

Herleitung des Upgrade Engineering als Enabler der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft

Upgrade Engineering: Der neue ganzheitliche Ansatz

F. Schultd, G. Schuh, R. Schrank

ZUSAMMENFASSUNG Unternehmen stehen zunehmend unter Druck, nachhaltig zu handeln. Gesellschaftliche Erwartungen, strenge gesetzliche Vorschriften und wirtschaftliche Zwänge führen zu Zielkonflikten, etwa zwischen ökonomischer und ökologischer Nachhaltigkeit. Dieser Beitrag definiert das Konzept des Upgrade Engineering, das technische Upgrades mit wirtschaftlicher und ökologischer Wertsteigerung verbindet. Die Nutzung dieses Konzepts soll Unternehmen helfen, den geschilderten Konflikt langfristig aufzulösen.

STICHWÖRTER

Nachhaltigkeit, Instandhaltung

Upgrade Engineering: The new holistic approach

ABSTRACT Businesses are under increasing pressure to operate sustainably. Social expectations, strict legal regulations, and economic constraints lead to conflicting goals, such as economic versus environmental sustainability. This article defines the concept of „Upgrade Engineering“, which combines technical upgrades with economic and environmental value enhancement. This concept is meant to help companies to resolve the conflict described above in the long term.

1 Motivation und Handlungsbedarf

Die Anforderungen an Unternehmen, nachhaltig zu handeln, haben in den letzten Jahren erheblich zugenommen. Dies zeigt sich durch die gesellschaftliche Entwicklung sowie nationale Gesetzgebungen, die zunehmend ein umweltfreundliches und sozial verantwortliches Handeln von Unternehmen verlangen. Darüber hinaus ist eine verstärkte Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen, die ethische und ökologische Standards erfüllen, zu beobachten. [1]

Unternehmen, die nicht auf diesen Trend reagieren, riskieren, Marktanteile zu verlieren, da sie die Erwartungen der Verbraucher nicht erfüllen können [2]. Dieser Effekt wird auch durch die sozialen Medien verschärft, da Informationen zu nicht nachhaltigem Handeln schnell veröffentlicht werden können [3]. Parallel dazu verschärfen Regierungen weltweit ihre Umwelt- und Klimaschutzvorschriften [2]. Der European Green Deal, der Circular Economy Action Plan und die Pariser Klimaziele sind Beispiele, die Unternehmen dazu veranlassen, ihre Geschäftsmodelle anzupassen, um den gesetzlichen Anforderungen gerecht zu werden und Strafen zu vermeiden [2, 4]. Diese Vorschriften betreffen nicht nur Großkonzerne, sondern auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU), welche oft weniger Ressourcen haben, um die nötigen Anpassungen vorzunehmen, und somit teilweise auf staatliche Hilfe angewiesen sind. Einerseits kann die Einhaltung dieser Vorschriften hohe Kosten verursachen [5]. Andererseits zeigen Untersuchungen, dass der gesellschaftliche und regulatorische Druck erheblich zur Verbesserung der Umweltleistung von Unternehmen beitragen kann [1]. Zudem können Unternehmen, die nachhaltig handeln, mit niedrigeren Kapitalkosten rechnen

[6]. Dies verdeutlicht den Bedarf an neuen Konzepten, um nachhaltige Wertschöpfung umsetzen zu können.

Somit stehen Unternehmen vor der Herausforderung, ökologische und soziale Nachhaltigkeit sowie wirtschaftliche Rentabilität miteinander zu verbinden. Dies führt zu drei konkreten Zielkonflikten, denen sich Unternehmen stellen müssen, um langfristig erfolgreich zu sein. Einer der Zielkonflikte besteht zwischen der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit. Dieser tritt auf, wenn Unternehmen ihre ökonomische Leistung maximieren möchten, dabei aber ökologische Prinzipien vernachlässigen. Es kann notwendig sein, kurzfristige ökonomische Gewinne zugunsten langfristiger ökologischer Verbesserungen zu opfern. Ein Beispiel ist die Entscheidung, in der Anschaffung teurere, aber umweltfreundlichere Technologien einzusetzen, die den kurzfristigen Profit schmälern, aber langfristig einen größeren ökologischen Nutzen bringen. [7]

Ein weiterer Zielkonflikt besteht zwischen der ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeit [7]: Unternehmen stehen dabei oft vor dem Dilemma, kurzfristig Kosten zu sparen, etwa durch Senkung der Löhne oder die Verlagerung von Arbeitsplätzen in Niedriglohnländer [8]. Dies kann jedoch soziale Ungleichheiten verstärken [8]. So kann ein kurzfristig rentables Geschäftsmodell langfristig zu gesellschaftlichen Problemen wie Arbeitslosigkeit oder sozialen Spannungen führen [8].

