

# Ein Konzept zur Integration der Energieanforderung für eine frühzeitige energetische Produktbeeinflussung am Beispiel des automobilen Karosseriebaus

Pape, D.<sup>1</sup>; Mantwill, F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Professur für Maschinenelemente und Rechnergestützte Produktentwicklung

## Abstract

Das Themenfeld der Energieeffizienz steht seit Beginn der Energiewende in Deutschland mehr als zuvor im Mittelpunkt der öffentlichen Aufmerksamkeit. Die Industrie stellt einen der größten Stromverbraucher in Deutschland dar. Indirekt ist hierfür die Kundenforderung nach neuen und innovativen Automobilen zu identifizieren. Die zunehmend weiter steigenden Energiepreise lassen das wirtschaftliche Interesse der Unternehmen an einer Reduzierung des Energiebedarfs während des Herstellungsprozesses wachsen. Die größten Beeinflussungsmöglichkeiten sind dabei in der frühen Phase des Produktentwicklungsprozesses zu finden. Um dieses Potential zu erschließen, muss eine Integration der Anforderung einer Reduktion des Energieverbrauchs stattfinden, was bisher nur schwer gelang. Dieser Beitrag beschreibt am Beispiel des Karosseriebaus der Automobilindustrie ein Konzept, wie diese Energieanforderung methodisch in den Produktentwicklungsprozess integriert werden kann. Hierzu wird ein Arbeitsprozess aufgezeigt und in einem webgestützten Demonstrator zur Anwendung gebracht.

*Since the act on the Energy Turnaround is in force, energy efficiency is in the focus of Germany's public attention. The industry is one of the largest consumers of electricity in Germany. The rising energy prices increase the economic interest of companies in a reduction of the energy consumption during the manufacturing process. The biggest possibilities for an influence can be found in the early stages of the product development process. To use this potential, an integration of the requirement for a reduction of energy consumption must take place. Taking the example of the body in white, this paper describes a concept of how this energy requirement can be methodically integrated into the product development process, even shows a workflow and a web-based demonstrator.*

## Keywords:

Produktbeeinflussung, Karosseriebau, Produktionsplanungsprozess, Energieeffizienz, Kompromissfindung, Anforderungsintegration, Simultaneous Engineering

*Product influence, body in white process, production-planning process, energy efficiency, consensus, requirement integration, Simultaneous Engineering*

## 1 Problemstellung und Zielsetzung

Eine voranschreitende Verknappung fossiler Rohstoffe und der Wechsel zu erneuerbaren Energien sorgen für einen Anstieg der Energiepreise [2, 3]. Die Industrie stellt mit einem Strombedarfsanteil von ca. 47% den Hauptverbraucher in Deutschland dar [4]. Entsprechend groß sind die Einsparungspotentiale, die aus einem verringerten Energiebedarf resultieren können. Auf Grund der beschlossenen Energiewende startete eine Vielzahl von Forschungsprojekten mit dem Hauptziel, den Energiebedarf der Produktion zu senken. Großes Potential kann hierbei erschlossen werden, wenn das Produkt bereits im Entwicklungsprozess so beeinflusst wird, dass die Produktion auf einer optimalen Basis starten kann und nicht gezwungen wird, energieintensivere Prozesse einzusetzen. Ansätze wie und mit welchen Mitteln die Energieanforderung in den Entwicklungsprozess integriert werden kann, beschreibt das Ecodesign [5]. Eine flächendeckende Anwendung kann in der Automobilindustrie jedoch nicht verzeichnet werden. Grund hierfür ist die fehlende Integration der Ecodesign Ansätze [6], wie auch die mangelnde Berücksichtigung individueller Arbeitsweisen. Die sequentielle Arbeitsweise wurde unlängst von der integrierten Produktentwicklung abgelöst [7]. Bei diesem Vorgehen werden Entscheidungen nicht mehr allein vom Entwickler getroffen, sondern durch ein interdisziplinäres Expertenteam aus unterschiedlichen Unternehmensbereichen, die ihre individuellen Anforderungen vertreten. Durch die verschiedenen Ziele dieser Bereiche ist der Entscheidungsprozess oft von Zielkonflikten belastet. Um zu einer Lösung zu gelangen, muss deshalb ein Kompromiss erarbeitet werden [7].

