



Schneller – umfassender – effizienter

Compound-Entwicklung. In Zeiten zunehmend individueller Produktvarianten steigt bei den Kunststoffanwendern die Forderung nach optimal an die jeweilige Anwendung angepassten Kunststoffrezepturen. Lösungen dafür liegen nicht in der Standardisierung von Kunststoffrezepturen, sondern in der Kombination von Entwicklungserfahrung mit neuen, schnelleren und gleichzeitig erheblich effizienteren F+E-Methoden zur Beschleunigung der Entwicklung von Spezialitäten.

**JÜRGEN STEBANI
GERHARD MAIER
ERWIN BACHER**

Kunststoffe in ihrer vielfältigen Anpassbarkeit an unterschiedlichste Anforderungsprofile verdrängen seit Jahren klassische Werkstoffe wie Holz, Glas oder Metalle aus verschiedenen Anwendungen. Mit neuen Materialentwicklungen, unter Anwendung von Materialkombinationen oder Hybridwerkstoffen, versuchen die Kunststoffhersteller und Kunststoffverarbeiter neue Anwendungsfelder zu erschließen und den Einsatzbereich der Kunststoffe immer weiter auszudehnen. Gegen solche Neuentwicklungen arbeiten aber zwei immer mächtiger werdende Gegenspieler, nämlich die Zeit und der Preis.

Bedarf an spezifischen Rezepturen wächst

Seit den neunziger Jahren begannen im F+E-Bereich der großen Kunststoffherzeuger zwei strategische Trends zu dominieren. Einerseits die Verfahrensentwicklung, deren Ziel es war, immer kostengünstiger immer größere Volumina pro Produktionsanlage herstellen zu können, um den stetig wachsenden Bedarf an den etablierten Kunststoffen abdecken und gleichzeitig Margen- durch Skalenvorteile realisieren zu können [1]. Damit verschwanden in der Folge zahlreiche kleinere Rohstoffhersteller, und die Branche begann sich zu konsolidieren. Der zweite Trend betraf die Rohstoffentwicklung. Nicht mehr völlig neue Kunststoffe standen im Fokus, sondern die Entwicklung wurde auf die Werkstoffkombination, auf neue Blends und neue Kunststoffrezepturen ausgerichtet [2]. Ein absolut logischer Schritt, denn die neuen World-Scale-Anlagen wollten ausgelastet werden. Die Konsolidierungswelle der Rohstoffhersteller betraf aber in der Folge auch die Kapazitäten in der Entwicklung, Compoundierung und der Prüfung von Kunststoffrezepturen. Kleinmengencompounds wurden im Zuge der Ergebnisbeurteilung auf Einzelproduktebene zunehmend weniger lukrativ und das Vorhalten von Entwicklungs- und Prüfressourcen für die stetige Entwicklung neuer anwender- oder anwendungsspezifischer Kunststoffrezepturen immer stärker hinterfragt. Letztlich wurden gegen Ende des letzten und zu Beginn des 21. Jahrhunderts viele Kapazitäten reduziert oder aber durch Zentralisierung insbesondere auf die großen Produktlinien fokussiert.

Das Resultat ist heute für jeden Anwender, aber auch für die Entwickler in

KU103964

den F+E-Ressorts großer Kunststoffhersteller spürbar: Es gibt einen großen und stetig wachsenden Bedarf an spezifischen Kunststoffrezepturen, aber – wenn die Wirtschaftlichkeit nicht gegeben ist – kein Entwicklungsprodukt. Dabei steigt die geforderte Absatzmenge für eine wirtschaftliche Compoundentwicklung und -herstellung stetig an. Aber nicht nur die Menge spricht gegen die Entwicklung von Spezialitäten, sondern – wie bereits oben angedeutet – auch der Zeitaufwand und der erzielbare Erlös. Während – sehr pauschaliert dargestellt – früher der Markt auf die neuen Werkstoffe warten konnte, ist heute hierfür keine Zeit mehr. In immer kürzerer Abfolge werden auf Anwenderseite immer individuellere Produkte in immer kleineren Stückzahlen in den Markt gebracht.

