

DETE Dr. Tettenborn GmbH, Nürnberg

**Entwicklung eines teilautomatisierten Erfassungs- und Bewertungssystems des
Energieverbrauchs bei unterschiedlichen Farbbeschichtungsprozessen zur
Ermittlung von Product-Carbon-Footprint-Daten als Basis zur
Verfahrensoptimierung**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 29591-21/2 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Ing.(FH) Wolfdietrich Ederer

Nürnberg, im November 2013

Bezugsquelle:

DETE Dr. Tettenborn GmbH

Steinfeldstraße 15

90425 Nürnberg

www.dete.de

DETE Dr. Tettenborn GmbH, Nürnberg

**Entwicklung eines teilautomatisierten Erfassungs- und Bewertungssystems des
Energieverbrauchs bei unterschiedlichen Farbbeschichtungsprozessen zur
Ermittlung von Product-Carbon-Footprint-Daten als Basis zur
Verfahrensoptimierung**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 29591-21/2 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Ing.(FH) Wolfdietrich Ederer

Nürnberg, im November 2013

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az 29591	Referat 21/2	Fördersumme	125.000 €
------------------------	---------------------	-------------	------------------

Antragstitel **Entwicklung eines teilautomatisierten Erfassungs- und Bewertungssystems von Umweltdaten des Energieverbrauchs bei unterschiedlichen Farbbeschichtungsprozessen zur Ermittlung und Berechnung von sog. Product-Carbon Footprint-Daten. PCF-P (Product Carbon Footprinting for Painting)**

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
21 Monate	17.01.2012	30.09.2013	1

Zwischenberichte: alle 6 Monate Kurzbericht

Bewilligungsempfänger	Firma DETE Dr. Tettenborn GmbH Steinfeldstrasse 15 90425 Nürnberg	Tel	091134770
		Fax	0911347740
		Projektleitung Dipl. Ing.(FH) Wolfdietrich Ederer	
		Bearbeiter Dipl. Ing.(FH) Wolfdietrich Ederer	

Kooperationspartner Infolab GmbH
Loheweg 5
91056 Erlangen

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Ziel ist die Entwicklung einer Art „Kernmodul“, das sich zunächst mit einer deutlich vereinfachten und automatisierten Erfassung und CO₂-Bewertung des Energiehaushaltes eines komplexen Lackierprozesses beschäftigt. Damit sollen zunächst mehr als 50% der CO₂-/Energieverbrauchsrelevanten Faktoren erfasst werden können. Anlass des Vorhabens ist, dass eine methodische Auseinandersetzung mit dem Energiehaushalt des jeweiligen Lackiersystems i.d.R. klare Hinweise auf sehr massive Einsparungspotentiale erzeugt.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Das Projekt ist in mehrere Arbeitspakete aufgeteilt, sowohl auf Seiten des Bewilligungsempfängers als auch des Kooperationspartners. Die Aufteilung der Tätigkeiten erfolgt nach den jeweiligen Fähigkeiten, daher übernimmt der Kooperationspartner die Entwicklung der Software in einem flexiblen Prozess (sog. „agiler Prozess“) und der Bewilligungsempfänger entwickelt und überprüft die Berechnungsroutinen, die der Software zugrunde liegen sollen und schafft die grundsätzliche Datenbasis. Prinzipiell wird bei der Berechnungsentwicklung bzw. der Erstellung der Programmstruktur vom Makroskopischen zum Mikroskopischen gearbeitet, um sicherzugehen, keine relevanten Bereiche außer Acht zu lassen. Des Weiteren werden zunächst Verfahrensweisen in der Theorie entwickelt, um zu definieren, welche Daten für eine Berechnung unabdingbar sind. Danach wird in der Praxis (mit entsprechenden Anwendern) überprüft, ob und mit welchem Aufwand die benötigten Kennzahlen und Faktoren ermittelt werden können. Anhand der Ergebnisse der Praxistests werden die Berechnungsroutinen entsprechend angepasst bzw. standardisiert.

Ergebnisse und Diskussion

Das Ziel der Entwicklung eines Kernmoduls zur vereinfachten Erfassung und Bewertung der relevantesten Energie- und CO₂-Daten in Lackierprozessen konnte innerhalb des bewilligten Projektumfangs erreicht und insofern sogar übertroffen werden, da sich die Möglichkeit zur Abbildung und Simulation nunmehr nicht nur auf Lackier- sondern auf nahezu jeden technischen Produktionsprozess anwenden lässt. Möglich wurde dies durch die Integration von Algorithmen zur Erfassung und Berechnung grundlegender Energieverbrauchs- bzw. verlustformen wie z.B. dem Wärmetransfer, Elektromotoren oder dem Druckluftverbrauch, die in nahezu jedem Produktionsprozess vorkommen. Bei den Anforderungen an die benötigten Daten wurde weitestgehend auf komplexe Sachverhalte verzichtet. Dadurch konnte das System einer extrem breiten Front von Anwendern eröffnet werden, die ihren jeweiligen Produktionsprozess nun selbstständig und ohne tiefgehende Fachkenntnisse über Mechanismen, Funktionsweisen oder Kennzahlen spezifischer Verbraucher analysieren, simulieren, modellieren und bewerten können. Das System unterstützt den Anwender aktiv bei der Suche und Identifikation von potentiellen energetischen bzw. CO₂-emissionsrelevanten Schwachstellen, sowie bei der Bewertung der vorliegenden technischen Ausgangssituation und bietet darüber hinaus Unterstützung bei der Prozessmodellierung hinsichtlich sinnvoller energetischer Modernisierungsmaßnahmen. Die Benutzeroberfläche des Moduls und der Berechnung an sich sind dabei so gehalten, dass Änderungen am Prozessmodell hinsichtlich Ablauf und Technik sofort an den Energie- und Carbon-Footprint-Daten pro produzierter Produkteinheit in konkreten Zahlen erkennbar sind. Eine Bewertung verschiedener Prozessänderungen und –modernisierungen vor einem konkreten Investitionshintergrund kann somit sofort erfolgen. Um die einfache Ergebnisaufbereitung und -weitergabe zu gewährleisten, wurde ein Berichtsgenerator integriert, der die gewonnenen Erkenntnisse automatisch in einen direkt druckbaren Bericht umwandelt. Dadurch wird die Transparenz der Prozessanalyse zusätzlich erhöht und die Weitergabe und Nutzung der gewonnenen Daten weiter vereinfacht.

Aufgrund der sich während des Entwicklungsprozesses herausgestellten Komplexität zur Schaffung eines zuverlässigen und belastbaren Kernmoduls samt Berechnungsalgorithmen konnte eine Anbindung von im Prozess integrierten Feldgeräten zur Echtzeit-Datenerfassung nicht hinreichend betrachtet werden. Die bisherigen Überlegungen in dieser Richtung legen jedoch die Vermutung nahe, dass eine derartige Ausweitung des Systems vor dem Hintergrund der hohen zusätzlichen Investitionskosten und des zu erwartenden geringen Mehrnutzens im Vergleich zu der vorliegenden Version nur für einen kleinen, finanzstarken Anwenderkreis interessant sein würde – dies wiederum steht dem erklärten Ziel entgegen, ein bezahlbares und einfaches System für KMU zur Gewinnung energieeffizienz- und CO₂-emissionsrelevanter Produktdaten zu schaffen.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Im Verlauf der Projektlaufzeit wurde bereits mehrfach in den einschlägigen Oberflächentechnik-Fachmedien über das Projekt berichtet. Auch auf Hausmessen und Veranstaltungen konnte über die Entwicklungsarbeit und die Zielsetzung bereits im Rahmen von Vorträgen berichtet werden. Aufgrund des Umstandes, dass das System auch branchenübergreifend eingesetzt werden kann, wurden dortige einschlägige Fachmedien bereits mit entsprechenden redaktionellen Beiträgen bedacht. Auf der wichtigsten internationalen Fachmesse für Oberflächentechnik, der PaintExpo 2014, wird das System einen der Schwerpunkte des Bewilligungsempfängers darstellen. Die direkte Ansprache von interessierten Unternehmen ist ebenfalls bereits angelaufen.

Fazit

Im Rahmen dieses Förderprojekts konnte ein wirksames und vor allem speziell für KMU äußerst interessantes Instrument zur Analyse und Modellierung von technischen Prozessen hinsichtlich deren Einsparpotentiale und Carbon-Footprint-Daten entwickelt werden, das sich speziell durch seine Einfachheit und Funktionalität von auf dem Markt verfügbaren teuren und/oder aufwändigen Systemen zur ganzheitlichen Öko-Bilanzierung deutlich abhebt. Eine spätere Erweiterung des Kernmoduls um weitere energie- und CO₂-relevante Bausteine erscheint unter dem Aspekt seiner äußerst unkomplizierten Zugänglichkeit für den Nutzer als sinnvoll und vielversprechend.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190

Inhalt

1.	Verzeichnis Bilder/Tabellen	7
2.	Verzeichnis Begriffe/Definitionen.....	8
3.	Zusammenfassung	9
4.	Einleitung.....	11
5.	Hauptteil	16
5.1.	Vorüberlegungen	16
5.2.	Projektteam, Vorgehensweise	17
5.3.	Programmgerüst.....	19
5.4.	Berechnungsaufbau	20
5.5.	Abbildung des Produktionsprozesses in CaMoS	23
5.6.	Einsatz von Feldgeräten.....	24
5.7.	Datenbank für Standarddaten.....	24
5.8.	Weitergabe der Ergebnisse	26
5.9.	Grundlegendes Bedienkonzept	27
5.10.	Hilfe bei der Effizienzausschöpfung, allgemeine Bedienung.....	27
5.11.	Umweltentlastungsaspekt.....	28
5.11.1.	Direkte Umweltentlastungen.....	29
5.11.2.	Indirekte Umweltentlastungen	29
5.12.	Verbreitungsmaßnahmen	31
6.	Fazit.....	34

