

Gießereiprodukte und ihr Mehrwert bei Lebenszyklusbetrachtungen*)

Foundry Products and their Value added in Life Cycle Considerations



Mag. Karin Tschiggerl,

Studium Betriebswirtschaft mit den Schwerpunkten Innovations- und Umweltmanagement an der Karl-Franzens-Universität Graz, danach Projektmanagerin bei Stenum Unternehmensberatung und Forschungsgesellschaft für Umweltfragen. Seit 2014 Universitätsassistentin am Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften an der Montanuniversität Leoben, Schwerpunktbereich Nachhaltigkeitsmanagement.

Dr. Milan Topić

Promotion an der Karl-Franzens-Universität Graz im Bereich Abfallwirtschaft und Nachhaltige Regionalentwicklung. Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben seit 2014 mit den Schwerpunkten Nachhaltigkeits- und Energiemanagement.



Dipl.-Ing. Klaus Doschek

Studium Industrieller Umweltschutz an der Montanuniversität Leoben, seit 2011 Universitätsassistent am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik.

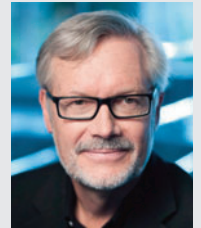


Mathias Rauter, BSc

Studium der Energietechnik und seit 2014 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik der Montanuniversität Leoben.

o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Hubert Biedermann

seit 1995 Vorstand am Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, ab 2003 Leitung des Departments an der Montanuniversität Leoben. Präsident der Österreichischen technisch-wissenschaftlichen Vereinigung für Instandhaltung und Anlagenwirtschaft (ÖVIA). Mitglied in zahlreichen Kommissionen und Vereinigungen und Gutachter für Akkreditierungsverfahren.



Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Harald Raupenstrauch



Vorstand am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik seit 2007 und Leitung des Departments Umwelt- und Energieverfahrenstechnik der Montanuniversität Leoben seit 2013. Gastprofessuren an der Rutgers University of New Jersey/USA, der Technischen Universität

Delft/NL und der Queens University of Belfast/UK. Mitglied in nationalen und internationalen Beiräten und Fachausschüssen.

Schlüsselwörter: Life Cycle Assessment (LCA), Energieeffizienz, Energieeffizienzgesetz, Ökologische Bewertung, Ökonomische Bewertung

1. Einleitung

Lebenszyklusanalysen gewinnen vor dem Hintergrund industrieller Aktivität und damit verbunden der Beeinflussung der ökologischen Umwelt (u.a. Klimawandel) zunehmend an Bedeutung. Die Methode der Ökobilanzierung (synonyme Verwendung der Begriffe Lebenszyklusanalyse, Life Cycle Assessment – LCA) wird sowohl für Produkte als auch Prozesse durchgeführt. Zum einen findet sie Anwendung im Rahmen von Produktdeklarationen und als Marketingargument. Zum anderen dient sie zur Bewertung der ökologischen Auswirkungen verschiedener Alternativen, um Entscheidungen im strategischen und operativen Bereich mit aufbereiteten Informationen zu ermöglichen. Zahlreiche Branchen, die von der Gießereiindustrie belie-

fert werden, zeigen Interesse an den umweltrelevanten Aspekten der verwendeten Bauteile.

Die Gießereiindustrie beinhaltet komplexe, energieintensive Prozesse. Wird lediglich der Herstellprozess von Gießereiprodukten betrachtet, kann die Energiebilanz im Vergleich zu alternativen Werkstoffen negativ ausfallen. Die Beschaffenheit der Produkte prädestiniert diese für lange Gebrauchsphasen; Gussmaterialien zeigen zudem aus Sicht der Kreislaufwirtschaft ein hohes Potenzial zur Wiederverwertung. Daraus ergibt sich die Hypothese, dass Gießereiprodukte in Lebenszyklusbetrachtungen vorteilhafter als ihre Substitutionsprodukte sein können. In Kombination mit Bestrebungen zur Erhöhung der Energieeffizienz und der Berücksichtigung ökonomischer Aspekte ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten, die wirtschaftliche, technologische und ökologische Performance der Gießereiindustrie zu steigern.

2. Herausforderungen für die Österreichische Gießereiindustrie

Seit Jahrzehnten gibt es Bestrebungen zur Umsetzung von Energiesparmaßnahmen, um den relativ hohen

*) Vorgetragen von H. Biedermann auf der 59. Österreichischen Gießereitagung am 24. April 2015 in Leoben.

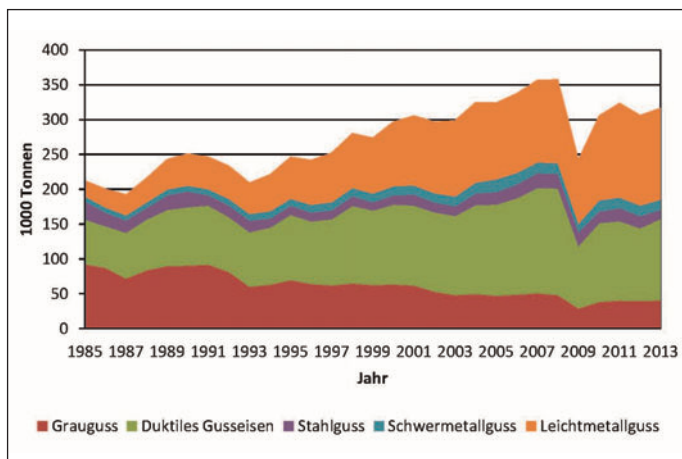


Abb. 1: Produktionsentwicklung der Gießereiindustrie in Österreich [2]