Dieser Beitrag soll am Beispiel der Auswahl der Füge-technik eine Methodik aufzeigen, um die Energieanforderung in den Entscheidungsprozess zu integrieren. Hierfür werden zunächst die potentiell verfügbaren Fügeverfahren durch technologische und gesetzliche Rahmenbedingungen reduziert. In einem weiteren Schritt findet eine Aufnahme der Hauptanforderungen von Karosserieentwicklung und -bauplanung sowie eine Gewichtung der Präferenzen statt. Die potentiellen, denkbaren Lösungen werden dann den Präferenzen in einer Nutzwertanalyse gegenübergestellt. Von den übrig gebliebenen Lösungsvarianten können die Entscheidungsträger, durch die Berücksichtigung von individuellen Anforderungen, eine intelligente Auswahl treffen.

## 2 Motivation

Aus Sicht des Unternehmens sollten frühe Entwicklungs- und Planungsprozesse bereits heute den späteren Energieverbrauch als Teil des Life Cycle Costing berücksichtigen. Dadurch ergeben sich unter anderem folgende Vorteile für das Unternehmen:

- Eine Verminderung der direkten Kosten kann durch die Senkung des Energieverbrauchs erfolgen.
- Das dabei aufgebaute Know-how kann indirekt zur Kostenreduktion eingesetzt werden, da durch die energetischen Prozessanalysen oft auch weitere Rationalisierungspotentiale aufgedeckt werden (Synergieeffekte).
- Die Nutzung von gesetzlichen Förderungen und die Vermeidung von Sanktionen kann einen Wettbewerbsvorteil darstellen. Hierbei ist die Verringerung der erforderlichen CO<sub>2</sub>-Zertifikate nach dem Emissionshandel durch steigende Zertifikatskosten zunehmend von Bedeutung.
- Die Ausweisung eines niedrigen Energiebedarfs in der Produktion kann zu einer Imageverbesserung führen und somit Marktanteile steigern.

Laut ADAC „PKW-Monitor 2011“ geben 45,1% der Kunden an, dass der Kraftstoffverbrauch während der Nutzungsphase des Kraftfahrzeugs ein wichtiges Kaufkriterium darstellt. Damit belegt diese Anforderung Platz 6 der Gesamtumfrage. Die Kaufentscheidung „Umweltfreundlichkeit“, die in der Umfrage nicht näher spezifiziert wird, gelangt auf den 24. Platz mit 20,2% [8]. In der Zusammenfassung mehrerer Umfragen nach Brass/Seiffert, gelangt ein niedriger Kraftstoffverbrauch auf Platz 4 mit 84%. Die Umweltfreundlichkeit liegt im Gegensatz zur ADAC-Umfrage auf Platz 6 mit 78% [9]. Unter der Annahme, dass unter dem Begriff „Umweltfreundlichkeit“ auch eine Beachtung des Energiebedarfs in der Produktion inbegriffen ist, gibt es bereits einen Käuferkreis, für die dieser Punkt in der Kaufentscheidung berücksichtigt wird.

## 3 Vorgehen zur Technikbewertung

Die VDI Richtlinie 3780 zur Technikbewertung [10] beschreibt eine kaskadierende Einschränkung der potentiellen Lösungsalternativen. Hierbei werden zunächst die Ziele definiert wie auch Lösungsmöglichkeiten konzipiert und somit erste, denkbare technische Möglichkeiten erarbeitet. Diese können durch Restriktionen eingegrenzt und präzisiert werden. Die daraus resultierenden machbaren technischen Möglichkeiten können darauffolgend durch individuelle Präferenzen bewertet werden, so dass daraus eine Entscheidung hervorgehen kann. Diese kann zum Schluss in die technische Wirklichkeit übersetzt werden.

## 4 Aufnahme der Hauptanforderungen

Die Hauptanforderungen der Karosserieentwicklung und -bauplanung stellen die Restriktionen und Präferenzen zur Technikbewertung dar und wurden mit Hilfe des Ausschlussverfahrens ermittelt. Hierbei wurden die potentiell verfügbaren Fügeverfahren in Experteninterviews an Hand einer ausgewählten Baugruppe für eine Substitution vorgeschlagen. Die genannten Gründe, die gegen eine Substitution sprachen, wurden jeweils als Hauptanforderungen aufgenommen. Abb. 1 zeigt eine Übersicht der identifizierten Hauptanforderungsaspekte. Diese werden folgend textuell beschrieben.

