

Gemeinsame Studie „Life Cycle Cooperation“
von EADS IW und EOS

Gemeinsame Studie „Life Cycle Cooperation“ von EADS IW und EOS

Die Wissensbasis erweitern: ökologisches Design einer Anwendung in der Luft- und Raumfahrt durch Nutzung der Additiven Fertigungstechnologie.

Zusammenfassung

EADS sieht sich mit den globalen Auswirkungen seiner Fertigungsaktivitäten konfrontiert. Diese können sich sowohl während der Nutzungs- als auch während der Fertigungsphase seiner Produkte in Kosten und externen Effekten niederschlagen.

Im Rahmen einer „Life Cycle Cooperation“ haben EADS IW – als Kunde – und EOS – als Technologielieferant – die hier beschriebene Studie durchgeführt. Ziel dieser Zusammenarbeit war es, ein besseres Verständnis für spezifische Anforderungen im Luft- und Raumfahrtbereich zu entwickeln und sich einen Überblick über die Eignung der EOS-Technologie für diese Industrie in puncto Nachhaltigkeit und ökologische Aspekte zu verschaffen. Im Mittelpunkt der Studie stand die Herstellung einer Luftfahrtanwendung – konkret eines Landeklappenscharniers – mit Hilfe der Additiven Fertigungstechnologie (Additive Manufacturing, kurz „AM“).

Zunächst wurde eine herkömmliche, aus Stahl gefertigte Landeklappe mit der designoptimierten, per Additiver Fertigung hergestellten Variante aus Titan verglichen. Dafür wurde der Energiebedarf über den gesamten Lebenszyklus des jeweiligen Produkts gemessen und berechnet. Bei der für diese Studie ausgewählten Luftfahrtanwendung ist der Energieverbrauch in der Nutzungsphase in der Regel hundertmal höher als in den sogenannten statischen Phasen des Produktlebenszyklus. Dank seiner optimierten Geometrie und der Verwendung des alternativen Werkstoffs Titan (statt Stahl) besitzt das mit der AM-Technologie gefertigte EOS-Produkt das Potenzial, den Energiebedarf in der Nutzungsphase um fast 40 % zu verringern.

Im nächsten Schritt wurden die statischen Phasen untersucht. Dafür wurde der AM-Fertigungsprozess für die designoptimierte EADS-Landeklappe aus Titan untersucht: einmal im Rahmen des Feingussverfahrens und einmal auf der EOS-Plattform. Der bei der Fertigung des Scharniers anfallende Energieverbrauch – einschließlich der Rohstoffherstellung, Fertigung und Entsorgung – ist auf der EOS-Plattform etwas geringer. Dies liegt im Wesentlichen am unterschiedlichen Materialausnutzungsgrad (MAG) der verglichenen Prozesse und einem während des Fertigungsprozesses und der damit verbundenen Wärmebehandlungen höheren Energieverbrauch. In einem nächsten Schritt untersuchte man das Einsparpotenzial während der statischen Phasen des Lebenszyklus, indem die EOS-Technologie mit anderen Herstellungsverfahren verglichen wurde.

Einleitung

Überlegungen zum Lebenszyklus eines Produkts werden heutzutage immer wichtiger, da das Thema Nachhaltigkeit – und damit verbunden Qualität und Umwelt – in der Branche eine zunehmend wichtigere Rolle spielt. Im Normalfall werden Analysen dieser Art von einem Anlagenhersteller oder Materiallieferanten selbst durchgeführt. Im Gegensatz dazu wollten EADS IW und EOS einen neuen Ansatz entwickeln, der die verschiedenen Akteure des Lebenszyklus eines Produkts zusammenbringt, um eine übergreifende, gemeinsame Studie durchzuführen. Es scheint in einem globalen System von großer Bedeutung zu sein, ein Verständnis für die gegenseitigen Abhängigkeiten der Akteure hinsichtlich der Umweltauswirkungen und der damit verbundenen potenziellen Umweltkosten zu entwickeln. Mit dieser Studie möchten Ihnen die Partner der Studie eine neue Form der Kooperation vorstellen, die so genannte „Life Cycle Cooperation“.

Diese gemeinsame Studie liefert nicht nur Ergebnisse, sondern hat zunächst das Ziel, zwei verschiedene Methoden auf Basis des gleichen Herstellungsprozesses zusammenzuführen. In einem weiteren Schritt soll daraus ein ganzheitlicher Ansatz mit gemeinsamen Zielen und einem anschließenden gemeinsamen Arbeitsprozess entwickelt werden.

So bewerten wir die Bedeutung der „Life Cycle Cooperation“ auf der Forschungs- und Entwicklungsebene.

Herkömmliches Design des im Stahlgussverfahren gefertigten Landeklappenscharniers (links) und Topologie-optimiertes Design des lasergesinterten Landeklappenscharniers aus Titan (rechts).



Abb. 1: Landeklappenscharnier als Gegenstand der bei EADS IW durchgeführten Studie, Quelle: EADS IW

Diese Fallstudie beschäftigt sich mit der Fertigung der in Abb. 1 oben gezeigten EADS-Anwendung – einem Landeklappenscharnier – auf einer EOS-Plattform. Sie bindet die gesamte Wertschöpfungskette im Rahmen einer Ökobilanzierung ein.

1. Zwei unabhängige Studien: eine unvollendete Aufgabe

EADS IW und der Ökodesign-Ansatz

EADS (European Aeronautic Defence and Space Company) ist Weltmarktführer im Bereich Luftfahrt, Abwehr und begleitende Dienstleistungen. Im Rahmen seines strategischen Unternehmensfahrplans „Vision 2020“, der den Zielen des *Advisory Council for Aeronautics Research in Europe (ACARE) 2020* und *Flight path 2050* entspricht, möchte EADS sicherstellen, dass der Konzern für die Herausforderungen des 21. Jahrhunderts, insbesondere im Hinblick auf das Thema Nachhaltigkeit gerüstet ist. Aus ingenieurtechnischer Sicht beinhaltet dies die Entwicklung eines ökologischen Design-Ansatzes, für den Einflussfaktoren wie Qualität, Kosten und Umweltauswirkungen in den Entscheidungsfindungsprozess für eine Gestaltungs- und Fertigungslösung eingebunden werden.

EADS ist global führend in den Bereichen Luft- und Raumfahrt, Verteidigung und verwandte Dienstleistungen. 2012 erzielte die Gruppe – bestehend aus Airbus, Astrium, Cassidian und Eurocopter – einen Umsatz von 56,5 Mrd Euro und beschäftigte über 140.000 Mitarbeiter.

EADS Innovation Works (IW), das unternehmensinterne Forschungszentrum von EADS, arbeitete¹ an der Anwendung neuer, von Airbus entwickelter Kriterien für die Bewertung der technologischen Reife (*Technology Readiness Level, TRL*) unterschiedlicher Herstellungsverfahren. Hierbei wurde der Schwerpunkt auf nachhaltige und ökologische Aspekte im Luftfahrtsektor gesetzt. So hat die Forschung und Entwicklung in der Luftfahrt gemäß eines in den frühen 1990er Jahren von der NASA entwickelten Konzepts einen neunstufigen Prozess (besser: neun TRL-Stufen) zu durchlaufen, bevor eine Technologie die nötige Reife für die Anwendung in der Fertigung hat. Für jede TRL-Prüfung wird der Reifeentwicklungsgrad der Technologie anhand definierter Kriterien untersucht, um die Machbarkeit zu bewerten und kontinuierliche Investitionen zu rechtfertigen.

Als ein Ergebnis aus der engen Zusammenarbeit zwischen EADS IW und Airbus wurde jetzt auch der Reifegrad der Technologie unter Nachhaltigkeits- und Umweltaspekten bewertet. Mit diesem neuen Kriterienkatalog werden Umweltauswirkungen einer Technologie bereits in frühen Forschungsstadien untersucht. Dies ermöglicht den ökologischen Design-Ansatz für eine Anwendung. Danach muss die Umsetzung des Plans sichergestellt werden, um die „Nachhaltigkeitsleistung“ der entwickelten Anwendung in den anschließenden TRL-Ebenen weiterzuentwickeln.

EADS IW verstand, welche Hürden auf dem Weg zur Umsetzung einer nachhaltigen Strategie gemeistert werden müssen. Das Unternehmen konzentrierte sich bei seinen F&E-Entwicklungen auf eine Reihe von Technologien, mit denen sich die Gesamteffizienz zukünftiger EADS-Produkte über ihren Lebenszyklus hinweg verbessern lässt.

Die Additive Fertigung wird bei EADS bereits seit einem Jahrzehnt für Polymere eingesetzt. Jedoch erst kürzlich wurden auch bei Metallen signifikante Fortschritte erzielt. Es sprechen einige wichtige Vorteile für die Verwendung der additiven Metallverarbeitungstechnologie bei EADS: zum einen die potenzielle Verringerung des Ressourcenverbrauchs in der Fertigungsphase. In Verbindung damit sind die geometrischen Freiheiten zu sehen, die eine bauliche Optimierung und damit eine Gewichtsreduzierung von Bauteilen und eine Verbesserung der Umweltleistung während der Verwendungsphase erlauben. Aus diesen Gründen ist diese Technologie ein interessanter Kandidat für eine Bewertung nach einem wissenschaftlichen Ansatz.

¹ Projekt von 2009 bis 2012, von der britischen Innovationsagentur Technology Strategy Board, TSB finanziert.

