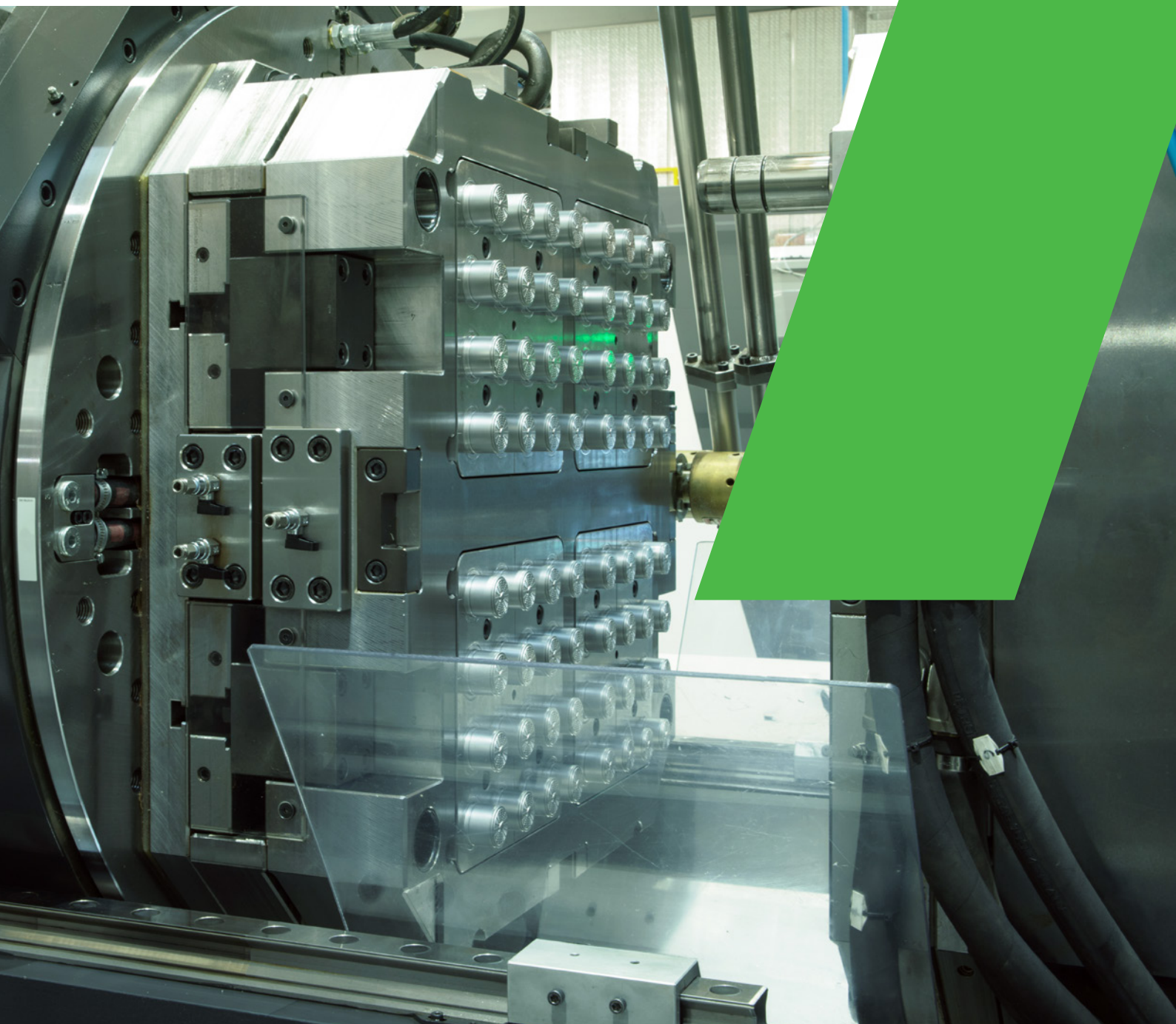


Schnellere und präzisere Steuerungstechnik:

KEBA-Konzepte & KePlast Smart Functions



Whitepaper

KEBA[®]
Automation by innovation.

“

Kontinuierliche
Verbesserung ist
besser als verspätete
Perfektion.

”

Mark Twain

Intro

Ob als Herz oder Gehirn der Maschine bezeichnet – die Steuerungstechnik ist ein zentrales Element des "Lebens" jeder Maschine. Der Begriff "Steuerungstechnik" oder "industrielle Steuerungstechnik" bezieht sich auf die Geräte, die für die Steuerung, Regelung, Datenerfassung, Kommunikation und Diagnose verschiedener Prozesse zuständig sind.

"Regelung" in der Automatisierungstechnik bedeutet die Beeinflussung des Material- oder Energieflusses durch ein geschlossenes System, das mehrere Signale auswertet. Das Ergebnis dieses Prozesses wirkt sich auf den Regelkreis aus, und die Eingangsgrößen beeinflussen die geregelten Ausgangsgrößen.

Schon in den 70er Jahren setzte KEBA unter der Leitung der Gründer Krippner und Kletzmaier auf modernste Regelungstechnik in der Industrieautomation – und bleibt dieser Ausrichtung bis heute treu. Im letzten Jahrzehnt hat sich die Entwicklung in Richtung I4.0 intensiviert, was zu einer steigenden Nachfrage nach noch schnelleren und präziseren Steuerungskonzepten und der Einbeziehung von künstlicher Intelligenz und prädiktiven Modellen führt.

In diesem Whitepaper stellen wir Ihnen die neuesten Errungenschaften unserer Steuerungstechnik-Experten vor: modernste Technologien und smarte Funktionen von KEBA & KePlast. Wir präsentieren diese auf informative und interaktive Weise – mit anschaulichen Messungen, Kurven, grafischen Schemata und praxisnahen Beispielen. Wir hoffen, Sie finden es hilfreich und freuen uns darauf, mit Ihnen zu diskutieren, wie unsere Technologie gepaart mit Ihrem Know-how die Zukunft der industriellen Maschinensteuerung gestalten kann.

Michael Petruzelka

Vizepräsident

Automatisierung für die Kunststoffindustrie



Inhalt

Seite 6 Geschlossener Druckregelkreis auf KeDrive D3 als ein Rezept für schnellere, einfachere und präzisere Steuerung elektrischer Spritzgießmaschinen

Wie OEMs von der nahtlosen Integration zwischen der KEBA-SPS und den Antrieben profitieren können – mit KeDrive D3, dem neuen Maßstab in der Steuerungstechnik für High-End-Anforderungen.

Seite 12 Reaktions- und Positions-Ausgleichs-Regelungstechnologie: Präzision und Effizienz durch synchronisierte Formbewegungen

Entdecken Sie neue Lösungen, die Genauigkeit und Effizienz von elektrischen und hybriden Spritzgießmaschinen, durch schnelle Kommunikation und Synchronisation, steigern.

Seite 18 Rampenkalibrierungs-Assistent für verlängerte Lebensdauer der Form und beschleunigten Formwechselprozess

Wie das KePlast Automatic Ramp Calibration Feature die optimale Rampe für die Form findet, unerwünschte Bewegungen verhindert und die Lebensdauer der Form verlängert.

Seite 22 KePlast Smart Movement: Die richtige Position der Werkzeugbewegung - auf den Millimeter genau & ohne Servoventil

Wie das KePlast Smart Movement Feature, ein einfacher KI-Assistent, für hohe Positionsgenauigkeit des Werkzeugs einer Spritzgießmaschine sorgt – ohne die kostspielige Methode des aktiven Bremsens zu anzuwenden.



Geschlossener Druckregelkreis auf KeDrive D3 als ein Rezept für

schnellere, einfachere und präzisere Steuerung elektrischer Spritzgießmaschinen

Letztes Jahr markiert das 40-jährige Jubiläum, seitdem wir bei KEBA damit begonnen haben, den komplexen Spritzgießprozess zu steuern. Dennoch ruht sich KEBA nicht auf seinen Lorbeeren aus. Gleiches gilt für die gesamte Branche: Spritzgießmaschinen werden stetig weiterentwickelt. Insbesondere in Bereichen, die höchste Prozesspräzision und Bauteilgenauigkeit erfordern, wie etwa im Gesundheitswesen, haben Endkunden jedoch Verbesserungsbedarf signalisiert.

„Die Herausforderung war klar: Die Verbesserung der Prozessqualität erfordert eine deutlich bessere Regelungsqualität“, erklärt Michael Petruzelka, Vizepräsident Plastics bei KEBA. Selbst bei Verwendung schneller Regelkreistechnologien auf Industrie-PCs können langsame Reaktionszeiten gelegentlich zu unerwünschten Über- oder Unterschwingungen führen, was zusätzlich zu einem erhöhten Werkzeugverschleiß führt.

Die jüngsten Entwicklungen und Tests von KEBA haben ein bisher unentdecktes Potenzial aufgezeigt, das die Steuerung von Spritzgießprozessen weiter verbessern kann – insbesondere für vollelektrische und teilweise für hybride Maschinen. Wenn Sie mehr aus Ihrer neuen oder bestehenden Maschinenflotte herausholen möchten, sollten Sie sich das genauer ansehen!

„Eine kurze Einführung in die prädiktive Feed-Forward-Schleife“

Um alle auf den gleichen Stand zu bringen, beginnen wir mit einer einfachen Analogie, die hilft, den prädiktiven Feed-Forward-Regelkreis zu verstehen.

Stellen Sie sich vor, Sie fahren ein Sportwagen auf einer landschaftlich reizvollen Autobahn. Sie wollen so schnell wie möglich fahren und gleichzeitig die Kontrolle über das Auto behalten, um eine Überbeanspruchung des Fahrzeugs zu vermeiden, die sich negativ auf Ihr Bankkonto auswirken könnte. Welche Faktoren müssen Sie berücksichtigen und wie können Sie diese Aufgabe ausführen, während Sie gleichzeitig die Aussicht genießen? Richtig, Sie können den Autopiloten aktivieren!