1. Verzeichnis Bilder/Tabellen

Abb. 1 PCF eines Nahrungsmittels	9
Abb. 2 Systemlogo	9
Abb. 3 Blackbox Produktionsprozess	11
Abb. 4 Schema CO2-Bilanz.....	16
Abb. 5 Logo Projektpartner.....	17
Abb. 6 Logo Bewilligungsempfänger	17
Abb. 7 Strahlanlage, 20 Jahre alt, zur Vorbehandlung von Rohteilen	18
Abb. 8 Veröffentlichungsbeispiel des GHG	19
Abb. 9 freie Wahl des Zeit/Anteil-Parameters.....	23
Abb. 10 Baumartige Abbildung des Prozessschemas	23
Abb. 11 Baustein-Datenbank.....	25
Abb. 12 integrierter Berichtsgenerator.....	26
Abb. 13 Auszug Hilfedatei: Energieeffizienzhinweise und Maßnahmenkatalog	27
Abb. 15 nachträgliche Ofendämmung	29
Abb. 14 Ungenutzte Abluftströme entweichen ins Freie	29
Abb. 16 Logo PCF Pilotprojekt	30
Abb. 17 Redaktioneller Beitrag im Fachmagazin besser lackieren!.....	32
Abb. 18 Fachvortrag über produktbezogene CO2-Bilanzierung.....	33
Abb. 19 PCF-Infobox auf der PaintExpo 2012.....	33

2. Verzeichnis Begriffe/Definitionen

CaMoS	Carbon Monitoring System; Name des entwickelten Programms, frei übersetzt „CO2-Emissions-Überwachungs-System“
PCF	Product Carbon Footprint, auch CFP (Carbon Footprint of Products) genannt; bezeichnet eine CO2-Bilanz, deren Ergebnisse auf eine einzelne Produkteinheit heruntergebrochen wird
XML	Extensible Markup Language; weit verbreitete und einfache Programmiersprache mit großer Flexibilität
GHG	GreenhouseGas Protocol; Internationaler Leitfaden zum Thema CO2-Bilanzierung
PAS 2050	Public Available Service; Britischer Leitfaden zum Thema CO2-Bilanzierung
ISO 14067	Normentwurf zum Thema Vorgehensweisen und Mechaniken zur produktbezogenen Bilanzierung von CO2-Emissionen, noch im Entwurfsstadium

3. Zusammenfassung

Mit dem hier beschriebenen Förderprojekt hat der Nürnberger Lackieranlagenbauer DETE Dr. Tettenborn GmbH zusammen mit seinem Projektpartner, dem IT-Spezialisten Infolab GmbH den erfolgreichen Versuch gewagt, sich mit einem Thema zu befassen, das zwar in anderen Branchen – als Beispiele seien hier die Branche der Printmedien sowie etliche Großkonzerne wie die Telekom oder die britische Supermarktkette Tesco genannt – bereits weite Verbreitung gefunden hat, bei dem die traditionelle Lackierbranche jedoch den aktuellen Entwicklungen in den Bereichen Energieeffizienz und Klimaschutz deutlich hinterherhinkt – obwohl gerade in dieser Industriesparte sowohl ein enormer Energieverbrauch vorliegt, gleichzeitig aber auch ein enormes Einsparpotential in den Bereichen Energie und CO2 besteht.



Abb. 1 PCF eines Nahrungsmittels

Ziel des Projektes war es, gemeinsam ein System zur Erstellung von produktbezogenen Energie- und CO2-Bilanzen zu entwickeln, welches in dieser Form auf dem Markt bislang nicht verfügbar war. Der Schwerpunkt bei der Entwicklung dieses Instrumentes zur Analyse, Bewertung und Modellierung von Lackierprozessen lag dabei eindeutig auf der größtmöglichen Reduzierung der Komplexität einer derartigen Aufgabe, um es speziell kleinen und mittelständischen Unternehmen zu ermöglichen, kostengünstig und mit minimalem Aufwand an Daten zu kommen, die es ermöglichen, die Schwachstellen des eigenen Lackierprozesses eigenständig aufzudecken und einer ersten Bewertung hinsichtlich des Verbesserungspotentials zu unterziehen.

Im Laufe des Projektfortschrittes hat sich die Entwicklung jedoch in eine Richtung



Abb. 2 Systemlogo

bewegt, die ihr Einsatzfeld erfreulicherweise weit über die Grenzen der Lackierbranche erweitert hat – somit ist es nun faktisch möglich, mit dem Entwicklungsergebnis CaMoS (Carbon Monitoring System) nahezu jeden technischen Prozess elektronisch modellhaft nachzubilden, lesbare produktbezogene Energie- und CO2-Bilanzen automatisch zu erstellen, Schwachstellen zu identifizieren und Vergleichsberechnungen anzustellen. Die Detailliertheit, die das Programm trotz seiner Einfachheit in der Bedienung bietet,

sucht derzeit seinesgleichen auf dem Markt, weshalb es einen wesentlichen Baustein für eine künftig immer wichtiger werdende lieferkettenübergreifende CO2-Bilanzierung von Verbrauchsgütern und auch Energieeffizienzsteigerung in der KMU-Industrie darstellt.

4. Einleitung

Das Thema Klimaschutz ist mittlerweile fest in unserer Gesellschaft verankert. Internationale Abkommen zielen darauf ab, dem drohenden Klimawandel mit verschiedensten Ansätzen entgegenzuwirken bzw. die Klimaerwärmung auf ein vertretbares Maß – bekannt als das 2-Grad-Ziel – zu begrenzen. Jeder dieser Ansätze setzt allerdings ein sehr konkretes Wissen um die umweltrelevanten Daten bezogen auf die Lebens- bzw. Nutzungszeit eines Produktes (sogenannter Cradle-to-Grave-Ansatz) voraus, denn ohne konkretes Wissen über die möglichen Stellschrauben in diesem Lebenszyklusprozess können geeignete Maßnahmen zur Senkung der negativen Umweltauswirkungen weder an den richtigen Stellen noch effektiv oder gar effizient angewendet werden.

Bereits vor mehr als 20 Jahren wurde hierfür der Mechanismus der Ökobilanz entwickelt, der es ermöglicht, auch hochkomplexe Zusammenhänge bereichsübergreifend zu analysieren und abzubilden. In jüngster Zeit wurde allerdings mehr und mehr dazu übergegangen, das Thema CO₂ in den Fokus zu

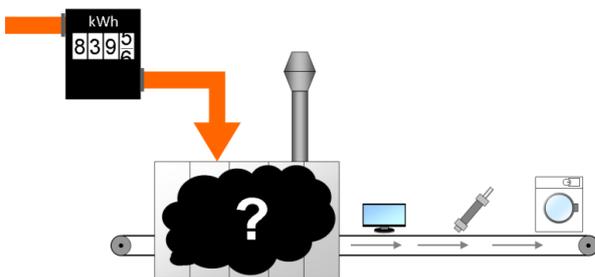


Abb. 3 Blackbox Produktionsprozess

rücken. Dies ist insofern verständlich, da sich alle klimatischen Veränderungen auf die Konzentration von CO₂, welches direkt mit jedweder Art der Energieerzeugung bzw. deren

Verbrauchs verknüpft ist, in der Atmosphäre zurückführen lassen. Kritiker bemängeln an diesem Verfahren die Eindimensionalität und die Reduzierung einer Summe vielfältiger umweltrelevanter Auswirkungen auf einen einzelnen Faktor – praktisch ist es jedoch kaum möglich, die aufwändige Ökobilanzierung flächendeckend vor allem in der Industrie zu etablieren.

Auf dem Softwaremarkt konnten sich mittlerweile einige Programme etablieren, die die bis dato manuelle Erstellung hochkomplexer Öko-Analysen vereinfachen. So ist es dort möglich, Stoffströme, Energieflüsse und auch CO₂-Emissionsströme prozessübergreifend abzubilden und zu bilanzieren, deren Anwendung in der Praxis ist jedoch schwierig: Zum Einen, da derartige Systeme – auch, wenn sie softwaregestützt sind – noch immer ein sehr komplexes Wissen voraussetzen und zum Anderen, weil die (makroskopischen) Ergebnisse im Mikroskopischen nur sehr schwer durch konkrete Effizienz-Einzelmaßnahmen ausgedrückt werden können.

Dies bedeutet jedoch: Auch durch eine Ökobilanz sieht der Anlagenbetreiber kaum, wie und an welchen Stellen er in seinem Produktionsprozess konkret ansetzen kann bzw. muss, um sowohl seinen Energiebedarf als auch seine CO₂-Emissionen möglichst effektiv zu senken.

Zielsetzung bei diesem Projekt war, ein Instrument speziell für den großen und energiehungrigen Industriezweig der industriellen Oberflächenbeschichtung zu entwickeln, mit dem eine produktbezogene CO₂-Bilanz teilautomatisiert, mit möglichst wenig Zeit- bzw. Personalaufwand und vor allem mit möglichst geringem Expertenwissen erstellt werden kann. Der Fokus lag hierbei auf den CO₂-Emissionen aus dem Energieverbrauch bei der Oberflächenbeschichtung; Ein Beispiel zur Verdeutlichung der Relevanz: rund 70% des Energieverbrauchs bei der Herstellung eines Pkw entfallen derzeit auf die Lackierung (Die Zahlenangaben beziehen sich auf veröffentlichte Erfahrungswerte der Fa.Dürr AG aus 2010). Hierzu sollte zunächst eine Art Kernmodul entwickelt werden, mit dem mehr als 50% der CO₂- bzw. Energieverbrauchsrelevanten Faktoren eines Lackierprozesses erfasst werden können. Dieses Kernmodul sollte in nachfolgenden Entwicklungsprozessen um weitere Themenfelder ergänzt werden wie z.B.

