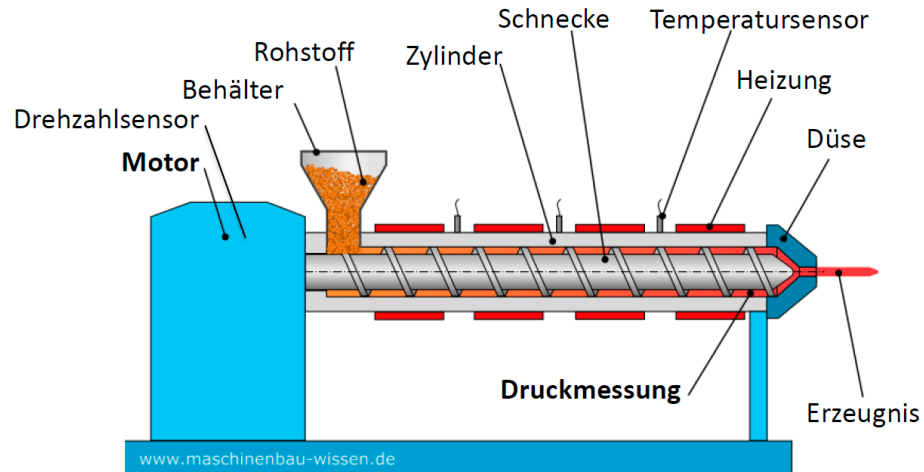


# Extruder-Regler Optimierung mit dem Analytik-Tool Proficy CSense



Extruder finden in zahlreichen Branchen Anwendung, beispielsweise in der Lebensmittelindustrie zur Erzeugung von Nudeln, Keksen, Knabbergebäck oder in der Kunststoffindustrie für die Herstellung von Rohren, Autoreifen und Folien [1]. Stillstandzeiten in der Produktion aufgrund Ausfälle der Extruder führen zu hohen Kosten und schlecht eingestellte Regelkreise des Extruders führen zu Ausschuss in der Produktion. Zusammen mit den steigenden Rohstoffpreisen stellt diese eine große Herausforderung für die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen dar. In dem Beitrag wird gezeigt, wie mit dem Analytik-Werkzeug Proficy CSense die Druckregelung an einem Ein-Schnecken-Extruder optimiert wurde.



## Problemstellung

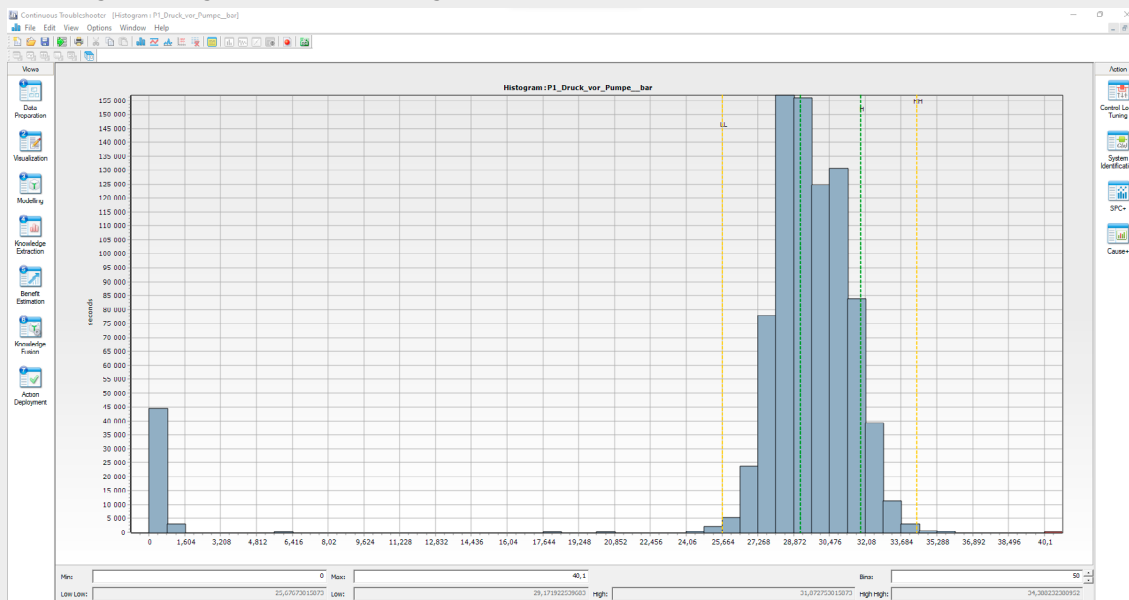
An dem betroffenen Ein-Schnecken-Extruder, traten Druckschwankungen auf und der Extruder-Motor musste mehrmals ersetzt werden, da dieser mehrfach in Überlast betrieben wurde. Zur Druckregelung des Extruders wurde ein PID-Regler verwendet, dessen Parameter nach der initialen Inbetriebnahme nicht weiter adaptiert wurden. Die Regelung der Heizzonen erfolgte unabhängig von der Druckregelung.

