

Hybridbauteil als mobiler Eyecatcher

G. Steiner, Th. Rinnerhofer und M. Heß*

Kunststoffteile müssen heute eine Vielzahl unterschiedlichster Anforderungen erfüllen. Ein breites Einsatzspektrum in Verbindung mit höchsten Qualitätsansprüchen kann nur noch durch perfektes Zusammenspiel zwischen systematischer Entwicklung, kunststofftechnischer BauteilAuslegung, Materialauswahl und optimierter Bauteilfertigung erreicht werden. Im Ingenieurbüro Steiner werden diese Aspekte mit Einbindung von Werkstoffspezialisten im Rahmen von Projekten für optimale Ergebnisse vorteilhaft kombiniert. Dies hat im Fall der Cyclop Disc in Zusammenarbeit mit Ticona zu einem sehr innovativen und erfolgreichen Produkt geführt.



Stehende Werbung voll in Fahrt

Werbung stellt in der heutigen Zeit ein wichtiges Marketinginstrument im Bereich der Kundengewinnung dar. Neben Rundfunk und Printwerbung ist auch stationäre Werbung (Plakate und andere) weit verbreitet. In Form der neuen *Cyclop Disc*,

ein Produkt der Firma Cyclop Advertising in Klagenfurt ist nun Werbung auch vorteilhaft an Fahrrädern platzierbar und wird damit zum mobilen Eyecatcher. Die transportierten Botschaften sind, wie *Abbildung 1* zeigt, an den Vorderrädern angebracht und trotz voller Fahrt mit drehenden Rädern stillstehend, also unabhängig vom Tempo immer lesbar.

Neben heimischen Kunden, wie etwa der *Österreichischen Post AG*, wo bereits über 1000 Fahrräder mit der *Cyclop Disc* im Einsatz sind, setzen das System eine Vielzahl von Fahrradverleihern und -kurieren in Europa ein. Auch die Crew des *Red Bull Racing Formel 1*-Teams fährt bereits auf die *Cyclop Disc* ab. Die Nutzer dieser hochwirksamen Werbeflächen können aus einem breiten Spektrum an unterschiedlichen Designs auswählen oder eigene Wunschdesigns bis hin zur Berücksichtigung der eigenen Corporate Identity an der *Cyclop Disc* anbringen.

Das *Cyclop Disc*-System selbst besteht aus ein- oder beidseitig am Vorderrad montierten Kunststoffscheiben mit einem Außendurchmesser von jeweils 490 mm. Diese dienen als Träger für das Design, das in Form von digital mehrfarbig bedruckten Klebefolien in einem getrennten Arbeitsschritt auf die Scheibe appliziert wird. Die Auslegung des Systems hinsichtlich der anwendungs- und fertigungstechnischen Erfordernisse sowie die Auswahl des Materials wurden vom *IB Steiner* in Spielberg in enger Zusammenarbeit mit der *Ticona Austria GmbH* in Wien durchgeführt. Die Serienfertigung des Bauteils erfolgt bei der *Hybrid Composite Products GmbH* in Unzmarkt, einem auf die Fertigung von anspruchsvollen Hybridbauteilen und funktionellen Baugruppen spezialisierten Unternehmen.

Erfüllung der funktionellen Anforderungen als Fundament

Die Auflistung der technischen, logistischen, rechtlichen und natürlich vor allem auch der wirtschaftlichen Anforderun-

gen ist Basis für die Konzeption des Produktes. Dadurch wird eine Bewertung und Auswahl alternativer Lösungen ermöglicht. Bei der *Cyclop Disc* sind gute Formstabilität und hohe Steifigkeit zur Vermeidung von Flattern durch den Fahrtwind im Betrieb Grundvoraussetzungen für die Funktion des Bauteils. Zusätzlich sind ein möglichst geringer Verzug, der Einsatz im Freien in allen Klimata sowie die Einwirkung von UV-Strahlung als Basisanforderungen im Anforderungsprofil festgelegt. Eine gute Verbindungsfestigkeit (Klebefestigkeit) zur Designfolie ist unter allen Einsatzbedingungen über die Lebensdauer sicherzustellen. Nachfolgend sind auszugswise wesentliche Anforderungen aufgelistet, die das Bauteil zu erfüllen hat:

- Keine Drehung während der Fahrt;
- Einsatztemperaturen zwischen -20 °C bis $+40\text{ °C}$ bei für Zentraleuropa üblicher, relativer Luftfeuchte zwischen 10 % und 85 %;
- Hohe Kratzfestigkeit gegenüber Stein Schlag;
- Chemische Beständigkeit gegenüber zum Beispiel Schmierölen und Streusalz;
- Gute Bekleb- und Bedruckbarkeit;
- Montage unter Berücksichtigung des geringen Bauraums im Bereich der Nabe so einfach wie möglich;
- Funktionelle Geometrien abgestimmt auf die Mehrzahl der Fahrräder, auch auf Elektrofahrräder;
- Keine Beeinträchtigung beim Montagevorgang des Einzelrades.

Die Verbindung des Bauteils mit dem Fahrrad erfolgt ausschließlich über die Nabe durch Befestigung zwischen Nabe und Gabel, vergleichbar mit dem Einbau

* Dipl.-Ing. *Gottfried Steiner* und Ing. *Thomas Rinnerhofer*, beide *IB Steiner Ingenieurbüro für Kunststofftechnik*, A-8724 Spielberg, Ing. *Michael Heß*, *Ticona Austria GmbH*, A-1120 Wien.



Abbildung 1: CYLOP DISC mit digital bedruckter Dekorfolie in Aktion.



Abbildung 2: Befestigungsbereiches der Cyclop Disc mit Metalleinleger, ein Viertel ausgeschnitten.

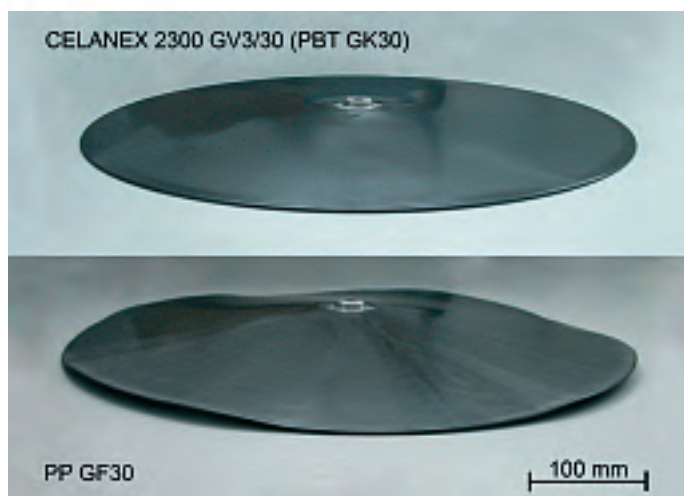


Abbildung 3: Cyclop Disc aus Celanex 2300 GV3/30 (oben) und aus PP GF30 (unten).

einer Beilagscheibe. Es müssen keine zusätzlichen Befestigungsmuttern verwendet werden, die Serienausstattung des Fahrrades ist vollkommen ausreichend. Eine weitere Abstützung ist aus funktioneller Sicht nicht vorteilhaft und vom Design nicht zugelassen. So darf einerseits keine weitere Verbindung zur Gabel vorgesehen werden und andererseits das Rad nicht mit der Cyclop Disc in Kontakt kommen oder daran schleifen. Die Schnittstelle zwischen Bauteil und Fahrrad stellt das konstruktive Kernelement dar, welches auch sicherheitsrelevante Bedingungen erfüllen muss. Beispielsweise darf durch Spannungsrelaxation oder Spannungsrisssbildung in diesem Bauteilbereich keine Abnahme der Vorspannung und damit keine Lockerung

der Verbindung zwischen Gabel und Nabe eintreten.

