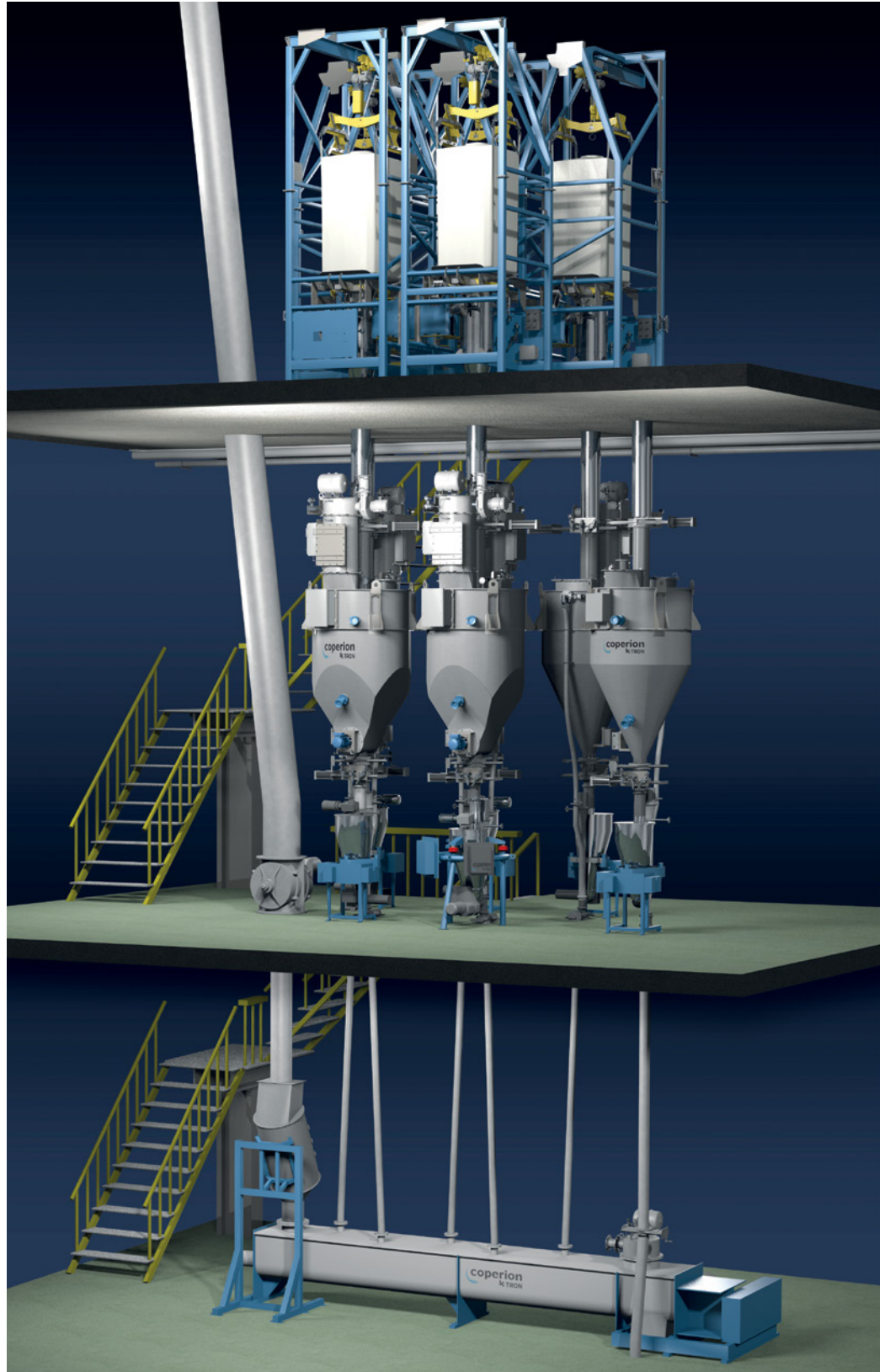


## Einführung

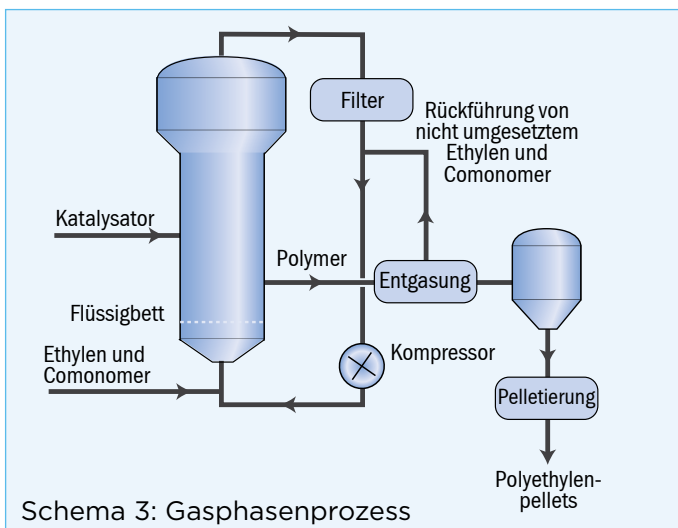
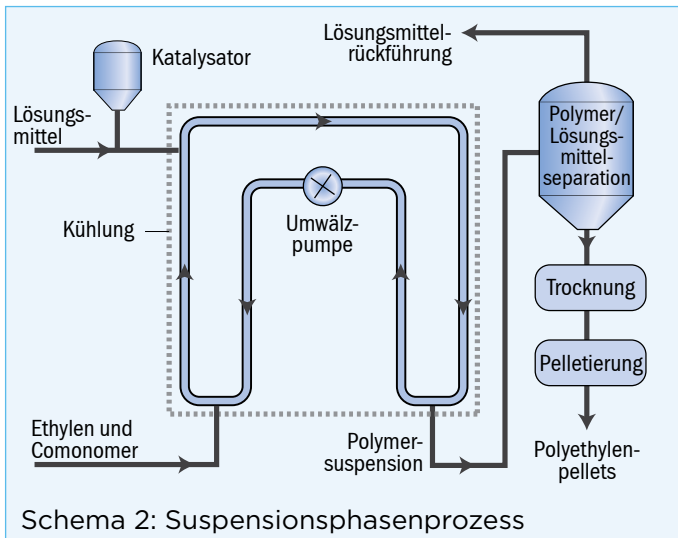
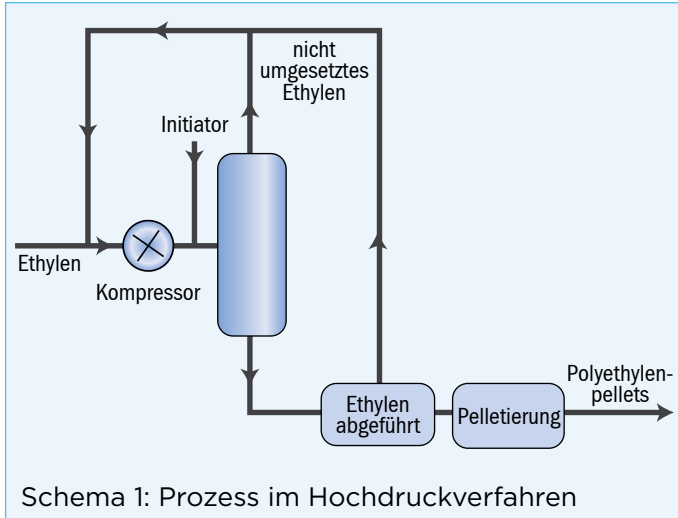
Polyolefine werden durch die Polymerisation von Olefinen bzw. Alkenen (Moleküle mit der allgemeinen Formel  $C_nH_{2n}$ ), wie z. B. Ethylen, Propylen, Buten, Isopren, Penten, hergestellt. Die Bezeichnung "Olefin" bedeutet "ölähnlich" und bezieht sich auf die ölige Eigenschaft der Stoffe. Die kommerziell bedeutsamsten Polyolefine sind Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Ethylvinylacetat (EVA). Polyethylen wird abhängig von der Dichte in folgende Klassen eingeteilt: Polyethylen sehr niedriger Dichte (VLDPE), Polyethylen niedriger Dichte (LDPE), lineares Polyethylen niedriger Dichte (LLDPE), Polyethylen mittlerer Dichte (MDPE) und Polyethylen hoher Dichte (HDPE). Polyethylen und Polypropylen sind zwei der heute am häufigsten eingesetzten Polymerkunststoffe weltweit. Diese Kunststoffe können so angepasst werden, dass ein breites Spektrum an mechanischen und chemischen Eigenschaften erzielt wird, und sie somit für unzählige Anwendungen eingesetzt werden können, z. B. Kleidung, Klebeband, Dehnfolie, Landwirtschaftsfolien, Einkaufstüten, Flaschen, Behälter, Schläuche.