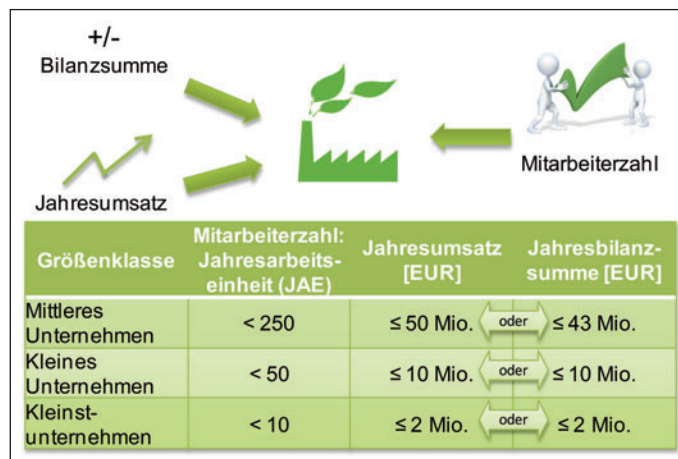


Abb. 2: Einteilung energieverbrauchender Unternehmen gemäß § 9 EEffG [4]

Energiebedarf in der Gießereiindustrie (ca. 2 bis 10 % der Herstellungskosten) zu senken. Jedoch sollte diese eindimensionale Betrachtung des Primärenergiebedarfs eher kritisch gesehen werden, da durch die Vernachlässigung ökologischer und ökonomischer Aspekte mögliche Innovationen und Produktentwicklungen übersehen werden könnten [1].

Wie die Produktionsentwicklung der österreichischen Gießereiindustrie in den letzten Jahren zeigt (Abb. 1), ist in den Bereichen Leichtguss und Duktiles Gusseisen ein Wachstum zu verzeichnen. Dies ist u.a. auf steigenden Bedarf an ökologisch und ökonomisch leistungsfähigeren Bauteilen und Produkten zurückzuführen.

2.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen: Das Energieeffizienzgesetz

Die stetig steigende Produktion, die damit gekoppelten Emissionen und die Ressourcenintensität der letzten Jahrzehnte verlangen nach Maßnahmen, um einen möglichst umweltschonenden Ressourceneinsatz und in Folge eine Verminderung der Emissionen in Industrien mit hohem Energieeinsatz zu gewährleisten.

Die EU hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2020 beim Primärenergieverbrauch 20 Prozent einzusparen und hat dieses Ziel zu einem der fünf vorrangigen Schwerpunkte der Strategie „Europa 2020 für ein intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum“ gemacht. Diese Debatte schlägt sich u.a. in der Energieeffizienz-Richtlinie nieder, welche im November 2012 im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht

wurde. In Österreich findet diese Richtlinie im Rahmen des Energieeffizienzgesetzes (EEffG) Anwendung.

Wichtig ist eine Unterscheidung zwischen zwei Kernbegriffen des Gesetzes:

Begriffsbestimmungen gemäß § 5 EEffG [3]

- Energieeffizienz (Endenergieeffizienz): das Verhältnis von Ertrag an Leistung, Dienstleistungen, Waren oder Energie zu Energieeinsatz (Endenergieeinsatz);
- Energieeffizienzmaßnahme: jede Maßnahme, die ab 2014 in Österreich gesetzt wird, in der Regel zu überprüfbaren und mess- oder schätzbaren Energieeffizienzverbesserungen führt und ihre Wirkung über das Jahr 2020 hinaus entfaltet; wirkt eine Effizienzmaßnahme nicht bis über das Jahr 2020 hinaus, ist sie anteilig anrechenbar

Unternehmen, die unter § 9 EEffG fallen (siehe Abb. 2 zur Einteilung), mussten bis spätestens 31. Jänner 2015 eine Erklärung abgeben, ob sie ein zertifiziertes Managementsystem eingeführt haben bzw. einführen werden. Daraus ergibt sich bis spätestens 30. November 2015 die Meldung der Durchführung eines Energieaudits (EA) oder der vollständigen Implementierung eines zertifizierten Energiemanagementsystems (EMS). In Österreich ist daher zumindest alle vier Jahre ein externes Energieaudit durchzuführen, oder ein zertifiziertes Energie- oder Umweltmanagement mit einem internen oder externen Energieaudit ab dem 1. Jänner 2015 einzuführen.

Die grundlegenden Unterschiede zwischen EA und EMS sind der folgenden Tabelle 1 zu entnehmen [4; 5]:

Energiemanagementsystem (EMS)	Energieaudit (EA)
<ul style="list-style-type: none"> • Innerhalb eines Monats ab Inkrafttreten des Gesetzes (01.01.2015) Bekanntgabe an Monitoringstelle • 10 Monate zur vollständigen Implementierung (30.11.2015) • Internes Audit verpflichtend • Kosten: ca. € 25.000,— im Zuge der Einführung (abhängig von Unternehmensgröße) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle 4 Jahre (2015, 2019) • Nur durch externen Auditor • Bis 30.11.2015 • Vor 01.01.2015 durchgeführte Audits sind anrechenbar (4 Jahresfrist) • Kosten: ca. € 5.000,— pro Audit

Tab. 1: Unterschiede Energiemanagementsystem und Energieaudit im Rahmen des EEffG [5]

2.2 Implikationen für die Gießereiindustrie

Für energieintensive Branchen, wie es die Gießereiindustrie eine ist, ist eine Auseinandersetzung mit dem Thema Energieeffizienz – nicht nur vor dem gesetzlichen Hintergrund – essentiell. Die breite Palette an Produkten bedingt einen heterogenen Charakter der Produktion mit unterschiedlichen und komplexen Strukturen [6]. Dieser Aspekt kann in der Gießereiindustrie zu eindimensionalen Aussagen betreffend der Energieeffizienz führen, wenn der Fokus der Betrachtung beispielsweise ausschließlich auf dem Primärenergiebedarf liegt. Dadurch besteht die Gefahr, Innovationen und Produktentwicklungen zu unterbinden. Diese sind gemäß EEffG ebenfalls als Energieeffizienzmaßnahme anrechenbar; somit ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer kumulierten Energie- und Materialeffizienz [1]. Auf Innovation ausgerichtete Strategien zur Energieeffizienz aus technischer Sicht betreffen beispielsweise den Wirkungsgrad, die Prozesslandschaft und das Bauteil [7]. Dies impliziert eine detaillierte und transparente Datenanalyse entlang des Produktlebenszyklus, um realistische Kennwerte zu erhalten. Diese wiederum resultieren in den tatsächlichen Potenzialen, einerseits bezogen auf die Energieeffizienz, zum anderen in den möglichen Umweltwirkungen.