Autopiloten nutzen eine Vielzahl von Sensoren, um Daten über das Fahrzeug und seine Umgebung zu sammeln. Diese Daten werden kontinuierlich vom Bordcomputer mit komplexen Algorithmen verarbeitet und überwacht, um Echtzeit-Feedback zu geben und Korrekturmaßnahmen zu ergreifen – alles innerhalb von nur wenigen Mikrosekunden. Zum Beispiel kann der Autopilot die Geschwindigkeit überwachen und konstant halten, selbst wenn sich die äußeren Bedingungen ändern. So funktioniert die Logik des prädiktiven Feed-Forward-Regelkreises.

Was haben Sportwagen und Spritzgießmaschinen gemeinsam?

Wenn Sie angenommen haben, dass beide das prädiktive Feed-Forward-Konzept zur effizienten Steuerung ihrer Prozesse nutzen können, sind Sie bereits auf dem richtigen Weg.

Natürlich könnten wir noch mehr Gemeinsamkeiten finden, wie höchste Automatisierung und einfache Handhabung, aber das ist nicht der Fokus dieses Artikels.

Prädiktive Feed-Forward-Regelung ist eine Steuerstrategie, die ein mathematisches Modell des zu steuernden Systems verwendet, um das zukünftige Verhalten des Systems vorherzusagen und ein Steuersignal zu erzeugen, das Veränderungen im System antizipiert

Im Kontext einer Spritzgießmaschine besteht das Ziel darin, den Prozess ständig zu überwachen und zu optimieren, indem der Einspritzdruck, die Geschwindigkeit und die Position der Formen gesteuert werden, während gleichzeitig die Qualität des Endprodukts verbessert, der Energieverbrauch gesenkt und die Produktivität gesteigert wird.



Druckregelkreis auf PLC (Programmierbare Logiksteuerung) – immer noch der Goldstandard?

Die FPGA-Technologien (Field-Programmable Gate Array), die in den CP05x KEBA-Controllern verwendet werden, bilden die Grundlage für die Implementierung von hoch effizienten Steuerungskonzepten direkt in der Controller-Hardware. Dies bedeutet weniger Anforderungen an die Software, und die notwendigen Module werden mit höchster Effizienz in der Hardware implementiert.

Besonders im Bereich der elektrischen Spritzgießmaschinen ist es seit einigen Jahren der Stand der Technik, den Einspritzdrucksensor sowie die Antriebe von Drittanbietern direkt über EtherCat (z. B. mit 500 µs) an die PLC anzuschließen, um die schnellste und genaueste Steuerung unter Verwendung prädiktiver Feed-Forward-Technologien zu erreichen. Die Ergebnisse sind in der Regel zufriedenstellend, es dauert normalerweise 3 Zyklen (jeweils 500 µs lang), vom Lesen der Sensordaten über die Berechnung bis zum Senden der Vorgabe an den Antrieb, was etwa 1,5 ms ausmacht. Allerdings „ändern sich die Zeiten“.

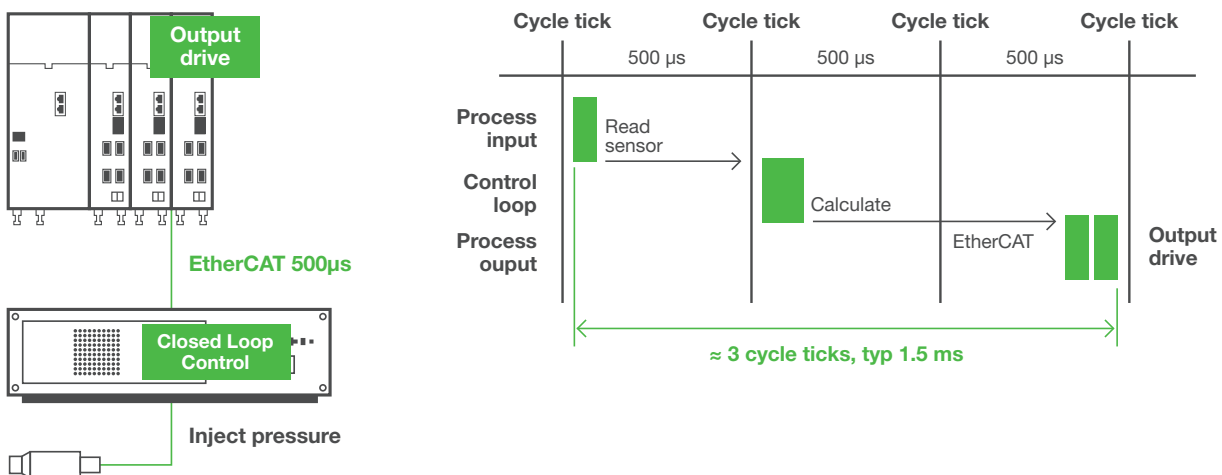


Abbildung 1.1: Druckregelkreis auf der PLC



KeDrive D3 - Der neue Maßstab in der Steuerungstechnologie für höchste Anforderungen

Die neuesten umfassenden Tests an realen Maschinen, die von KePlast-Experten durchgeführt wurden, offenbarten beeindruckende Synergien zwischen den KEBA-PLCs und Antrieben und hoben die Steuerungstechnologie bei KEBA auf eine neue Dimension. In diesem Fall wird der Einspritzdrucksensor direkt mit dem Antrieb verbunden, wo auch die Druckregelkreis-Funktion läuft. Dies ermöglicht eine Zykluszeit von 125 μs , eine maximale Reaktionszeit von 500 μs und die Minimierung der Totzeit.

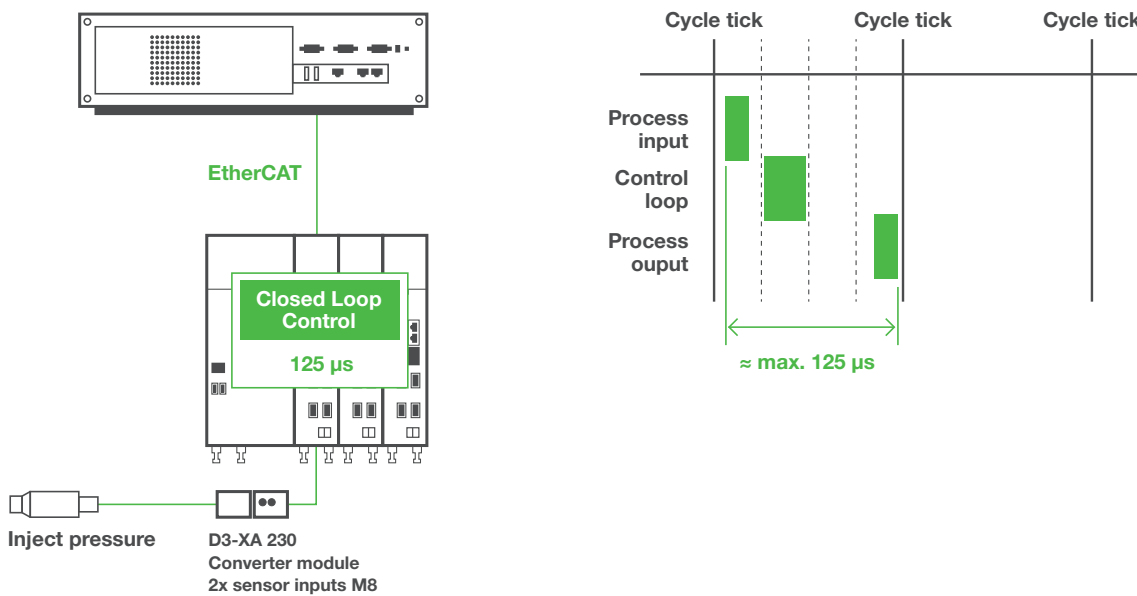


Abbildung 1.2: Druckregelkreis auf KeDrive D3

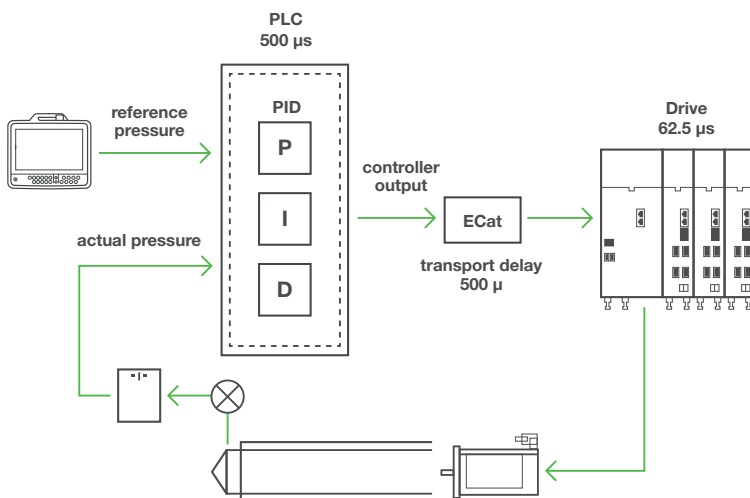


Abbildung 1.3: Technische Standardschemata des Druckregelkreises auf KEBA PLC

Vergleich verschiedener Szenarien

Die Abbildung 1.4 bietet Einblicke in die Messungen von Druck (p) und Geschwindigkeit (v) unter verschiedenen Umständen.

Das Szenario mit dem Drittanbieter-Antrieb zeigte einen Überschwinger von über 650 bar und eine Ausregelzeit von 400 ms, um den benötigten Druck zu erreichen.

Das Szenario mit dem Druckregelkreis auf KeDrive D3 erzielte nur einen Überschwinger von 225 bar und eine Anstiegszeit von 125 ms (langsamer aufgrund des Maschinentyps in diesem Fall), wobei eine minimale Ausregelzeit von 30 ms möglich wäre.

