

---

# NACHHALTIGE KONSTRUKTION – NICHT LÄNGER NUR EINE DOMÄNE DER ARCHITEKTUR

---

## Übersicht

Die heutigen Bedingungen in den Bereichen Umwelt, Wirtschaft und Wettbewerb machen die nachhaltige Konstruktion zu einem erstrebenswerten Ansatz. Dutzende weltweit führende Unternehmen in einer Vielzahl von Industriezweigen bemühen sich seit Jahrzehnten, nachhaltige Konstruktionselemente in ihre Produkte einzubinden. Angesichts der immer größeren Vielfalt an Kosten- und Rechtsfragen, die die Auswahl von Material und Geometrie erschweren, benötigen Konstrukteure Hilfsmittel, die die Materialentscheidungen automatisieren und vereinfachen. Die SolidWorks® Simulations- und Analysewerkzeuge unterstützen Sie bei der Senkung der Kosten und der Einhaltung neuer Normen für positive Umweltauswirkungen.



## Einführung

### Was bedeutet nachhaltige Konstruktion?

Nachhaltige Konstruktion bezeichnet einen ganzheitlichen Ansatz bei der Fertigung von umweltfreundlichen, sozial verträglichen und wirtschaftlichen Produkten und Systemen. Umweltfreundlich bedeutet dabei, dass die Konstruktion offensichtliche oder messbare Vorteile für die Umwelt bietet. Sozial verträglich heißt, dass die Anforderungen aller an Produktion, Nutzung und Entsorgung sowie Wiederverwertung Beteiligten erfüllt werden. Und wirtschaftlich besagt, dass die Konstruktion am Markt wettbewerbsfähig ist.

Fahrzeuge mit geringem Kraftstoffverbrauch, Gebäude mit Solaranlagen, Elektrizitätswerke mit sauberer Verbrennung, recyclingfähige Verpackungen und Stromsparlampen sind nur einige Beispiele für Produkte, die sowohl den Bedarf der Verbraucher als auch hochgesteckte Umweltkriterien erfüllen. Es könnten jedoch weit mehr Produkte mit dem Ziel Nachhaltigkeit konstruiert werden. Die Ingenieure müssen sich hierzu aktiv mit der Verbesserung der Produkte auseinandersetzen und Materialien mit positiven Umwelteinflüssen nutzen.

Folgende Aspekte sind bei der praktischen Umsetzung nachhaltiger Konstruktionen zu berücksichtigen:

- **Minimaler Materialverbrauch:** Kann die Wanddicke eines Teils von einem halben Zoll auf drei achteil Zoll reduziert werden, ohne die Funktionalität zu beeinträchtigen? (Beispiel: Gehäuse für einen Breitbildfernseher.)
- **Bessere Materialauswahl:** Gibt es einen Kunststoff, der vor zehn Jahren noch nicht erhältlich war und der die Produktion, das Recycling oder den Transport des Teils bei gleichen Kosten vereinfachen würde? (Beispiel: Verwendung eines recyclingfähigen Hart-Polyethylens (HDPE) anstelle eines Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisats (ABS).)
- **Konstruktionen mit vereinfachter Demontage:** Kann das Produkt so konstruiert werden, dass es für eine Reparatur oder ein Teilrecycling demontiert werden kann? (Beispiel: Verbindung von Teilen über Stifte anstelle von Klebstoff.)
- **Wiederverwertung oder Recycling des Produkts am Ende des Lebenszyklus:** Kann das Produkt modular konstruiert werden, so dass ein Teil ausgetauscht und die Funktion damit erweitert werden kann? (Beispiel: Einbau einer austauschbaren SIM-/Funktionskarte in Mobiltelefonen, die der Verbraucher selbst austauschen kann.)
- **Minimaler Energieverbrauch:** Gibt es eine andere Methode oder Maschine zum Erstellen oder Betreiben des Systems, die einen geringeren Energieverbrauch hat? (Beispiel: Neukonstruktion einer Sauerstoffmaske, so dass diese am Verbrauchsende ein kostengünstigeres Pumpensystem mit niedrigerem Druck verwendet.)
- **Fertigung ohne Sondermüll** (Beispiel: Verzicht auf bleihaltige Lötmetalle.)
- **Verwendung sauberer Technologien als Grundsatz** (Beispiel: Hybridmotoren für Fahrzeuge.)

---

Jedes Produkt kann im Hinblick auf Nachhaltigkeit konstruiert werden. Die Ingenieure müssen sich hierzu aktiv mit einer Verbesserung der Produkte auseinandersetzen und Materialien mit positiven Umwelteinflüssen nutzen.

Warum ist dieser neue Ansatz aber auch aus wirtschaftlicher Sicht so wichtig? Die Nachfrage nach Rohstoffen steigt schneller als das Angebot, was die Preise in die Höhe schnellen lässt. Gleichzeitig müssen immer mehr neue Umweltrichtlinien eingehalten werden. Zum Glück können mit kleinen Konstruktionsänderungen, z. B. einer optimierten Menge sorgfältig ausgewählter, moderner Materialien, die mit minimalem Energie- und Ressourcenaufwand produziert werden, große Erfolge bei der nachhaltigen Gesamtnutzungsdauer erzielt werden. Zudem werden so im gleichen Atemzug spürbare Wettbewerbsvorteile am globalen Markt realisiert.

Europa ist bei der Realisierung dieses neuen Ansatzes federführend. Erst kürzlich wurde eine integrierte Produktpolitik (Integrated Product Policy, IPP) vorgestellt, die eine nachhaltige Entwicklung ausdrücklich fördert. Die Cyon Research Corporation analysierte diesen Ansatz in einem ihrer aktuellen Berichte: „Kern der IPP ist das Prinzip, dass die größten Verbesserungen in der Umweltverträglichkeit von Produkten nicht durch Prozesseffizienz, saubere Produktion oder Abfallmanagement, sondern während der Konstruktionsphase erzielt werden. Schätzungen der Europäischen Union zufolge gehen 80 % aller produktbezogenen Umweltauswirkungen auf die Konstruktionsphase zurück.“

Unternehmen, die eine methodische Reduzierung der Materialkosten und Verbesserung der Prozesse in den Vordergrund stellen, werden demzufolge auch bei den Gewinnmargen führend sein.

