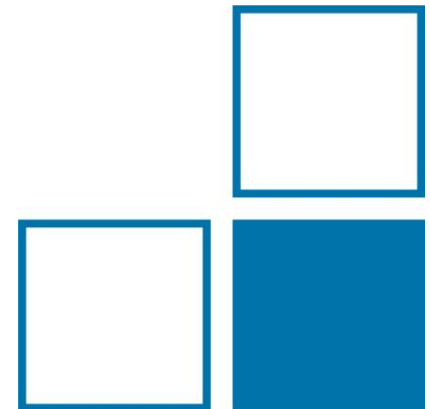


Magnetische Messtechnik & das Teslaprimärnormal der PTB

Franziska Weickert

2.51 Magnetische Messtechnik



- Motivation
- Allgemeines zur Metrologie
- Derzeitiger Tesla Primärstandard
- Benötigte Infrastruktur
- Kalibriermöglichkeiten magnetische Messtechnik
- Zukünftiges Tesla Normal
- Projekte und Initiativen
- Zusammenfassung

Motivation

Navigation

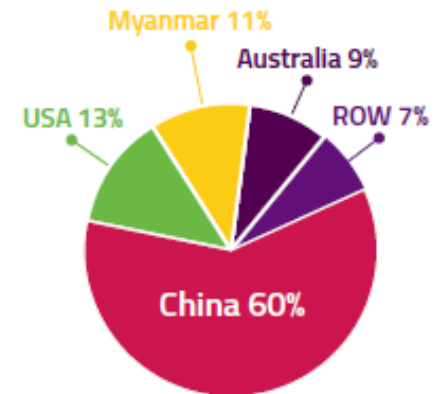


© SWR

Diagnostik



Importkontrolle



Rare Earth Oxide
Mining

Erderkundung



© Dr. Foerster GmbH

Erneuerbare Energien



© Arnold Magnetic Technologies

Automobilindustrie/ autonomes Fahren



© Volvo Car Group

Metrologische Rückführung



Einheiten- und Zeitgesetz – EinhZeitG seit 1969

DIN EN ISO/IEC 17025
weltweiter Standard für
Test und Kalibrierlabore



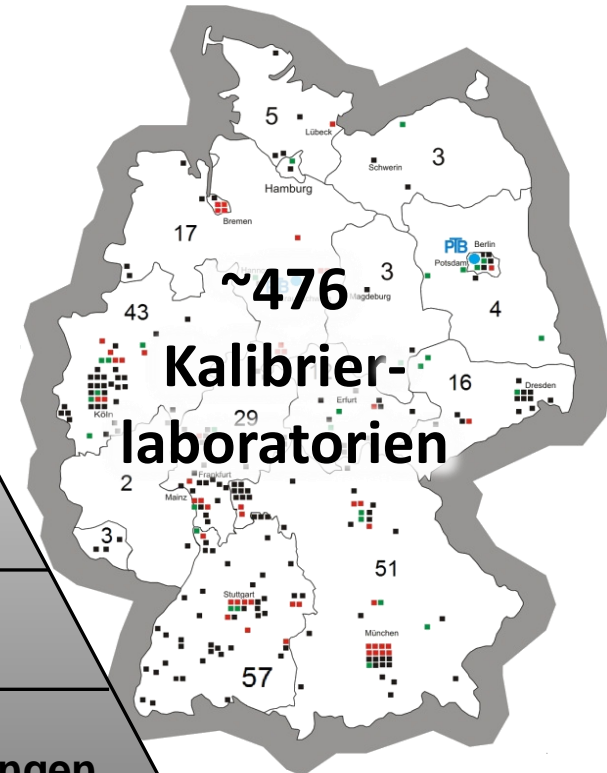
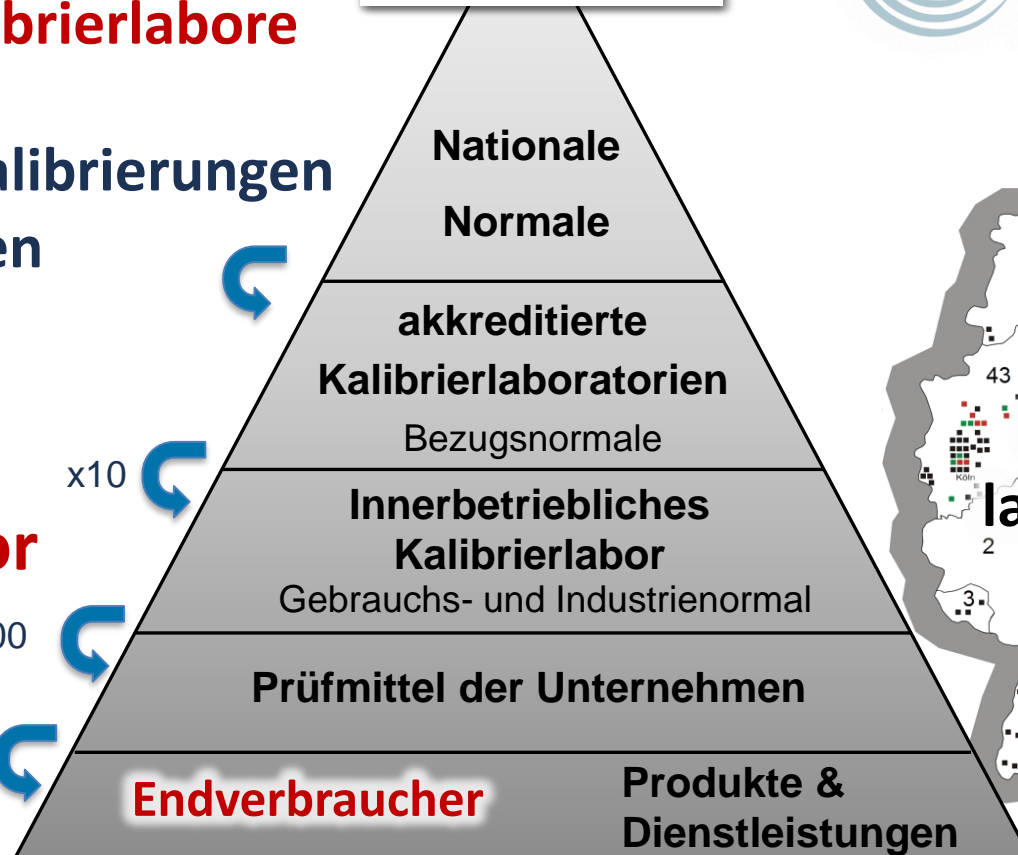
~ 10 000 Kalibrierungen
& Prüfungen