Basis für die Hauptentwicklung waren erste Vorversuche von Martin Jernej, dem Erfinder der Cyclop Disc, mit thermogeformten (tiefgezogenen) Bauteilen aus ABS [1]. Diese Prototypenteile ermöglichten eine Beurteilung der Produktfunktion in Hinblick auf die Eigenschaften als Träger der Werbebotschaft. Bei den durchgeführten Tests kam es jedoch durch die Druckbelastung im Spannungsbereich zu Spannungsrisen und in Folge zur Zerstörung des Befestigungsbereichs. Weiters hat eine Analyse des bestehenden Bauraums für unterschiedliche Fahrradtypen ergeben, dass das Fixierelement so dünn wie möglich ausgeführt werden soll.

Die erarbeitete und ausgewählte Lösung im Rahmen der Hauptentwicklung: eine Ausführung der Cyclop Disc als Hybridbauteil. Nach Trennung der Grundfunktionen ergibt die Werkstoffauswahl zwei optimale Materialien für das Produkt. Die Design-relevanten Elemente werden in Kunststoff ausgeführt, der Befestigungsbereich zur Nabe hin als metallisches Einlegeteil gestaltet. Die Fertigung des Hybrid-Bauteils erfolgt im Spritzguss, wobei das Metallbauteil in die Form eingelegt und mehrseitig umspritzt wird. Als Anguss kommt infolge der scheibenförmigen Geometrie ein zentraler Stangenanguss mit 4-fach Punktanbindung zum Einsatz. Der Kaltkanal-Unterverteiler ist auf die Geometrie des Metalleinlegers abgestimmt. Abbildung 2 zeigt eine Schnittdarstellung des zentralen Befestigungsbereiches des Bauteils mit dem Einlegeteil.

Neben der Befestigungs- und Sicherheitsfunktion spielen, wie bereits angeführt, vor allem die Formstabilität, die Steifigkeit sowie die Verzugsfreiheit unter den vorgegebenen Einsatzbedingungen eine entscheidende Rolle. Grundsätzlich neigen ebene, scheibenförmige Bauteile bereits bei geringen Eigenspannungen zu instabilem Verformungsverhalten. Die im Spritzgießprozess bedingten Schwindungsunterschiede, verursacht durch Fließweg-Wanddickenunterschiede, Spritzparameter und andere, beeinflussen dieses Verhalten maßgeblich. Weiters wirken sich Art und Orientierung von Füll- und Verstärkungsstoffen deutlich auf das Maß der Schwindung und damit auf Erscheinungsbild und Höhe des Verzugs aus. Fazit daraus ist die Tatsache, dass nur durch keine oder sehr geringe Schwindungsdifferenzen die Sollgeometrie ohne nennenswerte Verzugsverformungen hergestellt werden kann (Abbildung 3). Für die vorgegebene Bauteilgeometrie der Cyclop Disc wirkt sich anisotropes Werkstoffverhalten, etwa bedingt durch den Einsatz von Verstärkungsfasern, sehr negativ auf das Verzugverhalten aus. Die stark unterschiedlichen Schwindungswerte bei Orientierung in Faserlängs- und Faserquerrichtung verursachen entsprechend hohe Schwindungsdifferenzen und damit Abkühlspannungen im Spritzgussteil, die zu Verzug führen. Bei gleichen Eigenspannungen ist das absolute Maß des Verzugs umso geringer, je höher die Steifigkeit des Bauteils im belasteten Querschnitt ist. Dünne Scheiben ohne Verrippung haben hier deutliche Nachteile.