Neben den gesetzlichen Anforderungen, hat der Karosseriebau die Hauptaufgabe, durch die eingesetzten Fügeverfahren eine vorgegebene Festigkeit zwischen den Bauteilen/ Baugruppen zu gewährleisten. Die Karosserie muss dabei eine gewisse Steifigkeit aufweisen, damit unter anderem die Spaltmaße der Anbauteile während der Nutzungsphase weiterhin bestehen bleiben, Schwingungen durch die Karosserie gedämpft werden und im Falle eines Crashes eine hohe Sicherheit gewährleistet wird. Eine Karosserie ist unterschiedlichsten Witterungsverhältnissen ausgesetzt und darf nicht korrodieren. Ebenso darf zwischen den Bauteilen keine chemische Reaktion stattfinden. Während der Nutzungsphase darf das Endprodukt nur wenig Kraftstoff verbrauchen, welches unter anderem durch die Reduktion des Fahrzeuggewichts und somit auch der Karosserie verfolgt wird. Die eingesetzte Fügetechnik stellt Anforderungen

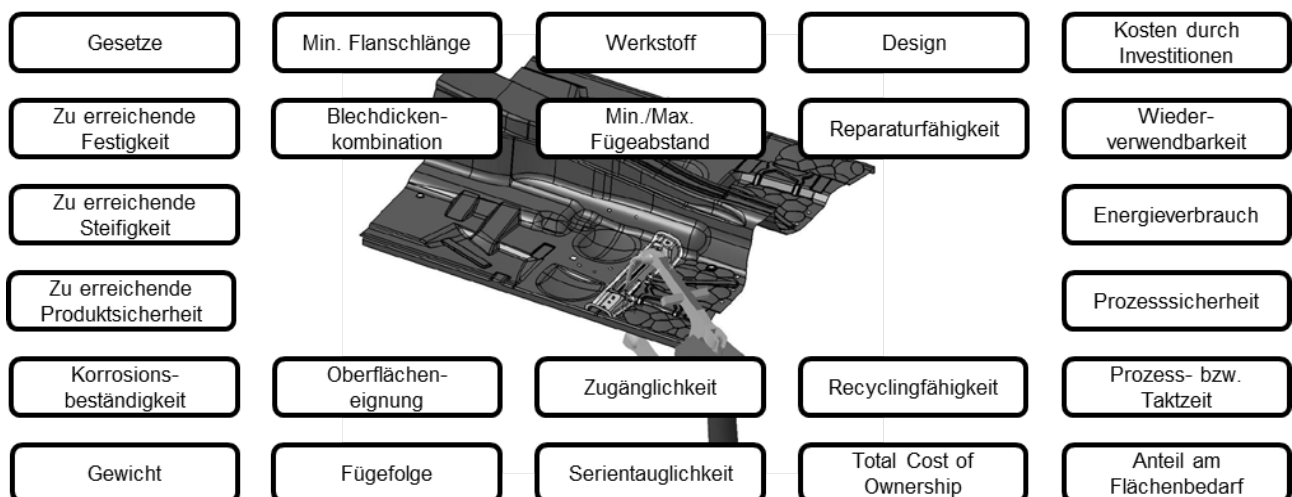


Abb. 1: Hauptanforderungsaspekte an Fügetechnik und Karosserie. Grafik [1]

an die Fügestellen durch z.B. die Flanschlänge, die Blechdickenkombination, die Oberflächeneignung, die Fügefolge, die Werkstoffe und den Abstand der Fügepositionen. Weiterhin muss die Position mit dem Prozessgerät zugänglich sein. Die Serientauglichkeit des Fügeverfahrens ist essenziell. Eine Beeinflussung des Designs darf durch sichtbare Fügeverfahren nicht erfolgen. Die Karosserie muss für den Wartungsfall die Zugänglichkeit zu den Komponenten gewährleisten. Die Recyclingfähigkeit stellt eine weitere Anforderung an die Karosserie dar und beinhaltet den Verzicht auf umweltschädigende Werkstoffe sowie den Einsatz demontagefreundlicher Fügeverfahren und die Vermeidung von Verbundmaterialien. Nicht zuletzt werden wirtschaftliche Anforderungen an die Karosserie gestellt, wie z.B. das Total Cost of Ownership, Kosten durch Investitionen, wie die Anschaffung der Betriebsmittel und Prozessgeräte, die Wiederverwendung der Anlagen von einem Vorgängermodell, den Energieverbrauch während des Fügeprozesses, die Sicherheit der eingesetzten Prozesse, die Prozesszeit, die benötigt wird, um eine Fügestelle innerhalb der vorgegebenen Taktzeit zu realisieren und der Flächenbedarf, der bei vielen Automobilisten durch die historische Expansion oft stark begrenzt ist.

