



# IPP – INTEGRIERTE PRODUKTPOLITIK



## Ergebnisse des Pilotprojektes

Innovative Simulationstechniken  
als Werkzeug einer integrierten Produktpolitik  
am Beispiel von Formpressteilen im Automobilbau

# IMPRESSUM

**Herausgeber:**

Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz



Rosenkavalierplatz 2, 81925 München (StMUGV)

**Internet:**

[www.stmugv.bayern.de](http://www.stmugv.bayern.de)

**E-Mail:**

[poststelle@stmugv.bayern.de](mailto:poststelle@stmugv.bayern.de)

**Gestaltung:**

Werbeagentur Schultze, Walther und Zahel GmbH; [www.swz.de](http://www.swz.de)

**Stand:**

Mai 2005

© StMUGV, alle Rechte vorbehalten

Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier

Diese Druckschrift wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung.

Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars erbeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt.

Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt.

Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden.



BAYERN DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung.

Unter Tel. (01801) 20 10 10 (4,6 Cent pro Minute aus dem Festnetz der Deutschen Telekom) oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

# IPP – INTEGRIERTE PRODUKTPOLITIK

Ergebnisse des Pilotprojektes

## **Innovative Simulationstechniken als Werkzeug einer integrierten Produktpolitik am Beispiel von Formpressteilen im Automobilbau**

Gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz



### **Bearbeiter**

Fraunhofer ITWM  
Dr. Heiko Andrä  
Dr. Volker Schulz  
Dr. Konrad Steiner  
Dr. Andreas Wiegmann

AUDI AG  
Uwe Heil  
Dr. Andreas Müller  
Dipl.-Ing. (FH) Beatrix Riedel  
Dr. Ulrich Widmann  
Dr. Dagobert Achatz

Sandler AG  
Dr. Ulrich Hornfeck  
Klaus Tröger  
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Herrmann

SAI Automotive SAL GmbH  
Dr. Udo Becker  
Ludovic Dejaeger  
Lars Bischoff

## Grußwort Staatsminister Dr. Werner Schnappauf für den Leitfaden „Innovative Simulationstechniken als Werkzeug einer IPP“

IPP: Weniger Material – bessere Produkte – geringere Kosten?

Eine Aussage hält sich beharrlich: Umweltschutz verursacht Kosten und behindert die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens. Umweltschutz wird nach wie vor als eher Kosten verursachend, nicht jedoch als Chance für Unternehmen und Verbraucher wahrgenommen.

Integrierte Produktpolitik (IPP) setzt neue Maßstäbe und geht dabei andere Wege. IPP bildet die Keimzelle für (Umwelt-)Innovationen entlang des Wegs eines Produkts und verknüpft alle Akteure in einem Netzwerk. So wird IPP zur treibenden Kraft für umfassende Neuerungen und den Einsatz neuer Methoden. IPP betrachtet den gesamten Weg von Produkten und zugehörigen Dienstleistungen, beginnend bei deren Planung, Entwicklung und Herstellung, berücksichtigt auch Marketingaspekte bei Handel und Vertrieb und weiter zur Verwendung und Entsorgung.

Die Eigenschaften und Auswirkungen eines Produkts auf Mensch und Umwelt werden bereits bei Planung und Entwicklung endgültig festgelegt, d.h. die in dieser frühen Phase getroffenen Entscheidungen haben bereits weit reichende Effekte für alle weiteren Stufen. Die Entwickler haben es also in der Hand, wie ein Produkt – unter Berücksichtigung gewisser Vorgaben – sich später auf seine Umgebung auswirkt. Und gerade deshalb ist es wichtig, ja unerlässlich, dass die Entscheider bei Planung und Entwicklung eines Produkts die richtigen Werkzeuge und Hilfsmittel einsetzen können.

Genau diese Aspekte waren Gegenstand der Untersuchungen, die nun der Leitfaden vorstellt: Wie kann durch die richtige Anwendung von Werkzeugen und

Hilfsmittel die „IPP-gerechte“ Entwicklung eines Produkts geleistet werden?

Zielsetzung war, am Beispiel der Entwicklung eines Autodachhimmels durch den Einsatz von Simulationswerkzeugen sowohl den Ansprüchen der Akustik, Haptik und Optik als auch der Notwendigkeit zur Reduzierung von Entwicklungskosten, zur Einstofflichkeit des Produkts (hier PET) und zur Schließung von Stoffkreisläufen Rechnung zu tragen. Im Projekt konnte erreicht werden, die ansonsten hohe Zahl erforderlicher Prototypen deutlich zu reduzieren. Das wiederum führte zu Kostensenkungen, Zeit- und Materialersparnis.

Dieses Projekt zeigt, dass nicht nur die „Big Player“ diese Methoden und Werkzeuge einsetzen können, sondern dass sie – evtl. in angepasster Form – auch für mittelständische Unternehmen geeignet sind. Ihr Einsatz bei der täglichen Entwicklungsarbeit wirkt sich positiv auf den Erfolg des Unternehmens und die Ansprüche des Verbrauchers aus. Gerade der in Bayern so wichtige Mittelstand hat wegen seines Ideenreichtums und seiner Innovationsfreudigkeit einerseits und seiner Kunden- und Marktnähe andererseits eine zentrale Rolle bei der Umsetzung und Weiterführung des IPP-Gedankens.

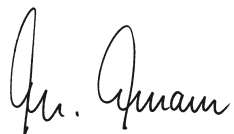
Aber nicht nur die Methoden und Werkzeuge sind es, die IPP zu einem Erfolgsfaktor werden lassen. Dieses Pilotprojekt überzeugt wie auch andere bayerische Projekte durch die Dynamik „IPP-gerechten“ Handelns in den Teams und Arbeitsgruppen, die den IPP-Gedanken aufgenommen und weitergetragen haben. Besonders hervorzuheben ist, dass innerhalb der Unternehmen, aber auch über Firmengrenzen hinweg eine gleichermaßen konstruktive wie sachlich-kritische Diskussion der Partner miteinander erfolgt. Da-





durch können die Motivation und Einsatzbereitschaft der Mitarbeiter und Akteure entscheidend gefördert werden. Dies ist zugleich eine Voraussetzung für den Erfolg der Projekte.

Allen am Projekt beteiligten Unternehmen und Mitarbeitern danke ich für ihr Engagement und ihren Einsatz.



Dr. Werner Schnappauf  
Bayerischer Staatsminister für Umwelt, Gesundheit  
und Verbraucherschutz

Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz





# Inhalt

- 02 Grußwort
- 05 Inhalt
- 06 Vorwort
- 07 Integrierte Produktpolitik – IPP
- 08 Motivation des Projektes
- 09 Simulation
- 10 Unsere Ziele
- 11 Ausgestaltung der IPP-Handlungsfelder
- 12 Vernetzung der Projektpartner
- 13 Ergebnis
- 14 Simulation und Optimierung der Fahrzeuginnenraumakustik
- 15 Akustiksimulation
- 16 Akustik im Fahrzeug
- 17 Optimierungspotenzial Dickenvariation und Schichtaufbau
- 18 Das „beste“ Material auf Knopfdruck
- 19 Anwendungsbeispiel Sortenreine Formpressteile im Automobilbau
- 20 Verbundstoffe und sortenreine Materialien in der Praxis
- 21 Werkstoffliches Recycling von Kunststoffen im Automobilbau
- 22 Rohstoffliches Recycling
- 23 PET-Dachhimmel
- 24 Optimierungspotenzial Schichtaufbau
- 25 Webtechnologie: Verteilt erarbeitet – zentral verfügbar
- 27 Audi AG – Perspektiven
- 28 Sandler AG – Perspektiven
- 29 Faurecia – Perspektiven
- 30 ITWM – Perspektiven
- 31 Die Partner



## Vorwort

Die Integrierte Produktpolitik (IPP) ist ein wesentlicher Bestandteil des im Oktober 2000 zwischen Bayerischer Staatsregierung und bayerischer Wirtschaft fortgeschriebenen Umweltpakts Bayern „Nachhaltiges Wirtschaften im 21. Jahrhundert“. Vor diesem Hintergrund hat das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz das Projekt „Innovative Simulationstechniken als Werkzeug einer Integrierten Produktpolitik am Beispiel von Formpressteilen im Automobilbau“ (ISTWIPP) angestoßen, gefördert und während der gesamten Laufzeit fachlich betreut. Ohne dieses Engagement des Staatsministeriums wäre ein Projekt dieses Umfangs nicht möglich gewesen.

Die Entwicklung von der Projektidee bis hin zu einem IPP-Pilotprojekt mit dem Augenmerk auf einer rechnergestützten Simulation als einem wesentlichen IPP-Werkzeug war ein dynamischer Prozess, der hier kurz dargestellt wird und aufzeigt, wie vergleichbare IPP-Projekte initiiert und umgesetzt werden können. Er zeigt auch, mit welchen Schwierigkeiten zu rechnen ist und wie diese erfolgreich zu bewältigen sind.

Die Initiative basierte auf einer internen Produktstudie der Sandler AG, in der verpresste PET-Vliesstoffe experimentell hinsichtlich ihrer akustischen Wirksamkeit untersucht wurden. Dabei zeigte sich recht schnell, dass bei geringem Flächengewicht gute akustische Absorptionseigenschaften erzielt werden können. Schnell war die Produktidee geboren, Formpressteile für den Automobilbau wie Dachhimmel, Kofferraumverkleidungen u.v.m. aus diesen PET-Pressvliesen herzustellen. Allerdings sind Testserien enorm zeit- und kostenintensiv, da die Versuchsmaterialien nur auf den Produktionsanlagen herstellbar sind. Hier wurde das Fraunhofer ITWM einbezogen und die neue Technologie der Mikrostruktursimulation in einer Machbarkeitsstudie auf die akustischen Eigenschaften von PET-Vliesen angewandt. Damit ist es möglich, Materialparameter rein virtuell im Rechner zu optimieren. Die Entwicklung und Nutzung von Simulationswerkzeugen ermöglichte folglich erst, der neuen Produktidee von akustisch wirksamen PET-Formpressteilen schnell und kostengünstig Marktchancen zu eröffnen.

Zur technischen Umsetzbarkeit sowie zur Prüfung und Bewertung der akustischen Eigenschaften der kompletten Formpressteile wurden SAI/Faurecia mit eingebunden, die sowohl über Presswerkzeuge als auch über das europaweit modernste Akustikzentrum in Sassenburg verfügen. Gerade die Frage der akustisch optimalen Auslegung eines Dachhimmels (oder eines anderen Formpressteils im Automobilinnenraum) konnte bisher bei einer Entwicklung eines Automobils nicht von Anfang an berücksichtigt werden. Die akustische Auslegung wurde experimentell anhand der Prototypen realisiert.

