

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Energielieferanten des BarfussHauses	4
2.1 Wärmeenergie.....	4
Biomeiler	4
Solar-Luftkollektor.....	4
2.2 Elektrische Energie	4
Solaranlage	4
Windkraftanlage	4
3. R&I-Schema BarfussHaus	5
4. Messen im BarfussHaus.....	6
4.1. Messstellen.....	6
Biomeiler	6
Luftkollektor	6
BarfussHaus.....	6
Messgeräte.....	6
Temperatur.....	6
4.2. Steuerung und Regelung	7
Biomeiler	7
Solar-Luftkollektor.....	7
Licht	7
5. Verknüpfung der Sensoren und Aktoren.....	8
6. Regelung des BarfussHauses	9
6.1. Regelung der Innenbeleuchtung	9
6.2. Regelung der Innentemperatur.....	10
Bestimmung der Übertragungsfunktion	11
6.3. Berechnen der Reglerparameter.....	11
Blockschaltbild.....	13
Dauerschwingmethode	14
Approximation durch $PT1Tt - Glied$	14
Simulationsergebnisse.....	16
7. Schaltplan vom BarfussHaus	20
7.1 Ladevorgang	21

Prinzipschaltbild der Spannungsquellen 21

1. Einleitung

Das BarfussHaus ist ein Energieautarkes Haus, welches ohne Strom vom öffentlichen Netz auskommen soll. Dazu wird Elektrische Energie aus einer Solaranlage und einer kleinen Windkraftanlage gewonnen. Die erzeugte Energie wird dazu in einer Batterie zwischen gespeichert. Den Höchsten Energieverbrauch benötigt das Heizen. Dafür wird die Wärmeenergie

Ziel des BarfussHauses ist, einen möglichst kleinen Ökologischen Fußabdruck zu hinterlassen und hauptsächlich mit schnell nachwachsenden Rohstoffen und regenerativen Energien auszukommen.

2. Energielieferanten des BarfussHauses

2.1 Wärmeenergie

Biomeiler

Die wohl wichtigste Wärmequelle für das BarfussHaus ist der Biomeiler. Der Biomeiler entstammt der Idee von Jean Pain einen Französischen Forstwirt.

Er besteht aus Holzhackschnitzeln die zu einem Haufen aufgeschichtet werden. Durch die Zufuhr von Wasser und Sauerstoff werden Bakterien angeregt welche das Holz zersetzen. Bei diesem Zersetzungsprozess entstehen Temperaturen von bis zu 60°C. Die Temperatur des Biomeilers ist abhängig von den Bakterienstämmen im Biomeiler. Nach ein bis zwei Monaten pendelt sich die Temperatur auf etwas mehr als 40°C ein.

In dem Biomeiler sind mehrere Rohre in Schneckenform verlegt. Durch diese Rohre wird die erzeugte Wärmeenergie durch Konvektion und einem Lüftungssystem in das BarfussHaus übertragen.

Solar-Luftkollektor

Eine zweite Wärmequelle ist der Solar-Luftkollektor.

Er besteht aus zwei Blechen die Hintereinander aufgetragen werden. Zwischen den zwei Blechen ist Luft. Die Bleche sind in einem gedämmten Holzkasten eingebracht welcher mit Plexiglas vorne verschlossen ist. Das vordere Blech ist ein Wellblech, welches schwarz angemalt ist. Das Sonnenlicht fällt durch das Plexiglas auf das Wellblech. Das Wellblech erwärmt sich und gibt die Wärme dabei an die durchströmende Luft ab. Die mit Axiallüftern angesaugt wird.

Dabei entstehen im Luftkollektor Temperaturen von bis zu 120°C.

2.2 Elektrische Energie

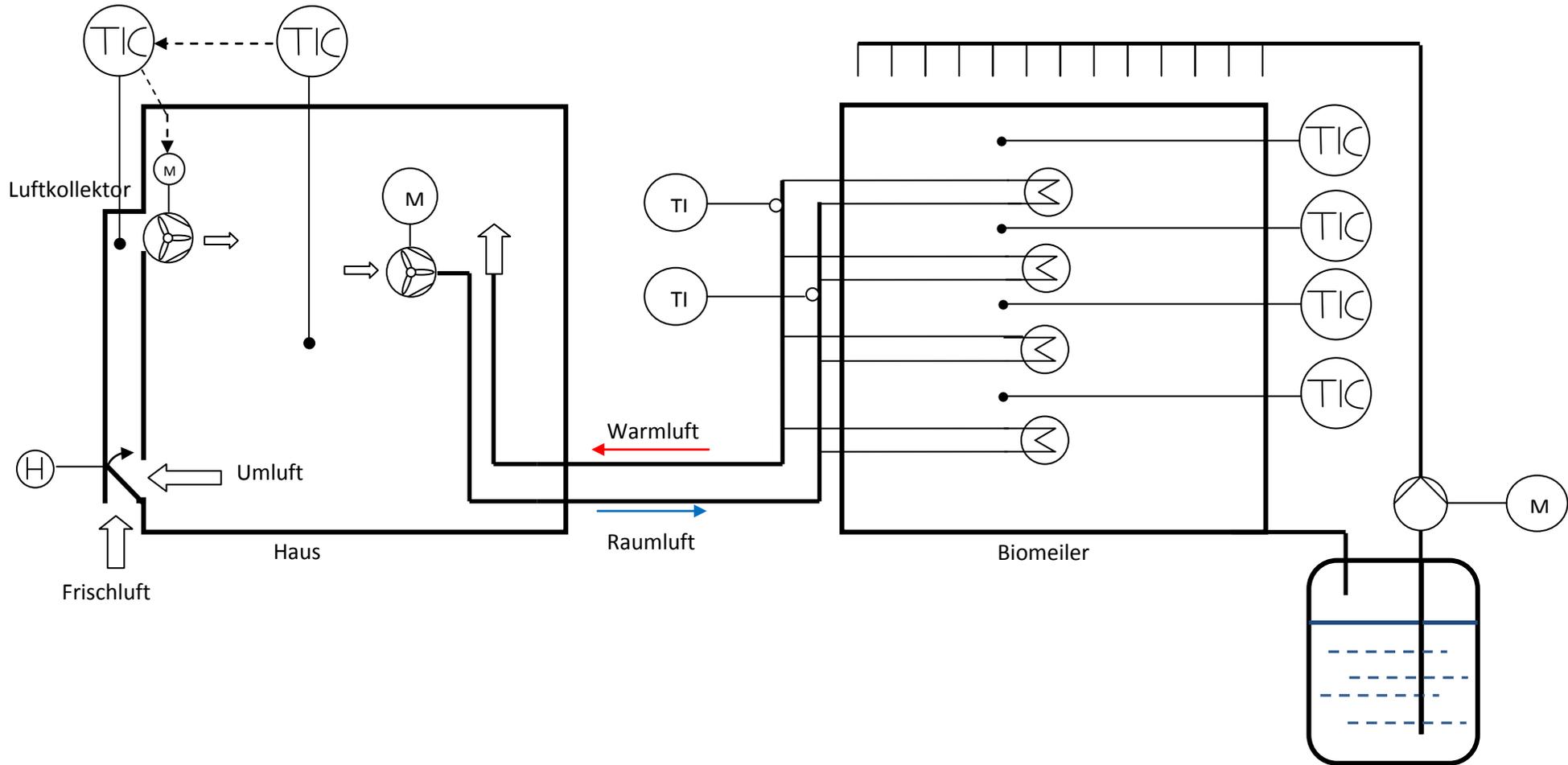
Solaranlage

Der Großteil der elektrischen Energie wird durch die Solarpanels generiert die auf dem Dach des BarfussHauses angebracht sind. Die erzeugte elektrische Energie wird mit Hilfe eines Ladereglers in einer Solarbatterie gespeichert.