Für die Gießereiindustrie ist die Transparenz von Energieeinsatz und -strömen daher fundamental, um neben den Vorgaben des EEffG vor allem Nutzeffekte identifizieren zu können. Entsprechende Entwicklungsrichtungen beinhalten:

- die verstärkte Implementierung von Energiemanagementsystemen,
- die Etablierung von Energieeffizienznetzwerken,
- die Implementierung von Energiekennzahlen, Kennzahlensystemen und Benchmarks,
- fortschrittliche Sensor-, Kommunikations- und Analysensysteme,
- energiesensible Simulations- und Optimierungsansätze.

3. Ein life-cycle-orientierter Ansatz zur Bewertung von Gießereiprodukten

Im Kontext mit den gesetzlichen Herausforderungen und aktuellen Rahmenbedingungen für die Gießereiindustrie startete im Oktober 2013 das dreijährige Forschungsprojekt „EnEffGieß – Entwicklung eines Life-Cycle-orientierten Ansatzes zur Bewertung energieeffizienter, nachhaltiger Gießereiprodukte“. Dieses wurde im Rahmen des Programms „Collective Research“ der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) eingereicht. Der Projektträger ist der Fachverband der Österreichischen Gießereiindustrie mit einem breiten Projektkonsortium aus Forschung und Industrie: Österreichisches Gießereininstitut, Montanuniversität Leoben mit zwei Lehrstühlen (Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften – WBW und Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik – TPT), sowie Borbet Austria, Dynacast Austria, Georg Fischer Fittings, Nemak Linz, Tiroler Rohre und voestalpine Gießerei Linz.

Das Ziel des Projekts ist die Erstellung eines Prozess- und Bewertungsmodells, welches geeignet ist, die

Energieeffizienz in Gießereien nachhaltig zu erhöhen. Basierend auf technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Methoden ermöglicht das Modell die Bewertung unterschiedlicher Gießereiprodukte hinsichtlich des Energiebedarfes. Daraus lassen sich Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz identifizieren. Der innovative Charakter des Projektes liegt darin, dass durch den ganzheitlichen modularen Ansatz eine neuartige Betrachtung und Bewertung der heterogenen Produkte der Gießereiindustrie entsteht.

Der Fokus liegt auf der Berücksichtigung des gesamten Lebenswegs von ausgewählten Produkten, um die tatsächliche Effizienz der Produktion ganzheitlich bewerten zu können. Die Bewertungen werden mit Hilfe der Methodik zur Beurteilung der ökologischen Aspekte durchgeführt (Ökobilanzierung – Life Cycle Assessment). Die Indikatoren Kumulierter Energieaufwand (KEA) und Kumulierter Stoffaufwand (KSA) (inputseitig), sowie das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential – GWP) (outputseitig) finden dabei als Maßzahl der Wirkungskategorie „Klimawandel“ Berücksichtigung. Die Relevanz des Modells besteht in der Einbeziehung der Spezifika der Gießereiindustrie. Dieses ermöglicht die verursachungsgerechte Darstellung und Bewertung der Verluste bzw. der Energieeffizienz von Gießereien.

4. Lebenszyklusanalyse und -kosten

Zur Berücksichtigung von Umwelteinflüssen und potenzieller Auswirkungen von Produktsystemen über den gesamten Lebenszyklus hat sich die Durchführung von Ökobilanzierungen mittlerweile in zahlreichen Industriebereichen etabliert. Auch in der Gießereiindustrie gewinnt diese Bewertungsmethode an Bedeutung, was sich aktuell vor allem im Zusammenhang mit nachhaltigem Supply Chain Management niederschlägt. Die Durchführung einer LCA ist sehr zeitaufwendig und verlangt spezifisches Methodenwissen, wodurch die Umsetzung in der industriellen Praxis geringe Verbreitung aufweist. Ausgehend von transparenten Material- und Energieflüssen hilft die Berücksichtigung von Kosten über den gesamten Lebenszyklus dabei, die erfolversprechendsten Energieeffizienzpotenziale sowie Synergieeffekte im Betrieb zu identifizieren [6].

4.1 Methodischer Rahmen für die LCA

Den methodischen Rahmen zur Durchführung von Lebenszyklusanalysen bietet die ISO-Norm 14040 und ihre Folgedokumente [8]. Gemäß dieser Norm sind vier Phasen vorgeschrieben (**Abb. 3**): Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens (Phase 1); Erstellung der Sachbilanz (Phase 2); Wirkungsabschätzung (Phase 3); Auswertung (Phase 4).

In der Zieldefinition wird der Zweck der Ökobilanz festgelegt. Daraus leitet sich der Untersuchungsrahmen, einschließlich der Systemgrenze und des Detaillierungsgrades, ab (**Abb. 4**). Die weiteren Phasen werden vom festgelegten Produktsystem bzw. der funktionellen Einheit, dessen Funktion, dem Betrachtungsrahmen (geografisch, zeitlich und technologisch), sowie Allokationsverfahren, berücksichtigten Aspekten und Annahmen bestimmt [8].

