

# Flexible und intelligente Kleinantriebstechnik für Industrie 4.0

## FIKAT 4.0

**Projekt:** Flexible und intelligente Kleinantriebstechnik für Industrie 4.0

**Laufzeit:** 01.02.2015 bis 31.01.2017

**Gesamtprojektkosten:** 166.000,00 €

**Davon Förderung:** 166.000,00 €

Die vierte industrielle Revolution, kurz Industrie 4.0, ist längst nicht mehr nur ein Schlagwort der Digitalisierungsstrategie der Bundesregierung. Die industriellen Fertigungsprozesse in Deutschland befinden sich im Wandel. Dies hat zur Folge, dass die fertigungsrelevanten Bauteile einer Anlage oder Maschine immer intelligenter, kompakter und auch flexibler in ihrer Anwendung werden. Zudem reihen sich anhaltende Trends, wie beispielsweise der Umschwung weg von Hydraulik und Pneumatik hin zu elektrischen Kleinantrieben, in die Liste neuer Anforderungen für das produzierende Gewerbe ein. Das Gebiet der elektrischen Kleinantriebe gewinnt in diesem Zusammenhang zunehmend an Bedeutung, da auch der Markt für Antriebe geringer Leistung stetig wächst und wächst.

Das Forschungsprojekt FIKAT 4.0 hat hierfür ein Konzept für ein modularisiertes Kleinantriebssystem entwickelt, welches Industrie 4.0-fähig, besonders flexibel und energieeffizient ist.

## Ziele

Ziel des Forschungsvorhabens war es, neue intelligente Regelungsmethoden, wie die modellprädikative Regelung (MPC), für Kleinantriebe im industriellen Umfeld und in Fertigungsanlagen anwendungsnah zu erproben. Darüber hinaus sollten einerseits Energieeinsparungspotentiale und Dynamikverbesserungen bei elektrischen Kleinantrieben durch eine optimale Ansteuerung mittels MPC aufgezeigt werden. Andererseits sollten ebenso vorteilhafte Eigenschaften herausgearbeitet werden, die sich aus der Kombination von MPC und einer flexiblen, offenen Hardwareplattform für den Betrieb und die Individualisierbarkeit einer modernen Fabrik, im Sinne von Industrie 4.0, ergeben.

FIKAT 4.0 zielte darauf ab, ein Industrie 4.0-kompatibles Konzept für eine modular aufgebaute Hardware zur Ansteuerung der Kleinmotoren zu entwickeln. Neben der Miniaturisierung des Leistungsmoduls wurde bei der Konzeptionierung ein weiteres Augenmerk auf die flexible Gestaltung gelegt. Darüber hinaus wurde auch ein Kommunikationsmodul erprobt, welches mehrere Feldbusprotokolle beherrscht.

## Projektverlauf

Im Forschungsvorhaben wurde ein Demonstrator entwickelt, welcher aus einem Kommunikationsmodul, einem Mikrocontroller für die Regelung sowie der Leistungselektronik in Form eines Kleinwechselrichters bestand. Der Demonstrator wurde

## Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Armin Dietz

Institut ELSYS

Technische Hochschule Nürnberg

Georg Simon Ohm

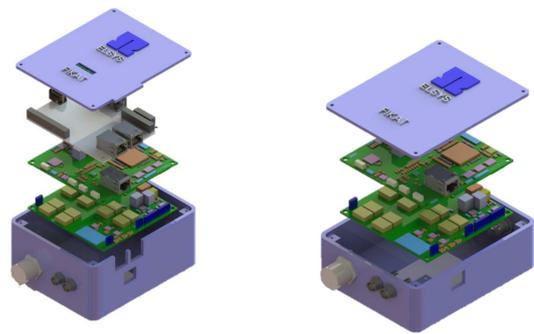


Abb.1: CAD-Modell des Demonstrators mit Kommunikationsmodul (links) und ohne Kommunikationsmodul (rechts)