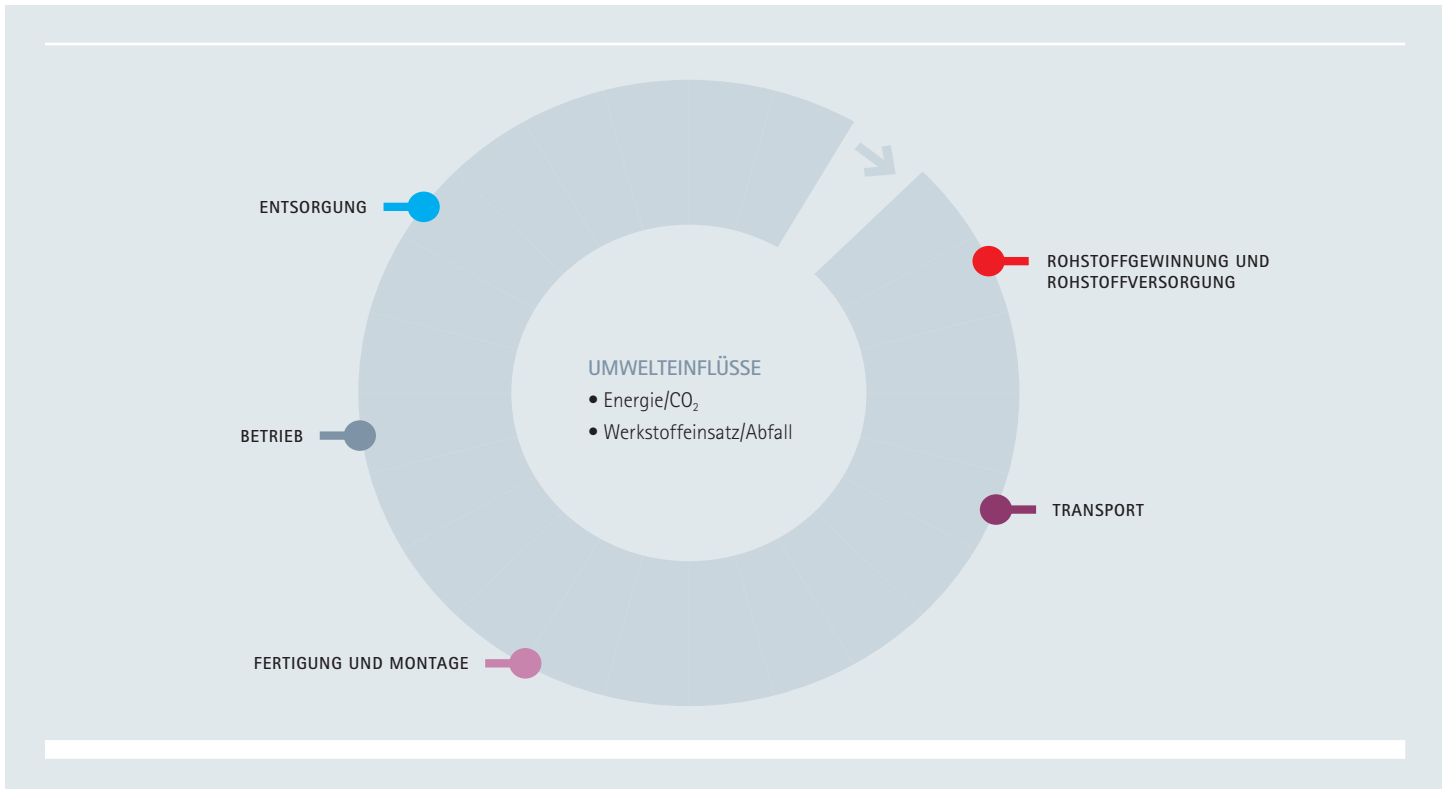


Abb. 2: Kurze Beschreibung der in der ersten von EADS IW zum Landeklappenscharnier durchgeführten Studie, Quelle: EADS IW

Die hier angewandte Methode richtete sich nach der bei Airbus eingesetzten, vereinfachten Ökobilanz (*Streamlined Life Cycle Assessment*, SLCA). Diese basiert auf der Normenreihe ISO 14040. Die Ökobilanz konzentriert sich auf fünf verschiedene Phasen: Rohstoffgewinnung und Rohstoffversorgung, Transport, Fertigung und Montage, Nutzung und Entsorgung.

In den folgenden Absätzen sind die wichtigsten Ergebnisse der ersten Studie dargestellt, bei der die optimierte Geometrie des Additive Schichtbauverfahrens „Direktes Metall-Laser-Sintern“ (DMLS) mit einem herkömmlichen und realistischen Ansatz für das Gussverfahren verglichen wurde.

Vor diesem Hintergrund und im Rahmen der Ergebnisse des TSB-finanzierten Projekts wurde ein „Streamlined Life Cycle Assessment“ (SLCA) für ein generisches Landeklappenscharnier durchgeführt. Dabei wurde das DMLS-Verfahren von EOS einem herkömmlichen Gussverfahren als Vertreter traditioneller Verfahren gegenübergestellt. Dank der hohen

gestalterischen Freiheit des EOS-Prozesses konnte das Design des Landeklappenscharniers im Rahmen einer iterativen Forschungs- und Entwicklungsanalyse (FtE) optimiert werden.

Beim Vergleich des designoptimierten, auf der EOSINT-Anlage aus Titan gefertigten Landeklappenscharniers mit einem im herkömmlichen Stahlsandgussverfahren hergestellten Scharnier im klassischen Design ergaben sich für das DMLS-Verfahren interessante Ergebnisse hinsichtlich der Umweltauswirkungen:

- Dank des optimierten Designs wurde weniger Rohstoff verbraucht. Das Verfahren dient der Herstellung von Net-Shape-Bauteilen und erzeugt im Vergleich zum Stahlsandgussverfahren weniger Abfall, wodurch auch der Gesamtmaterialeinsatzgrad verbessert wird. Dies führt zu einer Gewichtseinsparung von 10 kg pro Flugzeug, was über die Lebensdauer des Flugzeugs zu signifikanten Kosteneinsparungen beim Treibstoffverbrauch und der CO₂-Steuer führt.

- Abb. 3 zeigt, wie viel Energie über den Lebenszyklus hinweg (Grafik links) bzw. nur während der statischen Phasen (Grafik rechts) verbraucht wird. Der Maßstab in der linken Grafik ist hundertmal höher als in der rechten. Die anderen Phasen sind in der Darstellung nicht sichtbar. Dies zeigt, wie wichtig die Nutzungsphase im Vergleich zu allen anderen Phasen des Lebenszyklus ist. Wie in der rechten Grafik von Abb. 3 zu sehen ist, wird während der statischen Phasen für den additiven DMLS-Prozess auf einer EOSINT-Anlage des Typs M 270 mehr Energie als beim Sandgussverfahren verbraucht.

- Für die Teileherstellung wird mehr Energie verbraucht, da die Fertigung eines Bauteils aus Titan – wie auch das EOS-DMLS-Verfahren an sich – aufgrund der während des Laser-Sinter-Prozesses zu verzeichnenden Wärmeverluste und des dadurch benötigten Kühlsystems relativ energieintensiv ist. Zudem sind in der Nutzungsphase die Auswirkungen hinsichtlich des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus des Scharniers hinweg am größten (siehe Grafik links, in Abb. 3). Der Anstieg des Energiebedarfs und der indirekten CO₂-Emissionen in den statischen Phasen ist vernachlässigbar. Denn die Einsparung durch den dank des optimierten Designs verzeichneten Gewichtsvorteil, der sich aus der gestalterischen Freiheit des DMLS-Prozesses ergibt, wiegt dies allemal auf.

Die während der Verwendungsphase des Scharniers verbrauchte Energie (Grafik links) ist in etwa hundertmal höher als der Energieverbrauch in den statischen Phasen. Letzterer ist zwar in der linken Grafik der Abbildung nicht signifikant, lässt sich jedoch mit der rechten Grafik besser beschreiben. Die Optimierung des Designs wirkt sich demnach direkt auf die Umwelteinflüsse in der Nutzungsphase aus.

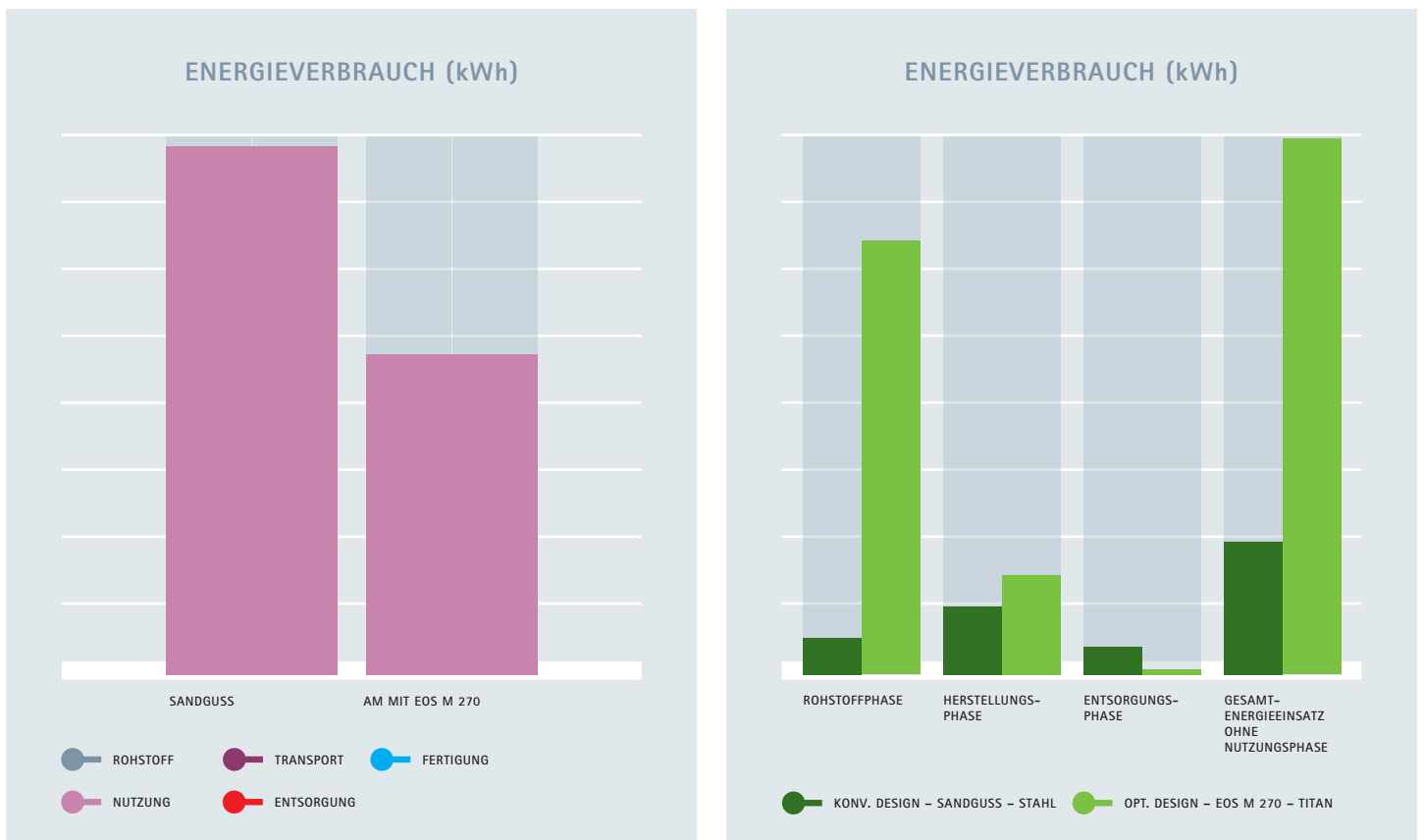


Abb. 3: Energieverbrauch beider Prozesse über die Lebensdauer des Scharniers (in kWh, linke Grafik) und Energieverbrauch während der statischen Phasen des Lebenszyklus (in kWh, rechte Grafik), Quelle: TSB-finanziertes Projekt – EADS IW, 2009

- Hinsichtlich der CO₂-Emissionen ähneln die zu vergleichenden Ergebnisse beider Prozesse den in Abb. 3 dargestellten Resultaten. Nach unserem Modell gibt es keinen CO₂-Ausstoß vor Ort, d. h. nur elektrisch betriebene Geräte, die im Rahmen des Herstellungsprozesses verwendet werden. Insofern handelt es sich dabei um indirekte Emissionen, die bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen, um den vor Ort benötigten Strom zu erzeugen.
- Bezüglich des Trägerpulvers gibt es ein potenzielles Recyclingproblem, da es noch immer als Gefahrenstoff angesehen wird. Das Trägerpulver ist das Pulver, das während des Prozesses lasergesintert wird, aber kein Bestandteil des Bauteils ist.