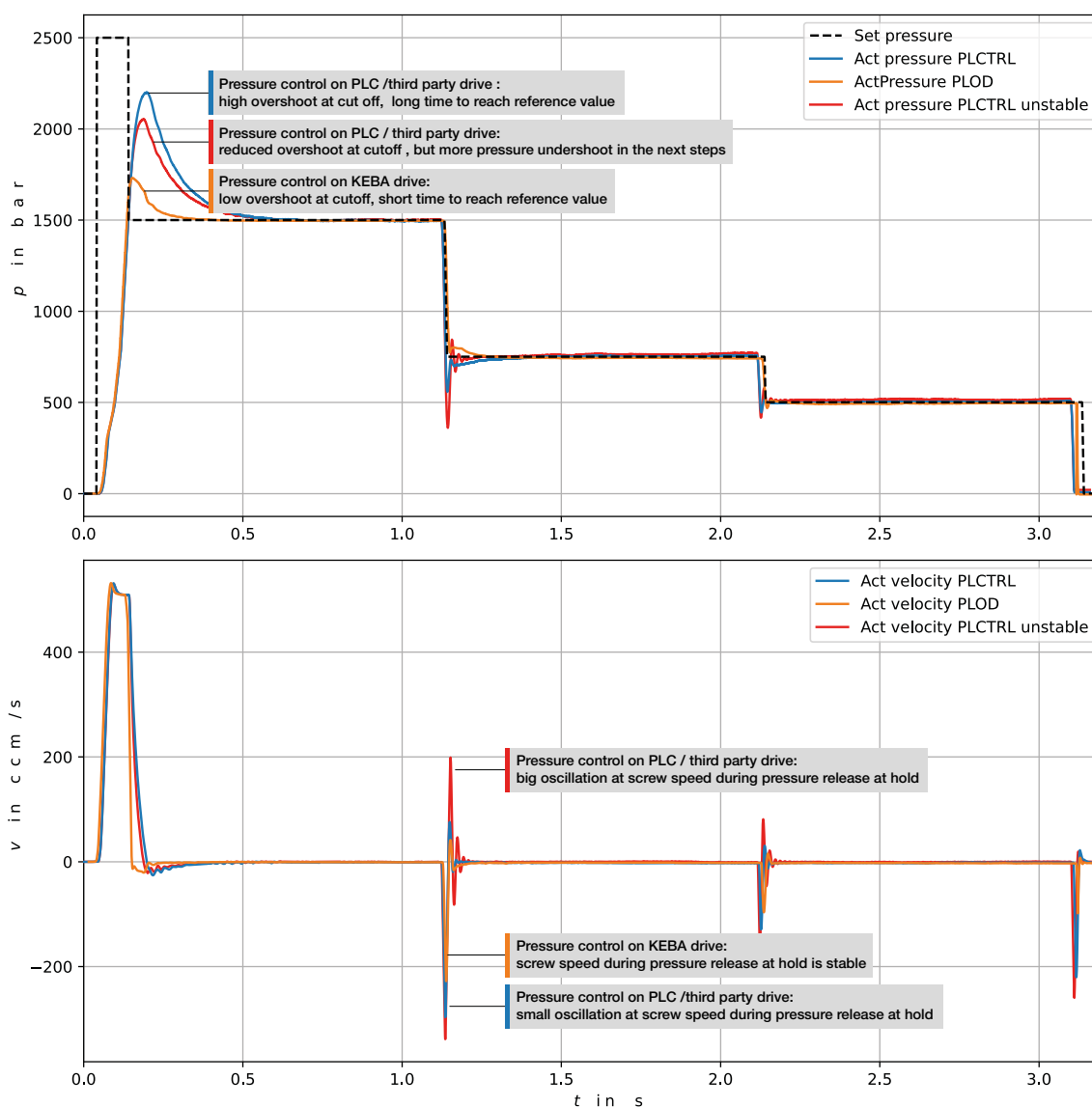


Abbildung 1.4: Vergleich verschiedener Szenarien des Druckregelkreises – echte Maschinenmessungen

Die wichtigsten Erkenntnisse aus den Messungen sind

- // Mit der Druckregelung auf der PLC und einem Drittanbieter-Antrieb kann der Druckspitzenwert nicht wesentlich reduziert werden, ohne die Schneckengeschwindigkeit instabil zu machen (Messrauschen, Temperaturerhöhung von Motor und Antrieb), was zu einer verkürzten Lebensdauer des Antriebs führt.
- // Mit der Druckregelung auf dem KEBA-Antrieb kann der Druckspitzenwert ohne Oszillation der Schneckengeschwindigkeit während der Druckfreigabe im Nachdruck verringert werden.

Die Auswirkungen auf den Arbeitsalltag von Kunststoffproduzenten

„Heute klassifizieren viele Endkunden Maschinen nach der Wiederholgenauigkeit“, erklärt Günther Weilguny, Senior Produktmanager Plastics bei KEBA. „Die höchsten Anforderungen kommen besonders von Herstellern im Gesundheitswesen oder in der Automobilindustrie, die komplexe Teile produzieren. Um in diesen Sektoren erfolgreich zu sein, benötigen die Hersteller eine exzellente Bauteilqualität“, fügt Weilguny hinzu.

Der KePlast-Prozess-Experte Gerald Reindl geht noch tiefer auf die Wurzel des Problems ein. „Wenn die Reaktionszeit nicht schnell genug ist, ist die Füllung nicht gleichmäßig, die Bauteilqualität wird nicht eingehalten und der gesamte Prozess wird als instabil angesehen.“

Die häufigsten Auswirkungen eines solchen instabilen Prozesses sind:

- // Bauteilmängel: Der hohe Druckstoß während eines Überschwingens kann zu Überspritzen, Einfallstellen oder Verzug im geformten Bauteil führen und die Festigkeit oder Funktionalität beeinträchtigen.
- // Formschäden: Der hohe Druck kann zu Abnutzung der Form führen (z.B. Kratzer an der Innerfläche).
- // Maschinenschäden: Das wiederholte Überspringen kann Schäden an den Komponenten der Spritzgießmaschine verursachen, wie zum Beispiel an Ventilen, Zylindern oder Pumpen.
- // Antriebsnutzung: Eine stabilere Regelung des geschlossenen Kreises benötigt weniger Energie und führt zu geringerer Erwärmung von Antrieben und Motoren, was es ermöglicht, die Maschine bei höheren Drücke zu betreiben, ohne die Antriebe zu vergrößern.

„Die Überwachung des Drucksignals während des Spritzgießprozesses mit dem Druckregelkreis am Antrieb hilft, Überschwinger schneller zu erkennen und auszuregeln, um die erforderliche Teilequalität zu erreichen“, fasst Reindl zusammen.

Vorteile der nahtlosen Integration zwischen PLC und Antrieben

Zusätzliche Vorteile für sowohl OEMs als auch Endkunden ergeben sich aus der Integration des Controllers und des Servoantriebs. Beide profitieren vor allem von einer schnellen Inbetriebnahme – was bedeutet, dass weniger Maschinenstillstandzeiten entstehen, da der Austausch der Antriebe einfach und ohne den Einsatz zusätzlicher Werkzeuge durchgeführt werden kann.

Für den Maschinenbauer bietet die Integration zudem eine erleichterte Diagnose dank der integrierten Tools in der PLC. Darüber hinaus wird das Anpassen der Steuerungsparameter vereinfacht, was die Bedienung und Feinabstimmung der Maschinen erleichtert und den Wartungsaufwand reduziert.

Fazit

Die neue Lösung Raum für Einsparungen bei Prozess-, Material- und Wartungskosten sowie für die Generierung von Gewinnen in Form neuer Produkt- und Marktpotenziale.

Reaktions- und Positions-Ausgleichs-Regelungstechnologie:

Präzision und Effizienz durch synchronisierte Formbewegungen

Nachdem die Vorteile der KeDrive D3 Druckregelungstechnologien erläutert wurden, werden im Folgenden weitere innovative Technologien vorgestellt, die für voll-elektrische und hybride Maschinen von Nutzen sind.

In der Praxis ist es häufig der Fall, dass nicht nur ein einzelner Antrieb eine bestimmte Bewegung steuert, sondern je nach erforderlicher Leistung oder Drehmoment mehrere Antriebsmodule im Einsatz sind.

Ein einfaches Beispiel: Stellen Sie sich eine elektrische Spritzgießmaschine mit zwei Einzelachsen-Servoantrieben und zwei Motoren vor. Wussten Sie, dass das Betreiben dieser Motoren mit derselben Spannung nicht unbedingt bedeutet, dass diese sich exakt gleich bewegen, und dadurch möglicherweise kostspielige Maschinenschäden verursachen können? Der erhebliche Druck auf einer Seite kann Maschinenkomponenten wie Formen, Auswerfer und die Einspritzeinheit mechanisch beschädigen oder es kann zurückgesendet werden und nicht nur den Motor selbst, sondern auch die Elektronik der Maschine beschädigen.

Daher ist eine schnelle Kommunikation und Synchronisation zwischen diesen Geräten entscheidend, um Schäden an Maschinenkomponenten und unerwünschte Ausfallzeiten der Maschine zu vermeiden.