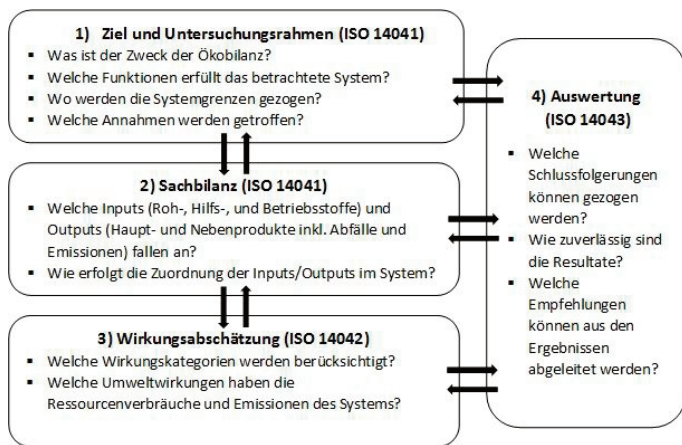


Abb. 3: Phasen der Ökobilanz nach ISO 14040 [8] inkl. Ergänzungen

Die Erstellung der Sachbilanz umfasst laut ISO-Norm „die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines gegebenen Produktes im Verlauf seines Lebensweges“ [8]. Der Erstellungsprozess gestaltet sich iterativ: während der Datenakquisition kann es erforderlich sein, auf Grund sich ergebender neuer Anforderungen oder Einschränkungen, die Verfahren der Datenerhebung anzupassen, um das Studienziel zu erreichen. Die Daten beinhalten den Input von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen und Energie, und als Output Produkte, Kuppel- oder Nebenprodukte, Abfälle, sowie Emissionen in Luft, Wasser und Boden. Diese erhobenen Daten sind auf den Referenzfluss der funktionellen Einheit zu beziehen, um die Berechnungen für das ausgewählte Produktsystem zu erhalten. Für die Berechnung der Energieflüsse sind die unterschiedlichen Energiequellen, die Effizienz der Energieumwandlung, die Verteilung, sowie Inputs und Outputs für Bereitstellung und Anwendung zu berücksichtigen [8].

In der Wirkungsabschätzung werden die kumulierten Ressourcenverbräuche und Emissionen aus der Sachbilanz entsprechend ihrer Umweltwirkungen relevanten Wirkungskategorien (z.B. Klimawandel, Versauerung, Ozonabbau, etc.) zugeordnet. Nach dieser Klassifizierung werden innerhalb der jeweiligen Wirkungskategorie alle Parameter auf einen Äquivalenzfaktor gebracht, um die Informationen auf wenige Indikatoren zu verdichten (Charakterisierung). Beispielsweise werden in der Wirkungskategorie „Klimawandel“ alle Emissionen auf die Referenzeinheit „kg CO₂-Äquivalent“ gebracht. Die Wirkungsabschätzung selbst erfolgt anhand verschiedener Methoden, wobei meist die teilaggrierende CML-Methode¹ eingesetzt wird [9].

¹ Die CML-Methode (CML ist das Institut, an dem sie entwickelt wurde) ist eine teilaggrierende Wirkungsabschätzungsmethode: sie hört auf Ebene der Wirkungskategorie („midpoints“) auf, d.h. die Ergebnisse werden anhand voneinander unabhängiger Wirkungsindikatoren (z.B. GWP – die summierten CO₂-Äquivalente – in der Kategorie Klimawandel) dargestellt und nicht weiter miteinander verrechnet.

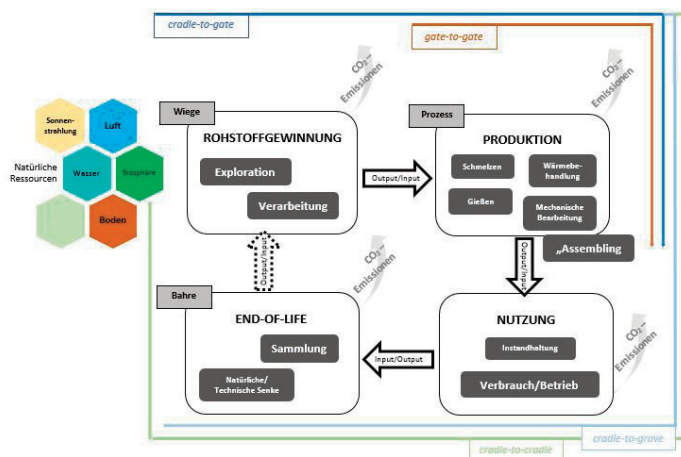


Abb. 4: Lebenszyklusbetrachtung bei Gießereiprodukten

In der Auswertungsphase werden die Ergebnisse der Sach- und Wirkungsbilanz interpretiert, um die signifikanten Faktoren zu identifizieren, die Vollständigkeit und Konsistenz der Analyse zu bewerten, und mögliche Schlussfolgerungen und Empfehlungen ableiten zu können [9].

4.2 Praktische

Anwendung: LCA von Gießereiprodukten

Im Rahmen des Projektes EnEffGieß werden für die teilnehmenden Partnerunternehmen Ökobilanzen für ein spezifisches bzw. ein die Produktpalette charakterisierendes Produkt erstellt. Die Definition der Systemgrenzen erfolgt ausgehend von der Herstellungsphase (gate-to-gate, siehe Abb. 4), welche im nächsten Schritt um die Nutzungsphase erweitert wird, und schließlich die vor- und nachgelagerten Phasen im Produktlebenszyklus enthalten soll (cradle-to-grave). Der Schwerpunkt liegt auf einer Betrachtung der Phasen Herstellung und Nutzung, da hier die Zusammenhänge von Umwelteinflüssen und Energieeffizienzpotenzialen für die Gießereien zu direkt ableitbaren Maßnahmen – wie z.B. Verbrauchs- und Prozessoptimierungen – deutlich werden.

Zur Unterstreichung der Bedeutung der LCA-Thematik und für die Durchführung entsprechender Berechnungen werden anhand eines fiktiven Beispiels folgende Annahmen getroffen: Der Modellbetrieb, eine Eisengießerei mit Kupolofenbetrieb, produziert 20.000 Tonnen Schmelze, wobei 17.320 Tonnen auf die Produkte entfallen. Der Produktionsprozess beinhaltet die Module Schmelzerei, Gießen, Wärmebehandlung, Mechanische Bearbeitung, Endkontrolle sowie Nebenprozesse (dies können z.B. Druckluftstation, Wasserstation, Sandaufbereitung, Gebäude und Sonstiges sein), welche generell in jedem Gießereibetrieb vorkommen. Als Energieträger kommen vereinfachend Strom, Erdgas und Koks zum Einsatz.