Da diese erste Studie unter industriellen Gesichtspunkten durchgeführt wurde, wurden ausschließlich realistische Kombinationen untersucht. Vor diesem Hintergrund ist zu berücksichtigen, dass beim Vergleich des Gussverfahrens mit der DMLS-Lösung mehrere Variablen gleichzeitig verändert wurden:

- Die Nutzung einer anderen Technologie
- Die Verwendung eines anderen Materials (Titan statt Stahl)
- Die Optimierung der Geometrie durch die von der DMLS-Technologie eröffneten Net-Shape-Möglichkeiten

Die erste Studie verwendete beim Vergleich der untersuchten Verfahren viele Variablen und erlaubte, die Bedeutung der Nutzungsphase im Rahmen einer realistischen Fallstudie zu bewerten. Hier war es jedoch nicht möglich die Fertigungsphase isoliert zu betrachten. Aus diesem Grund konzentrierte sich eine nächste Studie ausschließlich auf die strikte Änderung des Herstellungsverfahrens, um die Auswirkungen während dieser Phase künftig genauer nachvollziehen zu können. So entfernte die zweite Studie zwei Variablen aus der Gleichung: Das verwendete Material ist Titan und das Design des Scharniers ist optimiert.

Bevor nun mit der zweiten und aktuellen Studie begonnen werden konnte, ging EADS IW in einem nächsten Schritt auf EOS zu, die die Plattform entwickelt hat. EADS IW beschrieb EOS, wie die Plattform in der Luft-/Raumfahrt eingesetzt wird, und bat sie darum, die Umweltleistung der Plattform an sich zu bewerten. Es stellte sich heraus, dass EOS bereits aus der eigenen Perspektive eine ähnliche Studie durch-

geführt hatte, die eine exzellente Grundlage für den Vergleich bot. Die „Life Cycle Cooperation“ (LCC) zwischen EADS IW und EOS war somit begründet.

EOS und sein CO₂-Fußabdruck (PCF)

Das 1989 gegründete Unternehmen EOS mit Hauptsitz in Deutschland ist heute Technologie- und Marktführer für designgesteuerte integrierte e-Manufacturing-Lösungen für industrielle Anwendungen. Das modular gestaltete EOS-Lösungsportfolio stützt sich auf Systeme, Software, Materialien und deren Weiterentwicklung. Vervollständigt wird das Angebotsspektrum des Unternehmens durch eine Vielzahl an Leistungen, wie Wartung, Anwendungsberatung und Schulungsangebote. Dieses Verfahren der Additiven Fertigung (AM) ermöglicht die schnelle, flexible und kostengünstige Produktion von Bauteilen zu wiederholbaren industriellen Qualitätsstandards. Die revolutionäre Technologie ebnet damit den Weg für einen Paradigmenwechsel in Produktdesign und Produktion. Sie beschleunigt die Produktentwicklung, bietet gestalterische Freiheiten, ermöglicht Leichtbaustrukturen und Bauteiloptimierung, fördert die funktionelle Integration von Teilen und eröffnete ihren Kunden dadurch entscheidende Marktvorteile.

Nachhaltigkeitsthemen gewinnen für Unternehmen immer mehr an Bedeutung. Für EOS haben Nachhaltigkeitsaspekte in dreierlei Hinsicht strategische Bedeutung:

1. Grundkonzept: EOS möchte ein besseres Verständnis für die Auswirkungen der eigenen Technologie im Fertigungsprozess entwickeln. Dabei geht es insbesondere um die Faktoren Ressourcen- und Energieverbrauch sowie Gesamtabfallerzeugung.
2. Ziel: EOS möchte Wissen dazu aufbauen, welche mit dem DMLS-Verfahren gebauten Anwendungen bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten das größte Einsparpotenzial besitzen. Dabei geht es z. B. um die Verringerung der benötigten fossilen Brennstoffe/Energie oder die Einsparung von Ressourcen.
3. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung: EOS möchte die Nutzer der DMLS-Technologie aufbauend auf diesem Wissen bei der Erfüllung ihrer eigenen Nachhaltigkeitsziele unterstützen.

In den vergangenen zwei Jahren hat EOS ein Grundkonzept für diesen strategischen Ansatz entwickelt. Die CO₂-Bilanz, die EOS für 1 kg lasergesintertes Material durchgeführt hat, bestätigte das Resultat der EADS-Studie und führte zur Erarbeitung einer Datenbank, die EOS-Kunden wie auch EADS IW offensteht.

Die Studie stützte sich auf die Richtlinien der von der britischen Normungsorganisation BSI herausgegebenen PAS 2050². Dies half dabei, Antworten auf grundlegende Fragen zu finden. So etwa wurden die Grenzen der Anlage festgelegt, die letztendlich unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus definiert wurden. Die Verwendungsphase wurde nicht betrachtet, da die PCF-Datenbank exemplarisch für 1 kg

Bei der Datenerfassung wurden die eigenen Bewertungen von EOS auf Basis einer sorgfältigen und einschlägigen Methodologie durchgeführt, insbesondere hinsichtlich des Energieverbrauchs von EOS-Anlagen und Peripheriegeräten im Fertigungsprozess selbst. In anderen Bereichen der Studie musste man sogenannte sekundäre Daten aus externen Bewertungen oder Datenbanken nutzen.

Die Datenbank enthält nun Daten zum Energieverbrauch und zu den CO₂-Emissionen verschiedener Werkstoffe, die auf den diversen EOS-Plattformen zum Einsatz kommen.

Diese Bewertung ergab, dass der Fertigungsprozess an sich relativ energieintensiv erscheint, wobei jedoch keine Vergleiche mit anderen

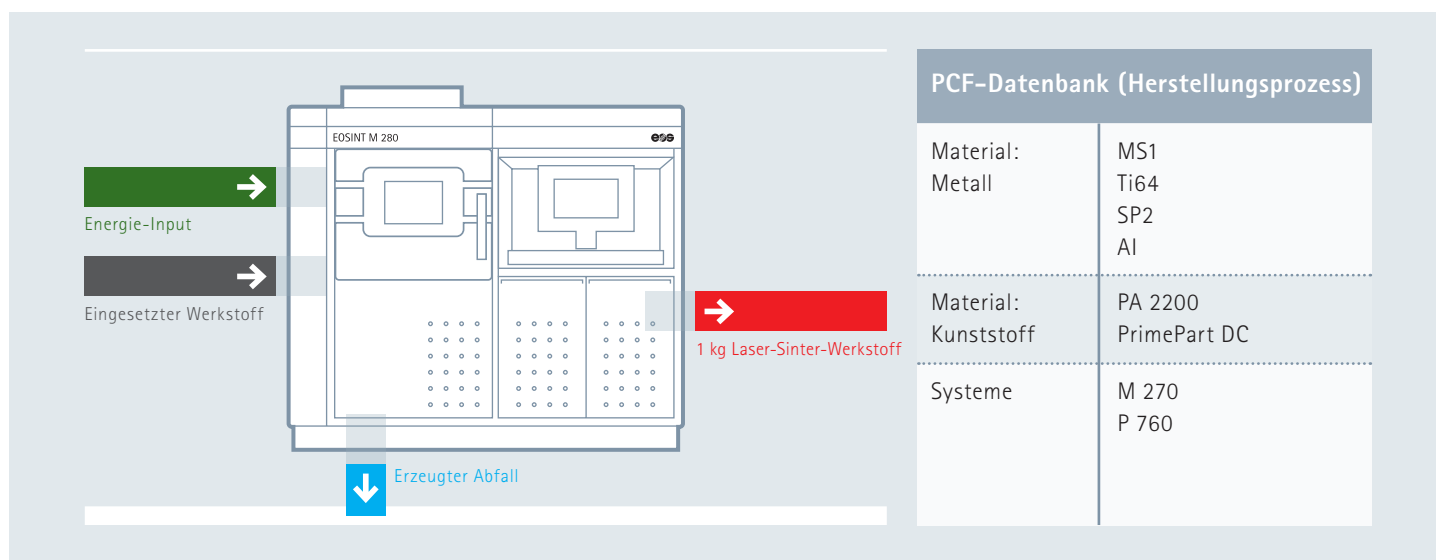


Abb. 4: CO₂-Fußabdruck (PCF), erster Ansatz von EOS³

Laser-Sinter-Werkstoff, nicht jedoch für eine bestimmte Anwendung erarbeitet wurde. Der CO₂-Fußabdruck konzentrierte sich nur auf die frühen Produktphasen, wie die Rohstoffgewinnung und -versorgung, den Transport und die Fertigung. Das Endergebnis ist die Menge an CO₂-Äquivalenten, d. h. die Summe aller relevanten Treibhausgase, umgerechnet in CO₂, die bis zum Abschluss der Fertigungsphase des Bauteils ausgestoßen wird.

Produktionsverfahren angestellt wurden. Der größte Anteil am Energieverbrauch im Herstellungsprozess entfällt auf die Rohstoffgewinnung und die EOS-Plattformen mit ihren Kühlsystemen. Die Ergebnisse zeigten, dass das größte Potenzial zur Einsparung von Energieverbrauch und CO₂-bedingten Emissionen in der Nutzungsphase eines lasergesinterten Bauteils liegt.

² Öffentlich verfügbare Spezifikation.

³ Die Verdüsung des Pulvers wurde im Rahmen der Ökobilanz ursprünglich nicht betrachtet. Diese Studie konzentrierte sich insbesondere auf die Fertigungsphase.

Wie bereits erwähnt ist die Ermittlung des höchstmöglichen Beitrags zur nachhaltigen Entwicklung nur dann möglich, wenn EOS enger mit seinen Kunden und den Nutzern der EOS-Technologie zusammenarbeitet. Nur im Rahmen der gemeinsamen Reflexion kann sich ein besseres Verständnis dafür entwickeln, welche Applikationen zur nachhaltigen Entwicklung beitragen und wie hoch ihr Beitrag sein kann.

Dementsprechend bestand der nächste Schritt darin, diese Datenbank gemeinsam mit einem Kunden zu nutzen, um die zugeführte Energie und die CO₂-Emissionen für eine konkrete Anwendung zu berechnen. EADS IW und seine erste, intern durchgeführte Umweltverträglichkeitsprüfung war damit sehr interessant.

| | EADS IW | EOS |
|--|---|--|
| Studie | Vereinfachte Ökobilanz (SLCA) | CO ₂ -Fußabdruck (PCF) |
| Schwerpunkte | Bewertung des Lebenszyklus Materialverbrauch, Abfallerzeugung, Energieverbrauch, CO ₂ -Emissionen | Bewertung der Technologie CO ₂ -Emissionen, Energieverbrauch |
| Untersuchte Phasen | Rohstoffe, Transport, Fertigung, Nutzung, Entsorgung | Rohstoffe, Transport, Fertigung |
| Grundlage | Vereinfachte Ökobilanz (in Anlehnung an die ISO14040-Normenreihe) | PAS 2050 |
| Verwendete Anlage | EOSINT M 270 | |
| Ergebnisse – Fertigungsphase | <ul style="list-style-type: none"> • Der Energieverbrauch pro Gewichtseinheit lasergesinterten Werkstoffs ist aufgrund der hohen Wärmeverluste im Vergleich zu anderen Technologien hoch • Es werden zuverlässigere Datenquellen benötigt, um eine aussagekräftigere Umweltbewertung zu erarbeiten • Die Trägerstruktur ist ein potenzielles Problem, da sie aus einem Gefahrenstoff besteht | <ul style="list-style-type: none"> • Der Prozess scheint sehr energieintensiv zu sein, muss jedoch mit anderen Prozessen verglichen werden • Der Energieverbrauch richtet sich nach der Bauteilgeometrie und verschiedenen anderen Parametern • Das Kühlsystem hat unter Umständen größere Umweltauswirkungen als die Anlage selbst. • Die Pulververdüsung und der Argon-Verbrauch sollten gründlicher untersucht werden |
| Ergebnisse – Verwendungsphase | <ul style="list-style-type: none"> • Die Additive Fertigung per DMLS ermöglicht eine optimierte Topologie, was große Einsparungen beim Gewicht des Flugzeugs mit sich bringt • Die Umweltauswirkungen eines Flugzeugbauteils sind in der Verwendungsphase am höchsten | <ul style="list-style-type: none"> • Es besteht Bedarf für einen Design-Ansatz • Die Verwendungsphase muss gemeinsam mit den Kunden bewertet werden |

Abb. 5: Überblick über die für beide Studien verwendeten Methoden⁴

⁴ N.B.: Es gilt zu berücksichtigen, dass die Informationen zu EOS und EADS IW zu diesem Zeitpunkt, der vor der Gründung der „Life Cycle Cooperation“ liegt, der jeweils anderen Seite noch nicht bekannt waren.

