

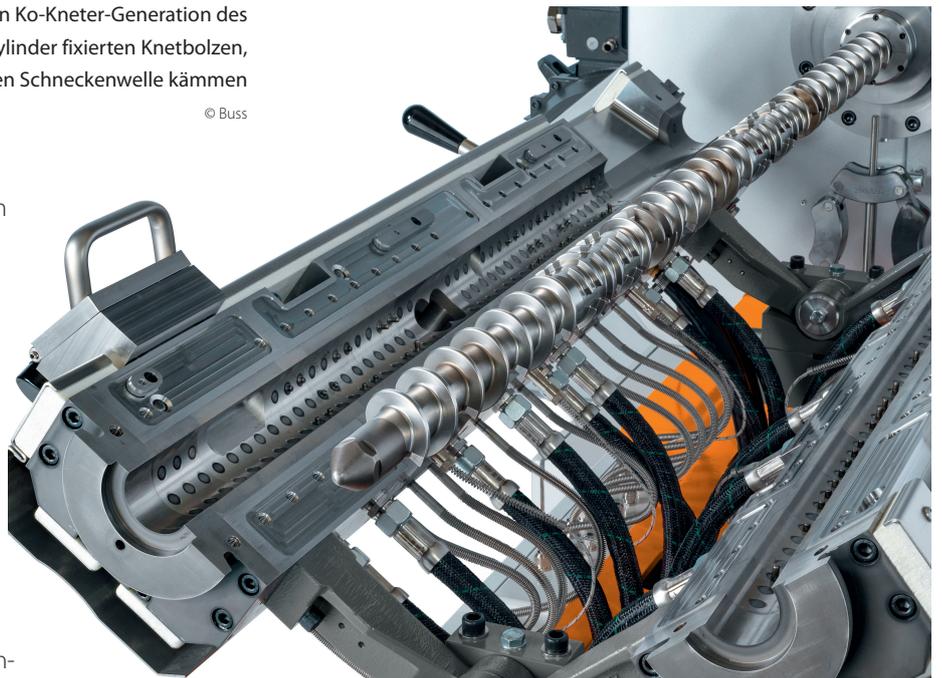
Der das Material schert, teilt und faltet

Schonende Aufbereitung bei hoher Mischeffizienz und guter Skalierbarkeit im Ko-Kneter

Das Arbeitsprinzip des Ko-Kneters wurde schon vor einem Dreivierteljahrhundert zum Patent angemeldet. Im Vergleich zu anderen Extrudertechnologien bietet es eine deutlich höhere Mischwirkung bei zugleich schonendem Umgang mit dem verarbeiteten Material. Bei den aktuellen Weiterentwicklungen reicht das Spektrum der Anwendungen von reaktiven, scherempfindlichen Kunststoffen bis zur Aufbereitung von technischen Hochleistungskunststoffen.

Der Blick in den Prozessraum der aktuellen Ko-Kneter-Generation des Typs Compeo zeigt die Position der im Zylinder fixierten Knetbolzen, die mit den Knetflügeln der modularen Schneckenwelle kämmen

© Buss



Der 20. August 1945, der Tag, an dem der Diplomingenieur Heinz List (**Bild 1**) das Prinzip des Ko-Kneters zum Patent angemeldet hat [1], gilt als die Geburtsstunde dieser Aufbereitungstechnologie. Ihre Besonderheit: Die Schneckenwelle des Extruders führt neben der rotierenden auch eine axiale Hubbewegung aus, und der Zylinder ist mit feststehenden Knetbolzen bestückt. Vorausgegangen war die Bildung eines Ausschusses im Bayer-Werk der damaligen I.G. Farbenindustrie AG [2], der sich bereits während des Zweiten Weltkriegs mit dem Einsatz von Schneckenmaschinen in der Misch- und Knettechnik befasste. Dessen Mitglied Rudolf Erdmenger arbeitete an gleichläufigen, Siegfried Kiesskalt an gegenläufigen Doppelschneckenmaschinen. Als Dritter im Arbeitskreis entwickelte List eine einwellige Schneckenmaschine, bei der eine axiale Oszillation die Rotation der Schneckenwelle überlagert und dadurch den Misch- und Kneteffekt bewirkt. List nannte diese Maschine Ko-Kneter, wobei „Ko“ für „kontinuierlich“ stand, und ließ sich seine Erfindung unter dieser Bezeichnung durch eine Reihe von Patenten schützen (**Bild 2**). Heute gelten die drei Genannten als Gründerväter der modernen Aufbereitungstechnik [3].

