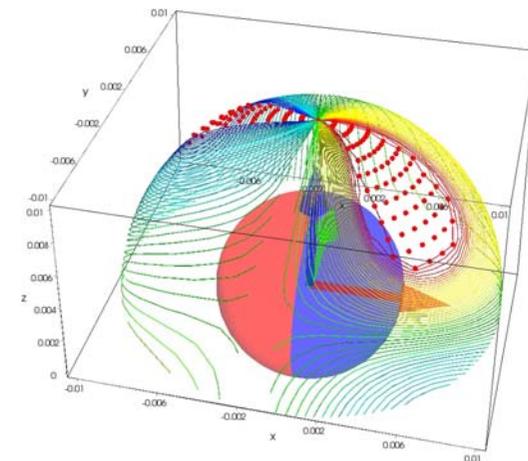


Entwurf multidimensionaler Positionssensorik auf Basis von HallinOne[®]-Technologie

Jörg Bretschneider, Andreas Wilde, Thomas Obenaus

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen
Institutsteil Entwurfsautomatisierung Dresden



Gliederung

- **Positionssysteme**
- 3D-HallinOne®-Sensortechnologie
- Entwurf von 3D-Positionssystemen
- Anwendung: Scheinwerferschwenkmodul

Positions- & Lagesensorsysteme

- Grundidee** Relativbewegung/-verdrehung Objekt ↔ Sensor
→ Meßgröße ~ Verschiebung/Drehwinkel
→ Inversion prinzipiell mgl.
- Meßprinzipien** – mechanisch/elektrisch, optisch,
– magnetisch: Hall-Effekt, MR-Effekte
- Hallsensorik:** – Permanentmagnet auf bewegl. Bauteil
– Hallsensor auf fixem Referenzbauteil
– Meßgröße: Hallspannung U_H
- Technische Vorzüge:** + wartungsfrei
+ berührungslos == verschleißfrei
+ verschmutzungstolerant

Hallsensoren

Physikalische Grundlage

Hall-Effekt: $U_H \sim B$

1 ...Elektronen

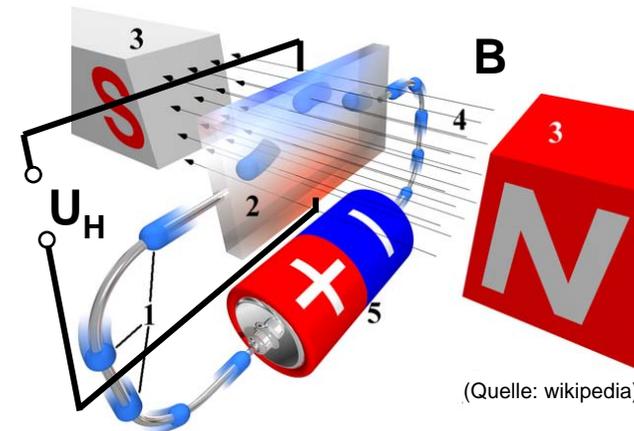
2 ...Hall-Element

3 ...Magnete

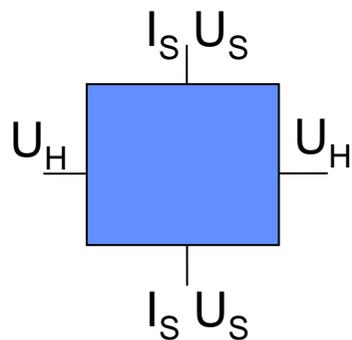
4 ...magn. Feld

5 ...Spannungsquelle

blau/rot ...Elektronenüberschuss/mangel



Stand der Technik bis 2006:



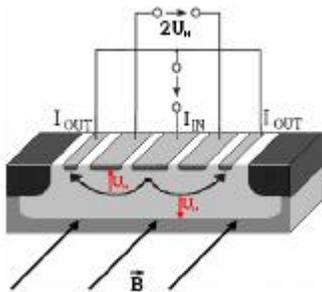
- 1 Verschiebung/Winkel,
- laterale Hall-Elemente (B_{\perp} IC) in CMOS
- vertikale Hall-Elemente (B_{\parallel} IC) in Sonderprozessen, nichtlineare Feldverzerrung
- 3D Messung nicht an derselben Position

Überblick

- Positionssysteme
- **3D-HallinOne®-Sensortechnologie**
- Entwurf von 3D-Positionssystemen
- Anwendung: Scheinwerferschwenkmodul

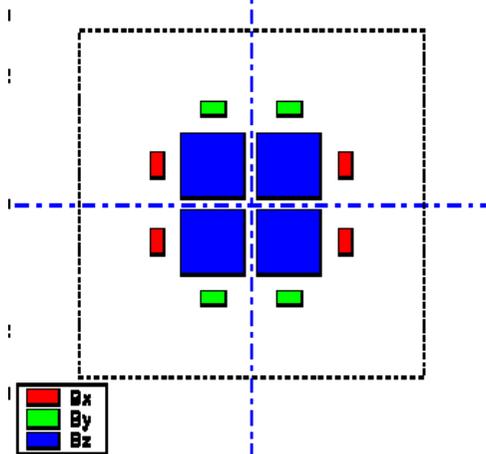
Fraunhofer 3D-HallinOne®-Sensortechnologie

Hallelemente



- vertikaler Hallsensor als „Wanne“ in CMOS
- lineares Verhalten, keine Feldverzerrung!
- Patent DE10150955 C1 2004

3D-Sensor



- integrierter Sensor-IC mit je 4 Hallelementen pro Teilsensor
- symmetrische Anordnung
→ punktgenaue Messung
- stark offsetreduziert durch „spinning current“

Fraunhofer 3D-HallinOne®-Sensortechnologie

HallinOne-Sensor-ICs

- Fertigung in Standard-CMOS-Technologie
- Integration mehrerer 3D-Sensoren

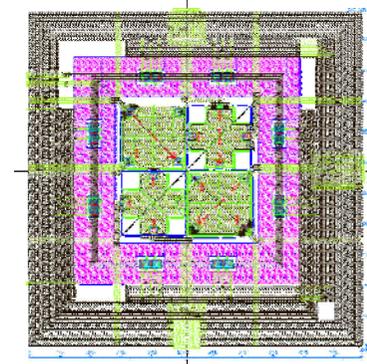
→ alle Feldkomponenten B_{XYZ}

→ Gradienten ∇B

→ laterale 2. Ableitungen mgl.

$$\begin{array}{l}
 B_x \quad \frac{\partial B_x}{\partial x} \quad \frac{\partial B_x}{\partial y} \quad \frac{\partial B_x}{\partial z} \quad \frac{\partial^2 B_x}{\partial^2 x} \quad \frac{\partial^2 B_x}{\partial^2 y} \\
 B_y \quad \frac{\partial B_y}{\partial x} \quad \frac{\partial B_y}{\partial y} \quad \frac{\partial B_y}{\partial z} \quad \frac{\partial^2 B_y}{\partial^2 x} \quad \frac{\partial^2 B_y}{\partial^2 y} \\
 B_z \quad \frac{\partial B_z}{\partial x} \quad \frac{\partial B_z}{\partial y} \quad \frac{\partial B_z}{\partial z} \quad \frac{\partial^2 B_z}{\partial^2 x} \quad \frac{\partial^2 B_z}{\partial^2 y}
 \end{array}$$