Den dritten Zielkonflikt bilden die Dimensionen ökologische versus soziale Nachhaltigkeit: Maßnahmen, welche die Umwelt schützen, können sozial negative Auswirkungen haben, die im Widerspruch zu den sozialen Zielen einer Gesellschaft stehen [9, 10]. Ein Beispiel wäre eine strengere Regulierung von Umweltstandards, die zwar zu weniger Umweltverschmutzung führt,

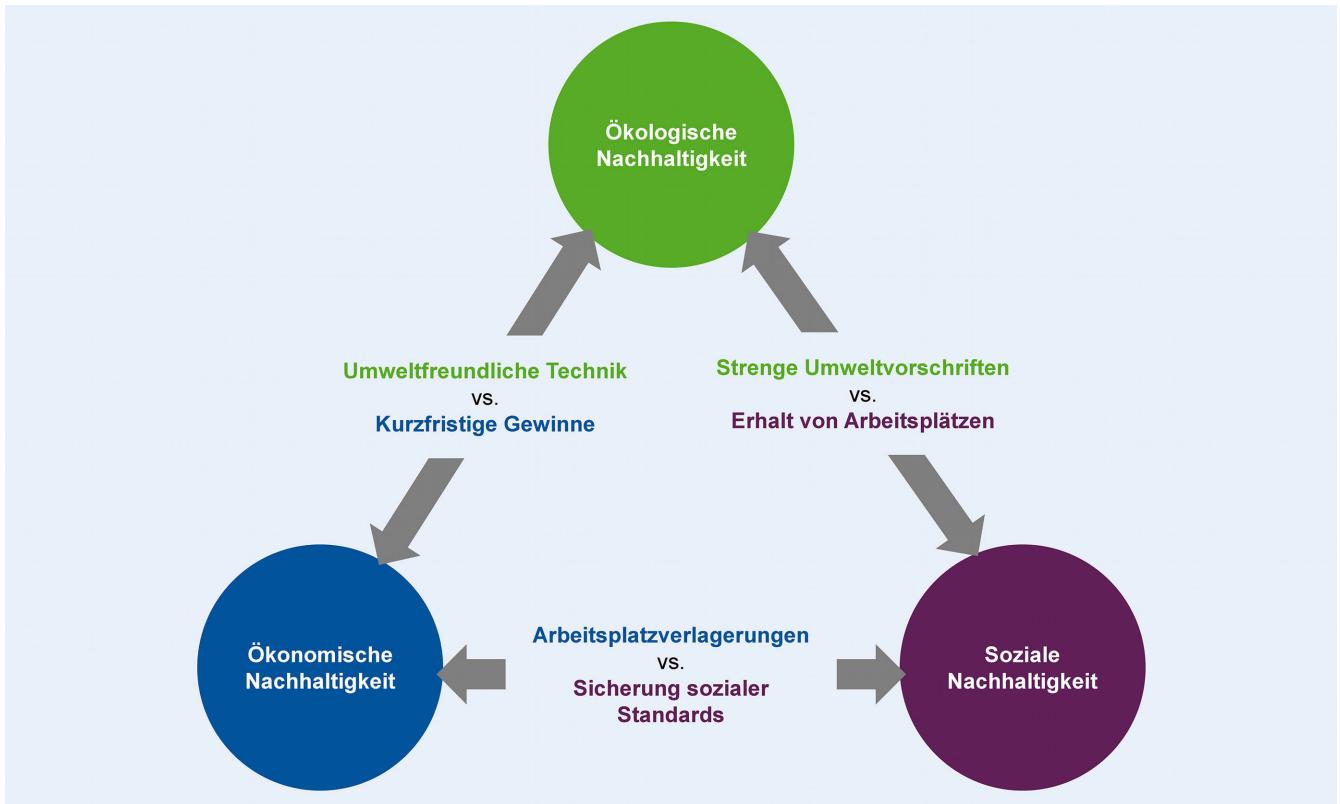


Bild 1. Exemplarische Darstellung der Nachhaltigkeitszielkonflikte. *Grafik: eigene Darstellung*

aber gleichzeitig Arbeitsplätze in bestimmten Branchen gefährdet [9, 10]. Ergänzend ist festzuhalten, dass ökologische Nachhaltigkeit in diesem Kontext zunehmend als Wettbewerbsvorteile gesehen wird [11]. So sind Unternehmen, die sich als nachhaltig positionieren, in der Lage, ihre Marktanteile auszubauen und erhebliche Kosteneinsparungen beispielsweise durch eine effizientere Ressourcennutzung zu realisieren [11, 12]. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Unternehmen, die erfolgreich sein wollen, zukünftig in der Lage sein müssen, die Widersprüche zwischen den genannten Zieldimensionen aufzulösen (**Bild 1**).

Unternehmen sind also gezwungen, Strategien und Konzepte zu entwickeln, um ökologische, soziale und wirtschaftliche Ziele gleichzeitig erreichen zu können. Andernfalls laufen sie Gefahr, ihre Marktanteile und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu riskieren. Sowohl der gesellschaftliche wie der regulatorische Druck erlauben es zukünftig nicht mehr, dass insbesondere der Zielkonflikt zwischen der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit nicht adressiert wird (siehe oben).

An dieser Stelle setzt dieser Beitrag an und zeigt eine Möglichkeit auf, den Widerspruch zwischen ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit aufzulösen. Zu diesem Zweck erfolgt zunächst eine Analyse des Stands der Technik zu den Themengebieten: Kreislaufwirtschaft, Instandhaltung, Instandhaltungsengineering, Asset Management, Retrofits sowie Remanufacturing. Darauf aufbauend werden aus bestehender Literatur sowie dem in diesem Abschnitt identifizierten Handlungsbedarf Anforderungen an ein neues Konzept definiert, das ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit miteinander vereinen soll. Die Ableitung dieser Anforderungen bildet den Schwerpunkt des Beitrags. Als nächstes wird das Konzept des Upgrade Engineering definiert. Diese Definition wurde im Anschluss durch Interviews mit zwei

Industrieunternehmen validiert. Abschließend wird ein Ausblick auf mögliche Anwendungen und Weiterentwicklungen gegeben.