| Material | Einheit | Bedingungen | ABS | PP GF30 | PA 6 GK30 | PBT GK30 |
|-------------------------------------|-------------------|------------------|-------------|---------|-----------|----------|
| Dichte (bei RT) | g/cm ³ | | 1,05 | 1,12 | 1,35 | 1,55 |
| E-Modul (bei RT) | MPa | konditioniert | 2 500 | 6 200 | 1 900 | 4 000 |
| | | trocken | 2 500 | 6 200 | 4 500 | 4 000 |
| Verarbeitungsschwindung | % | längs | 0,4 bis 0,7 | 0,2 | 0,8 | 1,4 |
| | % | quer | 0,4 bis 0,7 | 1,0 | 1,1 | 1,4 |
| Schlagzähigkeit (konditioniert) | kJ/m ² | +23 °C | kein Bruch | 50,0 | 70,0 | 22,0 |
| | | -30 °C | | 140,0 | 45,0 | 55,0 |
| Kerbschlagzähigkeit (konditioniert) | kJ/m ² | +23 °C | 35,0 | 11,0 | 5,0 | 3,3 |
| | | -30 °C | 13,0 | 9,0 | 5,0 | 3,3 |
| Wasseraufnahme | % | +23 °C, 50 % r.F | 0,22 | <0,1 | 2,1 | 0,15 |

Tabelle 1: Materialvergleich Cyclop Disc [2].

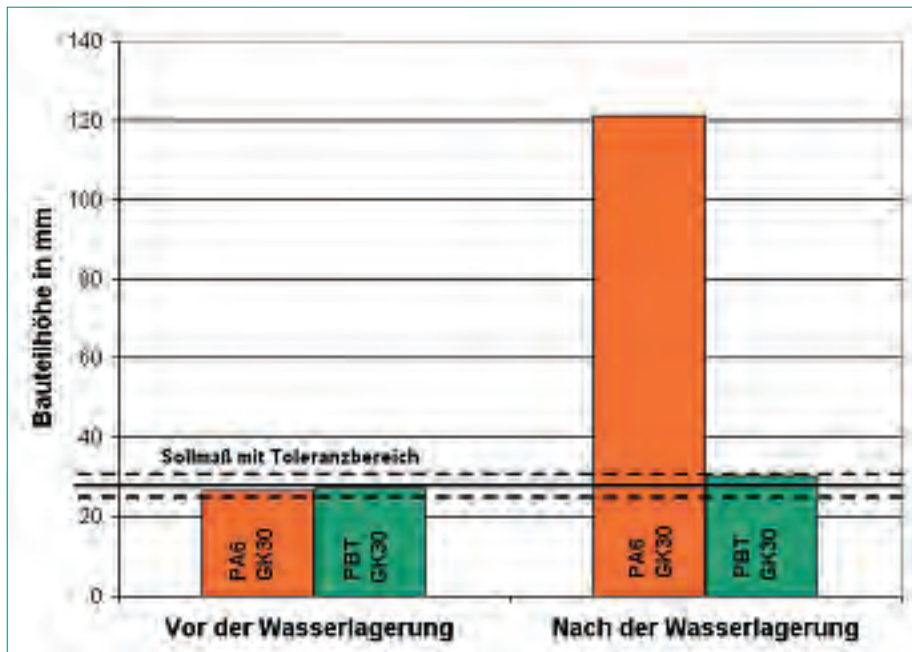


Abbildung 4: Verformung nach Wasserlagerung von PA6 GK30 und PBT GK30.

Die Werkstoffauswahl macht's

Vorteilhafte Produkteigenschaften sind durch die Geometrie, den Prozess und das Material bestimmt. Zur Erfüllung der wesentlichen Anforderungen hat daher die Auswahl des optimalen Werkstoffs für die Anwendung eine zentrale Bedeutung. Die Tabelle 1 (auf Seite 57 unten) zeigt einen Auszug der im Zuge der Materialauswahl berücksichtigten thermoplastischen Kunststoffe mit einigen, für die Materialauswahl relevanten Eigenschaftswerten [2]. Der für die Prototypen gewählte Werkstoff Acrylnitril-Budadien-Styrol-Copolymer (ABS) ist zu Vergleichszwecken mit angeführt.

