

Arburg ermittelt aussagekräftigen Product Carbon Footprint

# CO<sub>2</sub>-Bilanz von Spritzgießmaschinen

Schon sehr lange beschäftigt sich Arburg mit dem Thema Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz. Als Spritzgießmaschinenlieferant wird das Unternehmen von seinen Kunden vermehrt aktiv in die Bewertung von Klimaschutzaktivitäten entlang der gesamten Wertschöpfungskette eingebunden. Auf Basis des Standards ISO TS 14067:2015, der die Treibhausgasbilanz eines Produkts definiert, hat Arburg untersucht, wie sich der Product Carbon Footprint (PCF) und der spezifische Energiebedarf seiner Spritzgießmaschinen ermitteln lassen.

Auf die Phase von der Rohstoffgewinnung bis zur Auslieferung entfallen nur rund 5% der CO<sub>2</sub>-Emissionen im gesamten Lebenszyklus einer Spritzgießmaschine.

© Arburg



Mit dem „Green Deal“ der Europäischen Union wird die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks von Unternehmen und deren Produkten stark vorangetrieben. Um die strengen gesetzlichen Vorgaben erfüllen zu können und bis 2050 klimaneutral zu produzieren, müssen die Betriebe die Energie- und Ressourceneffizienz künftig deutlich steigern. Entsprechend ist Nachhaltigkeit bei vielen europäischen Kunststoffverarbeitern derzeit ein wichtiges strategisches Thema.

Das deutsche Klimaschutzgesetz geht noch einen Schritt weiter und fordert bis zum Jahr 2030 eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 65% und CO<sub>2</sub>-Neutralität bis zum Jahr 2045. Der international anerkannte Standard zur CO<sub>2</sub>-Bilanzierung – das „Greenhouse Gas Protocol“ – betrachtet unterschiedliche Emissionsbereiche (Scopes). Spritzgießmaschinen gehören zu Anlagengütern

im Scope 3, in den indirekte Emissionen aus vor- und nachgelagerten Unternehmensprozessen einfließen. Arburg bringt sich als Maschinenhersteller beim Thema CO<sub>2</sub>-Bilanzierung aktiv ein, um belast- und vergleichbare Kennzahlen zu liefern und die hoch gesteckten Klimaziele zu erreichen. Das belegt auch die überdurchschnittliche Einstufung „B“ im Carbon Disclosure Projekt (CDP).

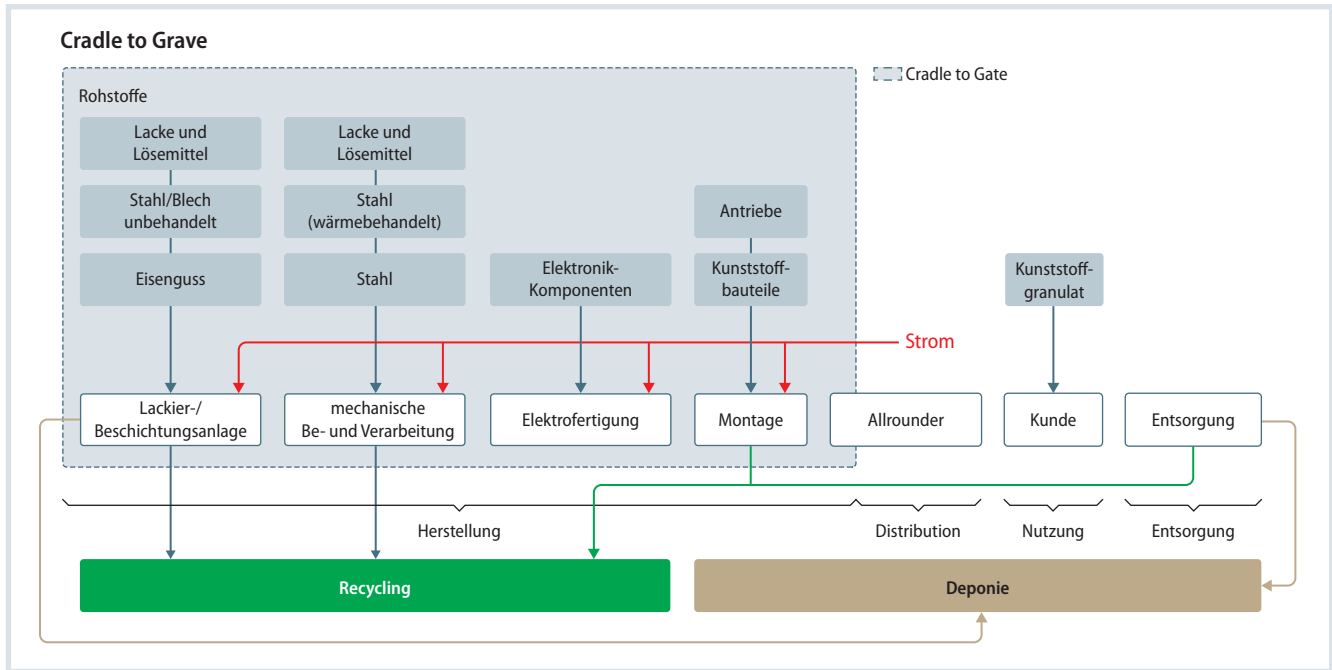
## **Großteil des PCF entsteht in der Nutzungsphase**

