

**STRAHLENVERNETZUNG:
VOM KUNSTSTOFF ZUM
HOCHLEISTUNGS-WERKSTOFF**

VOM KUNSTSTOFF ZUM HOCHLEISTUNGS-WERKSTOFF

Kunststoffe sind leicht – und sie bieten aufgrund der Kombination aus geringem Gewicht, guten Gebrauchseigenschaften und ihrer Formgebung enormes Potenzial, besonders im Leichtbau. Durch die sogenannte Strahlenvernetzung, die die physikalischen Eigenschaften des Materials verändert, wird dieses Potenzial noch einmal deutlich erweitert. Die Anwendungsmöglichkeiten für diese mittels Beta- und Gammastrahlen veredelten Kunststoffe sind enorm – vor allem in Hinblick auf neue Mobilitätskonzepte.

Leichtbau ist eine der besten Möglichkeiten, um den Kraftstoff- bzw. Energieverbrauch des Fahrzeugs zu senken. Kunststoffe sind dabei ein probates Mittel, sie werden seit Jahren zunehmend verwendet: Von 2009 bis 2019 stieg ihr Anteil laut der Unternehmensberatung Frost & Sullivan von rund 100 Kilogramm pro Fahrzeug auf etwa 115 Kilogramm.¹

1. <https://www.automobil-industrie.vogel.de/fachmesse-k-alles-zu-kunststoffen-a-869585/>

Hochleistungskunststoffe sind jedoch teuer und das Spritzgießen entsprechender Formteile stellt hohe Ansprüche an die Maschinen, Werkzeuge und Verarbeitung. Preiswerte Massenkunststoffe und technische Kunststoffe hingegen können oft den notwendigen Anforderungen nicht standhalten: Zum Beispiel hinsichtlich Temperaturen oder extremen Umweltbedingungen – sie lassen sich aber durch die Strahlenvernetzung für entsprechende Anwendungen optimieren.

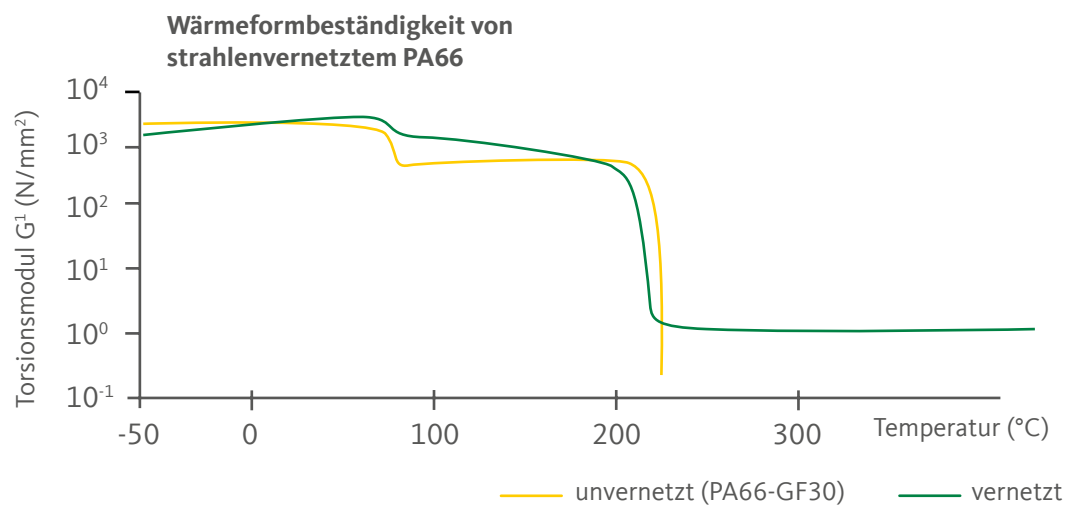


Das dafür geeignete Verfahren ist die Strahlenvernetzung. In der Automobilindustrie kommt sie zunehmend zum Einsatz, um die Eigenschaften von Kunststoff-Bauteilen für bestimmte Anwendungen zu modifizieren – etwa hinsichtlich ihrer Wärme- oder Chemikalienbeständigkeit bei Anwendungen im Motorraum, Antriebsstrang und den elektrischen Systemen.

