



Extrem kompaktes SoC-Konzept eines Gleichgewichtsorganes für einen Laufroboter

R. Strasser, M. Seebode, A. Albert, W. Gerth



Überblick

- Einleitung
- Auswahl der geeigneten Sensoren
- Spannungsversorgung und Kalibrierung
- Aufbau des Gleichgewichtssensors
- Lageschätzung durch Beobachter
- Echtzeitbetriebssystem
- Zusammenfassung und Ausblick



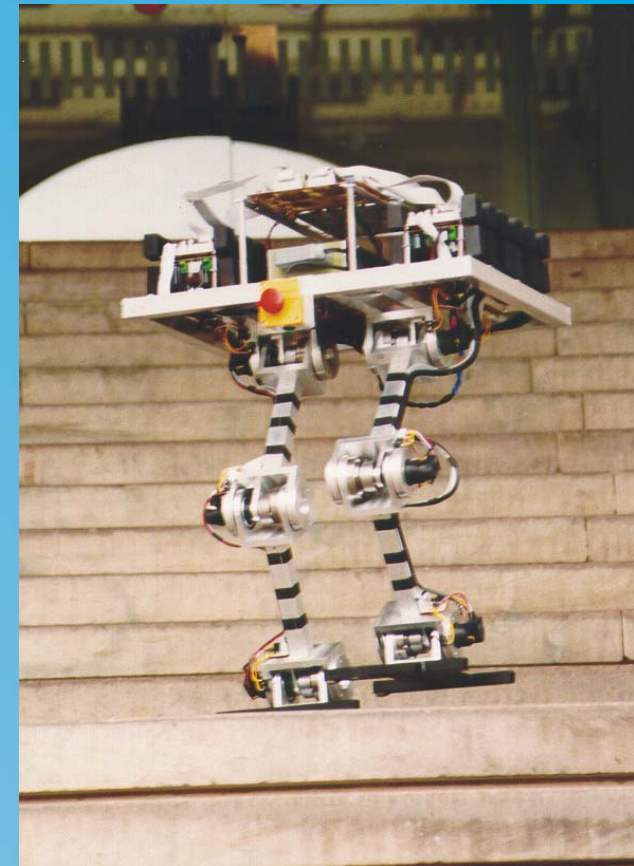
Einleitung

Für eine optimale Regelung muss der Bewegungszustand bekannt sein.

- PKW: ESP, drive-by-wire
- Flugzeug: Autopilot, Flugstabilisierung
- Roboter: Gleichgewichtsregelung

Wenn keine Information über die Umgebung vorhanden ist, funktioniert eine Kraftregelung nicht. Eine inertielle Messeinheit (IMU) wird benötigt basierend auf natürlichen Referenzen:

- Gravitationsbeschleunigung
- Erd-Magnetfeld
- (GPS)





Auswahl der geeigneten Sensoren

Die Orientierung eines Körpers kann ausgehend von einer Anfangsposition durch Integration seiner Drehraten berechnet werden.

Für diese Aufgabe werden ‚low cost‘ Sensoren verwendet:

- klein, leicht, genau und schnell

Ausgangssignale von Drehratensensoren können folgendermaßen beschrieben werden:

$$\dot{\phi}_m(t) = \dot{\phi}_{orig}(t) + d(t)$$

Der kritische Teil dieser Gleichung ist die zeitvariante Sensordrift $d(t)$, welche einen Integrationsfehler von einigen Grad pro Minute zur Folge hat.

Es müssen also zusätzliche Referenzen für die Kompensation verwendet werden.



Auswahl der geeigneten Sensoren

Beschleunigungssensoren

Für die Kalibrierung sollte die empfindliche Richtung des Sensors parallel zur Montageebene gewählt werden.

ADXL-202 :

- 2 Achsen mit einer Empfindlichkeit von 2g
- Analoger und digitaler Ausgang

Einfacher Gebrauch im 2 dimensionalen Fall. Die redundanten Messungen können für Mittelungszwecke verwendet werden.



Auswahl der geeigneten Sensoren

Drehratensensoren

Vergleich zwischen:

- ENC-03 (Murata)
- ENV-05 (Murata)
- ADXRS-150 (Analog Devices)