Windkraftanlage

Mehr unterstützend soll die Windkraftanlage sein. In ca. 6m Höhe ist sie vor dem Haus angebracht. Der erzeugte 12V AC wird über drei Phasen an einem Laderegler mit integriertem Gleichrichter gespeist. Dieser Laderegler ist ebenfalls an die Solarbatterie angeschlossen.

3. R&I-Schema BarfussHaus



4. Messen im BarfussHaus

4.1. Messstellen

Biomeiler

Im Biomeiler sind vier Temperatur Messstellen eingebracht. Drei davon zwischen den Wärmetauschern. Die vierte Messstelle liegt in der Auskühlzone.

Luftkollektor

Im Luftkollektor wird die Temperatur vor den Lüftern gemessen.

BarfussHaus

Im BarfussHaus befindet sich ebenfalls ein Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor. Zur Messung der Äußeren Wetterdaten existiert eine Wetterstation welche Wetterrelevante Daten Sammelt.

Messgeräte

Zur Messung der Temperaturen wurden Homematic Funksensoren von eq-3 verwendet.

Temperatur



Abbildung 1: Homematic außen Temperatursensor

Für den Biomeiler und den Luftkollektor sind diese Temperatursensoren mit 1,5m Leitung montiert. Das Kabel für des Sensors ist sehr dünn deswegen wurde es für den Biomeiler verstärkt.

Der Funksensor hat einen Messbereich von -20°C bis 80°C mit einem Messfehler von $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Dieser Bereich ist für den Luftkollektor nicht geeignet da dieser Temperaturen von 120°C erreichen kann. Allerdings ist es für die Steuerung uninteressant ob die Temperatur 80°C oder höher ist.



Abbildung 2: Homematic innen Temperatur und Feuchtigkeitssensor

Für den Innenraum ist dieser Homematic Temperatur und Feuchtigkeitssensor in Verwendung. Sowohl Messbereich als auch Messfehler sind gleich dem des außen Temperatursensors.

Der Messbereich für die relative Luftfeuchtigkeit liegt bei 1% bis 99%.



Abbildung 3: Homematic Wetterstation

Die Wetterstation zeichnet die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit auf mit den gleichen Messbereichen und Messfehlern wie die oben genannten Sensoren auf. Es werden auch noch Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Helligkeit, Regenstatus, Regenmenge und Sonnenscheindauer aufgezeichnet.

Wichtig ist dabei vor allem die Außentemperatur um die Effektivität der Dämmung zu überprüfen. Die Windgeschwindigkeit um zu erkennen wann sich das Windrad dreht und die Helligkeit um die Beleuchtung des Barfuss Hauses zu steuern.

4.2. Steuerung und Regelung

Biomeiler

Die Bakterien im Biomeiler sind nur aktiv wenn der Biomeiler ausreichend bewässert ist. Dabei genügt es den Biomeiler einmal richtig zu bewässern und das Wasser welches durchläuft wieder drauf zu geben bis alles aufgezogen wurde.

Für die Wasserpumpe des Biomeilers genügt dafür ein einfacher Schalter. Ein Schwimmschalter kann nachträglich nicht angebracht werden, da das Fass bereits in den Boden eingelassen wurde.

Eine Steuerung und Regelung zur Nutzung der Wärmeenergie ist nicht vorhanden.

Solar-Luftkollektor

Das Lüftungssystem für den Solarkollektor besteht aus sechs parallel geschalteten 12V Axiallüftern mit einer Leistung von jeweils 1,3W.



Abbildung 4: Homematic PWM-Dimmer

Die Drehzahl der Lüfter wird über eine Pulsweitenmodulation der Spannung gesteuert. Dazu wird der PWM-Dimmer von Homematic verwendet.

Licht

Das Licht wird genau wie der Luftkollektor über einen PWM-Dimmer von Homematic gesteuert. Für die Beleuchtung im Innenraum werden zwei LED-Scheinwerfer mit Streulinse verwendet.

5. Verknüpfung der Sensoren und Aktoren

Als Schnittstelle für die verwendete Hardware wird der Funk-LAN-Adapter von Homematic genutzt. Er dient als Sender und Empfänger.

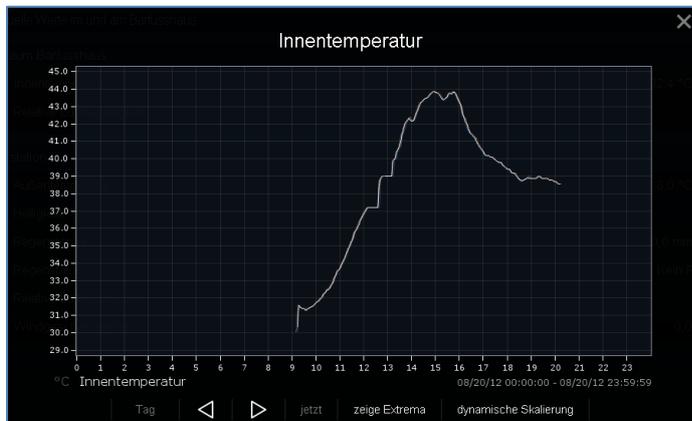


Abbildung 5: Temperaturverlauf im BarfussHaus

Zur Programmierung, Messwerterfassung und Visualisierung der Sensoren und Aktoren wird die Software von IP-Symcon verwendet. Sie ermöglicht die gesammelten Daten in einer internen Datenbank zu speichern. Die gespeicherten Daten können entweder als Numerische Werte oder als Graphischer Verlauf abgerufen werden.

Zur Programmierung wird die Skriptsprache PHP verwendet.

6. Regelung des BarfussHauses

Im BarfussHaus werden innenbeleuchtung und Temperatur geregelt.

6.1. Regelung der Innenbeleuchtung

Für die Regelung der Innenbeleuchtung wird die Außenhelligkeit verwendet. Dabei besteht eine lineare Abhängigkeit. Die verwendete LED-Beleuchtung ist sehr hell daher genügt eine maximale Beleuchtungsstärke von 50%.

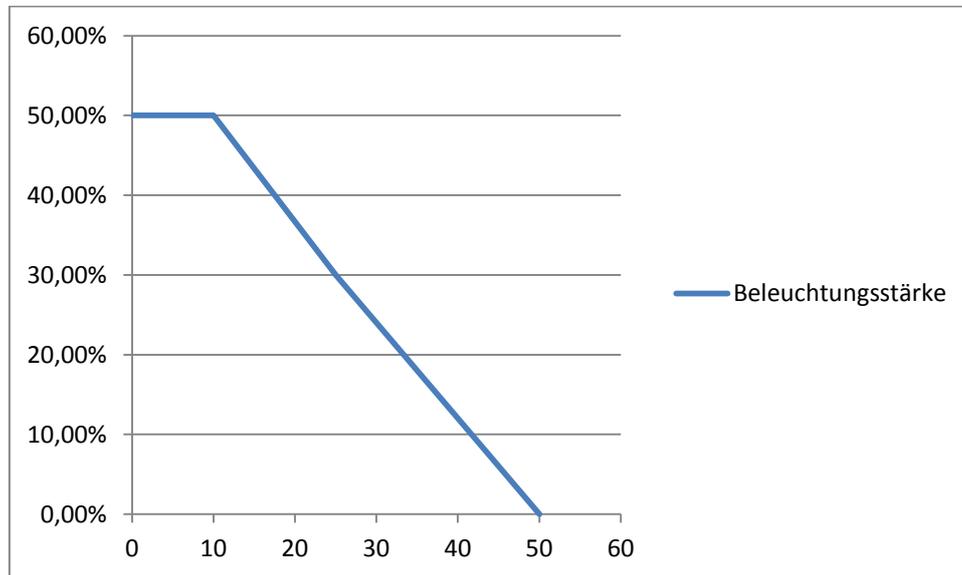


Abbildung 6: Graph für Lichtsteuerung

$$\text{Beleuchtungsstärke} = m \cdot \text{Helligkeit} + n = -1,2 \cdot \text{Helligkeit} + 62$$

6.2. Regelung der Innentemperatur

Für die Regelung der Innentemperatur wurde ein einfacher Zweipunktregler implementiert, welcher den Luftkollektor anschaltet, wenn es zu kalt wird, und ihn ausschaltet, wenn es zu warm wird.

