

CO₂ – UMWELTSTUDIE

CUBES PU Technologie im Vergleich zu Styroporguss und Plattenverklebung

1. GRUNDGEDANKE

Das von CUBES – GmbH entwickelte Verfahren für den konturnahen Guss von Modellen aus Polyurethan Harz hat nicht nur gegenüber dem Plattenklebeverfahren einen eindeutigen Vorteil durch viel geringeren Materialverbrauch und der daraus folgenden Stromersparnis beim Fräsen, sondern überzeugt auch in Umweltfragen gegenüber dem Gussverfahren mit Styroporformen. Denn allein der Verzicht auf Formen aus Expandiertem Polystyrol kann sehr viel CO₂ einsparen. In diesem Bericht wird die Berechnung des eingesparten CO₂ gezeigt.

2. VERFAHREN UND IHRE CO₂ - ÄQUIVALENTE

2.1. STYROPORGUSS

Wo wird beim CUBES Verfahren gegenüber dem Styroporguss CO₂ eingespart? Der Unterschied liegt in der Formgebung. Beim Styroporguss wird aus einem EPS-Block eine konturnahe Form gefräst, während beim CUBES Verfahren die konturnahe Formgebung durch wiederverwendbare Teile geschieht. Die Daten für die CO₂ – Äquivalente des EPS wurden der Website der European [Manufacturers of Expanded Polystyrene \(EUMEPS\)](#) entnommen. EUMEPS bezeichnet sich selbst als Stimme der europäischen EPS – Industrie und mit über 1000 Firmen aus 22 europäischen Nationen, in den Bereichen der Herstellung von Rohmaterial und Additiven, EPS Recycling und Maschinenbauer für die EPS Verarbeitung, können die Materialdaten als seriös empfunden werden.

Für das Styropor wird eine Dichte von 20 kg/m³ angenommen, da die Hersteller von EPS – Gussformen Styroporplatten mit einer Dichte von 17 – 22 kg/m³ verwenden. Ebenso miteinbezogen ist der Strom für das Fräsen der Form und der „End of Life - Cycle“ des EPS. Im EoL – Cycle werden Transport, Verbrennung und die dadurch zurückgewonnene Energie betrachtet

CO₂ – Äquivalent eines Bauteiles erzeugt durch Styroporguss

= Herstellung (EPS) + Form fräsen (EPS) + Entsorgung (EPS) + Herstellung (PU) + Bauteil fräsen (PU)

Herstellung EPS = 62,13 [kg CO₂/m³]

Form fräsen EPS = 0,432 [kg CO₂/m³]

Entsorgung EPS = 0,21 + 67,43 - 35,11 = 32,53 [kg CO₂/m³]

Herstellung PU = 56,76 [kg CO₂/m³]

Bauteil fräsen PU = 86,56 [kg CO₂/m³]

2.2. PLATTENVERKLEBUNG

Beim Verfahren des Plattenverklebens, werden fertige PU Platten zusammengeklebt und dann wird das Bauteil aus diesem Verbund gefräst. Dieses Verfahren verbraucht viel Material, welches eigentlich nicht benötigt wird. Die Volumina der Plattenverbände, für die als Beispiele verwendeten Bauteile, wurden über das Berechnungstool auf der CUBES Website erstellt.

CO₂ – Äquivalent eines Bauteils erzeugt durch Plattenverklebung

= Herstellung (PU) + Bauteil fräsen (PU)

Herstellung PU = 56,76 [kg CO₂/m³]

Bauteil fräsen PU = 86,56 [kg CO₂/m³]

2.3. CUBES – VERFAHREN

Im Cubes – Verfahren wird eine konturnahe Gussform erstellt, deren Bestandteile wiederverwendet werden. Dadurch wird Material für eine Form, PU Rohmaterial und Fräszeit gespart. Da die Firma CUBES laut dem Netzbetreiber Salzburg AG nur Öko-Strom mit 0,00g CO₂/kWh bezieht, kann der zur Formgebung benötigte Strom vernachlässigt werden.

CO₂ – Äquivalent eines Bauteils erzeugt durch CUBES – Verfahren

= Herstellung (PU) + Bauteil fräsen (PU)

Herstellung PU = 56,76 [kg CO₂/m³]

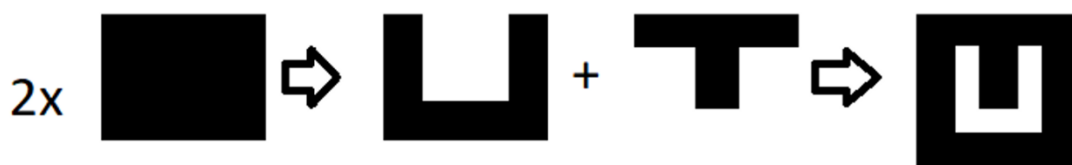
Bauteil fräsen PU = 86,56 [kg CO₂/m³]

