

VDI

Zentrum
Ressourceneffizienz

Im Auftrag des:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



STRATEGIEN UND MAßNAHMEN

Steigerung der Ressourceneffizienz
im Unternehmen

Ressourceneffiziente
Produktnutzung

<https://www.ressource-deutschland.de/instrumente/strategien-und-massnahmen/produktbezogen/ressourceneffiziente-produktnutzung/>

1 RESSOURCENEFFIZIENZ, ANWENDUNGSBEREICH, GRENZEN

Ziel und Funktion

Die Realisierung von Funktionen in der Phase der Produktnutzung ist für produzierende Unternehmen das wesentlichste Ziel, da hierdurch direkt der Funktionsumfang sowie die Qualität des Produktes und damit die Kundenzufriedenheit definiert werden. Zusätzlich muss dabei beachtet werden, unter welchem Ressourcenaufwand diese Funktionen bereitgestellt werden. Während die Kosten für die Produktnutzung in den meisten Fällen zwar bei den Kunden anfallen, kann ein effizienter Betrieb einen Wettbewerbsvorteil mit sich bringen. Hierbei ergeben sich viele technologische Herausforderungen und Potenziale. Darüber hinaus müssen auch das Nutzerverhalten und die Definition der bereitgestellten Funktionen an sich mit in die Betrachtung einbezogen werden.

Bezug zur Ressourceneffizienz

Für viele Produkte stellt die Phase der Nutzung den wesentlichsten Beitrag zum Ressourcenverbrauch in ihrem Lebenszyklus dar. Verbesserungen in dieser Phase bezogen auf die Ressourceneffizienz zeigen sich daher oft als besonders wirksam [1]. Aus energetischer Sicht bieten sich hier Potenziale, Treibstoff oder elektrischen Strom einzusparen. Aus Sicht der Materialeffizienz spielen vor allem Aufwände für die Produktion von Ersatzteilen und Betriebsstoffen (z. B. Schmiermittel) sowie die Effizienz von Verarbeitungsprozessen (z. B. Ausschussrate von Werkzeugmaschinen) eine Rolle.

Anwendungsbereiche und Akteure

Die hier vorgestellte Strategie fokussiert insbesondere die Minimierung von Ressourcenverbräuchen, die Produkte mit hohem Energie- und Materialbedarf in der Nutzungsphase betreffen. Hierzu zählen z. B. Fahrzeuge, Werkzeugmaschinen sowie einige Haushaltsgeräte. Verbesserungen der Ressourceneffizienz können primär durch die Produktentwicklung erreicht werden. Zudem spielt das Verhalten des Produktnutzers eine wichtige Rolle.

Grenzen

Optimierungen des Ressourcenverbrauchs in der Nutzungsphase sind zumeist physikalisch begrenzt (z. B. Wirkungsgrad eines Otto-Motors). Für weitere Verbesserungen ist ein Technologiewechsel notwendig. Die zu erwartenden Effizienzgewinne müssen daher den Investitionen für eine Technologieinnovation gegenübergestellt werden.

Einordnung der Strategie/Maßnahme

Bezug	Produkt
Einflussnehmender Akteur	Produktentwicklung
Lebensphasen mit relevanten Auswirkungen	Nutzung, Transport
Lebensweganalyse	erforderlich

2 WEGE DER UMSETZUNG

2.1 Energetische Optimierung von Kraftmaschinen

Eine Verbesserung des Wirkungsgrades von Kraftmaschinen (z. B. Motoren, Verdichtern oder Pumpen) stellt die klassischste Form zur Steigerung der nutzungsbedingten Ressourceneffizienz dar. Die Bandbreite technologischer Handlungsoptionen reicht hierbei von Optimierungen kritischer Steuerungsparameter (z. B. Ventilschließzeiten) mit geringem Einfluss auf das Gesamtsystem bis hin zu tiefgreifenden Technologiesprüngen, welche auch strategische und organisatorische Veränderungen im Unternehmen implizieren (z. B. Wechsel von Verbrennungskraftmaschinen auf Elektroantriebe).

Unabhängig vom Wirkungsgrad lautet die Frage, wie die für den Antrieb der Kraftmaschine notwendige Energie bereitgestellt wird. Hierbei bietet vor allem die Nutzung biobasierter Kraftstoffe oder die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien ein wesentliches Potenzial, um nicht-erneuerbare Rohstoffmengen zu reduzieren, Emissionen zu verringern sowie Kosten einzusparen. Um diese Vorteile zu überprüfen, ist jedoch eine ver-

gleichende Lebenswegbetrachtung zur konventionellen Form der Energieversorgung notwendig (siehe z. B. [2]).