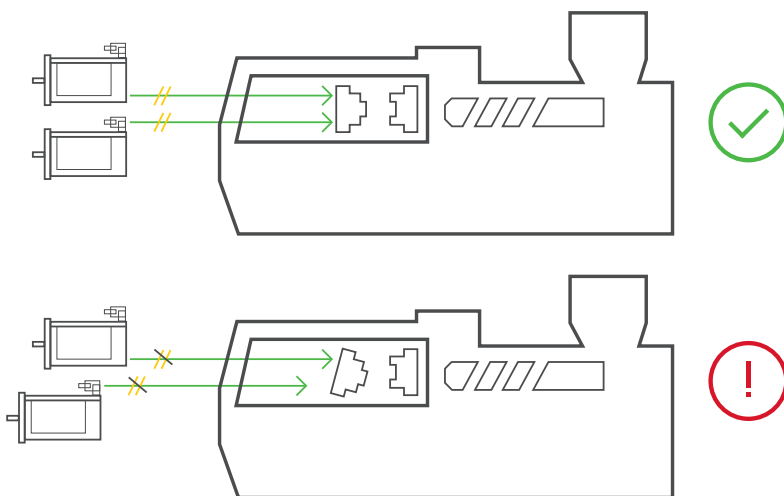


Abbildung 2.1: Synchronisierte und nicht synchronisierte Formbewegungen bei EIMM und mögliche Ursachen

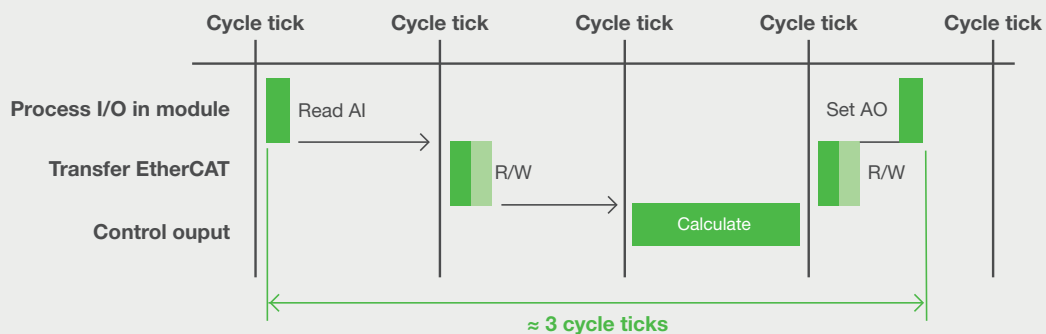


Schnelle, „3in1“-Reaktionssteuerungstechnologie für möglich kürzeste Totzeiten

Schnelle Kommunikation und Reaktion zwischen den Geräten sind der Schlüssel zu einer erfolgreichen und schnellen Positions-Ausgleichs-Regelung sowie zur Steuerung anderer Prozesse.

KEBA-Steuerungen ermöglichen die kürzest möglichen Totzeiten in der Kommunikation. Das bedeutet, dass die Zeit, die benötigt wird, bis eine Änderung des Eingangs eine Änderung des Ausgangs verursacht, dank der schnellen Steuerungsfunktion minimiert wird. Normalerweise würde ein Industrie PC drei Steuerungszyklen benötigen, um Daten zu lesen, Ausgänge zu berechnen und diese als Antwort zu senden. KEBA-Steuerungen mit der Fast Reaction Control-Funktion können alle diese Schritte in einen einzigen Steuerzyklus durchführen. Zu Beginn des Zyklus liest die Steuerung die Eingangssignale, berechnet dann sofort die Ausgangswerte und schreibt die Ausgangssignale am Ende des Zyklus. Diese Funktion ist für EtherCAT und IO-Board-Ios verfügbar und beeinflusst die Druckregelung im Controller, um die Kommunikation zwischen den Antrieben zu verbessern.

→ Standard Communication



→ KEBA Fast-Reaction Control

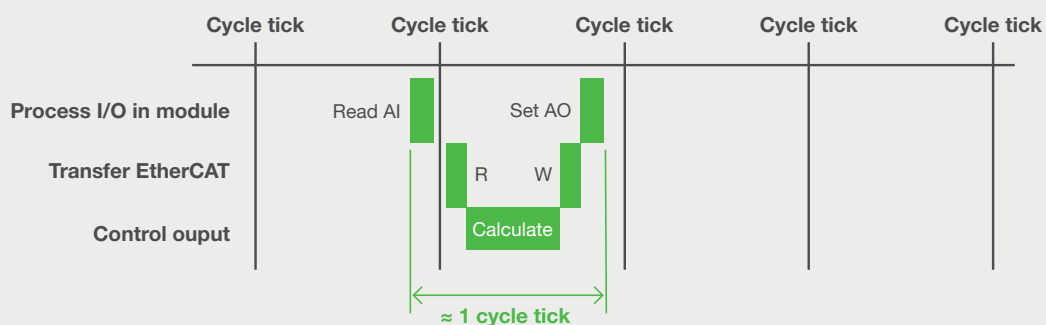


Abbildung 2.2: FPGA-unterstützter geschlossener Regelkreis mit schneller Reaktionssteuerung

Reduzierte Totzeit verbessert die Prozessqualität, spart CPU-Leistung und garantiert dank minimalen Jitter die besten Ergebnisse.

Antriebstypunabhängige Synchronisation jeder Bewegung

Wie in unserem Artikel über den Druckregelkreis erklärt, kann sowohl die Druckregelung als auch eine Positions kompensationsregelung auf der Steuerung durchgeführt werden. Dies war viele Jahre lang der Goldstandard in der Steuerung des IMM-Prozesses (immer noch die State-of-the-Art-Lösung für Hydraulikmaschinen). Im Vergleich dazu haben neue Konzepte, bei denen die Druck- und Positionsregelung in den Servoantrieb integriert sind, kürzere Totzeiten (durch schnelle Steuerfunktionen), ein schnelleres Druckregelverhalten und den Vorteil, Fehlerreaktionen direkt am Antrieb vorzunehmen. Diese Merkmale scheinen der Grund zu sein, warum viele OEMs den Wechsel vollziehen.

Vor diesem Hintergrund könnte man sich fragen, ob KEBA Druck- und Positionsausgleichs-Regler auch mit Antrieben von Drittanbietern funktionieren, und die Antwort lautet: ja! Allerdings bietet die Kombination aus KEBA-Steuerung, Servoantrieben und sogar Motoren unbegrenzte Vorteile durch eine einheitliche Hardware- und Softwarequelle, was zu den bestmöglichen Leistungsindikatoren führt.

Durch den Einsatz der Druckregelung und der Positions-Ausgleichs-Regelung am Antrieb kann unsere KePlast Positions-Ausgleichs-Regelungstechnologie alle von den Kunden benötigten Bewegungen je nach Anwendung synchronisieren. Eine Unterscheidung, welche Bewegungen geregelt werden sollen (z. B. Auswerfer-, Form- oder Einspritzbewegungen), erfolgt in der Konzeptphase, da sie jeweils unterschiedliche Anforderungen haben. Beispielsweise benötigen Einspritzbewegungen meistens zwei Einzel-Achsregler aufgrund der hohen Anforderung an die Druckregelung. Formbewegungen hingegen könnten mit einem Zweifach Achsregler realisiert werden, da hier keine extrem hohen Drehmomente erwartet werden.

Sowohl KEBA Fast Reaction Control als auch der KePlast Position Balance Control funktionieren effektiv mit jedem Servoantrieb – mit 1, 2 oder 3 Achsen, was auch bedeutet, dass sie mit allen KeDrive D3-Servosteuerungen kompatibel sind.

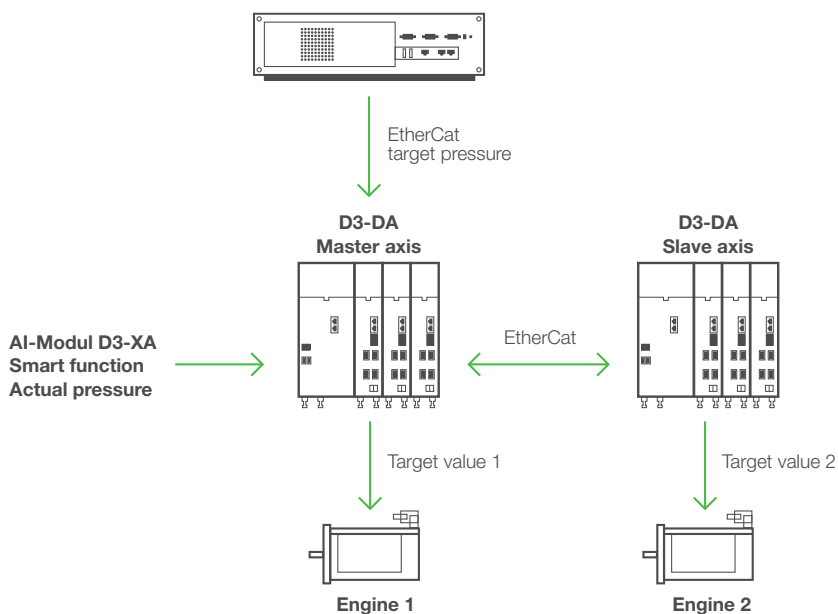


Abbildung 2.3: Kommunikationsschema – ein Beispiel mit zwei Einzelachsensteuerungen

Anwendungsfall der KePlast Positionsausgleichsregelung: Kunden Messung

Details zur Messung:

- // Abbildung 2.4 "Einspritzdruck (A)" zeigt die Stabilisierung des Einspritzdrucks von 1800 bar mit einem Überschwingen von etwa 3%.
- // Zusätzlich ist in der Abbildung "Positionabweichung (B)" die maximale Positionsabweichung zwischen den beiden Achsen sichtbar. Diese beträgt ungefähr 0.02 mm. Während des gesamten Einspritzprozesses versucht der Positionsausgleichsregler die Abweichung auf 0.0mm auszuregeln. Dies bewahrt die Maschine vor mechanischen Schäden.
- // Der Einfluss der Druckregelung am Antrieb ist in den beiden Kurven „Geschwindigkeit Achse 1 (C)“ und „Geschwindigkeit Achse 2 (D)“ sichtbar. Der Regler reduziert die Geschwindigkeit bevor der Referenzdruck erreicht ist um den hohen Druck sicher stabilisieren zu können.
- // In der gesamten Abbildung sind die Vorteile der Druckregelung am Antrieb sichtbar. Der Druck wird mit kleinem Überschwingen und kurzer Reaktionszeit stabilisiert, die Geschwindigkeiten der Motoren sind stabil mit wenigen Schwingungen welche die Maschinen Lebensdauer verlängert.
- // Mit zwei KeDrive D3-Achsen können höchste Anforderungen an Druck und Geschwindigkeit mit guter Qualität gesteuert werden.

