

HESSEN



TECHNOLOGIELAND
HESSEN

VERNETZT.
ZUKUNFT.
GESTALTEN.

technologieland-hessen.de

FIT FÜR DIE ZUKUNFT

Ressourceneffizienz
in Produktionsprozessen

Foto: Gregor Schuster



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



EUROPÄISCHE UNION:
Investition in Ihre Zukunft
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung.



Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen

WISSEN FÜR DIE WIRTSCHAFT VON MORGEN

Produktionsabläufe immer wieder zu überdenken, neu zu bewerten und zu optimieren, das zeichnet clevere Unternehmen aus. Aber mehr und mehr geht es dabei nicht nur um die Suche nach ökonomischer Effizienz, sondern ebenso sehr auch um die Wahrnehmung ökologischer Verantwortung. Schließlich wissen wir alle: Die meisten Rohstoffe sind endlich, die Erderwärmung beschleunigt sich und die Zeit zum Erreichen unserer Klimaziele verrinnt.

Das von uns geförderte Transferprojekt „ArePron“ hat aufgezeigt, wie Unternehmen mit einer standortübergreifenden Vernetzung von Produktionssystemen Ressourcen und damit Kosten einsparen können. Das Projektteam hat dazu konkrete Hilfestellungen erarbeitet, Unternehmen beraten und wichtige Anstöße vermittelt.

Gute Ideen in die Praxis umzusetzen mag mitunter erst einmal Zeit und Geld kosten, aber die Investitionen zahlen sich aus. Ich wünsche mir, dass wir Ihnen mit dieser Broschüre Impulse für Ihre tägliche Arbeit an die Hand geben können.

Ihr

Tarek Al-Wazir

Hessischer Minister für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen



S. 04 RESSOURCEN-
EFFIZIENZ

Machen Sie sich mit dem Thema, interessanten Daten und gesetzlichen Rahmenbedingungen vertraut.

01

S. 16 AREPRON - EIN
TRANSFERPROJEKT
DER TU DARMSTADT

Lernen Sie das „Agile ressourcen-
effiziente Produktionsnetzwerk“ kennen.

02

S. 22 TRANSPARENZ IN
PRODUKTIONSPROZESSEN

Erfahren Sie die Grundlagen
zur Erhöhung von Transparenz
in Ihrer Produktion.

03

S. 38 RESSOURCENORIENTIERTE
ANALYSE & BEWERTUNG

Alles, was Sie zur genauen
Analyse von Produktionsnetzwerken
wissen sollten.

04

S. 56 UMSETZUNG VON
RESSOURCENEFFIZIENZ-
MASSNAHMEN

Lassen Sie sich inspirieren von
konkreten Maßnahmen zur
Verbesserung der Ressourceneffizienz.

05

S. 62 FÖRDER- UND
BERATUNGS-
MÖGLICHKEITEN

Erfahren Sie, wie Ihr ressourcen-
effizientes Investitionsprojekt
gefördert werden kann.

06

S. 68 LITERATURVERZEICHNIS
UND IMPRESSUM





Foto: SiNeeKan/Shutterstock

RESSOURCEN- EFFIZIENZ

Wertvolle Ressourcen schon heute effizient einsetzen, um unser Klima von morgen nachhaltig zu schützen. Es ist nie zu spät, fangen wir an ...

WAS IST RESSOURCEN- EFFIZIENZ?	S. 06
ZAHLEN. DATEN. FAKTEN.	S. 08
KLIMASCHUTZ UND RESSOURCENEFFIZIENZ	S. 10
CARBON ACCOUNTING - BASIS FÜR UNTER- NEHMERISCHEN KLIMASCHUTZ	S. 13
HEMMNISSE, NUTZEN UND CHANCEN VON ENERGIE- UND RESSOURCENEFFIZIENZ- MASSNAHMEN	S. 14

WAS IST RESSOURCEN- EFFIZIENZ?

Unter dem Begriff „Ressourceneffizienz“ wird nach Definition der VDI-Richtlinie 4800 das „Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen Ressourceneinsatz“ verstanden (VDI 4800-1:2016).

Der Begriff „Ressourcen“ kann dabei prinzipiell sowohl für die betrieblich materiellen als auch für die natürlichen Ressourcen stehen. Die Erfassung der betrieblich materiellen Ressourcen stellt immer die notwendige Datengrundlage für die Ermittlung des Verbrauchs der natürlichen Ressourcen dar.



Welche Maschine verbraucht den meisten Strom in meiner Betriebsstätte?
Welche Transportwege legt ein Bauteil innerhalb meiner Betriebsstätte zurück?
Sind Betriebsmittel und Produktionsprozess zukunftsfähig? Und was passiert eigentlich mit dem Produktionsabfall?

DER BEGRIFF RESSOURCE ...

... wird sowohl für natürliche als auch betriebliche Ressourcen verwendet. Der Begriff der natürlichen Ressourcen wurde in der europäischen Umweltpolitik geprägt und umfasst sowohl Rohstoffe und Energie, die der Natur entnommen werden, als auch die Beanspruchung der natürlichen Umwelt durch Flächennutzung oder als Schadstoffsenke zur Aufnahme von Emissionen (Wasser, Boden, Luft). Aus Sicht eines Unternehmens werden als Ressourcen Betriebsstoffe, Werkstoffe, Kapital, Personal,

Know-how und Zeit angesehen. Eine betriebliche Ressource kann damit materieller oder immaterieller Art sein. Die Schnittmenge zwischen natürlichen und betrieblichen Ressourcen sind die materiellen Ressourcen, also Materialien und Energie: So führt beispielsweise der Verbrauch von Strom im Betrieb zur Emission von Kohlendioxid im Kraftwerk. Dieses trägt dazu bei, die Senkenfunktion der Atmosphäre zu übernutzen, wodurch ein Anstieg der Temperatur und damit der Klimawandel verursacht werden.

MATERIELLE BETRIEBLICHE RESSOURCEN

Rohstoffe, Materialien, Vorprodukte



Energie (elektrisch,
thermisch, chemisch, ...)



Druckluft



Wasser



Fläche / Boden



Emissionen



Foto: irin-k/Shutterstock

Der optimale Einsatz von Ressourcen in der Produktion gewinnt in der Industrie immer mehr an Bedeutung. Ideen und Lösungen für optimierte Prozesse sowie digitale Lösungen sind gefragt. Der stark ansteigende Rohstoffbedarf zwingt die Industrie schon heute zum Import zahlreicher Produkte. Dieser Kreislauf schafft global wirtschaftliche und auch politische Abhängigkeiten. Umweltschäden wie Wasserverschmutzung und zum Teil weit von europäischen Standards abweichende Arbeitsbedingungen in Ländern, aus denen die Rohstoffe importiert werden, sind nur exemplarische Beispiele für die wirtschaftlichen und ethischen Herausforderungen produzierender Unternehmen in Deutschland.



CHECKLISTE: WER KENNT NICHT **RESSOURCEN- VERSCHWENDUNG?**

Ineffiziente Betriebsstoffe

z.B. Verwendung von Druckluftschrauber statt Elektroschrauber; Wahl von ungeeigneten Reinigungs- oder Schmiermitteln

Überdimensionierung

z.B. zu große Aggregate

Ineffiziente Technologieform

z.B. veraltete Maschinen oder Aggregate
Tipp: verschiedene Effizienzklassen bei Elektromotoren beachten

Überproduktion

z.B. Produktion überschüssiger Ressourcen; zu hohes Druckluftniveau im gesamten Unternehmen

Leerlaufverluste

z.B. kontinuierlich laufende Förderbänder oder durchgängig aktive Kühlschmierstoffpumpen (obwohl keine Teile oder Güter befördert bzw. produziert werden)

Transport- und Übertragungsverluste

z.B. lange, verwinkelte Leitungen, an denen häufig Leckagen auftreten (kontinuierliche Ressourcenverschwendung)

Überkapazität

z.B. mehrere Kälteerzeuger an einer Maschine oder mehr Druckluftkompressoren als nötig
Bei Produkten: wenn z.B. mehr Varianten gefertigt werden, als zur Kundenzufriedenheit benötigt werden

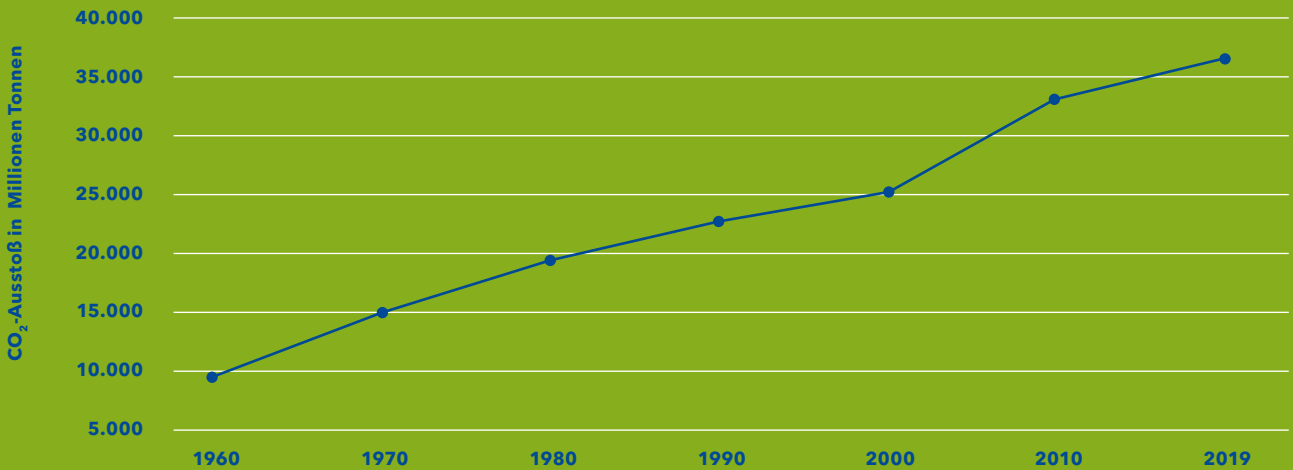
Prozessverluste

z.B. Bauteile werden im Produktions- und Verarbeitungsprozess mehrfach erwärmt und wieder abgekühlt; ungenügende Dämmung; fehlende Ressourcenrückgewinnung

ZAHLEN. DATEN. FAKTEN.

Leisten Sie einen Beitrag zum Klimaschutz und profitieren Sie von einer ressourcenschonenden und effizienten Produktion

CO₂-Ausstoß im letzten Jahrhundert



(Abbildung nach Global Carbon Project 2019)

Globale Erderwärmung:

+ 1°C 

Temperaturanstieg gegenüber der vorindustriellen Zeit - Tendenz steigend!

Im **Pariser Klimaabkommen** haben sich die Länder das Ziel gesetzt, den globalen Temperaturanstieg auf möglichst 1,5°C zu begrenzen.

Arktisches Eis:

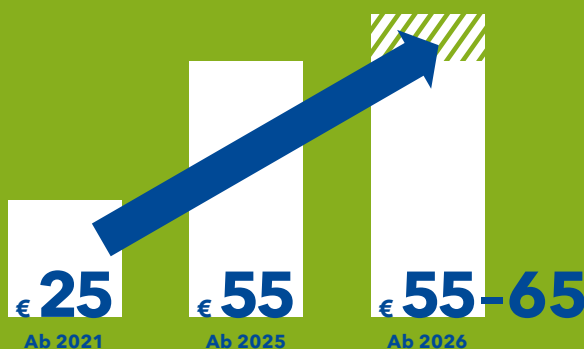
- 35,9% 

Verlust gegenüber dem historischen Durchschnitt

Meeresspiegel:

+ 25 cm Anstieg seit 1880 

Niedrig gelegene Staaten sind durch den Meeresspiegelanstieg existenziell bedroht.



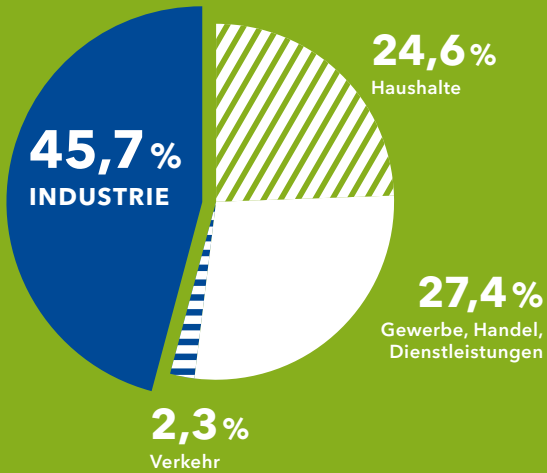
CO₂-KOSTEN

Zertifikatspreis für Brennstoffe je Tonne CO₂

Diese Preisentwicklung führt bis 2025 unter anderem zu einer Preiserhöhung um 15 Cent/Liter für Dieselmotoren bzw. 13 Cent/Liter für Superbenzin (DEHSt 2020).

POLITISCH MOTIVIERTE AUFFORDERUNG DURCH DEN
„GREEN DEAL - KLIMANEUTRALITÄT BIS 2050 IN EUROPA“:
 HIER MUSS DIE INDUSTRIE EINEN GROSSEN ANTEIL LEISTEN.

STROMVERBRAUCH IN DEUTSCHLAND NACH SEKTOREN:



ANTEIL DER MATERIALKOSTEN IM VERARBEITENDEN GEWERBE:

~43%*

DER GESAMTKOSTEN

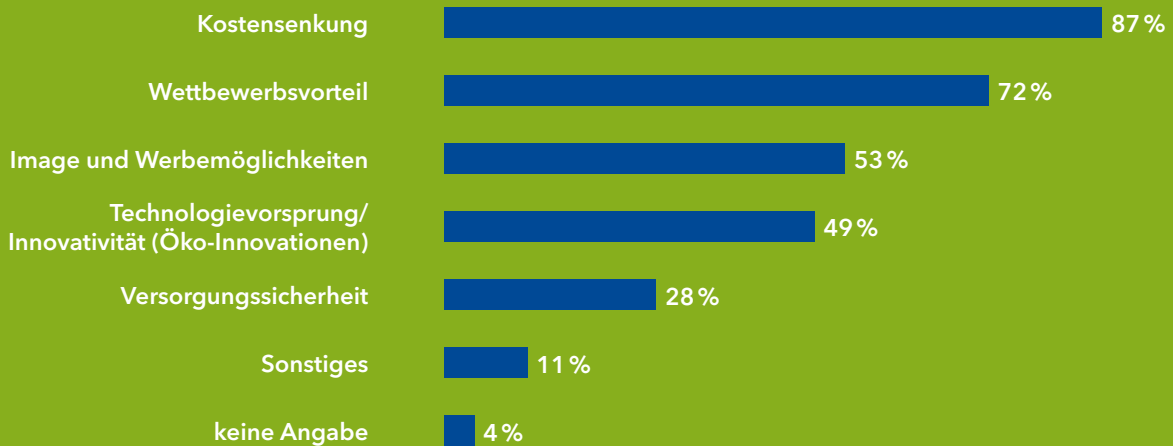
* betrifft Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, 56 % Materialeinsatz inkl. eingesetzte Handelswaren

(Darstellung nach Statistisches Bundesamt 2019)



POTENZIALE ZUR CO₂-SENKUNG ERKENNEN

RELEVANZ DER RESSOURCENEFFIZIENZ FÜR UNTERNEHMEN DES PRODUZIERENDEN GEWERBES



(Abbildung nach Erhardt und Pastewski 2010)



„Der CO₂-Fußabdruck wird in der künftigen Produktion eine immer bedeutendere Rolle einnehmen. Die Schaffung von Transparenz auf Maschinen- und Produktebene in der gesamten Fertigungskette ist hierbei der Grundstein für eine energieeffiziente, aber auch flexible Produktion. Die Ergebnisse aus »ArePron« werden sich für DATRON und produzierende Unternehmen als zukunftsweisend zeigen, dessen bin ich mir sicher.“

Dr.-Ing. Robert Rost,
CTO der DATRON AG

Foto: DATRON AG

KLIMASCHUTZ UND RESSOURCENEFFIZIENZ

Der Klimaschutz von heute dient unserer gemeinsamen Zukunft. Innerhalb der Thematik Ressourceneffizienz hat der Aspekt des Klimaschutzes eine besondere Aktualität gewonnen.



Der „Green Deal“ der EU und die deutsche Klimapolitik haben das Ziel der Klimaneutralität formuliert. Was bedeutet das für Ihre tägliche Arbeit als Unternehmer? Das Ziel der Klimaneutralität erfordert, Klimagase zu erfassen und Maßnahmen zu deren Verringerung zu ergreifen, sowie ggf. nicht vermeidbare Emissionen zu kompensieren. Jedes Unternehmen muss sich daher heute mit der Bilanzierung seiner Treibhausgasemissionen und deren Management auseinandersetzen. Die in diesem Leitfaden vorgestellten Instrumente unterstützen Sie, die geforderten Ziele umzusetzen.

KLIMAGASE/TREIBHAUSGASE/CO₂-ÄQUIVALENTE

Treibhausgase (THG), umgangssprachlich auch Klimagase genannt, tragen durch Absorption von Infrarotstrahlung zur Erwärmung der Erdatmosphäre bei. Diese Eigenschaft haben viele Substanzen, die teils natürlich vorkommen, teils durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre gelangen. Im Kyoto-Protokoll werden sechs – seit 2015 sieben – Klimagase genannt:

- **Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O),**
- **fluorierte Treibhausgase (F-Gase)**
 - HFKW (wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe)
 - PFC (perfluorierte Kohlenwasserstoffe)
- **SF₆ (Schwefelhexafluorid)**
- seit 2015 zusätzlich **NF₃ (Stickstofftrifluorid)**

Treibhausgase können in Bezug auf ihre Klimawirksamkeit mit der Referenzsubstanz CO₂ verglichen werden, indem sie in sogenannte CO₂-Äquivalente (CO₂-eq.) umgerechnet werden. Das Treibhausgaspotenzial von Methan ist auf 100 Jahre bezogen beispielsweise 25 Mal höher als das von Kohlendioxid. Das heißt:

$$1 \text{ g}_{\text{CO}_2} = 1 \text{ g}_{\text{CO}_2\text{-eq.}} \text{ und } 1 \text{ g}_{\text{CH}_4} = 25 \text{ g}_{\text{CO}_2\text{-eq.}}$$

3 GRÜNDE, warum Treibhausgasemissionen relevant für Unternehmen sind

1 KLIMASCHUTZ ALS GESELLSCHAFTLICHE VERANTWORTUNG

Wir alle sehen und spüren es: Die zunehmende Häufigkeit von Wetter-Extremereignissen wie ansteigende Temperaturen, Überschwemmungen oder Stürme machen den Klimawandel real deutlich. Damit wird die Frage drängender, wie jedes einzelne Unternehmen zur Minderung des Klimawandels beitragen kann. Kritische Nachfragen, die von Klimaschutzbewegungen, Kunden oder Stakeholdern zum Thema Klimaschutz oder dem Umgang mit wertvollen Ressourcen aufgeworfen werden, sollten KMUs transparent beantworten können. Dazu zählen unter anderem: „Welche Mengen CO₂ werden bei Produktion und Transport von Waren ausgestoßen? Sind auch Lieferketten und Subunternehmer an die Grundsätze gebunden?“

Neben der freiwilligen Berichterstattung sind Unternehmen von öffentlichem Interesse dazu verpflichtet, im Rahmen des nicht finanziellen Teils der CSR-Berichterstattung (Corporate Social Responsibility) unter anderem ihre Treibhausgas(THG)-Emissionen zu veröffentlichen. Auch von Seiten der Politik werden immer mehr unternehmensbezogene Förderprogramme an den Nachweis der Reduzierung von THG-Emissionen gekoppelt. Dadurch kann zukünftig eine fehlende Erfassung von Ressourcen- und Treibhausgasen auch für KMU zu Wettbewerbsnachteilen führen.