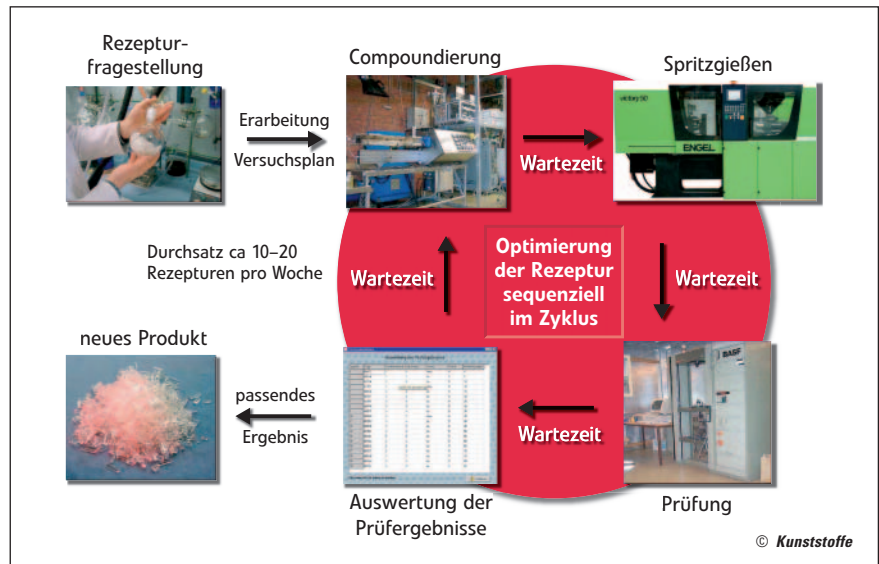


Bild 1. Konventionelle Entwicklungskette zur Erarbeitung neuer Kunststoffrezepturen

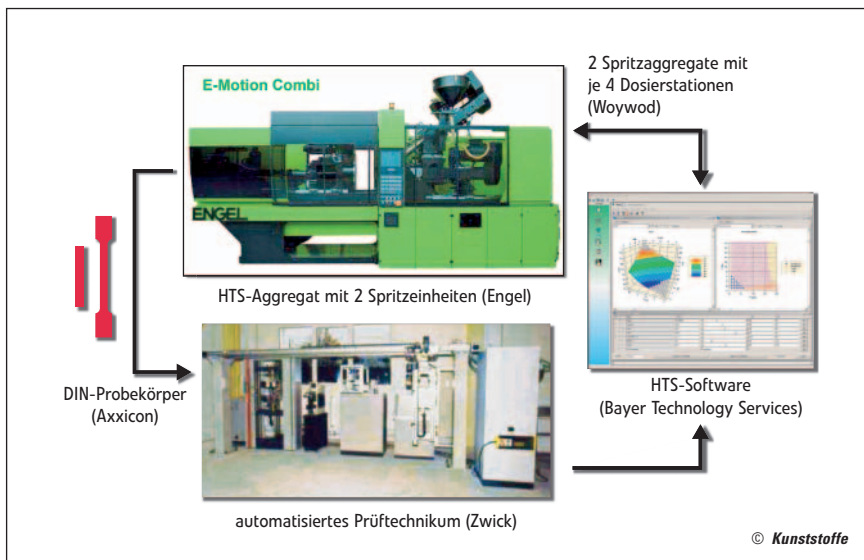


Bild 2. Darstellung der einzelnen Komponenten des HTS-Ansatzes der polyMaterials AG