Die Einblasttemperatur des Luftkollektors wird auf einen Sollwert geregelt. Dazu wird die Sprungantwort wie folgt aufgenommen.

Bei niedriger Außentemperatur und konstanter Sonneneinstrahlung.

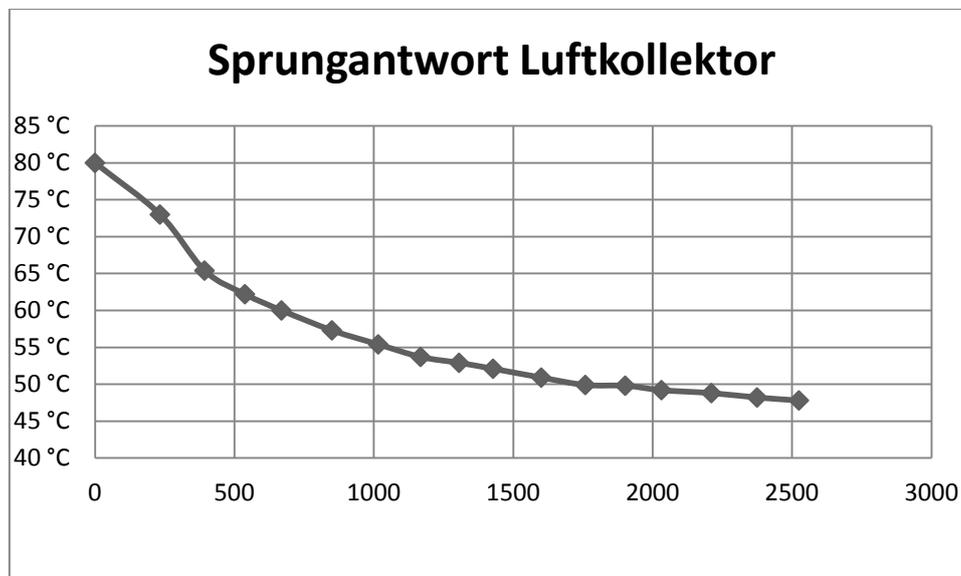


Abbildung 7: Sprungantwort vom Luftkollektor

Der erste Messpunkt der Sprungantwort ist zu vernachlässigen, da die Temperatur höher als 80°C ist. Der Messbereich des Sensors ist auf 80°C begrenzt.

Durch den fehlerhaften Messpunkt entsteht der Anschein, dass es sich um ein PT_2 - Glied handelt. Wird dieser aber unter den genannten Umständen vernachlässigt, so lässt sich daraus schließen, dass es sich um ein Glied erster Ordnung handelt, also ein PT_1 - Glied.

Bestimmung der Übertragungsfunktion

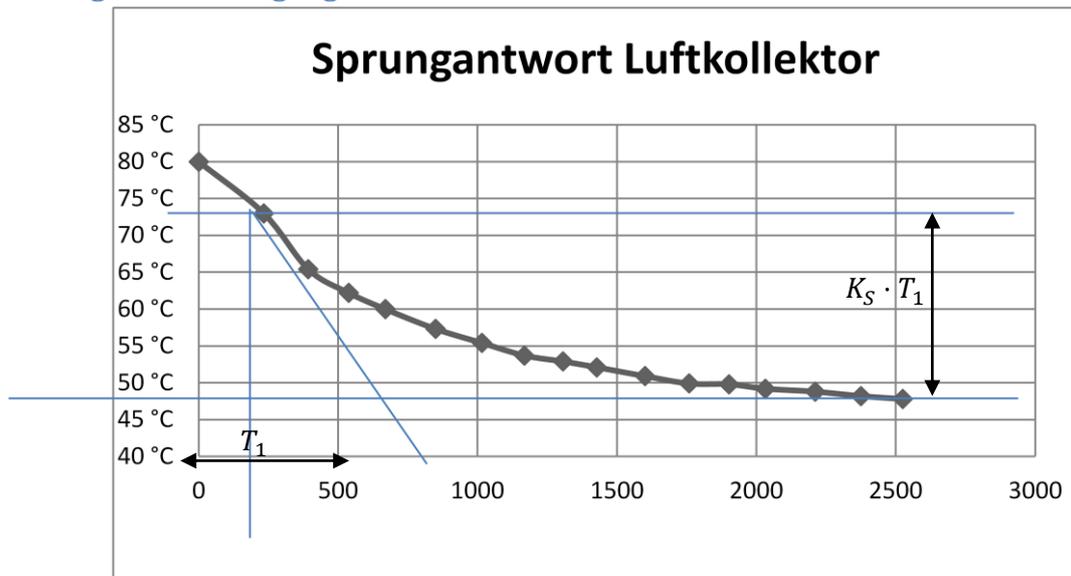


Abbildung 8: Sprungantwort mit Wendetangente

Der Schnittpunkt der Tangente mit dem Maximalwert ergibt die Anstiegszeit $T_1 \approx 550s$. Der Proportionalbeiwert K_S ist gleich dem Anstieg der Tangente $\frac{K_S \cdot T_1}{T_1} = \frac{-25^\circ C}{550s} \approx -0,05 \frac{^\circ C}{s}$.

Aus den Werten ergibt sich die Übertragungsfunktion $G_S(p) = \frac{-0,05 \frac{^\circ C}{s}}{550s \cdot p + 1}$.

6.3. Berechnen der Reglerparameter

Die Abtastzeit der Sensoren liegt zwischen 86s und 180s. Für die Simulation wird der Mittelwert gewählt $\frac{86s+180s}{2} = 133s$.

Um das Einstellverfahren nach Ziegler-Nichols anzuwenden ist es daher nötig eine Totzeit einzuführen die gleich der Abtastzeit ist.

Daraus ergibt sich die Übertragungsfunktion $G_S(p) = \frac{0,05 \frac{^\circ\text{C}}{\text{s}} \cdot e^{-p \cdot 133\text{s}}}{550\text{s} \cdot p + 1}$.

