Power-Tools mit maximaler Leistung und Lebensdauer –

ermöglicht durch wärmeleitfähigen Kunststoff und optimiertes Design.

Makrolon® TC

WHITEPAPER

covestro

Temperaturmanagement

Batteriebetriebene Power-Tools gehören seit vielen Jahren zum Standard bei elektrischen Werkzeugen. Neben dem großen Heimwerkermarkt erobern diese vielseitigen und flexiblen Arbeitsgeräte in jüngster Zeit auch mehr und mehr den herausfordernden Profibereich. Sie müssen daher höchsten Ansprüchen genügen. So können heute selbst solche Power-Tools per Akku betrieben werden, deren Einsatz früher nur kabelgebunden vorstellbar war.

Extreme Leistungsfähigkeit ist zumeist mit einer hohen Stromabgabe und -aufnahme der Batterie verbunden. Somit entstehen während des Gebrauchs, aber auch bei sehr schneller Ladung, hohe Temperaturen im Akku. Um ein Überhitzen zu vermeiden, muss die Wärme möglichst effizient an die Umgebung abgegeben werden.

Die Reduktion der maximalen Zelltemperaturen im Lade-/Entladezyklus hat entscheidenden Einfluss auf die Lebensdauer eines Akkupacks. Als grobe Daumenregel gilt: Bereits 9 °C über Raumtemperatur halbieren die Lebensdauer der Zellen. Neben der Reduktion der Maximaltemperaturen ist eine möglichst gleichmäßige Temperaturbelastung aller Batteriezellen anzustreben.

Ein optimiertes Temperaturmanagement erhöht also nicht nur die Leistungsfähigkeit des Akkus, sondern auch dessen Lebensdauer.

Mit hoch wärmeleitfähigen Werkstoffen von Covestro können Akkupacks von Power-Tools gezielt auf die speziellen Anforderungen zugeschnitten werden.

		Elektrisch leitend			Elektrisch isolierend		
Eigenschaften	**Standard/ Condition/ Unit**	**Makrolon® TC421**	**Makrolon® TC621**	**Makrolon® TC629**	**Makrolon® TC210**	**Makrolon® TC110**	**Makrolon® TC110FR**
Wärmeleitfähigkeit parallel/senkrecht	ASTM E 1461-01 23 °C (W/mK)	8 0,9	16 1,4	15 1,2	1.4 0.3	1.0 0.3	0.8 0.2
Charpy-Schlagzähigkeit	ISO 179-1eU 23 °C (kJ/m²)	<10	<10	<10	12	70	90
Dichte	ISO 1183 (kg/m³)	1300	1400	1380	1560	1450	1450
Vicat-Erweichungstemperatur (VST)	ISO 306 50N/50 K/h (°C)	131	128	144	146	145	145

Tabelle 1: Auszug Produktfamilie **Makrolon® TC**

Der passende Werkstoff, kombiniert mit dem optimierten Design eines Akkupacks, trägt dazu bei, die entscheidenden 2 bis 3 °C Temperaturreduktion zu erreichen, die für die maximale Performance des Power-Tools nötig sind.
Die beiden wesentlichen Parameter – Werkstoff und Design – haben wir an einem vereinfacht dargestellten Modell eines Akkupacks untersucht.

Modellbeschreibung Akkupack

Das vereinfachte Modell des Akkupacks besteht aus 8 Batteriezellen, die jeweils an den Enden in einen Zellhalter eingesteckt sind. Weiterhin enthält der Akkupack zwei PCBs zur Aufnahme der Steuerungselektronik.
Ein Gehäuse umschließt dieses Paket und schützt die Akkus vor Feuchtigkeit sowie mechanischer Belastung im Gebrauch oder bei einem Aufprall.