## Lösung

Um die Regelung des Ein-Schnecken-Extruders zu optimieren, wurde entlang der Optimierungsmethode von Proficy CSense vorgegangen, welche sich in folgende Phasen gliedert: Data Preparation, Visualization, Modelling, Knowledge Extraction, Benefit Estimation, Knowledge Fusion und Action Deployment.

**Data Preparation:** Im ersten Schritt der Data Preparation wurden die CSV-Daten, welche von der SPS-Steuerung des Extruders ausgelesen wurden für die weitere Analyse vorbereitet, Datenkanäle umbenannt, ein neuer Zeitstempel aus dem Datum und Zeitfeld erzeugt und nicht notwendige Daten entfernt. Weiters wurden für die Datenkanäle die Kategorien festgelegt basierend auf dem Aufbau des Extruder-Regelkreises (Target: Druck, Adjustable: Motordrehzahl).

Abbildung 1: Histogramm Druckmessung im Extruder für Solldruck 30 Bar.

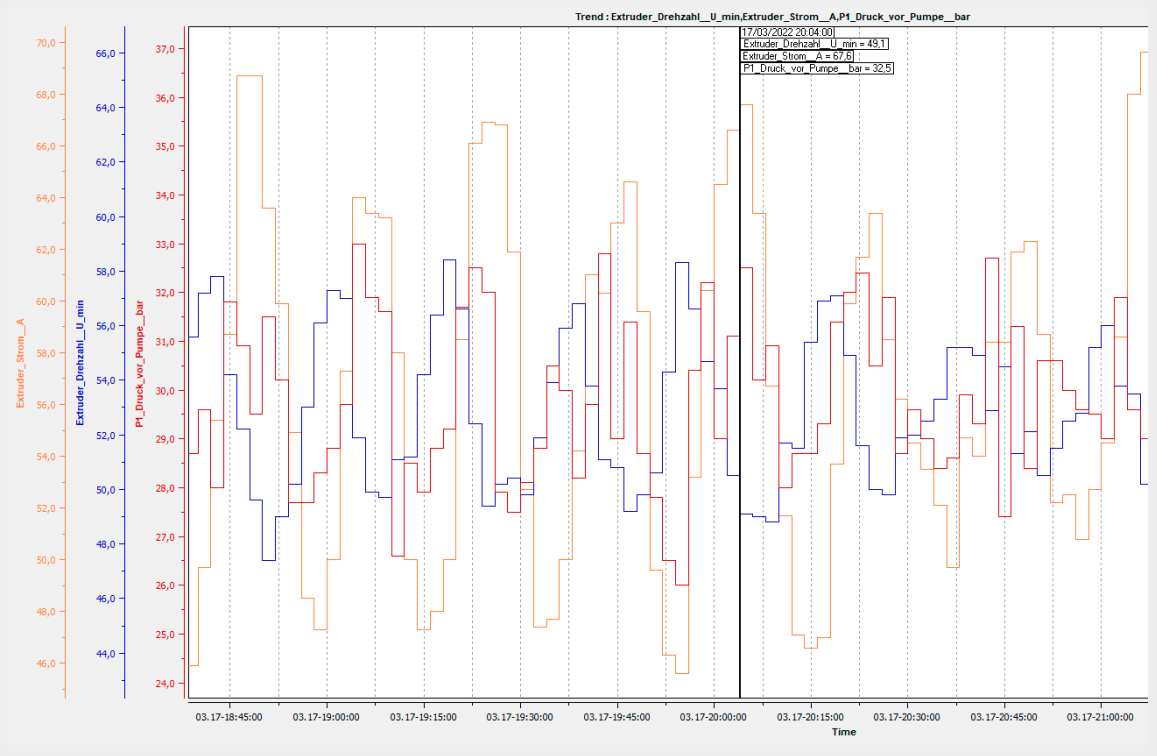


## Visualization:

Im nächsten Schritt wurden die Daten mithilfe der umfangreichen Darstellungsmöglichkeiten analysiert.

Im Histogramm in Abb. 1 wird der Druck im Extruder für den Sollwert von 30 Bar dargestellt.

Abbildung 2: Trenddarstellung Druck, Drehzahl und Stromaufnahme.



