

Servopressen Bausatz YJKP - Kraftregelfunktion

Diese Application Note beschreibt Eigenschaften, Funktionsweise, Parametrierung und Anwendungsbeispiele der Kraftregelfunktion des Servopressen Bausatzes YJKP

YJKP

Titel Servopressen Bausatz YJKP - Kraftregelfunktion
Version 1.10
Dokumentennummer 100207
Original de
Autor Festo

Letztes Speicherdatum 05.02.2019

Urheberrechtshinweis

Diese Unterlagen sind geistiges Eigentum der Festo AG & Co. KG, der auch das ausschließliche Urheberrecht daran zusteht. Eine inhaltliche Änderung, die Vervielfältigung oder der Nachdruck dieser Unterlagen sowie deren Weitergabe an Dritte ist nur mit der ausdrücklichen Erlaubnis der Festo AG & Co. KG gestattet.

Festo AG & Co. KG behält sich das Recht vor, dieses Dokument vollständig oder teilweise zu ändern. Alle Marken- und Produktnamen sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Titelhälter.

Rechtliche Hinweise

Hardware, Software, Betriebssysteme und Treiber dürfen nur für die beschriebenen Einsatzfälle und nur in Verbindung mit den von Festo AG & Co. KG empfohlenen Komponenten verwendet werden.

Festo AG & Co. KG lehnt jede Haftung für Schäden ab, die durch die Anwendung von allenfalls falschen bzw. unzureichenden Informationen oder aufgrund fehlender Informationen in diesen Unterlagen entstehen.

Defekte, die durch unsachgemäße Behandlung von Geräten und Baugruppen entstehen, sind von der Gewährleistung ausgeschlossen.

Sicherheitsrelevante Funktionen, im Sinne von Personen- und Maschinenschutz, dürfen mit Angaben und Informationen aus diesem Dokument nicht realisiert werden.

Für Folgeschäden, die durch einen Ausfall oder eine Funktionsstörung entstehen, wird dann jede Haftung abgelehnt. Im Übrigen gelten die Regelungen bzgl. Haftung aus den Liefer-, Zahlungs- und Softwarenutzungsbedingungen der Festo AG & Co. KG, welche Sie unter www.festo.com finden, welche wir Ihnen aber auch auf Anforderung gerne zukommen lassen.

Alle in diesem Dokument angegebenen Daten sind keine zugesicherten Eigenschaften, insbesondere nicht für Funktionalität, Zustand oder Qualität im rechtlichen Sinn.

Die Informationen dieses Dokuments gelten nur als einfache Hinweise für die Umsetzung einer ganz bestimmten, hypothetischen Anwendung, keinesfalls als Ersatz für die Bedienungsanleitung der jeweiligen Hersteller sowie der Konstruktion und Prüfung jeweils eigenen Anwendung durch den Benutzer.

Die jeweiligen Bedienungsanleitungen der Festo Produkte sind unter www.festo.com/sp zu finden.

Der Benutzer dieses Dokuments (Funktion und Anwendung) muss selbst sicherstellen, dass jede Funktion die hier beschrieben ist, auch in seiner Applikation ordnungsgemäß funktioniert. Der Benutzer bleibt auch durch das Studium dieses Dokuments sowie der Nutzung der darin genannten Angaben weiterhin allein verantwortlich für die eigene Anwendung.

Inhaltsverzeichnis

1	Verwendete Bauteile/Software	5
2	Eigenschaften	6
3	Parametrierung.....	7
3.1	Einflüsse.....	7
3.2	Pressparameter	7
3.3	Grenzwerte	7
3.4	Regelparameter.....	8
3.5	Geschwindigkeitsumschaltung (optional)	9
3.6	Verfahren zur Parametrierung	11
4	Anwendungsbeispiele	12
4.1	Ermittlung der Regelparameter	12
4.1.1	Beispielapplikation	12
4.1.2	Pressparameter anpassen	13
4.1.3	Grenzwerte anpassen	13
4.1.4	Regelparameter mit Verfahren aus Kapitel 3.6 anpassen	14
4.2	Bewertungsverfahren erstellen	18
4.3	Weitere Verbesserungsbeispiele	19
4.3.1	Einschwingen verbessern	19
4.3.2	Aufzeichnungszeit verlängern	20
4.3.3	Stufenweise Erhöhen der Kraft	20
4.3.4	Stufenweise Verringern der Kraft	21

1 Verwendete Bauteile/Software

Typ/Name	Version Software/Firmware	Herstellungsdatum
Servo press kit YJKP	general	--
Application software YJKP (GSAY-A4-F0-Z4-1.3.3)	V1.3.3	--
Firmware controller (CECC-X)	V3.4.6	--
Firmware motor controller (CMMP-AS)	V4.0.1501.2.4	--

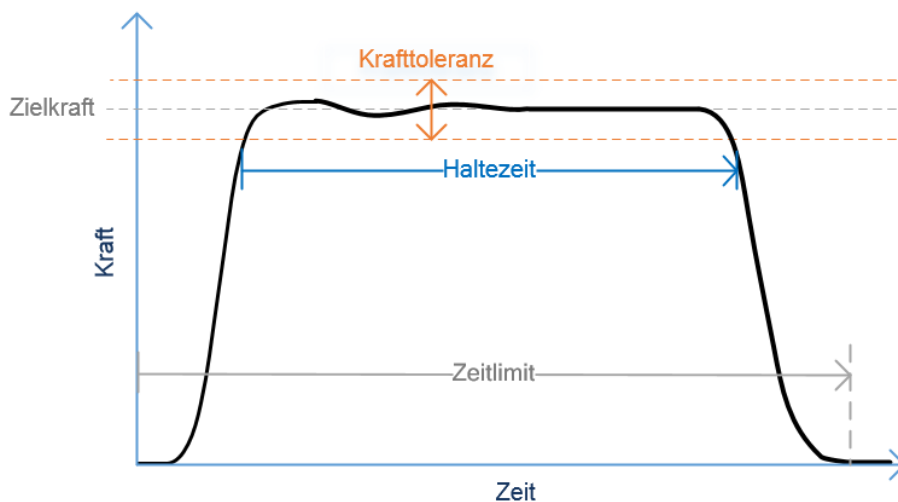
Tabelle 1.1: Verwendete Bauteile/Software

2 Eigenschaften

Mit der Kraftregelfunktion ist es möglich auf eine bestimmte Zielkraft zu regeln und diese über einen definierten Zeitraum zu halten.

Folgende Eigenschaften weist die Kraftregelung auf:

- Ist eine kontinuierliche Regelung.
- Es können positive und negative Kraftschwankungen ausgeglichen werden.
- Wird als Funktion im Sequenzer ausgewählt.
- Die Kraftregelfunktion kann mehrfach in einem Programm im Sequenzer genutzt werden.
- Es wird eine Haltezeit der Kraft definiert, die beginnt sobald die Krafttoleranz ($\pm 2\%$ bis $\pm 100\%$) erreicht wird.
- Es gibt die Limits maximale Position, maximale Kraft und maximales Zeitlimit, die während der gesamten Kraftregelfunktion überwacht werden.



- Es gibt die grafischen Darstellungen Kraft/Zeit [F/t] und Kraft/Weg [F/s] zur Analyse des Regelverhaltens und zur Bewertung des Prozess. Es können alle vorhandenen Bewertungsverfahren angewandt werden.
- Optional beinhaltet die Kraftregelfunktion das Fahrprofil *Geschwindigkeitsumschaltung*. Mit diesem kann die Prozesszeit optimiert werden.
- Die jeweiligen Geschwindigkeitslimits der Baugrößen gelten auch bei der Kraftregelung.
- Die maximale Aufzeichnungsdauer des Diagramms liegt bei 45 min pro Funktion. Je nach Aufzeichnungsdauer variiert die Abtastzeit zwischen 1 ms bis knapp 100 ms.

3 Parametrierung

3.1 Einflüsse

Bei der Parametrierung der Kraftregelung müssen unterschiedlichen Einflüsse berücksichtigt werden:

- **Geschwindigkeit:** Ist diese zu groß kann die Zielkraft überschritten und das Pressobjekt oder die Servopresse beschädigt werden.
- **Pressobjekt/Gestell:** Abhängig von der Steifigkeit des Pressobjekts müssen die Regelparameter und / oder die Geschwindigkeit angepasst werden.
- **Zielkraft:** Abhängig von der Zielkraft müssen die Regelparameter und / oder die Geschwindigkeit angepasst werden.

3.2 Pressparameter

- **Zielkraft [N]:** Die zu pressende Kraft.
- **Haltezeit [ms]:** Dauer wie lange die Kraft gehalten wird, nachdem sie den Toleranzbereich erreicht hat.
- **Geschw. [mm/s]:** Die maximal mögliche Geschwindigkeit beim Einpressvorgang.
Achtung: Die eingestellte maximale Geschwindigkeit wird nur bei positivem Kraftaufbau eingehalten.