2 Stand der Technik

In den Ausführungen zum Stand der Technik wird zunächst auf aktuelle Entwicklungen der Kreislaufwirtschaft eingegangen. Im Anschluss wird der aktuelle Stand des Themenkomplexes der Instandhaltung dargelegt. Dazu zählen die Bereiche des Instandhaltungsengineering sowie das Asset Management. Diese sind von Relevanz, da sie über die rein technische Betrachtung der Instandhaltung hinausgehen. Außerdem werden Retrofits sowie das Remanufacturing beschrieben.

Einer der Hauptaspekte der Kreislaufwirtschaft ist das Ziel den Lebenszyklus von Maschinen und Anlagen zu verlängern [13]. Dies wird durch Instandhaltung und Retrofits erreicht, die dazu beitragen, Maschinen länger in Betrieb zu halten [13]. Dadurch können Ressourcen gespart, Abfallmengen reduziert und weitere Vorteile gegenüber linearen Wirtschaftsmodellen realisiert werden [13]. Auf die Instandhaltung und Retrofits wird im weiteren Verlauf des Kapitels Bezug genommen. Darüber hinaus sind digitale Technologien von entscheidender Bedeutung für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft in der produzierenden Industrie [14]. Technologien wie Echtzeitüberwachung, Optimierung der Maschinensteuerung und prädiktive Analytik tragen wesentlich dazu bei, den Lebenszyklus von Maschinen zu verlängern [14]. Diese datenbasierten Anwendungen erlauben es den Herstellern, kreislaufwirtschaftsförderliche Retrofits anzubieten, die sowohl für neue als auch für bestehende Maschinen anwendbar sein können [14]. Innerhalb des Konzepts der Circular Integration hingegen sollen die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft direkt in

die Prozesse des Unternehmens mit einfließen [15]. Ziel ist die Maximierung von Ressourcen- und Energieeinsparungen durch ein umfassendes Systemdesign [15]. Dieser multidimensionale Ansatz berücksichtigt verschiedene Zieldimensionen und Disziplinen und schafft somit ein Rahmenwerk für kreislaufwirtschaftsgerechte Produktionsprozesse [15].

Gemäß *Hopkinson et al.* [16] wird eine erfolgreiche Wertschöpfung innerhalb der Kreislaufwirtschaft durch die Integration von vier Schlüsselementen erreicht: zirkuläres Design, innovative Geschäftsmodelle, effizientes Rückführungsnetzwerkmanagement und unterstützende systemische Bedingungen. Fallstudien zeigen, dass Unternehmen durch funktionsübergreifende Zusammenarbeit und iterative Anpassung langfristige Wertsteigerungen erzielen können. Ein Automobilunternehmen erhöhte beispielsweise den zirkulären Wert durch die Integration von recycelten Materialien, die Wiederverwendung von Teilen und die Einführung von Mobilität als Dienstleistung. Ein weiteres Beispiel liefert ein Technologieunternehmen, das seine Umsätze durch ein „Design for Excellence“-Programm, das die Wiederverwertbarkeit und Langlebigkeit von Produkten fokussierte, steigern konnte. So konnten sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Vorteile erzielt werden. Dies zeigt, dass es mithilfe der Kreislaufwirtschaft möglich ist, eine unternehmerische Wertsteigerung zu erzielen und somit eine wertsteigernde Kreislaufwirtschaft zu erreichen. [16]

Wie bereits erwähnt, ist die Instandhaltung von besonderer Relevanz für die Kreislaufwirtschaft. Die Kernaufgabe der Instandhaltung liegt in der Sicherstellung der Funktionserhaltung und in der Verlängerung der Nutzungsdauer von Maschinen und Anlagen [17]. Dafür gibt es in der Instandhaltung vier Grundmaßnahmen: die Wartung, die Inspektion, die Instandsetzung und die Verbesserung der Funktionssicherheit [17].

Bei einer Wartung werden Maßnahmen ergriffen, welche eine fortlaufende Funktionsfähigkeit von Maschinen und Anlagen sicherstellen [17]. Die Inspektion hingegen beschreibt eine Überprüfung des aktuellen Zustands eines technischen Objekts [17]. Die Instandsetzung umfasst Maßnahmen zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit von Maschinen und Anlagen [17]. Innerhalb der Verbesserung wird eine Verbesserung der Funktions- sicherheit und Instandhaltbarkeit von Maschinen und Anlagen angestrebt. Eine Funktionsänderung oder -anpassung ist hier explizit ausgeschlossen [17]. Außerdem gibt es noch die Änderung beziehungsweise Modifikation und Modernisierung [18]. Eine Änderung oder Modifikation bezieht sich auf Maßnahmen, die darauf abzielen, die Funktion einer Anlage zu ändern oder neue Funktionen hinzuzufügen [18]. Dies geht über die Erhaltung des bestehenden Zustands hinaus und kann sowohl eine Leistungssteigerung als auch eine Anpassung an neue Anforderungen umfassen [18]. Die Modernisierung dagegen schließt die umfassende Erneuerung oder Umgestaltung von Maschinen und Anlagen ein, um diese an aktuelle technologische Standards anzupassen und ihre Effizienz zu verbessern [18].