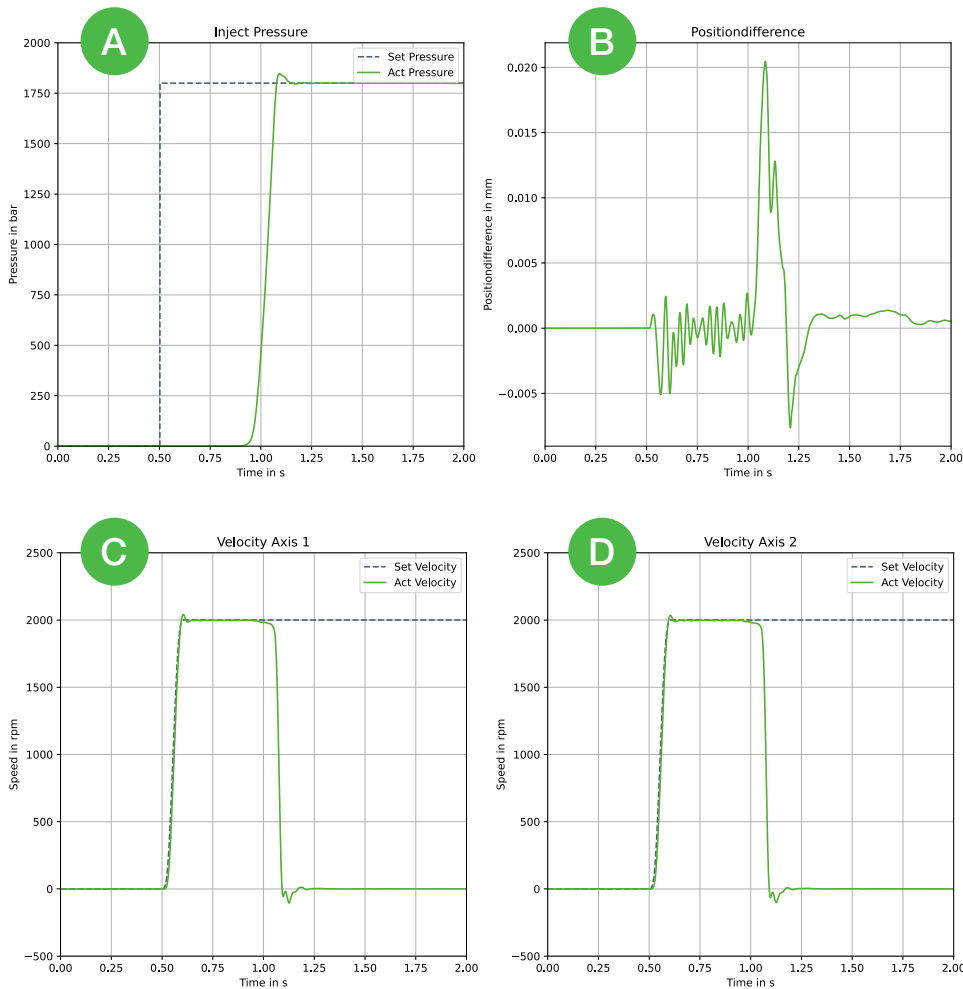
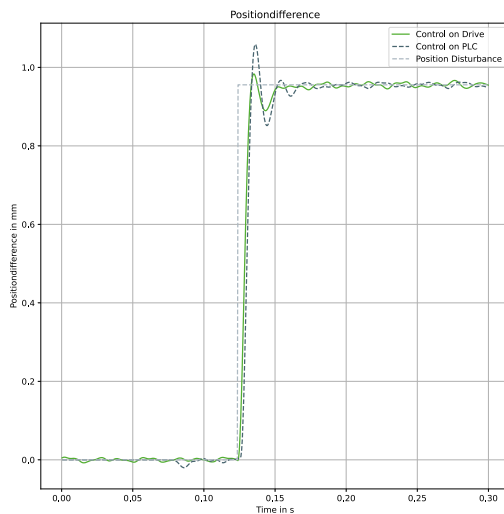


Abbildung 2.4: Einspritzbewegung // alle Variablen // 2Sekunden

Vergleich der Positionsausgleichsregelung am KeDrive D3 und an der KEBA Steuerung



In unserem Labor testeten wir das dynamische Verhalten unserer Regelung. Um die Reaktion der Regelung zu bewerten schalteten wir eine fiktionale Störung während des Einspritzprozesses auf. Beide Regelungen verwendeten dabei dieselben Parameter. Das erste Beispiel zeigt die Regelung in der Steuerung, das zweite die Regelung in unserem KeDrive D3. Die nachfolgenden Abbildung zeigt den Vergleich der Regelung.

Abbildung 2.5: Vergleich der Positionsausgleichsregelung am Antrieb und Steuerung

Obwohl die Positionsausgleichsregelung an der Steuerung die höchsten Anforderungen an Reaktionszeit und Überschwüngen erfüllt, ist die Ausgleichsregelung am Antrieb besser aufgrund minimaler Totzeiten. Dies führt zu einem optimalen Regelverhalten was die Maschine vor Schäden bewahrt.

Übersicht der Vorteile

- // Die Druckregelung erfolgt direkt am Antrieb mit 125 µs, was als Benchmark-Wert für die Zykluslänge gilt.
- // Der Antrieb kann bei einem Fehler direkt reagieren, um Schäden zu vermeiden und Ausfallzeiten zu minimieren.
- // Das Einstellen der maximalen Bremsleistung ist einfach und hat keine negativen Auswirkungen auf die Maschine.
- // Die Antriebe und Motoren werden zu 100% bis zum Momentenlimit ausgenutzt.
- // Positionsausgleichsregelung auch wenn ein Fehler ausgelöst wird.
- // Durch die Fast Reaction Control werden die Totzeiten, die durch die Querkommunikation entstehen, ebenfalls minimiert, da der gesamte Steuerzyklus nur einen Zyklustakt statt drei benötigt.

Neues Feature im Einsatz: „Schnelle Querkommunikation am EtherCAT“

Wie bereits erklärt, gibt es Bewegungen, die mit mehreren Achsen aufgrund des benötigten Moments und der Geschwindigkeit ausgeführt werden müssen. Damit sich beide Achsen gleich verhalten und keine mechanischen Verspannungen entstehen, nutzen wir die Möglichkeit, Daten via EtherCAT direkt von einem Achsregler auf einen anderen Achsregler zu kopieren.

Mit dem neuen Feature und korrekter EtherCAT-Kommunikation legt ein Achsregler als EtherCAT-Slave Daten in einen separaten EtherCAT-Frame ab, und ein zweiter Achsregler entnimmt die Daten aus diesem Frame. Als Anwendungsbeispiel dient hier in KePlast die Position-Ausgleichsregelung. Mithilfe einer geänderter Regelungsstruktur ist es nur mehr nötig, Position und Geschwindigkeit von der Master-Achse zur Slave-Achse zu übertragen – dies ist mit der schnellen Querkommunikation am EtherCAT in 125µs möglich – um eine präzise Synchronisierung zu gewährleisten.



Rampenkalibrierungs-Assistent für

verlängerte Lebensdauer der Form & beschleunigten Formwechselprozess

Werkzeugschäden können für Kunststoffhersteller ein erhebliches Problem darstellen, da sie zu Produktionsverzögerungen, Ausschuss oder Nacharbeit von defekten Teilen und erhöhten Wartungskosten führen können.

Darüber hinaus kann die Kalibrierung einer Maschine nach einem Werkzeugwechsel ein sehr langwieriger und fachkundiger Prozess sein, unabhängig vom Maschinentyp. Das manuelle Berechnen und Prüfen erfordert viel Zeit und Fachwissen, einschließlich vieler Versuch-Fehler-Situationen. Das wollen Anlagenbesitzer in Zeiten des Fachkräftemangels sicher verhindern.

Eine Alternative, um automatisch zu ermitteln, wie steil sich die Formhälfte während dem Öffnen bzw. Schließen beschleunigt, ist die automatische Rampenkalibrierung, die als Teil der KePlast Software verfügbar ist.

Mensch vs. Maschine

Eine kurze Analogie für diese Funktion im täglichen Leben ist das Einparken eines Autos. Wenn man an die letzte Kurve denkt, die man nehmen muss, um die endgültige Parkposition zu erreichen, entscheidet der Fahrer, mit welcher Geschwindigkeit und mit welcher Beschleunigung sich das Auto bewegen soll, um eine möglichst ruckfreie Bewegung zu erreichen.

Wenn man zu schnell auf das Gaspedal tritt und das Lenkrad in eine bestimmte Richtung lenkt, um die Endposition zu erreichen, führt dies zu Problemen mit der sofortigen Notwendigkeit zu bremsen, was zu einer Überlastung der Bremsen führt, und das Auto kann sich durch Schütteln leicht nach vorne bewegen. Wir wollen das Auto aber auch nicht zu langsam einparken, weil es einfach bessere Dinge zu tun gibt.

Wir Menschen lernen aus unseren Erfahrungen und sind in der Lage, die Einparkgeschwindigkeit anzupassen, um unsere Fahrzeuge zu schützen. Das Gleiche gilt für die Öffnungs- und Schließbewegungen von Spritzgießmaschinen, nur ist es nicht so einfach vorstellbar.

Auswirkung der mehrstufigen Profilbewegungen auf die Lebensdauer des Werkzeugs

Die Öffnungs- und Schließbewegungen des Spritzgießprozesses umfassen in der Regel drei bis fünf Geschwindigkeitsstufen für das Schließen der Form und zwei bis fünf für das Öffnen der Form, wobei sich die Formen jeweils mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und mit unterschiedlicher Beschleunigung oder Abbremsung bewegen müssen, um unnötige Formschäden durch übermäßiges Bremsen und Rütteln zu vermeiden.

In der KePlast-Bildschirmansicht zeigen die horizontalen Linien die konstante Geschwindigkeit und die steilen Linien die Änderung der Geschwindigkeit an. Die Beschleunigung bezieht sich auf eine Änderung der Geschwindigkeit in der Zeit, d. h. eine Beschleunigung oder Verzögerung. Und als Rampe betrachten wir die lineare Änderung der Geschwindigkeit, die mit den Parametern "Start %", "Mid %" und "Stop %" eingestellt werden kann.

