

Werkzeugunterstützung bei der Ermittlung von Anforderungen für regionsspezifische Fahrzeugkonzepte

Frank Nehuis, Carsten Stechert und Thomas Vietor
Institut für Konstruktionstechnik
Technische Universität Braunschweig

In response to the ever growing needs and wishes of the customer, cars are continually being developed and refined. The intensifying globalization of the automotive industry as well as an increase in region-specific requirements for a vehicle makes it difficult to define a vehicle concept suitable for all markets. In this context, a major challenge exists to satisfy the individual and region-specific mobility needs of the population with a reasonable number of vehicle variants and to simultaneously take into account region-specific customer requirements. To consider the region-specific differences during the vehicle design, a tool has been developed that shows the influence of the vehicle environment on a vehicle and provides information on these region-specific differences in the early stages of the development process.

1 Einleitung

Langfristig werden als Folge einer weltweit urbanisierten Gesellschaft etwa 70% der Bevölkerung in Städten leben. Das gleichzeitig zunehmende Bedürfnis nach individueller Mobilität führt deshalb in wachsenden Metropolen zu regionsspezifischen, ökologischen und verkehrstechnischen Problemen und ist ein limitierender Faktor für die Stadtentwicklung.

Bei Automobilherstellern wird das Bedürfnis der Kunden nach individueller Mobilität derzeit durch eine Vielzahl unterschiedlicher Derivate realisiert. Dabei bilden Plattformen die Basis mehrerer Fahrzeugvarianten, die dann durch verschiedene Derivate kundenindividuell erzeugt werden. Durch diese Strategie werden die Teileanzahl und die damit verbundenen Kosten möglichst gering gehalten, [1]. Neben den kundenindividuellen Anforderungen an ein Fahrzeug müssen zunehmend auch regionsspezifische Einflussfaktoren bei der Entwicklung eines Fahrzeugkonzeptes berücksichtigt und in den Fahrzeugderivaten abgebildet werden, Bild 1.

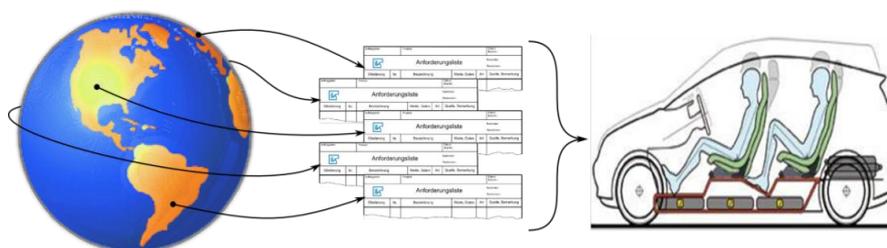


Bild 1: Ermittlung technischer Anforderungen an ein Fahrzeugkonzept auf Basis regional unterschiedlicher Einflussfaktoren

In Großstädten ist es mit heutigen Mobilitätskonzepten beispielsweise nur bedingt möglich, mithilfe der vorhandenen Infrastruktur die zu erwartende Verkehrslast zu tragen. Dies bezieht sich sowohl auf die parallele Nutzung der Verkehrswege durch Fußgänger, Tiere, Zweiräder, Autorikschas, PKW, LKW usw. als auch auf die Infrastruktur (Straßen, Tankstellen, Stromnetz). Außerdem spielen Emissionsschutz und Recycling eine immer größere Rolle, um vorhandene Ressourcen effizient zu nutzen und die ohnehin erkennbaren Umweltbelastungen mit den resultierenden globalen Problemen nachhaltig zu verringern.