Aus konstruktiver Sicht ist der Ko-Kneter zunächst ein kontinuierlich arbeitender Einwellenextruder. Sein Arbeitsprinzip unterscheidet ihn jedoch deutlich von herkömmlichen Ausführungen. Seine Schne-

ckenwendel ist durch zwei bis vier Lücken pro Umdrehung unterbrochen, wodurch die charakteristischen Knetflügel entstehen. Mit diesen kämmen stationäre Knetbolzen (früher: Knetzähne), die im Knetergehäuse befestigt sind (**Bild 3**), das Mischgut.

Besonderer Bewegungsablauf

Die wesentliche Besonderheit der Technologie, dass die Schneckenwelle des Ko-Kneters eine rotierende und zugleich eine axial oszillierende Hubbewegung ausführt, erzeugt pro Umdrehung einen vollständigen Hubzyklus vorwärts und zurück in die Ausgangslage (**Bild 4**). Dieser Bewegungsablauf vermeidet die Nachteile alternativer Systeme, wie die breite Scher- und Geschwindigkeitsverteilung gleichläufiger Zweischnellenextruder oder die einge-

schränkten Mischeigenschaften gegenläufiger Doppelschnecken, und bewirkt signifikante Vorteile hinsichtlich der Mischwirkung und Selbstreinigung.

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde es Schritt um Schritt möglich, Kunststoffe im industriellen Umfang herzustellen. Angesichts steigender Produktionsmengen und wachsender Anforderungen an die Reproduzierbarkeit wurden dabei Anlagen zur kontinuierlich ablaufenden Aufbereitung interessant (**siehe Kasten**).

Von der Idee zur breiten Anwendungspalette

Der Erfolg, den eine Schneckenmaschine in einer Anwendung erreichen kann, hängt davon ab, wie gut ihr Stärkenprofil

Im Profil

Heinz List, der Erfinder der Ko-Kneter-Technologie, ging 1944 in die Schweiz, wo sein Konzept bei der **Buss AG**, Pratteln, Anklang fand. Die Fachwelt erkannte schnell die Vorteile dieses Arbeitsprinzips, das sich in der Folge rasch auf dem Weltmarkt etablierte. List wirkte bis 1965 als technischer Direktor bei Buss und gründete anschließend die **List AG**, Arisdorf/Schweiz (www.list-technology.com). 1988 wurde er für seine Ingenieurleistung und die Entwicklung des Ko-Kneters in die Polymer Processing Hall of Fame der University of Akron/Ohio/USA, aufgenommen.

Nach der Eröffnung des ersten Testzentrums für den Ko-Kneter im Jahr 1948 wurden 1950 die ersten Anlagen des Typs „Buss Ko-Kneter – System List“ (so ihr Name in der Pionierzeit) für Polyvinylchlorid (PVC) bzw. Polystyrol ausgeliefert. Es folg-

te die Entwicklung dedizierter Ausführungen für das Compoundieren unterschiedlichster Kunststoffe, das kontinuierliche Reagieren von Polymeren und anderen chemischen Stoffen sowie das Aufbereiten von Kohlelektrodenmasse für den Einsatz in der Aluminiumgewinnung. Dabei erwies sich das Prinzip der oszillierenden Einwellenmaschine als sehr gut geeignet, um das freie Volumen und das Schergeschwindigkeitsniveau den jeweiligen Anforderungen anzupassen.

Der Ko-Kneter wurde „zum Kristallisationspunkt von Aufbereitungsanlagen“, so List [1]. Dies weitete bei Buss den Blick und das Verständnis für den Anlagenbau und die Anforderungen up- und downstream, weil die kontinuierliche Dosiertechnik, der effiziente Druckaufbau und das Formgeben nach dem Mischen in der viskosen Phase mitentwickelt werden mussten.

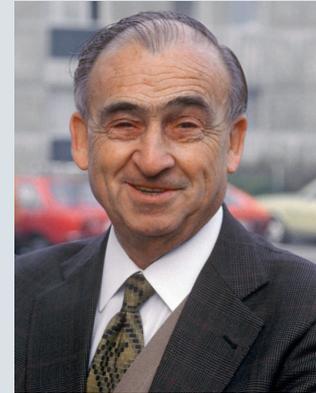


Bild 1. Der Erfinder des Ko-Kneter-Prinzips und Pionier der Prozesstechnologie Heinz List (1912–1988)

© List Technology

den spezifischen Anforderungen entspricht [5]. Wie systematische Untersuchungen inzwischen gezeigt haben [6], lässt sich diese Eignung vorab mit modernen analytischen Methoden bewerten, wenn die Stärkenprofile der betrachteten Systeme bekannt sind. Die Vorteile des Ko-Kneters sind vielfältig und lassen sich unter den Stichworten schonende Aufbereitung, hohe Mischeffizienz und zuverlässiger Scale-up zusammenfassen.