Entscheidung: Kombination der Ergebnisse beider Partner zugunsten eines objektiveren Lebenszyklus-Ansatzes

Sowohl EADS als auch EOS kamen zur selben Schlussfolgerung:

Der bis dahin bereits erarbeitete Arbeitsumfang musste erweitert werden.

Wie in Abb. 5 ersichtlich ist, basierten die durchgeführten Studien auf unterschiedlichen Methoden und verschiedenen Sichtweisen und führten zu unterschiedlichen Ergebnissen. Während sich EOS ganz auf die Fertigungsphase konzentrierte, wählte EADS IW einen ganzheitlichen Ansatz, der den Lebenszyklus des Scharniers von Anfang bis Ende bestmöglich berücksichtigte. Es ist erkennbar, dass die EOS-Ergebnisse das Modell von EADS IW ergänzen und so die Genauigkeit und Bedeutung der Studie vor allem für die Fertigungsphase erhöhen können. Dies ist der Hauptzweck der „Life Cycle Cooperation“.

2. Begründung der „Life Cycle Cooperation“ zwischen EADS IW und EOS

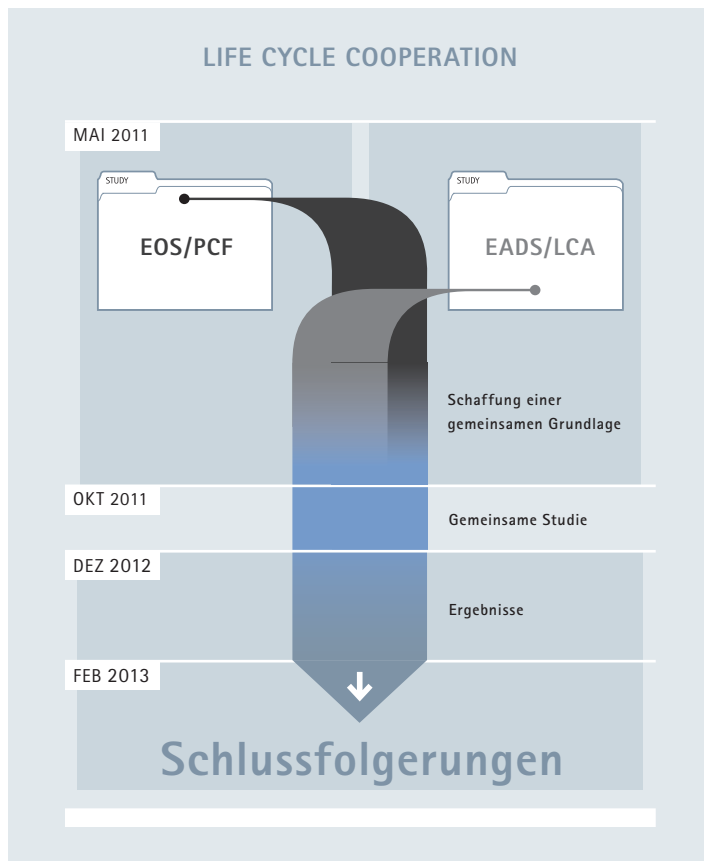


Abb. 6: Chronologische Entwicklung der „Life Cycle Cooperation“

Die Kooperationspartner waren sich der Tatsache, dass separat durchgeführte Studien niemals die gleiche Qualität haben würden wie eine gemeinsam durchgeführte Untersuchung, sehr bewusst. EOS konzentrierte sich bei der Untersuchung einer luftfahrttechnischen Anwendung speziell auf die Fertigungsphase, während sich EADS IW dem erweiterten Bild des Lebenszyklus widmete. Wenn wir einmal den Vergleich mit dem Sandgussverfahren heranziehen (siehe Abb. 7), musste EADS IW mit einer gewissen Unsicherheit in Bezug auf den DMLS-Prozess vorgehen.

Die Bewertung stützt sich auf ein bei Airbus eingesetztes Verfahren und auf die sogenannte Pedigree-Matrix, die Rückschlüsse auf die Datenqualität zulässt (Weidema & Wesnaes, 1996). Das Ergebnis ist eine gewichtete Unsicherheit, die auf dem für jeden Prozessschritt anfallenden Energieverbrauch basiert, wobei 0 für die höchste und 1 für die niedrigste Datensicherheit steht.

| Bewertete Fertigungsphase | Unsicherheitsfaktor (je kleiner, desto zuverlässiger) |
|--|--|
| Stahl – Sandguss – herkömmliches Design | 0,16 |
| Titan – DMLS-Verfahren mit der EOSINT M 270 – optimiertes Design | 0,42 |

Abb. 7: Gewichtete Unsicherheit für die Daten der Fertigungsphasen im Rahmen der ersten Studie, Quelle: EADS IW

Sowohl EADS als auch EOS zogen starke Motivation aus der Tatsache, dass beide Studien zu guten und interessanten Ergebnissen führten. Beide hatten jedoch auch ihre Grenzen – unabhängig von der Branche, für die die Bewertung durchgeführt wird. Keine der Studien war in der Lage, einen Überblick für den gesamten Lebenszyklus der Anwendung mit einer einheitlichen Datenqualität anzugeben. Zudem gab es keinen Grund, die verschiedenen verglichenen Technologien innerhalb der gleichen SLCA abzustimmen.

Grundkonzept der „Life Cycle Cooperation“:

wichtige Kommunikationsphase

Der Ansatz des PCF-Projekts von EOS bestand darin, eine Datenbank zur Verfügung zu stellen, die von den Kunden des Unternehmens genutzt werden kann, um für eine spezifische Anwendung ihren eigenen CO₂-Fußabdruck zu ermitteln. EADS IW hatte bereits eine Anwendung für ihren Ökobilanz-Ansatz entwickelt: das im vorangegangenen Kapitel gezeigte Landeklappenscharnier. Dieses wurde dann auch als Untersuchungsgegenstand für die gemeinsame Studie ausgewählt.

Ziele

Folgende Ziele wurden für die gemeinsame Studie festgelegt:

1. Anpassung und Konsolidierung der von EADS IW für ein Landeklappenscharnier durchgeführten Ökobilanz mit dem Ziel, über eine Ausgangsbasis für die nachhaltigen Leistungen des Additiven Fertigungssystems EOSINT M 270 von EOS zu verfügen. Dies sollte durch die Verknüpfung der von EADS IW und EOS durchgeführten Umweltverträglichkeitsprüfungen im Rahmen einer gemeinsamen Studie mit klar definierten Grenzen erfolgen.
2. Vergleich der AM-Technologie der EOSINT M 270 mit einer einschlägigen Technologie, in diesem besonderen Fall dem Feingussverfahren. Das hergestellte Bauteil müsste aus dem gleichen Werkstoff Ti64 bestehen und eine optimierte Form besitzen, damit sich die Studie nur auf den Fertigungsprozess des EOSINT/DMLS-Verfahrens konzentrieren kann.
3. Auf Basis der ersten Ergebnisse für das Grundkonzept dieser neuen Studie würden beide Unternehmen einschätzen, ob dies zu einer Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung der Technologie führen würde. Ziel der gewählten Fallstudie war es, zu erfahren, ob sich die Umweltauswirkungen des DMLS-Verfahrens durch den Umstieg auf die EOS-Plattform der nächsten Generation, die EOSINT M 280, verbessern würden.

Mit diesem Fallbeispiel gelang es EADS IW und EOS, die statische Phase mit dem besten Ergebnis hinsichtlich der Unsicherheit der verwendeten Daten zu bewerten.

Methode

Für diese spezifische von EADS IW durchgeführte SLCA wurden drei statische Phasen des Lebenszyklus – Rohstoffe, Fertigung und Entsorgung – betrachtet. Die dynamischen Phasen wurden hingegen aus diesem zweiten Teil der Studie ausgeklammert, da:

- die im ersten Teil der Studie bewertete Transportphase im Gegensatz zu anderen Phasen nicht signifikant war,
- die Nutzungsphase für beide untersuchten Herstellungsoptionen identisch war, weil sich das Design des Scharniers in der zweiten Studie im Gegensatz zur ersten durchgeführten Studie nicht verändert hatte. Außerdem haben sowohl EADS IW als auch EOS eindeutig erkannt, dass die Umweltauswirkungen in Bezug auf Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß in der Verwendungsphase hundertmal höher sind als in den anderen Phasen.

Darüber hinaus berücksichtigt ein CO₂-Fußabdruck den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen, während eine Ökobilanz sämtliche Umweltauswirkungen betrachtet, wie z. B. auch den Ressourcenverbrauch. Um eine möglichst breit angelegte Sichtweise zu ermöglichen, wurde ein von der Airbus-SLCA-Methodologie inspiriertes Verfahren für die gemeinsame Studie ausgewählt.

Die Studienpartner entschieden, sich innerhalb dieser Lebenszyklusphasen auf folgende Aspekte zu konzentrieren:

- Ressourcenverbrauch, konkret primäre/sekundäre Ressourcen und maschinelle Ausrüstung – und Abfallerzeugung
- Energiebedarf/CO₂-Ausstoß

Auch für diese neue, gemeinsame Studie war es sehr wichtig, die Qualität der verwendeten Daten sicherzustellen. Auch hier wurde wieder die Pedigree-Matrix verwendet.

Entwicklungen für die gemeinsame SLCA zu einem Scharnier aus Titan

Konsolidierung der Ökobilanz: verwendete Anlage EOSINT M 270

Um die durchgeführte SLCA zu konsolidieren, mussten die beiden vorhandenen Studien beiden Kooperationspartnern vorgestellt werden. Nur so konnte sich ein gemeinsames Verständnis für die verwendeten Methoden und Berechnungen entwickeln. Eine vereinfachte Datenmatrix, die auf den Ökobilanz-Berechnungen basierte, diente als Grundlage für die Bewertung der technischen Lücken in der Ökobilanz (siehe Abb. 8).

In einem nächsten Schritt wurde die Datenmatrix definiert, um eine Übersicht über die vorhandenen Daten beider Studien sowie über deren Qualität zu erhalten.

Der Eintrag „EADS“ in der Tabelle bezieht sich auf zusammengetragene Daten aus der Airbus-Datenbank und einem internen Datensatz von EADS IW. Aus den im vorangegangenen Abschnitt genannten Gründen wurden für diese Studie lediglich die statischen Phasen der Flugzeuganwendung (Rohstoffe, Fertigung und Entsorgung) betrachtet.

