

Energieeffiziente Hochdruckpumpe für einen flexiblen Einsatz in der Wasserstrahlbearbeitung

In diesem vom KTI geförderten Projekt ist eine energieeffiziente Hochdruckpumpe zu entwickeln, die den Anforderungen verschiedener Fertigungsanlagen Rechnung trägt. Hierzu wurde ein modularer Antriebsstrang dimensioniert und mit einem skalierbaren Regelalgorithmus kombiniert. Die Leistungsfähigkeit wurde schliesslich in der Applikation verifiziert.

Stefan Niederberger



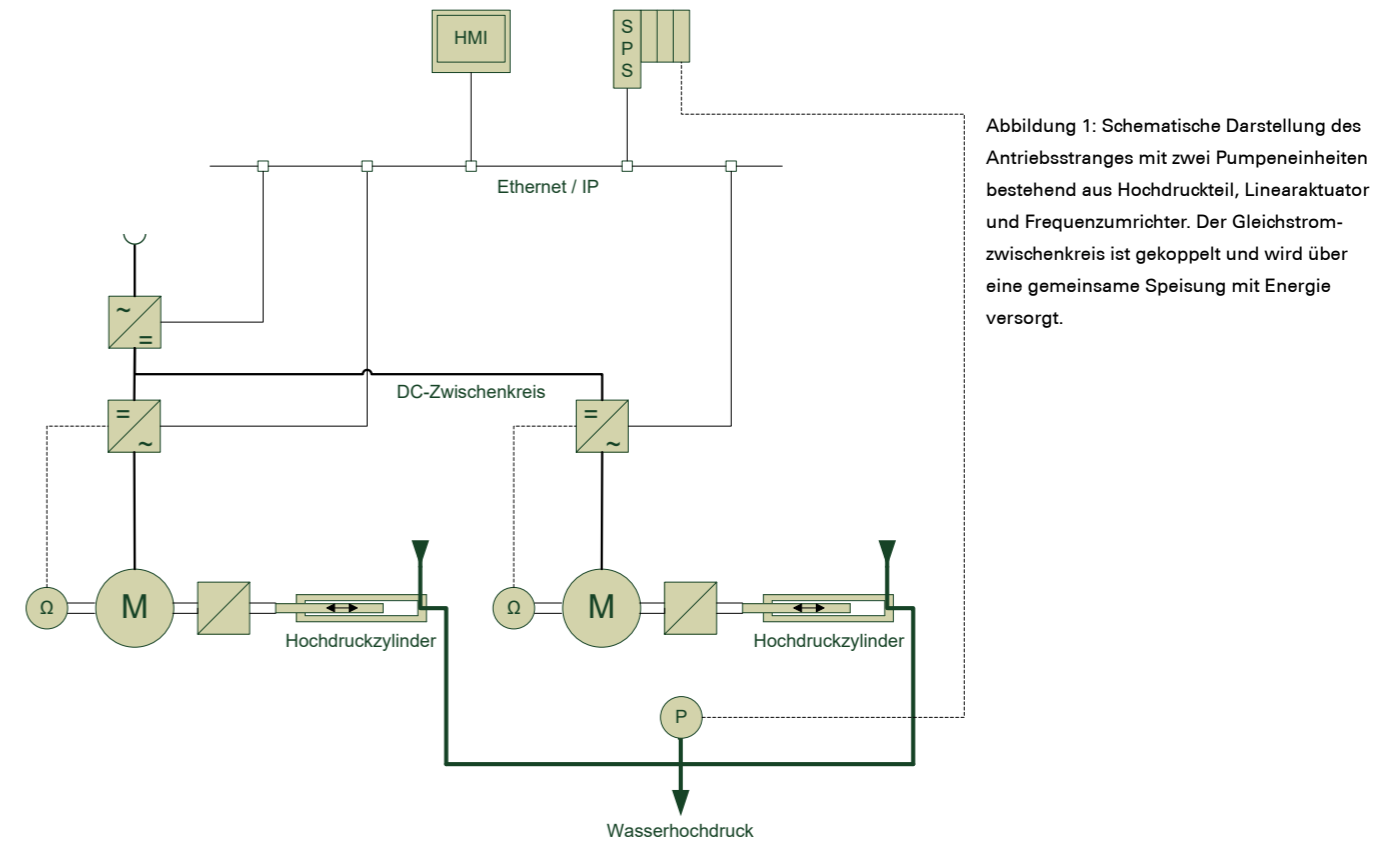
Hochdruckpumpen kommen hauptsächlich beim Wasserstrahlschneiden und Oberflächenreinigen zum Einsatz. Die Druckerzeugung wird üblicherweise durch Hydraulikaggregate realisiert. Dies ist sehr energieintensiv, so dass jede Effizienzsteigerung die Betriebskosten deutlich senkt. Daher ist in der vorangehenden Arbeit die Energieeffizienz einer eigens entwickelten elektrischen Hochdruckpumpe untersucht worden. Dank dem Elektroantrieb kann auf den Einsatz von Ölhydraulik gänzlich verzichtet werden und die Hardwarekomplexität einer Hochdruckpumpe wird deutlich reduziert. Die gesamte Intelligenz verlagert sich in die Softwareebene, welche die Druckerzeugung individuell auf die Fertigungsanlage anpasst.

