

DIE ROLLE DER INTUITION DES INGENIEURS IN DER DESIGNPHASE

Jurica Katičić, Miriam Ommeln

Abstract: Dieser Artikel hebt die Rolle der Intuition des Ingenieurs bei unterschiedlichen Aufgaben während der Designphase der Produktentwicklung hervor. Bei der Ideengenerierung sollen intuitive Methoden bewusst gefördert werden, um das Kreativitätspotenzial auszuschöpfen und somit neuartige Ansätze zu entwickeln. Während der Bewertung der entstandenen Ideen beeinträchtigt die Intuition die Objektivität der Entscheidungen. Dies wird anhand einer Kleinstudie am Beispiel der Methoden FMEA und Nutzwertanalyse veranschaulicht. Der Einfluss der Intuition auf die Entscheidung kann nicht ausgeschlossen werden, soll aber durch festgelegte Kriterien mit einem sinnvollen Detaillierungsgrad minimiert werden.

Schlüsselwörter: Intuition, Produktdesign-Phase, Methoden der Produktentwicklung, FMEA, Nutzwertanalyse, Rechenschaftspflicht, Subjektivität, Opportunismus

1. Einleitung

Der größte Wertschöpfungsanteil eines Ingenieurs an einem technischen Produkt kommt im ersten Abschnitt seines Lebenszyklus zustande, nämlich in der Produktentwicklung, die der tatsächlichen Produktion vorgelagert ist. Einen besonderen Stellenwert erhält hierbei die Designphase. In dieser Phase wird das Produkt laut ermittelter Anforderungen in seiner allgemeinen Form und Funktion erdacht und spezifiziert [1]. Das Design eines technischen Produktes ist also eine kreative Aufgabe, dessen Ergebnis jedoch auch wirtschaftlich vertretbar sein muss. Bei jeder gestellten Anforderung hat der Ingenieur zahlreiche Lösungsmöglichkeiten hinsichtlich Form und Funktionen. Damit er ein Produkt entwickelt, das einzigartig ist und einen technischen Mehrwert im Wettbewerb innehat, muss er im Laufe des Designprozesses seine Erfahrung mit seiner Imagination symbiotisch verknüpfen. Zumindest der Anfang des Weges zum Enddesign ist dynamisch und nichtlinear, nicht vorhersehbar und oft unkonventionell – der Ingenieur verlässt sich auf seine Intuition, auf sein „Bauchgefühl“, auf seine Beobachtungen und Assoziationen. Am Ende muss aber ein Produkt stehen, das die gestellten Kundenanforderungen profitabel erfüllt. Dies bedeutet, dass zumindest in den späteren Designphasen der Übergang von einer kreativen zu einer systematischen

Betrachtung der entwickelten Lösungen erfolgen muss, und zwar nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien, die sowohl für den Ingenieur als auch für den Vertriebszuständigen eindeutig, plausibel und akzeptabel sind.

2. Intuitive und diskursive Methoden der Produktentwicklung

Um einen Kompromiss zwischen diesen häufig konkurrierenden Zielen der technischen Qualität und der Wirtschaftlichkeit zu erzielen, wird im Laufe der Produktentwicklung ein Mix aus unterschiedlichen Methoden angewendet. Ein Teil dieser Methoden hat die vorrangige Aufgabe, das Kreativitätspotenzial der Ingenieure so weit wie möglich auszuschöpfen, so dass sie Lösungen für Form und Funktion ohne Vorfixierungen (wie beispielsweise Kosten) erarbeiten und somit „einen Blick über den Tellerrand werfen“ können – diese Methoden nennt man intuitiv. Im Gegensatz dazu werden Methoden, die eine systematische Vorgehensweise bei der Generierung und Bewertung von Lösungsvorschlägen vorschreiben, diskursiv genannt; ihr Aufbau lässt sich einfach mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen verknüpfen. Bei allen Methoden werden Teams aus Experten mit den jeweilig notwendigen Kompetenzen gebildet, denen oft Rollen zugeordnet werden. Einige Methoden werden durch Regelwerke standardisiert, die Pflichten und Empfehlungen für die Durchführung formulieren.