- Reduzierung von Farbverbrauch (Overspray) mit allen CO₂-relevanten Konsequenzen;
- Erfassung und Bewertung von Lösungsmittelverbrauch und dessen CO₂-Einfluss;
- Erfassung und Bewertung von Wasserverbrauch und dessen CO₂-Einfluss;
- Feinere und erweiterte Unterteilung einzelner Emissionsquellen/Energieverbrauchsstellen, um noch differenziertere Aussagen treffen zu können;

Hierzu sollte jeweils der Energieverbrauch des kompletten Lackierprozesses betrachtet werden, also

- die Vorbehandlung von Teilen vom Entfetten über Reinigen bis hin zum Vorwärmen, wo dies erfolgen soll;
- der Energieverbrauch des direkten Beschichtungsprozesses von der Druckluftherzeugung bis zur Farbmischung und Ablufttechnik einschließlich der Energiebedarf für eine Luftaufbereitung und Farbpartikelabscheidung;

- der Energieverbrauch des gesamten Trocknungsprozesses einschließlich Abluft und Abluftreinigung;

Die Daten sollten einerseits als sog. PCF (Product Carbon Footprint) -Daten verwendet werden können, die bei Bedarf durch eine manuelle Datenermittlung zu komplexen Aussagen ergänzt werden können. In Summe sollte aber eine Art permanente Verfahrenskontrolle geschaffen werden, um prüfen zu können, an welchen Stellen wie und mit welchem Aufwand ein CO₂-Ausstoß, zunächst im Energiebereich, reduziert werden kann. Da im Energiebereich eine CO₂-Reduktion meist automatisch mit einer spürbaren Verbesserung der Wirtschaftlichkeit verknüpft ist, sollte über den wirtschaftlichen Anreiz zu einer nachhaltigen Prüfung und Reduzierung des CO₂-Ausstosses von kleinen und mittelständischen Lackierereien beigetragen werden.

Eine seriöse Quantifizierung der Auswirkungen ist schwierig und jeweils abhängig von den gegebenen Ausgangsbedingungen (Verfahrenstechniken, verwendete Energieformen, Energiemix usw.) in den einzelnen Betrieben. In Abhängigkeit des Bestandes wurde davon ausgegangen, dass bei technischer Anpassung von Lackierverfahren mindestens zwischen 5 und 35% des CO₂- Ausstoßes durch denkbare Energieeinsparungen vermieden werden können. In Einzelfällen, beispielsweise bei Energieumstellung (z.B. Strom auf Gas), sind auch durchaus bis zu 60% möglich. Wesentlich war, dass mit dem angestrebten Gesamtsystem unternehmerische Anreize geschaffen werden zu einer methodischen Energieeinsparung und damit auch methodischen Reduzierung des CO₂-Ausstosses.

Wie dargestellt sollte ein System entwickelt werden, mit dessen Hilfe (teil-) automatisiert und ohne sehr großen Aufwand verschiedene PCF-relevante Werte ermittelt werden können. Da in industriellen Lackierbetrieben der größte Anteil des CO₂-Ausstoßes durch die Summe des gesamten Energieverbrauches bedingt ist, sollte ein derartiges „Kernsystem“ am Beispiel des Energieverbrauches von kleinen bis mittelständischen Lackierbetrieben entwickelt werden. (Großlackierereien wie in Autofirmen verwenden andere Verfahren und Systeme und stellen damit andere Anforderungen). Dieses Kernsystem sollte Möglichkeiten zu einer späteren Erweiterung bieten, um andere CO₂-relevante Faktoren mit erfassen zu können.

Hierzu sollte eine spezifische Softwaresystematik entwickelt werden, die entlang bisheriger Vorschriften alle energierelevanten Daten der einzelnen, eingesetzten Technologien erfassen kann. Dabei ist eine relativ detaillierte Eingabe aus allen drei Hauptbereichen Vorbehandlung, Beschichten und Trocknen erforderlich, um in einer nachfolgenden Ergebnisanalyse die „Energiefresser“ und starke CO₂-Produzenten identifizieren zu können. Es war somit als nicht ausreichend angesehen, lediglich die Gesamtmengen von Strom, Gas, Wasser und anderen Energieträgern einzugeben. Benötigt werden dazu reale Betriebszeiten, reale Energiebedürfnisse der einzelnen Verfahren sowie Angaben zum jeweiligen Energieträger.

Hierzu sollten einerseits Möglichkeiten geschaffen werden, konkrete Ist-Daten in ein Rechnersystem einzugeben. Ob verschiedene Daten später mit spezifischen Sensoren direkt an den eingesetzten Verfahren erfasst werden können, sollte dabei einer späteren Untersuchung vorbehalten bleiben. Die Eingaben sollten dann mit einer (teil-)automatischen Auswahl präzise passender Standarddaten verknüpft werden und somit zu sehr genauen CO₂-Werten führen, die zudem einzelnen Anlagentechnologien/Komponenten zuordenbar werden. Mit diesem System sollte darüber hinaus eine sehr weitgehende Flexibilität erreicht werden, um auch eine sehr unterschiedliche Anlagennutzung, die ja werkstoffabhängig in Lackierbetrieben alltäglich ist, mit berücksichtigen zu können.

Die Komplexität des Themas, aber auch der denkbare Nutzen und denkbarer Ansporn für Unternehmen ist in der Broschüre „Klima schützen, Kosten senken – Energie sparen bei der Lackierung“ des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) sehr detailliert und mit vielen konkreten Zahlen dargestellt (ISBN 3-936385-89-0, 2006).

In Abhängigkeit sehr unterschiedlicher bestehender Investitionen konnten im Vorfeld keine genauen Zahlen angegeben werden, es wurde jedoch angenommen, dass mit dem zu entwickelnden Basis-Lösungssystem im Schnitt etwa 60 bis 65 % des gesamten CO₂-Ausstosses in KMU-Lackierbetrieben permanent erfasst und in Abhängigkeit neuester Verfahrenstechnologien ganz massive und konkrete Hinweise gegeben werden können, wo, wie und welche CO₂-Reduzierungen mit einer verbesserten Wirtschaftlichkeit verknüpft wäre.

Damit war aus praktischer Erfahrung die Herausforderung verbunden, verschiedene Faktoren miteinander zu verknüpfen:

- Entwicklung eines „modularen Systems“ zur vereinfachten Erfassung und Berechnung von wesentlichen PCF-Daten
- Verknüpfung verschiedener umweltrelevanter PCF-Faktoren mit wirtschaftlichen Anreizen durch eine Reduzierung von CO₂ Ausstoß
- Stufenweiser Ausbau eines technischen Modulsystems zur verfeinerten Erfassung und Definition von PCF-Daten
- Förderung neuer, energieeffizienter Technologien durch Schaffung einer breiteren Nachfrage nach derartiger Technik aufgrund der vereinfachten Prozessanalyse

5. Hauptteil

5.1. Vorüberlegungen

Wie dargestellt war es das Ziel, mit CaMoS ein System zu entwickeln, mit dessen Hilfe (teil)automatisiert und ohne sehr großen Aufwand verschiedene PCF-relevante Werte ermittelt werden können. Da in industriellen Lackierbetrieben der größte Anteil des CO₂-Ausstoßes durch die Summe des gesamten Energieverbrauches bedingt ist, sollte zunächst ein „Kernsystem“ am Beispiel des Energieverbrauches von kleinen bis mittelständischen Lackierbetrieben entwickelt werden. Dieses Kernsystem sollte so gestaltet werden, dass zukünftige Erweiterungen, z.B. um andere CO₂-relevante Fakten mit erfassen zu können, relativ einfach andockt werden können. Hierzu sollte zunächst eine spezifische Softwaresystematik entwickelt werden, die entlang bisheriger Vorschriften alle energierelevanten Daten der einzelnen, eingesetzten Technologien erfasst. Dabei ist eine relativ detaillierte Eingabe aus allen drei Hauptbereichen Vorbehandlung, Beschichten und Trocknen erforderlich, um in einer nachfolgenden Ergebnisanalyse die „Energiefresser“ und

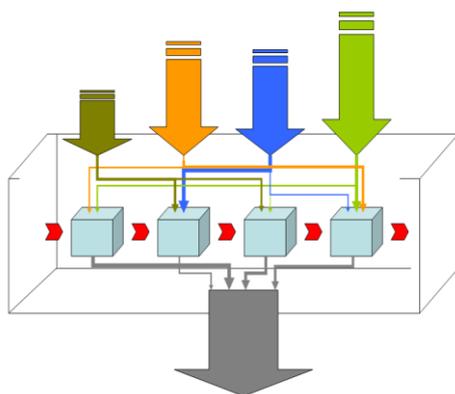


Abb. 4 Schema CO₂-Bilanz

starke CO₂-Produzenten identifizieren zu können. Es genügt also nicht, die Gesamtmengen von Strom, Gas, Wasser und anderen Energieträgern einzugeben. Benötigt werden dazu reale Betriebszeiten, reale Energiebedürfnisse der einzelnen Verfahren sowie Angaben zum jeweiligen Energieträger. Diese Grundüberlegung wurde im Verlauf des Projektes weiter verfeinert und als so genannter „Inside-Out“-

Bilanzierungsmechanismus definiert.

