

# Arbeitspunkt eines hydraulischen Systems

Projekt Numerik 1, ZHAW SoE, 20.04.2024

*Kevin Daverda, Tobias Mäder, Nathaniel Walser*

1	Ziel .....	1
1.1	Anmerkungen .....	1
2	Pumpenkennlinie .....	2
3	Single Pipe Modell .....	3
4	Dual Pipe Modell .....	4
4.1	Konvergenz .....	5
4.2	Variation der Startparameter .....	6
5	Tri Pipe Modell .....	7

# 1 Ziel

In diesem Projekt werden mehrere Konfigurationen eines hydraulischen Systems, einem Pumpwerk mit mehreren Leitungen, simuliert und analysiert.

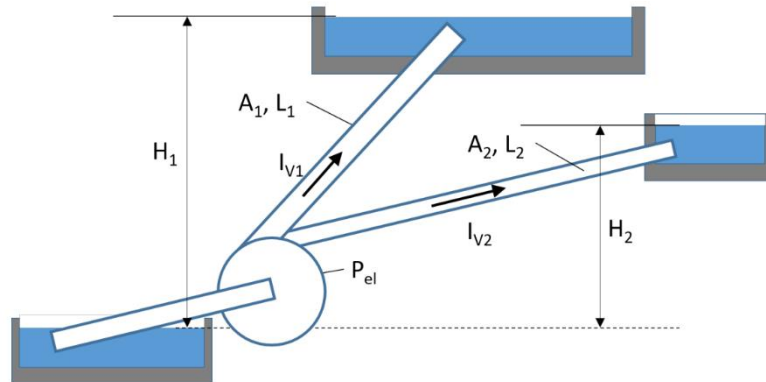


Abbildung 1 Systemaufbau

Grundsätzlich gibt es im System eine Pumpe, welche mit einer vorgegebenen Leistung betrieben wird, die an mehrere Pipelines angeschlossen ist, welche in unterschiedlich hoch gelegene Speicher führen. (Siehe Abb. 1)

## 1.1 Anmerkungen

Berücksichtigt werden im Modell der Statische Druck, der Dynamische Druck durch den Widerstand des Mediums in der Röhre und die Pumpenkennlinie.

Im Modell können beliebig viele Pipelines hinzugefügt und unabhängig voneinander parametrisiert werden. Jedoch ist darauf hinzuweisen, dass in gewissen Fällen die Annäherungen der Kennlinien der einzelnen Komponenten ausserhalb des geltenden Bereiches landen können.

Das Modell wurde gemäss Aufgabenstellung aufgestellt, wobei jedoch noch eine zusätzliche Formel für das Berechnen des Systemwirkungsgrades mit mehreren Pipelines eingesetzt wurde.

Bei allen Berechnungen wurde das Nelder-Mead Verfahren zur Findung des lokalen Minimums verwendet. Durch die Verwendung dieses Verfahrens konnten wir uns im Vergleich zum Newton respektive Gauss-Newton Verfahren die erste Ableitung der Funktion nach den Parametern sparen und zudem für beide Fälle (Single Pipe oder n-Pipes) das gleiche Lösungsverfahren einsetzen. Der Rechnerische Aufwand ist jedoch grösser aber in unserem Fall vernachlässigbar. (Im Vergleich zum Newtonverfahren für unsere Anwendung ca. 20mal grösser)

Aufgrund der Limitierten Zeit gehen wir in diesem Bericht nicht auf alle erarbeiteten Codebeispiele ein. Alle vollständigen Beispiele sind in Sourcecode zu finden.

