

Wertschätzen statt wegwerfen

Energie und Ressourcen sparen durch die Reparatur von Investitionsgütern

REPARATUR- VERFAHREN



In der heutigen Zeit ist der Umstieg von fossilen auf erneuerbare Energieträger unumgänglich. Dies stellt uns vor eine große Herausforderung, da neue Technologien entwickelt und bekannte Ansätze zur Energiegewinnung umgedacht werden müssen. Doch wie sieht es mit der gesamten Energiewertschöpfungskette eines Produktes aus? Kann hier der Energieverbrauch über die Lebenszeit eines Produktes verringert werden? Nehmen wir uns ein Flugzeugtriebwerk als Beispiel. Ein Triebwerk sollte natürlich wenig Treibstoff während seines Fluges verbrauchen. Es ist hier aber die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus notwendig. Energie wird nicht nur beim Betrieb und bei der Herstellung des Triebwerkes benötigt, sondern auch bei der Reparatur und Entsorgung seiner Komponenten.

Regeneration komplexer Investitionsgüter

Eine Reduktion des Einsatzes von Ressourcen für den gesamten Lebenszyklus eines Investitionsguts kann somit an verschiedenen Punkten über die gesamte Lebensdauer ansetzen. Der primäre Fokus liegt dabei meist auf dem Neuteil, das bestmöglich entwickelt und ausgelegt werden soll, um ein möglichst effizientes Produkt zu erhalten. Doch auch im Entwicklungs-

prozess selber kann bereits darauf geachtet werden, dass Ressourcen möglichst schonend eingesetzt werden.

Hier setzt der Sonderforschungsbereich (SFB) 871 „Regeneration komplexer Investitionsgüter“ der Leibniz Universität Hannover an, welcher gemäß dem Motto „Wertschätzen statt wegwerfen“ schon seit dem Jahr 2010 an Prozessen forscht, um Investitionsgüter möglichst ressourcenschonend instand zu halten und in die Wertschöpfungskette einzubinden. Dazu werden Produkte so ausgelegt, dass diese möglichst lange genutzt werden können und bei Defekt repariert werden, anstatt sie zu entsorgen. Dies ist besonders bei so genannten komplexen Investitionsgütern und technisch komplexen Produkten von Bedeutung, da diese oft mit hohen Investitionen und ressourcenintensiv wiederbeschafft werden müssen. Nur so kann bei komplexen und damit zumeist teuren Gütern eine Rentabilität im ökonomischen und ökologischen Sinne ermöglicht werden. Deshalb ist gerade bei diesen Gütern eine möglichst lange Lebensdauer und Wertschöpfung von Interesse. Beispiele für solche Investitionsgüter sind in *Abb. 1* dargestellt.

Alterung mindert Effizienz

Eine Reparatur bietet sich allerdings nicht nur an, wenn

ein Teil defekt ist. Maßgeblich ist hier der Verschleiß der verschiedenen Komponenten, wodurch sich zum Beispiel die Effizienz verringern kann. Ein gutes Beispiel dafür sind Komponenten in Flugzeugtriebwerken, wie Turbinen- und Verdichterschaufeln, die extremen Bedingungen ausgesetzt sind. Aufgrund von hohen Temperaturen und Drücken, der starken mechanischen Beanspruchung durch Fliehkräfte sowie der Beschädigung durch Fremdkörper können solche Bauteile verschiedene Arten von Defekten aufweisen. Dazu gehören plastische Verformung, Verschleiß durch Umwelteinflüsse, Materialabrieb, Rissbildung sowie Korrosion durch Heißgase.

Alleine durch den Verschleiß der Oberflächen der Schaufeln in der Turbine eines Flugtriebwerks kann sich der Kerosinverbrauch eines Airbus A320 in einem Wartungsintervall (20.000 Betriebsstunden) um nahezu 10 Tonnen erhöhen, was die Kosten für den Treibstoff um fast 7000 Euro erhöht. Dies stellt auch gleichzeitig das Potenzial für das Austauschen oder das Reparieren von verschlissenen Schaufeln dar, um die Betriebskosten wieder zu senken. Damit haben der Verschleiß und die damit verbundenen Reparaturen eine hohe Relevanz für den gesamten Ressourcenverbrauch des Investitionsguts und rückt neben der Optimie-

zung der Neuteile mehr und mehr in den Fokus. Dazu sind jedoch fundierte wissensbasierte Entscheidungen notwendig.

