

Durchblick beim Compoundieren

Inline-Prüfmethoden für die Prozessüberwachung

Durch den Einsatz von Messtechnik zur Prozessüberwachung in der Produktion lässt sich die Qualität der Endprodukte erhöhen. Besonders beim Compoundieren nimmt das Interesse daran zu. Für die zerstörungsfreie Prüfung existieren verschiedene Verfahren, die auch inline im Herstellungsprozess verwendet werden können. Die verschiedenen Methoden eignen sich dabei für unterschiedliche Anwendungen: Ein Überblick über aktuelle Möglichkeiten und Grenzen der verschiedenen Inline-Verfahren zur Prozessüberwachung.

Das Optimieren von Produktionsprozessen zur Vermeidung von Herstellungsfehlern ist häufig ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Rentabilität eines neuen oder veränderten Produkts. Um solche Verbesserungen durchführen zu können, ist zunächst die Kenntnis des aktuellen Ist-Zustands erforderlich. Aber auch bestehende Prozesse profitieren von einer messtechnischen Überwachung, da sich auf diese Weise eine gleichbleibend hohe Produktqualität sicherstellen lässt. Außerdem kann bei eventuellen Unregelmäßigkeiten schnell reagiert und die Pro-

duktqualität mit Blick auf eine eventuelle bestehende Haftung durch objektive Kennwerte dokumentiert werden. In der Kunststoffindustrie steigen insbesondere beim Compoundieren die Ansprüche im Hinblick auf die Prozessüberwachung. Durch die Nutzung geeigneter Messmethoden können außerdem auch Ressourcen und Zeit gespart sowie Ausschuss oder gar Reklamationen minimiert werden.

Die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) bietet sich für die Prozessüberwachung an. Sie umfasst verschiedene Verfahren

und ermöglicht die Gewinnung relevanter Parameter bei entscheidenden Produktionsschritten. Die messbaren Parameter gehen dabei weit über die Möglichkeiten der etablierten und bereits häufig eingesetzten Druck- und Temperaturmessungen hinaus und umfassen beispielsweise die Inline-Ermittlung des Schneckenverschleißes, der Füllstoffgehalte und Partikelgrößenverteilungen, des Feuchtgehalts, die Detektion von Fremdmaterialeinschlüssen, die Charakterisierung des Aufschmelzgrads und die nachgeschaltete Messung von Wand- und