Weiters wurde der zeitliche Verlauf des Drucks, der Drehzahl und der Stromaufnahme in einem Trend dargestellt um weitere Erkenntnisse zu erlangen.

Hierbei wird der periodische Signalverlauf der Größen und die zeitliche Verschiebung der Größen sichtbar (siehe Abb. 2).

Der Zeitversatz bzw. die Totzeit zwischen Änderung der Stellgröße und Auswirkung auf die Regelgröße ist in der Regelung zu berücksichtigen, desto exakter dieser Zeitversatz bestimmt wird, desto genauer kann die Regelung eingestellt werden. Um den Zeitversatz der Größen im Bezug zur Regelgröße (Druck im Extruder) zu ermitteln, wurde die Auto-Lag-Konfiguration in Proficy CSense verwendet, welche einen Zeitversatz zwischen Drehzahl und Druck von zwei Minuten lieferte.

Um den Prozess des Extruders besser zu verstehen und um Einflüsse auf den Regelkreis darzustellen, wurde die Field-Korrelation-Matrix verwendet. Diese zeigt durch die farbliche Hinterlegung die Korrelationen zwischen den Messwerten an. Dadurch wurden neue Erkenntnisse über den Einfluss der Temperatur gewonnen und gewünschte Zusammenhänge wie die Korrelation von Druck im Extruder mit der Extruderdrehzahl bestätigt. Mit der Korrelation-Matrix entfällt die aufwändige, manuelle Ermittlung der Zusammenhänge.

