahingehend zu bewerten, um einen Messbereich im Mikrometer-Bereich zu evaluieren. Um solch einen Übergang zu ermöglichen, wäre in den überwiegenden Fällen ein Austausch der vorhandenen Funktionsträger nötig, was wiederum den o.g. Voraussetzungen widerspricht.

Rollenspezifische Voraussetzungen

Für die Umsetzung der Methode werden drei Rollen benötigt. „Eine Rolle ist die Beschreibung einer Menge von Aufgaben und Verantwortlichkeiten im Rahmen eines Projektes oder einer Organisation und muss mindestens einer Person zugeordnet werden.“ [2] Je nach entsprechender Rolle sollten diese Personen folgende Voraussetzungen aufweisen:

Methodenexperte

- Überblick bzw. generalisiertes Wissen zu dem betrachteten mechatronischen System
- Hintergrundwissen zu der Anwendung, dem Aufbau und den Zusammenhängen innerhalb der Methode

Fachexperte

- Zusammenhänge des mechatronischen Systems bekannt
- Fachwissen zu bestimmten Teilgebieten des mechatronischen Systems

Entscheidungsträger

- Überblickwissen über das mechatronische System
- Definiertes Wissen zu den angestrebten Zielen

Aufgrund der Komplexität eines mechatronischen Systems, ist es in den überwiegenden Fällen notwendig mehrere verschiedene Fachbereiche durch die Fachexperten abzudecken. Die möglichen Fachkompetenzen werden durch das mechatronische System eingegrenzt, jedoch ergeben sich die genau benötigten Fachbereiche erst im Verlauf der Methodendurchführung.

3.2 Vorgehen

Um ein nachvollziehbares und rationales Vorgehen zu schaffen, wird der Entscheidungsprozess von dem kompletten mechatronischen System bis zur Evaluierung möglicher Verbesserungsmaßnahmen durch die Methode geleitet. Hierzu ist der gesamte Prozess in mehrere Teilprozesse, Entscheidungen, Schrittfolgen bis hin zu einzelnen Schritten unterteilt. Zur Bearbeitung der einzelnen Elemente sind Hilfsmittel, durch z.B. externe Quellen (Anleitungen, Regeln, Fachliteratur, etc.), bereitgestellt. Wenn möglich erfolgt für die einzelnen Elemente eine Überprüfung auf richtige Anwendung und Konsistenz. Jedes Element, welches durch eine oder mehrere Rollen zu bearbeiten ist, erhält eine entsprechende Markierung. In *Abbildung 2* ist ein reduzierter Ablaufplan beispielhaft dargestellt.

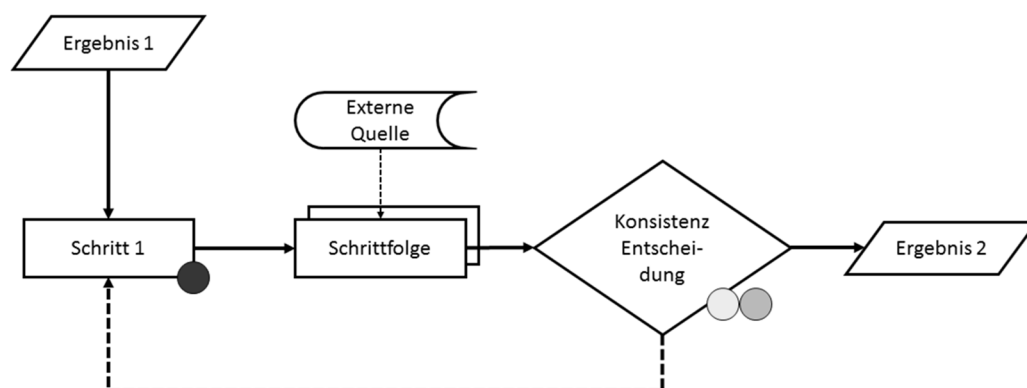


Abbildung 2 - Darstellung des reduzierten Ablaufplans

Die Methode startet mit der Abgrenzung des zu betrachtenden Systems, indem die Systemgrenzen definiert werden und das Ziel der Verbesserung durch die Entscheidungsträger formuliert wird. Im Anschluss erfolgt eine Abstraktion des Systems in verschiedene Funktionen und die beteiligten Funktionsträger werden hervorgehoben. Anhand der Funktionsträger wird eine mechatronische Funktionsstruktur partitioniert, welche die vorhandenen Funktionsbereiche (Stoff, Energie, Signal und Raum) in Verbindung darstellt. Da die Verbesserung für ein oder mehrere bestimmte Ziele erfolgt, schließt sich die Selektion von relevanten und irrelevanten Teilfunktionen an. Der Auswahlprozess erfolgt anhand verschiedener Entscheidungsfragen. Zum Beispiel haben die Fachexperten zu entscheiden, ob eine Teilfunktion das Ziel ausreichend erfüllt oder ob eine Beeinflussung überhaupt möglich ist. Die Funktionsträger, der weiter zu verfolgenden Teilfunktion, werden nachfolgend in Parameter zerlegt. Der letzte Teilprozess ist die Evaluierung der Parameter.