Im Falle der *Cyclop Disc* wird das Optimum durch den polymeren Werkstoff *Celanex 2300 GV3/30* von *Ticona* für die Kunststoffscheibe und einem rostfreien Stahl für das Befestigungselement erreicht. Der technische Thermoplast *Celanex 2300 GV3/30* gehört zur Gruppe der Polybutylenterephthalate und ist mit 30 % Glaskugeln verstärkt (PBT GK30), was isotrope

Werkstoffeigenschaften ergibt. Die grundsätzlichen Anforderungen hinsichtlich der chemischen und thermischen Beständigkeiten sowie jene der mechanischen Belastungen werden von diesem Werkstoff vorteilhaft erfüllt. Bei der Prüfung der Verbindungsfestigkeit zum Dekor haben Klebeversuche ohne Vorbehandlung bei *Celanex 2300 GV3/30* im Vergleich zu Polypropylen mit 30 % Glasfaserverstärkung (PP GF30) signifikant bessere Schälfestigkeiten ergeben.

Celanex 2300 GV3/30 spielt seine Stärke aber vor allem im Schwindungsverhalten aus. Die isotrope Verarbeitungsschwindung ermöglicht das Spritzgießen der *Cyclop Disc* mit sehr geringen Schwindungsdifferenzen und Eigenspannungen. Obwohl PP GF30 mit 6 200 MPa bei Raumtemperatur (RT) einen höheren E-Modul aufweist wie PBT GK30 mit 4 000 MPa, kann der negative Einfluss der Faserorientierung auf das Verzugsverhalten der *Cyclop Disc* nicht durch die Steifigkeit (E-I) kompensiert werden. Abbildung 3 (Seite 57) zeigt den Bau-

teilverzug nach dem Spritzgießen im Vergleich zwischen *Celanex 2300 GV3/30* und einem PP GF30. Glasfaserverstärktes Polypropylen ist daher als Serienwerkstoff für die *Cyclop Disc* nicht geeignet.

Schwindungs- und Verzugseffekte werden auch durch Umwelteinflüsse, etwa durch Temperatur und Luftfeuchtigkeit, mit beeinflusst. Die von der Faserorientierung verursachte Anisotropie des Längenausdehnungskoeffizienten ist in keiner Weise vernachlässigbar. Wasseraufnahme im Regen, beschleunigt durch hohe Außentemperaturen, kann Bauteilverzug auslösen, der den Verlust der Bauteilfunktion zur Folge hat.

Fertigt man die *Cyclop Disc* aus einem mit 30 % Glaskugeln verstärktem Polyamid 6 (PA6 GK30), so ist der Verzug nach den Spritzgießen, wie auch bei Scheiben aus *Celanex 2300 GV3/30* innerhalb der für den Einsatz zulässigen Toleranzen. Im Klimatest erfolgt eine Lagerung der Bauteile über 24 Stunden bei einer Temperatur von +50 °C und bei einer relativen Luftfeuchte von 100 %. Abbildung 4 zeigt den Vergleich zwischen PBT GK30 und PA6 GK30 nach der Lagerung im Feuchtklima. Zur Auswertung wird dabei das Höhenmaß zwischen Bauteilrand und der äußeren Kontaktfläche des Einlegeteils zur Nabe, also die Gesamthöhe der *Cyclop Disc* bestimmt. Die deutliche Zunahme des Höhenmaßes bei den Spritzgussteilen aus PA6 GK30 ist auf die mit der Wasseraufnahme in Verbindung stehende Volumenänderung und Abnahme der Steifigkeit zurückzuführen. Durch den im Vergleich zum trockenen Zustand um etwa 60 % geringeren E-Modul werden bestehende Eigenspannungen frei. Die unzulässigen Verformungen von mehr als 100 mm (!) bilden sich wellenförmig aus. Damit scheidet auch verstärktes Polyamid als möglicher Serienwerkstoff aus.