Edit program

Step 1/4: Configure sequencer

No.	Function	Name
1	PM	POSITION_MODE
2	TARE	TARE
3	PM	POSITION_MODE
4	FC	FORCE_CONTROL
5	PM	POSITION_MODE
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

Function: Force control

Record: ☒

Control settings

Velocity switch

Limits

Target force: 400.00 N

Holding time: 2000 ms

Velocity: 1.00 mm/s

Actual force: 29.89 N

Actual position: 3.00 mm

Actual velocity: 0.00 mm/s

Tare: ☐ Tare

Offset: 0.00 N

Motion: ☐ Absolute, ☐ Relative, ☒ Jog

Velocity: 1.00 mm/s

Buttons: Cancel, Save, Next

Commissioning | **Program** | Operation | Diagnosis

Ready

Logout

3.3 Grenzwerte

Wenn eines der Limits (außer Krafttoleranz) überschritten wird, wird entweder die eingestellte „Fehlerreaktion“ ausgeführt oder abgebrochen. **Hinweis:** Es wird empfohlen die "Fehlerreaktion" zu aktivieren, sollte dies in der Applikation möglich sein.

- **max. Position [mm]:** Wenn die Position (absolut) überschritten wird, wird abgebrochen.
- **max. Kraft [N]:** Wenn die Kraft überschritten wird, wird abgebrochen.

Baugröße	bis 0.8 kN	bis 1.5 kN	bis 4 kN	bis 7 kN	bis 12 kN	bis 17 kN
Limit max. Kraft [kN]	0,84	1,575	4,2	7,35	12,6	17,85

- *Zeitlimit* [ms]: Gibt die maximal zulässige Dauer der Kraftregelung an. Wird die eingestellte Dauer überschritten, wird die Kraftregelung abgebrochen.
- *Krafttoleranz* [%]: Die maximale Abweichung von der Zielkraft, ab der diese als erreicht gilt und die Haltezeit beginnt. Ein späteres Verlassen des Toleranzbereichs hat keinen Einfluss.

Achtung: Keine Bewertungsmethode! Das Einhalten eines Toleranzbereichs muss ggf. separat geprüft werden.

The screenshot shows the 'Limits' dialog box within the 'Force control' settings. The dialog has a title bar 'Limits' and a 'Close' button. It contains four input fields: 'Max. position' (80.00 mm), 'Max. force' (800.00 N), 'Time limit' (50000 ms), and 'Force tolerance' (2 %). The dialog is highlighted with a red border. The background shows the 'Control settings' dialog with 'Function' set to 'Force control' and 'Record' checked.

3.4 Regelparameter

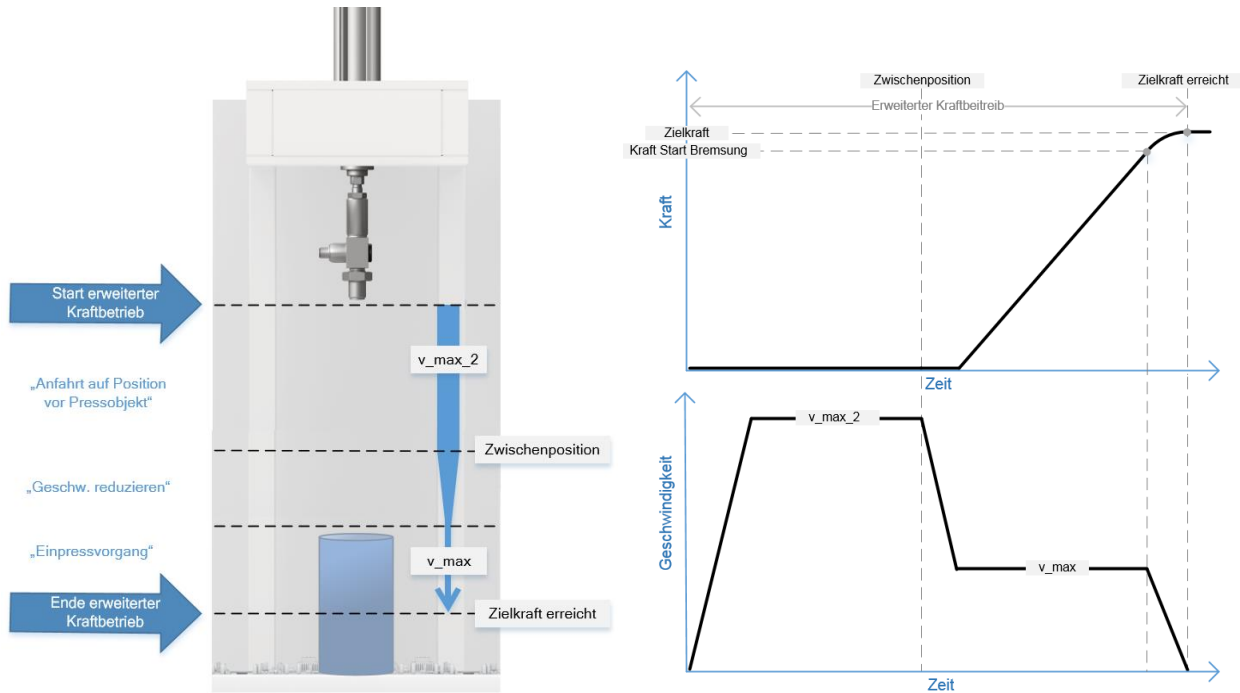
Die Kraftregelung besteht aus einer Vorsteuerung mit PI-Regler. Nur der I-Regler ist deaktivierbar. Mehr zur Parametrierung steht im nächsten Kapitel.

- *K_v*: Verstärkung der Vorsteuerung
- *K_p*: Proportionalverstärkung
- *K_i*: Verstärkung des Integrators
- *Act_i*: Aktivierung des Integrators
- *Standardparameter*: Für jede Baugröße der Servopresse gibt es Standardparameter für die Regelparameter. Diese gelten lediglich als Orientierungswerte.

The screenshot shows the 'Control settings' dialog box within the 'Force control' settings. The dialog has a title bar 'Control settings' and buttons for 'Close', 'Default parameters', 'Cancel', 'Save', and 'Next'. It contains three input fields: 'Kv' (0.850000), 'Kp' (1.000000), and 'Ki' (1.000000). The 'Ki' field has a checkbox next to it, which is checked. The dialog is highlighted with a red border. The background shows the 'Control settings' dialog with 'Function' set to 'Force control' and 'Record' checked.

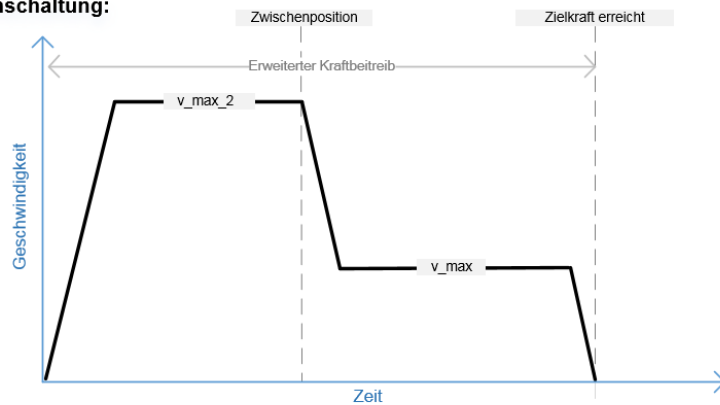
3.5 Geschwindigkeitsumschaltung (optional)

Die Geschwindigkeitsumschaltung kann optional in der Kraftregelfunktion aktiviert werden. Mit dieser kann eine Zwischenposition (z.B. Position kurz vor dem Pressobjekt) mit einer hohen Geschwindigkeit ($v_{\max_2}$) angefahren werden. Ab dort wird auf die eingestellte Geschwindigkeit ($v_{\max}$) abgebremst, ohne zu stoppen.

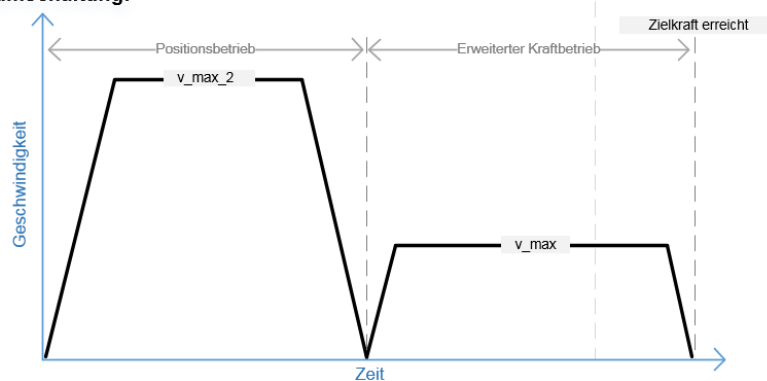


Mit diesem "Überschleifen" der Geschwindigkeit kann die Zykluszeit gegenüber einem separaten Positionierschritt verringert werden. Dies wird in den folgenden Diagrammen veranschaulicht:

Mit Geschwindigkeitsumschaltung:



Ohne Geschwindigkeitsumschaltung:



Parameter:

- *Act:* Aktivierung der Geschwindigkeitsumschaltung
- *Zwischenposition* [mm]: An der Position wird begonnen die Geschwindigkeit von $v_{\max_2}$ auf $v_{\max}$ zu reduziert.
- *Anfahrtsgeschw.* [mm/s]: Geschwindigkeit ab Beginn der Kraftregelung bis zur Zwischenposition ($v_{\max_2}$)

The screenshot shows a 'Velocity switch' dialog box with a red border. It contains the following elements:

- Activate:** A blue toggle switch that is currently turned on.
- Middle position:** A text input field containing '16.00 mm'.
- Approach velocity:** A text input field containing '30.00 mm/s'.
- Buttons:** A 'Close' button is located below the input fields. At the bottom of the dialog, there are three buttons: 'Cancel', 'Save', and 'Next'.