Spezialitäten zu Standardpreisen nicht darstellbar

Falls Standardkunststoffe für alle diese Individual- oder Kleinserien eingesetzt werden können, ist dies aus Sicht der Rohstoffhersteller natürlich kein Problem. Bei Bedarf an individuellen Kunststoffcompounds oder bei steigenden Anforderungen an die Materialien, z. B. durch steigende Temperatur- und Medienbelastung im Automobilbereich, wird daraus ein Problem – nicht unbedingt für die Hersteller, aber definitiv für den Anwender, der nicht selten die mit einer speziellen Entwicklung verbundenen Kosten preislich nicht entsprechend honorieren möchte. Spezialitäten zu Standardpreisen sind aber gerade in Zeiten der Kalkulation auf Einzelproduktebene nicht mehr darstellbar bzw. subventionierbar. Das Problem liegt

dabei nicht in der wirtschaftlichen Herstellung der kleineren Bedarfsmengen – dies könnten spezialisierte Compoundeure, fallweise sogar auch die Rohstoffhersteller übernehmen –, sondern in der erforderlichen Zeitdauer und im zunehmenden Aufwand der Entwicklung neuer Rezepturen und deren optimaler Anpassung an die Anforderungen.

Bei genauerer Analyse des Aufwands für eine Rezepturentwicklung zeigt sich, dass gerade im etablierten Entwicklungsprozess für neue Kunststoffcompounds einer der wesentlichen Gründe insbesondere für den mit einer Neuentwicklung verbundenen zeitlichen Aufwand liegt. Trotz umfangreicher Verfahrensentwicklungen in der Produktion der Basis-kunststoffe hat sich im Verfahrensablauf der Rezepturentwicklung für Kunststoffcompounds in den letzten Jahrzehnten

vergleichsweise wenig getan. Die gängige Prozesskette über die Herstellung einer Anzahl von Compounds in Granulatform, das Spritzgießen von Prüfkörpern, deren Prüfung im Prüflabor und das Rückspielen der Daten an den Entwickler, wie in Bild 1 dargestellt, existiert im Wesentlichen so seit über fünfzig Jahren. Sicherlich konnten mathematische Methoden, wie statistische Versuchsplanung, oder Automatisierungen von Prüfkörperherstellung oder Prüfung den Prozess beschleunigen. Grundsätzlich hinterfragt wurde die Vorgehensweise allerdings bislang nicht. Immer noch liegt beim traditionellen Vorgehen der entscheidende Erfolgs- und Geschwindigkeitsfaktor in der Erfahrung und im spezifischen Fachwissen der Entwickler. Von diesem Fachwissen hängt es ab, ob eine Materialoptimierung oder eine Neuentwicklung unter Herstellung und Prüfung von vielleicht 20 Rezepturen nur wenige Monate benötigt oder aber wegen zu hoher Komplexität und/oder Zeitaufwand fallen gelassen wird. Schon wenn genügend Entwicklungskapazitäten in Form von Apparaten und Fachpersonal vorhanden ist, ist bei kurzen Produktzyklen diese Situation nicht befriedigend, aber bei reduzierten Ressourcen wird der Engpass für neue Rezepturen eklatant spürbar.

Verschiedene Prozessschritte in einem vereinigt

Mit einer Reihe an neuen Herangehensweisen an die Rezepturentwicklung und durch „Re-Design“ des oben beschriebenen Prozessablaufs sind verschiedene Arbeitsgruppen und Unternehmen aktuell dabei, die etablierten Verfahren durch

neue zu ergänzen oder sogar teilweise zu ersetzen. Allen diesen neuen Verfahren ist dabei gemeinsam, dass sie verschiedene Prozessschritte in einen Verfahrensschritt integrieren und somit Zeit oder Material sparen bzw. bei gleichem Zeit- oder Rohstoffeinsatz die Effizienz und Aussagekraft hinsichtlich Materialeigenschaften erheblich erhöhen. Einige neue Ansätze zur Kunststoffrezepturenentwicklung gehen gedanklich dabei unter anderem von Konzepten aus der kombinatorischen Materialforschung [3] von Unternehmen wie Symyx [4], Chemspeed [5] oder der HTE AG [6] aus, die mittels apparativer Miniaturisierung und Parallelisierung die Herstellung und Analyse neuer Kunststoffe oder von Rezepturen erheblich beschleunigt haben. Wegen der Vielzahl an Einsatzkomponenten in der Kunststoffrezepturenentwicklung, der thermoplastischen Verarbeitung der Komponenten und der Übertragbarkeit der Messwerte in die industrielle Praxis ist die direkte Anwendung kombinatorischer Verfahren und Prozesse allerdings schwierig. Aber die Miniaturisierung wird beispielsweise unter Einsatz von verkleinerten oder modifizierten Compoundier- und/oder Spritzgießaggregaten genutzt, um die erforderlichen Materialmengen für eine Rezepturenentwicklung reduzieren zu können. Dies ist insbesondere bei kostspieligen Additiven sinnvoll.