Formen unter Kontrolle - auch ohne aktive Bremssteuerung

Die Geschwindigkeitsänderungen werden durch eine manuell konfigurierte, aktive Bremssteuerung ausgeführt. Sie verändert die Stellung des Bremsventils oder Servoventils, also den Querschnitt, durch den das Öl fließt, nach (und vor) dem Zylinder, der die Form bewegt. Je nach gewünschtem Fall ist der Querschnitt also entweder kleiner, was zu einem höheren Widerstand für den Ölfluss und einer stärkeren Bremswirkung führt, oder der Querschnitt ist größer, was einen geringeren Widerstand und eine geringere Bremswirkung bedeutet.

Da die Preise für aktive Bremssteuerungen recht hoch sind, werden nicht alle Maschinen damit ausgestattet. Wenn keine aktive Bremssteuerung vorhanden ist, ist der Querschnitt des Ventils entweder ganz offen oder geschlossen, also nicht für eine aktive Bremsung nutzbar. Die Form wird dann nur durch Reibung oder durch den Kniehebel gebremst. So muss schon bald weniger Öl nachgepumpt werden.

Die gute Nachricht ist, dass die Auto-Kalibrierung in beiden Fällen perfekt funktioniert und eine bevorzugte Option für Standard- oder Low-End-Maschinen ohne aktive Bremssteuerung ist.

Zur richtigen Zeit, am richtigen Ort

Schauen wir uns genauer an, was bei einer Spritzgießmaschine tatsächlich passiert, wenn wir wollen, dass ein Werkzeug zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer bestimmten Stelle stoppt. Die Grafik unten zeigt die gewünschte Geschwindigkeit der Öffnungsbewegung (schwarze Kurven) und die tatsächlich gemessenen Werte (grüne Kurven). Wenn wir uns auf das Abbremsen, die letzte und entscheidende Phase des Öffnungsvorgangs, konzentrieren, können wir deutlich die negative Geschwindigkeit, gefolgt von einer positiven, erkennen - ein Zeichen für ein Schütteln der Maschine.

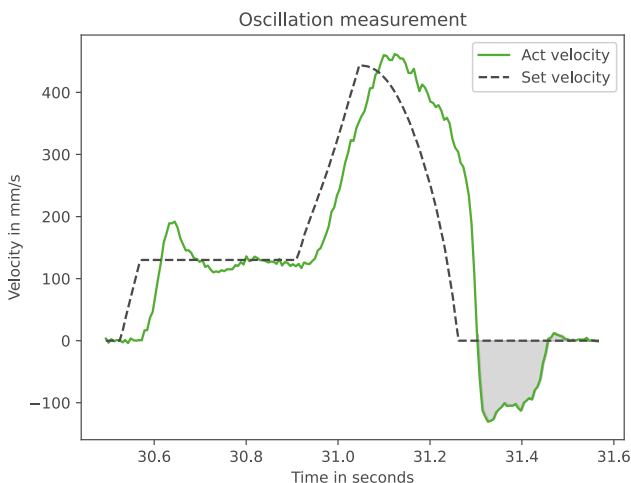


Abbildung 3.1: Eine typische Bewertung der Stopprampe der Formbewegung (die Werte für die Bewegungszeit beginnen bei etwa 30 s, da wir tatsächliche Daten aus einer realen Messung verwendet haben)

Es gibt drei Möglichkeiten um die starke Erschütterungen die Maschine zu vermeiden:

- // eine aktive Bremssteuerung mit Hilfe eines Bremsventils,
- // oder eines teureren Servoventils, für das die Prozessexperten die richtigen Werte finden und manuell in der Steuerung einstellen müssen,
- // oder die Verwendung der vom Algorithmus berechneten und geprüften Werte der Automatischen KePlast Rampenkalibrierung

Eine SPS von KEBA mit KePlast Software verfügt über eine präzise, intelligente Autokalibrierungsfunktion, die die Frage, wie viel Rütteln erlaubt ist, beantwortet und die Prozesse entsprechend anpasst.

Durch die Auswertung des Optimierungskriteriums, in diesem Fall die Oszillation, definiert als das Rütteln am Ende der Bewegung, identifiziert der robuste Algorithmus die "Trade-off"-Rampenwerte mit Hilfe zahlreicher Autokalibrierungsbewegungen wie Leerlauf, Referenz und Validierung.

KePlast Automatische Rampenkalibrierung - in 3 Schritten:

- 1 Der Algorithmus wertet die Schwingung am Ende der Bewegung aus (siehe Abbildung oben),
- 2 verwendet die Oszillation einer langsamen Bewegung als Referenz (A),
- 3 und führt zahlreiche Autokalibrierungsbewegungen durch, um den am besten geeigneten Wert auf der Grundlage der optimalen "Max (B) & Stop (C)" Werte zu ermitteln.

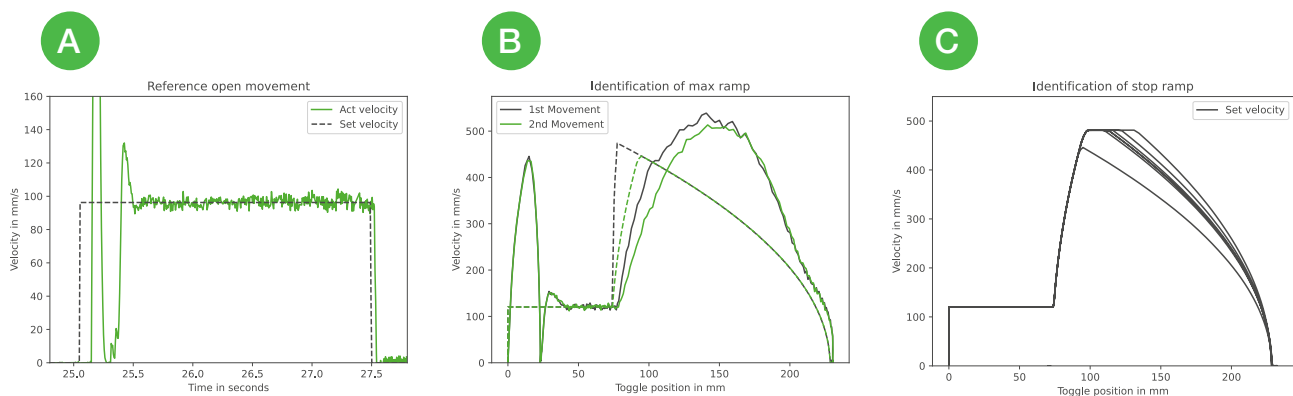


Abbildung 3.2: Formöffnung-Autokalibrierung - Übersicht über alle Schritte, die der Algorithmus ausführt (A: die Werte für die Bewegungszeit beginnen bei 25 s, da wir tatsächliche Daten aus einer realen Messung verwendet haben)

Als Ergebnis findet der Algorithmus die höchstmöglichen Max- und Stop-Rampenwerte mit der höchsten akzeptablen Schwingung.

Übersicht der Vorteile

// Sanfte Bewegungen und sanftes Abbremsen schützen die Form vor Abnutzung.

// Ressourceneinsparung beim Formenwechselprozess – statt Stunden dauert es nur wenige Minuten, ohne umfangreiche Tests und Versuche, mit nur wenigen Klicks und ohne oder mit minimalem Einsatz technischer Experten.

// Die maximale Bremsrampe kann ermittelt werden, ohne die Maschine zu beeinträchtigen.

// Sie ist für alle hydraulischen Maschinentypen geeignet, einschließlich solcher mit Servoventil.

KePlast Smart Movement:

Die richtige Position der Werkzeugbewegung - auf den Millimeter genau & ohne Servoventil

Die Positionsgenauigkeit ist ein wesentliches Merkmal jedes Spritzgießprozesses, und hier gilt: je konstanter die Position, desto konstanter der Prozess. Ganz zu schweigen davon, dass in vielen Prozessen ein Entnahmeroboter integriert ist, der für die Entnahme und Weiterverarbeitung der Teile immer die gleiche Position der Werkzeuge benötigt.

Die Maschinen haben immer winzige Abweichungen vom Ausgangszustand, z.B. wenn sich die Öltemperatur ändert oder als Auswirkung der Schmierung nach 1000 produzierten Teilen, was zu einer leichten Verstimmung der Maschinen führt.

Die Wiederholgenauigkeit der eingestellten Zielposition unter wechselnden äußeren Bedingungen für jede Phase der Bewegung ist nicht bei allen Maschinentypen gewährleistet. Insbesondere im letzten Abschnitt, wenn die Form langsamer wird und zum Stillstand kommt. Eine beliebte Wahl für Maschinen im Premium-Segment ist die Geschwindigkeitsregelung durch aktives Abbremsen mit einem Servo- oder Proportionalventil. Sie ist jedoch weder platz- noch kostensparend und für Eco-Maschinen sowie für Standardmaschinen absolut nicht realisierbar.

Parken ohne Bremsen - würden Sie es wagen?

Wir nutzen gerne Analogien, um unsere Funktionen verständlich zu machen. In unserem vorherigen Artikel über die KePlast-Funktion "Automatische Rampenkalibrierung" haben wir bereits die Geschwindigkeit sowie die Beschleunigung der "Parkbewegung" richtig beschrieben.

Stellen Sie sich vor, Sie fahren auf einer leeren Landstraße und sehen schon von weitem den Zug kreuzen, die Ampel schaltet auf Rot und signalisiert den Autos, dass sie anhalten sollen. Sie kennen die Fahrtrichtung und können sich die endgültige Parkposition sehr gut vorstellen. Das Problem ist, dass Sie das Bremspedal nicht betätigen dürfen.

Erfahrene Fahrerinnen und Fahrer können das Auto auch ohne Bremsen in die Nähe der gewünschten Parkposition bringen, indem sie die Füße im richtigen Moment vom Gaspedal nehmen und die Motorbremse nutzen. Wenn sie diesen Vorgang jeden Tag wiederholen, können sie ihn sogar verfeinern und immer besser werden.

Um das Einparken vollständig unter Kontrolle zu bekommen, muss man entweder Bremsen einsetzen oder theoretisch einen intelligenten Assistenten entwickeln, der die Positionsabweichung berechnet. Auf der Grundlage der tatsächlichen Ergebnisse nimmt man den Fuß etwas früher oder später vom Gaspedal, um an der richtigen Position anzuhalten.

