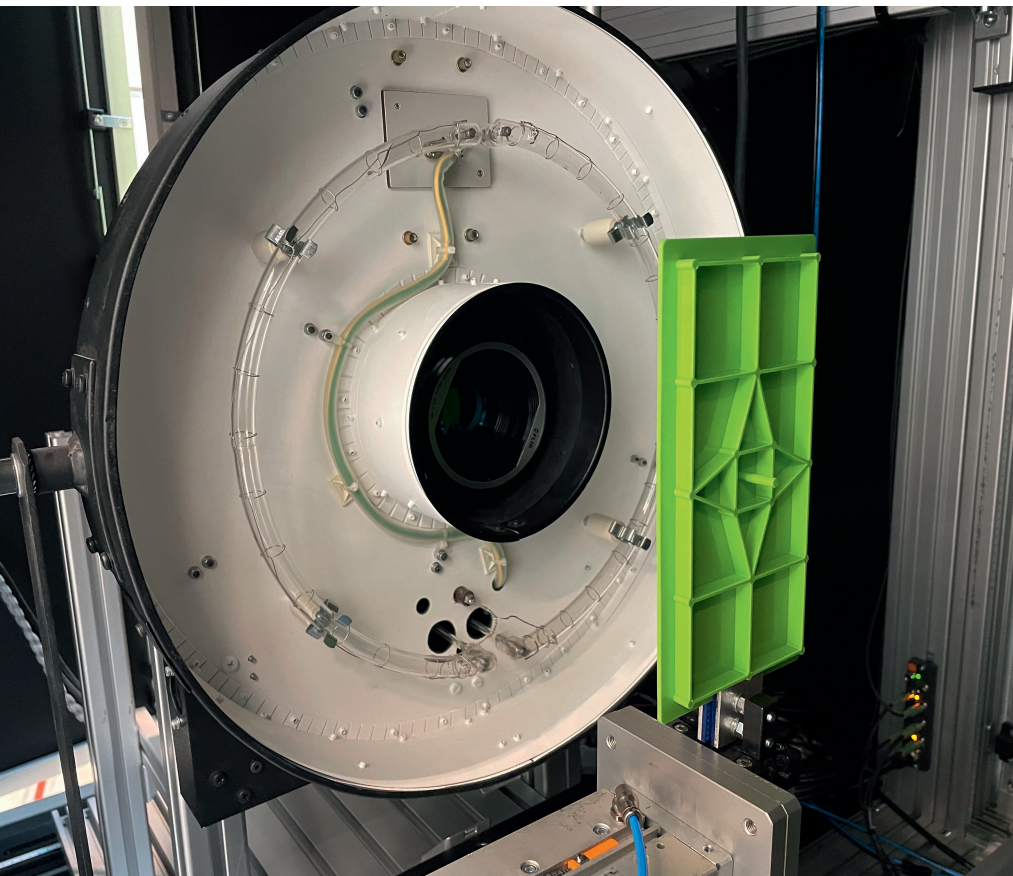


Aktive Thermografie für die Inline-Qualitätsregelung

Mit der Qualitätsregelung den Lunker in die Schranken weisen

Lunker beeinträchtigen die Festigkeit von Spritzgussteilen, sie lassen sich mit den klassischen Methoden der Qualitätsprüfung jedoch nicht detektieren. Gemeinsam mit dem Josef Ressel Zentrum an der FH Oberösterreich in Wels hat der Spritzgießmaschinenbauer Engel gezeigt, wie sich die aktive Thermografie auch für die Inline-Qualitätsregelung von Spritzgießprozessen erfolgreich einsetzen lässt. Die Lunkergröße kann in der laufenden Produktion gezielt beeinflusst und in die Schranken gewiesen werden.