Bekanntere intuitive Methoden sind das Brainstorming, die 635-Methode (Brainwriting), Bionik, Synektik, Analogietechnik und andere. Ihr Schwerpunkt ist die Ideengenerierung, nicht ihre Bewertung, die erst zum Schluss erfolgt oder nachgelagert zu der Methode durchgeführt wird. Gedankenstützen kommen oft von der Natur (z.B. Bionik) oder von vergleichbaren Problemstellungen (z.B. Analogietechnik). Alle intuitiven Methoden haben einen definierten Kontext (Raum, Zeit, Zusammensetzung des Teams) und beschränken indirekt somit doch den Ingenieur. Auf jeden Fall sind sie aber für ihn sehr nützliche Denkanstöße, die seine Intuition und somit die spontane Generierung von Lösungsvorschlägen auch außerhalb der Arbeitszeit fördern („Eureka“-Effekt). Eine immerwährende Aufgabe der Wissenschaft ist, neue Kontexte zu entwickeln, die die Intuition des Ingenieurs gezielt fördern. Als vielversprechender Kontext, der Umgebung und Plattform einschließt, erscheint die Virtuelle Realität. Sie bietet den Ingenieuren eine gemeinsame Visualisierungsgrundlage zur Lösung von Aufgaben im Team, auch an geographisch verteilten Standorten [2].

Ein Beispiel einer diskursiven Methode, die die systematische Ideenfindung mittels einer Matrix ermöglicht, ist der Morphologische Kasten. Die meisten angewendeten diskursiven Methoden haben aber das Ziel, bereits definierte Lösungsvorschläge für Form und Funktion des technischen Produktes nach einem festgelegten Schema zu bewerten. Qualitative und quantitative technische Merkmale werden auf einem abstrakten Niveau, das die Entscheidungsfindung unterstützt, quantifiziert. Die gestellten Ansprüche an diese Methode sind die Objektivität, die Vollständigkeit des Umfangs und die Ausgewogenheit der Gewichtung

der Quantifizierung. An dieser Stelle werden die zwei Methoden FMEA und Nutzwertanalyse näher betrachtet.

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) ist eine Methode, mit der die möglichen Fehlfunktionen und ihre Auswirkungen auf den Kunden systematisch analysiert und durch die sogenannte Risikoprioritätszahl (RPZ) quantifiziert werden. Sie ist ein fester Bestandteil des ISO 9001 und TS 16949 Regelwerks für Qualitätssicherung. In der Designphase wird sie zu einem späten Zeitpunkt ausgeführt, an dem bereits ein einziges Produkt, mit entsprechender Variantenvielfalt und einzelnen existierenden Lösungen für seine Teilfunktionen, ausgewählt wurde. Der Konstrukteur ist für die Erstellung der sogenannten Design- oder Produkt-FMEA zuständig, die Fehlerquellen in den Produktfunktionen untersucht, während der Produktionsplaner die Prozess-FMEA verantwortet, bei der die Fehlerquellen in Produktionsprozessen analysiert werden. Da der Ingenieur verpflichtet ist, alle nach Stand der Technik bekannten Fehlerfunktionen des Produktes aufzulisten und zu untersuchen, muss bei der FMEA-Methode systematisch und sehr vorsichtig vorgegangen werden. Die Risikoprioritätszahl RPZ für jede identifizierte Fehlfunktion ist