Den Großteil der vorliegenden Methode stellt die Evaluierung dar. Der Grund hierfür ist das Fehlen eines umfassenden Verfahrens zur präskriptiven und quantitativen Evaluierung von Verbesserungsmaßnahmen. Da eine vom Menschen durchgeführte Evaluierung immer subjektiv sein wird, ist eine wichtige Anforderung subjektive Einflüsse handhaben zu können. Des Weiteren muss beachtet werden, dass viele Zusammenhänge und Abhängigkeiten mit qualitativen Mitteln beschrieben sind. Auch solche unscharfen Aussagen sind durch das Verfahren zu erfassen.

Evaluierung

Die Evaluation der einzelnen Parameter ist in drei Bestandteilen (VP_1 , VP_2 und VP_3) zusammengefasst, welche anschließend miteinander verknüpft und durch den Wert Verbesserungspotenzial VP ausgedrückt sind.

1. Für den ersten Bestandteil VP_1 wird angenommen, dass allein der betrachtete Parameter für die Verbesserung des Systems verantwortlich ist. Hierbei ist sowohl der Einfluss des Parameters auf das Ziel quantifiziert als auch die Eigenschaften des Parameters. Anhand von vier Bewertungskriterien sind die Einflüsse auf das Ziel beschrieben – Nutzen, Formalisierung, Toleranzanfälligkeit und Verhalten.

Die Eigenschaften des Parameters beschreiben diesen dahingehend, inwieweit dieser einem idealen Parameter entspricht. Ein idealer Parameter kann einfach beeinflusst werden, der Aufwand zur Anpassung des Parameters und eventuelle Folgekosten aus der Anpassung sind gering. Des Weiteren führt eine fortschreitende Verbesserung des Parameters zu einer immer besseren Erfüllung des Ziels. Die Bewertungen durch die genannten Bewertungskriterien erfolgen anhand einer gewichteten Punktevergabe, wobei die Gewichtung wiederum durch eine vorgegebene Schrittfolge aufzustellen ist.

Die Bestimmung der Gewichtung erfolgt in diesem Fall nach dem Prinzip der Fuzzylogik. Nach der Bestimmung ist es möglich diese auf Konsistenz zu überprüfen.

2. Da in der Realität mehr als ein einzelner Parameter und mehr als ein verfolgtes Ziel existieren und diese auf unterschiedliche Weise miteinander in Beziehung stehen, wird der zweite Bestandteil VP_2 angewandt. Hierbei erfolgt die Bewertung der Wechselwirkungen zwischen den evaluierten Parametern. Ein Parameter, der wenige Wechselwirkungen mit anderen Parametern aufweist, ist wesentlich besser zu bewerten, als ein stark verknüpfter Parameter.
3. Der letzte Bestandteil VP_3 quantifiziert die vorhandenen Verbesserungsreserven. Sollte ein Parameter bereits dem theoretischen Soll-Wert entsprechen, weist er keinerlei Verbesserungsreserven auf, was eine schlechte Bewertung zur Folge hat. Ein Parameter, der hingegen noch Abweichungen zu dem theoretischen Soll-Wert aufweist, erfährt in diesem Bestandteil eine bessere Bewertung.

Ergebnisdarstellung

Nachdem die Evaluation vollständig durchgeführt ist, erhält der Entscheidungsträger ein Diagramm der evaluierten Parameter. Die Ergebnisse der einzelnen Bestandteile (VP_1 , VP_2 und VP_3) und das zusammenfassende Verbesserungspotenzial VP werden dem Entscheidungsträger in der Form nach *Abbildung 3* präsentiert.