Als funktionale Einheit wird in der Regel eine Mengeneinheit des Referenzprodukts (in kg oder Tonnen) herangezogen, um die Bewertung auf die Produktebene zu beziehen. Für das dargestellte Beispiel wird als Vereinfachung die Gesamtproduktion herangezogen. Theoretisch könnte die Produktion auch ein einziges

Gussteil mit z.B. 17.320 Tonnen sein. Daher beziehen sich in diesem Beispiel alle Berechnungen und Resultate auf diesen Wert. Die Produktfunktion beschreibt den Verwendungszweck des Gussteils. Auf eine Spezifikation wird an dieser Stelle verzichtet.

Basis für die Durchführung der gate-to-gate-LCA ist die Prozessvisualisierung des Gießereibetriebes. Dabei werden alle Prozessmodule, die für die Herstellung eines Produktes benötigt werden, für die Input-Output-Analyse herangezogen. Vor allem im Rahmen der Sachbilanzstellung besteht die Schwierigkeit darin, dass Verbräuche – und daraus folgend entstehende Outputs – auf Grund wirtschaftlicher (aus der Kostenrechnung) und technischer Zuteilungen oft nicht eindeutig zuordenbar sind. Hier zeigt sich der iterative Charakter der Sachbilanzstellung, da zu den laufenden Datenerhebungen wiederholt Berechnungen und Allokationen vorzunehmen sind, die sich aus der Komplexität von Gießereiprozessen und der Identifikation zugehöriger Daten ergeben. Für eine präzise Berechnungsbasis eignen sich Messdaten für Energieinput und Emissionen, sowie Stücklisten (Inputmaterialien) und Rechnungen. Sind diese nicht verfügbar, müssen Schätzungen durch Experten vorgenommen werden. Für spezifische Produkte eignen sich Plankalkulationen, mit der Einschränkung, dass diese Daten nicht immer exakt mit den tatsächlichen Werten übereinstimmen.

4.2.1 CO₂- und Energiebilanz

Zur Berücksichtigung relevanter Umweltauswirkungen betrifft der Schwerpunkt der Wirkungsanalyse die Umweltkategorie „Klimawandel“ und dessen Wirkungskennzahl „Treibhauspotenzial“ (Global Warming Potential – GWP), sowie ergänzend den Kumulierten Energieaufwand (KEA). Diese Indikatoren zeigen eine hohe Relevanz im Rahmen der Bewertung, da sie signifikant unterschiedliche Werte annehmen können und Effizienzmaßnahmen erlauben [6].

4.2.2 Treibhauspotenzial (Global Warming Potential – GWP)

Das Treibhauspotenzial bietet eine Maßeinheit für den relativen Beitrag, den ein Treibhausgas zur Erderwärmung liefert. Als Vergleichswert dient Kohlendioxid; weitere Gase werden bei der Bilanzierung entsprechend ihrer Klimawirksamkeit berücksichtigt [10]. Das GWP wird als zeitliches Integral berechnet: Das Produkt aus Strahlungsantrieb und Konzentration des emittierten Stoffes dividiert durch den gleichen Term für CO₂, um alle Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten auszudrücken. Die Berechnung erfolgt in der Regel für einen Zeitraum von 100 Jahren [9; 12].

Die Umrechnung von Energieträgern in CO₂-Emissionen hängt von verschiedenen Parametern ab und gestaltet sich sehr aufwändig, weshalb man sich um Standardfaktoren bemüht. Die Kalkulation beruht auf einem strikten Schema: für das identifizierte Objekt (z.B. Energieerzeugung, Energieumwandlung/-verbrauch, Einsatzstoff) wird eine Mengenermittlung durchgeführt. Hierzu wird eine standardisierte Mengeneinheit, z.B. Masse/a oder elektrische Energie/a, gewählt; als Bezugszeitraum für den Emissionsfaktor dient in der Regel das Kalenderjahr. Für die große Anzahl an möglichen Emissionsfaktoren gibt es verschiedenste Datenquellen, wobei diese zum Teil öffentlich sind, wie die European reference Life-Cycle Database [13] oder die IPCC Emissions Factor Database [12]. Zum anderen gibt es kommerzielle Datenbanken wie GaBi oder Ecoinvent, welche in LCA-Software beinhaltet sind.

Tabelle 2 gibt die CO₂-Äquivalente für den Modellbetrieb wieder. Die Emissionsfaktoren sind der ELCD database [13], sowie Angaben des Umweltbundesamtes [10] entnommen. Den größten relativen Beitrag zur Erderwärmung liefern dabei die direkten Emissionen, welche durch den Koksverbrauch in der Schmelzerei verursacht werden. Dahinter weisen die durch Erdgas in der Wärmebehandlung und Strom in der Schmelze-

Prozess	Energieträger	Verbrauch	Einheit	Emissionsfaktor	CO ₂ – Äquivalente (t/a)
Schmelzerei	Strom	3.005,63	MWh/a	0,366 t CO ₂ /MWh	1.100
	Erdgas	1.107,53	MWh/a	0,2 t CO ₂ /MWh	222
	Koks	24.339,22	MWh/a	0,38 t CO ₂ /MWh	9.272
Gießen	Strom	449,98	MWh/a	0,366 t CO ₂ /MWh	165
	Erdgas	505,07	MWh/a	0,2 t CO ₂ /MWh	101
Wärmebehandlung	Strom	30,05	MWh/a	0,366 t CO ₂ /MWh	11
	Erdgas	9.646,50	MWh/a	0,2 t CO ₂ /MWh	1.929
Mech. Bearbeitung	Strom	6,07	MWh/a	0,366 t CO ₂ /MWh	2
Endkontrolle	Strom	689,77	MWh/a	0,366 t CO ₂ /MWh	252
Nebenprozesse	Strom	1.526,45	MWh/a	0,366 t CO ₂ /MWh	559
	Erdgas	283,27	MWh/a	0,2 t CO ₂ /MWh	57
Summe					13.669

