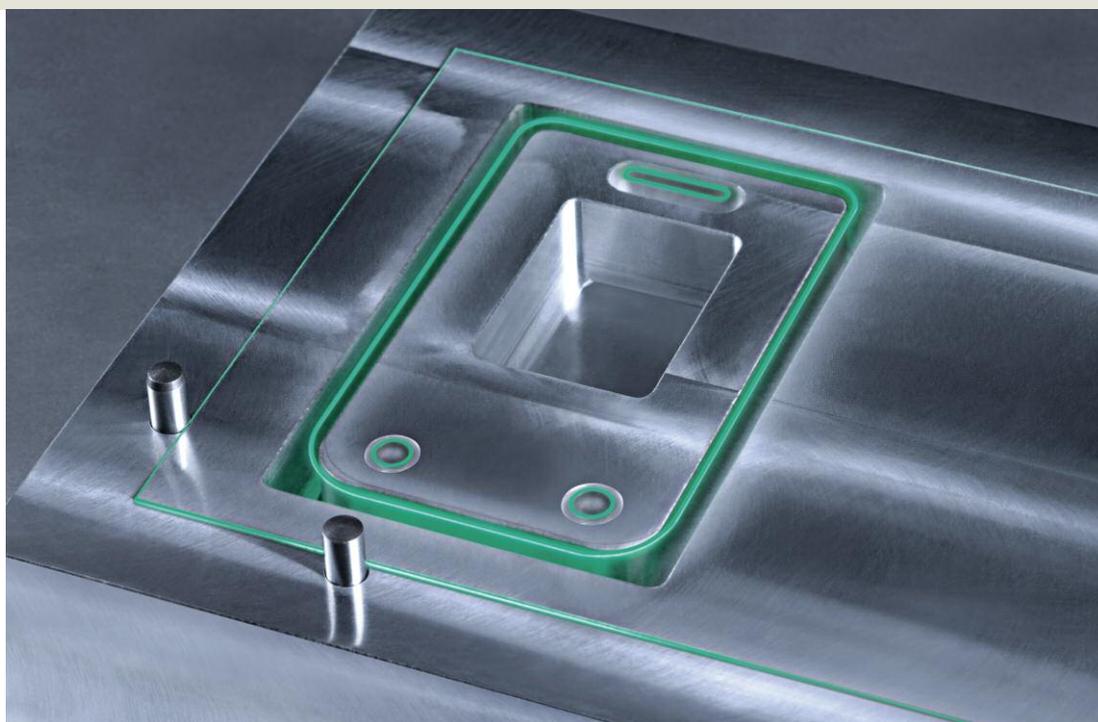


Scanner-Steuerung für ungebremsten Laser-Speed

Um hochdynamische Laserbearbeitungsprozesse ohne die bisherigen Nachteile einer konventionellen Schleppverzugs-Regelung durchzuführen, wurde ein neues **REGELUNGSKONZEPT** für Scan-Systeme entwickelt. Die Steuerung bietet bei zahlreichen Anwendungen erhebliche Vorteile.

Bild 1. Laserschneiden von Glas für die Herstellung von Mobiltelefonen



ALOIS UNTERHOLZNER UND MICHAEL BREIT

Die Herstellung von Produkten der Solar- und Consumer-Electronics-Industrie erfordert eine stetige Steigerung des Durchsatzes und damit der Produktivität. Ebenso steigen die Anforderungen an Flexibilität und Qualität der verwendeten Bearbeitungsverfahren: Nur so können auf den dynamischen Märkten Wettbewerbsvorteile geschaffen werden.

> KONTAKT

HERSTELLER
SCANLAB AG
82178 Puchheim
Tel. +49 89 800746-0
www.scanlab.de
LASER World of Photonics: Halle A2, Stand 322

Moderne Verfahren der Laser-Mikrobearbeitung eignen sich in besonderer Weise, um diese Anforderungen zu erfüllen. So sind derzeit leistungsstarke und schnell repetierende Laser verfügbar, die wiederum kurze Bearbeitungszeiten ermöglichen.

Grenzen bei Repetitionsraten und Scan-Geschwindigkeiten

Ein exemplarisches scannerbasiertes Bearbeitungsverfahren stellt das Schneiden von Löchern in hartes Glas dar, um Mobiltelefone zu produzieren (Bild 1). Für diese Anwendungen werden verstärkt UKP-Laser verwendet, um durch den Prozess der »kalten« Ablation thermische Spannungen zu vermeiden und hochwertige Kanten zu erzielen. Dies erreicht man allerdings nur, wenn der räumliche Überlapp der Einzelpulse gering gehalten wird.