Von den bei EADS verfügbaren und von Airbus entwickelten Tools wurde die Unsicherheitsbewertung für die verschiedenen Prozessschritte der Fertigungsphase verwendet. Diese bot eine gewichtete Unsicherheit auf Grundlage des Energieverbrauchs. Für die Studie wurden sowohl die primären und sekundären Ressourcen als auch die maschinelle Ausrüstung für die Form- und Grundplatte berücksichtigt.

Diese Matrix zeigte, dass die bei EOS und EADS IW für die Fertigungsphase vorhandenen Daten sowohl hinsichtlich ihrer Qualität als auch ihrer Vollständigkeit ausreichend waren. Andererseits mussten sie jedoch angeglichen werden, um die SLCA zu konsolidieren und die allgemeine Datensicherheit der gemeinsamen Datensätze zu erhöhen. Die Matrix ließ aber auch erkennen, dass es bezüglich der Rohstoffe und Entsorgung Lücken gab. Diese Lücken konnten weder von EOS noch von EADS IW geschlossen werden, da beide nur vermuten konnten, welches die relevanten Prozessschritte bei der Pulverfertigung sind. Um zuverlässige Daten zusammenzutragen, wurde ein weiterer Akteur des Lebenszyklus – ein Pulverlieferant – in das Team aufgenommen.

Ein Lieferant von Titanpulver war bereit, die Studie mit seinem Know-how und mit Daten zum Energieverbrauch während der Rohstoffgewinnung zu unterstützen. Eine weitere externe Informationsquelle wurde genutzt, um den Titan-Feinguss in die gemeinsame Studie einzubinden und die Sicherheit der für die Modelle genutzten Daten zu erhöhen.

Um die verbleibenden Lücken im Bereich der Ressourcenversorgung zu füllen, beschrieb der Titanpulverlieferant die Schritte, die notwendig sind, um aus solidem Titan Titanpulver herzustellen:

- Rohstoffquellen und Transport
- Energieverbrauch bei der Verdüsung
- Ertrag des Verdüsungsprozesses und produzierter Gesamttafall

Der Energieverbrauch wurde für alle relevanten Prozessschritte gemessen, um einen Gesamtwert für die zugeführte Energie und die CO₂-Emissionen für 1 kg Titanpulver zu ermitteln.

| | Rohstoffe | Transport | Fertigung | Verwendung | Entsorgung |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| Energie/CO ₂ | EADS | EADS | EADS/EOS | EADS | EADS |
| Ressourcen | EADS | EADS | EADS/EOS | EADS | EADS |

Abb. 8: Überblick über die für die verschiedenen bewerteten Prozesse verwendete Datenmatrix zum Lebenszyklus des Scharniers

Um die Anforderungen der Ökobilanzstudie zu erfüllen, mussten die Daten von EADS IW für die Fertigungsphase zudem an die Daten des von EOS berechneten CO₂-Fußabdrucks angeglichen werden.

Die verschiedenen untersuchten Szenarien wurden weitestgehend aneinander angeglichen, um sicherzustellen, dass die Fertigungsphase und die dabei verwendete Schlüsseltechnologie die einzig verbleibende Variable sein würde. Der von EADS IW für den herkömmlichen Prozess hinzugezogene Ansprechpartner ist ein wichtiger Lieferant von im Feingussverfahren hergestellten Bauteilen

| | Herkömmlicher Prozess | EOSINT M 270 | EOSINT M 280 |
|--------------------|-----------------------|--------------|--------------|
| Technologie | Feinguss | DMLS | DMLS |
| Datenquelle | Netzwerk von EADS IW | EOS | EOS |
| Rohstoff | Ti64 | Ti64 | Ti64 |
| Geometrie | optimiert | optimiert | optimiert |

Abb. 9: Überblick über die für die Studie verwendeten Szenarien, Quelle: EADS IW

Dieser Teil der gemeinsamen Studie „Life Cycle Cooperation“ war ein wichtiger Schlüsselprozess. Der erste wichtige Schritt bestand darin, sich auf eine gemeinsame Anwendung und Methodologie zu einigen, um über ein Grundkonzept für die Studie zu verfügen. Natürlich dienten die für diesen Prozess eingebrachten Bemühungen zuallererst dem Aufbau eines Fundaments für die nachfolgende gemeinsame Studie. Sie halfen darüber hinaus, eine Vertrauensbasis zu schaffen und die Bereitschaft zur Zusammenarbeit zu fördern. Durch die Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses konnten EOS und EADS IW spezifische Ziele für diese Studie definieren.

Der dritte wichtige Aspekt war die Einbeziehung anderer Lieferanten in die Kooperation, wie des Pulverlieferanten und eines externen Unternehmens, das die Feingusstechnologie beherrschte. Sie boten das Know-how und die Daten zur zugeführten Energie und zum Werkstoffverbrauch. Beides konnte weder EADS IW noch EOS beisteuern.

Bewertung der neuen Plattform:

verwendete DMLS-Anlage EOSINT M 280

2011 hat EOS eine neue DMLS-Prozessplattform für Metallanwendungen eingeführt: die EOSINT M 280. Diese Anlage wies im Vergleich zum Vorgängermodell, der EOSINT M 270, unterschiedlichste Verbesserungen hinsichtlich des Fertigungsprozesses auf. Eine der wichtigsten Verbesserungen ist die Verkürzung des Laser-Sinter-Prozesses um 50 % im Vergleich zur EOSINT M 270. Dies konnte durch die 100%ige Steigerung der Laserleistung erreicht werden. Diese Verbesserung hatte Auswirkungen auf den Fußabdruck der Technologie und war daher ein interessanter Untersuchungsgegenstand.

Die Studienpartner entschieden, die EOSINT-Anlagen M 270 und M 280 zu vergleichen und somit die erste von EADS IW durchgeführte Studie zu aktualisieren. So wurden beispielsweise der Argon-Verbrauch und seine Auswirkungen – wichtige Parameter des Laser-Sinter-Prozesses – in der ersten Studie nicht untersucht. Dies wurde nun mit der zweiten Studie nachgeholt. Ein wichtiges Konzept in diesem Zusammenhang ist die „schrittweise ablaufende Verbesserung“ der Prozesse, die sich aus dem Standardkonzept gemäß ISO 9001 ableiten lässt.

Um die Verbesserungen auf der neuen Anlagenplattform EOSINT M 280 bewerten zu können, war es notwendig, den Energieverbrauch und andere Parameter für den Fertigungsprozess zu ermitteln.

Das optimierte Landklappenscharnier wurde dann auf der EOSINT M 280 nachgebaut. So konnten der Energieverbrauch der Anlage selbst sowie der Energieverbrauch der Peripheriegeräte – z. B. Kühlsystem, Druckluftversorgung – ähnlich wie bei der EOSINT M 270 gemessen werden. Die Messungen für die Nachbearbeitungsprozesse wurden von EADS IW mit Hilfe einer internen Datenbank vorgenommen. Dies bot einen Überblick über die vom DMLS-Verfahren über die zwei Maschinen-generationen angebotenen Vorteile und Verbesserungen, die bei deren Weiterentwicklung erreicht werden, um so auch alle Anforderungen einer vollständig „grünen Technologie“ zu erfüllen.

3. Ergebnisse der Umweltverträglichkeitsprüfung über zwei Generationen der EOS-Plattform

Ressourcenverbrauch und Abfallerzeugung

Der Ressourcenverbrauch und die Abfallerzeugung sind interessante Aspekte, die es zu berücksichtigen galt. Für bestimmte, selten vorkommende Werkstoffe – insbesondere in der Luft- und Raumfahrt – fällt diesen Kriterien für Entscheidungsfindungsprozesse in der Zukunft eine wichtige Bedeutung zu. Der Ressourcenverbrauch wurde sowohl für primäre als auch für sekundäre Werkstoffe untersucht. Auch der produzierte Abfall wurde bewertet. Er führte zur Berechnung des Standard-Materialausnutzungsgrades, der Rückschlüsse auf die Verwendungseffizienz der Ressourcen während des Fertigungsprozesses zuließ.

Ressourcenverbrauch in Abhängigkeit vom Fertigungsprozess

Beide Studienpartner entschieden, die drei verschiedenen Prozesse mit Hilfe eines Verhältnisses aus dem Gewicht der für den Fertigungsprozess verwendeten – primären oder sekundären – Ressource und der in einer Einheit dieser Ressource enthaltenen grauen Energie zu bewerten. So konnten, statt lediglich die absoluten Gewichtsdaten für die verschiedenen Materialien zusammenzutragen, gleichzeitig nicht nur die Menge der Rohstoffe, sondern auch der Anteil an den mit der grauen Energie korrelierenden Selbstkosten angegeben werden⁵. Es ist beispielsweise nicht möglich, 1 kg Titan und 1 kg Argon-Gas auf ein und derselben Grundlage zu vergleichen.

Die primären Ressourcen bestehen lediglich aus unbehandeltem Titan. Die sekundären Ressourcen umfassen auch die maschinelle Ausrüstung sowie die während des Prozesses verwendeten Kühlflüssigkeiten und eingesetzte Prozessgase (wie z. B. Argon).

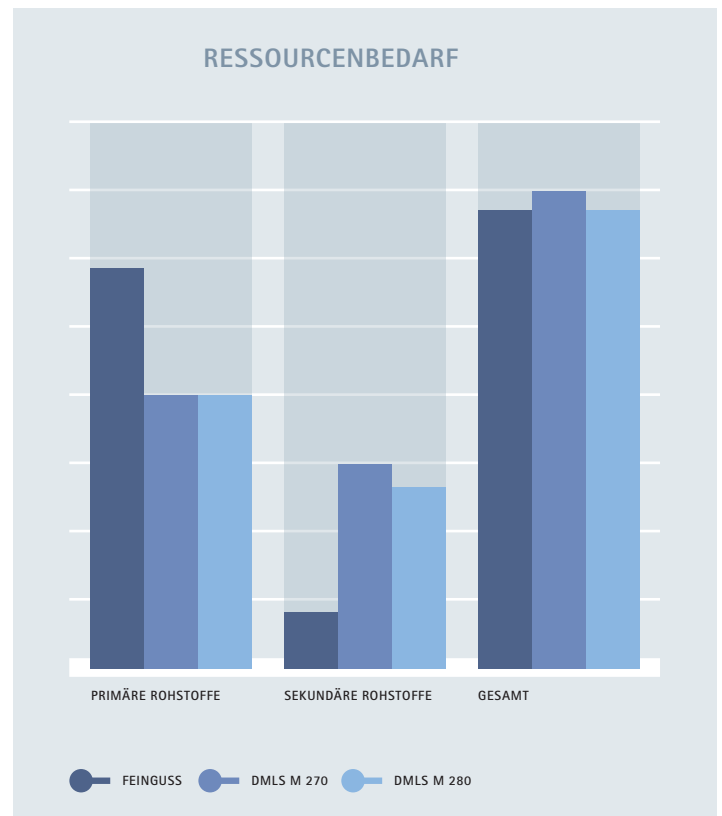


Abb. 10: Ressourcenbedarf für die Herstellung eines Scharniers, gewichtet durch ihre graue Energie im Fertigungsprozess (in kWh), Quelle: EADS IW

Betrachtet man den in Abb. 10 dargestellten Verbrauch an primären Ressourcen, so fällt auf, dass bei der Umstellung auf die EOS-Technologie aufgrund der Effizienz des DMLS-Prozesses eine Verringerung um 28 % zu verzeichnen ist. Bei den sekundären Ressourcen punktete das Feingussverfahren interessanterweise mit einer Einsparung von 78 bzw. 73 % im Vergleich zur Fertigung auf den EOSINT-Plattformen M 270 und M 280. Dies ergibt sich vor allem aus der Kühlung und dem Inertargonschutzgas. Das Gas wird in den Baukammern beider DMLS-Anlagen in signifikanten Mengen eingesetzt. Jedoch konnte mit der

⁵ Andrew McKillop, 2006 http://www.raise-the-hammer.org/article/438/peak_oil_and_commodity_pricing_fundamentals. Als graue Energie wird die Energiemenge bezeichnet, die für Herstellung, Transport und Lagerung des Rohstoffs benötigt wird. Dabei werden alle Vorprodukte bis zur Rohstoffgewinnung berücksichtigt und der Energieeinsatz aller angewandten Produktionsprozesse und/oder eingesetzten Stoffe addiert.