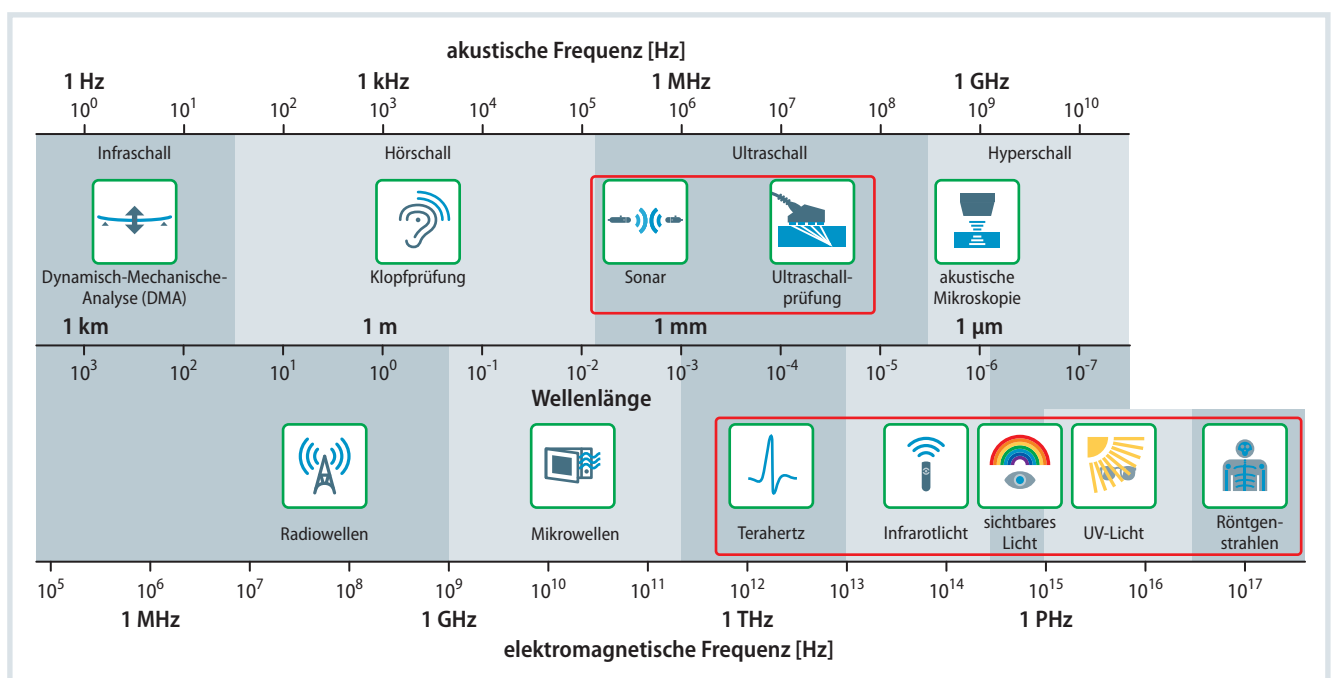


Bild 1. Nach Frequenz und Wellenlänge geordnete Übersicht elektromagnetischer und mechanischer Wellen: Die rot markierten Bereiche stellen die in der Kunststoffverarbeitung einsetzbaren ZfP-Verfahren dar. Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

Schichtdicken von Extrudaten. Dabei sind anwendungsabhängig die Herausforderungen bei der direkten Inline-Messung dieser Größen noch nicht immer in allen Punkten überwunden. Schwierigkeiten bereiten beispielsweise die hohen zu berücksichtigenden Schmelzetemperaturen und -drücke sowie deren Abrasivität. Dennoch konnten bereits zahlreiche Anwendungen industrietauglich umgesetzt werden oder befinden sich in der Phase der Markteinführung. Ein Großteil der verfügbaren zerstörungsfreien Prüfverfahren beruht dabei auf mechanischen und elektromagnetischen Wellen (Bild 1).

Ultraschall: Ausgereifte Technik, aber temperaturabhängig

Ultraschallwellen sind akustische Wellen, die sich an den Hörschallbereich anschließen und einen Spektralbereich von ca. 20 kHz bis 1 GHz abdecken. Bekannte Beispiele dafür sind in der Medizintechnik die Untersuchung innerer Organe oder die natürliche Ortungsfähigkeit von Fledermäusen. Ultraschallwellen können jedoch auch in der Kunststoffindustrie verwendet werden, um z. B. Schmelzen inline zu charakterisieren. Die Technik wird bereits seit langem eingesetzt, weshalb eine ausgereifte Signalverarbeitung und robuste Sensortechnik existieren.

Es konnten bereits erfolgreich Systeme entwickelt werden, die die Partikel-

größe von Füllstoffen und deren Gehalt in der Schmelze erfassen (Bild 2). Auch die dafür notwendigen Kalibrierdatenbanken liegen bei vielen Anwendungen vor. Diese zeigen die Abhängigkeit des durch die messbare Ultraschallamplitude bestimmbaren Extinktionskoeffizienten vom Füllstoffgehalt und der dazugehörigen mittleren Partikelgröße. Ebenso ist es mit der Technik möglich, die Viskosität einer Schmelze inline zu ermitteln und auf diese Weise den Einsatz teurer Online-

Rheometer zu vermeiden. Die Viskosität der Schmelze beeinflusst neben der Ultraschalldämpfung vor allem die zuverlässig messbare Geschwindigkeit, mit der sich die Ultraschallwellen ausbreiten.

Ein Hauptnachteil von Ultraschallverfahren besteht in einer physikalisch bedingten Temperaturabhängigkeit der Messgrößen. Aufgrund von gängigen Temperaturschwankungen während der Kunststoffverarbeitung kann das »