Darüber hinaus wird z.B. in indischen Metropolen, wie z.B. Kalkutta, Bombay oder Delhi, in den nächsten 20 Jahren ein Bevölkerungsanstieg um jeweils 6 bis 9 Mio. Menschen von derzeit bereits mehr als 20 Mio. Einwohnern erwartet. Diese Entwicklung ist auch auf andere Regionen übertragbar und zeigt, dass eine Berechtigung für regionsspezifisch angepasste Konzepte vorhanden ist und über die Berücksichtigung regionaler Unterschiede in Fahrzeugderivaten zu diskutieren ist. Dieses gilt insbesondere für Metropolregionen bereits heute und wird mittelfristig zunehmen, wie am Beispiel Indien verdeutlicht wurde.

Zu den äußeren Einflüssen auf ein Fahrzeug zählen z.B. das Klima in einer Region, die Infrastruktur oder auch die kulturellen Gegebenheiten vor Ort. Einige Einflussfaktoren werden in der Praxis jedoch selten berücksichtigt, da nur bedingt Informationen über deren Einfluss auf die technischen Anforderungen eines Fahrzeugkonzeptes vorliegen. An dieser Stelle kann ein Werkzeug helfen, die Umgebung eines Fahrzeugs seinen technischen Anforderungen gegenüberzustellen, Bild 2.

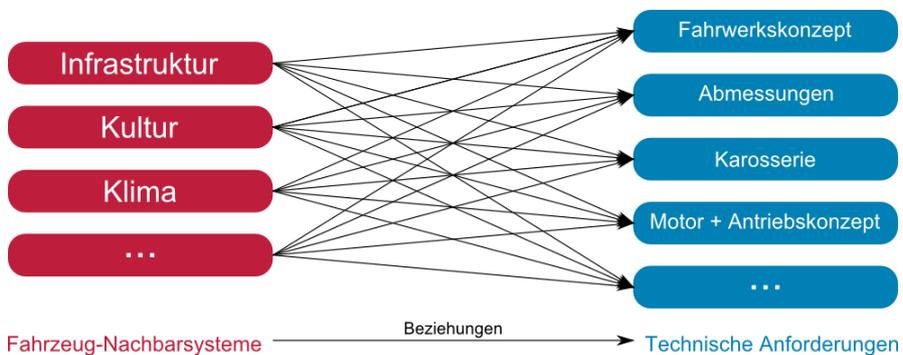


Bild 2: Exemplarische Gegenüberstellung der Fahrzeugumgebung und der technischen Anforderungen

Ziel ist es daher, die Einflussfaktoren aus dem Umfeld des Fahrzeugs zu bestimmen und deren Wirkung auf ein Fahrzeugkonzept zu bestimmen. Darauf aufbauend können die regionsspezifischen Unterschiede der Fahrzeugumgebung analysiert werden. Durch die Gegenüberstellung werden die Beziehungen der Einflussfaktoren auf die Anforderungen verdeutlicht. Sind die Wirkungen zwischen den Nachbarsystemen und den technischer Anforderungen für eine Region bekannt und liegen die dazugehörigen Informationen während der Konzeptphase verdichtet vor, besitzt der Fahrzeugentwickler ein Werkzeug zur gezielten Festlegung eines regionsspezifischen Fahrzeugkonzeptes.

2 Stand der Technik

2.1 Einordnung der Methode in den Konstruktionsprozess

Bei der Entwicklung eines komplexen Produktes ist die Festlegung der Anforderungen an das System bzw. an einzelne Objekte des Systems ein zentraler Schritt, um die Bedürfnisse des Kunden zu erfüllen. Dieses wird durch die Betrachtung bewährter konstruktionsmethodischer Vorgehensweisen deutlich, in denen das „Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung“ durch die Formulierung technischer Anforderungen stets einen eigenständigen Vorgehensschritt darstellt, [2]. Exemplarisch wird dieser zentrale Schritt in (Schritt 1 in Bild 3) anhand des Vorgehensmodells nach Richtlinie VDI 2221 verdeutlicht.