Bei der Auswahl des für eine bestimmte Anwendung geeigneten Polyolefins muss dessen Typ und Gütegrad berücksichtigt werden. Diese sind abhängig von der Technologie und dem Verfahren für seine Herstellung sowie vom Katalysator und den verwendeten Rohstoffen. Der Gütegrad und damit das Anwendungsfeld eines Polyolefins wird von folgenden Eigenschaften bestimmt: Molekulargewicht, Molekulargewichtsverteilung, Kristallinität, Verästelung der Moleküle und Dichte.

Die Polyolefin-Herstellung umfasst zwei Verfahrensstufen: Wet-End-Prozess und Dry-End-Prozess.



# Wet-End Polyolefin-Prozess



## Wet-End-Prozess

Der Wet-End-Prozess bei der Polyolefin-Herstellung kann ein Hochdruck- oder ein Niederdruckverfahren sein; siehe Schemas 1, 2 und 3.

Der Prozess umfasst Zuführung, Katalysatorverarbeitung, Polymerisationsreaktion, Weichmacherrückgewinnung und schließlich Polymerabscheidung, bei der das Polymer gereinigt und getrocknet wird.

## Hochdruckverfahren

- Zur Herstellung von Polyethylen niedriger Dichte (LDPE)
- Verwendet wird ein mechanischer Rührautoklav und Rohrreaktoren mit konstantem Durchfluss
- Betriebstemperatur von 140 bis 300°C
- Betriebsdruck von 1000 bis 3000 bar (14'500 bis 43'500 psi)
- Erzeugt Homopolymer mit grossen oder kleinen Anteilen an Kurzkettenverzweigungen (SCB) und Langkettenverzweigungen (LCB)

## Niederdruckverfahren

Die Prozesse des Niederdruckverfahrens können in drei Klassen eingeteilt werden: Suspensionsphasen-, Lösungsphasen- und Gasphasenprozess.

## Suspensionsphasenprozess

Im Suspensionsphasenprozess werden Monomere und der Katalysator einer Flüssigkeit (Isobutan) hinzugefügt, in der sich das Polyethylen-Produkt nicht löst. Eine Suspension entsteht, in der die Feststoffpartikel in der Flüssigkeit schweben.

- Erzeugt HDPE und MDPE als Sekundärprodukt
- Polymerisation läuft in geregelten Rührkesselreaktoren oder Kreislaufreaktoren ab
- Die Betriebstemperatur beträgt 70 bis 110 °C
- Der Betriebsdruck beträgt 5 bis 40 bar (73 bis 584 psi)

## Lösungsphasenprozess

Beim Lösungsphasenprozess läuft die Polymerisation in einem Kohlenwasserstofflösungsmittel (Cyclohexan) bei einer Temperatur ab, die über der Schmelztemperatur von Polyethylen liegt, so dass das Polymer im Lösungsmittel gelöst wird.

- Zur Herstellung von LLDPE und VLDPE
- Die Polymerisation läuft in geregelten Rührkesselreaktoren ab
- Die Betriebstemperatur beträgt 160 bis 300 °C
- Der Betriebsdruck beträgt 25 bis 100 bar (365 bis 1'450 psi)

## Gasphasenprozess

Beim Gasphasenprozess läuft die Polymerisation in einem Flüssigbett aus Polymerpartikeln in einem Gasphasenreaktor ab. Zur Fluidisierung wird Inertgas bzw. ein Gasgemisch verwendet.

- Zur Herstellung von LLDPE; bei Verwendung von Wechseleinheiten können auch HDPE und MDPE hergestellt werden
- Die Betriebstemperatur beträgt 75 bis 110 °C
- Der Betriebsdruck beträgt 20 bis 25 bar (292 bis 365 psi)

## Wet-End Produkt

Bei allen Prozessarten wird durch die Polymerisationsreaktion ein Pulver gebildet, das einem Behälter zugeführt wird, der zwischen dem Wet-End- und dem Dry-End-Prozess als Pufferspeicher dient.

## Rohstoffe

### Ausgangsmaterial

Alpha-Olefinmonomer, das aus Rohöl oder Erdgas gewonnen wird.

### Katalysatoren

Katalysatoren bestimmen die physikalischen Eigenschaften und Merkmale des hergestellten

## Dichte und Verwendung verschiedener Polyolefinprodukte

| Bezeichnung                           | Kurzbezeichnung | SPI Kunstharz ID-Code                                                             | Dichte g/cm <sup>3</sup> | Verwendungsbeispiele                                                                                                                           |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Polyethylen hoher Dichte              | HDPE            |  | >0.941                   | Kunststoffbretter, Treibstofftanks, Möbel, Lagerverschläge, chemikalien- und hitzeresistente Rohre und Behälter                                |
| Polyethylen mittlerer Dichte          | MDPE            | n/a                                                                               | 0.926 bis 0.940          | Behälter mit guter Schlag-, Stoss- und Sturzfestigkeit, Gasrohrleitungen, Schrumpffolie, Verpackungsfolie                                      |
| Lineares Polyethylen niedriger Dichte | LLDPE           | n/a                                                                               | 0.915 bis 0.925          | Industrielle Behälter, Abfalleimer, Fahrzeugteile, Verpackungsmaterialien gemäss FDA-Richtlinien                                               |
| Polyethylen niedriger Dichte          | LDPE            |  | 0.910 bis 0.940          | Ablageschalen und Wannen, Universalbehälter, schweiszbare und maschinell bearbeitbare Teile, Computerteile, Plastiksäcke, Spielplatzausrüstung |
| Polyethylen sehr niedriger Dichte     | VLDPE           | n/a                                                                               | 0.880 bis 0.915          | Blasfolie, Formteile, Industrie- und Inversalgummi, Wickeldehnfolie                                                                            |
| Polypropylen                          | PP              |  | 0.855 bis 0.946          | Verpackungen, Textilfasern, Teppiche, Seile, Thermowäsche, Automobilteile, wiederverwendbare Behälter                                          |
| Ethylenvinylacetat                    | EVA             | n/a                                                                               | 0.93                     | Biomedizinische Anwendungen für zeitgesteuerte Medikationen, Kunststoffschaum-Polster für Sportgeräte, Flotationsgeräte, Sandalen, Heissleim   |

Polyolefins und ermöglichen die Optimierung der Wirtschaftlichkeit eines Prozesses. Verbreitete Katalysatoren sind: Chromoxid (Phillips-Typ), Titanhalogenide und Organoaluminium-Verbindungen (Ziegler-Natta) und Metallocen.

### Zusatzstoffe

Mithilfe von Zusatzstoffen werden bestimmte Eigenschaften erzielt und Schwachstellen im Polymer beseitigt. Abhängig von den jeweiligen Anforderungen des Endprodukts ist die Anzahl der eingesetzten Zusatzstoffe und deren Menge von Gütegrad zu Gütegrad sehr unterschiedlich. Die am häufigsten eingesetzten Zusatzstoffe sind:

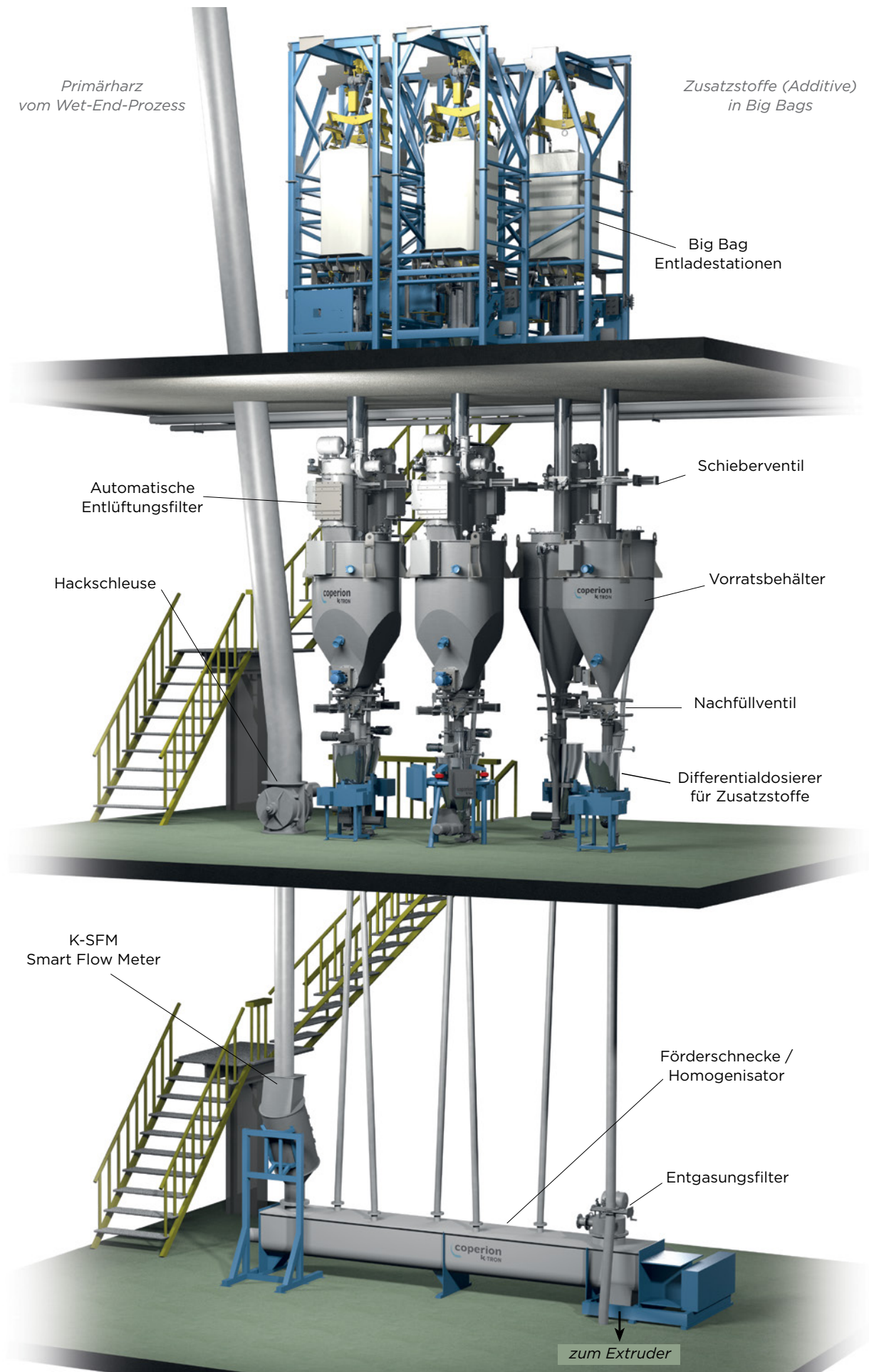
- Stabilisatoren, um einen thermischen Abbau und ein Entfärben zu verhindern
- Antioxidantien, um eine Oxidation während oder nach der Verarbeitung zu verhindern
- Kalzium- und Zinkstearat, um Katalysatorrückstände zu neutralisieren und Gleitfähigkeit herzustellen
- Gleitmittel, um die innere Reibung bei elastischen Verpackungsfolien zu reduzieren
- Antiblockmittel wie Talk, Kieselerde und Kaolin, um das Anhaften von zwei Folien zu vermeiden, so dass sie auseinander gezogen werden können
- Verarbeitungshilfsmittel, um die Oberflächenbeschaffenheit der hergestellten Endprodukte zu verbessern
- UV-Stabilisatoren für den bestmöglichen Schutz des Polymers bei langzeitiger Aussenanwendung
- Pigmente, z. B. Titandioxid und Russ

## Wichtigste Lizenzgeber für Polyethylen-Technologien

| Firma             | Bezeichnung Technologie | Typ                                          | Hergestellte Gütegrade             |
|-------------------|-------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|
| Borealis Polymers | Borstar                 | Suspensionskreislauf & Gasphasen-Flüssigbett | PEX / HDPE / MDPE / LDPE / LLDPE   |
| Chevron Phillips  |                         | Suspensionskreislauf-Reaktor                 | HDPE / LLDPE / LDPE / MDPE         |
| ExxonMobil        |                         | Hochdruck (Rohrreaktor / Autoklav)           | LDPE (Homopolymer)                 |
| Ineos             | Innovene G              | Gasphase                                     | LLDPE / HDPE                       |
| Ineos             | Innovene S              | Suspension                                   | HDPE / MDPE Bimodal                |
| LyondellBasell    | Spherilene              | Gasphase                                     | HDPE / MDPE / LDPE/LLDPE           |
| LyondellBasell    | Hostalen                | Suspensionskaskaden-Technologie              | PE Bimodal                         |
| LyondellBasell    | Lupotech T              | Hochdruck-Rohrreaktor                        | LDPE                               |
| LyondellBasell    | Lupotech G              | Gasphase                                     | HDPE / MDPE                        |
| Mitsui Chemicals  | CX Process              | Zweireaktor-Suspensionsphasen-System         | HDPE / MDPE                        |
| NovaChemicals     | Scclairtech             | Lösung                                       | LLDPE / HDPE                       |
| Polimeri Europa   |                         | Hochdruck-Suspension / Lösung                | HDPE / LLDPE / LDPE                |
| Sabir             | Sabtec                  | Rohrreaktor                                  | LDPE                               |
| Univation         | Unipol                  | Gas Phase                                    | HDPE / HDPE Bimodal / MDPE / LLDPE |

## Wichtigste Lizenzgeber für Polypropylen-Technologien

| Firma                           | Bezeichnung Technologie | Typ                                           | Hergestellte Gütegrade                             |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Borealis Polymers               | Borstar                 | Kreislauf & Gasphase (Charge)                 | PP Homopolymers / Random & Heterophasic Copolymers |
| Chevron Phillips                |                         | Suspensionskreislauf                          | PP                                                 |
| Dow Chemical                    | Unipol                  | Gasphasen-Flüssigbett                         | PP                                                 |
| Ineos                           | Innovene                | Gasphase mit Horizontalrührung                | PP Homopolymer / Random & Impact Copolymer         |
| Japan Polypropylene Corporation | Horizone                | Gasphase                                      | PP Homopolymer / Random & Impact Copolymer         |
| LyondellBasell                  | Spheripol               | Suspensionskreislauf-Reaktor (Charge)         | PP Homopolymers / Copolymers                       |
| LyondellBasell                  | Spherizone              | Multizonenzirkulation & Gasphasen-Flüssigbett | PP Homopolymers / Copolymers                       |
| LyondellBasell                  | Metocene                | Gasphase                                      | PP                                                 |
| Lumms Novolen Technology        | Novolen                 | Gasphase mit Vertikalrührung                  | PP Homopolymers / Random & Heterophasic Copolymers |
| Mitsui Chemicals                |                         | Kreislauf & Mitsui Gasphase                   | PP                                                 |
| Mitsui Chemicals                | Hypol II                | Chargenprozess (2 Flüssig- & 2 Gasreaktoren)  | PP                                                 |



# Dry-End Polyolefin-Prozess

## Dry-End Prozess

Das Polymerisationspulver muss gereinigt werden, um Monomer-, Katalysator- und Lösungsmittel-Rückstände zu beseitigen. Dazu kann je nach den Anforderungen des Prozesses eine Dekantierzentrifuge, ein Reinigungsbehälter, ein Entgasungskessel, ein Niederdruck- oder Hochdruckseparator oder ein Desodorierungssilo eingesetzt werden.

Der Trockenabschnitt des Polyolefin-Herstellprozesses beginnt, wenn das gereinigte, trockene Pulver von Rückständen befreit wurde und pneumatisch mit Stickstoff (zur Verhinderung von Oxidation) in einen Zwischenspeicher oder Pulver-Zwischenbehälter befördert wird, der sich mehrere Ebenen über einem Extruder befindet. Bei einigen Verfahren wird das Polymer im geschmolzenen Zustand direkt vom Reaktor in den Extruder transferiert.

## Entklumpen

Die Eigenschaften des Polyolefinpulvers werden von zahlreichen Faktoren und sich ändernden Verarbeitungsbedingungen beeinflusst. Dazu zählen u. a. Temperatur, Druck, Lösungsmittelart, Katalysatorreinheit, Strömung im Reaktor, Monomer- und Comonomerkonzentrationen, Verweildauer. Eine



Polypropylen-Klumpen

ungleichmässige Verteilung des Reaktorinhalts oder der Temperatur kann zur Bildung von Bereichen im Reaktor führen, in denen sich Klumpen aus klebrigen Polyolefin-Agglomeraten bilden.

Neu gebildete Kunststoffpartikel können an diesen klebrigen Klumpen anhaften, wodurch diese noch weiter wachsen. Grosse Polymerklumpen können schliesslich in den Dry-End-Prozess der Polyolefinanlage gelangen. Wenn solche Klumpen den Extruder erreichen, erfüllt der Polymer-Kunststoff möglicherweise die Spezifikationen nicht mehr. Bei entsprechender Grösse können Klumpen die Leitungen zwischen dem Pulverbehälter und dem Extruder verstopfen, was den Polymerisationsprozess blockiert und ein Abschalten sowie eine gründliche Reinigung der Leitungen erforderlich macht.