Die für das Aufschmelzen und Dispergieren (Zerteilen) notwendige Scherung entsteht im Scherspalt s zwischen Knetflügel und Knetbolzen (**Bild 3**), der proportional zur Maschinengröße D_a ist. Somit ist die Schergeschwindigkeit – im Gegensatz zu anderen Schneckenmaschinen – unabhängig von der Maschinengröße – direkt proportional zur Drehzahl n der Schneckenwelle.

Die mittleren Scherspalt s sind mit etwa $0,01 D_a$ ($D_a/s \approx 100$) erheblich enger als bei Einschneckenextrudern, aber deutlich weiter als bei gleichsinnig drehenden Zweischneckenextrudern. Daraus ergeben sich moderate und eng verteilte Schergeschwindigkeiten für eine schonende und zugleich hoch effiziente Aufbereitung. Dies ermöglicht die Verarbeitung von scher- und temperatursensitiven Polymeren und Zuschlagstoffen sowie von hochviskosen Materialien ohne exzessiven Temperaturanstieg bzw. bei tieferen Temperaturen, wenn es darum geht, »

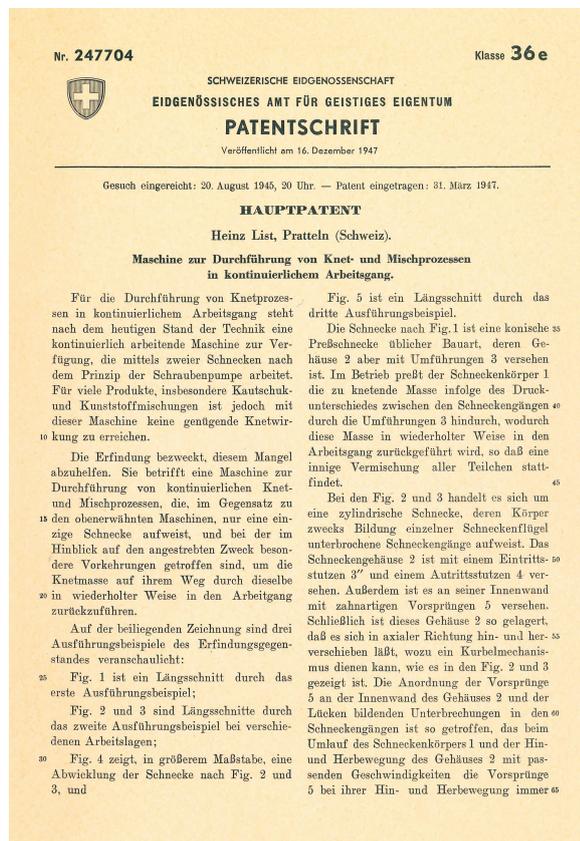
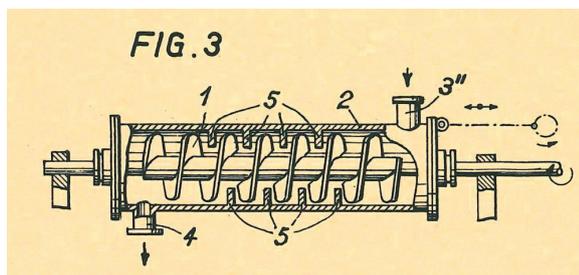


Bild 2. Das Titelblatt und eine Skizze aus der Patentschrift Nr. 247704 von Heinz List [2]