Mikromengen herstellen: Einige Unternehmen, insbesondere aus dem Bereich der Rohstoffhersteller [7], nutzen Apparate wie den Micro-Compounder von DSM [8] oder Mikrospritzgießautomaten, z. B. das Microsystem von Battenfeld [9]. Damit lassen sich bereits mit sehr geringen Materialmengen – miniaturisiert, aber seriell – Daten für neue Kunststoffrezepturen oder Compounds erhalten. Bei Entwicklungen oder Optimierungen innerhalb einer bekannten Materialgruppe ist dieser Ansatz wegen der schnellen Resultate bei vergleichsweise geringen Materialmengen sicherlich vorteilhaft und bietet eine gute Ergänzung zum klassischen Prozess. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass bei Neuentwicklungen, z. B. von Polymerblends, oder bei der Übertragung der Compounds auf herkömmliche Maschinen für die Korrelation der Materialeigenschaften mit den Verhältnissen der Makrowelt ein erhebliches Maß an Erfahrung erforderlich ist.

Bekannte Apparate neu kombinieren: Einen anderen Ansatz gehen die Apparate-Konzepte des Deutschen Kunststoff-Instituts (DKI) in Darmstadt in Kooperation mit dem Dutch Polymer Institute

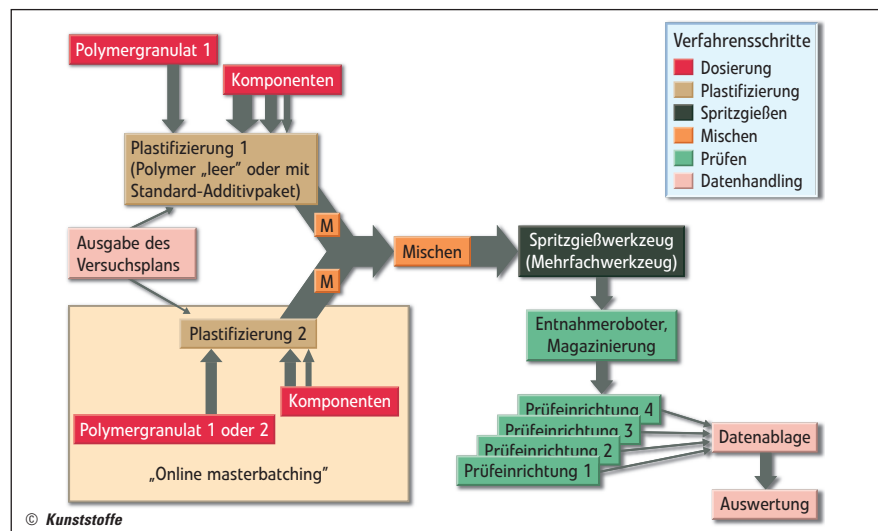


Bild 3. Schematische Darstellung des Prozessablaufs im HTS-Konzept der polyMaterials AG

(DPI) und mehreren Industriepartnern [10] von KraussMaffei [11] sowie von polyMaterials [12] zusammen mit der Engel Austria Ges.m.b.H. und der Bayer Technology Services GmbH. Allen drei Ansätzen ist gemeinsam, dass sie nicht durch Miniaturisierung eine Beschleunigung der Rezepturenentwicklung anstreben, sondern bekannte Apparate neu kombinieren und durch die Integration von Prozessabläufen erheblich an Geschwindigkeit gewinnen.