## 2 Pumpenkennlinie

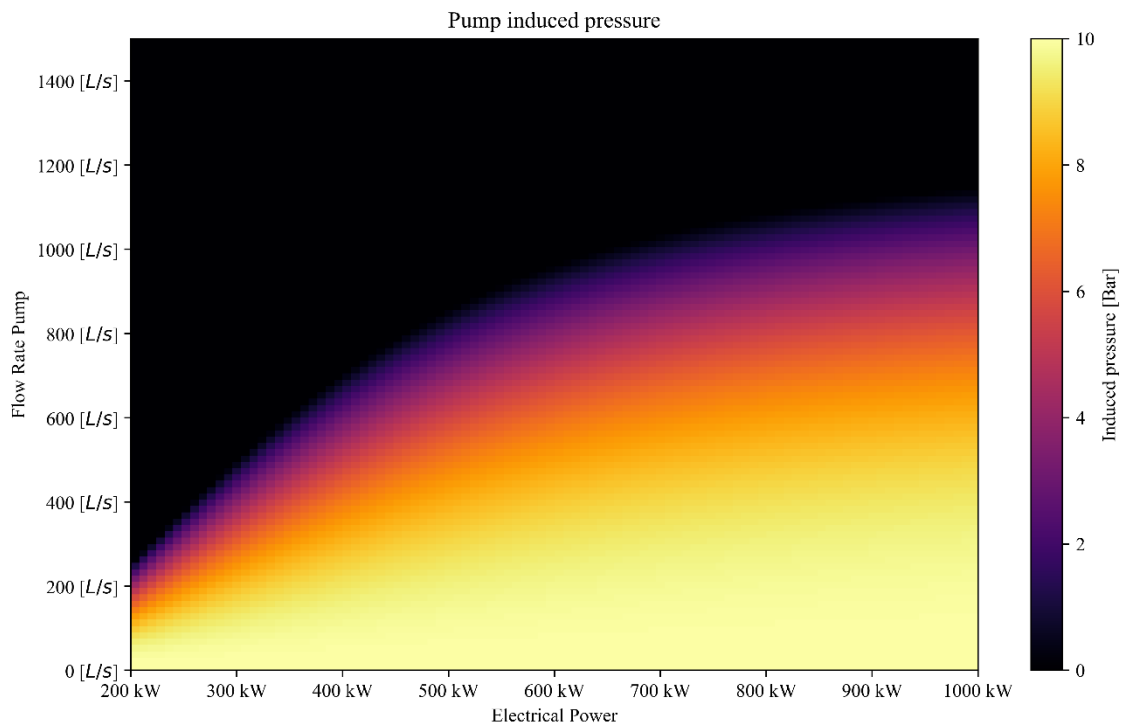


Abbildung 2 Pumpenkennlinie

Die Pumpenkennlinie wurde in Abhängigkeit des Volumenstromes und der zugeführten elektrischen Leistung geplottet. Zu sehen ist, dass es einen zulässigen Arbeitsbereich für die Pumpe gibt. Über diesem Arbeitsbereich ist der Erzeugte Druck gleich null.

Zudem gibt es bei dieser Pumpe einen maximalen Durchfluss, welcher praktischerweise erzielt werden kann. Dies sieht man an der Form des Überganges des Arbeitsbereichs. Dieser liegt realistischerweise bei ca. 1200 L/s Volumenstrom.

### 3 Single Pipe Modell

Single Pipe Model (g:  $9.81\text{m/s}^2$ , density:  $1000\text{kg/m}^3$ )

