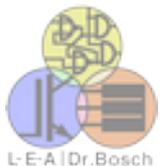
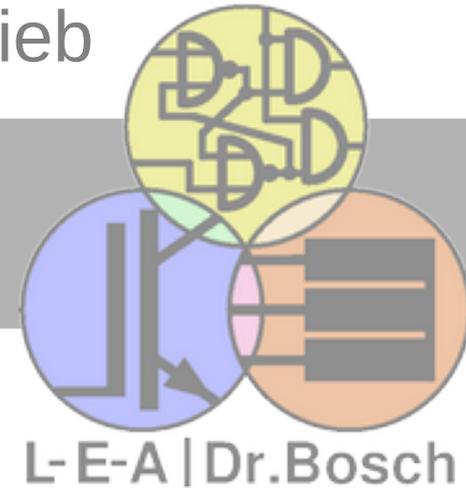


Dienstleistungen rund um den elektrischen Antrieb

Leistungs-Elektronik & Antriebe

Entwicklung – Schulung – Beratung



Entwicklungsdienstleistung – Beratung – Schulung

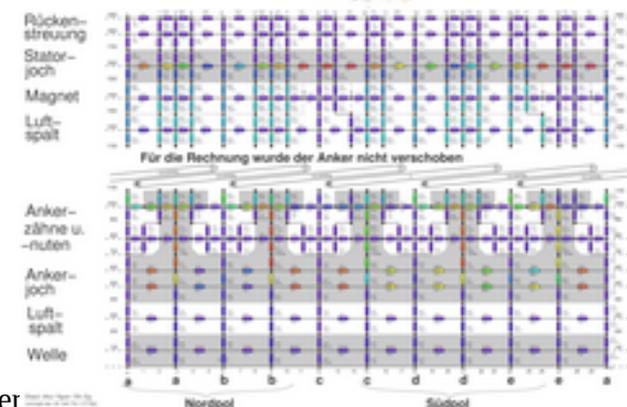
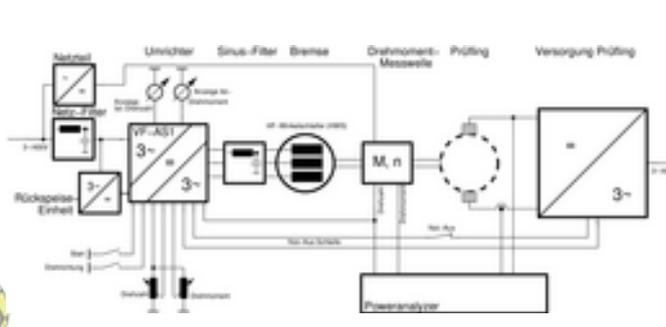
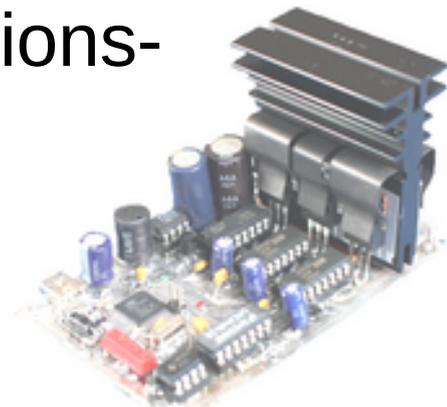
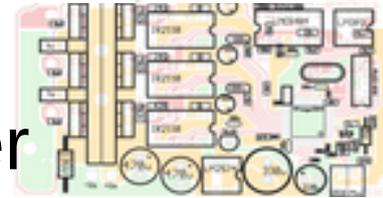
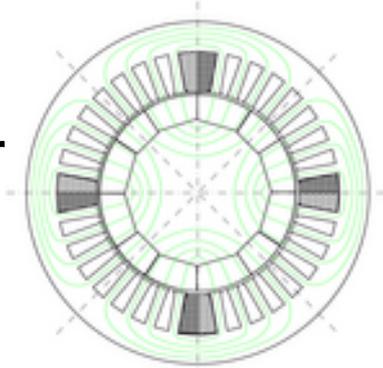
- Elektrische Maschinen und Antriebe
- Elektromagnetische Aktoren
- Dauermagnete und zugeh. Messtechnik
- Leistungselektronik
- Microcontroller und Digitaltechnik
- Hardwarenahe Programmierung
- Elektronik- und Leiterplattendesign

Inhalt

1. Beispiele für Entwicklungsarbeiten
2. Beispiele für Unterstützung im Bereich Forschung
3. Beispiele für Beratung und Dienstleistung
4. Beispiele für Schulungen
5. Kompetenzen
6. Werdegang
7. Referenzprojekte
8. Laborausstattung
9. Veröffentlichungen

1. Beispiele für Entwicklungsarbeiten

- Entwurf, Aufbau, Inbetriebnahme elektrischer Maschinen und Aktoren
- Optimierung der Komponenten elektrischer Antriebe
- Entwurf, Aufbau, Inbetriebnahme elektronischer Schaltungen, Microcontroller, Leistungselektronik
- Kundenspezifische Auslegungs- und Simulationswerkzeuge für elektrische Maschinen
- Planung, Aufbau, Inbetriebnahme von Prüfständen oder Versuchsträgern
- Mitarbeit an Entwicklungsprojekten

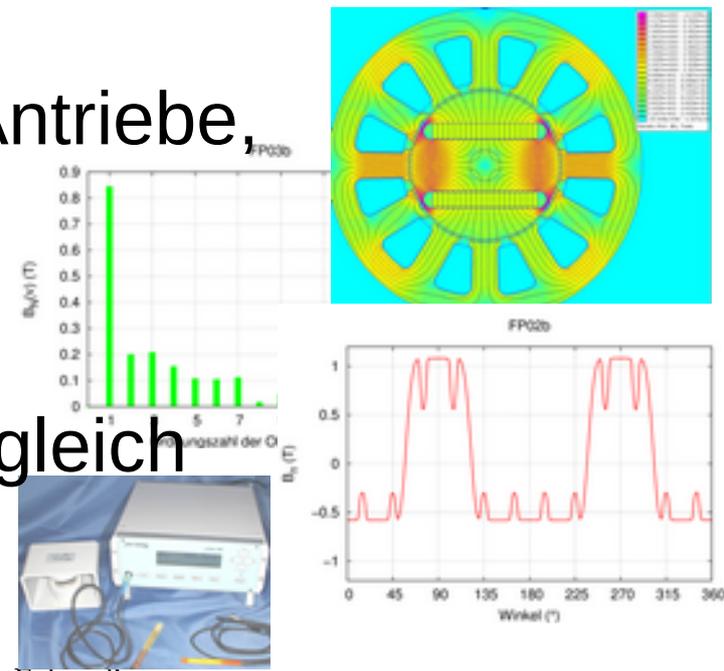
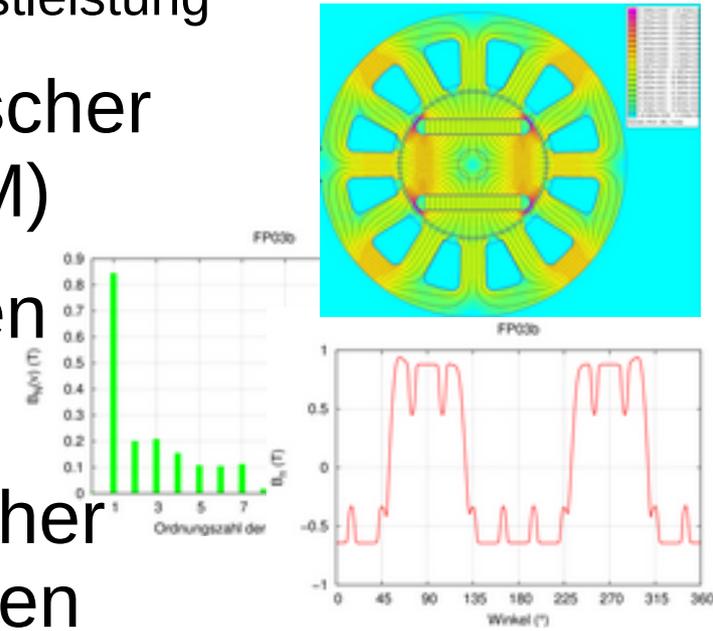


2 Beispiele für Unterstützung im Bereich Forschung

- Unterstützung bei der Erstellung Projektanträgen
- Mitarbeit an Forschungsprojekten (Unterbeauftragung)
- Literatur- und Patentrecherche
- Wissenschaftliche Analyse von Problemstellungen
- Strategieplanung, Konzeptentwicklung und Potentialanalyse, z.B. von Projekt- und Produktideen
- Unterstützung bei der Erstellung von Fachpublikationen auf deutsch und englisch
- Redigieren von Fachpublikationen (deutsch und englisch)

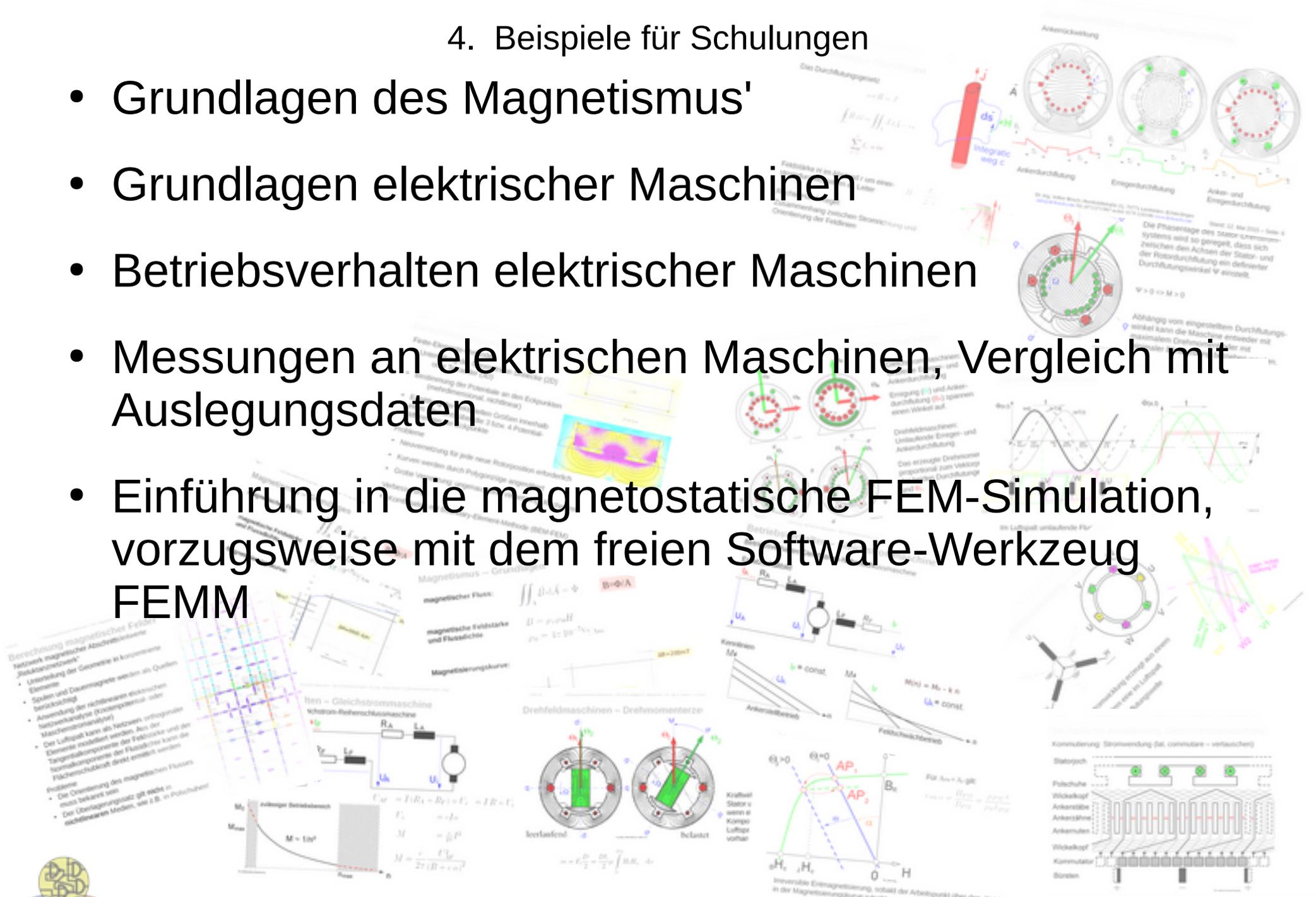
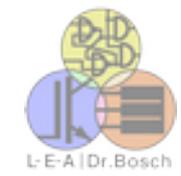
3. Beispiele für Beratung und Dienstleistung

- Modellierung und Simulation elektrischer Antriebe (analytisch, numerisch/FEM)
- Ermittlung des optimalen elektrischen Antriebs
- Auswahl der Komponenten elektrischer Antriebe, Koordination von Lieferanten
- Inbetriebnahme, Test, Messung
- Analyse bestehender elektrischer Antriebe, Mitbewerberanalyse
- Parametrierung von Umrichtern
- Messung magnetischer Größen, Abgleich mit Simulationsdaten



4. Beispiele für Schulungen

- Grundlagen des Magnetismus'
- Grundlagen elektrischer Maschinen
- Betriebsverhalten elektrischer Maschinen
- Messungen an elektrischen Maschinen, Vergleich mit Auslegungsdaten
- Einführung in die magnetostatische FEM-Simulation, vorzugsweise mit dem freien Software-Werkzeug FEMM



5. Kompetenzen

- Auslegung elektrischer Maschinen und Aktoren (analytisch und FEM)
- Konstruktion elektrischer Maschinen und Aktoren
- Prüfstände für elektrische Maschinen
- Parametrierung von Umrichtern (Toshiba VF-AS1, Siemens MM420/440)
- Dauermagnete, magnetische Kreise
- Messung magnetischer Größen mit Flux- und Gaussmeter
- Leistungselektronik (MOSFET, IGBT, Thyristor, Triac)
- Digitaltechnik (PLD, CPLD, FPGA)
- Digitale und analoge Schaltungstechnik
- PCB-Design / Leiterplatten-Layout (pcb)
- EMV-gerechter Entwurf elektronischer Schaltungen
- Microcontroller (Atmel AVR, i8051, MC68k)
- Softwareentwicklung (ANSI-C; AVR-, i51-, 68k-Assembler)
- Software-Werkzeuge (Make, Yacc/Bison, Lex/Flex, VHDL/Xilinx-ISE)
- Linux, LaTeX, LibreOffice, SciLab, SPICE
- Acht Jahre Erfahrung in öffentlichen Forschungseinrichtungen



6. Werdegang

Seit 3/2015: Freiberufliche Tätigkeit als beratender Ingenieur /Consultant im Bereich Leistungselektronik & Antriebe

3/2012 – 2/2015: *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Fahrzeugkonzepte*

- Entwicklung elektrischer Traktionsmaschinen
- Werkzeuge & Methoden zur Auslegung elektrischer Maschinen

7/2010 – 10/2011: *Evomotiv GmbH*

- Aufbau Laborbereich elektrische Antriebstechnik

3/2000 – 6/2010: *Robert Bosch GmbH, Powertools*

- Fachreferent elektrische Antriebe
- Entwicklung von DC- und BLDC- bzw. EC-Motoren für Akkuwerkzeuge
- Aufbau und Leitung der Gruppe EST1

10/1994 – 12/1999: *Institut für elektrische Maschinen und Antriebe, Universität Stuttgart*