“Go with the flow”

Spritzgießmaschinen verfügen über eine andere Bewegungs- und Bremstechnologie, die sich durch die Steuerung des Ölflusses im Hydrauliksystem auszeichnet, aber die Logik des Problems ist dieselbe.

Das oben beschriebene Szenario ist eine besondere Herausforderung für Eco- und Standard-Spritzgießmaschinen mit einfacher Hydraulik und einem hydraulischen Schaltventil. Aufgrund ihres attraktiven Preis-Leistungs-Verhältnisses ist eine aktive Bremsfunktion mit einem Proportionalventil oder einem Servoventil nicht realisierbar. Der Qualitätsstandard der mit diesen Maschinen hergestellten Produkte wird von den Endverbrauchern in der Regel gut angenommen, vor allem wegen der Einfachheit dieser Produkte, und daher akzeptieren viele Hersteller einfach die Verwendung der kostengünstigen Technologie ohne aktive Bremse.

So arbeitet die einfache Hydraulik solcher Maschinen: Der Elektromotor dreht die Hydraulikpumpe, wodurch Flüssigkeit aus dem Tank durch den Filter in die Leitungen befördert wird. Die Pumpe hat die Aufgabe, einen Durchfluss zu erzeugen, und wird mit zwei Parametern eingestellt - dem Ölfluss und dem maximal zulässigen Druck, aber eigentlich wird nur einer von beiden erreicht. Der Druck in einem Hydrauliksystem wird durch den Strömungswiderstand erzeugt. Die Stellung des Wegeventils (open oder geschlossen) gibt die Richtung des Ölflusses an und das Werkzeug bewegt sich. Nach dem Durchfluss fließt die Flüssigkeit wieder in den Tank zurück. In diesem Fall ist es nicht möglich, das Abbremsen des Werkzeugs vollständig zu steuern. Auch wenn der Durchfluss der Pumpe über eine Rampe reduziert wird, kann es sein, dass die Geschwindigkeit des Werkzeugs aufgrund der schweren Masse nicht mit der gleichen Verzögerungsrate folgt.

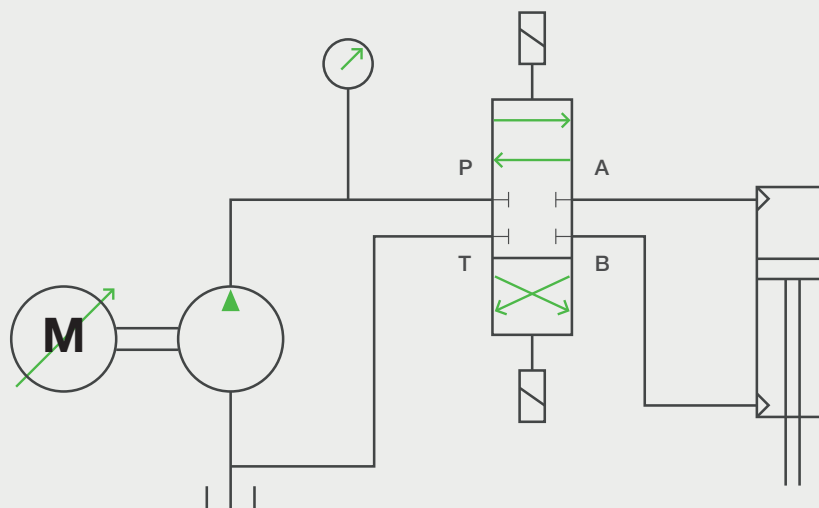


Abbildung 4.1: Ein grundlegendes richtungsabhängiges hydraulisches On-Off-Übertragungssystem, das in Öko- und Standardmaschinen verwendet wird.

Aktives Bremsen

Andererseits erfordern hochwertige Maschinen eine wesentlich höhere Genauigkeit. Sie können Produkte herstellen, bei denen schon eine minimale Abweichung der Werkzeugposition zu katastrophalen Qualitätsproblemen führen kann. Solche Maschinen verwenden in der Regel eine aktive Bremsung, die mit einem Proportional- oder einem Servoventil erreicht werden kann.

Bei einem Proportionalventil wird der Prozentsatz der Öffnung des Ventils festgelegt, der einen bestimmten gewünschten Widerstand erzeugt und die Bewegungen der Form steuert.

Eine höhere Stufe ist das aktive Bremsen mit einer Rückführeinrichtung, bei der es sich in der Regel um ein hochempfindliches Servoventil handelt. Servoventile arbeiten mit sehr hoher Genauigkeit, hoher Wiederholbarkeit und hochfrequentem Ansprechverhalten und sind in der Lage, kleine Durchflussänderungen schnell und präzise über einen breiten Bereich von Durchflussraten zu verarbeiten.

Die Nachteile dieser Technologie sind die hohen Kosten und der Platzbedarf für das Ventil selbst sowie für das Zubehör und die zugehörigen Geräte.

KePlast Smart Movement: Verbesserte Genauigkeit für weniger Geld

KePlast Smart Movement, ein intelligenter Assistent der KePlast Software, bietet eine effiziente Alternative zum aktiven Bremsen mit einer Bremse oder einem Servoventil. Die Lösung ist nicht nur vergleichbar genau, sondern auch deutlich energieeffizienter als der Einsatz eines Servoventils.

Die Grundidee ist, dass der intelligente Bewegungsalgorithmus ständig die aktuelle Werkzeugposition analysiert und eine Abweichung zwischen idealen und tatsächlichen Werkzeugpositionswerten berechnet. Er nimmt dann Korrekturen am Bewegungsprofil vor und lässt in der letzten Rampe die Abbremsung des Werkzeugs früher oder später beginnen, um die ideale Endposition zu erreichen (siehe Bild 3). Der Assistent ermöglicht die Anpassung im manuellen, halbautomatischen und vollautomatischen Modus.

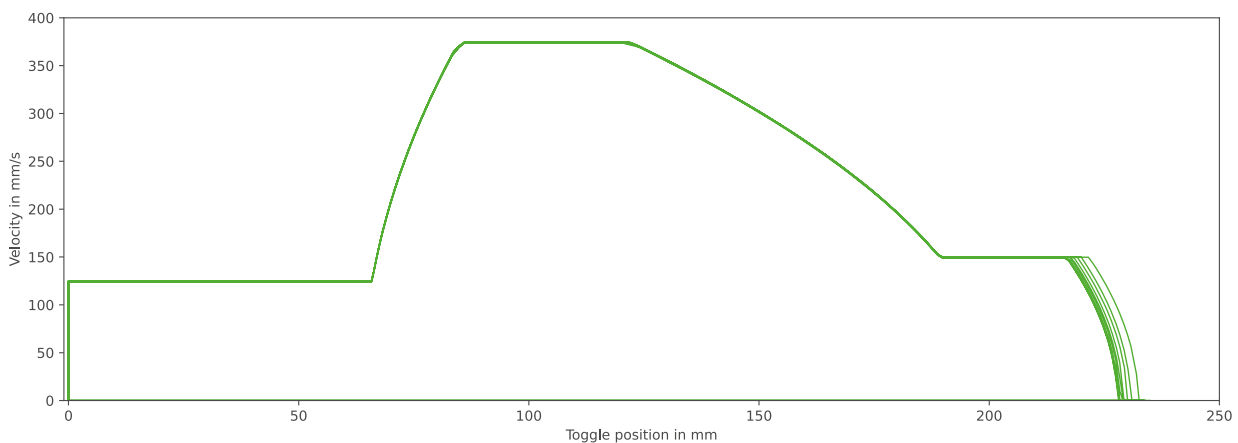


Abbildung 4.2: Smart Movement der Formöffnungsbewegung

KePlast Smart Movement für Zwischenpositionen

Viele, vor allem komplexe Kunststoffteile, erfordern zusätzlich zu den Öffnungs- und Schließpositionen des Werkzeugs genaue Zwischenpositionen, da oft Roboter in den Prozess eingebunden sind. Zwischenpositionen können natürlich auch durch KePlast Smart Movement verbessert werden. Für jede Zwischenposition ist eine einmalige Korrektur erforderlich, und nach einigen Zyklen findet eine Konvergenz statt. Die Maschine behält die hohe Präzision ihrer Werkzeugbewegungen bei, was zu einem geringeren Verschleiß des Werkzeugs und zu weniger Schäden an den Robotern führt.

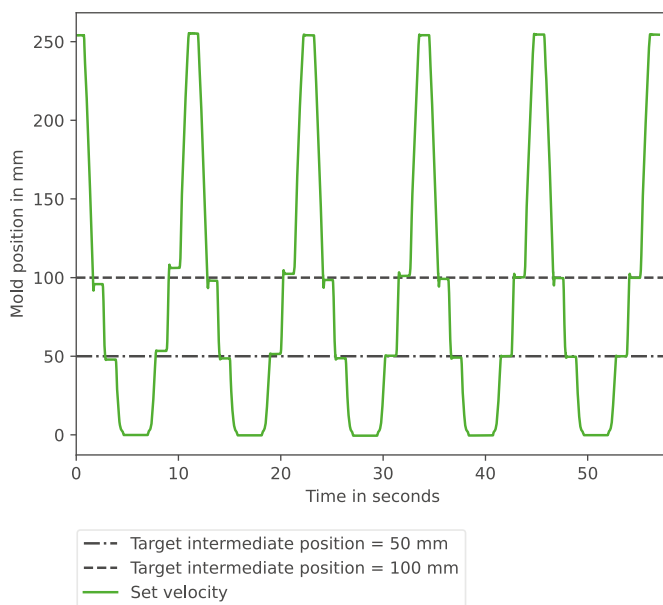


Abbildung 4.3: Smart Movement der Zwischenpositionen

KePlast Smart Movement, ein intelligenter Assistent der KePlast Software, bietet eine effiziente Alternative zum aktiven Bremsen mit einer Bremse oder einem Servoventil.