Tab. 2: Direkte CO₂-Emissionen aus dem Gießereiprozess (fiktives Beispiel)

rei verursachten Emissionen den höchsten Beitrag auf. Insgesamt beziffert sich das GWP des Musterprodukts auf 13.669 t/a. Durch die Veränderung einzelner Parameter, z.B. eines Mehr- oder Minderverbrauchs eines Energieträgers in einem Modul, kann ein Vergleich unterschiedlicher Produktionsrouten oder -verfahren dargestellt werden. Diese Vorgehensweise wird als sogenannte „Sensitivitätsanalyse“ zum Vergleich von Alternativen und/oder Substituten im Rahmen der Ökobilanzierung durchgeführt.

4.2.3 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Ein wichtiger Kennwert für die energetische Ressourceneffizienz ist der Kumulierte Energieaufwand, mit dem unterschiedliche Energieträger verglichen werden können. Der KEA beinhaltet die Gesamtheit der primärenergetischen Aufwendungen – somit auch Verluste – bei der Produktion (KEA Herstellung), dem Betrieb bzw. der Nutzung (KEA Nutzung) und der Entsorgung (KEA Entsorgung) von Produkten. In Anbetracht der Hauptverursachung umweltschädlicher Emissionen durch den hohen Energieverbrauch und vor allem durch Energieumwandlungsprozesse, kann der KEA als Leitindikator für das Ergebnis einer Ökobilanz gesehen werden. Die Energieanalyse ist wesentlicher Bestandteil der Sachbilanz, die wiederum zentral für die Durchführung einer Ökobilanz ist [14]. Zusätzlich dient der Kennwert als Berechnungsbasis bzw. gibt dieser einen Hinweis für Materialaufwendungen des Produkts, die Wahl der Werkstoffe und der Prozesstechnik unter energetischen Gesichtspunkten, sowie den Einfluss der Nutzungsdauer energieverbrauchender oder umwandelnder ökonomischer Güter unter energetischen Gesichtspunkten [15].

Wie die Sankey-Darstellung (Abb. 5) der kumulierten Energieflüsse aus dem Modellbetrieb erkennen lässt, sind die energieintensivsten Bereiche die Schmelzerei, Gießen und Wärmebehandlung. Dabei entfällt der Großteil des Verbrauchs auf den Energieträger Koks. Mithilfe dieses Energieflussdiagramms werden etwaige Änderungen – wie z.B. Mehrverbräuche oder Optimierungsmaßnahmen – sichtbar. Diese Flussgrößen können durch monetäre Angaben ergänzt werden (Abb. 6) und können wiederum wertvolle Hinweise zu Energieeffizienz von Anlagen oder gesetzten Maßnahmen liefern.

Über den gesamten Lebensweg betrachtet, bildet der KEA eine wichtige Basis, um Prioritäten bei Energieeinsparpotenzialen im komplexen Zusammenhang der einzelnen Produktlebensphasen (Rohstoffgewinnung – Herstellung – Nutzung – Entsorgung) aufzuzeigen [15].

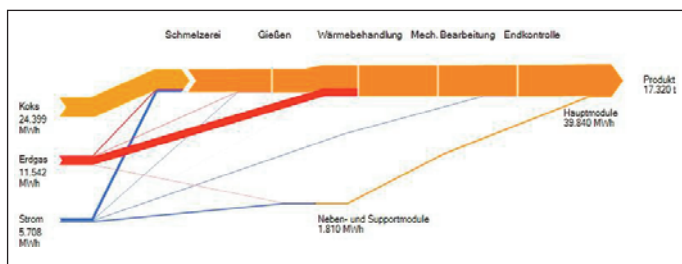


Abb. 5: Kumulierter Energieaufwand für das Musterprodukt

5. Mehrwert durch die Betrachtung von ökologischen und ökonomischen Aspekten

Zur Bewertung aus ökologischer Sicht, lassen sich ergänzend monetäre Bewertungen bezüglich Energie- und Materialkosten, sowie den Kosten von Energie- und Materialverlusten darstellen. Die Vorgehensweise dazu ist in der ISO 14051 zur Materialflusskostenrechnung standardmäßig aufbereitet.

In jüngster Zeit gewinnt das Thema Lebenszykluskosten an Bedeutung, da diese eine ganzheitliche Betrachtung sowohl aus Hersteller- als auch aus Betreibersicht ermöglichen und alle Kosten – von der Entstehung bis zur Verwertung des Produkts – berücksichtigen. Im strategieorientierten Kostenmanagement verankert, können zwei grundsätzliche Konzepte unterschieden werden [16]: Life Cycle Costing (LCC) und Total Cost of Ownership (TCO). LCC bezieht sich eher auf Investitionsgüter mit vernachlässigbaren Transaktionskosten, der TCO-Ansatz auf Güter, bei denen Transaktionskosten wesentlich sind. Für Gießereiprodukte sind beide Ansätze relevant; sie werden oft synonym verwendet und basieren auf der gleichen Idee und Zielsetzung: der „Erfassung aller durch die Kaufentscheidung determinierten direkten und indirekten Kosten, die über den gesamten Lebenszyklus einer Investition auftreten, inklusive Akquisition und Einkauf, Betrieb und Wartung, sowie Endverwertung“ [16]. Im Zusammenhang mit einer lebenszyklusorientierten Sichtweise auf Gießereiprodukte sind zum einen hohe Rohstoff-, Energie-, Wartungs- und Instandhaltungskosten für Anlagen und Aggregate im Betrieb relevant. Insbesondere deren Folgekosten in Hinblick auf (Energie-)Effizienz wirken sich auf die Herstellkosten von Gussteilen aus. Zum anderen ist aus Kundensicht z.B. der Wirkungsgrad von Endprodukten, welcher von Gussteilen direkt oder indirekt beeinflusst wird, ausschlaggebend für Folgekosten, welche während des Betriebs bzw. der Nutzungsphase entstehen. Untersuchungen zeigen, dass die nachfolgenden Kosten oft ein Vielfaches der Anschaffungskosten ausmachen, beispielsweise das 5- bis 10-fache bei Maschinen und Anlagen, und sogar das 50- bis 100-fache bei Großmotoren [17; 18]. Diese Folgekosten können in Zusammenhang mit direkten und indirekten Umweltauswirkungen von Produkten und Prozessen stehen, bedenkt man beispielsweise Energieverbräuche, die Emissionen sowohl bei der Gewinnung, Produktion und Nutzung verursachen.