- Entwicklung elektrischer Einzelspindelantriebe für Textilmaschinen
- Promotion (Einzelspindelantrieb für Textilmaschinen)



7. Referenzprojekte

Übersicht Referenzprojekte aus den Bereichen

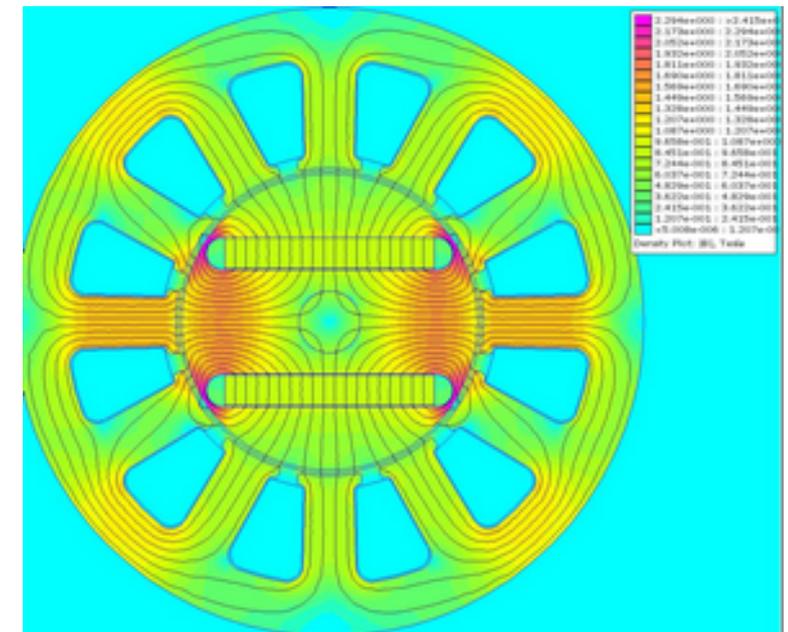
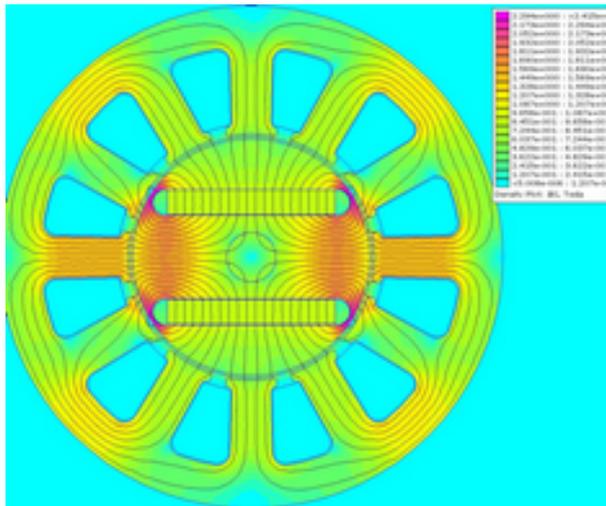
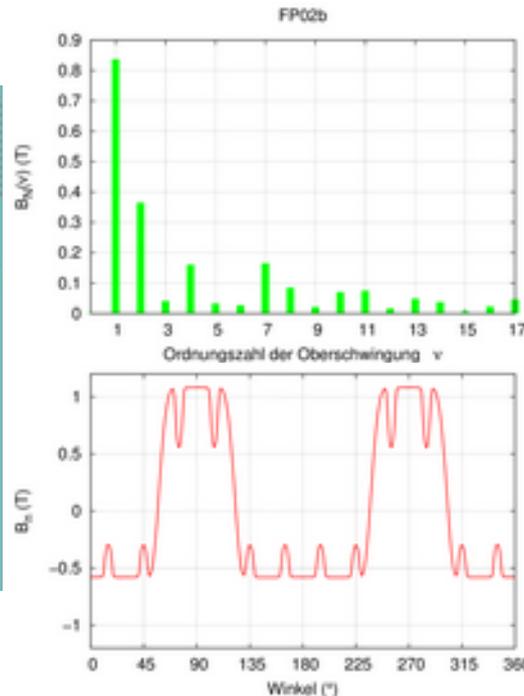
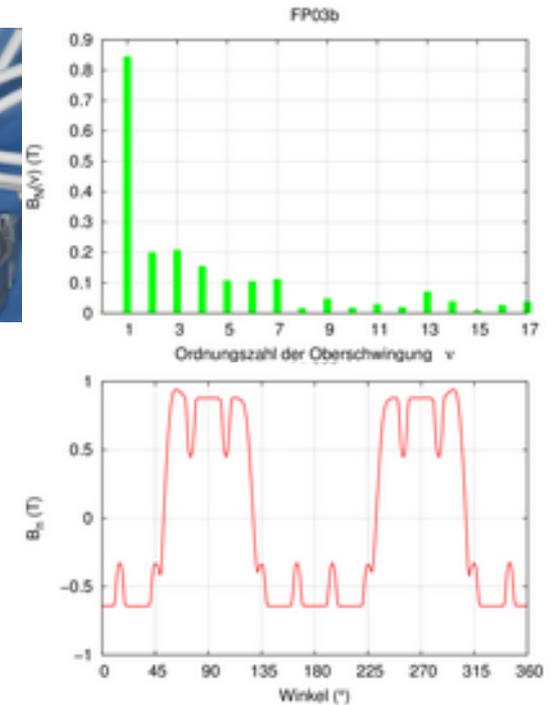
- Elektrische Antriebstechnik
- Microcontroller
- Programmierbare Logik

Die als (privat) gekennzeichneten Projekte entstanden ohne Auftraggeber.

Hierzu können detaillierte Fragen beantwortet werden.

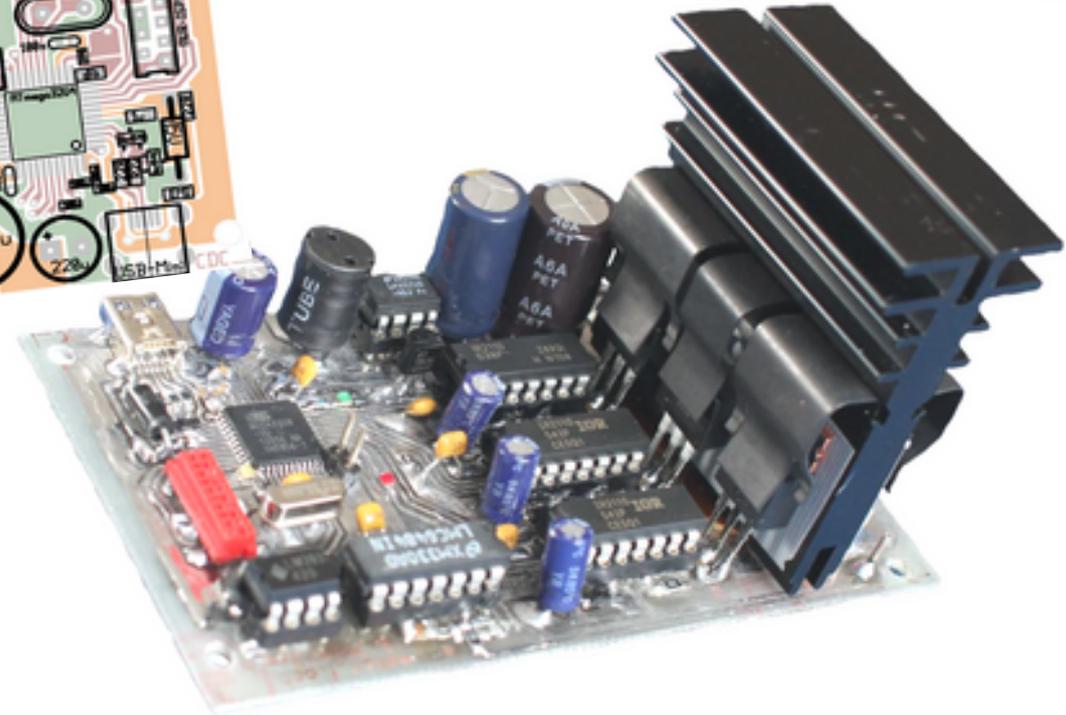
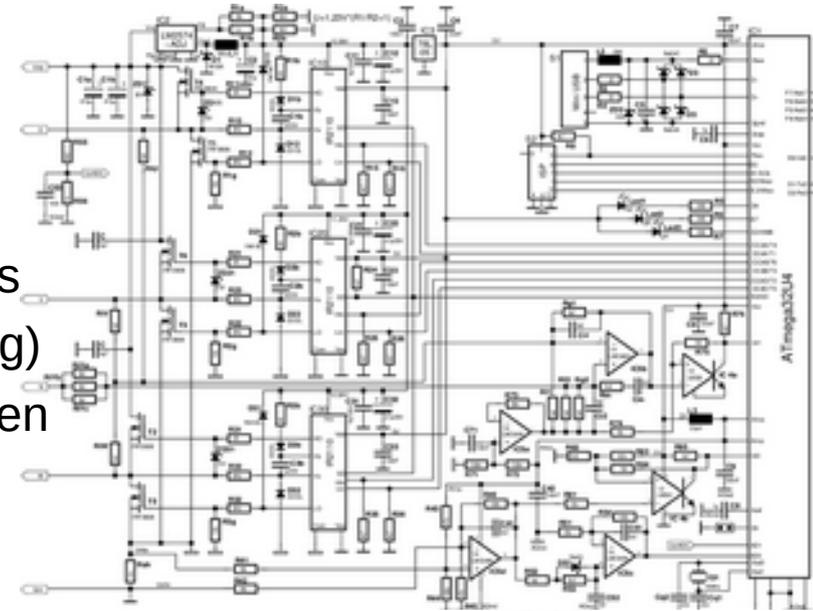
BLDC Kleinmaschine, Folgepolmaschine

- Gute Feldschwächbarkeit
- Optimierte Fertigung (Magnetgeometrie)
- Höhere Induktions-Grundwellenamplitude als bei symmetrischer Anordnung
- Auslegung durch FEM-Rechnung (FEMM)
- Optimierung von Magnet- und Polform



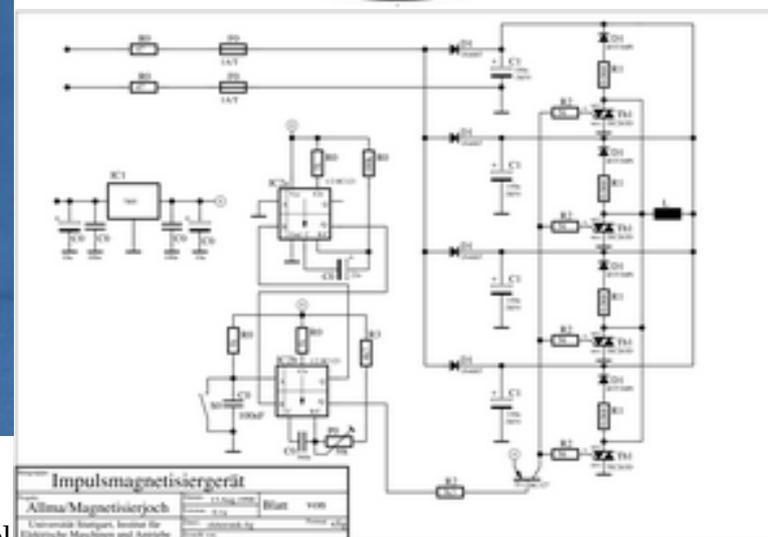
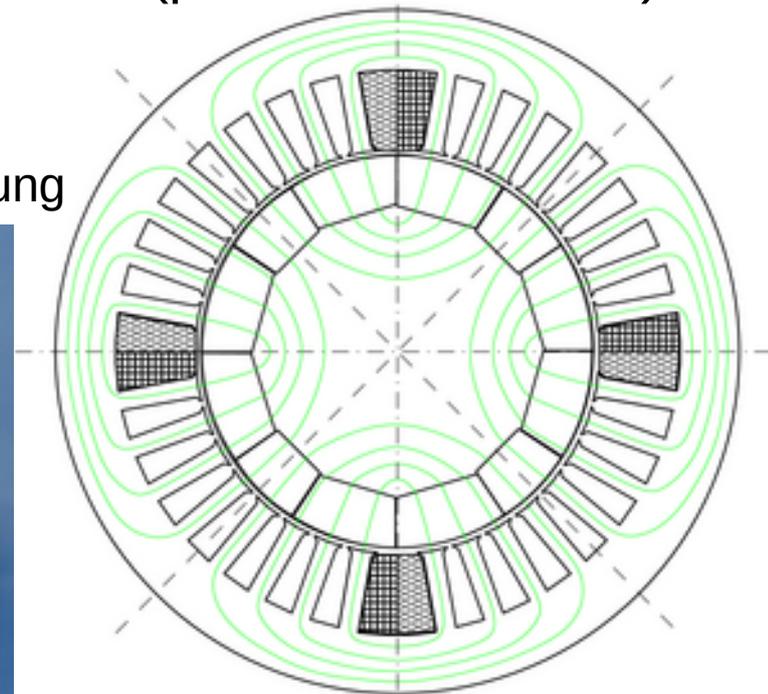
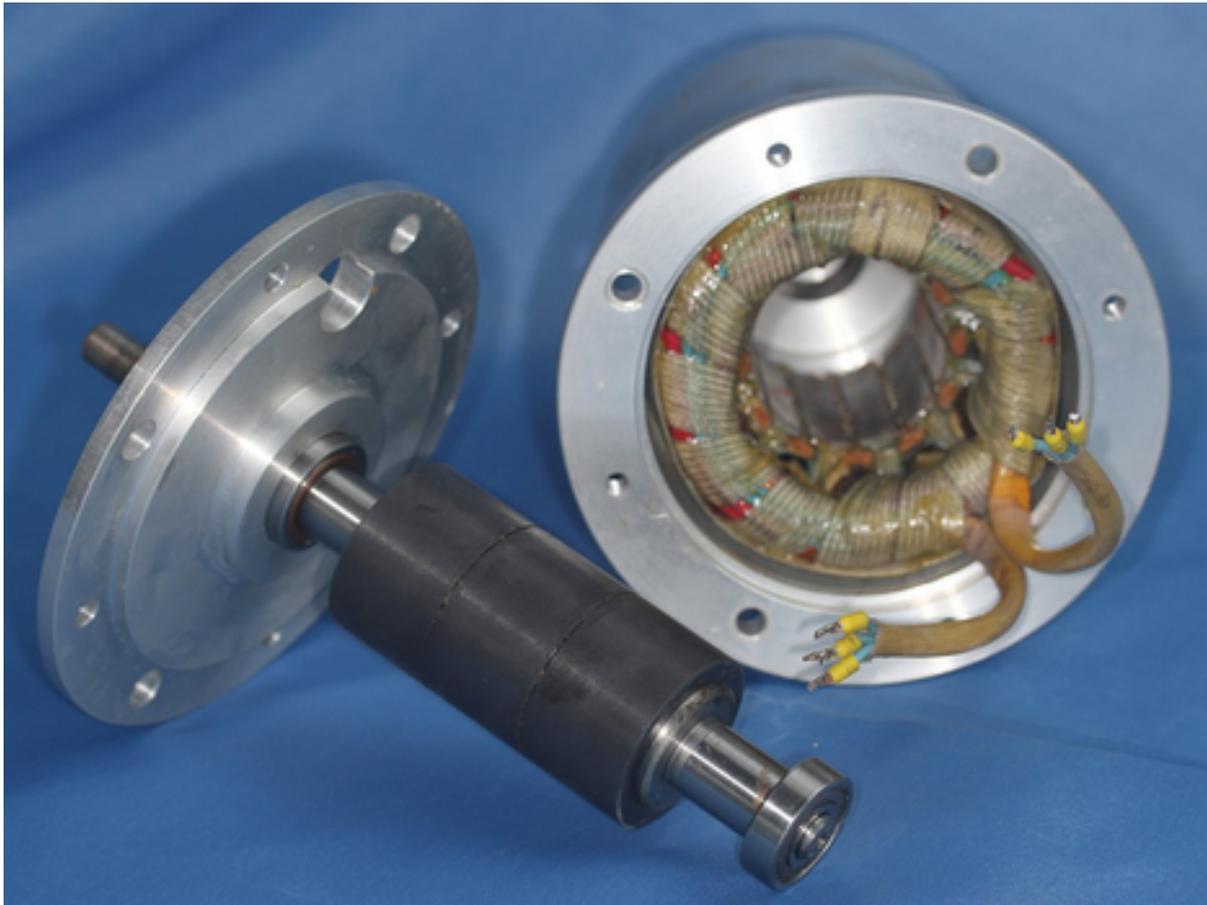
BLDC-Umrichter (privat)