Die Vernetzung ist ein physikalisches Verfahren, das vereinfacht dargestellt die mechanischen, thermischen und chemischen Eigenschaften von Massenkunststoffen und technischen Kunststoffen mittels Beta- und Gammastrahlen verändert. Die Materialien kommen dadurch nah an die Qualitäten von Hochleistungskunststoffen heran und können diese oft ersetzen.

Die Eigenschaften der behandelten Kunststoffkomponenten ändern sich signifikant:

- Verbesserte Festigkeits- und Kriecheigenschaften
- Höhere Wärmeformbeständigkeit und Dimensionsstabilität
- Verbesserung der Alterungsbeständigkeit
- Reduktion der Quellung und verbesserte Spannungsrisssbeständigkeit
- Verbesserung des Druckverformungsrestes
- Verbesserung der tribologischen Eigenschaften, insbesondere Reibung und Verschleiß



WO LASSEN SICH BESTRAHLTE KUNSTSTOFF-BAUTEILE EINSETZEN?

Das veränderte Werkstoffprofil und die bessere Haltbarkeit bestrahlter Produkte eröffnen ein breites potenzielles Anwendungsfeld: Zum Beispiel lassen sich Metalle in Funktionsbauteilen durch strahlenvernetzte, spritzgegossene Bauteile aus Kunststoff (z. B. PA oder PBT) ersetzen.

- **Metallersatz / Leichtbau**
Befestigungselemente wie Schrauben und Muttern, Halterungen oder Clips aus Metall lassen sich durch strahlenvernetztes Polyamid substituieren. Die große Anzahl verbauter Teile im und am Fahrzeug und eine mögliche Gewichtsreduktion um einen Faktor >5 bieten enormes Einsparpotenzial beim Gesamtgewicht und bei den Herstellungskosten (Metallbearbeitung vs. Spritzguss).
- **LED-Technik**
Die Temperaturentwicklung in LED-Scheinwerfern ist aufgrund der kompakten Bauweise und der verbauten

Leistungselektronik höher als in herkömmlichen Scheinwerfersystemen. Das Anforderungsprofil an Gehäusebauteile und vor allem an die Reflektoren ändert sich deutlich – und ist mittels der Strahlenvernetzung erfüllbar.

→ **Bordnetz**

Elektrofahrzeuge verfügen zum Teil über 800-Volt-Akkus, die sich mit bis zu 350 Kilowatt an Schnell-Ladestationen laden lassen. Beim Einsatz von Gleichstrom kann die Stromstärke dabei bis zu 500 Ampere betragen. Ebenso erfordert der Energietransfer vom Akku zum Antrieb Kabelsysteme mit großen Leiter-Querschnitten und temperaturbeständigen Isolationswerkstoffen. In Verbindung mit diesen neuen Bordnetz-System-Architekturen entstehen neue Anforderungen an die einzusetzenden Werkstoffe.