Letztlich kann bereits die richtige Dimensionierung der Antriebe eine wichtige Maßnahme zur Senkung des Energie- und Rohstoffbedarfs in der Produktions- und Nutzungsphase darstellen. So können z. B. Verbrennungsmotoren durch Aufladung kleiner ausgelegt werden (Downsizing), ohne dabei an Leistung einzubüßen [3]. Darüber hinaus ist es wichtig, Antriebe immer entsprechend ihrem effizientesten Betriebspunkt auszuliegen. Über- oder Unterdimensionierung sollte hier unbedingt vermieden werden [4].

Wirkungsgradsteigerung durch Abluftnutzung

Pneumatische Antriebe werden in vielen Bereichen der Automatisierungstechnik eingesetzt, in denen kurze Reaktionszeiten und große Kräfte eine Voraussetzung für reibungslose Produktionsvorgänge darstellen. Problematisch ist jedoch der geringe Wirkungsgrad bei der Druckluftherzeugung im Vergleich zu Elektromotoren (Verluste zwischen 50 und 80 %). An der RWTH Aachen wurde daher eine neue Lösung entwickelt, die es erlaubt, Abluft von abluftgedrosselten Antrieben in einem geschlossenen Kreislauf zu führen. In einem prototypischen Aufbau konnten dabei Reduktionen der Verdichterverluste von bis zu 32 % nachgewiesen werden [5].

2.2 Verringerung des Energiebedarfs durch Leichtbau und Verbesserung der Aerodynamik

Neben der Optimierung des Wirkungsgrades ist es auch sinnvoll, eine Verringerung der vom System benötigten Energie zur Funktionserfüllung anzustreben. Die hier vorliegenden Potenziale setzen sich in Abhängigkeit der betrachteten Produktgruppe unterschiedlich zusammen. Für bewegte Teile gilt hier eine Reduzierung der Masse als wesentliche Strategie. Das Prinzip Leichtbau kann dabei entweder durch eine Optimierung der Geometrie (z. B. durch Orientierung am Kraftfluss) oder durch die Materialauswahl umgesetzt werden. Während eine Optimierung der Geometrie zumeist auch zu Ressourceneinsparungen in der Herstellung des Produktes führt, ist bei der Materialauswahl zu beachten, dass nicht zu hohe Res-

sourcenaufwände in der Materialherstellung und Probleme im Recycling entstehen.

Beispielsweise eignen sich Faserverbundstoffe zur Gewichtsreduktion in der Nutzungsphase. Die Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundstoffen ist jedoch sehr energieintensiv im Vergleich zu Stahl oder Aluminium. Darüber hinaus können Komponenten aus Faserverbundstoffen nur schlecht recycelt, repariert und wiederaufgearbeitet werden [6, S. 16]. Weiterhin kann Leichtbau auch kontraproduktiv wirken, wenn die Funktion des Produktes dadurch beeinträchtigt wird. Dies ist z. B. bei Werkzeugmaschinenbauten der Fall, bei denen das Gewicht dazu beiträgt, Schwingungen der Maschine zu verhindern und damit die Präzision der Fertigung mit zu beeinflussen.

Insbesondere bei Fahrzeugen kann als weiterer Stellhebel zur Reduktion der benötigten Energie in der Nutzung auch die Aerodynamik optimiert werden. Hierzu eignen sich insbesondere Methoden der numerischen Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics) als wesentlicher Bestandteil vieler Simulationstools.

Bionisches Design einer Flugzeugtrennwand

Ein Flugzeughersteller hat gemeinsam mit einem Architekturbüro eine Flugzeugtrennwand entwickelt, die auf bionischen Prinzipien beruht. Hierbei wurde als Grundlage für den strukturbildenden Optimierungsalgorithmus das Ausbreitungsverhalten eines Schleimpilzes (biologisches Vorbild) gewählt. Die hierdurch erzeugten diffizilen Strukturen wurden hinsichtlich des Gewichts und unter der Randbedingung angemessener statischer Belastungsfähigkeit (Durchbiegung) optimiert. Insgesamt konnten durch den Entwurf 45 % des Gewichts der Trennwand eingespart werden. Die Fertigung der Trennwand erfolgt mit additiven Verfahren [7].