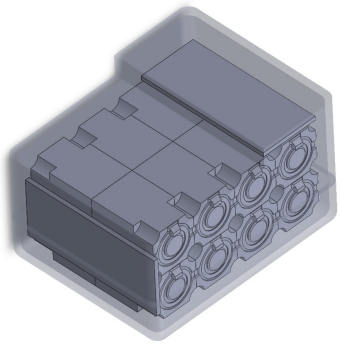


Bild 1: CAD-Modell eines Akkupacks, bestehend aus Gehäuse, Zellhalter, Batteriezellen und Platinen

Als Gehäusewerkstoff wurde ein schlagzähes PC/ABS-Blend **(Bayblend® FR3010)** eingesetzt, das zusätzlich ein Flammschutzpaket enthält und eine Flammschutzklassifizierung von V0 bei 1,5 mm Wanddicke nach UL94 erreicht.

Die Zellhalter bestehen in der Fallstudie entweder aus dem gleichen Werkstoff wie das Gehäuse oder aus einem speziellen, höher wärmeleitfähigen **Makrolon® TC110.**

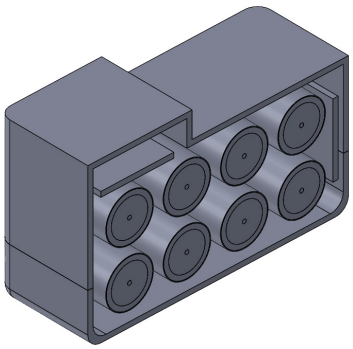


Bild 2a: Querschnitt des Akkupacks mit Platinen

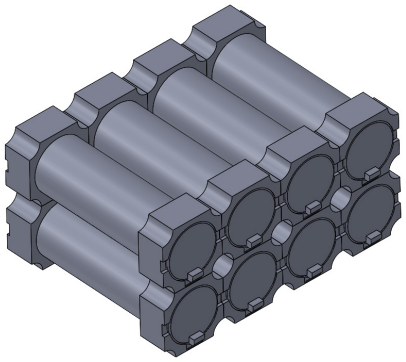
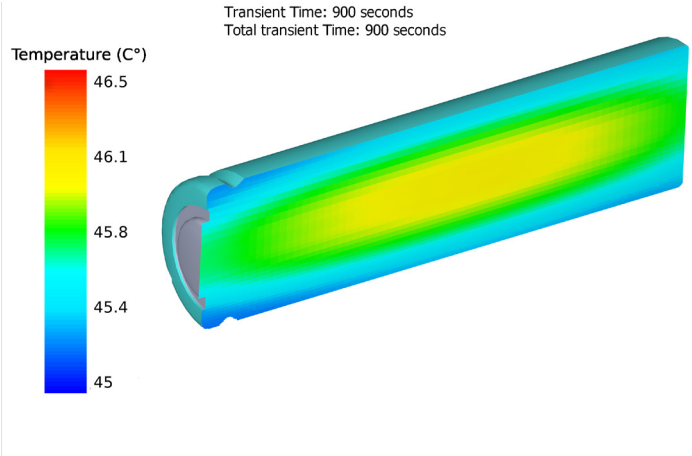


Bild 2b: Erste Variante des Zellhalters

Neben einer fast 5-fach höheren Wärmeleitfähigkeit verglichen mit einem normalen PC/ABS verfügt **Makrolon® TC110** über ausreichende Zähigkeit, um die äußeren Lasten ohne Beschädigung aufzunehmen.

Damit die Temperaturentwicklung im Akkupack realistisch abgebildet werden kann, wurde im Vorfeld eine einzelne Zelle bezüglich ihres Temperaturverhaltens während des Lade-/Entladezyklus untersucht.



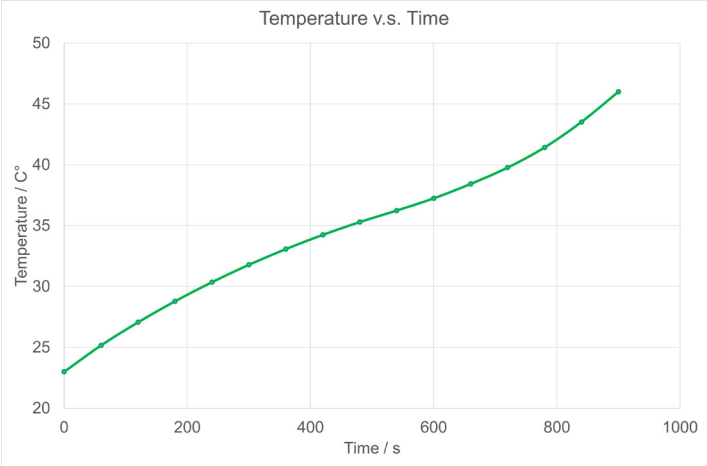


Bild 3: CFD-Simulation einer Batteriezelle – Konvektion an Luft während eines Ladezyklus