Bei Repetitionsraten von mehreren Hundert Kilohertz sind die Anforderungen an die Dynamik des Scan-Systems sehr hoch, will man nicht Pulse



Bild 2. Galvanometer-Scanner mit hochgenauem Winkelsensor zur Messung der Ist-Position

durch »Pulse-Picking« verschenken. Des Weiteren muss für solche Schneidanwendungen – aufgrund des geringen Materialabtrags pro Puls – die Schneidkante mehrfach überfahren werden, was eine hohe Wiederholgenauigkeit voraussetzt. Um

die Prozesszeiten gering zu halten, müssen sowohl hohe Repetitionsraten als auch hohe Scan-Geschwindigkeiten verwendet werden. Bisherige Laser-Scan-Systeme stoßen dabei immer öfter an ihre Grenzen.

Konventionelle Regelungen nur für spezifische Anwendungen

Bei »State of the Art«-Scan-Systemen werden derzeit vorwiegend Galvanometer-Scanner verwendet ▶

DACHCOM

Superfinishing mit
RMNT-Diamant-Flex-Polierbürsten



Lieferbar als Walzen-, Teller- und Topfbürste
Diamantkörnungen von 200 nm bis 40 µm
Ideal zum Hochglanzpolieren von Metallen, Hartmetallen und Keramiken

Ihr Entwicklungspartner

Reishauer setzt alles daran, für Ihre Applikationen die optimalen Diamanten im Nano- und im Feinmikrometerbereich, sowie die entsprechende Modifikation/Funktionalisierung schnellstmöglich und mit einem sehr hohen Qualitätsanspruch zu entwickeln.

Dabei stützt sich die Entwicklung auf langjährige Erfahrung und überdurchschnittliche Innovationsbereitschaft. Das Eingehen auf Kundenwünsche und damit auf ganz unterschiedliche Anforderungen hat bei RMNT einen besonders hohen Stellenwert.