.....  
Unter wirtschaftlichen und umweltrelevanten Gesichtspunkten können Hersteller, deren Produktkonstruktion eine einfache Rücknahme unterstützt, hieraus sogar finanzielle Vorteile erlangen.

## **Nachhaltige Ziele, Richtlinien und Vorgehensweisen**

### **Aktuelle Wirtschafts-/Umweltrichtlinien**

Europa ist trotz seiner begrenzten Größe und Ressourcen bei Empfehlung und Verabschiedung von Nachhaltigkeitsprogrammen führend. Die amerikanischen Hersteller, die diesen Markt erobern möchten, müssen diese jedoch aufgreifen und umsetzen. Einige bereits verabschiedete EU-Richtlinien wirken sich drastisch auf Konstruktion und Vermarktung zahlreicher Produkte aus, von Mobiltelefonen bis hin zu Sportwagen.

Die WEEE-Richtlinie (Waste of Electrical and Electronic Equipment) und die ELV-Richtlinie (End of Life Vehicles) basieren beide auf der erweiterten Verantwortung des Herstellers. WEEE fordert, dass Leiterplatten in unschädlichen Prozessen gefertigt werden und außerdem demontiert, sortiert und sicher recycelt oder entsorgt werden können. Laut der ELV-Richtlinie müssen Kraftfahrzeuge für den europäischen Markt (27 EU-Mitgliedsstaaten) mit denselben Zielen hergestellt werden, wobei die Hersteller die gesamten oder zumindest einen Großteil der Kosten für die Entsorgung von Altfahrzeugen tragen.

Rechtlich heißt dies, dass die Hersteller die Kosten für die Rücknahme und das Recycling ihrer eigenen Produkte übernehmen müssen. Unter wirtschaftlichen und umweltrelevanten Gesichtspunkten können Hersteller, deren Produktkonstruktion eine einfache Rücknahme unterstützt, hieraus sogar finanzielle Vorteile erlangen.

Weitere Richtlinien zur Senkung des Energieverbrauchs bei Fertigung und Nutzung sind derzeit auf dem Weg. Die EuP-Richtlinie (Energy Usage Products) definiert Grenzwerte für den Energieverbrauch für eine Vielzahl von Produkten, einschließlich Komponenten und Unterbaugruppen, die als Ersatzteile vertrieben werden. Die Einhaltung der EuP-Richtlinie wird mithilfe des europäischen CE-Markierungsprogramms sowie bestehender Normen zu Sicherheit und elektromagnetischer Verträglichkeit überprüft.

## Lebenszyklusbasierter Ansatz bei der Produktkonstruktion

Es liegt in der Natur des Menschen, dass er die Dinge lieber so belässt, wie sie sind, auch wenn die Gegenargumente noch so überzeugend sind. Neue Produkte spiegeln häufig nur eine Folge kleiner Änderungen basierend auf veralteten Designs und Verfahren wider. Sehen wir uns als Beispiel die Montage eines Kraftfahrzeugs an: Roboter haben in den letzten Jahrzehnten zwar eine wichtige Funktion übernommen, das allgemeine Montageverfahren entspricht jedoch weitgehend noch der von Henry Ford entwickelten Vorgehensweise. In vielen Bereichen wurden Schrauben und Bolzen sogar durch Klebstoffe und Schweißnähte ersetzt, so dass Baugruppen zur Reparatur nicht mehr demontiert werden können. Im Falle eines Fehlers müssen diese nun entsorgt und vollständig ausgetauscht werden.

Gleichzeitig schnellen die Kosten für herkömmliches Material in astronomische Höhe: Der Preisindex für unfertige Güter stieg von unter 70 (wenn als Durchschnittswert 100 festgelegt wird) im Jahr 1995 auf über 170 im Jahr 2005 an. Dies ist ein Anstieg von 70 % über dem Durchschnitt! Steigende Preise für Stahl und Rohöl schlagen sich ebenfalls auf die Fertigungs- und Transportkosten nieder. Gleichzeitig verlangen die Verbraucher immer niedrigere Preise. Automobilhersteller müssen die Preise häufig anheben, um die Ausgaben für die Rücknahme von Altfahrzeugen zu decken. Wie können diese Kostenfaktoren ausgeglichen oder sogar gesenkt werden?

Die USA sind bei der Produktkonstruktion wegweisend. Im Zuge des zunehmenden wirtschaftlichen und sozialen Drucks zugunsten nachhaltiger Konstruktionen muss nun jedoch die traditionelle Scheu vor einer Änderung grundlegender Prinzipien abgelegt werden. Kishore Boyalakuntla, National Technical Manager, Analysis Products, bei Dassault Systèmes SolidWorks Corp., stellt fest: „Herausforderungen fördern Innovation. Ford und alle anderen Automobilhersteller denken daher mittlerweile anders über die in den Fahrzeugen verarbeiteten Kunststoffe.“ Sie stellen sich jetzt selbst die folgenden Fragen:

- Was kosten die Rohstoffe?
- Wie umweltverträglich sind Verarbeitung und Verwendung?
- Wie hoch ist der Energieverbrauch für dieses Material?
- Gibt es ein kostengleiches Material, das leichter recycelt werden kann?
- Gibt es ein neues, leistungsfähigeres Material, mit dem wir ein Teil mit derselben Haltbarkeit aber weniger Material herstellen können?