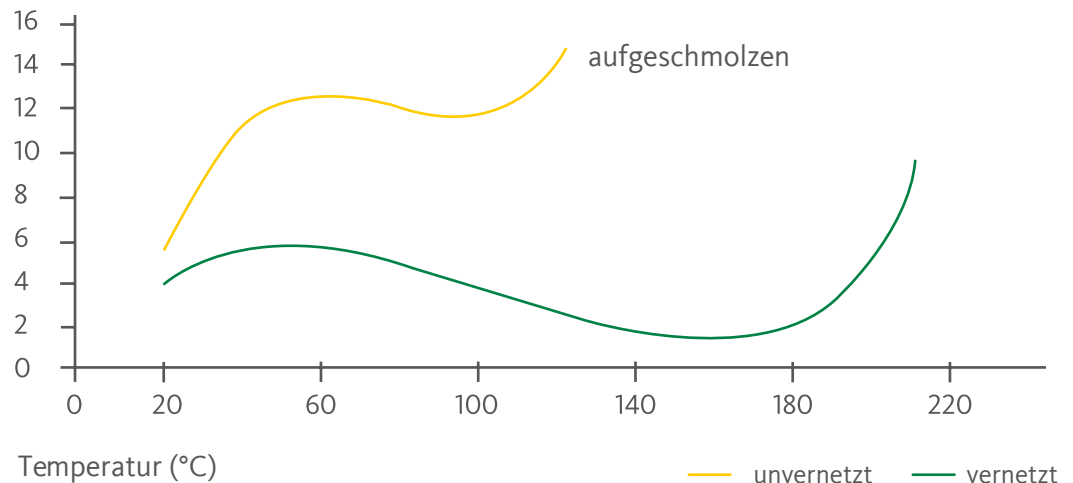
→ **Autonomes Fahren**

Assistenzsysteme und autonom agierende Systeme sind die Basis für automatisierte Fahrfunktionen. Unerlässlich dafür sind Daten, die von etlichen Sensoren geliefert werden. Verbunden sind sie mittels Kabeln, Verbindern und Steckern, die den oft rauen Bedingungen widerstehen müssen. Die mechanischen Funktionen führen Stellmotoren aus: Zum Beispiel in Spurhalteassistenten, in der Drosselklappensteuerung für den Abstandsregeltempomaten, in elektrischen Bremssystemen oder automatischen Getrieben. Die Motoren müssen kompakt, leicht, leise und langlebig beziehungsweise wartungsfrei sein.

Die Anforderungen an die Werkstoffe für die Getriebe und Gleitkomponenten, wie Zahnräder, Lager- und Gleitbuchsen, verändern sich deutlich. Strahlenvernetzte Bauteile können hier eine wirtschaftliche Alternative zu metallischen Werkstoffen oder teuren Polymeren (PEEK, PAI etc.) sein.

Einfluss der Umgebungs-Temperatur auf den Verschleißkoeffizienten

Verschleißkoeffizient
($10^{-6} \text{mm}^3/\text{Nm}$)

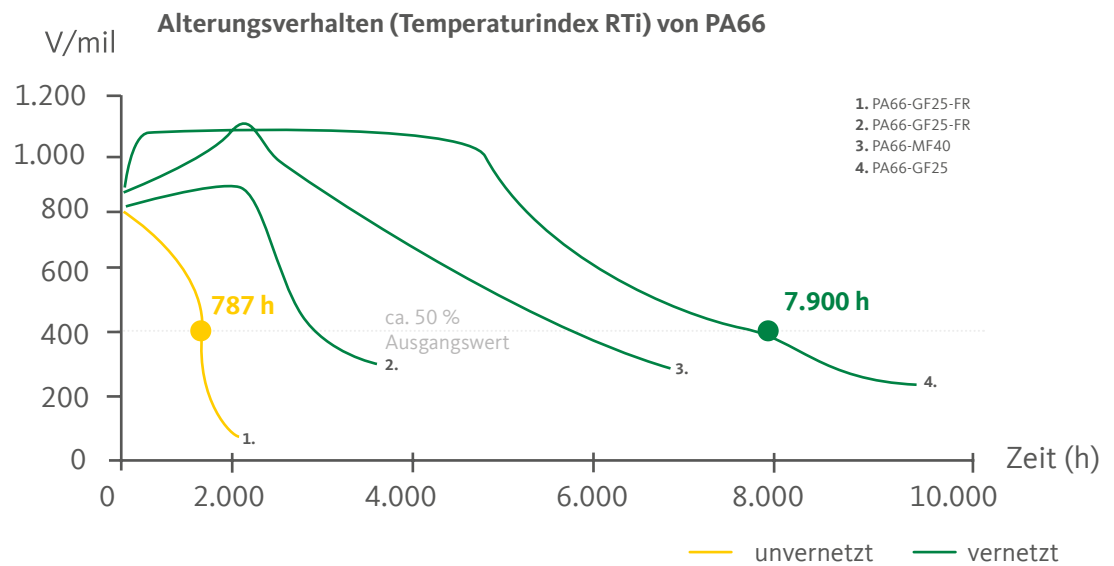


Unvernetztes Polyamid hat unter Reibung eine Einsatzgrenze von 120 °C. Die Strahlenvernetzung (grüne Kurve) verhindert das Aufschmelzen und erhöht die Dauereinsatztemperatur um bis zu 100 °C bei gleichzeitig verringertem Verschleiß.