Hinweis: Erst beim Erreichen der Zwischenposition wird die Geschwindigkeit verringert.

Bei der Festlegung der Zwischenposition muss darauf geachtet werden, dass diese nicht zu nah oder auf dem Pressobjekt ist. Sonst kann es bei einer zu hohen Anfahrtsgeschwindigkeit ($v_{\max_2}$) zur Beschädigung der Presse und/oder des Bauteils kommen.

3.6 Verfahren zur Parametrierung

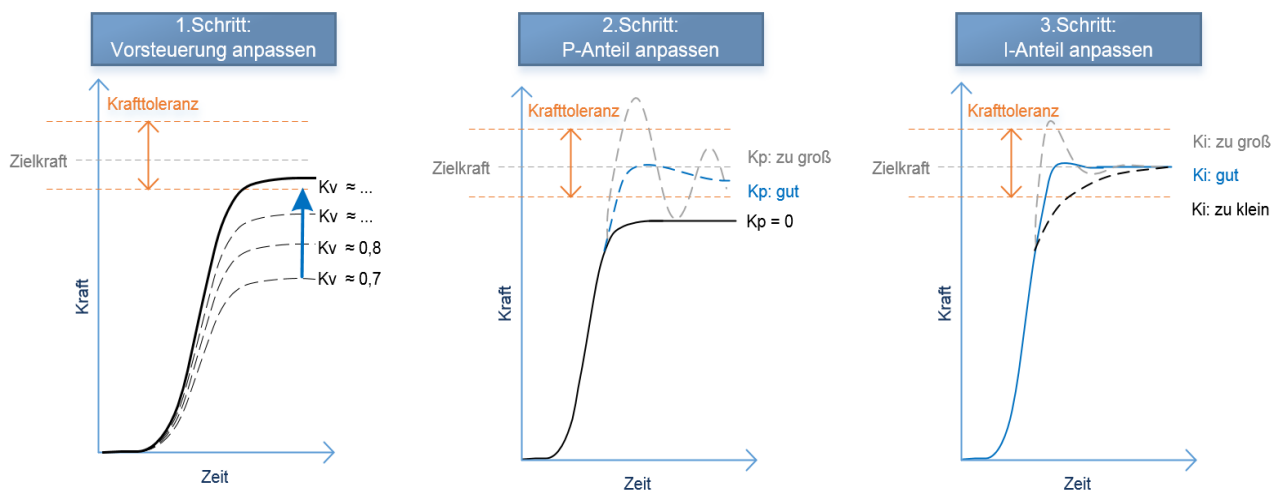
Abhängig von der Baugröße der Servopresse gibt es unterschiedliche Standardparameter als grobe Richtwerte. Falls diese nicht zum gewünschten Ergebnis führen, kann mit den folgenden drei Schritten der Regler optimiert werden.

Dazu werden die drei Parameter K_v , K_p und K_i nacheinander eingestellt. Anhand des Kraft-Zeit Diagramms können diese angepasst werden. Dazu wird immer wieder eine neue Referenzkurve mit angepassten Werten aufgezeichnet, bis das gewünschte Ergebnis erreicht ist.

Falls die Zielkraft nicht im Toleranzbereich liegt, was insbesondere zu Beginn der Parametereinstellung der Fall sein kann, muss gewartet werden bis das Zeitlimit abgelaufen ist oder manuell abgebrochen werden.

Nach Möglichkeit sollte die Einpressgeschwindigkeit so gewählt werden, dass diese der gewünschten Zykluszeit nahe kommt. Damit werden nachträgliche Änderungen der Regelparameter reduziert oder vermieden.

Die folgenden drei Schritte werden so lange wiederholt, bis die Regelparameter zufriedenstellend sind. Ein Anwendungsbeispiel folgt in Kapitel 4.



- 1.Schritt:**
 Anhand der Zielkraft wird intern ein Soll-Strom berechnet. Mit dem Vorsteuerungs-Parameter K_v wird dieser verstärkt oder geschwächt. In der Regel sollte dieser Wert zwischen 0,5 und 1,5 liegen. Zu Beginn sollten die folgenden Parameter eingestellt werden: $K_v = 0.5$, $K_p = 0$, $K_i = 0$. Dann wird K_v langsam erhöht, bis sich ein Wert knapp unter der Zielkraft einstellt. Es sollte vermieden werden, dass nur mit der Vorsteuerung die Zielkraft erreicht wird. Denn sonst müssen die Regelparameter K_p und K_i zu gering gewählt werden und dies kann zur Verschlechterung der Regelung führen.
- 2.Schritt:**
 Nun wird K_p von 0 beginnend langsam erhöht. Es sollte fast kein Überschwingen auftreten.
- 3.Schritt (optional):**
 Mit der Vorsteuerung und dem P-Anteil bleibt eine bleibende Regelabweichung zur Zielkraft. Muss diese noch ausgeglichen werden, kann der I-Anteil verwendet werden. Der I-Anteil muss aktiviert werden und wird von 0 beginnend langsam erhöht.

Hinweis: Der I-Anteil wird erst zugeschaltet, wenn 99 % des Soll-Stroms der Vorsteuerung erreicht ist.

4 Anwendungsbeispiele

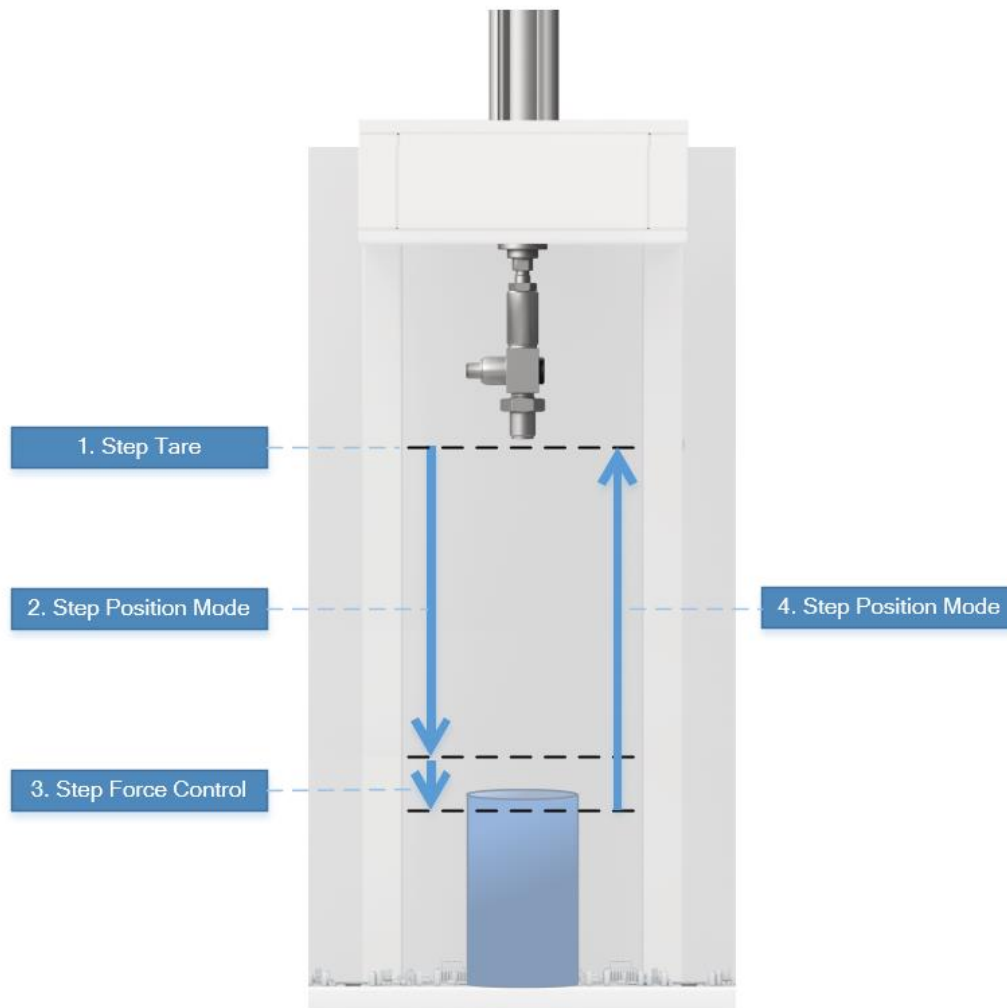
Im Folgenden werden unterschiedliche Möglichkeiten aufgezeigt, den Pressprozess mit einer Kraftregelfunktion zu parametrieren und zu verbessern.

