

Digitalisierung und Computational Life Cycle Engineering

Die Ökobilanzierung ist ein anerkanntes Instrument zur systematischen Analyse von Umweltauswirkungen für verschiedene Produkte, Verfahren und Dienstleistungen. So kann beispielsweise die Methode des Integrated Computational Life Cycle Engineering (IC-LCE) einen wichtigen Beitrag bei der Prozessentwicklung galvanischer Oberflächenbeschichtungsverfahren leisten.

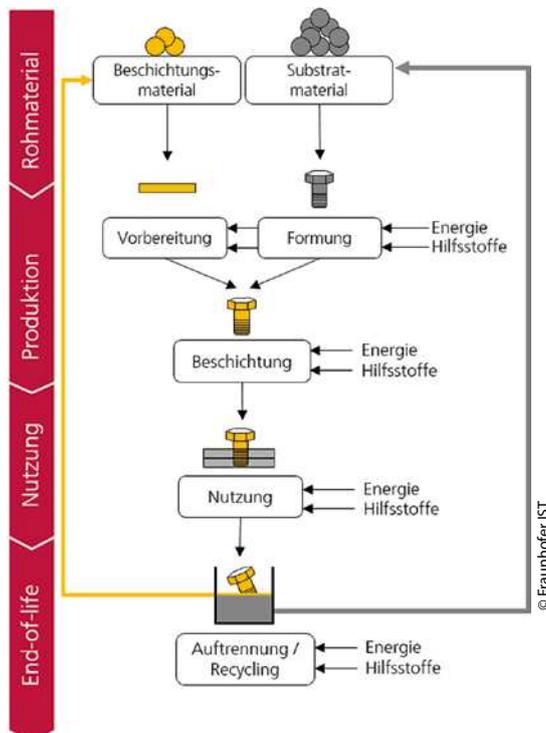
Rowena Duckstein, Alexander Leiden, Felipe Cerdas

Korrosion, Reibung und Verschleiß an Bauteiloberflächen verursachen direkt und indirekt erhebliche ökologische und wirtschaftliche Auswirkungen in allen relevanten Branchen, Infrastrukturen und Verkehrssektoren. Die Entwicklung und Anwendung geeigneter galvanotechnischer Verfahren mit dem Ziel, diese Auswirkungen zu reduzieren, ist daher von entscheidender Bedeutung. Diese Verfahren sind jedoch mit einem hohen Energiebedarf verbunden und erfordern

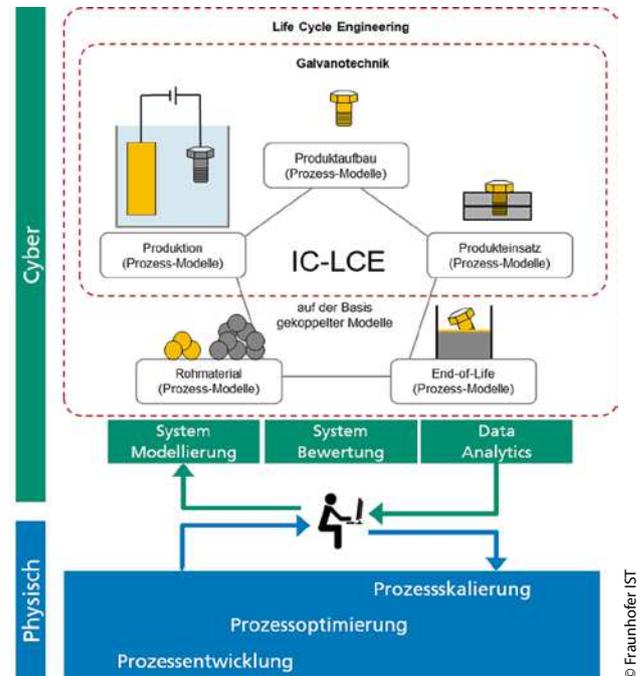
sehr häufig den Einsatz von Chemikalien mit toxischen Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt.

