

**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Masterarbeit

Entwicklung und Inbetriebnahme eines Coprozessors
zur Ansteuerung von BLDC-Motoren
mit einem leistungsschwachen Prozessorkern

bearbeitet von Roman Reichel

betreut von Dr.-Ing. Jörg Krupar, DMOS GmbH
Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer Spallek, TU Dresden

Überblick

Einleitung

BLDC-Ansteuerung

Stand der Technik

- PWM-Ansteuerung
- EMK-Messung
- EMK-basierte Kommutierung

Hardware

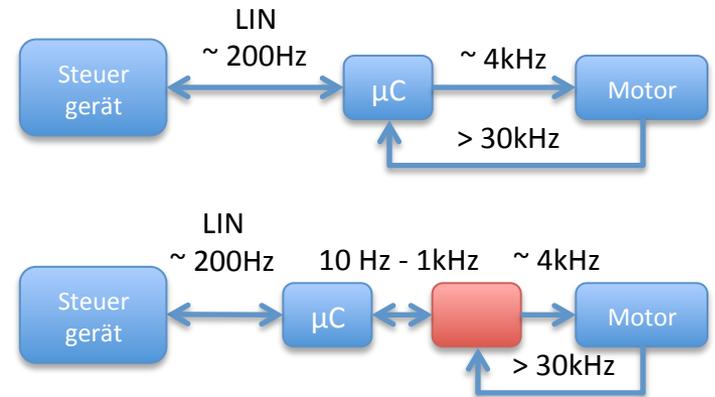
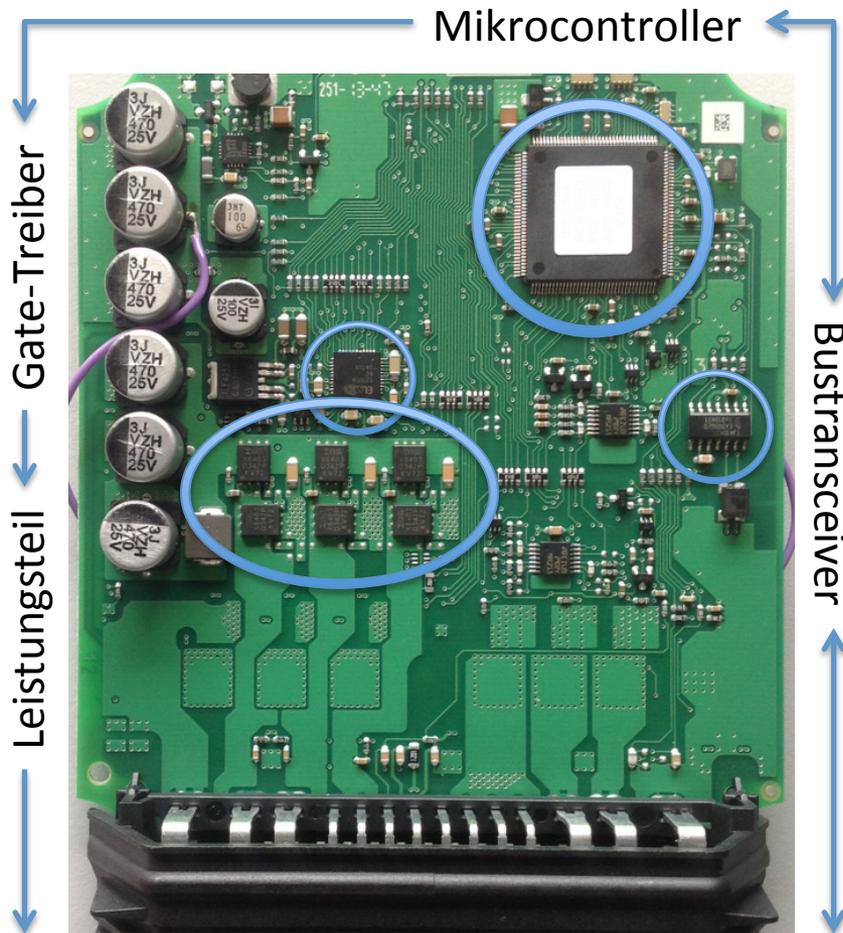
FPGA-Implementierung