Bei den Bauteilen aus *Celanex 2300 GV3/30* bleibt die Eigenspannungssituation im Gleichgewicht. Das Höhenmaß steigt bei diesem Bauteil nur minimal und bleibt innerhalb des zulässigen Toleranzfeldes (Abbildung 4).

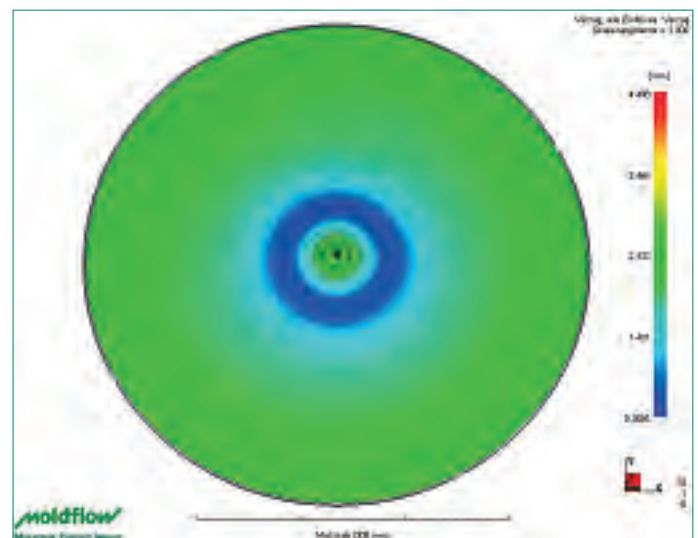
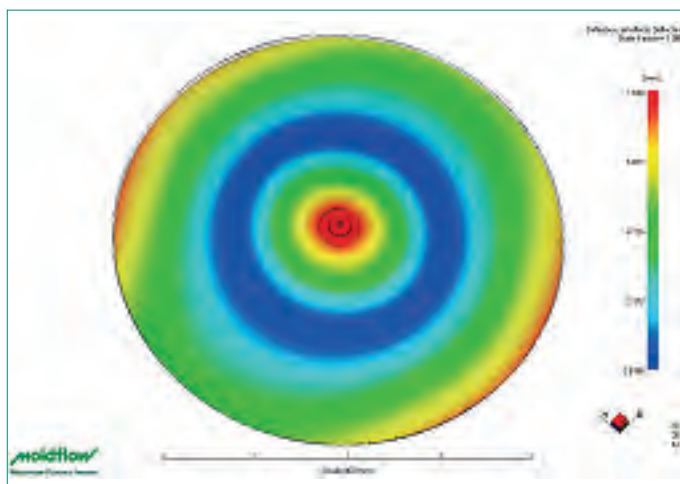


Abbildung 5: Verzugsverhalten von PP GF30 (oben) und PBT GK30 (rechts) beim Spritzgießen (Software: AMI).