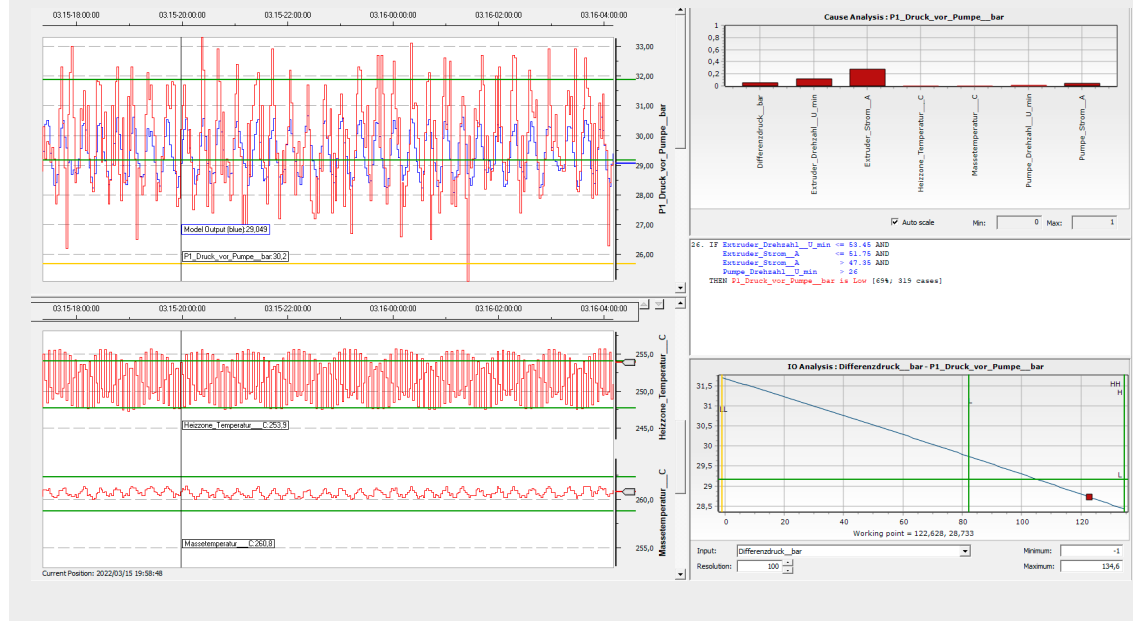
Die ermittelten Korrelationen und der Zeitversatz führten zu dem Erkenntnis, dass der Regelkreis mit dem bestehenden PID-Regler nicht zufriedenstellend optimiert werden kann, da die große Totzeit im Bezug zur Prozessdauer immer zu einem Unter-/Überschwingen in der Regelung führen wird [2]. Eine Lösung hierfür ist anstatt des verzögerten Druckmesswertes den vorhergesagten Druck zu verwenden, dafür muss ein Vorhersagemodell bzw. ein Digitaler-(Prozess)-Zwilling erstellt werden, dies kann durch Einsatz eines Smith-Predictors [2] oder einer Model-Prädiktiven-Regelung (MPC) [3] welche, die mathematische Modellbildung des Systems erfordert, oder automatisiert durch Einsatz von Machine Learning erfolgen. Dies wird im nächsten Schritt mit Proficy CSense gezeigt.

**Modelling:** Im Modelling Schritt in Proficy CSense wurde das Modell der Druckregelung mit Machine Learning (Methode: Überwachtes Lernen) erzeugt. Dieses Modell soll aus den definierten Eingangsgrößen den Druckmesswert vorhersagen. Für die Modellbildung wurden die Eingangsgrößen (Temperaturen, Drehzahlen) und die Ausgangsgröße (Druck im Extruder) festgelegt und die Software erstellt basierend auf den Daten den Digitalen-Zwilling zur Vorhersage des Drucks. Nach der Modellerstellung wird die Modellgenauigkeit anhand der historischen Daten und mittels automatisch erzeugter Testfälle evaluiert. Zusätzlich zu diesem Modell wird ein regelbasiertes Modell erstellt, welches basierend auf den Eingangswerten den Druckbereich normal, niedrig und hoch vorhersagt. Dazu wurden im Histogramm die Grenzwerte für den Druck definiert.

Abbildung 3: Knowledge Extraction.

### Knowledge Extraction:

Nachdem eine Modellgenauigkeit von 96% erzielt wurde, kann in CSense im Schritt Knowledge Extraction der Prozesszwilling zur Simulation verwendet werden, um die Ursachen für Druckschwankungen zu untersuchen. Die Eingangsgrößen des digitalen Zwillings können hierbei verändert werden, um zu prüfen, inwieweit sich diese Änderung auf den Druck auswirkt (siehe Abb. 3). Zusätzlich liefert das regelbasierte Modell die Bedingungen wann der Druck im Normbereich, an der unteren Grenze, oder an der oberen Grenze liegt. Die Betrachtung der Bereiche mit zu hohem Druck bestätigten, dass die Drehzahl in diesem Bereich zu hoch war.