Gleichzeitig haben verschiedene Organisationen in Industrie und Regierung numerische Methoden entwickelt, um die relativen Umweltauswirkungen unterschiedlicher Material-, Verarbeitungs- und Transportmöglichkeiten zu analysieren. „Auch Universitäten wie das MIT suchen nicht länger nur nach Energiesparmöglichkeiten und neuen Konstruktionsmethoden, sondern bauen völlig neue Abteilungen auf, die verschiedene Disziplinen im Bereich nachhaltige Entwicklung vereinen“, so Boyalakuntla.

---

In vielen Bereichen wurden Schrauben und Bolzen durch Klebstoffe und Schweißnähte ersetzt, so dass Baugruppen zur Reparatur nicht mehr demontiert werden können. Im Falle eines Fehlers müssen diese nun entsorgt und vollständig ausgetauscht werden.

## Analyse und Planung für den gesamten Lebenszyklus

Durch Betrachtung der Gesamtperspektive lassen sich bestimmte Aufgaben bei der Produktkonstruktion erkennen, deren Neubewertung zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit beitragen kann. Die Analyse des Lebenszyklus (Lifecycle Analysis, LCA) für einen Produktfertigungsprozess kennzeichnet den Energieverbrauch sowie (feste, luftförmige und wasserlösliche) Abfallprodukte in allen wichtigen Phasen, darunter:

- Rohstoffverbrauch
- Materialverarbeitung
- Komponentenfertigung
- Montage und Verpackung
- Vertrieb und Verkauf
- Installation und Nutzung
- Wartung und Modernisierung
- Entsorgung: - Materialrecycling
  - Wiederverwertung von Komponenten
  - Wiederverwertung des Produkts
  - Mülldeponie
  - Verbrennung

---

Dutzende weltweit führende Unternehmen bemühen sich seit Jahrzehnten, alle oder zumindest einige dieser Konstruktionselemente in ihre Branche einzuführen, von Möbeln und Bodenbelägen bis hin zu Telekommunikation und Werkzeugen.

Ein interessanter und frühzeitiger Versuch, derartige Faktoren für Konstruktionsentscheidungen zu quantifizieren, entstand in Zusammenarbeit der Industrial Designers Society of America und der US-Umweltbehörde EPA. Im Rahmen ihres Projekts Okala wird momentan die Liste der berechneten „Auswirkungen“ für Hunderte von Materialien und Prozesse aktualisiert. Beispiel: Einem Produkt wird der Wert 140 zugeordnet, wenn als Material Aluminium verwendet wird. Wird hingegen zu ABS-Kunststoff gewechselt (dessen Rohstoff weniger Energie für die Verarbeitung erfordert), sinken die Auswirkungen auf 47. Weitere Informationen hierzu erhalten Sie unter [www.IDSA.org](http://www.IDSA.org).

Dutzende weltweit führende Unternehmen bemühen sich seit Jahrzehnten, alle oder zumindest einige dieser Konstruktionselemente in ihre Branche einzuführen, von Möbeln und Bodenbelägen bis hin zu Telekommunikation und Werkzeugen. Beispiel:

- IKEA hat seine Selbstbaumöbel zu einer Wissenschaft erhoben. Die Verpackung der meisten Bauteile besteht aus flachen Kartons, die im LKW effizient gestapelt werden können und daher minimale Transport- und Kraftstoffkosten verursachen.
- BASF unterstützt Automobilhersteller bei der Kosten- und Zeiteinsparung mittels Hybrid-Thermobeschichtungen, die die Gasentwicklung drastisch reduzieren und somit die Emission flüchtiger Bestandteile oder potenzielle Fehler durch Blasenbildung bei der Farbhärtung minimieren.
- IBM hat vor über zehn Jahren die Implementierung eines offiziellen ISO 4001-zertifizierten Umweltmanagementsystems in allen globalen Fertigungs- und Hardwareentwicklungsbetrieben sowie allen Geschäftsbereichen aufgenommen. Die Ausschöpfung vorhandener Erfahrungen bei der Gewährleistung von Umweltverträglichkeit ist dabei ein fester Bestandteil aller Geschäftsentscheidungen.

- Whirlpool wurde siebenmal zum „ENERGY STAR® Partner of the Year“ ernannt und ist international bekannt für sein Engagement bei umweltfreundlicher Verpackung, Produktion und Konstruktion.
- Das Recycling Center von BMW demontiert neue Fahrzeugmodelle, um die Effektivität der Demontageverfahren zu testen, da bestimmte Teile wiederverwertet und andere recycelt werden. Die Abteilung gibt anschließend dem Design Center entsprechendes Feedback.
- Die industriellen Elektrowerkzeuge von DeWalt machen sich einen modularen Konstruktionsansatz zunutze, so dass ein Modell des 14,4 Volt-Akkus in alle Werkzeuge der 14,4 Volt-Produktlinie passt (z. B. Bohrer, Motorsäge, Taschenlampe).

## Spezifische Maßnahmen zur Produktkonstruktion

Da der Begriff „nachhaltige Konstruktion“ eine Vielzahl von Bereichen der Produktkonstruktion sowie auch Endanwendungen bezeichnen kann, werden im Folgenden einige Unternehmen und ihre Produkte vorgestellt. Dabei wird detailliert auf die Überlegungen eingegangen, die verbesserte Produkte mit optimierten ökonomischen und ökologischen Auswirkungen zur Folge hatten.

### Medtronic

In der Medizin bezeichnet der Begriff „Perfusion“ die Quantifizierung der Menge eines benötigten Nährstoffs (z. B. Sauerstoff), die vom Blut in den Kreislauf eines Patienten transportiert wird. Medtronic's Perfusion Systems Group fertigt eine Produktlinie, die bei kardiopulmonaren Bypassoperationen verwendet wird. Sie ermöglicht eine Kontrolle dieses Faktors, indem Parameter für Blutdruck, Temperatur, Filterung und Sauerstoffversorgung erfasst werden. Das System muss mit einem gleich bleibenden, effizienten Gasfluss, minimalem Blutschub, geringem Füllvolumen und niedrigem Blutdruckabfall betrieben werden.