Hierzu sollten einerseits Möglichkeiten geschaffen werden, konkrete Ist-Daten in ein Rechnersystem einzugeben. Ob verschiedene Daten später mit spezifischen Sensoren direkt an den eingesetzten Verfahren erfasst werden können, sollte dabei einer späteren Untersuchung vorbehalten bleiben. Die Eingaben sollten dann mit einer (teil-)automatischen Auswahl präzise passender Standarddaten verknüpft werden und somit zu sehr genauen CO₂-Werten führen, die zudem einzelnen Anlagentechnologien/Komponenten zuordenbar werden. Mit diesem System sollte zudem eine sehr weitgehende Flexibilität erreicht werden, um auch eine sehr

unterschiedliche Anlagennutzung, die ja werkstoffabhängig in Lackierbetrieben alltäglich ist, mit berücksichtigen zu können.

5.2. Projektteam, Vorgehensweise

An der Realisierung dieser recht umfangreichen und komplexen Projektskizze haben die beiden projektbeteiligten Unternehmen, die DETE Dr. Tettenborn GmbH und die Infolab GmbH, sehr eng zusammengearbeitet, um die jeweiligen Kompetenzen und Schwerpunkte nutzbringend und zielführend einzubringen. Die Verquickung von



Abb. 6 Logo Bewilligungsempfänger

tiefgehendem anlagentechnischen Know-How und modernem IT-Wissen in dem zu erarbeitendem Ergebnis machte diese Partnerschaft unabdingbar. Erst durch das umfangreiche Fachwissen des Projektpartners Infolab GmbH hinsichtlich softwaretechnischer Umsetzungen wurde es ermöglicht, die komplizierte, von der DETE Dr. Tettenborn GmbH entwickelte und im direkten Dialog verfeinerte Berechnungssystematik, die das Rückgrat des Kernmoduls bilden sollte, in ein ausbaufähiges Programmgerüst umzusetzen und benutzerfreundlich abzubilden. Die



Abb. 5 Logo Projektpartner

Arbeitsweise der Infolab GmbH war entsprechend der Komplexität der Aufgabe dabei nicht als rigides Ablaufschema, sondern als so genannter Agiler Prozess aufgebaut, der es ermöglicht, die fortschreitende Entwicklung der Berechnungsstruktur direkt und parallel umzusetzen. Diese Arbeitsweise hat sich im Verlauf dieses Projektes als äußerst zielführend herausgestellt, da es durch den laufenden Entwicklungsprozess zwangsläufig immer wieder zu rückwirkenden Änderungen in der stetig wachsenden Berechnungsstruktur kam. An dieser Stelle soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass ein klassisches Abarbeiten von Arbeitspaketen zwar nach besten Möglichkeiten verfolgt, durch die bereits beschriebene Art der Entwicklung jedoch nicht immer stringent zum Projektplan eingehalten werden konnte.

In den ersten, grundlegenden Arbeitsschritten sollte zunächst ein Pflichtenheft entwickelt werden, welches in den nachfolgenden Arbeitsschritten weiter verfeinert werden und welches Umfang und Funktion von CaMoS festlegen sollte. Dabei wurde ein Hauptaugenmerk auf die Bedürfnisse der zukünftigen Zielgruppe der klein- und mittelständischen Unternehmen gelegt. Hierbei musste aber auch eine praktikable

Lösung gefunden werden, die zum Teil doch sehr großen Unterschiede hinsichtlich der eingesetzten Verfahren und der Technologie von sehr kleinen Klein- und relativ großen mittelständischen Lackierbetrieben in einem überschaubaren Umfang zusammenzufassen. In diesem Zusammenhang erscheint die Beschränkung auf den Bereich „Energie“ bzw. auf im Prozessquerschnitt überall vorkommende Basisprozesse als logische Konsequenz, um ein flexibles und praxisgerechtes Instrument zur Analyse und Bilanzierung von unterschiedlich komplexen industriellen Beschichtungsprozessen entwickeln zu können. Mitberücksichtigt werden musste auch die Datenlage in den jeweiligen Betrieben, die, basierend auf langjährigen Praxiserfahrungen, im Bereich „rudimentär“ bis „umfangreich“ liegen kann. Speziell bei kleineren und mittleren Handwerksbetrieben liegen oftmals kaum brauchbare Daten vor, daher sollten die benötigten Kennzahlen für die Berechnung auf ein Mindestmaß reduziert werden.



Abb. 7 Strahlanlage, 20 Jahre alt, zur Vorbehandlung von Rohteilen

Neben der eigentlichen Berechnung wurde auch festgelegt, wie das Datenhandling von CaMoS im Hintergrund ablaufen sollte. Wichtige Kriterien waren hierbei die zukünftige Erweiterbarkeit sowie eine grundsätzliche Flexibilität der Datenverarbeitung und –speicherung, um das System an zum jetzigen Zeitpunkt noch unbekannte Faktoren wie neue Berechnungsmethoden, Normen bzw. Richtlinien oder neue Technologien ohne größere Schwierigkeiten anpassen zu können. In diesem Rahmen wurden auch Möglichkeiten zur späteren Datenanbindung (Schnittstellen) sowie zur Programmierbasis gesammelt und zunächst grob hinsichtlich ihrer Eignung für das Vorhaben überprüft.

Weiterhin wurden die einschlägigen Normen und Richtlinien zur Erstellung von produktbezogenen CO₂-Bilanzen, die zu diesem Zeitpunkt verfügbar waren,



Abb. 8 Veröffentlichungsbeispiel des GHG

gesammelt und auf Auswirkungen auf das System und seine Arbeitsroutinen sowie hinsichtlich möglicher kommender Anforderungen geprüft. Zum Zeitpunkt des Projektstarts im Januar 2012 lagen hier die britische Richtlinie PAS 2050 und das internationale GHG-Greenhouse Gas Protocol vor, die jedoch nicht als verpflichtende Standards

angesehen und in ihrer praktischen Anwendbarkeit sehr unterschiedlich bewertet werden. Die ISO 14067, eine Norm zur Erstellung von produktbezogenen CO₂-Bilanzen, so genannten Product Carbon Footprints (kurz: PCF oder CFP), befand sich zum Projektstart noch in der Entwurfsphase, wurde jedoch ebenfalls einer Durchsicht unterzogen. Die vorstehend genannten Richtlinien, Standards und Normen flossen somit mit in die Grundüberlegungen der Programmgestaltung mit ein, obwohl die ISO 14067 auch bis zum Zeitpunkt dieser Berichtserstellung noch nicht als offiziell gültige Norm vorgestellt wurde.

Anhand all dieser Überlegungen wurde also zunächst ein Grundgerüst für CaMoS erstellt, welches in den darauffolgenden Arbeitsschritten in seinen Details näher beleuchtet und verfeinert werden konnte.

5.3. Programmgerüst

Ein wesentlicher Punkt für die zukünftige Ausbaufähigkeit von CaMoS war die eigentliche Programmierumgebung, in der das System erstellt werden sollte. Hier wurden verschiedenste Wege beleuchtet, sowohl hinsichtlich der Nutzung von bereits vorhandenen Umgebungen wie dem Programm Microsoft Visio, als auch hinsichtlich einer völlig eigenständigen Programmierung. Letzten Endes fiel die Entscheidung auf die Umsetzung von CaMoS in XML (Extensible Markup Language). Hierbei handelt es sich um einen Standard zur Programmierung hierarchischer Strukturen in Form von Textdateien. XML wird unter anderem für den Datenaustausch zwischen Computern verwendet, insbesondere über das Internet. Diese freie Programmierumgebung hat den großen Vorteil, dass ein Datenexport oder Anbindungen, z.B. von Datenbanken oder Programmbausteinen, mit relativ wenig Aufwand zu etablieren sind. Darüber hinaus ist die Programmstruktur

menschenlesbar, da sie auf Binärdaten grundsätzlich verzichtet. Vor dem Hintergrund der geplanten Ausbaufähigkeit von CaMoS war XML also die richtige Wahl, auch wenn die Erstellung des Programmgerüsts in erster Instanz aufwändiger war als z.B. mit Microsoft Visio. Durch diese grundlegende Entscheidung wurde aus CaMoS jedoch ein hochflexibles Programm, welches eine größtmögliche Bandbreite an Schnittstellen und Anbindungsmöglichkeiten sowie eine eigenständige Lauffähigkeit ohne Installation mitbringt. Grundsätzlich ist somit auch eine webbasierte Umsetzung des Systems denkbar.