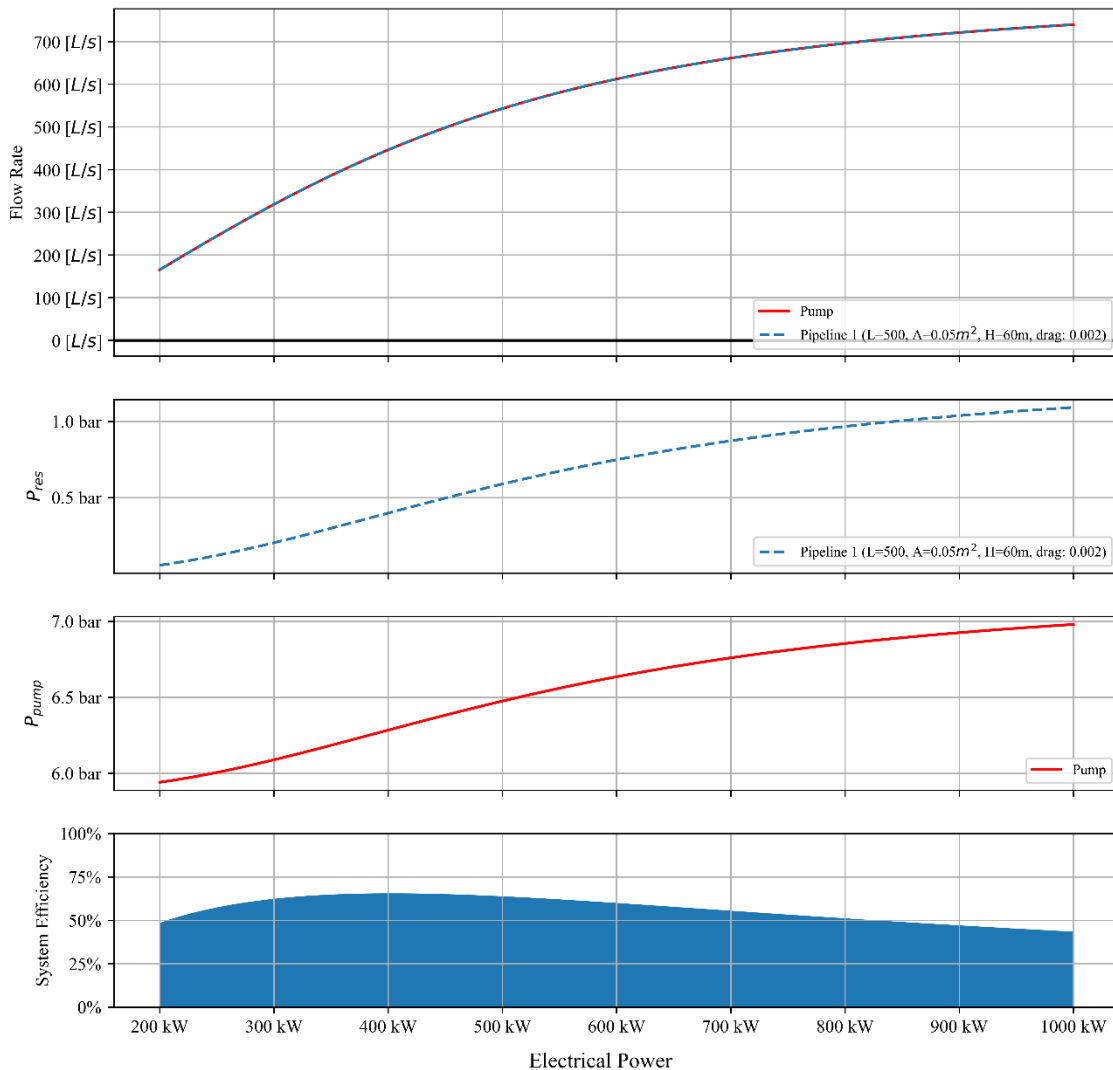


Abbildung 3 Single Pipe Modell Simulation

Im Single Pipe Modell wurde in einem Intervall von 200kW bis 1000kW verschiedene Parameter analysiert. Verwendet wurde eine Pipeline mit der Parametrierung gemäss Abbildung 3.

Als Startwerte für die Simulation wurden  $p_0 = [0]$  verwendet.

Es ist zu sehen, dass die Systemeffizienz im Bereich von einer elektrischen Leistung von ca. 400kW ein Optimum aufweist.