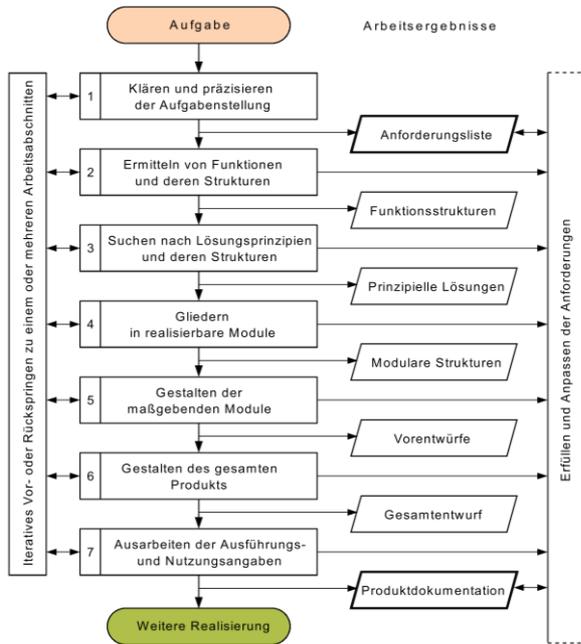


Bild 3: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren technischer Produkte nach Richtlinie VDI 2221 [2]

In dem Vorgehensmodell der Richtlinie VDI 2221 findet die Klärung der Aufgabenstellung zu Beginn des methodischen Entwicklungsprozesses statt. In diesem Schritt werden die vom Produkt geforderten Eigenschaften unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen festgelegt. Ergebnis die-

ses Schrittes ist eine Anforderungsliste, in der die Anforderungen gesammelt werden. Im weiteren Verlauf des Entwicklungsprozesses wird das zu erstellende Produkt zunehmend konkretisiert. Dadurch werden weitere Informationen gewonnen, die ebenfalls in die Anforderungsliste aufgenommen werden, [3]. Während des Entwicklungsprozesses kann es jedoch auch vorkommen, dass eine bereits festgelegte Anforderung geändert werden muss. Dieses ist z.B. der Fall, wenn die Erfüllung einer Anforderung erst mit steigendem Produktkenntnisstand überprüft wird oder zu Beginn des Entwicklungsprozesses gewisse Randbedingungen und Restriktionen nicht bekannt sind, [4]. Ist die Änderung einer Anforderung in späteren Phasen des Entwicklungsprozesses notwendig, geht dieses in der Regel mit hohen Kosten und zunehmendem Zeitdruck einher. Insbesondere Anforderungen, die bereits bei der Auslegung des Produktes festgelegt wurden, können nur noch mit erhöhtem Aufwand verändert werden, Bild 4.

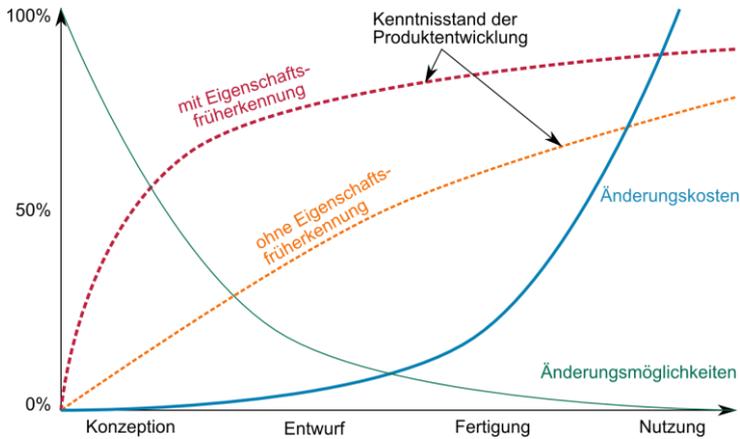


Bild 4: Senken von Änderungsaufwand und die -kosten durch frühes Erkennen der Systemeigenschaften, nach [5]

Um die Entwicklungskosten für ein Produkt zu verringern, müssen insbesondere Änderungen in späten Produktlebenslaufphasen verhindert werden. Dazu werden Methoden eingesetzt, die den Kenntnisstand über ein Produkt in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses erhöhen, [5]. Im Bezug auf das „Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung“ bedeutet dieses, dass die Anforderungen an das Produkt mit Bedacht festgelegt werden und dazu bereits erste Eigenschaften über das Produkt und seine Umgebung bekannt sein sollten. Das an dieser Stelle zu entwickelnde Werkzeug erhöht den Kenntnisstand über die Umgebung des Fahrzeugs und trägt somit zur Unterstützung bei der Festlegung von Anforderungen bei.