Materialmischungen online detektieren: Beim Prozess, der am DKI entwickelt wird, wird ein konventioneller Doppelschneckenextruder der Baureihe Coperion Werner&Pfleiderer ZSK Mc32 mittels fünf Dosierwaagen der Firma Brabender mit Polymeren, Additiven und Masterbatches versorgt [13]. Die Neuheit des Verfahrens besteht darin, dass die Materialeigenschaften der resultierenden Kunststoffmischungen online, z. B. durch spektroskopische Verfahren (Raman, FT-IR) oder mittels Ultraschallmessungen, direkt im Anschluss an den Compoundierschritt ermittelt werden. Es ist außerdem möglich, durch die Erzeugung und Prüfung von Kunststoffbändern mittels einer Flachfolienanlage der

Firma Collin mechanische Kennwerte zu ermitteln. Die unterschiedlichen Materialmischungen werden erzeugt, indem die Dosierwaagen zu bestimmten Zeiten die Dosiermengen ändern oder die Dosierung einstellen. Damit ergeben sich bei bekannten Wechsel- oder Abklingkurven quasi kombinatorisch Gradienten von Materialzusammensetzungen, deren resultierende Messwerte mit der jeweiligen Mischung korrelierbar sind [13]. Mit diesem Ansatz ist in wenigen Dosierschritten eine Vielzahl von Mischungen analysier-

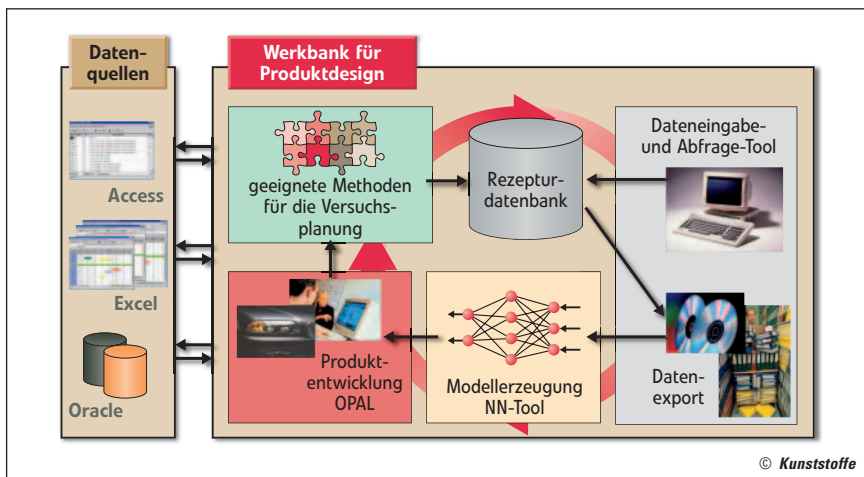


Bild 4. Workflow der „Product Design Workbench“ der Bayer Technology Services GmbH

bar. Ebenso werden eine Reihe neuer analytischer Methoden entwickelt, die eine schnelle Online-Prüfung wichtiger Materialkennwerte ermöglichen und sicherlich auch auf andere Fragestellungen übertragbar sind. Allerdings müssen verfahrensbedingt orts- bzw. zeitaufgelöst die Zusammensetzung der jeweiligen Mischungen und die Charakteristika der Dosierwaagen für jedes neue Stoffsystem zunächst analytisch ermittelt werden, bevor mit einer Entwicklung begonnen werden kann [13].

Basis IMC-Compounder: Das Rezepturentwicklungskonzept auf Basis des IMC-Compounders von KraussMaffei [11], wie es beispielsweise bei der Neuen Materialien Bayreuth GmbH angeboten wird [14], verwendet die Integration eines Doppelschneckencompounders als Plastifiziereinheit einer Spritzgießmaschine. Die Doppelschnecke als Plastifizieraggregat besitzt die Fähigkeit, trotz im Vergleich zur herkömmlichen Einschnecke kurzer Baulänge hohe Schussgewichte realisieren zu können und gibt zudem wegen ihrer Fähigkeit zur Compoundierung dem Anwender die Möglichkeit, gerade bei hohen Materialdurchsätzen auf kostengünstige Standardrohstoffe zurückgreifen und die Compounds selbst online auf der Spritzgießmaschine herstellen zu können [11]. Dabei wird ein kontinuierlich betriebenes Compoundieraggregat mit einem diskontinuierlichen Spritzgießprozess kombiniert, verfahrenstechnisch ermöglicht durch einen Schmelzespeicher. In ihrer kleinen Ausführung, als KM 200-1400 C2 IMC, wird gerade die Compoundierfähigkeit genutzt, um auf der Spritzgießmaschine Materialoptimierungen und -entwicklungen durchführen zu können [14]. Wegen des Verweilzeitspektrums der Materialien auf der Doppelschnecke und der