Seit der 2007 in Kraft getretenen REACH-Verordnung [1] wurden verstärkt Versuche unternommen, kritische Substanzen wie Chrom(VI) zu ersetzen. Dabei wurde oft nur der Ersatz der kritischen Einsatzstoffe betrachtet, so dass Problemverschiebungen in andere Lebenszyklusphasen und Umweltwirkungskategorien nicht ausgeschlossen wurden. Mehr Sicherheit kann hier die

Methode des Life Cycle Assessment (LCA) nach ISO 14040 geben [2], welche ein anerkanntes Instrument zur systematischen Analyse von Umweltauswirkungen für verschiedenste Produkte, Verfahren sowie Dienstleistungen ist. Dabei wird der komplette Produktlebenszyklus von der Rohstoffgewinnung bis zum Recycling betrachtet. Ziel ist die Identifizierung und Quantifizierung aller relevanten Umweltwirkungen und die Vermeidung von Problemverschiebungen entlang des Lebenswegs.



Lebenszyklusphasen von galvanisch beschichteten Schrauben



Konzept LCE-Tool für Prozessentwicklung in der Galvanotechnik (in Anlehnung an Cerdas et al.)

Life Cycle Engineering (LCE)

Life Cycle Assessment (LCA) ist eine Methode zur Bewertung der Umweltauswirkungen von Produktsystemen auf die Lebenszyklusperspektive. Die Durchführung der LCA ist sehr zeitintensiv. Darüber hinaus veraltete erzielte Ergebnisse schnell, sobald sich verwendete Materialien, Prozesse oder Prozessparameter ändern. Dies erschwert die Anwendung der Ökobilanzierung als Engineering-Tool, mit dem robuste Ergebnisse für potenzielle Technologien abgeschätzt werden können.

An dieser Stelle setzen innovative Methoden wie das Integrated Computational Life Cycle Engineering (IC-LCE) an. Dieses zielt darauf ab, die Engineering-Aktivitäten bei der Entwicklung, Herstellung, Verwendung und Behandlung von Produkten am Lebensende unter Berücksichtigung der globalen Nachhaltigkeitsziele zu steuern [3].

Durch die Zusammenführung verschiedenster vorhandener digitaler Zwillinge wird der Erstellungsaufwand von LCA-Modellen signifikant reduziert und ermöglicht LCE als Teil des Produktentwicklungsprozesses. Modellparameter können somit deutlich einfacher variiert werden, wodurch die Robustheit der Ergebnisse ebenfalls erhöht wird. Durch die Abdeckung großer Parameterräume lassen sich richtungssichere Entscheidungen ableiten, etwa in Bezug auf den Einsatz von Substituten kritischer Chemikalien.

Beschreibung des Lebenszyklus am Beispiel beschichteter Schrauben

Am Beispiel der Schraubenherstellung zeigt sich, dass der Lebenszyklus einer beschichteten Schraube im Vergleich zum unbeschichteten Material komplexer wird. Jedoch lassen sich durch eine geeignete Beschichtung technologische, ökologische und wirtschaftliche Vorteile in einzelnen Lebenszyklusphasen erzielen.

In der Rohstoffgewinnungsphase muss das zusätzliche Beschichtungsmaterial extrahiert oder aus einem Recyclingprozess entnommen werden. Typische Beschichtungsmaterialien wie Zink oder Zink-Nickel-Legierungen weisen im Vergleich zu typischen Substratmaterialien einen signifikant höheren Energiebedarf und CO₂-Fussabdruck auf [4], jedoch werden nur dünne Schichten im Bereich weniger Mikrometer aufgebracht.

In der Produktionsphase muss das Produkt zuerst geformt und anschließend oberflä-

chenbehandelt werden. Die Beschichtungsmaterialien müssen hierzu zunächst für den Einsatz in Oberflächenbehandlungsprozessen vorbereitet werden. Hierzu wird für galvanische Prozesse ebenfalls eine Betrachtung der Elektrolytherstellung notwendig.

