

EINE VERGLEICHENDE TECHNOLOGIE-BEWERTUNG MITTELS KPIs HINSICHTLICH DER ERHÖHUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ AM FALLBEISPIEL DER GLASPRODUKTION

C. Dorn¹, R. Behrend¹, V. Uhlig¹, H. Krause¹, D. Trimis²

Einführung

Die Bewertung innovativer industrieller Verfahren ist oft mit fehlerhaften Annahmen verbunden, da häufig Skaleneffekte außer Acht gelassen werden. So scheinen Großanlagen oft effizienter als neu-entwickelte, innovative Technologien.

Der vorliegende Beitrag zeigt die Auswirkungen bestehender Skalenabhängigkeiten sowie deren Bedeutung für einen umfassenden Technologie-Vergleich. Am Fallbeispiel der Glasproduktion wird diese Bewertung ausführlich erläutert und die Ergebnisse werden abschließend in einem Technologie-Portfolio zusammengeführt.

Methodik

Die Notwendigkeit eines integrierten Ansatzes für eine umfassende Technologiebewertung gewinnt für alle Industriezweige zunehmend an Bedeutung. Dabei spielt der Einsatz von KPIs eine immer wichtigere Rolle. Eine bloße Anhäufung verschiedener KPIs allein reicht nicht aus, sondern eine strukturierte Analyse wird benötigt, um die Gültigkeit und Bedeutung der Bewertung zu erhöhen. Aufgrund dieser Tatsache wird eine modifizierte Technologie-Portfolio (TPF) Analyse hinsichtlich der Implementierung von KPIs in Anlehnung an [1] weiterentwickelt.

Modifizierte Technologie-Portfolio (TPF) Analyse		
1. Schritt: Technologie Identifizierung	2. Schritt: Technologie Bewertung	3. Schritt: TPF Interpretation
Identifizierung neuer Technologien mit - funktionaler Äquivalenz - Substituierungspotential für konventionelle Technologie	a) Implementierung der KPI-Methodik b) Transformation der KPIs in Portfolio-Indikatoren	Interpretation (fünf TPF-Handlungsempfehlungen): I Perfektion II FuE-Intensivierung III Selektion IV FuE-Reduktion V Ausstieg

Abbildung 1: Modifizierte Technologie-Portfolio (TPF) Analyse

Die TPF-Analyse folgt einer dreistufigen Methodik, die in Abbildung 1 visualisiert ist.

In einem ersten Schritt erfolgt die Technologie-Identifizierung. In diesem Schritt werden neue Technologien identifiziert, die eine mögliche Alternative zu herkömmlichen und gut etablierten Technologien mit marktfähigen Produkten darstellen. Auf lange Sicht sollten diese neuen Technologien eine funktionale Äquivalenz besitzen und einen möglichen Ersatz für die konventionellen Technologien, die dem Stand der Technik entsprechen, darstellen.

¹ TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, Lehrstuhl für Gas- und Wärmetechnische Anlagen, 09599 Freiberg, Tel. +49 (0)3731/39-4387, Fax +49 (0)3731/39-3940, corina.dorn@iwtt.tu-freiberg.de

² Karlsruher Institut für Technologie, Engler-Bunte-Institut, Verbrennungstechnik, 76131 Karlsruhe

Dies lässt sich am Fallbeispiel der Glasindustrie sehr gut nachvollziehen. Der intensive Energieverbrauch, der die Glasproduktion kennzeichnet, ist oft mit einer geringen thermischen Effizienz konventioneller Anlagen verbunden. Aus diesem Grund wurde die innovative Mikrowellen (MW)-Beheizung als potentielle Ersatztechnologie für konventionell beheizte Glasschmelzwannen für das Fallbeispiel identifiziert und untersucht.

In einem zweiten Schritt werden die identifizierten Technologien mit Hilfe einer entwickelten KPI-Methodik beurteilt, die analysierten Prozessparameter in relevante KPIs übertragen und diese abschließend in Portfolio-Indikatoren transformiert. Dies führt zu einer erhöhten Informationsdichte sowie besseren Vergleichbarkeit durch die KPIs.