Coperion bietet eine „Hackschleuse“ an, eine Zellenradschleuse, das dank seiner verstärkten Rotoren, Antriebe und statischen Messer auch als Zerkleinerer wirkt. Die Einheit besteht aus drei Hauptkomponenten: einer grundlegenden

Zellenradschleuse (Standardgehäuse), einer verstärkten Rotoren-Einheit (verfügbar in drei Drehmomentebenen: L1 bis L3) und einem passenden Hochdrehmoment-Direktantrieb. Der Rotor verfügt über eine bestimmte Anzahl von Kammern, welche die Grösse der Polyolefin-Klumpen, die durch die Schleuse gelangen, begrenzen. Der Niedriggeschwindigkeitsmotor arbeitet im Bereich von 3 bis 30 U/min und kann ein Drehmoment von bis zu 14.000 Nm bei einem Maximaldruck von 3,5 bar(g) erreichen (höhere Drücke auf Anfrage erhältlich). Da die Coperion Hackschleuse auf unserer Standard-Reihe von Zellenradscheunen basiert, zeichnet es sich durch geringe Leckagegasverluste sowie eine Trennung zwischen dem Prozessbereich und dem downstream gelegenen Bereich des Reaktorausgangs aus.

Die grösste „Hackschleuse“ kann bis zu 100 t/h verarbeiten.

Wenn ein Klumpen Polyolefin den Eingang der Coperion „Hackschleuse“ erreicht, schneidet die Einheit den Klumpen durch. Falls der Klumpen zu stark ist und die Schleuse im ersten Durchgang blockiert, kann die Steuerung die Rotation des Zellenradschleuse reversieren (mit einem statischen Messer auf der Gegenseite als Option) und schneidet den Klumpen in die entgegengesetzte Richtung durch. Diese Reversierung wird wiederholt, bis der Klumpen zerschnitten ist und die verbleibenden Partikel klein genug sind, um durch die Schleuse zu gelangen. Falls, in seltenen Fällen, die Schleuse den Klumpen nicht zerschneiden kann, wird ein Alarm ausgelöst.

## Primärharz-Zufuhr

Zur Messung und Regulierung der dem Prozess zugeführten Primärharzmenge können drei verschiedene, gravimetrische Dosierertypen eingesetzt werden: 1) Durchflussmessgeräte, wie das Coperion K-Tron Smart Flow Meter K-SFM,



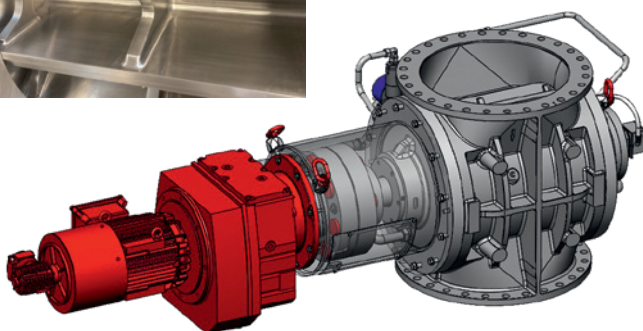
Coperion K-Tron Smart Flow Meter ohne Abdeckung und mit Sicht auf obere Rutsche

mit einer Zellenradschleuse als Vordosierer, 2) grosse Differential-Dosierwaagen und 3) grosse Dosierbandwaagen. Die Auswahl des geeigneten Dosiersystems hängt von der lizenzierten Technologie für die Kunststoffherstellung sowie den Präferenzen in der Anlage ab.

## Durchflussmesser

Ein Coperion K-Tron Smart Flow Meter (K-SFM), das sich unter einer Zellenradschleuse befindet, überwacht und steuert den Durchsatz des Primärharzes. Zusätzlich ist für Wartungszwecke ein manueller Absperrschieber installiert, welcher der Zellenradschleuse vorgeschaltet ist.

Das K-SFM ist mit zwei Coperion K-Tron Smart Force Transducer (K-SFT)-Wägesystemen ausgestattet, die in einem zylindrischen Gehäuse ohne bewegte Teile eingebaut sind. Das Primärharz fliesst vertikal nach unten über den ersten Messsensor, an dem die Kraft, die senkrecht auf eine Aufprallplatte wirkt, gemessen wird. Der zweite Messsensor ist an einem



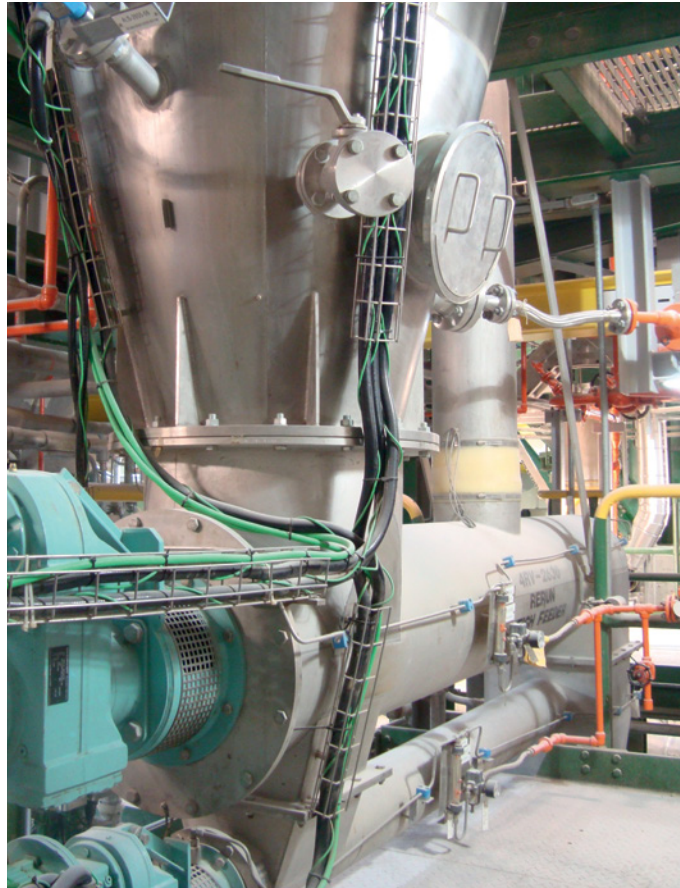
Coperion ZRY 700 L3 Hackschleuse mit Detailansicht des Rotors

vertikalen Kanal angebracht, an dem die Geschwindigkeit des Primärharzes aus der Aufprallkraft ermittelt wird. Das Coperion K-Tron Control Module (KCM) registriert die Signale der beiden Sensoren und berechnet die Durchflussrate, vergleicht diese mit dem Sollwert und passt die Drehzahl des Vorförderers so an, dass die gewünschte Dosierleistung erzielt wird.

Das System kann auch als Durchflussmessgerät fungieren, wobei das Vorfördergerät mit einer konstanten Drehzahl betrieben wird und das KCM die Dosierleistung des Polyolefins berechnet. Der Durchfluss, der vom Smart Flow Meter geregelt oder nur gemessen wird, liefert den Master-Massenflusswert für alle andere Zusatzstoff-Dosiersysteme in der Linie. Jeder Zusatzstoff wird sodann dem Prozess proportional, als definierter prozentualer Anteil des Masterwerts, zugeführt.

## Grosse Differential-Dosierwaagen

Für die Erzielung bestimmter Gütegrade bei den Polyolefinen kann die Verwendung einer grossen Differential-Dosierwaage dem K-SFM mit vorgeschalteter Zellenradschleuse vorgezogen werden. Beim diesem Ansatz wird ein grosser Trichter, üblicherweise mit einer Kapazität von bis zu 7.000 dm<sup>3</sup>, verwendet, der auf drei oder mehr digitalen K-SFT-Wägezellen aufliegt. Das im Wet-End-Prozess erzeugte Polyolefin muss gesiebt und in einen Auffang-



Grosser Differentialdosierer für Dosierleistungen von bis zu 172'000 dm<sup>3</sup>/h

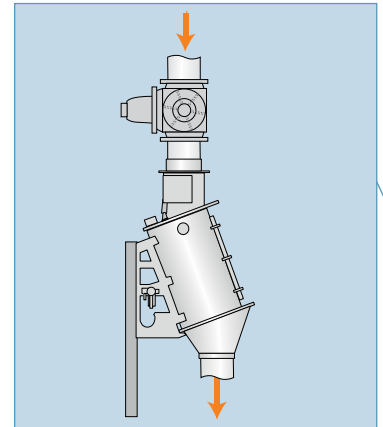
behälter mit Schwerkraftentleerung transferiert werden, der direkt über der Differential-Dosierwaage angeordnet ist. Die Kapazität dieses Zwischenbehälters muss so bemessen sein, dass das angesammelte Schüttgut für eine Nachfüllung der Differential-Dosierwaage ausreicht und dass die laufend im Wet-End-Prozess erzeugte

Materialmenge aufgenommen werden kann. Die Nachfüllung erfolgt durch einen schnell arbeitenden Sperrschieber am Auslass des Zwischenbehälters, der von der Dosiersteuerung geöffnet und geschlossen wird.