2.3 Antizipation und Beeinflussung des Nutzerverhaltens

Neben der technisch-physikalischen Auslegung spielen auch verhaltensbezogene Maßnahmen eine Rolle, welche die Interaktion des Nutzers mit dem

Produkt in den Vordergrund rücken. Eine grundlegende Prämisse stellt hier die hinreichende Kennzeichnung einer ressourceneffizienten Betriebsweise für den Nutzer dar. Darüber hinaus sollten Fehlgebräuche, die einen erhöhten Ressourcenverbrauch bedingen (z. B. ausbleibende Abschaltung einer Kaffeemaschine nach Gebrauch), anhand von Nutzerstudien antizipiert werden. In einigen Fällen können hier bereits einfache Features wie Stand-by-Funktionen Abhilfe schaffen. In anderen Fällen hilft es unter Umständen, Ressourcenverbräuche transparent aufzuzeigen und Tipps für einen verbesserten Betrieb zu geben [8]. Ein Beispiel hierfür ist eine Darstellung der Treibhausgasemissionen im Cockpit eines Fahrzeugs, ggf. sogar mit Vergleichswerten. Diese Information fördert die Bewusstseinsbildung für den Ressourcenverbrauch und hilft dabei, den individuellen Fahrstil einzuschätzen und zu verbessern. Eine weitere häufig genutzte Option zur Minimierung des Ressourcenaufwandes besteht darin, umweltgerechte Betriebsmodi bereitzustellen, die Produktnutzern die Möglichkeit geben, den Ressourcenverbrauch in der Nutzung zu verringern (z. B. Eco-Modus einer Waschmaschine).

Smarte Visualisierung des Energieverbrauchs in Privathaushalten

An der Hochschule Luzern wird derzeit daran geforscht, wie in zukünftigen Generationen intelligenter Stromzähler der gesamte Stromverbrauch auf einzelne Geräte zurückgeführt werden kann. Mithilfe der Technologie "Non-Intrusive Appliance Load Monitoring" soll es möglich sein, die jeweiligen Verbraucher anhand ihrer spezifischen Signatur im Stromnetz zu erkennen. Auf Basis dieser erhöhten Transparenz können dann, ggf. durch geeignete Visualisierung, Verhaltensänderungen des Nutzers motiviert werden [9].

3 METHODEN

3.1 Simulations- und Optimierungstools

Für die Optimierung des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase können verschiedene Simulationswerkzeuge eingesetzt werden. Die Palette reicht hierbei von thermodynamischen Modellen zur Berechnung des Wirkungsgrades über Belastungsmodelle des Produktes für die beanspruchungsge-

rechte Konstruktion bis hin zur Strömungssimulation für verbesserte Aerodynamik.

3.2 Innovationsradar

Da der nutzungsbedingte Ressourcenverbrauch stark von den im Produkt verwendeten Technologien abhängt, ist es sinnvoll, sich regelmäßig über neue Entwicklungen und technologische Innovationen zu informieren. Das VDI Zentrum Ressourceneffizienz bietet hierfür einen Innovationsradar an, in dem regelmäßig neue Technologien mit Bezug zur Ressourceneffizienz vorgestellt werden [10].

3.3 Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)

Eine „Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse“ nach DIN EN 60812:2006-11 [11] bezeichnet ein systematisches Verfahren, um mögliche Fehler eines Produktes im Vorfeld zu erkennen und geeignete Maßnahmen zur Fehlervermeidung einzuleiten. Mit Fehlern können einerseits technische Fehlfunktionen gemeint sein, die einen effizienten Betrieb des Produktes beeinträchtigen (z. B. Regelprobleme einer Heizung). Außerdem können hier Fehlbenutzungen des Kunden mit berücksichtigt werden.

Der Ablauf der Methode sieht dabei zunächst eine Strukturierung des Produktes in Teilsysteme und Funktionen vor. Anschließend erfolgt die Bestimmung von Fehlerarten, möglichen Ursachen und damit verbundenen Folgen. Die sich ergebenden Risiken können dann nach ihrer Schwere anhand einer Risiko-Prioritätszahl gegeneinander priorisiert werden, die sich aus der Auftretenswahrscheinlichkeit, der Bedeutung und der Entdeckungswahrscheinlichkeit berechnet. Außerdem ergibt sich hier die Möglichkeit, geeignete Maßnahmen zur Fehlerbehebung zu identifizieren [12].

3.4 Nutzungsstudien

Die Antizipation des Nutzerverhaltens lässt sich auf verschiedene Arten realisieren. Einerseits bieten sich hier Nutzerstudien an. Diese können als Befragungen gestaltet sein (z. B. Interviews bzgl. der Nutzung des "Eco Modus" einer Waschmaschine). Problematisch ist jedoch, dass zwischen den Angaben der befragten Nutzer und dem tatsächlichen Verhalten durchaus Abweichungen auftreten können (Antworttendenz [13, S. 236])

Aus diesem Grund sollten nach Möglichkeit (zusätzlich) objektive Beobachtungen oder Experimente mit Kunden bzgl. ihres Nutzerverhaltens durchgeführt werden. Die zunehmende Verbreitung von Sensorik in Produkten bietet zu diesem Zweck mittlerweile eine objektive Grundlage. Hierdurch kann z. B. geschlussfolgert werden, welche Features des Produktes vorrangig und in welcher Form genutzt werden, um die Funktionen zukünftiger Produkte entsprechend anzupassen.