2.2 Anforderungen an ein Fahrzeugkonzept

Unter dem Begriff Fahrzeugkonzept wird der konstruktive Entwurf verstanden, welcher die grundsätzliche Entwicklungsidee beschreibt und dessen Realisierbarkeit, auch hinsichtlich der topologischen Anordnung – dem sogenannten Package – absichert, [6]. Dabei spiegelt es die wesentlichen Bestandteile, Charakteristiken und Eigenschaften eines Fahrzeugs wieder und zeigt erste Details auf, um eine Entscheidung für oder gegen eine zu bevorzugende Konzeptlösung zu treffen, [7]. Um die Anforderungen an ein Fahrzeugkonzept zu definieren, wird in der Regel von einem bereits bekannten Vorgängermodell ausgegangen (Anpassungskonstruktion). In diesem Fall bleiben der grundsätzliche strukturelle Aufbau des Fahrzeugkonzepts und den damit verbundenen Anforderungen an ein Fahrzeug, wie z.B. die Festlegung der Fahrzeuggrundform oder die Wahl des Antriebskonzeptes, unverändert. In Bild 5 werden diese grundsätzlich veränderbaren Gestaltungsfelder exemplarisch aufgezeigt.

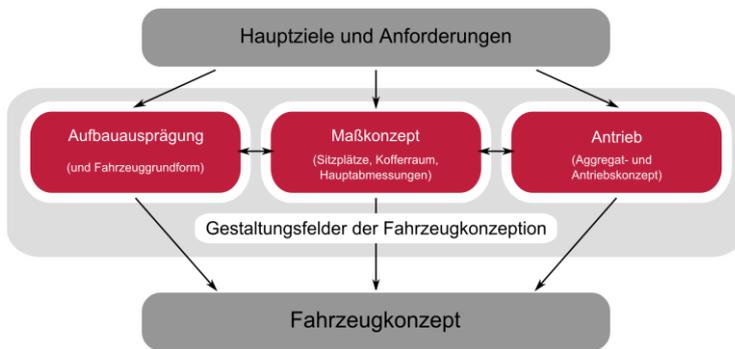


Bild 5: Gestaltungsfelder der Fahrzeugkonzeption nach [6]

Um die Wirkung der Fahrzeugumgebung auf das Fahrzeug darzustellen, werden zunächst unterschiedliche Gestaltungsfelder eines Fahrzeugkonzeptes recherchiert und diesen die technischen Anforderungen zugeordnet. Für diese Strukturierung wurden folgende übergeordnete Gestaltungsfelder festgelegt:

- Hauptabmessungen
- Aufbauausprägung
- Grundformen
- Aggregat-/Antriebsstrangkongzepte
- Gewichte
- Sicherheit und Ergonomie
- Technik
- Umwelt

Um dabei die Komplexität der Struktur für die Entwicklung der Methode zunächst überschaubar zu halten, werden die technischen Anforderungen zunächst bis zu einem geringen Detaillierungsgrad erarbeitet. In diesem Fall spricht man von einem groben Ansatz, wie es beispielsweise in frühen Phasen des Fahrzeugentwicklungsprozesses üblich ist.

Wird der Detaillierungsgrad der Struktur erhöht, steigt die Komplexität des betrachteten Fahrzeugkonzeptes an. In der Regel werden dabei jedoch lediglich die qualitativen Verknüpfungen des groben Ansatzes verfeinert. Daher ist dieser Schritt bei der Entwicklung des Werkzeugs nicht notwendig, [8].