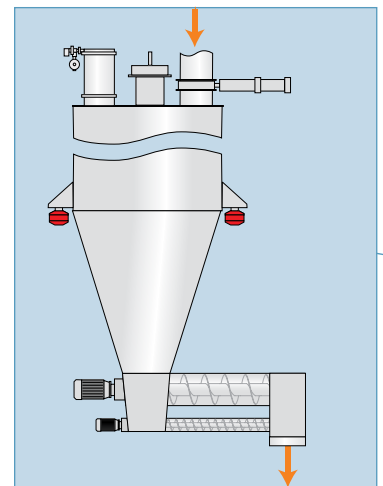
Die Anlage verfügt auch über einen zusätzlichen Handabsperrschieber für Wartungszwecke, der dem automatisch betriebenen Nachfüll-Absperrschieber vorgeschaltet ist. Die Differential-Dosierwaage ist mit einer grossen Dosierschnecke ausgestattet. Falls neben den üblichen Anlagenkapazitäten auch kleinere Dosierleistungen erforderlich sind, wird eine zweite Dosierschnecke mit einem kleineren Durchmesser parallel zur ersten Schnecke eingebaut. Der KCM-Regler steuert den Ein- oder Zweischneckenbetrieb und die Drehzahl der Schnecken, um



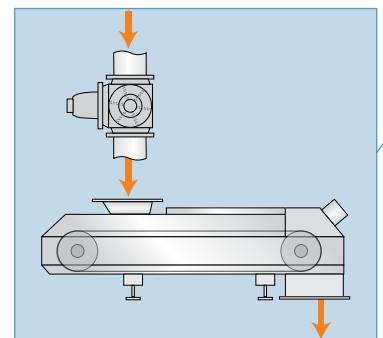
Grosse Dosierbandwaage mit freigelegtem Förderband



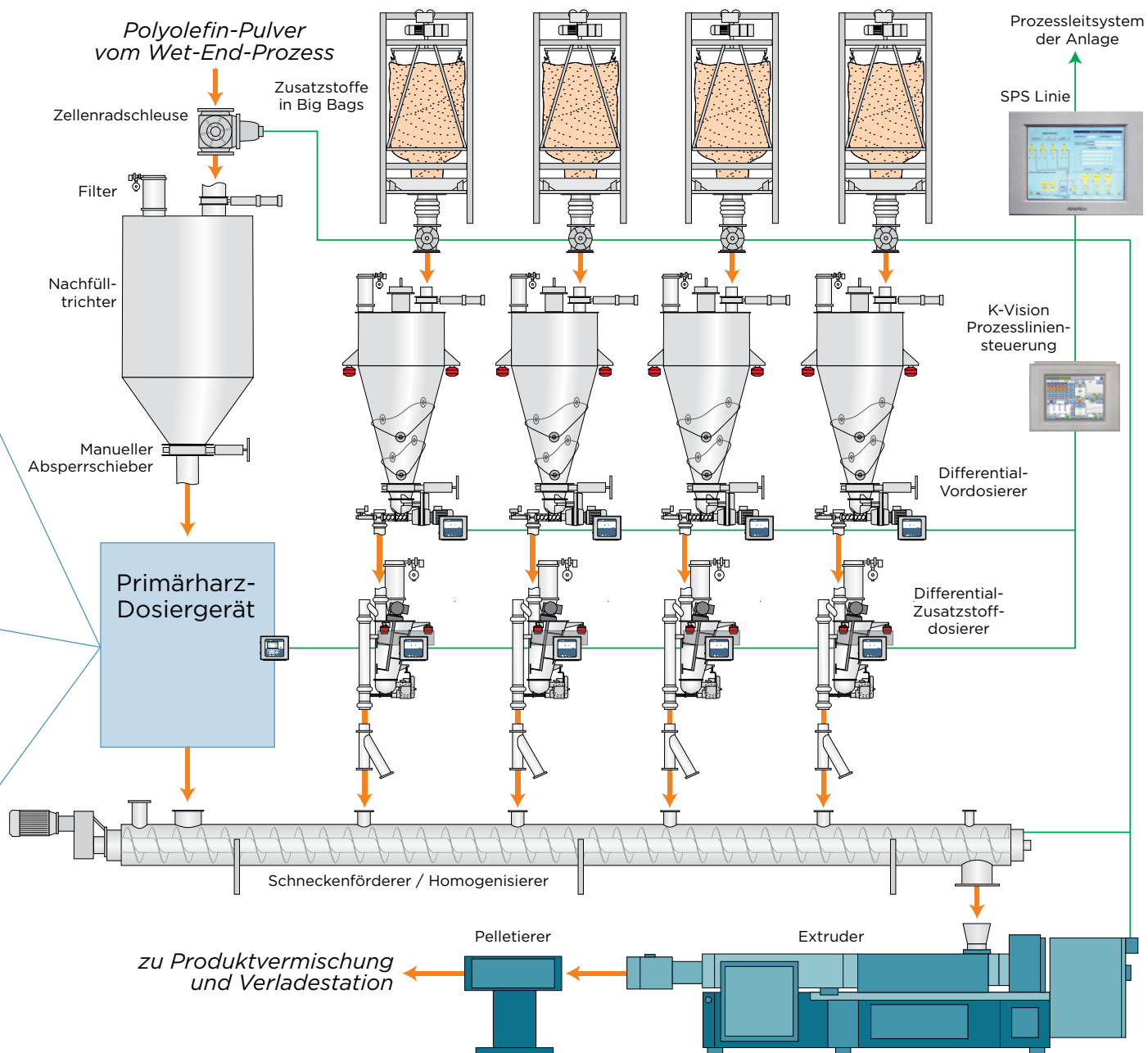
SFM Durchflussmesser



Grosser Differentialdosierer



Grosse Dosierbandwaage



## Polyolefin-Produktionsanlage - Dry-End-Prozess

Als Dosiergerät für die Beschickung mit Primärharz stehen zur Auswahl: ein grosser Differentialdosierer, eine grosse Dosierbandwaage oder ein SFM Smart Flow Meter.

die gewünschten Dosierleistungen zu erzielen und ein breites Spektrum abdecken zu können. Das Dosiersystem ist ausserdem mit einer Druckausgleichsvorrichtung ausgestattet, die den Druck des Stickstoffs zwischen dem Ein- und Auslass des Dosiersystems während der Nachfüllung und der Schüttgutdosierung ausgleicht. So wie beim Smart Flow Meter liefert die KCM-Steuerung der Differential-Dosierwaage einen Master-Massenflusswert an die Zusatzstoff-Dosiersysteme.

### Dosierbandwaagen

In Situationen, wo der verfügbare Kopfraum nicht für eine Differential-Dosierwaage mit darüberliegendem Nachfüllbehälter ausreicht, kann eine Smart Weigh Belt (SWB) -Dosierbandwaage eingesetzt werden. Dieses gravimetrische Dosiergerät ist in der Regel an eine vorgeschaltete Zellenradschleuse als Vordosierer angeschlossen.

Für Wartungszwecke ist vor der Zellenradschleuse ein zusätzlicher manueller Absperrschieber installiert. Wie beim Smart Flow Meter kann die Drehzahl des Vorfördergeräts auch hier durch

den KCM-Regler des Smart Weigh Belt Feeder geregelt werden, um den gewünschten Durchsatz für das Polyolefin zu erzielen. Der Smart Weigh Belt Feeder kann auch nur den Durchfluss des Polyolefins überwachen, das dem nachgelagerten Prozess zugeführt wird. Das Gerät beinhaltet eine Bandfördereinheit, die in einem vollständig geschlossenen Edelstahlgehäuse untergebracht ist. Das Gewicht des Polyolefins auf dem Förderband wird mit dem digitalen Wägesystem K-SFT gemessen. Der KCM-Regler regelt die Geschwindigkeit des Bands und des Vorförderers, um die Menge, die dem nachgelagerten Prozess zugeführt wird, zu steuern oder nur die Durchflussrate des Polyolefins zu messen. Bei beiden Regel-/Messmethoden liefert der KCM-Regler ein Master-Durchflusswert, der als Bezugsgrösse für alle Zusatzstoff-Dosiersysteme dient.

### Zufuhr von Additiven

Abhängig vom geforderten Gütegrad des Polyolefins können ein oder mehrere Additive erforderlich sein. Für die Verarbeitung von Additiven werden

spezielle Systemkomponenten benötigt, die eine hohe Fördergenauigkeit und Betriebssicherheit gewährleisten.

Die Additive werden in Schüttgutbehältern verschiedener Grösse angeliefert. Mithilfe von Entladestationen werden die Additive dann dem Prozess zugeführt. Verkleinerungsaggregate in den Entladestationen zerkleinern Agglomerate und sorgen für einen besseren Materialfluss. Entladestationen können über verschiedene Kopplungssysteme für den Anschluss des Schüttgutbehälter-Auslasses verfügen. Automatische Entlüftungssysteme in den Entladestationen sorgen für eine staubfreie Umgebung. Eine Kombination aus einer Schüttgutbehälter-Entladestation und einer Sackentleerstation (für 25-kg-Säcke) ist eine geeignete Lösung für die schnelle Zuführung kleiner Zusatzstoffmengen.