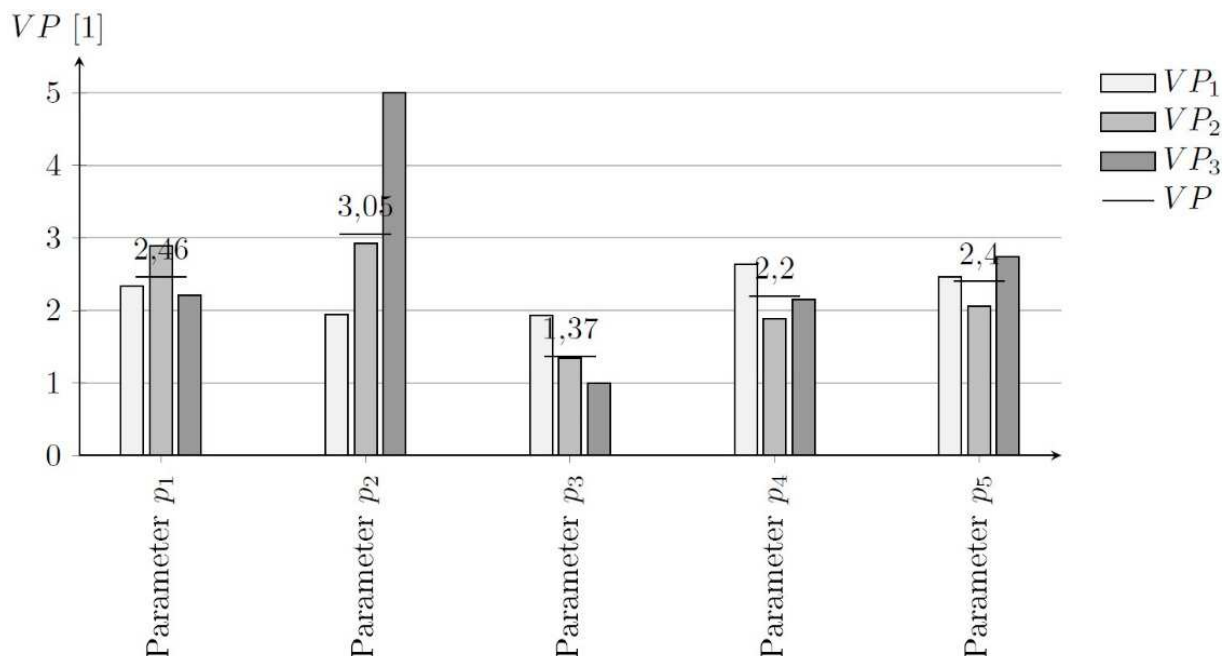


Abbildung 3 - Allgemeine Darstellung des Verbesserungspotenzials mit den einzelnen Bestandteile der evaluierten Parameter

Im Verlauf der Evaluation werden durch die Rollen verschiedenste sog. Bewertungsparameter angegeben, z.B. die Gewichtung der einzelnen Bestandteile. Diese Bewertungsparameter beeinflussen das Endergebnis hinsichtlich den persönlichen und damit subjektiven Einschätzungen der jeweiligen Person bzw. Rolle. Ergänzend zu dem quantitativen Verbesserungspotenzial aus *Abbildung 3* kann mit der vorliegenden Methode eine Sensitivitätsanalyse und Robustheitsbetrachtung durchgeführt werden. Hierfür werden die Bewertungsparameter innerhalb des jeweiligen Definitionsbereiches variiert. Beide Ergebnisse dienen dem Entscheidungsträger als zusätzliche Information über die Beständigkeit des Verbesserungspotenzials bei Variation der subjektiven Bewertungsparameter.

An dieser Stelle ist explizit kein evaluierter Parameter oder eine Teilmenge der evaluierten Parameter hervorgehoben. Es erfolgt lediglich die Darstellung der gewonnenen Ergebnisse. Die letztendliche Entscheidung über umzusetzende Verbesserungsmaßnahmen verbleibt weiterhin bei dem Entscheidungsträger.

4 Nutzen der Methode

Die Durchführung mittels eines Entscheidungsmodells zwingt die Rollen dazu „[...] sich mit den Beziehungen zwischen den verschiedenen Aspekten seines Entscheidungsproblems bewusst auseinander zu setzen und dieses Problem als Einheit zu analysieren.“ [5, S. 55] Somit erleichtert die Methode eine konsequente Orientierung aller Problemlösungsüberlegungen auf das festgelegte Ziel und „[...] senkt damit die Wahrscheinlichkeit, dass mangelnde Zielorientierung zu einer Fehlentscheidung führt.“ [3, S. 63] Die mit der Methode verbundene systematische Vorgehensweise erlaubt das vorhandene Fachwissen besser zu nutzen und gleichzeitig die bewusste Trennung von Faktenwissen und subjektiver Wertung. „Dies sollte neben einer besseren Entscheidungsqualität insbesondere auch zu einer höheren Entscheidungseffizienz führen. Fehlüberlegungen und Widersprüche werden rascher als solche erkannt.“ [3, S. 64] Die Gefahr Überlegungen und Teilprozesse zu verwerfen und erneut durchführen zu müssen, weil diese, z.B. zu früh angesetzt waren, ist verringert. Infolgedessen reduziert sich die Anzahl möglicher Iterationsschleifen. Zusätzlich veranlasste die Systematik der Methode über neue Ansätze und Ideen nachzudenken, die durch reine Intuition nicht betrachtet wären (vgl. [6]).