- Optimiertes Layout
- Verwendete MCU: ATmega32U4
- Firmware unterstützt Feldschwächbetrieb des Motors
- Sensorlose Läuferlageerfassung (3. Oberschwingung)
- Konventionelles Geberinterface mit 3 Signaleingängen



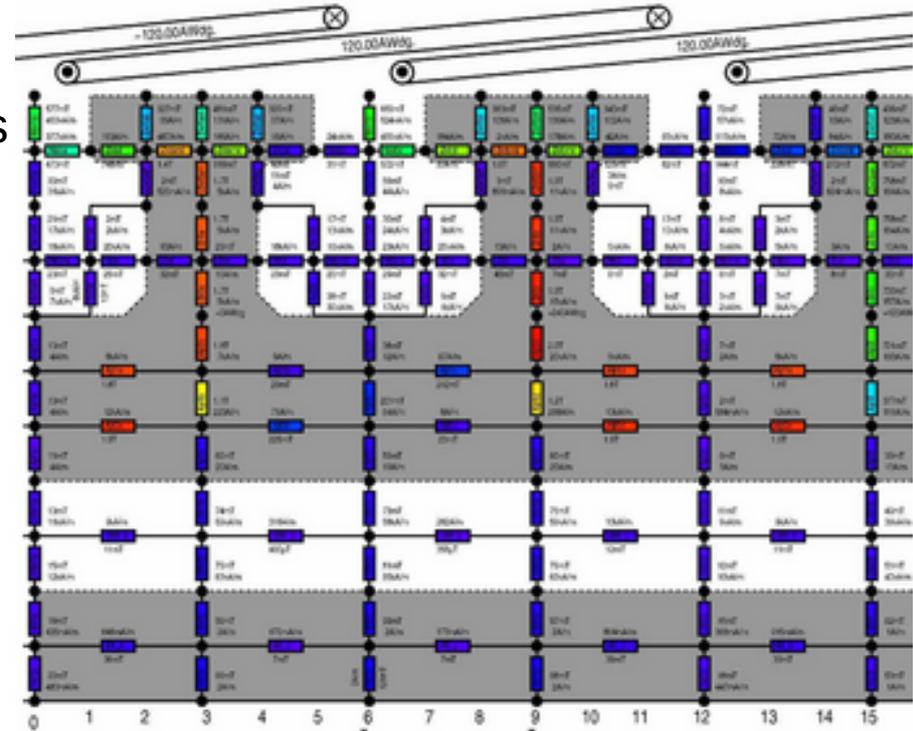
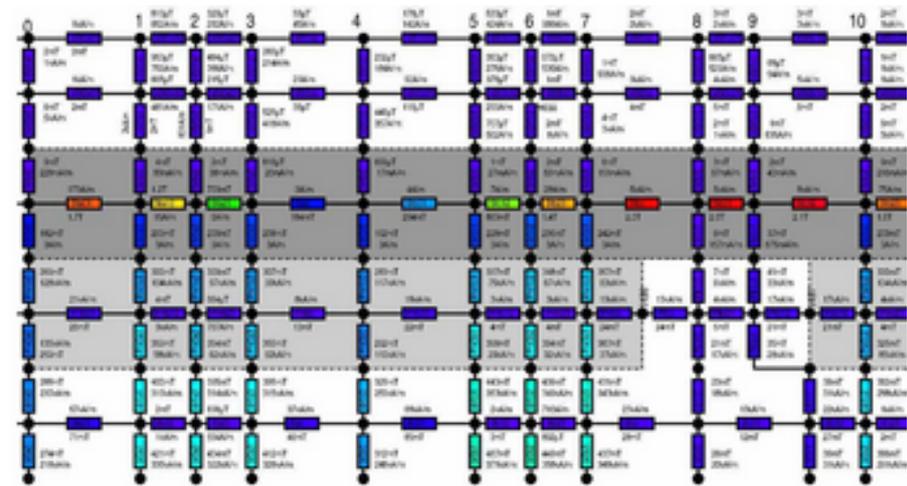
Auslegung ferriterregter BLDC-Kleinmaschinen (privat/Dissertation)

- Analytische Berechnung
- Nachrechnung über magnetische Abschnittsleitwerte
- Aufbau eines Magnetisierjochs mit Impulsmagnetisierung



Berechnungswerkzeug für magnetische Kreise als Reluktanznetzwerk (privat/Dissertation)

- Implementierung in ANSI-C
- Materialkennlinien (Eisen, Magnete) werden als Splines implementiert
- Effizienz: Dünnbesetzte Matrizen
- Mehrdimensionales nichtlineares Newtonverfahren
- Ordnung der Matrix nur durch Speicher des PCs begrenzt
- Knotenpotential- und Maschenstromanalyse implementiert
- Zusatzfunktionen für el. Maschinen:
 - Fe-Verluste
 - Flächenschubkraft im Luftspalt
- Eingabeformat: Parametrierbare Netzliste

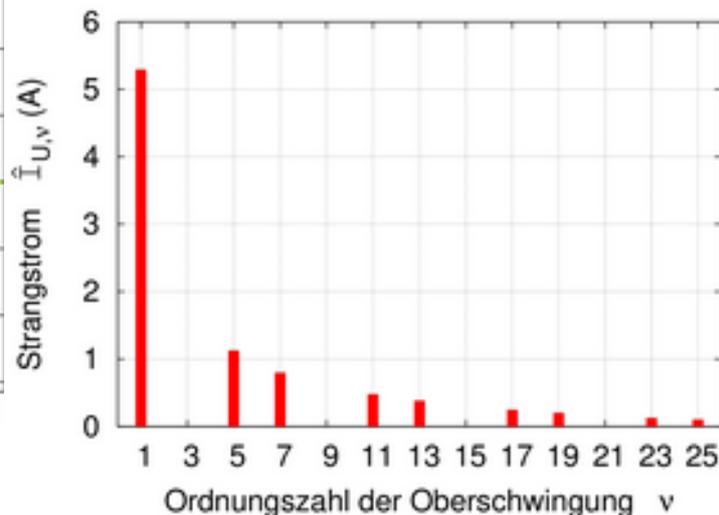
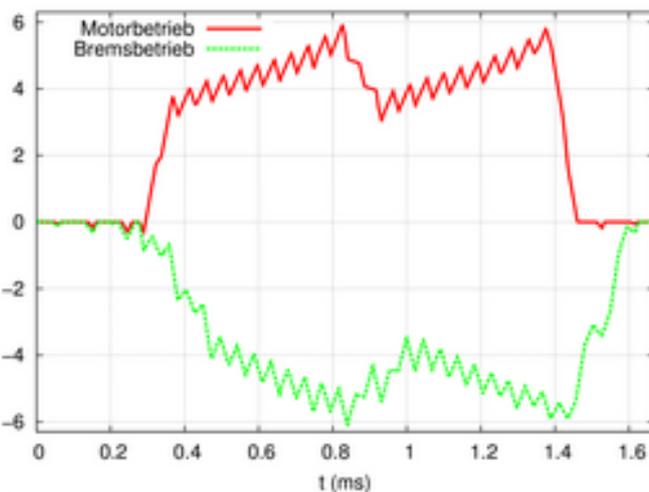
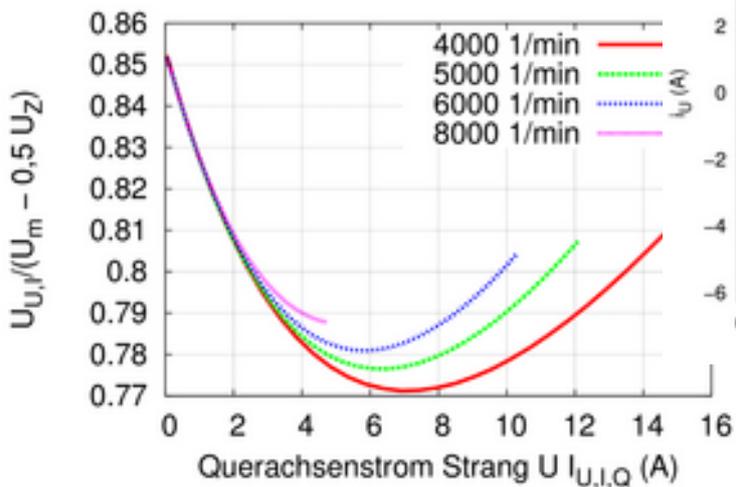
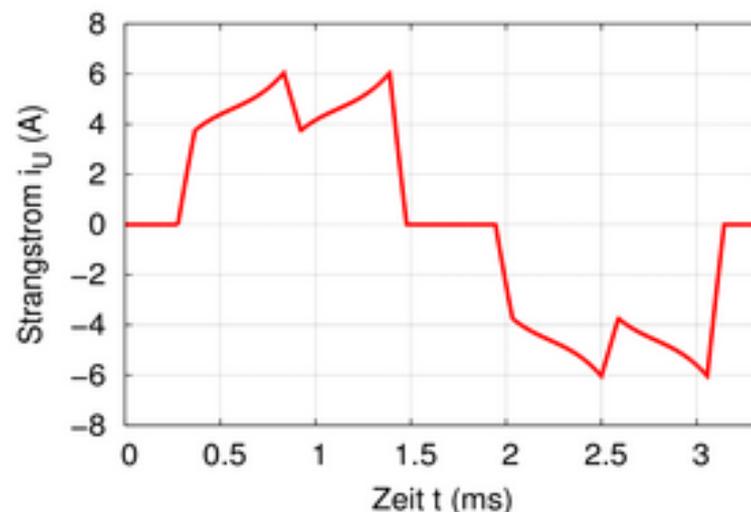


Schnellauslegungswerkzeug für permanentmagnetisch erregte Synchronmaschinen

- Implementierung in ANSI-C
- Status: In Bearbeitung
- Analytische Berechnung
- Magnetisierungskurve (Eisen) als Splines hinterlegt
- Numerische Methoden
 - Arbeitspunkt des magnetischen Kreises
 - Oberwellenstreuung

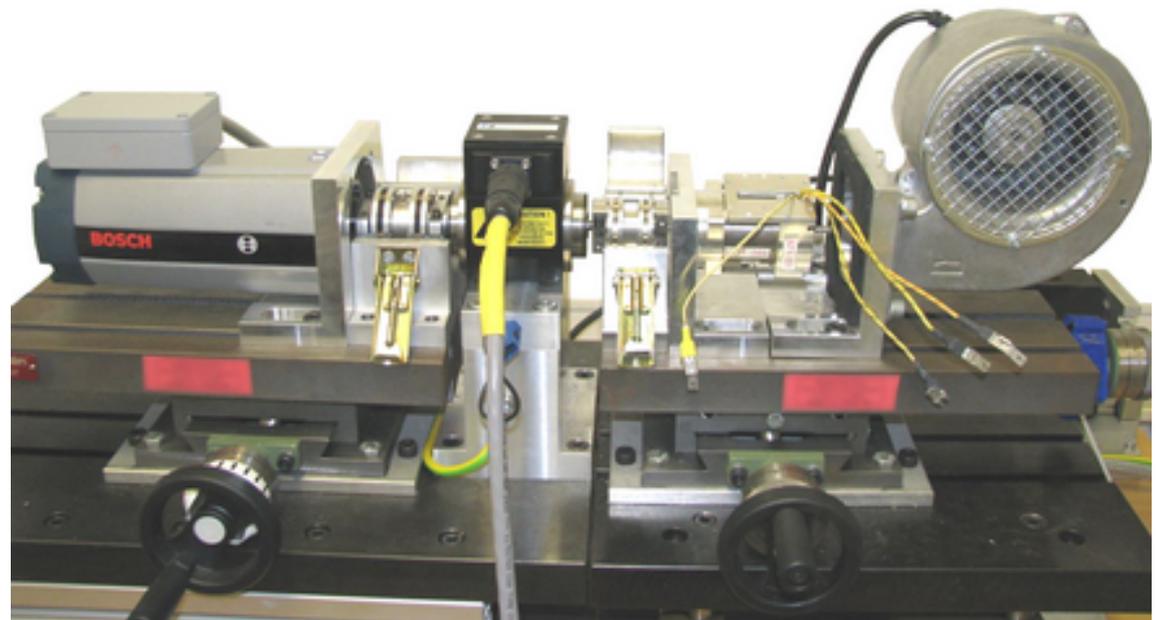
Numerische Berechnung des transienten Betriebsverhaltens einer PM-Synchronmaschine (privat/Dissertation)

- Implementierung in ANSI-C
- Transiente Analyse mit dem PWM-Pulsmuster
- Verwendung zeitdiskreter Differenzgleichungen
- Berechnung der elektrischen Leistungen



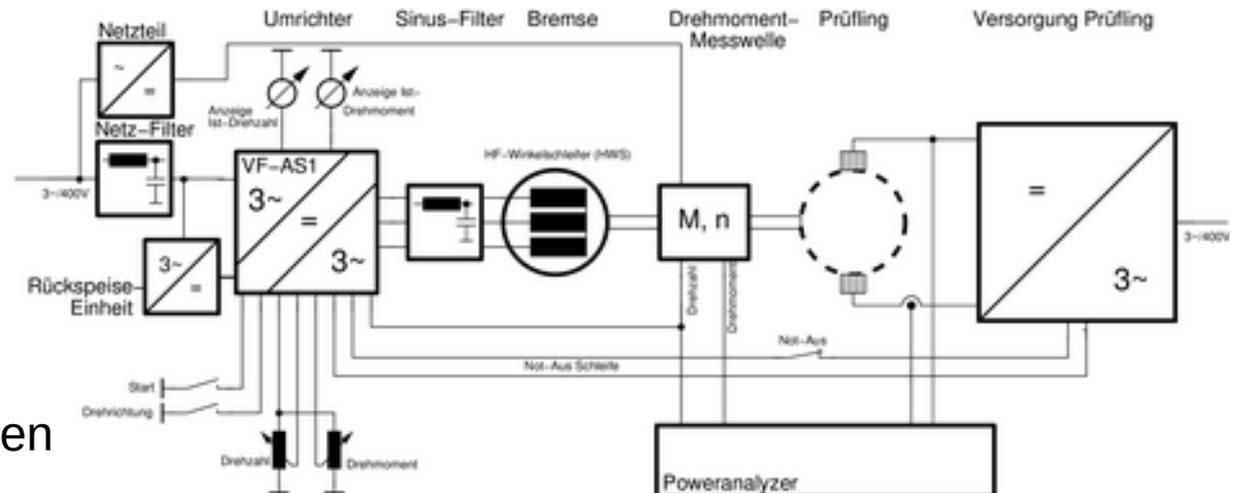
Prüfstand für hochtourige Kleinmaschinen