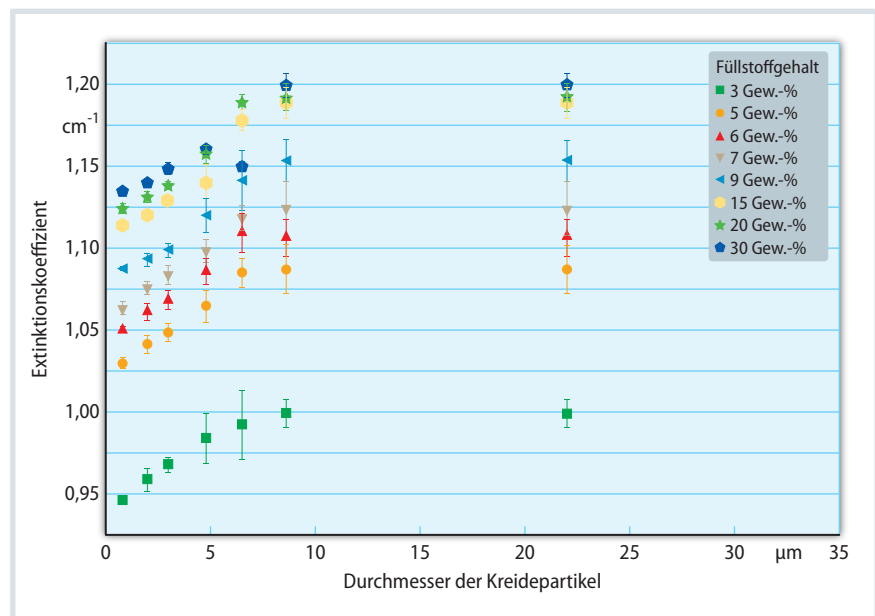


Bild 2. Abhängigkeit des Extinktionskoeffizienten vom Füllstoffgehalt und der mittleren Partikelgröße von Kreide in Kunststoff-Compounds: Mithilfe solcher datenbankintegrierter Kalibrierkurven können die Merkmale inline mittels Ultraschall quantifiziert werden Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

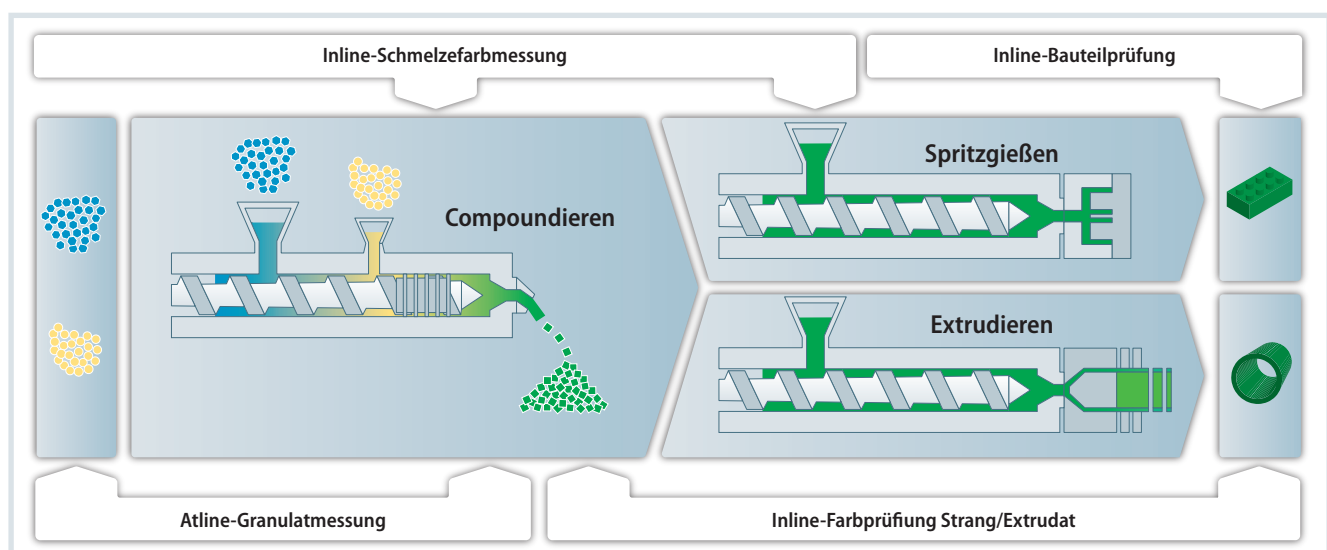


Bild 3. Prozesskette am Beispiel der Farbmessung eingefärbter Kunststoffserzeugnisse: Aus verschiedenen Ausgangsstoffen werden durch die Kunststoffaufbereitung eingefärbte Compounds hergestellt, die z. B. kontinuierlich im Extrusions- oder diskontinuierlich im Spritzgießprozess zu ausgeformten Produkten weiterverarbeitet werden. Entlang der gesamten Prozesskette bestehen verschiedene Möglichkeiten, die Farbqualität fortlaufend zu überwachen Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

die Anwendung limitieren. Am SKZ – Das Kunststoff-Zentrum wird gegenwärtig an der Kompensation gearbeitet, um Ultraschallverfahren eine breitere Markteinführung zu ermöglichen.