dabei sowohl seitens der Hardware als auch seitens der Regelungsalgorithmen und der Ansteuerung der Leistungselektronik modular und flexibel aufgebaut. Mit dem multi-feldbusfähigen Kommunikationsmodul ist eine Anbindung zu einer übergeordneten Steuerung über einen Ethernet-basierenden Feldbus, wie zum Beispiel „PROFINET“ oder „EtherCAT“, möglich. Wird die Anbindung nicht benötigt, kann das Kommunikationsmodul einfach weggelassen werden. Wird die Feldbusanbindung jedoch genutzt, erfolgt diese stets mit der identischen Hardware, unabhängig vom angeschlossenen Bussystem. Es wird lediglich die Software des Kommunikationsmoduls entsprechend dem gewünschten Busprotokoll angepasst. Die Anbindung von Kleinantrieben an übergeordnete Steuerungen und somit auch weiter bis in die SCADA-Ebene ist hierdurch möglich. Dieser Aspekt ist im Zuge der modernen Vernetzung von Fertigungsanlagen wichtig.

Der Mikrocontroller übernimmt die Regelung des Antriebs und ermöglicht den Datenaustausch mit dem flexiblen Kommunikationsmodul. Die Software des Mikrocontrollers wurde so konzipiert, dass aus dem Programm „MATLAB/Simulink“ generierte Regelalgorithmen für eine Vielzahl verschiedener Motortypen implementiert werden können. Hierfür wurden ein entsprechendes Framework in der Software und ein Workflow für die C-Code-Generierung und Implementierung aus Simulink entwickelt.

Zusätzlich zum Mikrocontroller war ein Wechselrichter erforderlich, der die pulsweitenmodulierten Signale (PWM) bzw. bei „Finite-Control-Set-MPC“ (FCS-MPC) direkt die Schalterstellung verwendet, um die Zwischenkreisspannung auf den gewünschten Pegel auszugeben. Als Wechselrichter wurde ein dreiphasiger 2-Level-Spannungszwischenkreisrichter gewählt. Dieser verwendet Metall-Oxid-Halbleiter-Feldefeffekttransistoren (MOS-

FET), da diese ideal für Anwendungen mit niedriger Leistung und hohen Schaltfrequenzen geeignet sind. Dieses Leistungselektronikmodul ist in mehreren Leistungsstufen sowie mit unterschiedlichen Messbereichen der Stromsensoren verfügbar und lässt sich mit geringem Aufwand austauschen. Das Konzept ermöglicht den Betrieb von Gleichstrommotoren, bürstenlosen Gleichstrommotoren sowie Permanentmagnetmotoren mit Sinuskommutierung an ein und demselben Leistungsmodul. Durch den modularen Aufbau der Hardware sowie den zahlreichen Optionen bezüglich des verwendeten Regelalgorithmus entstand eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten – der Kleinumrichter ist somit besonders flexibel.

Die im weiteren Projektverlauf untersuchte MPC umfasste die Modellbildung, die Simulation und die Code-Generierung der Regelalgorithmen. Das Simulationsmodell ist dabei eine nützliche Grundlage, um Abschätzungen über die Funktionalität und Performance des Regelalgorithmus zu erhalten. Verschiedene Regelverfahren, wie „Fieldoriented Control“ (FOC), „Continuous-Control-Set-MPC“ (CCS-MPC) oder FCS-MPC, wurden mit der gleichen Regelstrecke simuliert. Das Verhalten der Regelstrecke in der Simulation wurde dann mit realen Messwerten evaluiert. Darüber hinaus dienen die Simulationsergebnisse als Abschätzung für die experimentelle Erprobung der Algorithmen. Die beiden MPC-Methoden wurden anschließend untereinander sowie mit der FOC verglichen. Als Herausforderung erwies sich hierbei vor allem die geeignete Berücksichtigung von Begrenzungen. Eine gängige Lösung ist eine nachträgliche Beschränkung bzw. Limitierung der Stellgrößen. Mit MPC ist es möglich, diese Einschränkungen direkt im Regelungsalgorithmus zu berücksichtigen. Diese Regelungsmethode erleichtert somit die Berücksichtigung von Begrenzungen, wie zum Beispiel die Stromgrenzen. Weiter wurde besonders auf die Evaluierung von verschiedenen Optimierungskriterien und die dazu benötigten Gewichtungsfaktoren geachtet. So bietet MPC den Vorteil, dass die Gewichtung verschiedener Kriterien, wie Energieeffizienz, Drehzahlgenauigkeit oder ein möglichst dynamisches Verhalten, in einer gemeinsamen Optimierungsfunktion realisierbar sind. Die Gewichtungsfaktoren erlauben dabei die Fokussierung eines bestimmten Kriteriums je nach Anwendung des Kleinantriebs, was wiederum zu einer überaus flexiblen Ansteuerung der Kleinantriebe je nach Applikation und Einsatzgebiet führt. Der Einfluss der Gewichtungsfaktoren hatte hier eine signifikante Wirkung auf den Motor, den Umrichter sowie die gesamte Regelstrecke.