4.1 Ermittlung der Regelparameter

4.1.1 Beispielapplikation

Es soll mit einer Servopresse der Baugröße bis 800 N auf einen Metallblock mit 400 N gepresst werden. Die Kraft soll über eine Zeit von 2000 ms gehalten werden.

Zur Ermittlung der Regelparameter wird ein einfaches Programm aus 4 Schritten erstellt.



An der Ausgangsposition wird der Kraftsensor zunächst auf einen Initialwert tariert. Danach wird vor das Bauteil positioniert und von dort mit der Kraftregelung gepresst. Wenn der Pressvorgang fertig ist, wird auf die Ausgangsposition zurück verfahren.

4.1.2 Pressparameter anpassen

- Im „Schritt 1/4: Sequenzer konfigurieren“ werden die Parameter für die Kraftregelfunktion eingestellt:

Edit program

Step 1/4: Configure sequencer

No.	Function	Name
1	TARE	TARE
2	PM	POSITION_MODE
3	FC	FORCE_CONTROL
4	PM	POSITION_MODE
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

Insert step

Delete step

Copy step

Insert copied step

Configure failure reaction

Function: Force control

☒ Record

Control settings

Velocity switch

Limits

Target force: 400.00 N

Holding time: 2000 ms

Velocity: 1.00 mm/s

Cancel Save Next

Commissioning **Program** Operation Diagnosis

- Das Aufzeichnen vom Schritt Kraftregelung muss aktiviert sein, um später die Regelparameter anhand der aufgezeichneten Kurve anpassen zu können.
- Die Zielkraft von 400 N und die Haltezeit von 2000 ms wird eingestellt.
- Es wird empfohlen zu Beginn die Geschwindigkeit Anwendungsnah und eher etwas zu niedrig einzustellen. Bei Bedarf kann diese später angepasst werden.

4.1.3 Grenzwerte anpassen

Function: Force control

☒ Record

Control settings

Limits

Max. position: 35.00 mm

Max. force: 450.00 N

Time limit: 4000 ms

Force tolerance: 2 %

Close

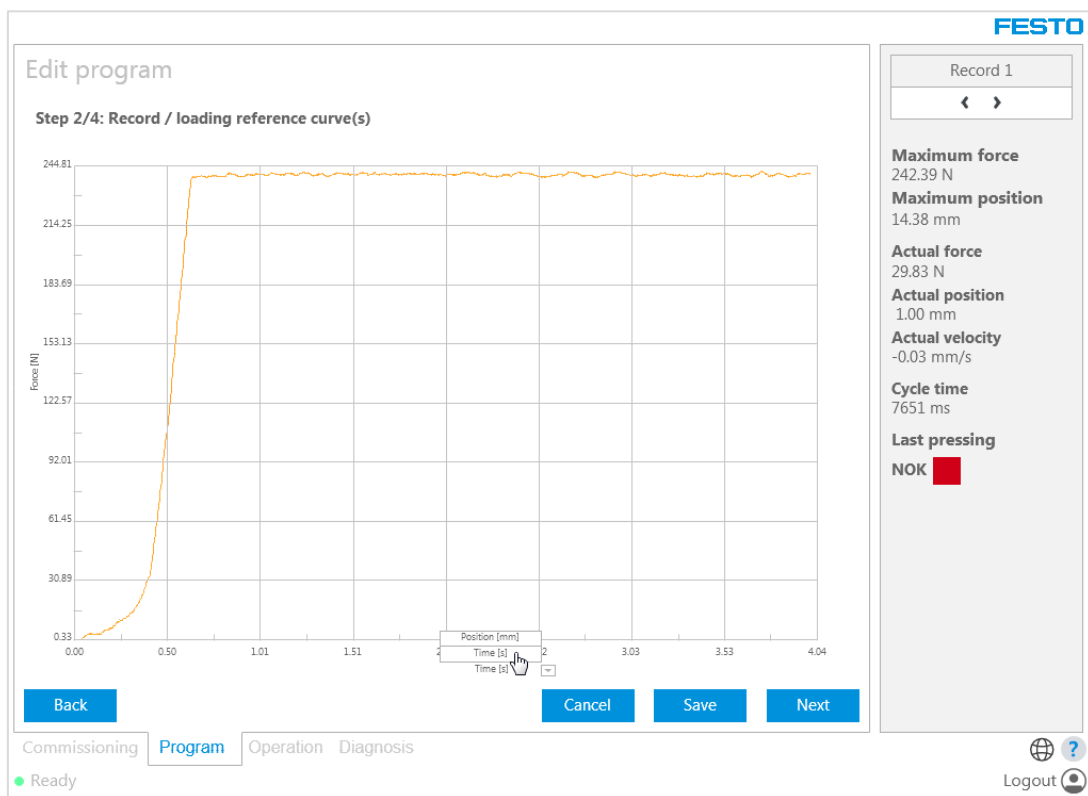
Cancel Save Next

- Abhängig vom mechanischen Aufbau und der Anwendung müssen die Grenzwerte angepasst werden.
- Wichtig:** Die Krafttoleranz ist nur für den Beginn der Haltezeit zuständig. Es ist kein Bewertungskriterium für die eigentliche Pressung.

4.1.4 Regelparameter mit Verfahren aus Kapitel 3.6 anpassen

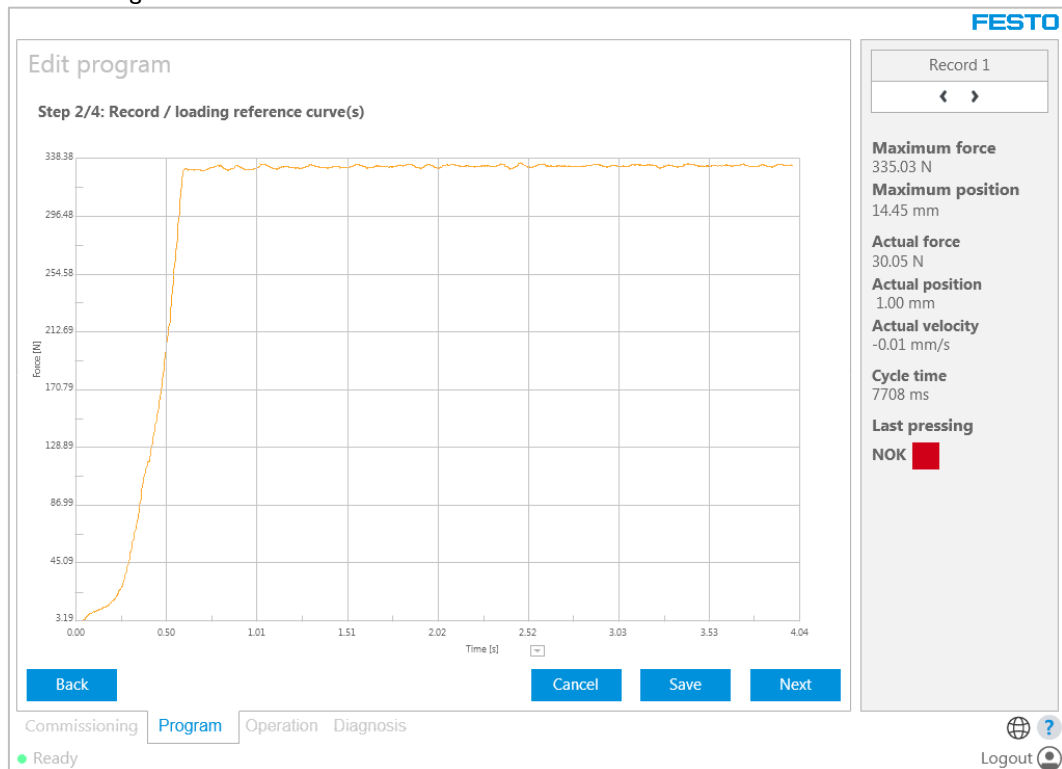
- Als Erstes wird nur Kv eingestellt mit dem Wert 0.5 :

- Alle Parameter sind eingestellt worden. Nun wird im „Schritt 2/4: Referenzkurve aufzeichnen/laden“ eine Referenzkurve aufgenommen. Falls die Zielkraft nicht erreicht wird, muss das Zeitlimit abgewartet oder manuell abgebrochen werden. Zum Analysieren wird das Kraft-Zeit Diagramm betrachtet:



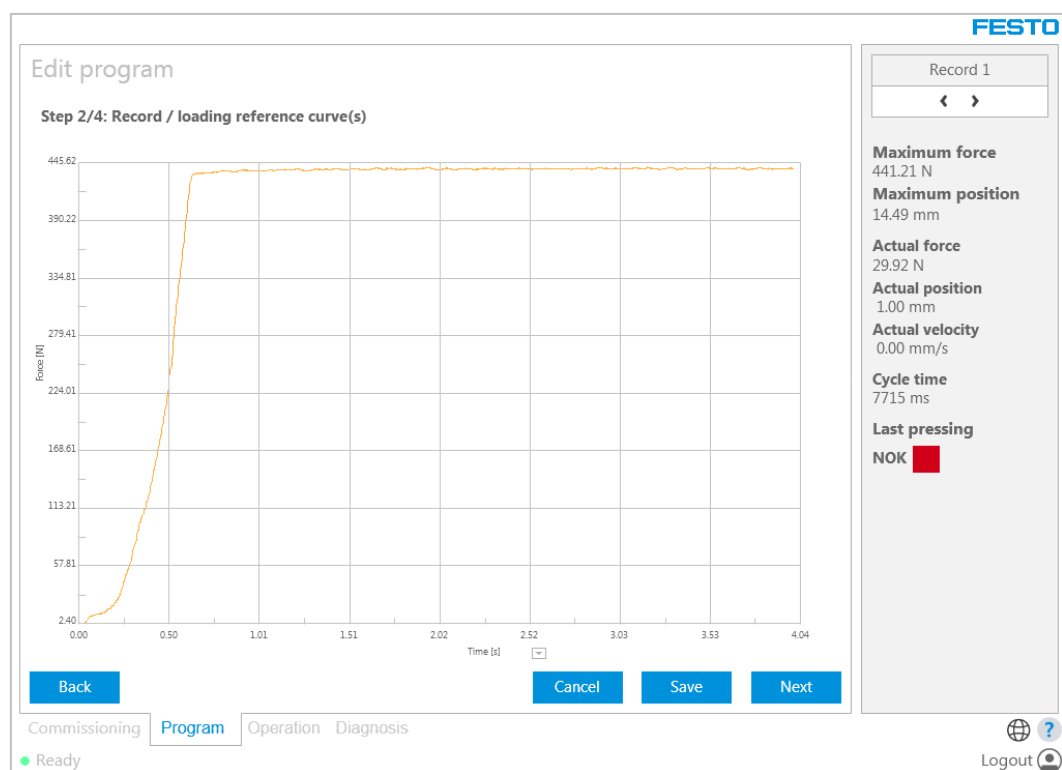
- Im Diagramm ist zu sehen, dass eine Kraft von ca. 242 N erreicht wird. Als Nächstes wird mit „Zurück“ zum „Schritt 1/4: Sequenzer konfigurieren“ gegangen und dort der Wert für Kv erhöht.
- Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis sich beim Einschwingen der Kraft ein Wert knapp unter der Zielkraft erreicht wird.

- Kraft-Zeit Diagramm mit $K_v = 0.7$ erreicht ca. 335 N :



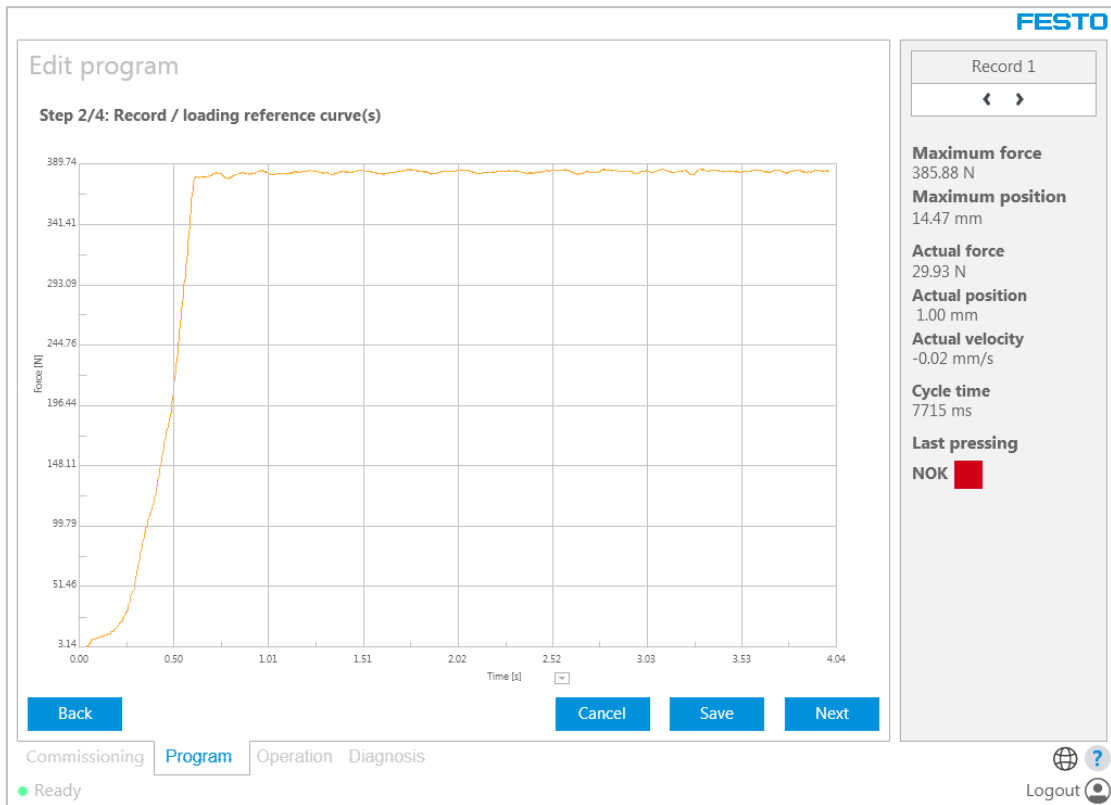
→ K_v muss weiter erhöht werden.

- Kraft-Zeit Diagramm mit $K_v = 0.9$ erreicht ca. 441 N :



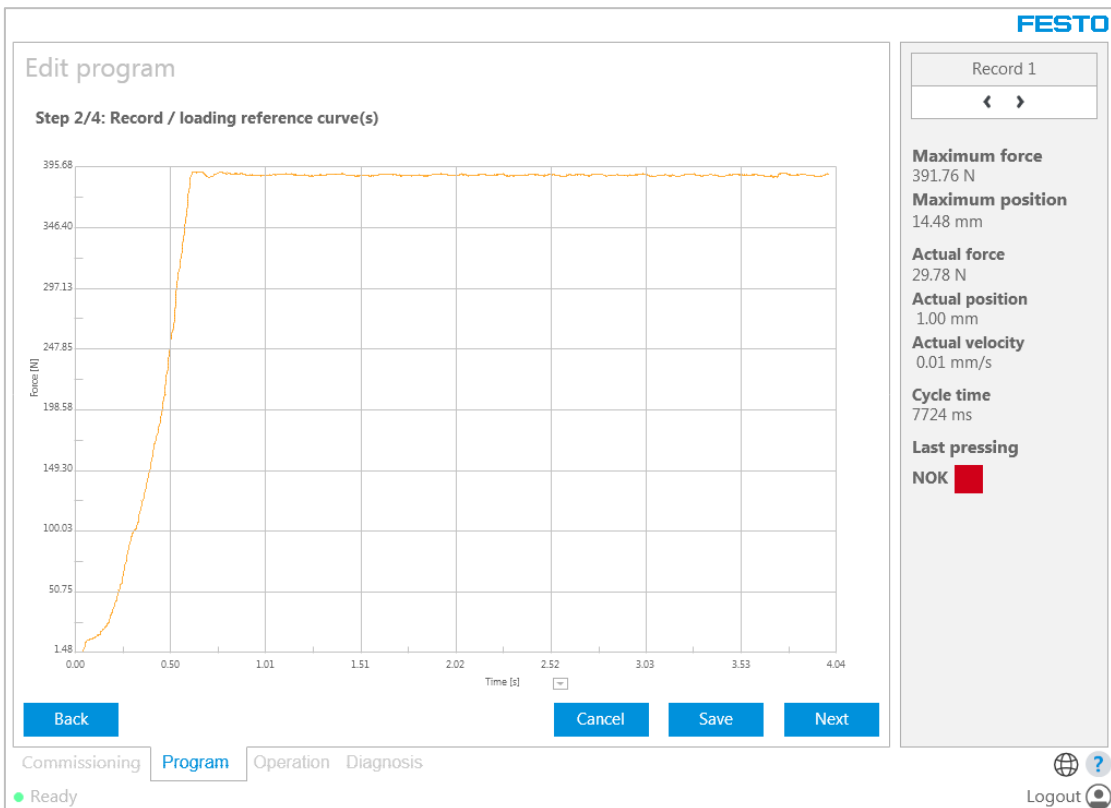
→ K_v muss verringert werden.

