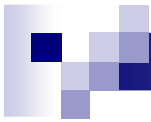


# Entwicklung eines NMR- Moduls zur Polarisations- messung in Festkörper- targets

Bochum, 13.11.09

Sebastian Schrauf





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

Aufbau

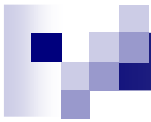
Kryostat

NMR-Modul

# Gliederung

- Kernmagnetische Resonanz (NMR)
  - Theorie
  - cw-NMR
  - Q-Meter-Technik
- Aufbau
  - Kryostat
  - NMR-Modul





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# NMR

- Statisches externes Feld  $\vec{B}_0$
- Aufhebung der Energieentartung
- $2I + 1$  äquidistante Unterniveaus als Folge mit Energiebeitrag  $E_m = m\hbar\omega_L$
- Besetzungswahrscheinlichkeit gegeben nach der Boltzmann-Statistik

$$p(E) \propto \exp(-E / k_B T)$$

- Magnetisierung  $\vec{M} = n_0 g \mu_N P_s \vec{S} = \sum_i \vec{\mu}_i / V$   
oder  $M_z = \rho \gamma \langle I_z \rangle$



NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# NMR

- Hochfrequenzfeld

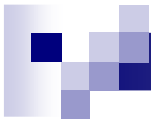
$$\vec{B}_{HF} = 2\vec{B}_1 \cos(\omega t)$$

- Auf die Magnetisierung wirkendes Drehmoment  $d\vec{M} / dt = \gamma(\vec{M} \times \vec{B})$

- Präzession von  $\vec{M}$  um  $\vec{B}$

- Frequenz  $\omega_L = -\gamma B$





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# NMR

## ■ Relaxation

$$dM_z / dt = (M_0 - M_z) / T_1$$

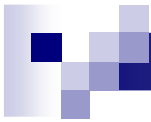
$$dM_x / dt = -M_x / T_2$$

$$dM_y / dt = -M_y / T_2$$

## ■ Bloch-Gleichungen

$$dM_z / dt = \gamma(\vec{M} \times \vec{B})_z + (M_0 - M_z) / T_1$$





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

Aufbau

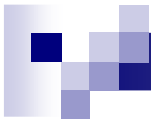
Kryostat

NMR-Modul

# NMR

- Spin-Spin-Relaxationszeit
- Spin-Gitter-Relaxationszeit
- Übergang in rotierendes Koordinatensystem
- cw-NMR
  - Magnetisierung  $90^\circ$  außer Phase zum rotierenden äußeren Feld: Absorption
  - Magnetisierung in Phase mit dem rotierenden äußeren Feld: Dispersion





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# NMR

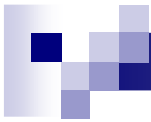
- Leistungsverlust/-gewinn im Schwingkreis
- Änderung der komplexen Impedanz

$$Z = \frac{-i}{\omega C} + R + i\omega L \quad \chi = \chi' - i\chi''$$

$$= \frac{-i}{\omega C} + R + i\omega L_0 (1 + \eta\chi)$$

$$= R + \omega L_0 \eta \chi'' + i \left( (1 + \eta\chi') \omega L_0 - \frac{1}{\omega C} \right)$$





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# NMR

- Komplexer Anteil: Dispersion

Realer Anteil: Absorption

- Q-Meter: quality meter

$$Q = 2\pi \frac{E}{\Delta E} = \frac{\omega_0 L}{R}$$

- Leistungsverlust/-gewinn

$$\frac{dE}{dt} = \frac{B_1^2}{\mu_0} V \omega_N \int \chi''(\omega) d\omega$$



NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

Aufbau

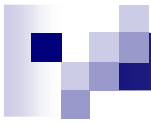
Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau

- 2,5 T Bruker-Magnet
- $^4\text{He}$  Toploader Verdampferkryostat





NMR

Theorie

cw-NMR

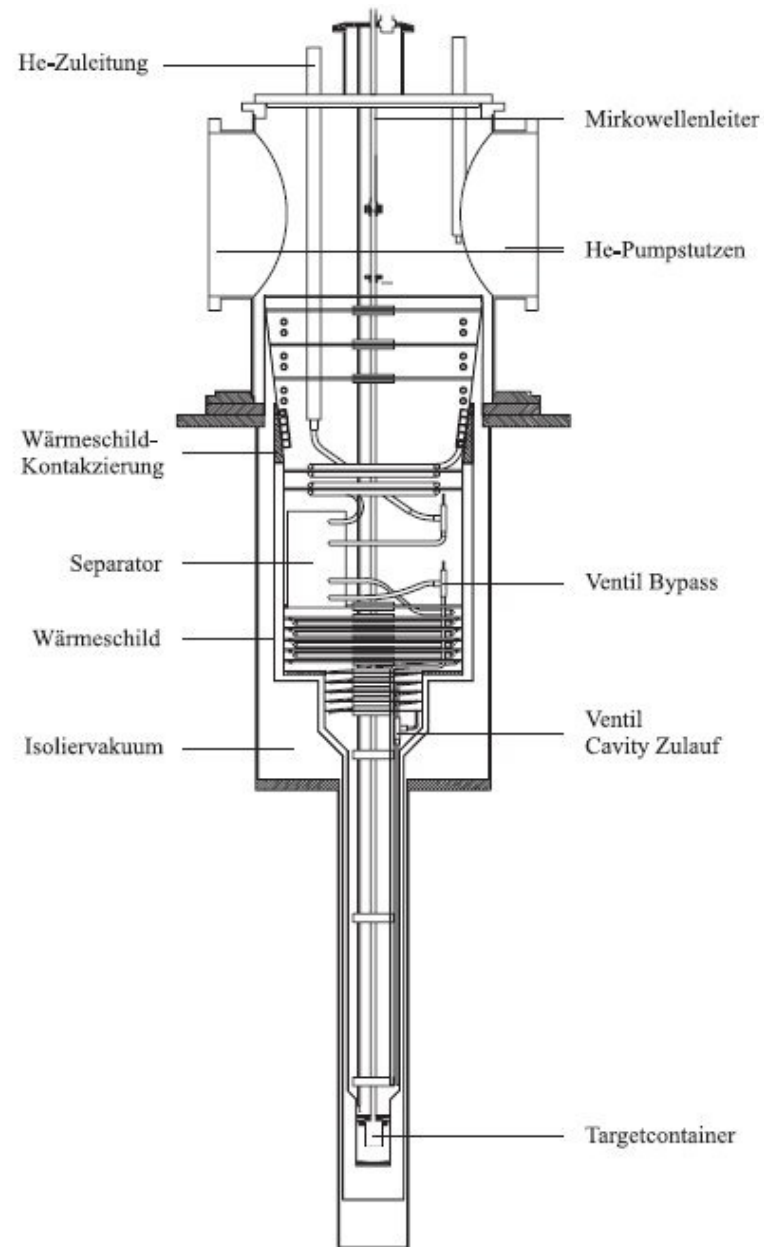
Q-Meter

Aufbau

Kryostat

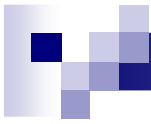
NMR-Modul

# Aufbau



C. Heß,  
2004





NMR

Theorie

cw-NMR

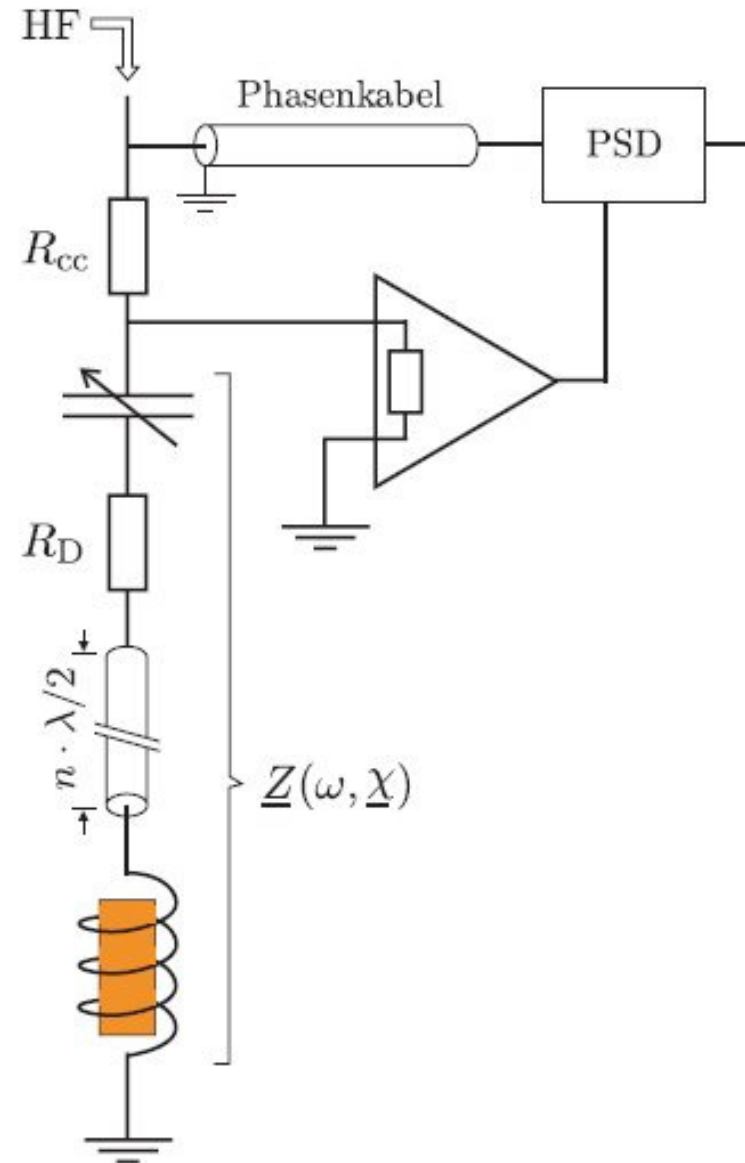
Q-Meter

Aufbau

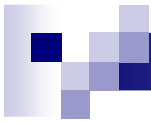
Kryostat

NMR-Modul

# NMR



C. Heß,  
2004



NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# NMR

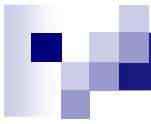
## ■ Resonant Cable Circuit (RCC)

- Q-Meter bei Umgebungstemperatur
- Koaxialkabel

## ■ Non-resonant Cable Circuit

- Koaxialkabel nicht Teil des Schwingkreises
- Flache Grundlinie
- Verbesserung des S/N-Verhältnisses um den Faktor 4





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

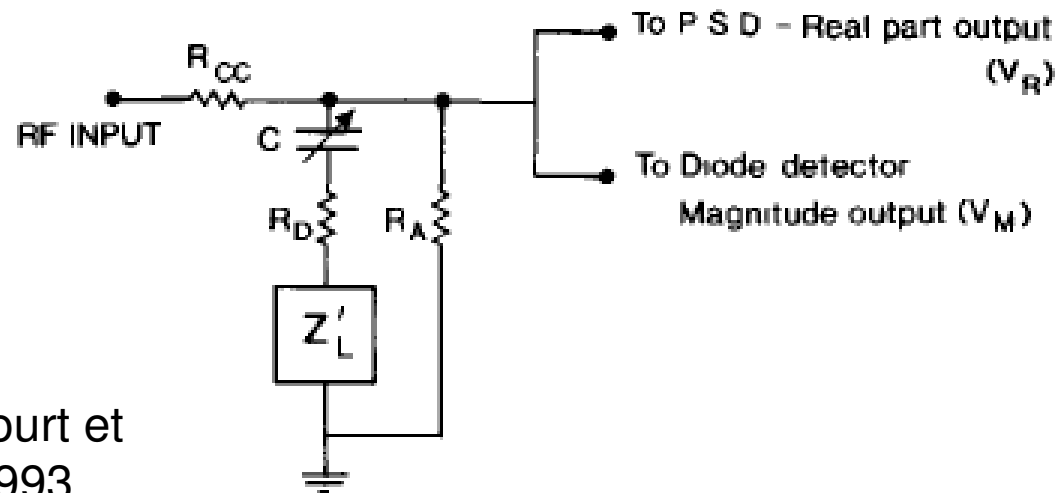
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

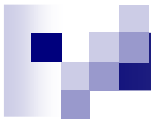
# Aufbau

- Liverpool NMR-Modul
  - Varicap-Diode (variable Kapazität)
  - Signalverarbeitungsmodul