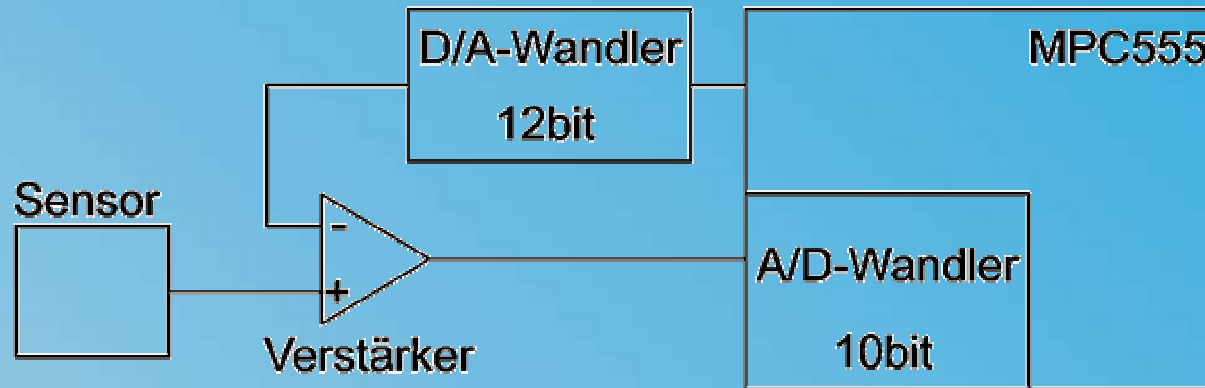
Die empfindliche Richtung sollte hier senkrecht zur Montage Ebene sein, ebenfalls wegen der Kalibrierung. Deshalb wurde der ENC-03 nicht weiter untersucht. Die beiden anderen wurden mit dem MPC555 von Motorola analysiert.

Die Auflösung seines A/D-Wandlers ist 10 bit.

Wie kann diese Auflösung erhöht werden?



Auswahl der geeigneten Sensoren



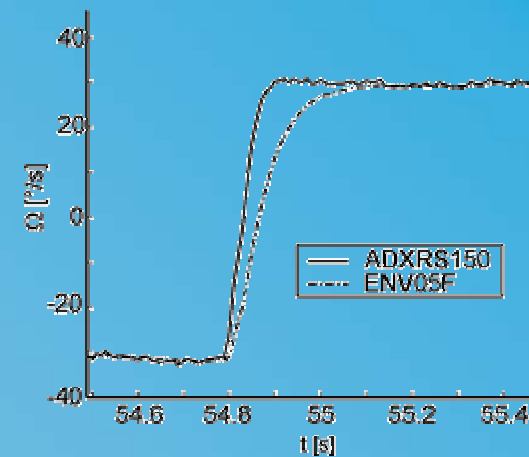
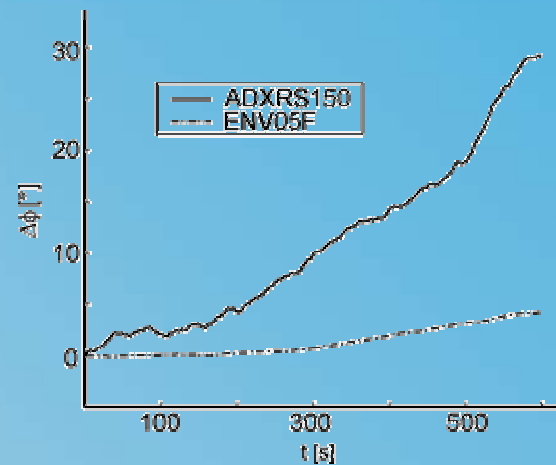
Die Auflösung kann abhängig von der Verstärkung auf 14 bit und mehr erhöht werden.

Interessante Punkte sind nun:

- Drift
- Rauschleistungsdichte



Auswahl der geeigneten Sensoren



- Die Drift des ENV-05 ist glatter
- Die Bandbreite des ADXRS-150 ist größer, die Rauschleistungsdichte allerdings auch

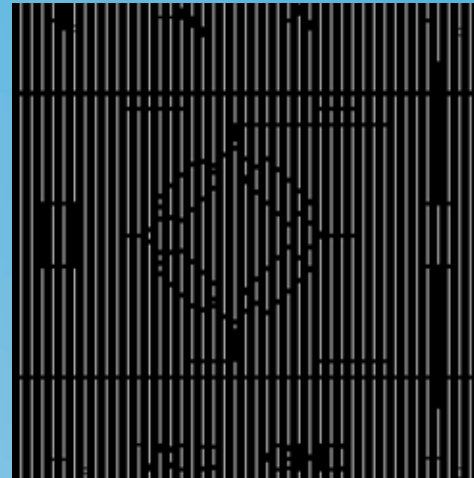
Wir entschieden uns für den ENV-05, da wir durch Polverschiebung seine Dynamik auch noch verbessern konnten. Außerdem wird der ADXRS-150 in einem BGA Gehäuse geliefert, welches wir nicht bestücken können.