Umstellung von der EOSINT M 270 auf die M 280 eine Verringerung dieser gasförmigen sekundären Ressourcen um 20 % erreicht werden.

Abfallerzeugung in Abhängigkeit vom Fertigungsprozess

Wie bereits im Absatz zum Ressourcenverbrauch beschrieben, wurde die Masse des in jedem einzelnen Fertigungsprozess produzierten Abfalls durch die graue Energie jedes Abfalltyps gewichtet, um den Vergleich der verschiedenen Abfalltypen innerhalb desselben Rahmens auf eine objektive Basis zu stellen. Zu welchen Ergebnissen dies führte, ist in der Abb. 11 dargestellt:

Diese Art, Ergebnisse darzustellen, vermittelt für verschiedene Prozesse ein stärkeres und verbessertes Bild der Eigenkosten dieser nichtorganischen Abfallmaterialien, die durch Wiederverwendung oder Recycling gewonnen werden. Für die Grafik werden nur zwei Prozesse verglichen, da beide EOSINT/ DMLS-Prozesse etwa den gleichen Abfall produzieren.

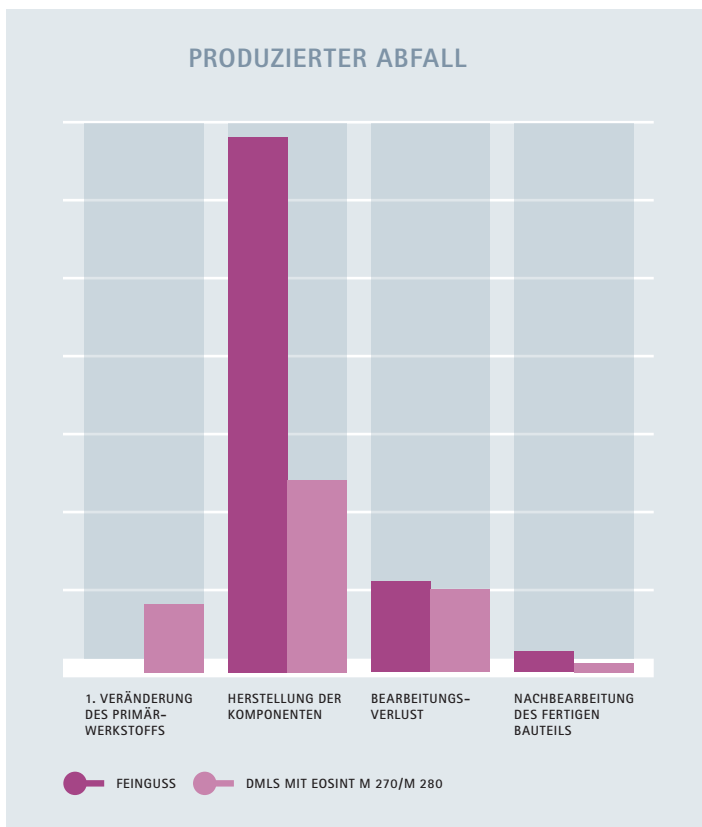


Abb. 11: Produzierter Abfall, gewichtet durch die „graue“ Energie der Prozesse (in kWh), Quelle: EADS IW

Einerseits ist die Abfallmenge bezogen auf den Gesamtenergieeinsatz, die während der beiden DMLS-Prozesse zur Fertigung des Landeklappenscharniers produziert wird (siehe Abb. 11), nur halb so groß wie beim Feingussverfahren. Andererseits ist, wenn lediglich die bei beiden Optionen produzierte Abfallmasse gemessen wird, bei der Umstellung auf den DMLS-Prozess eine Verringerung um 91 % zu verzeichnen. Der DMLS-Prozess ist im Vergleich zu Alternativen hinsichtlich des Abfallmanagements sehr vielversprechend. Zudem umfasst der DMLS-Prozess nur eine Abfallart – in diesem Fall Titan – statt verschiedener Abfallarten, für die verschiedene Aufbereitungsverfahren benötigt würden.

Im Falle des DMLS-Verfahrens führt die Produktion des Rohprodukts zur Entstehung von Trägerstrukturmaterial, das als Gefahrenstoff angesehen wird. Die Trägerstruktur des lasergesinterten Bauteils ist in der Regel eine Mischung aus etwa 50 % Pulver, das erneut verwendet werden kann, und einer dünnwandigen Struktur festen Titans. Die Gefährlichkeit ist lediglich aufgrund des Pulveranteils gegeben. Dieser wird als Gefahrenstoff angesehen, der aus Gesundheits- und Sicherheitsgründen schwer zu handhaben ist, auch wenn seine Verwendung allgemein zulässig ist. Es gibt eine offensichtliche Verbesserung bei der Trennung dieser verschiedenen Abfallanteile, damit nur noch der ungefährliche Feststoffanteil als Abfall bleibt. So könnte das Pulver direkt nach seiner Extraktion aus der Trägerstruktur wiederverwendet werden.

Vergleich der Prozesse in Bezug auf ihren Materialausnutzungsgrad

Der Materialausnutzungsgrad (MAG) beschreibt das Verhältnis zwischen der Materialmenge, die zur Herstellung des Bauteils gekauft werden muss, und dem fliegenden Bauteil. Er ist Ausdruck dafür, wie effizient primäre Ressourcen bei der Herstellung von Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt werden.

| Prozess | MAG |
|-----------------------|-----|
| Feingussverfahren | 2,1 |
| EOSINT/DMLS-Verfahren | 1,5 |

Abb.12: Materialausnutzungsgrad der für die Fertigung eines Scharniers berücksichtigten Prozesse, Quelle: EADS IW

Beide Herstellungsprozesse können gegenüber Alternativen, wie Bearbeitungsverfahren mit einem ggf. viel höheren Materialausnutzungsgrad, als effizient angesehen werden.

Aus Gründen, auf die in den beiden vorstehenden Abschnitten bereits eingegangen wurde, ist der EOSINT/DMLS-Prozess in Bezug auf den Titanverbrauch effizienter als das Feingussverfahren. Die für den Laser-Sinter-Prozess entwickelten Verbesserungen sind wichtig, da sie Wege eröffnen, Feststoffabfall durch Trennung des Pulveranteils von der lasergesinterten Stützstruktur zu reduzieren. Außerdem wird angenommen, dass immer sechs Bauteile auf ein und derselben Grundplatte gebaut werden können, was die Verluste pro Teil reduziert, wenn die Oberfläche der Grundplatte abgeschliffen und Letztere anschließend wiederverwendet wird. Durch die Erhöhung der Anzahl der Teile wird der Oberflächenfußabdruck des Bauteils optimiert, was den Materialausnutzungsgrad an eine Zahl näher an 1 bringt.

Energieverbrauch und CO₂-Emissionen

Gesamtenergieverbrauch während des Lebenszyklus des Scharniers

Hinsichtlich des Energieverbrauchs bei den drei verschiedenen Optionen ist zu sagen, dass der Gesamtenergieverbrauch während der statischen Phasen ähnlich ist.

Die Entsorgungsphase scheint im Vergleich zu den anderen statischen Phasen nicht signifikant zu sein. Die Rohstoffphase des DMLS-Prozesses ist im Vergleich zu Abb. 10 hier höher, da die Verdüsung des Titanpulvers mitberücksichtigt wurde.

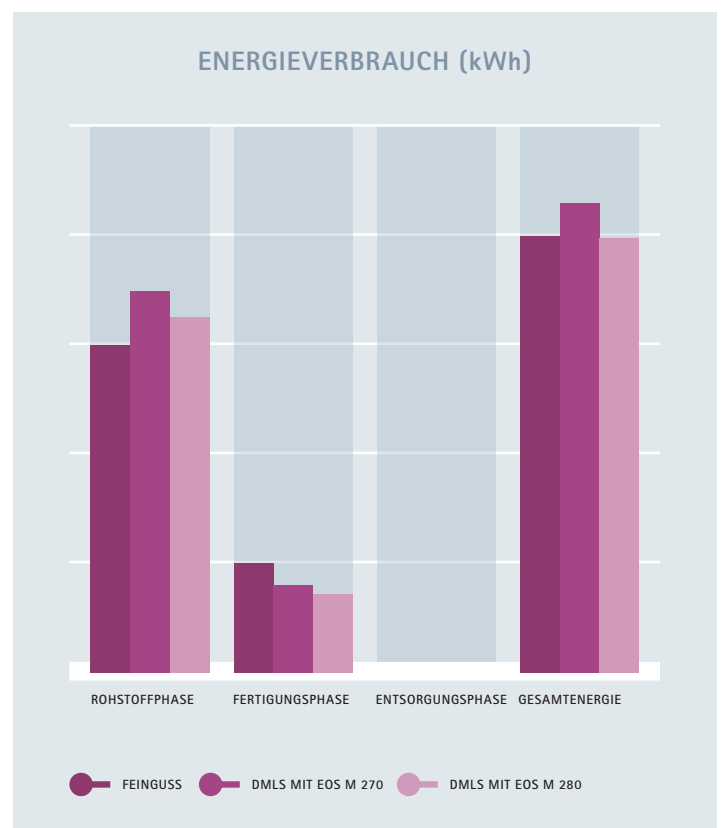


Abb. 13: Energieverbrauch in den verschiedenen statischen Phasen des Lebenszyklus (in kWh), Quelle: EADS IW

Alles in allem ergab der Vergleich der drei Prozesse ähnliche Energieniveaus, auch wenn die EOSINT M 280 hier im Vergleich zu anderen Prozessen Verbesserungen andeutet. Die Rohstoffphase ist bei den verschiedenen Prozessen leicht unterschiedlich.

Dem höheren Verbrauch von Titan im Fall des Feingussverfahrens steht in beiden DMLS-Prozessen die Verdüsung des Metallpulvers entgegen. Dieser geht, wie gezeigt, mit einem höheren Anteil an sekundären Ressourcen – in diesem Fall Argon – einher. Für den Fertigungsprozess auf der Anlage EOSINT M 280 wird weniger Argon benötigt. Daher ist die in der Rohstoffphase eingebundene Energie hierbei geringer im Vergleich zur Fertigung auf der EOSINT M 270.

Genauere Betrachtung der Fertigungsphase

Beim Vergleich der Fertigungsphasen für die drei Optionen können die wichtigsten Unterschiede zwischen den drei statischen Phasen herausgestellt werden.

Da diese Phase Hauptschwerpunkt dieser zweiten Studie ist, wurde sie auch näher betrachtet. Abb. 14 zeigt die gewichtete Unsicherheit für die zweite Studie. Mit dieser Bewertung sollte das Vertrauensniveau der Ergebnisse beurteilt werden.