5.4. Berechnungsaufbau

Das Kernelement von CaMoS ist die Berechnung des Energieverbrauchs sowie der CO₂-Emissionen von ganzen Produktionsprozessen und das anschließende Herunterbrechen auf eine einzelne Produkteinheit über möglichst einfach und großflächig verfügbare Anlagen- und Maschinenkennzahlen. Dieser Punkt bedurfte einer äußerst genauen Betrachtung, da die Nützlichkeit des Systems entscheidend von der Zuverlässigkeit und Funktionalität der Berechnung abhängt. Anhand der langjährigen praktischen Erfahrungen der Projektbeteiligten wurden zunächst die relevantesten Energieträger, Energieverbraucher bzw. energieverbrauchenden Prozessteile eines Lackierprozesses identifiziert und so genannte Energieelemente definiert, mit denen CaMoS arbeiten sollte. Diese lauten wie folgt:

- **Energieverbrauch**
Der Energieverbrauch ist ein relativ allgemein gehaltenes Energieelement, welches es ermöglicht, z.B. gemessene Verbräuche in direkter Form als Einzelwert einzugeben. Im Rahmen erster praktischer Anwendungen hat sich gezeigt, dass auf dieses Element aufgrund der oftmals sehr mangelhaften Datenverfügbarkeit und aufwändigen Messarbeit häufig zurückgegriffen werden muss.
- **Elektromotor**
Der Elektromotor ist ein grundlegendes Energieelement, welches in technischen Lackierprozessen, z.B. als Stellantrieb oder in der Lufttechnik, sehr häufig vorkommt. Es ermöglicht es dem Nutzer, den Energieverbrauch von Elektromotoren unter Berücksichtigung der Motoreffizienz sowohl anhand von Messdaten als auch anhand von Typenschildangaben zu berechnen.

- **Druckluftverbrauch**
Bei diesem Energieelement kann ein gemessener oder standardisierter Druckluftverbrauch eingegeben und berechnet werden. Druckluft zählt zu den teuersten Energieformen, in der Praxis wird damit jedoch fast immer sehr unbewusst umgegangen. Druckluft ist in der Lackiertechnik, aber auch in anderen Prozessen ein Standardenergieträger, der eine ganze Reihe vielfältiger Funktionen (z.B. als Antriebsenergie, zum Trocknen, Reinigen, Zerstäuben) übernimmt und daher große Relevanz hat.
- **Druckluftzylinder**
Druckluftzylinder kommen in Lackierbetrieben sehr häufig in Form pneumatischer Lackpumpen vor. Dieses Energieelement ermöglicht es, den Luftverbrauch von Druckluftpumpen in der Praxis zu bestimmen, darüber hinaus können jedoch auch alle anderen mit Druckluft erzeugten Linearbewegungen (z.B. Stellzylinder) abgebildet werden.
- **Wärmemenge**
Wärme ist nicht nur in der Lackierindustrie einer der größten energieverbrauchenden Elemente. Mit diesem Energieelement können z.B. Abluftströme hinsichtlich ihres Energiegehaltes berechnet werden. Dieses Element ist z.B. für das Thema Wärmerückgewinnung äußerst relevant.
- **Wärmetransfer**
Der Wärmetransfer stellt insbesondere bei älteren Anlagen im Bestand einen nicht zu unterschätzenden Energieverlust in Industriebetrieben dar. Speziell bei Trocknern und Öfen nimmt mit zunehmendem Anlagenalter auch der Wärmeverlust durch Bauteilwände und –decken durch die Alterung der Dämmung zu. Über dieses Element kann der Wärmetransfer auch durch ein mehrschichtiges Bauteil berechnet werden. Dies wiederum ermöglicht es, z.B. Auswirkungen von zusätzlichen Wärmedämmmaßnahmen mit nur wenigen Eingaben qualitativ und quantitativ zu simulieren.

Jedem dieser Energieelemente liegt eine mehr oder weniger komplexe Berechnung zugrunde, die jedoch für den Nutzer im Vordergrund soweit vereinfacht wurde, damit dieser mit möglichst wenigen und einfach zu ermittelnden Daten zu belastbaren

Ergebnissen kommen kann. Hierbei musste zwischen der Relevanz des Energieverbrauchs und dem Aufwand für die Datenbeschaffung abgewogen werden, um den Nutzen der Ergebnisse so groß wie möglich gestalten zu können. In ersten praktischen Anwendungen hat sich herausgestellt, dass der eingeschlagene Weg zur größtmöglichen Vereinfachung richtig war, da die Datenlage in der Praxis z.T. sehr dürftig ausfällt. So sind z.B. Angaben auf Elektromotoren gerade bei älteren Anlagen kaum vorhanden und nur mit relativ großem Aufwand zu ermitteln. Mit der vorstehend genannten Vereinfachung können jedoch trotzdem brauchbare Zahlen ermittelt werden, um erste energetische Einschätzungen treffen zu können.

Die Entwicklung der Berechnungsalgorithmen sowie deren Integration in ein schlüssiges Gesamtkonzept hinsichtlich der größtmöglichen Freiheit in der Prozessmodellierung bei gleichzeitig minimalem Kennzahlenbedarf stellte zweifellos einen der schwierigsten Teile dieses Entwicklungsprojektes dar und beanspruchte einen Gutteil der Projektlaufzeit. Das erklärte Ziel, ein umfangreiches Berechnungs- und Modellierungssystem zu schaffen, welches auch von technischen Laien ohne tiefgreifendes technisches Wissen bedient werden kann und welches gleichzeitig auch Hinweise auf mögliche Einsparpotentiale liefert, setzte diese akribische Entwicklung jedoch zwingend voraus. Vor diesem Hintergrund wird auch deutlich, warum CaMoS auf dem Markt bislang einzigartig ist: Das Vorhaben, ein System zu schaffen, welches in der Lage ist, selbst kleinste Energieverbraucher in umfangreichen und komplexen Produktionsprozessen exakt abbilden und auf eine einzelne Produkteinheit herunterzubrechen, setzt eine Kombination aus sehr speziellem Wissen, Praxiserfahrung, Zeit und finanziellen Kapazitäten voraus, die nur von wenigen Unternehmen ohne externe Mittel bereitgestellt werden kann.

Im Verlauf des Projektes und erster Anwendungsbeispiele hat sich herausgestellt, dass die akribische Entwicklung der sechs vorgenannten, völlig grundlegenden Energieelemente es ermöglicht hat, nahezu jeden technischen Prozess abbilden zu können – eine Beschränkung auf die Branche der Oberflächentechnik, wie sie noch im Projektantrag definiert wurde, ist somit erfreulicherweise nicht mehr gegeben. Dieser positive Umstand erweitert die Einsetzbarkeit von CaMoS drastisch, womit sich auch das Potential zur Identifizierung und Ausschöpfung von Energie- und CO₂-Einsparungen in der Industrie enorm erhöht.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt für die Entwicklung der Berechnung stellt die zeitliche bzw. quantitative Berücksichtigung der Berechnungsergebnisse der einzelnen Energieelemente im Gesamtprozess dar. In der Praxis bedeutet dies, dass jedem Energieelement ganz spezifische Wirkzeiten (z.B. Abluft läuft ohne Pause, Kettenförderer nur einmal pro Produkteinheit) zugeordnet werden können. Hierfür wurden elementspezifische Faktoren eingeführt, die sowohl eine minutengenaue als auch eine eher pauschale Ermittlung des Energieverbrauchs ermöglichen. Diese Kombination, verknüpft mit allgemeinen Prozessdaten (Arbeitstage pro Jahr, verarbeitete Teile pro Stunde, Arbeitsstunden pro Tag) stellt ein mächtiges Instrument zur energetischen und emissionstechnischen Analyse und Bilanzierung von nahezu beliebig komplexen Produktionsprozessen dar und betont die Einzigartigkeit von CaMoS auf dem Markt. So ist es dadurch möglich, die energetischen Unterschiede z.B. einer in den Arbeitspausen unterbrochenen Laufzeit eines Elektromotors zu simulieren und anhand der Berechnungsergebnisse hinsichtlich ihrer Relevanz zu prüfen.

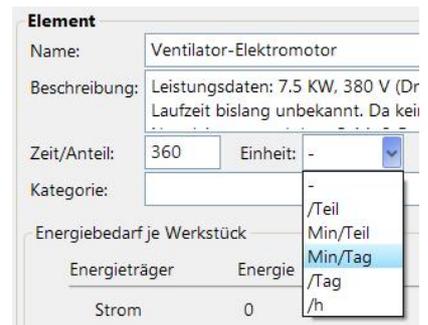


Abb. 9 freie Wahl des Zeit/Anteil-Parameters

5.5. Abbildung des Produktionsprozesses in CaMoS



Abb. 10 Baumartige Abbildung des Prozessschemas

Dabei wird der Prozessbaum immer weiter verästelt, bis die letzte Ebene eines Teilprozessastes erreicht wird. Dort sitzt dann der jeweilige Energieverbraucher, welcher über eines der sechs zuvor beschriebenen Energieelemente definiert wird.

Für den Aufbau eines elektronischen Abbildes des tatsächlichen Prozesses wurde auf eine Baumstruktur in Textform zurückgegriffen, deren einzelne Elemente beliebig innerhalb des Baumes verschoben werden können, um auch hier eine größtmögliche Flexibilität im Auf- und Umbau – z.B. hinsichtlich der Simulation von Prozessänderungen – zu erzielen. Die

Baumstruktur wird mit wenigen Klicks über

5.6. Einsatz von Feldgeräten

Aufgrund des bereits beschriebenen hohen zeitlichen Aufwandes für die Erstellung der grundlegenden Berechnung und des CaMoS-Kernsystems konnten die Möglichkeiten zur Anbindung von Feldgeräten sowie die vorgelagerte Untersuchung hinsichtlich deren Verfügbarkeit bzw. Einsatzmöglichkeiten im Rahmen dieses Projektes nur unzureichend geprüft werden. Grundsätzlich lässt sich jedoch sagen, dass eine Verknüpfung mit zum Teil sehr hochpreisigen Sensoren zur kontinuierlichen Ermittlung von Prozessdaten als sehr aufwändig eingeschätzt wird, da diese auch für die oftmals sehr anspruchsvollen Prozessumgebungen (z.B. Verschmutzung durch Farbnebel oder ähnliches) geeignet sein müssen. Auch ist eine Integration in den Prozess oftmals nur mit erheblichem Aufwand möglich, da die technischen und räumlichen Gegebenheiten enge Grenzen setzen. Vom jetzigen Standpunkt aus gesehen und vor dem Hintergrund erster praktischer Anwendungserkenntnisse kann jedoch an dieser Stelle festgehalten werden, dass die Zielgruppe der KMU vielleicht gerade ohne diese komplexe Komponente der Feldgeräteanbindung speziell bei Altanlagen deutlich stärker von CaMoS profitiert, da sich die Initialkosten und der Aufwand für die Datenerfassung dadurch um ein Vielfaches geringer halten lassen, was wiederum zu einer höheren Bereitschaft und höheren verfügbaren finanziellen Mitteln für Investitionen in energetische Verbesserungsmaßnahmen und höheren Einsparungen führt.