REISHAUER

Nano Diamond & CBN Solutions

Reishauer AG
Industriestrasse 36
8304 Wallisellen
Switzerland

T +41 44 832 22 11
F +41 44 832 23 90
info@reishauer.com
reishauer.com/rmnt

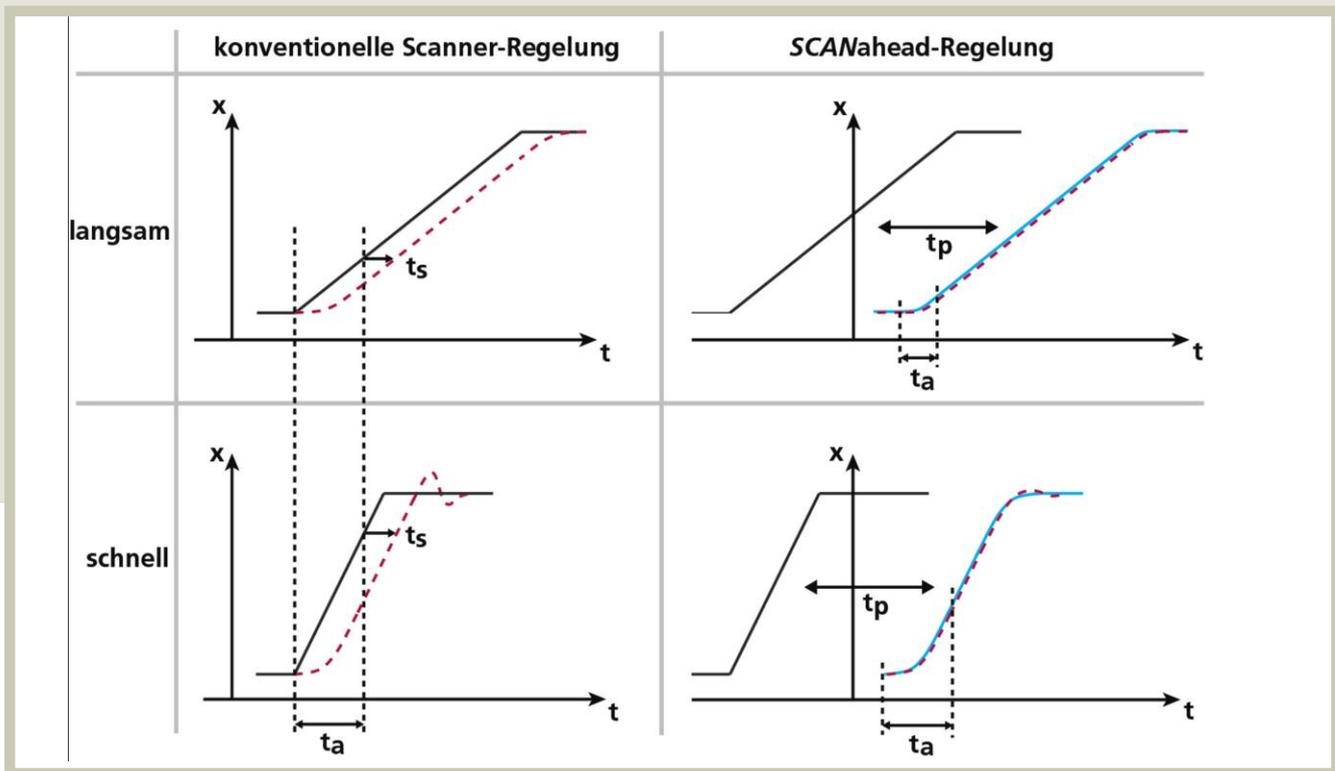


Bild 3. Die zeitliche Auslenkung führt bei einer konventionellen Scanner-Regelung durch den Schleppverzug zu einem sogenannten ›Schleppfehler‹ (linke Spalte). Mit der ›Scan-ahead‹-Regelung wird eine fahrbare Trajektorie vorausschauend berechnet, die ohne Schleppfehler abgefahren wird. Dabei wird das Dynamik-Potenzial der Galvanometer-Scanner bestmöglich ausgenutzt (rechte Spalte)

(Bild 2). Diese bestehen aus einer elektromagnetisch angetriebenen Drehachse (auf der ein Spiegel befestigt ist) mit einem am unteren Ende der Achse befindlichen Winkelsensor. Galvanometer-Antrieb und Sensor bilden zusammen einen Servo-Motor, der über einen geschlossenen Regelkreis gesteuert wird.

Um bei einer hohen Bearbeitungsdynamik die gewünschte Kontur exakt abfahren zu können, ist – genau wie für eine Regelung der Achsmotoren von CNC-Bearbeitungsmaschinen – die eingesetzte Regelung ausschlaggebend. Bislang werden hierzu meist konventionelle Regelungen ohne Vorsteuerung verwendet. Diese liefern, bei entsprechend angepasster Einstellung der Regelparameter, gute Ergebnisse, jedoch meist nur für einen spezifischen Anwendungsfall. Zudem wird die theoretisch mögliche Dynamik der Systeme, aufgrund der konstanten Beschleunigungszeit, nicht im gesamten Geschwindigkeitsbereich voll ausgenutzt.

Konstanter Schleppverzug bewährter Scan-Systeme

Unabhängig von der Scan-Geschwindigkeit sind konventionelle Scanner-Regelungen mit einem konstanten Schleppverzug der Dauer t_s behaftet (**Bild 3**). Die Beschleunigungsdauer t_a bis zum Erreichen der gewünschten Scan-Geschwindigkeit ist ebenfalls konstant. Bei schnellen Scan-Bewegungen mit annähernd Maximalgeschwindigkeit kann es bei konventionellen Scanner-Regelungen zu unerwünschtem Überschwingen kommen. Für eine hohe Bearbeitungsqualität muss das Abklingen dieses Einschwingvorgangs abgewartet werden, wodurch sich die Prozesszeit entsprechend erhöht.

Schleppverzug und Beschleunigungszeit und damit die Dynamik von Scan-Systemen mit konventioneller Scanner-Regelung werden durch die gewünschte Maximalgeschwindigkeit bestimmt: Je höher die Maximalgeschwindigkeit ist, desto größer sind Schleppverzug und Beschleunigungszeit. Mit steigender Maximalgeschwindigkeit wird das Beschleunigungsvermögen der Scanner-Achsen für kleine Scan-Geschwindigkeiten immer weniger ausgenutzt.