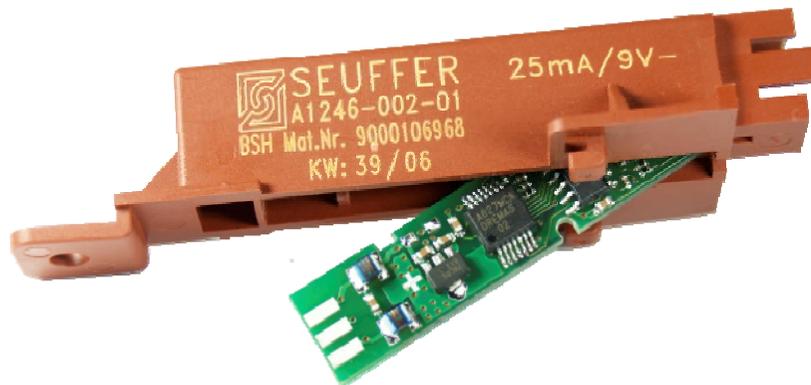
- Selbstkalibrierung
 - Selbstüberwachung
 - Fremdfeldkompensation
- } Auto-
motive
tauglich



Serienanwendung : 3D-Sensor für Waschmaschinen

Sehr genaue 3D-Lagebestimmung
des Laugenbehälters ermöglicht:

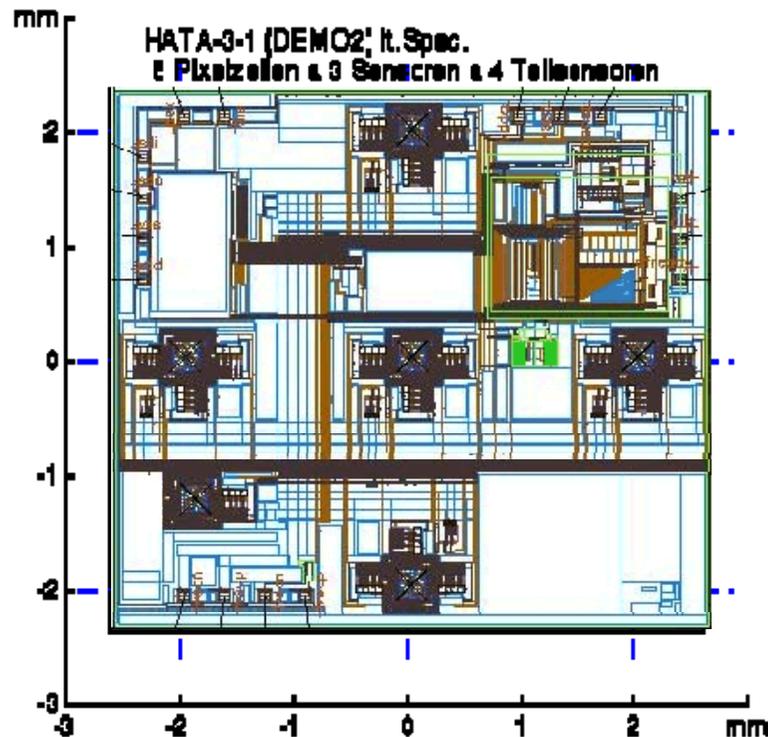
- + **Unwuchterkennung**
- + **„Wäschewaage“**



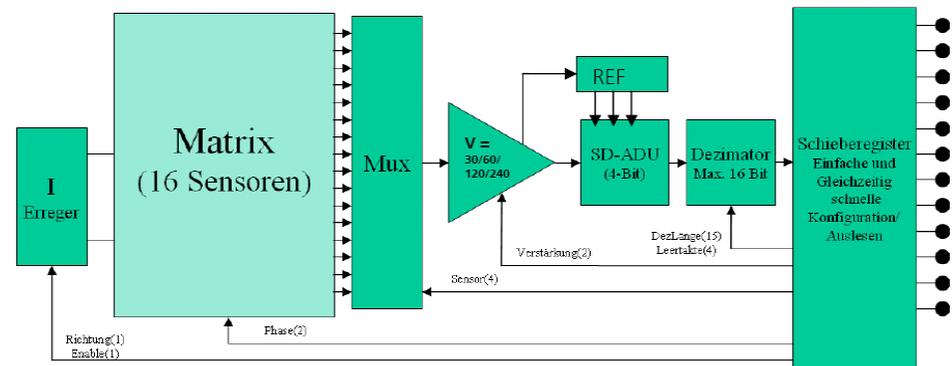
Quelle: http://www.bosch-hausgeraete.de/de/apps/pdb_pi/product_list.php?searchstring=32790&lang=de

Fraunhofer 3D-HallinOne®-Sensortechnologie

Prototyp **Sensor-IC HATA 3-1**

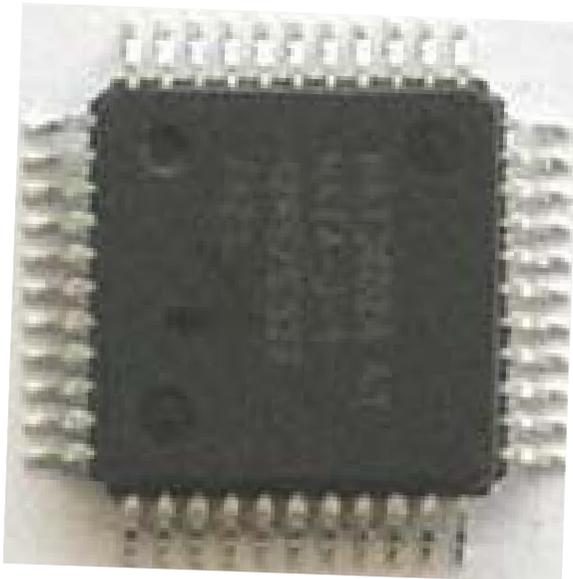


- 5 3D-Sensoren auf ~25mm²
- vierstufiger Vorverstärker
- ADU als $\Sigma\Delta$ -Modulator 1. O. mit 4-Bit-Rückführung
→ 16 Bit Auflösung



Fraunhofer 3D-HallinOne®-Sensortechnologie

Sensor-IC HATA 3-1



- Empfindlichkeiten lat./vert. 120/50mV/T
- Offsetwerte $<50\mu\text{T}$ / $<2.5\text{mT}$ (3.5V)
- max. Auflösung $1\mu\text{T}$ / $5\mu\text{T}$
- Genauigkeit 0.1mm, 0.1°
- bei 3.5V, bis 5V proportional besser
- Messrate 110Hz - 80kHz.
- Einstellbare Dezimation 4...14Bit

Gliederung

- Positionssensoren
- 3D-HallinOne®-Sensortechnologie
- **Entwurf von 3D-Positionssensoren**
- Anwendung: Scheinwerferschwenkmodul

3D-Positionssensoren

neue Anwendungsmöglichkeiten



- + mehrere räumliche Freiheitsgrade
- + Gradienten, Redundanz
- + alles in einem Punkt
- + Selbstkalibrierung,
- + Selbstüberwachung
- + Kompensation von Störfeldern

3D-Positionssensoren

neue Herausforderungen



- Entwurf der Positionssensoren
 - Positions- und Lagebeschreibung in 3D
 - komplexere Signalverläufe in 3D
 - Symmetrie / Ähnlichkeiten
- Entwurf der Positionsalgorithmen
 - Abbildung Position → Magnetfeld
nicht überall invertierbar
 - ungleichmäßige Auflösung