Die flächigen Musterteile mit unterschiedlichen Wanddicken und Verstärkungselementen auf der Rückseite werden in der Messzelle vollautomatisch geprüft. © Engel / Josef Ressel Zentrum

Die Bauteilqualität im laufenden Prozess zu regeln, ist die Vision eines jeden Spritzgießers. Ziel ist, sämtliche Einflüsse auf den Prozess und damit die Bauteilqualität auszuschließen. Universitäten und Forschungseinrichtungen beschäftigen sich schon seit vielen Jahren mit diesem Thema. Anwendun-

gen in der industriellen Spritzgießproduktion gibt es bislang nur vereinzelt, aber die Nachfrage nach Lösungen zur Inline-Qualitätsregelung steigt aktuell deutlich an. Gründe für diesen Trend sind zum einen die generell steigenden Qualitätsanforderungen und zum anderen die Bestrebungen, nachhaltiger zu

produzieren. Die Inline-Prozessregelung sorgt für konstante Prozesse, was Energie und Rohmaterial einspart und die Ausschussrate verringert.

Voraussetzung für die Regelung ist die zuverlässige und genaue Messung der relevanten Qualitätsgrößen. Da Lunker meistens im Bauteilinneren liegen, sind sie vor allem bei der Verarbeitung von eingefärbten Thermoplasten bei der visuellen Prüfung der Oberfläche nicht sichtbar. Zur Detektion dieser qualitätsbeeinflussenden Fehlstellen braucht es geeignete Messmethoden wie die aktive Thermografie.

Bei der aktiven Thermografie wird mithilfe einer Blitz- oder Halogenlampe Energie in das Bauteil eingebracht. Die so erzeugten lokalen Temperaturunterschiede führen zu ausgleichenden Wärmeströmen. Aus der zeitlichen Temperaturentwicklung, die von einer Infrarotkamera aufgezeichnet wird, lassen sich über geeignete Auswertemethoden Rückschlüsse auf innere Fehlstellen ziehen. Ausgehend vom ursprünglichen Bild der Kamera helfen Methoden der industriellen Bildverarbeitung, die Größe der Lunker zu bestimmen.

Mehr Sicherheit vor allem für dickwandige Bauteile

Die aktive Thermografie arbeitet zerstörungsfrei und hat darüber hinaus weitere Vorteile gegenüber anderen Prüfverfahren zur Qualitätskontrolle. Die Messmethode ist unabhängig von äußeren Einflüssen, wie der Umgebungstempera-

tur, der Schmelze- und Werkzeugtemperatur sowie dem Zeitpunkt der Messung nach dem Entformen. Zudem lässt sich die Reflexion anderer Wärmequellen sehr einfach eliminieren.

Lunker entstehen durch Materialschwindung. Je größer die Wanddicke, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich Lunker bilden. Bauteile, deren Geometrie für eine höhere Steifigkeit dickwandige Stege und Rippen aufweisen, sind dementsprechend besonders gefährdet. Bei Bauteilen in sicherheitskritischen Anwendungen stellt dieser Umstand eine wesentliche Herausforderung dar.

Neben der Bauteilgeometrie, der Wanddicke, der Konstruktion des Spritzgießwerkzeugs und der Auslegung des Angussystems haben vor allem die an der Spritzgießmaschine eingestellten Prozessparameter einen wesentlichen Einfluss. Im Gegensatz zur Konstruktion des Werkzeugs können die Prozessparameter auch nachträglich einfach und schnell an die konkreten Anforderungen angepasst bzw. bei geänderten Randbedingungen korrigiert werden.