G. Court et  
al., 1993





NMR

Theorie

cw-NMR

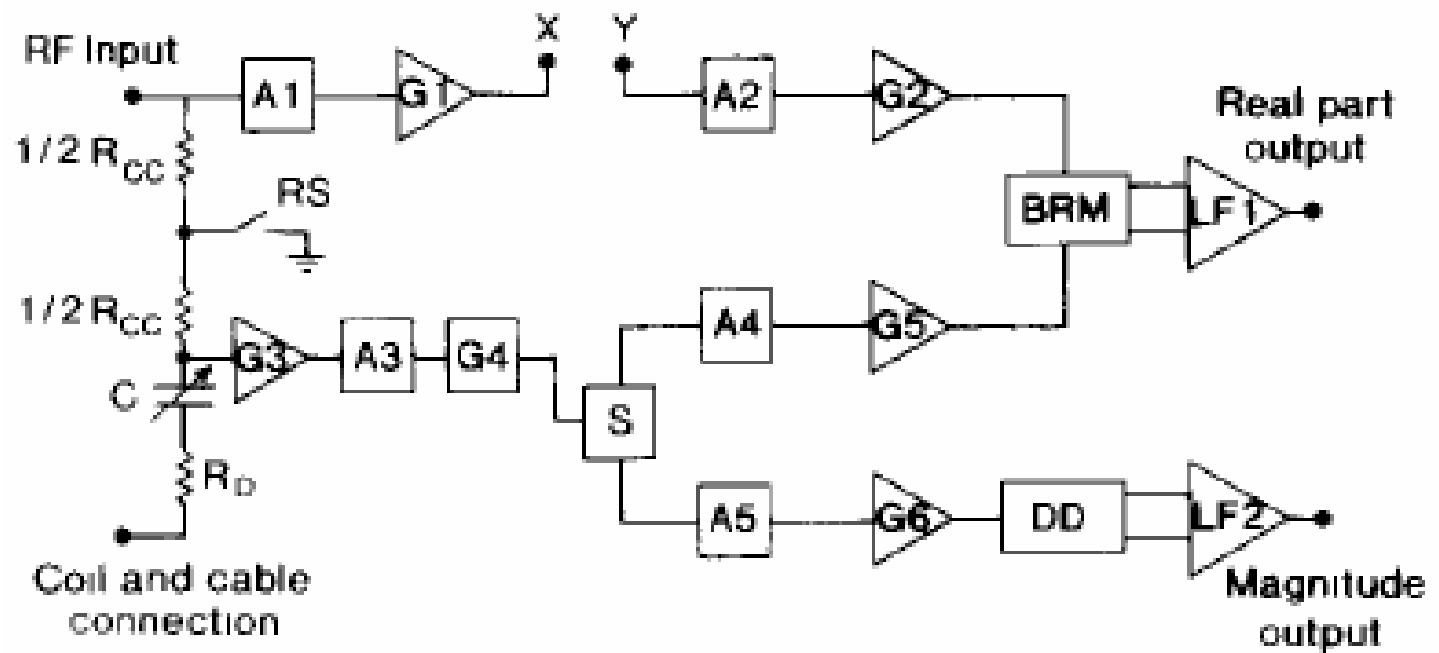
Q-Meter

Aufbau

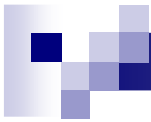
Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau



G. Court et al., 1993



NMR

Theorie

cw-NMR

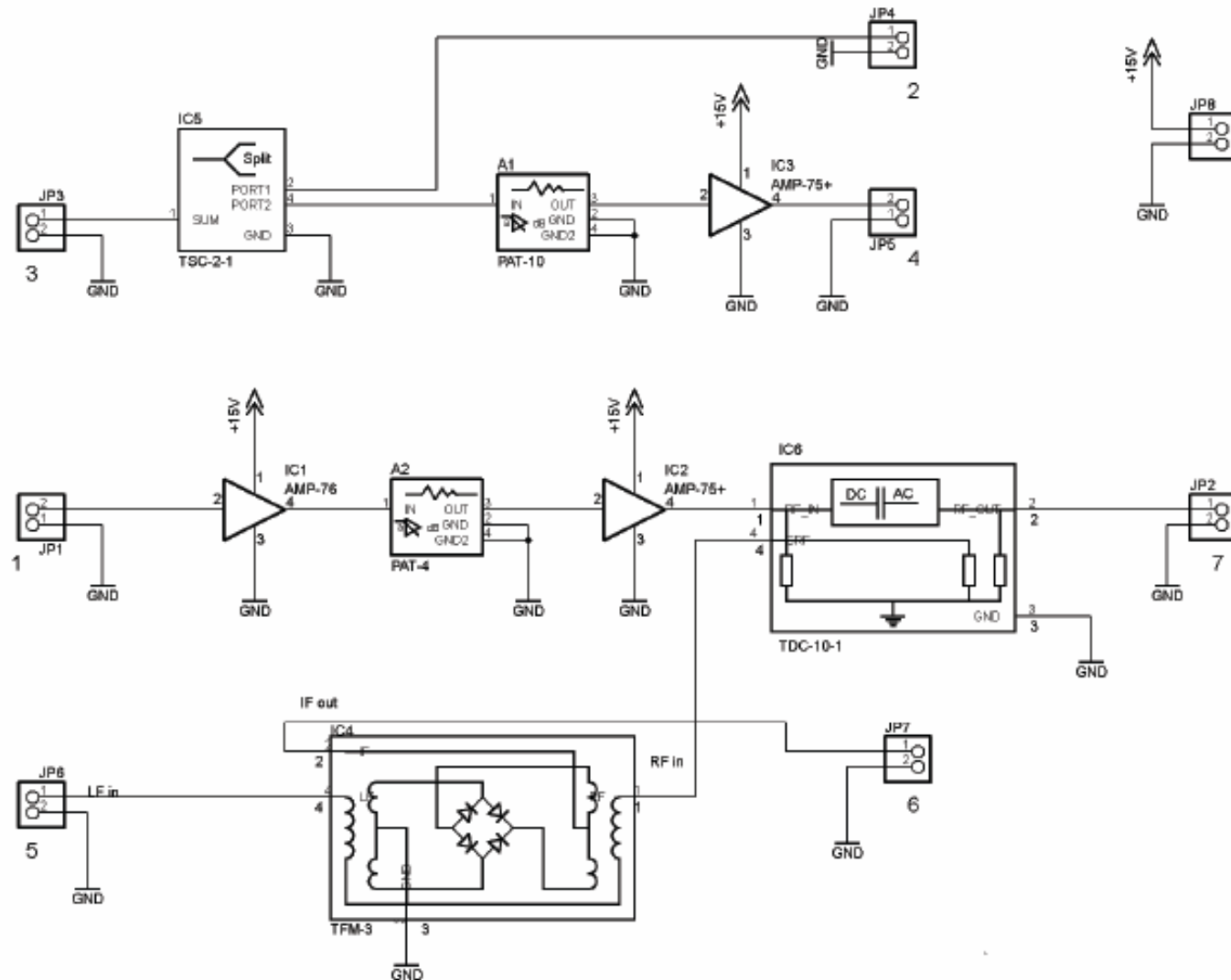
Q-Meter

Aufbau

Kryostat

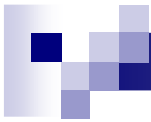
NMR-Modul

# Aufbau



J. Philipp,  
2008





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

Aufbau

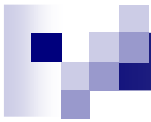
Kryostat

NMR-Modul

# NMR

- Neuer Aufbau
- HF-Teil
- Kernbestandteil: Balanced Ring Mixer
  - 2 Eingänge, 1 Ausgang
  - 1. Eingang: hoher Pegel, konstante Amplitude
  - 2. Eingang: Amplitude  $V$  und Phase  $\phi$
  - Ausgang  $\cong V \cos \phi$
  - $\phi = 0$ : Realteilabstimmung