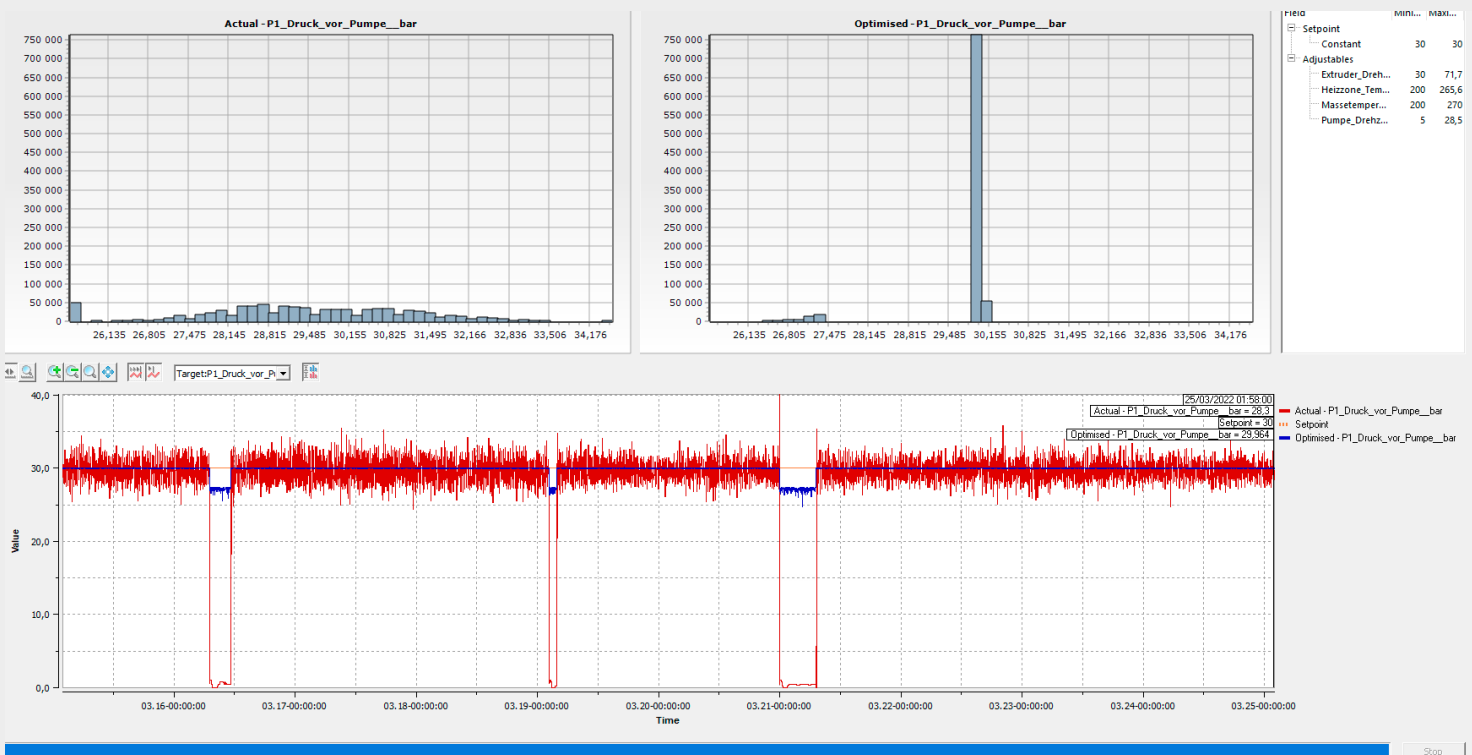


## Evaluierung

**Benefit Estimation:** Um das Optimierungspotential abzuschätzen, welcher durch den Einsatz des Vorhersagemodells erzielbar ist, beinhaltet das Werkzeug den Schritt Benefit Estimation. Die Software ermittelt automatisiert für die Eingangswerte die optimierten Werte der Stellgrößen, in diesem Fall die Drehzahl des Extruders und der Pumpe und die Temperatursollwerte um den Druck möglichst konstant zu halten.

In einem Histogramm und in einem Trend wird der Druckverlauf und der optimierte Druck dargestellt, um die Wirksamkeit der Maßnahme zu Evaluieren (siehe Abb. 4). Darin wird deutlich, dass mit der Maßnahme die Druckschwankungen nahezu vollständig behoben werden können.

Abbildung 4: Druckverlauf im Extruder vorher/nacher



**Knowlege Fusion:** In den nächsten Schritten der Knowlege Fusion wird das Wissen aus den Schritten zuvor zusammengefügt und es können Fuzzy Rules für das regelbasierte Modell definiert werden.