5.7. Datenbank für Standarddaten

Die Überlegungen hinsichtlich des Aufbaus einer umfassenden Datenbank für Energieverbraucher, Energieverbrauchskennzahlen bzw. CO₂-Emissionsdaten gingen in verschiedene Richtungen, unter anderem wurde auch diskutiert, eine zentral angelegte und z.B. über das Internet erreichbare Datenbank einzurichten. Im Rahmen dieser Überlegungen sind jedoch einige Punkte aufgetaucht, welche die Idee einer zentralen Datenspeicherung in Frage stellten:

- Verwaltungsaufwand

Der Aufwand für die Verwaltung einer derartigen Datenbank musste nach den Vorüberlegungen und ersten Tests als extrem hoch eingestuft werden. Dies ist letzten Endes auf die schier unüberschaubare Vielzahl der verschiedenen Energieverbraucher (z.B. Elektromotoren) zurückzuführen, die in die Datenbank eingepflegt und vor allem auch aktuell gehalten werden müssten.

- Geheimhaltung

Die Veröffentlichung produktionsbezogener Daten, in welcher Form auch immer, in einer zentral angelegten Datenbank stellt für viele Unternehmen vermutlich ein großes Risiko, da über die technische Ausrüstung eines Unternehmens ggf. auch Rückschlüsse auf Produktionsverfahren gezogen werden können. Für die Verschlüsselung der Unternehmensidentität müssten geeignete und aufwändige Sicherheitsmechanismen geschaffen werden, um das notwendige Vertrauen für die Freigabe und Speicherung derartiger Daten zu gewährleisten.

- Verifizierung der abgelegten Daten

Die Überlegungen hinsichtlich des Datenbankaufbaus haben ergeben, dass, sobald Dritte Daten in ein gemeinschaftlich genutztes System einspeisen, zwangsläufig auch ein Kontrollgremium benötigt wird, welches die eingegebenen Daten verifiziert, um bei der unternehmensübergreifenden Nutzung Berechnungsfehler durch fehlerhafte oder falsche Eingaben auszuschließen (als typisches Beispiel für die Notwendigkeit eines derartigen Kontrollmechanismus' sei hier die Website www.wikipedia.de genannt). Da es jedoch kaum möglich ist, aus dem Zusammenhang gerissene Energieverbrauchsdaten zuverlässig zu verifizieren, stellt dieser Punkt eine große Unbekannte dar.

Aus dem Umfang der vorgenannten Gründe konnten die Überlegungen hinsichtlich der Erstellung einer zentralen Datenbank im Rahmen dieses Projektes nicht abschließend diskutiert werden. Die künftige Anbindung eines derartigen Systems kann aufgrund der sehr flexiblen XML-Programmumgebung jedoch jederzeit eingerichtet werden.

Trotz der genannten Problematiken wurde eine Möglichkeit geschaffen, die es dem Nutzer ermöglicht, eine Art individuelle Datenbank aufzubauen. Diese Funktion ist z.B. für Betriebe mit mehreren Standorten oder auch



Abb. 11 Baustein-Datenbank

externe Berater, die mit CaMoS arbeiten möchten, interessant, die mehrere Bilanzen ähnlicher Produktionsprozesse erstellen und miteinander vergleichen möchten: Über eine integrierte Speicherfunktion können einzelne Prozessteile in Form von

Bausteinen abgespeichert und durch eine Importfunktion schnell und einfach in andere CaMoS-Prozessabbilder integriert werden. Dadurch können z.B. komplexe Anlagenteile auf einfache Art und Weise für den Aufbau eines neuen oder für die Ergänzung eines bestehenden Prozessabbildes verwendet werden, was den Zeitaufwand gegenüber einer Neuerstellung erheblich reduziert.

5.8. Weitergabe der Ergebnisse

Um eine größtmögliche Verfügbarkeit der Berechnungsergebnisse zu erzielen, sollte CaMoS mit einer automatisierten Berichtsausgabe ausgerüstet werden. Diese

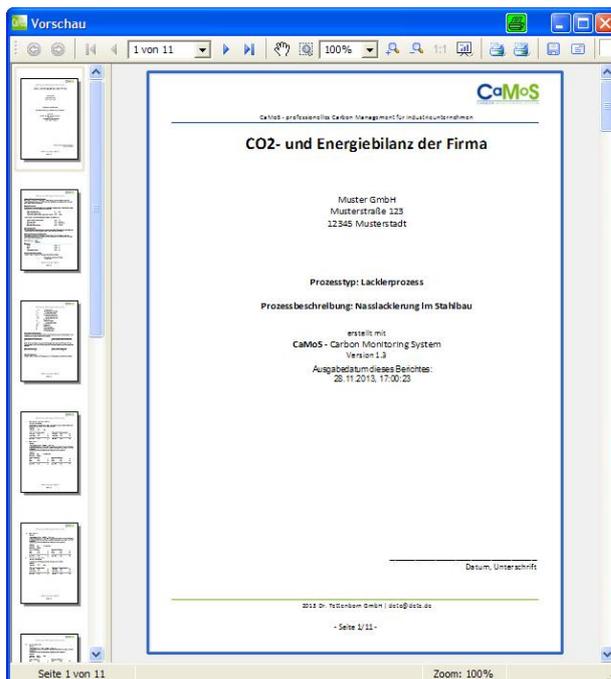


Abb. 12 integrierter Berichtsgenerator

Funktion sollte es ermöglichen, Dritten den Zugang zu den relevanten Erkenntnissen so einfach wie möglich zu gestalten. Hierdurch sollte sichergestellt werden, dass die berechneten Daten ihren Weg in die entsprechenden Entscheidungsebenen finden und die ermittelten Einsparpotentiale auf einfache Art und Weise hinsichtlich Ihrer Umsetzungsrelevanz bewertet werden können. Überlegungen zu diesem Thema führten letzten Endes zu der Entscheidung, einen so genannten Berichtsgenerator zu integrieren. Derartige Programme sind auf dem Markt verfügbar, weshalb auf eine Neukonzeptionierung einer derartigen Funktion verzichtet wurde. Die Entscheidung fiel dabei auf das Produkt List&Label des Herstellers Combit. Damit war es möglich, eine Berichtsvorlage zu erstellen, die alle relevanten Berechnungsergebnisse aus CaMoS in eine übersichtliche Textform überführt und auf Knopfdruck einen vollautomatisch generierten Bericht in druckfähiger Form erstellt. Der Berichtsgenerator wurde komplett in CaMoS integriert, so dass es auf Wunsch auch möglich ist, die Berichtsvorlage zu modifizieren oder auch komplett zu ändern.

Die automatisierte Berichtsausgabe stellt eine in ihrer Wichtigkeit nicht zu unterschätzende Funktion von CaMoS dar, da wie bereits vorangehend erwähnt die

Transparenz und die Übersichtlichkeit der Berechnung für Dritte deutlich erhöht werden.

5.9. Grundlegendes Bedienkonzept

Bei der Entwicklung der Bedienoberfläche wurde auf eine möglichst intuitive und unkomplizierte Bedienung Wert gelegt. Es sollte darüber möglich sein, ein Prozessabbild ohne zusätzliche Hilfsmittel erstellen zu können. Um dies zu erreichen, wurde konsequent auf eine einfache Maussteuerung mit Windows-typischen Drop-Down-Menüs zur Definition der entsprechenden Konfiguration gesetzt. Lediglich beim Aufbau des Prozessbaumes wurde zur Wahrung der Übersichtlichkeit auf ein Kontextmenü zurückgegriffen, welches über die rechte Maustaste erreichbar ist. Das Kontextmenü ermöglicht es in gewohnter Windows-Manier, Teilprozesse, Bausteine und Energieelemente einzufügen, auszuschneiden, zu kopieren, zu speichern oder zu löschen. Alle übrigen Funktionen wie speichern, neu anlegen, öffnen von Prozessdateien erfolgt über eine einfache Menüleiste, in der sich auch die Funktionen für den Berichtsgenerator befinden.