### Behälterentlüftung

Beim Fördern von Additiven in Zwischenbehälter und Silos entwickelt sich in den Behältern Staub. Oben in den Zwischenbehältern eingebaute Entlüftungssysteme mit integrierten Filtern fangen die Staubpartikel ab. Bei der Auswahl des geeigneten Entlüftungssystemtyps (automatisch, modular oder statisch) müssen die Grösse des Behälters, die Menge des Additive, die pro Zeiteinheit verarbeitet werden müssen, und die Partikeleigenschaften sowie die Sicherheitsanforderungen berücksichtigt werden.

Bei automatischen Entlüftungssystemen wird der Staub mittels Druckluft- oder Stickstoffstössen aus den Filterbeuteln geblasen. Die Additive verbleiben im Speichertank und das Entlüftungssystem gibt saubere Luft in die Umgebung ab. Falls Stickstoff verwendet wird, wird dieser in den Stickstoffkreislauf zurückgeführt. Wenn keine selbstreinigenden Entlüftungssysteme erforderlich sind, kann mit statischen Entlüftungssystemen gearbeitet werden. Bei



Automatische Behälterentlüftung

diesem Entlüftungssystemtyp ist jedoch eine regelmässige manuelle Reinigung der Filtersäcke erforderlich. Eine höhere Filterleistung wird mit Entlüftungssystemen mit mehreren Filtersäcken erzielt.

### Dosierventile und Absperrschieber

Beim Transport des Materials von der Schüttgutbehälter-Entladestation zu Zwischenbehältern oder Speichertanks und dann zu Differential-Dosierwaagen müssen die einzelnen Systeme der Förderanlage zwischen Laden und Entladen umschalten. Durch diese Zyklen wird sichergestellt, dass Additive ohne Unterbrechungen bereitgestellt werden können.

Die in den Zwischenbehältern bzw. Speichertanks eingebauten Füllstandssensoren liefern die Signale für die automatische Steuerung des Öffnungs- und Schliessvorgangs der Schieber. Die Differential-Dosierwaage steuert und schliesst diese Nachfüllventile anhand der Sollwerte für „Nachfüllanforderung“ und „Nachfüllvorgang abgeschlossen“.

In der Regel erfolgt der Transfer



Bulk Bag-Entladestationen in Kombination mit Sackentleerstationen für eine PE-Anlage

der Additive per Schwerkraft von den Schüttgutbehältern über die Zwischenbehälter zu den Differential-Dosierwaagen. Drosselklappen werden zur Steuerung der Schwerkraftentleerung aus Zwischenbehältern oder Speichertanks verwendet. Ein Absperrschieber ist sehr gut geeignet, wenn ein vertikal fließender Materialstrom abgesperrt werden soll. Die Schieberplatte ist so ausgelegt, dass sie durch das fließende Schüttgut schneidet und den Materialfluss unterbricht. Wartungsschieber werden ebenfalls zur Steuerung der Schwerkraftentleerung eingesetzt und sind mit einem Handkurbelantrieb ausgestattet.

## Additiv-Dosierung

Aufgrund des breiten Spektrums an Materialeigenschaften der bei der Polyolefinherstellung eingesetzten Additive sowie der grossen Bandbreite der erforderlichen Beschickungsraten muss in der Regel für jeden Zusatzstoff eine eigens ausgelegte Differential-Dosierwaage eingesetzt werden.

Differential-Dosierwaagen bieten ein Höchstmass an Flexibilität und das bei vollständigem Einschluss von Schüttgut und Staub. Sie dosieren in optimaler Weise mit der geforderten Dosierleistung und ermöglichen somit eine hohe Endproduktqualität. Differential-Dosierwaagen sind in einer Vielzahl von Ausführungen erhältlich und deren Dosiersystem, Trichtergrösse, Wägekapazität und Fliesshilfen können an das jeweilige zu fördernde Schüttgut angepasst werden.

Für die Dosierung von Granulaten oder frei fließenden Schüttgütern eignen sich Ein-fachschnellen-Dosierer. Doppelschnellen-Dosierer sind ideal für kohäsive, klebrige oder schwer fließende Materialien empfohlen. Weitere geeignete Dosierertypen sind Vibrationsrinnen für faserförmige Materialien, Dosierbandwaagen für komprimierbare oder bröcklige



Spezial-Dosierer für Additive

Schüttgüter und BSP-Dosierer (Bulk Solids Pump) für granuliert, trockene Schüttgüter.

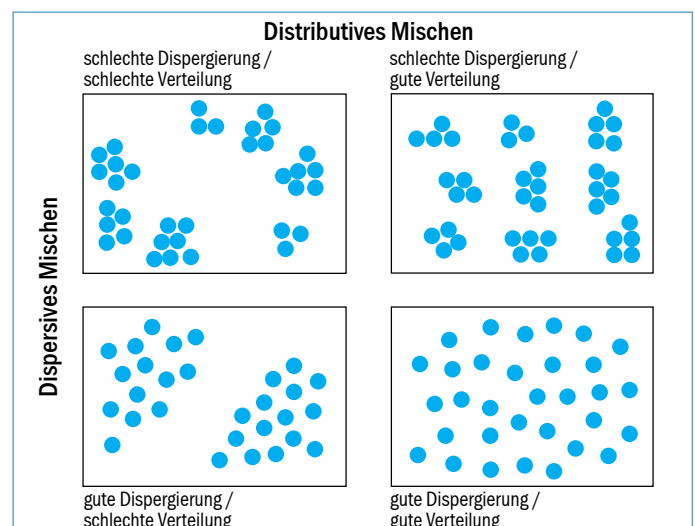
Für flüssige Additive stehen verschiedene Pumpentypen zur Verfügung. Bei der Auswahl des Typs sind Temperatur und Viskosität der Flüssigkeit und die erforderlichen Auslaufdrücke zu berücksichtigen. Es sind Trichter mit verschiedenen Volumen und in verschiedenen Ausführungen erhältlich: zylindrisch, asymmetrisch und symmetrisch. Trichter können auch mit einem mechanischen vertikalen Rührwerk oder mit ActiFlow™, einer intelligenten Fliesshilfe ohne Schüttgutkontakt, ausgestattet werden.

Die Bandbreite der einsetzbaren Wägesysteme reicht von Plattformwaagen mit niedrigen Kapazitäten bis zu grossen 3-Punkt-Wägesystemen. Bei allen Wägesystemtypen wird die modernste digitale K-SFT-Wägetechnologie eingesetzt, die

eine Auflösung von 1:8'000'000 in 20 ms aufweist und im definierten Messbereich resistent gegen Schwingungs- und Temperatureinflüsse ist. Wenn Polyolefin mit unterschiedlichen Gütegraden und dementsprechend auch eine Vielzahl von verschiedenen Additiven zugeführt werden müssen, sind Differential-Dosierwaagen am besten geeignet, da sie die grösste Flexibilität bieten. Diese Flexibilität wird durch verschiedene Schneckenausführungen (Durchmesser, Profil usw.) erreicht, die zwischen einzelnen Produktionsschritten ausgewechselt werden können, um eine Vielzahl von Materialien mit verschiedenen Flieseigenschaften zu verarbeiten. Differential-Dosierwaagen ermöglichen schnelle Umrüstungen für verschiedene Additive und eine einfache Reinigung, so dass Betriebsunterbrechungen auf ein Mindestmass reduziert werden. Ausserdem sind die Waagen so konstruiert, dass keine Verunreinigung der Additive auftritt. Besonders bei Extrusionslinien mit sehr hohen Durchsatzraten kommt der Vorteil von Differential-Dosierwaagen mit schnellen Reaktionszeiten zum Tragen, da die hohe Dosiergenauigkeit dieser Geräte auch hier konstant bleibt und somit eine gleichbleibend hohe Endproduktqualität gewährleistet ist.

## Dispersives und distributives Mischen

Wenn bei der Compoundierung von Polyolefinen geringe Mengen von Additiven zugeführt werden, treten zwei Wirkungen auf: dispersives und distributives Mischen. Das disperse Mischen bezieht sich auf die Verkleinerung von in geringen Mengen vorhandener kohäsiver Komponenten, wie Klumpen bzw. Ansammlungen von Feststoffpartikeln (z. B. Russ) oder Flüssigkeitströpfchen. Distributives Mischen bezieht sich auf die gleichmässige räumliche Verteilung der Komponenten in der Grundmasse. Beide Mischvorgänge sind für das Erzielen einer guten Polymerhomogenisierung entscheidend. Die Additive müssen im Polyolefin gleichmässig verteilt werden, ansonsten Unregelmässigkeiten und Qualitätseinbussen im compoundingierten Produkt resultieren. Das disperse und distributive Mischen wird mit Schneckenfördersystemen durchgeführt, die dem Extruder vorgeschaltet sind. Bei der Zugabe einer bestimmten Menge eines kleinanteiligen Additives wird diese mittels Förderschnecke mit der Polyolefin-Grundmasse vermischt und das Gemisch anschliessend dem Extruder zugeführt. Eine leichte Stickstoff-Überlagerung verhindert das Eindringen von Luft in



das Schneckenfördersystem.