## 5 Bewertbarkeit der Hauptanforderungen

Soll die potentiell einsetzbare Fügeverfahren an Hand der Hauptanforderungen bewertet werden, ist dies nicht durchgängig möglich. Restriktionen stellen K.O.-Kriterien dar und können nur binär bewertet werden. Präferenzen hingegen müssen abgewägt und zunächst gewichtet werden. In Tab. 2 findet hierzu eine Zuteilung statt.

Hauptanforderung	Bewertung	
	Art	Größe
Gesetze	Restriktion	binär
Zu erreichende Festigkeit	Präferenz	quantitativ
Zu erreichende Steifigkeit	Präferenz	quantitativ
Produktsicherheit	Nicht eindeutig	
Korrosionsbeständigkeit	Restriktion	binär
Gewicht	Präferenz	quantitativ
Min. Flanschlänge	Präferenz	quantitativ
Blechdickenkombination	Restriktion	binär
Oberflächeneignung	Restriktion	binär
Fügefolge	Nicht eindeutig	
Werkstoff	Restriktion	binär
Minimaler Fügeabstand	Restriktion	binär
Zugänglichkeit	Restriktion	binär
Serientauglichkeit	Restriktion	binär
Design	Restriktion	binär
Reparaturfähigkeit	Restriktion	binär
Recyclingfähigkeit	Restriktion	binär
Total Cost of Ownership	Präferenz	quantitativ
Kosten durch Investitionen	Präferenz	quantitativ
Wiederverwendbarkeit	Präferenz	binär
Energieverbrauch	Präferenz	quantitativ
Prozesssicherheit	Präferenz	quantitativ
Prozess- und Taktzeit	Präferenz	quantitativ
Anteil am Flächenbedarf	Präferenz	quantitativ

Tab. 1: Bewertung der Hauptanforderungen

Die Anforderungen sind dabei zunächst losgelöst vom Gesamtzusammenhang zu betrachten. So ist z.B. die Vorgabe des Gesamtflächenbedarfs eine Restriktion. Das Erreichen dieser Vorgabe durch die Kombination der Fügeverfahren jedoch eine Präferenz.

## 6 Gewichtung der Hauptanforderungen

Um die Präferenzen untereinander zu gewichten, bietet sich das Verfahren des Paarweisen Vergleichs an. Hierbei werden die einzelnen Anforderungen jeweils untereinander bzgl. der Wichtigkeit verglichen. Tab. 1 zeigt einen Auszug der aufgestellten Tabelle. Aus den Zeilensummen und der Gesamtsumme ergibt sich die Gewichtung. Diese ist hierbei zeitlichen Veränderungen unterworfen, so dass je nach Fahrzeugklasse, gesellschaftlichen Veränderungen und Trends die Gewichtung neu angepasst werden muss. Durch diese Gewichtung ist eine anschließende Bewertung der potentiellen Fügeverfahren möglich.

als wichtiger	Energieverbrauch	Kosten durch Investitionen	Total Cost of Ownership	Prozesszeit	...	Summe
Energieverbrauch		-1	-1	-1		-3
Kosten durch Investitionen	1		0	0		1
Total Cost of Ownership	1	0		-1		0
Prozesszeit	1	0	1			2
...						

Tab. 2: Auszug aus dem paarweisen Vergleich

## 7 Bewertung der potentiellen Fügeverfahren

Die technisch machbaren Fügeverfahren können unter anderem mit Hilfe einer Nutzwertanalyse bewertet werden. Hierzu werden die Präferenzen den Fügeverfahren gegenübergestellt und gemäß ihrer Eigenschaften bewertet. Das Ergebnis aus der Multiplikation von Gewichtung und Bewertung ergibt die Gesamtpunktzahl, welche eine Reihenfolge der am besten geeigneten Verfahren darstellt. Die Bewertung der Fügeverfahren muss nicht jedes mal erneut durchgeführt werden, da sich die Eigenschaften der Verfahren nur bei deren Weiterentwicklung verändern.