Steuerungslösung für maximale Geschwindigkeit

Scanlab hat mit der ›Scan-ahead‹-Regelung eine Steuerungslösung entwickelt, die die bisherigen Nachteile einer konventionellen Schleppverzugs-Regelung umgeht. Mit der Scan-ahead-Regelung wird die Unvereinbarkeit zwischen Maximalgeschwindigkeit und hoher Dynamik aufgehoben. Das Scan-System beschleunigt auch bei langsamen Scan-Geschwindigkeiten mit der maximal möglichen Beschleunigung (**Bild 3**). Möglich wird dies durch die vorab berechnete, fahrbare und beschleunigungsbegrenzte Soll-Trajektorie. Die Berechnung erfolgt in Echtzeit und versetzt um die Vorausschauzeit t_p vor der eigentlichen Ausführung.

Durch die Begrenzung der Beschleunigung des Soll-Positionsverlaufs auf die Maximalbeschleunigung der Scanner-Achsen wird eine Soll-Trajektorie (**Bild 3, blaue Kurve**) erzeugt, der die Scan-ahead-Regelung ohne Schleppfehler folgen kann (**Bild 3, rote Kurve**). Das Dynamik-Potenzial der Galvos wird dabei bestmöglich ausgenutzt.

Darüber hinaus wird durch die Generierung einer fahrbaren Soll-Trajektorie das Überschwingen bei

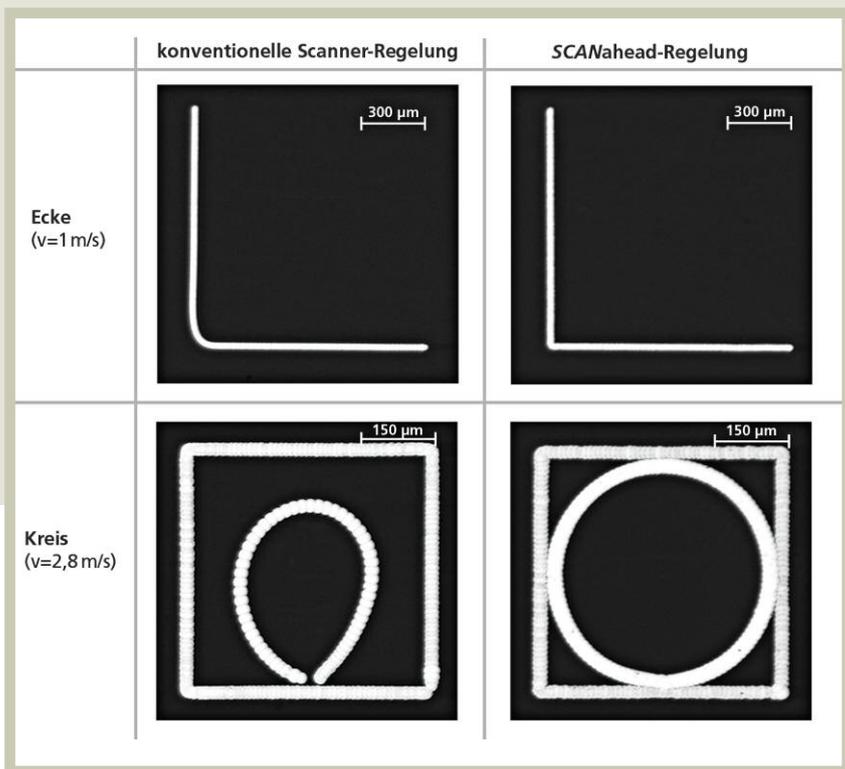


Bild 4. Vergleich unterschiedlicher Laserbearbeitungsaufgaben: konventionelle Scanner-Regelung versus ›Scan-ahead-Regelung

hohen Geschwindigkeiten stark reduziert beziehungsweise vermieden (**Bild 3, rechte Spalte unten**).

Neues Regelungskonzept für Genauigkeit und Durchsatz

Das unterschiedliche Verhalten der Regler lässt sich anhand von Richtungsänderungen, also bei 90-Grad-Ecken oder Kreisen, genauer untersuchen. Beim Durchfahren von 90-Grad-Ecken kommt es bei der klassischen Regelung mit Schleppverzug (**Bild 4, oben links**) zu teilweise starken Abrundungen, sofern keine Delays verwendet werden und je nach gewählter Geschwindigkeit.