Die Batteriezelle wurde mit einem Ladestrom von 5 A beaufschlagt, was einer Ladung/Entladung von deutlich mehr als 2 C entspricht. Die Modellierung der Zelle erfolgte mithilfe einer CFD-Simulation unter Berücksichtigung aller Wärmetransportmechanismen an der Luft bei Raumtemperatur.

Das Batteriemodell heizte sich in der Simulation auf ca. 47 °C auf, was sehr gut mit praktischen Versuchen korreliert und somit die Voraussetzung für eine realistische Modellierung eines gesamten Akkupacks schafft. Im Folgenden wurde ein Akkupack modelliert, bei dem sowohl das Gehäuse als auch die Zellhalter aus einem PC/ABS mit werkstofftypischer Wärmeleitfähigkeit bestehen (α = 0,2 W/mK).

Modellbeschreibung Akkupack

Die Batteriezellen wurden wiederum mit einem Ladestrom von 5 A beaufschlagt, um die Temperaturentwicklung der Zellen in der Einbausituation des Akkupacks zu berechnen.

Da die Wärme der Zellen nun nicht mehr direkt an die Luft abgeführt werden konnte, staute sich die Wärme, was zu einer extrem hohen Temperatur von 75 °C führte. Für eine optimale Lebensdauer und Leistungsfähigkeit der Zellen sollten Temperaturen über 60 °C vermieden werden.

Um den sicheren Betrieb dieses Akkupacks zu gewährleisten, müsste die Leistungsabgabe deutlich reduziert werden, bei signifikant längeren Ladezeiten. Für High-End-Geräte ist dies keine Option.

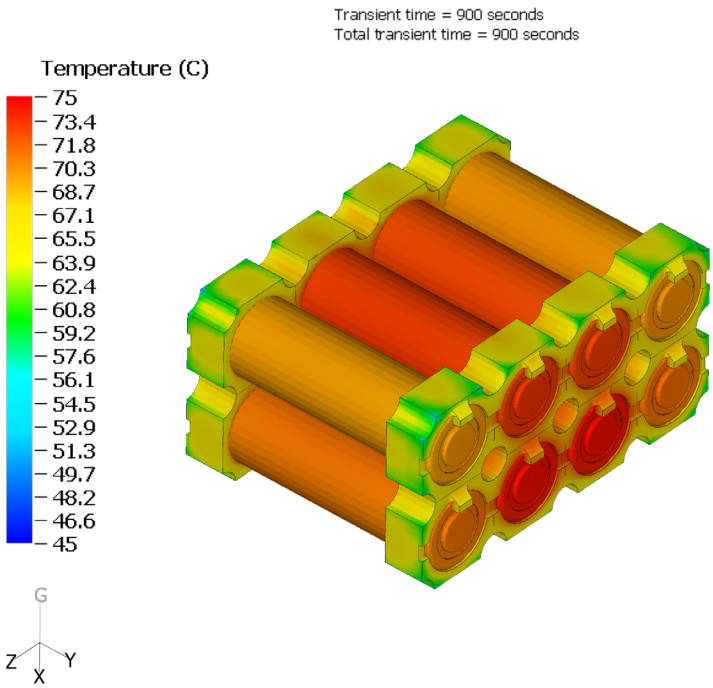


Bild 4: CFD- Simulation Batteriemodell

Es ist möglich, einen bestehenden Akkupack bereits mit einfachen Mitteln ohne Änderungen am Design zu optimieren. Werden die relativ kurzen Zellhalter in einem **Makrolon® TC110** ausgeführt, dann erfüllen sie neben der Führung der Zellen auch die Funktion eines „Wärme-Spreaders", der schnell Wärme aufnehmen und diese direkt an die Gehäusewand abgeben kann. Diese Maßnahme kann die Temperaturen in den Zellen bereits um 3 °C reduzieren.