- Motorstart
- Aufsynchronisierung
- Kommutierungsvarianten

Evaluierung

Zusammenfassung und Ausblick

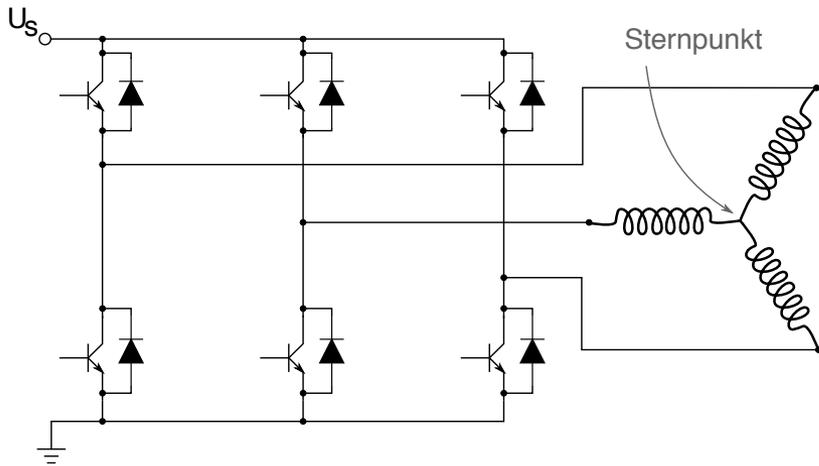
Einleitung



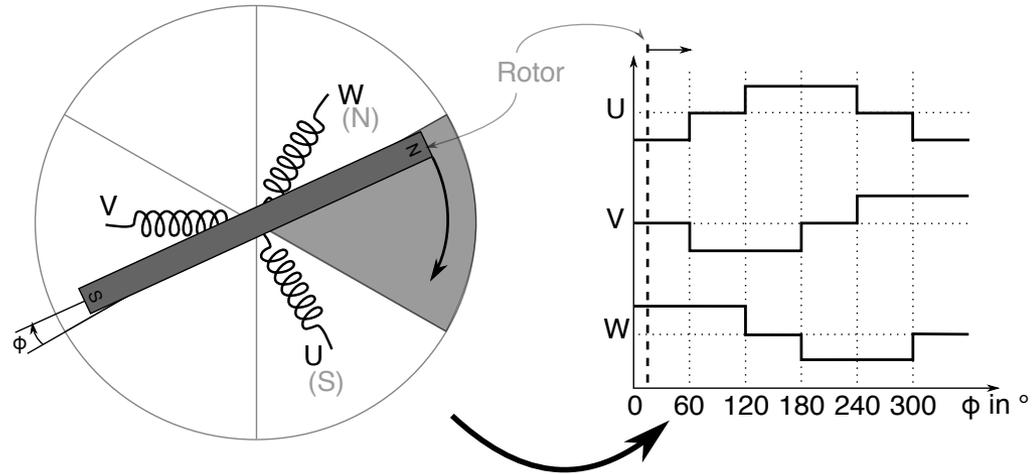
	M68HC05
Taktfrequenz	8 MHz
Typischer CPI-Wert	3 - 6
Indexregister	8 Bit
Multiplikation (uchar)	11 Takte

BLDC-Ansteuerung

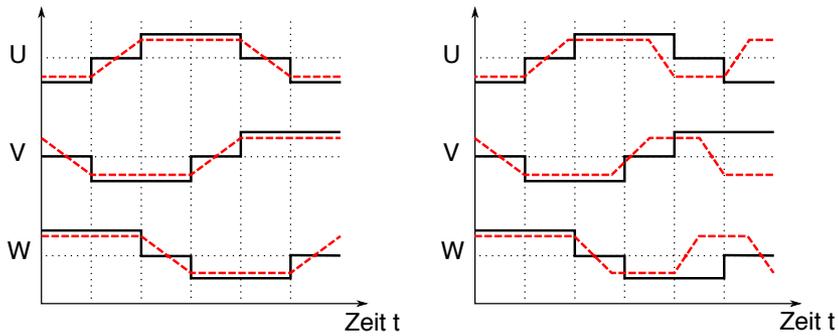
Halbbrückenansteuerung



Blockkommutierung

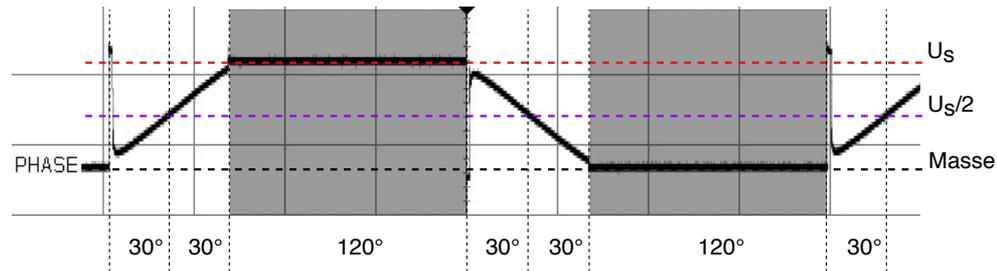


EMK-Verlauf



— Verlauf der Ansteuerung
 --- Verlauf der EMK

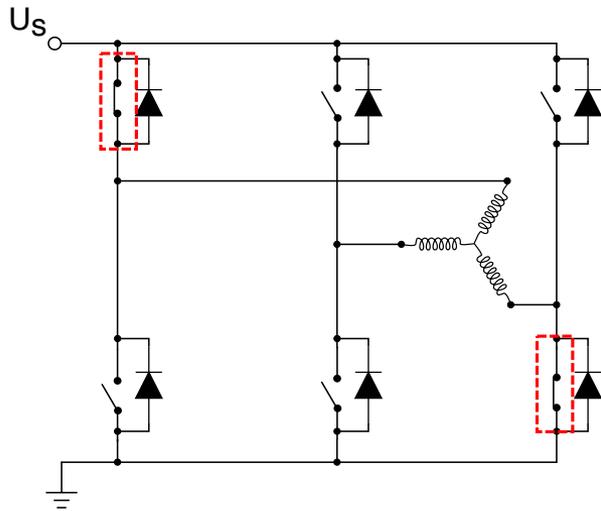
Sensorlose Kommutierung



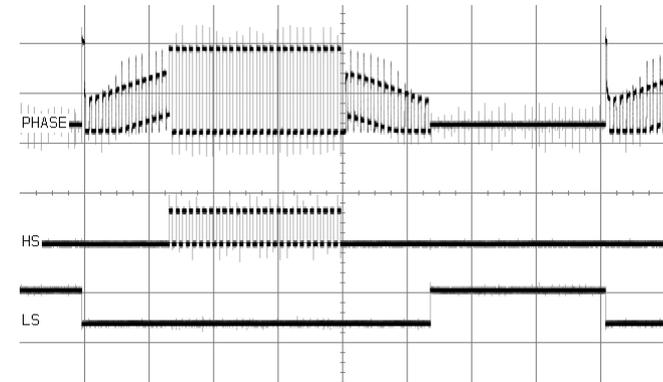
Stand der Technik

- Vielzahl an „Verfahren“
- Kaum systematische Betrachtungen
- Implementierung meist nur lückenhaft beschrieben
- Untersuchung nur von bestimmten Teilaspekten (PWM-Ansteuerung, EMK-Messmethode)
- Ergebnisse zum Teil nur auf Basis von Simulationen