VERNETZTE BAUTEILE IM SERIENEINSATZ

Bereits heute sind vernetzte Kunststoffe im Serieneinsatz bei namhaften Automobilherstellern. Die Anwendungsgebiete umfassen zum Beispiel Blow-By-Rohre in Verbrennungsmotoren, die komplexe Mixturen aus Öl, Abgas, unverbranntem Kraftstoff und Wasser aus dem Kurbelwellengehäuse ableiten. Die Anforderungen hinsichtlich Temperatur- und Medienbeständigkeit sind entsprechend hoch. Zum Einsatz kommt dabei Polyamid (PA6, PA66). Weitere Beispiele sind Druckbehälter aus PE, Achsmanschetten, Faltenbalge, luft- und medienführende Komponenten, Halter und Befestigungs-Clips aus 2-Komponenten-Spritzguss oder Gleit- und Rollenlager, bei denen die verbesserten tribologischen Eigenschaften zu reduziertem Abrieb und Verschleiß und reduzierter Kriechneigung führen.

Die Prüfung beschreibt das Alterungsverhalten eines Kunststoffes nach Lagerung bei hoher Temperatur. Unvernetztes PA66 verfügt nach ca. 800 Stunden nur noch über 50 % seiner elektrischen Isolationseigenschaften. Ein strahlenvernetztes Polyamid erreicht die rund zehnfache Lebensdauer.



Einen relativen Vergleich der Entflammbarkeit unterschiedlicher Werkstoffe erlaubt der sogenannte Glühdrahttest. Dabei drückt eine Messvorrichtung eine glühende Drahtspitze auf das Bauteil. Während herkömmlicher Kunststoff in Sekunden durchdrungen wird, halten behandelte Materialien dem glühenden Draht stand.

WIE FUNKTIONIERT DIE STRAHLENVERNETZUNG?

Energiereiche Beta- oder Gammastrahlen lösen eine chemische Reaktion in den Kunststoffteilen aus und führen zu einer Vernetzung der Moleküle – vergleichbar mit der Vulkanisation bei Kautschuken. Beim Eindringen von Elektronen in die Materie regt diese die Moleküle an. In der Folge werden Wasserstoffatome abgesprengt, einzelne Kunststoffmoleküle chemisch miteinander verbunden und irreversibel vernetzt. In der Polymermatrix entstehen so neue chemische Bindungen, die ein dreidimensionales Netzwerk mit verbesserten Eigenschaften bilden. Das Verfahren findet bei Raumtemperatur statt. Dabei bestimmt die Strahlendosis die Eigenschaften des Werkstoffs.



Entsprechend eignet sich das Verfahren für die Massenproduktion. Da es sich um eine elektrische Größe handelt, ist die Dosierung reproduzierbar.

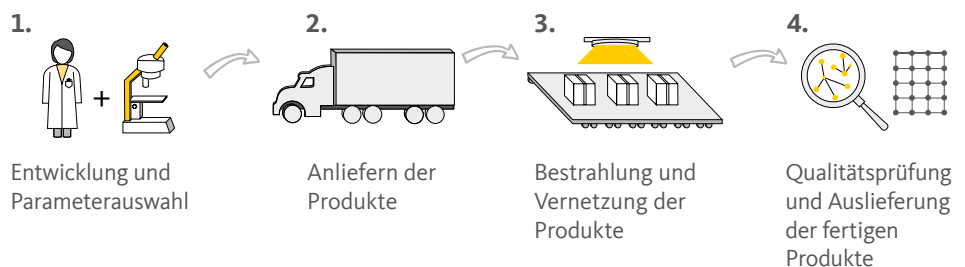
Abhängig von der Energie der Elektronen lassen sich Bauteile bis zu mehreren Zentimetern Wandstärke durchstrahlen, auch im Verbund mit anderen Werkstoffen. Die bevorzugte Strahlenart ist die Beta-Strahlung. Je nach Anwendung kann auch die Bestrahlung mit Gamma-Strahlung notwendig sein. Das Potenzial ist groß: Im Fahrzeugbau ersetzen 100 Kilogramm Kunststoff im Schnitt etwa 200 bis 300 Kilogramm herkömmlicher Werkstoffe und tragen dazu bei Gewicht, Energie und wertvolle Rohstoffe einzusparen.

WIE FUNKTIONIERT DIE PRODUKTIONS-LOGISTIK DES VERFAHRENS?

Um bestrahlte Bauteile und Komponenten in der Serienfertigung einzusetzen, müssen die angegliederten Verfahren reibungslos und vor allem schnell ablaufen.