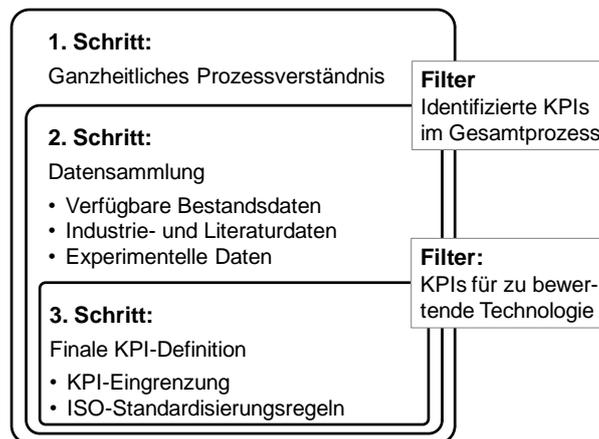


Abbildung 2: KPI-Methodik

KPIs bilden die wichtigsten Messdaten eines Prozesses ab, die für den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens maßgeblich sind. In Anlehnung an das SMART-Konzept weisen KPIs deshalb fünf wichtige Charakteristika auf: Spezifisch, messbar, anspruchsvoll, relevant und terminiert. Dadurch können KPIs aufschlussreiche Anlagenparameter quantifizieren und damit eine strategische Prozessbewertung gewährleisten.

Aufbauend auf einer entwickelten KPI-Methodik (siehe Abbildung 2) werden die, für die Glasindustrie relevanten, operationalen und ökologischen Prozesskennzahlen für einen wirksamen Technologie-Vergleich bestimmt. In Übereinstimmung mit dem SMART-Konzept werden wirtschaftliche KPIs außer Acht gelassen, da diese wirtschaftlichen und finanziellen Faktoren vorrangig auf einer höheren Entscheidungsebene innerhalb eines gesamten Unternehmens benötigt werden.

Um eine erste Vorauswahl treffen zu können, wird für die Implementierung der KPI-Methodik ein ganzheitliches Prozessverständnis benötigt. Nur wenn die zu bewertende Technologie einschließlich der dabei stattfindenden Prozesse und Vorgänge vollständig und ganzheitlich erfasst ist, kann in einem folgenden Schritt eine ausführliche Datensammlung stattfinden. Dazu werden verfügbare Bestandsdaten der konventionellen Anlage bzw. Technologie benötigt. Diese werden um Vergleichsdaten aus der Industrie bzw. Literaturdatenbanken sowie Daten aus experimentellen Arbeiten, insbesondere bei neuen innovativen Technologien, die sich noch in der Entwicklungsphase befinden, ergänzt. Damit wird die Anzahl der unzähligen, potentiellen KPIs, die u.a. bereits in der Industrie bzw. in dem relevanten Industriezweig verwendet werden, bereits eingegrenzt.

Abschließend erfolgt die finale Definition der KPIs. Hinsichtlich der gemeinsamen Ausgangslage der zu bewertenden, konventionellen sowie innovativen Technologien wird die endgültige Quantifizierung durch die Anpassung der finalen KPIs an die entsprechende Branche (im vorliegenden Paper an die Glasproduktion) in Einklang mit ISO-Standardisierungsregeln durchgeführt. Aufgrund der Tatsache, dass alle KPIs auch industriell angewendet werden, werden die Einhaltung relevanter Standards sowie eine bessere Unterstützung des Produktionsmanagements gewährleistet.

Die identifizierten KPIs werden weiterhin in die zwei Hauptkategorien der ökologischen und operationalen Aspekte unterteilt. Unter Berücksichtigung dieser Kategorien werden die finalen KPIs in die entsprechenden Portfolio-Indikatoren transformiert. Dies geschieht unter Normierung auf einen

Referenzwert, der einer idealen Technologie (ideale, theoretische Option) oder der besten verfügbaren Technologie (BAT) entspricht.

Während der operationale Indikator die technologischen Aspekte beurteilt, bewertet der ökologische Indikator die Umweltaspekte. Zu Vergleichszwecken werden die Bewertungsergebnisse abschließend in einem Technologie-Portfolio visualisiert.

Im letzten Schritt erfolgt die TPF-Interpretation. Dabei werden die Technologien entsprechend ihrer Anordnung in den fünf Feldern des Technologie-Portfolios eingeschätzt. Jedem Portfolio-Feld wird eine Handlungsempfehlung zugeordnet (Perfektion, FuE-Intensivierung, Selektion (operational oder ökologisch), FuE-Reduktion sowie Ausstieg), die zu entsprechenden Veranlassungen hinsichtlich des Einsatzes der zu bewertenden Technologie führen bzw. entsprechende Empfehlungen geben.

Ergebnisse

Im Rahmen einer Fallstudie für die Glasproduktion wurde unter Berücksichtigung von innovativen mikrowellenbeheizten sowie konventionellen gasbefeuerten Prozessen ein Technologie-Vergleich durchgeführt. Zur Validierung des Vergleichs wurden industrielle Daten aus Literatur und Datenbanken sowie experimentelle Daten für den innovativen Mikrowellenprozess herangezogen.

Datenbasis

Im Rahmen der Untersuchung wurden konventionelle Anlagen mit innovativen Anlagen verglichen. Die wichtigsten Vergleichsparameter sind Energieverbrauch und resultierender CO₂-Ausstoß. Die Daten für die TPF-Analyse stammen aus eigenen Experimenten für die MW-Technologie, der Datenbank der Firma CelSian für konventionelle Kleinanlagen (KK) und gängiger Literatur für konventionelle Großanlagen (KG) [2].