2.3 Ermittlung der Einflussfaktoren auf ein Fahrzeugkonzept

Im Umfeld eines Fahrzeuges und über den Produktlebenszyklus betrachtet können eine Vielzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren benannt werden. Zu diesen zählen naheliegende Einflüsse, wie z.B. die Infrastruktur oder die Gesetzgebung, aber auch Faktoren wie die Individualität des Fahrzeughalters oder die Kultur in einer Region, [1]. Unter diesen in den Beispielen benannten Oberbegriffen können wiederum eine Vielzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren, die auf ein Fahrzeug wirken, ermittelt werden. In der Realität lassen sich einige Einflüsse jedoch nicht eindeutig zu einem einzigen Oberbegriff zuordnen, Bild 6. Als Beispiel sind die regional verfügbaren Werkstoffe genannt, die sowohl einem Oberbegriff „Rohstoffe“ als auch dem Begriff „Produktion“ zugeordnet werden können.

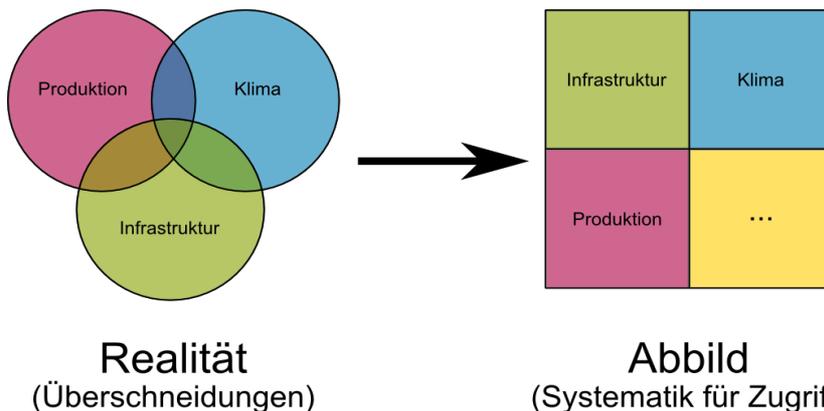


Bild 6: Exemplarische Darstellung der sich in der Realität nicht eindeutig unterscheidbaren Nachbarsysteme und deren technisch verwertbare Abbildung in einer Struktur

Für die Gegenüberstellung der Einflussgebiete und der technischen Merkmale sollen dennoch alle ermittelten Einflüsse Oberbegriffen zugeordnet und systematisch in eine Struktur eingeordnet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass Einflüsse nicht mehreren Oberbegriffen zugeordnet werden, da dieses redundante Aussagen bei einer Gegenüberstellung erzeugen würde. Um die Einflüsse in eine Struktur einzuordnen, wurden zunächst Begriffe recherchiert und im Anschluss folgende Oberbegriffe festgelegt:

- Infrastruktur
- Gesetzgebung
- Ökologie
- Rohstoffe
- Produktion
- Energieverbrauch
- Kundenindividualität
- Demographie
- Anthropologie
- Kultur
- Soziales Umfeld
- Wirtschaftlichkeit

Durch die Zuordnung der Einflussfaktoren zu den Oberbegriffen werden diese zunehmend detailliert. Dadurch wird eine Zuordnung zu den technischen Anforderungen an ein Fahrzeugkonzept ermöglicht. Das Aufstellen der Strukturen erfolgt dabei regionsunabhängig, damit diese auf verschiedene Zielregionen bezogen werden können. Die Detaillierung eines Oberbegriffes wird bei der Entwicklung des Werkzeugs soweit durchgeführt, bis eine Zuordnung zu den technischen Anforderungen möglich ist. Das Aufstellen einer Struktur wird in Bild 7 anhand des Begriffs „Ökologie“ exemplarisch gezeigt:

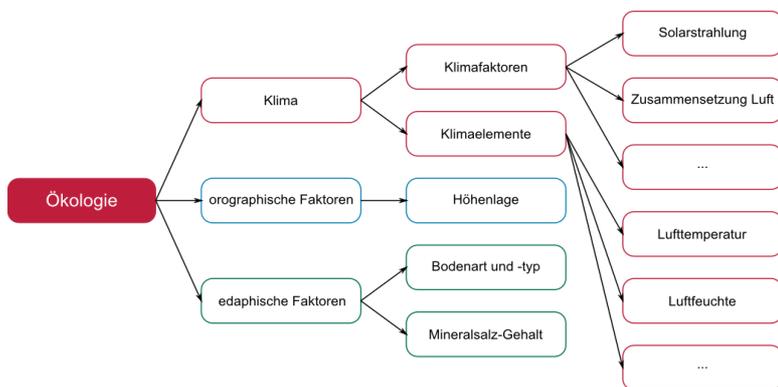


Bild 7: Exemplarisch Darstellung der Struktur des Oberbegriffes „Ökologie“

3 Aufstellen eines Beziehungssystems

Durch eine übersichtliche und transparente Darstellung der Abhängigkeiten zwischen den Einflussfaktoren und den technischen Anforderungen, kann das Finden von Kompromissen bei der Festlegung von Anforderungen unterstützt werden. Ein Beziehungssystem bietet dafür formale Ansätze, verschiedene Elemente zu verknüpfen und etwaige Zielkonflikte zu erkennen, [9]

Die in den vorherigen Kapiteln erläuterten Strukturen der technischen Anforderungen und der Einflussfaktoren dienen als Ausgangslage für die Ermittlung der Beziehungen der Umgebung auf ein Fahrzeugkonzept. Dazu werden diese in einem Beziehungssystem gegenübergestellt und der Einfluss jedes einzelnen Nachbarsystems auf einzelne technische Anforderungen ermittelt. Durch die allgemein gültigen Anforderungen an das Fahrzeugkonzept sowie der bewusst regionsunabhängig formulierten Einflussfaktoren unterschieden sich die ermittelten Beziehungen nicht bezüglich der zu untersuchenden Regionen.

Um das Beziehungssystem handhaben zu können, werden die Anforderungen und die Einflussfaktoren in der System Modeling Language (SysML) dokumentiert. Die SysML ist eine auf der Unified Modeling Language (UML) basierende und standardisierte Programmiersprache für die Modellierung komplexer Systeme. Um den Umgang mit der SysML in der Praxis zu vereinfachen, wird zusätzlich der SysML-Editor „Artisan Studio“ eingesetzt. Dieser ermöglicht das einfache grafische Aufstellen und Erweitern umfangreicher Systeme innerhalb der SysML, [10][4].

Jedes Element der SysML kann darüber mit zusätzlichen Daten verknüpft werden. Dadurch können weitere Informationen zu den Einflussfaktoren, zu den technischen Anforderungen und auch zu den Beziehungen zwischen den Elementen dokumentiert werden. Auf diese Weise können beispielsweise die zu den technischen Anforderungen und den Einflussfaktoren erarbeiteten Strukturen erweitert oder auch detailliert werden. Auch das kontinuierliche Erweitern des Beziehungssystems mit empirischen Informationen ist bei der Modellierung in SysML möglich, [11].

Für die Modellierung des Beziehungssystems im Editor Artisan Studio werden verschiedene Objekte, wie z.B. Blöcke und Kanten, eingesetzt. Einzelne Anforderungs- und Einflussfaktoren-Blöcke können in beliebig vielen grafischen Diagrammen dargestellt werden. Mithilfe der Kanten lassen sich die Blöcke durch „Drag and Drop“-Funktionen miteinander verbinden. Dadurch werden z.B. die Beziehungen der Einflussfaktoren auf die technischen Anforderungen im Editor dokumentiert und somit ein komplexes Beziehungssystem

erzeugt. Die Übersichtlichkeit des Beziehungssystems wird dennoch durch die Modellierung in mehreren grafischen Diagrammen gewährleistet. Um darüber hinaus z.B. die Stärke eines Einflussfaktors auf eine technische Anforderung zu dokumentieren, werden die einzelnen Beziehungen außerdem mit Gewichtungen versehen. So kann z.B. der Einfluss des Nachbarsystems „Straße“ auf den Fahrzeugdämpfer im Beziehungssystem stärker gewichtet werden als der Einfluss ausgehend vom „Komfortempfinden des Fahrers“.