zum sinnvollen Betrieb des Compounders erforderlichen Materialmenge ist der Prozess insbesondere geeignet zur Materialentwicklung direkt am Bauteil. Gerade bei Langglasfaser-verstärkten Materialien besitzt der IMC-Compounder seine Vorteile.

High Throughput Screening: Auch der HTS-Ansatz (HTS: High Throughput Screening) der polyMaterials AG [12], der zusammen mit Engel Austria und Bayer Technology Services umgesetzt wird, geht von konventionellen, marktgängigen Apparaten aus. Charakteristisch für diesen Ansatz ist der System-Gedanke, bei dem sowohl die Hardware – Dosiergeräte, Spritzgießmaschine und Prüfautomaten – als auch die Software, bestehend u. a. aus Versuchsplanung, Datenauswertung und Datenbank in ein prozessübergreifendes Gesamtkonzept integriert werden (Bild 2). Die Basis stellt ein modifizierter, vollelektrischer Spritzgießautomat der Baureihe E-Motion Combi [15] des Kooperationspartners Engel Austria mit einer Schließkraft von 120 t dar, der die absolut erforderliche Genauigkeit zur Reproduzierbarkeit der Maschinenparameter gewährleistet. Auf die beiden Plastifiziereinheiten dieser Zweikomponentenmaschine sind jeweils vier Mischanlagen der Baureihe Plasticolor der Firma Woywod aufgebaut [16]. Dies erlaubt einen schnellen Materialwechsel sowie

unterschiedlichste Mischungsverhältnisse der einzelnen Komponenten. Mit dieser Konfiguration besitzt die Maschine die Fähigkeit, standardmäßig bis zu acht verschiedene Rohstoffe – je vier pro Plastifiziereinheit – dosieren zu können. Die Schmelzeströme werden jeweils über Statikmischer homogenisiert, dann zusammengeführt und anschließend wiederum über Statikmischer gemischt. Dadurch können ein Hauptstrom und ein Masterbatch-Seitenstrom erzeugt und somit ganz gezielt unterschiedlichste Kunststoffcompounds eingestellt werden. Verwendet werden Normprüfkörper-Werkzeuge der Firma Axxicon. Es ist aber auch möglich, direkt Produktionswerkzeuge einzusetzen, um eine Materialentwicklung oder Materialanpassung am echten Bauteil vorzunehmen. Die Werkstoffprüfung erfolgt mittels Prüfautomaten zur Ermittlung thermo-mechanischer Werkstoffdaten, die von der Firma Zwick [17] zur Verfügung gestellt werden. Den schematischen Ablauf des Konzepts stellt Bild 3 dar. Es ist für die zukünftige Weiterentwicklung des HTS-Konzepts und die Erweiterung dessen Einsatzbreite vorgesehen, die automatisierten Test- und Prüfmethode je nach Kundenanforderungen und anfragespezifisch zu ermittelnden Stoffdaten sukzessive zu erweitern.

Wesentlich für ein komplettes HTS-System ist die Kombination einer Hardware, die die Kunststoffverarbeitungs- und Prüfprozesse integriert, mit einer Software, die die Versuchsplanung, die Datenablage und die Datenauswertung ermöglicht. Inzwischen existieren eine Reihe von kommerziellen Softwarepaketen für die kombinatorische Materialentwicklung [18], die allerdings selten an die Entwicklung von Kunststoffrezepturen angepasst sind. Software-Kooperationspartner für das neue Konzept der polyMaterials AG ist die Bayer Technology Services GmbH, die mit der „Product Design Workbench“ ein spezifisches Softwarepaket für die Rezepturentwicklung und Kunststoffverarbeitung anbietet [19]. Mit dieser Software können die statistischen Versuchspläne erzeugt, die Daten aus der Dosierung, der Verarbeitung und der Kunststoffprüfung abgelegt, anschließend mittels einer ganzen Reihe moderner und teilweise kombinierter mathematischer Methoden ausgewertet und die Ergebnisse grafisch dargestellt werden. In Bild 4 wird der Workflow dieses Softwarepakets gezeigt. Das mächtige Softwaretool erlaubt auf Basis vorhandener Messdaten zudem die Prognose von Eigenschaften neuer Materialrezepturen [20] und ist da-