NMR

Theorie

cw-NMR

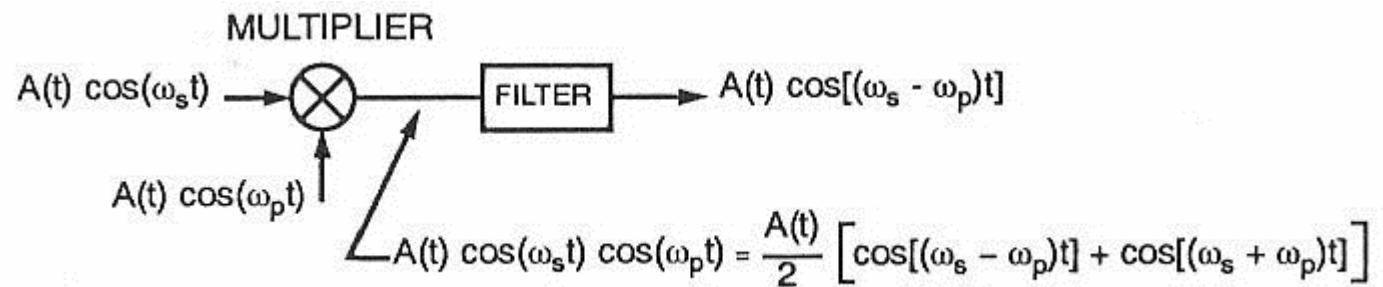
Q-Meter

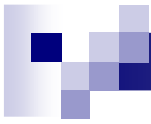
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau

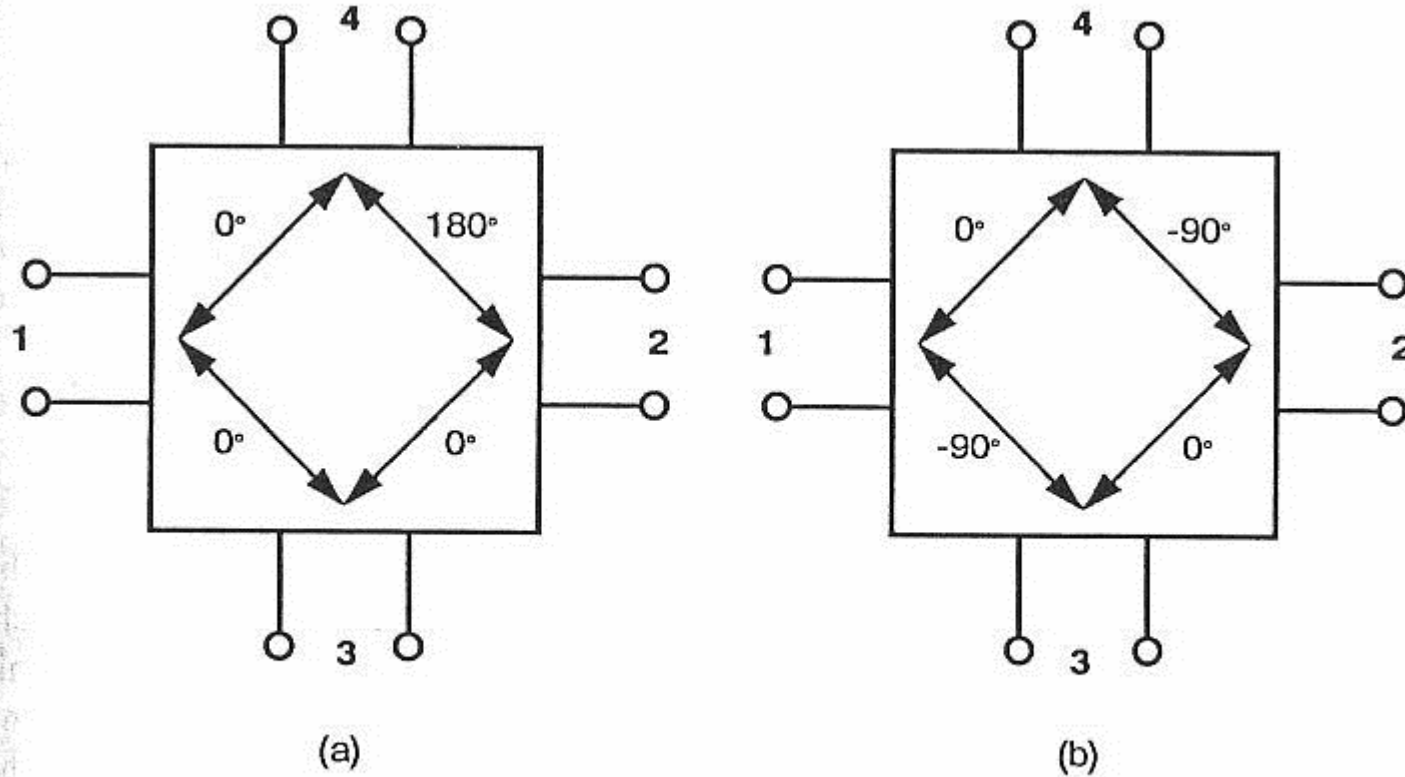
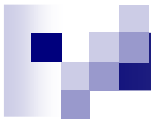


Figure 7.1 Ideal (a) 180-deg and (b) 90-deg hybrids.





NMR

Theorie

cw-NMR

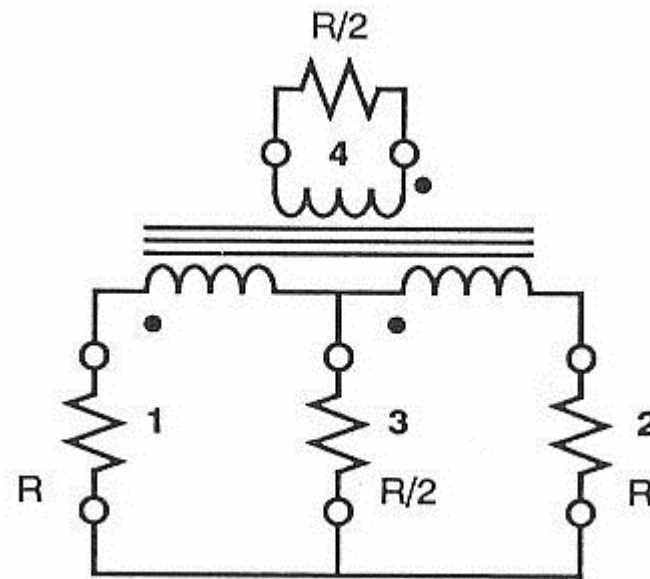
Q-Meter

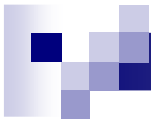
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau





NMR

Theorie

cw-NMR

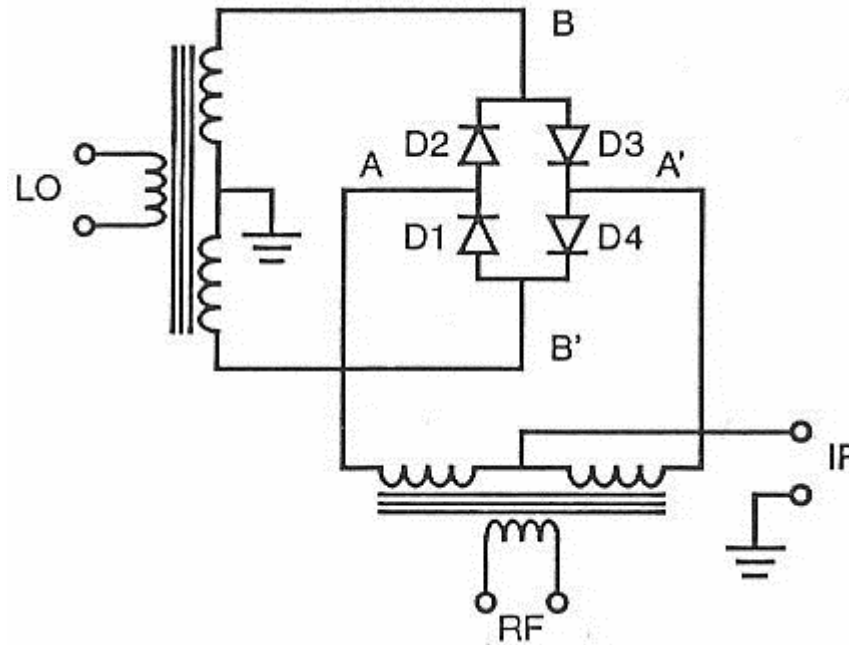
Q-Meter

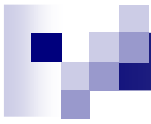
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau





NMR

Theorie

cw-NMR

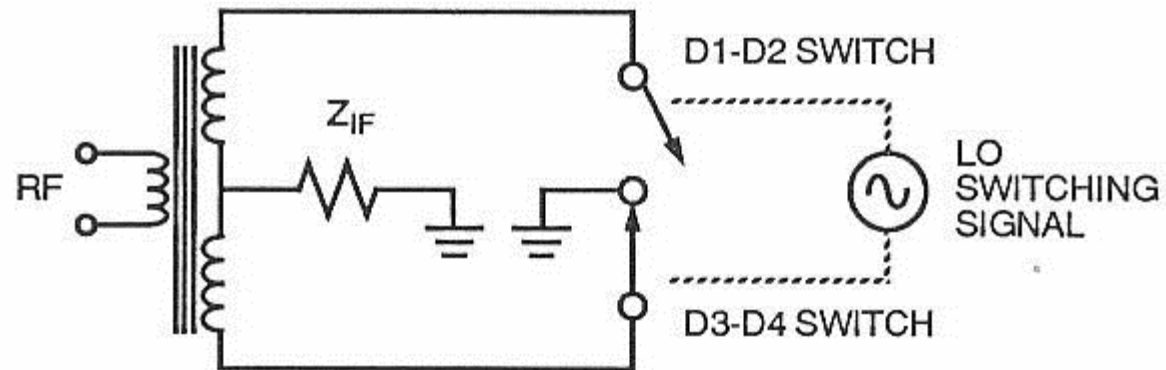
Q-Meter

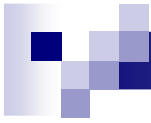
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau





NMR

Theorie

cw-NMR

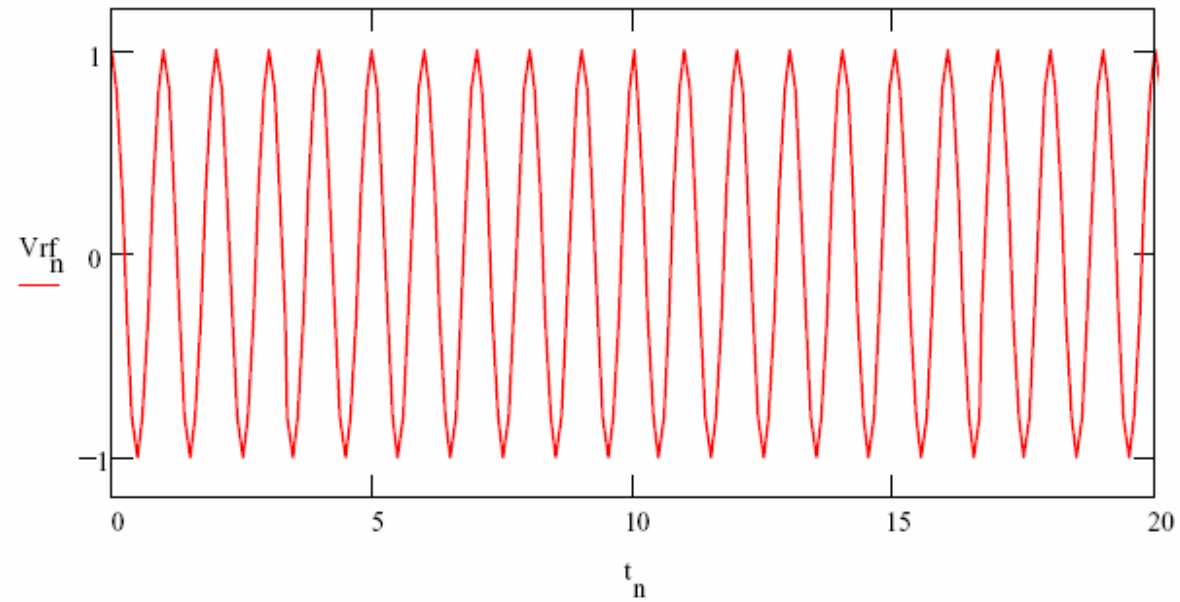
Q-Meter

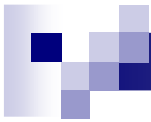
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau





NMR

Theorie

cw-NMR

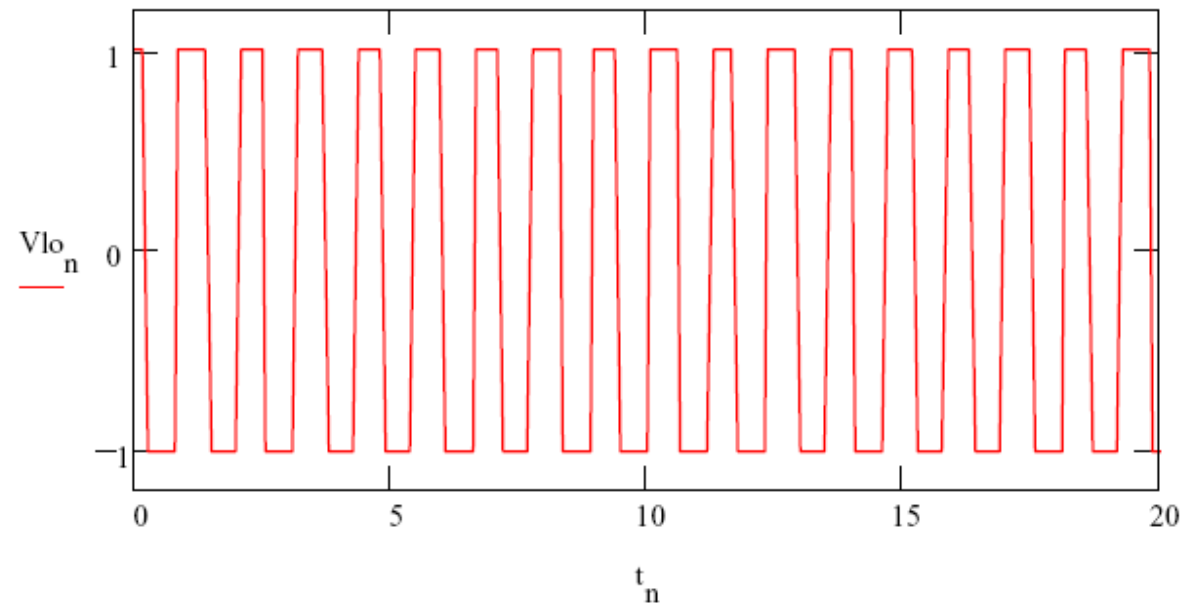
Q-Meter

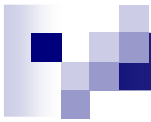
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau





NMR

Theorie

cw-NMR

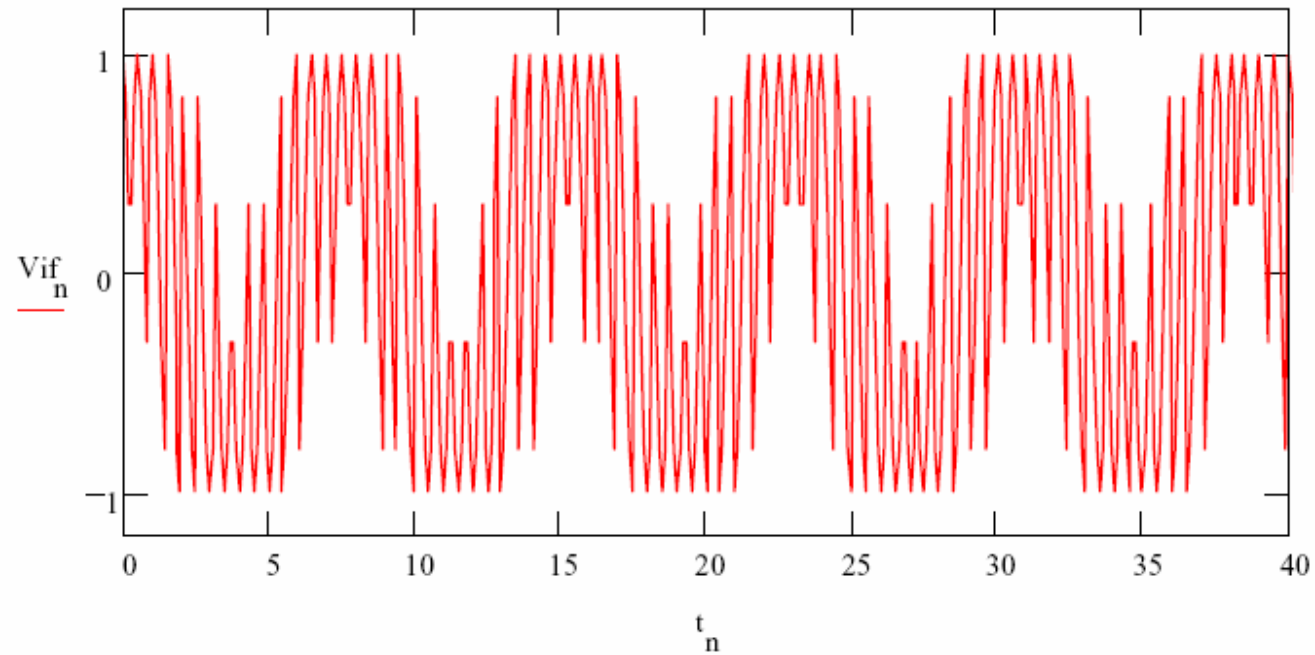
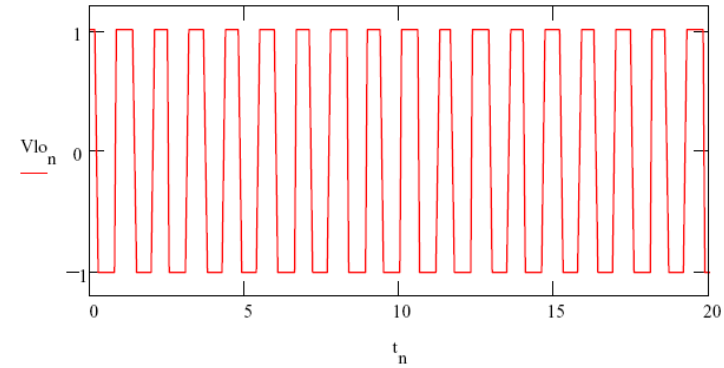
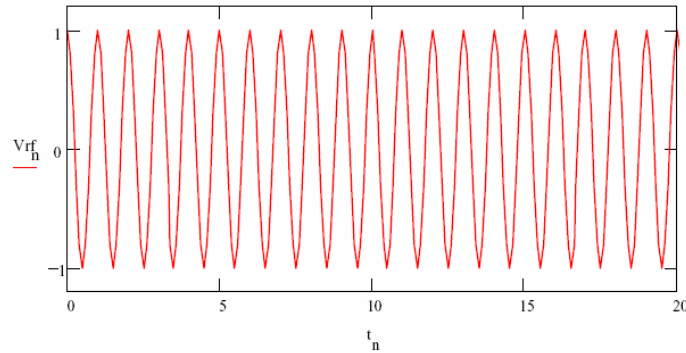
Q-Meter

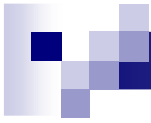
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau





NMR

Theorie

cw-NMR

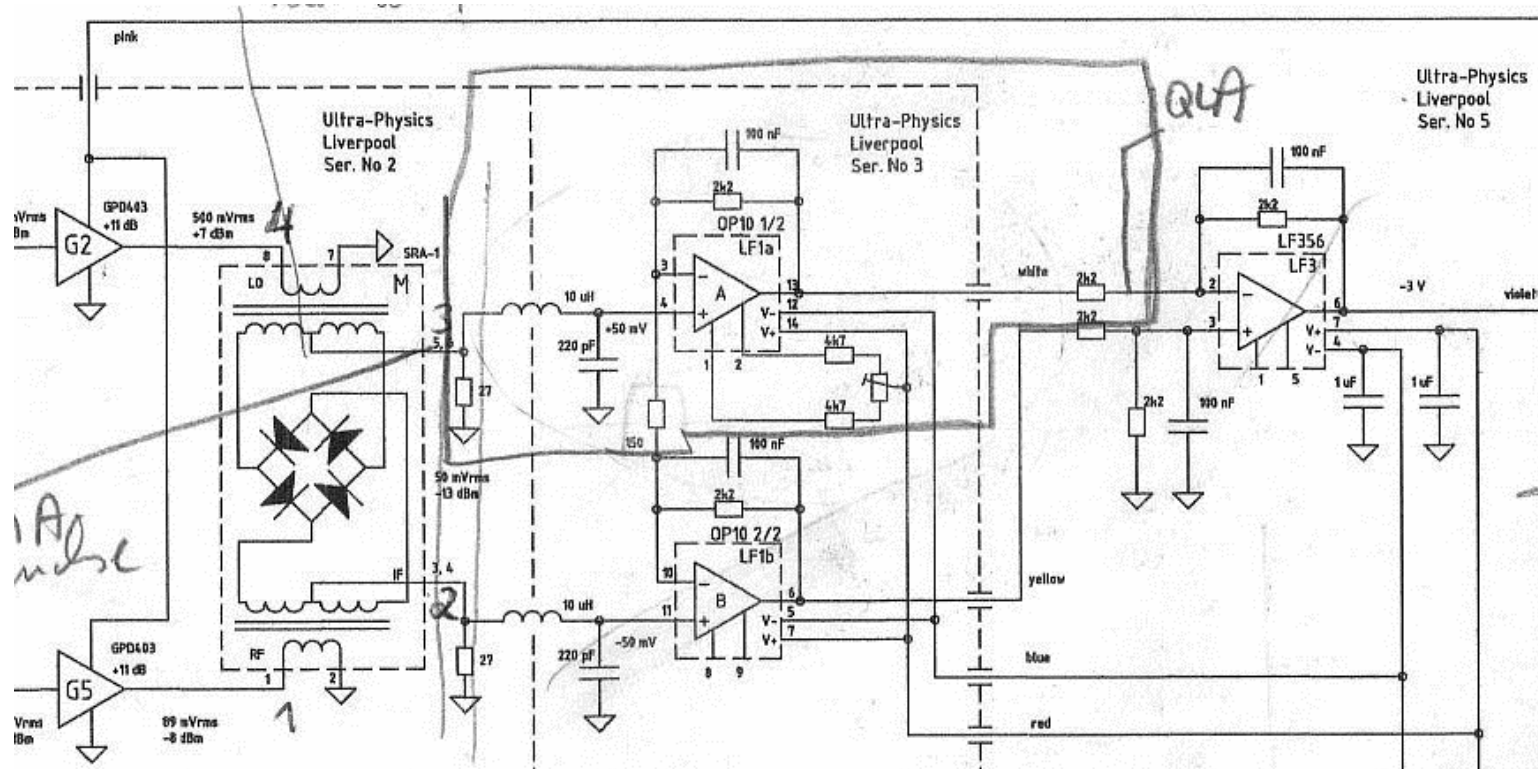
Q-Meter

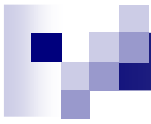
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau





NMR

Theorie

cw-NMR

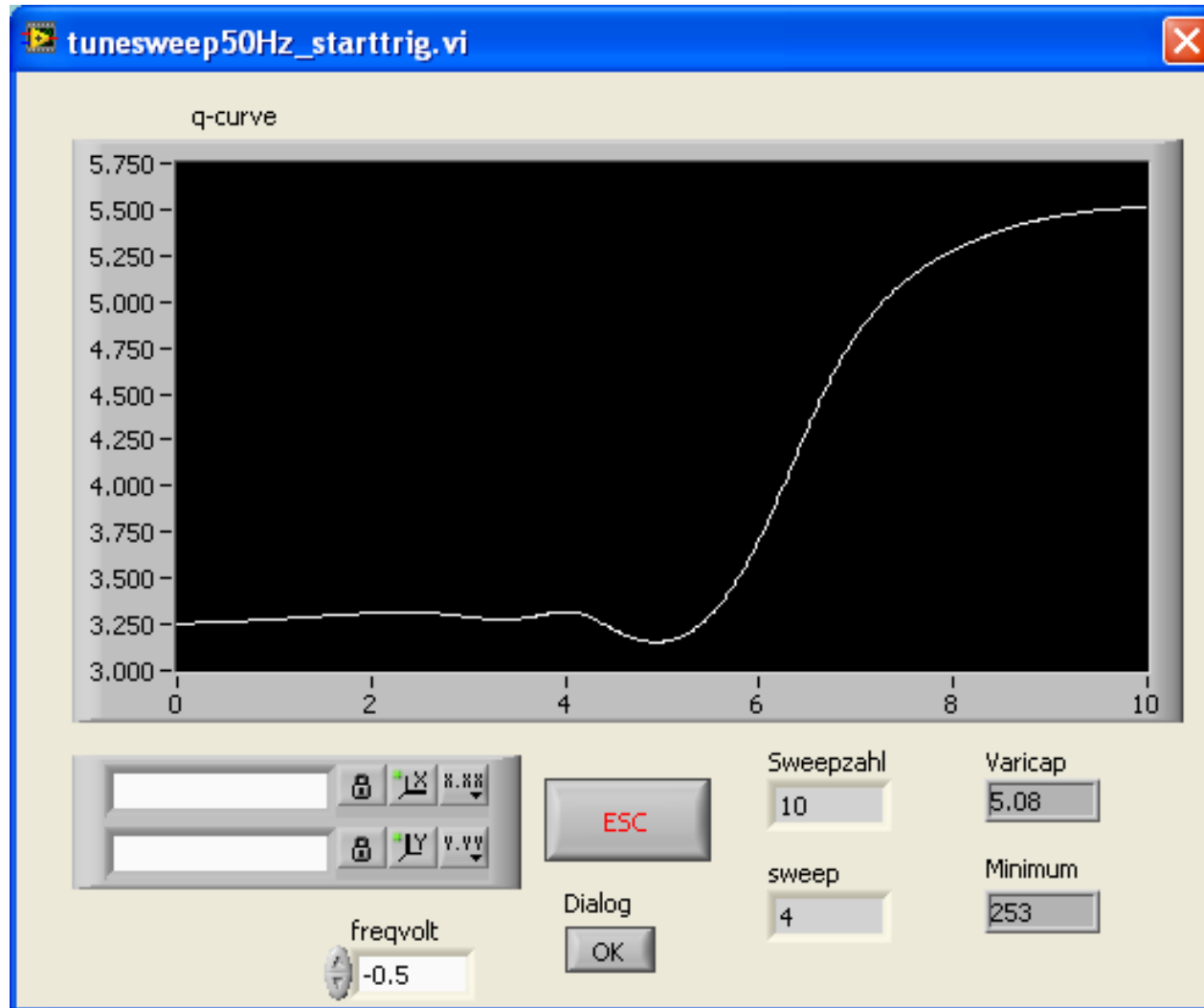
Q-Meter

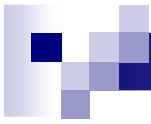
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