Die AUDI AG konnte als innovativer Automobilhersteller gewonnen werden, um als Anwendungspartner die Produktidee bis zur erstmaligen Umsetzung zu führen. Die Möglichkeit, einen sortenreinen PET-Dachhimmel samt Dekorstoff und Softtouch zu entwickeln, war motiviert durch die mögliche Gewichtseinsparung und die Nutzung als akustisch wirksames Bauteil. Dazu ergab sich durch die Sortenreinheit ein weiterer entscheidender Vorteil hinsichtlich der Altfahrzeugverordnung. Dies warf allerdings auch eine der wesentlichen Fragen im Projekt auf: Ist ein komplett geschlossener Kreislauf von den Fasern über die Vliese und das Formpressteil bis zu einer Regranulierung der demontierten, genutzten Bauteile möglich? Ist es möglich, den PET-Rohstoff wieder so aufzubereiten, dass neue, qualitativ hochwertige Vliesstoffe produziert werden können? Diese Fragen konnten im Projektverlauf durch die lose Einbeziehung weiterer Firmen positiv beantwortet werden.

Dr. Konrad Steiner, Fraunhofer ITWM  
Kaiserslautern, im Dezember 2004





## Integrierte Produktpolitik – IPP

Integrierte Produktpolitik fördert und zielt auf eine stetige Verbesserung von Produkten (und Dienstleistungen) hinsichtlich ihrer Wirkungen auf Menschen und Umwelt entlang des gesamten Produktlebensweges. Die wesentlichen Handlungsprinzipien von IPP sind Kommunikation, Kooperation, Integration und Innovation.

IPP lebt von der Kommunikation. Die gemeinsame Sprache und der ständige Informationsaustausch innerhalb der Wirtschaft sowie der Dialog zwischen Anbieter und Nutzer/Kunden führen zu gegenseitigem Verständnis sowie zur Abstimmung der jeweiligen Bedürfnisse. Konkret bedeutet dies, dass die Wirtschaftspartner auf allen Stufen der Wertschöpfung Stoff- und Materialdaten bereitstellen, weitergeben und untereinander austauschen. Der Verbraucher erhält aussagekräftige und zuverlässige Informationen und Hinweise, damit er informiert kaufen, nutzen und entsorgen kann.

Das Denken in Systemen und Zusammenhängen wird zur Richtschnur des Handelns. Probleme werden nicht weiter zwischen (Umwelt-) Bereichen, Disziplinen, Regionen, Partnern oder Generationen verlagert – es entstehen dauerhaft tragfähige Systemlösungen. IPP-Handeln bedeutet konkret, mit Instrumenten diese Wechselwirkungen zu bewerten und im Sinne umfassender integrierter Lösungen und Systeme zu steuern. Dabei ist der Begriff „Integration“ im Zusammenhang mit IPP umfassend entlang des Produktlebensweges zu verstehen. Vor diesem Hintergrund ist es entscheidend, bereits in einer frühen Entwicklungsphase die Gesamteffekte über den Produktlebensweg zu berücksichtigen. IPP stellt damit nichts grundsätzlich Neues, sondern eine Vernetzung von bisher alleinstehenden Aktivitäten dar, um den Nutzen in ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Dimensionen zu erhöhen.

Ziel der Integrierten Produktpolitik sind nicht die Detailverbesserungen, sondern eine umfassende Ausschöpfung des Innovationspotenzials bei der Entwicklung neuer Produkte.



## Motivation des Projektes

Bei der Zielsetzung und Durchführung des Projektes haben wir uns von folgenden Punkten leiten lassen:

- Heutzutage sind Prototypenbau und Einsatz von Verbundwerkstoffen bei Neuentwicklungen von Fahrzeugen Stand der Technik. Gleichzeitig ist die Zahl der beteiligten Akteure, vom Rohstofflieferanten über den Hersteller und Automobilbauer bis hin zum Verwertungsunternehmen, entsprechend umfangreich. Bei der Ausgestaltung des ISTWIPP-Projektes war es uns besonders wichtig, die richtigen Partner „mit ins Boot“ zu holen und für eine enge Kooperation zu gewinnen. Die beteiligten Firmen decken dabei die Produktkette vom Vorlieferanten (Sandler AG) bis zum Fahrzeughersteller (Audi AG) ab. Gleichzeitig sorgten beide Firmen dafür, dass auch Aspekte der vor- und nachgelagerten Ketten, wie Rohstoffhersteller und Verwerter, berücksichtigt wurden.
- Bisher fließen weder Akustiksimulation noch ökologische Parameter direkt in den computergestützten Designprozess (CAD, CAE) ein. Die Integration beider Bereiche in den Fahrzeugentwicklungsprozess ermöglicht aber, aus einer wesentlich breiteren Basis systematisch Materialien und deren Modifikationen auszuwählen und ihre Funktionalität zu bewerten. Rechnerunterstützt wird diese Materialauswahl und -optimierung in einer viel kürzeren Zeit möglich und soll in Zukunft sogar vor Fertigung des ersten Prototypen erfolgen. So können bereits im Vorfeld umweltrelevante Aspekte wie Energieeinsparung, Materialreduktion, Abfallvermeidung, Recyclingfähigkeit, Lärmschutz usw. eingehender berücksichtigt und besser bewertet werden.
- Die Simulationstechniken liefern einen Qualitätsgewinn für den Kunden (Komfortgewinn durch geringere Innengeräusche und folglich erhöhte Fahrersicherheit) und reduzieren die Kosten im Entwicklungsprozess, wenn sie hinreichend flexibel und allgemein ausgelegt sind.
- Gerade im Fahrzeugbau setzt man seit längerer Zeit verstärkt Verbundwerkstoffe ein, da diese die präzise Einstellung von gewünschten mechanischen und akustischen Eigenschaften ermöglichen. Unter Umweltgesichtspunkten – insbesondere dem Recycling – ist eine Reduzierung der Materialvielfalt oftmals wünschenswert. Das Beispiel der Getränkeverpackungen aus Glas oder PET zeigt, dass sortenreine Werkstoffe besonders für die Schaffung geschlossener Stoffkreisläufe geeignet sind, da hier Aufwand und Kosten des Recyclings besonders günstig ausfallen. Daher ist es sinnvoll, sich im Rahmen der Produktentwicklung mit sortenreinen Werkstoffen zu beschäftigen, die in ihren strukturellen Eigenschaften weitgehend variierbar sind, wie dies z.B. bei PET der Fall ist.
- Bei der Betrachtung des Lebensweges eines Fahrzeugs lässt sich eindeutig nachweisen, dass der Leichtbau eine zentrale Rolle bei der Umweltentlastung spielt, da er zu geringerem Kraftstoffverbrauch führt. Deshalb ist Leichtbau ein übergeordnetes Umweltziel bei Audi. Jedoch muss dieses vorrangige Ziel mit einer sorgfältigen Materialauswahl hinsichtlich lebenswegorientierter Umweltverträglichkeit kombiniert und abgewogen werden. Ansonsten ist eine partielle Kompensation der Leichtbaueffekte möglich.







## Simulation

„Computer-aided“, d.h. computerunterstützte Techniken spielen in den verschiedenen Phasen der Produktentstehung, -entwicklung, -fertigung, -qualität, -steuerung und -planung eine große Rolle.

Ohne den Einsatz von Computern kann heute kein Industrieunternehmen mehr ein Produkt entwickeln oder fertigen. Am bekanntesten ist hierbei CAD, das Computer Aided Design (rechnerunterstütztes Konstruieren). Für technische Fragen ist dagegen Computer Aided Engineering (CAE), d.h. die rechnerunterstützte Berechnung und Simulation, von Bedeutung.

Alle diese Aktivitäten, die zu einem wichtigen Werkzeug des Entwicklungsingenieurs geworden sind, werden unter dem Sammelbegriff CAX zusammengefasst.



## Unsere Ziele

### 1. Etablierung von rechnergestützten Simulationstechniken als IPP-Schlüsselinstrument

Die Entwicklung von Produktsystemen auf höherem umweltbezogenen Niveau bei gleichzeitig immer kürzeren Innovationszyklen ist heute eine große Herausforderung – nicht nur in der Automobilindustrie. Mit dem IPP-Pilotprojekt zeigen wir, dass rechnergestützte Simulationstechniken einen entscheidenden Beitrag hierzu leisten, da sie der Komplexität moderner Produkte gerecht werden.

### 2. Verringerung des Aufwands für Prototypenbau

Die Reduzierung der Prototypen geht Hand in Hand mit der Verringerung der Kosten bei der Neuentwicklung von Produkten. Gleichzeitig werden so aber auch Ressourcen geschont. Deshalb wurde die Reduzierung der Prototypen für uns ein übergeordnetes Projektziel.

### 3. Erhöhung der Anzahl von betrachteten Varianten bzw. Alternativen beim Designprozess

Innovation findet dann statt, wenn der Entwicklungsingenieur – unterstützt durch Simulationstechniken – seine Entscheidungsfreiräume erweitert. Unser Ziel ist es, die Methoden zu entwickeln, um neue Wege zu beschreiten, um aus einer Vielzahl neuer Werkstoffkombinationen die beste herauszufinden.

### 4. Einfachere Handhabung komplexer Systeme durch die Anwender

Den Blick weg von Detailproblemen hin zu übergeordneten Zielen zu lenken, diese Vorgabe stand bei der Entwicklung der Softwareumgebung im Mittelpunkt. Rechnergestützte Simulationstechnik muss einfach zu bedienen sein und die Komplexität des Systems so weit reduzieren, dass es schon nach kurzer Einarbeitungszeit zu einem echten Gewinn für die Anwender kommt.



## Ausgestaltung der IPP-Handlungsfelder

### 1. Kommunikation

Der ständige Austausch zwischen den Projektpartnern wurde durch eine Kombination aus herkömmlichen und modernen/elektronischen Kommunikationsmitteln sichergestellt. Zu ersteren zählen regelmäßige bilaterale und multilaterale Meetings. Die Korrespondenz wurde durchgehend per E-Mail abgewickelt und größere Dokumente wurden über eine gemeinsame Internetplattform ausgetauscht. Durch Passwortschutz wurde hierbei der Geheimhaltung Rechnung getragen.

### 2. Kooperation

Im Sinne von IPP muss die Kommunikation in die Kooperation der am Lebensweg Beteiligten münden. Dabei sind allerdings oftmals große Schwierigkeiten zu überwinden. Am Anfang dieses Projektes stand so ein Kooperationsvertrag, mit dem der Schutz von Firmengeheimnissen sicher gestellt wurde. Gleichzeitig wurden damit aber auch Fragen der Verwertungsrechte und Nutzungsrechte an Messdaten und Software geregelt.

