

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19725 N/1

Thema

Globaloptimale Topologiefindung bei Pumpensystemen

Berichtszeitraum

01.01.2018 - 31.10.2020

Forschungsvereinigung

Forschungskuratorium Maschinenbau e.V.

Forschungseinrichtung(en)

Technische Universität Darmstadt

Institut für Fluidsystemtechnik

Otto-Berndt-Straße 2

64287 Darmstadt

Darmstadt, 08.02.2021

Ort, Datum

Prof. Dr.-Ing. Peter F. Pelz



Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kurzfassung

Der Energiebedarf von Pumpensystemen macht einen großen Teil des Primärenergiebedarfs aus. Studien zeigen, dass 2015 in Deutschland 11.3 % des Gesamtenergiebedarfs (572 PJ) auf mechanische Antriebe in Pumpen zurückzuführen sind, vgl. [1] und [2]. Um diesen hohen Anteil zu reduzieren, ist es zwingend erforderlich, effiziente und zuverlässige Pumpensysteme zu konzipieren und zu realisieren.

Dabei zeigt sich, dass das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten, also das Gesamtsystem, von entscheidender Bedeutung ist. In [3] wird geschätzt, dass 75 % des Energieeinsparpotenzials auf das System zurückzuführen sind, und zwar durch (i) eine bessere Systemsteuerung, (ii) ein besseres Systemdesign und (iii) die Auswahl besser dimensionierter Pumpen. Durch den Einsatz effizienterer Pumpen können lediglich 7.5 % des Einsparpotenzials erschlossen werden.

Allerdings ist die Nutzung des Optimierungspotenzials auf Systemebene eine Herausforderung: Eine riesige Anzahl verschiedener möglicher Komponenten, Konfigurationen und Betriebsparameter muss berücksichtigt werden, was in der Praxis zu einer überwältigenden Anzahl von Planungsentscheidungen und Konfigurations- sowie Steuerungsmöglichkeiten führt. Diesen Herausforderungen kann mit algorithmisch gestützten Planungsmethoden begegnet werden. Hierzu zeigen sich insbesondere die Methode des Technical Operations Researchs, welche unter anderem auf Methoden der Diskreten Optimierung zurückgreift, als vielversprechend.

Ziel des Projektes ist es diese Methoden zur Planung und Betrieb von Pumpensystem anzuwenden, zu validieren und das Potenzial zu eruieren. Dabei soll die Anwendbarkeit und die Grenzen der Methoden erörtert werden. Aus diesem Grund wurden in dem Projekt die folgenden Arbeiten durchgeführt:

- Definition und physikalische Modellierung zweier Modellsysteme (Druckerhöhungsanlage Gebäude, Kühlkreislauf chemische Industrie), worauf aufbauend Optimierungsprogramme für die Systemsynthese entwickelt, gelöst und detailliert analysiert wurden. Hierbei wurden unterschiedliche Planungsvorgaben und Komplexitätsstufen berücksichtigt.
- Entwicklung und Implementierung von Methoden zur Antizipation von Unsicherheit im Betrieb und eines Regelungsverfahrens zur Online-Optimierung des Systemverhaltens.
- Aufbau eines Demonstrators und experimentelle Validierung der Lösungen eines Modellsystems für die optimale Systemsynthese und -betrieb.
- Konzeption, Entwicklung und Implementierung zweier Lösungsverfahren um komplexere Optimierungsprobleme zu lösen. Einerseits wurden globaloptimale Verfahren verfolgt und andererseits heuristische Verfahren unter Integration von domänenspezifischem Wissen.
- Diskussion der Methoden und Ergebnisse in Industrie und Wissenschaft.

Für beide Modellsysteme hat sich gezeigt, dass sich wesentliche physikalische Aspekte und für die Praxis relevanten Anforderungen bei der Systemsynthese in den Optimierungsprogrammen integrieren lassen. Dabei können unterschiedliche Komplexitätsgrade (z.B. zentrale oder dezentrale Systeme) berücksichtigt werden. Die experimentellen Untersuchungen bestätigen, dass der Modelldetailgrad ausreichend ist und die geplanten Systeme umsetzbar sind.