$$RPZ = B \cdot A \cdot E \quad (1),$$

wobei B die Bedeutung der Fehlerfolge für den Kunden, A die Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache und E die Entdeckungswahrscheinlichkeit des Fehlers ist. Jeder dieser Parameter kann ganzzahlige Werte zwischen 1 und 10 annehmen, wobei 1 immer der günstigste Fall (keine Bedeutung für den Kunden, Auftretenswahrscheinlichkeit gegen null, Entdeckungswahrscheinlichkeit gegen 100%) und 10 der ungünstigste Fall ist (Gefahr für Leib und Leben, Auftretenswahrscheinlichkeit gegen 100%, Entdeckungswahrscheinlichkeit gegen null). Demnach kann die RPZ Werte zwischen 1 und 1000 bekommen, wobei für Fehlfunktionen mit der $RPZ > 125$ [3] Maßnahmen zur Bekämpfung der Fehlerfolgen notwendig sind, die A und/oder E senken. TS 16949 weist auch explizit darauf hin, dass die RPZ nicht nur als eine losgelöste Zahl betrachtet werden darf, sondern auch ihre Zusammensetzung beachtet werden muss. Beispielsweise ist die RPZ 200 ernster zu nehmen im Falle $B = 10, A = 5, E = 4$ als im Falle $B = 2, A = 10, E = 10$.

Bei einer Nutzwertanalyse werden mehrere Lösungsalternativen anhand definierter Kriterien miteinander verglichen und letztendlich in einer Präferenzreihenfolge geordnet [4]. Dazu bekommt jedes Kriterium eine ganzzahlige Skala zur Quantifizierung des Erfüllungsgrades (z.B. von 0 „gar nicht erfüllt“ bis 9 „vollständig erfüllt“) und eine Gewichtung, die die relative Wichtigkeit des Kriteriums widerspiegelt. In der Designphase würde diese Methode zu Beginn angewendet, wenn aus einer Vielzahl möglicher Lösungen nur noch wenige zur Weiterverfolgung auszuwählen sind. Der Nutzwert einer Alternative j bei n Kriterien mit jeweiligen Erfüllungsgraden $a_i, i \in [1, n]$ und Gewichtungsgraden $g_i, i \in [1, n]$ beträgt

$$N_j = \sum_{i=1}^n a_i \cdot g_i \quad (2).$$

Einfache Überlegungen zeigen, dass sowohl bei der FMEA als auch bei der Nutzwertanalyse geringe Abweichungen bei der Bewertung, ausgelöst durch unscharfe Quantifizierungsregeln, die die Intuition und den Opportunismus miteinfließen lassen, das Ergebnis maßgeblich ändern können. Beispielsweise kann bei der FMEA-Methode ein geringer Spielraum der Beurteiler zwischen den Werten $B = 6$ oder $7, A = 5$ oder $6, E = 4$ oder 5 zu den zwei möglichen extremen Ergebnissen $6 \times 5 \times 4 = 120$ einerseits und $7 \times 6 \times 5 = 210$ andererseits führen, was einen ziemlich großen Unterschied ausmachen würde. Selbst eine weitgehende Übereinstimmung, d.h. bei minimaler Veränderung eines einzigen Parameters, z.B. bei Wert $B = 6$ oder 7 ergibt sich eine RPZ von 120 (bei $6 \times 5 \times 4$) bzw. 140 (bei $7 \times 5 \times 4$), was bereits einen Unterschied von ca. 17% ausmachen würde. Der kritische Wert von 125 wäre in diesem Fall einmal über- und einmal knapp unterschritten.