2 KLIMASCHUTZ UND UNTERNEHMENSERFOLG

Klimaschutzprogramme von Unternehmen gelten als zunehmend relevant für die Marktbewertung von Unternehmen durch Investoren (Busch et al. 2020). Studien ergaben, dass ein Zusammenhang zwischen dem Börsenwert eines Unternehmens und einer freiwilligen transparenten CO₂- sowie Treibhausgas-Emissionsberichterstattung besteht. Die Erstellung einer Klimabilanz kann sich somit positiv auf den Unternehmenserfolg auswirken (EHA 2020). Immer mehr Unternehmen machen CO₂ deshalb zum „Key Performance Indicator“ (KPI), unter anderem BASF SE, SAP oder HeidelbergCement AG (CDP 2020). Aber auch für Banken spielt der CO₂-KPI zunehmend eine Rolle bei Investitionsentscheidungen, sie nutzen Klimakennzahlen als Zukunftsindikatoren im Portfoliomanagement (Grudde et al. 2020).



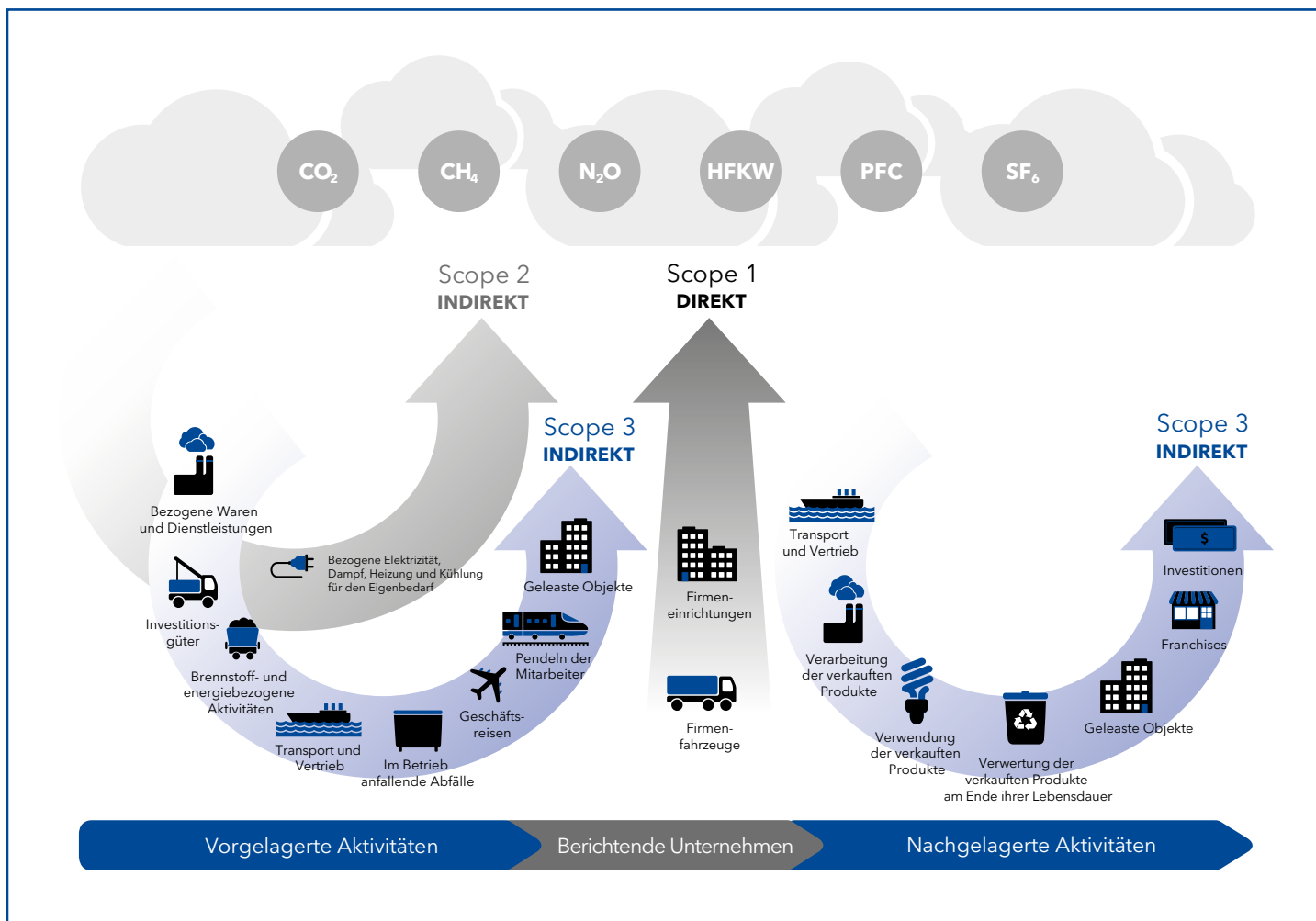
Das Carbon Disclosure Projekt (CDP) ist eine gemeinnützige Organisation, die mit dem Global Disclosure System Investoren, Unternehmen und anderen Organisationen die Möglichkeit bietet, ihre Emissionen transparent zu erfassen, zu dokumentieren und zu berichten.

In einem jährlichen Ranking bewertet CDP die von Unternehmen vorgelegten Berichte. Unternehmen, die als „CDP High Performer“ hinsichtlich ihrer Klimaanstrengungen gelten, erzielen sowohl mittel- als auch langfristig höhere Renditen als der Gesamtmarkt (CDP 2017).

3 KLIMASCHUTZ UND KOSTEN

Treibhausgasemissionen werden in Zukunft zunehmend ein relevanter Kostenfaktor: ob durch den europäischen Emissionshandel (EU-ETS), der bereits die Energiewirtschaft und die energieintensive Industrie betrifft, oder über den im Januar 2021 angelaufenen nationalen Emissionshandel (nEHS), der eine CO₂-Bepreisung von Brennstoffen wie Benzin, Diesel, Heizöl, Flüssiggas, Erdgas und Kohle innerhalb Deutschlands einführt. Dementsprechend wirken sich CO₂-Zertifikatskosten durch steigende Brennstoffpreise negativ in der Unternehmensbilanz aus. Dadurch spielt ab 2021 die Kohlendioxidintensität der eingesetzten Brennstoffe erstmals eine preislich bemessbare Rolle im unternehmerischen Rechnungswesen.

CARBON ACCOUNTING - BASIS FÜR UNTERNEHMERISCHEN KLIMASCHUTZ



Darstellung der Scopes der THG-Berichterstattung (Abbildung nach World Resource Institute 2021)

Zur Beurteilung der unternehmerischen Carbon Performance – also der Leistungsermittlung im Klimaschutz – wird das sogenannte Carbon Accounting eingesetzt. Dies ist der Überbegriff für unternehmerische Werkzeuge von der rein physikalischen Erhebung von Treibhausgasen bis zur zusätzlichen monetären Bewertung von Klimawirkungen (Günther und Stechemesser 2010). Das Carbon Accounting kann sich an verschiedenen internationalen und nationalen Richtlinien orientieren, u. a. an den Standards der Global Reporting Initiative (GRI), des Carbon Disclosure Projekts (CDP), der Science Based Target initiative (SBTi) oder der Deutschen Vereinigung für Finanzanalyse und Asset Management (DVFA). Ein weit verbreiteter Standard zur Bestimmung von Treibhausgasemissionen auf Unternehmensebene stellt die Greenhouse Gas Protocol Initiative in Form des „Greenhouse Gas Protocol“ (GHG-Protokoll) zur Verfügung. Darin wird die Treibhausgasberichterstattung je nach unternehmensintern festgelegtem Umfang der erfassten Emissionen in drei Betrachtungsrahmen – sogenannte Scopes – unterteilt, die im GHG-Protokoll definiert sind.

SCOPE 1 umfasst ausschließlich **direkte Emissionsquellen** innerhalb des Unternehmens (z. B. Fahrzeugflotte oder selbst erzeugter Strom).

SCOPE 2 beinhaltet alle **energiebedingten indirekten Emissionen**, die durch die Erzeugung der unternehmensintern genutzten Energie entstehen (z. B. beim Strom- oder Wärmeverbrauch).

SCOPE 3 erfasst alle **indirekten Emissionen**, die durch die jeweilige Unternehmenstätigkeit verursacht werden. Das beinhaltet auch solche, die nicht unter der direkten Kontrolle des Unternehmens stehen (z. B. verursacht durch Zulieferer oder Dienstleister).

HEMMNISSE, NUTZEN UND CHANCEN VON ENERGIE- UND RESSOURCEN- EFFIZIENZ-MASSNAHMEN

Es gibt zahlreiche Gründe, sich intensiv mit dem Energie- und Ressourcenbedarf von Produktions- und Versorgungsanlagen auseinanderzusetzen.



HEMMNISSE



Energie- und Ressourceneffizienz ist nach wie vor ein **Randthema**, welches oft neben den typischen Produktionszielgrößen (Zeit, Kosten, Qualität) vergessen wird.



Energie- und Produktionssysteme sind meist komplex und **eine Optimierung erfordert interdisziplinäres Systemverständnis**, was nicht per se vorausgesetzt werden kann.



No Data – trotz fortschreitender Digitalisierung in der Produktion gibt es zahlreiche Maschinen, die über **keine datentechnischen Schnittstellen** verfügen. Dies erschwert automatisierte Prozessanalysen.



Oft werden **Ressourcen-, Abfall- und Energiekosten** als **Gemeinkosten** veranschlagt und nicht auf die entsprechenden Abteilungen und Produktionsbereiche umgelegt, was die Motivation zur Umsetzung von Effizienzmaßnahmen seitens der Produktionsverantwortlichen senkt.



NUTZEN



Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz wirkt sich in vielerlei Hinsicht positiv auf das Unternehmen und seine Angestellten aus.



Steigerung der Wirtschaftlichkeit durch reduzierte Energie- bzw. Materialkosten.



Durch **Demand-Side-Management** kann ein Unternehmen von günstigeren Strompreisen profitieren (bspw. durch Lastspitzenglättung).



Die **Überwachung und Regelung der Power Quality** verhindert unerklärliche Maschinenausfälle.



Zur **systematischen Verankerung von Nachhaltigkeit und Umweltschutz in der Unternehmenskultur** kann ein Energiemanagementsystem genutzt werden.



Ein grünes Firmenimage führt zu einer **steigenden Motivation unter den Angestellten** und zu einer **erhöhten Kaufbereitschaft beim Kunden**.



Auch der **gesellschaftliche Nutzen** bspw. mit Blick auf den Klimawandel steht im Vordergrund.



CHANCEN



Externe Beratung kann beim Verständnis und der Optimierung von komplexen Produktionssystemen helfen und auch auf passende Fördermöglichkeiten hinweisen.



Big Data und die Verfügbarkeit immer größerer Mengen an Produktionsdaten stellen produzierende Unternehmen vor neue Herausforderungen, bieten aber gleichzeitig zahlreiche Chancen, wie bspw. die Nutzung eines automatisierten Stand-by-Managements oder die Berechnung einer kosten- bzw. ressourcenoptimierten Prozessführung.



Förder- und Beratungsangebote können die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen unterstützen.

„Das ArePron-Projekt und die daraus gewonnenen Erkenntnisse sind von hoher Relevanz für die Ziele der Nachhaltigkeit, für unsere Umwelt und für die kommenden Generationen. Hervorzuheben ist der methodische, offene und holistische Ansatz.“

Siegfried Wagner, Geschäftsführer
in-integrierte informationssysteme GmbH





02



Foto: Fotolia | Kalnovsky Dmitry



AREPRON – EIN TRANSFER- PROJEKT DER TU DARMSTADT

Spannende Einblicke und Erkenntnisse aus den wissenschaftlichen Musterfabriken (CiP* und ETA**) geben zukunftsweisende Ausblicke für die tägliche Arbeit in Unternehmen.

LERNEN SIE AREPRON KENNEN

S. 18

* Prozesslernfabrik **CiP** (Center für industrielle Produktivität)

** **ETA**-Fabrik (interdisziplinäre Forschungsgruppe ETA = Energietechnologien und Anwendungen in der Produktion)

LERNEN SIE **AREPRON** KENNEN



AREPRON = Agiles ressourceneffizientes Produktionsnetzwerk

Wie können Unternehmen ihre Ressourcen effizient einsetzen, Produktionssysteme intelligent und standortübergreifend vernetzen? Welche Technologien im Zeitalter der Digitalisierung können helfen, Kosten zu senken und gleichzeitig den ökologischen Fußabdruck des Unternehmens zu reduzieren? Das ArePron-Projekt zeigt die vielfältigen Möglichkeiten auf, Ressourceneffizienz durch eine intelligente standortübergreifende Vernetzung von Produktionssystemen zu steigern.



Foto: Gregor Schuster



SIE WOLLEN MEHR ÜBER AREPRON ERFAHREN?

Weitere Informationen über die Angebote der drei an ArePron beteiligten Institute der TU Darmstadt finden Sie auf den jeweiligen Webseiten. Erleben Sie, welche ökologischen und ökonomischen Auswirkungen die Optimierung von Produktionsprozessen auch auf Ihr Unternehmen haben kann:



MEHR ERFAHREN

www.ArePron.com



Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)

www.ptw.tu-darmstadt.de



Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft

www.iwar.tu-darmstadt.de/sur/fg_sr/startseite_4/index.de.jsp



Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion

www.dik.tu-darmstadt.de



Das gefertigte Produkt
„Kugellabyrinth“ im Projekt „ArePron“: ein klassisches Zerspanungsbauteil, das alle Stationen einer typischen industriellen Prozesskette für solche Teile durchläuft.

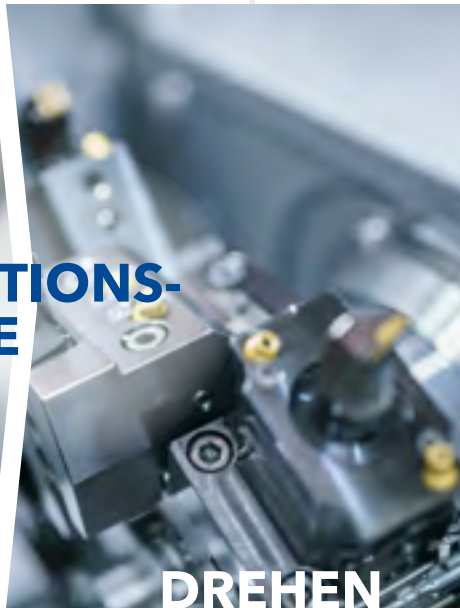
Foto: Sibylle Scheibner

PRODUKTIONS-
NETZWERK AUS

10 MASCHINEN



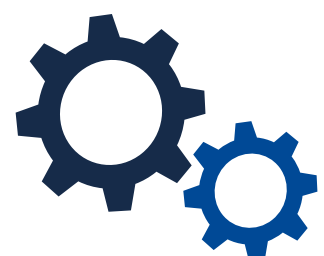
PROZESS-
LERNFABRIK
CiP



FABRIK
ETA



Zwei Fabriken, zehn Maschinen, sechs Produktionsschritte und ein ganzes Team von Wissenschaftlern: Die beiden Fertigungsstrecken in den Lernfabriken CiP* und ETA** an der TU Darmstadt bilden die Plattform für das wissenschaftliche Transferprojekt ArePron. Hier werden die typischen Fertigungsprozesse eines Zerspanungsbauteils überwacht, dokumentiert und optimiert.





Neue Wege gehen, um natürliche Ressourcen effizient zu schonen, Prozesse zu optimieren und dem wachsenden Umweltbewusstsein der Gesellschaft gerecht zu werden. Wissenschaftler der TU Darmstadt haben ein agiles ressourceneffizientes Produktionsnetzwerk - ArePron - ins Leben gerufen. Gefördert wurde es durch das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen sowie durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE).

Grundlage des Projekts ist ein Produktionsnetzwerk zwischen der Prozesslernfabrik CiP und der ETA-Fabrik auf dem Campus Lichtwiese der TU Darmstadt.

Produziert wird ein Kugellabyrinth, das verschiedene Produktionspfade mit unterschiedlichen Maschinen durchlaufen kann. Jedes Bauteil und jeder Produktionsschritt werden genau analysiert. Dokumentiert werden neben dem Verbrauch von natürlichen Ressourcen (u. a. Rohstoffe) auch der Einsatz von Betriebsmitteln. Mit Hilfe der Daten aus der Musterfabrik lässt sich eine agile und effiziente Produktionsplanung und -steuerung realisieren.

Die Erhebung der relevanten Daten zum Verbrauch von Ressourcen entlang des Produktionsprozesses ist der erste wichtige Schritt, um Optimierungspotenziale zu erkennen.


* Prozesslernfabrik **CiP** (Center für industrielle Produktivität)
 ** **ETA**-Fabrik (interdisziplinäre Forschungsgruppe ETA = Energietechnologien und Anwendungen in der Produktion)



TRANSPARENZ IN PRODUKTIONS- PROZESSEN

Daten sind Macht. Wissen zur Erhebung, Auswertung und Speicherung von relevanten Unternehmensdaten ist die Grundlage für erfolgreiche Veränderungsprozesse.

METHODIK ZUR SYSTEMATISCHEN TRANSPARENZSCHAFFUNG	S. 24
IN 3 SCHRITTEN SYSTEMATISCH ZU MEHR TRANSPARENZ	S. 26
1 Grobanalyse auf Unternehmens- und Maschinenebene	
2 Feinanalyse auf Maschinen- und Prozessebene	S. 28
Datenerfassung	S. 29
3 Übertragung auf Produktebene - Trace- ability-Systeme zur Transparenzschaffung	S. 32
TRACEABILITY BEI AREPRON	S. 34
„WENN MASCHINEN SICH VERNETZEN“ IoT- UND PLATTFORMLÖSUNGEN	S. 36

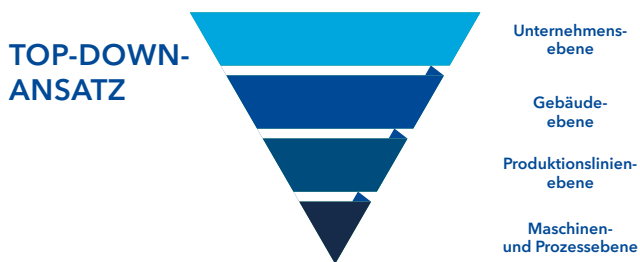


„Der erste Schritt zu einer ressourcen-
effizienten oder gar klimaneutralen
Produktion beginnt immer mit der
Transparenzschaffung. Hierbei können
uns die Werkzeuge, die uns die
Digitalisierung bietet, stark unter-
stützen. Am Ende braucht es aber
den Mut zur Umsetzung und kluge
Köpfe, die den Transformations-
prozess begleiten.“

Dr.-Ing. Philipp Schraml,
Geschäftsführer, ETA-Solutions GmbH

METHODIK ZUR SYSTEMATISCHEN TRANSPARENZSCHAFFUNG IN ENERGIE- UND RESSOURCENSTRÖMEN

Transparente Energie- und Ressourcenflüsse sind die Grundlage für Effizienzbewertungen. Hierbei können zwei Herangehensweisen unterschieden werden.



Beim Top-Down-Ansatz wird die Transparenz von Energie- und Ressourcenströmen innerhalb der Fabrik von der Unternehmensebene hin zur Maschinen- und Prozessebene sukzessive gesteigert. Jedoch können die Verbräuche nur selten auf einzelne Maschinen oder Produktionsprozesse umgelegt werden, sogenannte „blinde Flecken“ sind weit verbreitet.

- +** **VORTEIL:** Geringer Aufwand, um Energie und Ressourcen hinsichtlich Relevanz zu priorisieren. Eine produktspezifische Kennzahl (z. B. CO₂ pro Bauteil) kann grob abgeschätzt werden.
- **NACHTEIL:** Transparenz auf Maschinenebene fehlt meist.



Beim Bottom-Up-Ansatz werden die Energie- und Ressourcenflüsse auf Maschinenebene erfasst und dann auf Produktionslinien- und Fabrikebene hochgerechnet.