Das Potenzial der Methode ist enorm, wie verschiedene Anwendungen zeigen. Beispielsweise konnten bei einem Gebäude die Kosten für die Druckerhöhungsanlage durch den Einsatz von diskreten Optimierungsverfahren um 33 % gegenüber der existierenden Lösung gesenkt werden. Es hat sich gezeigt, dass die Optimierungsmethoden zuverlässig zulässige Lösungen generieren und es somit als Planungswerkzeug hohes Potenzial besitzt. Neben dem Auffinden von besseren Lösungen als mit konventionellen Methoden, ist einer der Hauptnutzen, dass die Entscheidungsfindung transparent, nachvollziehbar und objektiv ist.

Existierende Optimierungssolver stoßen jedoch bei sehr komplexen Systemen (viele Komponenten und topologische Freiheitsgrade) an die Grenzen. Diese konnten durch die entwickelten problemspezifischen Lösungsverfahren verschoben werden und eine deutliche Reduktion der Rechenzeit bei großen Problemen erreicht werden. Die Kombination von mathematischen Verfahren mit ingenieursspezifischem Knowhow hat sich als sehr effizient erwiesen, sowohl für globaloptimale als auch für heuristische (d.h. nur lokal optimale) Verfahren.

Methoden der robusten Optimierung wurden erfolgreich angewandt um Unsicherheit zu Antizipieren und eine Sicherheitsreserve ökonomisch optimal zu berücksichtigen. Auf Unsicherheit im Betrieb kann durch wiederholtes Lösen der Optimierungsprobleme innerhalb einer Regelung reagiert werden. Dies wurde am Demonstrator umgesetzt.

Die Grenzen der Methoden zeigen sich in der Komplexität der möglichen Systeme und die dadurch notwendigen problemspezifischen Lösungsalgorithmen. Dies bringt einen hohen Implementierungsaufwand mit sich. Zudem hat sich in den Diskussionen gezeigt, dass multidisziplinäres Wissen notwendig ist und der hohe initiale Aufwand bei der Erstellung der Programme die Anwendung in der Praxis hemmt.

Die Ergebnisse des Projektes wurden in folgenden Publikationen veröffentlicht:

Tim M. Müller, Philipp Leise, Tobias Meck, Lena C. Altherr, Peter F. Pelz (2019): *Systemic Optimization of Booster Stations - From Data Collection to Validation*. In: 4th International Rotating Equipment Conference - Pumps and Compressors, Wiesbaden, 24.-25.09.2019.

Tim M. Müller, Lena C. Altherr, Philipp Leise, Peter F. Pelz (2020): *Optimization of Pumping Systems for Buildings: Experimental Validation of Different Degrees of Model Detail on a Modular Test Rig*. In: Selected Papers of the Annual International Conference of the German Operations Research Society (GOR), Dresden, Germany, September 4-6, 2019, Springer.

Marvin M. Meck, Tim M. Müller, Lena C. Altherr, Peter F. Pelz (2020): *Improving an Industrial Cooling System Using MINLP, Considering Capital and Operating Costs*. In: Selected Papers of the Annual International Conference of the German Operations Research Society (GOR), Dresden, Germany, September 4-6, 2019, Springer.

Tim M. Müller, Philipp Leise, Imke Lorenz, Lena C. Altherr, Peter F. Pelz (2020): *Optimization and Validation of Pumping System Design and Operation for Water Supply in High-Rise Buildings*. In: Optimization and Engineering, 2020, S. 1-43. Springer.

Tim M. Müller, Andreas Schmitt, Philipp Leise, Tobias Meck, Lena C. Altherr, Peter F. Pelz, Marc E. Pfetsch: *Validation of an optimized resilient water supply system*. In: 4th International Conference on Uncertainty in Mechanical Engineering, eingereicht.

Hinweis

Das IGF-Vorhaben Nr. 19725 N/1d der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Der Abschlussbericht zu diesem Forschungsvorhaben kann bezogen werden über:

Das Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. (FKM)	Den Fachverband Pumpen & Systeme des VDMA
	
Lyoner Straße 18 D 60528 Frankfurt am Main www.fkm-net.de info@fkm-net.de	Lyoner Straße 18 D 60528 Frankfurt am Main https://pu.vdma.org Harald.Frank@vdma.org