3. Intuition und Rechenschaftspflicht

Die Intuition geht als Erfahrungswissen jeder Methode unmittelbar voraus. Als nonverbale Konzeption erschließt sie die kontextualen und ganzheitlichen Bezüge des zu untersuchenden Objekts. Diese sind, nebenbei gesagt, der Hauptgrund, weshalb sich die Virtuelle Realität als Werkzeug besonders eignet: nicht nur, weil die Intuition oder das Erfahrungswissen hierbei eine anschaulichere oder zielführendere, leichtere Gewinnung von (impliziten) Handlungswissen bereit stellen, sondern auch, weil sich möglicherweise eine explizite Methode entwickeln läßt. Die empirische, unvollständig-induktive Vorgehensweise in den Naturwissenschaften, die Erfahrungsanalyse, erlaubt und fordert insbesondere von den Ingenieurwissenschaften, die zuvor gewonnen allgemeingültigen naturwissenschaftlichen Aussagen ständig derartig zu variieren und zu „überlisten“, dass man konstruierend wiederum zum (technisch) Besonderen und Einzelnen gelangen kann. Auf diesem Wege der Umsetzung hat sich unter den verschiedenen, altbekannten Erkenntnisformen eine Norm ganz besonders bewährt; eine, der wir auch zuallerst unsere westliche technische Hochkultur verdanken: die Rechenschaftspflicht; das begründete Wissen. Dieser geniale Gedankenzug der Antike führt begriffliche Unterscheidungen für das ‚Wissen‘ und seine (konkurrierenden) Erfahrungs- und Erkenntnismerkmale ein, um der Begründungspflicht nachkommen zu können. Die sogenannte *techne* gilt seither als konstitutiv für die Wissensgenerierung. *Techne* hat man als Experte und Ingenieur, wenn man nicht nur weiß, was man tut, sondern jederzeit Rechenschaft darüber abgeben kann, *warum* man etwas tut. Das geforderte Gebot der Rechenschaftspflicht zur Sicherheits- und Qualitätssicherung von Wissen muss man sich so stark vorstellen, dass u.a. ein positiver Zwang zur Formalisierung von Begründungen entstand, der letztendlich der Entwicklung der Grundwissenschaft Mathematik zu Gute kam. Die Norm der Rechenschaftspflicht begründet eine Methode. Und sie ist es bis heute.

Die Intuition und das implizite Erfahrungswissen (tacit knowledge) gehen hingegen trotz allem Anschein des ganzheitlichen Wissens und einer gewissen Handlungskompetenz nicht über das Fragezeichen hinaus. Die Frage ‚warum?‘ bleibt bestehen.

Für technische Entwicklungen existieren stets konkurrierende Lösungsmöglichkeiten, was bedeutet, dass Technik nicht wertneutral realisiert werden kann. Außer-technische Aspekte spielen in die Entscheidungsfindung mit hinein (z.B.: die Vorgabe der Minimierung von Schadstoffemissionen ist umweltethisch motiviert). Nicht nur die Hierarchisierung der Zielvorgaben, sondern auch die Identifizierung und Definition von Problemfeldern, ihren Funktionen und Kriterien, werden bereits sowohl von dem Erfahrungswissen als auch von dem Bauchgefühl gesteuert. Die jeweilige Rangfolge der Werte, die aus einem Gemisch aus technischen, kulturellen und individuell-subjektiven Werten besteht, fließt in den Auswahlprozess mit ein. Eine eindeutige und rationale, systematische Lösungsauswahl wird dadurch theoretisch unmöglich determinierbar und im Kern vom *Geschmack* und den jeweiligen Vorlieben bestimmt sein. Im Grunde wird jede Auswahl und die letztendliche Produktrealisierung von einer *ästhetischen* Komponente überlagert, die sowohl die ethischen als auch die technisch-sachlichen Überlegungen präferiert. Beispielsweise, wenn es technisch gleichwertig ist, ist es unerheblich, ob als Verbindungselement eine Schraube oder ein Bolzen anversiert wird, es verbleibt eine weitgehend unbegründete Geschmacksache. Die relevante Fragestellung ist, wie stark diese ästhetische Komponente in den Verfahrensweisen ausgeprägt wird.