- +** **VORTEIL:** Identifizierung von Effizienzpotenzialen auf Maschinenebene (bspw. eine Optimierung des Produktionsablaufplans oder die Einführung eines Abschaltmanagements in Nicht-Produktivzeiten).
- **NACHTEIL:** Die Schaffung der Transparenz auf Maschinenebene ist aufwändig und kostenintensiv. Daher ist diese Herangehensweise vor allem bei kleinen und mittelständischen Unternehmen kaum verbreitet.

WARUM NICHT BEIDES ?

KOMBINIERTER ANSATZ

Um Effizienzpotenziale auf Maschinenebene frühzeitig abzuschätzen und gleichzeitig bereits installierte Sensoren auf Fabrik- und Produktionslinienebene zu berücksichtigen, wird in diesem Leitfaden ein kombinierter Ansatz aus Top-Down- und Bottom-Up-Ansatz verwendet. Hierbei werden die genannten Vorgehensweisen um die Komponentenebene erweitert, da dies für viele Effizienzmaßnahmen wie beispielsweise den Austausch ineffizienter Maschinenkomponenten oder die Implementierung eines Stand-by-Managements notwendig ist.

SIE WÜNSCHEN SICH UNTERSTÜTZUNG?

Die unabhängige PIUS-Beratung des RKW Hessen für hessische Unternehmen bietet eine umfassende Analyse aller betrieblichen Abläufe und unterstützt Sie gern auch bei der Beantragung von Förderprogrammen.



MEHR ERFAHREN

www.rkw-hessen.de/beratungsfoerderung/hessen-pius.html

IN **3** SCHRITTEN SYSTEMATISCH ZU MEHR TRANSPARENZ

Um den Nutzen der Transparenzschaffung frühzeitig sicherzustellen und Sensorik effizient zu implementieren, wird ein stufenweises Vorgehen zur energetischen und ressourcentechnischen Transparenzschaffung herangezogen.



Darstellung des Vorgehens bei der energetischen und ressourcentechnischen Transparenzschaffung (angelehnt an Blesl und Kessler 2018)

1 GROBANALYSE AUF UNTERNEHMENS- UND MASCHINENEBENE

WORUM GEHT ES?

Mit einer Grobanalyse auf Unternehmens- und Maschinenebene werden die gesamtbetrieblichen Energieströme und Produktionsprozesse erfasst. Das Ziel besteht in der Identifizierung relevanter Ressourcenströme, ohne zeitaufwändige Messungen durchzuführen. Durch die Grobanalyse lässt sich eine erste Priorisierung von Bereichen und/oder Produktionsmaschinen vornehmen, die in einer anschließenden Feinanalyse genauer untersucht werden sollen.

WAS IST ZU TUN?

Auf Unternehmensebene erfolgt die Erfassung von Energieträgern, Ressourcen und Abfällen, die von der Fabrik bezogen und entsorgt werden. Für die Ermittlung können Zählerablesungen und (Energie-)Rechnungen, aber auch interne Unterzähler genutzt werden. Die relevantesten Ressourcen und Energieflüsse können so in einem ersten Schritt zumindest aus Kostensicht identifiziert werden. Zudem empfiehlt sich die Erstellung einer Dauerlinie auf Werksebene, um Einsparmöglichkeiten beim Leistungspreis abzuschätzen, welcher maßgeblich von der höchsten elektrischen Lastspitze abhängt (siehe „Analysetools“ auf Seite 28).



Foto: Just Life/Shutterstock

Auf Maschinenebene erfolgt eine grobe Zuordnung des Ressourcenverbrauchs zu einzelnen Produktionsanlagen.

Hierfür können Verbrauchsdaten aufwandsarm von Typenschildern, Elektro-, Fluid- und Pneumatikplänen sowie Wartungsplänen abgelesen werden.

- Fluidpläne geben Rückschluss auf die verwendeten Hilfs- und Betriebsstoffe (wie beispielsweise Hydrauliköle) inkl. Füllmengen.
- Pneumatikpläne beinhalten die geforderte Druckluftqualität, mit Mindestvolumenstrom und -druck.
- Wartungspläne geben Aufschluss über Wechselzyklen von Hilfs- und Betriebsstoffen (z. B. Filter).
- Auf Typenschildern und in Elektroplänen ist die Anschlussleistung vermerkt, über die eine grobe Abschätzung des elektrischen Energiebedarfs erfolgen kann. Aber Achtung, der reale Energieverbrauch liegt meist deutlich unter der Anschlussleistung.

KOSTENFREIE IMPULSBERATUNG VOR ORT

Sie möchten Kosten, Material UND Energie sparen? Die zweistündige Beratung des RKW Hessen unterstützt Sie, ungenutzte Potenziale zu ermitteln und gibt Hinweise zu Sofortmaßnahmen.



MEHR ERFAHREN

www.energieeffizienz-hessen.de/beratungsfoerderung

ABC-ANALYSE ODER ANLAGEN-VERBRAUCHSMATRIX?

Für die Grobanalyse auf Maschinenebene empfiehlt sich die ABC-Analyse oder eine Anlagen-Verbrauchsmatrix, um relevante Energieträger zu identifizieren und Maßnahmen zu priorisieren. Beide Analysetools wurden ursprünglich für elektrische Energieverbraucher konzipiert, lassen sich aber analog auf andere Energieträger wie beispielsweise Druckluft oder Erdgas erweitern. Über die Einbeziehung von CO₂-Äquivalenten ist ebenfalls eine Priorisierung von Hilfs- und Betriebsstoffen möglich.

Bei der **ABC-Analyse** werden die Verbraucher der Größe nach sortiert und in Gruppen, abhängig vom kumulierten Energiebedarf, einsortiert.

A Gruppe der Hauptverbraucher:
70 % der elektrischen Gesamtleistung

B Gruppe weiterer Verbraucher,
die kumuliert mit Gruppe A
90 % der Gesamtleistung benötigen

C Gruppe der
übrigen Kleinverbraucher

Der Nachteil der ABC-Analyse ist, dass die Einschaltdauer der Anlagen nicht in die Betrachtung einfließt.

Da die Laufzeiten der Produktionsmaschinen in der Regel bekannt sind, ist die Priorisierung weiterer Analysen über eine **Anlagen-Verbrauchsmatrix** zu empfehlen. Hierbei werden die Produktionsanlagen nach Anschlussleistung und geschätzter Einschaltdauer unterteilt. Anlagen mit hoher Laufzeit und hohem Verbrauch (hier in Gruppe A) sollten als erstes für Messungen und weitere Betrachtungen herangezogen werden.



Foto: Gregor Schuster

2

FEINANALYSE AUF MASCHINEN- UND PROZESSEBENE

WORUM GEHT ES?

Mit einer Feinanalyse auf Maschinen- bzw. Prozessebene werden kontinuierlich fließende Produktionsressourcen wie Druckluft, Prozessgase oder elektrische Energie für relevante Maschinen und Anlagen weiter messtechnisch detailliert. Um die Kosten dieses Schrittes gering zu halten, erfolgt die Feinanalyse vorwiegend über temporäre und mobile Messgeräte. Wenn ein dauerhaftes Monitoring erwünscht ist, können stationär verbaute Sensorik oder virtuelle Messstellen implementiert werden.

WIE FUNKTIONIERT ES?

Der Unterschied zur Grobanalyse besteht darin, dass bei der Feinanalyse der reale Energie- und Ressourcenbedarf auf Maschinenebene vermessen wird, wodurch Effizienzpotenziale genauer abgeschätzt werden können. Neben der Erfassung direkter Prozess- und Maschinenparameter je Bilanzraum ist für eine Zertifizierung nach ISO 50001 auf die Erfassung weiterer Rahmenbedingungen wie Raumklima, Produktionsportfolio, Durchsatz, Taktzeiten, Schichtbetrieb etc. zu achten.

WELCHE TOOLS GIBT ES?

Analysetools, die hierfür zum Einsatz kommen, sind z. B.:

- Eine mit realen Messwerten überarbeitete ABC-Analyse bzw. Anlagen-Verbrauchsmatrix zur Priorisierung der Produktionsmaschinen nach ihrem realen Verbrauch.
- Mit Sankey-Diagrammen können Energie- und Ressourcenflüsse innerhalb einer Fabrik visualisiert werden (siehe Abbildung auf Seite 42).
- Das Potenzial zur Lastspitzenglättung kann sowohl auf Unternehmensebene als auch auf Maschinen- und Prozessebene über Dauerlinien bestimmt werden. Hierfür wird der zeitliche Anteil des Energiebedarfs einer Anlage auf der X-Achse über den Energiebedarf (bspw. für den Zeitraum von 15 Minuten) aufgetragen.

DATENERFASSUNG

ABER WIE?

Nachdem in der Grobanalyse die kosten- bzw. umwelttechnisch relevanten Ressourcen identifiziert wurden, werden diese in der Feinanalyse mit Messdaten auf Maschinenebene untermauert. Neben den typischen Energieströmen wie Elektrizität, Druckluft, Wärme/Kälte und Erdgas spielen häufig auch weitere Betriebs- und Abfallstoffe wie Kühlschmierstoff, Rohmaterialien und Späne eine Rolle.

Um Transparenz über Ressourcenverbräuche zu erlangen, bieten sich verschiedene Möglichkeiten der Verbrauchsdatenerfassung an:

ERFASSUNG ÜBER DOKUMENTE/AUFZEICHNUNGEN/EXPERTENSCHÄTZUNGEN

Angaben zu den benötigten Betriebsstoffen (z. B. Hydrauliköl oder Kühlschmierstoff) können beispielsweise Datenblättern oder Fluidschaltplänen entnommen werden. Auch Rechnungen über den Ressourcen- oder Energieverbrauch eines gewissen Zeitraums sind hierfür aussagekräftig. Zudem kann die Befragung von Expert/innen aus der Produktion erste Anhaltspunkte über den Ressourcenverbrauch liefern. Sie werden in Wartungsplänen dokumentiert haben, wie oft z. B. Filter getauscht oder Betriebsstoffe nachgefüllt werden.

MANUELLE ERFASSUNG

„Hands-on“ – oft ist auch ein pragmatischer Ansatz zielführend, bei dem man selbst Hand anlegt. Beispielsweise können Produktionsabfälle wie Späne einer Fräsbearbeitung oder die Pulvermenge einer Pulverbeschichtung, die nicht wiederverwendet werden kann, für eine gewisse Anzahl produzierter Teile händisch abgewogen werden.

SENSORGESTÜTZTE ERFASSUNG

Bei der sensorgestützten Datenerfassung wird zwischen temporären und kontinuierlichen Messungen unterschieden. Zudem gibt es noch virtuelle Messstellen, die als reine Softwarelösung günstig in der Anschaffung sind (siehe Seite 30).

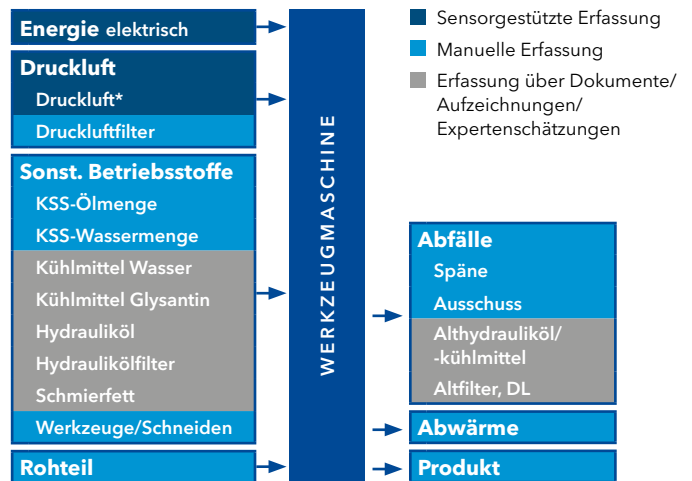
Mit diesen Informationen und der Kenntnis über die produzierten Stückzahlen in dem betrachteten Zeitraum kann dann ein Verbrauch pro Bauteil zumindest grob ermittelt werden.



Foto: Gregor Schuster

In der folgenden Abbildung sind die verschiedenen Ressourcen einer Werkzeugmaschine beispielhaft den möglichen Erfassungsarten zugeordnet.

BEISPIELHAFTES SYSTEMFLIESSBILD EINER WERKZEUGMASCHINE MIT DEN JEWEILIGEN ERFASSUNGSARTEN



* Druckluft vom zentralen Kompressor

Nach der ersten Abschätzung der Ressourcenverbräuche pro Bauteil gilt es, die Transparenz weiter zu erhöhen, um die wirksamsten Maßnahmen zur Effizienzsteigerung zu ermitteln.

Wie mit den erfassten Maschinendaten weiter vorgegangen wird, erfahren Sie im folgenden Kapitel 4.

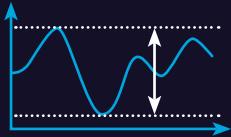
DATENERFASSUNG

WAS GIBT ES ZU BEACHTEN?

Bei der Auswahl der Datenerfassungsart spielen neben den Kosten verschiedene andere Faktoren eine Rolle. Hierbei sollte der zu erwartende Mehrwert stets in Relation zum Aufwand bzw. den Kosten stehen.

Je nach Ressource oder Energieträger ist geeignetes Messequipment auszuwählen, um die Größen innerhalb der Feinanalyse sinnvoll zu erfassen. Bei der Auswahl von sensorgestütztem Messequipment sind die folgenden drei Aspekte zu beachten:

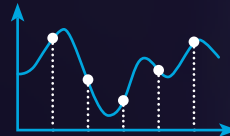
MESSBEREICH ist der Bereich, in dem der angezeigte oder abgelesene Wert eine vorgegebene Fehlergrenze nicht überschreitet.



WIE GROSS IST DIE MESSGRÖSSE ?

Beispielsweise hat die Größe einer Messklemme zur Erfassung von elektrischen Strömen einen signifikanten Einfluss auf den Messbereich, in dem sich die Messwerte bewegen sollten.

AUFLÖSUNG ist die Fähigkeit, zwei benachbarte Werte voneinander unterscheiden zu können.



WIE HÄUFIG PRO ZEITEINHEIT ?

Besonders bei der Archivierung von Messwerten in Datenbanken sollte die zeitliche Auflösung der Zielgröße beachtet werden. Die Frage, ob bspw. der elektrische Energiebedarf einer Maschine sekundlich oder minütlich erfasst wird, hängt letztendlich davon ab, welche Optimierungsziele verfolgt werden. Wenn z.B. die Kosten der elektrischen Lastspitze reduziert werden sollen, die in 15-Minuten-Intervallen abgerechnet werden, sollten die Energiedaten deutlich hochfrequenter erfasst werden, um frühzeitig eine Verbesserungsmaßnahme einzuleiten.

ALLES AN EINEM ORT - WOHIN MIT DEN INFORMATIONEN?

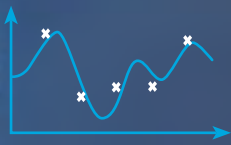
Bereits zu Beginn der Grobanalyse sollte klar sein, wo die ganzen Informationen gesammelt werden. Ein zentrales Dokument bietet sich hier an, damit für die weiteren Analysen alle Informationen an einer Stelle gefunden werden können. In der einfachsten Version handelt es sich dabei um eine Tabelle in einem Tabellenkalkulationsprogramm, bei der für jede untersuchte Maschine ein neues Tabellenblatt erstellt wird. Für weiterführende Analysen der Daten ist eine richtige Datenbank sehr zu empfehlen. Im Rahmen des ArePron-Projektes wurde dafür das sogenannte „VaRA-Tool“ entwickelt, eine Java-basierte Datenbankstruktur, die sich über mobile Endgeräte bedienen lässt, so dass beim Durchlauf durch die Produktion direkt Informationen an zentraler Stelle festgehalten werden können.

EINEN SCHRITT WEITER - KONTINUIERLICHES RESSOURCENMONITORING

Während **temporäre, mobile Messungen** genutzt werden, um die geschätzten Verbräuche aus dem Schritt der Grobanalyse einzugrenzen und den durchschnittlichen Verbrauch auf die produzierten Bauteile zu verteilen, eignen sich **sowohl virtuelle als auch permanente, stationäre Messstellen** für ein kontinuierliches Ressourcenfluss-Monitoring.

Ziel einer kontinuierlichen Überwachung (engl.: Monitoring) ausgewählter Ressourcenströme kann beispielsweise die Wirksamkeitsüberprüfung einer umgesetzten Maßnahme hinsichtlich der Effizienzsteigerung sein. Für Unternehmen, die ihren Energie- und Ressourcenkonsum verbessern möchten, stellt ein kontinuierliches Monitoring, wie es beispielsweise in DIN ISO 50001 für Energieträger vorgesehen ist, den Grundstein dieses kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) dar.

MESSGENAUIGKEIT ist die Abweichung der erfassten Messgröße vom realen Wert.



**WIE FEHLER-
BEHAFTET ?**

Innerhalb des Messbereichs ist die Messgenauigkeit von kommerziell verfügbarer Sensorik in der Regel ausreichend hoch. Häufig entstehen größere Ungenauigkeiten bei unsachgemäßer Installation und Kalibrierung der Sensorik.

EXKURS: VIRTUELLE MESSSTELLEN

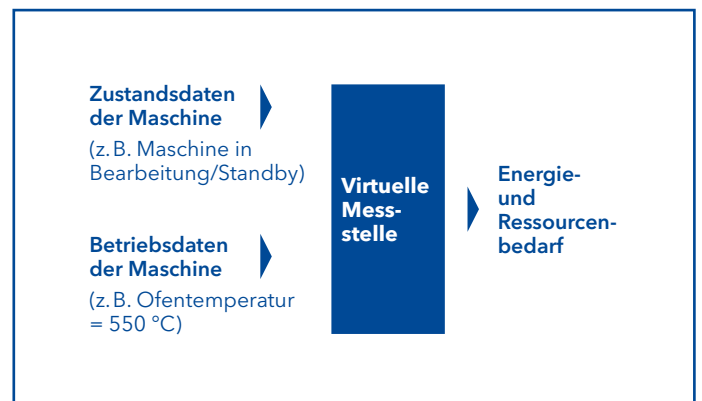
Um kostengünstig Energie- und Ressourcenflüsse innerhalb einer Fabrik zu überwachen, sind virtuelle Messstellen eine interessante Alternative zu sensorbasierten Messstellen, die besonders KMUs in Betracht ziehen sollten (GUTcert 2018). Prinzipiell lassen sich virtuelle Messstellen in folgende Gruppen unterteilen (Flick et al. 2018):

- physikalische Modelle, welche eine Zielgröße über physikalische Gleichungen abbilden,
- hybride Modelle, die empirisch erstellt werden,
- Disaggregationsmodelle (auch als „Nonintrusive Load Monitoring“ bekannt), bei denen ein übergeordneter Messwert (bspw. auf Produktionslinienebene) auf untergeordnete Anlagen aufgeteilt wird.

DEFINITION

Eine virtuelle Energie- bzw. Ressourcenbedarfsmessstelle ist ein virtuelles Abbild des physikalischen Nutzenergie- bzw. Ressourcenbedarfs einer betrachteten Einheit (Sossenheimer et al. 2020).

Während physikalische Modelle schnell komplex werden und oft Expertenwissen bei der Erstellung benötigen, sind hybride Modelle selbst für komplexe Produktionsmaschinen einfach zu erstellen und in Echtzeit anwendbar. Die Modellerstellung besteht aus einer empirischen Korrelation des temporär gemessenen Energie- oder Ressourcenverbrauchs mit dauerhaft verfügbaren Steuerungsdaten der Maschine. Sobald das Modell erstellt ist, kann es in Echtzeit den aktuellen Energiebedarf, basierend auf Maschinendaten, prognostizieren.



Schema einer virtuellen Messstelle

Da stets die Wirtschaftlichkeit der Messstelle zu beachten ist, sollte vor der Installation kontinuierlicher Messstellen stets Klarheit über den geplanten wirtschaftlichen, juristischen oder ökologischen Nutzen herrschen. Nichtsdestotrotz empfehlen Studien, jährlich 3 % der Energiekosten in Messequipment zu investieren (econ solutions GmbH 2015).