Zusätzlich zu den Grundmaßnahmen existieren verschiedene Strategien der Instandhaltung, die spezifische Ziele verfolgen und unterschiedliche Methoden umfassen [18]. Diese Strategien bedienen sich der Grundmaßnahmen, sind diesen aber nicht zugeordnet. Die korrektive beziehungsweise reaktive Instandhaltung erfolgt erst nach dem Auftreten eines Fehlers oder dem Ausfall der Maschine. Ziel der korrekiven Instandhaltung ist die schnellstmögliche Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit der

Anlage. Diese Strategie wird oft angewendet, wenn ungeplante Stillstände keine gravierenden Auswirkungen auf den Betrieb haben. Die präventive Instandhaltung hingegen wird regelmäßig und unabhängig vom aktuellen Zustand der Anlage durchgeführt, um potenzielle Ausfälle zu verhindern. Eine spezialisierte Form der präventiven Instandhaltung ist die zustandsorientierte Instandhaltung, bei der Instandhaltungsmaßnahmen auf Basis der tatsächlichen Zustandsdaten der Maschinen geplant werden. Die vorausschauende Instandhaltung ist dagegen eine zustandsbasierte Strategie, bei der Instandhaltungsmaßnahmen auf Grundlage von Vorhersagen durchgeführt werden. Diese Vorhersagen basieren auf wiederholten Analysen oder bekannten Eigenschaften des Systems, wobei wichtige Parameter überwacht werden, die den Verschleiß oder die Abnutzung eines Objekts anzeigen. [18]

Zusätzlich werden das Instandhaltungsengineering sowie das Asset Management betrachtet, da diese Konzepte organisatorische und unternehmerische Aspekte zur reinen Funktionsorientierung der Instandhaltung der Instandhaltung ergänzen [19]. Dies ist vor allem angesichts der in Kapitel 1 beschriebenen Herausforderungen von Bedeutung, weil sich diese nicht rein technisch lösen lassen. Die strategische Planung, Entwicklung und Optimierung von Instandhaltungsprozessen zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Anlagen ist das zentrale Anliegen des Instandhaltungsengineering. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Integration technischer, wirtschaftlicher und organisatorischer Aspekte zur Entwicklung einer für das Unternehmen passgenauen Instandhaltungsstrategie. Ein integraler Bestandteil ist die enge Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Abteilungen eines Unternehmens, um sicherzustellen, dass die Instandhaltungsstrategie auf die spezifischen Bedürfnisse der Produktion abgestimmt ist. Ein weiteres Ziel ist die kontinuierliche Verbesserung von Instandhaltungsprozessen, um diese kontinuierlich an die sich verändernden Bedingungen sowie technologischen Entwicklungen anzupassen. Dies umfasst die Berücksichtigung von Erfahrungen im Anlagenbetrieb, die Einführung neuer Technologien und die Anpassung an gesetzliche Anforderungen. Zudem fördert das Instandhaltungsengineering den Einsatz von Kennzahlen zur kontinuierlichen Überwachung und Optimierung der Instandhaltungsprozesse. [19]

Das Asset Management ist auf die systematische und koordinierte Verwaltung von Vermögenswerten über deren gesamten Lebenszyklus hin zur Schaffung von Unternehmenswerten ausgerichtet [20]. Letztere werden nicht nur finanziell, sondern auch in Bezug auf Leistung, Risiko und Kosten definiert. So wird Organisationen ermöglicht, ihre Ressourcen effizient zu nutzen und gleichzeitig langfristige strategische Ziele zu erreichen. Darüber hinaus unterstützt das Asset Management die Identifikation und Bewertung von Risiken, die mit der Nutzung von Vermögenswerten verbunden sind. Schließlich bietet das Asset-Management-Konzept einen Rahmen für die Kommunikation über den Zustand und die Wertentwicklung der Vermögenswerte innerhalb der Organisation und gegenüber externen Stakeholdern. [20]

Nachfolgend soll der Themenkomplex des Retrofits von Maschinen und Anlagen erläutert werden. Ziel ist es, bestehende Maschinen und Anlagen auf den neuesten Stand der Technik zu bringen [21]. Dabei handelt es sich um die praktische Umsetzung der oben angerissenen Begriffe der Modifikation und Modernisierung, für die im Folgenden einige Beispiele ausgeführt werden. Ein zentraler Aspekt des Retrofits ist oftmals die Integration von Industrie-4.0-Anwendungen, wie beispielsweise die Vernetzung

von Anlagenkomponenten, in den Bestand, um eine nahtlose Kommunikation und Datenerfassung zu ermöglichen. Diese Technologien sind entscheidend, um die Effizienz und Flexibilität der Produktionsprozesse zu erhöhen und gleichzeitig eine Grundlage für moderne Instandhaltungsstrategien zu schaffen. Die Ermöglichung einer vorausschauenden Instandhaltung ist ein weiterer Aspekt des Retrofits. [21]

Diese Art der Instandhaltung versetzt Unternehmen in die Lage, Wartungsarbeiten proaktiv durchführen zu können, bevor es zu einem Ausfall kommt [18]. Dies kann durch die Integration von Sensoren und Machine-Learning-Algorithmen erreicht werden, die den Zustand einer Maschine oder Anlage kontinuierlich überwachen und Abweichungen von den normalen Betriebsbedingungen frühzeitig erkennen [21]. Durch solche proaktiven Maßnahmen können ungeplante Ausfallzeiten minimiert und langfristig die Wartungskosten reduziert werden [22].

Auch die Verbesserung der Arbeitssicherheit ist ein mögliches Anwendungsfeld von Retrofits, vor allem in industriellen Umgebungen [22]. Durch den Einsatz aktueller Sicherheitstechnologien und die Automatisierung gefährlicher Prozesse kann das Risiko für die Mitarbeiter erheblich verringert werden [22]. Die Integration dieser Technologien trägt dazu bei, Unfälle zu vermeiden und die Produktivität zu steigern [22]. Durch Retrofits soll auch die Kosteneffizienz von Maschinen und Anlagen gesteigert werden [23]. Dies kann in der industriellen Praxis etwa durch die Modernisierung von Wärmeübertragungsprozessen oder den Einsatz energieeffizienterer Komponenten erreicht werden [23]. Diese Maßnahmen führen nicht nur zu Kosteneinsparungen, sondern tragen durch die Senkung des Energieverbrauchs auch zur Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit bei [23]. Vor allem für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bietet Retrofit eine kosteneffiziente Alternative zum vollständigen Austausch von Maschinen, da die Modernisierung bestehender Anlagen oftmals deutlich günstiger ist [22].