Im Kooperationsvertrag wurde festgehalten, dass jeder Partner für seine Arbeiten selbst verantwortlich ist und dass sich gegenseitig über den Fortgang der Arbeiten berichtet wird und alle Forschungsergebnisse für die Dauer des Vorhabens allen Beteiligten kostenlos zur Verfügung gestellt werden.

### 3. Integration

Von Anfang an wurde darauf Wert gelegt, dass die entwickelten Softwarepakete in die bestehende Architektur der Unternehmen integriert werden können. Das Gleiche gilt auch für Änderungen, die sich in der Material- und Bauteilentwicklung auf Grund der Projektergebnisse ergeben haben.

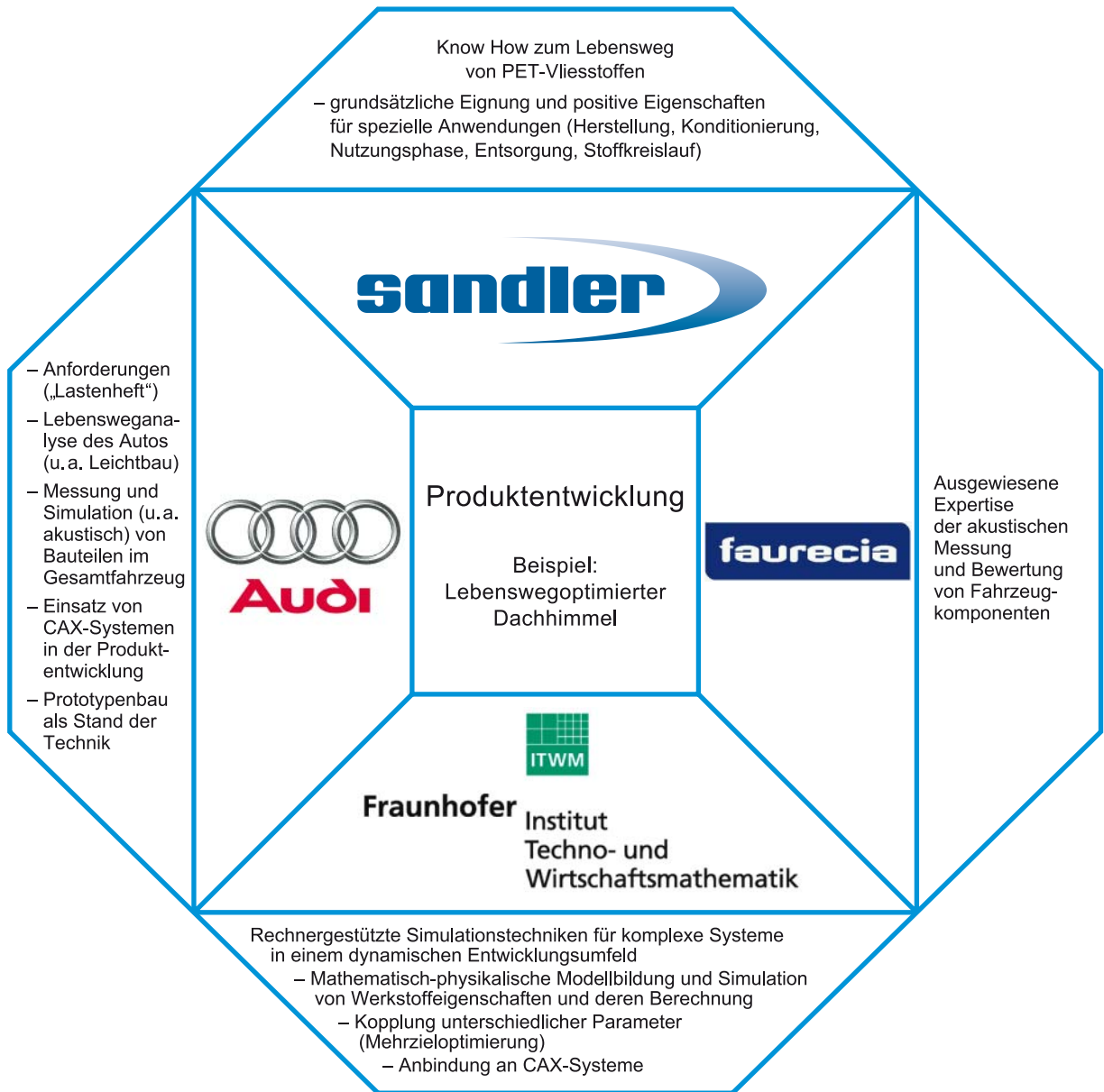
### 4. Innovation

Bereits der ersten Projektskizze lag die innovative Idee zu Grunde, Materialien gezielt für bestimmte Anwendungen zu optimieren. Bei der im Projekt erstmals angewandten Methode bilden die gewünschten Eigenschaften eines Fahrzeugs die Anforderungen, auf deren Basis Materialien systematisch entwickelt und optimiert werden. Diese Anforderungen setzten sich aus einer ganzen Reihe von funktionalen, ökonomischen und ökologischen Eigenschaften zusammen. Um das hierbei entstehende komplexe Optimierungsproblem zu lösen, wurden – rechnerunterstützt – mathematische Methoden in Kombination mit modernen Messverfahren eingesetzt.





## Vernetzung der Projektpartner



## Projektförderung

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz



## Ergebnis

Im ISTWIPP-Projekt wurde gezeigt, wie umweltrelevante Aspekte der IPP (Energieeinsparung, Materialreduktion, Abfallvermeidung, Recyclingfähigkeit, Lärmschutz usw.) in einer sehr frühen Phase der Produktentwicklung einbezogen und besser berücksichtigt werden können.

Die für den Einsatz neuer Materialien notwendigen Materialparameter wurden soweit (akustisch) modelliert, dass ihre Simulation im Produktverbund mit hinreichender Genauigkeit möglich wurde. Das Know-how, welches im Projekt benötigt wurde, war auf verschiedene Akteure, wie Rohstofflieferant, Systempartner, Messtechniker und Hersteller, verteilt und wurde durch eine intensive Vernetzung zusammengeführt. Dies gelang u. a. durch die Nutzung moderner, auf Internettechnologien basierender Kommunikationsmittel.

Als Ergebnis ist das effiziente und benutzerfreundliche Simulationstool AdOpt (Akustikdatenbank und Optimierungstool) entstanden, das sich in bestehenden Simulationstechniken einfügt und auf den Entwicklungsprozess anderer Produkte übertragen werden kann. Durch die Verwendung mehrerer Technologien wird mit AdOpt eine neue Funktionalität erreicht. Diese umfasst z. B. die web-basierte, plattformunabhängige Nutzung auch über Firmengrenzen hinaus. Neu ist auch das Zusammenspiel der Software mit einer Datenbank, in der sowohl Messergebnisse als auch Simulationsergebnisse erfasst werden.

Dieses Tool wird auf [www.ipp-bayern.de](http://www.ipp-bayern.de) vom StMUGV der Wirtschaft zur Verfügung gestellt.

## Wie lassen sich unsere Ergebnisse in anderen Branchen nutzen?

Um konkurrenzfähig zu bleiben, ist es heutzutage unverzichtbar, bei verkürzten Innovationszyklen den Nutzen neuer Produkte zu erhöhen. Unsere Erfahrung ist, dass dies sehr eingeschränkt wird, wenn der Informationsaustausch an den Firmengrenzen endet. Diskutieren Sie mit Ihren Lieferanten, was Sie von einem Bauteil erwarten. Setzen Sie als Lieferant Simulationstechniken ein, um die Anforderungen Ihrer Kunden zu erfüllen.

Erwarten Sie keine Wunder: Auch im ISTWIPP-Projekt konnten nicht auf Anhieb die Wünsche aller Projektpartner erfüllt werden. Diese Probleme wurden aber benannt und trugen wesentlich zum Know-how-Gewinn aller Beteiligten bei.

Und die Kosten? Die Einführung von rechnergestützten Simulationstechniken ist zunächst eine Investition, die sich aber langfristig rechnet. „Wir betreiben weniger Aufwand und haben geringere Entwicklungskosten, da unsere Ware nicht mehr durch teure und langwierige Versuchs- und Mess-Serien getestet werden muss.“

(Dr. Christian Heinrich Sandler,  
Vorstand der Sandler AG)



## Simulation und Optimierung der Fahrzeuginnenraumakustik

### Akustische Eigenschaften poröser Absorber

Die akustische Absorption von porösen Materialien wird im Wesentlichen durch deren komplizierte dreidimensionale Struktur bestimmt. Durch die viskose Reibung der Luft im Vliesmaterial wird die Bewegungsenergie des Schallfeldes in Wärme umgesetzt und dem Schallfeld Leistung entzogen. In dem ISTWIPP-Projekt wurde gezeigt, dass für die untersuchten Formpressteile aus PET-Vliesen andere akustische Dämpfungsmechanismen vernachlässigt werden können.

### Von der Mikrostruktur über den Strömungswiderstand zur Akustik

Neben der Materialdicke bestimmt der Strömungswiderstand die akustischen Eigenschaften der PET-Vliese. In der Vergangenheit galt der Strömungswiderstand von Vliesmaterialien immer als eine zu messende Größe, da bisher kein allgemein gültiger Zusammenhang mit anderen Parametern, wie der Porosität oder den Faserdurchmessern, existiert. Im Rahmen des ISTWIPP-Projektes wurden innovative Simulationstechniken entwickelt, um den Strömungswiderstand im Computer direkt zu berechnen. Dazu wird zunächst für ein gegebenes Vlies ein dreidimensionales Modell erstellt (siehe Abbildung), basierend auf Mikrostrukturaufnahmen oder entsprechenden Faserkenngrößen. Sobald man auf diese Weise die Vliesgeometrie in den Rechner „überführt“ hat, lässt sich mittels einer Strömungssimulation der Strömungswiderstand direkt berechnen.

Da es einen direkten Zusammenhang zwischen dem Strömungswiderstand und der akustischen Absorption von hochporösen Materialien gibt, ist dessen Berechnung nur noch ein kleiner Schritt.

Mit Geodict (<http://www.geodict.com>) wurde am ITWM ein innovatives Softwarepaket entwickelt, das die oben beschriebenen Schritte unter einem Dach vereint. Damit wurde den im Projekt beteiligten Partnern ein Tool zur Verfügung gestellt, mit dem sich aufwändige experimentelle Studien komplett durch den Rechner ersetzen lassen. Beispielsweise lässt sich zeigen, wie sich durch Verkleinern des Faserdurchmessers eine Gewichtsreduzierung erreichen lässt, ohne dass man Kompromisse bei der akustischen Wirksamkeit eingehen muss.