Optische Spektroskopie: Farben direkt in der Produktion nachregeln

Optische Messverfahren arbeiten meist im Bereich des sichtbaren Lichts oder angrenzender Spektralbereiche. Das umfasst ultraviolettes (UV, 200–380 nm), sichtbares (VIS, 380–800 nm) und nahinfrarotes Licht (NIR, 800–2500 nm). Bei den optischen Messverfahren wird die Wechselwirkung der elektromagnetischen Strahlung mit der Kunststoffschmelze genutzt, um die Materialeigenschaften der Kunststoffe zu untersuchen. Dabei kommen häufig faseroptische Sonden zum Einsatz, über die die Kunststoffschmelze beleuchtet und das reflektierte oder transmittierte Licht zum Spektrometer geführt wird. Je nach verwendetem Wellenlängenbereich sind unterschiedliche Applikationen möglich. Im VIS-Bereich erfolgen meist Farbmessungen, anhand derer Farbabweichungen direkt während der Verarbeitung quantifiziert werden können. Dadurch lässt sich infolge von kürzeren Reaktionszeiten im Vergleich zu Labormessungen Ausschuss reduzieren (Bild 3). Durch Kopplung mit der Dosierung kann auch eine automatische Farbnachreglung und Verweilzeitmessung erfolgen. Dabei stellt insbesondere die Thermochromie, also die Temperaturab-

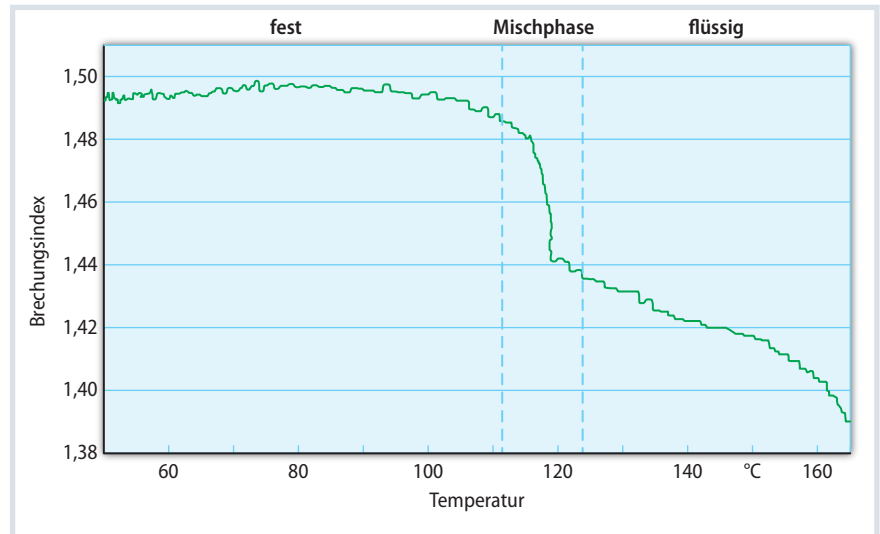


Bild 4. Abhängigkeit eines mittels Terahertz ermittelten Kennwerts, dem Brechungsindex, vom Aufschmelzgrad eines Compounds bzw. der Schmelzetemperatur: Mithilfe einer materialspezifischen Datenbank kann der Aufschmelzgrad inline erfasst werden Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

hängigkeit der Farbe, eine Herausforderung dar.

Aufgrund der charakteristischen Absorption von NIR-Strahlung in Form von Molekülschwingungen kann die Spektroskopie zur qualitativen und quantitativen Unterscheidung unterschiedlicher Compoundbestandteile eingesetzt werden. Für Letztere kommen in der Regel chemometrische Modelle zum Einsatz, die das gemessene Spektrum mit der Menge des untersuchten Stoffs verbinden. Die Kalibrierung kann jedoch sehr aufwendig werden, da sie für jede Materialkombination spezifisch erstellt werden muss. Daher hat sich alternativ die Aufnahme von

als gut definierten Referenzspektren und der Abgleich mit diesen durchgesetzt.