Multiplikator

x10

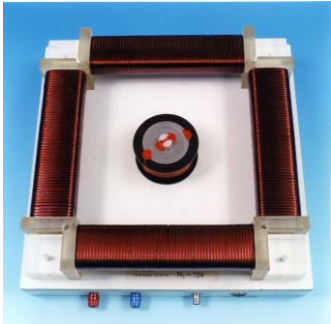
x100

Mio
Messungen



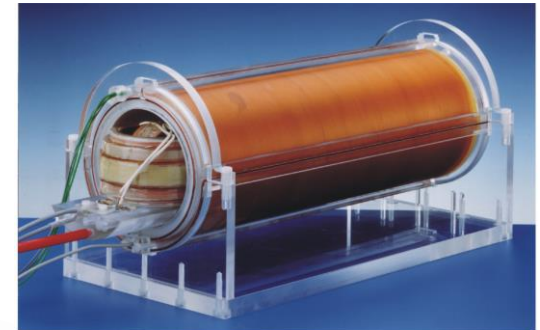
2.51 Magnetische Messtechnik

Magnetische Materialien



100 – 200
Kalibrierungen
pro Jahr

Feldmesstechnik



The transfer standard - Garrett coil - with the PTB's free precession NMR-probe inside.



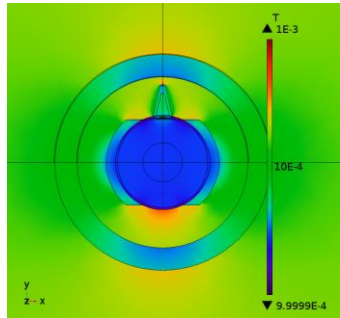
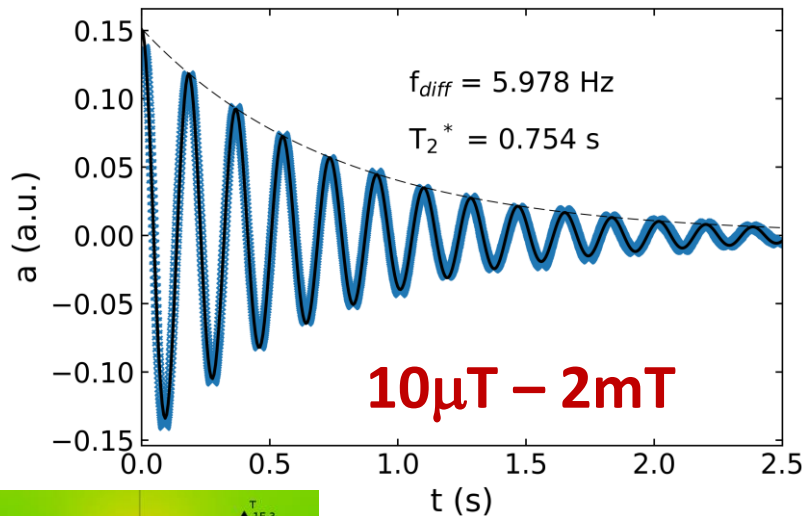
Anstieg der
Mess-
Unsicherheit
(MU)