Auswahl der geeigneten Sensoren

Magnetfeld Sensoren

Wir verwendeten einen Standardsensor. Der KMZ-51 von Philips



Vorteile:

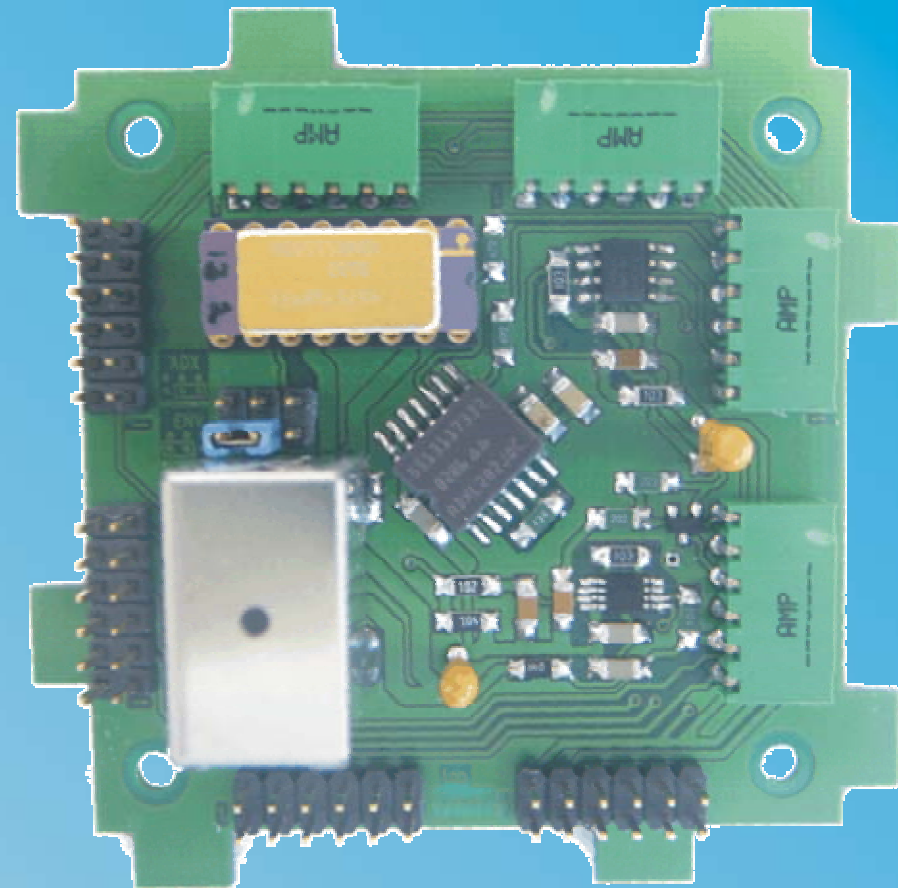
Flip- und Kompensationsspule um den unbekanntem Offset und die Temperaturabhängigkeit zu berechnen.



Auswahl der geeigneten Sensoren

Sensorik Platine

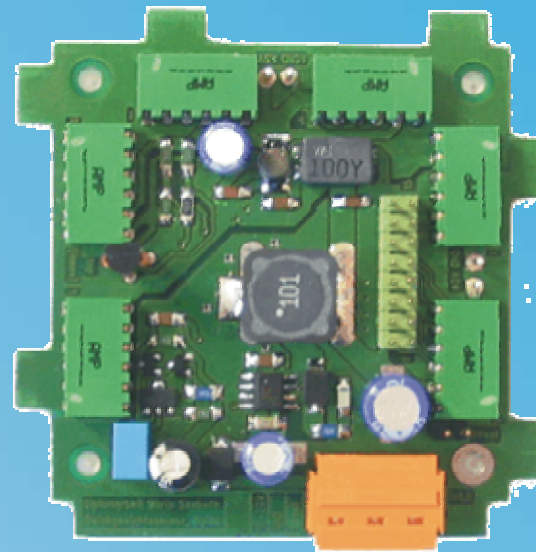
Eine symmetrische Konstruktion
konnte die Kosten senken!





Spannungsversorgung und Kalibrierung

Stabile Spannungen sind in unserem Fall von großer Wichtigkeit. Speziell die analoge Versorgung für den A/D- bzw. den D/A-Wandler.