Durch die Anwendung der Methode ist es den Rollen möglich die Anzahl der potenziellen Parameter zu reduzieren und die Gründe hierfür zusammenfassend, aussagekräftig und vor allem transparent darzustellen. Die in *Abbildung 3* aufgeführten Bestandteile führen zudem die Stärken und Schwächen der evaluierten Parameter auf.

An verschiedenen Stellen ist es möglich getroffene Entscheidungen zu überprüfen, z.B. die Konsistenz bei der Bewertung verschiedener Gewichtungsfaktoren. Somit kann die Häufigkeit unbeabsichtigter Widersprüche zwischen den Gewichtungsfaktoren reduziert werden. Anhand der Plausibilitätsüberprüfung und kontinuierlichen Überwachung auf sinnvolle und erlaubte Eingabewerte ist es möglich die Anzahl fehlerhafter Informationsverarbeitung zu verringern. Da bei Entscheidungen subjektive Einflüsse zwangsläufig sind, erfolgt deren Einbindung in den Entscheidungsprozess auf eine einheitliche Art und Weise. Hierfür werden bekannte Prozesse angewandt, um das menschliche Entscheidungsverhalten aufzunehmen und abzubilden. Die einheitliche Vorgehensweise zur Handhabung von bestimmten subjektiven Einflüssen ermöglicht die Wirkung der Subjektivität mittels Schematisierung zu reduzieren (vgl. [1, S. 179]).

Durch den ermöglichten Umgang mit unscharfen Werten und Schätzungen benötigt die Methode kein vollständiges mathematisches bzw. physikalisches Modell des betrachteten mechatronischen Systems. Viele Zusammenhänge können somit durch qualitative Aussagen einbezogen werden.

Für den Fall, dass ein bereits angepasstes mechatronisches System zu einem späteren Zeitpunkt erneut zu verbessern ist, können die vorangegangenen Entscheidungen hinzugezogen werden. Kommen während der Durchführung oder nachträglich Änderungen hinsichtlich den Anfangs- oder Randbedingungen vor, sind diese anhand der Methode dokumentiert. Folglich ist mit Hilfe der Methode eine Darstellung und Begründung, von z.B. Anpassungen der endgültigen Entscheidung, möglich.

Obwohl eine rationalisierte Methode keine optimale Lösung garantiert, denn dies kann nicht garantiert werden, trägt sie jedoch dazu bei Entscheidungsschritte nachvollziehbarer und objektiver zu gestalten (vgl. [7, S. 5]). Der Prozess bzw. der Weg zu einer Lösung wird somit zu einem erfolgskritischen Faktor des Gesamtprozesses (vgl. [8]).

5 Literatur

- [1] PAHL, G., W. BEITZ, J. FELDUSER und K.-H. GROTE. *Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung*. 7., neu bearb. u. erw. Aufl. Berlin: Springer, 2006. ISBN 3540340602.
- [2] OPTIMA NONWOVENS GMBH. *firmeninterne Datei*. Schwäbisch Hall.
- [3] GRÜNIG, R. und R. KÜHN. *Entscheidungsverfahren für komplexe Probleme. Ein heuristischer Ansatz*. Vierte, korrigierte und überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. ISBN 9783642314599.
- [4] JANSEN, S. *Eine Methodik zur modellbasierten Partitionierung mechatronischer Systeme*. Dissertation. Bochum, 05.2006.
- [5] LAUX, H., R.M. GILLENKIRCH und H.Y. SCHENK-MATHES. *Entscheidungstheorie*. 9., vollst. überarb. Aufl. 2014. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, 2014. Springer-Lehrbuch. ISBN 9783642552571.
- [6] FERNER, S. und W. GEGENIGER. Probandentest Ergebnisse. Gespräch, 20. November 2017.
- [7] EISENFÜHR, F., M. WEBER und T. LANGER. *Rationales Entscheiden*. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. ISBN 9783642028489.
- [8] SEIBT, M. und M. ZWETTLER. *Mit ganzheitlicher Entwicklungsplattform den Überblick behalten* [online]. *Systems Engineering*, 2015 [Zugriff am: 11. August 2017]. Verfügbar unter: <http://www.konstruktionspraxis.vogel.de/mit-ganzheitlicher-entwicklungsplattform-den-ueberblick-behalten-a-507583/>