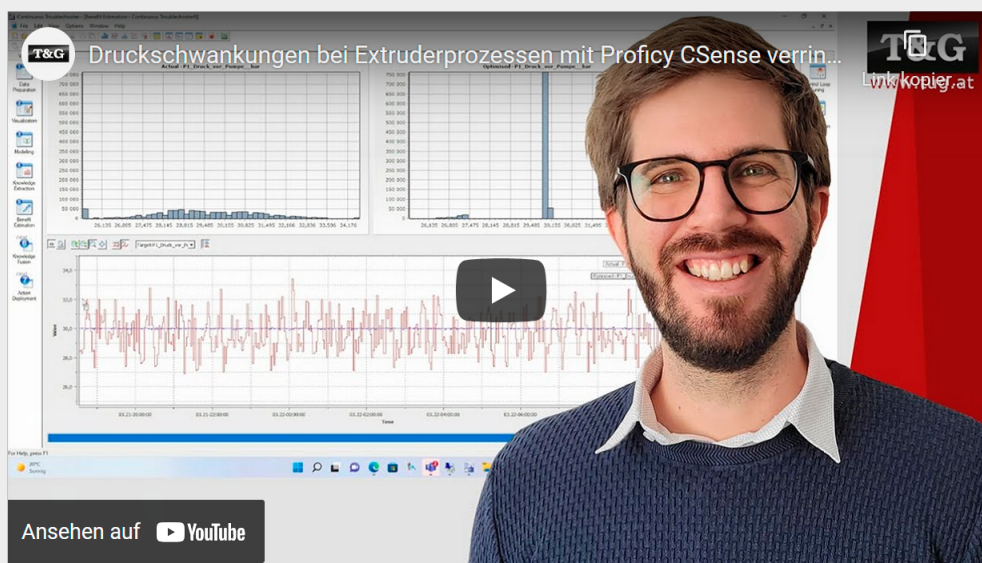
## Ausrollen der Lösung

**Action Deployment:** Um den erstellten Digitalen-Zwilling und die Optimierungslösung weiter zu adaptieren und diese in der Produktion Auszurollen, kann die Lösung im Action Deployment als Blueprint exportiert werden. Der Blueprint kann im Proficy CSense Architekt weiter adaptiert werden, um diesen für die Ausführung in der Runtime vorzubereiten. Für die Integration der Optimierung in die Produktion können z.B. die OPC UA Ein-/Ausgänge verwendet werden.

## Conclusio

In dem Fallbeispiel wurde gezeigt wie die Druckschwankungen in einem Extruder durch Einsatz von Proficy CSense reduziert werden können. Mit Proficy CSense lassen sich neben Extruder-Prozessen, jede Art von Regelkreisen in der Produktion optimieren. Nähere Informationen und erfolgreiche Referenzen aus der Industrie finden Sie unter <https://www.tug.at/csense-food-and-bev>.

Unterhalb das zugehörige 29 minütige Video, welches die Optimierung am Extruder angefangen vom Import bis zur Ausrollung der Lösung zeigt.



### Direkter Kontakt zum Autor:

Dipl.-Ing. Martin Paczona  
Produktmanager Digitalisierung

[m.paczona@tug.at](mailto:m.paczona@tug.at)

+43 3362 21012 320

+43 676 4511 016

Weitere Informationen finden Sie auf  
unserer Website:

[Proficy CSense](#)

[CSense Referenzen/Applikationsberichte](#)

### Referenzen:

[1] <https://www.techpilot.de/lexikon/extrusion/>

[2] <https://www.technik-und-wissen.ch/kruex-mit-totzeit-regelungstechnik-mit-smith-praedikt.html>

[3] <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-021-07682-3>



Pallstr. 2, 7503 Großpetersdorf, T +43 3362 21012,  
E-Mail: [office@tug.at](mailto:office@tug.at) [www.tug.at](http://www.tug.at)



Ulrichsberger Str. 17, 94469 Deggendorf, T +49 (0) 991 40 22 71-0,  
E-Mail: [office@tgalpha.de](mailto:office@tgalpha.de) [www.tgalpha.de](http://www.tgalpha.de)