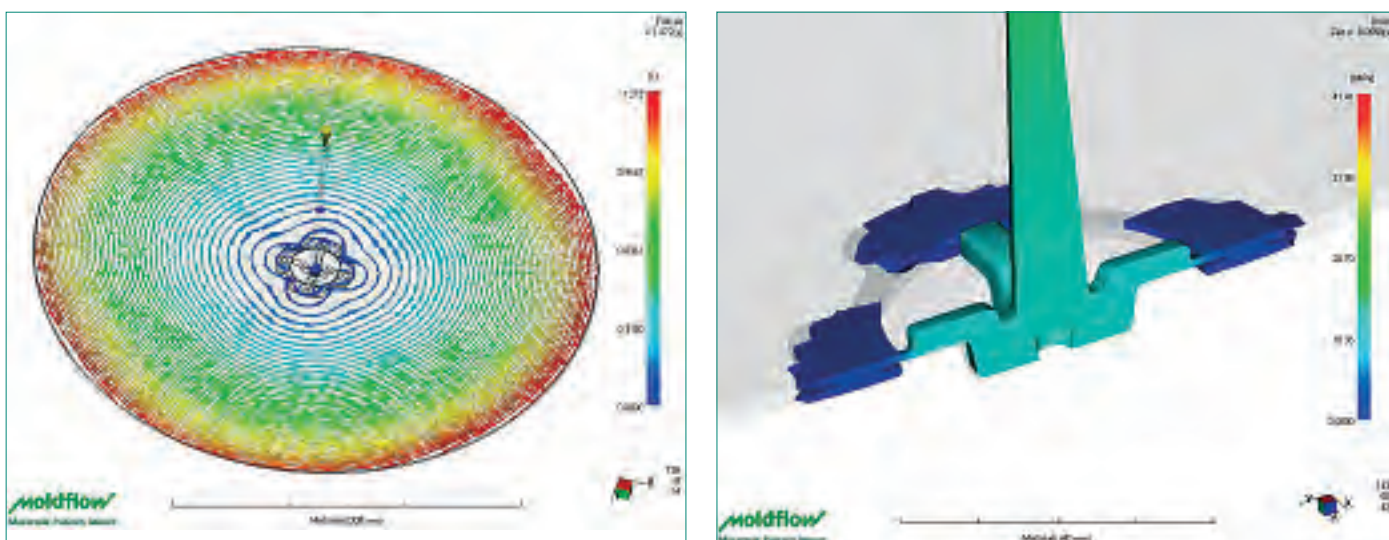


Abbildung 6: Füllbild für Celanex 2300 GV3/30 mit Angussdetail im Halbschnitt (Software: AMI).

Hohe Entwicklungseffizienz durch Einsatz virtueller Tools

Die Auslegung des Hybrid-Bauteils *Cyclop Disc* sowie der Spritzgussform wurde mit Hilfe von virtuellen Entwicklungstools durchgeführt. Bei der Prozesssimulation mit dem Softwarepaket *Autodesk Moldflow Insight (AMI)* wurden zwei wesentliche Kriterien für die Beeinflussung des Verzugsverhaltens in Wechselwirkung mit der Steifigkeit herangezogen: die Wanddickenverteilung des Bauteils und das eingesetzte Material. Vergleicht man das Schwindungs- und Verzugsverhalten der vorausgewählten Werkstoffe PP GF30 und PBT GK30, so können die Vorteile von *Celanex 2300 GV3/30* bereits in der Spritzgussimulation klar verifiziert werden. Bei einer Gesamtverformung der Scheibe aus PP GF30 von über 7 mm sind 4,5 mm in der Höhe funktionsrelevant, wobei der Verzug über den Umfang im Ausmaß von 2,5 mm ungleichmäßig ausgebildet ist, wie *Abbildung 5* zeigt. Die Scheibe aus PBT GK30 hat einen Höhenverzug vom Befestigungspunkt bis zum Außenrand von lediglich 1,5 mm, der bei der Auslegung der Spritzgussform vorgehalten wird. Das in *Abbildung 3* dargestellte reale Verzugsverhalten der Bauteile hat die Ergebnisse voll bestätigt.

In mehreren virtuellen Entwicklungsschleifen wurde für das Spritzgießverfahren die optimale Wanddickenverteilung über der Fließweglänge ermittelt. Die Wanddicke des Bauteils nimmt dabei ausgehend vom Anschnitt verlaufend zum Bauteilrand hin ab. Die Wanddickenabnahme von 3,5 mm auf 2,3 mm erfolgt nicht linear, sondern wurde für eine optimale Wirksamkeit des Nachdrucks und damit für eine möglichst gleichmäßige Schwindung über der Fließweglänge radial angepasst. Damit werden unter anderem die Schwindungsdifferenzen und damit die Verzugsverformungen so gering wie möglich gehalten. Eine derartige Konzeption ist ausschließlich durch Verständnis der jeweiligen Vorgänge und Effekte bei der Formfüllung und Abkühlung möglich. Dieses Verständnis wird durch den Einsatz