Zum Abschluss wird der aktuelle Stand des Themenkomplexes Remanufacturing dargelegt. Remanufacturing beschreibt einen Vorgang im Rahmen der Kreislaufwirtschaft, bei der Produkte durch Demontage und anschließendes Neuzusammensetzen in einen neuwertigen oder sogar besseren Zustand gebracht werden können [24]. Ein zentrales Merkmal von Remanufacturing ist die Möglichkeit, Upgrades in ein Produkt zu integrieren [24, 25]. Das bedeutet, dass während der Wiederaufbereitung nicht nur defekte Teile repariert oder ausgetauscht werden, sondern auch neue Technologien oder Innovationen hinzugefügt werden können [24]. Diese Aufrüstungen können den Wert des Produkts steigern und dessen Leistung im Vergleich zum Originalzustand erhöhen [24]. Der Begriff „Upgrades“ wurde in diesem Kontext bereits in den 1980er Jahren geprägt und bezog sich damals vor allem auf die Implementierung neuer Technologien bei militärischem Gerät [26]. Ziel dabei ist es, die Zeit, die ein Produkt für den Wiederaufbereitungsprozess benötigt, zu minimieren und gleichzeitig neue Innovationen zu integrieren, welche nach dem ursprünglichen Verkaufszeitpunkt entwickelt wurden [25].

Die in den vorhergehenden Absätzen beschriebenen Ansätze zur Instandhaltung sowie zum Retrofit und Remanufacturing von Maschinen und Anlagen können zur Effizienzsteigerung und Kostenenkung beitragen. Diese Ansätze beschränken sich aber allein auf technische Aspekte. Hingegen beziehen das Instandhaltungsengineering sowie das Asset Management auch organisatorische und finanzielle Aspekte mit ein. Keiner dieser Ansätze bezieht

sich aber auf die Anforderungen der (wertsteigernden) Kreislaufwirtschaft oder die Auflösung des Zielkonflikts zwischen ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit. Daher ist ein neues Konzept notwendig, das den beschriebenen Zielkonflikt auflöst und die Anforderungen an eine wertsteigernde Kreislaufwirtschaft mit dem funktionserhaltenden oder funktionserweiternden Charakter der Instandhaltung sowie des Retrofits kombiniert. Die detaillierten Anforderungen an dieses neue Konzept werden nachfolgend ausgeführt.

3 Anforderungen an das Konzept

Ein Konzept zur Erreichung einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft übernimmt in Teilen die Anforderungen aus verschiedenen etablierten Ansätzen der Instandhaltung, des Asset Managements sowie des Retrofits. Aus dem Feld der Instandhaltung werden zwei wesentliche Prinzipien adaptiert:

1. Die Erhaltung der Funktion und
2. die Verlängerung der Nutzungsdauer von Maschinen und Anlagen [18].

Beide Zieldimensionen tragen dazu bei, eine kontinuierliche und effiziente Nutzung von Maschinen und Anlagen sicherzustellen. Auch muss es sich bei dem neuen Konzept um einen integrativen Ansatz handeln, bei dem mehrere Abteilungen beziehungsweise Stakeholder eingebunden werden, um die Anlagenverfügbarkeit zu maximieren [19]. Dies ist beim Instandhaltungsengineering der Fall [19]. Innerhalb einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft soll analog zum Asset Management der Wert von Maschinen und Anlagen über den Lebenszyklus hinweg maximiert werden [20]. Zudem werden Maschinen und Anlagen als wertvolle Unternehmensressourcen betrachtet [20].

Auch aus dem Themenkomplex des Retrofit werden diverse Anforderungen an das neue Konzept übernommen. Hierbei steht die Modernisierung bestehender Maschinen im Fokus. So ist es möglich, durch den Einsatz von Industrie-4.0-Technologien und die Automatisierung von Prozessen die Effizienz, Flexibilität und Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen erheblich zu steigern [21]. Dazu zählt auch der Einsatz von Predictive Maintenance [21]. Ein weiteres Ziel ist die Verbesserung der Arbeitssicherheit durch den Einsatz moderner Sicherheitstechnologien und die Automatisierung gefährlicher Prozesse [22]. Ebenso sollten Kosteneffizienz und Energieeffizienz eine zentrale Rolle im Rahmen des neuen Konzepts einnehmen. Retrofit-Maßnahmen, welche auf energieeffiziente Komponenten setzen, tragen in diesem Zusammenhang nicht nur zur Reduzierung der Betriebskosten bei, sondern zählen durch Reduktionen beim Energieverbrauch auch auf die ökologische Komponente der Nachhaltigkeit ein [23].

