

Technischer Berater, Juli 2009

# Makrolon<sup>®</sup> Massivplatten aus Polycarbonat

## Umformen

### 1. Kaltformen

#### Kaltbiegen

Sie können alle Makrolon<sup>®</sup> Platten, mit Ausnahme von **Makrolon<sup>®</sup> AR**, mit einem Mindestradius von 150-mal die Plattendicke kalt einbiegen.

**Mindestradius  $\geq 150 \times$  Plattendicke**

Bei kleineren Biegeradien empfehlen wir Warmformen.

#### Kaltabkanten

Makrolon<sup>®</sup> Platten sind kalt abkantbar. Um gute Ergebnisse zu erhalten sollten folgende Richtwerte nicht überschritten werden:

Plattendicke in mm	Biegeradius in mm	Maximale Ab- kantwinkel in Grad
1 bis 2,5	2	90
3 und 4	3	90
5 und 6	4	60

Die Entspannung unmittelbar nach dem Kaltabkanten erfordert, dass die Platte um ca. 25° überbogen wird. Die inneren und äußeren Spannungen kommen erst nach einigen Tagen ins Gleichgewicht und die Teile bleiben dann erst in ihrer endgültigen Form.

Bitte bedenken Sie, dass es beim Kaltabkanten im Material zu hohen Spannungen in den Randbereichen kommt.

Vermeiden Sie bitte die Verwendung aggressiver Chemikalien, besonders bei kaltabgekanteten oder kaltgebogenen Teilen.

Kaltabkanten sollten Sie auf dünne Makrolon<sup>®</sup> Platten beschränken.

### 2. Warmformen

#### Schutzfolie

Makrolon<sup>®</sup> Platten werden mit einer PE-Schutzfolie versehen, damit die glatten Oberflächen während des Transports und der Bearbeitung nicht beschädigt werden.

Bitte lassen Sie die Schutzfolien während der spanenden bzw. mechanischen Bearbeitung auf der Platte. Sonnenstrahlung und Witterung können die Eigenschaften der Folie beeinflussen, so dass sich unter Umständen nicht abgezogenen Schutzfolien nur sehr schwer entfernen lassen (ggf. Bildung von Klebstoffrückständen).

Unsere Standard-Schutzfolien sind nicht für eine thermische Belastung geeignet. Eine thermische Umformung mit diesen Typen ist nicht problemlos möglich. Deshalb ist es notwendig, die Folie vor Prozessen wie dem Trocknen, dem Warmabkanten und/oder dem Umformen der Platten zu entfernen.

Für Verarbeitung der Platten mit Schutzfolie halten wir speziell dafür geeignete und unbedruckte Folientypen vorrätig (Sonderproduktion).

#### Vortrocknen

Makrolon<sup>®</sup> Platten nehmen nur geringe Mengen Feuchtigkeit aus der Umgebung auf. Trotzdem empfehlen wir vor dem Formen die Platten zu trocknen. Eine mangelnde Vortrocknung führt beim Aufheizvorgang zu Bläschenbildung, wodurch die optische Qualität des Fertigteils beeinträchtigt wird.

Produkthaftungsklausel: Die vorstehenden Informationen und unsere anwendungstechnische Beratung in Wort, Schrift und durch Versuche, erfolgen nach bestem Wissen, gelten jedoch nur als unverbindliche Hinweise auch in Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter. Die Beratung befreit Sie nicht von einer eigenen Prüfung unserer aktuellen Beratungshinweise – insbesondere unserer Sicherheitsdatenblätter und technischen Informationen – und unserer Produkte in Hinblick auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke. Anwendung, Verwendung und Verarbeitung unserer Produkte und der aufgrund unserer anwendungstechnischen Beratung von Ihnen hergestellten Produkte erfolgen außerhalb unserer Kontrollmöglichkeiten und liegen daher ausschließlich in Ihrem Verantwortungsbereich. Der Verkauf unserer Produkte erfolgt nach Maßgabe unserer jeweils aktuellen Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

**Technischer Berater, Juli 2009**

# Makrolon® Massivplatten aus Polycarbonat

## Umformen

Für eine gründliche Vortrocknung bei einer Temperatur von 120-125 °C sind Umluftöfen zu empfehlen. Die Trocknungszeiten variieren je nach Dicke der Makrolon® Platten.