Zwar können Additive auch im UV-Bereich quantifiziert werden, aber aus praktischer Sicht kommt das nur in geringem Umfang zum Einsatz, da sowohl eine Wechselwirkung des Additivs als auch des Kunststoffs mit der Strahlung besteht. Die vielfältigen Messmöglichkeiten breitbandiger und hochpreisiger All-in-One-Spektrometer werden in der Compoundierung nur selten in vollem Umfang benötigt. Aus diesem Grund existieren vereinfachte Lösungen, die auf bestimmte Zielgrößen wie den hydrolytischen Materialabbau oder eine Farbänderung zuge-

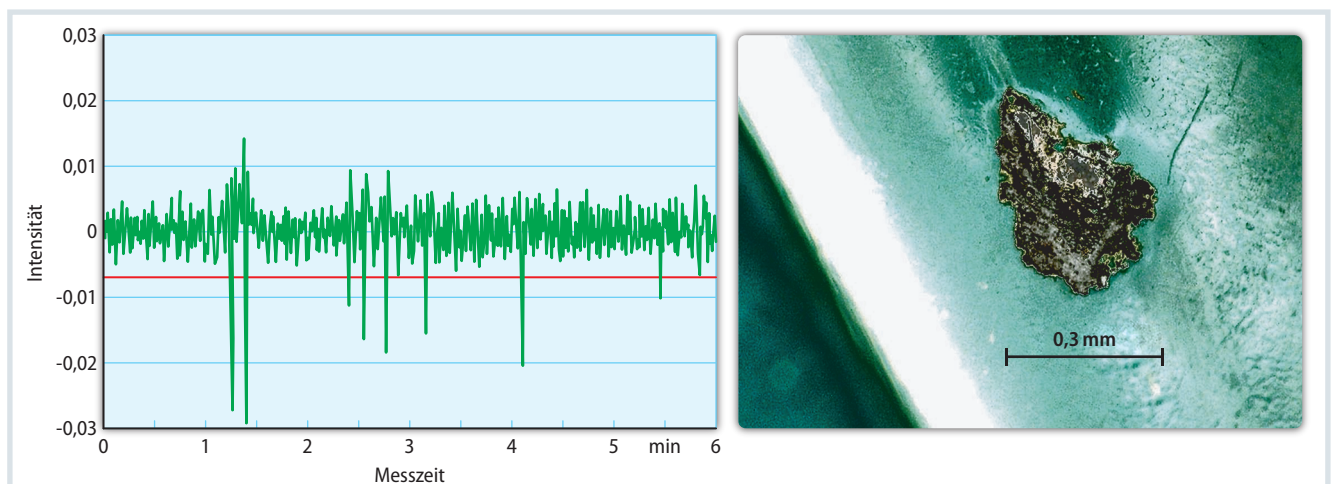


Bild 5. Abhängigkeit eines mittels Terahertz ermittelten Kennwerts, der Intensität, vom stochastischen Auftreten von Fremdmaterialien im Compound (links) sowie mikroskopische Aufnahme eines maschinenbedingten Verschleißpartikels in der Schmelze (rechts): Durch Berücksichtigung einer Vielzahl von Prozesszuständen kann ein Schwellwert (rote Linie, links) definiert werden, ab dem sich das Messsignal eindeutig einem Fremdpartikel zuordnen lässt Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

schnitten sind. Das SKZ unterstützt Unternehmen bereits seit Längerem bei der passenden Systemauswahl.

MW und Terahertz: berührungslos und unabhängig von der Temperatur

Mikrowellen- (MW) und Terahertz-Verfahren sind im Alltag in Form von Körperscannern an Flughäfen und von der Abstandsmessung im Automobilbereich bekannt. Dabei handelt es sich um elektromagnetische Wellen, die im Frequenzbereich an Radiowellen und den sichtbaren Bereich angrenzen. Im Vergleich zur Röntgenstrahlung ist der Frequenzbereich deutlich energieärmer und damit nicht ionisierend oder gesundheitsgefährdend. In der Extrusion sind bereits Wanddickenmesssysteme zur Messung von Einzelschichten im Mikrometer- bis Dezimeterbereich etabliert.