5.10. Hilfe bei der Effizienzausschöpfung, allgemeine Bedienungshilfe

Durch die vereinfachte Bedienung und reduzierte Berechnung ist der Benutzer zwar in der Lage, einen Produktionsprozess elektronisch zu modellieren, dennoch fehlt



Abb. 13 Auszug Hilfedatei: Energieeffizienzhinweise und Maßnahmenkatalog

ihm zunächst im schlechtesten Fall das Wissen, welche Teile bzw. Elemente des Prozesses energie- und CO₂-relevant sind bzw. welche Stellräder in welcher Weise gedreht werden müssen, um die größtmögliche Effizienzausbeute und CO₂-Einsparung zu erzielen. Hierzu wurde eine spezielle Hilfedatei entwickelt und integriert, die es dem Nutzer ermöglicht, sich vor und

während der Suche und Bewertung systemrelevanter Elemente des zu bilanzierenden Prozesses Unterstützung zu holen. Die Hilfedatei erklärt die grundsätzliche Herangehensweise bei der Erstellung des Prozessabbildes (Analyse vom Makroskopischen zum Mikroskopischen, Identifikation der vorhandenen

Energieverbraucher bzw. Energieströme etc.), beleuchtet alle in CaMoS hinterlegten Energieelemente (wie und mit welchem Element kann der identifizierte Energieverbraucher abgebildet werden etc.) und gibt hilfreiche Tipps zur korrekten Ermittlung der benötigten Daten (welche Daten sind relevant; wo findet man sie; wie kann man sie messen etc.). Am wichtigsten ist jedoch die umfangreiche Dokumentation der möglichen Einsparpotentiale, da ohne sie ein wesentlicher Aspekt der Nützlichkeit des Programms fehlen würde. Diese ist unterteilt nach typischen Anlagenteilen bzw. Energieverbrauchern und gibt ganz konkrete Hinweise auf energetische Schwachstellen (z.B. Hinweise, wie die Effizienz eines Elektromotors zu bewerten ist; ob und welche energiehaltigen Abluftströme zur Verfügung stehen und wie sie genutzt werden können etc.). Dadurch wird der Nutzer in die Lage versetzt, sich ohne Expertenwissen mit den grundsätzlichen Einsparpotentialen seines Produktionsprozesses beschäftigen und erste Einschätzungen selbst treffen zu können. Die selbst erstellte Bilanz mit der automatisierten Berichtsform bildet so eine optimale Ausgangsbasis für eine Detailbewertung bzw. Kalkulation konkreter Einsparpotentiale, z.B. durch eine externe Fachkraft.

5.11. Umweltentlastungsaspekt

Grundsätzlich werden die in der Antragstellung benannten Umweltentlastungspotentiale durch die Erweiterung des Einsatzbereiches von CaMoS von ursprünglich einer speziellen Branche (Oberflächentechnik) auf nahezu alle anderen veredelnden Industriebereiche noch deutlich gesteigert, da der Kreis der potentiellen Zielgruppen dadurch drastisch vergrößert werden konnte. Darüber hinaus wird nach wie vor davon ausgegangen, die im Förderantrag benannten Umweltentlastungen (für den Lackierbereich wurden CO₂-Einsparpotentiale von durchschnittlich 5-35%, in Einzelfällen auch deutlich darüber hinaus beziffert) in dem entsprechenden Umfang durch CaMoS erzielen und zu können.

Im Wesentlichen kommen mehrere umweltentlastende Faktoren durch die Nutzung von CaMoS zum Tragen, die sowohl direkt (z.B. durch die Nutzung von Einsparpotentialen im Produktionsprozess) als auch indirekt (z.B. durch die Bereitstellung von PCF-Daten und die damit gekoppelte Steigerung der Informationstiefe hinsichtlich der Klimaverträglichkeit eines Produktes) wirksam werden. Diese sollen nachfolgend näher erläutert werden.

5.11.1. Direkte Umweltentlastungen



Abb. 14 Ungenutzte Abluftströme entweichen ins Freie

Die durch CaMoS deutlich vereinfachte Erstellung von Prozessabbildern bzw. –analysen und –modellen ermöglicht es produzierenden Betrieben, die vorhandenen energetischen und emissionstechnischen Schwachstellen und Einsparpotentiale ihres Prozesses schnell und unkompliziert zu ermitteln und

hinsichtlich ihrer Relevanz selbst einzuschätzen. Modernisierungsmaßnahmen und Prozessänderungen können dadurch hinsichtlich ihrer Investitionskosten und Amortisationszeiten sofort bewertet werden, was den Entscheidungsprozess für oder gegen eine Maßnahme erheblich beschleunigt. Zudem wird die Bereitschaft, an einem bestehenden, laufenden Prozess Änderungen vorzunehmen, durch die Möglichkeit der einfachen Vorab-Simulation stark gesteigert. Damit wird die Voraussetzung geschaffen, insbesondere Maßnahmen, die keiner Investition bedürfen und die durchaus bereits 5-10% an CO₂- und Energieeinsparung mit sich bringen können – hier seien z.B. Veränderungen im Nutzerverhalten wie die Abstimmung von Zu- und Abluftventilatoren, Beleuchtung, Lüfterwärmung während der Betriebspausen genannt – zu erkennen und umzusetzen. Das für die Nutzerbewertung und -entscheidung notwendige Hintergrundwissen stellt CaMoS



Abb. 15 nachträgliche Ofendämmung

wie in Kapitel 5.10 bereits beschreiben über seine umfangreiche Hilfefunktion in einer auch für Laien verständlichen Beschreibung zur Verfügung. Durch die Möglichkeit, verschiedene Prozessabläufe und -situationen anlegen, abspeichern und vergleichen zu können, wird ein dauerhaftes Interesse an einer stetigen Optimierung der Produktion geweckt, die das veraltete, aber nach wie vor vorherrschende Bild des unantastbaren, weil problemlos laufenden Prozesses aufgelöst und ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess entsteht.

5.11.2. Indirekte Umweltentlastungen

Durch die von CaMoS automatisch erzeugte Kennzahl des produktbezogenen CO₂-Fußabdrucks wird ein immer wichtiger werdender Wirtschaftsfaktor auch für Betriebe interessant und relevant, der bis dato nur unter erheblichem Aufwand ermittelt werden konnte bzw. musste. Vor dem Hintergrund des drohenden Klimawandels ist es unabdingbar, den CO₂-Ausstoß durch geeignete Mechanismen in den relevanten Bereichen wie z.B. der Industrie schnellstmöglich zu senken. Dies funktioniert wiederum nur, wenn die wesentlichen Stellschrauben für die Begrenzung und Senkung der CO₂-Emissionen bekannt sind. In den vergangenen Jahren befassten sich bereits verschiedene Interessentenkreise mit der Erfassung und der Nutzung dieser PCF-Daten aus zum Teil völlig unterschiedlichen Branchen (Food, Non-Food etc.). Der Aufwand für die Ermittlung dieser PCF-Daten wurde z.B. von den Teilnehmern des PCF-Pilotprojektes (u.a. die Deutsche Telekom, Frosta, dm Drogerie, Tschibo) einhellig als kompliziert und aufwändig bewertet. Dies lag vor allem daran, dass CO₂-Daten über z.T. mehrstufige Lieferketten schwer zu erfassen waren, da bei den einzelnen Zulieferern derartige Daten in den seltensten Fällen vorlagen. Daraus lässt sich ableiten, dass sich die benötigten Daten für die Erstellung einer umfassenden, produktbezogenen CO₂-Bilanz durch automatisierte und standardisierte Erfassungssysteme stark vereinfachen lässt. Ist die Zugänglichkeit zu den genannten Kennzahlen einmal erleichtert, können CO₂-Bilanzen, die die Klimaverträglichkeit von Produkten abbilden, einer breiten Öffentlichkeit wesentlich schneller zur Kaufentscheidung zur Verfügung gestellt werden. Dies wiederum führt dazu, dass sich klimafreundlichere Produkte gegenüber klimaschädlicheren am Markt schneller durchsetzen können und die Hersteller gezwungen werden, sich mit klimaschonenderen Fertigungsprozessen bzw. Produkten auseinanderzusetzen. Dieser Effekt wird zusätzlich verstärkt durch die in den letzten Jahren aufkeimende Nachfrage nach produktspezifischen CO₂-Daten von Seiten großer industrieller Interessengruppen (als Beispiel seien hier die Automobilhersteller genannt), um das eigene Produkt bei den Endverbrauchern durch eine klimafreundliche Herstellung bzw. CO₂-sparende Nutzungsweise zu profilieren.



Abb. 16 Logo PCF Pilotprojekt

5.12. Verbreitungsmaßnahmen

Im Wesentlichen wurden drei Zielgruppen identifiziert, für die ein Einsatz von CaMoS in Frage kommt. Diese sollen nachfolgend näher erläutert werden.

Bei der ersten Zielgruppe handelt es sich um Unternehmen, die CaMoS zwar nicht selbst einsetzen, aber auf den daraus erzielbaren Nutzen zurückgreifen möchten. Dies bedeutet, dass CaMoS vom Bewilligungsempfänger selbst im Sinne einer klassischen Dienstleistung zur Erstellung einer CO₂- bzw. Energiebilanz eines Produktionsprozesses eingesetzt wird. Das System liefert hierbei allerdings den großen Vorteil, einen derartigen Service deutlich günstiger als bisher anbieten zu können, da der Aufwand für die manuelle Erstellung sowohl der Berechnung als auch der druckbaren Dokumentation drastisch reduziert wird. Das wiederum macht das Thema speziell für kleinere bzw. weniger finanzstarke Unternehmen attraktiv, für die eine derartige Dienstleistung bislang aufgrund des Preises nicht interessant war.

Die zweite Zielgruppe setzt sich aus unabhängigen und eigenständigen Beratungsunternehmen, ähnlich den freien Energieberatern im Gebäudesektor, zusammen, die CaMoS in Lizenz zur Erstellung von CO₂-Bilanzen in Auftrag nutzen wollen. Der spezielle Charme dieser Zielgruppe ist es, dass damit eine Multiplikatorenwirkung einhergeht, die es ermöglicht, das Thema Energie- bzw. CO₂-Bilanzierung wesentlich schneller an die Endnutzer heranzubringen, was wiederum eine Beschleunigung der Umsetzungswahrscheinlichkeit von durch die Bilanzierung identifizierten Effizienzmaßnahmen bedeutet.