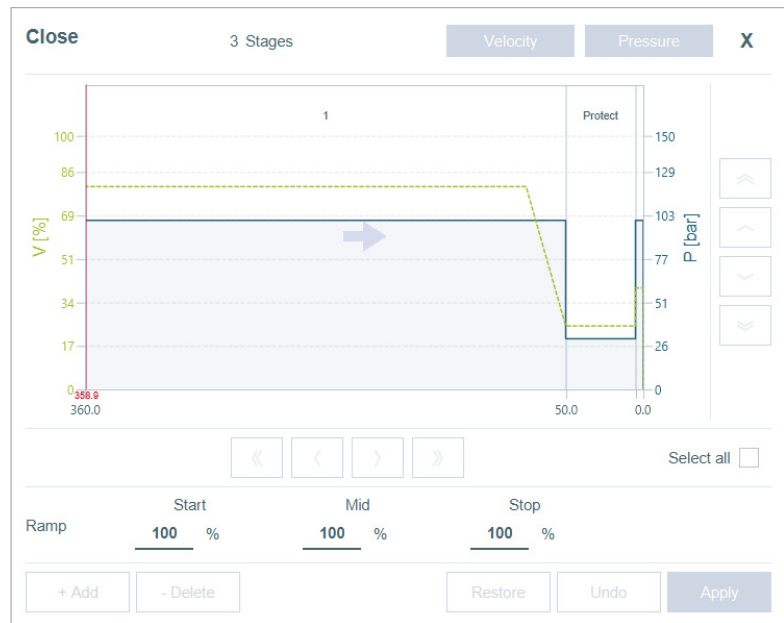
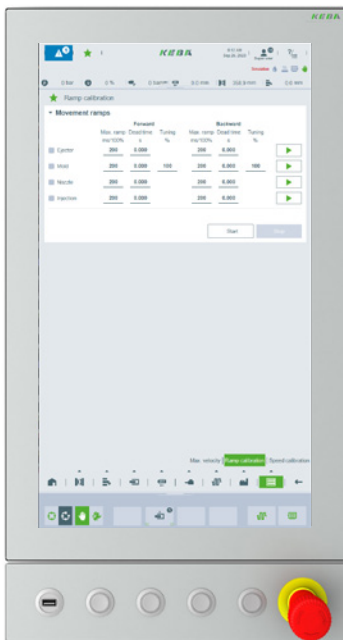
Übersicht der Vorteile

- // Gleicht den Nachteil der Ungenauigkeit bei der Positionierung der Form mit einem Wegeventil aus,
- // spart Platz im Schaltschrank,
- // und ist für jeden hydraulischen und hybriden Spritzgießmaschinentyp geeignet.

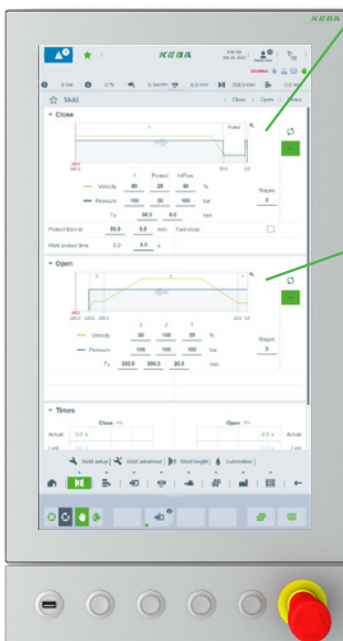
HMI-Visualisierung verschiedener Szenarien I. Kalibrierung der Rampe

Vor der Rampenkalibrierung

// Bewegrampen

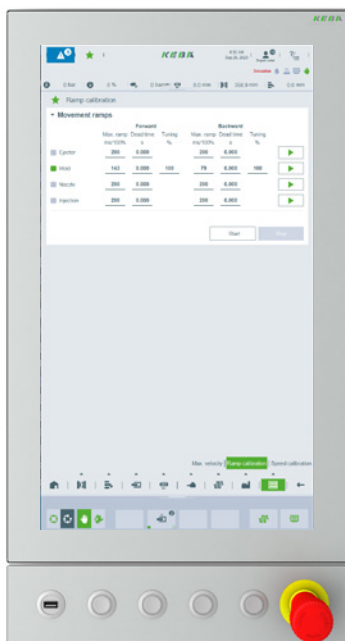


// Form schließen & Form öffnen

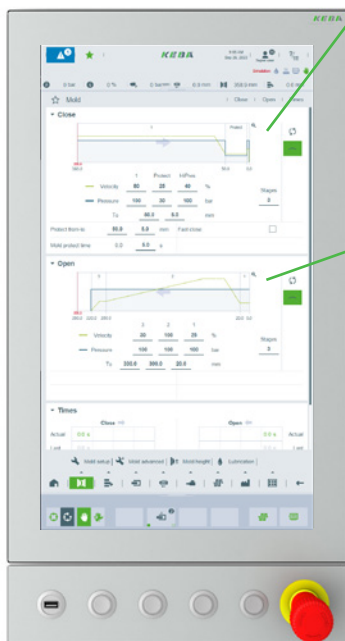


Nach der Rampenkalibrierung

// Bewegungsrampen



// Form schließen & Form öffnen



Nach Abschluss der Rampenkalibrierung kann/sollte die intelligente Bewegung aktiviert werden, um die Bewegung der Form weiter zu verbessern.

HMI-Visualisierung von verschiedenen Szenarien II. Verzögerungs-Stopp-Rampen von Smart Movement

Die vorgegebenen Stopprampenwerte (z.B. aus der Rampenkalibrierung) werden dann auch für Zwischenverzögerungen verwendet.

// Smart Movement deaktiviert



// Smart Movement aktiviert



Das Bild von "Smart Movement aktiviert" zeigt, dass die beiden Zwischenverzögerungen auch in Abhängigkeit vom Stoppwert (und nicht mehr vom Mittelwert) skaliert werden.

Die Rampen werden in Abhängigkeit von der Kennlinie des Kniehebels skaliert, siehe die folgende Abbildung. Die Übersetzung des Kniehebels (Ableitung, zweites Diagramm) bei einer bestimmten Kniehebelstellung wird zur Skalierung der Rampen verwendet: unterschiedliche Verzögerung für die Rampe bei z. B. 90 mm als die Rampe bei 260 mm.

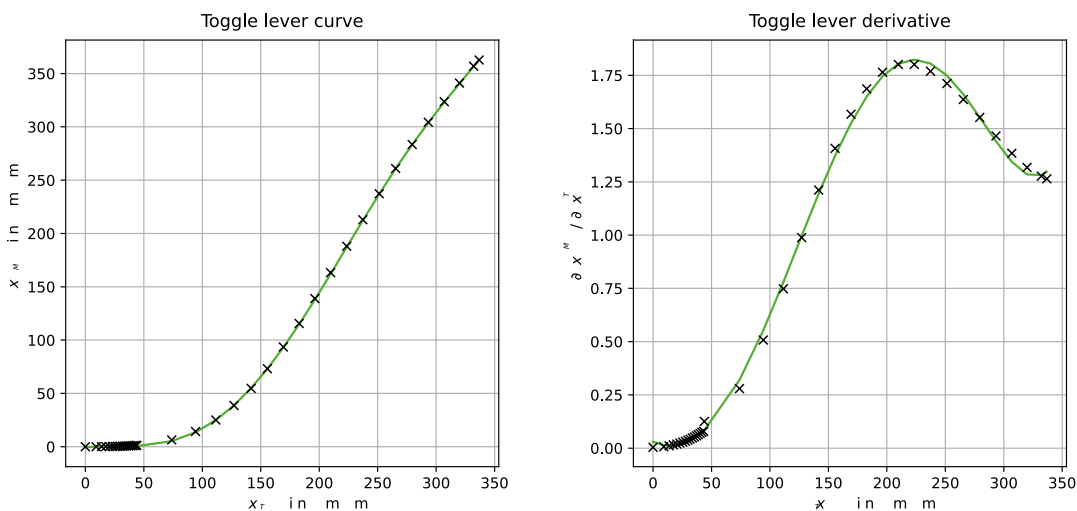


Abbildung 4.4: Kniehebelkurve und Ableitung der Kniehebelkennlinie



Über KePlast

Mehr als 40 Jahre Erfahrung in der Steuerung komplexer Prozesse

KePlast ist eine hochmoderne Steuerungslösung, die durch ihre kontinuierliche Verbesserung perfekt auf verschiedene Arten von Kunststoff- und Druckgußmaschinen abgestimmt ist.

Wir gehören zu den führenden Automatisierungslösungsanbietern im Bereich Spritzgießen mit mehr als vier Jahrzehnten Innovation unserer Produkte und Dienstleistungen.

Dieses enorme Fachwissen bildet eine solide Grundlage für die Entwicklungen in anderen Branchen. Dank dessen können wir jetzt kompetent beraten, komplizierte Prozesse steuern und nicht nur neue Produkte, sondern auch effektive Engineering-Workflows anbieten.

Ob Sie nun eine kostengünstige schlüsselfertige, eine leicht angepasste oder völlig neue Lösung benötigen - wir sind hier, um Ihre Vision zu verwirklichen.

Vorteile mit KePlast

- // Umfassende Beratung & Branchenprozesskompetenz
- // Für alle Typen und Preisklassen von Kunststoffmaschinen
- // Enge Forschungs- und Entwicklungszusammenarbeit mit Kunden weltweit
- // KePlast Software-Framework für ein kurzes Time-to-Market
- // Zukunftssichere High-End-Technologien

KePlast-Branchen:

- // Spritzgießen
- // Extrusion
- // Extrusionsblasformen
- // Recycling
- // Tiefziehen
- // Druckgießen





KEBA Industrial Automation GmbH

Reindlstraße 51, 4040 Linz/Austria, Phone +43 732 7090-0, keba@keba.com

KEBA Group worldwide

Austria / China / Czech Republic / Germany / India / Italy / Japan / Netherlands

Romania / Serbia / South Korea / Switzerland / Taiwan / Turkey / United Kingdom / USA

www.keba.com