Der entstehende CO₂-Ausstoß ist im Wesentlichen abhängig von den Feuerungseinrichtungen. Die Produktion einer Kilowattstunde Strom erzeugt im Schnitt der EU27 im Jahre 2009 396 g CO₂ [3]. Die Verbrennung von Erdgas erzeugt 184 g CO₂ je kWh [4]. Hinzu kommt der CO₂-Ausstoß aus der Materialkonversion selbst. Bei der Produktion aus Primärrohstoffen werden zwischen 200 und 230 kg CO₂ je Tonne Glas freigesetzt [5,6]. Unter der Annahme von 75 % Recyclingmaterial werden ca. 57,5 kg CO₂ je Tonne Glas freigesetzt.

Für die Bewertung der Ergebnisse musste ein Referenzwert festgelegt werden. Nach [7] liegt der minimal mögliche spezifische Energieverbrauch für die Herstellung von Glas zwischen 793 kWh/t für die Herstellung aus 100 % Primärrohstoffen und 343 kWh/t für die Herstellung aus 100 % Recyclingmaterial. Es wird exemplarisch für diese Studie angenommen, dass für die Erzeugung von Behälterglas 75 % Recyclingmaterial (Scherben) zum Einsatz kommen und damit der theoretische Minimalwert (Referenzwert) für den spezifischen Energiebedarf bei 455,5 kWh/t liegt.

Tabelle 1: Spezifischer CO₂-Ausstoß und Energieverbrauch je produzierter Tonne Behälterglas

	kgCO ₂ / t _{Glas}	kWh / t _{Glas}
Referenz	237,88	456
MW-Demonstrator (MW)	791,68	1854
Konventionelle Kleinanlage (KK)	857,24	3521
Konventionelle Großanlage (KG)	279,29	1199

Die wichtigsten Ergebnisse sind als Übersicht in Tabelle 1 hinterlegt. Unter der Annahme, dass die effizientesten Anlagen zum Schmelzen von Glas elektrisch beheizt werden, wurde als Referenz für die TPF-Analyse eine elektrische Beheizung angenommen und damit ein Wert von 238 kg CO₂ je Tonne produziertem Behälterglas berechnet. An der verwendeten MW-Anlage konnte bei einem Durchsatz von ca. 0,11 Tonnen pro Tag ein spezifischer Energieverbrauch von 1854 kWh/t ermittelt werden. Daraus ergibt sich ein CO₂-Ausstoß von 792 kg/t je Tonne Behälterglas. Die konventionelle Kleinanlage hat einen Durchsatz von 1,6 Tonnen pro Tag bei einem Energieverbrauch von 3521 kWh/t. Unter der Annahme, dass die Anlage 75 % der benötigten Energie aus der Verbrennung von Erdgas bezieht,

wurde ein Wert von 857 kg_{CO2}/t_{Glas} ermittelt. Die betrachtete konventionelle Großanlage hat einen durchschnittlichen Energieverbrauch von 1199 kWh/t_{Glas} und erzeugt einen CO₂-Ausstoß von 279 kg/t_{Glas}.

Auswertung

Abbildung 3 zeigt das Technologieportfolio der betrachteten Produktionsanlagen für Behälterglas bezogen auf den Referenzpunkt. Es ist deutlich erkennbar, dass die MW-Anlage lediglich die Hälfte des Energieverbrauchs (Operationaler Indikator) der konventionellen Kleinanlage benötigt. Hingegen ist der ökologische Vorteil der MW wesentlich geringer, da bei der Stromerzeugung erheblich größere Mengen CO₂ freigesetzt werden als bei der Verbrennung von Erdgas.

Dies macht auch den Vergleich mit der konventionellen Großanlage schwierig. Durch den Vergleich mit dem Referenzpunkt, dessen Werte auf elektrischer Beheizung basieren, scheint die Großanlage ökologisch deutlich besser als die Kleinanlagen. Unter der Annahme, dass die Großanlage elektrisch beheizt wird, sinkt der ökologische Indikator der Großanlage auf 0,45 ab.