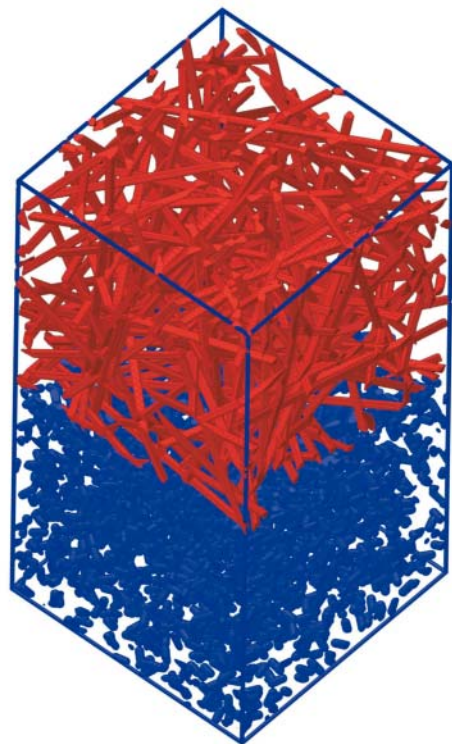


Abb. Darstellung eines Mikrofaser-Vlieses aus zwei Schichten, eine mit langen Fasern und triobalem Querschnitt, die andere mit kurzen, abgerundeten zylindrischen Fasern.



## Akustiksimulation

Wie beschrieben lässt sich aus dem Strömungswiderstand direkt auf die akustischen Eigenschaften der PET-Vliese schließen. Die folgende Abbildung zeigt die simulierte akustische Absorption eines Mikrofaservlieses inklusive Dekor (beides aus reinem PET) zusammen mit einer Messung im Kundt'schen Rohr. Die ausgezeichnete Übereinstimmung ist beachtlich, zumal die Simulation nur auf den Strömungswiderständen der beiden Materialien, Mikrofaservlies und Dekor, beruht.

## Vergleich Messung – Simulation

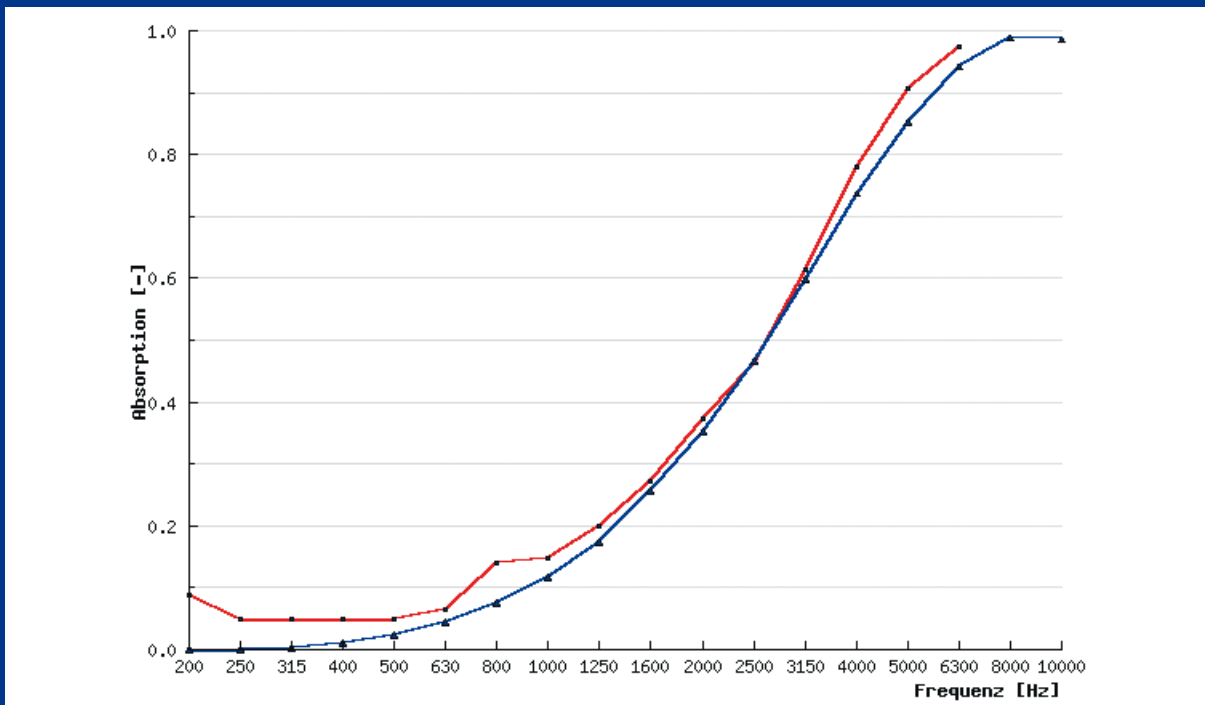


Abb. Simulierte (blau) und gemessene (rot) akustische Absorption eines Schichtaufbaus, bestehend aus Mikrofaservlies und Dekor, beide aus PET.





## Akustik im Fahrzeug

Mit der Methode der statistischen Energieanalyse werden heute bereits erste Ansätze gemacht, die Innenraumakustik eines Fahrzeuges im Rechner zu simulieren. Ziel ist es jedoch, noch bevor ein erster Prototyp gefertigt wird, zu untersuchen, wie sich das Fahrzeugdesign und die Materialauswahl auf den Geräuschpegel im Fahrzeug auswirken. Um die Simulationen auf eine solide Basis zu stellen, ist die Kenntnis der akustischen Materialparameter der einzelnen Bauteile und ihrer Verbindungen von entscheidender Bedeutung. Hier kommen die Ergebnisse der Mikrostruktursimulationen zum Einsatz. Doch mit einer realitätsnahen Abbildung der Fahrzeugakustik ist noch viel mehr zu erreichen. Mit dem Modell lässt sich ein Optimierungsprozess verbinden, mit dem sich unter den gegebenen Randbedingungen optimale Bauteile auswählen lassen.

Für diesen neuen Weg wurden im ISTWIPP-Projekt die benötigten Werkzeuge entwickelt.

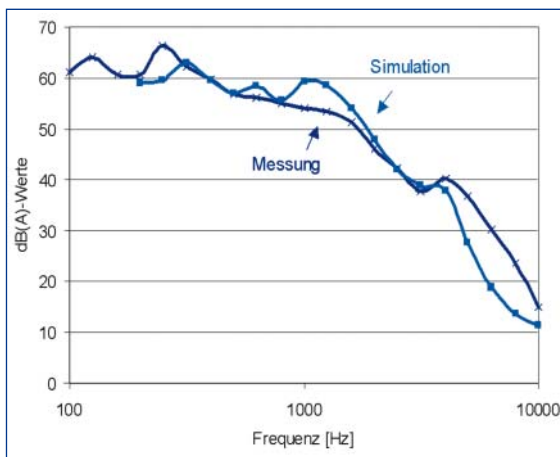


Abb. Simulation des Schalldruckes in der Fahrgastzelle gibt den Trend der gemessenen Werte wieder.

## Zeit und Kosten

Zeit- und Kostenvergleich am Beispiel:

Prototypenherstellung eines PET-Dachhimmels und Hallraummessung gegen Simulationssoftware

### Prototyp

	Kosten	Zeit
Herstellung	ca. 2.000 €	ca. 3 Stdn.
Hallraummessung	186 €	2 Stunden
Messauswertung	93 €	1 Stunde

### Simulation

	Kosten	Zeit
Parameter-eingabe	47 €	0,5 Stdn.
Berechnung	–	1 Stunde
Auswertung	47 €	0,5 Stdn.

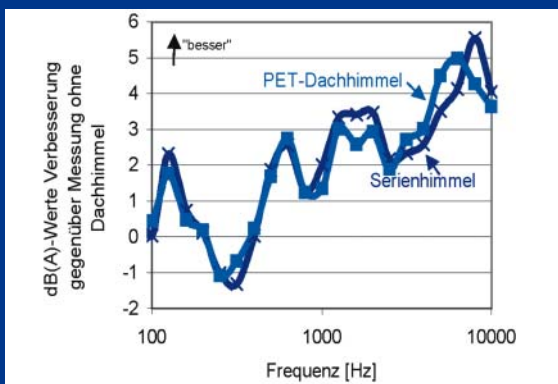
Für den Vergleich wurde davon ausgegangen, dass sowohl die Messtechnik als auch die Simulationssoftware vorhanden ist. Nicht betrachtet wurden eventuelle Transportkosten und -zeiten, da Herstellung und Messung in der Regel nicht am selben Ort durchgeführt werden.





## Keine Experimente?

Simulationen können immer nur einen Teil der Realität abbilden, was zu gewissen Modellierungsfehlern führt. Deshalb wird es auch in Zukunft immer nötig sein, vergleichende Messungen an Prototypen durchzuführen. Durch die computergestützte Simulation lässt sich der Messaufwand aber erheblich reduzieren. Von den sortenreinen PET-Dachhimmeln wurden drei verschiedene Varianten im Fahrzeug getestet, was mit einem Zeitaufwand von mehreren Wochen verbunden war. Dieser Aufwand entsteht jedes Mal, wenn weitere Dachhimmel-Prototypen getestet werden. Anders bei der akustischen Simulation: Die Erstellung und vor allem die Kalibrierung des Fahrzeugmodells erfordern zunächst einen erhöhten Arbeitsaufwand. Danach ist aber vor allem der Rechner beschäftigt. In dem ISTWIPP-Projekt wurden die Simulationsschritte soweit automatisiert, dass quasi „über Nacht“ die Akustik von 500 Dachhimmelvarianten getestet werden kann.



## Optimierungspotenzial Dickenvariation und Schichtaufbau

Der Vergleich zwischen Serienhimmel und den PET-Prototypen zeigt, dass beide eine ähnliche akustische Wirksamkeit besitzen. Zu berücksichtigen ist hierbei allerdings das Mehrgewicht der gemessenen PET-Himmel. Abhängig von der Frequenz ist einmal der Serienhimmel, dann das PET-Material besser geeignet, den Schalldruck im Innenraum zu reduzieren. Dieser Umstand ist so zu interpretieren, dass neben der akustischen Absorption, auf die der PET-Dachhimmel ausgelegt ist, auch der akustischen Dämmung eine nicht zu vernachlässigende Rolle zukommt. Etwas vereinfacht kann man sagen, dass die Dämmung des Dachhimmels die Geräusche reduziert, die von außen auf das Fahrzeugdach aufgebracht werden. Dies sind vor allem Geräusche durch den Fahrtwind oder Regentropfen. Im Gegensatz dazu bewirkt die akustische Absorption eine Verringerung der Geräusche im Fahrzeuginnen, wie z. B. Motorengeräusche.

Im Umkehrschluss ergibt sich daraus noch ein erhebliches Optimierungspotenzial bei den PET-Dachhimmeln. Rein durch die Erhöhung der Bauteildicken (durch einen geringeren Verpressgrad bei gleichbleibendem Gewicht) lässt sich die akustische Absorption deutlich erhöhen, was durch Messungen und Simulationen gezeigt wurde. Allerdings ergibt sich aus einer geringeren Verpressung eine Reduzierung der Biegesteifigkeit. Weiteres Potenzial wird erschlossen, wenn man von dem einschichtigen Aufbau der Prototypen zu Mehrschichtsystemen übergeht.