Die Schnecke arbeitet nach dem Archimedischen Prinzip, um Pulver und Granulate zu bewegen und dabei Stoffe mit niedrigerer Kohäsion auszuscheiden. Über die Länge des Schneckenfördersystems werden unterschiedliche Additive zudosiert. Stoffe mit einer höheren Kohäsion werden näher am Einlauf des Schneckenförderers zudosiert, so dass deren Verweilzeit maximiert wird.

Das im Hauptstrom fließende Polyolefin weist eine Temperatur von 80 bis 120 °C auf. Nach Erreichen eines stabilen Betriebszustandes werden diese Temperaturen sehr genau eingehalten. Durch die Überlagerung von Stickstoffgas, das Zuführen von Additiven in Pulverform und das Mischen der Stoffe durch die Schnecke wird im Inneren des Schneckenfördersystems eine grosse Menge an Schwabestoffen produziert. Diese Schwabestoffe dürfen nicht in die Umgebung gelangen. Das Schneckenfördersystem ist daher mit einem Entgasungsfilter am Auslass ausgestattet, über den Stickstoff austreten kann, während die Schwabestoffe herausgefiltert und rückgeführt werden. Die Entgasungsfilter von Coperion K-Tron sind aus rostfreiem Stahl hergestellt und mit selbstreinigenden Rückblasfiltern ausgestattet. Die Entgasungsfilter verfügen über Polyester-Filtereinsätze mit einer antistatischen PTFE-Beschichtung. Die Filtereinsätze können auf einfache Weise gewechselt werden, wobei die Stickstoffatmosphäre intakt bleibt

## Kompoundierung

Um ein nutzbares Endprodukt zu erhalten, muss das im Polymerisationsreaktor produzierte Polyolefin chemisch und physikalisch modifiziert werden, indem verschiedene Additive zugeführt werden. Die Endanwendung bestimmt, unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Prozessparameter, Typ und Gütegrad des



Schneckenförderer mit mehreren Einläufen

zu verwendenden Polyolefins, welche wiederum die benötigten Additive definieren.

Die Compoundierung bezeichnet einen komplexen Prozess, bei dem diese Additive gemäss einem spezifischen Rezept zu definierten Anteilen gut vermischt werden, anschliessend in einem Extruder eingeschmolzen und schliesslich zu einem modifizierten und speziell zugeschnittenen Polyolefin-Pellet geformt werden, bereit für die weitere Verwendung. Der Typ des eingesetzten Compoundierungs-Systems hängt von der Anlagengrösse und den gewünschten Eigenschaften des Endprodukts ab.

## Transport und Polymerhomogenisierung

Der Extruder schmilzt, mischt und extrudiert die Mischung aus Polymer und Additiven, welche anschliessend pelletiert wird.

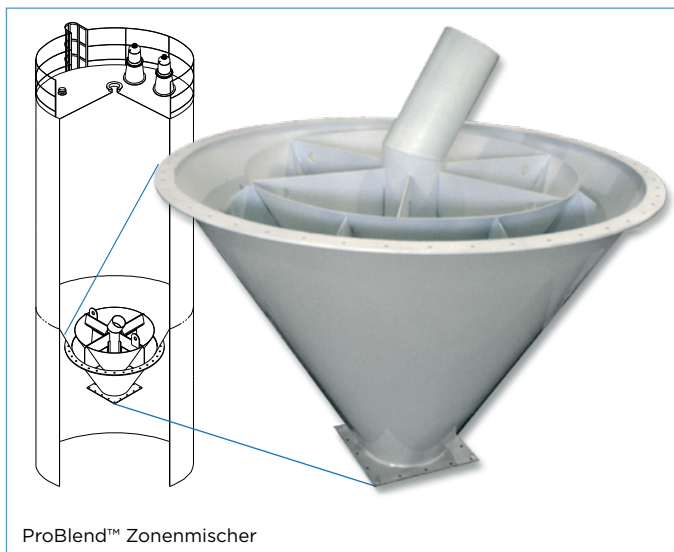
Die kompoundierten Polyolefinpellets werden in der Regel mit einem Druckfördersystem vom Pelletierungsbereich in Lager- und/oder Mischsilos transportiert. Eine gleichmässige Verteilung der Pellets wird

werden. Der ProBlend™ Zonenmischer verfügt aufgrund seiner speziellen Geometrie über zehn verschiedene Fließbereiche, so dass das Material mit verschiedenen Geschwindigkeiten und Verweilzeiten durch das Silo strömt. Das Ergebnis ist, dass sämtliches Material gut vermischt wird. Der Zonenmischer arbeitet mit einer Kombination aus Materialdurchfluss-FIFO (FIFO: „first in, first out“) und Trichterdurchfluss-LIFO (LIFO: „last in, first out“), um eine homogene Mischung selbst bei ungleichen Materialien zu erzielen und eine Entmischung zu verhindern.

## Pneumatische Förderung

Pellets werden aus dem Homogenisierungs-Silos pneumatisch mit einem Saug-/Druckfördersystem zu Silos transportiert.

Wird ein Pellet (insbesondere bei LDPE) während des pneumatischen Transports beschädigt, entstehen Staubpartikel bzw. Feinteile und Fasern (Engelshaar, Flocken, Schlangenhaut, Streifen, Fäden, Bänder). Einer der wichtigsten Auslöser für die Bildung von Staub und Fasern ist die Kombination aus Reibung und Hitze, welche entsteht, wenn Pellets an den Wänden des Fördersystems entlang reiben.



ProBlend™ Zonenmischer



Zyklon und Aerolock

Mit Gebläsen wird ein Überdruck erzeugt, gleichzeitig wird die Förderluft erwärmt. Daher werden in Druckförderleitungen Luftkühlsysteme eingebaut, welche die Temperatur reduzieren und somit auch die Bildung von Feinteilen und Fasern.

Zusätzlich werden die Feinteile mit Zyklonabscheidern oder Abscheidern, welche einen Luftgegenstrom nutzen, von den Pellets getrennt.

Pellets werden mittels Schwerkraft aus Entlade-Silos in Eisenbahnwaggons oder LKWs verladen. Mit dem Coperion K-Tron Smart Flow Meter wird die Menge des in die Eisenbahnwaggons oder LKWs verladenen Materials gemessen. Sobald ein

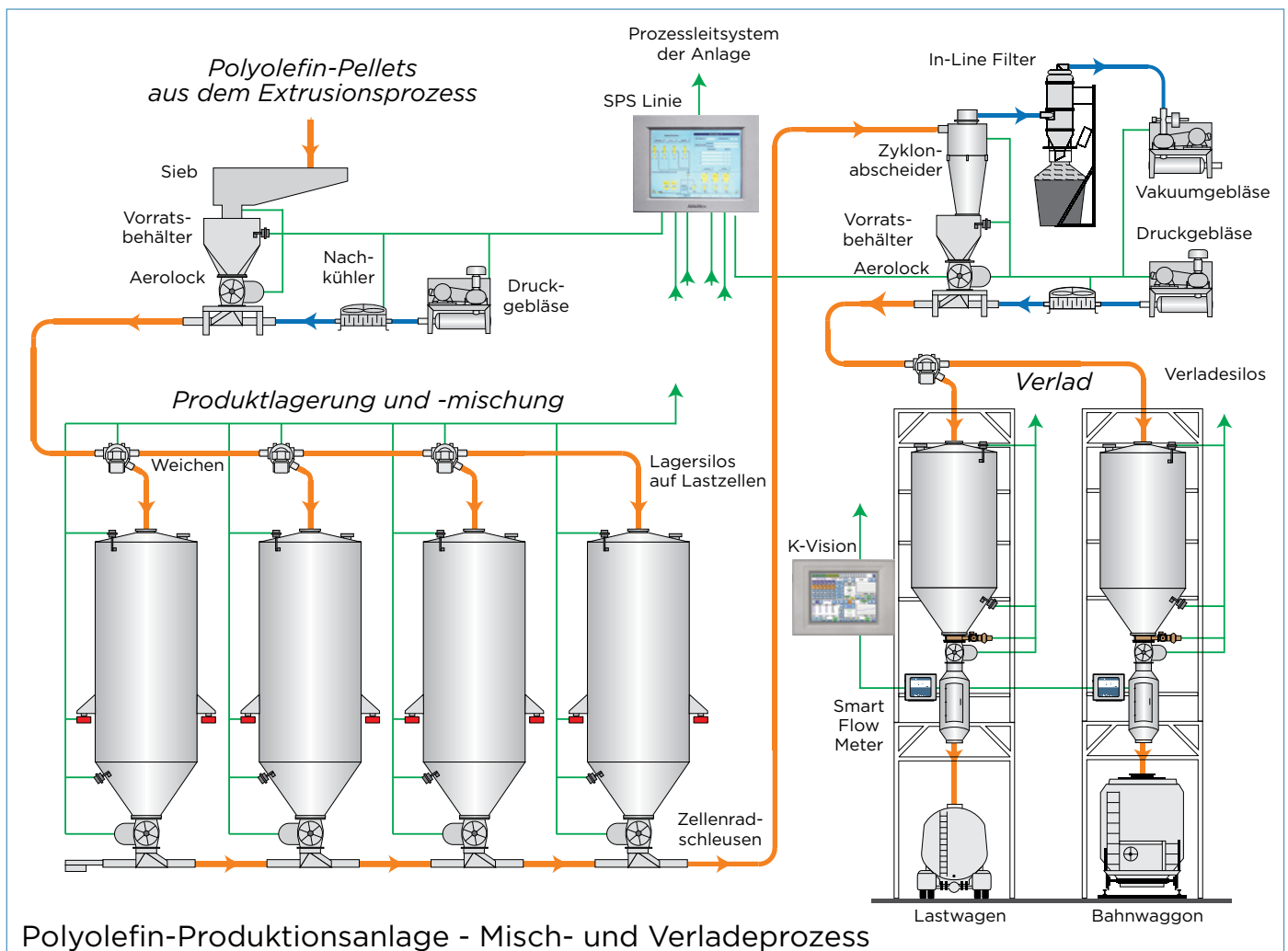
vorgegebener Mengenwert erreicht ist, wird ein Sperrschieber geschlossen und der nächste Waggon oder LKW wird abgefertigt. Die Polyolefinpellets können auch in Schüttgutbehältern, Supersacks oder Säcken verpackt werden.