Reparieren oder austauschen?

Ob ein Teil beibehalten, repariert oder ausgetauscht wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Natürlich stellt sich die Frage: Wie effizient arbei-

Ressourcen werden für die Reparatur benötigt? Und wie groß sind die Durchlaufzeiten bei Reparatur? So kann es gegebenenfalls sogar sinnvoll sein, ein Teil in einem etwas schlechteren Zustand zu belassen, wenn dadurch aber eine deutlich schnellere und/oder ressourcensparende Reparatur möglich ist, was Kapazitäten für die Reparatur weiterer Teile schafft. Daher wurden im Rahmen des SFB

Luftfahrtindustrie und Kraftwerkstechnik eine immer stärker werdende Rolle. Ein Reparaturverfahren für Turbinen aus der Hochdruckturbinen, welches zum Einsatz kommt, ist das Hochtemperaturlöten bei Oberflächendefekten und Mikrorissen. Dies ist mit mehreren aufwendigen Verfahrensschritten verbunden. Die wichtigsten Schritte hierbei sind das Löten im Hochvakuum und das Aufbringen der



tet das reparierte und das vorhandene Teil im Vergleich zu einem Neuteil? Anstatt die verschlissene Schaufel in einem Flugtriebwerk auszutauschen, kann so zum Beispiel auch die Oberfläche regeneriert werden. Werden beispielsweise nur 25 Prozent der Oberfläche repariert, können bereits fast 80 Prozent des Treibstoffmeherverbrauchs wieder eingespart werden, ohne dass eine neue Schaufel gefertigt werden muss, was seinerseits einen hohen Energieaufwand erfordert.

Wichtig ist aber nicht nur das Teil selbst, sondern es muss auch erneut der Herstellungs- und Bearbeitungsprozess berücksichtigt werden, da dies einen wichtigen Teil des Energieverbrauchs darstellt. Wichtig ist somit auch: Wie viele

871 auch Verfahren entwickelt, die die Durchlaufzeiten von Reparaturen deutlich verkürzen.

Beispiel: Turbinenschaufelreparatur

Aufgrund der steigenden Anforderungen an die Effizienz und Lebensdauer von Triebwerken müssen moderne Turbinenschaufeln gegen die oben genannten Schäden geschützt werden. Hierfür kommen entweder reine oxidationsbeständige Beschichtungen (Heißgaskorrosionsschutzschichten) und/oder Wärmedämmschichten zum Einsatz. Angesichts steigender Kosten für Rohmaterialien sowie Herstellungs- und Energiekosten spielt die Reparatur von Komponenten in der

Heißgaskorrosionsschutzschicht, die einem weiteren Beschichtungsprozess unterzogen wird, sodass der Schutz gegenüber Heißgaskorrosion wesentlich verbessert wird (der sogenannte Alitierprozess). Vor allem der Löt- und Alitierprozess sind jedoch sehr energieaufwendig. Im SFB 871 konnte erfolgreich ein Hybridprozess entwickelt werden, mit dem es möglich ist, die dem Stand der Technik entsprechende Prozesskette zum Reparaturlöten von Turbinenschaufeln zu verkürzen, was *Abb. 2* verdeutlicht.

Nach dem heutigen Stand lassen sich so 3 bis 4 Reparaturzyklen durchführen. Bei der entwickelten Hybridtechnologie erhält die verschlissene Turbinenschaufel eine Repara-