3. BERECHNUNG

3.1. CO₂-Äquivalent des EPS – Zyklus

Eine Styropor Gussform besteht aus zwei Blöcken EPS. Aus einem wird der Boden und aus dem anderen der Deckel gefräst. Bei der Volumens Berechnung für die Außmaße der EPS-Gussform müssen zu den maximalen Maßen des Bauteils noch 0,1m Wandstärke der Form auf jeder Seite addiert werden. Da jedoch die Geometrien der Bauteile große Schwierigkeiten in der Berechnung fürs Fräsen mit sich bringen und es ein eigenes Tool zur Berechnung benötigen würde, wird hier angenommen, dass die Gussform mitsamt 15mm Aufschlag nur aus einem einzelnen EPS Block direkt gefräst wird. Durch diese Annahme ist das CO₂ - Äquivalent beim Fräsen von Styropor eigentlich etwas höher als hier berechnet, da nur einer der zwei Blöcke gefräst wird.

2 EPS Blöcke werden zu einer Gussform gefräst, schematisch dargestellt:



So kann mit den Daten von EUMEPS das CO₂-Äquivalent der Herstellung und Entsorgung berechnet werden.

3.2. CO₂-Äquivalent der Herstellung des Polyurethans

Das Verwendete Material setzt sich aus zwei Komponenten der Firma Sika AG zusammen:

- SikaBiresin M67 BM geliefert im IBC mit 1250kg → CO₂e = 54.16 kg (WTW)
- SikaBiresin M70 geliefert im IBC mit 1000KG → CO₂e = 43.33 kg (WTW)

WTW: Ausstoß von CO₂e in Kilogramm von der Quelle bis einschließlich Fahrt in die Firma CUBES

Mit dem benötigten Mischverhältnis berechnet sich ein Wert von 56,76 kg CO₂/m³ Polyurethan.

3.3. CO₂-Äquivalente der Fräsvorgänge

Nach vielen Anfragen bei Firmen mit einem CNC Maschinenpark mussten wir erkennen, dass es sehr schwierig ist hierbei einen genauen Energiewert zu bekommen.

Die beim Fräsen verbrauchte Energie ist extrem von der Geometrie des Bauteils abhängig. So kann es sein, dass alle 5 Achsen oder auch nur eine einzige benötigt werden. Weiter Einflüsse auf den Stromverbrauch sind unter anderem Kühlung, Absaugung oder Vakuumtisch. Somit ist es fast unmöglich einen Durchschnittswert zu errechnen. Aus diesem Grund wurde für das Fräsen von PU und EPS ein Drittel der Nennleistung, einer für Kunststoff verwendeten CNC Fräse, angenommen.

An dieser Stelle ein Dankeschön an die Firma [SFK](#), die für uns die Zeit eines idealen geraden Schruppfräsvorganges ohne Kontur gemessen haben. Die Masse des weggefrästen Materials betrug 10kg und es eine besaß die Dichte von 1g/cm³, sehr ähnlich dem von CUBES verwendete Material. Für das Fräsen von Styropor wurde, aufgrund der geringen Dichte, ein Viertel der Zeit angenommen. Die verwendete CNC Fräse besitzt eine Nennleistung von 90kW und die Absaugung 25kW.

Mit diesen Daten wurde der Stromverbrauch für das Fräsen von 1m³ PU oder EPS hochgerechnet.