Durch die Kombination von stark verpressten mit hochporösen Bereichen ist es möglich, PET-Vliese sowohl akustisch absorbierend als auch akustisch dämmend auszulegen.

Abb. PET-Prototypen und Serienhimmel bewirken im Mittel eine Reduzierung des Schalldruckpegels in der Fahrgastzelle von etwa 3 dB(A).



## Das „beste“ Material auf Knopfdruck

Als Entwicklungsingenieur stehen Sie vor der Aufgabe, ein Bauteil zu entwickeln und ein entsprechendes Material auszuwählen, so dass dessen Gewicht, Preis und viele andere Eigenschaften die Anforderungen erfüllen. Wir haben uns gefragt, warum wir diese Arbeit nicht schneller und zuverlässiger von geeigneter Software ausführen lassen und haben dies im ISTWIPP-Projekt tatsächlich möglich gemacht!

Wenn z. B. die Firma Sandler AG heute eine Anfrage erhält, ob sie ein PET-Vlies liefern kann, das bei einer Dicke von 6 mm bei 1250 Hz maximal schallabsorbierend ist, dann genügt ein Knopfdruck, um die Frage zu beantworten.

Doch das im ISTWIPP-Projekt entwickelte Optimierungstool AdOpt kann noch mehr: Bei einer vorgegebenen Innenraumakustik wird das dafür am besten

„Durch rechnergestützte Simulation in einer frühen Entwicklungsphase eines Produktes ist es möglich, sowohl umweltschutzrelevante als auch technische Aspekte, wie z. B. Materialauswahl, Recyclingfähigkeit, akustisches Verhalten etc., frühzeitig einfließen zu lassen.

Diese Methode erlaubt es, die Anzahl der zu erstellenden Prototypen stark zu reduzieren und optimierte Bauteile für die Erprobung herzustellen. Die Verkürzung der Erprobungsschritte bedingt eine Verringerung des Ressourcenverbrauchs und des Zeitaufwands.

Das neue Simulationstool ist ein weiteres Element, um durch eine ganzheitliche Betrachtungsweise die optimale technische Ausführung des Produkts mit einer gleichzeitigen Reduzierung des Ressourcenverbrauchs zu gewährleisten.“



geeignete Material ausgewählt, bei gleichzeitiger Berücksichtigung des Gewichts und der Bauraumhöhe. In dieser Form wird das Simulationstool bei Audi und Faurecia eingesetzt. Wichtig ist, dass damit ein Simulations- und Optimierungstool zur Verfügung steht, das über Firmengrenzen hinweg eingesetzt wird. Dies hilft den Systempartnern, gezielter auf die Vorgaben der Hersteller zu reagieren und erlaubt den Herstellern, das Potenzial verschiedener Materialien schnell abzuschätzen.

### Übertragbarkeit

Der neue Ansatz – ausgehend von der Mikrostruktur – die akustischen Bauteileigenschaften und das Zusammenspiel im Bauteilverbund vorausszusagen, lässt sich auf eine Vielzahl anderer Materialien, wie Naturfasern, Papiere, Schäume, offenporige Keramiken, übertragen. Darüber hinaus können auch andere Auslegungsaspekte, wie Wärmeschutz, Filtereffizienz oder Stabilität rechnergestützt simuliert werden, womit sich eine Übertragbarkeit auf viele andere Branchen und Wirtschaftszweige bietet.



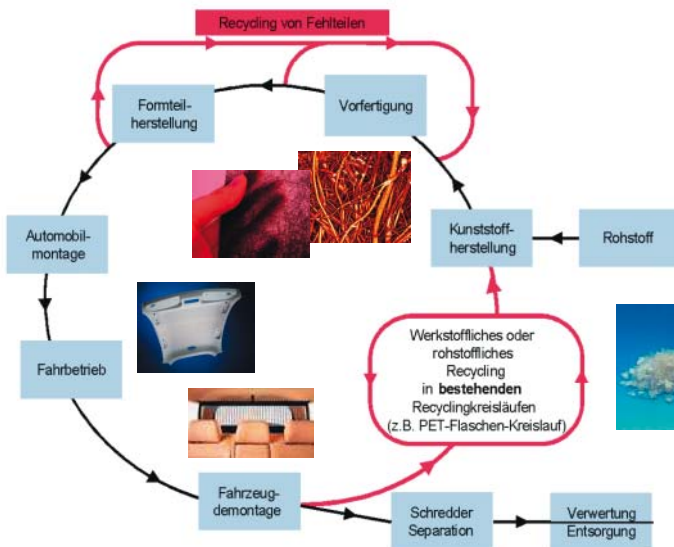


## Anwendungsbeispiel: Sortenreine Formpressteile im Automobilbau

Die Anzahl der heutzutage im Automobilbau verwendeten Materialien ist extrem vielfältig. Um die für jedes Bauteil unterschiedlichen Anforderungen zu erfüllen, werden in großem Umfang Verbundmaterialien eingesetzt. Ein Beispiel hierfür sind weit verbreitete Seriadachhimmel, die vor allem aus Glasfasern und PU-Schaum, aber auch aus einer Reihe weiterer Materialien bestehen. Diese Seriadachhimmel wurden im Laufe der Zeit im Hinblick auf Anforderungen im Gebrauch, z. B. Steifigkeit und Gewichtsreduzierung, kontinuierlich weiterentwickelt, so dass sie heute nur noch ein geringes Optimierungspotenzial besitzen. Durch den Materialverbund ist kein geschlossener Wertstoffkreislauf möglich. Es besteht lediglich die Möglichkeit eines Downcyclings, beispielsweise durch den Einsatz der aufbereiteten Bauteile als Plattenware in der Gebäudeindustrie – was heute bereits erfolgt.

Dagegen lässt sich durch den Einsatz von sortenreinen Formpressteilen der Wertstoffkreislauf schließen. Anfallende Reststoffe (Fehlteile, Zuschnittsreste, etc.) können direkt wieder in den Produktionsprozess eingespeist werden.

Eine genauere Analyse (z. B. eine Massenstoffbetrachtung) der Vorteile der Einstofflichkeit wurde im Projekt nicht vorgenommen.



## Werkstoffanteile

Durchschnittliche Werkstoffanteile im PKW (Audi A3, in Gewichts-%)

Stahl und Eisen	57 %
Sonstige Metalle	15 %
Kunststoffe	14 %
Betriebsstoffe	5 %
Reifen	3 %
Glas	2 %
Prozesspolymere (Kleber, Lacke, etc.)	2 %
Gummi	1 %
Sonstige	1 %

## Leichtbau im Fahrzeug:

Neben der Wiederverwertung muss bei dem Einsatz neuer Werkstoffe für Formpressteile das Fahrzeuggewicht betrachtet werden. Von der Gesamtenergie, die im Produktkreislauf eines Fahrzeugs verbraucht wird, entfällt der überwiegende Teil (etwa 85 %) auf den Fahrbetrieb. Insofern dominiert der Treibstoffbedarf, der hauptsächlich durch das Fahrzeuggewicht bestimmt ist, die Energiebilanz (siehe Abbildung). In modernen Fahrzeugen beträgt der Kunststoffanteil nur etwa 15 Gewichtsprozent. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung ist beim Einsatz von rezykliertem Material die Gewichtszunahme nicht zu vernachlässigen.



## Verbundstoffe und sortenreine Materialien in der Praxis

### Der Werkstoff Polyester

Der Werkstoff Polyester ist seit einigen Jahren der Kunststoff mit den größten Wachstumsraten. Grund für diese überdurchschnittliche Zunahme ist zum einen die Substitution der Glas- durch die PET-Flasche. Zum anderen ist der Verbrauch im Faserbereich ebenfalls gestiegen, der immer noch das größte Verbrauchssegment für PET darstellt.

Ein zentrales Anliegen im ISTWIPP-Projekt war, ein Material zu finden, das bereits in großem Umfang recycelt wird, da der Aufbau neuer Kreisläufe zur Wiederverwertung extrem kostenintensiv ist. Mit dem PET-Flaschenkreislauf stellt sich dieses Problem jedoch nicht, da heute bereits eine flächendeckende Sammlung von Polyester durchgeführt wird.

Neben der Möglichkeit des Recyclings bietet der Werkstoff Polyester weitere wichtige Eigenschaften, die gerade für die Automobilindustrie interessant sind und auch von den Automobilherstellern gefordert werden.

Dazu zählt beispielsweise die für ein Fasermaterial hohe Steifigkeit und die Schwerentflammbarkeit (Klasse B1 nach DIN4102). Außerdem lässt sich PET zu ganz verschiedenen Strukturen, wie Vliese, Gewebe oder Membrane verarbeiten.

Das Fogging, also die Menge von flüchtigen Bestandteilen, und das Geruchsverhalten spielen in der Automobilindustrie eine immer wichtiger werdende Rolle. Aufgrund der chemiefreien mechanischen und/oder thermischen Verfestigung des Vliesstoffes enthält das Material nur geringe Anteile an Hilfsmitteln zur Verbesserung der Gleiteigenschaften (Avivage), die bei der Faserherstellung benötigt werden. Die Foggingwerte der PET-Materialien liegen bis zu 50% unterhalb der von der Automobilindustrie vorgeschriebenen Sollwerte.

„Ein Ende der rasanten Entwicklungen um die PET-Produkte ist noch lange nicht in Sicht. Nach langjähriger Forschungs- und Entwicklungsarbeit ist PET heutzutage – auch aufgrund seiner vollständigen Recyclingfähigkeit – einer der innovativsten und zukunftsweisenden Werkstoffe für viele Bereiche.“ (Sandler AG)



### Übertragbarkeit

In dem Projekt ISTWIPP wurde der Dachhimmel als Anwendungsbeispiel für die Formteilentwicklung aus sortenreinem Polyester (PET) gewählt. Durch seine große Fläche hat der Dachhimmel einen entscheidenden Einfluss auf die Akustik in der Fahrgastzelle. Gleichzeitig lässt sich das Konzept aber auf eine Vielzahl anderer akustisch absorbierender Bauteile wie Hutablage, Stirnwand, Säulen-, Tür- oder Kofferraumverkleidung übertragen.





## Werkstoffliches Recycling von Kunststoffen im Automobilbau

Für die meisten Kunststoffe, insbesondere PET, existieren heute Verfahren, um aus den Altprodukten ein granulares Recyclat herzustellen, aus dem direkt neue Produkte hergestellt werden können. Inzwischen konnte das Verfahren für PET-Flaschen soweit optimiert werden, dass ein „bottle-to-bottle“-Recycling möglich ist.