Im neuen Konzept ist auch die Berücksichtigung der Anforderungen aus dem ESG-Bereich (Environmental, Social, Governance) von großer Bedeutung. Vor allem da Studien zeigen, dass die Umsetzung von ESG-Standards einen erheblichen Einfluss auf den Unternehmenswert hat [27]. So kann ESG-Zertifizierung beispielsweise dazu beitragen, die Kapitalkosten zu senken sowie den Marktwert zu steigern und die Marktposition eines Unternehmens zu verbessern [27]. Familienunternehmen profitieren in diesem Zusammenhang auf lange Sicht, da ESG als Instrument der Risikominderung und Wertsteigerung genutzt werden kann [28]. Auch in technischen Bereichen wie der Instandhaltung ist die Berücksichtigung von ausgewählten ESG-Kriterien von Bedeutung, um ökologische und soziale Aspekte nachhaltig zu

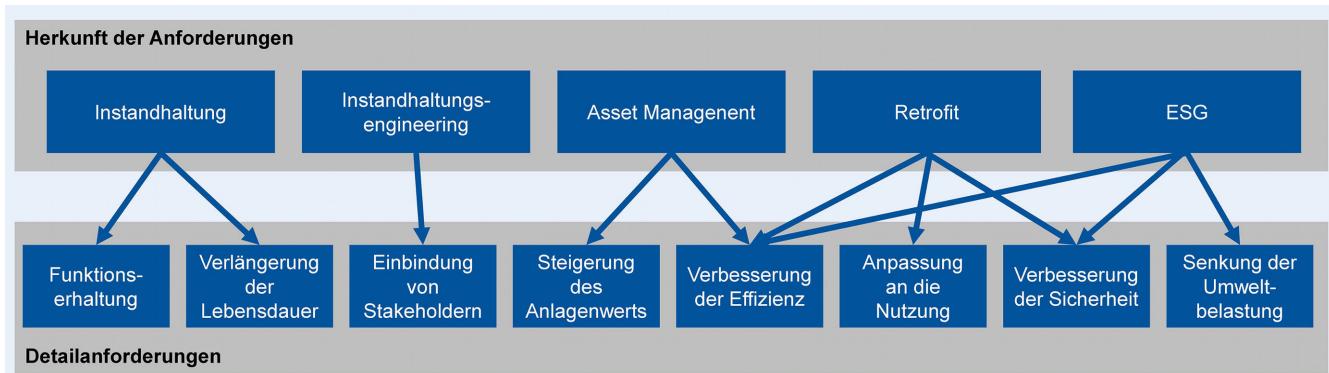


Bild 2. Matching des Ursprungs der Anforderungen mit den Anforderungen. *Grafik: eigene Darstellung*

verbessern [29]. Wichtig ist, dass im Rahmen des neuen Konzepts nur jene ESG-Aspekte berücksichtigt werden sollten, die durch technische Maßnahmen und Prozessoptimierungen tatsächlich beeinflusst werden können. Dazu zählen vor allem der schonende Ressourceneinsatz, die Minimierung von Emissionen und Abfall, Einsparungen beim Energieverbrauch sowie die Verbesserung der Arbeitssicherheit [29]. Insgesamt zeigt sich, dass ESG-Standards zunehmend als integraler Bestandteil der Unternehmensführung betrachtet werden. Dies bedeutet auch, dass diese Standards im Konzept zur Erreichung einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft berücksichtigt werden müssen (**Bild 2**).

Die Anforderungen an das neue Konzept sind interdisziplinär: Technische Maßnahmen wie die Funktionserhaltung und die Verlängerung der Lebensdauer von Anlagen werden durch funktionserweiternde Ansätze ergänzt. Organisatorische und finanzielle Aspekte spielen dabei ebenso eine zentrale Rolle wie ökologische und soziale Gesichtspunkte, welche durch die ESG-Regulatorik zunehmend an Bedeutung gewinnen. Aus diesem Grund ist ein neues ganzheitliches Konzept nötig, welches die verschiedenen Perspektiven und Anforderungen integriert.

4 Definition des Upgrade Engineering und Validierung

Die Basis für das neue Konzept bilden die in Kapitel 3 hergeleiteten Anforderungen an ein neues Konzept zur Erreichung der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft. Beim Upgrade Engineering handelt es sich um eine Erweiterung des bestehenden technischen Begriffs „Upgrades“ mit dem Ziel einer ganzheitlicheren Betrachtung dieser Maßnahmen an Maschinen und Anlagen, vergleichbar der klassischen Instandhaltung und dem Instandhaltungsengineering: Während die Instandhaltung einen rein technischen Vorgang beschreibt, kann das Instandhaltungsengineering als umfassendes Konzept verstanden werden (siehe Kapitel 2).

Demnach steht beim Upgrade Engineering nicht nur die technische Verbesserung von Maschinen und Anlagen sowie deren fortlaufende Anpassung an die aktuellen und zukünftigen Anforderungen im Vordergrund. Es dient dazu, durch diese Upgrades den Wert des Unternehmens sowie die ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit zu steigern. So ergänzt das Upgrade Engineering die rein funktionsorientierte Sichtweise von Upgrades um gesellschaftliche und wirtschaftliche Aspekte. Ergo geht das Upgrade Engineering über rein technische Verbesserungen hinaus und integriert strategische Überlegungen, die auf langfristige Effi-

zienz und Anpassungsfähigkeit abzielen. Mit diesem Ansatz wird nicht nur der Betrieb optimiert, sondern auch ein wesentlicher Beitrag zur Zukunftssicherung der anwendenden Unternehmen und zur Verbesserung der Nachhaltigkeit geleistet. Der Begriff „Upgrade Engineering“ kann also wie folgt definiert werden: „Upgrade Engineering ist ein ganzheitliches Konzept, das über die rein technische Verbesserung und Verlängerung der Lebensdauer von Maschinen und Anlagen hinausgeht, indem es deren kontinuierliche Anpassung an aktuelle und zukünftige Anforderungen mit dem Ziel verfolgt, den Maschinen-/Anlagenwert sowie die ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit zu steigern.“