Beide Prozessarten sind im Hinblick auf ihre gewichtete Unsicherheit sehr zuverlässig.

| Bewertete Fertigungsphase | Unsicherheitsfaktor (je kleiner, desto zuverlässiger) |
|---|--|
| Feingussverfahren | 0,19 |
| EOSINT/DMLS-Verfahren (EOSINT M 270 und M 280) | 0,14 |

Abb. 14: Gewichtete Unsicherheit der Fertigungsphasen für die im Rahmen der zweiten Studie untersuchten Prozesse, Quelle: EADS IW

Die gewichtete Unsicherheit der drei Optionen ist so wie in Abb. 13 dargestellt. Da beide EOS-Prozesse mit Daten aus der mit dem PCF verlinkten Datenbank beschrieben werden, ist der Gesamtwert auf der EOS-Seite besser als für den Hersteller mit der Feingussoption.

Widmen wir uns nun im Detail dem Energieverbrauch der einzelnen Fertigungsoptionen, nach Kategorie der Teilprozesse. Diese Kategorien der einzelnen Prozessschritte entsprechen sich zwar in den Feinguss- und DMLS-Prozessen, sind jedoch nicht identisch.

Die drei Kategorien der Prozessschritte fassen insgesamt 15 Teilprozesse zusammen, die jedoch nicht gleichmäßig verteilt sind.

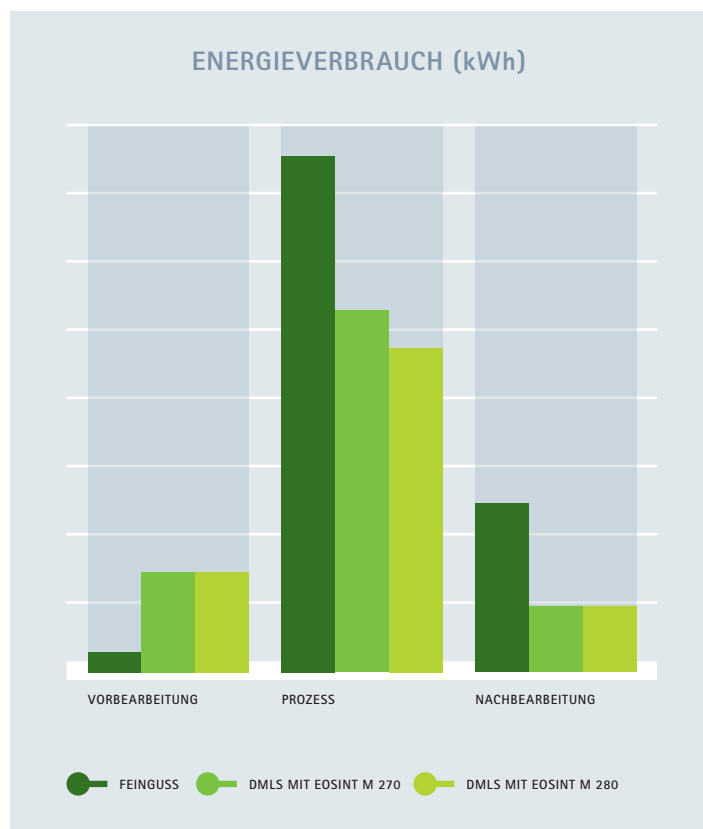


Abb. 15: Protokollierung des für die verschiedenen Vergleichsprozesse während der Fertigungsphase verbuchten Energieverbrauchs (in kWh), Quelle: EADS IW

Der Gesamtenergiebedarf für den jeweiligen Fertigungsprozess ist in Abb. 13 aus der Perspektive einer Lebenszyklusbetrachtung angegeben. Die Vorbearbeitung wird für die Vorbereitung der maschinellen Ausrüstung benötigt. Bei diesem Teilprozess sticht vor allem das Fräsen der Titangrundplatte für die EOSINT/DMLS-Prozesse heraus, während beim Feingussverfahren ein SLA-Epoxid-Modell gefertigt wird. Trotz des geringen Energiebedarfs für die Einrichtung der maschinellen Ausrüstung ist der Feinguss im Vergleich zu beiden EOSINT/DMLS-Prozessen sehr energieintensiv, wobei es bei der Fertigung des Scharniers geringe Unterschiede zwischen beiden Laser-Sinter-Prozessen gab.

Ein weiterer Unterschied fällt auf, wenn die verschiedenen Nachbereitungsprozesse beim Gießen und Laser-Sintern untersucht werden. Dass diese Schritte beim Feinguss mit einem höheren Energieverbrauch einhergehen, liegt vor allem an der 5%igen Gewichtsverringering während der Bearbeitungsphase.

Obwohl die Plattform EOSINT M 280 aufgrund des Lasers mit doppelter Leistung und des Kühlsystems energieintensiver ist und daher mehr Energie verbraucht als der Anlagentyp M 270, ist die für die Fertigung benötigte Gesamtenergie geringer als beim Guss. Dies liegt an einem wichtigen Parameter: der Bauzeit. Dieser wurde um einen Faktor von mehr als zwei reduziert, was der EOSINT M 280 dank des geringeren Energiebedarfs für die Kühlanlage einen entscheidenden Vorteil einbringt.

Ein Blick auf die CO₂-Emissionen

Aufgrund derzeit geltender Regelungen wie dem Kyoto-Protokoll, sind Luftemissionen ein weiterer wichtiger Parameter. Die Treibhausgasemissionen umfassen Emissionen von CO₂, CH₄, N₂O, FKW, PFKW und SF₆, die hier synthetisch durch die Einheit „Kilogramm Kohlendioxid-äquivalent“ (kg CO₂-Äquivalent) dargestellt wird, siehe Abb. 16.

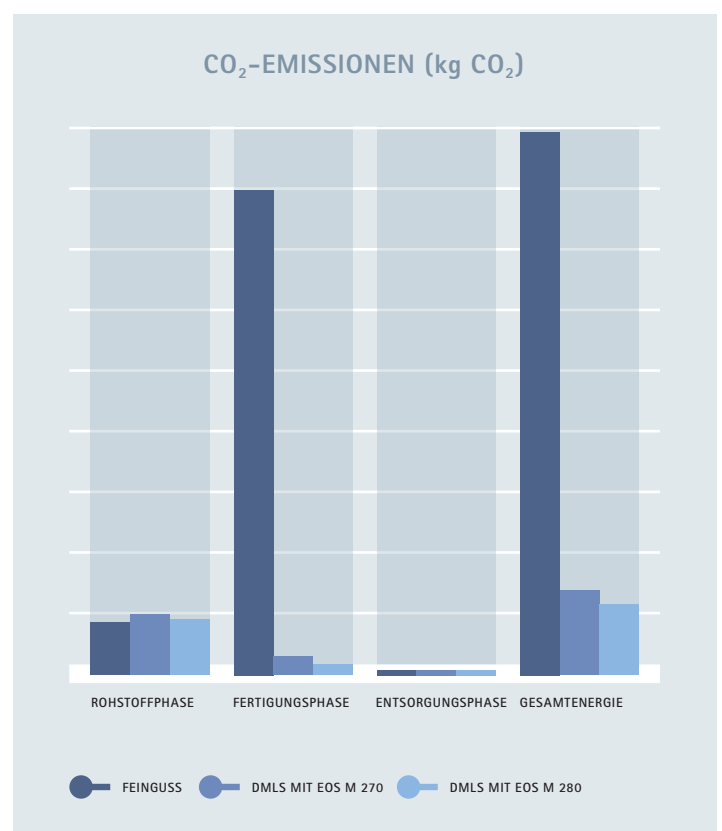


Abb. 16: CO₂-Emissionen während der statischen Phasen verschiedener Designoptionen (in kg CO₂-Äquivalent) Quelle: EADS IW

Wie bereits erklärt, handelt es sich bei den meisten der CO₂-Emissionen, die in Abb. 15 für die drei verglichenen Optionen dargestellt werden, um indirekte Emissionen, die für die Stromerzeugung in Kraftwerken anfallen. Nur während der Fertigungsphase wurden beim Feingussverfahren einige signifikante direkte Emissionen verzeichnet. So wird für den Gießvorgang eine Keramikform benötigt, gehärtet auf Basis eines SLA-Epoxid-Modells, das bei hohen Temperaturen im Ofen „ausgeschmolzen“ wird. Bei diesem Vorgang wird eine signifikante Menge an direkten und indirekten CO₂-Emissionen ausgestoßen. Beim DMLS-Prozess hingegen treten indirekte Emissionen auf, die sich aus der Stromerzeugung ergeben.

Es konnte eine kleine Verbesserung durch die Umstellung von der EOSINT M 270 auf die EOSINT M 280 beobachtet werden. Diese ergibt sich aus dem reduzierten Argon-Verbrauch während des Fertigungsprozesses und der verbesserten Energieeffizienz dieser Phase und führt zu niedrigeren indirekten Treibhausgasemissionen.

All diese Ergebnisse, vom Materialverbrauch über den Energiebedarf bis hin zum Treibhausgasausstoß, geben einen interessanten Überblick über die drei verglichenen Optionen, wobei der DMLS-Prozess, und hier eine DMLS-Plattform mehr als die andere, positiv heraussticht.

Makroanalyse der Umweltverträglichkeitsprüfung

Im Rahmen einer zweiten Studie, die durch die „Life Cycle Cooperation“ zwischen EADS IW und EOS entwickelt wurde, stellte man eine vereinfachte Ökobilanz auf, für die das Feingussverfahren mit dem EOSINT/DMLS-Prozess auf zwei verschiedenen Plattformen – den Anlagen EOSINT M 270 und EOSINT M 280 – verglichen wurde.

Der größte Energieverbrauch wurde während der Phase der Rohstoffgewinnung verzeichnet. Dies bedeutet, dass der Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß hauptsächlich vom gewählten Material und nicht vom Fertigungsprozess selbst beeinflusst wird. Führt man diesen Gedanken weiter, scheint der Materialausnutzungsgrad der wichtigste Parameter für die Umweltauswirkungen in den statischen Phasen zu sein.

EADS IW und EOS haben auch Wissen zur grauen Energie verschiedener primärer und sekundärer Ressourcen zusammengetragen, die während der Fertigungsphase zum Einsatz kommen. Laut dieser Studie ist der DMLS-Prozess, wenn man die verschiedenen Materialausnutzungsgrade betrachtet, 30 % effizienter.

Unter Berücksichtigung der Grenzen der Rohstoffphase – in diesem Fall des Argon-Verbrauchs während der Fertigung auf der EOS-Plattform – wurde die Bedeutung dieser sekundären Ressourcen hinsichtlich ihrer grauen Energie bewertet und eine Verbesserung bei der Umstellung von der EOSINT M 270 auf die EOSINT M 280 verzeichnet.

Der Energieverbrauch für die Fertigung des Scharniers – einschließlich der Phasen Rohstoffe, Fertigung und Entsorgung – sinkt leicht, wenn vom Feingussverfahren auf die EOS-Plattform umgestellt wird. Dies liegt hauptsächlich am Materialausnutzungsgrad und dem höheren Energieverbrauch während des Fertigungsprozesses. Beim Vergleich der zwei verschiedenen DMLS-Plattformen stellte sich heraus, dass vor allem das Kühlsystem Energie „schluckt“. Künftige Weiterentwicklungen sollten sich also hierauf konzentrieren. So wird sich wohl bei der nächsten Generation die Laserleistung erhöhen, um die Zykluszeit des DMLS-Prozesses zu verkürzen.