Perfusion Systems hat DfE-Verfahren (Design-for-the-Environment) in alle Konstruktions-Kontrollmethoden integriert. Dieser Prozess hat bereits die Chemikalien- und Abwassermenge für den Beschichtungsprozess bei der Fertigung um 75 - 85 % gesenkt, was jährliche Einsparungen von \$ 2,1 Millionen ermöglichte. Darüber hinaus plant das Unternehmen eine Senkung der Materialmenge von 30 - 35 % sowie eine Reduzierung der bei der Batterieherstellung anfallenden Industrieabfälle um 90 %. Die potenziellen Einsparungen dieses Ansatzes belaufen sich auf über \$ 200.000 jährlich.

---

Dieser Prozess hat bereits die Chemikalien- und Abwassermenge für den Beschichtungsprozess bei der Fertigung um 75 - 85 % gesenkt, was jährliche Einsparungen von \$ 2,1 Millionen ermöglichte.



Die Kostenkalkulation für diesen Oxygenator von Medtronic, Inc. wurde während der Konstruktion optimiert, wodurch deutliche Kosteneinsparungen realisiert wurden.

## Apple Power Mac G4 Desktop Computer

Eine Fallstudie aus dem Jahr 2000 für den Apple Power Mac G4 Desktop Computer beschrieb den systematischen Ansatz des Unternehmens für eine nachhaltige Produktkonstruktion.



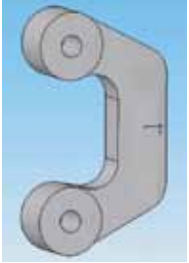
Apple konzipierte den Power Mac G4 Desktop Computer so, dass die Anzahl der Teile reduziert, Reparaturen vereinfacht und eine Demontage für Recyclingzwecke ermöglicht wurden.

Im Folgenden werden nur einige Verbesserungen genannt, die durch eine Änderung der Konstruktionsmerkmale realisiert wurden:

- **Energieverbrauch:** Durch das niedrigere thermische Profil können Ventilatoren im Standby-Betrieb ausgeschaltet werden. Der Energieverbrauch im Standby-Betrieb beträgt weniger als 5 Watt (17 % der ENERGY STAR 30-Watt-Anforderung).
- **Materialverbrauch:** Im Vergleich zu älteren Produkten weist die universelle Hauptplatine des Mac G4 50 % weniger Komponenten auf. Die Anzahl der Schieber für die Befestigung von ZIP- und CD-ROM-Laufwerken am Gehäuse wurde reduziert.
- **Schadstoffe:** Der Lithium-Akku enthält keine Schwermetalle. Bei der Herstellung werden keine Fluor-Chlor-Kohlen-Wasserstoffe (FCKWs) oder andere Komponenten mit negativen Auswirkungen auf die Ozonschicht verwendet.
- **Robustes Design:** Es werden vermehrt modulare Standardkomponenten in verschiedenen Produkten eingesetzt, einschließlich Komponenten nach Industrienorm.
- **Einfache Wartung, Reparatur und Erweiterung:** Alle Komponenten sind über eine seitliche Gehäusetür zugänglich. Der Prozessor kann problemlos entnommen, ausgetauscht und erweitert werden. Wichtige Komponenten werden innerhalb einer Minute ausgetauscht.
- **Einfache Demontage/Recycling:** Die Anzahl der Schrauben für die Befestigung der Hauptplatine am Gehäuse wurde von elf auf zwei reduziert (Zeit- und Kosteneinsparungen). Das Metallgehäuse und die Kunststoffummantelung aus Polycarbonat lassen sich zu Recyclingzwecken problemlos trennen.

## Weniger Material in der Automobilindustrie

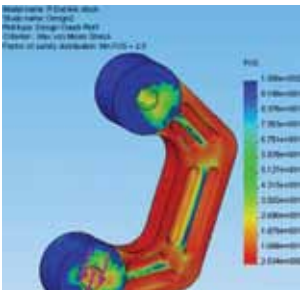
Die beiden Faktoren niedrige Kosten und hohe Sicherheit lassen sich mit erstklassigen Ergebnissen in der Produktkonstruktion vereinbaren, vorausgesetzt, die mechanische Form und die Materialeigenschaften wurden detailliert und präzise analysiert. Ein Automobilhersteller untersuchte vor kurzem per FEA die Konstruktion einer Endgliedklemme, die den Stabilisator und den Querlenker bei einer Radaufhängung verbindet, um den Materialverbrauch zu reduzieren. Ein Nebeneffekt hiervon wäre eine Kostensenkung, da eine geringere Materialmenge benötigt werden würde und weniger Energie für die Materialproduktion erforderlich wäre.



Ursprüngliche Konstruktion des aus Nylon gefertigten Volumenkörper-Endglieds an der Radaufhängung



Neue Konstruktion des Endglieds mit Schlitzen zur Minimierung des Materialverbrauchs bei Gewährleistung der Betriebssicherheit



Spannungsverteilung im neu konstruierten Endglied mit einem zulässigen Sicherheitsfaktor von 2,5

Das ursprünglich weitgehend als Volumenkörper aus gehärtetem Nylon gefertigte Spritzgussbauteil hatte einen Mindestsicherheitsfaktor von 3,4, bei Kosten von \$ 0,65 pro Stück. Das Unternehmen analysierte bei der Neukonstruktion des Teils die Beanspruchungen und Funktionsgrenzwerte und fertigte sechs schlitzförmige Durchgangsbohrungen an. Die Masse wurde so von 0,234 kg auf 0,205 kg gesenkt. Die CAE-Spannungsanalyse ergab, dass weiterhin ein akzeptabler Mindestsicherheitsfaktor von 2,5 erreicht wird. Die Kosten konnten so um \$ 0,09 pro Stück gesenkt werden. Die mit der neuen Konstruktion einhergehenden Materialeinsparungen summieren sich zu einer Kostensenkung von über \$ 32.000 pro Jahr, ohne dabei die Sicherheit zu beeinträchtigen.