Um die Praxistauglichkeit sicherzustellen, wurde mit zwei Unternehmen die Definition validiert. Beim ersten Unternehmen handelte es sich um einen großen Haushaltswarenhersteller. Dabei ist aufgefallen, dass die klare Abgrenzung von rein technischen Konzepten, wie dem Remanufacturing und Upgrades, von entscheidender Bedeutung ist. Da die ökologische und soziale Komponente der Nachhaltigkeit neben der Wirtschaftlichkeit zunehmend an Bedeutung gewinnt, wurde betont, dass es ebenfalls entscheidend sei, diese Faktoren im Konzept des Upgrade Engineering zu berücksichtigen. Beim vorgestellten Ansatz sind diese Anforderungen vollumfänglich integriert (siehe oben). Das zweite Unternehmen, bei dem eine Validierung stattfand, war ein universitätsnahes kleines Unternehmen aus dem Bereich der Auftragsfertigung. Innerhalb der Validierung wurde der in den Kapiteln 3 und 4 hergeleitete Ansatz bekräftigt. Außerdem erging der Hinweis, dass es in Zukunft ratsam sein könnte, Upgrades bereits in der Produktentwicklung vorzusehen, um so eine optimale Anwendung des Upgrade Engineering zu ermöglichen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich Unternehmen aktuell der Herausforderung ausgesetzt sehen, vor allem den Widerspruch zwischen der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit aufzulösen. Dies ist der Fall, da sowohl der gesellschaftliche als auch der regulatorische Druck zunehmen.

Diese Rahmenbedingungen verlangen nach innovativen konzeptionellen Lösungen, da vorhandene, rein technische Ansätze, wie Instandhaltung, Retrofit und Remanufacturing, allein nicht mehr ausreichen, um den genannten Anforderungen zu begegnen. Auch erweiterte Konzepte wie das Asset Management oder das Instandhaltungsengineering adressieren nicht den eingangs beschriebenen Zielkonflikt. Vor diesem Hintergrund wurde das

Konzept des Upgrade Engineering entwickelt, das auf den genannten bestehenden Ansätzen aufbaut, aber gezielt die Auflösung des Zielkonflikts zwischen ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit fokussiert. Im Beitrag wurde eine erste Definition des Upgrade Engineering vorgestellt sowie die Anforderungen an dieses erörtert. Ein detailliertes Vorgehen für die Umsetzung des Upgrade Engineering wurde in diesem Zuge nicht erarbeitet, da noch weitere Forschungsarbeiten nötig sind. Kritisch zu sehen ist, dass das vorgestellte Konzept des Upgrade Engineering nicht die Zielkonflikte zwischen der sozialen und ökonomischen sowie der ökologischen und sozialen Komponente der Nachhaltigkeit adressiert.

Mit Blick auf die Zukunft sollte das Konzept des Upgrade Engineering in verschiedenen Branchen angewendet werden, um es in der praktischen Anwendung zu validieren. Besonders in der Prozessindustrie mit ihrem hohen Energie- und Ressourcenverbrauch könnte der Einsatz des Konzepts einen erheblichen Mehrwert liefern, da das Potenzial zur Wertsteigerung und Verbesserung der Nachhaltigkeit hier besonders groß ist. Dies macht die Prozessindustrie zu einem vielversprechenden Anwendungsfeld, um die Wirksamkeit der Anwendung des Konzepts des Upgrade Engineerings unter realen Bedingungen zu erproben. Innerhalb dieser noch auszuführenden praktischen Erprobungen könnte es zielführend sein, die Anforderungen des Upgrade Engineering bereits in der Produktentwicklung mit zu berücksichtigen. Darüber hinaus bedarf es weiterer Arbeiten, um das Konzept zu erweitern, sodass auch die beiden bisher nicht betrachteten Zielkonflikte der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden.