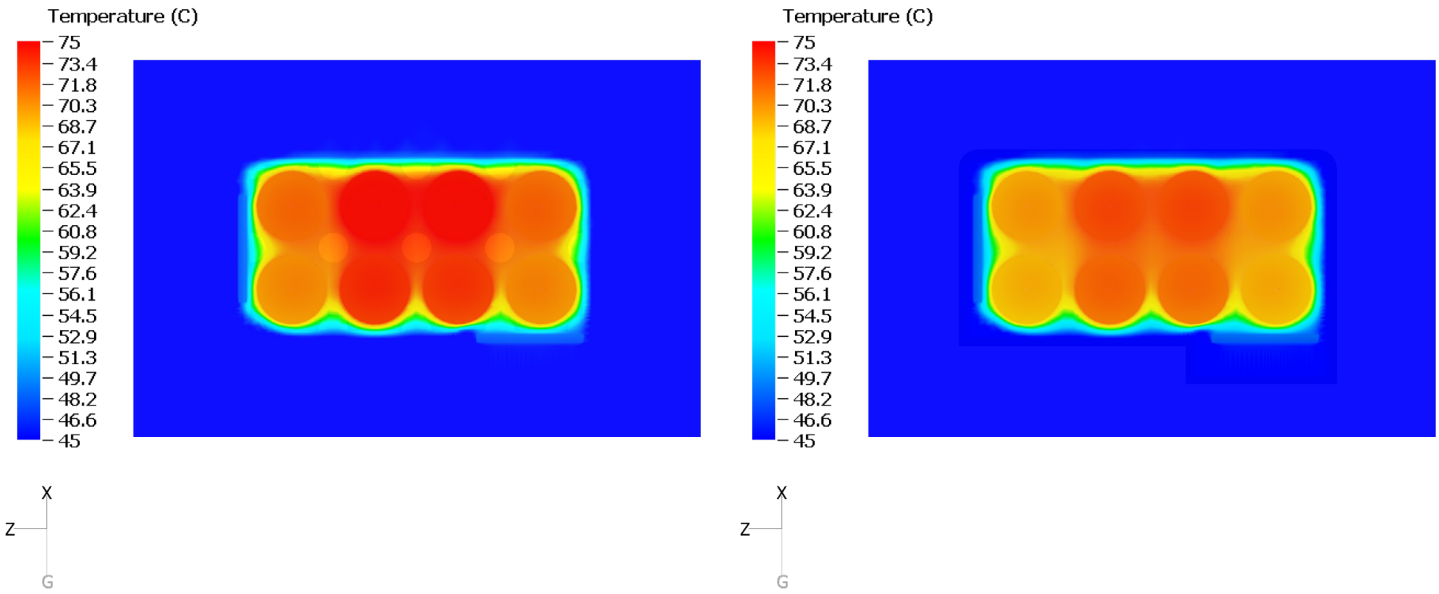


Bild 5: Maximale Temperatur der Batteriezelle mit Zellhaltern aus Standard-PC/ABS links (T = 75 °C) und **Makrolon® TC110** rechts (T = 72 °C)

Eine wesentlich größere Reduktion der Temperatur sehen wir jedoch dann, wenn der Zellhalter einen größeren Bereich der Zelle umschließt. Dies hat zwei wesentliche Effekte: Zum einen verringert sich das Luftvolumen (Isolation) zwischen Batteriezellen und Gehäusewand, und zum anderen kann die Wärme über eine vergrößerte Fläche an das Gehäuse weitergegeben werden. Bei einer Konfiguration mit reinem PC/ABS kann diese geometrische Optimierung die Temperatur bereits signifikant auf 63 °C senken. Kommt das wärmeleitfähige **Makrolon® TC110** für die Zellhalter zum Einsatz, kann sogar eine Temperatur von 58 °C erreicht und somit die maximal zulässige Temperatur um 2 °C unterschritten werden.