Ein Nebeneffekt hiervon wäre eine Kostensenkung, da eine geringere Materialmenge benötigt werden würde und weniger Energie für die Materialproduktion erforderlich wäre.



## Dell

Die Konstruktion eines einfachen Verbindungselements spielt im Hinblick auf die Demontage eine wichtige Rolle. Warum drei Schraubenköpfe verwenden, wenn einer ausreicht? Ein Teil ist wesentlich einfacher zu bestellen, ermöglicht größere Mengenrabatte und lässt sich mit nur einem Schraubenzieher montieren und demontieren.



Das Gehäuse dieses Dell Computers wird einfach durch Drücken von zwei Knöpfen an beiden Gehäusesseiten geöffnet. Es sind keine Werkzeuge erforderlich, und die Verbindungselemente sind fester Bestandteil der jeweiligen Komponenten.



Der Hebel an dem Platineneinschub dieses Dell Computers dient dabei nicht nur als Verbindungselement, sondern auch als Griff.



Ein Stift ersetzt die frühere Klebverbindung und befestigt den Lärmdämmschaum sicher an der Innenseite der vorderen Computerabdeckung.

Schnappverschlüsse machen Schrauben und Schraubenzieher sogar gänzlich überflüssig. Sie vereinfachen somit im Gegensatz zu herkömmlichen Klebverfahren Reparatur und Austausch und ermöglichen eine direkte Trennung der Materialien am Ende des Lebenszyklus. Dell stützt sein Computerdesign auf mehrere intelligente Ansätze für Befestigungen, die allesamt Material, Zeit und Aufwand reduzieren:

- Das Gehäuse eines Dell Computers lässt sich ganz einfach durch Drücken von zwei Knöpfen an beiden Gehäusesseiten öffnen. Die Verbindungselemente sind nun fester Bestandteil der jeweiligen Komponenten.
- Ein Hebel am Platineneinschub dient dabei nicht nur als Verbindungselement, sondern auch als Griff.

Selbst die Konstruktion eines flexiblen Kunststoff-Schnappverschlusses kann mittels Analysesoftware optimiert werden. Ein verjüngter, auskragender Haken hält wiederholten Demontagen und Montagen beispielsweise besser stand als ein Haken mit einem quadratischen Querschnitt.

---

Schnappverschlüsse machen Schrauben und Schraubenzieher gänzlich überflüssig. Sie vereinfachen somit im Gegensatz zu herkömmlichen Klebverfahren Reparatur und Austausch und ermöglichen eine direkte Trennung der Materialien am Ende des Lebenszyklus.

## SolidWorks Fallstudien

Angesichts der immer größeren Vielfalt an Kosten- und Rechtsfragen, die die Auswahl von Material und Geometrie erschweren, benötigen Konstrukteure Hilfsmittel, die die Materialentscheidungen automatisieren und vereinfachen. Boyalakuntla zufolge spielt derartige Software eine immer wichtigere Rolle. „Um ein Produkt mit durchweg positiven Eigenschaften für den gesamten Lebenszyklus zu entwickeln, müssen eine Vielzahl von Ideen getestet werden. Dies ist jedoch ausschließlich mit Hilfe virtueller Konstruktionen und Tests möglich. Ingenieure können zur Nachhaltigkeit beitragen, indem sie Werkzeuge nutzen, die der Konstruktion fundierte Analysen zugrunde legen.“

Analyseprogramme wie SolidWorks Simulation und SolidWorks Flow Simulation, die über Pulldown-Menüs in der SolidWorks 3D-CAD-Software verfügbar sind, unterstützen eine fundierte Analyse der Auswirkungen einer Konstruktionswahl. Ingenieure können hiermit schnell zahlreiche Szenarien durchspielen, um die verschiedensten benutzerdefinierten Faktoren zu optimieren.

Optimierung bedeutet, Teile und Baugruppen mit möglichst geringer Masse zu produzieren. Die Masse sollte gerade ausreichen, um unter normalen Betriebsbedingungen Fehler zu vermeiden. Folgende softwarebasierte Analysen ermöglichen dabei spürbare Einsparungen:

- Analyse komplexer Geometrien zur Gewichtsreduzierung, die Rohre und I-Träger anstelle kompakter Prismen empfiehlt.
- Vergleich der mechanischen Eigenschaften eines Teils bei Verwendung unterschiedlicher Materialien durch einfaches Klicken auf eine integrierte Bibliothek der Materialeigenschaften, um die Parameter zu ändern.
- Testen unterschiedlicher Funktionen eines Teils mit dem Configuration Manager.

Derartige Analysen sind eine kostengünstige Alternative zu physischen Prototypen für jede Konstruktionsvariante. Die Konstrukteure können so verschiedene Optionen prüfen, deren Produktion und Test andernfalls zu kosten- und zeitintensiv wären.

### Benutzerprofil

Der SolidWorks Anwender Commuter Cars aus Spokane, Washington (USA) ([www.commutercars.com](http://www.commutercars.com)) setzte bei der Konstruktion seines einzigartigen Zweisitzers Tango von Beginn an auf Nachhaltigkeit. Dieses batteriegetriebene Fahrzeug ähnelt einem Motorrad. Das einem Rennwagen nachempfundene Überrolldesign sowie der niedrige Schwerpunkt bieten jedoch in Sachen Sicherheit die gleiche Leistung wie ein herkömmlicher Mittelklassewagen.