Plattendicke (mm)	Trockenzeit bei 125°C (h)
1	1,5
2	4
3	7
5	12
5	18
6	22
8	30

Nach dem Entfernen der Schutzfolie können Sie die Platten im Ofen aufhängen oder in ein Gestell einlegen oder aufstellen. Bitte achten Sie darauf, dass der Abstand zwischen den Platten 20 - 30 mm beträgt, so dass die Luft frei zirkulieren kann.

Um bei der Warmformmaschine Heizzeit und Energie einzusparen, sollten die vorgetrockneten Makrolon® Platten bis zur Weiterverarbeitung im Trockenofen bleiben. Makrolon® Platten, die nach dem Trockenvorgang auf Raumtemperatur abgekühlt sind, sollten maximal nach 10 Stunden – ohne erneute Trocknung – weiterverarbeitet werden (abhängig von den Umgebungsbedingungen).

Beim Zuschneiden der zu formenden Platten berücksichtigen Sie bitte, dass beim ersten Erwärmen über die Glasübergangstemperatur von 145°C ein einmaliger Schrumpf auftritt.

Schrumpfwerte von max. 6 % für Platten bis 3 mm Dicke und max. 3 % für dickere Platten sind zu erwarten.

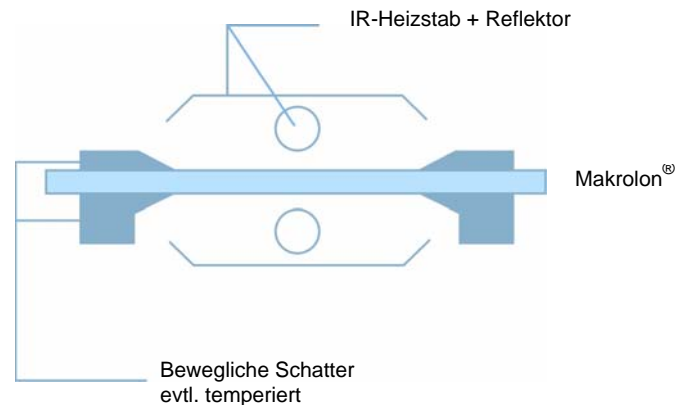
Bitte reinigen Sie vor dem Warmformen die Makrolon® Platten gründlich mit einem antistatischen Reinigungsmittel oder mit ionisierter Druckluft. Auf diese Weise verhindert man Oberflächenfehler, wie z.B. eingebettete Staubpartikel am Fertigteil.

### Warmabkanten

Warmabkanten ist ein relativ leichtes Umformverfahren, um einachsige geformte Teile herzustellen. Es genügt die Makrolon® Platte lokal auf 150 - 160 °C zu erwärmen, so dass Sie meist auf eine Vortrocknung verzichten können.

Die Makrolon® Platte wird mit IR Strahlern oder Heizdrähten linienförmig erwärmt (siehe Abb. 1). Sobald die gewünschte Temperatur erreicht ist, nimmt man die Platte vom Heizelement weg, klappt ab, setzt in das Werkzeug ein und spannt ein. Fixieren Sie die gewünschte Form bis zum Erstarren des Materials .

Abb. 1: Warmabkanten



Technischer Berater, Juli 2009

## Makrolon<sup>®</sup> Massivplatten aus Polycarbonat

### Umformen

Bei einseitiger Aufheizung muss die Makrolon<sup>®</sup> Platte mehrfach gewendet werden, um eine gleichmäßige Erwärmung auf beiden Seiten zu gewährleisten. Bei Plattendicken ab 3 mm und bei der Produktion großer Stückzahlen empfehlen wir eine gleichzeitige Erwärmung von beiden Seiten mittels Sandwich-Heizgeräten. Durch Einstellung der Erwärmungsbreite mit Hilfe der Schatter (siehe Abb. 1) sind verschiedene Biegeradien möglich, wobei aber ein minimaler Biegeradius, der dem 3-fachen der Plattendicke entspricht, nicht unterschritten werden sollte.