In der Verwendungsphase sollte ein oberflächenfertiges Produkt in der Lage sein, technologische, ökologische und wirtschaftliche Vorteile zu erzielen. Im Falle der beschichteten Schrauben wird durch den aufgebrachtten Korrosionsschutz beispielsweise eine längere Lebensdauer erzielt. So schützt 1 kg Zink etwa 1000 kg Schrauben vor Korrosion [5]. Am Ende der Lebensdauer müssen die Schrauben entsorgt oder idealerweise recycelt werden.

Integration der Prinzipien des LCE in die Oberflächentechnik

Für eine integrierte Lebenszyklusbewertung während der Entwurfsphase eines Produkts sind Rechenmodelle für alle Lebenszyklusphasen erforderlich. Modelle aus der Oberflächentechnik können als Grundlage verwendet werden, um die Umweltauswirkungen während der Herstellung und der Nutzungsphase vorherzusagen. In der Oberflächentechnik ermöglicht der integrierte Ansatz der rechnergestützten Werkstofftechnik die Kopplung von Prozess-, Komponenten- und Materialmodellen in einer mehrskaligen Simulationsumgebung [5]. Dies ermöglicht es, den Aufwand für die Entwicklung neuer Produkte und Herstellungsverfahren zu reduzieren und die Leistung beider zu steigern. Für IC-LCE müssen zusätzlich auch Modelle für die Rohstoffe und die End-of-Life-Prozesse verfügbar sein. Wie zuvor beschrieben, können diese Modelle aus verschiedenen Disziplinen stammen und benötigen Produkteigenschaften als Eingabeparameter wie Verschleiß und Korrosionsbeständigkeit. Ein integrierter Ansatz soll die Kombination von Modellen aus Oberflächentechnik und LCE ermöglichen. In Cerdas et al. wird ein Ansatz zur Integration von Lebenszyklusbewertungsrechnungen für elektrische Fahrzeuge beschrieben [3]. In Leiden et al. [6] wurde dieser Ansatz auf den Fall der Oberflächentechnik übertragen. Die Modelle aus der integrierten rechnergestützten Werkstofftechnik können im Rahmen der Lebenszyklusmodellierung verwendet werden und zu genaueren Lebenszyklusmodellen beitragen. Darüber hinaus ermöglicht eine

integrierte Modellumgebung die Modellierung von Abhängigkeiten zwischen der Oberflächenqualität und dem Verhalten in der Nutzungsphase, um einen Kompromiss zwischen diesen für bestimmte Anwendungsfälle zu erzielen.

Entwicklung eines LCE-Tools für die Galvanotechnik

Basierend auf den Arbeiten von Cerdas und Leiden wird am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST an der Entwicklung eines LCE-Tools gearbeitet, welches begleitend bei der Prozessentwicklung in der Galvanotechnik bereits in frühen Entwicklungsphasen eingesetzt werden soll, verbunden mit dem Ziel, eine unmittelbare Analyse der Umweltauswirkungen zu erzeugen und damit eine schnelle und zielgerichtete Entscheidungsfindung für die Prozessentwicklung zu unterstützen. Gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung werden hier Entwicklungen vorangetrieben, um Prozesse effizienter und ökologischer gestalten zu können. Neben der Optimierung von höherqualitativen, aber teureren Beschichtungsprozessen lassen sich durch den Vergleich von unterschiedlich beschichteten Produkten und den zugehörigen Prozessen innerhalb des LCE unter technologischen, ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten entsprechende Break-Even-Berechnungen durchführen. Diese können vom Kunden als Grundlage für die Vermarktung ihrer Produkte genutzt werden. // [1]-[7] *Literaturhinweise sind beim Autor zu erfragen.*

Autoren

M.Sc. Rowena Duckstein

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig
rowena.duckstein@ist.fraunhofer.de
www.ist.fraunhofer.de

M.Sc. Felipe Cerdas, Position

juan.cerdas-marin@tu-braunschweig.de

M.Sc. Alexander Leiden, Position

a.leiden@tu-braunschweig.de
Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik IWF der Technischen Universität Braunschweig
www.tu-braunschweig.de