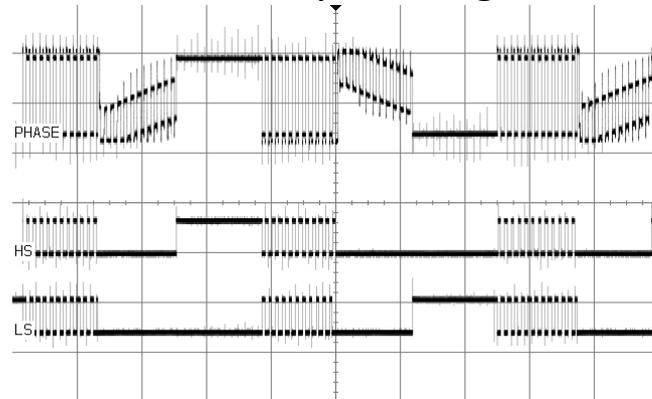
PWM-Ansteuerung



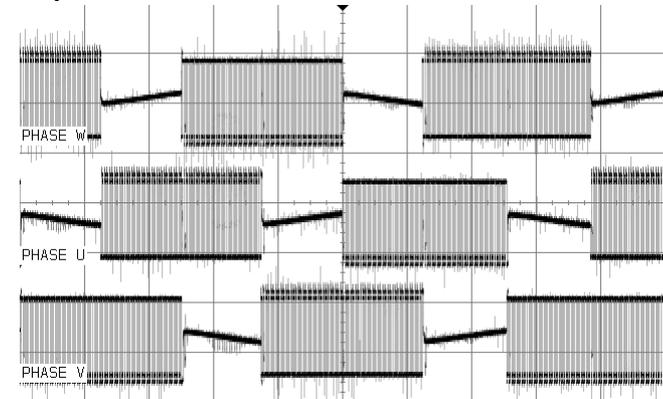
Unipolare HS-Ansteuerung



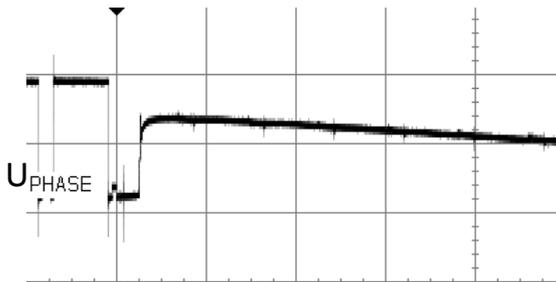
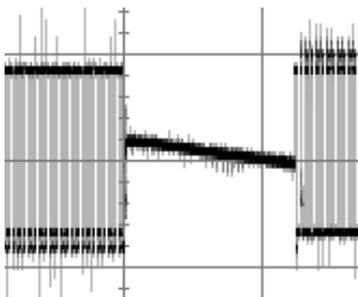
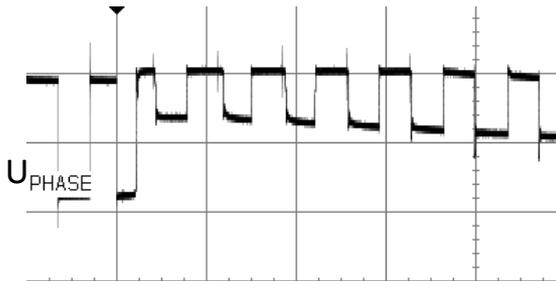
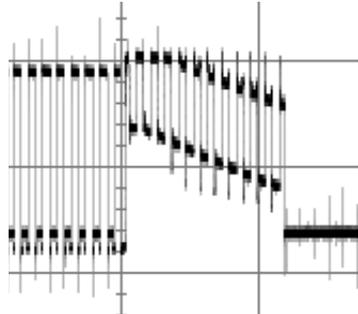
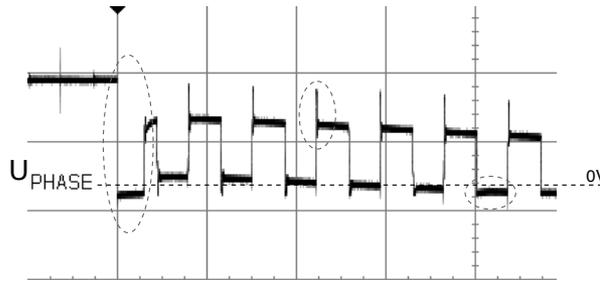
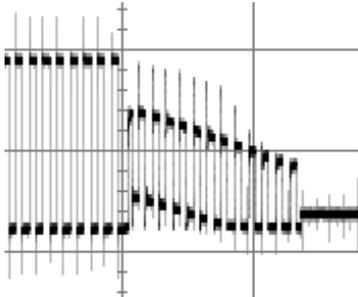
PWM-last mit Synchrongleichrichtung