Durch lokale Aufheizung entstehen Spannungen im Fertigteil. Bitte Vorsicht mit Chemikalien bei gebogenen Formteilen.

#### Erwärmen der Makrolon<sup>®</sup> Platte

Zur Herstellung einwandfreier Formteile sollten Sie die Makrolon<sup>®</sup> Platten kontrolliert und gleichmäßig auf eine Temperatur von 175 - 205 °C erwärmen. Die beste Formgenauigkeit der Teile erreicht man im oberen Bereich der Umformtemperatur. Da die Verformungstemperatur sehr hoch ist und Makrolon<sup>®</sup> Platten schnell abkühlen, ist es praktisch besser, die Platten direkt auf der Formmaschine zu erwärmen und nicht, wie z.B. häufig bei anderen Thermoplasten, in separaten Umluftöfen.

Zum Erwärmen der Makrolon<sup>®</sup> Platten empfehlen wir die relativ schnell aufheizbaren Infrarot-Beheizungssysteme, möglichst beidseitig.

Der Vorteil bei der zweiseitigen Beheizung ist die gleichmäßigere und schnellere Erwärmung des Materials. So sind kürzere Zyklen möglich und Sie haben eine höhere Wirtschaftlichkeit. Die Aufheizzeit nimmt etwa linear proportional mit der Makrolon<sup>®</sup> Plattendicke zu und sollte

durch Vorversuche an der Formmaschine ermittelt werden.

Zum Vermeiden eines erheblichen Wärmeverlustes an den Plattenkanten während des Erwärmens oder eines ungleichmäßigen Abkühlens, wodurch innere Spannungen und Verwerfungen auftreten können, empfehlen wir die Spannvorrichtung zu tempern. Um den Dickenverlauf zu verbessern, können die Platten mit mechanischem Vorstrecken tiefgezogen werden.

#### Abkühlen des Fertigteils

Makrolon<sup>®</sup> Platten kühlen rasch ab, so dass ein schnelles Formen erforderlich ist. Gleichzeitig werden aber - durch die hohe Wärmeformbeständigkeit - kürzere Kühlzyklen erreicht. Sobald das geformte Teil formstabil ist (bei ungefähr 135 °C), können Sie es aus dem Werkzeug nehmen.

#### Überlegformen

Einfache, einachsige gebogene Formteile mit großem Krümmungshalbmesser können Sie streckformen. Die in einem Umluftofen auf die richtige Temperatur erwärmten Makrolon<sup>®</sup> Platten werden schnell zu einem auf 80-100°C erwärmten Werkzeug transportiert.

Das Eigengewicht oder ein leichter Druck mit Handschuhen oder Gewebe reicht aus, um die Platte über das Positiv-Werkzeug zu formen.

Anschließend müssen die Platten an der Luft abgekühlt werden. Achten Sie auf Luftzug: dieser könnte Verzerungen und Spannungen am geformten Teil verursachen.

Wir empfehlen Ihnen die Schutzfolie abzulösen, bevor Sie die Platte in einem Ofen erwärmen.

Technischer Berater, Juli 2009

# Makrolon® Massivplatten aus Polycarbonat

## Umformen

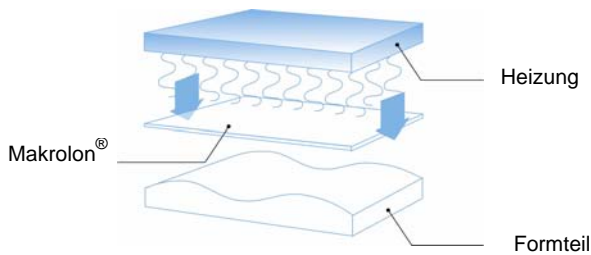


Abb. 2: Warmformen mit Positiv-Werkzeug

## Tiefziehen

### Werkzeuge

Zur Herstellung großer Stückzahlen und/oder zur Erzielung einer optimalen Oberflächenqualität sind temperierte (120 - 130 °C) Werkzeuge aus Aluminium oder Stahl mit seidenmatten Oberflächen zu verwenden. Ein Winkel von 4 - 6° am Werkzeug ermöglicht Ihnen ein gutes Entformen.