## Prozesssteuersysteme

Bei der Polyolefinherstellung wird über ein Netzwerk von verteilten Kontrolleinheiten (DCS), welche mit einer zentralen Steuereinheit verbunden sind, der Prozess überwacht und gesteuert. Die zentrale Einheit steuert die einzelnen Module der Unterprozesse.

Die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) bildet die Schnittstelle zwischen den Regel- und Steuersystemen des Polymer-Hauptfördersystems, des Zuführsystems für die Additive und der Schneckenförderer-/Homogenisierstufen innerhalb des Dry-End-Abschnitts und dem vorgelagerten Wet-End-Prozess sowie dem nachgeschalteten Extruder.

Jedes Zusatzstoff-Dosiersystem ist mit einem Coperion K-Tron Control Module (KCM) ausgestattet, das für eine hochgenaue Dosierung der Stoffe innerhalb von vorgegebenen Toleranzbereichen sorgt. Mithilfe der K-Vision Linien-Bedienerschnittstelle kann der



# Dosieren und Fördern bei der Polyolefin-Herstellung

Bediener bis zu 24 Zusatzstoff-Dosiersysteme in ein oder zwei Linien an einer zentralen Stelle überwachen und steuern. Es werden sämtliche Sollwerte für die Zusatzstoffmengen und die aktuellen Durchflussraten angezeigt. Alarmzustände werden angezeigt und aufgezeichnet. Mithilfe von K-Vision können auch die Daten der Herstellungsprozesse zusammengeführt und für Überwachungs- und Aufzeichnungszwecke an das zentrale SPS- oder die DCS-Systeme übertragen werden. K-Vision empfängt Prozess- und Zusatzstoff-Sollwerte von DCS-Systemen und zeigt diese Werte dem Bediener der Anlage an.

Im Dry-End-Prozess wird der SPS verwendet, um die Start-/Stopp-Funktionen aller Systeme zu steuern, die Zusatzstoff-Dosiersysteme zu überwachen und zu steuern sowie die Sperrschneckenfunktionen, das Misch-Schneckenfördersystem und die nachgeschalteten Sperren zu steuern.

## Anlagentechnik

Projekte, die das Entwerfen und Bauen von Anlagen zur Polyolefinherstellung umfassen, können von einer einfachen Systemerweiterung bis zur umfassenden Planung einer neuen Anlage reichen.

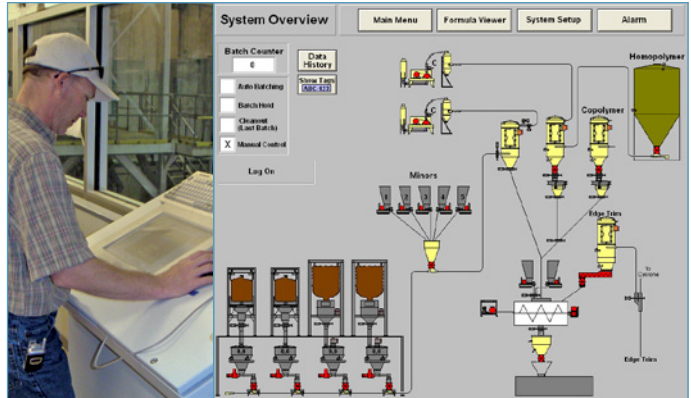
Bei jedem Projekt sind vom anfänglichen Entwurf bis zur erfolgreichen Inbetriebnahme einer Anlage viele verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. Die Anlagentechnik wird beeinflusst von den verwendeten Rohstoffen, den einzelnen Anlagenkomponenten und den Anlagenbetreibern.

Polyolefin-Hersteller setzen eine sehr grosse Anzahl von

Additiven und fortschrittlichen Chemikalien ein, um bestehende und neue Kunststoff-Produkte zu formulieren. Dabei kann das Handling von aggressiven, bröckligen, klebrigen, feuchten, wärmeempfindlichen, gefährlichen, schwer zu filternden, oxidationsanfälligen und schlecht fließenden Materialien hohe Ansprüche stellen. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der einzelnen Komponenten legen die Basis für den Produkterfolg. Das Schüttgutverarbeitungssystem andererseits ist für die Profitabilität entscheidend, indem es eine hohe Produktions- und Anlageneffizienz bei niedrigen Arbeits-, Material- und Energiekosten sicherstellt.

Die Entwicklung einer solch komplexen Anlage erfordert Know-how und Erfahrung, und zwar nicht nur im Bereich der Materialwissenschaften, sondern auch im Bereich von pneumatischen Fördersystemen (Druck- und/oder Saugsysteme) Schüttgutentlade- und Speichersystemen, Wäge- und Dosiersystemen sowie Misch- und Homogenisierungssystemen. Ausserdem müssen sämtliche Steuer- und Regelsysteme der einzelnen Untersysteme im zentralen PCS-System integriert werden.

Eine zentrale Rolle spielt die Kompetenz der Mitarbeiter. Ein engagierter Projektmanager von Coperion K-Tron führt Projekte mit einem interdisziplinären Ansatz durch und stellt die technischen und geschäftlichen Bedürfnisse des Kunden in den Mittelpunkt. Der Projektmanager bespricht die Projektspezifikationen mit dem Kunden, ist verantwortlich für die Sammlung von Informationen, das



Die kundenspezifischen Steuerungen verfügen über bedienerfreundliche grafische Oberflächen

Verfassen eines Konzepts und Entwurfs, die Erstellung und Präsentation eines Angebots, die Überwachung der Konstruktion und Herstellung, die Inbetriebnahme der Anlage und die Schulung der Mitarbeiter des Kunden, damit diese die Anlage richtig betreiben und bedienen können. Das Projekt wird vom Anfang bis zum Abschluss von einer Person betreut, was von unseren Kunden sehr geschätzt wird. Dieser Projektmanager wird durch viele Systemingenieure, Konstruktions-, Maschinenbau- und Elektroingenieure sowie Kundendiensttechniker unterstützt, und das weltweit.

## Die Vorteile von Coperion K-Tron

- › Verstehen von komplexen technischen Spezifikationen und Abgabe entsprechender Angebote durch ein Pre-engineering-Team
- › Hervorragende Projektmanagementfähigkeiten
- › Weltweites Netzwerk aus Lieferanten, z. B. in Saudi-Arabien, Indien, China und vielen anderen Ländern

- › Erfahrung und Know-how bei der Anlagenentwicklung für schwierig zu verarbeitende Additive bzw. Pulver
- › Erfahrung bei der Entwicklung und Implementierung von geschlossenen Stickstoff-Kreislaufsystemen
- › Optimale Anlagenauslegung um Schäden am Produkt zu vermeiden
- › Erfahrung bei der Entwicklung und Herstellung von Spezialexsystemen, mit denen eine unübertroffene Produkt-homogenität erzielt wird
- › Umfangreiche Produktpalette, die sämtliches Zubehör umfasst, wie z. B. Filter, Füllstandsanzeiger, Umlenkvorrichtungen, Drehschieber, Kühlsysteme, Gebläse und Rohrleitungen
- › Erfahrung bei der Beladung von LKWs und Waggonen und dem Befüllen von Behältern und Säcken sowie Containern für den Transport auf dem Seeweg oder auf der Strasse
- › Weltweites Kundendienst-Netzwerk mit erfahrenen, im Betrieb ausgebildeten und zertifizierten Technikern