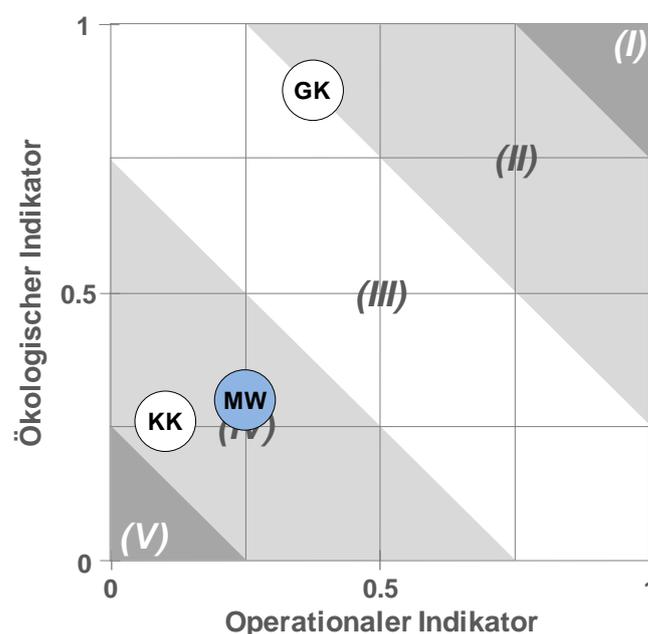


Abbildung 3: Technologieportfolio für konventionelle Kleinanlagen (KK), konventionelle Großanlagen (KG) und Mikrowellentechnologie (MW).

Ein weiterer Effekt der beim Vergleich von Technologien zum Tragen kommt, ist die Skalenabhängigkeit des Energieverbrauchs. Großanlagen bieten gegenüber Kleinanlagen oft große Vorteile in der Effizienz. Dies kann an unterschiedlicher technischer Ausrüstung liegen, die erst ab einer bestimmten Größenordnung sinnvoll einsetzbar ist. Die Auswirkungen des Durchsatzes auf den spezifischen Energieverbrauch in der Glasindustrie sind enorm und die Energieverbräuche streuen stark. Dieser Trend ist ebenfalls in Abbildung 3 erkennbar.

Fazit

Unter Berücksichtigung der operationalen KPIs und bestehender Skaleneffekte der untersuchten Anlagengrößen kann nachgewiesen werden, dass der Gesamtenergieverbrauch bis zu 50% durch die innovative Mikrowellen-Technologie im Vergleich zu konventionellen Anlagen ähnlicher Produktionsrate verringert werden kann.

Das Emissionsminderungspotenzial durch die Mikrowellentechnologie konnte quantifiziert und nachgewiesen werden. Unter Berücksichtigung eines zukünftigen "grünen" Strom-Mix werden die Vorteile einer innovativen Ersatztechnologie weiter gesteigert.

Zwar reichen KPIs allein nicht aus, um die erforderlichen Herstellungsprozesse vollständig zu bewerten, da stets ein bestimmter Schwellenwert definiert werden muss. Dennoch ist der entwickelte Technologie-Vergleich mit Hilfe von KPIs ein wichtiger Ansatz zur Identifizierung und Quantifizierung von wichtigen

Prozessparametern und bietet eine erhebliche Unterstützung für Entscheidungsprozesse hinsichtlich der Förderung innovativer neuer Technologien oder dem Ausbau bestehender konventioneller Technologien.

Literaturverzeichnis

[1] Dorn C, Giannopoulos D., Behrend R., Uhlig V., Founti M., Trimis D.: An integrated methodology towards a comparison of conventional combustion technology with microwave technology in energy intensive firing processes. Proceedings of the 7th European Combustion Meeting ECM 2015, 30.03.-02.04.2015, Budapest/Hungary.

[2] Gitzhofer, K.: "BAT determination in selected industrial fields as a contribution to the fulfilment of the climate protection targets and further immission control legal requirements -Partial Project 02: German contribution to the Review of the Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry", Publikationen des Umweltbundesamtes, 2007

[3] European Environment Agency, "CO2 electricity per kWh", abgerufen am 26.01.2016, http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/co2-electricity-g-per-kwh/co2-per-electricity-kwh-fig-1_2010_qa.xls

[4] United Kingdom Department for Environment Food & Rural Affairs: "Greenhouse Gas Conversion Factor Repository", abgerufen am 24.01.2016, <http://www.ukconversionfactorscarbonsmart.co.uk/>

[5] Hubert, M., "Melting and Fining processes in industrial glass furnaces", IMI-NFG Course on Processing in Glass, Spring 2015, abgerufen am 26.01.2016, http://www.lehigh.edu/imi/teched/GlassProcess/Lectures/Lecture02_Hubert_Melting%20and%20fining%20processes.pdf

[6] Glass for Europe, "Recyclable waste flat glass in the context of the development of end-of-waste criteria", 2010, abgerufen am 26.01.2016, http://www.glassforeurope.com/images/cont/167_86498_file.pdf

[7] Hartley, A. „A study of the balance between furnace operating parameters and recycled glass in glass melting furnaces”, 2004, abgerufen am 26.01.2016, <http://www.britglass.org.uk/publications/a-study-of-the-balance-between-furnace-operating-parameters-and-recycled-glass-in-glass-melting-furnaces>