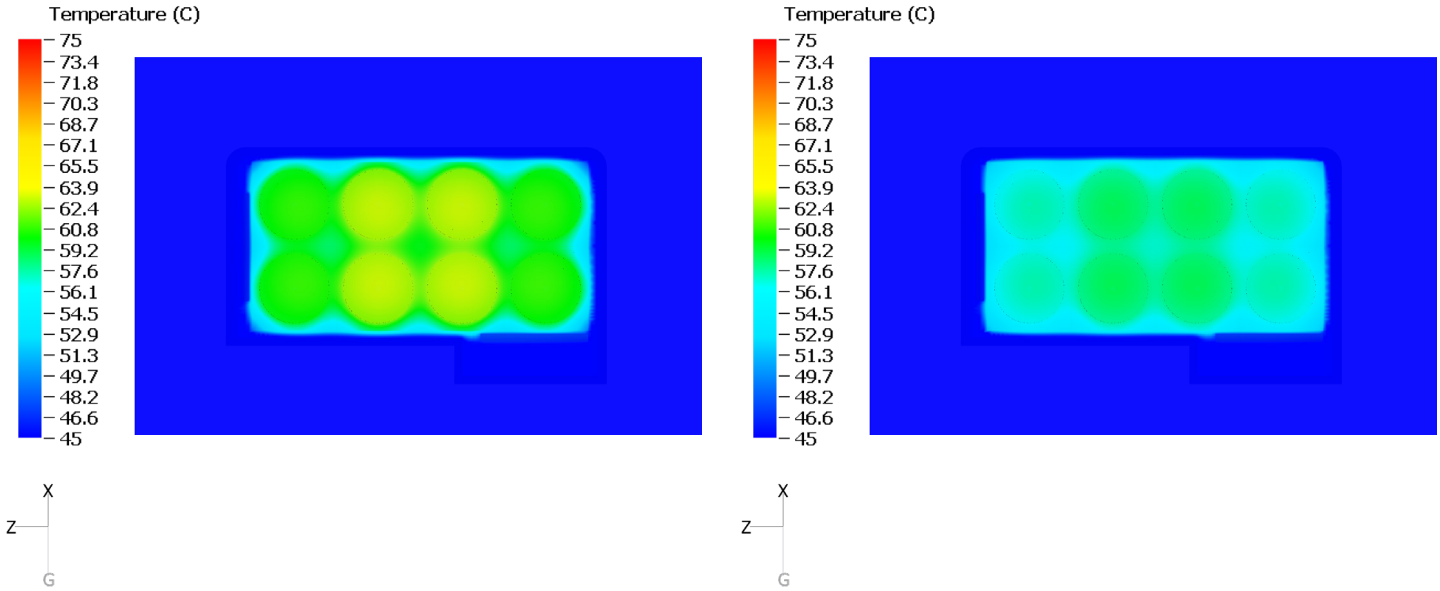
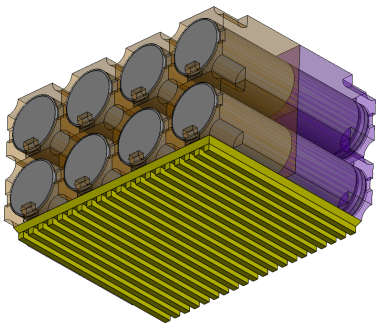


Bild 6: Geometrische Optimierung der Zellhalter aus Standard-PC/ABS links (T = 63 °C) und **Makrolon® TC110** rechts (T = 58 °C)

Lässt das Design des Akkupacks außerdem die Verwendung des **Makrolon® TC110** an der Außenwand des Gehäuses zu, so führt dies zu einem gleichmäßigeren Wärmestrom und zu einer sehr homogenen Temperaturverteilung der einzelnen Zellen. Somit ist nicht nur die maximale Temperatur auf ein sehr niedriges Maß reduziert. Darüber hinaus wird sich die Lebensdauer des Akkupacks aufgrund der nun sehr gleichmäßigen Temperatur aller Zellen erhöhen, da es zu keiner isolierten Temperaturlast einzelner Zellen kommt