- Kraft-Zeit Diagramm mit $K_v = 0.8$ erreicht ca. 385 N :



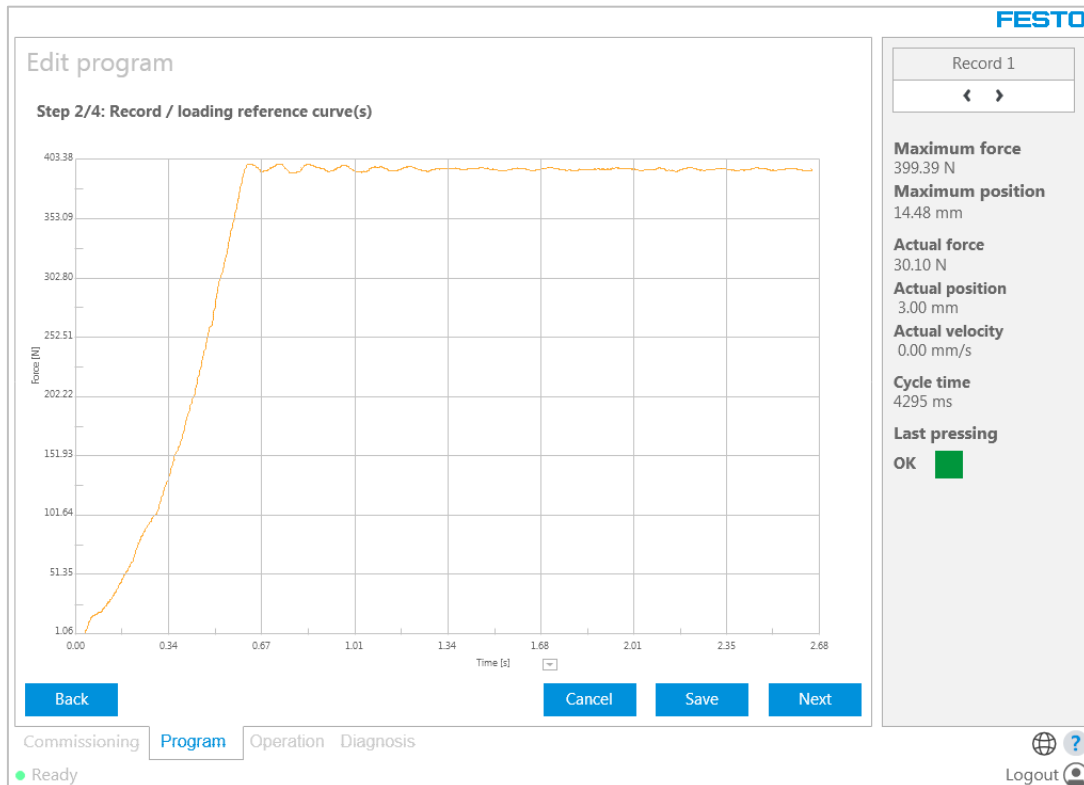
→ K_v nähert sich der Zielkraft gut an. Nun kann K_p eingestellt werden.

- Kraft-Zeit Diagramm mit $K_v = 0.8$ und $K_p = 0.5$ erreicht ca. 391 N :



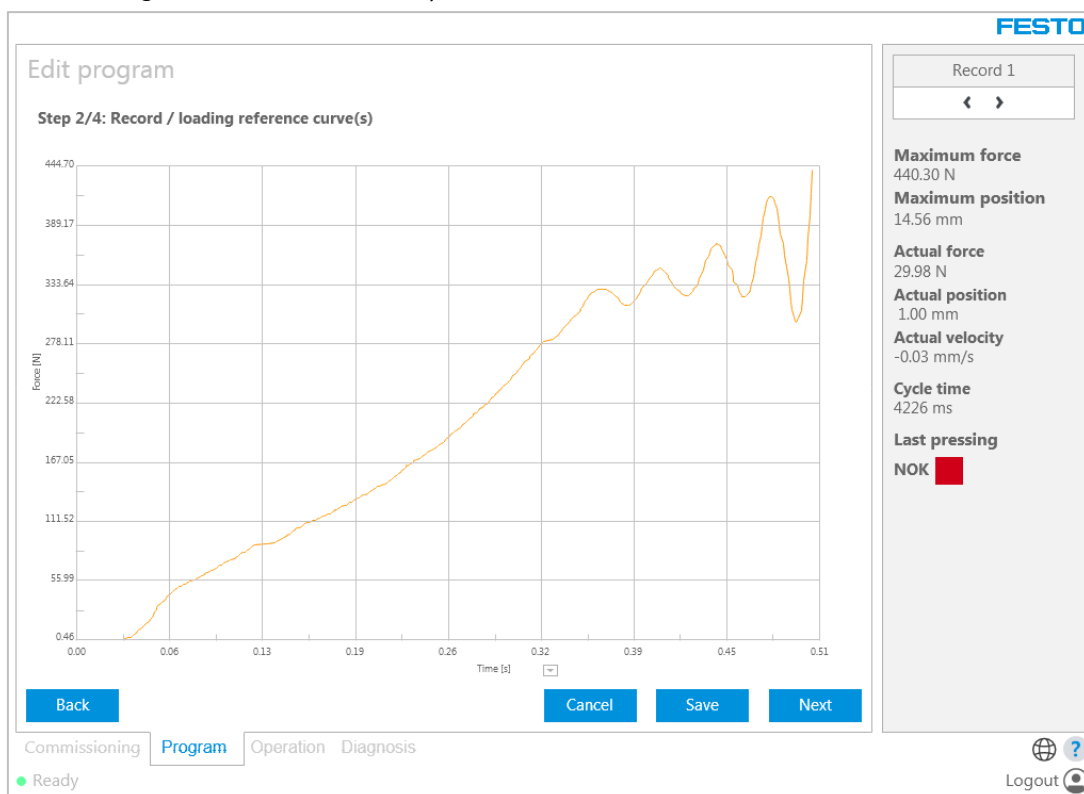
→ K_p muss schrittweise erhöht werden.

- Kraft-Zeit Diagramm mit $K_v = 0.8$ und $K_p = 1$ erreicht ca. 399 N :



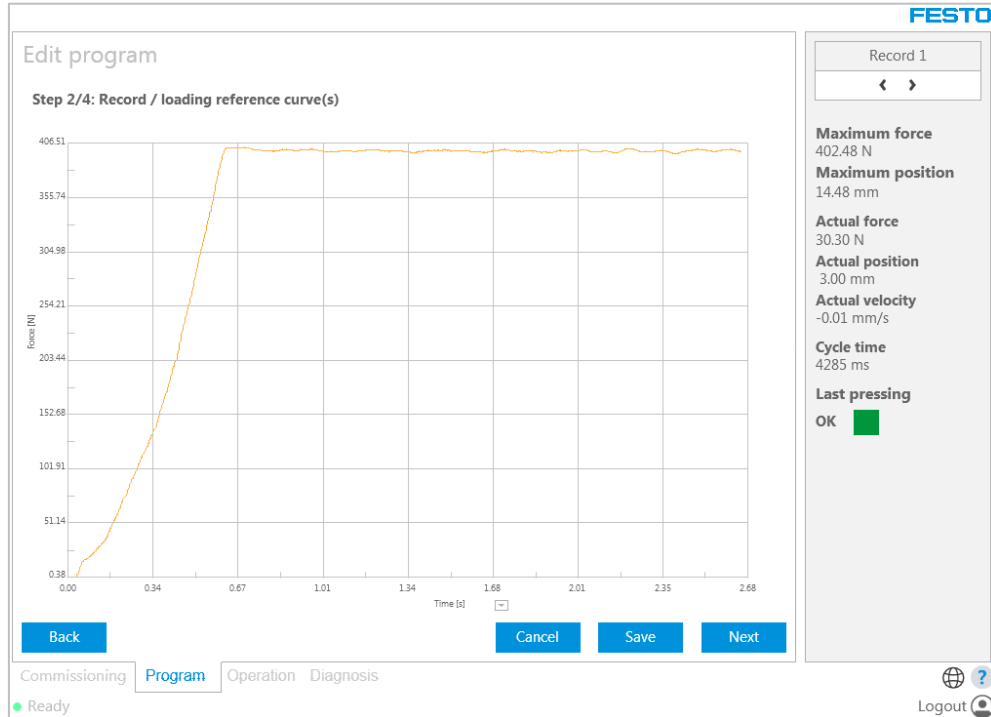
→ Die Zielkraft wird mit fast keinem Überschwingen erreicht. Nun kann optional noch K_i eingestellt werden. Dieses hilft eine die Zielkraft bei Kraftschwankungen noch besser zu halten.

- Beispiel für zu hohes K_p :
Kraft-Zeit Diagramm mit $K_v = 0.8$ und $K_p = 6$:



→ Durch das zu hohe K_p wird der Regler instabil und fängt an zu schwingen. Durch den Grenzwert „maximale Kraft“ wird abgebrochen.