3D-Positionssensoren – System-Module

Magnetfeld

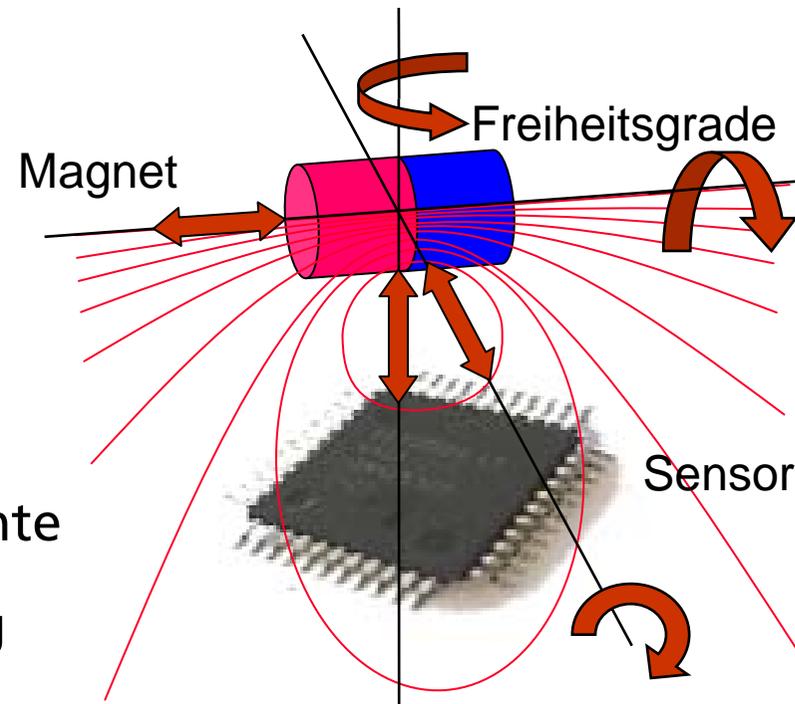
- Quelle, Form & Stärke
- Anzahl (Störfelder)

Sensor-IC

- Art, Anzahl, Typ der Hallelemente
- Charakteristik der Verknüpfung und Signalverarbeitung

Trajektorie (Geometrie-Freiheitsgrade)

- Hyperflächen der Relativbewegung und -verdrehung



Entwurfsphasen

Machbarkeits-/Konzeptstudien

- 1 Idee → erfolgversprechende Konzepte
- weniger detaillierte Modelle
 - Aussagen zu grundsätzlichen Fragen

Konstruktion & Verifikation

- 2 Detaillierung/Verifikation
- genauere, konzeptspezifische Modelle
 - belastbare Aussagen, höherer Aufwand

Systemoptimierung

- 3 Feinabstimmung der Systemparameter
- Einbindung in Optimierungswerkzeuge
 - Einbindung in Systemsimulation

Machbarkeits-/Konzeptstudien

Entwurfsaufgaben ? grundlegende konstruktive Varianten?

? Magnetfeldquellen?

? notwendige Messgrößen?

? Passende Sensortypen?

? Erzielbare Genauigkeit/Auflösung?

Anforderungen: ! Flexible Beschreibung der Trajektorie

! Feldmodelle für Standard-Magnete

! vereinfachte Sensormodelle

Entwurfsumgebung

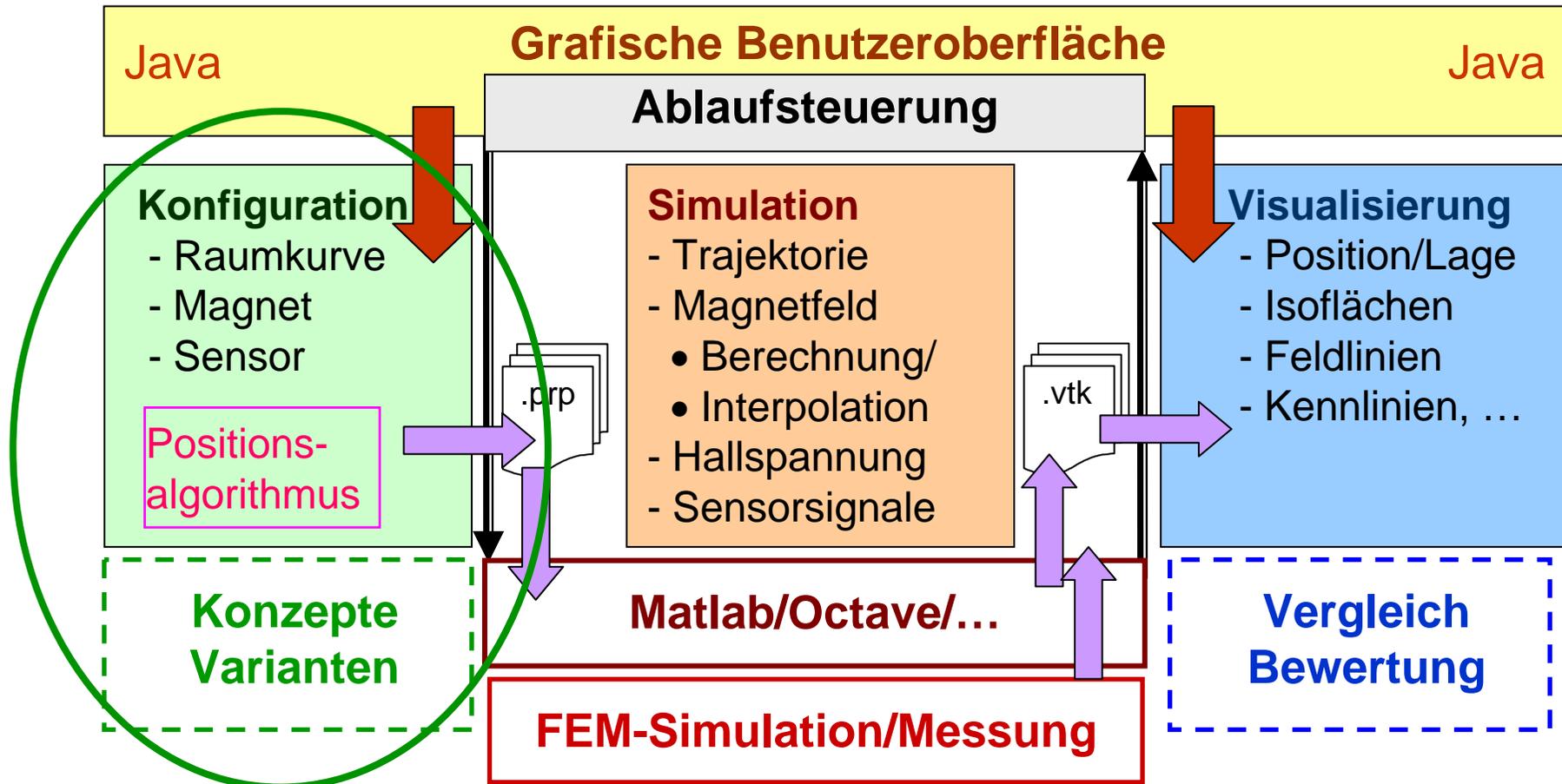
Ziel: Entwurfsunterstützung für Phasen 1+2
durch Simulation von Trajektorie, Magnetfeld,
Hallsensor-IC + Positionsalgorithmen

Vorgehensweise: - schrittweiser Entwurfsprozess

Trajektorie → B-Feld → Sensorsignal → Dekoder

- Ideal → Störfelder, Rauschen, Toleranzen...
- flexible Konfiguration über GUI
- standardisierte Datenschnittstelle (VTK)
- problemspezifische Visualisierung (VTK)

Entwurfsumgebung – modular, flexibel, interaktiv



Konfiguration Trajektorie

Definition von

- Freiheitsgraden
- Konstanten
- Position + Lagekoordinaten anh. DOF & Konstanten

Beispiel:

Sensor auf Kugelhalbschale

z-Achse zeigt zum Magnet

→ 2 Winkel φ , θ als DOF

→ Pos. x,y,z als Fkt. v. φ , θ

→ Eulerwinkel des Sensor-Koordinatensystems als Funktion von φ , θ

Experiment-Editor

Raum der Freiheitsgrade: Magnet Sensor

Name: Kugelschale_half_zinxup

Freiheitsgrade

Bezeichner	Schritte	Start	Ende
theta	21	-90	90
phi	11	0	90

Hinzufuegen Entfernen

Konstanten

Bezeichner	Wert
r	0.03
rad	pi/180

Hinzufuegen Entfernen

Raumkoordinaten und Winkel

Bezeichner	Definition
x	$r * \sqrt{1 - \sin(\text{phi} * \text{rad})^2} * \cos(\text{theta} * \text{rad})$
y	$r * \sqrt{1 - \sin(\text{phi} * \text{rad})^2} * \sin(\text{theta} * \text{rad})$
z	$r * \sin(\text{phi} * \text{rad})$
alpha	-90
beta	-90-phi
gamma	theta+90