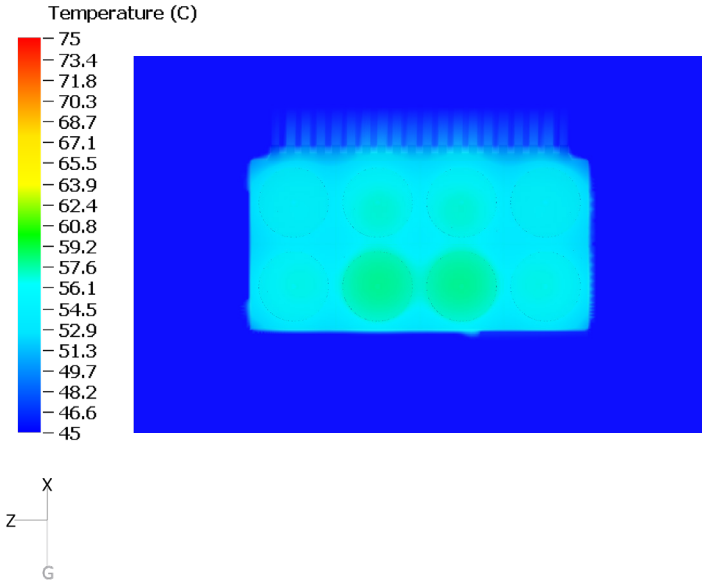


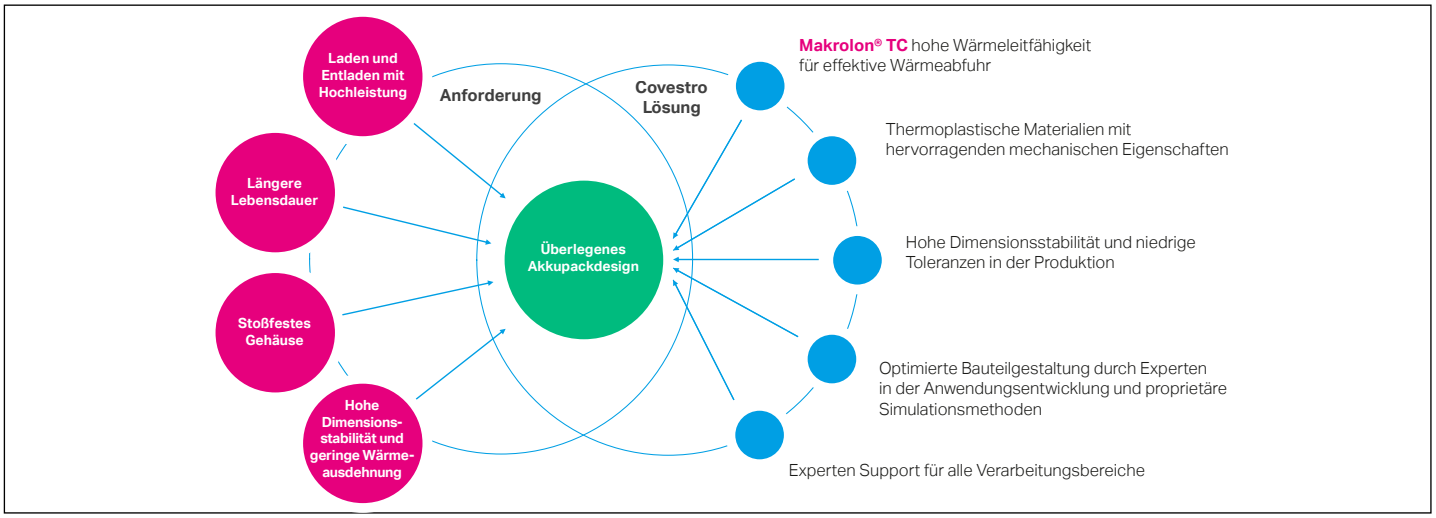
Bild 7: Optimierte Wärmeabfuhr durch Integration (2K-Spritzguss) von **Makrolon® TC110** in das Gehäuse rechts (T = 57 °C)

Fazit thermische Simulation eines Akkupacks

Mit der hier durchgeführten Konzeptstudie konnten wir zeigen, dass sich die thermische Simulation eines Akkupacks oder Batteriemoduls hervorragend zu einer qualitativen und auch quantitativen Analyse des Temperaturhaushaltes eignet. Maßnahmen können einfach und konstruktiv anhand eines modifizierten CAD-Modells umgesetzt und beurteilt werden.