© Buss



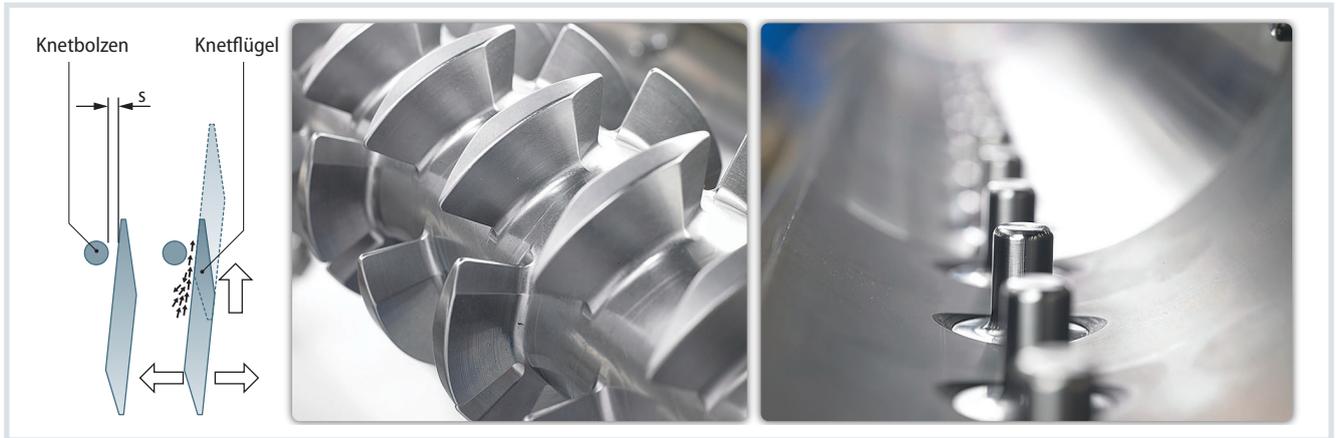
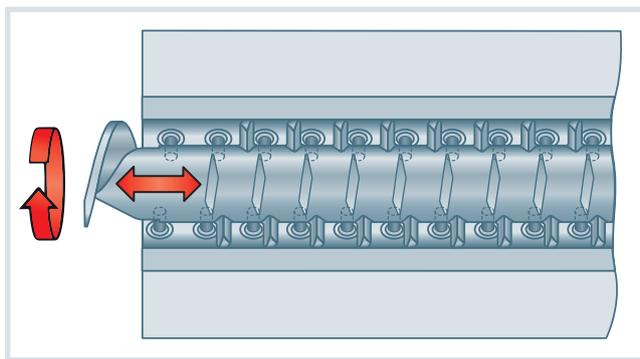


Bild 3. Im Betrieb wird das Mischgut in dem Scherspalt (links) zwischen Knetflügel (Mitte) und Knetbolzen (rechts) geschert [4] Quelle: Buss; Grafik: © Hanser

Bild 4. Überlagerung von Rotation und oszillierender Hubbewegung der Schneckenwelle

Quelle: Buss; Grafik: © Hanser



leitfähige Ruße. Zudem ermöglicht dies das Einarbeiten sehr hoher Füllstoffbelastungen bis über 90%.

Neben der vollständigen axialen Abreinigung (**Bild 4**) durch die Knetbolzenreihen wird auch der Kerndurchmesser der Schneckenwelle eng bestrichen. Damit wirken die Bolzen wie die zweite oder benachbarte Welle eines zwei- bzw. mehrwelligen Extruders. Durch das vollständige Bestreichen und Abreinigen aller Oberflächen im Verfahrensraum, wie in **Bild 5** gezeigt, werden Ablagerungen und Toträume vermieden. Es resultieren betriebssichere Verfahren mit engen Verweilzeitfenstern [6], die unempfindlicher sind gegenüber inneren Einflüssen, wie den Verschleiß von Prozessteilen, und äußeren Einflüssen, wie Dosierschwankungen. Bei reaktiven Compounds ermöglicht dies lange Betriebszeiten ohne Bladeouts.

Variable Auslegung

Durch das Arbeitsprinzip und die konstruktive Ausgestaltung ergeben sich weitere, zum Teil abgeleitete Merkmale. So kann jeder Sektor des modular aufgebauten Gehäuses und der Schneckenwelle eine separat oder in Serie mit anderen Modulen temperierte Zone bilden, um eine kontrollierte Oberflächenkonditionierung zu erzielen. Dabei lässt sich jede Knetbolzenposition als Messstelle für die Massetemperatur einsetzen.

Die gemessenen Temperaturen weichen nur geringfügig von der realen Produkttemperatur ab, da der im Knetbolzen montierte Temperaturfühler von der Schmelze umflossen wird. Die Stabilität des Prozesses ist damit jederzeit doku-

eine thermische oder mechanische Schädigung der Produkte zu minimieren.