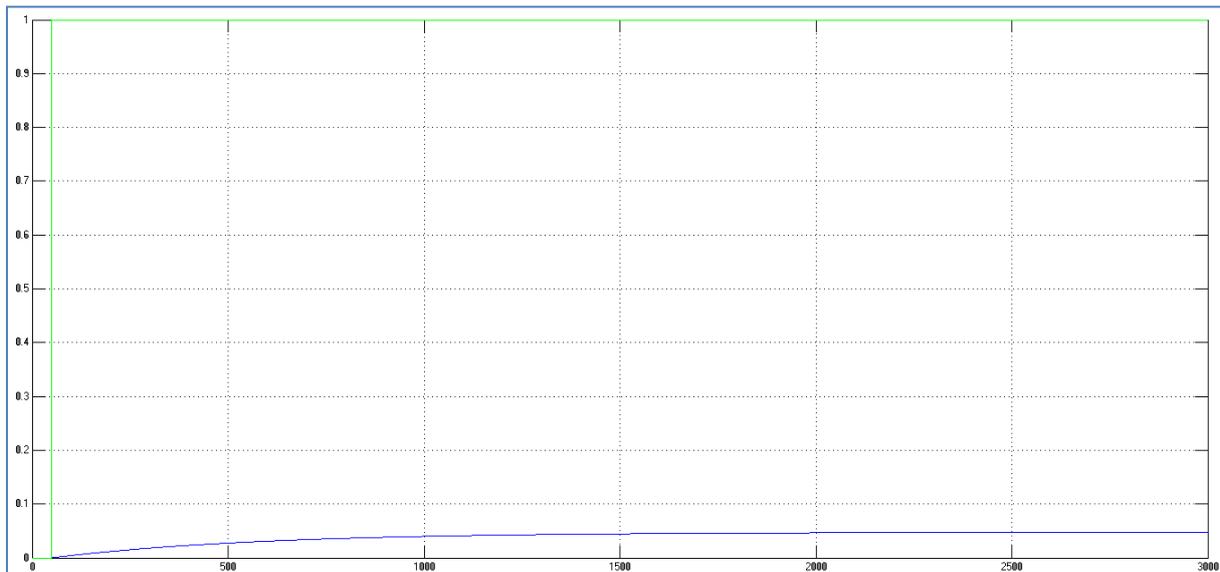


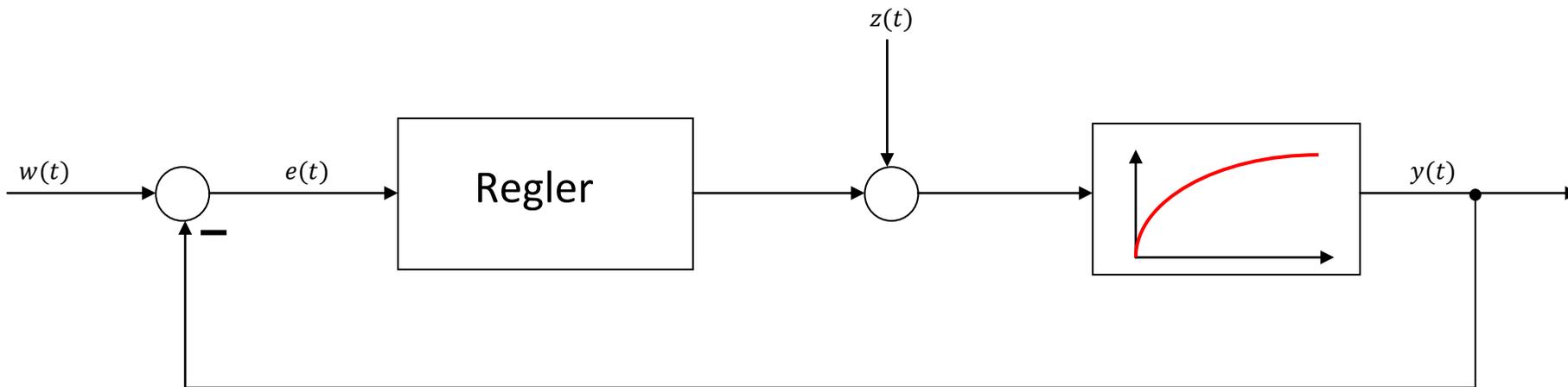
Abbildung 9: Sprungantwort geschlossener Regelkreis

Ohne Regler werden nur 5% des Sollwertes erreicht.

Für das Ziegler-Nichols Verfahren wird der K_p – Wert eines Reglers solange erhöht bis das System in eine Dauerschwingung verfällt.

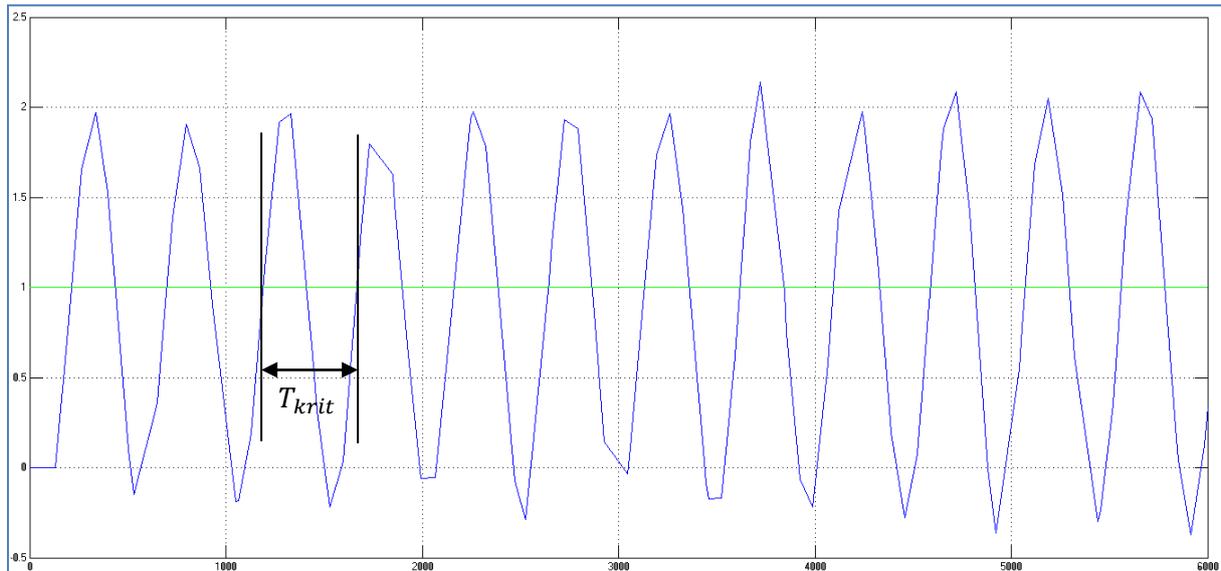
Eine zweite Möglichkeit ist die Approximation mit einem PT_1T_t – Glied dazu müssen die Parameter der Übertragungsfunktion bekannt sein.

Blockschaltbild



$w(t)$ – Sollwert
 $e(t)$ – Regeldifferenz ($w(t) - y(t)$)
 $z(t)$ – Störgröße
 $y(t)$ – Regelgröße

Dauerschwingmethode



$$K_{P,krit} = 160; T_{krit} = 490s$$

P-Regler:

$$K_P = 0,5 \cdot K_{P,krit} = 0,5 \cdot 160 = 80$$

PI-Regler:

$$K_P = 0,45 \cdot K_{P,krit} = 0,45 \cdot 160 = 72$$

$$K_I = \frac{K_P}{0,85 \cdot T_{krit}} = \frac{72}{0,85 \cdot 490s} = 0,17s^{-1}$$