Abbildung 1
Beispiele für komplexe
Investitionsgüter
Quelle: eigene Darstellung

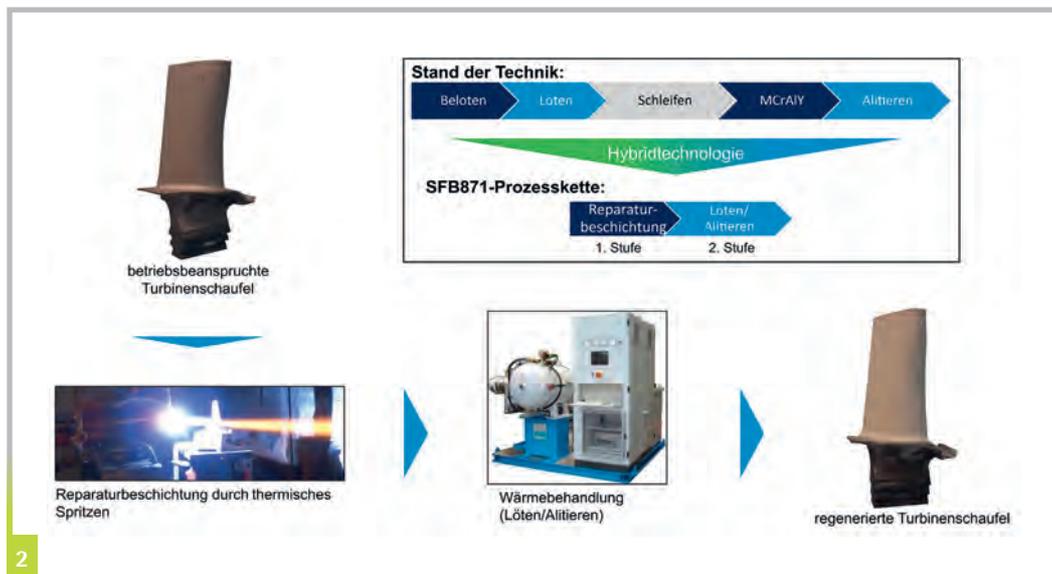


Abbildung 2
Prinzip der Hybridtechnologie
Quelle: IW

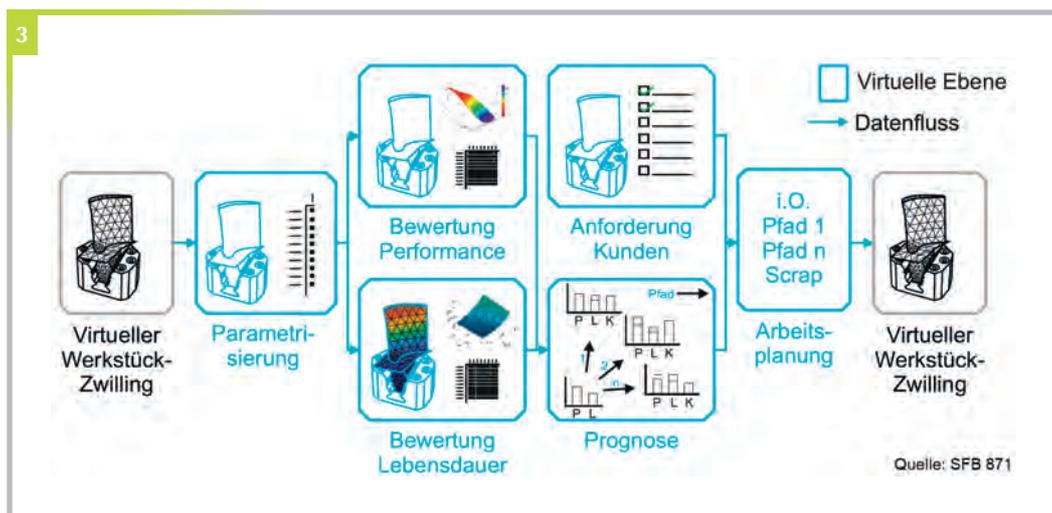
turbeschichtung und wird anschließend einer Wärmebehandlung unterzogen, wobei der Löt- und Alitierprozess simultan durchgeführt werden. Zum einen ergeben sich mechanisch-technologische Verbesserungen (die Reparaturzyklenzahl kann um 50 Prozent erhöht werden und zudem wird die Schichthafung verbessert) bei gleichzeitig wirtschaftlichen Vorteilen. Zum anderen können hierdurch aber auch Energiekosten um etwa 25 Prozent eingespart werden. So kann ein Bauteil länger genutzt und bei Reparaturen der Ressourcenverbrauch zusätzlich deutlich reduziert werden.

Ganzheitliche Betrachtung

Sich mit dem Verschleiß und Reparatur von einzelnen Komponenten auseinander zu setzen, hat gleichzeitig aber noch einen weiteren Vorteil. Es können zusätzlich Rückschlüsse darauf gezogen werden, wie sich ein Teil nach längerem Betrieb in der Maschine verhält. Dies kann auch für die Auslegung von Neuteilen genutzt werden. Hierbei hat sich im SFB 871 gezeigt, dass es notwendig ist, die Vielzahl von Teilschritten in einem Regenerationsprozess eines komplexen Investitionsguts zunächst einzeln zu betrachten, um die hohe Komplexität auf

einzelne Teilschritte zu reduzieren. Demnach wird sowohl die Leistungsbewertung der Komponenten im Triebwerk wie Brennkammer, Verdichter und Turbine, als auch die Prozesse der Zustandserfassung und Regeneration, wie Geometrieerfassung und Laser-auftragsschweißen, zunächst isoliert betrachtet. Dazu hat sich im SFB 871 anhand eines Systemdemonstrators gezeigt, dass sich ein optimaler Reparaturprozess erst dann ermöglichen lässt, wenn die Planung des Prozesses auf Basis eines digitalen Zwillings erfolgt. Dazu wird das untersuchte Werkstück digitalisiert und mögliche Reparaturpfade und