Mehr als 1000 Teile geprüft und ausgewertet

Im Technikum von Engel in Schwertberg/Österreich wurden flächige Muster- teile aus Polypropylen (PP) mit unterschiedlichen Wanddicken und Verstärkungselementen auf der Unterseite gespritzt. Die Ingenieure bauten eine Qualitätsregelzelle auf, indem die Thermografie-Messzelle in die Spritzgießzelle integriert wurde. Auf diese Weise können die Bauteile vollautomatisch aus den Kavitäten des Werkzeugs an die Messzelle übergeben werden. Die Messzelle

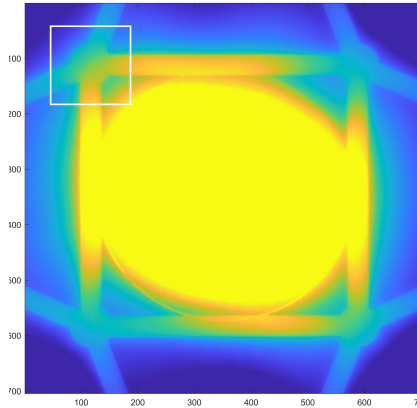


Bild 1. Das Kamerabild zeigt den Bereich der vier zentralen Knotenpunkte der Stege. Dort treten Lunker am wahrscheinlichsten auf. In Bild 2 wird exemplarisch nur der Ausschnitt des linken oberen Knotens näher betrachtet.

© Engel/ Josef Ressel Zentrum

umschließt die Kamera und Blitzlampe sowie einen pneumatischen Greifer zur Positionierung des Bauteils (**Titelbild**). Dreh- und Angelpunkt ist die CC300-Steuerung der Spritzgießmaschine, die die gesamte Automatisierung steuert und die Resultate der Qualitätsmessung wiederum in die Prozesseinstellung zurückführt.

Die Messung startet automatisch, sobald der an der Spritzgießmaschine installierte Linearroboter (Typ: Engel viper) das Bauteil vor der Kamera positioniert hat. Das System zeichnet die zeitliche Temperaturentwicklung auf und löst die Auswertung der Daten aus. Werden im ersten Schritt der Auswertung Lunker detektiert, wird deren Größe auf Basis der Temperaturdaten mithilfe von Methoden der Statistik und Bildverarbeitung berechnet. Das Ergebnis dient später der Qualitätsregelung als Regelgröße. Da Kamera und Roboter vollständig in die

Spritzgießzelle integriert sind, kann die Prozesskonstanz sowie die vollständige Datenintegration gewährleistet werden, was mit einer herkömmlichen Stand-alone-Lösung nicht möglich wäre.

Zur Berechnung der Lunkergröße wurde eine Auswertesoftware entwickelt. Sie bestimmt ausgehend vom Bild der Kamera (**Bild 1**) die Lage des Bauteils, definiert Regionen von Interesse, bereitet die Daten in mehreren Bildverarbeitungsschritten auf, detektiert etwaige Schwindungslunker und berechnet deren Größe (**Bild 2**). Das erste Bild links wurde 3,5 s nach der Blitzanregung aufgenommen. Der Lunker ist hier höchstens zu erahnen. Das zweite Bild zeigt denselben Ausschnitt mit abgezogenem Offset-Bild. Im dritten Bild wurden die niederfrequenten Bildanteile entfernt. Im vierten Bild wurde aus der statistischen Verteilung der Grauwerte ein Threshold-Level ermittelt, mit dem der Lunkerbereich binarisiert wurde. Dabei wurden Artefakte der Auswertung erkannt und vernachlässigt. Im letzten Bild wird der detektierte Lunker mithilfe von Überlagerungen mit einer Außenlinie dargestellt. Auf diese Weise stellt die Software sicher, dass eine gleichbleibende Bildqualität und dementsprechend eine zuverlässige Auswertung erreicht werden.