Die Scan-ahead-Regelung nutzt das Dynamik-Potenzial der Galvos besser aus. Dadurch wird über einen weiten Geschwindigkeitsbereich eine deutlich kleinere Abrundung von Ecken erzielt (**Bild 4, oben rechts**). Umgekehrt werden Ecken mit gleichen Radien mittels Scan-ahead-Regelung schneller durchfahren. Für Bearbeitungsmuster, bei denen Richtungsänderungen sehr häufig auftreten, wie zum Beispiel das Mehrfachdurchlaufen beim Glas-schneiden für ›Mobile Devices‹ (**Bild 1**), führt dies zu erheblich geringeren Prozesszeiten.

Abweichungen durch Einschnüreffekt werden aufgehoben

Bei der konventionellen Scanner-Regelung kommt es durch den vorhandenen Schleppverzug beim Abfahren von Kreisen mit hoher Geschwindigkeit zum sogenannten Einschnüreffekt. Der Regler verhält sich quasi wie ein Tiefpass-Filter, der bei hohen Frequenzen des Umlaufs die Amplituden der Ansteuersignale dämpft. Dieser Effekt kann, wenn er nicht durch Planung eines vergrößerten Soll-Durchmessers berücksichtigt wird, zu großen Abweichungen führen (**Bild 4, unten links**). Diese werden umso größer, je schneller die Kreisgeschwindigkeit gewählt wird.

Kompetenz durch Innovation und Erfahrung

- 65 Jahre Optik**
- 25 Jahre Multisensorik**
- 10 Jahre Tomografie**



Werth Faser-taster WFP/S

Taktil-optischer Mikrotaster Werth Faser-taster WFP/S

- **hochgenaue Messung von Mikromerkmalen mit Tast-kugeldurchmessern von bis zu 20 µm**
- **vollständig integriert in das Werth Magnetschnittstellen-konzept WMS für einfachen Tasterwechsel**