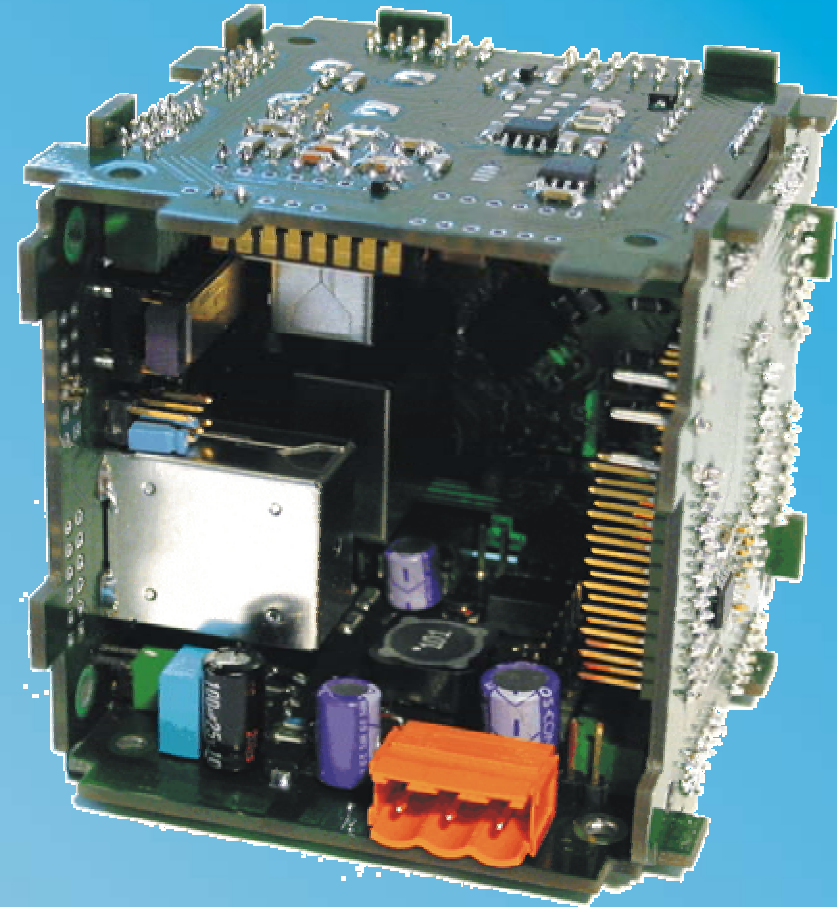
Ein zusätzliches entkoppelndes LC-Filter wurde verwendet um das Rauschen zu minimieren. Nun konnten die Sensoren einfach durch Ausgleichsrechnungen kalibriert werden.



Aufbau des Gleichgewichtssensors

Um ein rechtwinkliges Koordinatensystem zu erhalten, sollte die IMU eine Würfelform aufweisen:

Auch der Prozessor muss integriert werden.





Aufbau des Gleichgewichtssensors

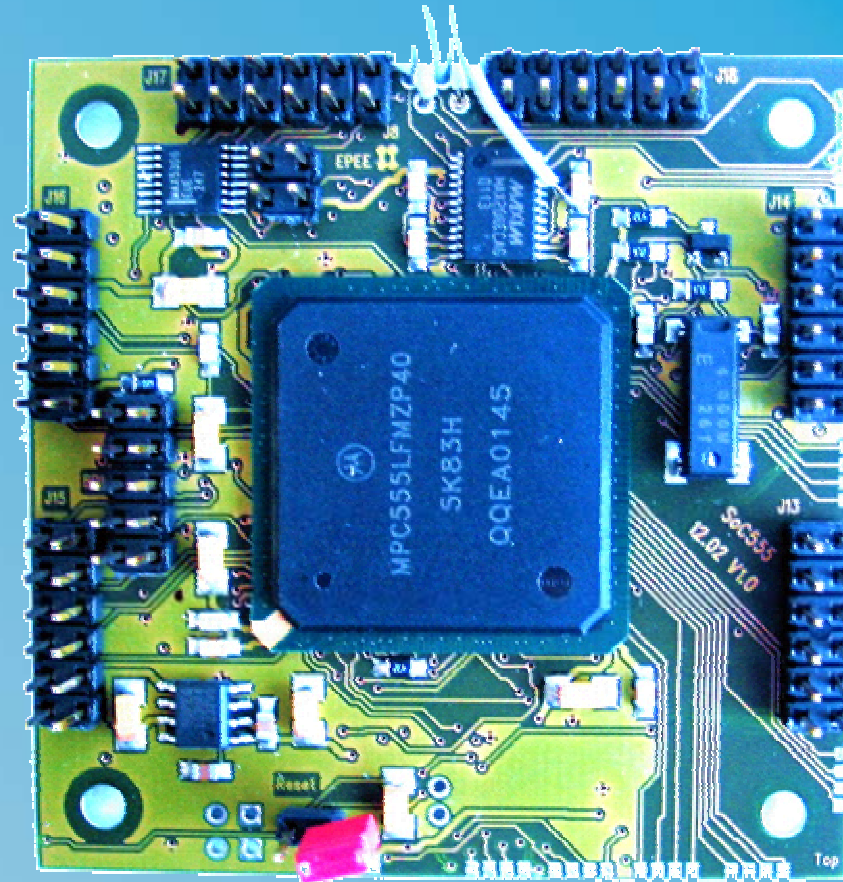
Prozessor Platine

Entstand in Kooperation mit der
Robert Bosch GmbH

Beinhaltet:

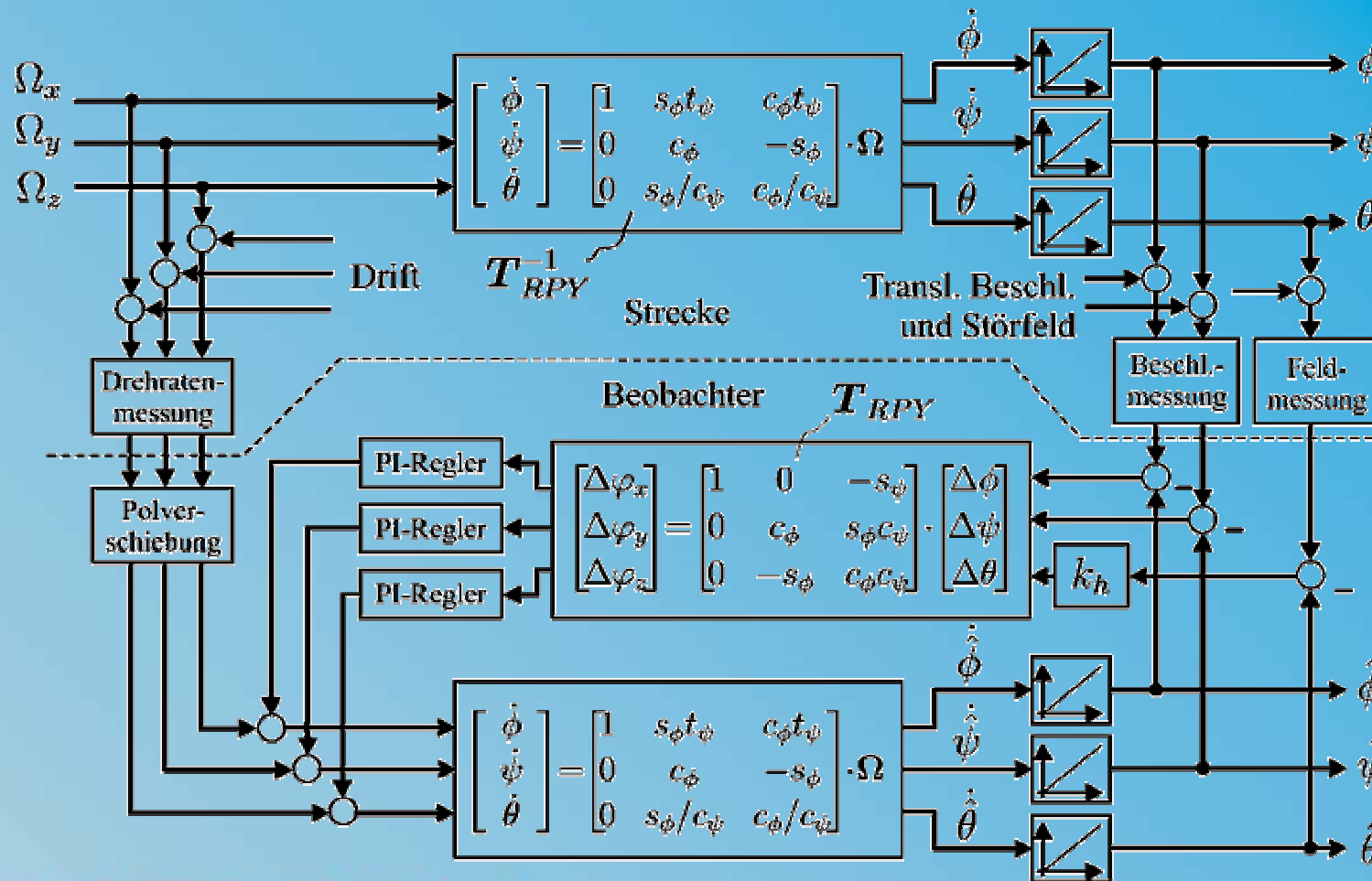
- MPC555
- 12-bit D/A-Wandler
- SPI-EEPROM
- Treiber IC's

- RTOS-UH
- Software





Lageschätzung durch Beobachter





Echtzeitbetriebssystem

RTOS-UH: Real time operating system – Universität Hannover

- Läuft auf unterschiedlichen Plattformen (68k, PowerPC)
- Skalierbar
- SoC (System on Chip) Version verfügbar
 - Kein Gebrauch von externen Komponenten wie SRAM oder FLASH
 - Ein kleiner Dateimanager wurde dafür geschrieben

RTOS-UH



SoC (System on Chip)