der rheologischen Simulation mit Selektion der Einzeleffekte erreicht. Verzug infolge thermischer Schwindung und Verzug infolge der Orientierung der Füllstoffe können dabei in ihrer Wirkung getrennt und in Summe beurteilt werden. Damit erlaubt die Simulation einen Blick in das Bauteil, noch bevor die Fertigung real möglich ist. Virtuelles Spritzgießen liefert zusätzlich im Detail optimierte Prozesseinstellungen für Bemusterung und Serienproduktion. Dadurch können die Gesamtkosten und der erforderliche zeitliche Aufwand für Bemusterungen und Optimierungen deutlich reduziert werden.

In *Abbildung 6* ist die Füllung der *Cyclop Disc* beim Spritzgießen mit *Celanex 2300 GV3/30* dargestellt. Die durch den zentralen Stangenanguss mit 4-fach Kaltkanal-Unterverteiler entstehende Kleeblatt-förmige Asymmetrie in der ersten Füllphase wird bis zum Füllende nahezu vollkommen ausgeglichen. Zu sehen ist in dieser Darstellung auch die Kontur des Metalleinlegers mit den als Fließhilfen wirkenden Bohrungen, welche bereits in der ersten Füllphase den Metalleinleger mittig positionieren. Diese Bohrungen haben zusätzlich die Funktion von Verankerungselementen im Befestigungsbereich zwischen Kunststoff und Metall, wie dies im Schnitt in *Abbildung 2* gezeigt wird.

Neben der geometrischen Auslegung wurden auch unterschiedliche Materialien und Verstärkungsstoffe in den Simulationen untersucht und somit die Simulation als Unterstützung bei der Materialauswahl herangezogen. Sie ermöglicht durch Variation der Materialien eine detaillierte Analyse der zuvor beschriebenen Effekte. Wiederum kann ein nicht unbeträchtlicher Vorteil für Anzahl und Dauer der Spritzversuche generiert werden, da in Verbindung mit den Vorschlägen der Rohstoffhersteller mögliche Werkstoffe bereits gezielt ausgewählt und beurteilt werden können.

Der Lohn für gute Arbeit

Unter Berücksichtigung der vorteilhaften Materialeigenschaften von *Celanex 2300 GV3/30* sowie der systematischen,

virtuellen Bauteilauslegung konnten im gegenständlichen Fall unter Anwendung von Standardparametern vollkommen verzugsfreie Bauteile bei den ersten Bemusterungen hergestellt werden. Bereits die ersten fallenden Bauteile haben alle Freigabeteils positiv bestanden. Nach entsprechender Prüfung aller Anforderungen wurde die *Cyclop Disc* als Hybridbauteil für den Serieneinsatz freigegeben, um auf den Straßen dieser Welt als mobiler Eye-catcher auf sich aufmerksam zu machen.

Literatur

- [1] Österreichisches Gebrauchsmuster GM 605/2007.
- [2] Datenblätter der Rohstoffhersteller, CAMPUS.

Kontakte

IB Steiner
Ingenieurbüro für Kunststofftechnik

Dipl.-Ing. Gottfried Steiner
Head of Engineering
g.steiner@ibsteiner.com

Ing. Thomas Rinnerhofer
Project Engineering
t.rinnerhofer@ibsteiner.com

Poststraße 12, A-8724 Spielberg
0043 35 12 72 77 6 0

www.ibsteiner.com

Ticona Austria GmbH

Ing. Michael Heß, Sales Manager
0043 664 4064007
michael.hess@ticona.at

Altmannsdorfer Straße 104
A-1120 Wien

www.ticona.at

Cyclop Advertising, Klagenfurt

www.cyclop.at

Hybrid Composite Products GmbH,
Unzmarkt

www.hcp0.com