Beim Bau der Umformwerkzeuge ist eine Schrumpfungszugabe von 0,8 bis 1 % zu berücksichtigen. Bitte sehen Sie genügend und richtig platzierte Entlüftungslöcher vor, die nicht größer als 0,5 - 0,8 mm im Durchmesser sind, damit Abdrücke auf dem Formteil vermieden wird. Zum besseren Entlüften können Sie das Loch mit einem größeren Bohrer hinterbohren (siehe Abb. 3). Es gibt spezielle Werkstoffe, mit denen man poröse Umformwerkzeuge ohne Entlüftungslöcher herstellen kann.

Die Radien sollten möglichst reichlich bemessen und mindestens der Wandstärke der Makrolon® Platte entsprechen, um eine höhere Steifigkeit zu erzielen und eine Verdünnung und Faltenbildung beim Formen zu vermeiden.

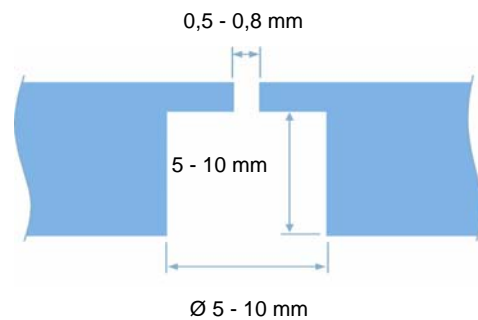


Abb. 3: Entwurf für Entlüftungsboreungen beim Tiefziehen.

### Negative und positive Werkzeuge:

Die Wahl ein Positiv- oder ein Negativwerkzeug zu verwenden, ist abhängig von der jeweiligen Anwendung. Um eine bessere Oberflächenqualität an der Außenseite des Fertigteils zu erhalten, sollte Sie Negativ-Werkzeuge verwenden. Diese geben mehr Details wieder (siehe Abbildung 4).

Technischer Berater, Juli 2009

# Makrolon® Massivplatten aus Polycarbonat

## Umformen

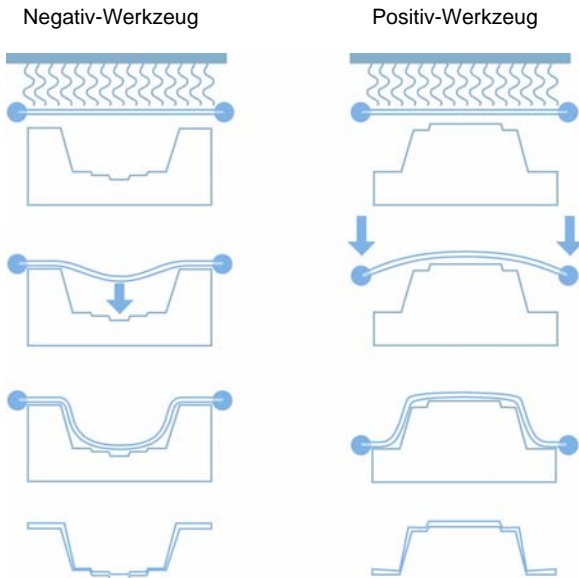


Abb. 4

### Blasen oder Ziehen ohne Gegenform

Diese Technik wird zum Formen von Kuppeln verwendet. Beim Blasen ohne Gegenform wird mit Luftdruck, beim Ziehen ohne Gegenform wird mit Vakuum gearbeitet. Zur Herstellung einwandfreier Formteile erwärmen Sie die Platten gleichmäßig. Vermeiden Sie Luftzug in der Werkstatt, der zu einer ungleichmäßigen Erwärmung führen kann. Bei einer Plattentemperatur von ca. 135 °C bleibt das Teil in der gewünschten Form und Sie können es

### Andere Methoden

Andere Warmformmethoden sind Kombinationen der vorhergenannten Verfahren.