## 4 Dual Pipe Modell

Dual Pipe Model (g:  $9.81\text{m/s}^2$ , density:  $1000\text{kg/m}^3$ )

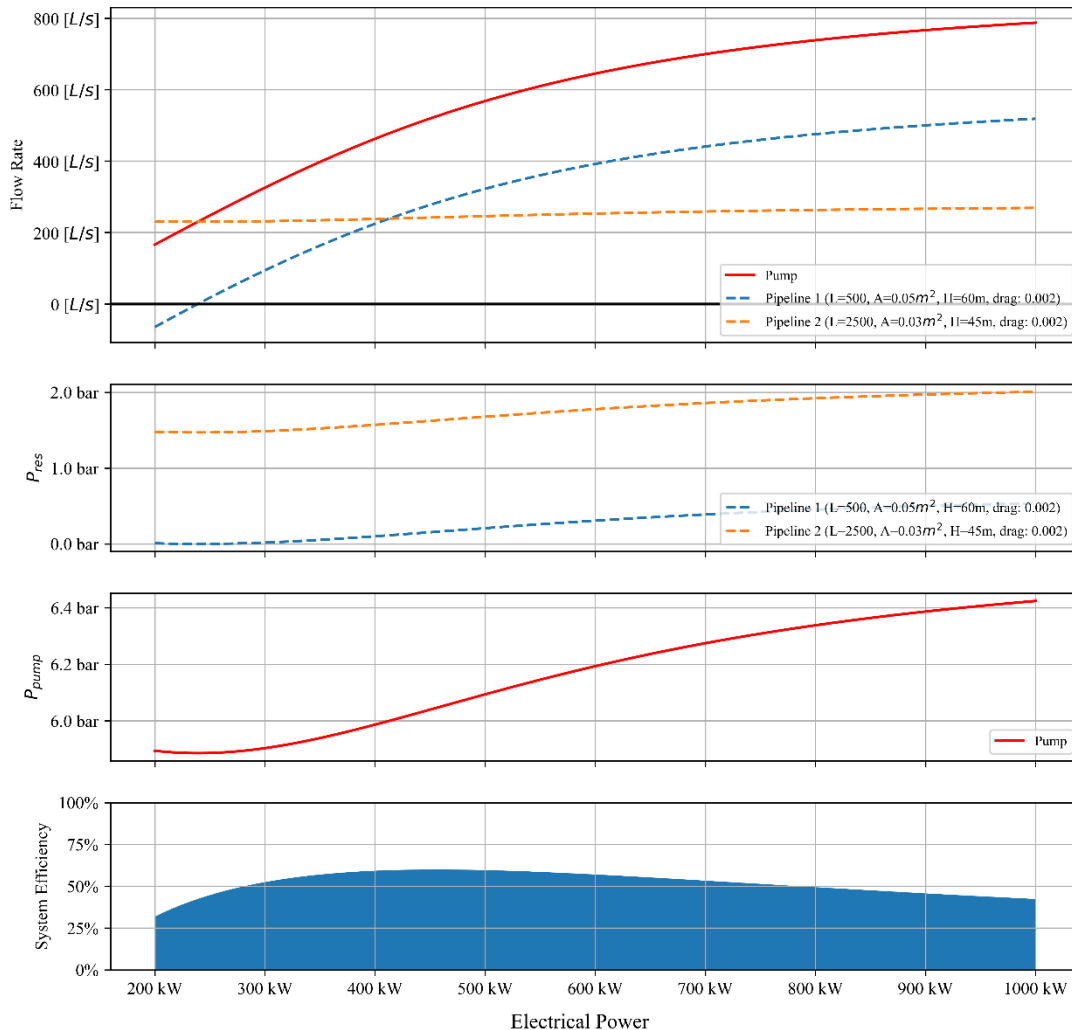


Abbildung 4 Dual Pipe Modell Simulation

Im Dual Pipe Modell wurde in einem Intervall von 200kW bis 1000kW verschiedene Parameter analysiert. Verwendet wurden zwei Pipelines mit der Parametrierung gemäss Abbildung 4.