Methoden der Produkt- und Technikentwicklung, wie die FMEA und die Nutzwertanalyse, versuchen u.a. dem subjektiven Anteil während dem Prozess der Bewertungen *in praxi* durch den kollaborativen Ansatz beizukommen, in der zweifachen indirekten Annahme, dass sich sachliche Unstimmigkeiten herausmitteln lassen und der Mittelweg die beste Lösung sei. Beide Annahmen sind dahingehend falsch, dass sie zum einen gruppenspezifische Entwicklungen an der Realität vorbei idealisierend fehl einschätzen und zum anderen, weil technische Kompromisslösungen weder qualitativ noch sicherheitstechnisch befriedigend und optimal zielführend sein können; und somit allzuleicht innovations- und verkaufshemmend nachwirken können. Auf der anderen Seite wird bei den beiden Abschätzungsmethoden, FMEA und Nutzwertanalyse, die Intuition und das implizite Erfahrungswissen (tacit knowledge) als positives und äußerst wichtiges Bewertungskriterium ebenfalls miteingebracht und berücksichtigt. Die Gewichtung von Werten und deren Verhältnisse untereinander ist hierbei eine relative Größe, die nicht zuletzt von der Relation Subjekt zu Objekt abhängig ist, d.h. dem beurteilenden Ingenieur zu dem Wert-Gegenstand. In der Umkehrung der gewohnten Denkperspektive kann man die Relevanz für eine ‚Norm‘-Einführung oder Eichung bzw. für eine quantitative *Methode* zur Ermittlung und Bestimmung von subjektiven und intuitiven Bewertungen deutlicher gewahr werden: der objektive Cha-

rakter der wahrgenommenen Gegenstände besteht für uns überwiegend aus graduellen Abstufungen des Subjektiven und aus seinem Interpretationscharakter. Gerade die Forderung und Norm der Rechenschaftspflicht enthebt den Ingenieur nicht von der Berücksichtigung um das Wissen von der Herkunft seiner Werturteile und seines Erfahrungswissens, bzw. seiner Subjektivität und seines Bauchgefühls. Die Frage nach dem ‚Warum?‘ und ihre (versuchende) Begründbarkeit ist elementar; ist elementarer Bestandteil wissenschaftlicher Methode.

Die Explikation impliziten Wissens, die Erfassung und Umsetzung von qualitativen in quantitative Wertangaben und Korrelationen, kann zwar aufgrund der fehlenden Verlässlichkeit der Prognostizierbarkeit einer dynamischen und zu komplexen Werte- und Wissensentwicklung niemals vollständig erreicht werden, dennoch sind Methoden und Quantifizierungskriterien eruierbar, dass sich begriffliche und inhaltliche Unterscheidungen von implizitem Wissensarten derart in die Bewertungsschemata integrieren lassen, dass sich über ein negatives Ausschlussverfahren, die rein subjektiven und willkürlichen Wertungen zugunsten von nun quantifizierbaren Sachverhalten ausschließen lassen. Es ist die methodische Suche nach den passenden Intervallen und Grenzen der Kriterien, nicht nach deren vollständigen Beschreibbarkeit, die ein vorausplanendes Konstruieren erleichtern helfen sollen.

4. Fragestellung und Beschreibung der Kleinstudie

Die bisherige Ausführung zeigt, dass die Intuition eines Ingenieurs eine sehr wichtige Eigenschaft in der Designphase ist. Viele intuitive Methoden der Ideengenerierung zielen darauf, das „Bauchgefühl“ und die Erfahrung des Ingenieurs abzurufen, damit er neue technische Lösungen für Kundenanforderungen entwickeln kann. Andererseits existieren aber viele diskursive Methoden der Produktentwicklung, die meist mit wirtschaftlichen oder rechtlichen Aspekten der Entscheidungsfindung verknüpft sind, die theoretisch eine vollständig objektive und eindeutige Bewertung ermöglichen. Ziel der im Rahmen dieses Artikels durchgeführten Kleinstudie ist anhand zwei beispielhafter diskursiver Methoden (FMEA und Nutzwertanalyse) qualitativ abzuschätzen, inwieweit die Intuition des Ingenieurs bei theoretisch rein diskursiven Methoden mitspielt und somit eine rein sachliche Bewertung verhindert. Zu diesem Zweck wurden 5 Maschinenbauingenieure und 1 Maschinenbaustudent kurz vor Studienabschluss befragt. Der Fragebogen enthielt, neben der Ermittlung der Berufserfahrung in Jahren, folgende offene Fragen, die mit Stichworten oder kurzen Sätzen beantwortet werden durften:

a) Zur FMEA-Methode:

- Nutzen Sie eine unternehmensspezifische oder persönliche entwickelte Richtlinie (z.B. Tabelle), um qualitative Angaben in quantitative Werte für die Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeit zu übersetzen?

- Wie oft lassen Sie Ihr Bauchgefühl mitentscheiden, welchen Wert zwischen 1 und 10 das Merkmal bekommt?
 - Haben Sie schon mal opportunistisch gehandelt, um die Risikoprioritätszahl zu beeinflussen?
- b) Zur Nutzwertanalyse:
- Nutzen Sie eine unternehmensspezifische oder persönlich entwickelte Richtlinie (z.B. Tabelle) für die Gewichtung unterschiedlicher Kriterien?
 - Wie oft lassen Sie Ihr Bauchgefühl mitentscheiden, welchen Wert das zu beurteilende Merkmal eines Produktes bekommt?
 - Haben Sie schon mal opportunistisch bewertet, um eine bestimmte Lösungsalternative besser oder schlechter abschneiden zu lassen?

Es wurde bewusst auf offene Fragen verzichtet, weil hierdurch eine Reduzierung von Erfahrungen und Empfindungen auf reine Zahlen stattfinden würde, was einen qualitativen Informationsverlust mit sich bringen würde.

5. Ergebnisse und Diskussion

Die wichtigste Feststellung der Kleinstudie ist, dass auch bei diskursiven Bewertungsmethoden der Produkt- und Technikentwicklung, wie FMEA und Nutzwertanalyse, intuitive Entscheidungen keine Seltenheit sind – und zwar unabhängig von der Anzahl der Berufsjahre und Erfahrungen.

Keiner der sechs Teilnehmer konnte aus eigener Erfahrung den Einfluss des Bauchgefühls auf die Bewertung vollständig ausschließen, drei der sechs Befragten haben sogar einen signifikanten Einfluss zugegeben („grob gesagt, bei jedem vierten Fall“, „sehr oft“, „maßgeblich“). Daher haben streng genommen auch die diskursiven Methoden einen anteiligen intuitiven Charakter. Hier spiegeln sich persönliche Präferenzen und Gruppendynamische Effekte wider.

Gleichzeitig haben aber die meisten Teilnehmer explizit bekräftigt, dass durch unterschiedliche Mechanismen versucht wird, die Subjektivität relevanter Entscheidungen zu minimieren. Dies deutet darauf hin, dass den Ingenieuren die Schwächen des Sich-Verlassens auf die Intuition in der Produktentwicklung durchaus bewusst sind. Durch eine ausgewogene Teambildung und formulierte Kriterien wird versucht eine Kompromisskultur von „Maß und Mitte“ zu entwickeln, die Entscheidungen sollen grob gesagt dem Mehrheitsprinzip folgen. Beispielsweise wurden die Methoden von einem Befragten als „Gruppenprozess zur Relativierung extremer Ansichten“ bezeichnet.

Die mit dem Einfluss der Intuition einhergehende Unschärfe lässt sich aus Sicht einiger Befragten durch „den gesunden Menschenverstand“ begrenzen. Eine sehr strenge Regelung der Quantifizierungskriterien, die jegliche Unschärfe eliminiert, würde die Methoden stark bürokratisieren und nicht anwendbar machen. Jedoch öffnet gerade diese Unschärfe auch die Tür für opportunistisches Verhal-