Freiheitsgrade Importieren Freiheitsgrade Exportieren Speichern Schließen

Konfiguration Magnetfeld

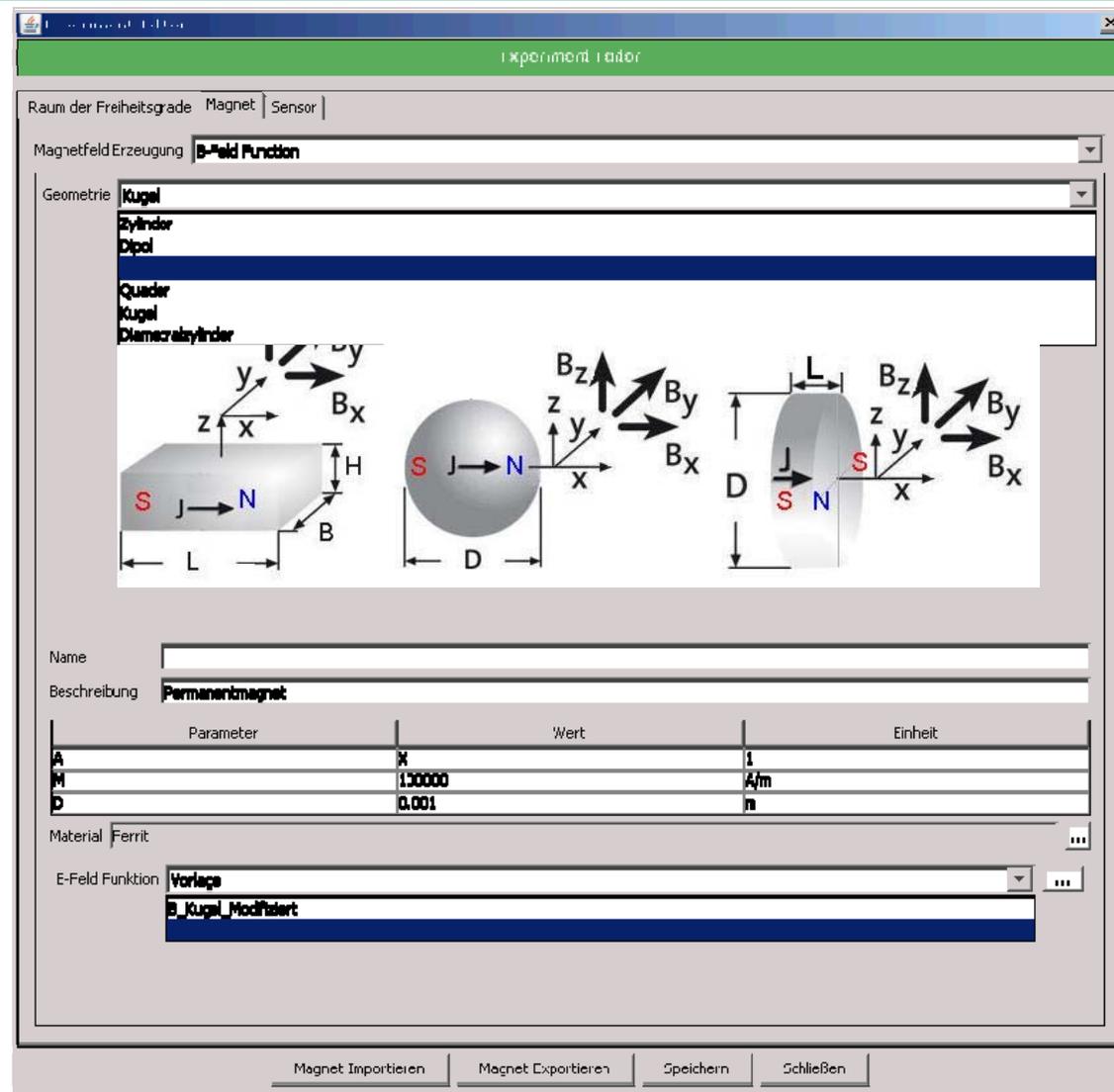
Auswahl

- analytische Modelle für Standardmagnete
 - Maße
 - Magnetisierung
- Import v. Felddaten
 - FEM-Simulation
 - Messung

Beispiel:

Kugelmagnet

- Durchmesser
- Remanenzinduktion



Konfiguration HallinOne®-Sensor

- Auswahl Sensor-Modell
- Konfiguration der Sensorparameter:
 - Betriebsparameter
 - Verstärkung
 - Dezimation
 - Rauschen

Beispiel:

HATA-3-1

- Betrieb bei 3.5V
- höchste Auflösung 14Bit
- Verstärkung 60 (vertikal) und 30 (laterale Elemente)

Raum der Freiheitsgrade | Megne: Sensor

Typ: **DEMO2** Sensorchip in Fraunhofer 3D-HallinOne-Technologie

Bezieltimer: **DE MIT. HATA-RATA-1mm**

U_S: **3.5** V

T: **-40.0** ≤ ≤ **170.0** °C

noise: **hata**

DL: **:4** Bit

Auswahl Pixezelle: **PC_0** 11 Pixezellen

Anzahl Hallelemente: **12**

	x [X]	y [Y]
5	49 63123	136.7533
0_SCU	0.09	0.0050
0_SCB	2.25	0.05
noiselev	0.075	0.015
A_0 A	30 26	60 53
	:20 106	:20 106
	240 2:0	240 2:0
GC	2	1

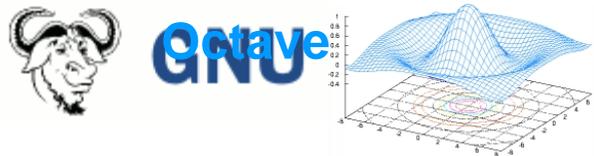
HallinOne

Sensor Importieren | Sensor Exportieren | Speichern | Schließen

Entwurfsumgebung – Simulation

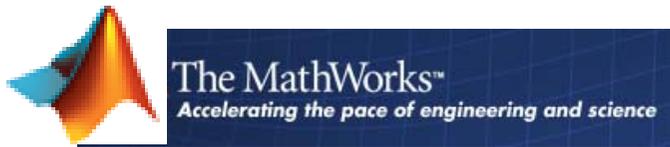
Berechnung

- numerische Werkzeuge (MatLab/Octave)



- stufenweise Berechnung und Evaluierung:

→ Trajektorie → Magnetfeld

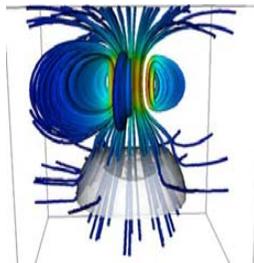


→ analoge + digitale Hallsignale

→ Magnetfeld → Position

Visualisierung

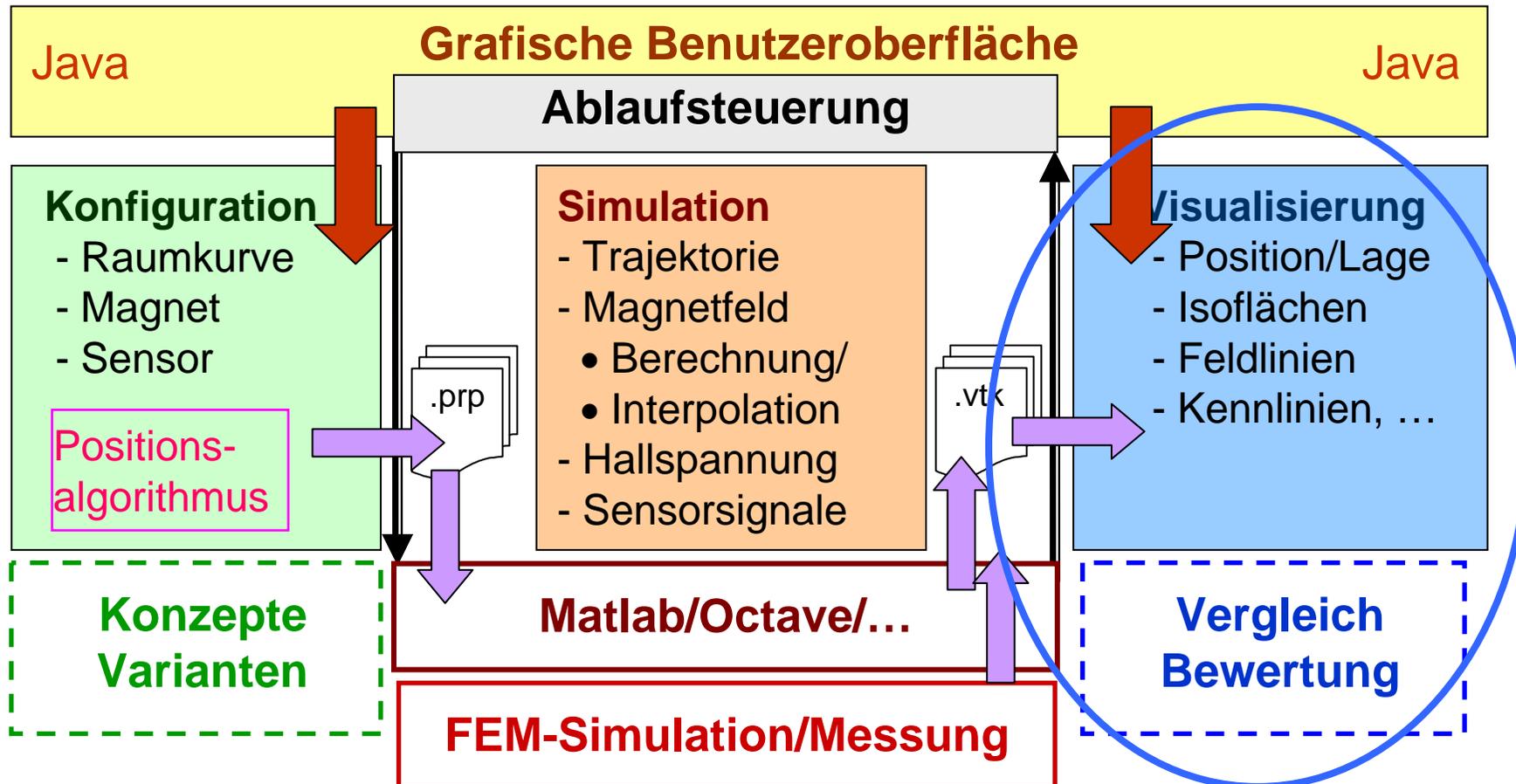
- auf Basis des Visualization ToolKit (VTK)



- Bahnkurve, lokale Achsen

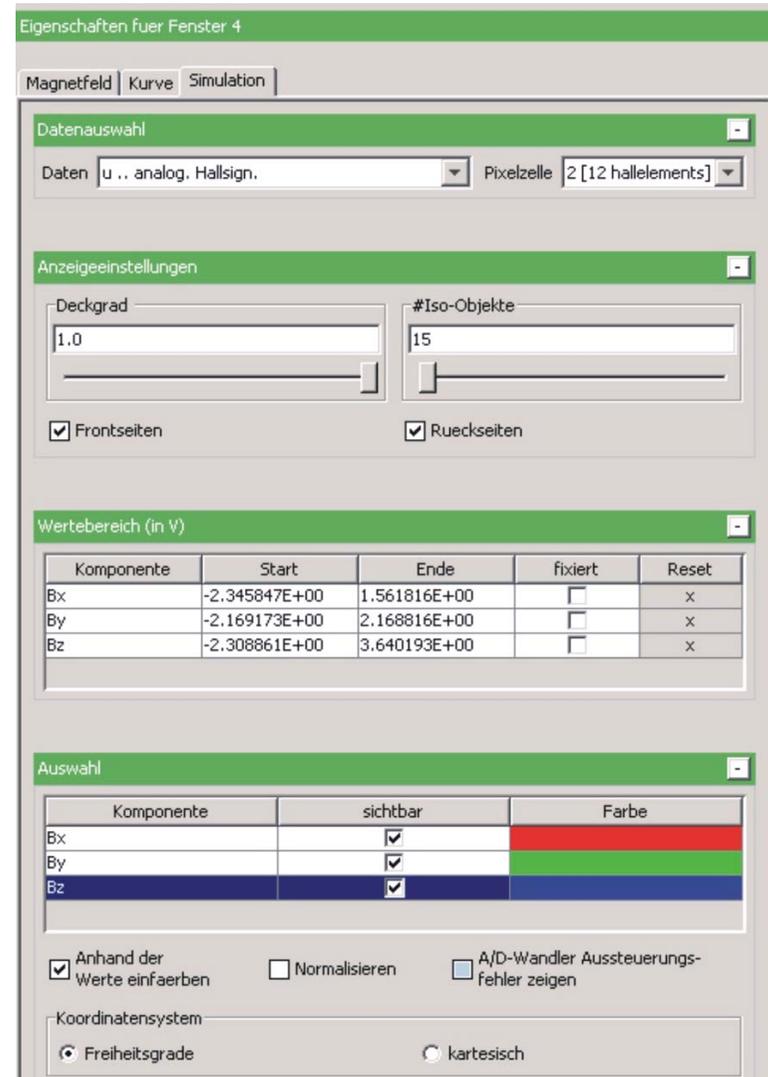
- Feldkomponenten, Signale, Kennlinien

Entwurfsumgebung – modular, flexibel, interaktiv



Visualisierung – GUI-Panel

- Auswahl des Koordinatensystems (kartesisch / Freiheitsgrade)
- Auswahl der Meßgröße (Magnetfeld, analoges/digitales Sensorsignal)
- Auswahl der Pixelzelle
- Auswahl der Komponente/ des Teilsensors 3
- # Isoobjekte, Transparenz,...
- Einfärbung
- Normalisierung
- Bewertungshilfen (Marker)



Visualisierung – Trajektorie

Beispiel:

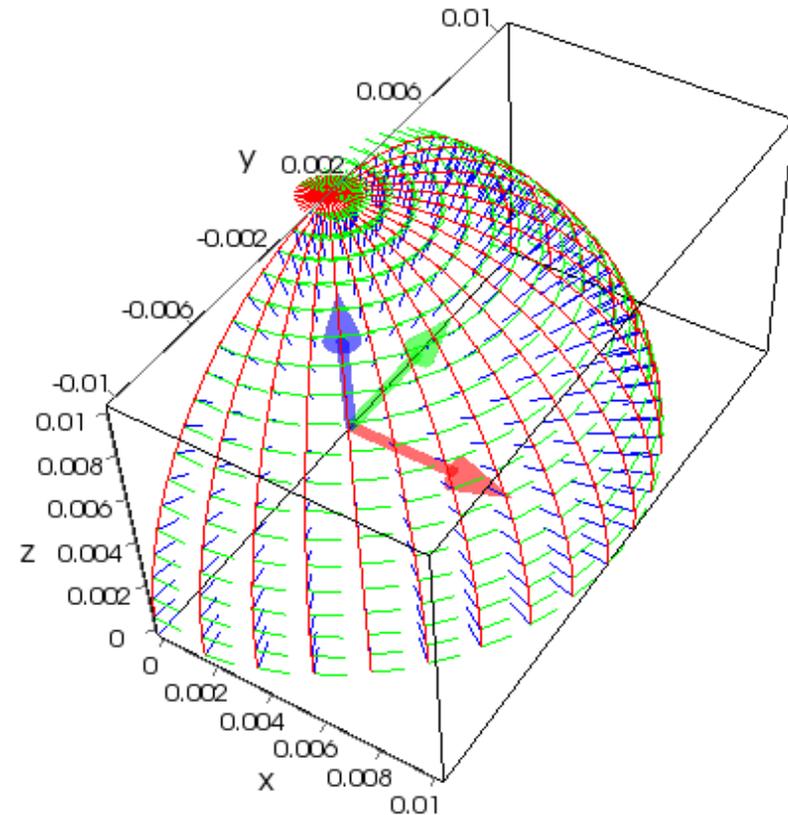
Magnet auf Kugelhalbschale

z-Achse zeigt zum Sensor

→ 2 Winkel φ , θ als DOF

→ Pos. x, y, z als Fkt. v. φ , θ

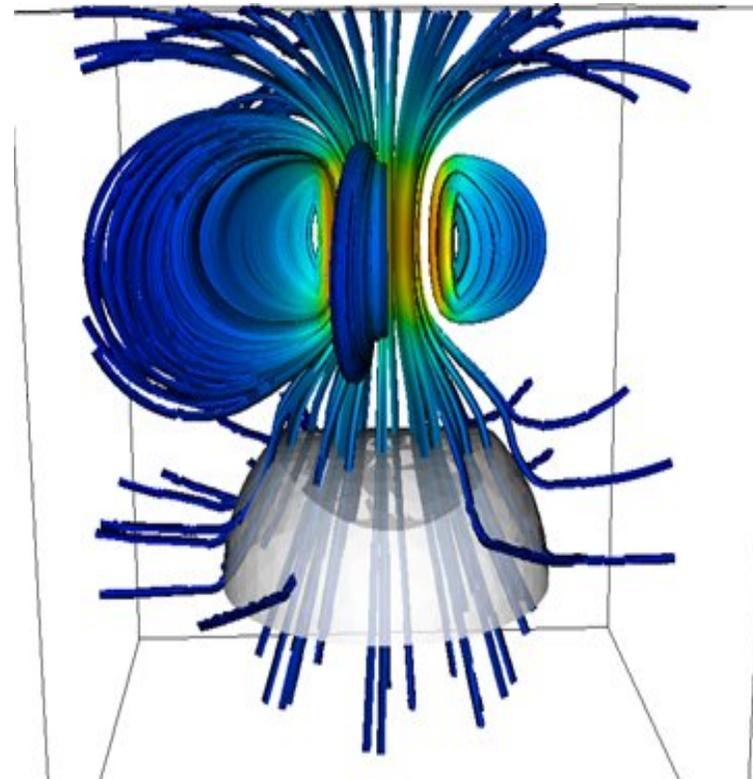
→ Eulerwinkel des Magnet-Koordinatensystems als Funktion von φ , θ



Sensortrajektorie
Raum: Kugelhalbschale | Magnet: Standard-Kugelmagnet | Sensor: DEMO2-

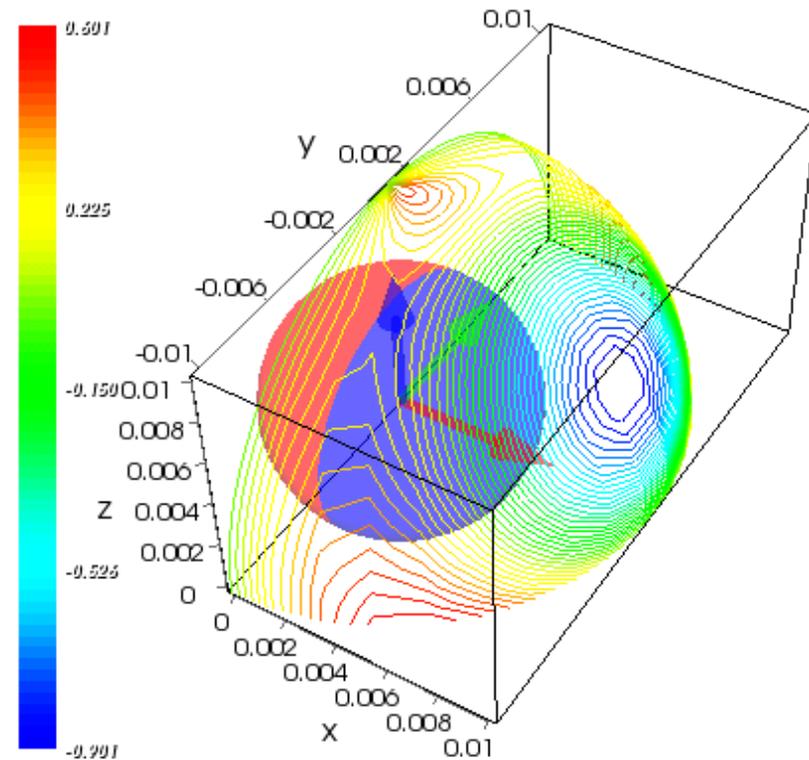
Visualisierung – Magnetfeld

- Importierte FEM-Simulation
- Flußdichte-Feldlinien
- Einfärbung nach Amplitude



Visualisierung – Magnetfeld

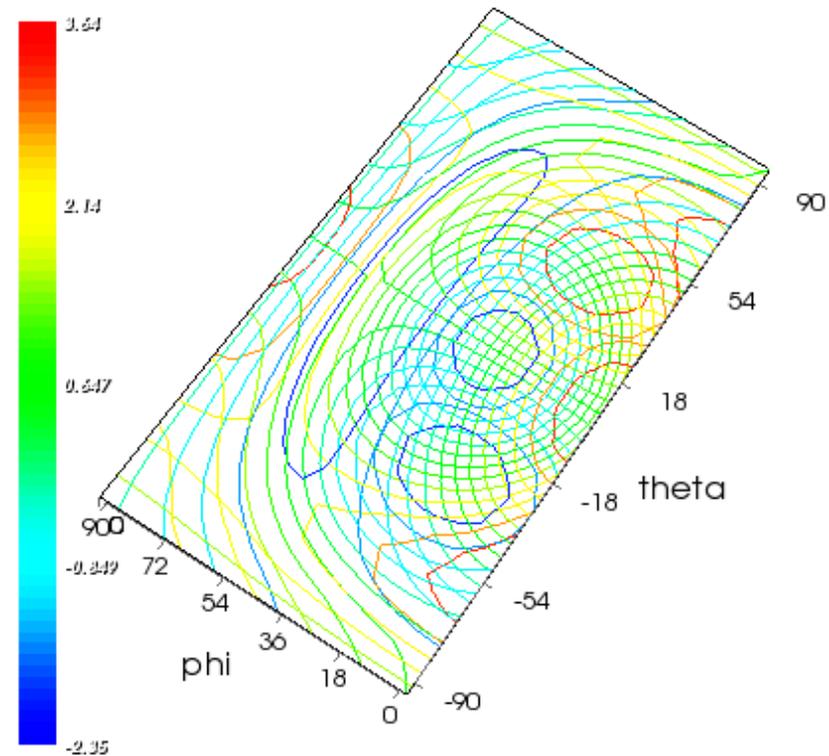
- Isolinien auf Trajektorie in 3D
- Werte B_x an Pixelzelle 0