Nach ersten Tests im Laborumfeld starteten die Entwicklungspartner eine umfangreiche Parameterstudie unter Industriebedingungen. Ziel war es, Zusammenhänge zwischen einzelnen Prozessparametern und der Lunkergröße zu finden sowie den Algorithmus für die Bestimmung der Lunkergröße weiterzuentwickeln. Die Parameter

- Schmelzetemperatur,
- Werkzeugtemperatur,

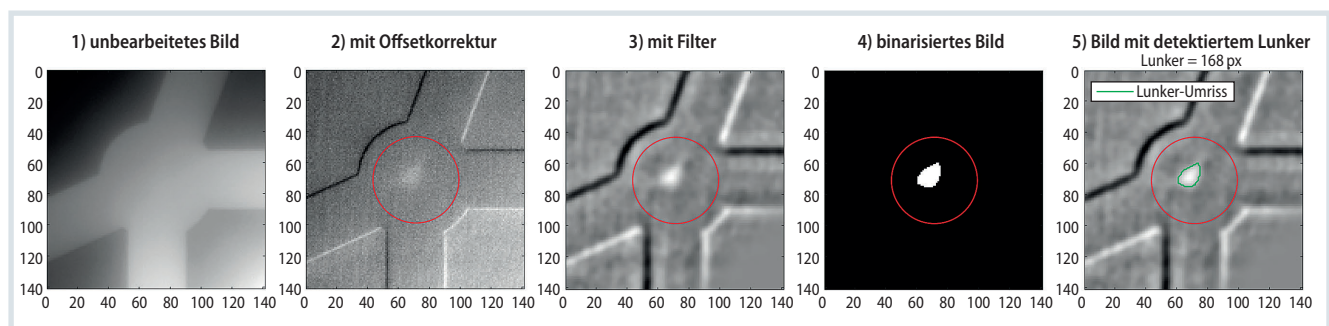
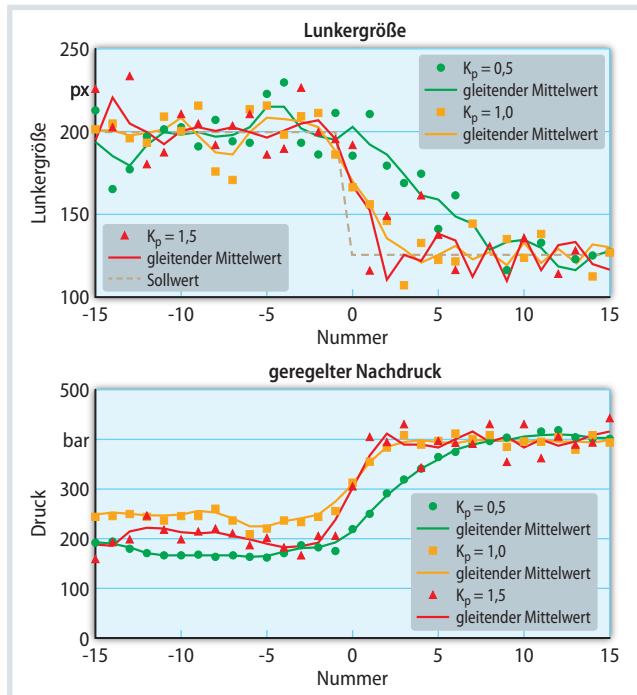


Bild 2. Industrielle Bildverarbeitungsmethoden helfen bei der Detektion und Größenbestimmung. Das erste Bild wurde 3,5 s nach der Blitzanregung aufgenommen. Nach mehreren Bearbeitungsschritten wird im letzten Bild der detektierte Lunker mithilfe von Überlagerungen mit einer Außenlinie dargestellt. © Engel/ Josef Ressel Zentrum

Bild 3. Lunkergröße und Nachdruck korrelieren. Eine geeignete Reglerdynamik wurde anhand der Sprungantwort für drei unterschiedliche Reglerverstärkungen (Faktor K_p) ermittelt.

Quelle: Engel / Josef Ressel Zentrum; Grafik: © Hanser



- Nachdruckhöhe und
- Nachdruckzeit

wurden systematisch variiert. Für jeden Parametersatz wurden zahlreiche Bauteile produziert und thermografisch untersucht. Insgesamt wurde die Qualität von mehr als 1000 Bauteilen geprüft und ausgewertet.