- Bremsmaschine: HF-Werkzeug (ASM-Winkelschleifer)
- Umrichter: Toshiba VF-AS1
- Drehmoment-Messwelle als Drehzahlgeber für den Umrichter



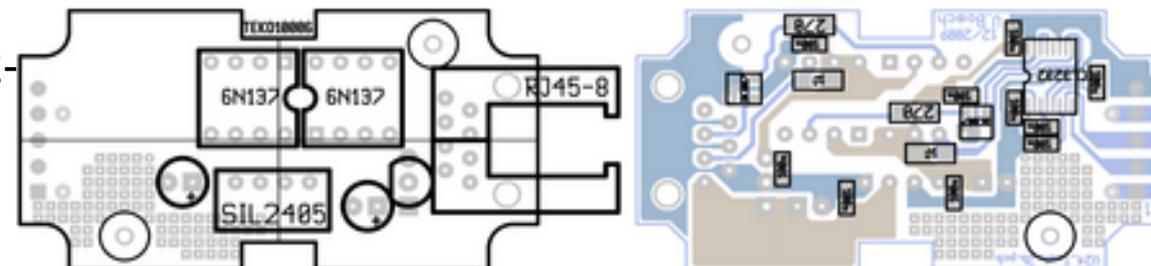
Prüfstand für Einzelradantrieb

- Bremsmaschine: Asynchron-Normmotor
- Umrichter: Toshiba VF-AS1
- Drehmomentmessung über Reaktionsmoment
- Drehzahlerfassung über induktiven Näherungsschalter auf Zahnriemenscheibe



Umrichtersteuerung einer Tischbohrmaschine (privat)

- Umbau auf Umrichterbetrieb
- Kondensatormotor durch ASM-Normmotor ersetzt
- Drucktastensteuerung Linkslauf/Aus/Rechtslauf
- Anzeige der Drehzahl im Umrichterdisplay
- Anzeige des Drehmoments durch Drehspulinstrument
- Parametrierung des Umrichters
- Potentialfreie Umsetzung der RS232-Schnittstelle



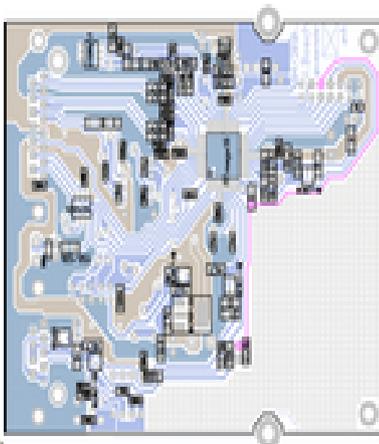
Software zur Parametrierung von Toshiba-Umrichtern unter Linux (privat)

- Flexible Konfiguration über Config-File

Referenzprojekte – Microcontroller

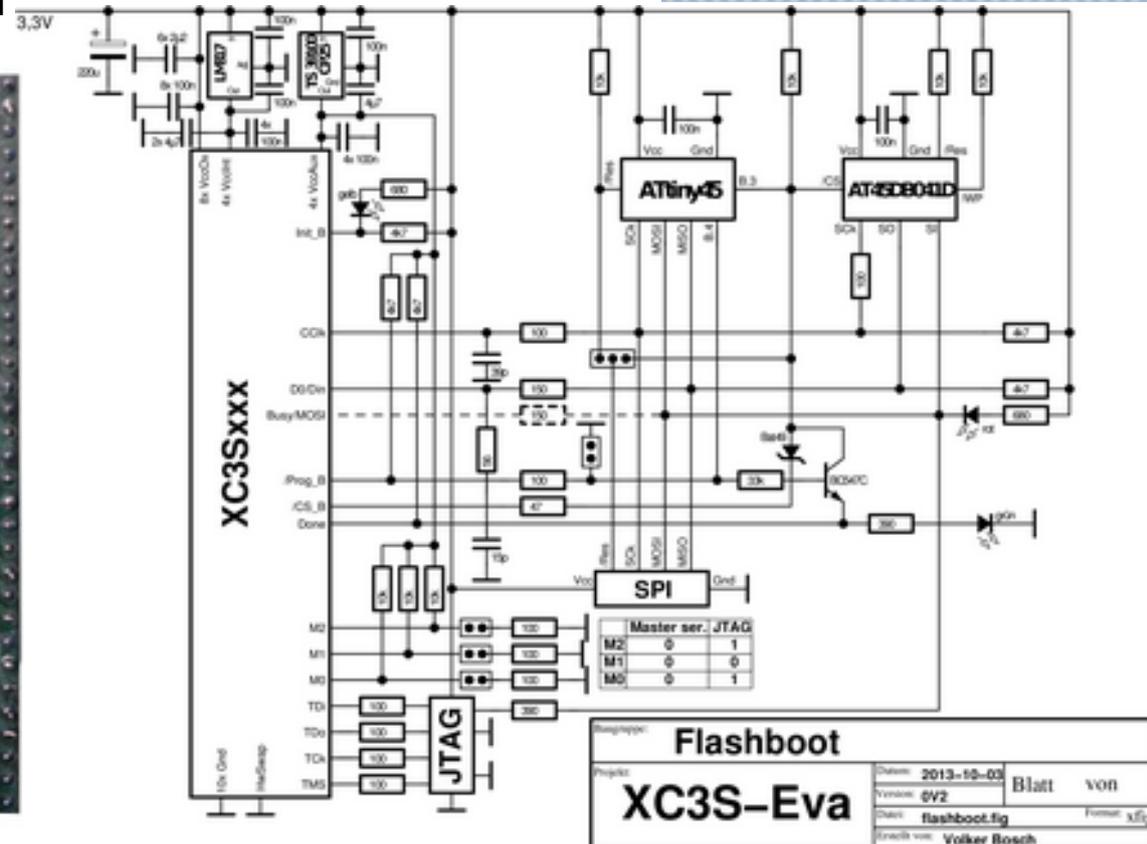
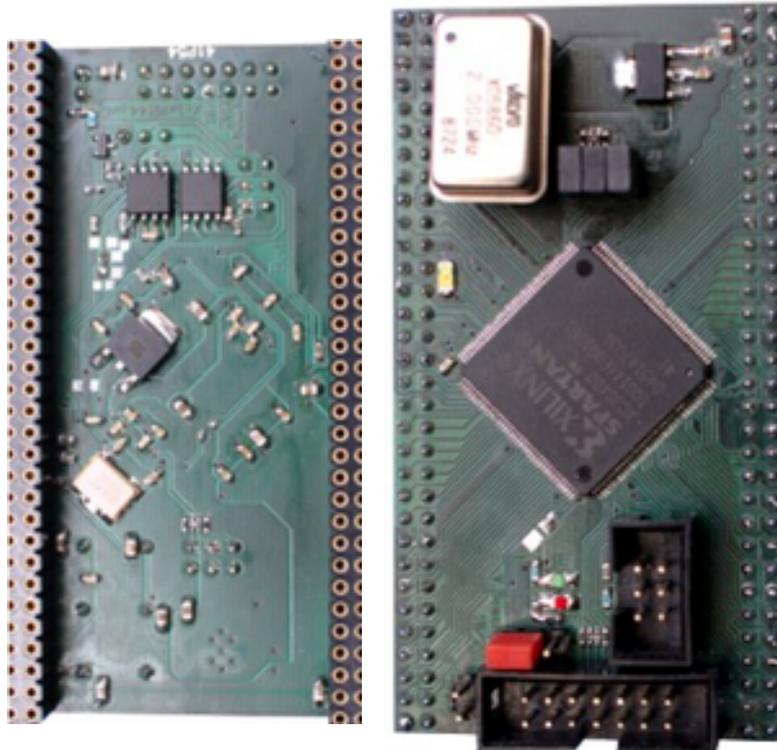
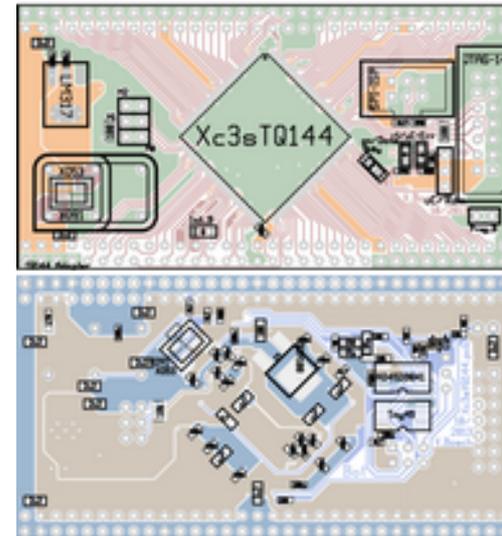
Gaussmeter (privat)

- Verwendete MCU: ATmega16
- Erregung mit Konstantstrom
- Messung des Spannungsabfalls zur Temperaturkompensation
- Sonden-EEPROMs für Abgleichdaten



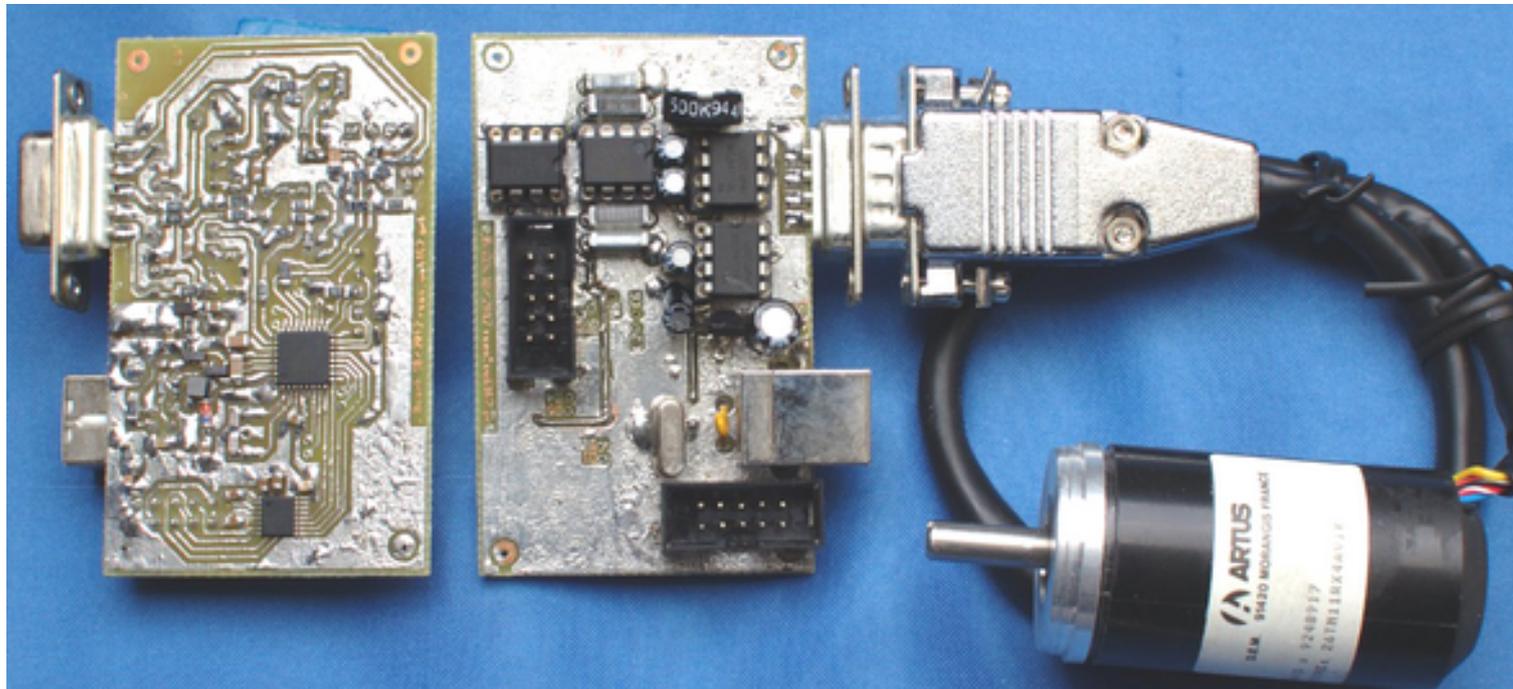
FPGA-Board (privat)

- Unterstützt Xilinx FPGA XC3S50, -200 und -400
- Konzeptioniert als Headerboard
- Spannungsregler für 2,5V (aux) und 1,2V (core)
- Anbindung eines seriellen SPI Flash-ROMs AT45xx über ATtiny45
- Direkte Programmierung von AVR und Flash über SPI-Port
- Direkter Download in das FPGA über JTAG-Port



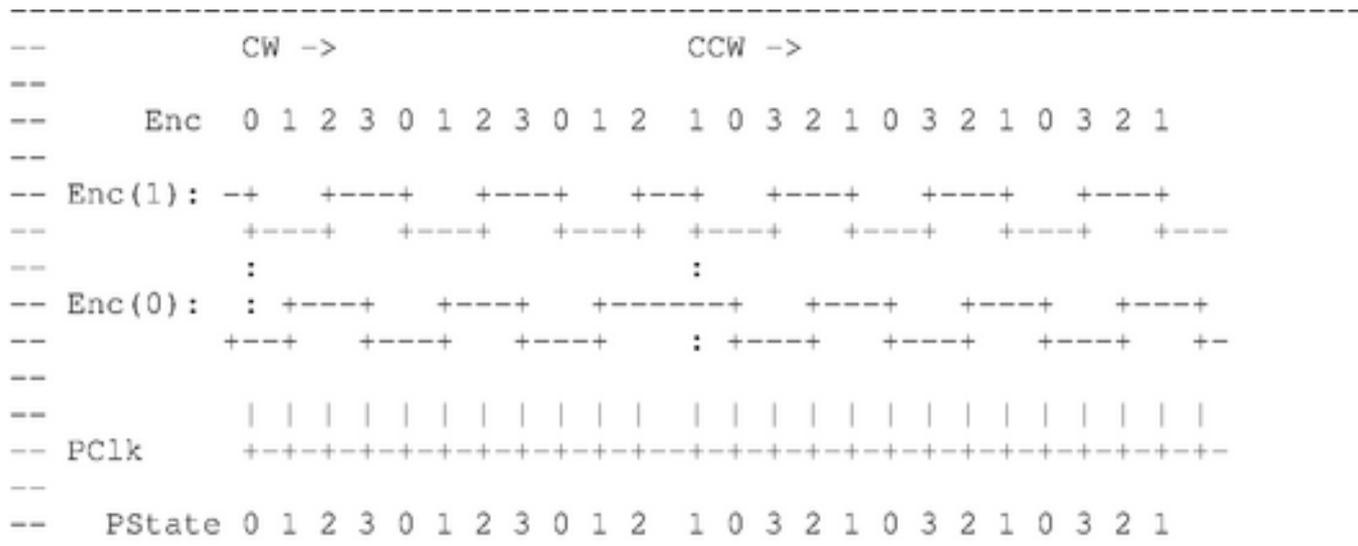
Resolver-Auswertung (privat)

- Verwendete MCU: AT90USB162
- Auflösung hängt nur von Capture-Timer ab
- RS232
- USB CDC-Interface (LUFA)



Auswertung für Inkrementalgeber – Simulation eines BLDC-Lagegebers mit einstellbarer Phase