PD-Regler:

$$K_P = 0,55 \cdot K_{P,krit} = 0,55 \cdot 160 = 88$$

$$K_D = 0,15 \cdot K_P \cdot T_{krit} = 0,15 \cdot 88 \cdot 490s = 6468$$

PID-Regler:

$$K_P = 0,6 \cdot K_{P,krit} = 0,6 \cdot 160 = 96$$

$$K_I = \frac{K_P}{0,5 \cdot T_{krit}} = \frac{96}{0,5 \cdot 490s} = 0,39s^{-1}$$

$$K_D = 0,125 \cdot K_P \cdot T_{krit} = 0,125 \cdot 96 \cdot 490 = 5880s$$

Approximation durch PT_1T_t - Glied

$$T_u = T_t = 133s; T_g = T_1 = 550s$$

$$\frac{T_g}{T_u} = \frac{550s}{133s} = 4,13 \rightarrow \text{die Strecke ist regelbar}$$

$$K_S = 0,05$$

P-Regler:

$$K_P = \frac{1}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u} = \frac{1}{0,05} \cdot \frac{550s}{133s} = 82,7$$

PI-Regler:

$$K_P = \frac{0,9}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u} = \frac{0,9}{0,05} \cdot \frac{550s}{133s} = 74,4$$

$$K_I = \frac{K_P}{3,33 \cdot T_u} = \frac{74,4}{3,33 \cdot 133s} = 0,17s^{-1}$$

PID-Regler:

$$K_P = \frac{1,2}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u} = \frac{1,2}{0,05} \cdot \frac{550s}{133s} = 99,2$$

$$K_I = \frac{K_P}{2 \cdot T_u} = \frac{99,2}{2 \cdot 133s} = 0,37s^{-1}$$

$$K_D = 0,5 \cdot K_P \cdot T_u = 0,5 \cdot 99,2 \cdot 133s = 6596,8s$$

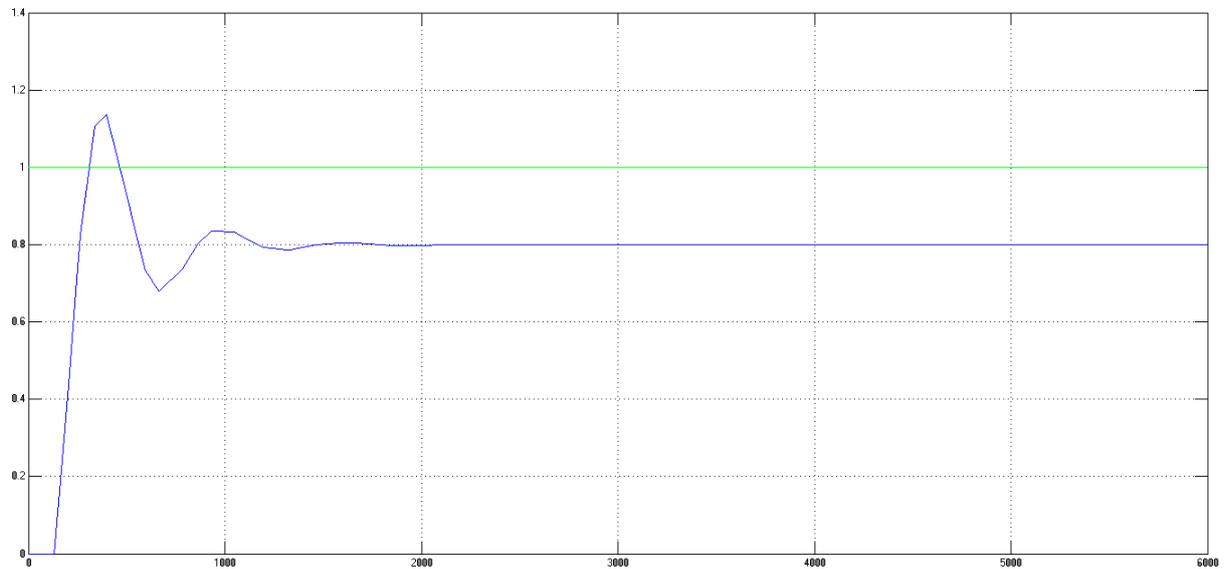
Die Werte der beiden Verfahren weisen nur sehr geringe Unterschiede auf. Die folgenden Simulationsergebnisse sind daher mit den Werten Dauerschwingmethode erzeugt.

Um den richtigen Regler auszuwählen ist es notwendig die zu regelnde Strecke auf Führungs- und Störverhalten zu untersuchen.

Simulationsergebnisse

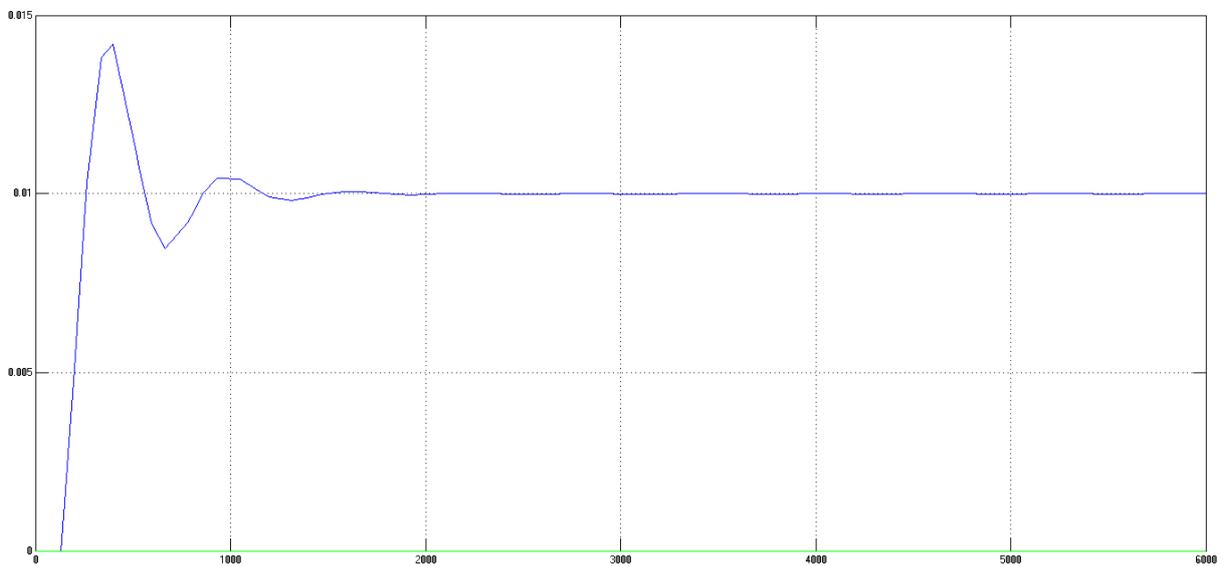
P-Regler:

Führungsverhalten



Obwohl nur ein geringes Überschwingen auftritt besitzt der P-Regler ein schlechtes Führungsverhalten die Regelgröße liegt 20% unter dem Sollwert.