Visualisierungssoftware verdeutlicht Zusammenhänge

Welche Prozessparameter in der Praxis den größten Einfluss haben und damit für eine Regelung besonders geeignet sind, hängt wiederum von der Bauteilgeometrie, den individuellen Rahmenbedingungen und den zulässigen Prozessfenstern ab. Die Zusammenhänge können durch Expertenwissen, einfache Prozessmodelle oder auch durch neuronale Netzwerke abgebildet werden.

Eine eigens entworfene Visualisierungssoftware erlaubt es, verschiedene Parametersätze miteinander zu vergleichen, einzelne Ergebnisbilder anzuzeigen und schließlich Zusammenhänge zu erkennen. Für eine Werkzeugtemperatur (T_w) im Bereich von 40 °C und eine Schmelzetemperatur (T_s) von 230 °C wurde eine deutliche Korrelation von Lunkergröße und Nachdruck festgestellt.

Um die Möglichkeiten der Inline-Qualitätsregelung mithilfe der aktiven

Thermografie auszuloten, haben die Entwickler von Engel und des Josef Ressel Zentrums daher nach einigen Versuchsreihen die Prozessgröße Nachdruck als die relevanteste Stellgröße identifiziert.

Nachdruck als Stellgröße

Die zuverlässige Detektion der Lunkergröße (Regelgröße) und die Abhängigkeit von einer Prozessgröße (Stellgröße) bilden die Voraussetzung, um die Inline-Qualitätsregelung mittels aktiver Thermografie umzusetzen. Bei der Inline-Qualitätsregelung passt die gesamte Spritzgießzelle inkl. der Qualitätsmessung die Prozesswerte kontinuierlich an, um die Qualität des erzeugten Bauteils konstant zu halten.

Im zyklischen Spritzgießprozess erfasst das Qualitätsmesssystem automatisch immer wieder neue Messdaten, wertet diese aus und übermittelt die Ergebnisse an die Regelung. Diese berechnet die Stellgröße – im vorliegenden Fall für den Parameter Nachdruckhöhe – automatisch und übermittelt den Wert an die Steuerung der Spritzgießmaschine.

Getestet wurde das Konzept mit der Herstellung flächiger PP-Musterteile mit dem Ziel, die Produktqualität auf einem konstant hohen Niveau sicherzustellen. Für die ersten Tests der Regelung wurde der Sollwert der Lunkergröße sprunghaft geändert. Eine geeignete Reglerdynamik wurde anhand des Einschwingverhaltens bei unterschiedlichen Reglerverstärkungen ermittelt (**Bild 3**). Für diese Versuche wurde die Sollgröße von 200 px (Pixel) auf 125 px reduziert, wobei 200 px hier einer Fläche von ca. 0,5 mm² entsprechen.

Erster Schritt zur Kommerzialisierung

Die Qualitätsregelung wurde für unterschiedliche Fälle getestet, damit sie dynamisch auf eine Änderung reagiert, aber zufällige Schwankungen geringer gewichtet. Hierzu wurden durch Änderung anderer Prozessgrößen bzw. Randbedingungen Störungen in den Prozess eingebracht. Einflüsse, die zu einer Steigerung der Lunkergröße führen, sind beispielsweise Veränderungen der Werkzeugtemperatur oder der Viskosität des verarbeiteten Materials.

Info

Text

DI Hannes Bernhard ist Leiter Entwicklung Regelungstechnik bei der Engel Austria GmbH in Schwertberg/Österreich; hannes.bernhard@engel.at

DI Jürgen Gruber ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Center of Excellence Automotive/Mobility im Josef Ressel Zentrum an der FH Oberösterreich in Wels; juergen.gruber@fh-wels.at

DI Karlheinz Mayr ist Leiter smart machine bei Engel; karlheinz.mayr@engel.at

Dr. Johannes Kilian ist Bereichsleiter Prozesstechnologie und inject 4.0 bei Engel; johannes.kilian@engel.at