ten – fünf der sechs Befragten haben opportunistisches Verhalten, zumindest unter bestimmten Bedingungen (Zeitdruck, Lagerbildung, eigene Idee, usw.) zugegeben. Daher sollte sich jedes Unternehmen ernsthaft die Frage nach dem „sinnvollen Objektivitätsgrad“ der diskursiven Bewertungsmethoden stellen. Unternehmensinterne Kriterien (bei FMEA über die Pflichten aus dem entsprechenden Regelwerk der Qualitätssicherung hinaus gehend) scheinen vor dem Hintergrund des zugegebenen Opportunismus unerlässlich, der Detaillierungsgrad soll aber nach der aus dem Toleranzmanagement bekannten Regel „so grob wie möglich, so fein wie nötig“ festgelegt werden. Die Intervalle und Grenzen der Quantifizierung sollen so gewählt werden, dass der Ingenieur gleichzeitig seine Rechenschaftspflicht erfüllt und die Aufgabe, vor allem mengenmäßig, beherrschbar bleibt.

6. Schlussfolgerungen

Dieser Artikel hebt die Rolle der Intuition eines Ingenieurs während der Designphase der Produktentwicklung hervor. Es wurde gezeigt, dass sie nicht nur federführend bei den kreativen Methoden der Ideengenerierung ist, sondern dass sie immer auch die (theoretisch ausschließlich) diskursiven Methoden begleitet. Das „blinde“ Verlassen auf die Intuition ist somit zwiespältig, denn neben den genialsten Lösungen kann sie auch ein verzerrtes Bild der schwer quantifizierbaren Produkteigenschaften übermitteln. Der Ingenieur muss daher lernen richtig mit ihr umzugehen und sich immer ihrer Stärken und Schwächen bewusst zu sein, um im Dienste der Gesellschaft richtig handeln zu können. Die grundsätzliche Empfehlung dieses Artikels für Ingenieure ist, der Intuition während der Generierung neuer Lösungsvorschläge freien Lauf zu lassen und sie in den kreativen Anfangsphasen möglichst wenig durch Bewertungen einzuschränken; bei der Bewertung von Lösungsvorschlägen sollen im Gegensatz dazu definierte Quantifizierungskriterien die mit ihr einhergehende Subjektivität weitgehend beschränken. Hierbei soll hinsichtlich der Intervalle und Grenzen der Kriterien der Grundsatz „so grob wie möglich, so fein wie nötig“ gelten, der aus anderen Ingenieurdisziplinen wie dem Toleranzmanagement bekannt ist oder auch allgemeiner aus der Technikphilosophie, die die begriffliche, ergo inhaltliche Untergliederungsmethode als Voraussetzung der Quantifizierbarkeit und Feinjustierung identifiziert hat. Dies würde sowohl die Erfüllung der Rechenschaftspflicht des Ingenieurs als auch die Beherrschbarkeit der Methoden gewährleisten.

DANKSAGUNG

Die Autoren möchten sich bei Angel Bachvarov von der TU Sofia für die interessanten Gespräche bedanken, aus denen später bei ihnen die Idee für diesen Artikel entstanden ist.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Eder E. W., Hosnedl S., (2008), *Design Engineering – A Manual for Enhanced Creativity*, CRC Press New York, 2008, p. 7
- [2] Bachvarov A., Katicic J., Yordanov Y., (2009), *Collaborative Engineering in Common Virtual Reality Environments*, XVIII International Conference “ADP 2009” Sozopol, 2009, pp. 489-494
- [3] Bertsche B., (2008), *Reliability in Automotive and Mechanical Engineering*, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2008, pp. 133-144
- [4] Ehrlenspiel K., (2007), *Integrierte Produktentwicklung: Denkläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*, Carl Hanser Verlag München Wien, 2007, pp. 514-517

Autoren: Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Jurica Katičić, Entwicklungsingenieur, *email:* katicic.jurica@gmail.com; PD Dr. phil., Dipl.-Geophys., M.A. Miriam Ommeln, Privatdozentin am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), *email:* miriam.ommeln@kit.edu