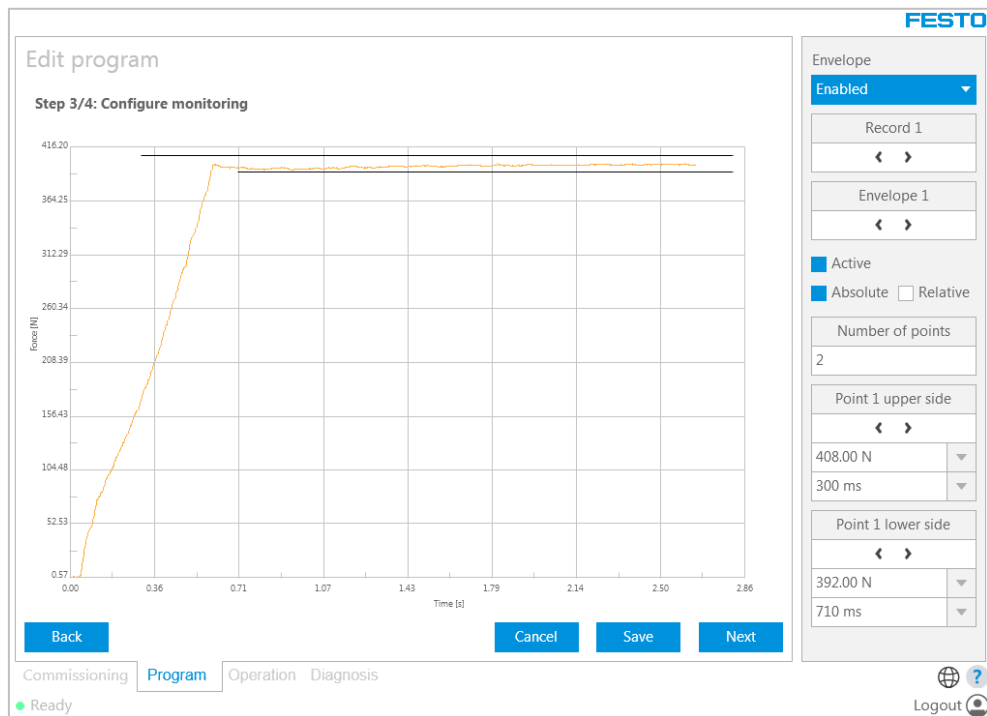
- Kraft-Zeit Diagramm mit $K_v = 0.8$, $K_p = 2$ und $K_i = 5$ erreicht ca. 402 N :



- ➔ Mit K_i kann eine bleibende Regelabweichung ausgeglichen werden. Es sollte langsam erhöht werden, bis das gewünschte Regelverhalten eintritt.

4.2 Bewertungsverfahren erstellen

Es gibt die Möglichkeit im Kraft-Weg Diagramm oder im Kraft-Zeit Diagramm Bewertungsverfahren einzusetzen. Um das Erreichen und Halten der Zielkraft zu überwachen, wird im folgenden Beispiel das Kraft-Zeit Diagramm genommen und das Bewertungsverfahren „Hüllkurve“ verwendet:

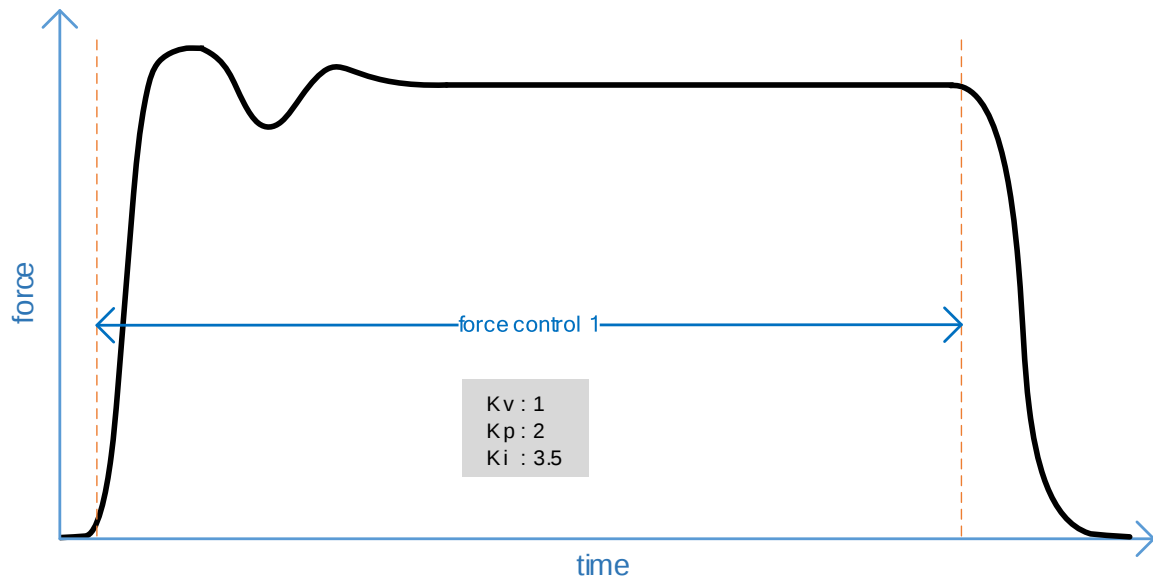


- ➔ Mit der Hüllkurve wird überwacht, ob eine Toleranz von $\pm 2\%$ der Zielkraft eingehalten wird.
- ➔ Es können weitere Bewertungsverfahren hinzugefügt und falls nötig die Regelparameter weiter optimiert werden.

4.3 Weitere Verbesserungsbeispiele

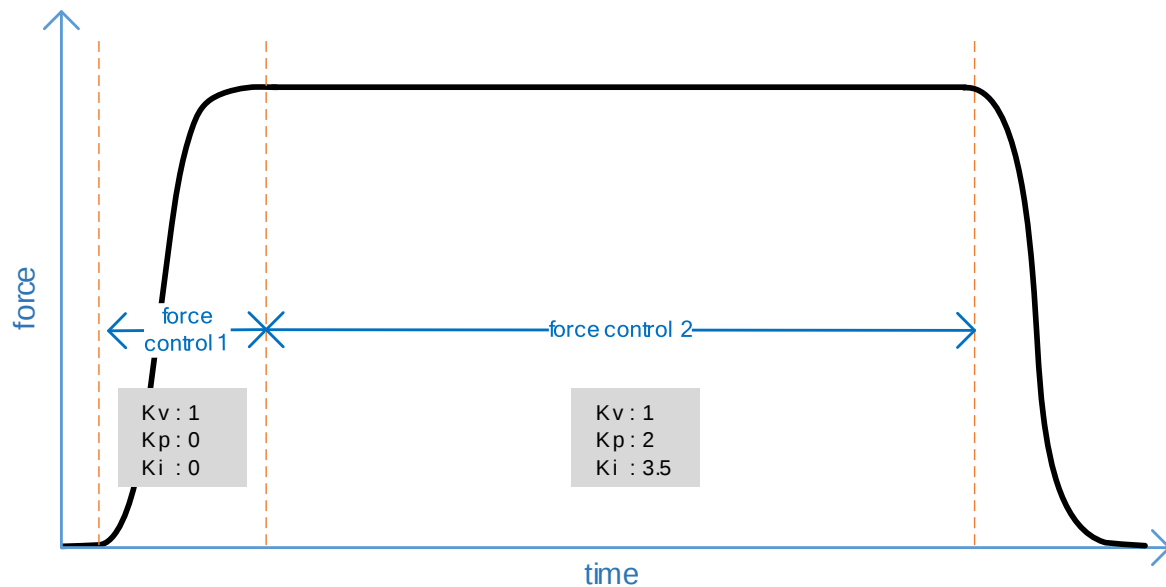
4.3.1 Einschwingen verbessern

Um die Anforderung an den Pressprozess zu erreichen, kann der Einschwingvorgang mit einer zweiten Kraftregelfunktion verbessert werden.



Damit das Überspringen reduziert wird, kann eine Kraftregelfunktion nur mit Vorsteuerung und sehr geringer Haltezeit verwendet werden. In der zweiten Kraftregelfunktion wird K_p und K_i je nach Bedarf zugeschaltet.

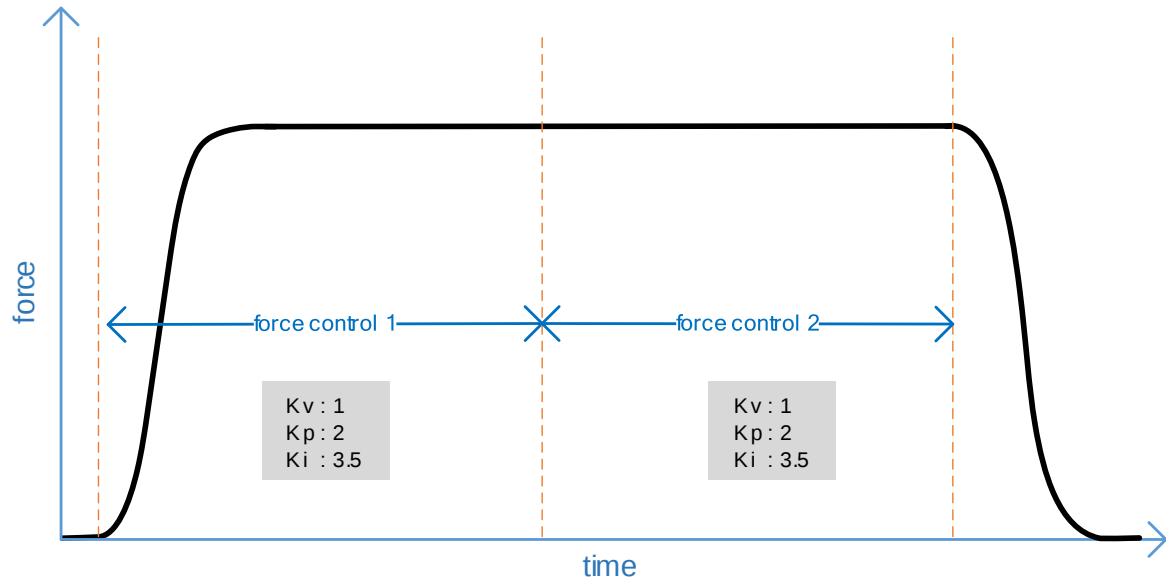
Alternativ kann auch mit dem „Erweiterten Kraftbetrieb“ (anstelle des force control 1) auf die Zielkraft gepresst und dann in die Kraftregelfunktion gewechselt werden.