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

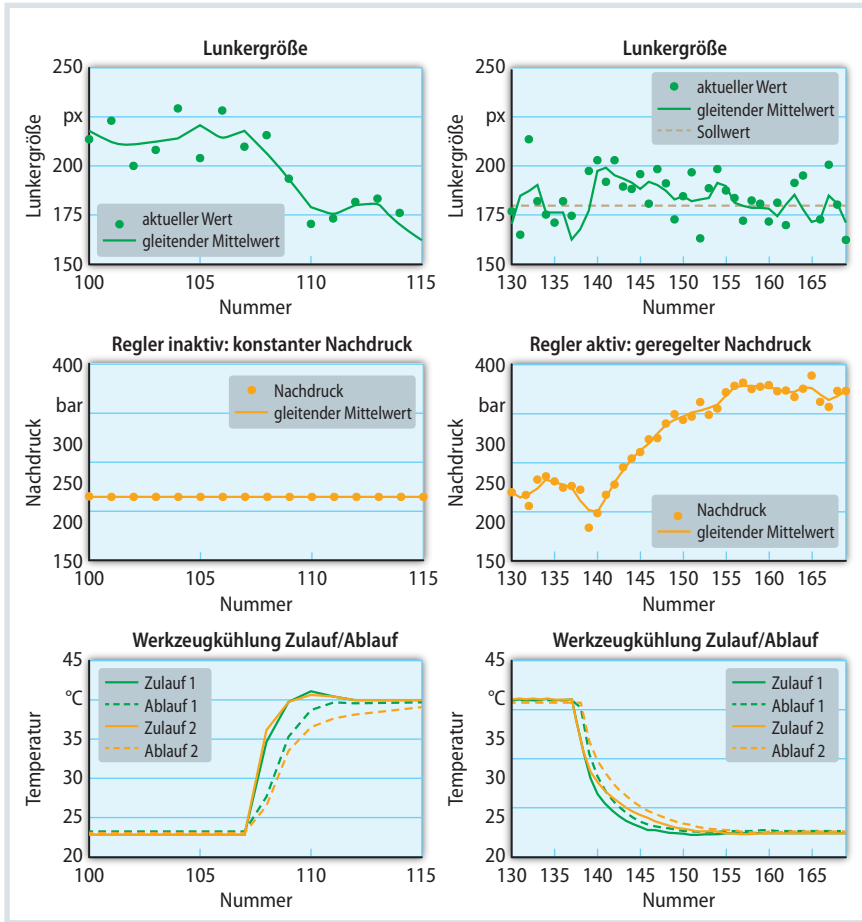


Bild 4. Auswirkung der Werkzeugtemperaturänderung auf die Lunkergröße ohne und mit Inline-Qualitätsregelung: Um einen Temperaturdrift zu simulieren, wurde die Werkzeugtemperatur (T_w) von 23 auf 40 °C erhöht und wieder reduziert. Quelle: Engel/Josef Ressel Zentrum; Grafik: © Hanser

Eine sinkende Werkzeugtemperatur führt zu einem Anstieg der Lunkergröße und umgekehrt. Um einen Temperaturdrift zu simulieren, wurde die Temperatur für die Werkzeugkühlung (TW) von 23°C auf 40°C erhöht und wieder reduziert (**Bild 4**). Ohne Regelung ergibt sich dadurch eine geänderte Lunkergröße (links). Mit aktivem Regler (rechts) wird einer steigenden Lunkergröße mit einer Erhöhung des Nachdrucks entgegengewirkt, um die Effekte der sinkenden Werkzeugtemperatur zu kompensieren.

Ebenso führt eine Zunahme der Viskosität zu einem Anstieg der Lunkergröße. Um eine Viskositätsänderung herbeizuführen, wurden bereits gefertigte Bauteile geschreddert und zu einem Rezyklat verarbeitet (**Bild 5**). Typischerweise hat PP-Rezyklat eine geringere Viskosität als PP-Neuware. Während der Tests wurde von Rezyklat auf Neumaterial umgestellt. Der Übergang von einem Material zum anderen führte zu einer höheren Viskosität und somit zur Vergrößerung des Lunkers. Auf die steigende Viskosität reagiert der Regler mit einer Erhöhung des Nachdrucks und kann so die eingestellte Sollgröße einhalten.