Verglichen mit Duroplastwerkstoffen, die oft eine aufwendige Nachbereitung erfordern, oder Hochleistungskunststoffen mit ihren schwierigen Verarbeitungseigenschaften, bietet die Strahlenvernetzung dabei enorme Verarbeitungsvorteile bei reduzierten Kosten. Die ursprünglichen Verarbeitungsverfahren der Rohbauteile bleiben erhalten und nur das Endprodukt wird behandelt – die Produktion muss also nicht umgestellt werden. Die Strahlenvernetzung erfolgt als letzter Schritt nach der Formgebung und lässt sich in die Produktionskette auf dem Transportweg zum Endabnehmer integrieren. Wichtig ist, dass alle Projektbeteiligten von Beginn an zusammenarbeiten: vom Kunststofflieferanten bis zum Hersteller.

Die Strahlenvernetzung erfolgt in vier Schritten.



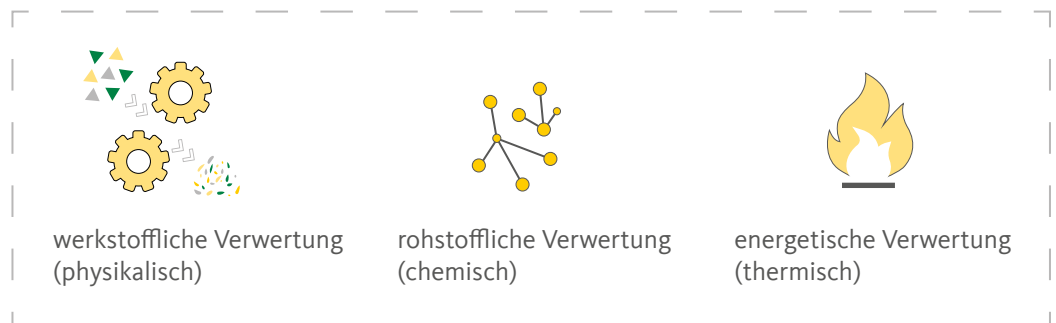
SIND BESTRAHLTE BAUTEILE GEFÄHRLICH?

Aus rein physikalischen Gründen können die eingesetzten Strahlenquellen – Elektronenbeschleuniger bis zu einer maximalen Energie von 10 MeV und Gammastrahlen ausgehend vom Kobaltisotop ^{60}Co – keine Radioaktivität erzeugen. Aufgrund ihrer Energie lösen die Strahlen chemische Reaktionen aus, die die Vernetzung bewirken. Das Ergebnis ist vergleichbar mit chemischen Vernetzungsprozessen – die Strahlenvernetzung erzeugt die erforderlichen Radikale allerdings durch die Energie der Strahlung, so dass es keine Rückstände von Chemikalien gibt.

In den Anlagen selbst wird die Strahlung vollständig abgeschirmt und alle Prozesse laufen vollautomatisiert, so dass jegliche Strahlenbelastung für Mensch und Umwelt sicher ausgeschlossen ist.

WAS PASSIERT MIT DEN VERNETZTEN KOMPONENTEN AM ENDE DER LEBENSZEIT?

Strahlenvernetzte Bauteile sind extrem widerstandsfähig und über sehr lange Zeiträume einsetzbar. Am Ende der Nutzungsdauer gibt es drei Optionen der Aufbereitung:



Bei der werkstofflichen Verwertung entstehen aus den Sekundärrohstoffen neue Kunststoffbauteile. Sind die Produktionsreste vor der Vernetzung sorten- und typenrein, lassen sie sich unter bestimmten Bedingungen in der ursprünglichen Anwendung wiederverwerten.



Vernetzte Kunststoffe können in sortenreiner Form zerkleinert und als Regranulat innerhalb bestimmter Grenzen den Primärrohstoffen wieder beigemischt werden.

Diese Grenzen sind abhängig vom Material und Vernetzungsgrad und müssen im Einzelfall geprüft werden. Ist werkstoffliches Recycling nicht sinnvoll oder möglich, werden strahlenvernetzte Bauteile der rohstofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt.

WELCHES POTENZIAL HAT DIE STRAHLENVERNETZUNG FÜR DIE MOBILITÄT?

Die Strahlenvernetzung mittels Beta- und Gammastrahlen optimiert die Eigenschaften von Standardkunststoffen und technischen Kunststoffen: Die Polymere sind nach der Bestrahlung mechanisch fester, hitzebeständiger, abriebfester sowie widerstandsfähiger gegen Chemikalien – und lassen sich dementsprechend in deutlich mehr Anwendungen einsetzen.