i	Hersteller
<p>polyMaterials AG Innovapark 20 D-87600 Kaufbeuren Tel. +49 (0) 83 41/91-6701 Fax +49 (0) 83 41/91-6719 www.polymaterials.de</p>	

her in Kombination mit der schnellen Datengenerierung der Hardware auch ein ideales Werkzeug zur Erfassung von Materialeigenschaften für eine komplette Rezepturpalette eines Herstellers. Ziel des HTS-Ansatzes der polyMaterials AG ist die Beschleunigung der Rezepturentwicklung um mindestens eine Größenordnung, sodass es möglich sein soll, in einer Woche ca. 300 bis 500 Kunststoffrezepturen zu erzeugen, zu testen und die Daten abzulegen. Da die Rezeptur-Eigenschafts-Prognosen der verwendeten Software um-

bank abgelegt und auf Redundanzen, Lücken bzw. Möglichkeiten zur Produkterweiterung geprüft werden. Insbesondere Additivpakete können vereinheitlicht, erweitert, auf Wechselwirkungen der Komponenten geprüft oder mengenoptimiert werden. Bei neuen Additiven kann schnell ein Überblick über deren Potenziale, synergistische oder hemmende Wirkungen mit anderen Additiven oder neue Einsatzmöglichkeiten gewonnen werden. Gerade auch die Rezepturentwicklung unter Einsatz von neuen nanoskaligen

stellern oder Instituten eingesetzt werden, sind die Verfahren unter Nutzung etablierter Maschinenkonzepte, wie vom DKI, von KraussMaffei oder polyMaterials, sowohl für Rohstoffhersteller als auch für Anwender interessant. Er muss dabei die Apparate nicht selbst vorhalten, sondern kann die Durchführung der Rezepturentwicklung als Dienstleistung vergeben und verfügt anschließend über die resultierenden Daten. Die Erstellung anwendungstechnischer Informationen und letztlich die Erarbeitung einer neuen Produktrezeptur kann der Kunde dann DIN-gemäß mit eigenen, konventionellen Anlagen durchführen. Durch diese arbeitsteilige Trennung von Rezepturentwicklung und Rezepturvermarktung kann die Innovationskette der Kunststoffrezepturen erheblich an Geschwindigkeit gewinnen. Der Anwender erhält zudem die Perspektive auf spezifisch an seine Belange angepasste Materialien, da nun auch er über (externe) F+E-Ressourcen verfügen kann. ■