Abbildung 3
Ablauf der Bewertung und Entscheidungsfindung für die Reparatur einer Turbinenschaufel
Quelle: SFB 871



deren Auswirkungen berechnet, siehe Abb. 3.

Darauf aufbauend kann ein optimaler Reparaturpfad ausgewählt werden, der wirtschaftliche und ökologische Ziele bestmöglich erfüllt. Am Ende ist es jedoch wichtig, alle Prozesse wieder zusammenzuführen, da nur so die Auswirkungen einer Reparaturentscheidung auf das Gesamtsystem untersucht werden kann.

Verallgemeinerung der Methodik: Duale Digitale Zwillinge für Reparaturprozess und Investitionsgut

Dies lässt sich auch auf den Produktionsprozess eines Neuteils übertragen, so dass auch hier ein digitaler Zwilling entscheidende Vorteile bringt. Dieses Grundkonzept soll an der Leibniz Universität Hannover nun in dem Zukunftscluster DualTwins4Industry weiter aufgegriffen und vertieft werden. Hier sollen die digitalen Zwillinge des Produktionsprozesses und des Produktes selber miteinander verknüpft werden. Dieser duale Zwilling soll Daten aus Auslegung und Konstruktion der Produkte, der Fertigung in den Produktionsanlagen und der Zustandsüberwachung während der

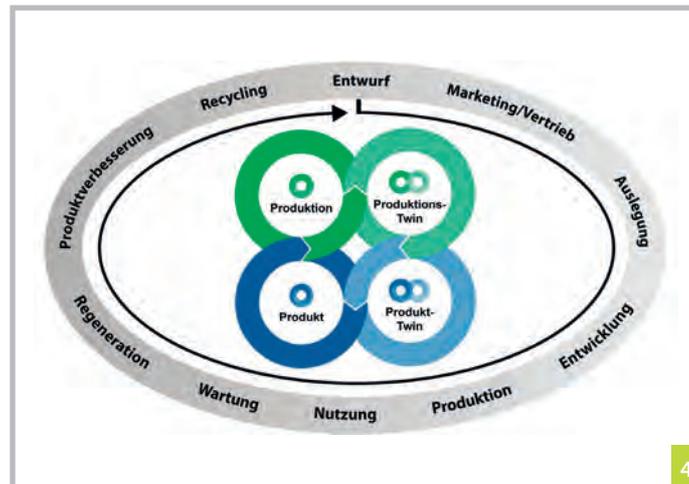


Abbildung 4
Energieeinsparung und
Ressourcenschonung durch
Digitalisierung und Prozess-
verbesserung
Quelle: IDS

Nutzungsphase verwenden, um effiziente automatisierte Entscheidungen und Ablaufplanungen zu ermöglichen. Energie und andere Ressourcen können erfolgreich eingespart werden, indem Energie- und Ressourcenaufwand ganzheitlich über den gesamten Produktlebenszyklus bilanziert werden und diese Bilanzen verwendet werden, um die hinsichtlich des Verbrauchs von Energie und anderer Ressourcen sparsamste Lösung zu finden und umzusetzen. Voraussetzung hierfür ist die Digitalisierung sowohl der Investitionsguts als auch der Produktions- und Reparaturprozesse. Diese Methodik wurde am Beispiel der Reparatur einer Turbinenschaufel erprobt. Hier wurde, wie oben

beschrieben, gezeigt, dass zum Beispiel alleine bei der Beschichtung 25 Prozent der Energie dieses Reparaturschritts eingespart werden konnten. Der so erprobte Ansatz soll in Zukunft auf weitere Teile des Produktlebenszyklus erweitert werden.

M.Sc. Niklas Maroldt
Dr. Martin Nicolaus
M.Sc. David Elshof
Apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Kai Möhwald
Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Maier
Prof. Dr.-Ing. Jörg Seume

→ Infos und Kontaktdaten
ab Seite 68