Ein ähnlicher Kreislauf ist auch bei den Formteilen möglich, die heute schon mit einem Anteil von 20% PET-Recyclat hergestellt werden können, wobei dieser Anteil in den nächsten Jahren deutlich erhöht werden wird.

Schließlich besteht die Möglichkeit eines so genannten „Downcyclings“ der Altkunststoffe mit Anwendungen in der Polstermöbelindustrie oder bei der Herstellung von Dämm- und Bodenplatten. Dieses Downcycling ist beispielsweise dann geboten, wenn die Reinigung des Recyclats mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand verbunden wäre.

Eine zentrale Forderung zur Verwirklichung des werkstofflichen Recyclings ist die sortenreine Erfassung der Kunststoffteile bzw. die Sicherstellung einer sortenreinen Trennung bei Kunststoffverbunden. Nur die sortenreine Aufarbeitung gewährleistet eine hohe Güte des rezyklierten Materials.

In einer Studie des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie, die kürzlich vom Umweltbundesamt veröffentlicht wurde, wurde gezeigt, dass das werkstoffliche Verwertungspotenzial von Kunststoffteilen aus Altfahrzeugen in Deutschland fast nicht genutzt wird. Im Rahmen der Studie wurde die Demontage von Stoßfängern, Kühlergrills und Radkappen untersucht und der Schluss gezogen, dass die Demontage dieser Teile aus Altautos technisch unproblematisch ist, aber an den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen scheitert. Die zusätzlichen Demontagekosten und Transportkosten (zum Verwerter) werden in der Regel nicht durch den Materialerlös gedeckt.

Daher sollte die Schaffung wettbewerbsfähiger Stoffströme im Vordergrund stehen.

## Begriffsbestimmung

Die Begriffe Verwertung und Recycling werden oft als Synonyme verwendet, was ihrer Definition nicht gerecht wird. Orientiert man sich an der Altfahrzeugrichtlinie, dann ist Recycling nur eine Verwertungsmöglichkeit, bei der eine Wiederaufarbeitung der Abfallmaterialien für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke erfolgt. Hiervon ist die energetische Verwertung aber explizit ausgeschlossen. Folgende Unterscheidung hat sich heute durchgesetzt:

- Werkstoffliches Recycling zu Regranulaten oder Fertigprodukten/Mischkunststoffteilen.
- Rohstoffliches Recycling, bei dem der gebrauchte Kunststoff in seine Ausgangssubstanzen gespalten wird.
- Rohstoffliches Recycling, bei dem die gebrauchten Kunststoffe zur Substitution von Erdölprodukten dienen.

Sowohl die Zerlegung der Kunststoffe in ihre chemischen Bestandteile als auch die Substitution von Erdölprodukten wird als rohstoffliches Recycling bezeichnet. Trotzdem wird hier zwischen den beiden Fällen unterschieden, da nur der erste Fall einen geschlossenen Kreislauf erlaubt, der zweite Fall zu einem Aufbrauchen der Rohstoffe führt.

- Thermische (energetische) Verwertung, bei der die Kunststoffe zur Nutzung der Energie verbrannt werden.





## Rohstoffliches Recycling

Unter rohstofflichem Recycling versteht man sowohl die Zerlegung der Kunststoffe in ihre Grundkomponenten (chemisches Recycling) als auch deren Einsatz zur Substitution von Erdöl. Im Folgenden wird jedoch zwischen den beiden Verfahren unterschieden, da im ersten Falle – analog zum werkstofflichen Recycling – eine sortenreine Erfassung der Altkunststoffe nötig ist.

Beim chemischen Recycling werden die Polyesterfasern, -filme oder Granulate zu einem PET-Monomer zurückgeführt. Die reinen Rohstoffe fließen dann direkt in die Neuproduktion von PET ein.

Der Einsatz von Altkunststoff zur Substitution von Erdölprodukten erfordert keine Demontage bzw. getrennte Erfassung der Teile. Die Kunststoffteile verbleiben im Altfahrzeug und werden nach dem Schreddern des Fahrzeugs in der so genannten Schredderleichtfraktion abgetrennt. Je nach Einsatzgebiet sind unterschiedliche Veredelungen der Schredderfraktion notwendig. Beispielsweise können förderfähige Kunststoffgranulate, die durch Schwimmtrennung und anschließende Trocknung gewonnen werden, im Hochofenprozess als Reduktionsmittel von Eisenerzen eingesetzt werden. Weitere Anwendungen sind die Klärschlammkonditionierung oder die Synthesegaserzeugung.

## Verwertungswege in der Praxis

Unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten muss in der Praxis betrachtet werden, welcher Recycling- und Verwertungsweg am sinnvollsten erscheint. Zudem sind hier die vom Gesetzgeber vorgegebenen politischen Rahmenbedingungen sowie unterschiedliche Marktsituationen in den einzelnen EU-Mitgliedstaaten einzubeziehen. Voraussetzung für das werkstoffliche Recycling von Bauteilen ist jedoch, dass hinreichend große Absatzmärkte für die erzeugten Rezyklate vorhanden sind oder zukünftig unter wirtschaftlich und ökologisch vertretbaren Gesichtspunkten solche Märkte aufgebaut werden können. Wie in mehrfachen Studien belegt, ist dies für PET-Flaschen bereits der Fall.

Solange keine wettbewerbsfähigen Stoffströme für sortenreine Kunststoffgranulate aus Altfahrzeugen geschaffen sind, wird die mechanische Aufbereitung der Nichtmetalle nach dem Schredder zur Erzeugung von Materialfraktionen für ein rohstoffliches Recycling eine entscheidende Technologie in der Verwertungskette darstellen.

Rohstoffliche Verfahren sind wertvolle Alternativen für alle Wirtschaftsbeteiligten in der Prozesskette des Fahrzeugrecyclings, wenn unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten ein werkstoffliches Recycling nicht sinnvoll umzusetzen ist.

Zusammenfassend ist daher nochmals zu betonen, dass die Schaffung wettbewerbsfähiger Stoffströme im Vordergrund stehen sollte.

## Demontage der Kunststoffteile am Altfahrzeug

Bei der Altfahrzeugverwertung steht die Demontage in Konkurrenz zum Verbleib der Kunststoffteile im Altfahrzeug. Obwohl eine Demontage vor allem sortenreiner Kunststoffteile unter bestimmten Umständen ökologisch sinnvoll und technisch problemlos möglich wäre, wird oft darauf verzichtet, da es keine nachgefragten Stoffströme gibt. Auch wenn die Verwertungspraxis der Altfahrzeuge heute noch anders aussieht, ist die Verwendung sortenreiner, demontierbarer Kunststoffteile eine wegweisende Entwicklung. Diese Bauteile machen es möglich, auf zukünftige rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen flexibel zu reagieren. Beispielsweise ist denkbar, dass in Zukunft eine Erfüllung der Recyclingquoten durch Demontage gefordert wird. Unternehmen, die diese Möglichkeit vorausschauend in Betracht ziehen, gewinnen dadurch einen wichtigen Technologievorsprung.



## PET-Dachhimmel

Zugunsten des nachhaltigen Umweltschutzes und eines geschlossenen Stoffkreislaufes ist es sinnvoll, im Automobilbau vermehrt Bauteile aus sortenreinen, rezyklierbaren Materialien einzusetzen. Deshalb besteht für die Entwicklung von Bauteilen bei Audi bereits eine Vorgabe, eine recyclingfreundliche Materialauswahl zu treffen. Neue Materialien stehen allerdings in direkter Konkurrenz zu Serienteilen, die seit Jahren verwendet werden und auf bestimmte Funktionalitäten angepasst wurden.

Neben der Akustik gibt es eine ganze Reihe weiterer technischer Anforderungen an das Bauteil Dachhimmel. Im Rahmen des ISTWIPP-Projektes wurde der Schwerpunkt auf die Optimierung der akustischen Eigenschaften des Bauteils gelegt. Da es sich bei IPP jedoch um eine ganzheitliche Betrachtungsweise handelt, wurden an den Prototypen die relevanten Parameter ermittelt, um das Potenzial von sortenreinen PET-Formpressteilen abschätzen zu können.

Aus der Tabelle auf dieser Seite wird ersichtlich, dass die hergestellten Prototypen im direkten Vergleich mit heutigen Serienhimmeln gemäß Bauteillastenheft bereits in mehreren Punkten den Anforderungen genügen. Allerdings stand zur Herstellung der Prototypen aus PET nur ein seriennahes Entwicklungswerkzeug zur Verfügung, das nicht optimal auf die Belange des Werkstoffes PET abgestimmt war. Dies dokumentiert sich teilweise auch in den Untersuchungsergebnissen. Da die Dachhimmel unter Prototypenbedingungen gefertigt wurden, konnte noch keine Optimierung hinsichtlich der dekorativen und optischen Anforderungen durchgeführt werden. Die Bereitstellung von speziellen Verpresswerkzeugen für weitergehende Laborversuche war im Rahmen des Projektes aus Kostengründen nicht möglich.

Andere Prüfkriterien, wie Luftdurchsatz, Emissionsprüfung, Montage und Demontage sowie Brennprüfung und die Ausbildung der Stanzkanten gaben keinen Anlass zur Kritik.

Bei der Beurteilung der Steifigkeit sowie des Bauteilgewichts wurden die Anforderungen des Lastenheftes

nicht erfüllt. Außerdem wurde eine partielle Welligkeit und Faltenbildung festgestellt. Weiterhin trat Delamination im Dekorbereich auf.

Darüber hinaus liegt der Bauteilpreis für einen PET-Dachhimmel heute zwischen 8 und 15% über dem Niveau eines vergleichbaren Serienhimmels. Zwar bietet der Rohstoff PET-Vlies durchaus Potenzial, den Preis annähernd auf heutiges Serienniveau zu senken, hierfür sind aber entsprechend große Mengen notwendig.