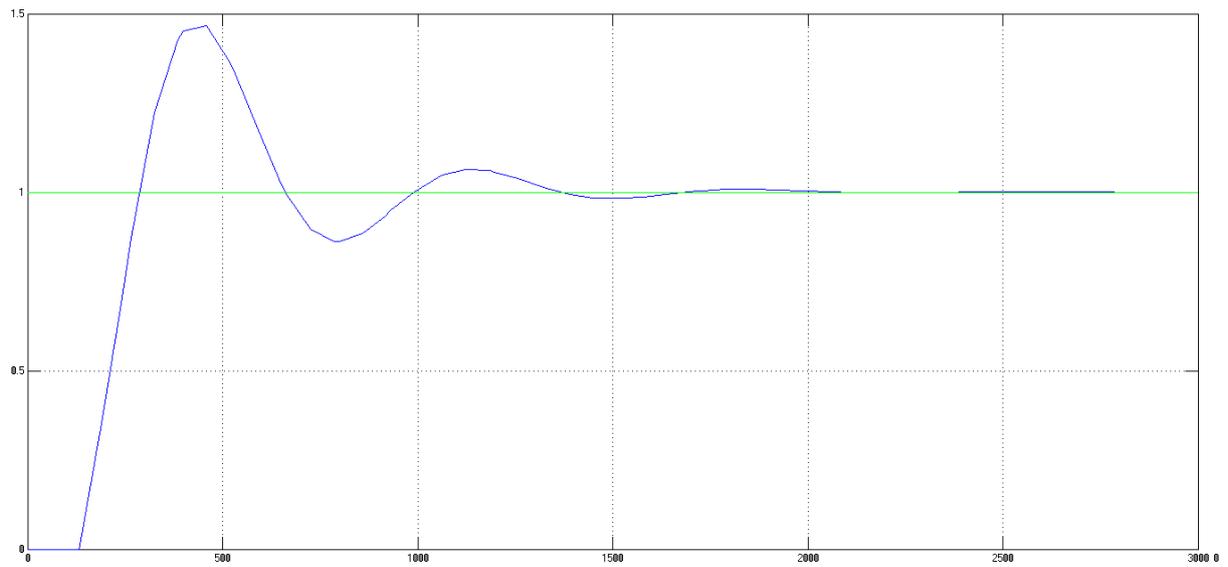
Störverhalten



Das Störverhalten ist nicht ideal, der Regler regelt die Störung nicht auf den Sollwert.

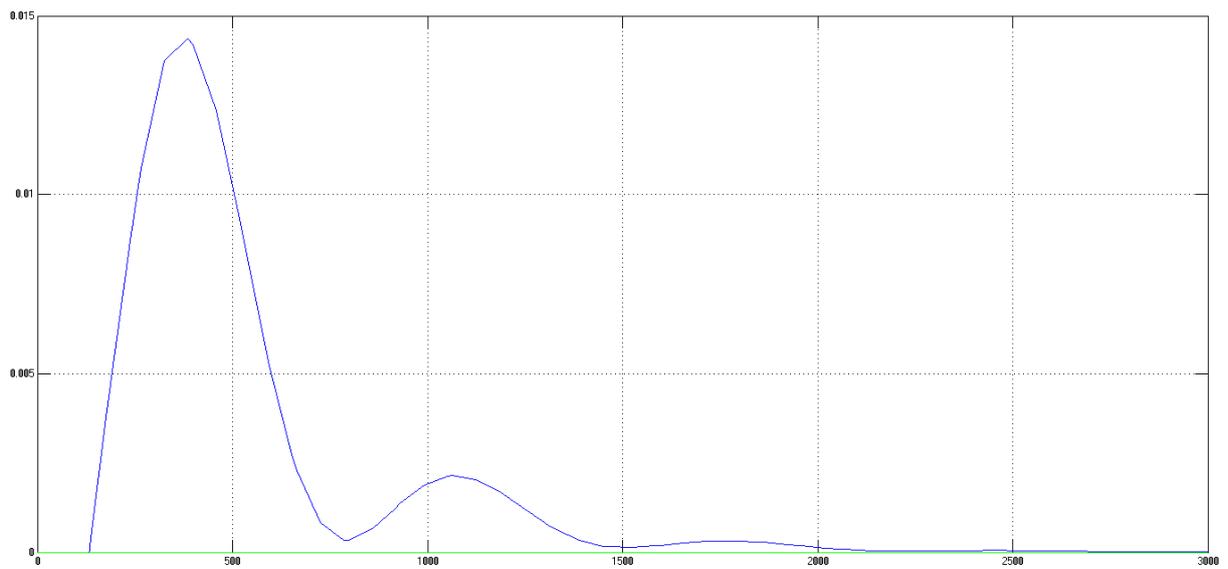
PI-Regler

Führungsverhalten



Der Regler schwingt sich auf den Sollwert ein. Das Überschwingen beträgt aber beinahe 50%.

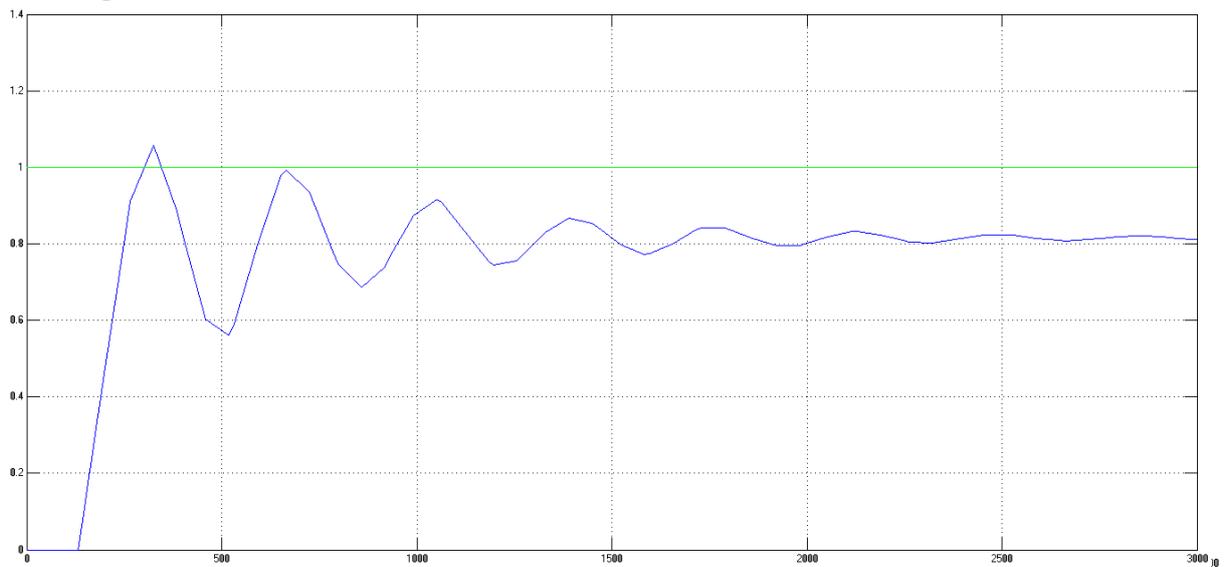
Störverhalten



Die Störung ist nur sehr gering, der Sollwert wird wieder erreicht.