- Verwendetes CPLD: XC9536
- Implementierung in VHDL
- Einstellbare Phasenlage



```

-----
-- Position Decoder for Agilent (HP) 8804545-209 (incremental)
-- position decoder
--
-- provides:
--   - 12 bit position value
--   - fundamental wave (2 periods/revolution)
--   - 3rd harmonic (6 periods/revolution)
--
-- requires:
--   - Clock (min. 30 times higher than max. encoder freq.)
--   - Reset
--   - Encoder quadrature signal
--   - Encoder Index signal
--
-- target device: Xilinx XC 9536 (X5)
--
-- files: pos_decoder.vhd (Xilinx) pos_decoder.vhd (ISE)
-- Simulator: - Alliance 5.9
-- Synthesizer: - Xilinx ISE 7.1 (Linux, Win.)
--
-- (c) 2005-06 V. Bosch (volker.bosch@t.uga.de)
--
-- Revision history:
--   2005-06-28: 1st running version.
--   2005-06-29: Improved definition of state machine (four states only).
--   2005-07-06: Define active level of Idx signal.
--   2005-08-05: Debounce Encoder signals.
--   2005-08-06: Define offset for Har3 and Fund as constant, calculate
--               toggle values by modulo division.
--   2005-08-08: Function ToggleValue() for calculation of toggle values.
-----

library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;

-- Counter
--constant CounterWidth : integer := 12;
--constant MaxCount    : integer    := (2 ** CounterWidth) - 1;

-----
-- Position decoder for Agilent (HP) 8804545-209 Position Encoder.
-----

entity PosDecoder is
port ( Reset, RClk : in std_logic;
      Idx : in std_logic_vector (1 downto 0);
      Dir : in std_logic;
      Fund : inout std_logic;
      Har3 : inout std_logic;
      Pos : inout integer range 0 to 1023 -- 10 bit position counter
    );
attribute gis_assign : string;
attribute pullup : string;
attribute per_pullup : string;

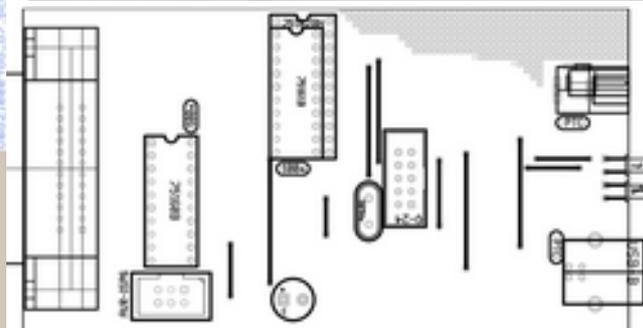
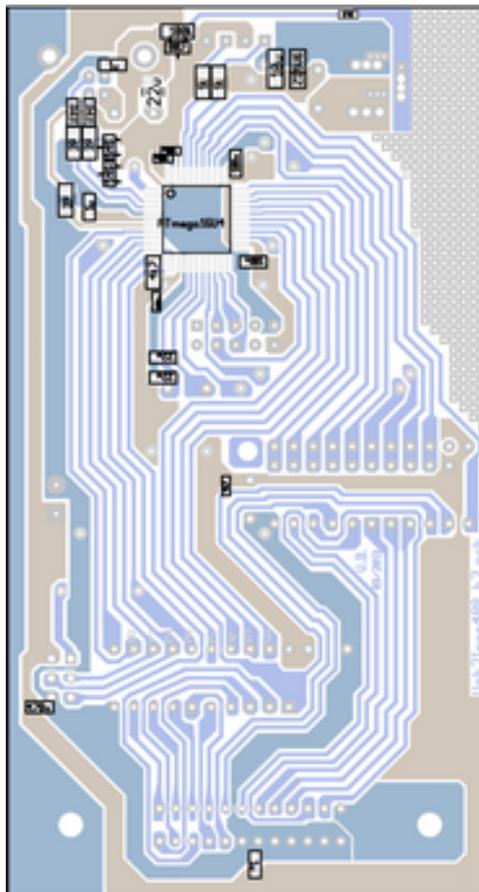
-- ==> Resets Port 4,8 (000)
attribute gis_assign of Resets : signal is "01";
attribute pullup of Resets : signal is "yes";
-- ==> RClk: Ports 8
attribute gis_assign of RClk : signal is "140";
-- ==> Idx: Ports 7
attribute gis_assign of Idx : signal is "136";
attribute pullup of Idx : signal is "yes";
-- ==> Enc: Ports 5, 4, 6
attribute gis_assign of Enc : signal is "29 31";
attribute pullup of Enc : signal is "yes";
-- ==> Pos: Bits 0-9a, Port 11--6 (0, 1, 6, 7, 2)
-- Bits 8-12a, Port 2,1--6 (11,12,14,15,18,19)
attribute gis_assign of Pos : signal is "75 18 16 15 12 3 3 5 6";
end entity PosDecoder;

```



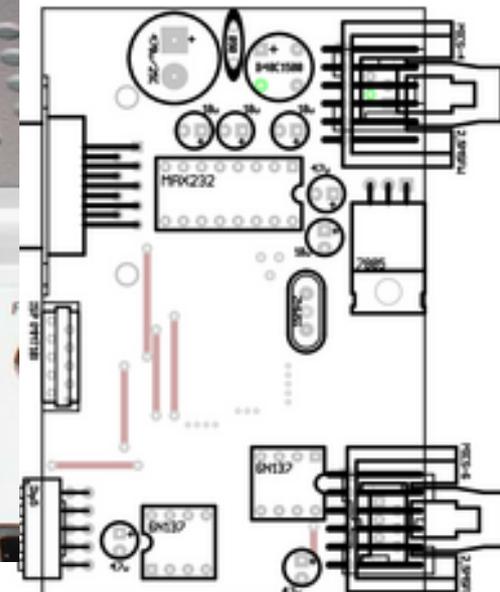
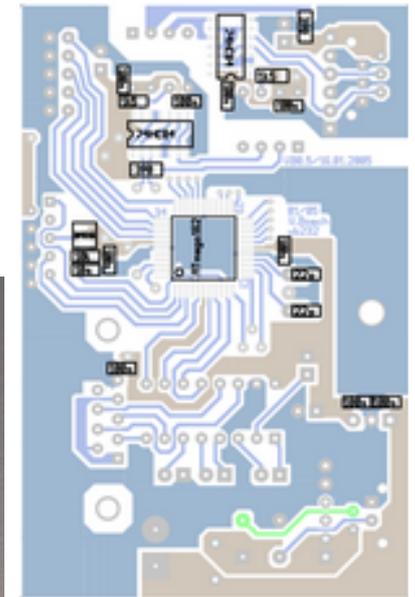
USB-GPIB-Interface (privat)

- Verwendete MCU: ATmega32U4
- Kombination zweier open-source Projekte: LUFA und GPIB-RS232-Schnittstelle



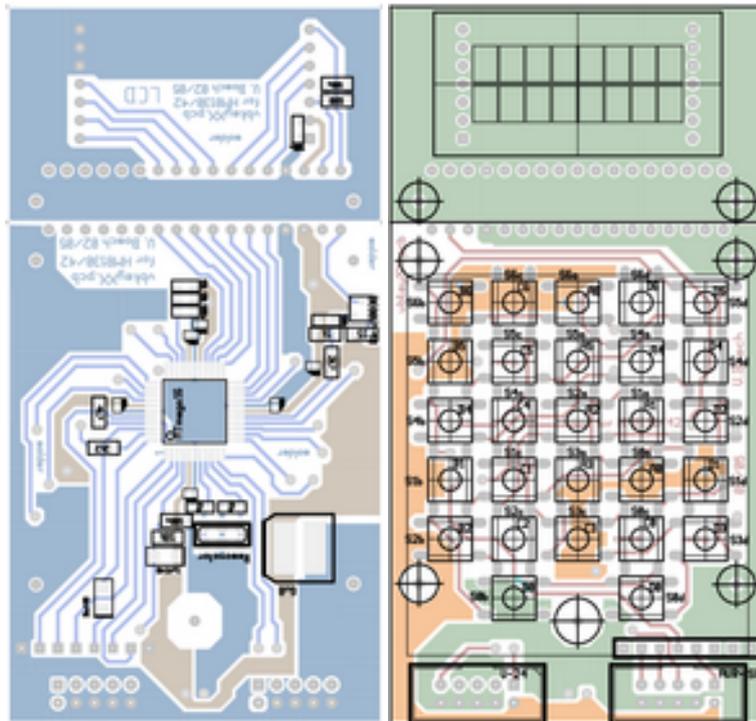
RS232- und USB-Interface für Hameg HM81xx-Messgeräte (privat)

- Verwendete MCU: ATmega162
- RS232, kompatibel zu Hameg HO88-2
- USB CDC-Interface nachträglich implementiert, basierend auf VUSB



Keyboard für HM8142 und HM8130 (privat)

- Verwendete MCU: ATmega16
- Emulation von Schieberegistern durch SPI Slave-Mode der MCU
- Matrixtastatur
- Automatische Erkennung des jeweiligen Host-Geräts

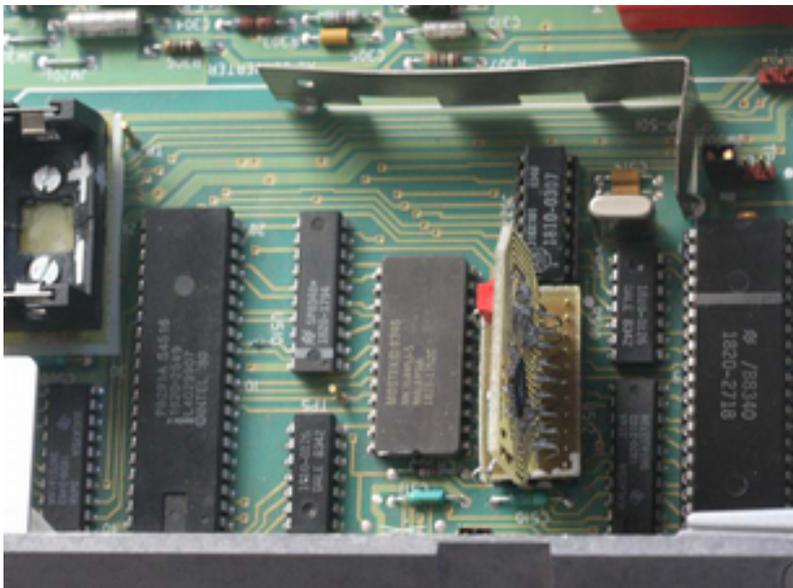
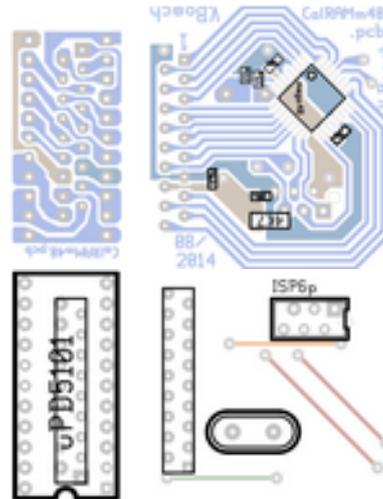


Referenzprojekte – Microcontroller

HP3478a RAM-Emulation (privat)

Ersetzt das batteriegepufferte SRAM

- Verwendete MCU: ATmega48
- Daten im EEPROM
- Zeitkritische Routinen in Assembler implementiert
- Selbsttätiges Update des EEPROMs im Hintergrund



Personenwaage (privat)

Ersatz einer defekten Elektronik

- Verw. MCU: ATmega16
- Stromversorgung über eine AA-Zelle
- Upsampling zur Erhöhung der ADC-Auflösung um sieben Bit

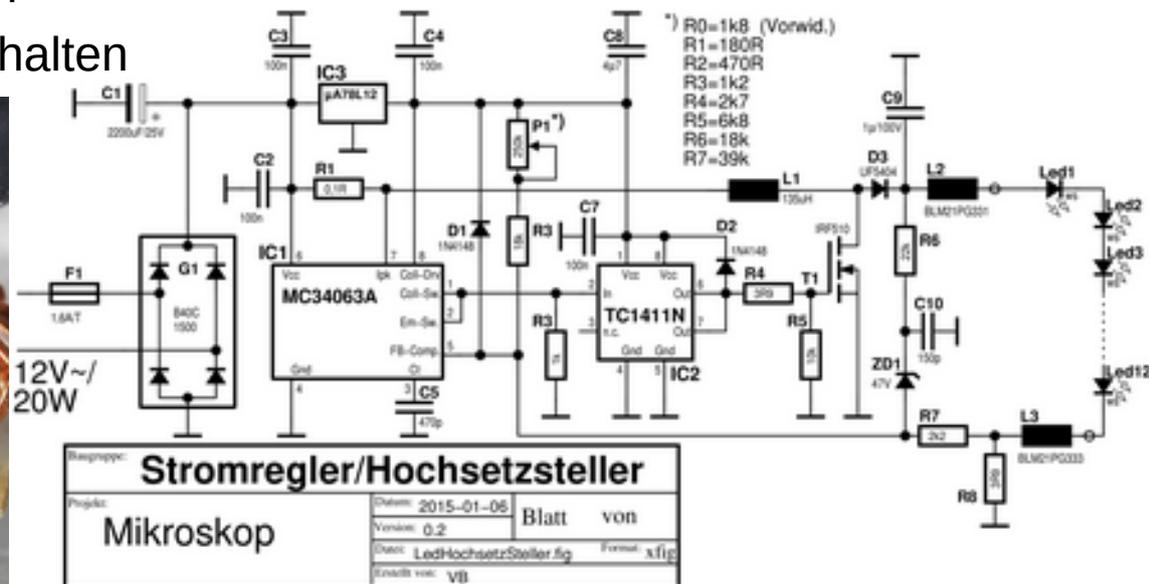
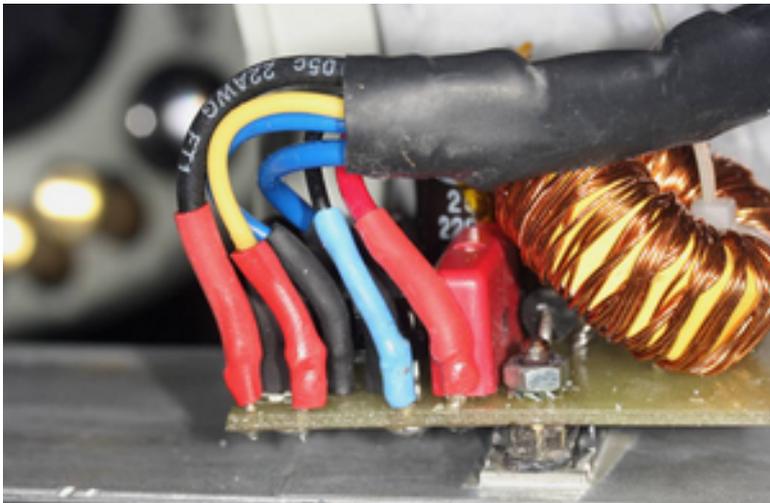


LED-Versorgung für Mikroskop (privat)

- Betrieb von 12 weißen Hochleistungs-LEDs an einer 12V-Quelle
- Einbau in den Fuß des Mikroskops
- Hochsetzsteller mit MC34063 und ext. MOSFET
- Einstellbarer Strom mit logarithmischer Kennlinie
- Begrenzung der Leerlaufspannung

Nachteile:

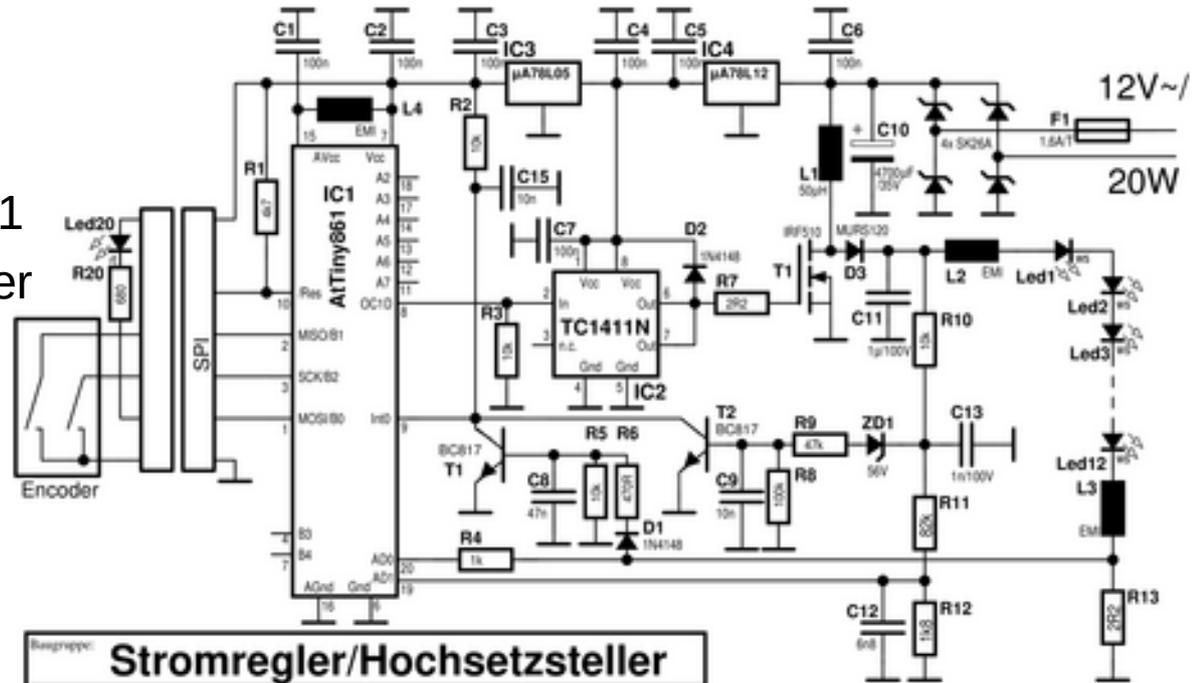
- Flimmern durch subharmonische Regelschwingungen im Teillastbereich
- Überspannung beim Ein- und Ausschalten



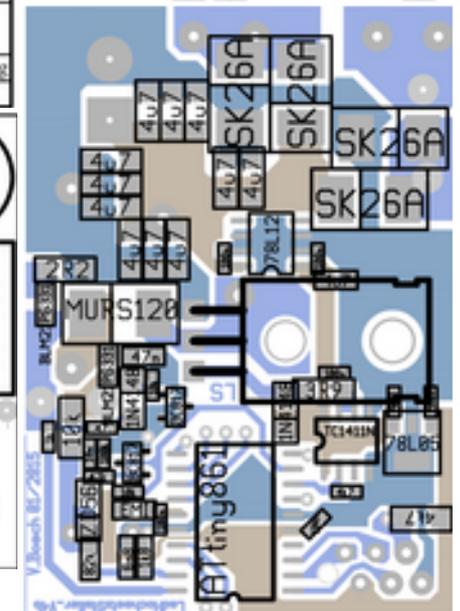
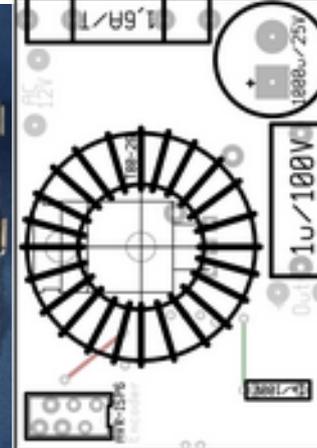
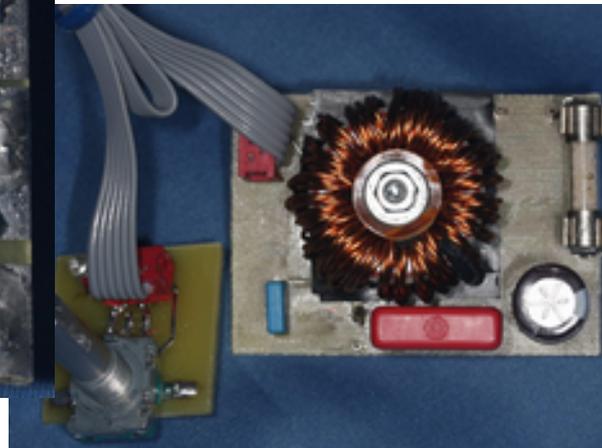
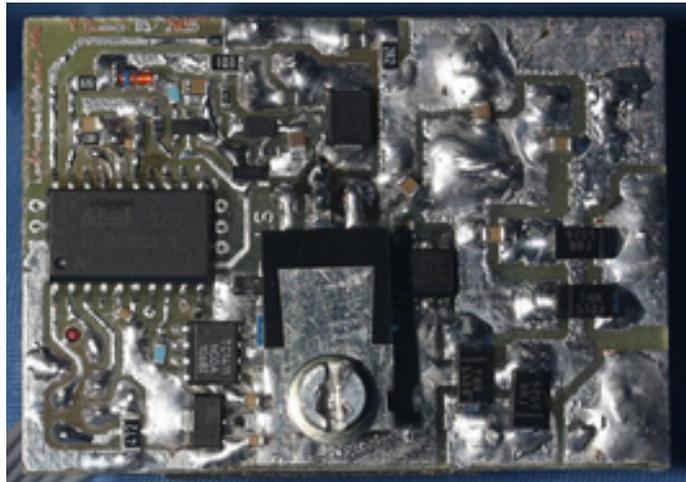
Referenzprojekte – Schaltungstechnik

LED-Versorgung für Mikroskop (privat)

- Ansteuerung des Boost-Converters durch die Capture-Unit des ATtiny861
- Regelung des Stromes durch I-Regler
- Schutz vor Überspannung und Überstrom in Hardware implementiert
- Automatisches Derating, abhängig vom eingestellten LED-Strom
- Exponentielle Kennlinie

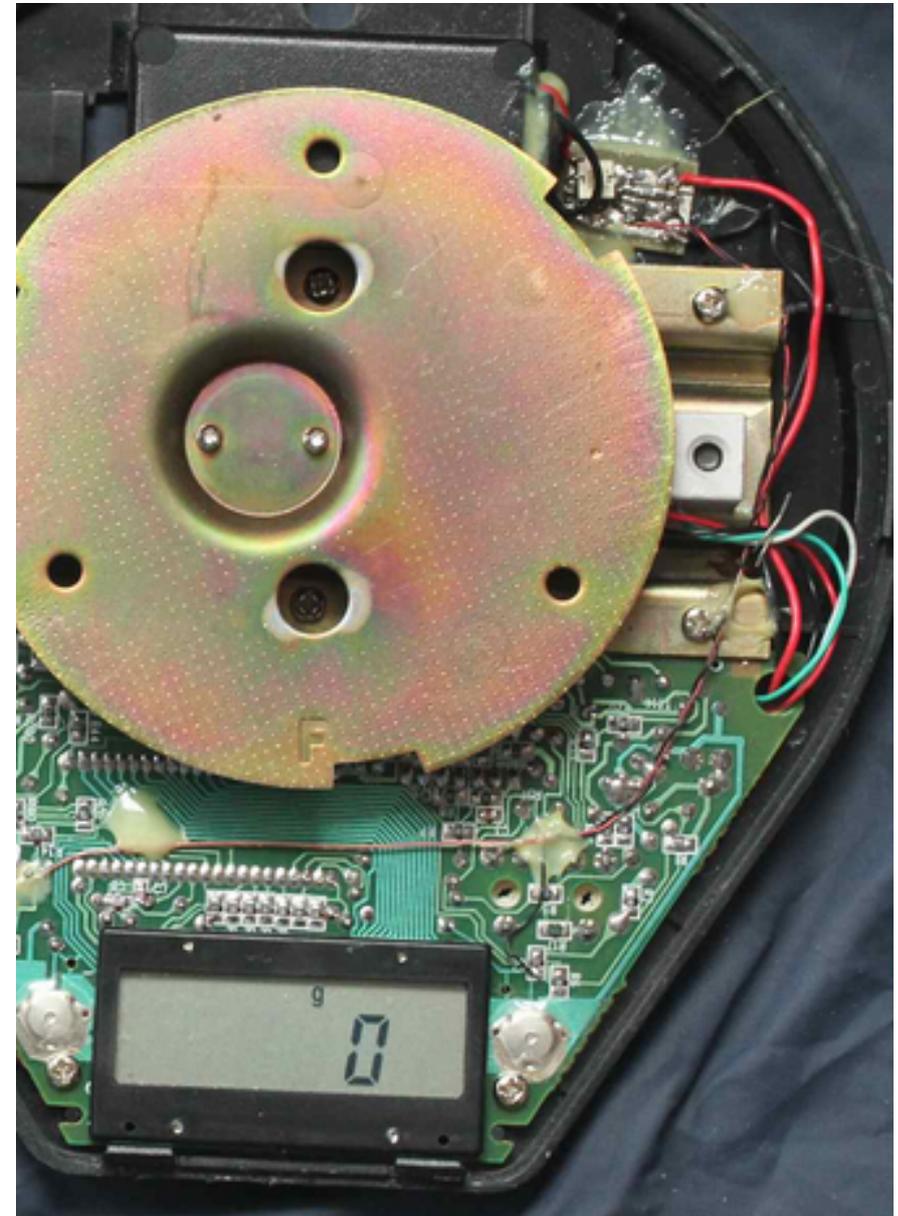
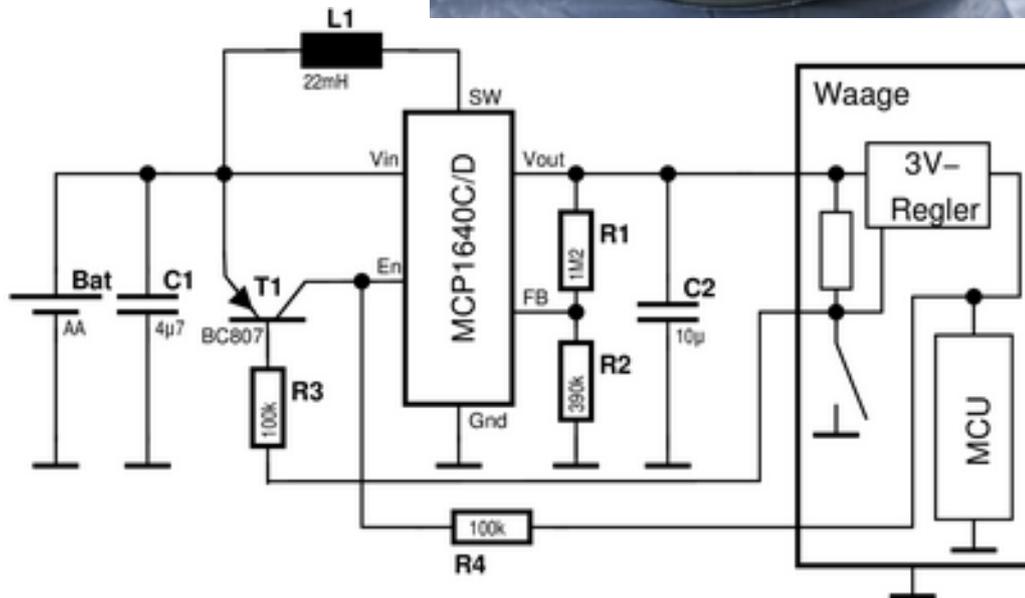
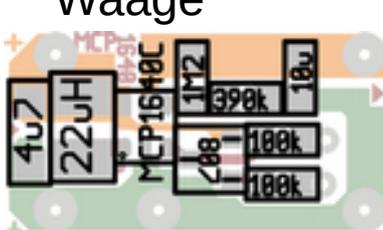


Bezeichnung: Stromregler/Hochsetzsteller		
Projekt: Mikroskop	Datum: 2015-02-24	Blatt von
	Version: 0.4b	
	Datei: LedHochsetzSteller_V4.fig	Format: xfig
	Erstellt von: VB	



Stromversorgung Küchenwaage (privat)

- Betrieb an einer AA-Zelle anstelle 2x CR2032
- Hochsetzsteller-IC MCP1640C
- Anbindung an automatische Abschaltung der Waage