Je nach Anwendungsgebiet wird ein Wasserdruck von 2000 bis 4000 bar erreicht, während die Fördermenge zwischen 1 und 5 l/min variiert. Aufgrund dieses grossen Arbeitsbereiches und einer Vielzahl von Fertigungsanlagen

wird die elektrische Hochdruckpumpe gemeinsam mit Jet Cut Power und Zaugg Maschinenbau zu einer modular skalierbaren Pumpeneinheit weiterentwickelt. Hierzu ist ein Simulationsmodell erstellt worden, welches zum einen zur optimalen Dimensionierung der energieeffizienten Antriebstechnik und zum anderen zur Evaluation des hierarchischen Regelungskonzeptes dient.

Energieeffiziente Antriebstechnik

Abbildung 1 zeigt schematisch den Aufbau des Antriebsstranges. Jede Pumpeneinheit besteht aus einem Hochdruckteil, Linearaktuator und Frequenzumrichter. Der Frequenzumrichter steuert den Linearaktuator, welcher einen Plunger im Hochdruckzylinder positioniert. Die Linearaktuatoren sind eigens für diese Applikation in Zusammenarbeit mit Wittenstein Cyber Motor entwickelt worden. Diese besitzen eine Wasserkühlung, welche aufgrund des kleinen Temperaturhubs bei einer minimal



benötigten Kühlmenge direkt mit Schneidwasser versorgt werden kann. Die Frequenzumrichter wurden von Rockwell Automation zur Verfügung gestellt. Diese erlauben die Energierückgewinnung und Speicherung im Gleichstromzwischenkreis. Die Zwischenkreise mehrerer Pumpeneinheiten lassen sich wahlweise koppeln, um die Energieeffizienz weiter zu erhöhen.

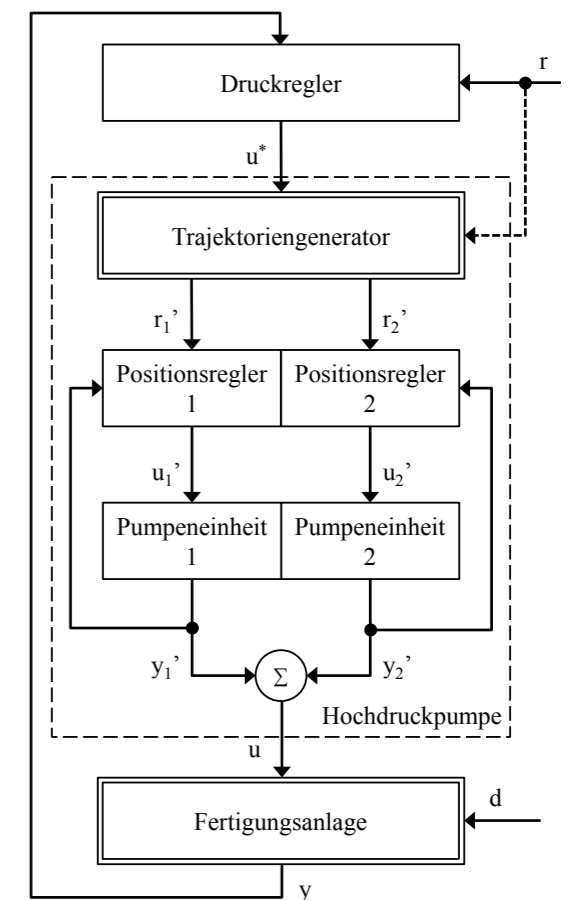
Hierarchisches Regelungskonzept

Erst das Zusammenwirken von mindestens zwei Pumpeneinheiten ermöglicht eine kontinuierliche Druckerzeugung. Dies wird, wie in Abbildung 2 dargestellt, durch eine hierarchische Regelungsstruktur über drei Ebenen realisiert: Zunächst sorgt eine Kaskadenregelung mit Lastbeobachter für eine hochdynamische und präzise Positionierung der Linearaktuatoren, dann werden die Pumpeneinheiten modellbasiert über optimale Referenztrajektorien synchronisiert, um schliesslich den globalen Systemdruck übergeordnet zu regeln und allfällige Störeinflüsse zu kompensieren.