L i t e r a t u r

- [1] Zhou, Y.; Le Luo; Shen, H.: Community pressure, regulatory pressure and corporate environmental performance. *Australian Journal of Management* 47 (2022) 2, pp. 368–392, doi. org/10.1177/03128962211017172. 10.1177/03128962211017172
- [2] Kajanová, J.; Matúšová, S.; Nováček, P.: Sustainable business in the European economic area. *Juridical Tribune Journal = Tribuna Juridica* 12 (2022) 4, pp. 495–508. Internet: tribunajuridica.eu/arhiva/An12v4/4.%20Kajanova,%20Matusova,%20Novacek.pdf. Zugriff am 12.12.2024
- [3] Wu, B.; Fang, H.; Jacoby, G. et al.: Environmental regulations and innovation for sustainability? Moderating effect of political connections. *Emerging Markets Review* 50 (2022), #100835, doi.org/10.1016/j.emerev.2021.100835.
- [4] Europäische Kommission (Hrsg.): Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel, 11.03.2020. Internet: eur-lex.europa.eu/resource.html?url=cellar:9903b325-6388-11ea-b-735-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF. Zugriff am 12.12.2024
- [5] Cerciello, M.; Busato, F.; Taddeo, S.: The effect of sustainable business practices on profitability. Accounting for strategic disclosure. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management* 30 (2023) 2, pp. 802–819, doi.org/10.1002/csr.2389
- [6] Momchilov, G.: Sustainability reporting by companies: reasons and financial benefits. *VUZF Review* 7 (2022) 1, pp. 55–68, doi. org/10.38188/2534-9228.22.1.06
- [7] Hahn, T.; Figge, F.; Pinkse, J. et al.: Trade-offs in corporate sustainability: you can't have your cake and eat it. *Business Strategy and the Environment* 19 (2010) 4, pp. 217–229, doi.org/10.1002/bse.674
- [8] Unel, B.: Offshoring and unemployment in a credit-constrained economy. *Journal of International Economics* 111 (2018), pp. 21–33, doi. org/10.1016/j.inteco.2017.12.002
- [9] Koasidis, K.; Nikas, A.; Neofytou, H. et al.: The UK and German Low-Carbon Industry Transitions from a Sectoral Innovation and System Failures Perspective. *Energies* 13 (2020) 19, #4994, doi.org/10.3390/en13194994
- [10] Orzes, G.; Sarkis, J.: Reshoring and environmental sustainability: An unexplored relationship? *Resources, Conservation and Recycling* 141 (2019), pp. 481–482, doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.004
- [11] Zábojník, S.; Steinhauser, D.; Peštová, V.: Decarbonisation: Do EU Electricity costs harm Export Competitiveness? *Amfiteatr Economic* 25 (2023) 63, pp. 522–540, doi.org/10.24818/EA/2023/63/522
- [12] Schmidt, A.; Köster, D.; Strube, J.: Climate Neutrality Concepts for the German Chemical–Pharmaceutical Industry. *Processes* 10 (2022) 3, #467, doi.org/10.3390/pr10030467
- [13] Fontana, A.; Barni, A.; Leone, D. et al.: Circular Economy Strategies for Equipment Lifetime Extension: A Systematic Review. *Sustainability* 13 (2021) 3, #1117, doi.org/10.3390/su13031117
- [14] Cappelletti, F.; Menato, S.: Developing a Circular Business Model for Machinery Life Cycle Extension by Exploiting Tools for Digitalization. *Sustainability* 15 (2023) 21, #15500, doi.org/10.3390/su152115500
- [15] Walmsley, T. G.; Ong, B. H.; Klemeš, J. J. et al.: Circular Integration of processes, industries, and economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 107 (2019), pp. 507–515, doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.039
- [16] Hopkinson, P.; Angelis, R. de; Zils, M.: Systemic building blocks for creating and capturing value from circular economy. *Resources, Conservation and Recycling* 155 (2020), #104672, doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104672
- [17] DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung. Deutsche Fassung, Ausgabe 2019–06
- [18] DIN EN 13306: Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung. Deutsche Fassung, Ausgabe 2018–02
- [19] DIN EN 17666: Instandhaltung – Instandhaltungsengineering – Anforderungen. Deutsche Fassung, Ausgabe 2023–04
- [20] DIN ISO 55000: Asset Management – Übersicht, Leitlinien und Begriffe. Deutsche Fassung, Ausgabe 2017–05
- [21] Burresi, G.; Ermini, S.; Bernabini, D. et al.: Smart Retrofitting by Design Thinking Applied to an Industry 4.0 Migration Process in a Steel Mill Plant. 2020 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) (2020), pp. 1–6, doi.org/10.1109/MECO49872.2020.9134210
- [22] Di Carlo, F.; Mazzuto, G.; Bevilacqua, M. et al.: Retrofitting a Process Plant in an Industry 4.0 Perspective for Improving Safety and Maintenance Performance. *Sustainability* 13 (2021) 2, #646, doi.org/10.3390/su13020646
- [23] Jegla, Z.; Stehlík, P.; Kohoutek, J.: Plant energy saving through efficient retrofit of furnaces. *Applied Thermal Engineering* 20 (2000) 15, pp. 1545–1560, doi.org/10.1016/S1359-4311(00)00031-4
- [24] Schuh, G.; Schmitz, S.; Schopen, M. et al.: Concept for Maturity Assessment of Remanufacturing Ability in Production Process Development. *Procedia CIRP* 120 (2023), pp. 846–851, doi.org/10.1016/j.procir.2023.09.086
- [25] Schuh, G.; Schmitz, S.; Schopen, M. et al.: Concept For Databased Sales And Resource Planning For Re-Assembly In The Automotive Industry. *Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2023*, pp. 554–562. doi.org/10.15488/13473
- [26] Holden, R. A.: Surface Ship Combat System Upgrade Engineering. *Naval Engineers Journal* 100 (1988) 3, pp. 180–193, doi. org/10.1111/j.1559-3584.1988.tb01500.x
- [27] Wong, W. C.; Batten, J. A.; Ahmad, A. H. et al.: Does ESG certification add firm value? *Finance Research Letters* 39 (2021), #101593. doi.org/10.1016/j.frl.2020.101593
- [28] Espinosa-Méndez, C.; Maqueira, C. P.; Arias, J. T.: The Impact of ESG Performance on the Value of Family Firms: The Moderating Role of Financial Constraints and Agency Problems. *Sustainability* 15 (2023) 7, #6176, doi.org/10.3390/su15076176
- [29] Saini, A.; Ben-Daya, M.; As'Ad, R.: An Investigation of Sustainable Maintenance Performance Indicators: Identification, Expert Validation and Portfolio of Future Research. *IEEE Access* 10 (2022), pp. 124259–124276, doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3224450



F l o r i a n S c h u l d t , M . S c .

Foto: FIR RWTH Aachen
florian.schuldt@fir.rwth-aachen.de

P r o f . D r . - I n g . D i p l . - W i r t . I n g .
G ü n t h e r S c h u h

R e g i n a S c h r a n k , M . L i t t .

FIR e. V. an der RWTH Aachen
Campus-Boulevard 55, 52074 Aachen
Tel. +49 241 / 47705-0
www.fir.rwth-aachen.de

L I Z E N Z



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)