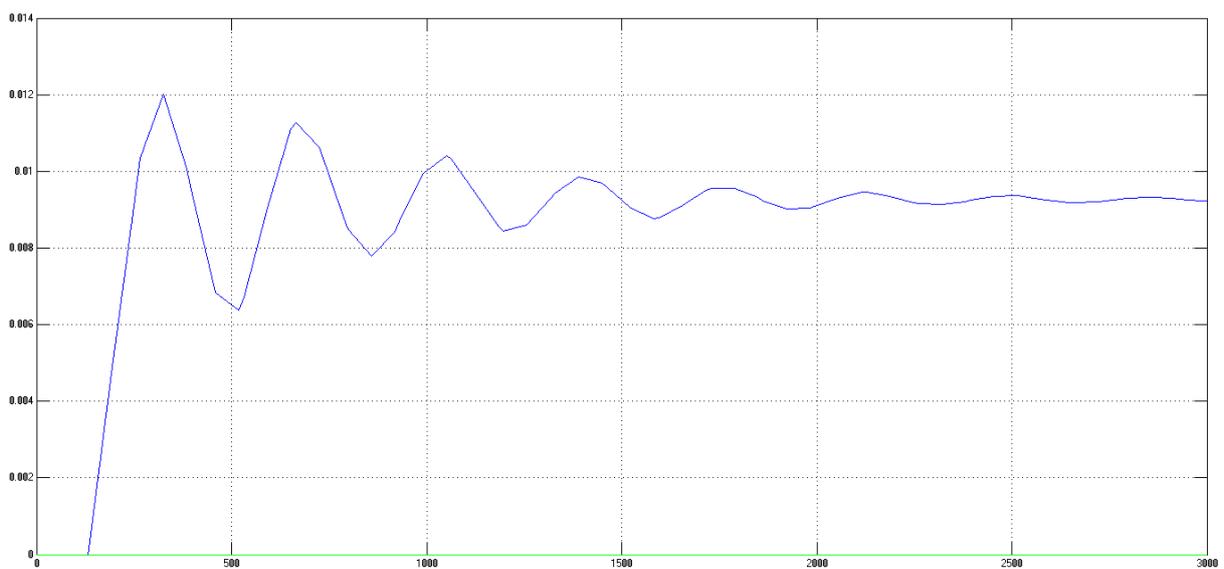
PD-Regler

Führungsverhalten



Der Regler reagiert sehr schnell aber wie beim P-Regler, weicht die Regelgröße um 20% vom Sollwert ab.

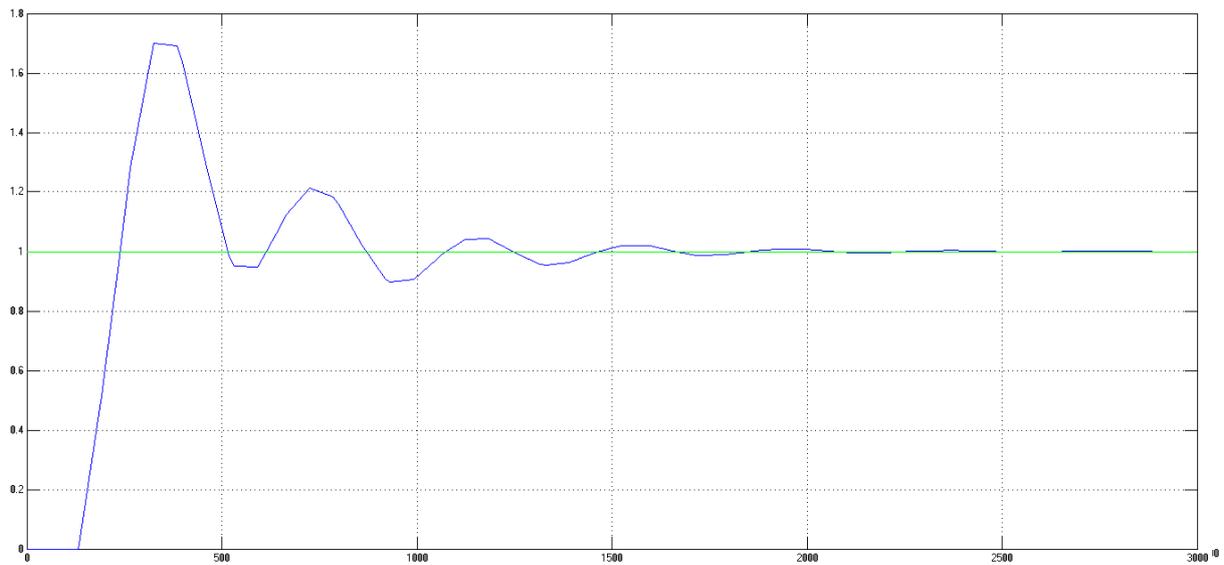
Störverhalten



Die Regelgröße geht nicht mehr auf den Sollwert zurück.

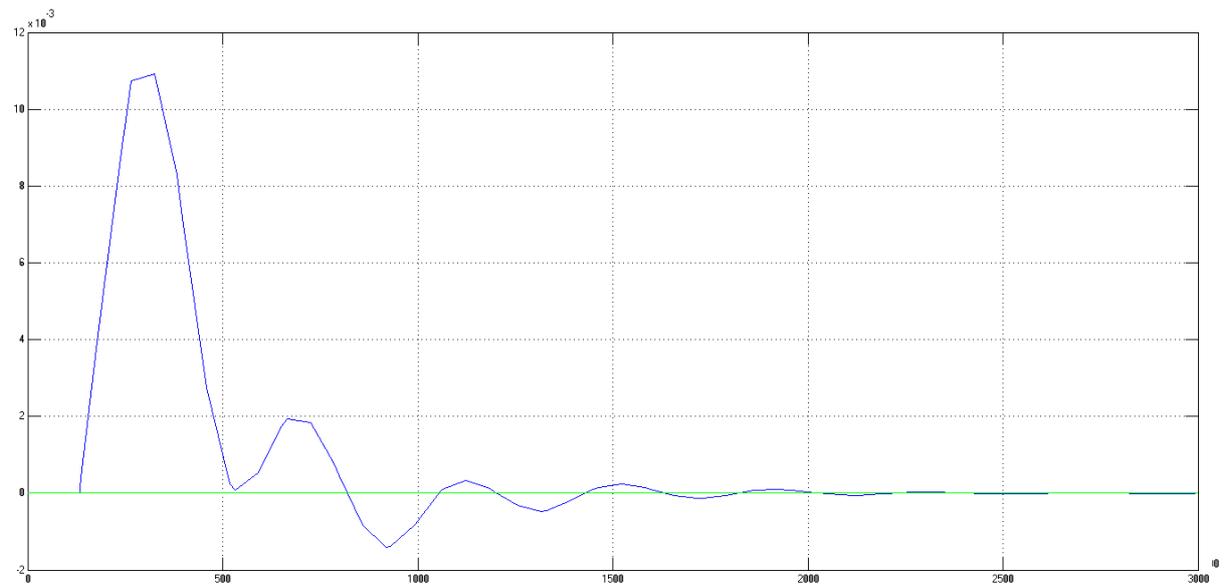
PID-Regler

Führungsverhalten



Der PID-Regler hat ein Überschwingen von knapp 80%. Der Sollwert wird nach 2000s erreicht.