Zweisitziger Stadtwagen Commuter Car mit den Sicherheitselementen eines Rennwagens.

---

Optimierung bedeutet, Teile und Baugruppen mit möglichst geringer Masse zu produzieren. Die Masse sollte gerade ausreichen, um unter normalen Betriebsbedingungen Fehler zu vermeiden.

Firmenchef Rick Woodbury erläutert, dass seine Mitarbeiter bei der Konstruktion des Fahrzeugs besonderen Wert darauf gelegt haben, dass die einzelnen Komponenten mehrere Zwecke erfüllen. Das Batteriefach ist beispielsweise gleichzeitig für die Torsionsfestigkeit des Fahrzeugs verantwortlich, während die Motoren die Differenzialstruktur liefern. Das Fahrgestell kann unterschiedliche Fahrgastzellen aufnehmen und bietet daher alle Vorteile der Modularität.



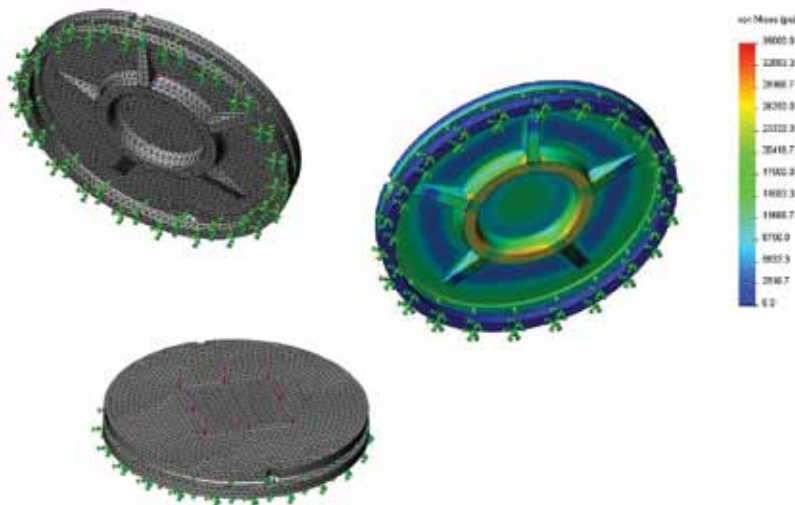
Seitenansicht von Commuter Car. Maximale Festigkeit bei minimalem Gewicht dank einer erweiterten Konstruktionsanalyse.

Dieser Ansatz des Unternehmens bringt dabei nicht nur wirtschaftlichen Nutzen. Commuter Cars unterstützt hiermit auch die Nachhaltigkeit, da beispielsweise alle Verbindungselemente problemlos demontiert werden können. Zudem wurde die Verwendung von Hybridmaterialien (Kleben/Schweißen unterschiedlicher Materialien) vermieden, so dass alle Materialien in reinem Zustand recycelt werden können.

### Geringerer Materialverbrauch

Die Optimierung von Gewicht und Volumen eines Teils senkt nicht nur die Rohstoff- und Lieferkosten, sondern entscheidet in vielen Fällen auch über die Einhaltung der EU-Materialvorgaben oder über den Verlust eines potenziellen Marktes.

Die Optimierung von Gewicht und Volumen eines Teils senkt sowohl die Rohstoff- als auch die Lieferkosten.



LeBARON Foundry ermittelte mit SolidWorks Simulation Bereiche in der Konstruktion von gusseisernen Mannlochabdeckungen, in denen die Dicke ohne SicherheitseinbuSSen reduziert werden konnte. Gemessen am Gewicht wurden so Materialeinsparungen von 25 % und Kosteneinsparungen von über \$ 500.000 pro Jahr erzielt.

Auch eine Änderung der Geometrie bei gleichem Material kann deutliche Kosteneinsparungen eröffnen, sogar bei einfachen Alltagsprodukten. Denken Sie nur an die Mannlochabdeckung, über die Tausende Autos fahren und Fußgänger laufen und die nur gelegentlich geöffnet wird. Dieses altbekannte und allgegenwärtige städtebauliche Objekt ist eines der bestverkauften Produkte von LeBARON Foundry in Brockton, Massachusetts (USA). Vor einigen Jahren jedoch, als die stark ansteigenden Almetallpreise den strikten Konditionen bindender Verträge gegenüberstanden, musste das Unternehmen nach neuen Möglichkeiten zur Kostendeckung suchen.

Angesichts des kurz zuvor erworbenen SolidWorks Premium, einschließlich SolidWorks Simulation, beschloss das Unternehmen, seine Testverfahren zu beschleunigen, indem vor dem Festigkeitstest von Proben verschiedene Konstruktionsgeometrien analysiert wurden. Mit Unterstützung der Analysesoftware erkannte LeBARON, dass zahlreiche Produkte überkonstruiert waren, z. B. dicker als aus Sicherheits- und Leistungsgründen erforderlich. Das Unternehmen überarbeitete daraufhin die Geometrien in weniger als zwei Tagen pro Geometrie.

Hierdurch wurden bei einer herkömmlichen Mannlochabdeckung 50 Pfund Gusseisen und damit 25 % des Gewichts eingespart. Die so realisierten Kosteneinsparungen deckten die prognostizierten Einbußen von \$ 500.000 pro Jahr bei weitem ab.

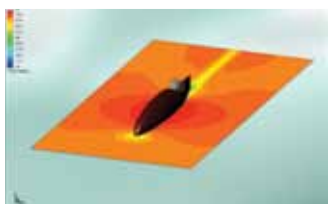
### Optimierte Produktfunktionen

Ziel bei der Optimierung von Produktfunktionen ist es, Teile und Baugruppen so anzupassen, dass alle Konstruktionsaspekte (Gewicht, Funktionalität, Haltbarkeit, Ästhetik) das Teil zur ersten Wahl machen. Die Lösung der Natur für ein ähnliches Problem bietet häufig einen ersten Anhaltspunkt, so auch dem Consultant Ben Eadie von MountainWave Design Services (Calgary, Alberta, Kanada; [www.mountain-wave.ca](http://www.mountain-wave.ca)).