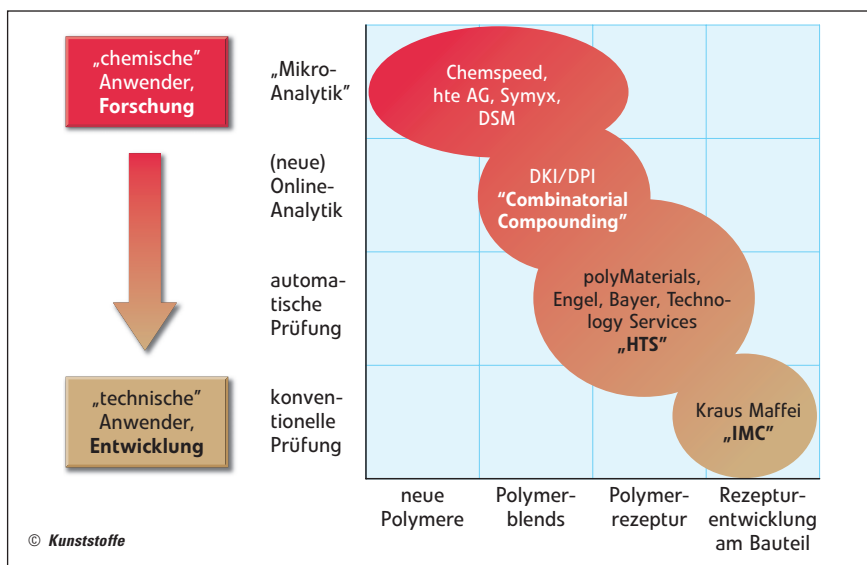


Bild 5. Typische Anwendungsbereiche der unterschiedlichen Konzepte zur Rezepturentwicklung: Einteilung nach Prüfmethode und Entwicklungsziel

so genauer werden, je mehr Datensätze vorliegen, wird mit zunehmendem Umfang der Datenbank das HTS-System immer zielgerichteter eingesetzt werden können. Damit kann eine erhebliche, zusätzliche Effizienzsteigerung erwartet werden.

Neue Methoden verkürzen Rezepturentwicklung

Ersetzen die neuen Maschinenkonzepte zukünftig die „klassische“ Vorgehensweise aus genormter, sequenzieller Kunststoffverarbeitung und Prüfung, kombiniert mit der langjährigen Erfahrung der jeweiligen Entwickler? Vermutlich nicht. Sie ergänzen sie und erweitern deutlich den „Trichter“ an möglichen Rezepturen und Eigenschaften. Vor allem aber ist zu erwarten, dass mit den neuen Methoden die Durchlaufzeit für eine Rezepturentwicklung drastisch verkürzt und die Zielrichtung nicht mehr nur auf eine diskrete neue Rezeptur gerichtet sein wird. Mit den neuen Verfahren kann beispielsweise die gesamte Produktpalette eines Herstellers einheitlich in eine eigene Daten-

Füll- und Effektstoffen wird potenziell dadurch erheblich vereinfacht und beschleunigt. Auf Basis der Ergebnisse der HTS-Verfahren kann danach zielgerichtet, mit DIN-gemäßen Abläufen eine neue Kunststoffrezeptur erzeugt, geprüft und hergestellt werden.

Eine vielversprechende Perspektive

Aus den vorgestellten neuen Ansätzen zur Rezepturentwicklung im Kunststoffbereich resultiert eine vielversprechende Perspektive, wie zukünftig die divergierenden Tendenzen von Vielfalt auf Produktseite und Standardisierung auf Materialeite aus kurzen Produktlebenszyklen und Zeitbedarf der Rezepturanpassung wieder zusammengeführt werden können. Die einzelnen Verfahren zum Re-Design des Entwicklungsprozesses lassen sich – trotz einiger Überschneidungen – hierarchisch ordnen, gegliedert je nach Einsatzzweck und Anwendungsziel (Bild 5). Während die miniaturisierten Verfahren eher von großen Rohstoffher-

LITERATUR

Die umfangreichen Literaturangaben können bei den Autoren angefordert werden unter der E-Mail-Adresse: j.stebani@polymaterials.de

DIE AUTOREN

DR. JÜRGEN STEBANI, geb. 1964, ist Vorstand und CEO der polyMaterials AG, Kaufbeuren; j.stebani@polymaterials.de

DR. GERHARD MAIER, geb. 1960, ist Vorstand und CTO der polyMaterials AG, Kaufbeuren.

DR. ERWIN BACHER, geb. 1973, ist Projektleiter HTS bei der polyMaterials AG, Kaufbeuren.

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Faster – More Specific – More Efficient

DEVELOPING COMPOUNDS. *As individual product versions continue to proliferate, polymers users are increasingly demanding polymer formulations that are optimally suited for their specific applications. Such solutions will not be found by standardizing polymer formulations, but by combining developmental experience with new, faster and, at the same time, more efficient R&D techniques to accelerate the development of specialty products.*

NOTE: You can read the complete article in our magazine *Kunststoffe international* or by entering the document number **PE103964** on our website at www.kunststoffe-international.com