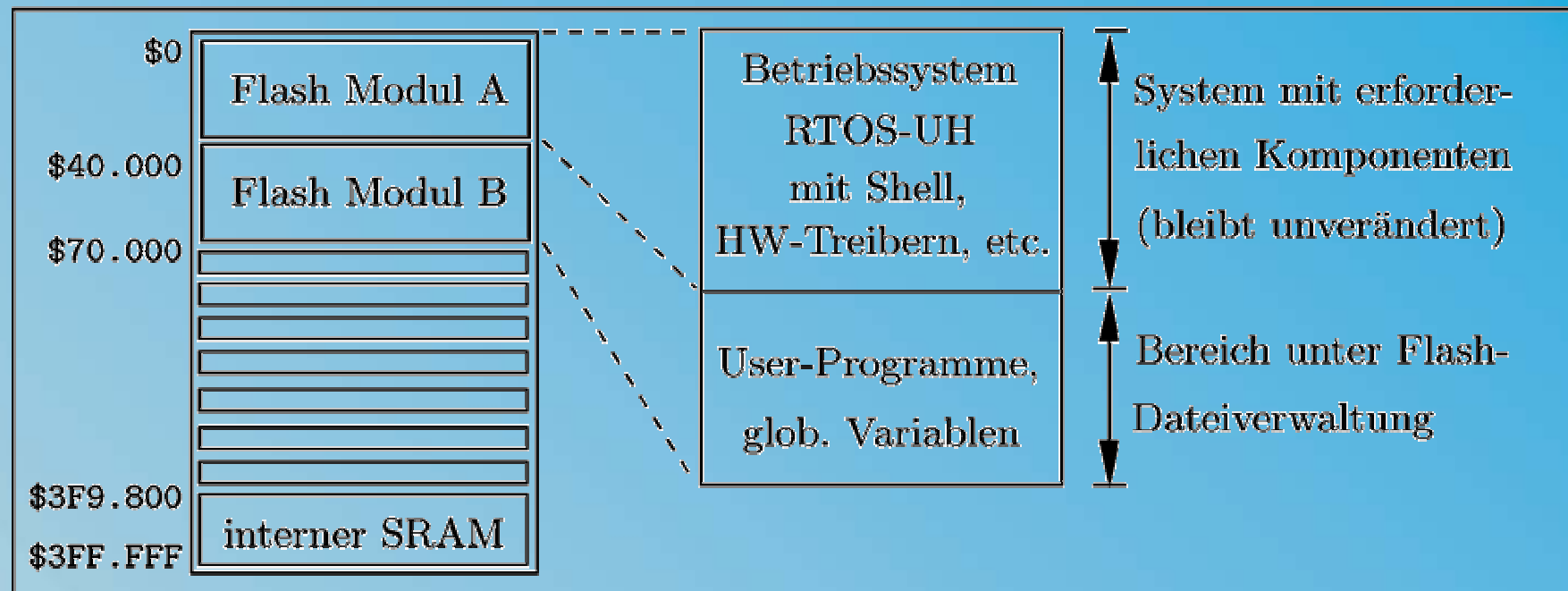
Da keine externen Speicher verwendet werden können muss das System über den 26 kByte großen internen SRAM in das interne FLASH gebrannt werden.

- Code ins interne SRAM kopieren und ausführen
- Die Übertragung der zu brennenden Daten erfolgt über die serielle Schnittstelle
- Zusätzlich wurde eine Dateiverwaltung realisiert, die das nachträgliche Brennen bzw. Löschen von Anwenderprogrammen ermöglicht.



SoC (System on Chip)

Die Speicheraufteilung im MPC555 ist in folgendem Bild dargestellt:





SoC (System on Chip)

Da das interne FLASH nur etwa 100fach beschrieben werden kann, ist eine effiziente Dateiverwaltung erforderlich.

4 Befehle

- DIR_UP, zeigt den Inhalt des internen FLASH's
- RM_UP, entfernt Anwenderprogramme
- FL_UP, liest neue Programme ein und brennt diese ,on-the-fly'
- CLR_FL, löscht das gesamte Modul B