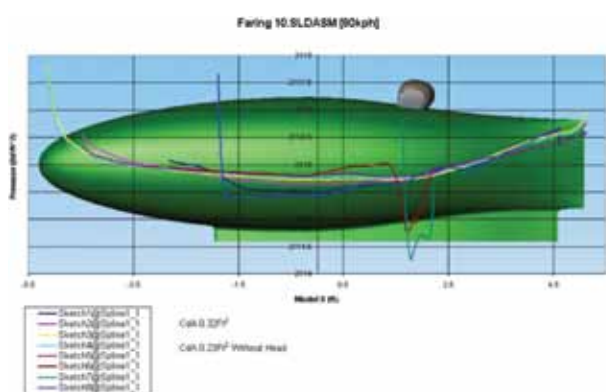
Die Lösung der Natur für ein ähnliches Problem ist häufig ein erster Anhaltspunkt.



Greg Kolodziejczyk entwickelte und konstruierte ein spezielles Liegefahrrad mit einer leichten Verkleidung.



Luftströmungsgeschwindigkeit entlang der Verkleidung.



Luftdruckdiagramm für unterschiedliche Designformen der Fahrradverkleidung.

Ben Eadie unterhielt sich mit Greg Kolodziejzyk, einem pensionierten Geschäftsmann, der den Entfernungsrekord im HPV-24-Stundenrennen (Human Powered Vehicle) mit reiner Muskelkraft über 1021,36 km von 1995 brechen wollte. Bei diesem Rennen sind weder Windkraft noch andere Energiequellen zulässig. Greg Kolodziejzyk entwickelte und konstruierte hierfür ein spezielles Liegefahrrad mit einer besonders leichten Verkleidung. Er wusste jedoch aus Tests, dass der Glasfaserverkleidung ein neues, windschnittigeres Design zugute kommen würde.

Ben Eadie, der bereits seit 1999 die SolidWorks CAD-Pakete nutzt, kombinierte seine Kenntnisse über die aerodynamische Systemkonstruktion mit den Funktionen zweier SolidWorks Zusatzprodukte: SolidWorks Simulation für die Strukturanalyse und SolidWorks Flow Simulation für die Berechnung der Strömungsdynamik. Die Strukturanalysen waren beim Bestimmen der exakten Position des Fahrers besonders hilfreich. Seine Untersuchung der Körperform von Tieren, die sich in Strömungen mit einer ähnlichen Geschwindigkeit wie von Greg Kolodziejzyk gewünscht (ca. 50 km/h) bewegen, legten für das Verkleidungsdesign eine fischähnliche Form nahe.

Auch wenn Ben Eadie kein Experte in SolidWorks Flow Simulation war, entwickelte er fünf verschiedene Verkleidungskonstruktionen auf Grundlage von 20 bis 30 Analysedurchläufen. Dabei nahm ein Durchlauf jeweils ca. 6 Stunden in Anspruch. Er betont, dass dies mit der für physische Prototypen erforderlichen Zeit verglichen werden muss, deren Konstruktion bei einem einzelnen Modell bis zu zwei Jahre dauern und für Verbesserungen nicht problemlos wiederholt werden kann.

Konstruktionstests anhand der Software wurden schnell zur Normalität. Sobald die Teammitglieder auch nur die geringste Konstruktionsänderung in Betracht zogen, analysierten sie diese zunächst am Computermodell und vergewisserten sich, dass die Änderung den Aufwand wert war. Ben Eadie verdeutlicht, dass es sinnlos ist, Teile vor dem Computertest zu konstruieren. Dank der endgültigen, stromlinienförmigen Konstruktion wie aus einem Guss brach Greg Kolodziejzyk am 20. Juli 2006 den Entfernungsrekord im HPV-24-Stundenrennen mit einer Fahrleistung von 1046,94 km.

### **Rücknahme und Entsorgung**

Wiederverwertung, Demontage oder Recycling von Konstruktionen verlängern nicht nur den Lebenszyklus des Produkts, sondern vereinfachen auch die Sortierung nach Materialtyp und somit die Entsorgung. Ein Beispiel hierfür und für andere Aspekte der nachhaltigen Konstruktion wurde in einem Workshop über dynamisches Design vorgestellt, der im Sommer 2006 am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge, Massachusetts (USA), abgehalten wurde.

---

Wiederverwertung, Demontage oder Recycling von Konstruktionen verlängern nicht nur den Lebenszyklus des Produkts, sondern vereinfachen auch die Sortierung nach Materialtyp und somit die Entsorgung.

Dr. Kim Vandiver, Dekan für „Undergraduate Research“ am MIT, unterstützte das von den Studierenden vorgeschlagene und durchgeführte Projekt „Vehicle Design Summit“ (VDS) 1.0, ein ambitionierter Versuch, den Personenverkehr mittels alternativer Antriebstechnologien zu revolutionieren. Vier gemischte Teams mit jeweils ca. zwölf Studierenden (mit Teilnehmern von 21 Universitäten aus 13 Ländern) erarbeiteten die folgenden vier Ansätze:

- Elektrofahrzeug mit Brennstoffzelle: Eine Wasserstoffzelle erzeugt Elektrizität, die in einer Batterie gespeichert wird, welche wiederum einen Elektromotor antreibt.
- Biokraftstoff-Fahrzeug: Hierbei wird ein umgebauter Dieselmotor mit reinem Pflanzenöl betrieben.
- Assisted Human-Power Vehicle (AHPV): Dies ist eine Kombination aus Fahrrad und Solarenergie.
- Elektrofahrzeug: Dieses wird ausschließlich mit elektrischer Energie betrieben.