Prüfung	Ergebnis PET-Himmel	Prüfvorschrift
Gesamtgewicht	Mehrgewicht 600 g – entspricht einer 30 %-igen Erhöhung des Bauteilgewichts	
Steifigkeit	Zu gering	Gemäß Lastenheft
Luftdurchsatz	✓	Gemäß Lastenheft
Emissionsprüfung	✓	PV 3942 u. PV 3943
Klimawechseltest	Zu große Delamination	Gemäß Lastenheft
Verfärbung Sonnenblende	✓	Gemäß Lastenheft
Druckprüfung der Oberfläche	Druckstellen temporär sichtbar	Manuelle Druckprüfung
Montage	✓	Gemäß Lastenheft
Demontage	✓	Gemäß Lastenheft
Minimale Radien	Optimierung erforderlich	
Homogenität	Zu große Schwankungen in der Materialdicke	
Metallrahmen	Optimierung erforderlich	
Fusselbildung/-flug	✓	
Stanzkanten	✓	
Faltenbildung	Partiell Faltenbildung	
Orangenhaut	In stark verpressten Bereichen unruhige Oberfläche	
Welligkeit	In stark verpressten Bereichen partiell wellig	
Haptik	Softtouch nicht ausreichend	
Kosten	8 bis 15% teurer als Serienhimmel	
Brennverhalten	✓	TL 1010



## Optimierungspotenzial Schichtaufbau

Unter den Projektpartnern war die Bewertung der PET-Dachhimmel ambivalent, da nicht alle Anforderungen des Audi-Lastenheftes erfüllt werden konnten. Es sollte aber nicht vergessen werden, dass für die prototypische Entwicklung der PET-Himmel nur ein Zeitraum von etwa zwei Jahren zur Verfügung stand und dies im Vergleich zu Seriedachhimmeln, die seit Jahrzehnten kontinuierlich optimiert werden.

Was bleibt also für die Zukunft zu tun?

Ganz konkret lassen sich die Eigenschaften der PET-Dachhimmel durch Variation der Bauteildicke unter Berücksichtigung der Gewichtsvorgabe und vor allem durch einen Schichtaufbau noch optimieren. Höhere Steifigkeiten lassen sich durch das Verwenden stark verpresster Schichten (die den Vorteil einer akustischen Dämmung mitbringen) erreichen. Entscheidend ist, dass auf der Basis von PET solche Schichtsysteme auch sortenrein hergestellt werden können.

### Profitieren Sie von unserem Know-how

Die Prüfergebnisse der PET-Dachhimmel sind eine sehr gute Basis, um zu entscheiden, für welche Teile des Fahrzeuginnenraumes sortenreine PET-Fasern als Ausgangsmaterial eingesetzt werden können. Das potenzielle Anwendungsspektrum reicht von Kofferraumverkleidungen bis zu Boden- und Stirnwandverkleidungen und hängt natürlich von den jeweiligen Anforderungen ab, die an das Bauteil gestellt werden. Der Aufwand, Bauteile aus sortenreinen Materialien soweit zu optimieren, dass sie Verbundwerkstoffe ersetzen können, darf jedoch nicht unterschätzt werden.






## Webtechnologie: Verteilt erarbeitet – zentral verfügbar

Im ISTWIPP-Projekt wurde konsequent von Beginn an auf das Internet als Kommunikationsmedium gesetzt, da sich hiermit eine hohe Vernetzung aller Beteiligten erreichen ließ. Alle Akteure können an jedem Ort und zu jeder Zeit auf die gemeinsame Datenbasis zugreifen und diese ergänzen.

Als Kernpunkt wurde eine Materialdatenbank erstellt, die über das Internet erreichbar ist und in der sowohl Messwerte als auch Simulationsergebnisse zusammengefasst werden. Dies führte einerseits zu einer deutlichen Arbeitersparnis, da Messdaten nicht mehr aufwändig verschickt werden mussten, sondern direkt an zentraler Stelle abgelegt werden konnten. Andererseits wurde für alle direkt sichtbar, inwieweit Messung und Simulation bereits in Einklang gebracht werden konnten bzw. an welchen Stellen noch Kontrollmessungen o. Ä. nötig waren.

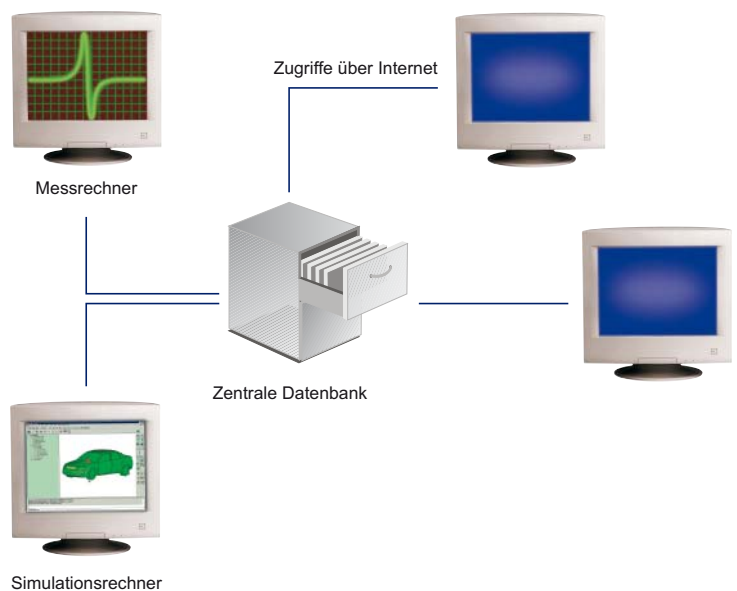
## Einsatz und Übertragbarkeit webbasierter Kommunikation

Für Kommunikationsplattformen, die auf einer internetbasierten Client-Server-Architektur aufbauen, gibt es kaum eine Einschränkung in ihrem Anwendungsbereich. Neben der oben beschriebenen zentralen Datenbank wurde die Infrastruktur zum sicheren Austausch und zur zentralen Verwaltung von Dokumenten genutzt. Über den (öffentlich zugänglichen) Teil des Webservers erfolgte zeitnah eine Darstellung der Projektfortschritte für die interessierte Öffentlichkeit. In diesem Sinne unterstützt die Webtechnologie alle drei Handlungsprinzipien von IPP: Kommunikation, Kooperation und Integration.



### Webserver

Das World Wide Web (www) besteht aus einer Client-Server-Architektur. Clients sind Webbrowser, die Anforderungen über das Internet an erreichbare Webserver senden. Der Webserver sendet danach die angeforderten Inhalte an den Browser, der diese multimedialen Inhalte anzeigt.





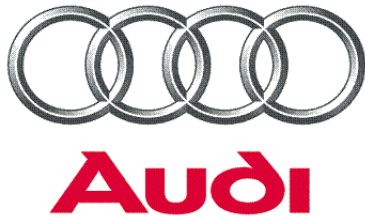
## Profitieren Sie von unserem Know-how

Webserver-basierte Softwaretools haben den Vorteil, dass sie unabhängig von bereits bestehenden internen Netzwerken genutzt werden können. Gleichzeitig gibt es diesem Bereich eine ganze Reihe anspruchsvoller open source Software, die alle notwendigen Ressourcen für verteiltes Arbeiten zur Verfügung stellt. Dazu zählen auch Verschlüsselungsverfahren, die dafür sorgen, dass sensible Daten auf den vorgesehenen Nutzerkreis beschränkt bleiben. Der offene Standard und die weite Verbreitung tragen zur Zukunftsfähigkeit eigener Softwaretools bei.





## Perspektiven



Im Rahmen der Integrierten Produktentwicklung steht der ganzheitliche Ansatz, d.h. eine Betrachtung des Produkts „von der Wiege bis zur Bahre“, im Vordergrund.

Wir bei Audi haben uns in unserer Umweltpolitik der ganzheitlichen Betrachtung von Umweltauswirkungen verpflichtet. Forschung und Entwicklung sind Bestandteil unserer Umweltphilosophie, in welcher wir uns dazu bekennen, für unsere Produkte ökologisch effiziente Prozesse und Konzepte zu entwickeln. Die kontinuierliche Verbesserung des Umweltschutzes bei allen Prozessabläufen ist bei uns von großer Bedeutung. Hierzu haben wir ein zertifiziertes Umweltmanagementsystem installiert, welches dafür sorgt, dass in allen Produktentstehungsprozessen das Thema Umweltschutz in die Entscheidungsfindung mit einbezogen wird. Denn hier werden die Weichen für die späteren Eigenschaften des Produktes gestellt.

Mit dem Projekt ISTWIPP wurden diese Gedanken umgesetzt. Durch rechnergestützte Simulation in einer frühen Entwicklungsphase eines Produktes ist es möglich, sowohl umweltschutzrelevante als auch technische Aspekte, wie z.B. Materialauswahl, Recyclingfähigkeit, akustisches Verhalten etc., frühzeitig einfließen zu lassen. Diese Methode erlaubt es, die Anzahl der zu erstellenden Prototypen stark zu reduzieren und optimierte Bauteile für die Erprobung herzustellen. Die Verkürzung der Erprobungsschritte bedingt eine Verringerung des Ressourcenverbrauchs und des Zeitaufwands.

Das neue Simulationstool ist ein weiteres Element, um durch eine ganzheitliche Betrachtungsweise die optimale technische Ausführung des Produkts mit einer gleichzeitigen Reduzierung des Ressourcenverbrauchs zu gewährleisten.

Innerhalb des Projektes wurde unter Berücksichtigung des Recycling-Aspekts ein Bauteil entsprechend der Einstoffstrategie untersucht. Bei einer Umsetzung in die Praxis ist allerdings darauf zu achten, dass vorhandene Rahmenbedingungen, wie z.B. das Bemühen um Leichtbau, berücksichtigt werden. Denn in der Nutzungsphase eines Automobils entstehen, bezogen auf den gesamten Lebenszyklus, die meisten Umweltauswirkungen, so dass der Gewichtsreduzierung ein hoher Stellenwert zukommt.

Der Einsatz der Simulationsmethodik sichert auch in der Zukunft die Berücksichtigung der Leitprinzipien von IPP bei Entwicklungsprojekten. Es fördert im Sinne eines Supply Chain Managements die Zusammenarbeit zwischen Entwicklern, Lieferanten und Rohstoffherstellern. So ist sichergestellt, dass durch die verstärkte Einbindung der Vorkette in den Planungsablauf ein geregelter Austausch von Daten unter den Beteiligten stattfindet.

Bei diesem Projekt wurde darauf geachtet, die Übertragbarkeit der Methode auf andere Bauteile zu gewährleisten, wobei sie in erster Linie für Innenraumbauteile eines Automobils entwickelt wurde. Denn gerade das Interieur eines Fahrzeugs trägt entscheidend zum Wohlbefinden des Fahrers und der übrigen Insassen bei und ermöglicht somit ein noch entspannteres und sichereres Fahren. Ein Vorteil für den Kunden.

Audi wird in Zukunft dieses Simulationstool in die vorhandene EDV-Systemlandschaft integrieren.

AUDI AG

H. Adickes  
Leiter Entwicklung Innenausstattung

Dr. D. Achatz  
Umweltschutzbeauftragter





## Perspektiven



Neue Lösungen zu erarbeiten und dabei eingefahrene Wege zu verlassen, dies gehört seit Jahren zur Unternehmensphilosophie von Sandler. Auch die Automobilindustrie ist einem stetigen Wandel unterworfen. Neue und weiterentwickelte Verfahren und Rohstoffe ermöglichen es, technische Vliesstoffe zu realisieren, die mit ihren Eigenschaften in Bereiche vorstoßen, die bisher klassischen Produkten vorbehalten waren. IPP konkretisiert das Konzept dieser Entwicklung.