## 8 Prozess und Verantwortlichkeit

Um die geforderten Daten wie die Gewichtung und die Eigenschaften der Fügeverfahren nutzen zu können, müssen diese von unterschiedlichen Abteilungen bereitgestellt werden. Zum einen analysiert das Marketing den Markt und stellt Trends sowie Kaufkriterien der Kunden zusammen. Dieses Wissen muss in die Gewichtung einfließen. Hierbei ist die Fahrzeugklasse von großer Bedeutung, da sich die Anforderungen in der Oberklasse und Unterklasse unterscheiden.

Die Eigenschaften der Fügeverfahren können nach der Technologieentwicklung in einem Eigenschaftsprofil zusammengestellt werden. Hierbei richten sich die Eigenschaften nach den zuvor aufgestellten Anforderun-

gen von z.B. Vorgängermodellen. Wird eine Fügechnik weiterentwickelt, müssen die Daten entsprechend nachgepflegt bzw. neue Fügeverfahren hinzugefügt werden.

Die Unternehmensbereiche wie Design, Entwicklung, Produktionsplanung und weitere, stellen die Anforderungen im interdisziplinären Team zusammen, schließen bereits Lösungsmöglichkeiten auf Grund von Restriktionen aus und bewerten diese gemeinsam mit Hilfe einer Methodik, wie der Nutzwertanalyse. Ergebnis ist eine methodische Kompromissfindung. Der Prozess wurde in Abb. 2 noch einmal als Schaubild dargestellt.

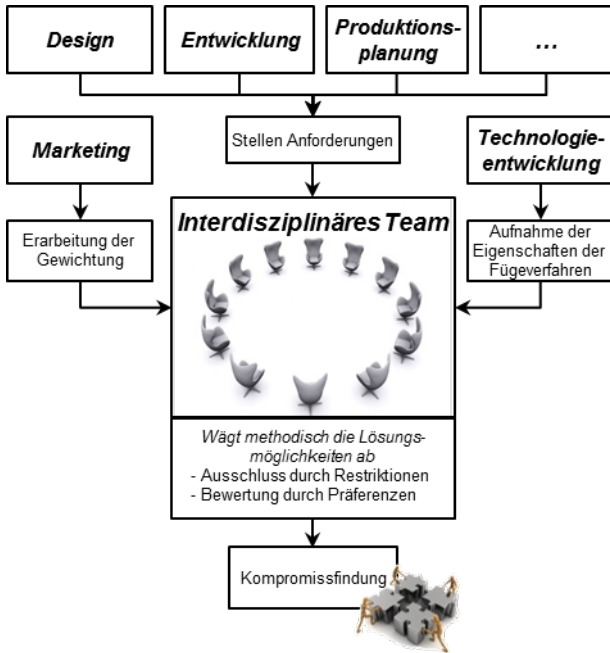


Abb. 3: Prozess zur methodischen Kompromissfindung

## 9 Umsetzung als Demonstrator

Um eine Integration in die frühen Phasen des Produktentwicklungsprozess zu ermöglichen, wurde ein Demonstrator umgesetzt, der auf Kausalketten basiert [11]. Diese Software soll den Entscheidungsprozess im interdisziplinären Team unterstützen und ist in Abb. 3 dargestellt. Da in dieser frühen Phase kaum Gebrauch von CAx-Unterstützung gemacht stattfindet, wurde der Demonstrator in einer webbasierten Umgebung programmiert. Diese Plattform bietet die Möglichkeit, eine große Erreichbarkeit zu gewährleisten und mit geringen Hardwareanforderungen und Expertenwissen eine Bedienung zu ermöglichen.

Eine auf den Karosseriebau individualisierte Software sorgt dafür, dass die zum größten Teil durchgeführte Methodik der Anpassungskonstruktion unterstützt wird. Auf der rechten Hälfte des in Abb. 3 gezeigten Demonstrators „Enerpro“ können daher Eingaben bzgl. des Vorgängers bzw. Nachfolgers getroffen werden. Hierbei kann aus dem Gewicht und dem Material bereits aus generischen Datenbanken der Energiegehalt ermittelt werden, der bereits durch die Herstellung der Halbzuge verbraucht wurde. Um eine Vergleichbarkeit der Fügechnik zu ermöglichen, findet ein Vergleich auf Basis der Scherzugfestigkeit statt. Sind die benötigten Daten in den CAD Daten des Vorgängermodells vorhanden, können diese auch durch einen Automatismus direkt eingelesen werden. Ändert sich das Material im Bezug zum Vorgänger wird der Bediener darauf hingewiesen, dass eine Wiederverwendung der alten Anlage ggf. nur zum Teil möglich ist. Hierbei müssen die investigativen Auswirkungen gesonderte Berücksichtigung finden.