Um regionsspezifische Unterschiede im Beziehungssystem zu hinterlegen, werden diese als zusätzliche Informationen den Einflussfaktoren zugeordnet. So kann z.B. dem Einflussfaktor „Straße“ für eine indische Metropolregion die Ausprägung „uneben“ zuordnen werden, während im Vergleich einer europäischen Metropolregion eher die Eigenschaft „eben“ zuzuordnen wäre. Ist eine Region noch nicht in der Software hinterlegt, müssen die Informationen zunächst ermittelt und im SysML-Editor hinzugefügt werden. Die empirisch ermittelten Daten sind dabei im Gegensatz zu den technischen Anforderungen, den Einflussfaktoren und den Beziehungen zeitabhängig und spiegeln in der Regel den aktuellen Stand in der Region wider, [12]. Im Editor können diese jedoch kontinuierlich weitergepflegt werden.

4 Auswertung des Beziehungssystems

Durch die Modellierung des Beziehungssystems in der Programmiersprache SysML können die Informationen je nach Anwendungsfall automatisiert ausgewertet werden. So lassen sich beispielsweise für einzelne technische Anforderungen alle Einflussfaktoren und deren Einfluss sowie die Information für unterschiedliche Regionen, wie in Bild 8 dargestellt, ausgeben.

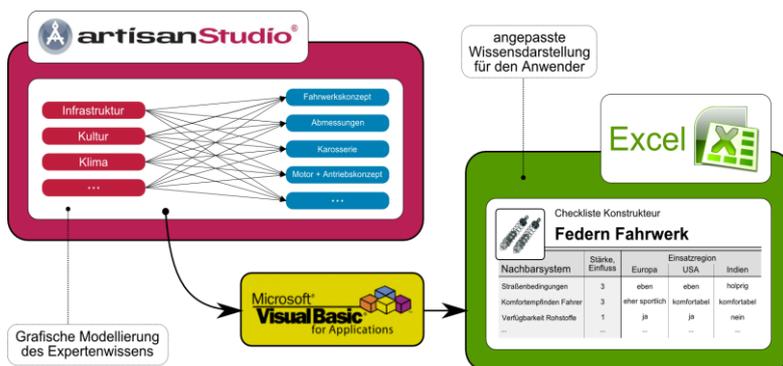


Bild 8: Exemplarische Darstellung der Wissensaufbereitung des auf den Anwender angepassten Expertenwissens