3.5 Nudging

Über eine Analyse des Nutzungsverhaltens hinaus, können im Produktdesign auch Methoden für die gezielte Beeinflussung des Verhaltens vorgesehen werden. Ein Beispiel hierfür sind sogenannte "Nudges". Der Begriff Nudge (Schubs) kommt ursprünglich aus der Verhaltensökonomik und bezeichnet psychologische Kniffe, um die Handlungen von Menschen in eine bestimmte Richtung zu lenken. Hierdurch ergeben sich auch Potenziale, um Produktnutzer zu einem ressourcenschonenderen Umgang mit dem Produkt zu bewegen. Ein Beispiel hierfür ist die Definition von Standardeinstellungen. So konnte beispielsweise in einem Experiment an der Rutgers University in New Jersey nachgewiesen werden, dass bei einem Wechsel der Standardeinstellung der Drucker von einseitigem zu doppelseitigem Druck in nur einem Semester Papier im Äquivalent zu 620 Bäumen eingespart werden konnte [14].

4 LITERATUR

- [1] **Luttropp, C. und Lagerstedt, J. (2006):** EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. In: Journal of Cleaner Production, 14(15), 1396-1408. ISSN 0959-6526. doi:10.1016/j.jclepro.2005.11.022
- [2] **Hawkins, T. R.; Singh, B.; Majeau-Bettez, G. und Strømman, A. H. (2013):** Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. In: Journal of Industrial Ecology, 17(1), 53-64.
- [3] **Golloch, R. und Merker, G. P. (2005):** Downsizing bei Verbrennungsmotoren. In: MTZ - Motortechnische Zeitschrift, 66(2), 126-131. ISSN 0024-8525. doi:10.1007/BF03227254
- [4] **Herkommer, G. (2010):** Die Fallstricke bei der Effizienzbetrachtung [online]. Computer-automation.de, 13. April 2010 [abgerufen am: 14.11.2018], verfügbar unter: <https://www.computer-automation.de/feldebene/antriebe/artikel/74143/2/>
- [5] **RWTH Aachen (2013):** Wirkungsgradsteigerung durch Abluftnutzung [online]. AIF-IGF Projektdatenbank, 14. November 2018, 12:00, verfügbar unter: <https://www.aif.de/innovationskraft/innovationsfoerderung/industrielle-gemeinschaftsforschung/igf-steckbrief.php?id=14520&suchtext=wirkungsgrad>
- [6] **e-mobil BW GmbH (2012):** Leichtbau in Mobilität und Fertigung - Ökologische Aspekte [online]. e-mobil BW GmbH - Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg [abgerufen am: 14.11.2018], verfügbar unter: <https://www.leichtbau-bw.de/service/publikationen.html>
- [7] **Micallef, K. (2016):** Airbus entwickelt bionisches Design für die Zukunft des Fliegens [online]. Redshift by Autodesk, 2. August 2016 [abgerufen am: 14.11.2018], verfügbar unter: <https://www.autodesk.de/redshift/bionisches-design/>

- [8] **Telenko, C.; O'Rourke, J. M.; Conner Seepersad, C. und Webber, M. E. (2016):** A Compilation of Design for Environment Guidelines. In: Journal of Mechanical Design, 138(3), 031102-031102-11. ISSN 1050-0472. doi:10.1115/1.4032095
- [9] **Rumsch, A. (2017):** Der Schlüssel zur Energieeffizienz «SmartNIALMeter» [online]. Hochschule Luzern [abgerufen am: 14.11.2018], verfügbar unter: <https://www.hslu.ch/de-ch/technik-architektur/forschung/kompetenzzentren/ihomelab/news/smartnialmeter/>
- [10] **VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2018):** Arbeitsmittel für mehr Ressourceneffizienz [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 16.11.2018], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/instrumente/>
- [11] **DIN EN 60812:2006-11:** Deutsches Institut für Normung e. V., Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen - Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA), Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [12] **Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2018):** Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) [online]. Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat [abgerufen am: 19.11.2018], verfügbar unter: https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6_MethodenTechniken/63_Analysetechniken/633_FehlermoeglichkeitUndEinflussanalyse/fehlermoeglichkeitundeinflussanalyse-node.html
- [13] **Bortz, J. und Döring, N. (2006):** Forschungsmethoden und Evaluation - Für Human- und Sozialwissenschaftler ; mit 87 Tabellen. 4., überarb. Aufl., [Nachdr.], Springer-Medizin-Verl., Heidelberg, ISBN 978-3-540-33305-0.
- [14] **Schubert, C. (2017):** Green nudges: Do they work? Are they ethical? In: Ecological Economics, 132, 329-342. ISSN 0921-8009. doi:10.1016/j.ecolecon.2016.11.009