Im linken oberen Viertel wird die Darstellung der Kausalverkettung visualisiert. Hierbei findet eine Betrachtung nach der VDI4600 statt und berücksichtigt den

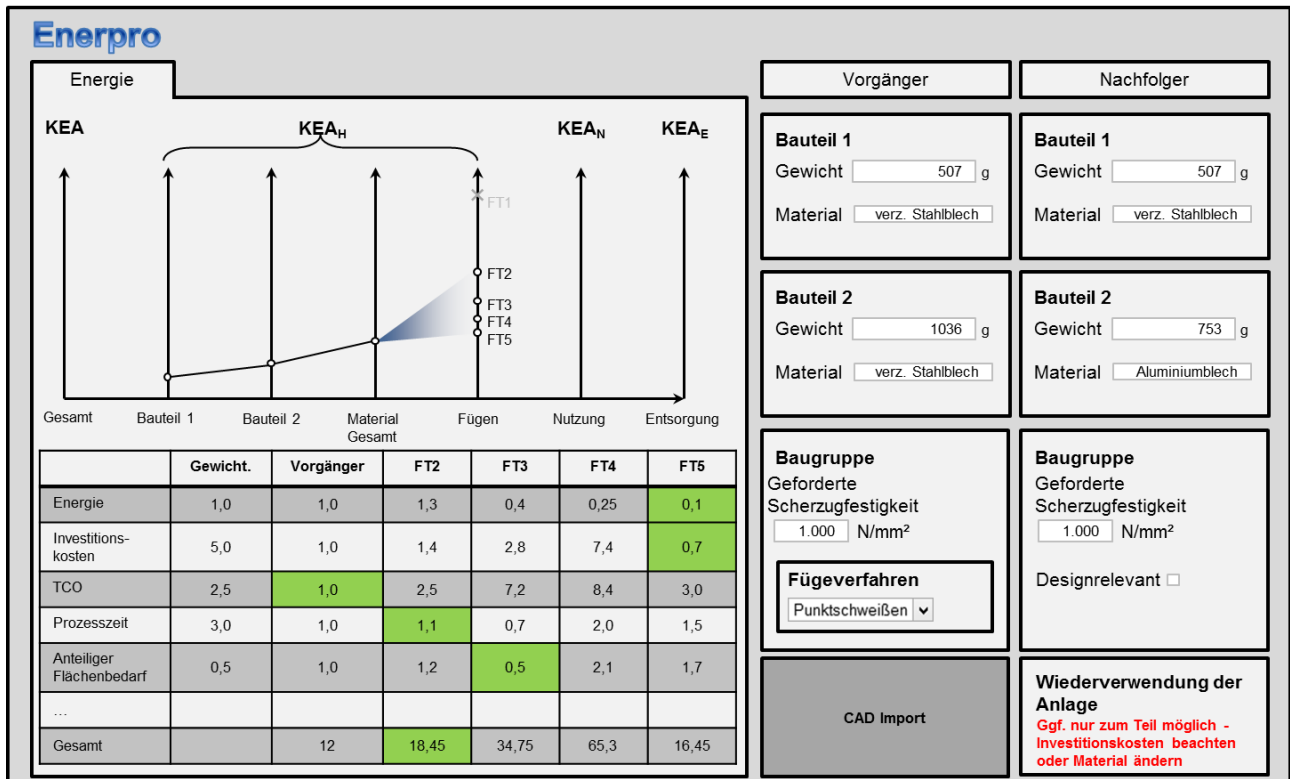


Abb. 2: Demonstrator „Enerpro“

Energieverbrauch während der Herstellung, Nutzung und Entsorgung. Das Schaubild zeigt hierbei den Zeitpunkt vor der Entscheidung des genutzten Fügeverfahrens. Für diesen Arbeitsschritt wird unterhalb der grafischen Darstellung eine automatisierte Bewertung der technologisch noch durchführbaren Fügeverfahren durchgeführt. Auf Basis dieser Bewertung kann eine Entscheidung durch das interdisziplinäre Team erfolgen. Der Energieverbrauch ist den Beteiligten jederzeit ersichtlich, muss sich aber unter Umständen hierarchisch höher gewichteter Anforderungen beugen.