Beim Arbeitspunkt von 200kW ist zu sehen, dass der Volumenstrom der Pipeline 1 Negativ ist. Das würde bedeuten, dass das Medium von einem Speichersee in den anderen fließen würde. Die Absoluten Werte sind jedoch mit Vorsicht zu verstehen, da die Gleichungen möglicherweise nicht für diesen Arbeitsbereich ausgelegt sind.

Ebenfalls ist zu sehen, dass der Pumpendruck vom Arbeitspunkt 200kW im Vergleich zum Arbeitspunkt 250kW absackt. Ein weiteres Indiz, dass das Modell in diesem Bereich möglicherweise Falsche Werte liefert.

Der Anstieg der Flussrate ist hauptsächlich auf Pipeline 1 zurückzuführen. Dies ist auf den kleineren dynamischen Druck, welcher in dieser Pipeline überwunden werden muss, zurückzuführen.

## 4.1 Konvergenz

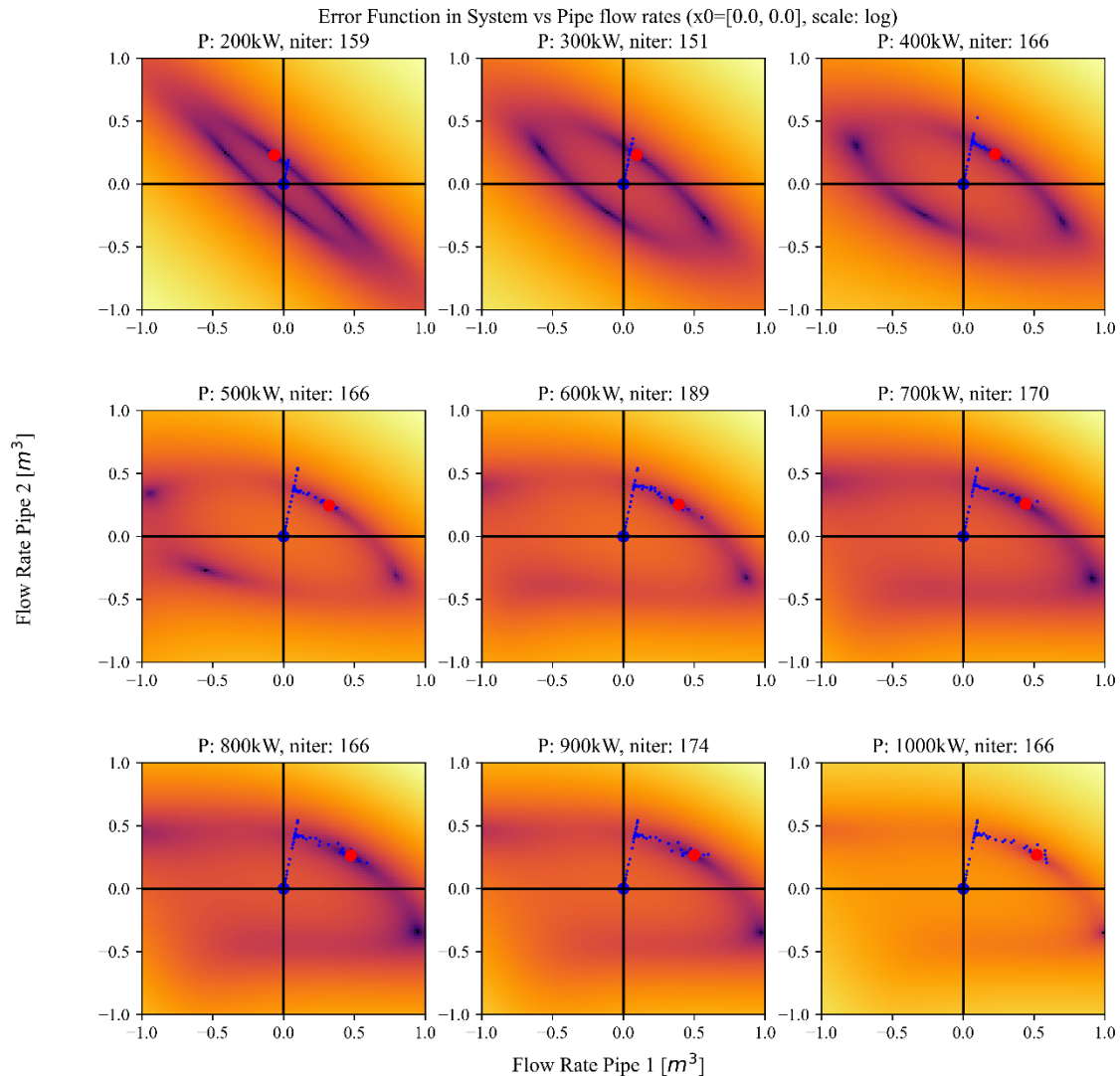


Abbildung 5 Fehlerfunktion in Abhängigkeit der Volumenströme (Nelder-Mead, No Bounds)

Optimiert wird auf die Summe der quadrierten Differenzdrücke, welche gemäß Modell zwischen den Pipelines und der Pumpe herrschen. Diese Fehlerfunktion muss auf ein Minimum optimiert werden. In unserem Fall ist das Resultat nur gültig, wenn es nahe null ist. (unter  $1 \text{ mBar}^2$  Fehler)

Mit dem Startwert  $p_0 = [0, 0]$  (in Abb. 5 gross Blau) wurde in allen Fällen das Korrekte Minimum gefunden, welches sich im Normalfall im ersten Quadranten befindet. (in Abb. 5 gross Rot)

Das Verfahren konvergierte im Normalfall innerhalb von 200 Iterationen. (in Abb. 5 klein Blau)