Fahrzeuge mit alternativen Kraftstoffen, die im Sommer 2006 innerhalb von neun Wochen von vier Teams im Vehicle Design Summit am MIT entwickelt und konstruiert wurden; die vier Konstruktionen von links nach rechts: Biokraftstoff, Assisted Human Power Vehicle, Elektromotor und Wasserstoffzelle. (Die Bilder wurden vom MIT VDS 1.0 zur Verfügung gestellt.)



Studierende am 2006 MIT Vehicle Design Summit (von links nach rechts): Robyn Allen, Matt Ritter, Nii Armar und Anna Jaffe. (Die Bilder wurden vom MIT VDS 1.0 zur Verfügung gestellt.)

Die Studierenden analysierten das gesamte System des Fahrzeugs sowie die damit verbundenen Umweltauswirkungen. Anschließend konstruierten und änderten sie die einzelnen Fahrzeuge so, dass sie mit einer speziellen Energiequelle angetrieben werden können – selbstverständlich unter Berücksichtigung aller Aspekte der Nachhaltigkeit.

Vom ersten Konzept bis zur endgültigen Konstruktion nutzte ein Großteil der Studierenden SolidWorks und SolidWorks Simulation für die 3D-CAD- und Teil-/Baugruppenanalyse. Das Elektromotor-Team untersuchte beispielsweise mit den Materialanalysefunktionen die Konstruktion des Fahrgestells unter Berücksichtigung der Eigenschaften von Chromstahl. Die Software verdeutlichte dabei Schwachstellen und Durchbiegungen bei speziellen Belastungen. Das Biokraftstoff-Team optimierte mit der CAD-Software das Fahrzeug so, dass es besonders leicht und aerodynamisch ist. Das Brennstoffzellen-Team konzentrierte sich auf die Nutzung recyclingfähiger Materialien, darunter Aluminium für das Fahrgestell und Polypropylen für die Fahrgastzelle. Das letztgenannte Team geht davon aus, dass das Fahrzeug zu 80 - 90 % recycelt werden kann. Alle vier Fahrzeuge wurden im festgelegten Zeitraum (neun Wochen vom Konzept bis zur ersten Fahrt) konstruiert und entsprachen weitgehend den Erwartungen.

---

Das Biokraftstoff-Team optimierte mit der CAD-Software das Fahrzeug so, dass es besonders leicht und aerodynamisch ist. Das Brennstoffzellen-Team konzentrierte sich auf die Nutzung recyclingfähiger Materialien, darunter Aluminium für das Fahrgestell und Polypropylen für die Fahrgastzelle.

Im Januar 2007 startete das Folgeprogramm VDS 2.0 mit dem Ziel, einen Viersitzer mit folgenden Leistungspezifikationen zu entwickeln und zu konstruieren:

1. Minimaler Energieverbrauch bei Konstruktion, Fertigung, Verwendung und Recycling (mit einer Reduzierung um den Faktor 20 im Vergleich zu den herkömmlichen Betriebskosten eines Mittelklassewagens 2006)
2. Realisierung eines Kraftstoffverbrauchs von 200 Meilen (ca. 322 km) pro Gallone (miles per gallon, mpg; 1 Gallone = 3,78 l) und einer Reichweite von 150 Meilen (ca. 242 km)
3. Beschleunigung von 0 auf 100 km/h in 10 Sekunden bei einer Spitzengeschwindigkeit von knapp 200 km/h

Hierzu entwickeln und konstruieren 50 Universitätsteams jeweils eine Unterkomponente eines einzelnen Fahrzeugs und kommen dann für die Endmontage und Testfahrten zusammen. Die Teams haben ihre Fahrzeuge getestet, 40 Exemplare für Crashtests gebaut und vor Kurzem mit der Suche nach einem Hersteller begonnen, um die Produktion aufzunehmen.

## Fazit

Bei der detaillierten Analyse nachhaltiger Konstruktionen sind Kompromisse unumgänglich, die langfristigen Vorteile (und diese sind entscheidend) lassen sich jedoch nicht von der Hand weisen:

- Weniger Umweltschäden
- Verwendung sauberer Technologien in Alltag, Konstruktion und Fertigung
- Niedrigere Wasseraufbereitungskosten
- Weniger Abfälle in Mülldeponien
- Vermeidung von Boden-, Luft- und Wasserverschmutzung
- Schutz von Wäldern und Biodiversität
- Reduzierung des Klimawandels
- Wiederverwertung oder Recycling von Produkten am Ende des Lebenszyklus

Kompromisse sollten mit präzisen Softwareprodukten analysiert werden, deren Ergebnisse von allen Abteilungen im Unternehmen wiederholt, ausgetauscht und analysiert werden können – von Konstruktion und Fertigung bis hin zu Marketing und Transport. Vorausschauende Unternehmen agieren wirtschaftlicher als reaktive, defensive Unternehmen, und nur Unternehmen mit einer starken Wettbewerbsposition können eine Abwanderung in Billiglohnländer verhindern. Software, die nachhaltige Konstruktionsprozesse in allen Phasen des Produktlebenszyklus unterstützt, ist für den Erfolg in der heutigen Konstruktionsumgebung entscheidend.

Unternehmenssitz  
Dassault Systèmes  
SolidWorks Corp.  
300 Baker Avenue  
Concord, MA 01742 USA  
Telefon: +1-978-371-5011  
E-Mail: [info@solidworks.com](mailto:info@solidworks.com)

Hauptsitz Europa  
Telefon: +33-(0)4-13-10-80-20  
E-Mail: [infoeurope@solidworks.com](mailto:infoeurope@solidworks.com)

Niederlassung Deutschland  
Telefon: +49-(0)89-612-956-0  
E-Mail: [info@solidworks.com](mailto:info@solidworks.com)