Aus der baugrößenunabhängigen Schergeschwindigkeit resultiert das einfache und sichere Skalieren und Übertragen von Prozessen auf verschiedene Maschinengrößen (**Gleichung 1**). Die auf Labor- und Pilotgrößen entwickelten Verfahren und Konfigurationen können meist ohne langwierige Prozessanpassungen direkt auf Produktionsanlagen transferiert werden.

$$\frac{G1}{G2} = \left(\frac{D1}{D2} \right)^x$$

G1, G2: Durchsatz von Ko-Kneter 1 bzw. 2 [kg/h]

D1, D2: Schneckendurchmesser des Ko-Kneters 1 bzw. 2 [mm]

x: Exponent (liegt zwischen 2 und 3 und variiert je nach Prozess)

Die hohe Zahl der Umschichtungen der Produktströme zwischen Knetflügel und Knetbolzen – 2^{48} auf einer Länge von 4,8 L/D [7] – bewirkt eine sehr gute verteilende Mischwirkung (**Bild 5**), sodass der Ko-Kneter aufgrund dieser hohen Anzahl an Faltungsvorgängen als überlegenes System für das distributive Mischen betrachtet werden kann. Dies ist entscheidend für Stoffe, deren Struktur möglichst erhalten bleiben soll, beispielsweise elektrisch

Die Autoren

Dr. François Loviat ist Head of Process bei der Buss AG, Pratteln/Schweiz; francois.loviat@busscorp.com

Andreas Niklaus ist Senior Process Engineer bei der Buss AG; andreas.niklaus@busscorp.com

Robert Hollosi ist Process Engineer bei der Buss AG; robert.hollosi@busscorp.com

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-10

English Version

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

mentierbar und ermöglicht eine Online-Überwachung der Produktqualität.

Knetbolzen mit Durchgangsbohrungen können zum Einspritzen von Flüssigkeiten direkt in die Schmelze genutzt werden. Dadurch beginnt der Einmischprozess unmittelbar, ohne dass es zu einem Verschmieren an der Gehäusewand kommt, wie bei allen alternativen Systemen. Die präzise Positionierung der Einspritzung an jeder beliebigen Bolzenposition ermöglicht bei reaktiven Prozessen eine exakte Reaktionsführung sowie eine uniforme Reaktionsgeschichte durch die enge Verweilzeitverteilung.

Wachsende Anwendungsvielfalt

Bei vielen Anwendern, die sich mit einer breiten Palette von Produkten befassen, gilt der Ko-Kneter aufgrund seiner ausgeprägten Allrounder-Eigenschaften als System der Wahl. Zudem hat er sich in speziellen Nischen als Technologieführer etabliert. So profitieren Hersteller von hochreinen Isolationen für Mittel- bis Höchstspannungskabel von der exakten Temperaturführung bei der reaktiven Extrusion. Halogenfrei flammgeschützte Mantelmassen erfordern die Kombination von höchsten Beladungen, reaktiver Extrusion und Einhaltung niedriger Temperaturgrenzen. In halbleitenden Compounds ist die schonende Verteilung von leitenden, hochstrukturierten Zuschlagstoffen wie Rußen, Graphit oder Carbon Nanotubes der Schlüssel (Bild 6a), und bei Fluorkunststoffen, Silikonkautschuken und weiteren spielt das Aufbereiten von hochviskosen Massen in en-

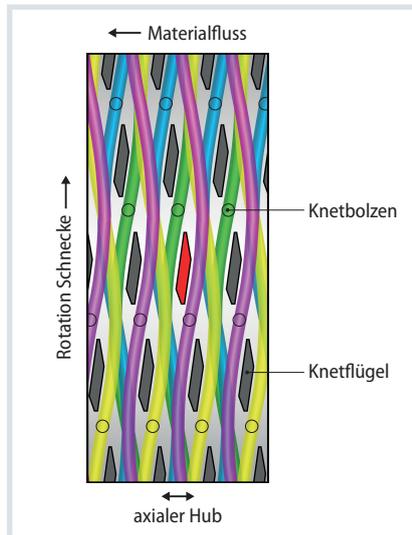


Bild 5. Mischwirkung eines vierflügeligen, in die Ebene ausgebreiteten Schneckenelements, abstrahiert dargestellt anhand der Knetbolzenlaufbahnen, die sich während einer vollen Umdrehung der Schneckenwelle ergeben. Das Mischgut wird zwischen den Knetbolzen und den diese in der Realität passierenden Knetflügeln geschert, geteilt und neu gefaltet

Quelle: Buss; Grafik: © Hanser

gen Verfahrensfenstern eine entscheidende Rolle.