Bipolares Schalten



EMK-Abtastung



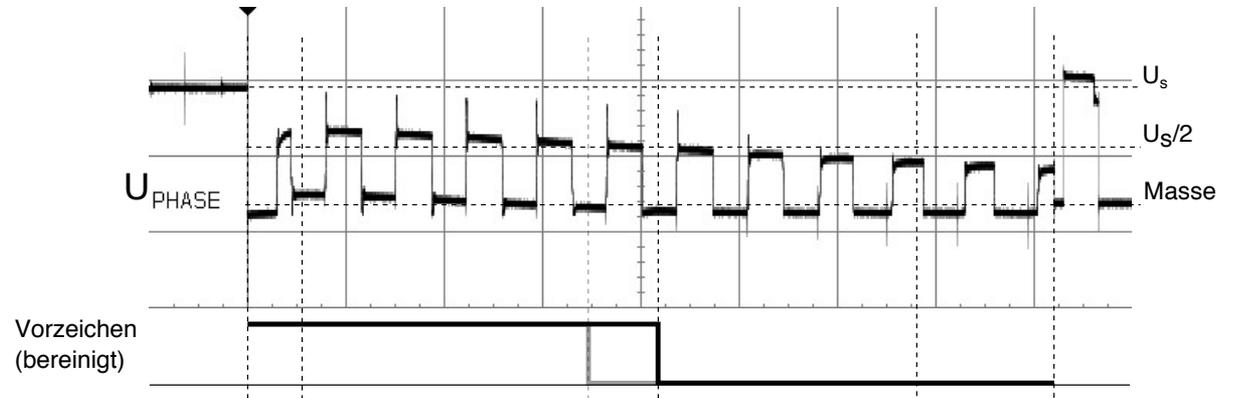
Kommutierungsvarianten

Zeitbasiert - Nulldurchgangsmethode

Komparator

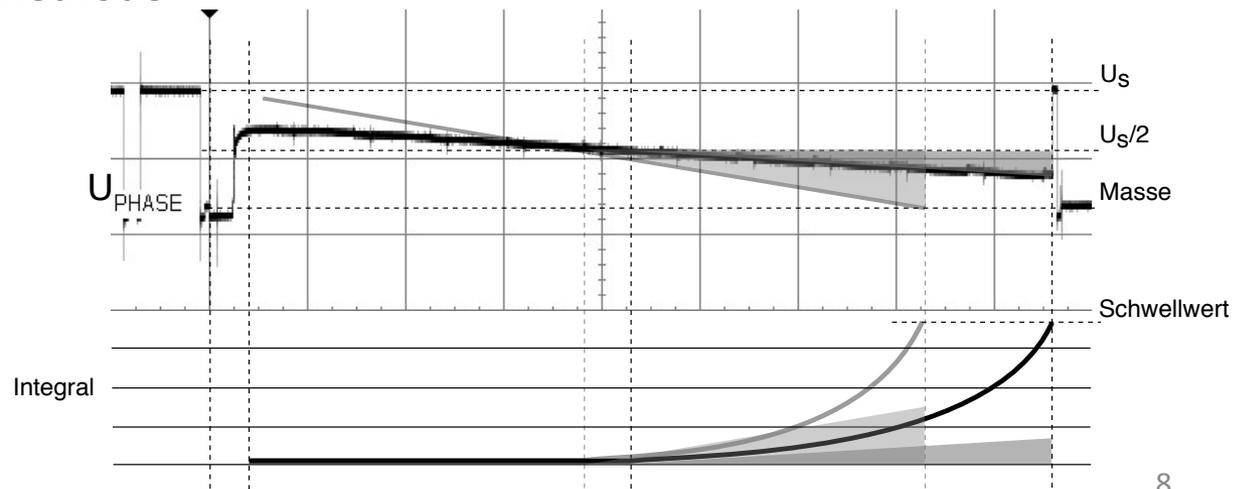


ADC

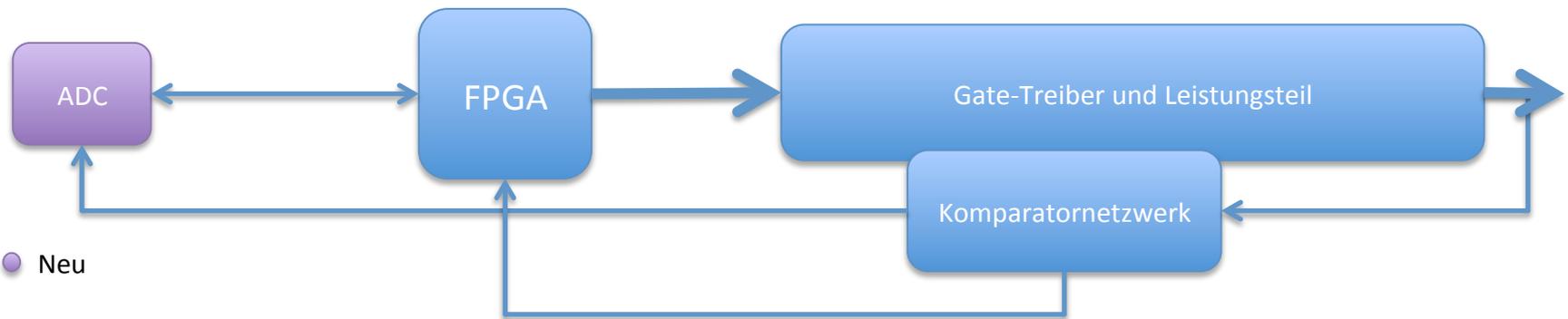
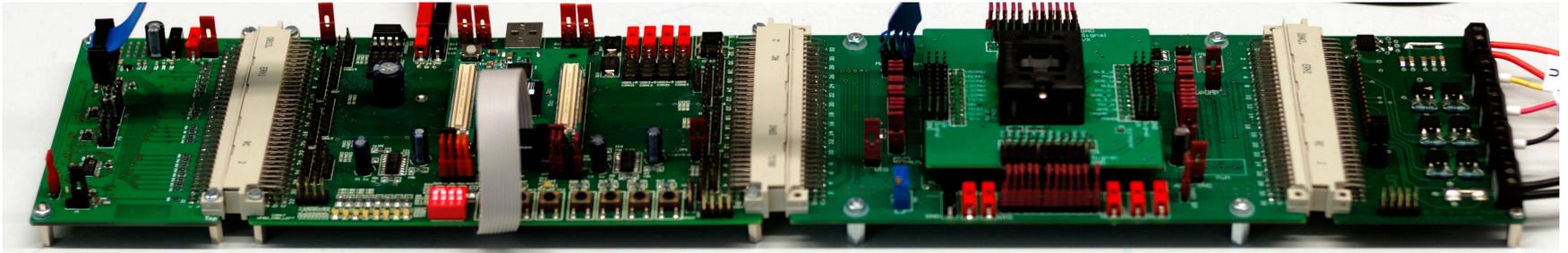