Referenzprojekte – Microcontroller

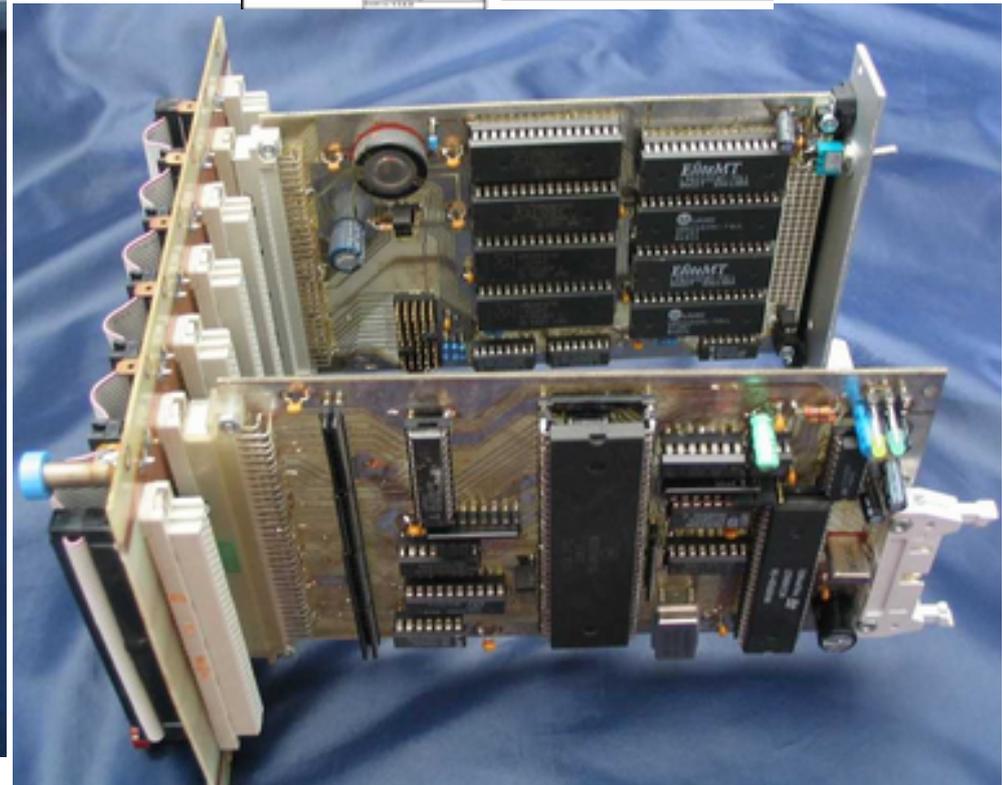
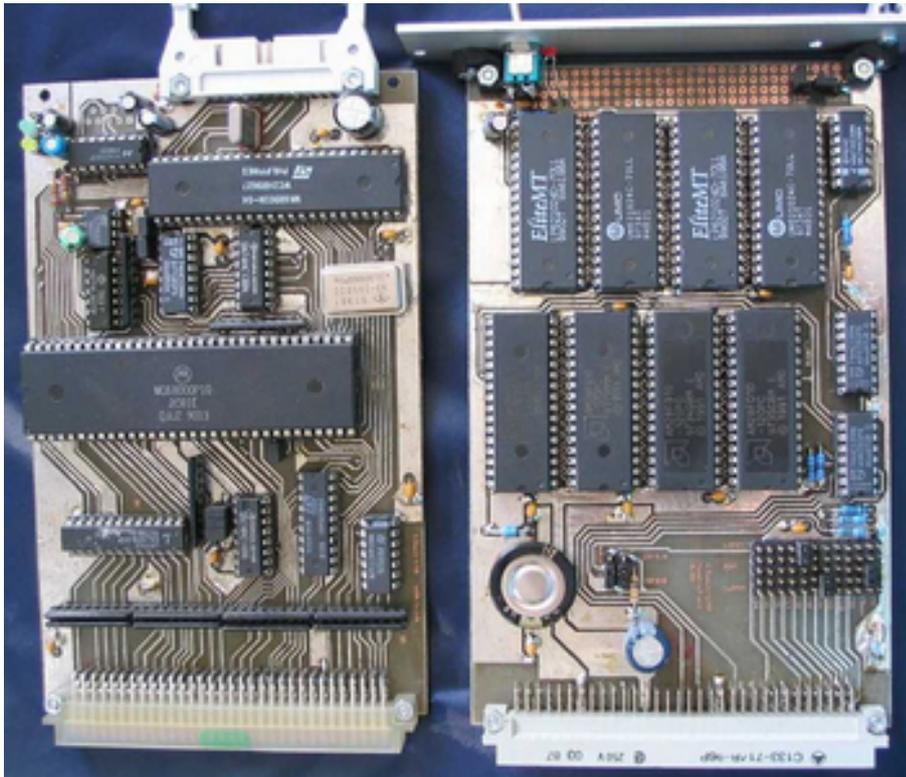
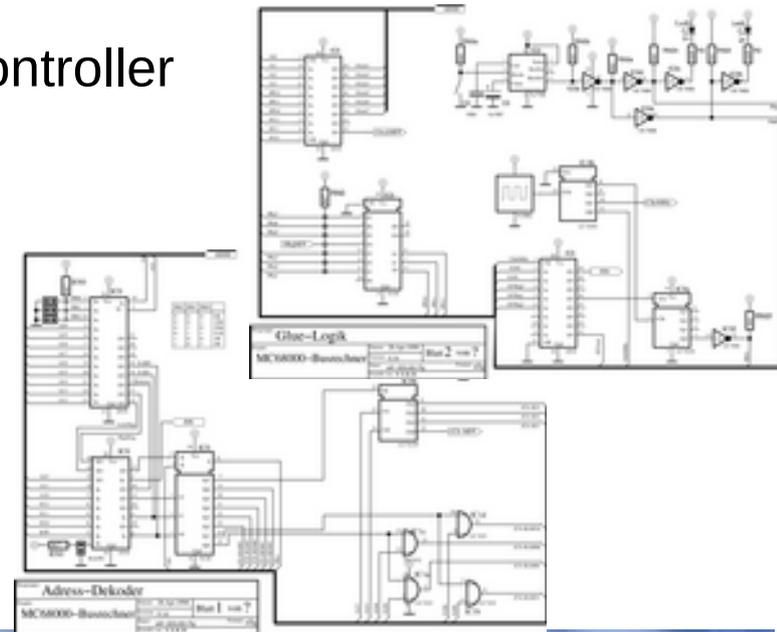
RS232-Interface für HM8011-Tischmultimeter (privat)

- MCU: AT90S2313 (AVR)



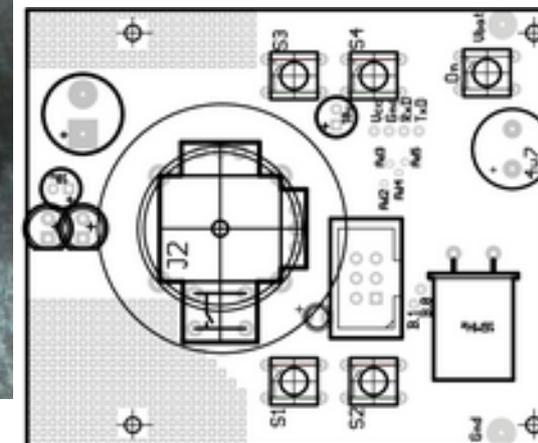
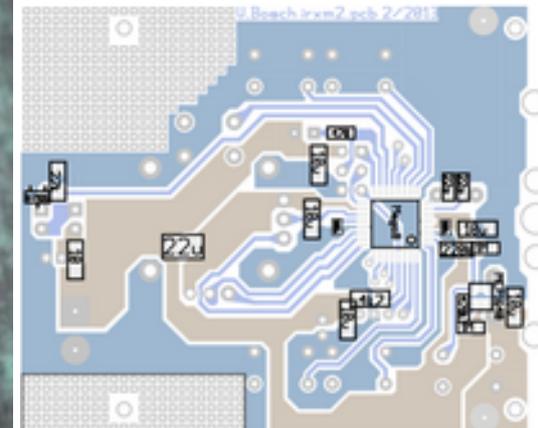
Modularer MC68k-Rechner (privat)

- Vollständige Dekodierung des Adressraums
- 96-polige Backplane
- Reset-Vektoren (ROM) werden in Adressraum des ersten RAMs eingeblendet
- Verschiedene DTack-Verzögerungen auswählbar für langsame Peripherie



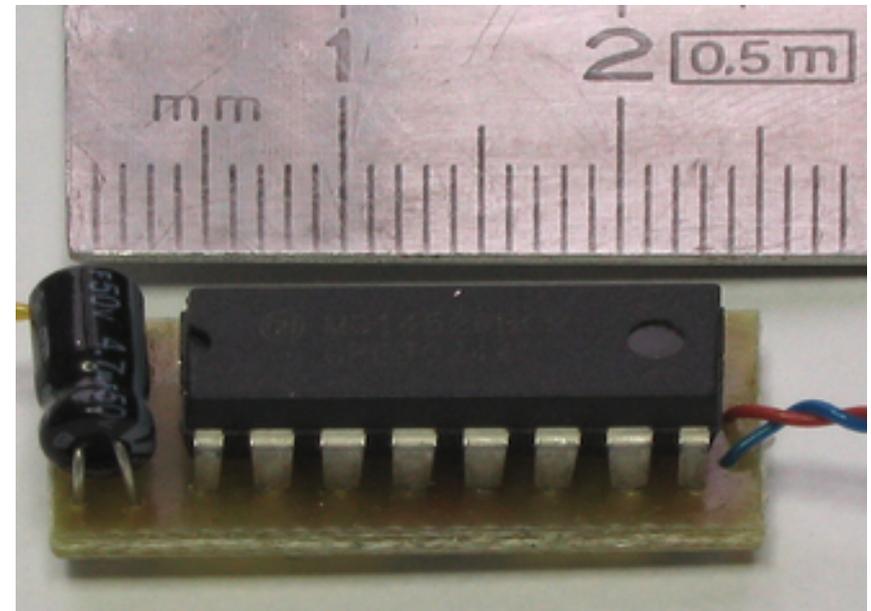
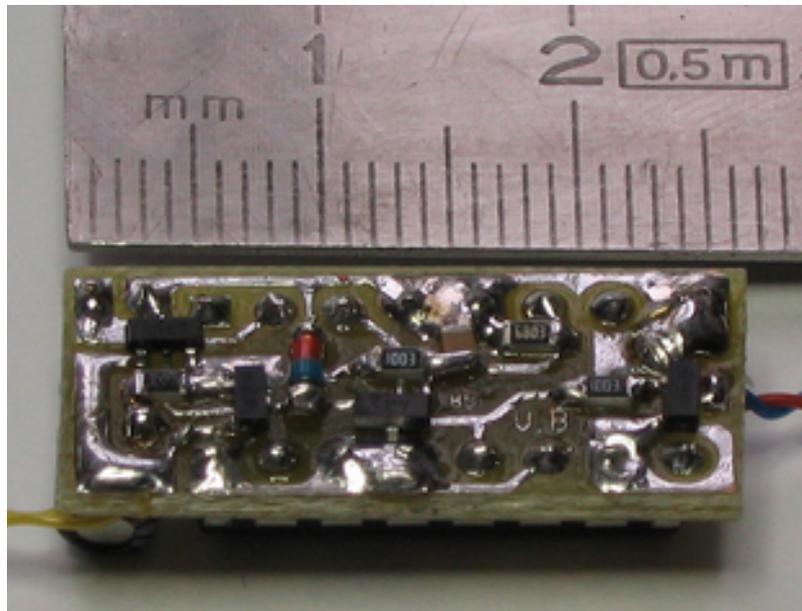
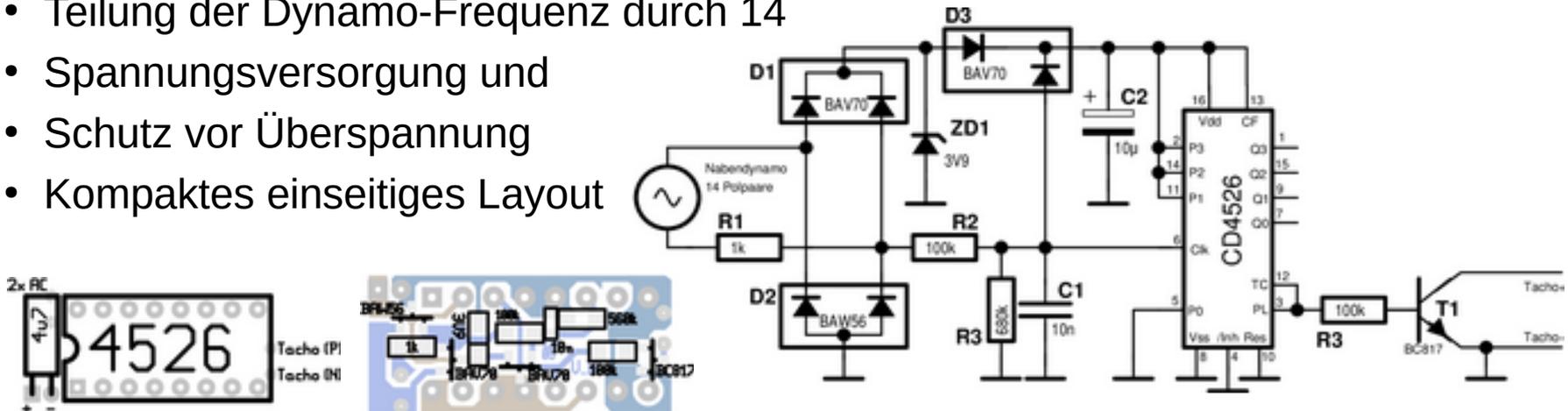
IR-Fernsteuerung (privat)

- Implementierung des Lego Powerfunctions-Protokolls
- Sender (ATmega16, ATmega8)
- Empfänger (ATmega8)
- Empfänger unterstützt Modellbau-Servos
- Implementierung in DLR_School_Lab-Versuch



Fahrrad-Tachointerface für Nabendynamo (privat)

- Teilung der Dynamo-Frequenz durch 14
- Spannungsversorgung und
- Schutz vor Überspannung
- Kompaktes einseitiges Layout



Anpassung Benutzerinterface OpenHR20 Heizungsthermostat (privat)

- Modifikation eines Open-Source-Projekts
- MCU: ATmega169
- Implementierung weiterer Programmiermodi
 - Mo – Fr (1 – 5)
 - Sa & So (6 + 7)
- Manuelle Schnellauswahl der 4 voreingestellten Temperaturen



Software-Projekte für PLD/GAL (privat)

GAL-Assembler

- Unterstützt 16V8, 20V8, 22V10
- Erzeugt ein ausführlich dokumentiertes Listing

GAL-Vergleicher

- Vergleicht JEDEC-Files auf Term-Ebene
- Die Lage der Konjunktionen (UND-Verkn.) darf variieren

Programmierung von Zustandsautomaten

- Beschreibung der Zustände und jeweiligen Übergänge
- Erzeugt Logikgleichungen in disjunktiver Normalform (DNF)

Software zur Minimierung von Logikgleichungen

- Verfahren nach Quine-McCluskey
- Optimierte Logikgleichungen in DNF
- Unterstützt bis zu 64 Variablen (long long)

```

hall2.stm      Wed Oct 08 20:19:36 2014      1
#INPUT
INPUTSIGNALS

Res A B C

OUTPUTSIGNALS

Q0 Q1 Q2 RL

STATES

S0 = /Q2 * /Q1 * /Q0 * RL
S0r = /Q2 * /Q1 * /Q0 * /RL
S1r = /Q2 * Q1 * /Q0 * /RL
S1 = /Q2 * Q1 * /Q0 * RL
S2r = /Q2 * Q1 * Q0 * /RL
S2 = /Q2 * Q1 * Q0 * RL
S3r = Q2 * /Q1 * /Q0 * /RL
S3 = Q2 * /Q1 * /Q0 * RL
S4r = Q2 * /Q1 * Q0 * /RL
S4 = Q2 * /Q1 * Q0 * RL
S5r = Q2 * Q1 * /Q0 * /RL
S5 = Q2 * Q1 * /Q0 * RL
S6r = Q2 * Q1 * Q0 * /RL
S6 = Q2 * Q1 * Q0 * RL
S7 = /Q2 * /Q1 * Q0 * RL
S7r = /Q2 * /Q1 * Q0 * /RL

TRANSITIONS

Res = Res
t1 = /Res * A * /B * C
t2 = /Res * A * /B * /C
t3 = /Res * A * B * /C
t4 = /Res * /A * B * /C
t5 = /Res * /A * B * C
t6 = /Res * /A * /B * C

# A = t1 + t2 + t3
# /A = t4 + t5 + t6
# B = t3 + t4 + t5
# /B = t6 + t1 + t2
# C = t5 + t6 + t1
# /C = t2 + t3 + t4
    
```

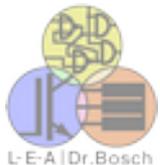
```

booster3d.doc  Wed Oct 08 20:21:11 2014      1
Target PLO: GAL22V10
List file created by galsim Ver.02.14(MuLtiMay 31 2011/19:48:13) cpl V. Wood
Input file: "booster3d.wgn". Listing created: Wed Oct  8 20:20:35 2014
Original input file loader:
File: booster3d.wgn

                                GAL22V10
Cik    --> ( 1)  --- (24)  --- Wdg
Cik_d  --> ( 2)  --- 01/1 (23)  #-> Kon_err
Enable --> ( 3)  --- 01/1 (22)  #-> L_err
/BOC_L --> ( 4)  --- 01/1 (21)  #-> Kon_h1
/Oneg0 --> ( 5)  --- 00/1 (20)  #-> /LodStk
Vpced  --> ( 6)  --- 00/1 (19)  #-> /Kon_h1
/OverVcl --> ( 7)  --- 01/1 (18)  #-> BOC_L_d
/OverCdr --> ( 8)  --- 01/1 (17)  #-> KlwStk
BOC_h  --> ( 9)  --- 01/1 (16)  #-> Kzrc
/JO    X (10)  --- 01/1 (15)  #-> BOC_h_d
/Q1    X (11)  --- 00/1 (14)  #-> /Del_out
Gnd    (12)  --- (13)  --- <- /Del_in

Legend:
#</pre>

```



Referenzprojekte – Schulungen

Schulungsunterlagen

- Grundlagen des Magnetismus'
- Grundlagen elektrischer Maschinen
- Betriebsverhalten elektrischer Maschinen
- FEM, Magnetostatik

Berechnung magnetischer Felder
Netzwerk magnetischer Abschirmbereiche
„Magnetostatik“
• Umwicklung der Geometrie in konvergente Elemente
• Spulen und Dauermagnete werden als Quellen betrachtet
• Anwendung der nichtlinearen elastischen Netzwerkanalyse (Nebenpotential- oder Maschenstromanalyse)
• Der Luftspalt kann als Netzwerk unipolarer Elemente modelliert werden. Aus der Tangentialkomponente der Feldstärke und der Normalkomponente der Flussdichte kann die Flächensichtleistung direkt ermittelt werden.
Probleme
• Die Orientierung des magnetischen Flusses muss bekannt sein
• Der Überlagerungsprinzip gilt nicht in nichtlinearen Medien, wie z.B. in Permanentmagneten

Magnetismus – Grundlagen
Das Durchflutungsgesetz
 $\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = I$
 $\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = \sum I = I_{ext}$
magnetischer Fluss: $\iint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = \Phi$ $B = \Phi/A$
magnetische Feldstärke und Flussdichte
 $\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Vs/Am}$
Magnetisierungskurve: $B = \mu_0(H + M)$

Betriebsverhalten – Synchronmaschine
Feldorientierte Regelung
Die Phasenlage des Stator-Drehstromsystems wird so geregelt, dass sich zwischen den Achsen der Stator- und der Rotordurchflutung ein definierter Durchflutungswinkel ψ einstellt.
 $\psi > 0 \Rightarrow M > 0$
Abhängig vom eingestellten Durchflutungswinkel kann die Maschine entweder mit maximalem Drehmoment M_{max} oder minimaler Drehleistung P_{min} betrieben werden.