Zu den Anwendungen in der Medizintechnik gehört die Produktion von Compounds für die Handhabung von Flüssigkeiten (etwa Blutbeutel oder Infusionswirkstoffe), sterile Verpackungen von Medikamenten sowie von antibakteriell und antiviral-ausgerüsteten Compounds für diverse Anwendungen und Klebstoffe, die für Verbandsmaterial eingesetzt werden. Dank der moderaten

Schergeschwindigkeiten bei sehr guten Mischeigenschaften ermöglicht der Ko-Kneter hier das Einarbeiten sehr kleiner Mengen möglicherweise migrierender Additive (Bild 6b).

Wo Temperatur- und/oder scherempfindliche Rezepturbestandteile eine Rolle spielen, beispielsweise bei Compounds auf der Basis von Polybutylenterephthalat (PBT) oder hochtemperaturbeständigem Polyamid (PA), bei Duroplasten, bei denen unterhalb des Vernetzungsbereichs compoundiert werden muss, oder bei naturfaserverstärkten Materialien, ermöglichen die moderaten Schergeschwindigkeiten das Aufbereiten in engen Operationsfenstern (Bild 6c). Die Anwendungen reichen hier von Elektronikbauteilen über Komponenten für den Motorenraum bis zu gewichtsoptimierten Flugzeug- oder Fahrzeugteilen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ko-Kneter Technologie findet ihren Einsatz in Anwendungen, in denen ihr spezielles Stärkeprofil gezielt genutzt werden kann. Mit den heutigen Methoden [5, 6] können präzise Anforderungsprofile erstellt werden. Sie erlauben eine zuverlässige Vorauswahl des geeignetsten Aufbereitungssystems. Auch in Zukunft werden die jeweiligen Auslegungen aufgrund von gezielten Versuchsreihen realisiert. Das Einbinden der Weiterentwicklungen und Erfindungen von heute, wie zwei- bis sechsflügelige oder 3D-gedruckte Freiform-Prozesse der aktuellen Baureihen, führen die bewährte Technologie in die Anwendungen der Zukunft. ■

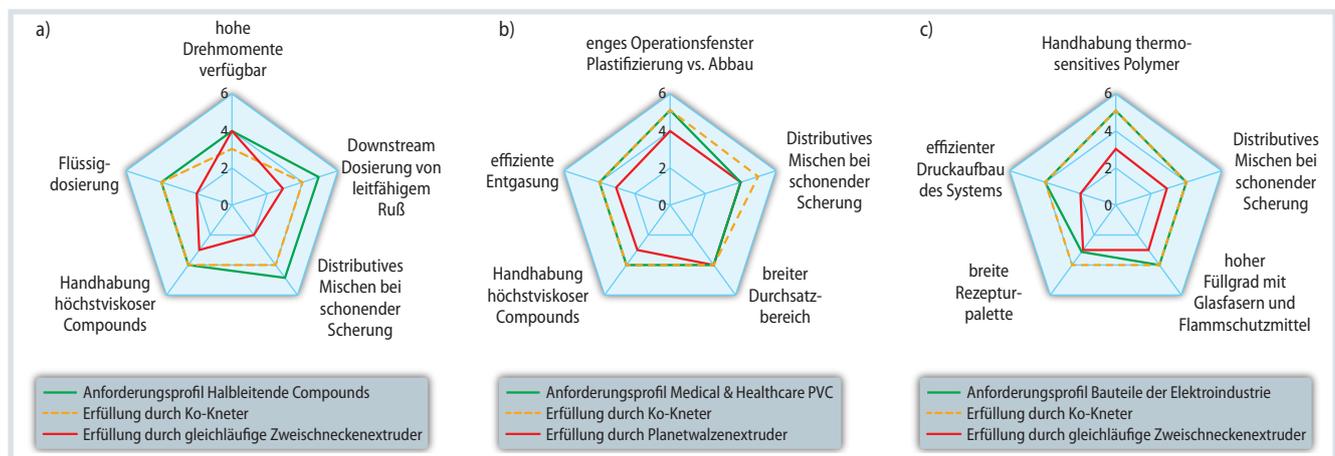


Bild 6. Technologie-Vergleich: Erfüllungsgrad der Anforderungen bei der Herstellung von a) halbleitenden Compounds für Hochspannungskabel, b) PVC-Compounds für die Medizintechnik und c) Bauteilen für die Elektronikindustrie, jeweils im Vergleich mit einer konkurrierenden Aufbereitungstechnologie [5] Quelle: Buss; Grafik: © Hanser