Magnetfeld
Raum: Kugelschale | Magnet: Standard-Kugelmagnet | Sensor: DEMO2-

Visualisierung – Analogsignal

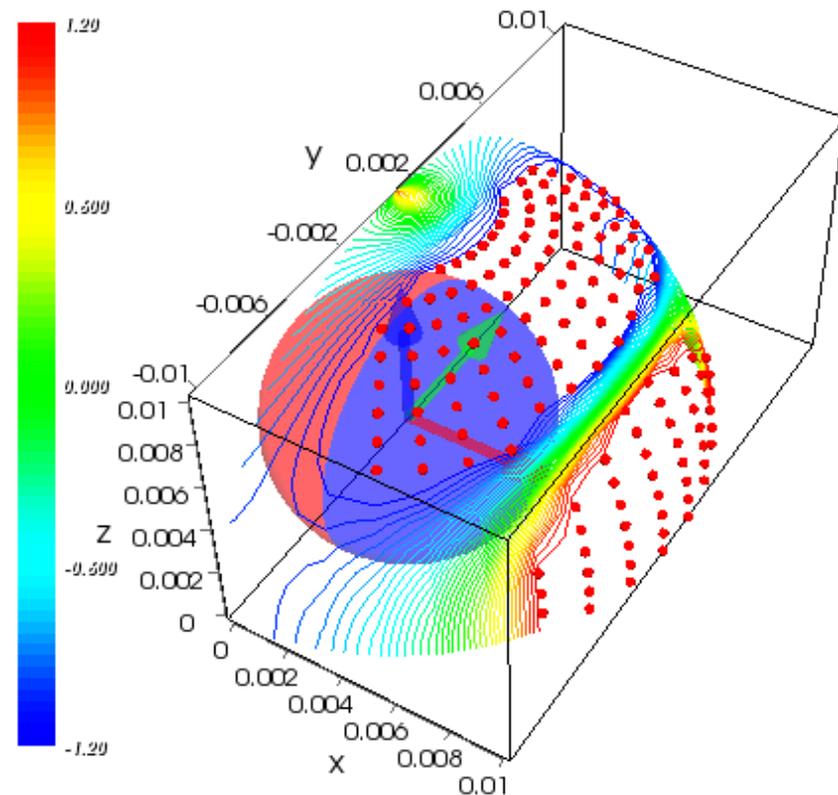
- 3 Feld-Komponenten im Raum der Freiheitsgrade
- Einfärbung nach Signalstärke
- unverstärkt
- ohne Rauschen



Simulation: u.. analog. Hallsign., akt. Pixelzelle : 2
Raum: Kugelschale | Magnet: Standard-Kugelmagnet | Sensor: DEMO2-

Visualisierung – Sensorsignal (digital)

- Isolinien auf Trajektorie im 3D
- Färbung nach Signalamplitude
- Anzeige Übersteuerungsbereich des ADU



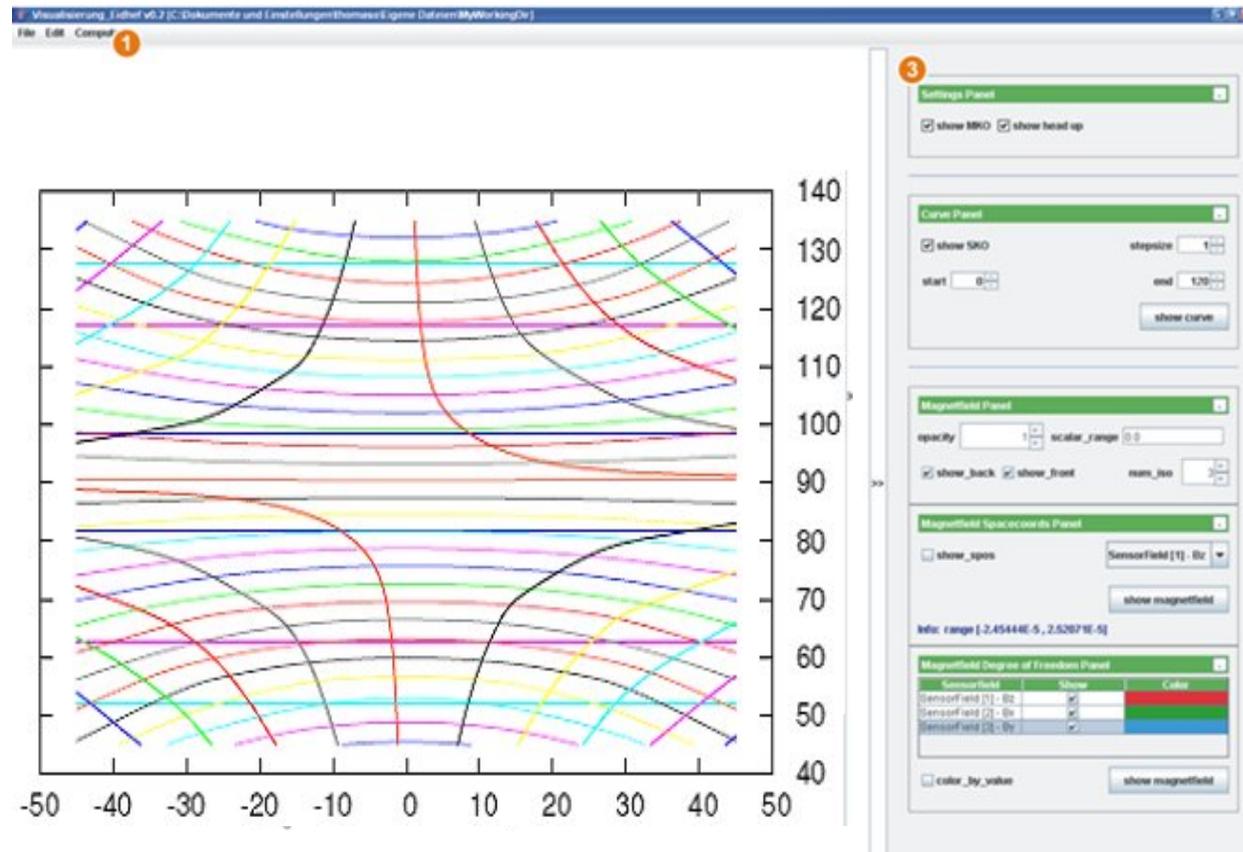
Simulation: U .. digif. Hallsign., akt. Pixelzelle : 2
Raum: Kugelschale | Magnet: Standard-Kugelmagnet | Sensor: DEMO2-