Für den Regelungsentwurf wird das nichtlineare Systemverhalten als parametrische Unsicherheit betrachtet. Wie in Abbildung 3 ersichtlich, ist eine robuste Regelung entworfen worden, damit die verbleibende Parametervariation im kritischen Frequenzbereich vernachlässigbar klein ausfällt. Hinsichtlich eines optimalen Entwurfes bleibt die hohe Kreisverstärkung im tiefen Frequenzbereich kritisch, da dort kleine Abweichungen zu grossen Gewichtsfehlern führen.

Verifizierung in der Applikation

Um die Leistungsfähigkeit der energieeffizienten Hochdruckpumpe zu verifizieren, ist der Hochdruckpumpenprüfstand der FHNW weiter ausgebaut worden. Hierzu ist



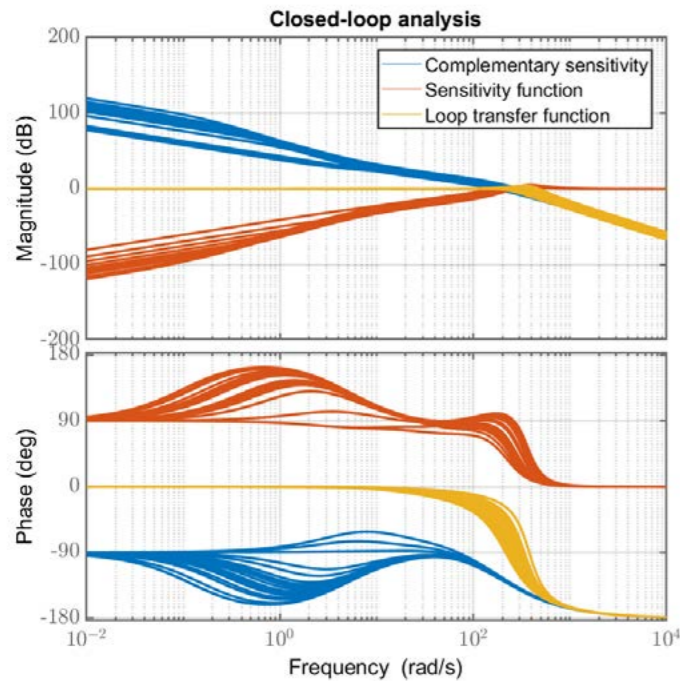


Abbildung 3: Frequenz und Phasengang des geregelten Hochdrucksystems zur Beurteilung des Regelungsentwurfs. Das nichtlineare Hochdrucksystem wird durch ein Set linearisierter Modelle repräsentiert.

eine Teststrecke konstruiert worden, welche einen grossen Teil der erwarteten Fertigungsanlagen nachbilden kann und folglich reale Lastverläufe im gewünschten Arbeitsbereich erzeugt.

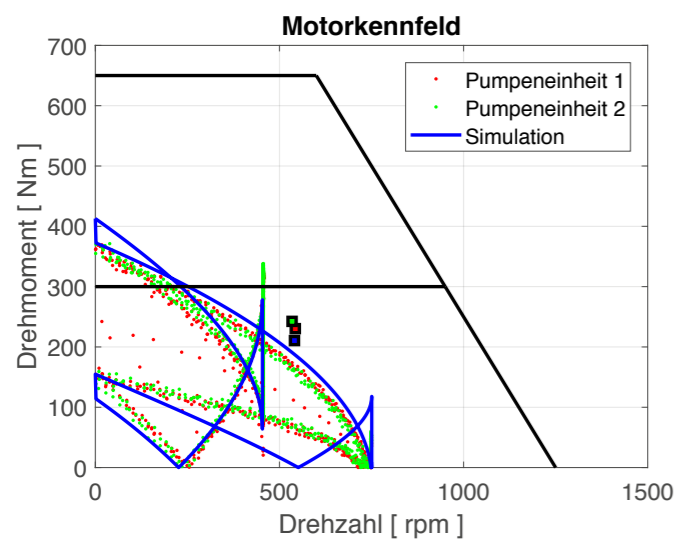


Abbildung 4: Simuliertes und gemessenes Lastspiel dargestellt im Motorkennfeld bei einem Arbeitspunkt von 3200 bar Hochdruck und einer Fördermenge von 2.1 l/min.