Weitere Informationen unter:
Telefon +49 641 7938519

www.werth.de



Bild: SCANLAB

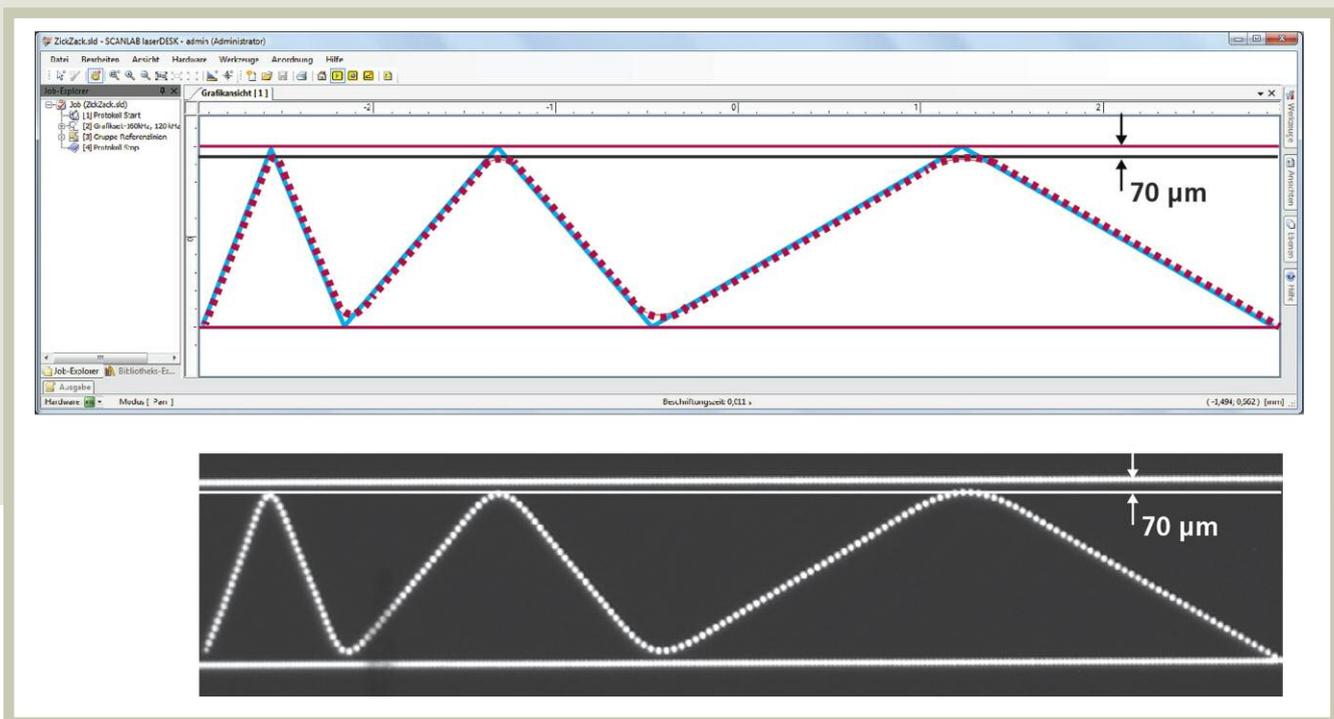


Bild 5. Oben: Der Screenshot zeigt die von der Trajektorienplanung berechnete Soll-Trajektorie (rot) mit definiertem Abstand von 70 µm. **Unten:** Das Ergebnis der Laser-Markierung stimmt exakt mit der Soll-Trajektorie überein

Durch die schleppverzugsfreie Scan-ahead-Regelung ist es nun erstmals möglich, dass selbst bei hohen Kreisgeschwindigkeiten der vorgegebene Soll-Kreis präzise abgefahren wird (**Bild 4, unten rechts**). Dies erleichtert die Bearbeitung von Kreisen erheblich und führt zu einem erhöhten Durchsatz dank der höheren Bahngeschwindigkeiten.

Vorteile in der Serienfertigung durch Trajektorienplanung

Durch die zusätzliche Nutzung einer Trajektorienplanung werden fahrbare Trajektorien berechnet. So wird der Scan-ahead-Trajektorienplanung die für den Bearbeitungsprozess gewünschte geometrische Kontur, zum Beispiel aus einer CAD-Zeichnung, vorgegeben. Eine Vorgabe von Delay-Parametern wie bei konventionellen Ansteuerungslösungen ist nicht mehr erforderlich. Aus der gegebenen Kontur berechnet die Trajektorienplanung eine beschleunigungsbegrenzte Soll-Bahn, die von einem Scan-System mit Scan-ahead-Regelung exakt abgefahren werden kann.

Bild 5 verdeutlicht die geometriebasierte Vorgehensweise mit Trajektorienplanung. Die blaue Kurve in dem »Laserdesk«-Screenshot zeigt einen vom Anwender vorgegebenen Soll-Verlauf. Zusätzlich wird definiert, dass die Kontur einen Abstand von 70 µm zu den Ecken des Soll-Verlaufs exakt einhalten soll (**Bild 5, oben**). Die rote Kurve bildet die von der Trajektorienplanung ermittelte Trajektorie ab. Deren Berechnung erfolgt vorab und schließt das gesamte, vom Nutzer definierte Bearbeitungsmuster ein. **Bild 5, unten**, stellt das Ergebnis der Bearbeitung durch Abfahren der berechneten Trajektorie dar: Der vorgeschriebene Abstand wird exakt eingehalten. Dabei

werden keinerlei Delays verwendet, was wiederum die Nutzung erheblich vereinfacht.

Paradigmenwechsel in der Laser-Scanner-Steuerung

Moderne Vorsteuerungsverfahren führen offensichtlich zu einem Paradigmenwechsel. Sowohl die Scanner-Hersteller als auch die Kunden müssen sich jedoch erst auf diese Konzepte einstellen. Den Anwendern bietet die schleppverzugsfreie Scan-ahead-Regelung immense Vorteile: Die bisher ungenutzten Dynamik-Potenziale der Galvanometer-Scanner können voll erschlossen werden und die Nutzung wird vereinfacht. Dafür ist eine vorausschauende Berechnung realisierbarer Soll-Bahnen notwendig. Die konstante Vorausschauzeit bei der Ansteuerung der Laser muss ebenfalls berücksichtigt werden.

Scanlab stellt in Kürze die Ansteuerkarte »RTC 6« gemeinsam mit einem neuen Scan-System mit integrierter Scan-ahead-Regelung vor. Ab Sommer 2015 sind Testsysteme verfügbar, mit denen die hohe Praxistauglichkeit weiter belegt werden kann. ■

MI110368

AUTOREN

Dipl.-Ing. ALOIS UNTERHOLZNER ist Entwicklungsingenieur Regelungstechnik bei SCANLAB in Puchheim; info@scanlab.de

Dr. MICHAEL BREIT ist Leiter Produktmanagement beim gleichen Unternehmen; info@scanlab.de