Wertbasiert - Integrationsmethode

ADC



Hardware

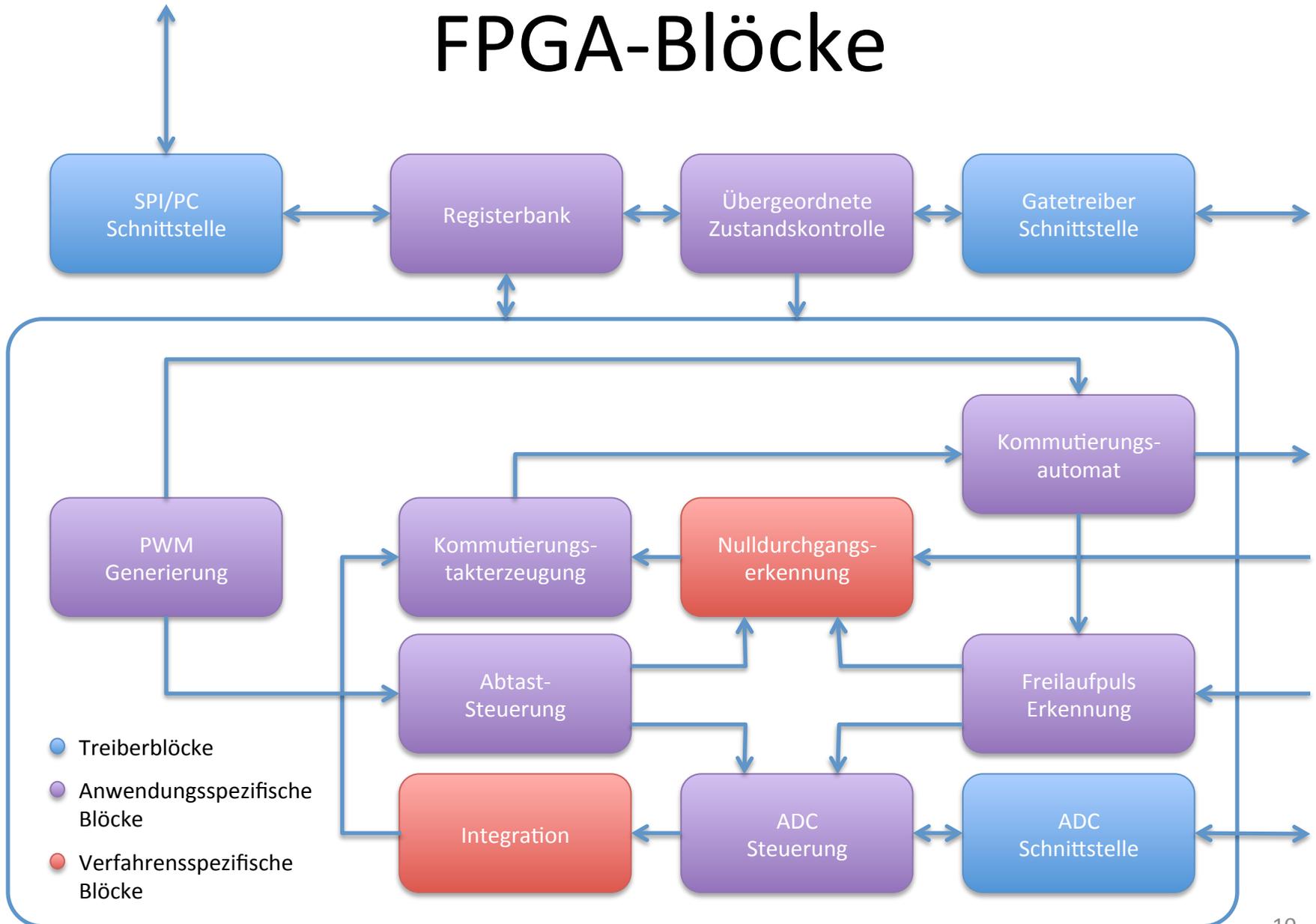


- 2x AD7472 ADC
- 4-Kanal Multiplexer
- 12 Bit Auflösung
- 1 MS/s Abtastrate

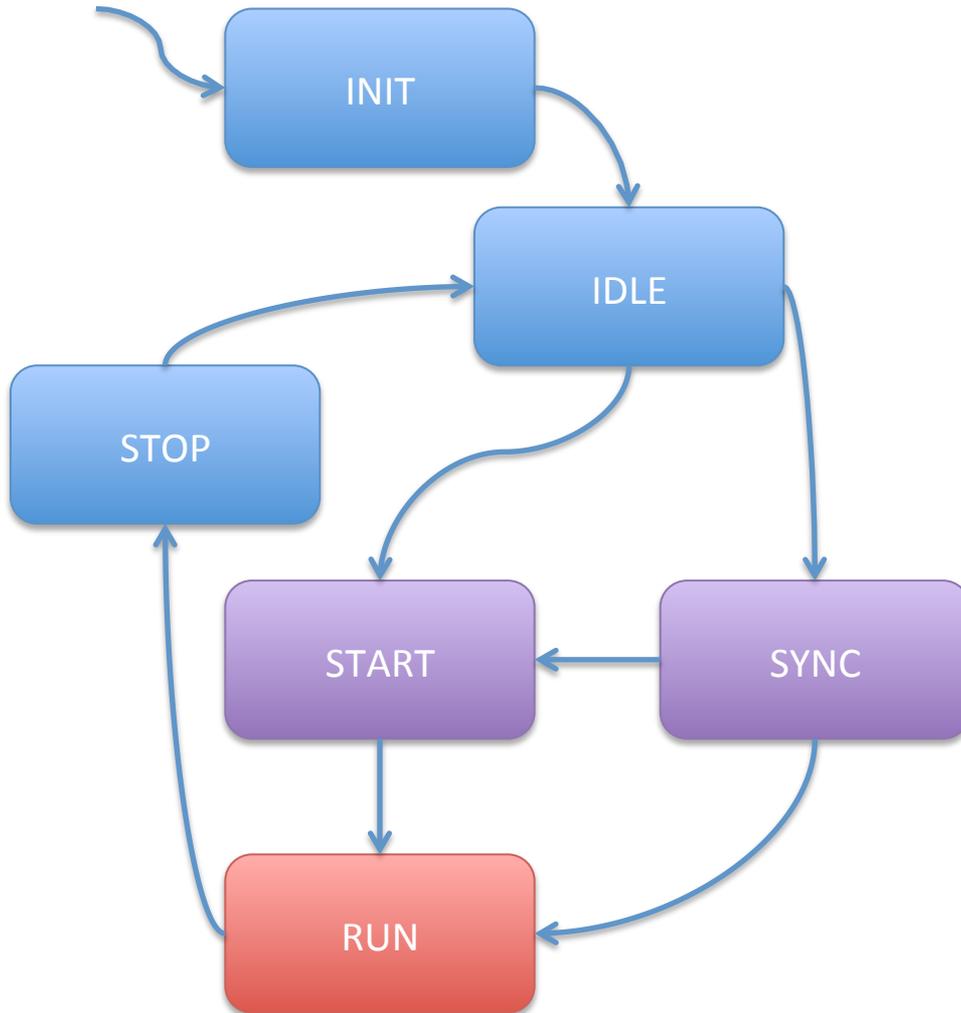
- Xilinx Spartan-3
- SPI-PC-Schnittstelle