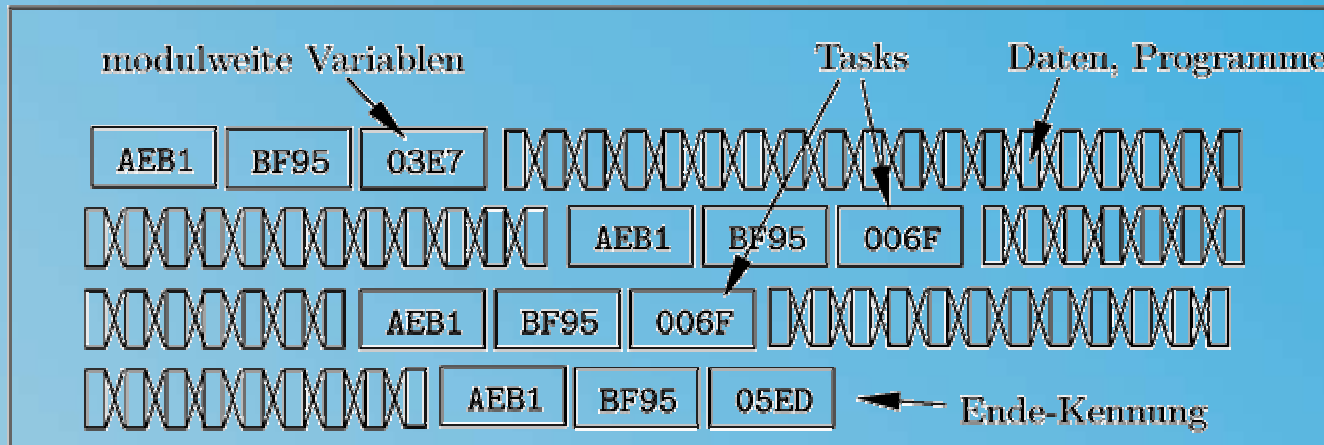
Als Vorteil für die Implementierung erwies sich das Scheibenkonzept von RTOS-UH:

Während des Hochlaufens sucht das System nach den genannten Scheiben, welche durch die Signalmarke AEB1 BF95 gekennzeichnet sind. Die darauf folgende Zahl beschreibt den Typ der Scheibe.



SoC (System on Chip)

Folgende Scheibentypen wurden verwendet:



Für das Entfernen ist es lediglich erforderlich die entsprechende Scheiben-kennung unkenntlich zu machen.

- Aus AEB1 BF95 wird z.B. 0000 0000
- Dies ist noch kein Löschvorgang. Erst das Wiederhochsetzen ist eine ‚echte‘ Löschoperation



Zusammenfassung und Ausblick

- Ungenauigkeit und stärkere Störungen erfordern einen erhöhten Aufwand was Filterung und Auswertung betrifft.
- Geschickte Kalibrierung und geeignete Beobachter können diese Nachteile wettmachen
- Erste Resultate zeigen ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis: Preis des IMU Prototypen ungefähr 500\$
- Zusätzliche Messungen wurden gemacht um die Funktionsweise des Beobachters zu optimieren
 - Dynamische Fahrten auf einem Testgelände
 - Vergleich mit einer teuren kommerziellen IMU