3

ÜBERTRAGUNG AUF PRODUKTEBENE: TRACEABILITY-SYSTEME ZUR TRANSPARENZSCHAFFUNG

WORUM GEHT ES?

Durch Traceability-Systeme werden Produkte zu aktiven Informationsträgern. So kann der komplette Produktentstehungsprozess verfolgt werden - von der Anlieferung über die Produktion bis zum Versand an den Kunden.

TRACEABILITY, TRACKING UND TRACING

Traceability bezeichnet die Fähigkeit, alle Informationen zu einem bestimmten Gegenstand über den kompletten Lebenszyklus zu erhalten. Dazu werden Identifikationsmerkmale festgelegt, die durch Technologien zur Autoidentifikation (kurz AutoID) erkannt werden.

Tracking bedeutet die Verfolgbarkeit, also das Erfassen und Archivieren von aktuellen Informationen, während Tracing die Rückverfolgbarkeit, d. h. das Nutzen der gewonnenen Informationen, beschreibt.

WIE FUNKTIONIERT ES?

Tracking und Tracing stellen die Grundfunktion von Traceability-Systemen dar. Je nach Einsatzzweck können Traceability-Systeme sowohl passiv als auch aktiv gestaltet sein.

Anwendung passiver Systeme

Passive Systeme werden bereits seit Jahrzehnten eingesetzt. Sie beschränken sich auf die systematische Sammlung von Daten zum Produktwerdegang und dienen somit einer späteren Ursachenfindung bzw. Selektion betroffener Komponenten.



Produkthaftung,
Rückrufeingrenzung



Herkunftsnachweis



Produktauthentifizierung



Foto: urbans/Shutterstock

Anwendung aktiver Systeme

Der Einsatz aktiver Traceability-Systeme hingegen ist deutlich jünger. In aktiven Systemen werden Traceability-Daten unmittelbar in der Produktion genutzt. So kann ein Produktionsprozess z.B. gesteuert oder verriegelt werden.



Digitale Arbeitsweise



Dynamische Prozesssteuerung



Prozessanalyse



Echtzeitabbildung
von Leistungskennzahlen



Prozessverriegelung



Lagermanagement



Kundendienstleistung

TECHNOLOGIEN ZUR (RÜCK-)VERFOLGBARKEIT: DIE VIELFALT VON AutoID-TECHNOLOGIEN IST GROSS

Zur (Rück-)Verfolgbarkeit eines Bauteils oder Produkts eignen sich optische und elektronische Verfahren.

Bei **optischen Verfahren** gibt es eine Vielzahl an Codierungsarten. Diese unterscheiden sich im Wesentlichen durch die unterschiedlichen Datenmengen, die sie transportieren können (Wank 2019).

Optisch	Codierungen
Ritzmarkieren	OCR-B
Nagelprägen	Code 128
Elektrolytisch	GS1-128
Laserkennzeichnung Gaslaser	Data Matrix Code (ECC 20)
Laserkennzeichnung Faserlaser	QR-Code
Drucken - Etiketten	GS1-Data Matrix Code

Bei den **elektronischen Verfahren** kommen insbesondere RFID(Radio Frequency Identification)-Systeme zum Einsatz. Diese Technologie nutzt Radio-Funkwellen zur Identifizierung von Objekten. Durch die Auswahl unterschiedlicher Frequenzen lassen sich die Auslesedistanzen zwischen Leser und Empfänger des RFID-Systems nach Bedarf variieren.

	Aktive RFID	Passive RFID
Niedrige Frequenz	100-135 kHz	100-135 kHz
Hohe Frequenz	-	13,65 MHz, Etiketten 13,65 MHz
Ultrahochfrequent	860-960 MHz	860-960 MHz 860-960 MHz, Etiketten
Mikrowelle/SHF	2,45 GHz	-
SAW	-	2,45 GHz

KRITERIEN ZUR AUSWAHL EINER KENNZEICHNUNGSTECHNOLOGIE

Die Vielzahl an AutoID-Technologien bedingt gleichermaßen die Berücksichtigung etlicher Kriterien, die für die Auswahl der passenden Technologie für den jeweiligen Anwendungsfall geeignet sind. Wesentliche Kriterien in diesem Zusammenhang sind:

- Materialverträglichkeit
- Prozesstauglichkeit
- Robustheit der Kennzeichnung
- Erfüllung der Anforderungen aus den Anwendungsfällen
- Verträglichkeit mit den Fertigungsverfahren
- Verträglichkeit mit den Bauteilanforderungen

4 STUFEN ZUR EINFÜHRUNG EINES TRACEABILITY-SYSTEMS

Zur Einführung des Traceability-Systems ist eine durchgängige Markierungsstrategie zu finden und die optimale AutoID-Technologie auszuwählen. Im vierstufigen Vorgehen (angelehnt an Wank 2019) werden Alternativen hinsichtlich Eignung und Nutzen unter Berücksichtigung von Kosten und Aufwand bewertet und ausgewählt.

- **Situationsanalyse:** Methoden zur Erfassung des wertstromdurchgängigen Material- und Informationsflusses sowie AutoID-relevante Prozesseigenschaften erfassen und zur Analyse von Produkt und Prozess anwenden.
- **Zielformulierung:** Anwendungsfälle, Anforderungen an die Kennzeichnungstechnologie und Gewichtsfaktoren definieren. Wertstromdurchgängige Markierungsstrategie des Produkts entwerfen.
- **Synthese:** Mindestanforderungen an die Technologien aus der Zielformulierung und Prozess- und Produktkriterien aus der Situationsanalyse fließen in eine Zielermatrix ein.
- **Auswahlentscheidung:** Technische Lösungsalternativen aus der Synthese werden mithilfe von Gewichtsfaktoren aus der Zielformulierung priorisiert.

TRACEABILITY IN AREPRON

Durch das Traceability-System können jedem Bauteil der individuelle Ressourcenverbrauch und entstehende Kosten zugewiesen werden. Prozesszeiten können erfasst und für die Produktionsplanung und -steuerung genutzt werden.

- **Digitale Arbeitsweise:** In ArePron wurden alle relevanten Informationen digitalisiert erfasst und an eine IoT-Plattform (siehe Seite 37) weitergeleitet. Zudem wurde die Traceability-Anwendung in Form eines Assistenz-Systems so programmiert, dass es den Werkern an jeder Station im Produktionsnetzwerk zurückmeldet, ob Daten richtig erfasst werden.
- **Echtzeitabbildung von Leistungskennzahlen:** Die Traceability-Anwendung visualisiert über ein User-Interface sämtliche erfassten Bauteile an jeder Bearbeitungsstation mit individueller Bauteilnummer sowie An- und Abmeldezeitstempeln.
- **Prozessanalyse:** Die erfassten Daten wurden für weiterführende Analysen wie Process Mining (Process Discovery und Conformance Checking), Auslastungsanalysen der einzelnen Bearbeitungsstationen im Netzwerk sowie zur Aufdeckung von Ursache-Wirk-Prinzipien durch datengestützte Problemlösungsprozesse genutzt.
- **Dynamische Prozesssteuerung:** Durch die entstehende Transparenz über Zustandsänderungen im Produktionsnetzwerk kann in Abhängigkeit dieser Zustandsänderungen eine dynamische Anpassung der Maschinenbelegung erfolgen (hinsichtlich der betrachteten Zielgrößen).
- **Lagermanagement:** Die Traceability-Daten dienen ebenfalls als Grundlage für die Analyse von Liegezeiten zwischen den Bearbeitungsschritten sowie zur Analyse der Reihenfolgeeinhaltung einzelner Bauteile. Mit dem Wissen kann ein entsprechendes Lager- und Bestandsmanagement zwischen den Bearbeitungsschritten ausgelegt werden.
- **Kundendienstleistung:** Sofern produktbezogene Informationen bereitgestellt werden, z.B. durch Kundenwünsche oder gesetzliche/politische Regularien, lässt sich das Traceability-System auch dazu nutzen. Im Rahmen von ArePron wird der individuelle CO₂-Fußabdruck des Produkts ausgewiesen.

KONZEPT ZUR DATENERFASSUNG

Mit dem Ziel, jedem hergestellten Bauteil einen eigenen CO₂-Fußabdruck zuweisen zu können, ist ein Traceability-System implementiert worden, das eine Nachverfolgbarkeit der Bauteile für Stückzahl 1 ermöglicht. Voraussetzung hierfür ist die individuelle Markierung eines jeden Bauteils, anhand derer es sich eindeutig identifizieren lässt. Das Traceability-System ermöglicht damit die Übertragung der ermittelten Ressourcenaufwendungen von der Maschinenebene auf die Produktebene und übernimmt die zentrale Aufgabe, die relevanten Zeiten in den Wertschöpfungsprozessen zu erfassen. Im Transferprojekt ArePron handelt es sich dabei vor allem um die zeitliche Erfassung des Kugellabyrinths an den einzelnen Fertigungsstationen des Produktionsnetzwerks.

Sofern einem Produkt Informationen zugeschrieben werden sollen (wie im Falle des ArePron-Projekts CO₂-Äquivalente), setzt dies voraus, maschinen- und produktbezogene Daten miteinander zu verknüpfen. Diese Verknüpfung lässt sich durch die Zeitstempel (siehe Grafik rechts) von Maschinen- und der Produktdaten realisieren.



Konzept zur Datenerfassung

In ArePron wird jedes Bauteil zu Beginn mit einem individuellen DataMatrix-Code markiert, um es anschließend an allen Stationen des aufgestellten Produktionsnetzwerks in den beiden Lernfabriken CiP und ETA zu erfassen.

Auch für den Ablauf der Datenerfassung während der laufenden Produktion gibt es wichtige Voraussetzungen. Um systemtechnisch sicherzustellen, dass die Produktdaten mit den Maschinendaten verknüpft werden können, muss jedes zu fertigende Produkt individuell an den einzelnen Fertigungsstationen erfasst werden. Wichtig ist hierbei, dass sowohl die Station als auch das Produkt mit seiner individuellen Markierung (ID-Nummer) aufgenommen wird. Wie die Abbildung unten verdeutlicht, wurde das Bauteil dazu vor dem Bearbeitungsprozess an jeder Station an- und nach abgeschlossener Bearbeitung wieder abgemeldet. Die im Rahmen des Projekts verwendeten Scanner erzeugen bei den Scanvorgängen zu An- und Abmeldung Zeitstempel, die an die IoT-Plattform übermittelt werden. Die erfassten Maschinendaten liegen im zeitlichen Verlauf dabei zwischen den erfassten An- und Abmeldezeiten des Bauteils.

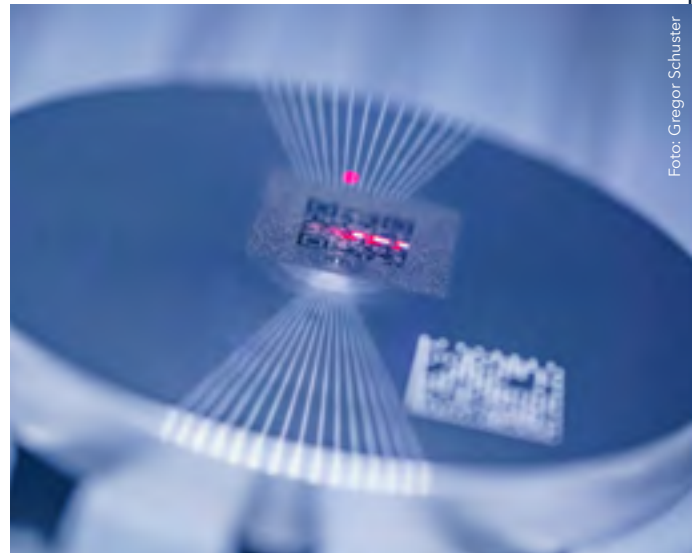
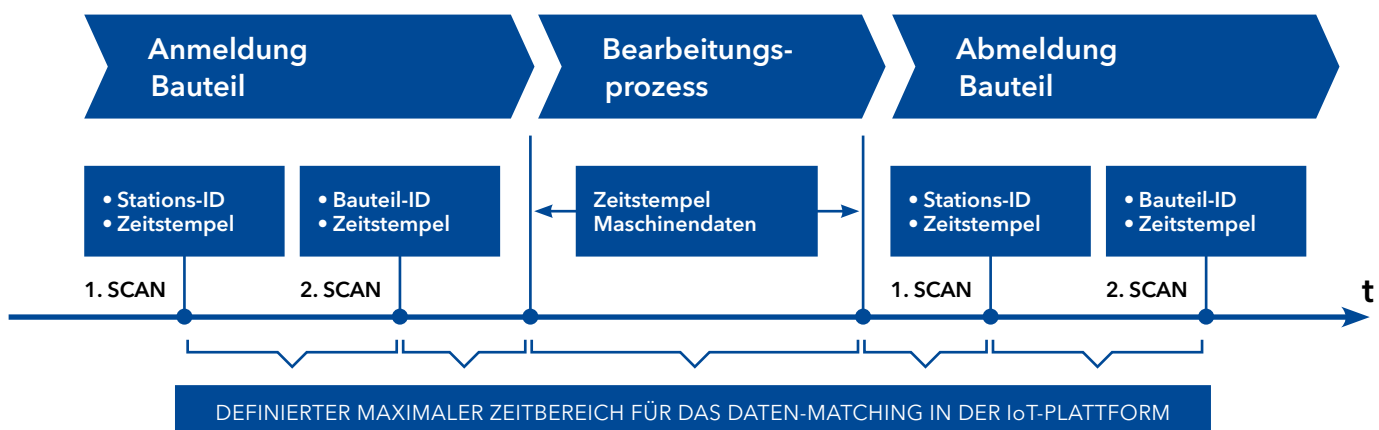


Foto: Gregor Schuster





„Das ArePron-Projekt hat gezeigt, wie man durch den intelligenten Einsatz von Messtechnik Energie- und Ressourcenflüsse systematisch erfassen kann, um damit einen produktspezifischen CO₂-Fußabdruck zu ermitteln.“

Holger Dietz,
Senior Key Account Manager
Janitza electronics GmbH

IoT- UND PLATTFORMLÖSUNGEN

Nach einer erfolgreichen Identifikation notwendiger Informationen zur Bewertung der Ressourceneffizienz und der Untersuchung der Datenaufnahme durch Sensorik dient eine IoT-Plattform der Sammlung, Verarbeitung und Bereitstellung von Informationen für den Nutzer. So können Ressourcenverbräuche transparent ausgewertet und dargestellt werden.

IoT - INTERNET OF THINGS

Der Begriff IoT bzw. Internet of Things (deutsch: Internet der Dinge) beschreibt die Vernetzung von Gegenständen und Maschinen durch das Internet. Das physische „Ding“ verfügt zu diesem Zweck über eine eindeutige virtuelle Identität, die eine verbindliche Zuordnung der Informationen bei der Kommunikation ermöglicht. Eine Plattform wird als IoT-Plattform definiert, wenn die anfallenden Daten durch die Maschinen und Systeme, also die in der Produktion befindlichen „Dinge“, an die digitale Plattform übermittelt werden. IoT-Plattformen sind somit digitale Plattformen, die den Knotenpunkt innerhalb eines Gesamtsystems zur Aufnahme, Verarbeitung sowie Bereitstellung von Informationen bilden und darüber hinaus eine Möglichkeit zur Integration zusätzlicher Technologien oder Anwendungen bieten.

Übrigens: Informationen und Funktionalitäten werden nur einem eingeschränkten Nutzerkreis zur Verfügung gestellt und sind nicht öffentlich zugänglich.

IoT-Plattformen können verschiedene Funktionen zur Verfügung stellen (Hessen Trade & Invest GmbH 2021):

- **Verwaltung von Geräten:** Identifikation, Registrierung und Verwaltung der Maschinen und Sensoren
- **Dateninfrastruktur und -management:** Verwaltung und Speicherung der Daten, inklusive der Verknüpfung mit externen Quellen und Softwaresystemen
- **Konnektivität und Kommunikation:** Verbindung der Maschinen und Sensoren mithilfe geeigneter Protokolle und Schnittstellen zur Datenübertragung
- **Datenanalyse und Visualisierung:** Verarbeitung, Auswertung und anschließende Präsentation der aufgenommenen Daten für den Nutzer
- **Ergänzung neuer Anwendungen:** Erweiterung der IoT-Plattformfunktionalitäten durch Implementierung neuer zusätzlicher Applikationen

Die Übertragung der Daten aus der Produktion in die IoT-Plattform wird mithilfe von Kommunikationsprotokollen realisiert. Das Kommunikationsprotokoll OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) z.B. dient als offener bzw. herstellernerneutraler Standard und unterstützt eine flexible Vernetzung zwischen Maschinen und Produkten im Sinne von Industrie 4.0 (VDMA 2017).

WEITERE INFORMATIONEN

finden Sie im Leitfaden „Produzieren mit dem Internet of Things - Ihre Verbindung zur Zukunft“ (04/2021).



https://redaktion.hessen-agentur.de/publication/2021/3393_leitfaden_iiot-plattformen_2021_web.pdf

AREPRON-ERKENNTNISSE



AREPRON NUTZT IoT-PLATTFORM

Als Werkzeug unterstützt die IoT-Plattform ArePron in der Produktionsplanung und -steuerung und kann sogar den optimalen Produktionspfad ermitteln und für den Nutzer darstellen. Die IoT-Plattform dient somit der Informationsbereitstellung und als Entscheidungsgrundlage zukünftiger Prozesse. Funktionen:

- Aufnahme und Speicherung der Sensor- und Maschinendaten
- Berechnung von Ressourcenverbräuchen und Umweltwirkungsfaktoren
- Visualisierung des Zustandes und der Berechnungsergebnisse



RESSOURCEN- ORIENTIERTE **ANALYSE** & BEWERTUNG

Nur wer die richtigen Informationen hat, kann Kostentreiber aufdecken, effektive Maßnahmen einleiten - und die Umwelt schonen.

EINLEITUNG: RESSOURCENEFFIZIENZ-ANALYSE	S. 40
Klimabilanzierung und Materialflusskostenrechnung	S. 42
STATUS-QUO-ANALYSE	S. 44
ArePron-Erkenntnisse: Ermittlung des Ressourcenverbrauchs	S. 46
ArePron-Erkenntnisse: Hot-Spot-Analyse und Identifizierung der wesentlichen Treiber	S. 48
MASSNAHMEN-ANALYSE	S. 50
RESSOURCENOPTIMIERTE MASCHINENBELEGUNG	S. 52
ArePron-Erkenntnisse: Bewertung aller Produktionsressourcen	S. 54

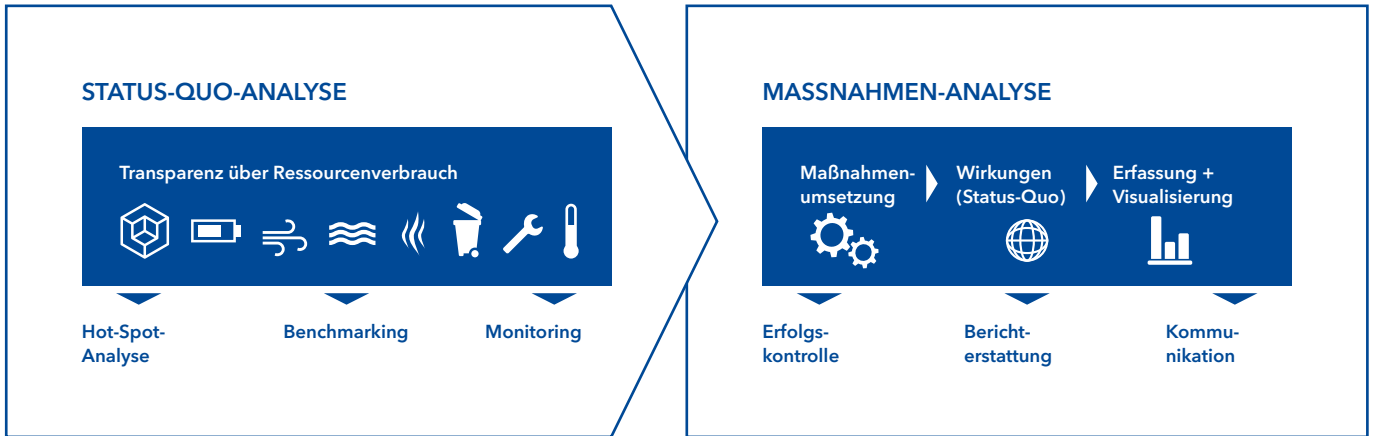
EINLEITUNG: RESSOURCENEFFIZIENZ-ANALYSE

Eine Ressourceneffizienz-Analyse zielt auf eine ganzheitliche Betrachtungsweise: Es sollen alle natürlichen Ressourcen sowie alle relevanten Prozesse von der Rohstoffherstellung bis zur Abfallentsorgung berücksichtigt werden. Die Ressourceneffizienz-Analyse wird auf Basis der in Kapitel 3 erarbeiteten Ergebnisse auf Prozess- und Produktebene durchgeführt.



Aus der betrieblichen Perspektive ist der Kern jeder Ressourceneffizienz-Analyse die Untersuchung der eigenen Bearbeitungsprozesse. Wie Sie dies unter Nutzung der in ArePron entwickelten Methoden einfach und effizient vornehmen können, erfahren Sie in diesem Kapitel. Die Erweiterung der betrieblichen Ressourceneffizienz-Analyse zur vollen Lebenszyklus-Analyse kann auf Basis der VDI-Richtlinie 4800 (VDI 4800-1:2016) und der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 erfolgen.

Mit der betrieblichen Ressourceneffizienz-Analyse werden konkrete Verbesserungspotenziale identifiziert und in Bezug auf Klimaschutz und Kosten bewertet. Gleichzeitig werden dadurch auch die Grundlagen geschaffen, um zu einem späteren Zeitpunkt je nach Bedarf und Möglichkeiten weitere Analysen über den betrieblichen Rahmen hinaus durchführen zu können, beispielsweise unter Einbeziehung von Lieferanten oder Kunden.



Die betriebliche Ressourceneffizienz-Analyse beinhaltet zwei Schritte:

STATUS-QUO-ANALYSE

Die Status-Quo-Analyse nutzt die in Kapitel 3 vorgestellten Instrumente der Transparenzschaffung für einen systematischen Überblick über die Verbräuche von Ressourcen im Betrieb. Dadurch können Hot-Spots identifiziert werden oder die eigenen Verbräuche mit Benchmarks verglichen werden – z.B. der Stromverbrauch von Maschinen. Durch wiederholte Status-Quo-Analysen kann ein zeitliches Monitoring der Verbräuche erfolgen.

MASSNAHMEN-ANALYSE

Die Maßnahmen-Analyse zeigt, wie die Wirkung von Maßnahmen – wie sie in Kapitel 5 vorgestellt werden – systematisch erfasst und hinsichtlich der Verbesserung der Ressourceneffizienz dargestellt werden kann. Dadurch kann der Erfolg der Maßnahmen überprüft werden. Gleichzeitig kann die systematische Erfassung der Ressourceneffizienz für die Berichterstattung und Kommunikation genutzt werden, beispielsweise für den Umweltbericht eines Unternehmens bzw. in Form von CO₂-Äquivalenten für das Carbon Accounting.

Sowohl bei der Status-Quo- als auch bei der Maßnahmen-Analyse werden die materiellen betrieblichen Ressourcen erfasst, also Energie, Rohstoffe und Materialien. Darüber hinaus werden auch Emissionen und Abfälle ermittelt. Im Anschluss können diese Ergebnisse in Bezug auf ihre Klimawirkung und hinsichtlich der Kosten bewertet werden.

GRUNDLAGEN DER RESSOURCENEFFIZIENZ-ANALYSE

Mit der Richtlinie VDI 4800 wurde der erste Standard zur Analyse und Bewertung von Ressourceneffizienz vorgelegt. Hier finden Sie allgemeine Prinzipien und Vorgehensweisen zur Erfassung von Ressourceneffizienz über den gesamten Lebenszyklus sowie spezifische Aspekte der Ressourceneffizienz, insbesondere zur Analyse der Kritikalität von Rohstoffen. Die Richtlinie enthält praktische Beispiele sowie Hilfestellungen speziell für kleine und mittlere Unternehmen (KMU).

ÖKOBILANZ - LIFE CYCLE ASSESSMENT

Die methodische Grundlage der VDI 4800 ist die Ökobilanz, engl. Life Cycle Assessment (LCA). Die Methodik der Ökobilanz ist in den zwei Normen – DIN EN ISO 14040 und DIN EN 14044 – beschrieben. Diese Normen sind Bestandteil der internationalen Normenfamilie ISO 14001 ff, welche Unternehmen und Organisationen beim Aufbau und bei der Durchführung eines systematischen Umweltmanagements unterstützen. Eine Ökobilanz ermittelt alle Verbräuche und Emissionen im Lebenszyklus eines Produkts, einer Dienstleistung oder von Technologien oder Prozessen. Diese Verbräuche und Emissionen werden innerhalb der sogenannten Wirkungsabschätzung den Wirkungskategorien zugeordnet, die wichtige Umweltthemen, wie z.B. Klimawandel, repräsentieren und damit den Bezug zu den natürlichen Ressourcen herstellen. Alle Umweltwirkungen werden in Relation zu untersuchtem Produkt, Dienstleistung oder Bearbeitungsprozess ausgewiesen, so dass ein Vergleich von Alternativen auf Basis einer gemeinsamen Einheit möglich ist.

KLIMABILANZIERUNG UND MATERIALFLUSSKOSTENRECHNUNG

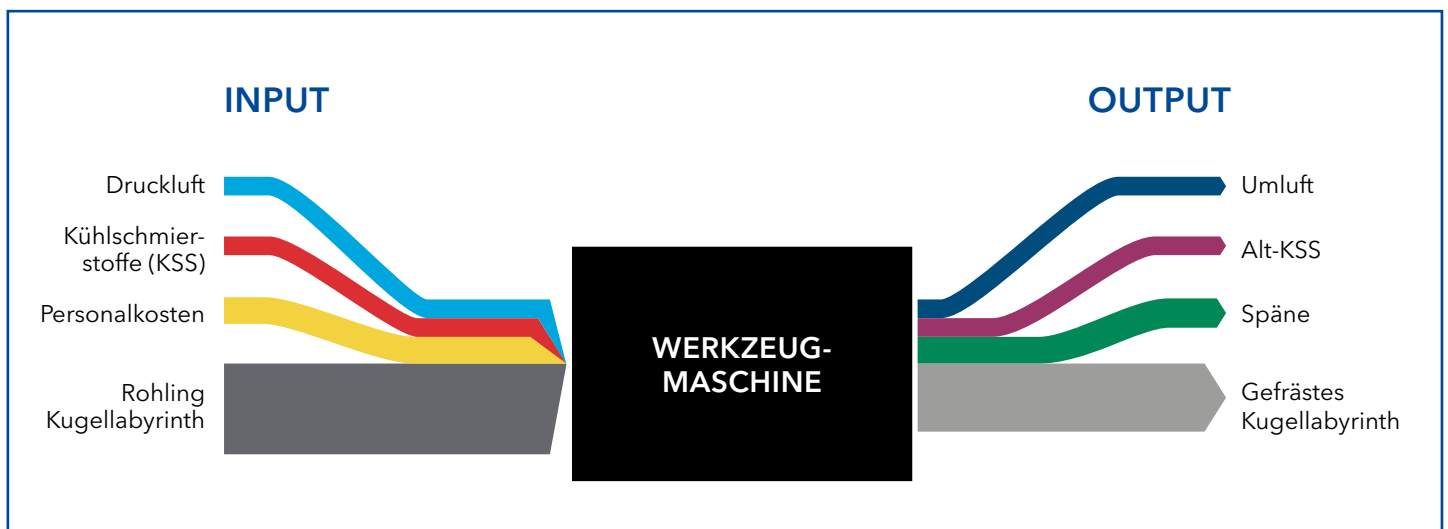
Ein Mittel, um neben den ökologischen auch die wirtschaftlichen Ineffizienzen in der Produktion aufzudecken, ist die Materialflusskostenrechnung.

DEFINITION

Die Materialflusskostenrechnung oder Material Flow Cost Accounting (MFCA) ist ein Managementinstrument und gehört zu den Methoden der Umweltkostenrechnung (DIN EN ISO 14051). Die MFCA bildet die Material- und Energieflüsse im Produktionssystem in physikalischen Größen ab, wie Kilogramm oder Megajoule, und verknüpft sie mit monetären Größen. Im Gegensatz zur klassischen Kostenrechnung werden die anfallenden Kosten bei der MFCA nicht nur den gewollten, sogenannten positiven Produkten, sondern auch den ungewollten Materialverlusten, sogenannten negativen Produkten, zugerechnet. Die MFCA rechnet dabei die anfallenden Kosten anteilig auf positive und negative Produkte um und belegt somit die Reststoffe mit ihrem wahren Wert.

Die Sichtweise der MFCA kann mit dem Eisbergmodell illustriert werden. Für Materialverluste fällt nicht nur die sichtbare Spitze des Eisbergs an, d. h. die Kosten für ihre Entsorgung, sondern es müssen auch versteckte, indirekte Kosten wie Anschaffungskosten, Logistikkosten oder Produktionskosten aus vorgeschalteten Prozessen aufgewendet werden. Die Anwendung der Methode lässt genaue Rückschlüsse auf Ineffizienzen im Zusammenhang mit Material und Energie zu und erlaubt somit die Identifikation von Stellhebeln zur Optimierung in der Produktion. Durch die monetäre Bezifferung der Abfälle werden außerdem Investitionsentscheidungen an anderer Stelle unterstützt.

Die Materialflusskostenrechnung kann auf Basis der Informationen durchgeführt werden, die im Rahmen einer Status-Quo-Analyse ermittelt wurden. Mit geeigneter Software können die Ergebnisse in Form eines sogenannten Sankey-Diagramms dargestellt werden, bei dem die einzelnen Kostenströme durch verschiedenfarbige Pfeile dargestellt sind und die Dicke der Pfeile die Höhe der Kosten abbildet.



Sankey-Diagramm: Materialflusskostenrechnung zum ArePron-Produktionsnetzwerk (stilisierte Abbildung)



Klimabilanzierung als Wettbewerbsvorteil - wie lassen sich Treibhausgasemissionen aus betrieblichen Ressourcen berechnen?

Der Klimaschutz wird zunehmend eine Kenngröße wirtschaftlicher Entscheidungen. Aus diesem Grund werden in ArePron die ermittelten materiellen betrieblichen Ressourcenverbräuche in Bezug auf ihre Relevanz für den Klimaschutz bewertet. Dies erfolgt durch Angabe von CO₂-Äquivalenten.

In unserer Tabelle finden Sie Berechnungsfaktoren für materielle betriebliche Ressourcen aus den Bereichen elektrische Energie, Druckluft, Kühlschmierstoff, Wasser und Betriebsstoffe, aber auch Abfall- und Abwasserbehandlung.

CO₂-ÄQUIVALENTE EINFACH BERECHNEN

Sie möchten erfahren, wie Sie die ermittelten Mengen der betrieblichen Ressourcen in CO₂-Äquivalente umrechnen können?



MEHR ERFAHREN

https://redaktion.hessen-agentur.de/publication/2021/3392_arepron_co2-faktoren.pdf

STATUS-QUO-ANALYSE

Für die Status-Quo-Analyse muss als Erstes der Systemrahmen festgelegt werden. Dieser hängt von der Fragestellung der Analyse ab: Soll die Effizienz eines Bearbeitungsprozesses untersucht werden oder soll ein ganzes Produktionsnetzwerk analysiert werden, z. B. im Hinblick auf die Belegungsplanung? Der einmal festgelegte Systemrahmen muss dokumentiert und für die gesamte Status-Quo-Analyse eingehalten werden, da sonst keine Vergleichbarkeit für ein Benchmarking oder ein zeitliches Monitoring gegeben ist.

Für den festgelegten Systemrahmen müssen nun Daten für Ressourcenverbräuche bereitgestellt werden. In ArePron wurden dazu Kategorien materieller betrieblicher Ressourcen definiert. Bei der beschriebenen Feinanalyse werden diese Ressourcenkategorien so weit wie möglich für alle einzelnen Bearbeitungsprozesse ermittelt und dann für das Produktionsnetzwerk aggregiert. Die nachfolgende Tabelle zeigt beispielhaft die Ressourcenkategorien für die Prozesse im ArePron-Produktionsnetzwerk.

Bearbeitungsprozesse			Ressourcenkategorie							
Fabrik	Bearbeitungsschritt	Anlage	Elektrische Energie	Druckluft	Kühlschmierstoff	Wasser, vollentsalzt	Prozessgase	Sonst. Betriebsstoffe	Abfallstoffe	Abwärme
CIP	Sägen	Kasto sba A2	x	x	x			x	x	x
	Drehen	Haas ST 10	x	x	x			x	x	x
	Fräsen	Haas MM2	x	x	x			x	x	x
	Reinigen	Kärcher PC100BIO	x					x	x	
ETA	Lasern	LaseBox	x						x	x
	Drehen / Fräsen	EMAG VLC 100Y	x	x	x			x	x	x
	Reinigen	MAFAC Java	x	x		x		x	x	x
	Reinigen	MAFAC KEA	x	x		x		x	x	x
	Lasern	cleanLASER	x						x	x
	Härten	IVA RH 655	x	x			x	x	x	x

ZUORDNUNG DER ROHDATEN

Die ermittelten Rohdaten können sich möglicherweise auf unterschiedliche Systemrahmen beziehen - je nachdem, welche Methode zur Verbrauchsdatenerfassung (kontinuierliche sensorgestützte Erfassung, temporäre/mobile Messung oder maschinenspezifische Betriebsdatenauswertung) angewandt wird.

Während eine sensorgestützte Erfassung des Stromverbrauchs klar einer Bearbeitungsmaschine zugeordnet werden kann, liegt möglicherweise der Verbrauch von Hilfsstoffen oder der Energiebedarf für Kühlung nur für mehrere Bearbeitungsprozesse aggregiert oder nur betriebsbezogen vor. In diesem Fall muss eine Zuordnung der Rohdaten solcher allgemein erfassten Verbräuche zu den einzelnen Bearbeitungsprozessen erfolgen.

AUTOMATISCHE SYSTEME ZUR BERECHNUNG

Die Zuordnung der Rohdaten zu den einzelnen Bearbeitungsprozessen kann dann als Rechengang in einem automatischen System hinterlegt oder in ein einfaches Tabellenkalkulationsprogramm implementiert werden.

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen können zudem die entsprechenden CO₂-Faktoren in die vorhandenen Instrumente der automatischen Auswertung oder des erstellten Kalkulations-Tools implementiert werden.

Um den Ressourcenverbrauch (bzw. das CO₂-Aufkommen) des gesamten Produktionsnetzwerks ermitteln zu können, werden die Verbräuche „bottom-up“ aufaddiert - und zwar für alle an der Produktion beteiligten Prozesse und für jede Ressourcenkategorie einzeln. Diese werden verursachergerecht dem entsprechenden Bauteil zugeordnet.

Bezogen auf eine einzelne Ressourcenkategorie (RessKatA) eines Bauteils:

$$\begin{aligned} & \text{RessKatA_Prozess1 (Bauteil i)} \\ & + \text{RessKatA_Prozess2 (Bauteil i)} \\ & + \dots \\ & = \text{RessKatA (Bauteil i)} \end{aligned}$$

Genauso können die ermittelten CO₂-Äquivalente aufaddiert werden. Dazu ist zu unterscheiden, in welchen Scope (siehe Seite 13) die CO₂-Emissionen entsprechend den gewählten Faktoren fallen: Wird nur die Nutzenphase betrachtet, werden die Faktoren entsprechend Scope 1 gewählt; für Scope 2 müssen noch die Aufwendungen der externen Energieerzeugung und der Transporte einbezogen werden. Um den gesamten Lebenszyklus zu berücksichtigen, sollten Scope-3-Faktoren gewählt werden. Dementsprechend kann der Beitrag des Produktionsnetzwerks zum jeweiligen Scope bestimmt werden.

Bezogen auf die resultierenden CO₂-Äquivalente (CO₂-eq.) eines Bauteils im jeweiligen Scope (ScopeX):

$$\begin{aligned} & \text{CO}_2\text{-eq.}_\text{ScopeX Prozess1 (Bauteil i)} \\ & + \text{CO}_2\text{-eq.}_\text{ScopeX Prozess2 (Bauteil i)} \\ & + \dots \\ & = \text{CO}_2\text{-eq.}_\text{ScopeX (Bauteil i)} \end{aligned}$$

Im Ergebnis kann eine Hot-Spot-Analyse von betrieblichen Ressourcenverbräuchen bzw. CO₂-Beiträgen erfolgen, indem der Anteil eines Prozesses am Gesamtverbrauch des Produktionsnetzwerks ermittelt wird.



„Durch die Anwendung mehrerer Analyse-Methodiken konnten wir in unserem Werk in Bad König unseren CO₂-Fußabdruck berechnen und dadurch erhebliche Verbesserungspotenziale identifizieren.“

Uwe Wolf,
Fertigungsleiter Jakob Maul GmbH

ERMITTLUNG DES RESSOURCENVERBRAUCHS

ELEKTRISCHE ENERGIE

Die Wirkleistung in Watt der jeweiligen Maschine wird mittels Messtechnik kontinuierlich erfasst. Aus den Datenreihen wird die durchschnittliche Wirkleistung pro Betriebsphase der Maschine, z.B. in der Bearbeitungsphase, ermittelt. Diese wird unter Berücksichtigung der Bearbeitungsdauer und der Losgröße in den benötigten Energiebedarf überführt, der für die Bearbeitung eines Bauteils auf einer Maschine benötigt wird.



DRUCKLUFT

Der Bedarf an Druckluft wird kontinuierlich mittels Volumenstromsensoren gemessen. Durch die Multiplikation mit der Bearbeitungsdauer des Bearbeitungsprozesses ergibt sich der Druckluftverbrauch für einen Bearbeitungszyklus. Können während eines Bearbeitungsvorgangs mehrere Bauteile bearbeitet werden (Losgröße > 1), muss der Gesamtprozessbedarf an Druckluft noch auf ein Bauteil bezogen werden.

WASSER

Die verbrauchte Menge an vollentsalztem Wasser (VE-Wasser) für die Reinigungsmaschinen wird durch einen Durchflusssensor kontinuierlich erfasst. Entsprechend der Bearbeitungszeit werden die Datenreihen zu einem kumulierten Verbrauchswert berechnet und (unter Berücksichtigung der Losgröße) auf ein Bauteil bzw. die funktionelle Einheit des Bearbeitungsprozesses bezogen.



KÜHLSCHMIERSTOFF (KSS)

Der Verbrauch an Kühlschmierstoff wird sowohl bei der Überflutungskühlschmierung als auch bei der Minimalmengenschmierung im Rahmen einer temporären mobilen Messung unter Berücksichtigung von maschinenspezifischen Informationen aus Betriebsdatenblättern ermittelt.

Obwohl das Kühlschmiermittel bei der Überflutungskühlschmierung bei den untersuchten Prozessen im Kreislauf gefahren wird, werden mit dem Spanaustrag auch gewisse Mengen an KSS aus dem Prozess ausgebracht. Dieser Austrag zusammen mit den anteiligen Mengen, die durch das regelmäßige Wechseln des KSS benötigt werden, ergibt den Verbrauch des KSS. Dieser kann entweder über eine Rückrechnung aus der Änderung des Füllstandes beim Betrieb der Maschine berechnet werden oder über die Ermittlung der anhaftenden KSS-Menge an den ausgebrachten Spänen. Da alle Maschinen mit Überflutungskühlschmierung wassermischbare KSS verwenden, werden hier das Mischverhältnis für KSS aus KSS-Öl und KSS-Wasser sowie die unterschiedlichen Dichten der verschiedenen Stoffe berücksichtigt. Der KSS-Verbrauch wird dann auf die Bearbeitung eines Bauteils bezogen. Bei der Minimalmengenschmierung entspricht der Verbrauch der für den Prozess benötigten KSS-Menge. Dieser Betriebsstoff ist hier als Verbrauchsmaterial anzusehen und wird nicht im Kreislauf gefahren.

Um die Ressourcenverbräuche der Maschinen vergleichen zu können, werden die unterschiedlichen Verbrauchsmaterialien festgelegten Ressourcenkategorien zugeordnet.

PROZESSGASE

Prozessgase werden nur für den Betrieb des Härteofens in der ETA-Fabrik benötigt. Hierbei werden die Mengen der Prozessgase Stickstoff und Erdgas kontinuierlich mittels Volumenstromsensoren erfasst. Entsprechend dem Druckluft- oder Wasserbedarf wird auf den Messreihen basierend der Gesamtbedarf für die Bearbeitungsdauer ermittelt. Dieser wird dann gemittelt sowie unter Anbetracht der Losgröße auf die benötigten Mengen pro Bauteil bezogen. Die Menge des in den Prozess gebrachten Ammoniak bestimmt sich durch ein vorher festgelegtes Programm der Maschine. Dadurch wird diese Menge als Ausgangswert für die Berechnung des Bedarfs pro Bauteil, wieder unter Berücksichtigung der Bearbeitungsdauer (Härteprozess) und der Losgröße, herangezogen.

SONSTIGE BETRIEBSSTOFFE

Unter die Ressourcenkategorie der sonstigen Betriebsstoffe werden für den Betrieb benötigte Verbrauchsmaterialien (z.B. Schmieröle oder Fette, Reinigungsmittel oder auch verschiedene Filtertypen) eingeordnet. Daten bezüglich der Mengen und Wechselintervalle werden durch temporäre Messungen, Expertenschätzungen oder maschinenspezifische Informationen aus Datenblättern bezogen. Zur Ermittlung der jeweils benötigten Mengen pro Bauteil bzw. funktionelle Einheit werden hier u. a. Wechselintervalle, die Betriebsdauer und die Losgröße berücksichtigt.



Foto: Sibylle Scheibner

ABFALLSTOFFE

Hierbei handelt es sich um Reststoffe, die nicht im geschlossenen Kreislauf geführt werden und nach einem entsprechenden Zeitintervall entsorgt werden müssen. Hierunter fallen beispielsweise Späne, Altöl oder Alt-KSS. Diese Mengen werden teilweise entweder äquivalent zum Inputstrom angenommen oder anteilig aus diesem berechnet, sofern es sich hierbei nicht um reine Verbrauchsmaterialien handelt (z.B. verschlissenes Werkzeug). Teilweise wurde auch auf Ergebnisse der temporären, mobilen Messungen zurückgegriffen (z.B. von KSS oder Spänen). Die Menge an Spänen, die bei den spanenden Bearbeitungsschritten anfallen, kann bspw. durch die Subtraktion vom Gewicht des Vorproduktes zum Gewicht des Produkts berechnet werden.

ABWÄRME

Die beim Betrieb der Maschine entstehende Abwärme (thermische Energie) kann aus der Menge an kontinuierlich ermittelter elektrischer Energie abgeleitet werden. Hier wird davon ausgegangen, dass 95 % der aufgewendeten elektrischen Energiemenge in thermische Energie umgewandelt und in die Umgebung abgegeben wird.

INPUT

OUTPUT

HOT-SPOT-ANALYSE

ERGEBNISSE AUS AREPRON

Während beispielsweise für die Ressourcenkategorie Kühlschmierstoff der Anteil des Drehprozesses (Haas ST-10) besonders hoch ist, ist es für die Ressourcenkategorie Prozessgase der Härteprozess (IVA RH 655) und für die Ressourcenkategorie elektrische Energie der kombinierte Dreh- und Fräsprozess (EMAG VLC 100Y).

In Bezug auf die verursachten CO₂-Äquivalente ergeben sich unterschiedliche Schlussfolgerungen, je nachdem, für welchen Scope (Betrachtungsrahmen) bilanziert werden soll.

Scope 1 und 2 sind die innerbetrieblichen Emissionen. Bei Scope 1 zählen alle Emissionen, die im Werk selbst durch bspw. Verbrennung von Erdgas oder Transport (innerhalb der Fabrik) entstehen. Scope 2 sind die Emissionen durch die verbrauchte Energie im Unternehmen.

SCOPE 1 UND 2

Bezieht man sich nur auf die Scopes 1 und 2, dann sind innerhalb des Produktionsnetzwerks zwei Effekte zu berücksichtigen. Zum einen die indirekten Emissionen durch den Energiebezug (Strom und Druckluft), zum anderen direkte Emissionen durch Treibhausgase. Letzteres ist prinzipiell denkbar beim Prozess Härten (IVA RH 655), ist jedoch vernachlässigbar. Deshalb ist das Ergebnis der Hot-Spot-Analyse nur durch den Energiebezug begründet. Hier zeigt sich, dass vor allem der kombinierte Dreh- und Fräsprozess (EMAG VLC 100Y) durch den hohen elektrischen Energie- und Druckluftbedarf den größten Treiber in Bezug auf die verursachten CO₂-Äquivalente innerhalb des Produktionsnetzwerkes darstellt, was an der Dauer des Bearbeitungsprogramms liegt und nicht an der Maschine selbst.

SCOPE GRAFIK SIEHE SEITE 13 !



TREIBER



Späne



Energie



Druckluft



Werkzeuge

CO₂

In ArePron konnten durch diese detaillierte Betrachtung die wesentlichen Treiber der Verbräuche auf Prozessebene ermittelt werden. Die Hot-Spots der materiellen betrieblichen Ressourcen sind je nach Ressourcenkategorie unterschiedlich.

SCOPE 3

Bezieht man sich auf Scope 3, dann sind entsprechend dem Lebenszyklusansatz auch die Vorketten, insbesondere zu Materialien und Infrastruktur, sowie die Entsorgung miteinzubeziehen.

Bei den **nichtspanenden Bearbeitungsverfahren** wie den Reinigungsprozessen und den Laserverfahren wird der größte Anteil der CO₂-Emissionen durch den elektrischen Energiebedarf bestimmt. Bei den Reinigungsprozessen ist festzuhalten, dass diese maßgeblich durch die zugrundeliegende Technologie beeinflusst werden. Nennenswerte Treiber können die Reinigungsflüssigkeit (Waschplatz, Kärcher PC1001BIO) oder der Druckluftbedarf (Spritz-Flut-Reinigungsverfahren, MAFAC JAVA und MAFAC KEA) sein.

Beim **Härteprozess** haben neben dem elektrischen Energiebedarf auch die großen Mengen an eingesetzten Prozessgasen (v. a. Stickstoff) einen relevanten Einfluss.¹

Bei den **spanenden Bearbeitungsverfahren** (Sägen, Drehen, Fräsen) hat die Menge an abgespanntem Material große Relevanz.² Dieses ist zwar grundsätzlich durch das zu fertigende Werkstück vorgegeben, aber durch präzise Fertigung des Rohlings nahe der Endkontur kann die absolute Spanmenge verringert werden. Nachgelagert sind der elektrische Energie- und Druckluftbedarf sowie der Werkzeugeinsatz als relevant einzustufen.

¹ Dies liegt v. a. darin begründet, dass die Stickstoffherstellung als solche sehr energieintensiv ist.

² Hier sind vor allem die energieintensiven Hintergrundprozesse zur Herstellung des Materials (Chromstahl) als wesentliche Ursache zu benennen.



REINIGEN



LASER-BESCHRIFTEN



Fotos: Gregor Schuster

HÄRTEN



Energie



Reinigungs-
mittel



Druckluft



Energie



Energie



Prozessgase

CO₂

CO₂

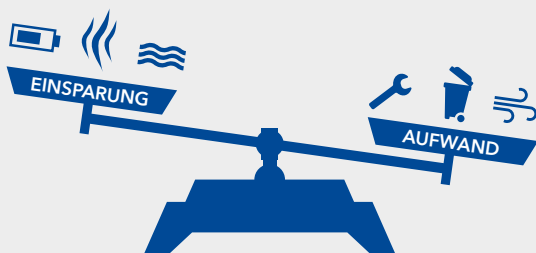
CO₂

MASSNAHMEN-ANALYSE

Um den Effekt von Maßnahmen auf die Ressourceneffizienz zu analysieren, wird der in einer Status-Quo-Analyse ermittelte Referenzzustand mit dem nach der Implementierung der Maßnahme erreichten Zustand verglichen.

Dazu müssen alle Veränderungen durch die Durchführung der Maßnahme erfasst und beschrieben werden. Wichtig ist es, sowohl die positiven Auswirkungen, also die Einsparung von Ressourcen, als auch mögliche negative Auswirkungen, also die Aufwände für die Durchführung einer Maßnahme, zu ermitteln. Solche Aufwände können beispielsweise dadurch entstehen, dass in agilen Produktionsnetzwerken Transporte zwischen verschiedenen Standorten erfolgen.

MASSNAHMEN-ANALYSE ZUR BEWERTUNG VON RESSOURCENEFFIZIENZ-POTENZIALEN



Aus dem Vorher-Nachher-Vergleich können sowohl die absoluten Veränderungen von Ressourcenverbräuchen als auch die Veränderung der Ressourceneffizienz, d. h. bezogen auf einen Nutzen, ermittelt werden. Diese werden entweder in der Einheit der betroffenen betrieblichen Ressourcen oder in Form der Umrechnung in CO₂-Äquivalente (CO₂-eq.) angegeben. Damit kann die Frage beantwortet werden, ob sich die betriebliche Ressourceneffizienz verbessert hat.

Foto: Nasimi Babaei/Shutterstock



NEHMEN SIE ALS UNTERNEHMER AKTIV AN FORSCHUNGSPROJEKTEN TEIL

Unternehmen aller Größen und Branchen profitieren von der Zusammenarbeit mit der TU Darmstadt. Zahlreiche Fachbereiche bieten die Möglichkeit zur Vernetzung von Wirtschaft und Wissenschaft.

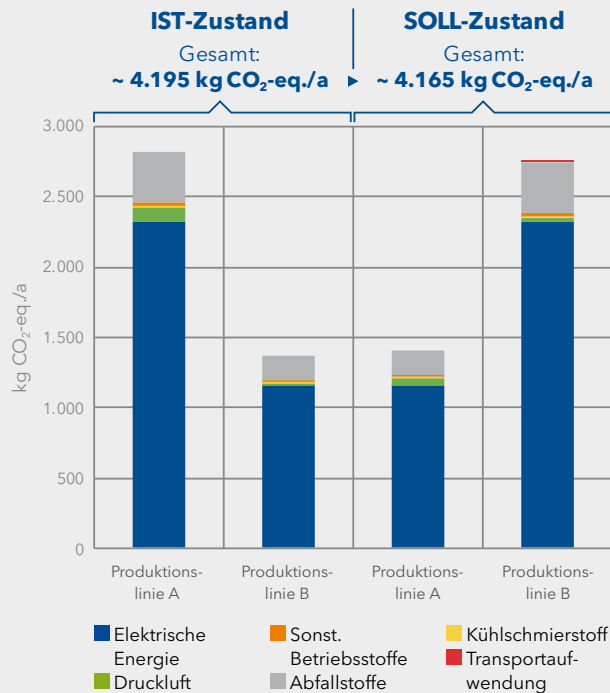


MEHR ERFAHREN
www.tu-darmstadt.de

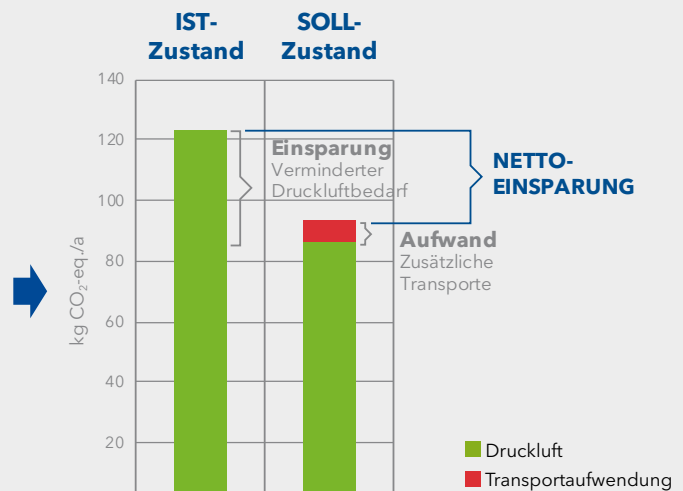
BEISPIEL: MASSNAHMEN-ANALYSE ZUR BETRIEBLICHEN RESSOURCENEFFIZIENZ - DRUCKLUFT

An zwei Produktionsstandorten X, Y betreibt das Unternehmen U die Produktionslinien A und B, diese fertigen jeweils ein Bauteil aus Chromstahl mit einem Gewicht von 150 kg (Nutzen) mittels desselben Drehprozesses. Im Vergleich zur Produktionslinie A wird in der Produktionslinie B der Druckluftverbrauch pro Bauteil durch den Einsatz einer effizienteren Druckluftpistole verringert. Die anderen Ressourcenaufwendungen (z.B. Energieverbrauch) bleiben durch die Maßnahme unberührt:

- Druckluftverbrauch Standort A: 112,5 l/Bauteil
- Druckluftverbrauch Standort B: 34,5 l/Bauteil



Während momentan die Produktionskapazitäten der Produktionslinie A mit 10.000 Bauteilen pro Jahr vollkommen ausgeschöpft sind, ist die effiziente Produktionslinie B nur zu 50 % bei einer jährlichen Gesamtkapazität von 10.000 Bauteilen ausgelastet. Zur Erhöhung der Ressourceneffizienz des gesamten Unternehmens sollen in Zukunft die Kapazitäten der Produktionslinie B voll ausgeschöpft werden. Zur Bewertung der Klimawirksamkeit der Maßnahme müssen neben den Einsparungen durch den geringeren Druckluftverbrauch auch die Aufwendungen für den zusätzlichen Transport¹ der Bauteile von Standort X zu Y mitberücksichtigt werden.



¹ Annahme:
Transportdistanz zwischen Produktionsstandort X und Y: 20 km
Transportmenge pro Fahrt (40-t-Lkw): 266 Bauteile

ERMITTLUNG DES AUFWANDS VON TRANSPORTPROZESSEN

In agilen Produktionsnetzwerken können zusätzliche Aufwände durch den Transport von Zwischenprodukten entstehen. Für eine einfache Abschätzung des Transportaufwands sind die folgenden Informationen erforderlich:

- Transportmittel
- Frachtgewicht
- Strecke

Wenn diese Informationen bekannt sind, dann können die entsprechenden spezifischen Emissionsfaktoren (UBA 2020b) zugeordnet werden:

Transportmittel	Emissionsfaktor (g CO ₂ -eq. ²)/tkm
Lkw ³	112
Güterbahn ⁴	18
Binnenschiff	31

2 CO₂-Äquivalente ausgedrückt in CO₂, CH₄ und N₂O

3 Lkw ab 3,5 t, Sattelzüge, Lastzüge

4 Emissionsfaktor basierend auf dem durchschnittlichen Strommix Deutschland



Die Aufwände, ausgedrückt in CO₂-Äquivalente (CO₂-eq.), werden dann einfach wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} & \text{Frachtgewicht [t]} \\ & \times \text{Strecke [km]} \\ & \times \text{Spez. Emissionsfaktor [(g CO}_2\text{-eq.)/(tkm)} \\ & = \text{Transportaufwand [g CO}_2\text{-eq.]} \end{aligned}$$

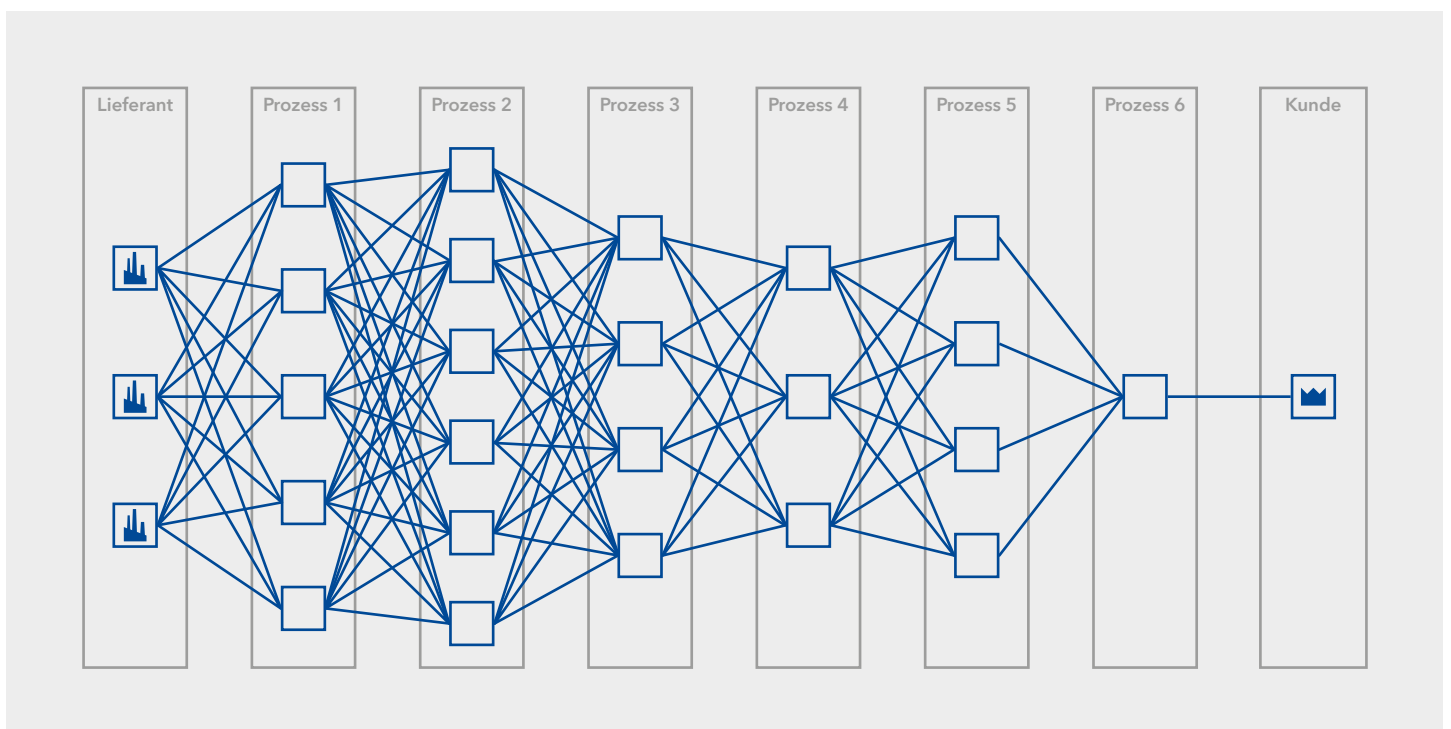


„ArePron hat sehr erfolgreich gezeigt, wie mit den heutigen technologischen Möglichkeiten ressourceneffiziente Produktionsnetzwerke aufgebaut werden können - die Herausforderung besteht nun darin die etablierten Softwareanbieter davon zu überzeugen, diese Ansätze in ihre Lösungen zu integrieren.“

Maximilian Politschek,
Globaler Direktor Operations, Weiss Technik

RESSOURCEN- OPTIMIERTE MASCHINENBELEGUNG

In einer Produktion oder einem Produktionsnetzwerk können für artgleiche Bearbeitungsschritte mehrere Arbeitsplätze oder Maschinen zur Verfügung stehen. In diesem Fall stellt sich die Frage, auf welcher der parallelen Ressourcen ein Produktionsauftrag gefertigt werden sollte.



Beispielhafte Konfiguration eines Produktionsnetzwerks

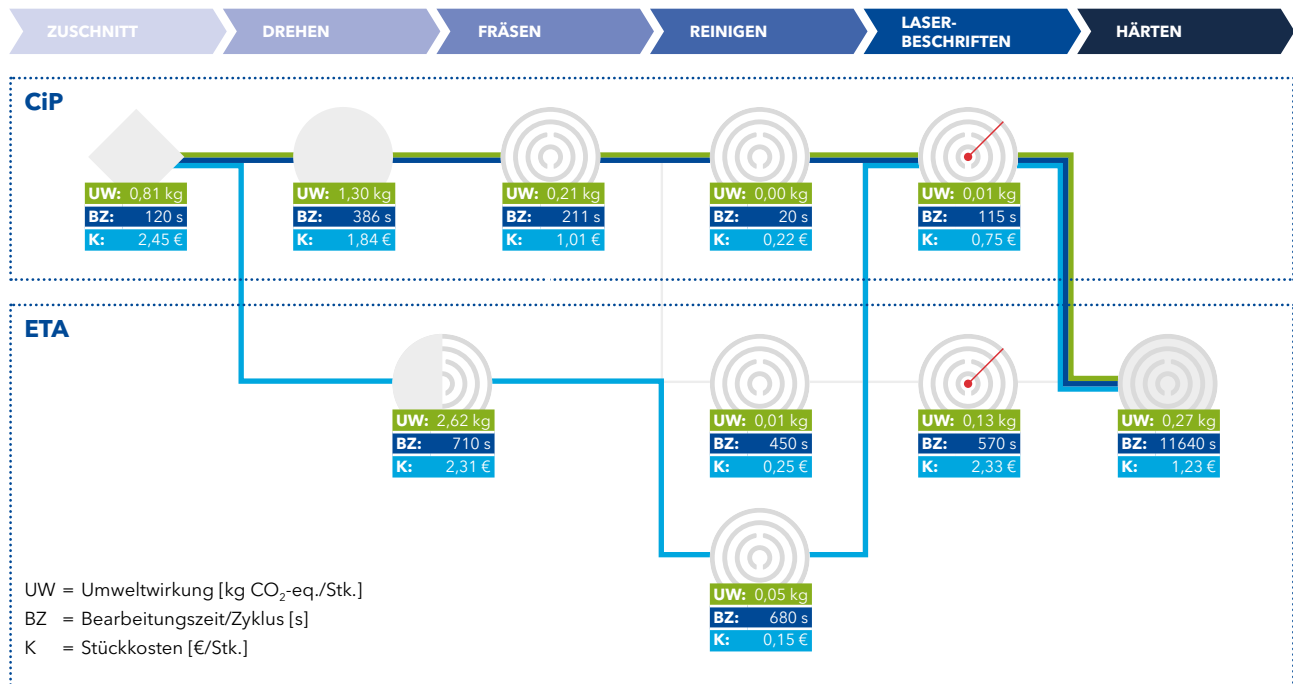
Die Belegungsplanung, und damit die Festlegung des Produktionspfades für ein Bauteil, ist Aufgabe der Produktionssteuerung.

Während traditionelle Planungsansätze das Ziel einer kosten- oder zeitoptimierten Maschinenbelegung verfolgen, wird durch die ressourcenoptimierte Maschinenbelegung eine größtmögliche Ressourceneffizienz ermöglicht. Die Bewertung der einzelnen Umweltwirkungen findet hierbei auf Basis vergangener Verbräuche statt.

Wie in der Abbildung oben illustriert, ergibt sich allerdings bereits bei wenigen Produktionsschritten eine große Anzahl möglicher Pfade durch die Produktion, wodurch eine vollständige Bewertung aller möglichen Pfade erschwert werden kann. Im abgebildeten Beispiel ergäben sich 4.320 theoretisch mögliche Produktionspfade.

In einem Produktionsumfeld mit kurzen Transporten empfiehlt es sich, für jeden Bearbeitungsprozess einfach den ressourceneffizientesten Arbeitsplatz zu wählen. Für komplexere Produktionsnetzwerke mit aufwändigen Transporten hingegen empfiehlt sich der Einsatz eines dynamischen Optimierungsmodells.

AREPRON – BEWERTUNG ALLER PRODUKTIONSRESSOURCEN



Das ArePron-Produktionsnetzwerk mit Bewertungen der drei Produktionsressourcen Umweltwirkung, Bearbeitungszeit und Stückkosten

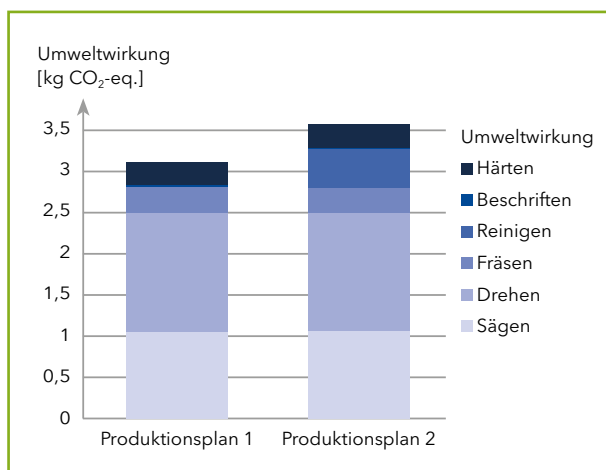
Das Produktionsnetzwerk ArePron hat gezeigt: Durch die Umsetzung der in Kapitel 3 dargestellten Methoden zur durchgängigen Transparenzschaffung können alle Maschinen separat hinsichtlich ihrer Umweltwirkung bewertet werden. Da sowohl Zykluszeiten als auch Stückkosten für jede Produktionsressource bekannt sind, ist zudem ein Vergleich der Belegungsplanung mit diesen traditionellen Zielgrößen im Projekt möglich. Die Abbildung oben zeigt in einer Gesamtübersicht die Durchschnittswerte der jeweiligen Zielfunktionswerte pro Maschine. Die Transporte zwischen den Fabriken werden nur in den Zielfunktionen Durchlaufzeit und Stückkosten berücksichtigt. Durch die räumliche Nähe der beiden Fabriken erfolgt der Transport mittels Rollwagen, dem als Transportmittel keine Umweltwirkung in CO₂-Äquivalenten (CO₂-eq.) zuzuordnen ist.

	Gesamtergebnisse der Maschinenbelegung pro Bauteil		
	ressourcen-optimiert	zeit-optimiert	kosten-optimiert
Umweltwirkung in CO ₂ -Äquivalenten	2,60 kg	2,60 kg	3,76 kg
Bearbeitungszeit/Stück	1258 s	1258 s	1860 s
Stückkosten	7,57 €	7,57 €	7,13 €

Die Tabelle oben fasst für dieses Standardszenario die Resultate der Optimierung des Belegungsplans nach allen betrachteten Zielgrößen zusammen. Hierbei zeigen sich erhebliche Abweichungen in Abhängigkeit des Optimierungsziels. Im Vergleich zur stückkosten-optimierten Maschinenbelegung wird durch die Optimierung nach Ressourceneffizienz eine Reduktion der Gesamtumweltwirkung um ca. 31 % erreicht. Da die Berechnung der Umweltwirkung pro Bauteil auf Basis der Ökobilanz erfolgt, wird in diesem Vorgehen auch die maschinenunabhängige Umweltwirkung des eingesetzten Materials berücksichtigt.

Diese fällt unabhängig von der Wahl des Maschinenbelegungsplans an. Wird in ArePron nur die dem Belegungsplan zugeordnete Umweltwirkung betrachtet, wird sogar eine Einsparung von ca. 52 % erreicht. Die Optimierungen nach Ressourceneffizienz und Durchlaufzeit resultieren in der identischen Maschinenbelegung, wodurch sich keine abweichende Umweltwirkung ergibt.

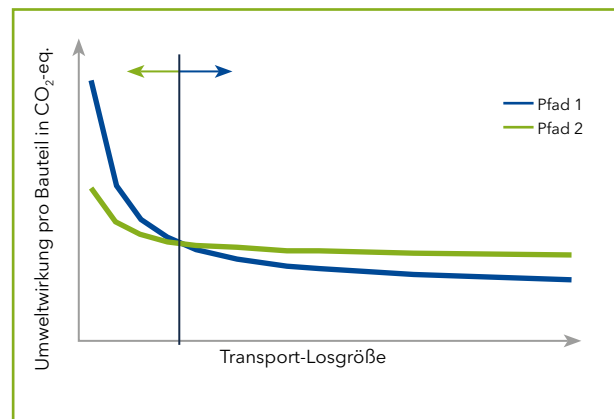
Die in ArePron aufgenommenen Produktionsdaten ermöglichen eine rückblickende Bewertung der Produktionsplanung. In einer Produktionswoche wurden zwei Produktionspläne mit unterschiedlichen Zielen aufgestellt. Produktionsplan 1 verfolgt das Ziel einer möglichst **ressourceneffizienten Produktion**, Produktionsplan 2 zielt auf eine möglichst **kostenoptimale Produktion**. Im direkten Vergleich zeigen sich die Unterschiede der durch unterschiedliche Planung aufgewendeten Umweltwirkung in der Produktion. Die Abbildung unten zeigt die mittlere bauteilbezogene Umweltwirkung der nach den beiden Plänen produzierten Bauteile. In der Auswertung wurde deutlich, dass die größte Umweltwirkung aus den spanenden Prozessen resultiert, der wesentliche Unterschied im dargestellten Beispiel aber in einer anderen Maschinenbelegung zur Reinigung begründet liegt.



Vergleich der mittleren bauteilbezogenen Umweltwirkung für zwei Produktionspläne

Um den Einfluss des Transports auf die optimale Pfadwahl zu untersuchen, wurde ebenfalls ein Szenario betrachtet, in dem die beiden Fabriken einen Kilometer voneinander entfernt sind. In diesem Fall ist auch die Umweltwirkung des Transports für die Wahl des Pro-

duktionspfades zu berücksichtigen. Im Falle eines Kleintransporters entspricht diese 1,84 kg CO₂-eq. pro Tonne und Kilometer. Da die bauteilbezogene Umweltwirkung des Transports mit steigender Transport-Losgröße abnimmt, wird ab einer bestimmten transportierten Menge ein Produktionspfad mit weniger Transporten zur ressourceneffizientesten Alternative. Links der eingezeichneten Markierung wäre Pfad 2 effizienter, rechts der Markierung hätte Pfad 1 die geringere Umweltwirkung.



Auswirkung der Transport-Losgröße auf Umweltwirkung und Maschinenbelegung

Mit dem vorgestellten Ansatz zur Bewertung der Umweltwirkung der Maschinenbelegung im Netzwerk besteht weiterhin die Möglichkeit, finanzielle Auswirkungen von Ressourcenverbräuchen im bestehenden Optimierungsproblem zu untersuchen. So kann zum Beispiel die verbrauchsabhängige CO₂-Bepreisung in die Berechnung der Stückkosten integriert werden. Die verfügbaren Daten zur bauteilspezifischen Umweltwirkung pro Maschine sind dazu mit einem CO₂-Preis pro kg zu verknüpfen. Das Ergebnis fließt zusätzlich zum jeweiligen Maschinenstundensatz, zu den Personal- und Energiekosten sowie den Transport- und Materialkosten in die Zielfunktion der Stückkosten ein. Die Berechnung der Umweltwirkung auf Basis der Ökobilanz ist in diesem Fall an etwaige gesetzliche Vorgaben anzupassen, so dass relevante Einflussfaktoren rein prozessbezogen zur Berechnung der CO₂-Kosten herangezogen werden.

Die Untersuchung dieser monetären Einflüsse des CO₂-Verbrauchs wird aufgrund der aktuellen politischen Diskussion immer relevanter. Insbesondere für energieintensive Fertigungsverfahren kann der CO₂-Preis auch die kostenoptimale Maschinenbelegung beeinflussen.



05



Foto: NDAB Creativity/Shutterstock

UMSETZUNG VON RESSOURCEN- EFFIZIENZ- MASSNAHMEN

Pläne haben, Ziele definieren,
Wege gehen und Erfolge feiern -
ressourcenoptimierte Produktions-
prozesse rechnen sich und
leisten einen großen Beitrag zum
Umweltschutz.

MASSNAHMEN ZUR STEIGERUNG
DER RESSOURCENEFFIZIENZ

S. 58

MASSNAHMEN ZUR STEIGERUNG DER **RESSOURCENEFFIZIENZ**

Natürliche Rohstoffe sind wertvoll und vor allem endlich. Die bewusste und verantwortungsvolle Nutzung steht daher schon heute und vor allem in Zukunft im Vordergrund moderner erfolgreicher Produktionsverfahren. Jedes Unternehmen ist Teil des Prozesses, steht im globalen Wettbewerb und vor der spannenden Aufgabe, aktiv Maßnahmen zu ergreifen, Abläufe zu verändern und Verfahren stetig zu optimieren. Ressourcen schonen, um ökonomische, soziale sowie ökologische Unternehmensziele zu erreichen, ist der richtige und wichtige Weg für Mensch und Natur.



Foto: Jan Hosan

GERINGER AUFWAND

SCHRITT FÜR SCHRITT
RESSOURCEN EINSPAREN



Foto: Jan Hosan

VERBESSERUNG DER DÄMMUNG

SIE SPAREN: ERDGAS, ELEKTRISCHE ENERGIE,
THERMISCHE ENERGIE

Der Einsatz von Dämmmaterialien zur Minimierung von Abwärme in der Produktion spart zum einen Energie und Ressourcen zum Heizen der Produktumgebung, zum anderen wird aber auch Energie zur Klimatisierung gespart, wenn die Abwärme nicht unkontrolliert in die Halle gelangt. Durch eine zusätzliche Dämmschicht lassen sich beispielsweise bei Härteöfen **10 % Erdgas** zum Aufheizen der Brennkammer einsparen, zusätzlich wird die **Abwärme in die Halle um 90 % reduziert** (Abele et al. 2018).

AUFWAND: GERING



Foto: Love the wind/Shutterstock

WECHSEL DES HYDRAULIKÖLS

SIE SPAREN: ELEKTRISCHE ENERGIE

Die Zusammensetzung von Hydraulikölen und insbesondere die hinzugefügten Additive haben einen signifikanten Einfluss auf den Energieverbrauch von Hydraulikaggregaten. Im ArePron-Projekt wurden in Zusammenarbeit mit Evonik umfangreiche Versuche an unterschiedlichen Produktionsmaschinen durchgeführt. Es wurde gezeigt, dass durch eine intelligente Auswahl des Hydrauliköls **bis zu 27 % der Energie des Aggregats gespart** werden können (Makansi et al. 2020). Da Hydrauliköle in der Regel ohnehin nach wenigen Jahren erneuert werden, hat eine solche Effizienzmaßnahme eine geringe Amortisationsdauer.

AUFWAND: GERING



Foto: Gregor Schuster

MASCHINENABSCHALTUNG IN NEBENZEITEN

SIE SPAREN: ELEKTRISCHE ENERGIE,
KSS, DRUCKLUFT

Nach Möglichkeit sollten Maschinen in Nebenzeiten wie am Wochenende oder auch in (längeren) Pausen abgeschaltet werden. Dadurch können nicht nur **elektrische Energie**, sondern auch andere **Ressourcen wie Kühlschmierstoff oder Druckluft** eingespart werden – und häufig ist es hier schon mit der einfachen Betätigung des Hauptschalters getan.

Neben den Maschinen gilt dies bspw. auch für Förderbänder, die in Zeiten ohne Materialtransport abgeschaltet oder ggf. generell durch Schwerkraftförderer ohne Energiebedarf ersetzt werden sollten (Abele et al. 2018).

AUFWAND: GERING

MODERATER AUFWAND

**DAS ZIEL IST IN SICHT -
WEITER GEHT'S ...**



Foto: Jan Hosan

EFFIZIENTE PROZESSGESTALTUNG

**SIE SPAREN: ELEKTRISCHE ENERGIE,
REINIGUNGSMITTEL, THERMISCHE ENERGIE**

Eine effiziente Prozessgestaltung ist zwar meist mit einer Änderung in der Programmierung verbunden, die Einsparungen werden aber ohne jeglichen Einfluss auf die Bauteilqualität erzielt. Bei Reinigungsprozessen bspw. lassen sich durch die Variation der Reinigungsdauer, der Konzentration des Reinigungsmittels, der Temperatur des Reinigungsbad sowie der mechanischen Bewegung erheblich Ressourcen einsparen, wenn diese Parameter optimal auf das Bauteil abgestimmt werden (Abele et al. 2018).

AUFWAND: MITTEL



Foto: Gregor Schuster

AUSTAUSCH VON DRUCKLUFTSCHRAUBERN

SIE SPAREN: ELEKTRISCHE ENERGIE, DRUCKLUFT

Druckluft ist durch die benötigte, verlustbehaftete Umwandlung von Energie bei vielen Anwendungen sehr ineffizient – dies gilt bspw. bei Druckluftschraubern, welche sich durch ein mittleres Invest gegen deutlich effizientere elektrische Schrauber ersetzen lassen.

AUFWAND: MITTEL



Foto: Gregor Schuster

AUSSCHUSSMINIMIERUNG

**SIE SPAREN: ROHMATERIAL, ELEKTRISCHE ENERGIE,
DRUCKLUFT, KSS, SONST. BETRIEBSSTOFFE**

Bei Bauteilen, die letztlich als Ausschuss anfallen, werden nicht nur die Materialien selbst verschwendet, sondern auch die Ressourcen, die zuvor in die Produktion des Ausschussbauteils geflossen sind. Ein verbessertes Qualitätsmanagement und die Überprüfung der Prozesse hinsichtlich einer Minimierung des Ausschusses bergen aus diesem Grund hohes Ressourceneinsparpotenzial.

AUFWAND: MITTEL

HOHER AUFWAND

MIT GRÖSSTEM EINSPARPOTENZIAL



EINSATZ EFFIZIENTERER TECHNOLOGIE

**SIE SPAREN: ROHSTOFFE, ELEKTRISCHE ENERGIE,
DRUCKLUFT, KSS, ERDGAS**

Der Austausch von bestehenden Aggregaten durch effizientere Technologien (z. B. Brennwertechnik) ist meist mit höheren Investitionen verbunden. Bei Geräten wie Schaltschrank- oder Maschinenkühlern amortisieren sich effizientere Geräte aber häufig schon in unter zwei Jahren (Abele et al. 2018). Bei größeren Zeitspannen, wenn bspw. effizientere Druckluftkompressoren mit Drehzahlregelung eingesetzt werden sollen, lohnt sich der Blick zu möglichen Förderprogrammen (siehe Seite 64 ff.).

**AUFWAND: HOCH
MIT GRÖSSTEM EINSPARPOTENZIAL**



THERMISCHE VERNETZUNG

SIE SPAREN: ELEKTRISCHE ENERGIE

Abwärme in anderen Prozessen sinnvoll einzusetzen, birgt häufig das größte Einsparpotenzial in einer Produktion. Die dafür notwendige Vernetzung ist häufig mit Investitionen verbunden, das Potenzial lässt sich aber vorher gut abschätzen, zum Beispiel durch eine thermische Energiediagnose (Abele et al. 2018).

**AUFWAND: HOCH
MIT GRÖSSTEM EINSPARPOTENZIAL**



EINFÜHRUNG EINES ENERGIE- ODER UMWELT- MANAGEMENTSYSTEMS

SIE SPAREN: AN ALLEN RESSOURCEN

Wie im Leitfaden bereits ausgeführt, ist Transparenz über die Ressourcenverbräuche der Schlüssel zu einer ressourcenoptimierten Produktion. Energie- und Umweltmanagementsysteme können helfen, Verbräuche kontinuierlich zu erfassen und so immer wieder neue Verbesserung zu identifizieren. Grundlagen bilden hier die Normen DIN EN ISO 14001 und 50001.

**AUFWAND: HOCH
MIT GRÖSSTEM EINSPARPOTENZIAL**



FÖRDER- UND BERATUNGS- MÖGLICHKEITEN

Das Land Hessen bietet innovativen Unternehmen viele Förder- und Beratungsmöglichkeiten, damit gute Ideen schnell und effizient umgesetzt werden können - für eine bessere Zukunft.

JETZT INFORMIEREN
ZU BERATUNG UND FÖRDERUNG

S. 64

JETZT INFORMIEREN ZU **BERATUNG UND FÖRDERUNG**



Möchten Sie Ihre Produktion ressourcenschonender und effizienter gestalten? Hessische Unternehmen, die umweltfreundlich produzieren, werden belohnt! Das Land Hessen und seine Partner bieten Unternehmen ein breites Spektrum an Beratungs- und Unterstützungsangeboten.



Foto: kan_chana/Shutterstock

PIUS-FÖRDERSYSTEM

„PIUS-Beratung“ und das „PIUS-Fördersystem“ fördern den produktionsintegrierten Umweltschutz (PIUS) und die Senkung von CO₂-Emissionen.

Zentraler Bestandteil der PIUS-Förderung ist die finanziell geförderte Beratung für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in Hessen aus Produktion, Handel und Dienstleistung. Im Fokus stehen konkrete Prozess- und Organisationsinnovationen, die den Verbrauch an Energie, Wasser, Luft sowie Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen verringern und somit den Ausstoß von Schadstoffen senken.

Die praktische Organisation der Beratung liegt dabei in den Händen der RKW Hessen GmbH. Sie betreut die Förderteilnehmer und vermittelt geeignete unabhängige Berater. Die PIUS-Beratung kann mit maximal 600 Euro (650 Euro in EFRE-Vorranggebieten) pro Tag gefördert werden, insgesamt maximal 10 Beratungstage je Projekt. Dabei werden maximal 50 Prozent des Beraterhonorars erstattet. Die Förderung kann pro Unternehmen bis zu 12.000 Euro (13.000 Euro in EFRE-Vorranggebieten) innerhalb von 3 Jahren betragen.

Nach einer umfassenden Analyse aller betrieblichen Abläufe werden Unternehmen auf Wunsch auch bei der Antragstellung zur PIUS-Förderung bzw. der Zertifizierung, als Basis für weitere Förderungen, aktiv unterstützt. Im Ergebnis können hessische Unternehmen effizienter produzieren, gleichzeitig Kosten senken und die Umwelt schützen. Das PIUS-Programm ist eine Initiative des Hessischen Wirtschaftsministeriums, kofinanziert durch Mittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung.



MEHR ERFAHREN

www.technologieland-hessen.de/hessen-pius

INNOVATIONSKREDIT

Der Innovationskredit Hessen unterstützt innovative sowie schnell wachsende mittelständische Unternehmen und Gründer auf ihrem Weg in Richtung Zukunft. So können beispielsweise materielle und immaterielle Investitionen in Digitalisierungsvorhaben finanziert werden. Auch Unternehmensübertragungen sind förderfähig. Der Innovationskredit unterstützt bis zu 100 % der förderfähigen Ausgaben in Form zinsgünstiger Förderkredite – zwischen 100.000 Euro und 7,5 Millionen Euro.

Der Innovationskredit Hessen ist kombinierbar mit dem PIUS-Förderprogramm.



MEHR ERFAHREN

[www.wibank.de/
innovationskredit-hessen](http://www.wibank.de/innovationskredit-hessen)

DISTR@L

Gemeinsam mit dem Land Hessen Gegenwart und Zukunft gestalten. Distr@L bietet mit seinen vier Förderlinien aus den Bereichen digitaler Innovationsprojekte, Forschung und Entwicklung sowie Wissens- und Technologietransferprojekte im digitalen Kontext ein bedarfsgerechtes Förderprogramm für hessische Unternehmen.

Gefördert werden Einzel- und Verbundvorhaben, insbesondere auch produzierende Unternehmen, themenoffen mit dem Fokus auf digitale anwendungsbezogene Vorhaben, die den aktuellen Stand der Technik signifikant erhöhen.



MEHR ERFAHREN

[www.digitales.hessen.de/digitale-
zukunft/distral-foerderprogramm](http://www.digitales.hessen.de/digitale-zukunft/distral-foerderprogramm)

LOEWE

Das hessische Forschungsförderprogramm LOEWE (Landes-Offensive zur Entwicklung wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz) unterstützt innovative Verbundprojekte zwischen KMU und Hochschulen bzw. Forschungseinrichtungen.

Im Fokus steht die Vernetzung von Wissenschaft, außeruniversitärer Forschung und Wirtschaft mit der Zielsetzung, die hessische Forschungslandschaft nachhaltig zu stärken und innovative Impulse zu setzen. Das Programm der Hessischen Landesregierung steht allen Branchen und Technologie-Bereichen offen – von Automotive und Biotechnologie über Logistik sowie Produktions- und Verfahrenstechnologie etc. Die Projektlaufzeit beträgt ein bis drei Jahre, bis zu 500.000 Euro pro Vorhaben können bezuschusst werden.



MEHR ERFAHREN

[www.innovationsfoerderung-hessen.de/
loewe-foerderlinie-3](http://www.innovationsfoerderung-hessen.de/loewe-foerderlinie-3)

WIRTSCHAFTS- UND INFRA-STRUKTURBANK HESSEN (WIBank)

Als Förderbank des Landes Hessen hat die WIBank alle Angebote zu öffentlichen Fördermitteln des Landes, des Bundes und der EU im Blick – ob Förderkredite, öffentliche Bürgschaften, Beteiligungen oder Zuschüsse, eine Vielzahl von Programmen steht zur Auswahl.

Neben guten Ideen und einem passenden Plan sollten erfolgreiche Unternehmen wissen, worauf es ankommt. Wie viel Geld wird für die Umsetzung welcher Ideen benötigt? Wie hoch ist der individuelle Finanzierungsbedarf? Können Fördermittel beantragt werden? Und gibt es schon einen schriftlichen Business- oder Finanzplan?

Die WIBank-Experten sind spezialisiert auf die Beratung von Unternehmen und Gründern, sie arbeiten unabhängig und kostenfrei. Sie stehen in einem persönlichen Gespräch mit Rat und Tat zur Seite – ob telefonisch oder im Rahmen der Unternehmenssprechtage, die regelmäßig in allen hessischen Regionen zusammen mit verschiedenen Regionalpartnern angeboten werden.



MEHR ERFAHREN

[www.wibank.de/wibank/
diewibank/foerderberatung-hessen](http://www.wibank.de/wibank/diewibank/foerderberatung-hessen)

ENTERPRISE EUROPE NETWORK (EEN)

Das EEN-Netzwerk Hessen umfasst über 600 wirtschaftliche Organisationen in mehr als 60 Ländern und unterstützt hessische KMU mit internationalem Fokus. Die Beratung zu vielfältigen Themen, wie z.B. EU-Förderprogramme, Innovationsmanagement und Internationalisierung, kann dank Förderung durch die Europäische Kommission und durch regionale Kofinanzierung größtenteils kostenfrei angeboten werden.

Die Europäische Union unterstützt Unternehmen und Forschungseinrichtungen mit einer Vielzahl von Förderprogrammen und Finanzierungsinstrumenten. So werden neben Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auch Projekte im Bereich der Aus- und Weiterbildung, der Umwelt oder der Erschließung neuer Märkte von der EU gefördert.

Durch Innovationen gelingt es Unternehmen, wertvolle Wettbewerbsvorteile und Marktanteile zu erlangen. Das EEN Hessen bietet konkrete Hilfestellung zur Verbesserung der Innovationsleistung und damit zur Erreichung der Unternehmensziele.



MEHR ERFAHREN

www.een-hessen.de

TECHNOLOGIELAND HESSEN

Informieren, beraten, vernetzen: Das Technologieland Hessen unterstützt Unternehmen dabei, zukunftsweisende Innovationen zu entwickeln. Wir entfalten wirtschaftliche Potenziale, machen technologische Spitzenleistungen sichtbar und profilieren damit Hessen als Technologie- und Innovationsstandort. Umgesetzt wird das Technologieland Hessen von der Hessen Trade & Invest GmbH im Auftrag des Hessischen Wirtschaftsministeriums.

RESSOURCENEFFIZIENZ & UMWELTECHNOLOGIEN

Im Innovationsfeld Ressourceneffizienz & Umwelttechnologien informieren, beraten und vernetzen wir zu folgenden Themen: Ressourceneffizienz und Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS), Umwelttechnologien sowie Kreislaufwirtschaft und umweltgerechtes Design. Wir unterstützen den Wandel hin zu einer nachhaltigen Wirtschaft und sind Ansprechpartner für Anbieter und Anwender entsprechender Technologien.



DR. FELIX KAUP
Themenfeldleiter
Industrial Technologies
Tel.: +49 611 95017-8636
E-Mail: felix.kaup@htai.de



DAGMAR DITTRICH
Projektmanagerin
Ressourceneffizienz &
Umwelttechnologien
Tel.: +49 611 95017-8645
E-Mail: dagmar.dittrich@htai.de



DR. SVANTJE HÜWEL
Projektleiterin
Smart Production
Tel.: +49 611 95017-8231
E-Mail: svantje.huewel@htai.de



NICOLE HOLDERBAUM
Projektmanagerin
Smart Production
Tel.: +49 611 95017-8624
E-Mail: nicole.holderbaum@htai.de



MEHR ERFAHREN
www.technologieland-hessen.de

LITERATURVERZEICHNIS

Abele, Eberhard; Schneider, Jens; Maier, Andreas (Hrsg.) (2018): ETA - die Modell-Fabrik. Energieeffizienz weiter gedacht. Darmstadt: ETA.

Blesl, Markus; Kessler, Alois (2018): Energieeffizienz in der Industrie. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Vieweg.

BMU (2020): Klimaschutzbericht 2018 zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutzbericht_2018_bf.pdf, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

Busch, Timo; Johnson, Matthew; Pioch, Thomas (2020): Corporate carbon performance data: Quo vadis? In: Journal of Industrial Ecology. DOI: 10.1111/jiec.13008.

Campitelli, Alessio; Cristóbal, Jorge; Fischer, Julia; Becker, Beatrix; Schebek, Liselotte (2019): Resource efficiency analysis of lubricating strategies for machining processes using life cycle assessment methodology. In: Journal of Cleaner Production 222, S. 464-475. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.03.073.

CDP (2017): CDP Climate Change Report 2017 - DACH 350+ Edition. Wer stellt sich der Verantwortung? Klimaperformance, Risiken und Chancen der Kapitalmarktunternehmen in der DACH-Region. Hg. v. Carbon Disclosure Project. Online verfügbar unter <https://6fefcbb86e61af1b2fc4-c70d8ead6ced550b4d987d7c03fcdd1d.ssl.cf3.rackcdn.com/cms/reports/documents/000/002/772/original/UK-edition-climate-change-report-2017.pdf?1508938994>, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

CDP (2020): The A List 2019. Hg. v. Carbon Disclosure Project. Online verfügbar unter <https://www.cdp.net/en/companies/companies-scores>, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

Hessen Trade & Invest GmbH (Hrsg.) (2021): Produzieren mit dem Internet of Things - Ihre Verbindung zur Zukunft - Wegweiser für kleine und mittelständische Unternehmen. Praxisleitfaden des Technologieland Hessen erstellt mit Czwick, Cordula; Kugler, Stefan. Online verfügbar unter https://redaktion.hessen-agentur.de/publication/2021/3393_leitfaden_iot-plattformen_2021_web.pdf, zuletzt geprüft am 15.04.2021.

DEHSt (2020): Nationales Emissionshandelssystem. Hintergrundpapier. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter https://www.dehst.de/Shared-Docs/downloads/DE/nehs/nehs-hintergrundpapier.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

econ solutions GmbH (2015): Energiedatenanalyse. Schnell und einfach Lastgänge analysieren. Unter Mitarbeit von Stephan Theis. Online verfügbar unter https://www.ie-messe.de/images/pdf/Energiedatenanalyse-econ_solutions-StephanTheis.pdf, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

EHA (2020): Was ist ein Carbon Accounting System? Hg. v. EHA | Energie, Messung, Controlling und Beratung. Online verfügbar unter <https://www.eha.net/blog/details/was-ist-ein-carbon-accounting-system.html>, zuletzt aktualisiert am 06.10.2020, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

DIN EN ISO 50001, 2011: Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung.

Erhardt, Reiner; Pastewski, Nico (2010): Relevanz der Ressourceneffizienz für Unternehmen des produzierenden Gewerbes. Ergebnisse der Datenerhebung über die Relevanz des Themas Ressourceneffizienz im produzierenden Gewerbe Deutschlands. Stuttgart: Fraunhofer-Verl. Online verfügbar unter http://www.iao.fraunhofer.de/images/iao-news/studie_relevanz_resourceneffizienz.pdf, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

Flick, Dominik; Kuschicke, Felix; Schweikert, Marcelo; Thiele, Thomas; Panten, Niklas; Thiede, Sebastian; Herrmann, Christoph (2018): Ascertainment of Energy Consumption Information in the Age of Industrial Big Data. In: Procedia CIRP 72, S. 202-208. DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.122.

Global Carbon Project (Hrsg.) (2019): Supplemental data of Global Carbon Budget 2019. Unter Mitarbeit von Pierre Friedlingstein, Matthew Jones, Michael O'Sullivan, Robbie Andrew, Judith Hauck, Glen Peters et al. Online verfügbar unter: <https://essd.copernicus.org/articles/11/1783/2019/essd-11-1783-2019.pdf>, zuletzt geprüft am 14.04.2021

Grudde, Bastian; Paffen, Jennifer Anne; Christmann, Mathias (2020): Klimakennzahlen als Zukunftsindikatoren im Portfoliomanagement. Hg. v. Union Investment Institutional GmbH. Online verfügbar unter <https://institutional.union-investment.de/dam/jcr:3a9f-dee6-ea9d-4c70-9f3b-749c77f73862/KlimakennzahlenalsZukunftsindikatorenimPortfoliomanagement.pdf>, zuletzt geprüft am 14.04.2021

Günther, Edeltraud; Stechemesser, Kristin (2010): Carbon Controlling. In: Controlling & Management. 54 (1), S. 62-65. DOI: 10.1007/s12176-010-0016-0.

GUTcert (Hrsg.) (2018): In 18 Schritten über 3 Stufen zum effizienten Energiemanagement nach ISO 50001. Ein Leitfaden für Einsteiger. 5. Aufl. Unter Mitarbeit von Jan Uwe Lieback, Jochen Buser, Yulia Felker, Nico Behrendt und Lukas Wagner. Berlin: GUT Zertifizierungsgesellschaft für Managementsysteme GmbH.

Makansi, Faried; Sossenheimer, Johannes; Petruschke, Lars; Wincierz, Christoph; Alibert, Michael; Abele, Eberhard (2020): Influence Analysis of the Viscosity of Hydraulic Fluids on the Energy Consumption of Machine Tools. Hg. v. Technische Akademie Esslingen e.V. (Tribology - Industrial and Automotive Lubrication).

Ranganathan, Janet; Corbier, Laurent; Schmitz, Simon; Oren, Kjell; Dawson, Brian et al. (2004): Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard. Hg. v. World Resource Institute, World Business Council for Sustainable Development. Online verfügbar unter <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

Sossenheimer, Johannes; Vetter, Oliver; Abele, Eberhard; Weigold, Matthias (2020): Hybrid virtual energy metering points - a low-cost energy monitoring approach for production systems based on offline trained prediction models. In: *Procedia CIRP* 82, S. 1269-1274. DOI: 10.1016/j.procir.2020.04.128.

Statistisches Bundesamt (2019): Produzierendes Gewerbe. Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes - Fachserie 4 Reihe 4.3 - 2017. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Struktur/kostenstruktur-2040430177004.html>, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

UBA (2017): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-20_climate-change_23-2017_emissionsbilanz-ee-2016.pdf, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

UBA (2020a): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990-2019. Unter Mitarbeit von Petra Icha und Gunter Kuhs. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau (13). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-01_climate-change_13-2020_strommix_2020_fin.pdf, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

UBA (2020): Spezifische Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/spezifische-emissionsfaktoren-fuer-den-deutschen>, zuletzt aktualisiert am 01.04.2020, zuletzt geprüft am 30.09.2020.

DIN EN ISO 14051, 2011: Umweltmanagement - Materialflusskostenrechnung - Allgemeine Rahmenbedingungen.

DIN EN ISO 14044:2006: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen.

DIN EN ISO 14040, 2009: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen.

VDI 4800-1:2016: Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien.

VDMA (2017): Leitfaden Industrie 4.0: Kommunikation mit OPC UA. Leitfaden zur Einführung in den Mittelstand. Frankfurt am Main: VDMA-Verlag GmbH. Online verfügbar unter https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/16617345/1492669959563_2017_Leitfaden OPC UA_LR.pdf/f4ddb36f-72b5-43fc-953a-ca24d2f50840, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

Wank, Andreas (2019): Methodik zur Wertstromintegration einer aktiven Bauteilrückverfolgung in die diskrete Variantenfertigung. In: *Schriftenreihe des PTW: „Innovation Fertigungstechnik“*, Aachen, Shaker Verlag, TU Darmstadt.

Wernet, Gregor; Bauer, Christian; Steubing, Bernhard; Reinhard, Jürgen; Moreno-Ruiz, Emilia; Weidema, Bo; 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21(9), S. 1218 -1230. Online verfügbar unter: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-016-1087-8>, zuletzt geprüft am 11.03.2021

World Resource Institute (2021): GreenHouse Gas Protocol. Genf. Online verfügbar unter <https://ghgprotocol.org/>, zuletzt geprüft am 14.04.2021

IMPRESSUM

HERAUSGEBER

Hessen Trade & Invest GmbH
Technologieland Hessen
Konradinerallee 9
65189 Wiesbaden
www.htai.de

REDAKTION

Lena Ewert-Haupt
Hessen Trade & Invest GmbH

Nicole Holderbaum
Hessen Trade & Invest GmbH

Sebastian Hummel
Hessisches Ministerium für Wirtschaft,
Energie, Verkehr und Wohnen

ERSTELLT VON

Technische Universität Darmstadt
www.tu-darmstadt.de

Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich
Institut für Produktionsmanagement,
Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)

Dr. rer. nat. Liselotte Schebek
Institut IWAR, Fachgebiet Stoffstrommanagement
und Ressourcenwirtschaft (SuR)

Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl
Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK)

AUTOREN - AREPRON-TEAM

Phillip Bausch (PTW)

Dr.-Ing. Cordula Czwick (DiK)

Carina Geyer (SuR)

Lukas Hartmann (PTW)

Stefan Kugler (DiK)

Markus Schreiber (PTW)

Johannes Sossenheimer (PTW)

Christian Urnauer (PTW)

Astrid Weyand (PTW)

Julia Zeulner (SuR)

KONZEPT, DESIGN UND UMSETZUNG

bartels + drescher designagentur GbR
www.bpdd.de

DRUCK

NINO Druck GmbH, Neustadt an der Weinstraße
Auflage: 500

© Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen
Kaiser-Friedrich-Ring 75
65185 Wiesbaden
www.wirtschaft.hessen.de

Vervielfältigung und Nachdruck – auch auszugsweise –
nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung.

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Hessen Trade & Invest GmbH herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlkampfveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Die genannten Beschränkungen gelten unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl die Druckschrift dem Empfänger zugegangen ist. Den Parteien ist es jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung von funktions- bzw. personenbezogenen Bezeichnungen, wie zum Beispiel Teilnehmer/-innen, verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Meinung des Herausgebers übereinstimmen.

Stand der Informationen und Zahlen: Dezember 2020
Erscheinung: April 2021, 1. Auflage

HESSEN



Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen

Projekträger:



HESSEN
TRADE & INVEST

Wirtschaftsförderer für Hessen