Tesla-Primärnormal basierend auf NMR

Freie Präzession

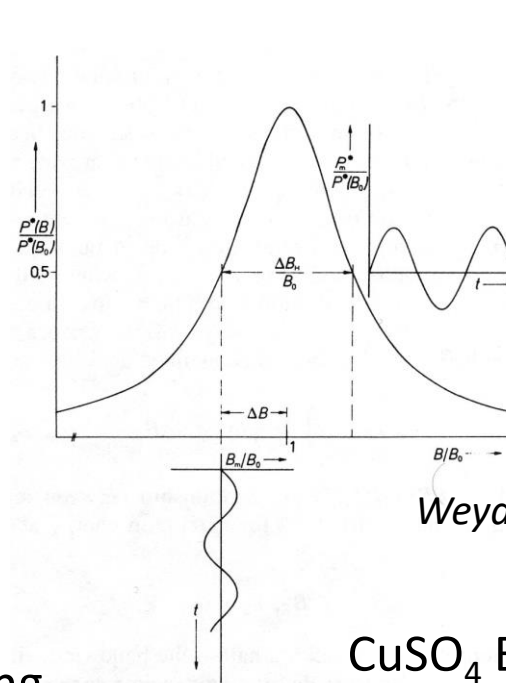
$$f_{\text{Larmor}} = \gamma / 2\pi \cdot B$$

Absorption



Wasserproben:
 T -abhängigkeit
 chemische Verschiebung
 Verunreinigungen

→ **Unsicherheit:**
 $\Delta B/B \sim 10^{-6}$



überlagerte
 niederfrequente
 Feldmodulation

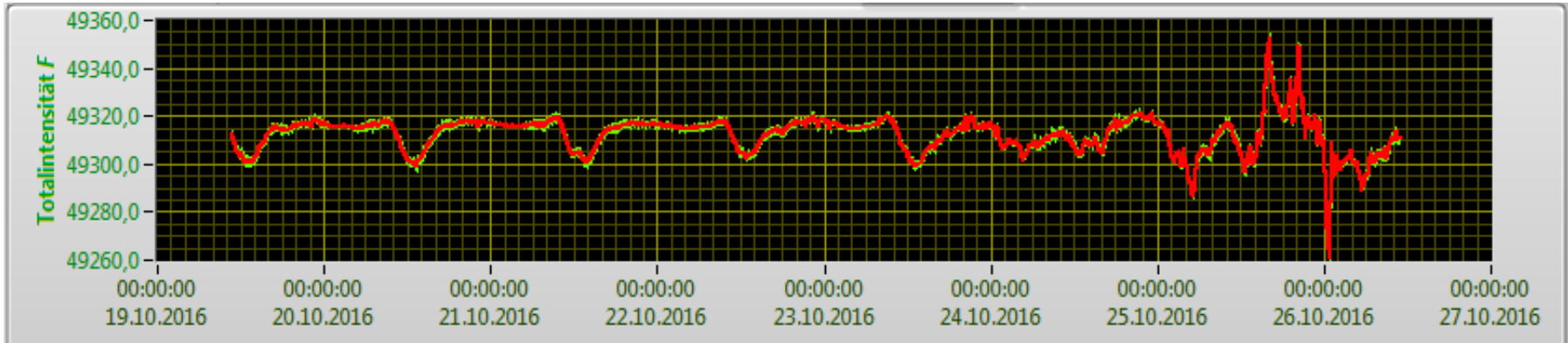
1 mT – 0.2 T

Weyand, IEEE TIM38 (1989).