Für die Charakterisierung von Kunststoffschmelzen sind die Verfahren bisher aufgrund der rauen Produktionsbedingungen, die von hohen Temperaturen und Drücken geprägt sind, noch nicht verbreitet. Das SKZ forscht bereits seit mehr als zehn Jahren an der Überführung in industrielle Anwendungen und bietet nun erstmals eine entsprechende Systemtechnik und Anpassung an individuelle Anforderungen an. Damit können u. a. der Aufschmelzgrad von Kunststoffen (Bild 4) und der Verschleiß von Schnecken-

schleiß etwa zu einem größer werdenden Abstand zwischen dieser und dem Extrudergehäuse führt und damit die Signallaufzeit verlängert, beeinflusst der Aufschmelzgrad die Streuung der Wellen und damit deren Amplitude. Durch dieses Prinzip ist das Verfahren grundsätzlich auch zur Erfassung von Gelpartikeln und Fremdmaterialien geeignet (Bild 5). Ein wesentlicher Vorteil gegenüber der Ultraschalltechnik besteht in der Temperaturunabhängigkeit des Verfahrens und der berührungslosen Messweise, was die Wartungskosten deutlich reduziert.

Das passende Verfahren für die jeweilige Anwendung

Für so gut wie jede Anwendung kann ein passendes zerstörungsfreies Prüf- bzw. Messverfahren gefunden werden, um die definierten Qualitätsmerkmale zu erfassen. Dabei spielen neben den physikalischen Prinzipien vor allem die technischen Randbedingungen wie die Zugänglichkeit zum Produkt, Verarbeitungsgeschwindigkeiten und die Produktionsumgebungen eine wichtige Rolle. Auch wirtschaftliche Faktoren sind sehr relevant. Nur wenn der Einsatz von Messtechnik z. B. den Ausschuss und Reklamationskosten reduziert, Haftungsrisiken minimiert oder andere Vorteile bietet, ist der Einsatz von Sensorik sinnvoll. Das SKZ kann bei der Auswahl eines passenden Prüf- und Messverfahrens unter ganzheitlicher Berücksichtigung der gestellten Anforderungen unterstützen. Die Prüfverfahren auf Basis von Ultraschall, Mikrowel-

len- und Terahertzstrahlung sowie spektroskopischen Methoden bilden dabei das Herzstück der Aktivitäten am SKZ. Aber auch weitere Methoden wie die Thermografie, also der Einsatz von Wärmebildkameras, oder Verfahren zur Online-Ermittlung von mechanischen Eigenschaften sind Gegenstand der Entwicklung und bieten sehr gute Möglichkeiten der Prozessüberwachung. ■

Die Autoren

Pierre Pfeffer ist als Wissenschaftler in der Gruppe für zerstörungsfreie Prüfung am SKZ tätig und beschäftigt sich u. a. mit der Ultraschalltechnik.

Norbert Halmen ist als Wissenschaftler in der Gruppe Spektroskopie am SKZ tätig.

Dr. Thomas Hochrein ist Geschäftsführer der Bildung & Forschung des SKZ.

Giovanni Schober leitet am SKZ die Gruppe für zerstörungsfreie Prüfung, die die Verfahrensweiterentwicklung, -erprobung, und -integration in Produktionsprozesse zum Ziel hat; g.schober@skz.de

Service

Digitalversion

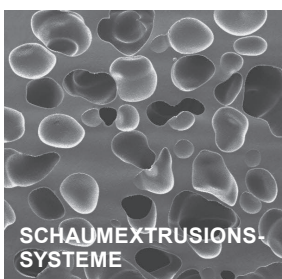
» Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

English Version

» Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com



STATISCHE MISCHER



SCHAUMEXTRUSIONS-
SYSTEME



PROMIX
Solutions

**MISCHEN.
SCHÄUMEN.
KÜHLEN.**

**LEADING
TECHNOLOGY**

www.promix-solutions.com



**EXPERTISE &
TECHNOLOGIE**

**Optimieren
Sie mit uns
Ihren Prozess.**



KÜHLMISCHER



CO₂/N₂
GASDOSIERUNG