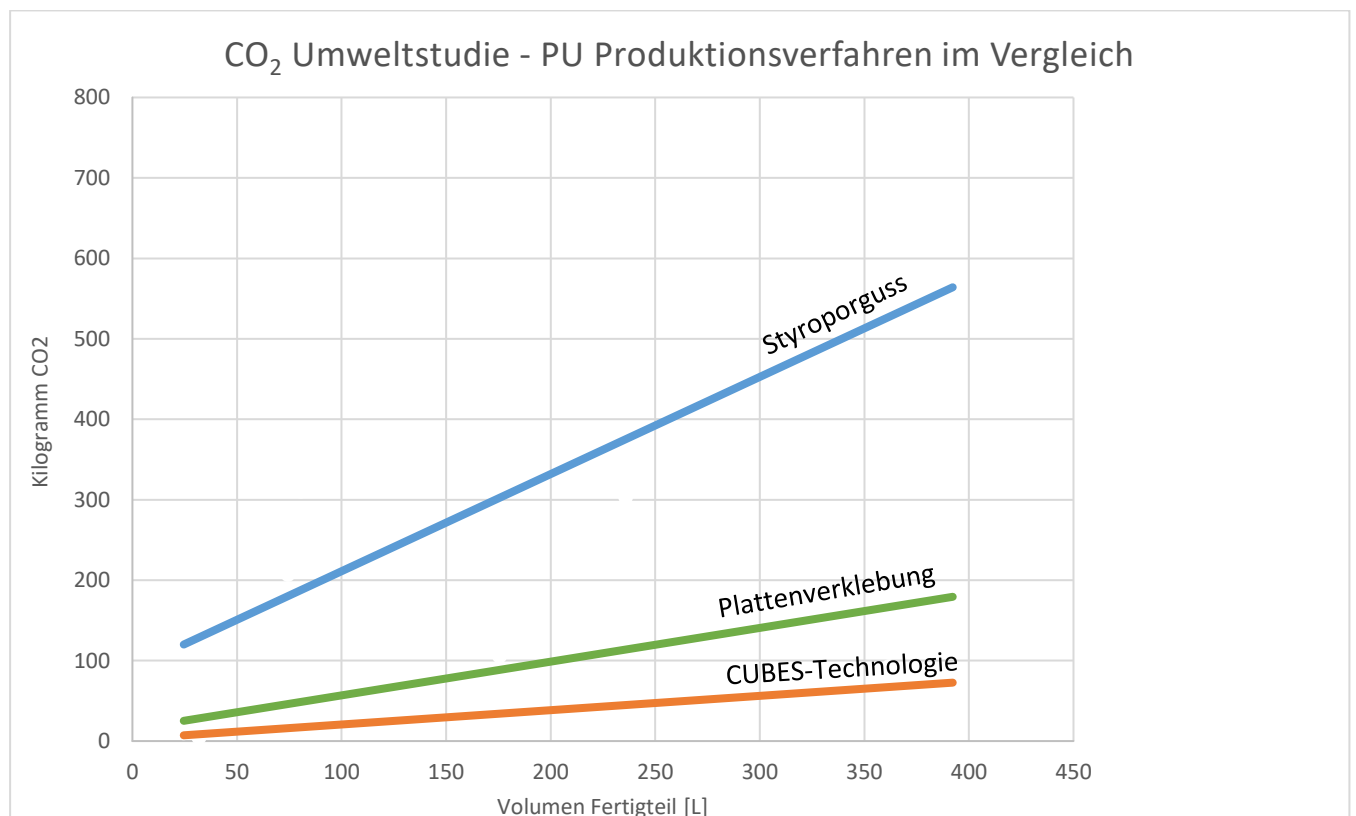
Für das CO₂-Äquivalent des benötigten Stroms, wurde der Wert des deutschen Umwelt Bundesamtes für den deutschen Strommix genommen. Für das Jahr 2020 betrug dieser Wert 0,366 kg CO₂/kWh.

Da es sich beim Styroporguss um einen konturnahen Guss handelt, wurden wie üblich 15mm auf die Fertigteil Maße aufgeschlagen.

4. CO2 AUSWERTUNG

Für die Auswertung wurde die Herstellung von 10 Bauteilen mit verschiedenen Geometrien und verschiedenen Volumina betrachtet.

Teil Nr.	Fertigteil Volumen [L]	CO ₂ - Äquivalent Styroporguss [kg]	CO ₂ - Äquivalent Plattenverkleben [kg]	CO ₂ - Äquivalent CUBES- Verfahren [kg]
1	31,92	40,32674271	7,9430088	4,8974588
2	24,55	63,67431502	11,2409752	10,6060676
3	74,47	207,484636	76,86006	15,0934396
4	80,58	310,7975706	69,190976	18,813996
5	134,84	156,5452445	29,9698756	18,8539764
6	175,53	327,9295495	105,9803168	29,7770728
7	235,93	304,1181818	85,23197	27,8738728
8	176,44	437,9420818	117,3843456	55,8355716
9	392,26	335,331939	139,15217	54,7194916
10	361,91	758,2466559	213,5668208	92,0500924



Aufgrund des großen Einflusses der Geometrien gibt es eine breite Streuung beim Styroporguss. Jedoch bietet die Steigung der Regressionsgeraden trotzdem einen sehr guten Näherungswert, um die CO₂ Emissionen zukünftiger Projekte abzuschätzen.

Zusammenfassend, ohne die unnötigen Transportwege für den Styroporguss zu berücksichtigen gilt folgendes:

CUBES VERFAHREN: ca. 0,178 Kilogramm CO₂ pro Liter Material

PLATTENKLEBEVERFAHREN: ca. 0,419 Kilogramm CO₂ pro Liter Material
entspricht etwa 235% des CUBES – Verfahrens

STYROPORGUSS: ca. 1,208 Kilogramm CO₂ pro Liter Material entspricht etwa 680% des CUBES - Verfahrens

Ausgearbeitet von Martin Hettegger, Student an der Montanuniversität Leoben.

Salzburg, 13.10.2021