Die dritte Zielgruppe sind die Anlagenbetreiber selbst, die ihren Produktionsprozess im Idealfall einer kontinuierlichen Überprüfung unterwerfen wollen. Hier sind in erster Linie z.B. Lohnfertiger aus den unterschiedlichsten Industriezweigen genannt, für die eine derartige Überwachung aufgrund der ständig wechselnden Produkte und damit auch Produktionsprozesse einen wichtigen Wirtschaftsfaktor darstellt – zum Einen, um den jeweils energieeffizientesten und damit kostengünstigsten Herstellungsweg zu finden, und zum Anderen, weil sie ihren Kunden – in der Regel weiterverarbeitende Betriebe – jeweils produktspezifische Daten zum Energieverbrauch und zum CO₂-Ausstoß zur Verfügung stellen können. Aber auch endkundenorientierte Unternehmen profitieren von den gleichen Mechanismen, allerdings können sie zusätzlich ihren jeweiligen Endkundenkreis durch eine entsprechende Produktkennzeichnung zur Klimaverträglichkeit auf ihr Erzeugnis

aufmerksam machen und sich so ein Alleinstellungsmerkmal bzw. einen Wettbewerbsvorteil schaffen.

Diese vorgenannten drei Zielgruppen werden durch ein breites Spektrum an Marketingmaßnahmen über CaMoS informiert, das sich wie nachstehend zusammensetzt. Es soll angemerkt werden, dass alle nachfolgend beschriebenen Maßnahmen sowohl bereits in der Vergangenheit genutzt wurden als auch zukünftig weiter ausgebaut werden sollen.



Abb. 17 Redaktioneller Beitrag im Fachmagazin besser lackieren!

Die breite Basis bilden klassische Konzepte wie Anzeigenwerbung und redaktionelle Beiträge. Letztere werden hierbei bevorzugt, da sie im Vergleich zur klassischen Werbung von den gewünschten Zielgruppen aufgrund des wissenschaftlicheren und seriöseren Charakters erfahrungsgemäß wesentlich stärker wahrgenommen werden. Nachstehend eine Übersicht aller bislang veröffentlichter Berichte zum Thema produktspezifische CO₂-Bilanzierung, hier mit Schwerpunkt Oberflächentechnik:

- JOT Journal für Oberflächentechnik, Mai 2010, redaktioneller Beitrag
- openpr.de, 06/2010, redaktioneller Beitrag
- presseanzeiger.de, 06/2010, redaktioneller Beitrag
- besser lackieren!, Ausgabe 13, August 2012, redaktioneller Beitrag
- besser lackieren!, Ausgabe 06, April 2013, redaktioneller Beitrag
- JOT Journal für Oberflächentechnik, 04/2013, redaktioneller Beitrag
- besser lackieren!, Ausgabe 19, November 2013, redaktioneller Beitrag

Aufgrund des erweiterten Anwendungsspektrums von CaMoS wurde auch bereits damit begonnen, Fachmedien aus anderen Industriezweigen für das Thema zu interessieren.

Ergänzend zu den vorgenannten redaktionellen Beiträgen wurde das Thema im direkten Dialog und auf breiter Basis mit Anwendern und Entscheidern im Rahmen

von Fachveranstaltungen bzw. Vorträgen diskutiert. Dieses Konzept bietet den großen Vorteil, live und direkt auf Fragen oder Anmerkungen aus dem Auditorium reagieren zu können. Folgende Veranstaltungen wurden dabei bereits zur Informationsübertragung genutzt:



Abb. 18 Fachvortrag über produktbezogene CO₂-Bilanzierung

- Sturm Oberflächentage, Landshut, 08/2012, zweitägiges Seminar, Teilnehmerzahl > 100 Personen, überwiegend Entscheider
- Forum Industrielackierung, Stuttgart, 11/2012, zweitägiges Seminar, Teilnehmerzahl > 100 Personen, überwiegend Entscheider



Abb. 19 PCF-Infobox auf der PaintExpo 2012

Zusätzlich wurden Fachmessen zur Verbreitung des Themas genutzt. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen öffentlichen Messen und so genannten Hausmessen, bei welchen ausgewählte Teilnehmer ähnlich einer Fachveranstaltung einen eigenen Kreis bilden. Messen sind in ihrer Relevanz als Informationsplattform sehr hoch anzusiedeln, da sich dort überwiegend kompetentes und interessiertes Publikum über Innovationen aus der Branche informieren möchte. Folgende Fachmessen wurden zur Kundeninformation

bereits genutzt:

- PaintExpo 2010, Karlsruhe, internationales Publikum, überwiegend Entscheider, Leitmesse der Oberflächenbranche
- Holzhandwerk 2010, Nürnberg, überwiegend nationales Publikum, Handwerksbetriebe
- European Coatings Show 2011, Nürnberg, internationales Publikum, überwiegend Entscheider
- PaintExpo 2012, Karlsruhe
- Holzhandwerk 2012, Nürnberg
- K 2013, internationales Publikum, Leitmesse der Kunststofftechnik, überwiegend Entscheider

- Hausmesse 2013, Nürnberg, 2 eigenständige Termine, Entscheider, international

geplant 2014:

- PaintExpo 2014, Karlsruhe
- Holzhandwerk 2014, Nürnberg
- Balttechnika 2014, Vilnius
- Mehrere Hausmessen

Des Weiteren wurden Endkunden und Anwender über den traditionellen Weg des Direktmarketings in Form von Briefaktionen und über den Außendienst mit Informationen zum Thema versorgt. Dies soll auch weiterhin geschehen und weiter ausgebaut werden. Ein weiterer Baustein ist die Informationsbereitstellung über das firmeneigene Webportal, auf dem sich Interessenten über CaMoS informieren können.

6. Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass von den Projektpartnern DETE Dr. Tettenborn GmbH und Infolab GmbH mit CaMoS ein Instrument geschaffen wurde, welches die Bearbeitung eines komplexen und zukunftsrelevanten Themenfeldes sowohl in finanzieller Hinsicht als auch hinsichtlich des bislang hohen Aufwandes deutlich erleichtert. Die grundlegenden Ziele (Schaffung eines Basissystems mit erleichterter Datenerfassung und –auswertung von energie- und CO₂-relevanten Prozessdaten; standardisierte Berechnung; zielgruppengerechte Bedienung; automatisierte Berichtserstattung und –ausgabe; effektive Unterstützung sowohl bei der Bewertung der Ergebnisse als auch der Steigerung der Energieeffizienz) konnten erreicht werden. Das Basissystem ist voll einsatzfähig, hinsichtlich Bedienung, Umfang und Optik lässt das Ergebnis noch weitere Verfeinerungen und modulare Erweiterungen zu. Erste Praxiserkenntnisse haben die Sinnhaftigkeit der angestrebten Reduzierung und Einfachheit bestätigt, das System kann auch mit sehr wenigen Prozessdaten arbeiten. Dem ursprünglichen Gedanken zur Schaffung einer möglichst zentralen Datenbank mit standardisierten Daten konnte aufgrund der in diesem Zusammenhang aufgetretenen Fragen (Pflege, Datensicherheit, Zuverlässigkeit, Nutzen) nur unzureichend nachgegangen werden. Ähnlich verhält es sich mit der Untersuchung zum Einsatz von geeigneten Feldgeräten: Aufgrund der

unerwartet hohen Komplexität bei der Erarbeitung der Basisberechnung konnte diese Untersuchung im Rahmen dieses Projektes nicht hinreichend durchgeführt werden. Tendenziell lässt sich hierzu jedoch sagen, dass CaMoS vielleicht gerade durch die derzeit nicht vorhandene Möglichkeit zur Feldgeräteeinbindung profitiert, da das System so wesentlich schlanker, einfacher und kostengünstiger gehalten werden kann. Die im Projektantrag geplante Beschränkung auf Lackierprozesse konnte durch die Reduzierung der Berechnungselemente auf eine Art allgemeingültige Prozess-Grundbausteine erfreulicherweise aufgehoben werden – CaMoS ist in seiner jetzigen Form in der Lage, nahezu jeden technischen Prozess zuverlässig hinsichtlich seiner produktbezogenen CO₂-Emissionen und seines Energiebedarfs als elektronisches Modell abzubilden. Dieser Umstand erweitert den Kreis der potentiellen Anwender um ein Vielfaches.

Zukünftige Erweiterungen sollen es ermöglichen, dass neben den CO₂-Emissionen aus dem Energieverbrauch auch andere Emissionsquellen mit in das Berechnungsmodell mit aufgenommen werden können – als Beispiele seinen klimarelevante Emissionen aus chemischen Hilfsstoffen wie z.B. Lösemitteln oder andersartigen Hilfsmitteln genannt. Ferner soll die Benutzerführung erweitert werden, so dass der Bedienungsaufwand und die Fehleranfälligkeit noch weiter reduziert werden können. Grundsätzlich sollen die Impulse für künftige Erweiterungen jedoch idealerweise aus dem Anwenderbereich kommen, um Schwerpunkte schnell und effizient verbessern zu können.

Für die künftige Pflege des Systems ist eine weitere Kooperation zwischen den beiden Projektpartnern DETE Dr. Tettenborn GmbH und Infolab GmbH geplant, um die bewährte Zusammenarbeit aufrecht zu erhalten. So ist sichergestellt, dass die Weiterentwicklung von CaMoS durch ein eingespieltes Team mit entsprechend hoher Qualifikation erfolgt und die Ergebnisse eine hohe Qualität aufweisen.