Messungen über einen grossen Arbeitsbereich zeigen einen Wirkungsgrad des Antriebsstranges von über 90%. Dieses Resultat kann nur über eine modellbasierte Antriebsdimensionierung erreicht werden, indem Referenztrajektorien unter Berücksichtigung der Motorkennlinie integral optimiert werden. Abbildung 4 vergleicht die zur Antriebsdimensionierung simulierte Drehmoment- und Drehzahlverlauf eines Arbeitspunktes mit dem effektiv gemessenen Lastspiel.

Ausblick

In der langjährigen Zusammenarbeit mit Jet Cut Power und Zaugg Maschinenbau ist die Entwicklung einer energieeffizienten Hochdruckpumpe von der Vision über ein Funktionsmuster bis zum Serienmuster begleitet worden. Die neue Pumpentechnologie erlaubt die anwendungsspezifische Dimensionierung beliebiger Fertigungsanlagen aus modularen Einheiten. Für diesen Zweck wird das Simulationsmodell in ein Auslegetool integriert.

Das Simulationsmodell ist zudem erweitert worden, um Fertigungsanlagen als verteilte Systeme abzubilden. Diesbezüglich wird die dezentrale Regelung von mehreren verteilten Pumpeneinheiten untersucht. Die bestehende lokale Regelung einer einzelnen Hochdruckpumpe ist zunächst am Prüfstand weiter zu verifizieren. Im Anschluss sind Feldversuche geplant.

Projektteam

Stefan Niederberger, Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand, stefan.niederberger@fhnw.ch
 Jean-Paul John, Master Student und Wissenschaftlicher Assistent, Weiterentwicklung des Hochdruckpumpenprüfstands
 Pascal Zeugin, Master of Science in Engineering MSE, Wissenschaftlicher Assistent, Regelung und Verifizierung der Linearaktuatoren

Generische Flug-Plattform mit unterschiedlichen Sensoren zur Detektion von Landminen

Das grösste Problem bei der Suche nach Landminen ist das Betreten der betroffenen Gebiete und damit verbunden die grossen Gefahren. Ein neuer Ansatz versucht diese Situation mit einem unbemannten Luftfahrzeugsystem (UAV Unmanned Flight Vehicle) in Kombination mit unterschiedlichsten Sensoren zu umgehen.

Dieses System soll das vermutlich vermintete Gebiet in einer zuvor berechneten Flugroute abfliegen und dabei eine zentimetergenaue Ortung der vorhandenen Minen durchführen, um die Kosten für eine intensive manuelle Suche nach Landminen zu senken und gleichzeitig die Gefahren für die daran beteiligten Personen zu minimieren.

Heinz Eichin



Zielsetzung

Von Anfang 2016 bis Ende 2017 arbeiteten Hochschule und Universität Ulm zusammen mit der Fachhochschule Nordwestschweiz gemeinsam an einer Lösung zum Auffinden von Landminen in aktuellen und ehemaligen Krisengebieten. Finanziert wurde die wissenschaftliche Arbeit von der Urs Endress Stiftung, die sich der Entwicklung von modernen Suchgeräten zum Auffinden von Minen, Blindgängern und weiteren Waffen verschrieben hat.

Nach diesem ersten Projektschritt mit einer Implementierung eines Mustersystems basierend auf GPR-Sensorik (Ground Penetrating Radar) konnte aufbauend darauf eine Plattform zum Einsatz unterschiedlichster Sensoren an einer UAV geschaffen werden (Abbildung 1).

Dabei lag der Fokus auf einer hoch modularen generischen Plattform mit weitgehend kommerziell verfügbaren Kom-

ponenten, die unabhängig von der Flugplattform und der unterhalb des Flugsystems montierten Sensoren und Aktoren unterschiedlichste Aufgaben übernehmen kann.

Die so konzipierte generische Sensorplattform besteht aus mehreren modular aufeinander abgestimmten Subsystemen:

Single Board Computer (SBC)

Als zentrales Teilsystem kommt ein Single Board Computer (SBC) zur zeitsynchronen Erfassung und Synchronisation aller auf dem System zu integrierenden Sensordaten und Messwerte zum Einsatz. Nur wenn die Positionsdaten der UAV exakt mit den aktuellen Sensordaten übereinstimmen oder der Versatz exakt berechenbar ist, kann eine Mine zentimetergenau erfasst werden.

Der SBC ist ein handelsübliches Produkt der Firma Phytec Messtechnik, ein phyBOARD-Zeta, das in Geräten zum Ein-