Durch die angepasste Darstellung der Informationen wird es dem Fahrzeugentwickler erleichtert, die technischen Anforderungen für das Fahrzeugkonzept zu bestimmen. Darüber hinaus werden dem Entwickler im Beziehungssystem die Abhängigkeiten der Einflussfaktoren auf einzelne technische Anforderungen aufgezeigt. Anhand der Gewichtung der Beziehungen kann der Entwickler außerdem abwägen, welchen Kompromiss er bei der Festlegung der Anforderung aufgrund der Einflussfaktoren eingehen muss. Durch die Dokumentation verschiedener Regionen im Beziehungssystem wird es ermöglicht die technischen Anforderungen zu identifizieren, bei denen regionspezifische Unterschiede – eine sogenannte Anforderungsspreizung – auftreten. Treten besonders markante Spreizungen auf, könnten diese beispielsweise in modularen Fahrzeugkonzepten berücksichtigt und somit regionspezifische Fahrzeuge kostengünstig realisiert werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Gegenüberstellung der Einflussfaktoren und der technischen Anforderungen eines Fahrzeugkonzepts werden die Beziehungen zwischen dem Fahrzeugumfeld und dem Fahrzeug selbst aufgezeigt. Durch die Dokumentation der Beziehungen in der Programmiersprache SysML können außerdem die Darstellung der jeweiligen Informationen auf den Anwender zugeschnitten werden. Dadurch wird es dem Fahrzeugentwickler ermöglicht, bereits in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses Abhängigkeiten zum Fahrzeugumfeld zu erkennen und diese bei der Festlegung der Anforderungen zu berücksichtigen. Sind zusätzlich regionsspezifische Informationen über die Einflussfaktoren im Beziehungssystem dokumentiert, können regional abweichende Anforderungen ermittelt werden, die insbesondere in der Entwicklung eines regionsspezifischen Fahrzeugs zu berücksichtigen sind.

Bei der programmtechnischen Umsetzung können weitere Informationen kontinuierlich hinzugefügt werden. So lässt sich beispielsweise die Struktur der Einflussgebiete überprüfen und gegebenenfalls erweitern. Auch können die regionsspezifischen Informationen im Beziehungssystem konkretisiert oder Informationen über weitere Regionen hinterlegt werden. In diesem Zusammenhang ist es denkbar, eine kontinuierliche Dokumentation der sich in einer Region verändernden Einflussgebiete vorzunehmen. Diese Datengrundlage kann im Anschluss genutzt werden, um Prognosen über die zukünftigen Entwicklungen der Einflussgrößen, beispielsweise durch die Anwendung der Szenariotechnik, zu treffen. Da die Einflussfaktoren aus der Umgebung fahrzeugunabhängig ermittelt wurden, ist darüber hinaus denkbar, die erarbeiteten Strukturen auf andere technische Systeme zu beziehen. Dazu müssen weitere technische Systeme in der SysML erfasst und die Beziehungen abgebildet werden.

Literatur

- [1] Wallentowitz, H.; Freialdenhoven, A.; Olschewski, I.: „Strategien in der Automobilindustrie – Technologietrends und Marktentwicklung“, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2009
- [2] VDI: "Systematic approach to the development and design of technical systems and products", VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung, Düsseldorf, 1993 (VDI-Richtlinie - Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik).
- [3] Pahl, G; Beitz, W. et al.: "Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen", Springer-Verlag, Berlin, 2007.
- [4] Stechert, C.: „Modellierung komplexer Anforderungen“, Diss. TU Braunschweig, Verlag Dr. Hut, München, 2010.
- [5] Ehrlenspiel, K.: „Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit“, 4. Aufl., Hanser, München, 2009.
- [6] Braess, U.; Seiffert, H.-H.: „Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik“, 5. Aufl., Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2007.
- [7] Grabner, J.; Nothhaft, R.: „Konstruieren von Pkw-Karosserien“, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2006.
- [8] Prinz, A.: „Struktur und Ablaufmodell für das parametrische Entwerfen von Fahrzeugkonzepten“, Logos Verlag, Berlin, 2011
- [9] Alexandrescu, Irene: "Werkzeuge für die rechnerbasierte Konfiguration kundenspezifischer Produkte", Diss. TU Braunschweig, Verlag Dr. Hut, München, 2011
- [10] Stechert, C.; Franke, H.-J.: „Requirements Models for Collaborative Product Development“, veröffentlicht in "Proc. of the 19th CIRP Design Conference", Seite 24-31, 2009
- [11] Franke, H.-J.: „Untersuchungen zur Algorithmisierbarkeit des Konstruktionsprozesses“, Diss. TU Braunschweig, Düsseldorf, 1976
- [12] Weilkens, T.: „Systems Engineering mit SysML/UML – Modellierung, Analyse Design“, dpunkt Verlag, Heidelberg, 2006