Fazit

Die Integration der Qualitätsmessung in die Spritzgießzelle ist die Voraussetzung für eine Inline-Qualitätsregelung. Mithilfe der Qualitätsregelung ist es möglich, die Produktqualität nachhaltig sicherzustellen, auch wenn sich die Umgebungsbedingungen oder das Rohmaterial ändern. Für die dafür notwendige Qualitätsmessung von Spritzgussteilen und insbesondere die Detektion von Lunkern ist die aktive Thermografie ein zukunftsträchtiges Verfahren, das in einem weiten Materialspektrum von Standardthermoplasten über technische und Hochleistungsthermoplaste bis hin zu faserverstärkten Polymeren eingesetzt werden kann. In einer gemeinsamen Forschungsarbeit haben Engel und das Josef Ressel Zentrum an der FH Oberösterreich in Wels in Versuchen gezeigt, dass das Verfahren viel Potenzial für eine automatisierte Inline-Qualitätsregelung in der Spritzgießverarbeitung bietet. Die beiden Entwicklungspartner werden weiter an der Kommerzialisierung des Konzepts der Inline-Qualitätsregelung und der aktiven Thermografie arbeiten. ■

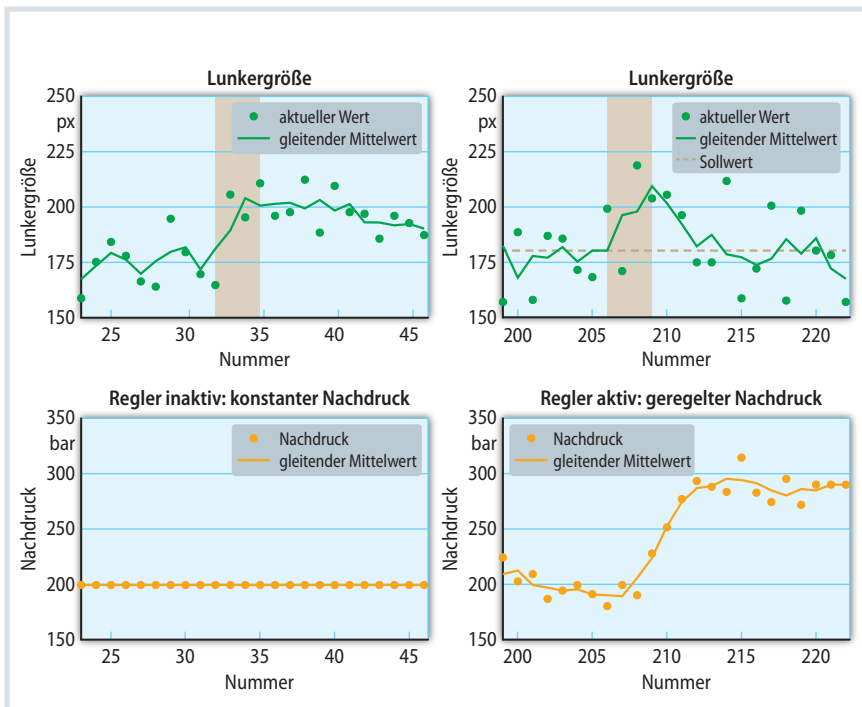


Bild 5. Während der laufenden Produktion wurde von Rezyklat auf Neuware umgestellt (farbig hinterlegter Bereich). Auf die steigende Viskosität reagiert der Regler mit einer Erhöhung des Nachdrucks (rechts) und kann so die eingestellte Sollgröße von 180 px einhalten.

Quelle: Engel/Josef Ressel Zentrum; Grafik: © Hanser