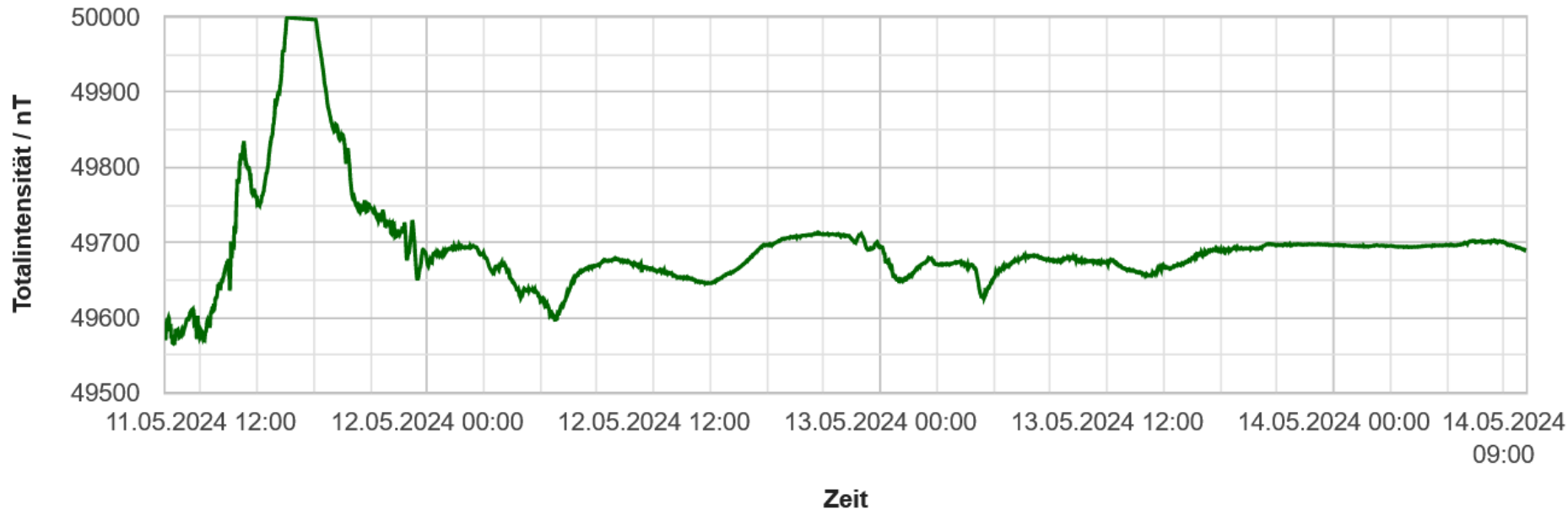
CuSO_4 Beimischung

→ **Unsicherheit:**
 $\Delta B/B \geq 10^{-4}$

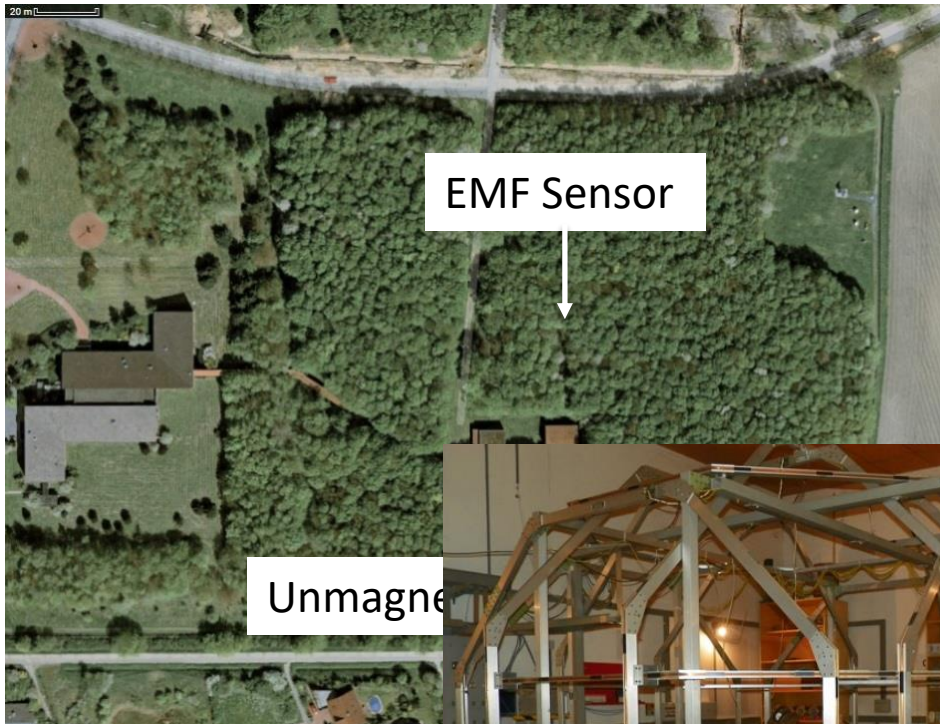
Kalibrierbedingungen



PTB (Braunschweig, Deutschland) Totalintensität Daten (skalar)