4.3.2 Aufzeichnungszeit verlängern

Die Haltezeit für einen Schritt mit der Kraftregelfunktion ist begrenzt. Um diese zu verlängern, können mehrere Schritte mit einer Kraftregelfunktion hintereinander verwendet werden.

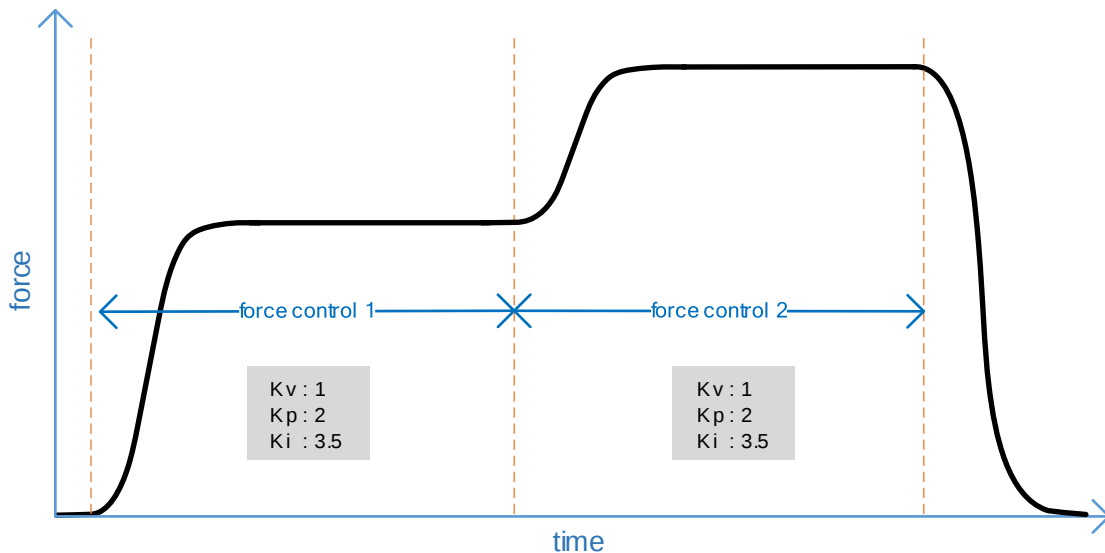
Der erste Schritt der Kraftregelfunktion kann in der Regel für die Folgenden übernommen werden. Die Geschwindigkeitsumschaltung sollte bei den späteren Schritten deaktiviert werden.



4.3.3 Stufenweise Erhöhen der Kraft

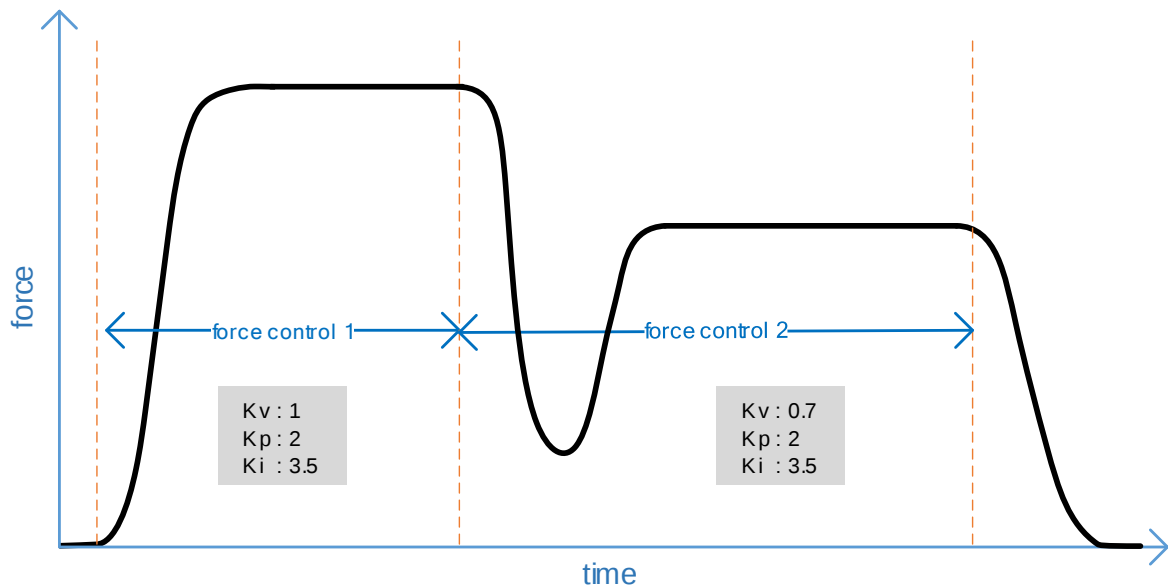
Wenn eine stufenweise Erhöhung der Kraft erforderlich ist, kann dies mit mehreren hintereinander geschalteten Kraftregelfunktionen realisiert werden. Dazu müssen ggfls. die Parameter der Kraftregelfunktionen in den folgenden Schritten angepasst werden.

Alternativ kann auch mit dem „Erweiterten Kraftbetrieb“ auf die Zielkraft gepresst und dann in die Kraftregelfunktion gewechselt werden.



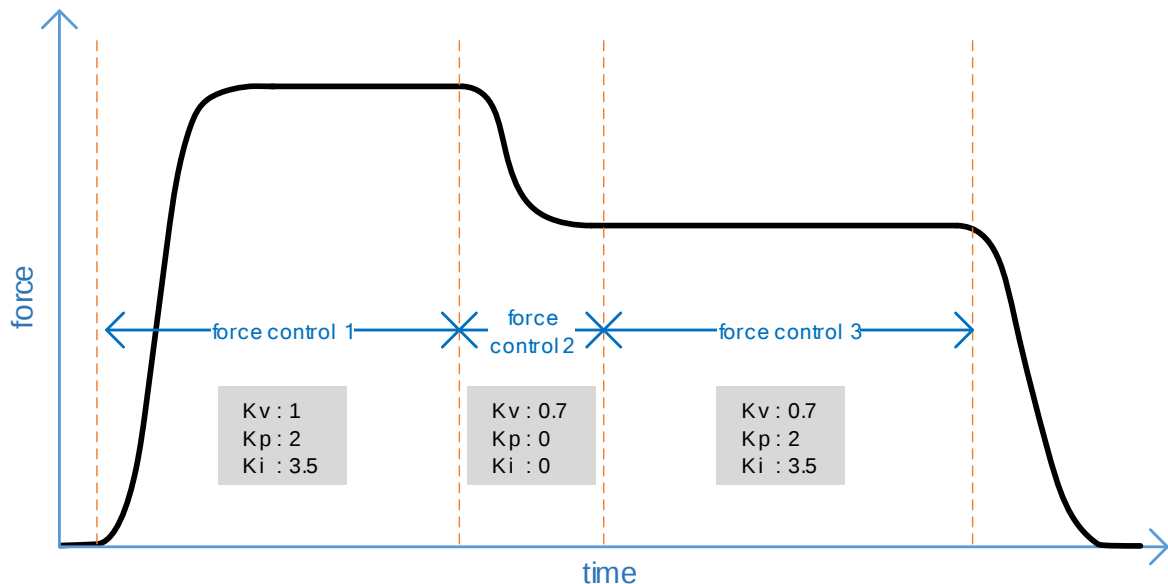
4.3.4 Stufenweise Verringern der Kraft

Wenn eine stufenweise Verringerung der Kraft erforderlich ist, kann dies mit mehreren hintereinander geschalteten Kraftregelfunktionen realisiert werden. Jedoch kann eine zu große Kraftabnahme auftreten.



Um diese Kraftabnahme zu verhindern, muss eine zusätzliche Kraftregelfunktion eingefügt werden. Diese verwendet nur die Vorsteuerung und verhindert dadurch eine zu große Kraftabnahme. Dabei müssen die Parameter der Kraftregelfunktion individuell angepasst werden.

Alternativ kann auch mit dem „**Erweiterten Kraftbetrieb**“ (anstelle des force control 2) auf die Zielkraft gepresst und dann in die Kraftregelfunktion gewechselt werden.



Achtung: Die eingestellte maximale Geschwindigkeit wird nur bei einem positiven Kraftaufbau eingehalten. Dagegen wird beim Erweiterten Kraftbetrieb auch beim Reduzieren einer Kraft die maximale Geschwindigkeit eingehalten.