## Ergebnisse

Der im Projekt FIKAT 4.0 entstandene Kleinumrichter diente in seiner letzten Entwicklungsstufe als Evaluierungsplattform für die genannten Regelalgorithmen. Neben den Algorithmen konnten auch die geforderte Flexibilität und Modularität erprobt werden.

---

Projektleiter  
Prof. Dr.-Ing. Armin Dietz  
Telefon: 0911/ 5880-1056  
E-Mail: armin.dietz@th-nuernberg.de

Institut ELSYS  
Technische Hochschule Nürnberg  
Georg Simon Ohm

[www.th-nuernberg.de](http://www.th-nuernberg.de)

Das System als Ganzes hat sich in seiner Struktur und Umsetzung vor allem bewährt durch:

- Zwei Systemvarianten, mit und ohne Kommunikationsmodul, die bis auf das Gehäuse identisch aufgebaut sind und eine Anbindung von Kleinantrieben bis in die SCADA-Ebene ermöglichen.
- Die Leistungselektronik, die sich mit verschiedenen MOSFETs bestücken lässt sowie mit und ohne Kühlkörper ausstattbar ist, bietet eine hohe Wandlungsfähigkeit. Mit dieser Wandlungsfähigkeit in Verbindung mit den austauschbaren Stromsensoren (verschiedene Messbereiche) gelingt es, den Kleinumrichter mit jedem Motor im Leistungsbereich bis 1,5 kW zu verwenden.
- Dank der einheitlichen Schnittstelle zu den gängigsten Drehzahl- und Lagegebern ist die Anbindung an eine Vielzahl von Motoren realisierbar. Der Kleinumrichter ist somit mit geringem Aufwand wandelbar – dies können bislang am Markt befindliche Produkte nicht bieten.

Die im Forschungsvorhaben untersuchte MPC ist aufgrund des vorausschauenden Charakters sowie der Berücksichtigung verschiedener Optimierungskriterien ein Regelungsalgorithmus mit einem hohen Potenzial für die Zukunft – trotz einiger derzeit noch bestehender Einschränkungen und Herausforderungen hinsichtlich der Rechenleistung bei der Modellrechnung sowie dem Rechenaufwand. Dennoch ermöglicht MPC eine flexiblere Ansteuerung von elektrischen Kleinantrieben sowie die Berücksichtigung neuartiger Optimierungskriterien, wie der Energieeffizienz. Unter Berücksichtigung des Mooreschen Gesetzes und der hiermit verbundenen Steigerung der Berechnungsperformance ist absehbar, dass die Implementierung der MPC-Algorithmen zukünftig eine bewältigbare Herausforderung darstellen wird.

## Fördergeber

Bayerisches Staatsministerium für  
Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst



## Projektpartner aus der Wissenschaft



## Projektpartner aus der Industrie

Siemens AG, Corporate Technology Erlangen  
Siemens AG, Digital Factory Amberg  
AFAG GmbH