Betriebsverhalten – Gleichstrommaschine
Betriebsverhalten Gleichstrom-Flussrichtermaschine
Ersatzschaltbild
 $M_{ext} = M_{ele}$
 $C_{tor} = I(R_A + R_r) = \ell$
 $\ell_s = -I_s \ell$
 $M = \ell \cdot I$
Kontrollen
 $M_s = I_s \cdot I$
Kontrollen
 $M_s = I_s \cdot I$

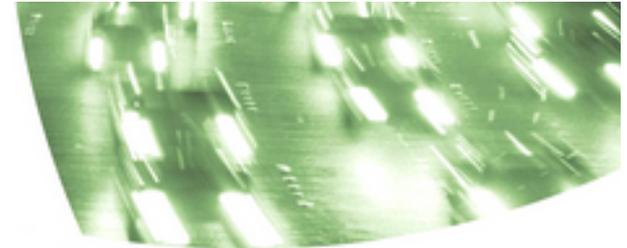
Spannungsinduktion
In Luftspalt umlaufende Flusswellen
Mit einer Spule verknüpfter magnetischer Fluss

Drehstromwicklung – Aufbau
Die Drehstromwicklung erzeugt aus einem Drehstromsystem eine im Luftspalt umlaufende Durchflutungswelle.

Hartmagnetische Werkstoffe
Der Arbeitspunkt eines Permanentmagneten

Technische Ausführung elektrischer Maschinen
Gleichstrommaschinen: Einlaufende Erreger- und Ankerdurchflutung
Erregung (I_f) und Ankerdurchflutung (I_a) spannen einen Winkel auf.
Drehfeldmaschinen: Umlaufende Erreger- und Ankerdurchflutung
Das erzeugte Drehmoment ist proportional zum Vektorprodukt der beiden Durchflutungen I_f und I_a .





Vorlesungskapitel „Elektrische Traktionsantriebe“

- Bestandteil der Vorlesung „Fahrzeugkonzepte II“, IVK, Universität Stuttgart
- Erstellung des zugehörigen Kapitels im Vorlesungsskript
- Erstellung des Foliensatzes für dieses Vorlesungskapitel
- Durchführung dieses Vorlesungsteils in den Sommersemestern 2014, 2013 und 2012

Energiewandler
Elektrische Traktionsantriebe: Eine Übersicht

Dr.-Ing. Volker Bosch, FK/AEW



Elektrische Antriebe – Grundlagen

1. Induktionseindring $\vec{H} = \text{rot } \vec{A}$
 $\vec{E} = -\text{grad } \phi - \dot{\vec{A}}$
2. Durchflutungseindring $\vec{H} = \text{rot } \vec{A}$
 $\vec{E} = -\text{grad } \phi - \dot{\vec{A}}$
3. Lorentzkraft $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$
 $\vec{F} = I \vec{dl} \times \vec{B}$

Elektrische Antriebe Betriebsverhalten Gleichstrom-Nebenschlussmaschine

Erwärmung U_A , I_A , L_A

Kennlinien $M_e = \text{const.}$, $M_e = k \cdot I_A$

Elektrische Antriebe Betriebsverhalten Gleichstrom-Reihenschlussmaschine

Erwärmung U_A , I_A , L_A

Kennlinie $M_e = k \cdot I_A^2$

Elektrische Antriebe: Synchronmaschinen Einphasige Ersatzschaltbilder

Physikalisch korrektes Ersatzschaltbild

Linearisiertes Ersatzschaltbild

Elektrische Antriebe: Synchronmaschinen Zeigerdiagramm

Mit Hilfe des einphasigen Zeigerdiagramms können Amplitude und Phasenlage der Kenngrößen in Bezug auf den Rotor dargestellt werden.

Ergenitrom \vec{I}_e

Ergenitrom auf Stator umrechnen: an $\vec{I}_e \rightarrow \vec{I}_s$ Magn. Strom 90° vordrehend zu $\vec{I}_d \rightarrow \vec{I}_q$ 90° vordrehend geg. \vec{I}_d an \vec{I}_s $\rightarrow X_{d,q}$ parallel zu $\vec{I}_s \rightarrow \vec{I}_d$ $\rightarrow \vec{I}_q$ und Phasenwinkel φ 90° vordrehend geg. \vec{I}_d an \vec{I}_s $\rightarrow \vec{I}_q$ $\rightarrow \vec{I}_d$

Elektrische Antriebe: Synchronmaschinen Feldschwächbetrieb bei pm-erregter Synchronmaschine

Reduzierung der wirksamen Erregung durch einbringen einer entgegengesetzt gerichteten Komponente der Statordurchflutung.

\vec{B}_d : Drehmomentbildende Komponente
 \vec{B}_f : Feldschwächende Komponente

Elektrische Antriebe: Asynchronmaschinen Feldorientierte Regelung

Die räumliche Orientierung Rotordurchflutung \vec{B}_r definiert die Lage der q- und der d-Achse zum Zeitpunkt t.

Die räumliche Orientierung der Statordurchflutung \vec{B}_s wird vektoriell in Richtung der q- und der d-Achse zerlegt.

Die Komponente \vec{B}_{sd} baut die Rotordurchflutung auf.

Die Komponente \vec{B}_{sq} bildet mit der Rotordurchflutung das Drehmoment.

Elektrische Antriebe Vergleich verschiedener Antriebstechnologien

	PM-SM (Ganzblei)	PM-SM (Kupferblei)	SM (Kupferblei)	ASM	SIM	TYM
Leistungsdichte	++	+	0	0	0	+
Überlastbarkeit	---	---	++	++	+	---
Feldschwächbetrieb	---	0	+	++	0	---
Wirkungsgrad	++	++	0	---	---	++
Kosten	---	---	0	++	0	---
Wartungsfreudigkeit	+	+	+	+	+	+
Anwendungsbereich	++	++	++	---	---	++
Geräusch	0	+	++	++	---	0



Referenzprojekte – Schulungen

Motoren in handgeführten Elektrowerkzeugen

- Umsetzung auf persönliche Initiative
- Ermittlung der jährlichen Teilnehmerzahl
- Planung des Inhalts in Absprache mit dem Dozenten
- Herausarbeiten der Anknüpfungspunkte an die Entwicklungsprozesse
- Umsetzung und Durchführung durch Prof. Harke, Hochschule Heilbronn



8. Laborausüstung – Magnetmesstechnik

Vorhandene Messgeräte

- Fluxmeter (e-Flux 1000)
- Gaussmeter (Selbstbau)
- Referenzmagnet (VM 5-5T, MAGMESS)

Messung magnetischer Größen beispielsweise in elektrischen Maschinen

- Zahn- und Jochflüsse
- Luftspaltinduktion

Vergleich von Funktionsmustern mit FEM-Rechnung



8. Laborausstattung – Arbeitsplatz



9. Veröffentlichungen

Bücher und Beiträge zu Büchern

Volker Bosch, Horst E. Friedrich (Hrsg.): Leichtbau in der Fahrzeugtechnik, Springer Vieweg Fachmedien, Wiesbaden, 2013. Beitrag: Leichtbau für den elektrischen Antrieb in Kap. 9.4, Potenziale des Teilsystems Motor/Antriebsstrang, Seiten 800–804 ([DLR electronic library](#)).

Volker Bosch: Elektronisch kommutiertes Einzelspindelantriebssystem (Dissertation), Band 7 der Reihe Berichte aus dem Institut für Elektrische Maschinen und Antriebe, Shaker Verlag, Aachen, 2001.

Beiträge zu Vorlesungen

[Elektro-mechanische Energiewandler](#): Abschnitt 4.8 der Vorlesung Fahrzeugkonzepte II – Alternative Energiewandlung von Prof. Horst E. Friedrich, Universität Stuttgart, IVK, Sommersemester 2013 und 2014.

Artikel

Bosch, Volker und Hartmann, Verena (2013) Elektromobilität – [Beschreibung](#) eines Versuchs für das DLR School Lab. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 62 (7), Aulis Verlag. ISSN 1617-5689.

9. Veröffentlichungen

Tagungen

25. Kleinmaschinenkolloquium TU Ilmenau Dr. Volker Bosch; Ingenieurbüro für Leistungselektronik und Antriebe „*Möglichkeiten und Grenzen der analytischen Magnetkreisberechnung*“, 16. -17. 3. 2017 ([Foliensatz und Bericht](#)).

Stuttgarter Symposium 2014. Höfer, Andreas und Friedrich, Horst E. und Wiesebrock, Andreas und Bosch, Volker und Schumann, Alexandra: DLR@UniST – Synergies emerging from integrating four individual electric drives in a lightweight chassis controlled by intelligent driving strategies, 18.-19.03.2014, Stuttgart, Deutschland ([DLR electronic library](#)).

ETG-/GMM-Fachtagung (VDE) Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, 3.-4. 3. 2004, Darmstadt. Bosch, Volker: Detektierung der dritten Harmonischen der Polradspannung – sensorlose Läuferlageerfassung für BLDC-Motoren. ([Foliensatz und Bericht](#)).

PESC '99. Power Electronics Specialists Conference, 1999. Gutt, H.-J.;Bosch, V.; Reismayr, D.: Sensorless direct control of brushless inverter fed permanent magnet excited AC motor drive system.

IECON '98. Industrial Electronics Society, 1998. Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE, 31Aug. – 4 Sept 1998, Aachen. Vol. 4, Pages: 2316–2320. Bosch, V.S.: Speed controlled single spindle drives for textile machines. ([Bericht](#)).

9. Veröffentlichungen

Vorträge im Rahmen von Firmenkolloquien

Kolloquium Elektrische Antriebe, Robert Bosch GmbH, Corporate Research CR/ARE, 17. 11. 2009, Gerlingen. Bosch, Volker und Reutlinger, Kurt: Messungen an permanentmagnetisch erregten EC- und DC-Maschinen – Verifizierung der Vorausberechnung.

Expertentag „Motors Materialize!“, Robert Bosch GmbH, Corporate Research CR/ARM, Nov. 2008, Stuttgart. Bosch, Volker: Motoren für Elektrowerkzeuge.

Kolloquium Elektrische Antriebe, Robert Bosch GmbH, Corporate Research CR/ARE, 22. 06. 2005, Gerlingen. Bosch, Volker und Reutlinger, Kurt: Kostenoptimierter Rotor für EC-Motor.

FV-Kolloquium Elektrische Antriebe, Robert Bosch GmbH, Forschung und Vorausberechnung FV/FLO, 18. 6. 2003, Gerlingen. Bosch, Volker: Detektierung der 3. Harmonischen der Polradspannung – Sensorlose Läuferlageerfassung bei BLDC-Motoren.

Veröffentlichungen im Internet

- Vortrag [Messungen](#) an permanentmagnetisch erregten EC- und DC-Maschinen
- Vortrag [Folgepolmaschine](#) – ein kostenoptimierter Rotor für eine EC- bzw. BLDC-Maschine
- Schulversuch [Haftmagnet](#)
- Grundlagen der [Maschinenberechnung](#) am Beispiel einer permanentmagnetisch erregten Synchronmaschine mit Luftspaltnagneten.

9. Veröffentlichungen

Patentschriften (Auszug)

DE 102010002666: Bosch, Volker: Motorsystem mit einer elektronisch kommutierten elektrischen Maschine. Robert Bosch GmbH, 08. 03. 2010.

DE 102008002180: Bosch, Volker; Peter, Ulrich und Laber, Sebastian: Rotor und Vorrichtung zur Rotorlageerkennung mit einem Rotor. Robert Bosch GmbH, 03. 06. 2008.

DE 102007060248: Bosch, Volker und Peter, Ulrich: Lamellenpaket für einen Elektromotor. Robert Bosch GmbH, 14. 12. 2007.

DE 102007055718: Bosch, Volker: Elektrowerkzeug. Robert Bosch GmbH, 06. 12. 2007.

DE 102007040725: Bosch, Volker und Reutlinger, Kurt: Elektrische Maschine. Robert Bosch GmbH, 29. 08. 2007.

DE 102006029359: Bosch, Volker: Sensorlose Motortemperaturüberwachung. Robert Bosch GmbH, 27. 06. 2006.

DE 102005037253: Skultety-Betz, Uwe; Haase, Björn; Stierle, Jörg; Wolf, Peter; Bosch, Volker; Renz, Kai und Schulte, Clemens: Messgerät. Robert Bosch GmbH, 08. 08. 2005.

DE 102005007995: Bosch, Volker: Rotorlagendetektion. Robert Bosch GmbH, 22. 02. 2005.

DE 102004027635: Bosch, Volker und Reutlinger, Kurt: Handgeführtes oder stationäres Elektrowerkzeug mit einer Antriebseinheit. Robert Bosch GmbH, 05. 06. 2004.

DE 102004013241: Bosch, Volker und Wirnitzer, Bernd: Verfahren zum Starten eines sensorlosen, elektronisch kommutierbaren Gleichstrommotors. Robert Bosch GmbH, 18. 03. 2004.

DE 000010341975: Bosch, Volker und Wirnitzer, Bernd: Drehmomentbegrenzungseinrichtung für einen Elektromotor. Robert Bosch GmbH, 11. 09. 2003.

DE 000010248673: Bosch, Volker: Stator für eine elektrische Maschine. Robert Bosch GmbH, 18. 10. 2002.

DE 000010229333: Reutlinger, Kurt; Bosch, Volker und Glauning, Jürgen: Elektrische Maschine, insbesondere bürstenlose Maschine mit permanentmagnetisch erregtem Läufer. Robert Bosch GmbH, 29. 06. 2002.