Produktentwicklungen kommen nicht von ungefähr. Genaue Kenntnisse über die Anforderungen der Märkte sind Voraussetzung dafür, gezielt neue Produkte mit definierten Eigenschaften zu entwickeln. Hier werden in enger Zusammenarbeit mit den Original Equipment Manufacturers (OEM) und den Systemlieferanten die Anforderungen der zukünftigen Systeme ermittelt und als neue Entwicklungsherausforderung in Angriff genommen.

Wichtig für die Zukunft wird eine marktorientierte Anwendungstechnik, die sich aus eigener Grundlagenentwicklung und gezielter Kundenprojektarbeit zusammensetzen muss. Permanenter Abgleich dieser beiden Prozesse wird letztendlich das optimale Ergebnis unterstützen.

Nachhaltiges Handeln, ein wichtiger Faktor des IPP-Gedankens, ist seit Jahren fester Bestandteil der Unternehmensphilosophie des Hauses Sandler. Aus eben diesem Grund hat Sandler als eines der ersten Unternehmen europaweit die Zertifizierung nach dem Umwelt-Management-System EN ISO 14001 vorgenommen.

Die entwickelte Simulation wird zum ergänzenden Werkzeug der Produktentwicklung werden. Bereits heute ist absehbar, dass mit diesem Instrument eine schnellere Projektarbeit möglich wird. Dies ist angesichts der sich stetig verkürzenden Produktlebenszyklen ein grundlegender Erfolgsfaktor für die Partner in der Wertschöpfungskette.

Letztendlich ermöglicht die effizientere Entwicklungsarbeit den gezielten Einsatz von Rohstoffen und schont damit nachhaltig die natürlichen Ressourcen.

Dr. Christian Heinrich Sandler,  
Vorstand der Sandler AG

Sandler ist einer der führenden Hersteller von Vliesstoffen weltweit. Neben den seit Jahren bestens eingeführten Produkten für die Möbel- und Bekleidungsindustrie sowie einer Vielzahl an Lösungen für die Damen- und Baby-Hygiene konzentriert sich Sandler auf die Entwicklung und Herstellung von technischen Vliesstoffen.

Hier werden neben hochwertigen Luftfiltermedien leichtgewichtige Lösungen für akustische Problemstellungen im Automobil entwickelt. Im Bereich der Automobil-Innenverkleidungsteile fertigt Sandler Materialien, welche die Eigenschaften der Teile unterstützen und verbessern.

Im Serienanlauf befindet sich eine langjährige Entwicklung – PET-Vliesstoffe zur Herstellung von selbsttragenden Innenverkleidungsteilen, ein Beispiel für die konsequente, langfristig ausgelegte Produktstrategie des Hauses Sandler.



## Perspektiven



Die Erfüllung gesteigerter Anforderungen an Fahrzeuginnenverkleidungen sowie die kürzer werdenden Entwicklungszeiten erfordern eine enge Zusammenarbeit mit den OEMs, Vliesstoffherstellern und Forschungsinstituten sowie den Einsatz moderner Simulationstechniken, um neue innovative Lösungen zu erarbeiten.

Die im Rahmen des ISTWIPP-Projektes entwickelten Simulationswerkzeuge erlauben eine optimierte Entwicklung von akustisch wirksamen Materialien und Bauteilen für den Automobilinnenraum unter Berücksichtigung IPP-gerechten Handelns.

Diese Werkzeuge stellen den Zusammenhang zwischen der Materialmikrostruktur, laborakustischen Materialparametern und dem Einfluss von Bauteilen auf die Akustik im Fahrzeuginnenraum dar.

Es ist nun möglich, durch detaillierte rechnerische Optimierung der Materialmikrostruktur die Absorptionseigenschaften von Vliesmaterialien zu erhöhen. Die Verknüpfung der erstellten Datenbank laborakustischer Parameter mit der Fahrzeugakustik über die entwickelte SEA-Schnittstelle erlaubt zum einen eine kostengünstige, mit geringem Zeitaufwand durchführbare Bewertung verschiedener Materialien. Zum anderen erfolgt nach Vorgabe akustischer Sollwerte im Fahrzeugmodell eine optimierte, anwendungsnahe Auswahl reeller Materialien.

Die erstellten Werkzeuge ergänzen bereits bestehende Simulationstechniken durch die Möglichkeit zur automatisierten Materialauswahl sowie durch die Berücksichtigung der Materialmikrostruktur.

Sie werden zukünftig in den Bereichen Vorentwicklung und Entwicklung eingesetzt. Sie ermöglichen eine zeit- und kostengünstige Beurteilung und Vorhersage neuer Materialien hinsichtlich der Absorp-

tionseigenschaften und ihrer Auswirkung auf die Fahrzeugakustik. Weiterhin werden die Möglichkeiten einer kontinuierlichen Entwicklung und Optimierung der Material- und Bauteileigenschaften im kompletten Entwicklungszeitraum genutzt.

Der Einsatz der Simulationswerkzeuge führt demzufolge zu einer Verringerung des Messaufwandes und so zu einer Zeit-, Kosten- und Energieeinsparung.

Die Anwendung der Entwicklungswerkzeuge ist generell übertragbar auf andere Bauteile im Fahrzeuginnenraum, wie Säulenverkleidung, Teppich, Motorraumabsorber oder Kofferraumseitenverkleidung, und kann so für die Entwicklung des gesamten Faurecia Akustik-Paketes gemäß den Kundenanforderungen eingesetzt werden.

Ludovic Dejaeger, Lars Bischoff

Faurecia

Faurecia ist mit über 50.000 Mitarbeitern an 150 Standorten in 27 Ländern weltweit einer der führenden Systemlieferanten für die Automobilindustrie in den Bereichen Sitz, Instrumententafel und Cockpit, Tür, Front-End, Abgassysteme und Akustik.

Im Bereich Akustik verfügt Faurecia über eine Reihe von Produkten, die nicht nur die Akustik in der Fahrgastzelle beeinflussen, sondern auch das Fahrzeuginnere optisch aufwerten. Hierzu gehören zum Beispiel Teppichböden, Bodenmatten, Hutablagen und Kofferraumverkleidungen.

Faurecia verfügt über zwei Forschungs- und sechs Entwicklungszentren in Deutschland und Frankreich. In den beiden Forschungszentren in Mouzon, Frankreich, und Sassenburg, Deutschland, verfügt man über Rollenprüfstände im Halbfreifeldraum, gekoppelte Hallräume bis hin zu laborakustischen Messeinrichtungen sowie über weitreichende Erfahrungen in den Bereichen Simulation, Fahrzeug-, Labor- und Psychoakustik.



## Perspektiven



**Fraunhofer** Institut  
Techno- und  
Wirtschaftsmathematik

Im ISTWIPP-Projekt hat das Fraunhofer ITWM bewiesen, wie forschungsintensive, innovative Simulationstechniken unter Berücksichtigung der IPP-Handlungsprinzipien „Kommunikation“, „Kooperation“ und „Integration“ zum Kern neuer technologischer Instrumente werden, die mittlerweile bei der Produktentwicklung für den Automobilinnenraum eingesetzt werden. Es ist gelungen, durch die Entwicklung und den Einsatz neuer Simulationstechniken wie der Mikrostruktursimulation und deren Kopplung mit der Simulation der Akustik im Automobilinnenraum die komplette Material- und Bauteilentwicklung hinsichtlich der akustischen Anforderungen schon in der Entwicklungsphase eines Automobils zu simulieren und zu optimieren. Damit sind kürzere Entwicklungszeiten von Formpressteilen mit wesentlich weniger Testserien möglich; dadurch sinken Materialverbrauch und Kosten, während gleichzeitig die Qualität des Produktes steigt. Die von Beginn an ganzheitliche Betrachtungsweise ermöglicht im Optimierungsprozess neben der Berücksichtigung weiterer technischer Qualitätsmerkmale wie beispielsweise der mechanischen Stabilität, der Haptik und der Optik auch die Bewertung wirtschaftlicher, ökologischer und gesellschaftlicher Aspekte.

Das Projekt zeigt beispielhaft, wie rechnergestützte Simulationen neue Produktentwicklungen im Automobilbau unter IPP-Aspekten wirtschaftlich erfolgreich und ökologisch verträglich beschleunigen können.

Dr. Konrad Steiner  
Fraunhofer ITWM

Am Fraunhofer ITWM befasst sich ein Team von nahezu 130 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern – vorwiegend Mathematiker, aber auch Informatiker, Physiker und Ingenieure – mit Forschungs- und Anwenderproblemen mit besonderem Fokus auf mittelständische Unternehmen. Sie erstellen Computersimulationen technischer Vorgänge, denn diese sind zum unverzichtbaren Werkzeug geworden bei der Gestaltung und Optimierung von Produkten, Dienstleistungen, Kommunikations- und Arbeitsprozessen.

Das Angebot des ITWM reicht von Softwarekomponenten über Beratung und Support bis hin zu Systemlösungen. Das ITWM nutzt nicht nur Simulationssoftware, sondern entwickelt sie selbst, oft in Zusammenarbeit mit führenden Softwarefirmen. Unser Ziel ist es, Software-Anwendungen für unsere Kunden komfortabel nutzbar zu machen und maßgeschneiderte Lösungen zu finden.





## Die Partner

### AUDI AG

Frau Beatrix Riedel  
I/EK-36  
85045 Ingolstadt  
Tel. +49 (0)8 41 89-4 11 01  
Fax +49 (0)8 41 89-3 78 94  
beatrix.riedel@audi.de  
<http://www.audi.com>

### Sandler AG

Herr Klaus Tröger  
Lamitzmühle 1  
95126 Schwarzenbach/Saale  
Tel. +49 (0)92 84-60-1 18  
Fax +49 (0)92 84-60-2 05  
klaus.troeger@sandler.de  
<http://www.sandler.de>

### Faurecia

CAT-Centre of Acoustic Technology  
Dr. Udo Becker  
Dämmstoffwerk 100  
38524 Sassenburg  
Tel. +49 (0)53 71-7 24-3 92  
Fax +49 (0)53 71-7 24-4 08  
ubecker@sassenburg.faurecia.com

### Fraunhofer Institut

für Techno- und Wirtschaftsmathematik  
Dr. Konrad Steiner  
Gottlieb-Daimler-Straße, Geb. 49  
67633 Kaiserslautern  
Tel. +49 (0)6 31/3 03-18 20  
Fax +49 (0)6 31/3 03-18 33  
konrad.steiner@itwm.fraunhofer.de  
<http://www.itwm.fhg.de>

## Gestaltung

Werbeagentur Schultze, Walther und Zahel GmbH  
[www.swz.de](http://www.swz.de)