Auch die CO₂-Emissionen verringern sich, wenn auf einen der EOS-Prozesse umgestellt wird, die in dieser Hinsicht ähnlich sind. Das Feingussverfahren ist fertigungstechnisch zwar ebenso flexibel wie der DMLS-Prozess, benötigt aber das Ausschmelzen eines SLA-Epoxid-Modells in einem Ofen, wodurch eine hohe Menge an Treibhausgasen ausgestoßen wird.

EADS und EOS zogen drei wichtige technische und strategische Schlussfolgerungen aus diesem Projekt.

Zunächst hat die Studie gezeigt, wie wichtig es ist, ein besseres Verständnis für die Titanherstellung zu erlangen. Wenn die Gewinnung und Verarbeitung des Ausgangsmaterials solch große Auswirkungen auf den Energieverbrauch hat, dann schwankt sein Preis höchstwahrscheinlich sehr stark in Abhängigkeit vom Energiepreis und einer potenziellen CO₂-/Energiesteuer. Der Anpassung der Versorgungskette kommt daher eine große Bedeutung zu, ebenso wie den F&T-Bemühungen bei der Entwicklung weniger energieintensiver Prozesse, um Titan aus Titanerz zu gewinnen.

Zweitens wurde eine Phase des Lebenszyklus nicht ausreichend behandelt: die Entsorgung. Angesichts des zunehmenden Drucks auf die Rohstoffversorgung kommt dem Recycling eine Schlüsselrolle zu. Die Ergebnisse dieser Studien haben zu einem besseren Verständnis beigetragen und stellen diese Phase heraus, in der in den nächsten Jahren mit Verbesserungen zu rechnen ist.

Schließlich hat die Kooperation zwischen EADS IW & EOS und dem Titanpulverlieferanten die Türen für einen Lieferkettenzyklus-Ansatz geöffnet und bei EADS IW und EOS das Bewusstsein dafür gesteigert, alle relevanten Akteure in den Gesamtprozess miteinzubinden. Dieser „Zyklus-Ansatz“ ist Voraussetzung für industrielle Stärke.

Der obere Teil dieser Grafik ist eine künstliche Darstellung des Lebenszyklus des Scharniers – von der Rohstoffphase bis hin zu seiner Entsorgung –, auf dessen Grundlage EADS IW die Bewertung der Umweltauswirkungen des Scharniers während des Lebenszyklus durchgeführt hat. Der EOS-Ansatz berücksichtigt lediglich einen Teil der Lebenszyklus-Aspekte, die sich außerhalb des Unternehmens abspielen. Der untere Teil beschreibt die verschiedenen Bereiche, denen sich die „Life Cycle Cooperation“ widmet.

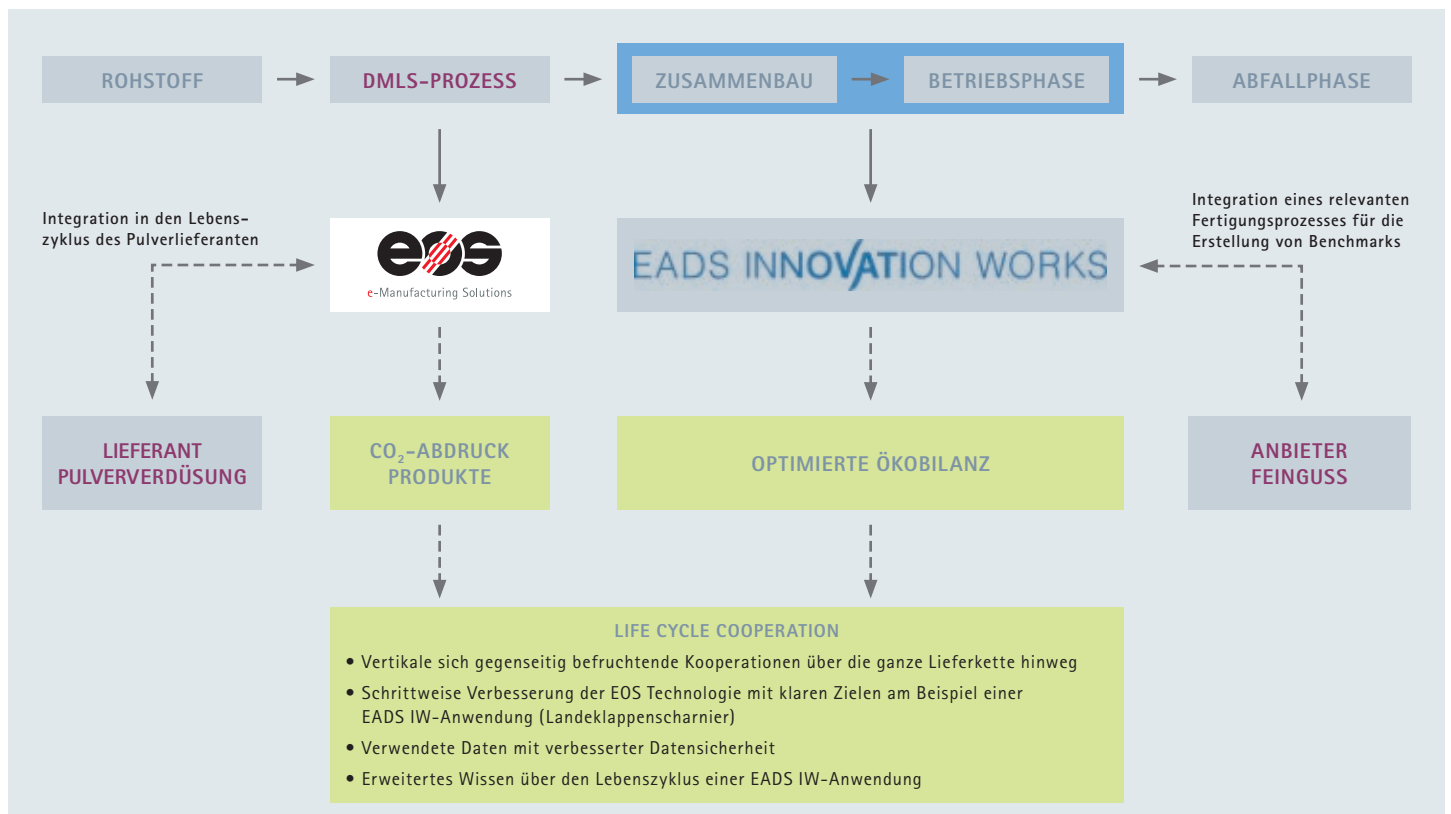


Abb. 17: „Life Cycle Cooperation“ von EADS IW und EOS für eine Luftfahrtanwendung

Schlussfolgerung

Diese Studie bietet nicht nur Resultate in Form von Fakten und Zahlen. Sie dient auch als erstes reales Beispiel für einen vertikalen Lebenszyklus-Ansatz. Aus offensichtlichen Gründen kann es manchmal schwierig sein, in der Branche zusammenzuarbeiten. Die „Life Cycle Cooperation“ war ein Versuch, die Versorgungskette durch besseren Informationsaustausch zwischen EOS – dem Anbieter Additiver Fertigungsverfahren – und EADS IW – seinem Kunden – stärker mit einzubinden.

Der Schlüssel zu diesem Erfolg liegt in den ersten Phasen der gemeinsamen Studie. EOS und EADS IW haben viel Zeit investiert: in die Besprechung und Ausarbeitung eines Grundkonzepts und die Kombination ihrer Ansätze. All dies basierte auf bemerkenswerten Bedingungen.

Die Qualität und den Erfolg der Kooperation schreiben beide Unternehmen im Wesentlichen folgenden drei Punkten zu:

- **Erstellung einer hochwertigen Datenmatrix:** Mit dieser Matrix haben sich die Kooperationspartner einen Überblick über das vorhandene Know-how und die vorhandenen Daten auf beiden Seiten verschafft. Eine Unsicherheitsbewertung, Ergebnis der starken internen Kooperation zwischen EADS und EADS IW und Airbus, wurde durchgeführt.
- **Zusammensetzung des Teams:** Anhand der Datenmatrix konnten Lücken ermittelt werden. Um die Datenqualität über den gesamten Lebenszyklus hinweg sicherstellen zu können, musste ein Pulverlieferant hinzugezogen werden, der das Wissen mitbrachte, das den anderen Partnern fehlte.
- **Ein gemeinsames Verständnis:** Mit dem Prozess zur Erstellung eines gemeinsamen Grundkonzepts konnten EOS und EADS IW ein besseres Verständnis für die Ziele, Motivationen und Methoden der anderen Partner entwickeln. Die Erstellung eines Dokuments mit dem Input und Engagement aller Kooperationspartner war der Ausgangspunkt für die gemeinsame Studie.

Dieser Prozess lässt sich gut in den kreativen und ganzheitlichen Rahmen integrieren, den die Partner umsetzen möchten, um die Herausforderungen nachhaltiger Fertigungsverfahren für ökologisch designte Produkte meistern zu können. Es ist also notwendig, die Kooperation ab dem frühestmöglichen Zeitpunkt offen zu gestalten.

Alle an der Studie beteiligten Partner sind sich einig, dass nicht nur die zu Beginn des Projekts gesetzten Ziele erreicht wurden, sondern darüber hinaus auch ein Ausblick für weitere gemeinsame Projekte erkennbar ist. Der nächste Schritt wird für EADS IW und EOS darin bestehen, mit anderen Akteuren, die am Lebenszyklus relevanter Anwendungen beteiligt sind, zusammenzuarbeiten und diesen Ansatz auszuarbeiten. Ziel könnte es sein, auf Grundlage bestimmter Kriterien zu bewerten, wie sich eine technische Weiterentwicklung in einer beliebigen Phase auf den Lebenszyklus des Produkts und vor allem auf die anderen betroffenen Parteien auswirkt. Die Ergebnisse solcher Bewertungen wären noch zuverlässiger und würden die Versorgungskette der Branche weiter stärken. EADS ist zudem stark bestrebt, weiteres Wissen zu Additiven Fertigungsverfahren und Fertigungsanwendungen zusammenzutragen, um diese für die Fertigung von EADS-Produkten noch stärker einzusetzen.

Die Ökobilanz ist ein grundlegender Schlüsselansatz, um Marktteilnehmer nicht nur im Rahmen eines wirtschaftlichen Ansatzes zusammenzubringen. Sie dient dazu, die Branche zu stärken, um auch angesichts zukünftiger Nachhaltigkeitsanforderungen bestehen zu können.

EOS GmbH
Electro Optical Systems
Hauptniederlassung
Robert-Stirling-Ring 1
D-82152 Krailling bei München
Tel.: +49 89 893 36-0
Fax: +49 89 893 36-285

EOS Niederlassungen

EOS France
Tel.: +33 437 49 76 76

EOS India
Tel.: +91 44 28 15 87 94

EOS Italy
Tel.: +39 02 33 40 16 59

EOS Korea
Tel.: +82 32 552 82 31

EOS Nordic & Baltic
Tel.: +46 31 760 46 40

EOS of North America
Tel.: +1 248 306 01 43

EOS Singapore
Tel.: +65 6430 05 50

EOS Greater China
Tel.: +86 21 602307 00

EOS UK
Tel.: +44 1926 62 31 07

www.eos.info • info@eos.info

Think the impossible. You can get it.



e-Manufacturing Solutions