Braunschweig



Rest-EMF
 $\pm 10\text{nT}$



Berlin magnetisch
Geschirmter Raum
BMSR2

Restfeld:
 $\pm 100\text{pT}$
Stabilität: 0.2pT/h



Kalibriermöglichkeiten Feldmesstechnik

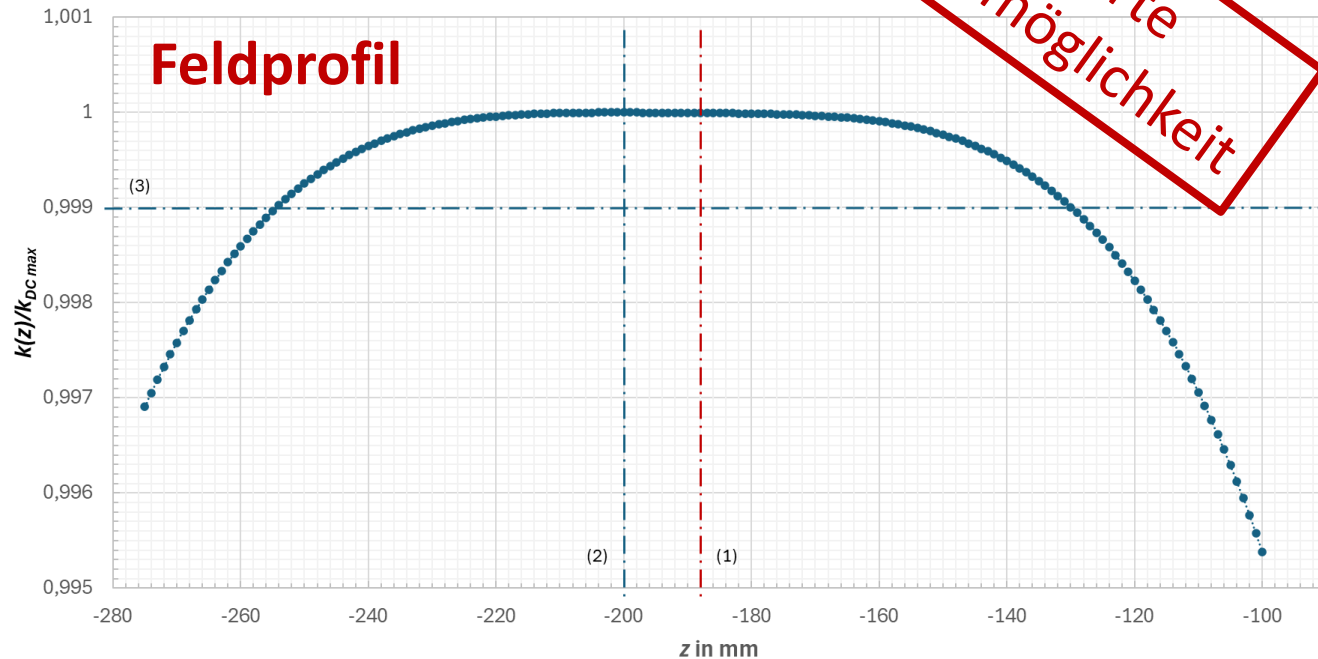
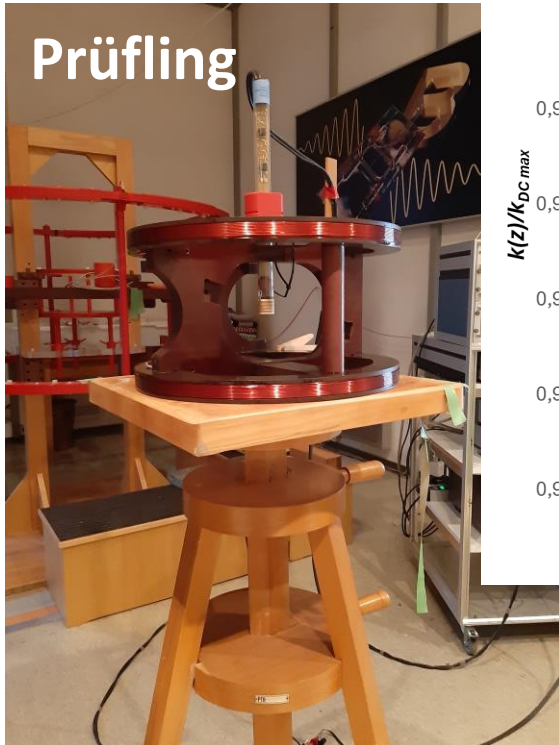
AC Magnetometer bis 100kHz, bis 0,2mT

DC Magnetometer 10 μ T – 2T

Windungsflächenbestimmung

Feldspulen

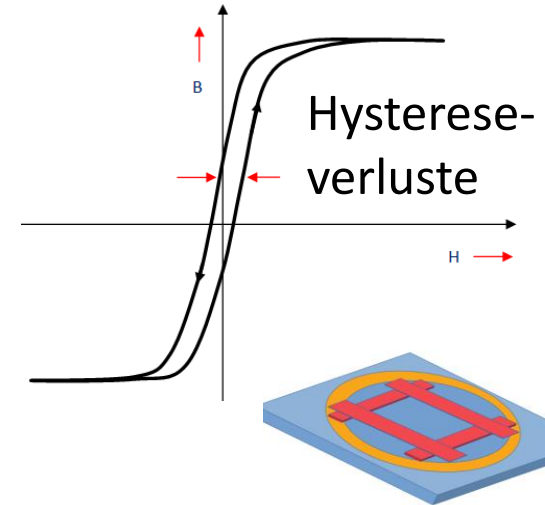
Erweiterte
Kalibriermöglichkeit



Kalibriermöglichkeiten magnetische Materialien

Kenngößen hartmagnetischer Materialien
magnetisches Moment
Suszeptibilität

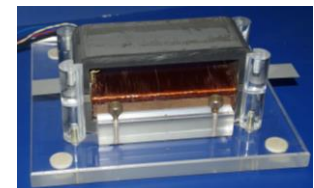
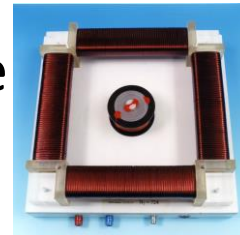
Weichmagnetische Elektrobleche: Verlust



Industrieprojekt **EMPIR HEFmag**
2020 - 2023

Erweiterter Aufbau:

- Frequenzbereich bis 10kHz
- Variable angeschlossene magnetische Kreise
- Höhere Leistung
- beliebige Kurvenform Anregung
- Synchronisierte Messung von Verlusten und Oberflächeneffekten (MOIF) möglich
- erhöhte Stabilität, definiertes Abschalten



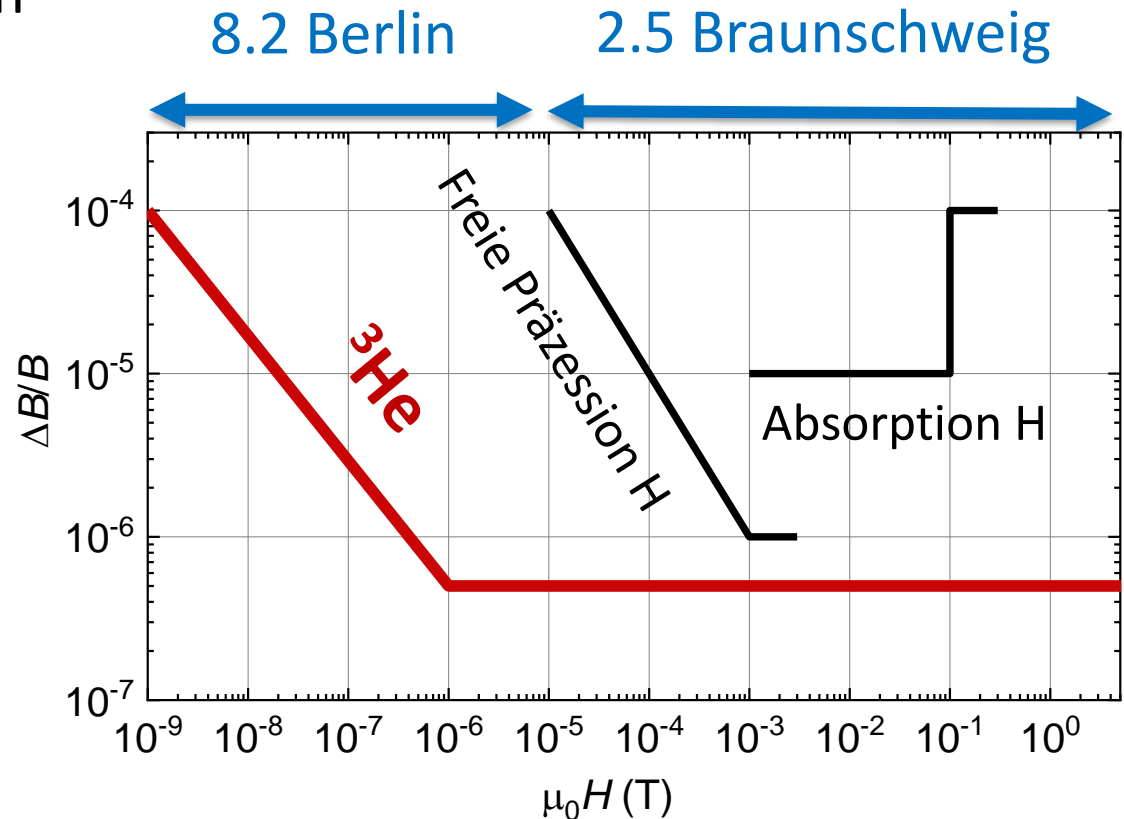
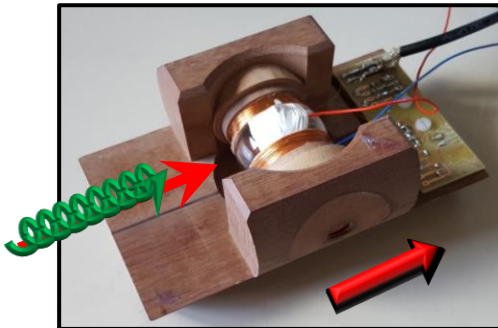
Herausforderungen Tesla Primärnormal

- 1) Verbesserung der MU $10^{-6} \rightarrow 10^{-7}$
- 2) Erweiterter rückgeführter Feldbereich $< 10\mu\text{T}$ and $> 0.2\text{T}$
- 3) **Eine Methode** für den gesamten Feldbereich $\text{pT} - 10\text{T}$