## 10 Fazit und Ausblick

Mit steigendem Energiepreis steigt das Interesse der Energiebedarfsreduzierung in der Produktion. In der frühen Phase des automobilen Karosserieentwicklungsprozesses ist das größte Potential für eine Beeinflussung des Energiebedarfs in der Produktion vorzufinden. Um dieses Potential zu nutzen, ist für eine Integration einer Energieanforderung die Berücksichtigung der frühzeitigen Konstruktionsmethodik erforderlich. Auf Grund der Integrierten Produktentwicklung findet bei Zielkonflikten eine Kompromissfindung durch Experten in interdisziplinären Teams statt. Um an dieser Stelle eine frühzeitige energetische Produktbeeinflussung zu integrieren, bedarf es einer methodischen Unterstützung, welche die Integration einer Energieanforderung in die Bewertungsmetrik von Entscheidungsprozessen zulässt. Für diese Integration wurde ein Prozess aufgezeigt, verantwortliche Unternehmensbereiche vorgeschlagen und ein Demonstrator umgesetzt.

In einem nächsten Schritt muss eine Validierung stattfinden. Hierzu mangelt es derzeit jedoch an erforderlichen Energiedaten und einheitlichen Systemgrenzen. Wenn diese Daten verfügbar sind, kann für die Rechnerunterstützung eine Software bereitgestellt werden, welche die Experten während ihrer Tätigkeit unterstützt. Langfristig gesehen kann der Prozess der Kompromissfindung in das Product Life-Cycle Management integriert werden, so dass eine zentrale Dokumentation und ein zentraler Zugriff erfolgen kann.

## 11 Literaturangaben

- [1] Burr, H.: Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau, Universität Saarbrücken, Saarbrücken, 2008.
- [2] BMWi: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: World Energy Outlook 2012 der IEA: Energieeffizienz im Mittelpunkt. URL: <http://www.bmwi.de/DE/Presse/pressemitteilungen,did=525082.html> [01.11.2013].
- [3] Müller, E; Engelmann, J; Löffler, T; Strauch, J.: Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2009. DOI: 10.1007/978-3-540-89644-9.
- [4] BDEW: Bundesverband für Energie- und Wasserwirtschaft: Netto-Stromverbrauch nach Verbrauchergruppen Entwicklung 1998 - 2011. URL: <http://www.bdew.de/internet.nsf/id/11-mai-2011-pdf-dokument-download-netto-stromverbrauch-nach-verbrauchergruppen-1998-2011-de>.

- [5] Abele, E; Anderl, R; Birkhofer, H; Rüttinger, B.: EcoDesign, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [6] Atik, A.: Entscheidungsunterstützende Methoden für die Entwicklung umweltgerechter Produkte, Shaker, Aachen, 2001.
- [7] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung, 3., aktualisierte Aufl., Hanser, München, 2007.
- [8] ADAC: Trendforschung im PKW-Markt 1993-2011. URL: [http://media.adac.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/PkWMonitor10\\_I\\_presse.pdf](http://media.adac.de/fileadmin/user_upload/pdf/PkWMonitor10_I_presse.pdf).
- [9] Braess, H.-H; Seiffert, U.: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 7., aktual. Aufl. 2013, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2013. DOI: 10.1007/978-3-658-01691-3.
- [10] Verband Deutscher Ingenieure, *Technikbewertung Begriffe und Grundlagen*, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000 (3780).
- [11] Pape, D; Mantwill, F.: Frühzeitige energetische Produktbeeinflussung durch Nutzung von Kausalverkettenungen im Automobilbau. In: Neugebauer, R., Götze, U., Drossel, W.-G.: Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme – Erkenntnisse aus dem Spitzentechnologiecluster eniPROD, Tagungsband zum 1. und 2. Methodenworkshop der Querschnittsarbeitsgruppe 1 "Energetische-wirtschaftliche Bilanzierung", Verlag Wissenschaftliche Scripten, Auerbach, 2013, 215–229.