Daher greift die Betrachtung lediglich des Primärenergieaufwands in der Herstellphase zu kurz. Für einen ökologischen Mehrwert ist die Betrachtung des KEA eines Produktes darüber hinaus über die Nutzung bis zum Recycling zu berücksichtigen [1; 19].

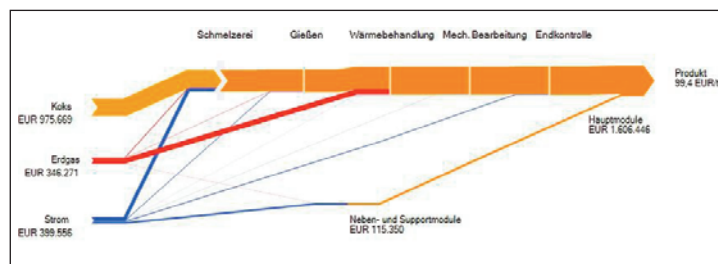


Abb. 6: Energieflusskosten

Wirkungsgrad	Prozesslandschaft	Bauteil
<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Nettogewichte • Wärmerückgewinnung • Abwärmenutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Bauteilbezogene optimierte Fertigungstechnik • Automatisches Gießen 	<ul style="list-style-type: none"> • Near-Net-Shape • 0-Fehler Strategie • Pure casting

Tab. 3: Strategien zur Energieeffizienz [1; 7]

Als Empfehlung können gießtechnische Innovationen gezeigt werden, die durch eine Steigerung der Energieeffizienz wesentlich zur Reduktion des Bearbeitungs- und Montageaufwandes beitragen (Tab. 3).

Sogenannte „lösungsorientierte Gussteile“ senken den kumulierten Energieaufwand eines Bauteiles, obwohl der spezifische Energieverbrauch pro kg Guss steigt. Dies gilt es mit Hilfe einer ganzheitlichen Betrachtung in Form einer LCA abzubilden. Daraus lassen sich die konkreten Vorteile des Gussteiles ableiten [1].

Der Hauptnutzen von Ökobilanzen besteht darin, Möglichkeiten zur Verbesserung von Umwelteigenschaften von Produkten oder Prozessen in den einzelnen Lebenszyklusphasen zu identifizieren. Die Genauigkeit der Resultate ist abhängig von der Qualität der erhobenen Daten für Inputs und Outputs, sowie der eingesetzten Auswertungsmethoden. Daraus abgeleitet lassen sich Ergebnisse für ein weiteres zielgerichtetes Vorgehen nutzen, etwa in Form geplanter Maßnahmen oder von Aussagen, die im Marketing – siehe oben – eingesetzt oder für die Öffentlichkeit bereitgestellt werden.

Eine integrierte Analyse und Bewertung zeigt bei den Berechnungen für Referenzflüsse im Rahmen der Sachbilanz die Synergien zum Thema Energieeffizienz, indem beispielsweise Verluste in Mengen und in Form von Emissionen detailliert dargestellt sind. Wird diese Vorgehensweise durch die monetäre Bewertung der Energie- und Stoffflüsse (Abb. 6) ergänzt, so lassen sich ganzheitliche Schlüsse hinsichtlich Effektivität und Effizienz ziehen.

6. Ausblick

Durch eine Lebenszyklusbetrachtung ergibt sich ein deutlicher Informationsgewinn bezogen auf die eingeschränkte Betrachtung des Herstellprozesses. Auf diesem sollte der Fokus für das Unternehmen liegen, da das EEffG hier relevant ist. Wesentlich ist hierfür die Prüfung kritischer Werte und Datenquellen, insbesondere verwendete Emissionsfaktoren oder Daten betreffend den Energiebezug. Diese nehmen wesentlichen Einfluss auf die Resultate, weshalb Augenmerk auf die Datengewinnung zu richten ist. Eine ausreichende Analysegenauigkeit ist die Basis für die Ableitung von Maßnahmen zur energie- und ressourceneffizienten Produktherstellung. Der Beitrag zeigt, dass ganzheitliche Betrachtungen komplexe Ausmaße annehmen können, und Ungenauigkeiten in der Bewertung nicht gänzlich vermieden werden können.

Die Identifizierung von Energieeffizienzpotenzialen im Herstellprozess ist das wesentliche Ziel im Projekt EnEffGieß (Energieeffiziente Gießerei). Bereiche, in denen Einsparungspotenziale realisiert werden können, sind beispielsweise eine verbesserte Abwärmenutzung,

die Optimierung der Wärmebehandlung, die Gussteiloptimierung, die Substitution von Werkstoffen, sowie verstärktes Recycling und verbesserte Kreislaufführung [1].

Neben forcierten Bemühungen zum Schließen der „Energieeffizienzlücke“ in der Gießereiindustrie gewinnt die kostenseitige Betrachtung im Zusammenhang mit Energieeffizienz und Umweltauswirkungen zunehmend an Bedeutung. Steigende Energiekosten haben einen deutlichen Einfluss auf die Lebenszykluskosten [20]. Für eine aussagefähige Kosteninformation sind die Folgekosten sowohl für Gießereien, z.B. beim Einsatz neuer Anlagen oder der Bewertung neu zu implementierender Fertigungsprozesse [21], als auch für Kunden, z.B. in Hinblick auf gesteigerte Wirkungsgrade, welche durch Gussteile ermöglicht werden, relevant.