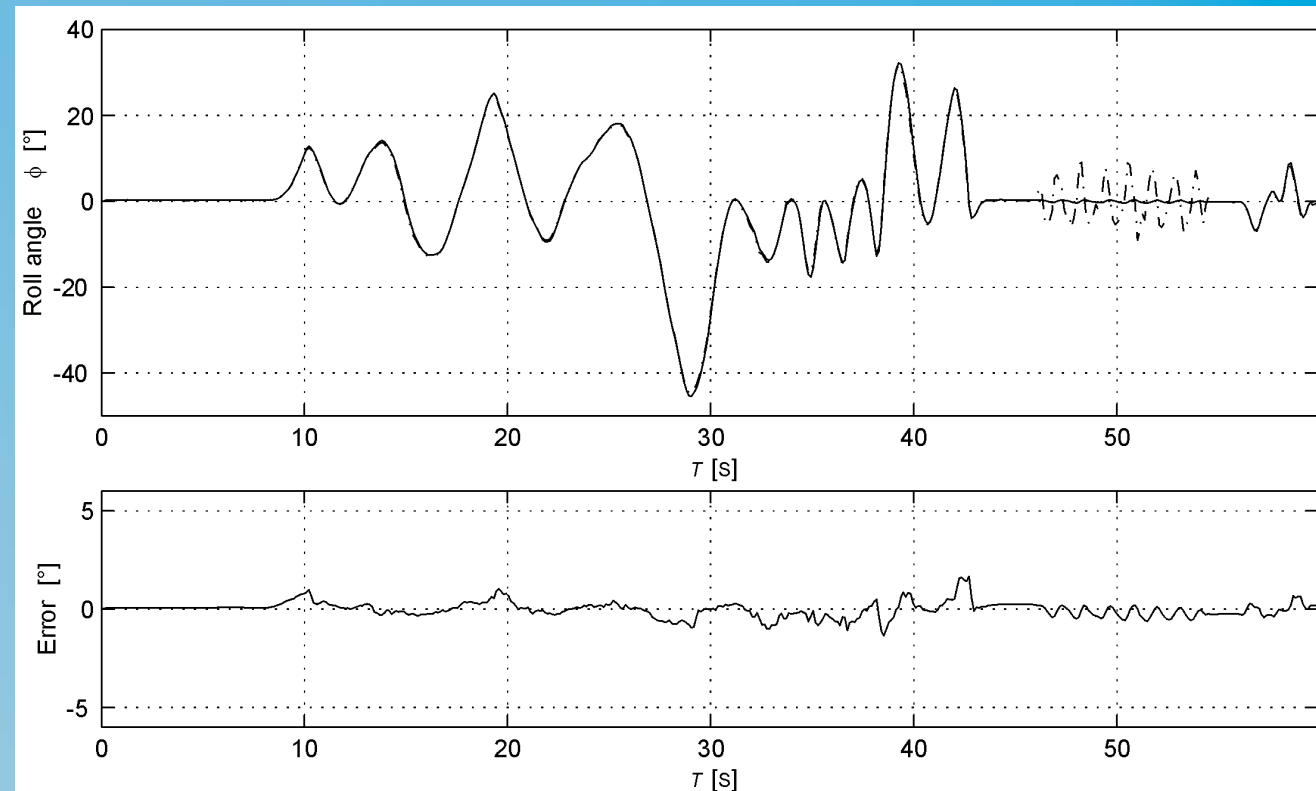


Danke für die Aufmerksamkeit



Resultate

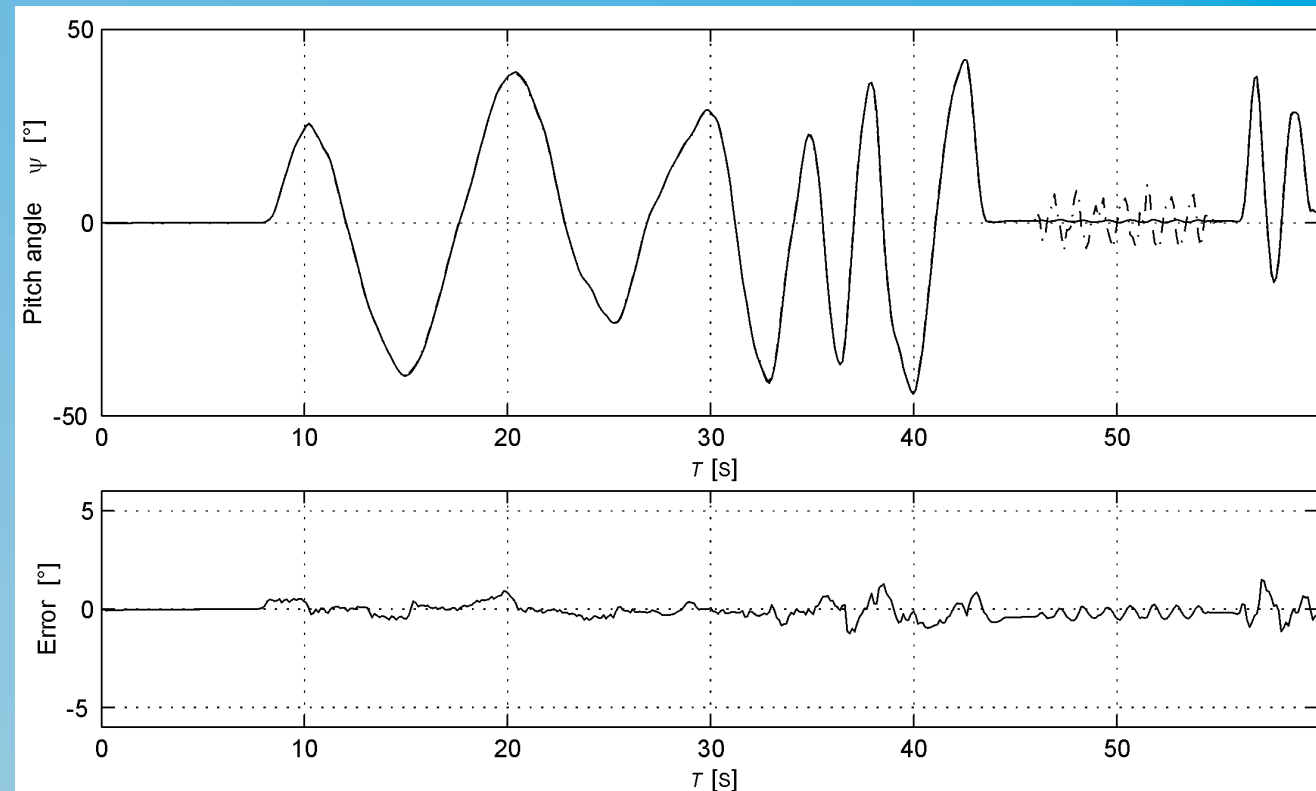
Rollwinkel Schätzung:





Resultate

Nickwinkel Schätzung:





Resultate

Gierwinkel Schätzung:

