

PID AutoTune

Mit den Werten P I D wird die Leistung der Induktionsplatte gesteuert. Es ist wichtig, geeignete P I D Werte zu ermitteln. AutoTune ist ein Prozess, der bei der Ermittlung geeigneter Werte unterstützt. Die folgende Beschreibung dient ausschließlich als Hilfe zur Verwendung der Firmware MQTTDevice4.

Die benötigte Leistung der Induktionsplatte, um von der Ist-Temperatur zur Zieltemperatur zu gelangen, wird aus der Summe der drei Werte berechnet:

Erforderliche Leistung = $P + I + D$

Der P-Wert:

Dieser Parameter wirkt auf der Basis Unterschied zwischen Ist und Soll. Je größer der Unterschied zwischen der Ist- und der Zieltemperatur ist, desto stärker heizt die Induktionsplatte mit dem P-Anteil. Ist die Zieltemperatur erreicht oder überschritten, ist der P-Anteil gleich 0. Ein reiner P-Regler kann daher nie die Zieltemperatur erreichen, weil beim Erreichen der Zieltemperatur $P = 0$ ist und somit gar nicht mehr geheizt wird. Ein sehr hoher P-Wert bewirkt ein starkes Über- bzw. Unterschwingen.

Der I-Wert:

Der I-Wert wird, während die Induktionsplatte heizt, bei null beginnend fortlaufend größer. Je länger die Induktionsplatte von der Ist-Temperatur zur Zieltemperatur benötigt, desto größer wird der I-Wert. Zusammen mit dem P-Wert ergibt sich nun folgende Addition:

Der P-Wert wird bei Annäherung an die Zieltemperatur kleiner und der I-Wert größer. Nur über den I-Wert wird die Zieltemperatur erreicht. Der I-Wert wird oberhalb der Zieltemperatur wieder kleiner. Der I-Wert erzeugt ein Überspringen.

Der D-Wert:

Der D-Wert ist ein Dämpfer, der die Schwingungen der ersten beiden Anteile mindert. Ein zu starker D-Anteil verlangsamt das Auf- und Nachheizen der Induktionsplatte. Dieser Wert kann auch null sein.

Soweit die PID-Theorie. Es werden nur wenige Informationen und Verständnis benötigt, um die AutoTune Werte zu optimieren.

Wie funktioniert der AutoTune Prozess:

Der Prozess ist „eigentlich“ einfach: AutoTune erhitzt Wasser und misst während dessen Temperaturen und Zeiten. Es sind nur wenige Details zu beachten:

Detail 1: der AutoTune Prozess benötigt Temperatur-Messwerte. Je nach Umgebung werden 20 bis 100 Messwerte benötigt. Für die IDS2 ist als Standard 75 Messwerte eingetragen. In den Einstellungen heißt dieser Parameter „lookback“.

Detail 2: die Messwerte werden in einem Abstand von 5 Sekunden ermittelt. Dieser Parameter heißt in den Einstellungen SampleTime.

Es werden also mit den Grundeinstellungen mindestens 6 Minuten und 15 Sekunden (5 Sekunden * 75 Messwerte) benötigt, um 75 Messwerte zu ermitteln. Das Erreichen der Zieltemperatur im AutoTune Prozess muss länger dauern, als das Ermitteln dieser 75 Messwerte. Wird die Zieltemperatur in kürzerer Zeit erreicht, wird der AutoTune Prozess keine brauchbaren Ergebnisse liefern. Eine längere Aufheizphase ist kein Problem:

Der Messwert Nummer 76 überschreibt den ältesten Messwert Nummer 1. Anders formuliert: es gibt 75 Speicherplätze für Messwerte in einer Reihe. Ganz links in der Reihe liegt der jüngste und ganz rechts der älteste Messwert. Nun kommt Messwert Nummer 76 und schiebt von links alle Messwerte um eine Position nach rechts. Aus 75 wird 74, aus 74 wird 73 ... aus 2 wird 1 und 1 fällt aus der Reihe heraus. Der älteste Messwert wird bei der Berechnung nicht mehr benötigt.

Der AutoTune Prozess ermittelt aus diesen 75 Messwerten fortlaufend Maximalwerte. Der AutoTune Prozess schaltet die Induktionsplatte mit 100% Leistung ein und bei Erreichen der Zieltemperatur ab. In der Folge tritt ein deutliches Überschwingen auf. Etwa +2°C ist völlig normal. Alle 5 Sekunden misst AutoTune die Temperatur. Wenn die Induktionsplatte ausgeschaltet ist, fällt zwangsläufig irgendwann die Temperatur wieder. Sobald die Temperatur sinkt, ist einer der 75 Messwerte in der Reihe die gesuchte Maximaltemperatur. Diesen Temperatur-Wert mit Zeitstempel speichert Autotune. Bei ausgeschalteter Induktionsplatte sinkt die Ist-Temperatur langsam weiter und liegt nach einiger Zeit unter der Zieltemperatur. AutoTune schaltet die Induktionsplatte wieder auf 100% Leistung ein. In der Folge steigt die Ist-Temperatur an. Zwangsweise haben wir unter den 75 Messwerten eine minimale Temperatur. Diese Temperatur mit Zeitstempel speichert Autotune ebenfalls. Das Vorgehen Aufheizen und Abkühlen wiederholt sich, bis AutoTune mindestens 5 Temperaturen mit Zeitstempel ermittelt hat.

Aus diesen Werten werden die Kennzahlen „ultimate gain Ku“ und „ultimate period Pu“ errechnet. Ku und Pu sind je Brauanlagen individuelle Parameter, mit deren Hilfe die Werte für P, I und D ermittelt werden können.

Zur Berechnung von PID stehen verschiedene Modelle zur Verfügung (bspw. Ziegler-Nichols, Tyreus Luyben). Jedes Modell ist für bestimmte Anwendungsfälle gut geeignet. Kein Modell ist generisch für alle Anwendungsfälle perfekt. Über viele Versuchsreihen wurde zur Ermittlung von geeigneten PID-Werten eine Kombination für 20l Kessel und eine Kombination für 50l Kessel ermittelt. Diese Kombinationen stehen ab Firmware V 4.36 zur Verfügung. Ausgangspunkt zur Ermittlung sind aber Ku und Pu. Diese Werte sind für jede Umgebung oder Brauanlage individuell. Outdoor-Brauer werden für verschiedene Außentemperaturen unterschiedliche AutoTune Ergebnisse Ku und Pu ermitteln. Ein AutoTune Prozess mit dem gleichen Kessel, aber einmal mit und einmal ohne Wärmeisolierung, liefert völlig unterschiedliche Ergebnisse.

Das praktische Vorgehen AutoTune schaut wie folgt aus:

1. Befülle Deinen Kessel mit einer typischen Menge Wasser
 - a. Eine typische Menge entspricht dem Hauptguss + Schüttung
20l Hauptguss, 5kg Schüttung: 25l
 - b. Schalte das Rührwerk ein
2. Setze eine Zieltemperatur mindestens 10 besser 20°C über der aktuellen Ist-Temperatur.
3. Aktiviere „Enable PID AutoTune“
4. Optional aber empfohlen: Aktiviere „AutoTune debug output to serial and logfile“
5. Speichern und auf die Mash Seite wechseln

The screenshot shows the 'GGM IDS2 settings' window with the 'AutoTune' tab selected. The 'Enable PID AutoTune' toggle is turned on. The 'AutoTune target temperature' is set to 50. Under 'Advanced AutoTune settings', 'AutoTune noiseband [0.2]' is 0.2, 'AutoTune SampleTime [5000]' is 5000, and 'AutoTune lookback [75]' is 75. The 'AutoTune debug output to serial and logfile' toggle is also turned on. At the bottom right are 'save' and 'close' buttons.

6. AutoTune starten

active mash step	mash temperature	target temperature	step timer	current power
AutoTune IDS2	24.3°C	50.0°C	in progress 0/5	100%

Der AutoTune Prozess dauert je nach Umgebung 45 bis 90min. Der meiste Zeitbedarf entsteht während den Abkühlphasen. Wenn der AutoTune Prozess sehr lange dauert, ist der Braukessel wahrscheinlich sehr gut gedämmt. Der aktuelle Status ist in der Spalte „in progress 0/5“ sichtbar. Treten Fehler auf, erscheint an dieser Stelle „in progress 6/5“ und höher. Das ist erst einmal ok. Der AutoTune Prozess prüft die gefundenen Maximalwerte. Fällt ein Wert aus der Reihe, wird die Messung wiederholt. Es werden maximal 20 Wiederholungen durchgeführt.

Das AutoTune Ergebnis:

The screenshot shows the 'GGM IDS2 settings' window with the 'AutoTune' tab selected. The window has three tabs: 'Configuration', 'PID Manager', and 'AutoTune'. Under 'AutoTune', there are input fields for 'PID Kp' (0), 'PID Ki' (0), and 'PID Kd' (0), each with a 'Clear' button. Below these is a dropdown for 'PID tuning rule' set to 'INDIVIDUAL_PID'. Further down are 'Ultimate gain Ku' (167.5314636) and 'Ultimate period Pu' (1321.276489). At the bottom right are 'save' and 'close' buttons.

Parameter	Value
PID Kp	0
PID Ki	0
PID Kd	0
PID tuning rule	INDIVIDUAL_PID
Ultimate gain Ku	167.5314636
Ultimate period Pu	1321.276489

Das Ergebnis von AutoTune steht in den Zeilen Ku und Pu. Diese zwei Werte bitte notieren bzw. ein Backup der config.txt erstellen. Um PID-Werte zu erhalten, muss jetzt nur noch das verwendete Modell ausgewählt werden:

The screenshot shows a dropdown menu for selecting a PID tuning rule. The current selection is 'INDIVIDUAL_PID'. The dropdown list includes the following options: 'INDIVIDUAL_PID', 'BREWING_20L', 'BREWING_50L', 'HLT_PID', 'ZIEGLER_NICHOLS_PID', 'ZIEGLER_NICHOLS_PI', 'INTEGRAL_PID', 'SOME_OVERSHOOT_PID', 'NO_OVERSHOOT_PID', 'TYREUS_LUYBEN_PID', 'TYREUS_LUYBEN_PI', 'CIANCONE_MARLIN_PID', and 'CIANCONE_MARLIN_PI'.

- INDIVIDUAL_PID
- BREWING_20L
- BREWING_50L
- HLT_PID
- ZIEGLER_NICHOLS_PID
- ZIEGLER_NICHOLS_PI
- INTEGRAL_PID
- SOME_OVERSHOOT_PID
- NO_OVERSHOOT_PID
- TYREUS_LUYBEN_PID
- TYREUS_LUYBEN_PI
- CIANCONE_MARLIN_PID
- CIANCONE_MARLIN_PI

Für die Induktionsplatte IDS2 lauten die Empfehlungen

BREWING_20L für einen Kessel in der 20l Klasse

oder

BREWING_50L für einen Kessel in der 50l Klasse

In diesen beiden Modellen sind viele Tests eingeflossen. Die Tests wurden mit dem Ziel ein zügige Aufheizphase und ein geringes Über- und Unterschwingen durchgeführt. Die zwei Empfehlungen eignen sich gut als Startpunkt, um sehr gute PID-Werte für die eigene Brauanlage zu ermitteln. Sobald ein Modell ausgewählt wurde, werden die Felder P, I und D mit Werten befüllt. Alle anderen Modelle (Ziegler, Tyreus, etc.) sind der Vollständigkeit halber aufgeführt. Alle Modelle zur Ermittlung der PID-Werte sind nutzbar. Ob es Umgebungen oder

Brauanlagen gibt, bei denen ein Modell besser oder schlechter wirkt, ist noch nicht geklärt. Der Eintrag HLT_PID ist für einfache Nachgusskoher gedacht.

PID-Optimierung:

AutoTune findet „brauchbare“ PID-Werte. In vielen (hoffentlich in den meisten) Fällen auch sehr gute Werte. Mit den PID-Startwerten sollte eine typische Rast angefahren werden und über 10-15min gehalten werden. Individuell kann nun eine Optimierung durchgeführt werden:

- wird die Zieltemperatur nicht erreicht, kann der I-Wert etwas erhöht werden
- wird die Zieltemperatur stark überschritten, sollte der I-Wert reduziert werden
- der D-Wert ist ein Dämpfer und für das Feintuning gut geeignet
- eine sehr langsame Aufheizphase deutet auf einen zu kleinen P-Wert hin

Ein Über- oder Unterschwingen im Bereich von 0.2°C sollte akzeptiert werden. Zur Erinnerung: der Sensor ermittelt Temperaturen in 0.125°C Schritten. Die PID-Werte und auch die Zieltemperatur können während der Optimierung verändert werden.

Erste Hilfe bei AutoTune Fehler:

Mit der Option „AutoTune debug output to serial and logfile“ wird der Prozess protokolliert. Sollte Fehler auftreten, bitte das logfile kopieren und als PN im Forum zusenden.

Weiter oben wurde das Vorgehen AutoTune beschrieben. Die Anzahl der Messwerte mit dem Parameter „AutoTune lookback“ kann bis maximal 100 Messwerte erhöht werden. Ein weiterer Parameter zur Fehlerbehebung ist „AutoTune noiseBand“. Mit dem Wert Noiseband geben wir AutoTune an, ab welcher Veränderung der Prozess reagiert.

Beispiel: die Zieltemperatur sei 70.0°C und die Einstellung von noiseBand sei 0.1°C. Dann endet die Anheizphase im AutoTune Prozess mit dem ersten Messwert über 70.10°C.

Sensoren vom Typ Dallas DS18B20 „flattern“ gerne etwas. Bei einer Auflösung von 11bit kann ein DS18B20 in 0.125°C Schritten Temperatur-Messwerte ermitteln. Durch diese grobe Genauigkeit können im AutoTune Prozess folgende Messwerte in zeitlicher Reihenfolge ermittelt werden:

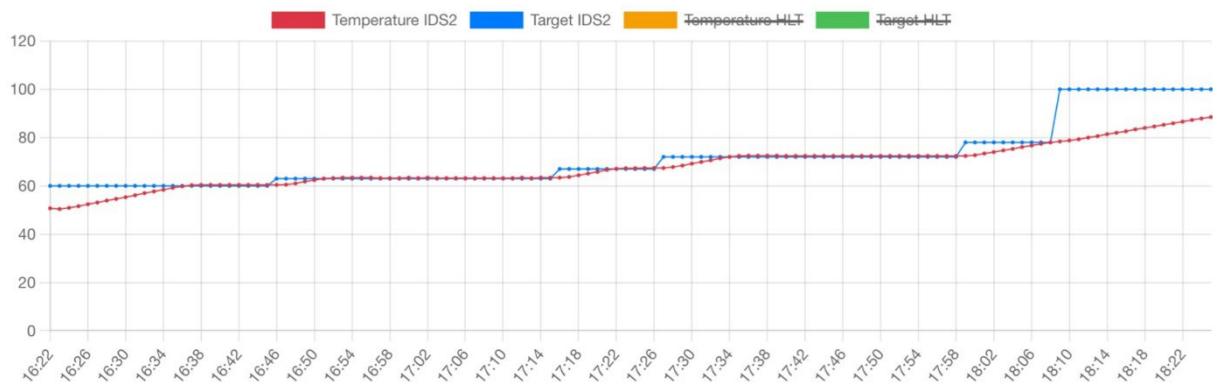
12h00m00s:	69.98°C	also unterhalb von 70.10
12h00m05s:	70.11°C	+5 Sekunden und +0,125°C gerundet als +0.13
		Zieltemperatur erreicht
12h00m10s:	69.98°C	+5 Sekunden und -0.125°C
		„flattern“ unterhalb von 70.10 Zieltemperatur nicht erreicht

Durch das „Flattern“ (oszillieren um den setpoint) kommt der AutoTune Prozess durcheinander. Es müssen eindeutige Maximal und Minimalwerte ermittelt werden. Ein „hoch-und-runter Flattern“ macht eine Extremwertbestimmung unmöglich. Zur Desensibilisierung von AutoTune kann der Parameter noiseband erhöht werden. Für einen HLT ist ein Wert über 0.5 empfehlenswert. Bei einer Induktionsplatte sollte der Parameter noiseband so genau wie möglich passend zur Brauanlage sein. Die Standardeinstellung von 0.2 sollte verwendet werden.

Beispiel AutoTune: HLT Nachguss, 20l



Beispiel: Maischen IDS2, Kessel 68l, Kesselfüllung 45l



Stand 11.2022