- Gatetreiber-IC ELMOS 910.87
- SPI-Schnittstelle zum FPGA
- Sicherheitsfunktionen
- EMK-Komparatoren

FPGA-Blöcke



Zustandssteuerung



INIT: Aktivieren des ADC und Gattreiber-IC

IDLE: passiver Modus

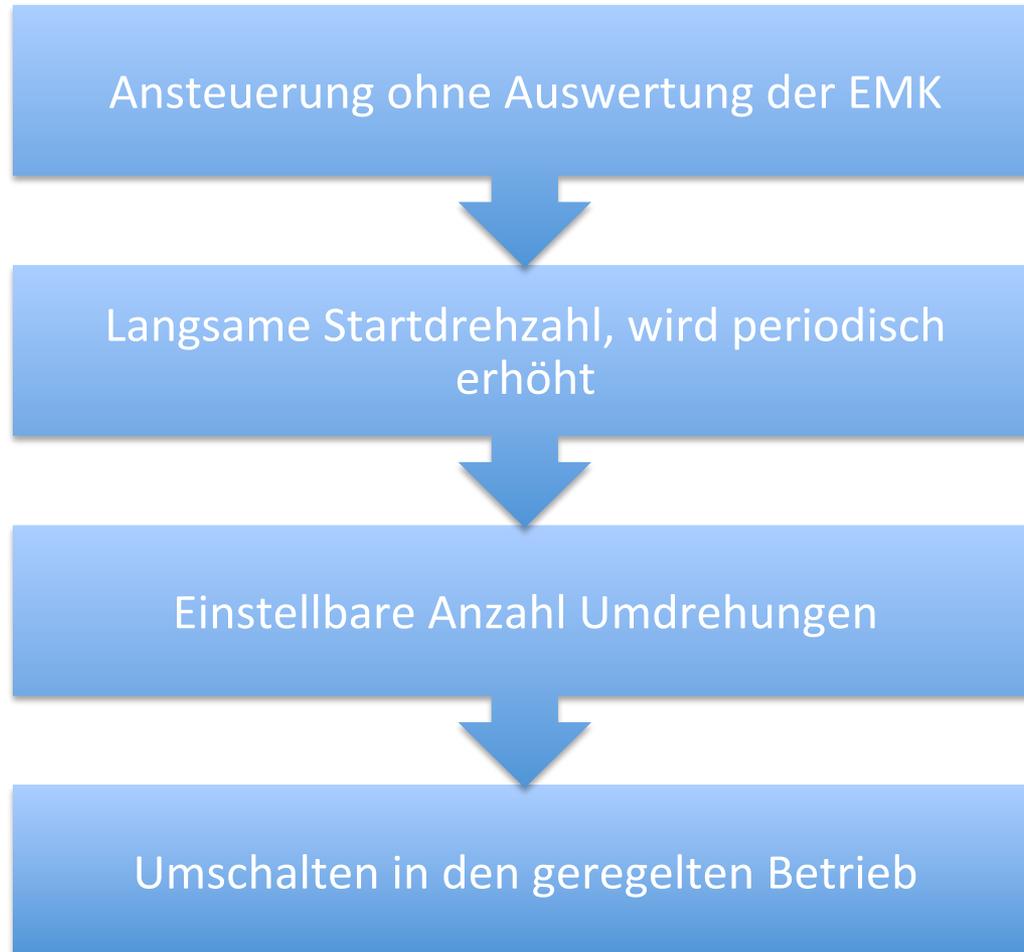
START: Ansteuerung ohne EMK-Auswertung

SYNC: EMK-Auswertung ohne Ansteuerung

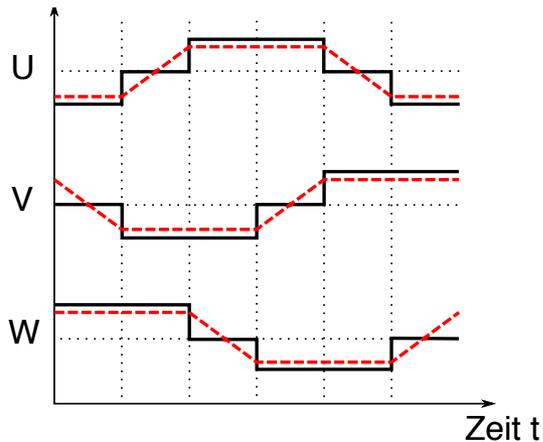
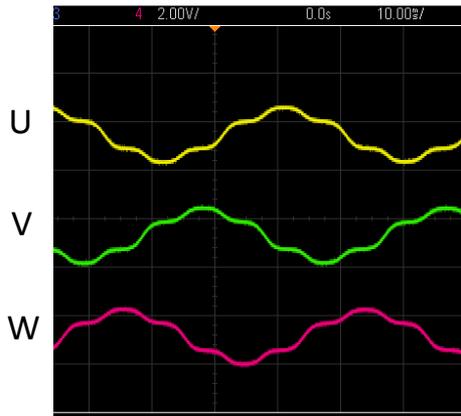
RUN: geregelter Betrieb, Ansteuerung mit EMK-Auswertung