Entwurfsumgebung – Design Flow Visualisierung

- Invertierbarkeit

- Auflösung

Isolinien im Raum
der Freiheitsgrade

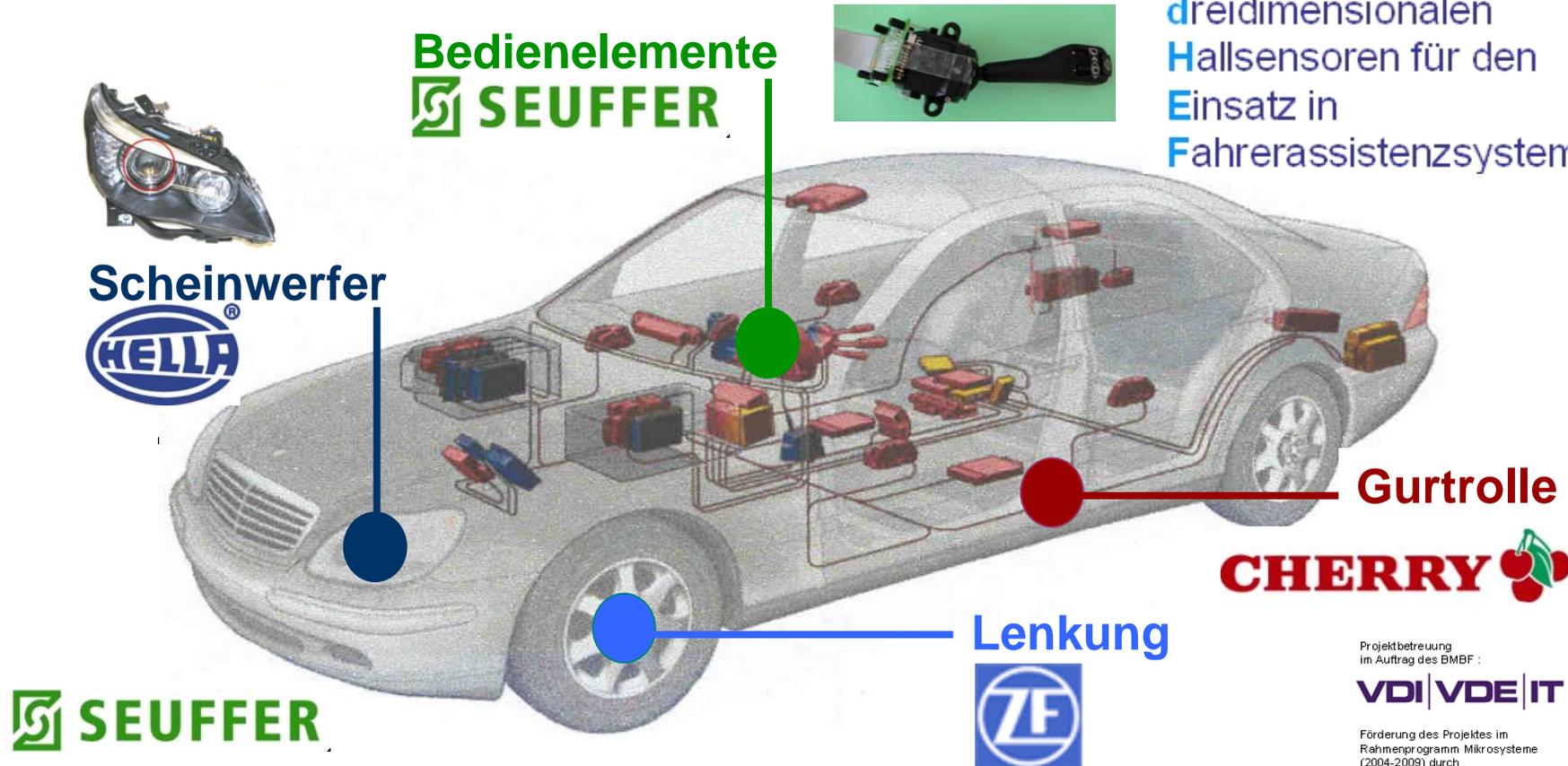


Überblick

- Positionssysteme
- 3D-HallinOne®-Sensortechnologie
- Entwurf von 3D-Positionssystemen
- **Anwendung: Scheinwerferschwenkmodul**

Anwendung Automotive Projekt EIDHEF

Entwicklung und Integration von dreidimensionalen Hallsensoren für den Einsatz in Fahrerassistenzsystemen



2010: Berührungsloser Stromsensor für Batteriestrommanagement, verlust- & abschirmungsfrei durch HallinOne®

Projektbetreuung
im Auftrag des BMBF :
VDI | VDE | IT

Förderung des Projektes im
Rahmenprogramm Mikrosysteme
(2004-2009) durch

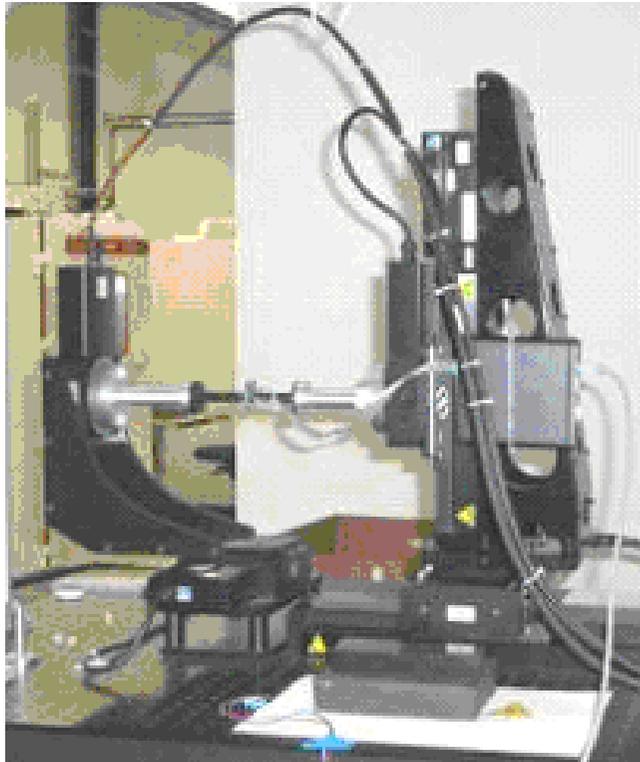
 **Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Anwendung - Scheinwerferschwenkmodul

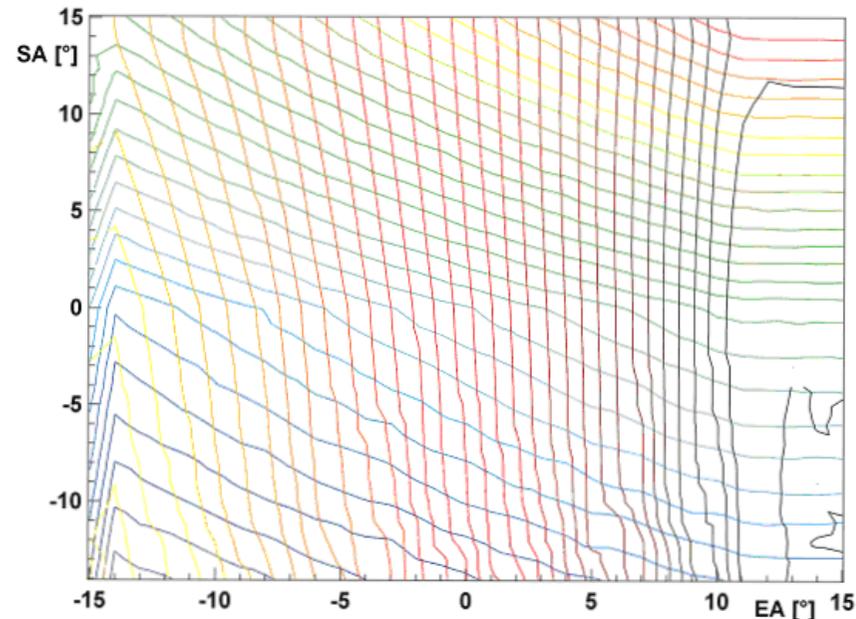
- Lagesensor zur Erfassung der Ausrichtung eines Scheinwerferschwenkmoduls für
 - adaptives Kurvenlicht
 - Leuchtweitennachführung
- Sensor fest an Gehäuse
- Magnet auf schwenkbarem Rahmen mit 2 Freiheitsgraden: Schwenken, Kippen



Anwendung - Scheinwerferschwenkmodul



Messaufbau zur Sensorevaluierung



2 Flußdichtekomponenten als Funktion von
Leuchtweite $EA(\varphi)$ und Schwenkwinkel $SA(\theta)$

- + gleichmäßige Auflösung,
- + gute Trennbarkeit der Teilsignale

Zusammenfassung

- Positionssensoren
- Fraunhofer HallinOne® 3D-Hall-Sensoren
- Entwurfsproblematik
- modulare Entwurfsumgebung

Ausblick:

- Modul Positionsalgorithmen
- mehrere Magnete, Fremdfeldsimulation
- Direktsimulation bel. Geometrien
- bel. Koordinatensysteme, Mehrkörpersystem
- Fehlersimulationen, Toleranzanalyse ...

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!