Im Unterschied zum jährlich bilanzierten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck für das ganze Unternehmen – dem Corporate Carbon Footprint (CCF) – umfasst der Product Carbon Footprint (PCF) die emittierten und entzogenen Treibhausgasemengen über die gesamte Lebensdauer eines Produkts hinweg. Angegeben als CO<sub>2</sub>-Äquivalent ist der PCF eine wichtige Kennzahl in der

Ökobilanz. Die Leitlinien für die Quantifizierung und Berichterstattung bildet der internationale Standard ISO TS 14067:2018.

Für Spritzgießer relevant ist zunächst die Frage, mit welchem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck die vom Hersteller produzierte Maschine im Betrieb ankommt. In seiner Betrachtung „Cradle to Gate“ zieht Arburg die zugehörige Systemgrenze von der Rohstoffgewinnung über die Herstellungsphase bis zum Werkstor. Auf diesen Zeitraum entfallen aber nur rund 5% der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Über den gesamten Produktlebenszyklus („Cradle to Grave“) hinweg entsteht der Großteil des PCF während der Nutzungsphase beim Kunden, hinzu kommen Emissionen im Rahmen der Distribution und Entsorgung.

Arburg erfasst die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zur fertig produzierten Spritzgießmaschine in vier Prozessschritten:



**Bild 1.** In der Betrachtung „Cradle to Gate“ bilanziert Arburg die CO<sub>2</sub>-Emissionen seiner Spritzgießmaschinen von den eingesetzten Rohstoffen und Herstellprozess bis zur Auslieferung. Quelle: Arburg; Grafik: © Hanser

- Lackieren bzw. Beschichten,
- mechanische Be- und Verarbeitung,
- Elektrofertigung sowie
- Montage.

Diesem betrieblichen Ablauf sowie den weiteren Phasen im Produktlebenszyklus lassen sich die eingesetzten Rohstoffe sowie der jeweilige Strombedarf zuordnen (**Bild 1**).

### Rohstoffbezogene Emissionen

Die Stückliste einer Spritzgießmaschine kann, bis zur einzelnen Schraube heruntergerechnet, aus bis zu 11 000 Einzelpositionen bestehen. Um die Handhabung zu vereinfachen, fasst Arburg die Rohstoffe in acht Materialgruppen zusammen. Eine Allrounder-Spritzgießmaschine besteht demnach zu über 55 % aus kunststoffbeschichtetem Eisenguss, zu weiteren rund 35 % aus Stahl und Blech (warmbehandelt, lackiert, kunststoffbeschichtet oder unbehandelt). Kunststoffbauteile, Antriebe und Elektronikkomponenten machen insgesamt nur rund 7 % am Gesamtgewicht aus.

Die Materialgruppen unterscheiden sich deutlich hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die bei ihrer Erzeugung entstehen. Jedoch lässt sich analog der Verteilung ein gewichteter Mittelwert bestimmen. Dieser sogenannte Emissionsfaktor beträgt für einen Allrounder rund

1,83 [kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro kg Produkt]. Das CO<sub>2</sub>-Äquivalent für die komplette Spritzgießmaschine entspricht demnach dem Emissionsfaktor multipliziert mit dem im Datenblatt angegebenen Produktgewicht (**Tabelle 1**).

Eine hybride Maschine des Typs Allrounder 570 H mit 2000 kN Schließkraft und einem Nettogewicht von 8300 kg verursacht also bei der Herstellung rohstoffbezogene Emissionen von rund 15 190 kg CO<sub>2</sub>. Bei einem 3300 kg schweren Allrounder der Baugröße 370 mit 600 kN Schließkraft beträgt das CO<sub>2</sub>-Äquivalent rund 6040 kg.

### Strombezogene Emissionen bei der Herstellung

In der Herstellungsphase trägt zudem der Strombedarf zum PCF bei. Basis für normierte Berechnungen sind – auf das

Jahr 2020 bezogen – ein Strombedarf von 878,94 kWh pro 1000 kg Produkt sowie ein Emissionsfaktor von 0,366 [kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro kWh] für den deutschen Strommix (**Tabelle 2**).

Auf Basis des deutschen Strommix beträgt der Strombedarf 2900 kWh für den Allrounder 370 H und das CO<sub>2</sub>-Äquivalent rund 1160 kg. Beim Allrounder 570 H liegt der Strombedarf demnach bei 7295 kWh und die Emissionen bei rund 2670 kg CO<sub>2</sub>.

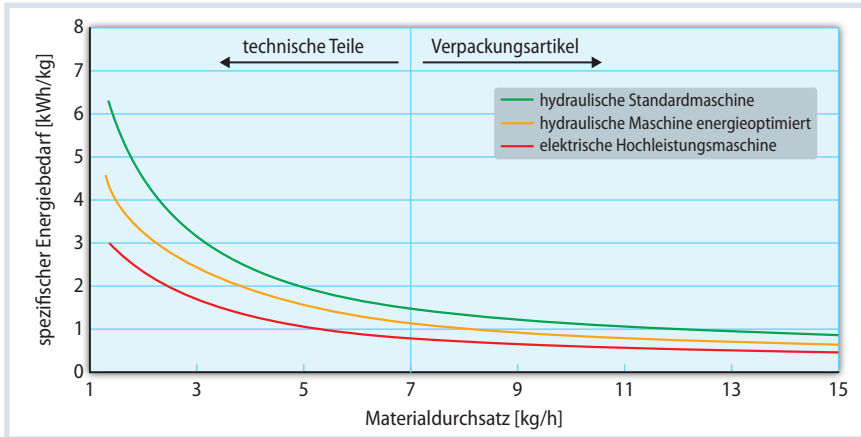
Diese Beispielrechnung lässt sich jedoch nicht 1:1 auf Arburg übertragen. Denn das Unternehmen fertigt rund 60% seiner Maschinenkomponenten selbst. Produziert wird ausschließlich am zentralen Standort in Loßburg. Dabei kommen CO<sub>2</sub>-neutrale regenerative Energien wie Photovoltaik, Windenergie und Geothermie sowie Blockheizkraft zum Einsatz. Der regionale Fremdbezug von Strom »

Baureihe*	Gewicht [kg]	Emissionsfaktor**	CO <sub>2</sub> -Äquivalent Rohstoffe [kg]
Allrounder 370 H	3300	1,83	6040
Allrounder 470 H	4700	1,83	8600
Allrounder 570 H	8300	1,83	15 190

\* hybride Baureihe Hidrive mit 600 kN (370 H), 1000 kN (470 H) und 2000 kN (570 H) Schließkraft  
 \*\* gewichteter Mittelwert [kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kg Produkt]

**Tabelle 1.** Um die rohstoffbezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen einer Spritzgießmaschine zu berechnen, wird ihr Netto-Gewicht einfach mit dem von Arburg ermittelten Emissionsfaktor 1,83 multipliziert.

Quelle: Arburg



**Bild 2.** Der spezifische Energiebedarf einer Spritzgießmaschine in der Betriebsphase hängt ab von der Ausstattung, der Art der Anwendung und dem Materialdurchsatz. Generell gilt: Je besser die Maschine ausgelastet ist, desto günstiger ist ihre CO<sub>2</sub>-Bilanz. Quelle: Arburg; Grafik: © Hanser

Baureihe	Gewicht [kg]	Strombedarf* [kWh]	Emissionsfaktor**	CO <sub>2</sub> -Äquivalent Herstellung [kg]
Allrounder 370 H	3300	2900	0,366	1160
Allrounder 470 H	4700	4130	0,366	1510
Allrounder 570 H	8300	7295	0,366	2670

\* normierter Strombedarf: 878,94 kWh/1000 kg Produkt

\*\* Basis: Deutscher Strommix (Jahr 2020)

**Tabelle 2.** Die strombezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Herstellung einer Spritzgießmaschine lassen sich auf Basis des deutschen Strommix (Emissionsfaktor 0,366 für das Jahr 2020) errechnen.

Quelle: Arburg

stammt seit dem Jahr 2016 vollständig aus ökologischen Quellen. Für den „Arburg Strommix“ beträgt der Emissionsfaktor daher statt 0,366 nur 0,17.

Konkret heißt das: Das strombezogene CO<sub>2</sub>-Äquivalent beträgt beim Allrounder 370 H tatsächlich nur 490 statt 1160 kg, beim Allrounder 570 belaufen sich die Emissionen auf 1240 statt 2670 kg CO<sub>2</sub>. Aufgrund der hohen Eigenfertigungstiefe und des nachhaltigen Strommix entstehen somit in der Herstellungsphase einer Arburg-Spritzgießmaschine strombezogen rund 53% weniger Emissionen als im deutschen Durchschnitt.

### Anwendungsbezogener CO<sub>2</sub>-Fußabdruck in der Nutzung

Addiert man die rohstoff- und strombezogenen Emissionen, ergibt sich für eine Betrachtung „Cradle to Gate“ ein CO<sub>2</sub>-Äquivalent von insgesamt 6530 kg für den Allrounder 370 H bzw. von 16430 kg für den Allrounder 570 H (Tabelle 3). Zum Vergleich: In Deutschland erzeugt jede Person pro Jahr durchschnittlich einen

CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von rund 12000 kg, abhängig von Faktoren wie Konsum, Mobilität, Wohnen und Ernährung.

Rund 95% des PCF einer Spritzgießmaschine entfallen auf ihre Nutzungsphase. Wie viele Emissionen sie im täglichen Betrieb tatsächlich erzeugt, hängt von zahlreichen Faktoren ab. Bereits bei der Auswahl des Kunststoffes, dem Produktdesign und der Konstruktion des Spritzgießwerkzeugs werden wichtige Weichen gestellt. Eine wichtige anwendungsbezogene Kenngröße ist hier der spezifische Energiebedarf [kWh pro kg], der sich aus dem Quotienten Leistungsaufnahme pro Materialdurchsatz ergibt. Als Faustregel gilt: Je kürzer die Zyklus-

zeit und je höher das Schussgewicht, desto kleiner ist der spezifische Energiebedarf und desto besser das CO<sub>2</sub>-Äquivalent.

Ein entscheidender Aspekt für den spezifischen Energiebedarf ist, ob die Spritzgießmaschine elektrisch, hybrid oder hydraulisch angetrieben wird. Weiterhin spielt eine Rolle, ob Ein- oder Zwei-Kreis-Pumpentechnik bzw. Hydraulikspeicher zum Einsatz kommen und Optionen wie servoelektrisches Dosieren oder Auswerfen zur Ausstattung zählen.

Positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz während der Nutzung wirken sich Features aus, die gleichzeitige, dynamische und schnelle Bewegungen und somit kurze Zykluszeiten ermöglichen. Das gleiche gilt für den Schneckendurchmesser und die installierte Leistung – je größer das Schussgewicht und je kleiner die Leistungsaufnahme, desto besser. Zusammengefasst gesagt: Eine punktgenau auf die Anforderungen und Prozesse angepasste Maschinenausrüstung kann den Energiebedarf entscheidend verringern. Bei dieser Aufgabe unterstützt Arburg seine Kunden mit großem Know-how in Anwendungs- und Verfahrenstechnik und nutzt die Vorteile modularer Maschinenteknik.

### Messung des Energiebedarfs nach Euromap 60.2

Die Empfehlung Euromap 60.2 bildet die Grundlage für die Ermittlung des Energiebedarfs von Spritzgießmaschinen in einem kundenspezifischen Prozess. Um einen objektiven Vergleich verschiedener Maschinenkonzepte zu ermöglichen, wird bei mittlerer Leistungsaufnahme unter einheitlichen Vorgaben über einen festgelegten Bilanzraum gemessen und dokumentiert. Die Werte hängen dabei sowohl von der Maschinenteknik als auch von der Auslastung und Art der Anwendung ab. So ist der spezifische Energiebedarf zum Beispiel bei der

Baureihe	CO <sub>2</sub> -Äquivalent Rohstoffe [kg]	CO <sub>2</sub> -Äquivalent Herstellung* [kg]	CO <sub>2</sub> -Äquivalent „Cradle to Gate“ [kg]
Allrounder 370 H	6040	490	6530
Allrounder 470 H	8600	700	9300
Allrounder 570 H	15190	1240	16430

\* bezogen auf Emissionsfaktor 0,170 (Arburg Strommix)

**Tabelle 3.** Aus der Summe der rohstoff- und strombezogenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente ergibt sich die CO<sub>2</sub>-Bilanz (PCF) der Maschinen bis zur Auslieferung an den Kunden („Cradle to Gate“). Quelle: Arburg

Maschine		Produkt			
Baugröße	Antrieb	Technischer Artikel		Verpackungsartikel	
		Materialdurchsatz [kg/h]	Emissionen [kg CO <sub>2</sub> /kg PA66]	Materialdurchsatz [kg/h]	Emissionen [kg CO <sub>2</sub> /kg PP]
370*	hydraulisch T2	4,2	4,43	10,08	2,87
	elektrisch Comfort	4,2	2,13	10,08	1,58
570**	hydraulisch T2	16,2	2,6	41,04	2,3
	elektrisch Comfort	16,2	1,39	41,04	1,23
820***	hydraulisch T2	45,6	1,72	115,2	1,69
	elektrisch Comfort	45,6	0,93	115,2	1,07

**Tabelle 4.** Arburg hat bei Messungen nach Euromap 60.2 beispielhaft die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Spritzgießmaschinen in drei Baugrößen und zwei Antriebsarten untersucht. Gefertigt wurde je ein technisches Teil und ein Verpackungsartikel. Quelle: Arburg

\* Schließkraft 600 kN, Spritzzeit 170, Schnecke D30

\*\* Schließkraft 2000 kN, Spritzzeit 800, Schnecke D50

\*\*\* Schließkraft 4000 kN, Spritzzeit 2100, Schnecke D70

Fertigung technischer Spritzgussteile in kleineren Stückzahlen per se deutlich größer als etwa bei der Fertigung schnelllaufender Verpackungsartikel (**Bild 2**).

Die Messergebnisse zeigen: Elektrische Maschinen zeichnen sich gegenüber hydraulischen Standardmaschinen durch einen rund 50% geringeren Energiebedarf aus. Die Unterschiede sind umso signifikanter, je kleiner der Materialdurchsatz ist. Aber auch energieoptimierte hydraulische Maschinen können den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck deutlich reduzieren.

### Praxisbeispiele zur Orientierung

Im Rahmen einer Praxisanwendung hat Arburg beispielhaft verschiedene Szenarien untersucht: Zum Einsatz kamen hydraulische und elektrische Maschinen der Baureihen S und Alldrive in den drei Baugrößen 370, 570 und 820 mit Schließkräften von 600, 2000 und 4000 kN. Dabei wurde zwischen hydraulischer Antriebstechnik mit Zwei-Kreis-Pumpentechnik (T2) und elektrischer Antriebstechnik in der Leistungsvariante „Comfort“ unterschieden.

Produziert wurde zum einen ein technischer Artikel aus PA66-GF30 in einer Zykluszeit von 30 s bei 50% Plastifizierauslastung und zum anderen ein Verpackungsartikel aus PP in 5 s Zykluszeit bei 100% Plastifizierauslastung (**Tabelle 4**). Die CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden dabei auf Basis des deutschen Strommix berechnet.

Der elektrische Allrounder 820A mit einem Durchsatz von 115,2 kg/h verursachte beim Spritzgießen des Verpackungsartikels Emissionen von 1,07 kg CO<sub>2</sub> pro kg Kunststoff. Rund doppelt so viel

(2,13) emittierte die elektrische Maschine in der Baugröße 370 beim Spritzgießen des technischen Artikels bei 4,2 kg/h Durchsatz. Dieser Wert betrug beim hydraulischen Allrounder 370 S sogar 4,43.

So weit die exemplarische Betrachtung. Je nach Anwendungsfall kann es zu Abweichungen davon kommen. Die tatsächlich aufgenommene Leistung hängt im Einzelfall von Einschaltdauer, Auslastung und Wirkungsgrad der angeschalteten Verbraucher ab. Diese Faktoren werden wiederum vom Spritzgießprozess beeinflusst. Generell lässt sich jedoch die Aussage treffen, dass der Energiebedarf bei beiden Antriebsarten mit steigendem Materialdurchsatz sinkt. Eine elektrische Maschine erzeugt in jedem Fall rund 50% weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen. Dieses Ergebnis zeigt sich auch, wenn die CO<sub>2</sub>-Emissionen durchgängig über den Materialdurchsatz ermittelt werden.

Nicht eingeflossen in diese Betrachtung sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen zur Herstellung des Kunststoffgranulats und sonstige Verbraucher wie zum Beispiel Peripheriegeräte zur Temperierung der Werkzeuge oder Hallenklimatechnik (Abwärme und Kühlung). Gerade bei technischen Artikeln nehmen der Energiebedarf und damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Peripheriegeräte stark zu und übersteigen anteilig sogar den der Spritzgießmaschine. Eine weitere interessante Kenngröße ist der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck umgerechnet auf ein einzelnes Spritzgussteil.

### Fazit

Für Spritzgießmaschinen lässt sich eine aussagekräftige CO<sub>2</sub>-Bilanz „Cradle to Gate“ ermitteln. Die Rohstoffe haben einen rund zehnfach größeren Einfluss

auf den „Product Carbon Footprint“ als der Stromverbrauch während der Herstellungsphase. Lokale Lieferketten, eine hohe Eigenfertigungstiefe und der Einsatz regenerativer Energien können die Bilanz positiv beeinflussen.

Der PCF während der Nutzungsphase hängt von vielen Faktoren ab. Hier ist eine spezifische Fallbetrachtung erforderlich. In der Regel sinkt der spezifische Energiebedarf einer Spritzgießmaschine mit ihrer Auslastung. Zudem erzeugen elektrische Maschinen im Vergleich zu hydraulisch angetriebenen abhängig von Ausrüstung und Materialdurchsatz bis zu rund 50% weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Das Ziel für die Zukunft ist, eine wissenschaftlich fundierte, ganzheitliche Ökobilanz für Spritzgießmaschinen ermitteln zu können. Dazu ist ein weit größerer Aufwand erforderlich. Genau damit beschäftigt sich das Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik (IKK) an der Leibniz Universität in Hannover unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres, unter anderem in Kooperation mit Arburg. ■

## Info

### Text

**Bertram Stern** ist Sustainability Manager bei der Arburg GmbH + Co KG, Loßburg.

### Digitalversion

Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

### English Version

Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)