Störverhalten

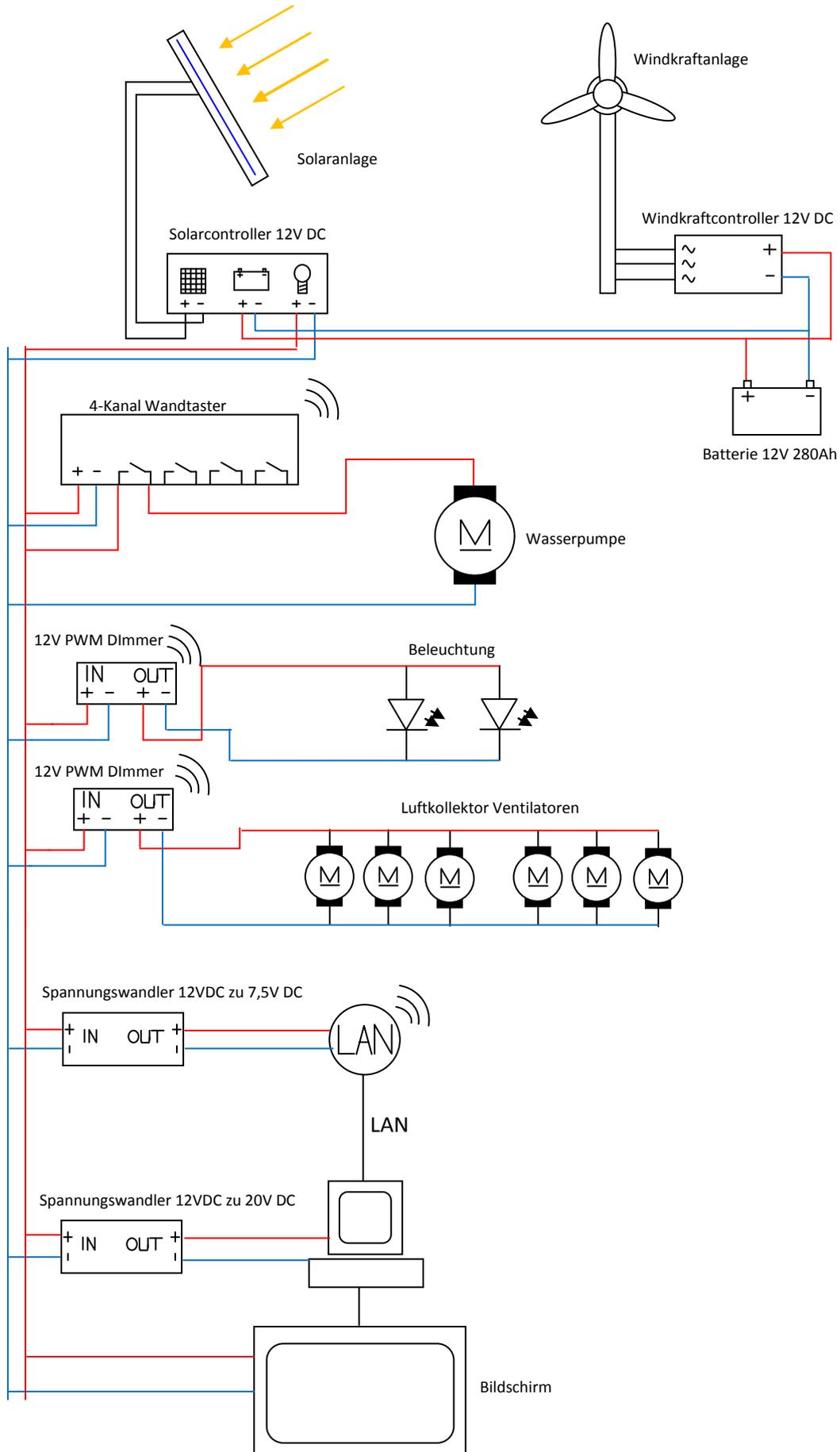


Die Störung wirkt sich nur geringfügig aus der Regler regelt auf den Sollwert zurück.

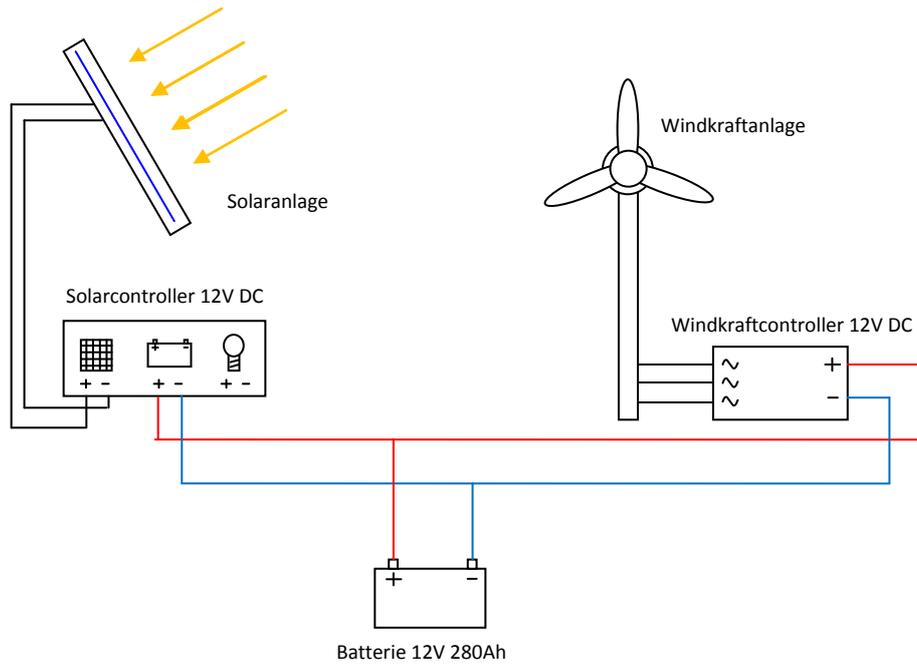
Auswertung

Der Regler mit dem besten Verhalten ist der PI-Regler. Der P und der PD Regler erreichen den Sollwert nicht. Beim PID-Regler ist das Überschwingen während des Führungsverhaltens zu hoch.

7. Schaltplan vom BarfußHaus



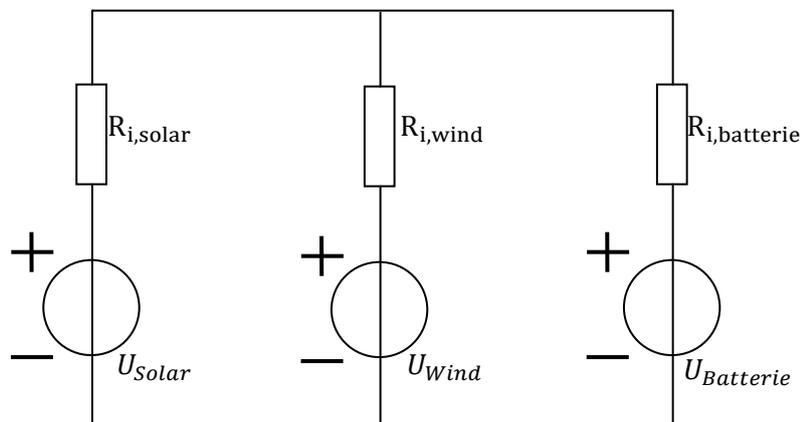
7.1 Ladevorgang



Leistungsdaten	Solaranlage	Windkraftanlage	Batterie
P	0..300W	0..400W	-
U	0..18V	0..12V	11,5..14V
I	0..16,7A	0..33,33A	-

Prinzipschaltbild der Spannungsquellen

Mit Hilfe des Superpositionsprinzips ist es möglich den Ladestrom zu berechnen. Ein Windrad steht im Jahr ca. 80% der Zeit still. Das Windrad des BarfussHauses ist nicht unter den empfohlenen Bedingungen angebracht. Das zeigt sich auch durch die Mindestgeschwindigkeit für den Ladebeginn. Bei $3 \frac{m}{s}$ beginnt das Windrad mit dem Ladevorgang, am Standort des BarfussHauses fängt der Ladevorgang erst bei $8,33 \frac{m}{s}$ an.



An dem Schaltbild ist klar zu erkennen, dass sich der Strom der Solaranlage aufteilt und ein Teil über den Spannungszweig der Windkraftanlage abfließt.

Wenn davon ausgegangen wird, dass der Innenwiderstand des Windkraftcontrollers gleich dem Innenwiderstand der Batterie ist, geht die Hälfte des Ladestromes verloren. Im günstigsten Fall ist der Innenwiderstand der Batterie kleiner als der, des Windkraftcontrollers. Selbst dann gibt es immernoch einen Verlust des Solarstromes. Für ein Haus welches sparsam mit Energie umgehen soll ist dies aber nicht hinzunehmen. Deshalb ist die Verwendung eines Relais welches bei einer bestimmten Windgeschwindigkeit aktiviert wird unabkömmlich.