STOP: Übergangszustand bei Abschaltung

Motorstart



Aufsynchronisierung

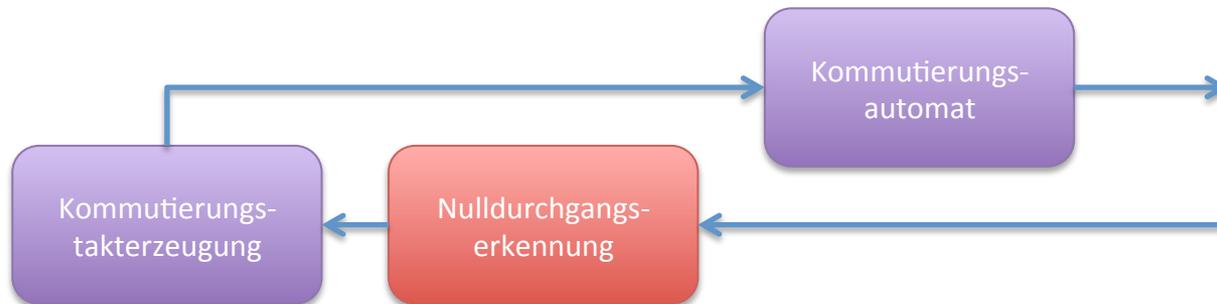


— Verlauf der Ansteuerung
- - - Verlauf der EMK

- Ermittlung von 3 Parametern aus der EMK:
 - Periodendauer der EMK
 - Phase der EMK
 - Drehrichtung des Motors
- Drehrichtung und Phase können anhand eines Nulldurchgangs bestimmt werden
- Periodendauer durch Zeitmessung zwischen 2 Nulldurchgängen

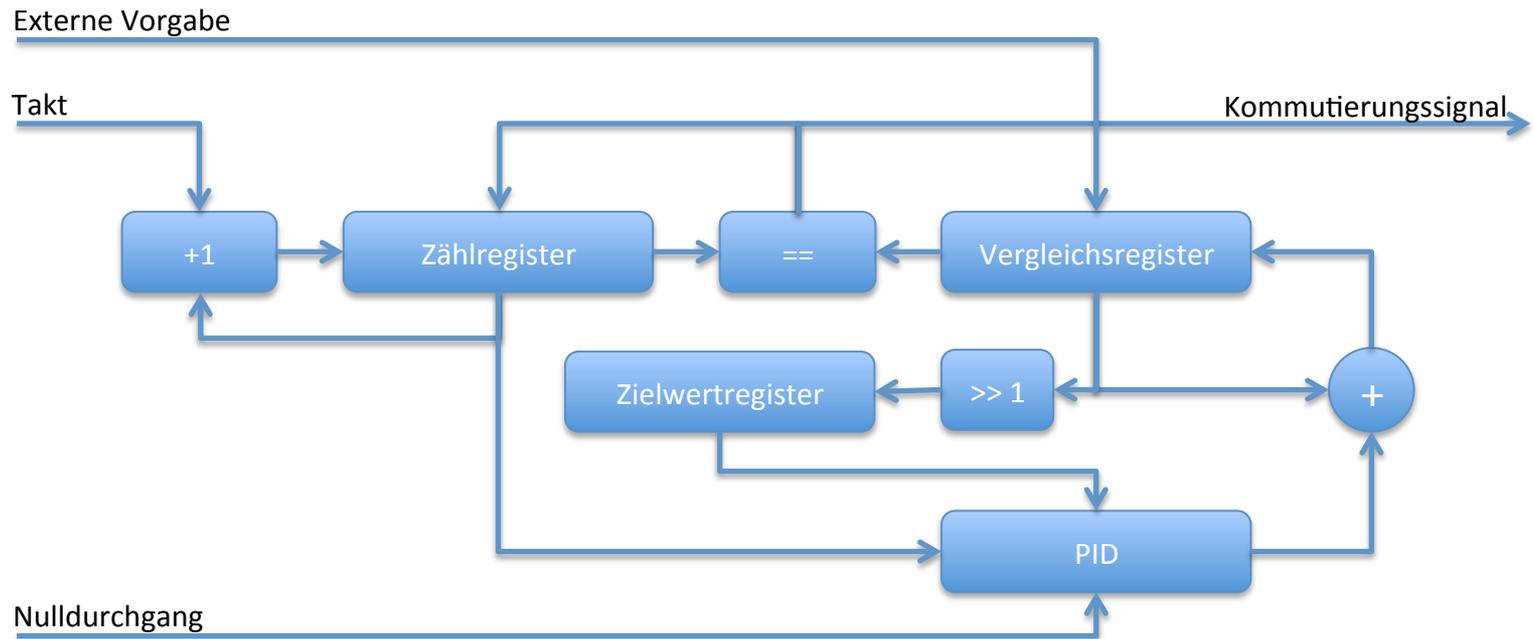
Zeitbasierte Kommutierung

- Schwerpunkt der Implementierung in der Kommutierungstakterzeugung
- Nulldurchgangserkennung synchronisiert Komparatorssignale ein