### High Pressure Formen

In einem geschlossenen Formwerkzeug wird der atmosphärische Luftdruck, welcher die erweichte Platte über das Werkzeug streckt, mit Druckluft erhöht. Hierdurch bekommt man eine genaue Detailwiedergabe und scharfe Kanten.

### Twin Sheet Formen

Zwei erhitzte Platten werden zwischen zwei Negativ-Werkzeuge gebracht. Mit Druckluft werden so Hohlkörper gefertigt, wobei die Fertigteile eine hohe strukturelle Steifigkeit und ein niedriges Gewicht aufweisen. Bei dieser Methode können Sie zwei Platten gleichzeitig formen und verschweißen.

### Tempern

Makrolon® sollten Sie möglichst immer unter optimalen Bedingungen bearbeiten. So können Sie vermeiden, dass große innere Spannungen in den Platten entstehen, die eine nachträgliche Wärmebehandlung notwendig machen.

Tempern bedeutet Teile aufheizen, auf Temperatur halten und anschließend langsam abkühlen.

Durch Tempern in einem Wärmeschrank können innere Spannungen in Makrolon® Platten weitgehend abgebaut werden.

Dabei werden die Teile gleichmäßig auf 120 - 130 °C erwärmt und für die Dauer einer Stunde pro 3 mm Materialdicke auf dieser Temperatur gehalten. Wichtig ist, das anschließend die Teile ohne extreme Temperaturschwankungen abgekühlt werden, vorzugsweise im Ofen.

Technischer Berater, Juli 2009

# Makrolon<sup>®</sup> Massivplatten aus Polycarbonat

## Umformen

### Tipps für's Warmformen

Probleme	Mögliche Ursachen	Lösung	Warm Biegen	Streckformen	Tiefziehen	Blasen/ Ziehen oder Gegenform
Blasen in der Platte	Feuchtigkeit	Vertrocknen	•	•	•	•
	Zuviel Heizung	Heizung verringern	•		•	•
Haarrisse oder schlecht geformte Teile	Platte zu heiß	Heizung verringern			•	•
	Werkzeug zu kalt	Werkzeugtemperatur erhöhen			•	
	Teil zu spät geformt	Abkühlungszyklus kürzen			•	
	Vakuum zu schnell	Vakuum begrenzen			•	
	Scharfe Kanten	Kanten abrunden			•	
	Plattenoberfläche zu klein	Größere Platten verwenden			•	
Wellenbildung	Ungleiche Erwärmung	Kontrolle heißer Stellen und Schattenstellen			•	
	Abstand zwischen Formen zu klein	Min. Abstand = 2 x Tiefe			•	
	Vakuum zu schnell	Vakuum begrenzen			•	
	Plattenoberfläche zu groß	Abstand Spannrahmen-Werkzeug < 50mm			•	
Reduzierte oder inkomplette Details	Vakuum genügt nicht	Kontrolle auf Undichtheit bzw. Entlüftungsbohrungen zufügen			•	
	Plattentemperatur zu niedrig	Heizung erhöhen			•	
Fertigteil klebt am Werkzeug	Werkzeug zu heiß	Werkzeugtemperatur verringern			•	
	Fertigteil zu spät geformt	Schneller formen			•	
	Entformungswinkel zu niedrig	Entformungswinkel > 4°-6°			•	
Abdrücke	Werkzeugoberfläche zu glatt	Werkzeug leicht mattieren			•	
	Plattentemperatur zu hoch	Heizeit reduzieren	•	•		
	Entlüftungsbohrungen schlecht platziert	Entlüftungsbohrungen erneut bestimmen			•	
Oberflächenfehler	Staub auf der Platte od. dem Werkzeug	Reinigung mit ionisierter Druckluft		•	•	
	Entlüftungsbohrungen schlecht platziert	Entlüftungsbohrungen erneut bestimmen			•	
Ungleichmäßige Fertigteile	Werkzeug / Spannrahmen zu kalt	Vorheizung erhöhen			•	
	Heizung / Kühlung	Kontrolle der Zugluft, Kontrolle der Heizung	•	•	•	•
	Entformung zu spät	Schneller formen			•	