Ein weiterer Vorteil der Simulation ist die schnelle Abschätzung des Werkstoffeinflusses auf das Temperaturmanagement. Somit kann der Akkupack bereits im Vorfeld des Werkzeugbaus optimal ausgelegt werden.

Akkupacks für Power-Tools werden heute zumeist mit konventionellen thermoplastischen Kunststoffen – mit einer typischen Wärmeleitfähigkeit von 0,2 W/mK – realisiert. Konzeptionell führt dies jedoch selbst bei optimierter Geometrie schnell an eine Grenze der Wärmeabfuhr. Für Power-Tools mit extremen Anforderungen bietet nur die Werkstoffumstellung auf einen thermisch leitfähigeren Kunststoff (z. B. **Makrolon® TC110**) einen Ausweg, um die manchmal entscheidenden 2 bis 3 °C Temperaturreduktion zu ermöglichen.



Es liegt außerhalb unserer Kontroll- und Einflussmöglichkeiten, in welcher Art und Weise und zu welchem Zweck Sie unsere Produkte, technischen Unterstützungen sowie Informationen (unabhängig ob mündlich, schriftlich oder anhand von Produktionsbewertungen erhalten) einschließlich vorgeschlagener Formulierungen und Empfehlungen, anwenden und/oder einsetzen. Daher ist es unerlässlich, dass Sie unsere Produkte, technischen Unterstützungen und Informationen sowie Formulierungen und Empfehlungen eigenverantwortlich daraufhin überprüfen, ob sie für die von Ihnen beabsichtigte Verarbeitung und Anwendung auch tatsächlich geeignet sind. Eine anwendungsspezifische Untersuchung muss mindestens eine Überprüfung auf Eignung in technischer Hinsicht sowie hinsichtlich Gesundheit, Sicherheit und Umwelt umfassen. Derartige Untersuchungen wurden nicht notwendigerweise von Covestro durchgeführt und Covestro hat keine Zulassungen oder Genehmigungen für eine bestimmte Anwendung oder Nutzung der Produkte eingeholt, sofern dies nicht ausdrücklich erklärt wurde. Wenn die vom Käufer beabsichtigte Verwendung in dem Einsatz für Arzneimittel oder Medizinprodukte oder in Vorstufen für Medizinprodukte[1] oder einer anderen spezifisch regulierten Anwendung liegt, die zu einer Covestro selbst treffenden regulatorischen Anforderung führt oder führen kann, muss Covestro dieser Verwendung vor dem Verkauf ausdrücklich zustimmen. Der Verkauf aller Produkte erfolgt – sofern nicht schriftlich anders mit uns vereinbart – ausschließlich nach Maßgabe unserer Allgemeinen Verkaufsbedingungen, die wir Ihnen auf Wunsch gerne zusenden. Alle Informationen und sämtliche technische Unterstützung erfolgen ohne Gewähr (jederzeitige Änderungen vorbehalten). Es wird ausdrücklich vereinbart, dass Sie jegliche Haftung (Verschuldenshaftung, Vertragshaftung und anderweitig) für Folgen aus der Anwendung unserer Produkte, unserer technischen Unterstützung und unserer Informationen selber übernehmen und uns von aller diesbezüglichen Haftung freistellen. Hierin nicht enthaltene Aussagen oder Empfehlungen sind nicht autorisiert und verpflichten uns nicht. Keine hierin gemachte Aussage darf als Empfehlung verstanden werden, bei der Nutzung eines Produkts etwaige Patentansprüche in Bezug auf Werkstoffe oder deren Verwendung zu verletzen. Es wird keine konkludente oder tatsächliche Lizenz aufgrund irgendwelcher Patentansprüche gewährt.

[1] Siehe Leitfaden für den Einsatz von Covestro-Produkten in einer Medizinischen Anwendung.

Edition: 2022 · Printed in Germany

Covestro Deutschland AG
Engineering Plastics
Kaiser-Wilhelm-Allee 60
51373 Leverkusen
Germany

solutions.covestro.com
plastics@covestro.com