Eine über den Lebensweg vorgenommene Betrachtung von Gussteilen ist vorteilhaft, da tatsächliche Energie- und Materialflüsse transparent und ökologische und ökonomische Bewertungen vorgenommen werden können. Geeignete Indikatoren und Kennwerte liefern Informationen, die eine Vorteilhaftigkeit von Gussteilen – beispielsweise im Vergleich zu Alternativen – nachweisen können. Des Weiteren liefert diese Vorgehensweise eine Basis für die Dokumentation im Rahmen neuer gesetzlicher Anforderungen und eine standardisierte, vergleichbare Aufbereitung von Datenmaterial des strategisch-operativen Energie- und Ressourcenmanagements im Gießereibetrieb.

Literatur

- [1] Dichtl, H.: Wirtschaftskammer Österreich: Energieverbrauch in den österreichischen Gießereien und Anmerkungen zur Energieeffizienz
- [2] Kerbl, A.; Maiwald, P., Fachverband der Giessereiindustrie: Jahresbericht 2013, https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Maschinen-Metallwaren-Giessereiindustrie-Fachverband/Giessereiindustrie/Jahresberichte/Jahresbericht_2013.pdf (15.06.2015)
- [3] Bundesgesetz über die Steigerung der Energieeffizienz bei Unternehmen und dem Bund
- [4] Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft: Verpflichtete energieverbrauchende Unternehmen, <http://www.bmwf.gv.at/EnergieUndBergbau/Energieeffizienz/Seiten/Gro%C3%9Fenergieverbrauchende-Unternehmen.aspx> (15.06.2015)
- [5] Schwarzer, S.; Kramer, C.: Das neue Energieeffizienzgesetz (EEffG), https://www.wko.at/Content.Node/Service/Umwelt-und-Energie/Energie-und-Klima/Energieeffizienz/k/Das_neue_EEffG_rechtliche_und_praktische_Handhabung.pdf (16.04.2015)
- [6] Tschiggerl, K.; Coss, S.; Topic, M.; Biedermann, H.; Raupenstrauch, H.: A transdisciplinary approach for increasing efficiency and environmental performance in the foundry industry. In: Proceedings of the 2nd Interna-

- tional Conference on Energy and Environment: bringing together Engineering and Economics. 18/19 June 2015, S. 59–66
- [7] Knothe, W.: Strategien und Maßnahmen zur Energie-Effizienz im Fertigungsprozess einer Eisengießerei, *Giesserei-Rundschau*, 60 (2013), Nr. 5/6, S. 111–114
- [8] Österreichisches Normungsinstitut: Önorm EN ISO 14040:2006 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Wien 2009
- [9] Frischknecht, R.: Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit. Teil 2: Ökobilanzen (Life Cycle Assessment, LCA). ETH Zürich 2013
- [10] Umweltbundesamt: Berechnung von Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener Energieträger, <http://www5.umweltbundesamt.at/emas/co2mon/co2mon.htm> (14.04.2015)
- [11] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): The IPCC Fourth Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge 2007
- [12] IPCC: IPCC Emissions Factor Database, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php> (14.04.2015)
- [13] Europäische Kommission – DG Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability: European reference Life-Cycle Database (ELCD) Version III, <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/index.xhtml> (14.04.2015)
- [14] Klöpffer, W.; Grahl, B.: Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf, Wiley VCH Verlag GmbH 2009
- [15] Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI-Richtlinie 4600 – Kumulierter Energieaufwand (KEA). Begriffe, Berechnungsmethoden, 2012
- [16] Geißdörfer, K.: Total Cost of Ownership (TCO) und Life Cycle Costing (LCC): Einsatz und Modelle: Ein Vergleich zwischen Deutschland und USA. In: Gleich, R.; Wald, A. (Hrsg.): *Controlling und Management*. Berlin 2009: LIT Verlag. ISBN 978-3-8258-1863-0
- [17] Bode, M.; Bünting, F.; Geißdörfer, K.: *Rechenbuch der Lebenszykluskosten: Ein Leitfaden mit Rechenmodell und Arbeitshilfen*. Frankfurt am Main 2011: VDMA Verlag. ISBN 978-3-8163-0617-7
- [18] Sams, C.; Von Falck, G.; Glensvig, M.; Lind-Braucher, S.: Entwicklung einer Total Cost of Ownership Methodik für AVL List. In: Biedermann, H.; Vorbach, S.; Posch, W. (Hrsg.): *Innovation und Nachhaltigkeit. Strategisch-operatives Energie- und Ressourcenmanagement*. München, Mering 2015: Rainer Hampp Verlag. ISBN 978-3-95710-033-7
- [19] Ketscher, N.; Herfurth, K.; Huppertz, A.: Analyse des Energieaufwands in Gießereien und Realisierung von Material- und Energieeinsparungen durch Gußteile, *Giesserei-Rundschau*, 48 (2001), Nr. 1/2, S. 8–14
- [20] Rudolph, M.; Abele, E.; Eisele, C.; Rummel, W. (2010): Analyse von Leistungsmessungen - Ein Beitrag zur Untersuchung der Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen. In: *ZWF*, 105 (10), S. 876-882
- [21] Aurich, J. C.; Lauer, C.; Faltin, M.; Schweitzer, E. (2009): Abschätzung der Lebenszykluskosten neu entwickelter Fertigungsprozesse. In: *ZWF*, 104 (9), S. 720-724

Kontaktadresse:

Montanuniversität Leoben
 Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften
 A-8700 Leoben | Peter-Tunner-Straße 25–27
 Tel.: +43 (0)3842 402-6001
 Fax: +43 (0)3842 402-6002
 E-Mail: wbw@unileoben.ac.at
www.unileoben.ac.at