Das Potenzial strahlenveredelter Werkstoffe hat dabei zwei wesentliche Dimensionen: eine wirtschaftliche und eine technologische.

So können strahlenvernetzte Thermoplaste teure Hochleistungskunststoffe und teilweise sogar metallische Werkstoffe ersetzen. Während Hochleistungskunststoffe wie zum Beispiel PEEK spezielle Anforderungen an die Verarbeitung stellen, ermöglicht die Strahlenvernetzung weiterhin mit etablierten Rohstoffen zu arbeiten – und trotz der Summe aus Rohstoff-, Bestrahlungs- und Logistikkosten insgesamt günstiger zu fertigen. In Prozessen der industriellen Serienfertigung können bestrahlte Bauteile und Komponenten ihre Vorteile ausspielen, denn die ursprünglichen Verarbeitungsverfahren der Rohbauteile können beibehalten werden, nur das Endprodukt wird behandelt – die Produktion muss also nicht umgestellt werden. Die Strahlenvernetzung erfolgt als letzter Schritt nach der Formgebung und lässt sich in die Produktionskette auf dem Transportweg zum Endabnehmer integrieren.

Große Chancen und neue Möglichkeiten für den Einsatz strahlenvernetzter Kunststoffe eröffnet zudem der in der Automobilindustrie stattfindende Technologiewechsel. Der Trend in Richtung Elektromobilität bringt enorme Veränderungen mit sich und wird das Portfolio in den nächsten Jahren komplett wandeln: So werden bisher eingesetzte Komponenten und Baugruppen entfallen, andere – insbesondere im Bereich des Antriebsstranges sowie bei der Entwicklung im Leichtbau – neu hinzukommen. In diesem Zusammenhang stehen auch die Werkstoffe auf dem Prüfstand, an die sich veränderte Anforderungen stellen.

Zahlreiche Anwendungen zeigen, dass strahlenvernetzte Bauteile aus PBT in stromführenden Systemen erfolgreich eingesetzt werden können, zum Beispiel in Steckverbindungen, Sicherungsautomaten und Isolatoren. Auch im Rahmen der Brennstoffzelle und im Bereich der Batterie, wo die verwendeten Materialien hohen Wärmebelastungen beim Be- und Entladen ausgesetzt sind und korrosiven chemischen Stoffen standhalten müssen, können strahlenvernetzte Thermoplaste ihre Stärken unter Beweis stellen.

Perspektivisch möglich sind außerdem neue Anwendungen wie Composite-Werkstoffe aus faserverstärkten Materialien, die technologisch durch verbesserte Faser-Matrix-Anbindungen oder vernetzte Matrixwerkstoffe optimiert werden können – und das bei minimalem Gewicht.

Herausforderung und Chance zugleich ist aktuell, dass die Anforderungen für zahlreiche Anwendungen der Elektromobilität noch nicht definiert sind und je nach Land, Hersteller und Zulieferer unterschiedlich ausfallen können. Der Erfolg von zukünftigen Mobilitätskonzepten und neuen Anwendungen der Automobilindustrie wird also auch von gemeinsam entwickelten Standards abhängen – hier gilt es, mit allen Beteiligten der Wertschöpfungskette, vor allem den Werkstoffentwicklern und Anwendern, die neuen Anforderungen zu analysieren und die jeweiligen Kompetenzen in die Entwicklungsprozesse einzubringen. Und dabei ist eines sicher:



Das Potenzial strahlenvernetzter Kunststoffe ist noch lange nicht ausgeschöpft.

WIEHL

BRUCHSAL

SAAL AN
DER DONAU

IHR KONTAKT ZU UNS:

BGS BETA-GAMMA-SERVICE GMBH & CO. KG

www.bgs.eu

info@bgs.eu



FRITZ-KOTZ-STRASSE 16
D - 51674 WIEHL

T +49 (0) 2261 7899-0
F +49 (0) 2261 7899-44



JOHN-DEERE-STRASSE 3
D - 76646 BRUCHSAL

T +49 (0) 7251 786-0
F +49 (0) 7251 786-33



INDUSTRIESTRASSE 9
D - 93342 SAAL A. D. DONAU

T +49 (0) 9441 1777-0
F +49 (0) 9441 1777-44