## 4.2 Variation der Startparameter

Gradient map of direction of solution from starting point

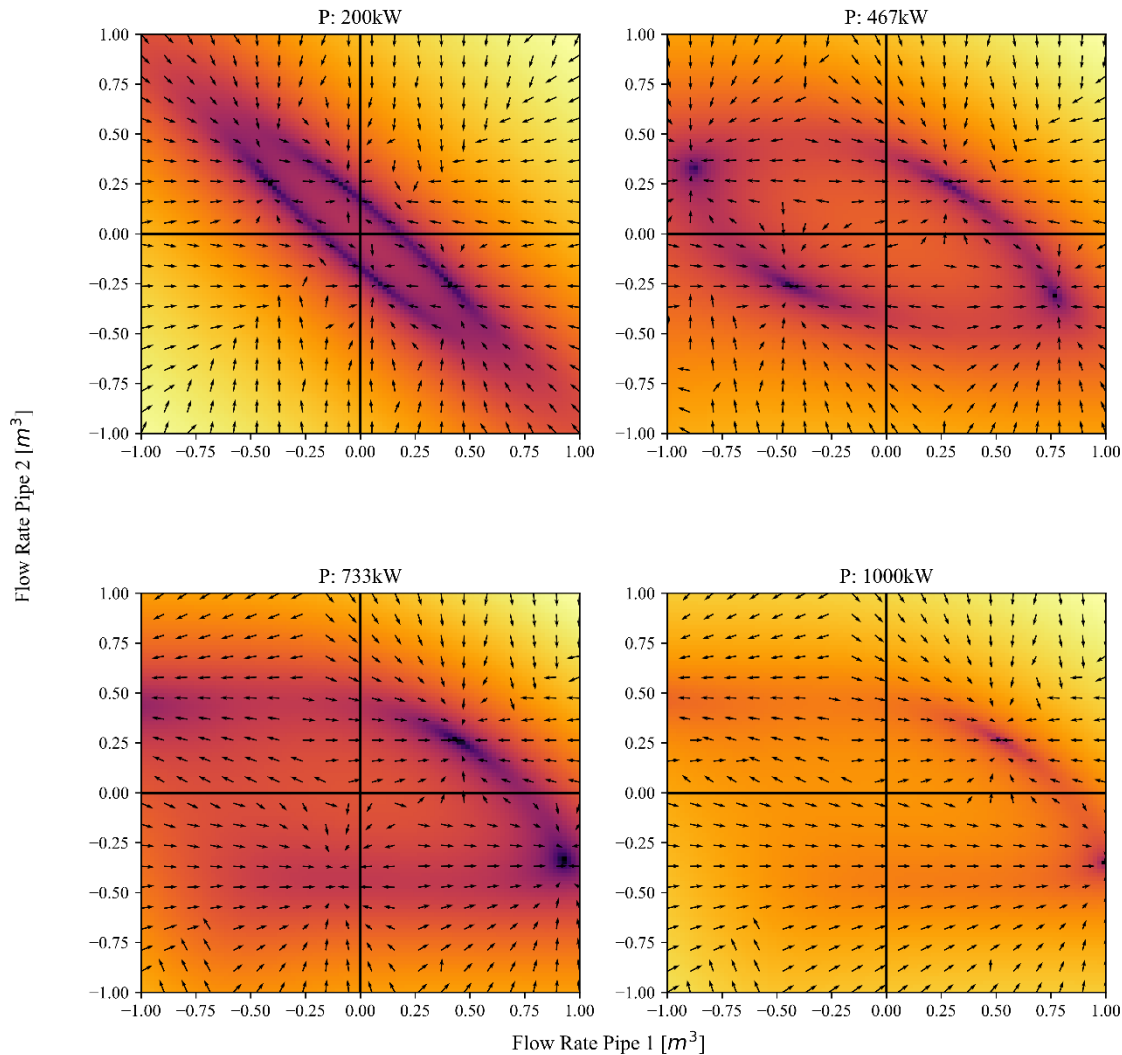


Abbildung 6 Gradienten Feld der Richtung des Startpunktes zum Konvergenzpunktes hin

Gemäss Abbildung 5 und 6 ist zu sehen, dass es mehrere lokale Minima gibt, und es daher zwingend ist, die Startparameter korrekt zu wählen. Es könnte noch auf andere Verfahren wie zum Beispiel das «Basinhopping» Verfahren zurückgegriffen werden, damit ist es besser möglich alle Minima zu finden, jedoch auch nicht garantiert.

In Abbildung 6 sind die Richtungsvektoren an den Startpunkt in die Richtung des Konvergenzpunktes hin eingezeichnet. Es ist zu sehen, dass die Startpunkte nicht zwingend zu den nächsten lokalen Minima konvergieren, sondern teilweise auch auf Minima konvergieren, die weiter entfernt sind. Dies ist stark vom Verfahren, welches zur Findung des Minimums eingesetzt wird, abhängig.

## 5 Tri Pipe Modell

Tri Pipe Model (g:  $9.81\text{m/s}^2$ , density:  $1000\text{kg/m}^3$ )