Wasserproben ersetzen



durch: Quantengas ^3He



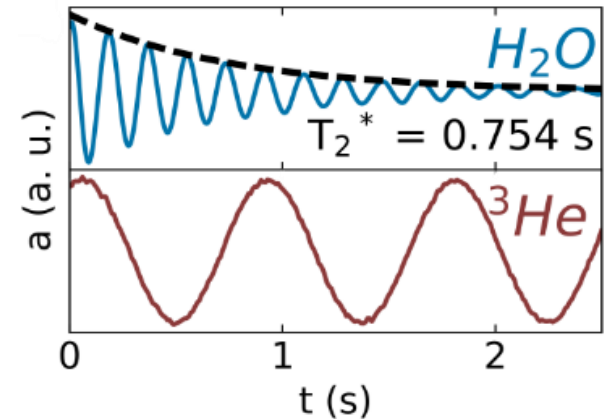
Tesla-Primärstandard basierend auf ^3He

- Feldverzerrung nur $\sim 10^{-7}$ (verdünntes Gas)
- Längere Relaxationszeit $T_2 \sim \text{h}$

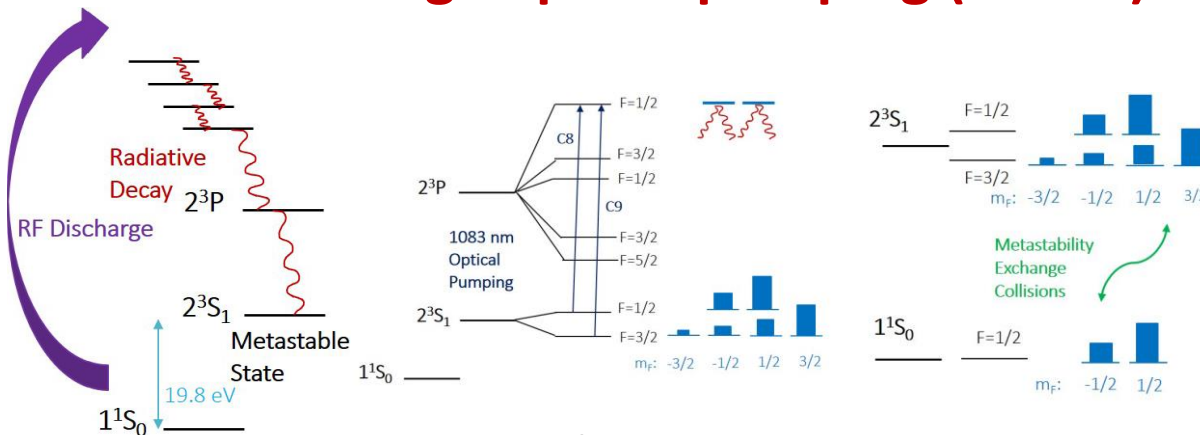
Aber, ...

$$\frac{S_{^3\text{He}}}{S_{\text{H}}} \sim 10^{-7}$$

→ **Metastability**
exchange optical pumping (MEOP)



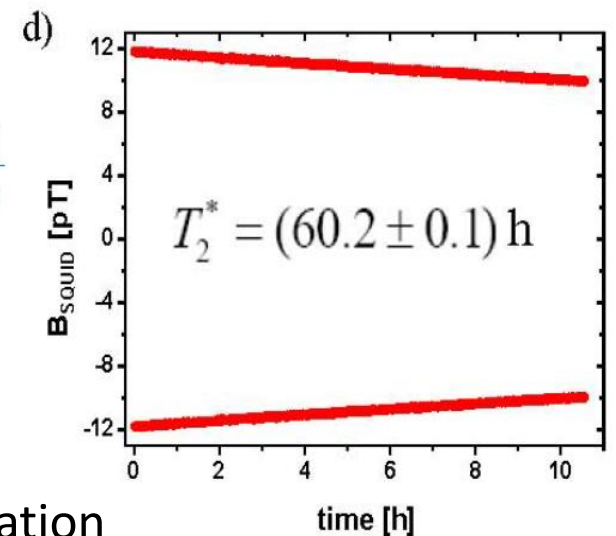
PTB, Uni Mainz, (2018)



RF Entladung

Optisches Pumpen
mit 1083nm
Polarisiertem Licht

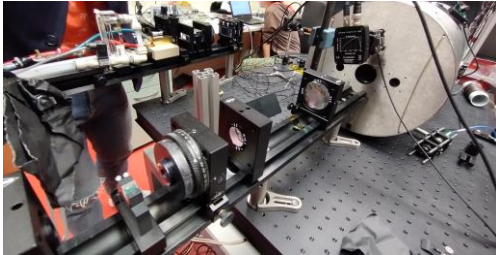
nukleare Polarization
Austauschstöße



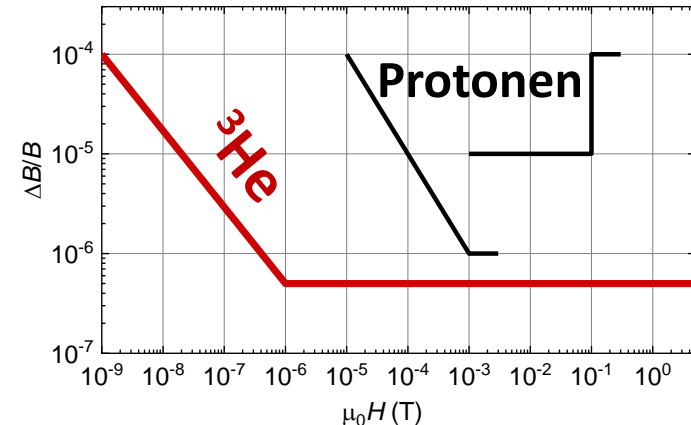
L. Trahms, et al. (2017)

Projekte & Initiativen

Konjunkturpaket III 2023 - 2025



Zusammenarbeit mit PTB Berlin
FB 8.2 Biosignale



**METROLOGY
PARTNERSHIP**



Research Potential proposal unter
Federführung von INRIM, M. Coisson

A European infrastructure for low magnetic field metrology

- Round Robin Vergleiche zur Validierung der europäischen Infrastruktur für magnetische Messungen (letzter Vergleich von 2002)
- Erweiterung der Kapazitäten für magnetische Kalibrierungen

<https://www.metpart.eu/>

- In der Magnetischen Messtechnik werden moderne und bewährte Kalibrierverfahren (CMCs) betrieben und fortlaufend weiter entwickelt.**



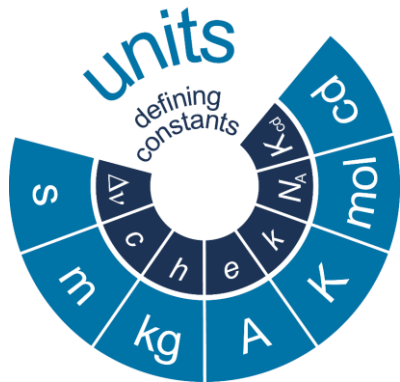
Vielen Dank!



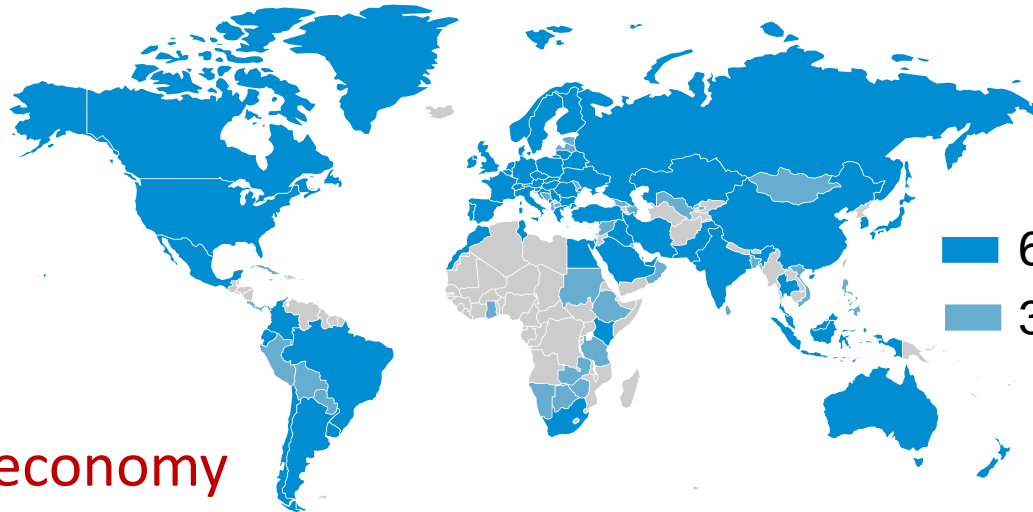
franziska.weickert@ptb.de



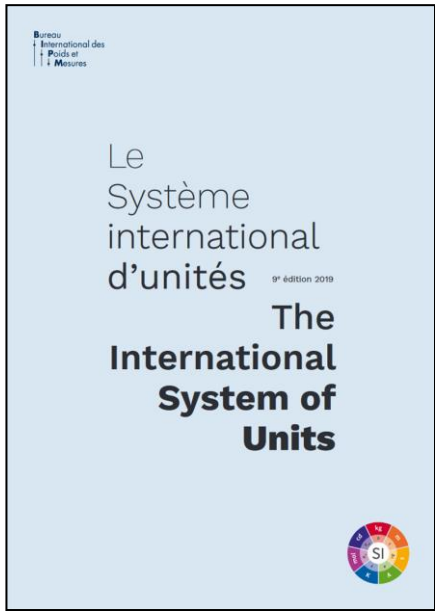
Metre convention since 1875



97,6% of global economy



64 member states
36 associated members



- **Global metrology infrastructure**
- Valid world-wide: **CIPM-MRA**
 - **102** members and associated states
 - **4** international organisations
 - includes **155** designated institutes (DI)

Foundation for global trade

International cooperation

- International committees and boards



- Research collaborations

**METROLOGY
PARTNERSHIP**



Co-funded by EU under Horizon Europe

- Technical collaborations

**49 Projects
in 85 countries**