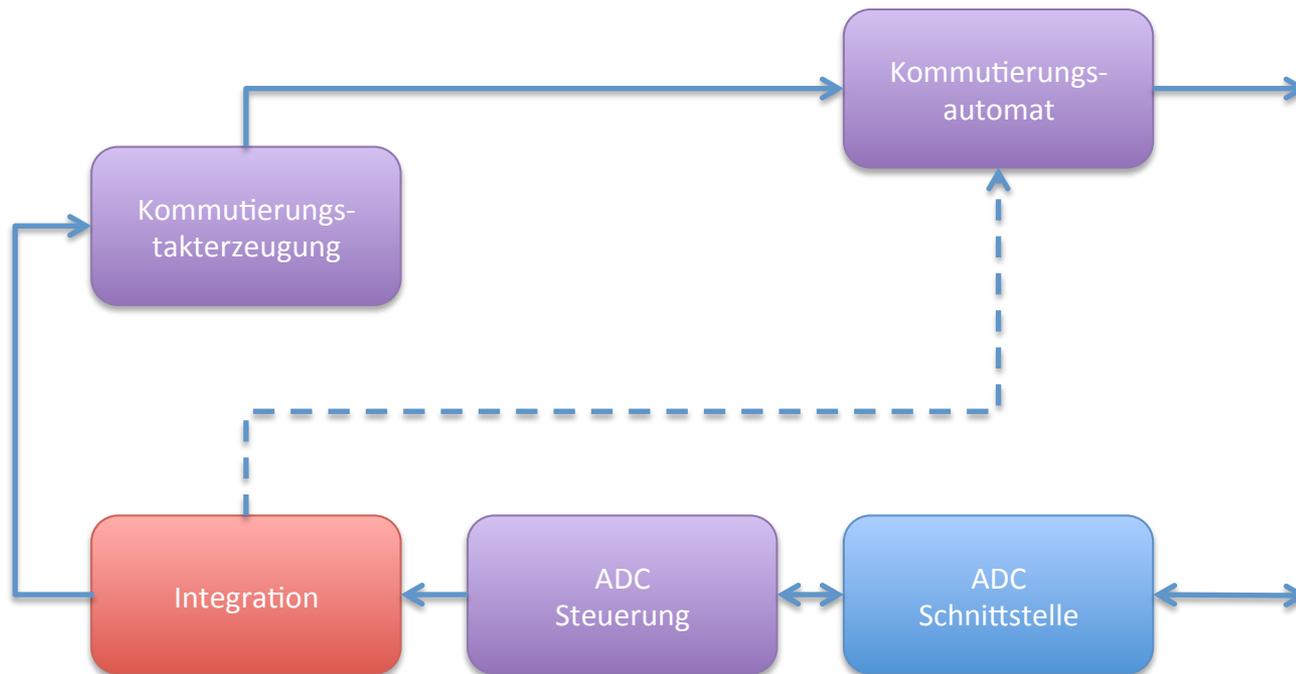
Zeitbasierte Kommutierung

- P(I)D-Regelung des Vergleichsregisters auf Basis der Abweichung zwischen Zähl- und Zielwertregister
- Externe Vergleichswertvorgabe zur Realisierung des Motorstarts



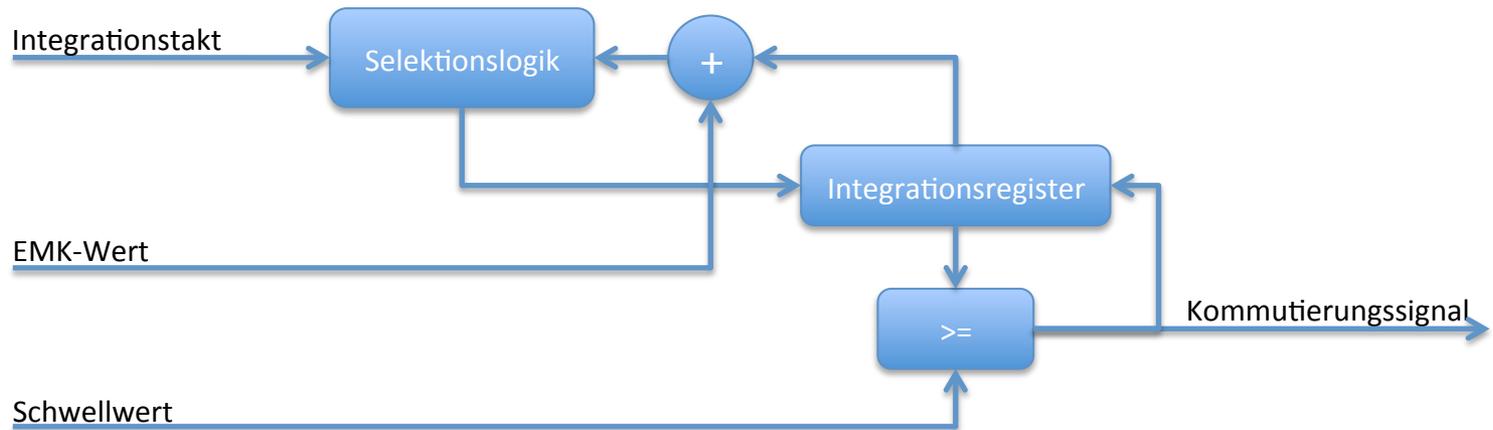
Integrationsmethode

- Kommutierungstakterzeugung vor allem für Motorstart notwendig
- Schwerpunkt der Implementierung liegt bei ADC-Steuerung und Integration



Integrationsmethode

- Eigener Integrationsstakt ermöglicht vereinfachte Integralbildung
- Implementierung benötigt keine explizite Detektion des Nulldurchgangszeitpunktes



Evaluierung - Methode

Wie?



Was?

- Schwankungen der Rotationsdauer im statischen geregelten Betrieb
 - Unterschiedliche PWM-Varianten
- Reaktion im dynamischen Betrieb auf Änderungen von
 - Tastverhältnis
 - Last
- Grenzen der Ansteuerung
- Starten des Motors bei unterschiedlichen Bedingungen
 - Tastverhältnis
 - Last

Evaluierung - Ergebnisse

Zeitbasierte Kommutierung

- Neigt leicht zu Instabilität im geregelten Betrieb
- Große Unschärfe bei Bestimmung des Nulldurchgangs
- Schnelle Änderungen von Tastverhältnis problematisch

Integrationsmethode

- Hohe Stabilität im geregelten Betrieb
- Durch eigenen Takt und Integration geringere Fehleranfälligkeit
- Folgt auch schnellen Tastverhältnisänderungen
- Betrieb des Motors sogar mit ungenauer Schwellwertvorgabe
- EMK-Messung im Freilauf nur bei PWM-last-Ansteuerung oder bipolarem Schalten

Zusammenfassung

- Bestes Verfahren: Integrationsmethode mit PWM-last-Ansteuerung mit Synchrongleichrichtung
- Geringste Schwankungen, beste Dynamik, kleinste Fläche (ca. $1/3 \text{ mm}^2$)
- PWM-last Ansteuerung (mit Synchrongleichrichtung) mit guter Schaltkontrolle und geringen Diodenverlusten
- Schwellwert für Integration benötigt

Ausblick

- Automatische Schwellwertbestimmung
- Aufsynchronisierung ohne Nulldurchgangserkennung
- Automatische Vorlaufgenerierung
- Erweiterte Startverfahren

Vielen Dank