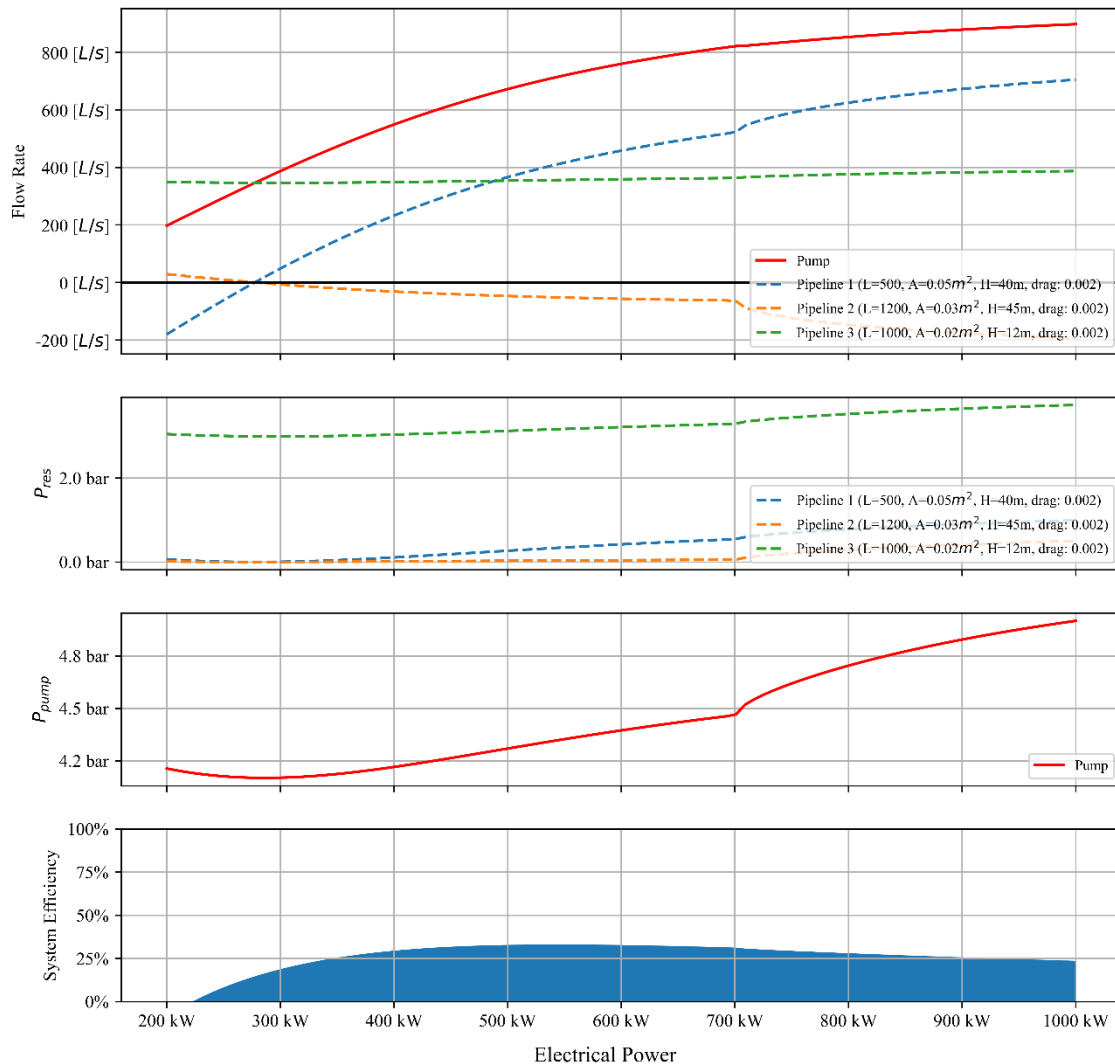


Abbildung 7 Tri Pipe Modell Simulation

Wir haben das Ganze noch einen Schritt weitergeführt und versucht ein Tri Pipe Modell zu fitten. Unter gewissen speziellen Startparametern scheint dies auch zu funktionieren, jedoch ist es stark abhängig von der Parametrisierung der Pipelines.

In diesem Speziellen Beispiel auf Abbildung 7 ist zum Beispiel ein abrupter Sprung im Graphen festzustellen. Wir vermuten, dass an diesem Punkt ein anderes lokales Minimum anhand von unseren Startparametern  $p_0 = [0, 0, 0]$  gefunden wird. Dem könnte man entgegenwirken, indem man den zuvor gefundenen Arbeitspunkt zum Beispiel weiterverwenden würde oder indem man die Grenzen der Suche einschränkt. (Siehe Sourcecode)

Ein Quad Pipe Modell ist in Sourcecode ebenfalls noch vorhanden. (Siehe `2_power_flow_rate_curve.ipynb`)