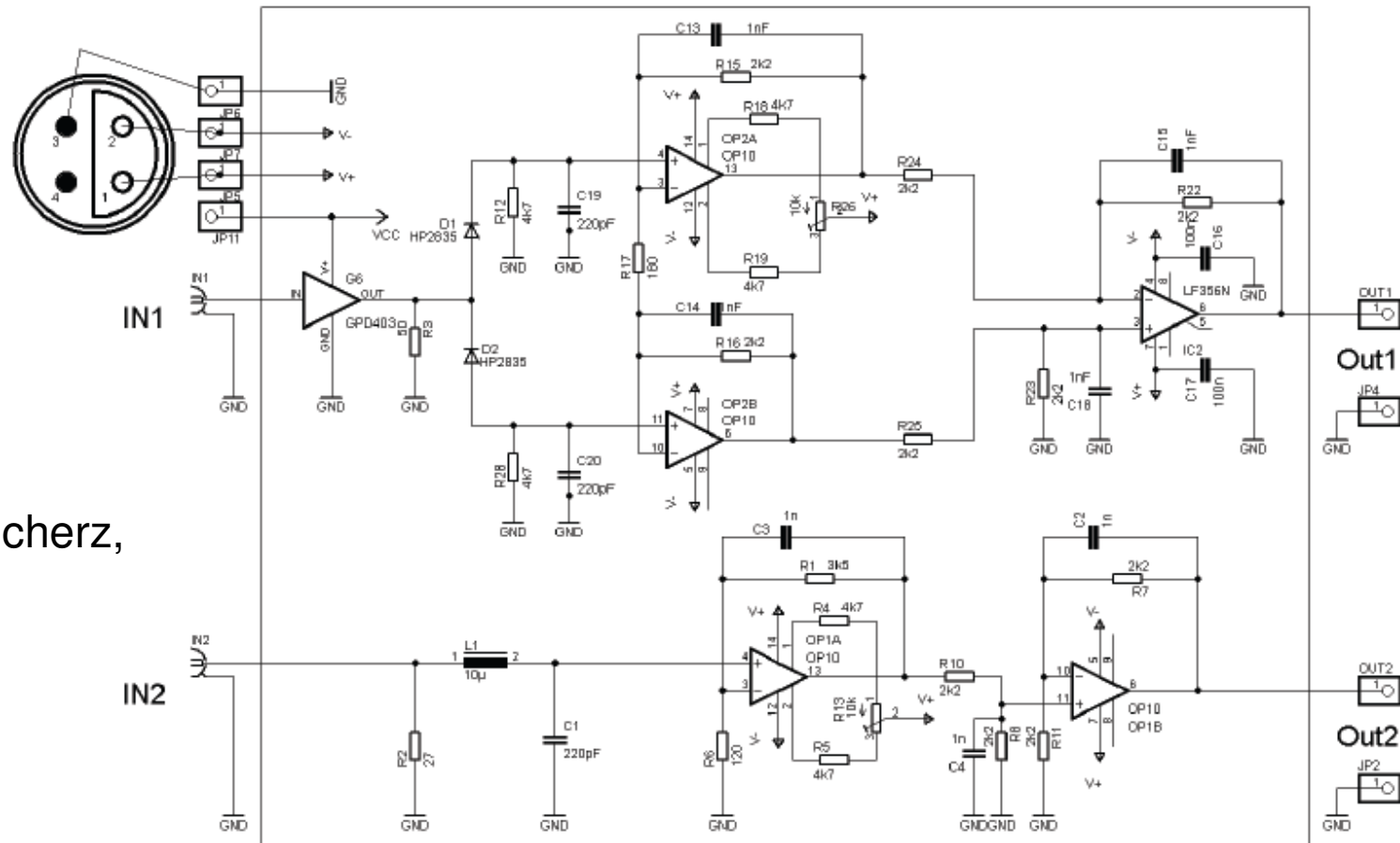
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

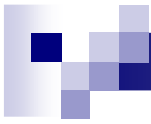
# Aufbau

## ■ LF-Teil



G. Reicherz,  
2006





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

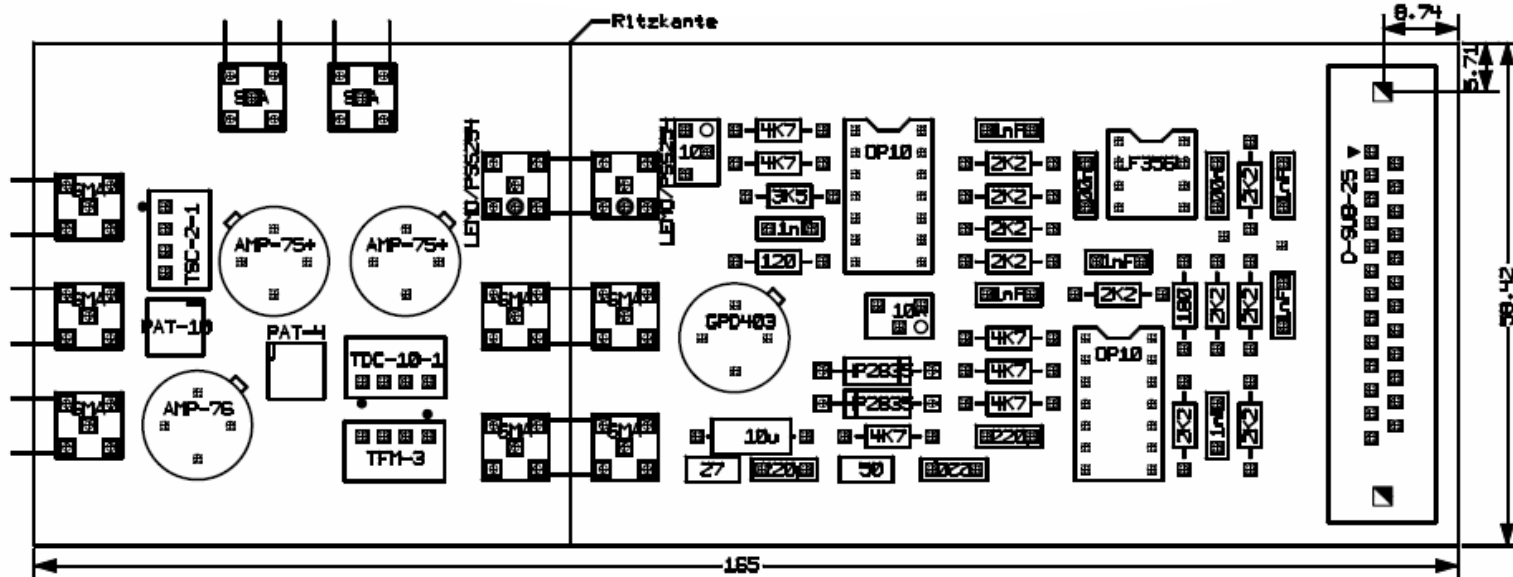
Aufbau

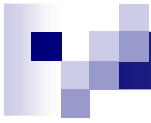
Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau

NMR-BOX 19.08.2009





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

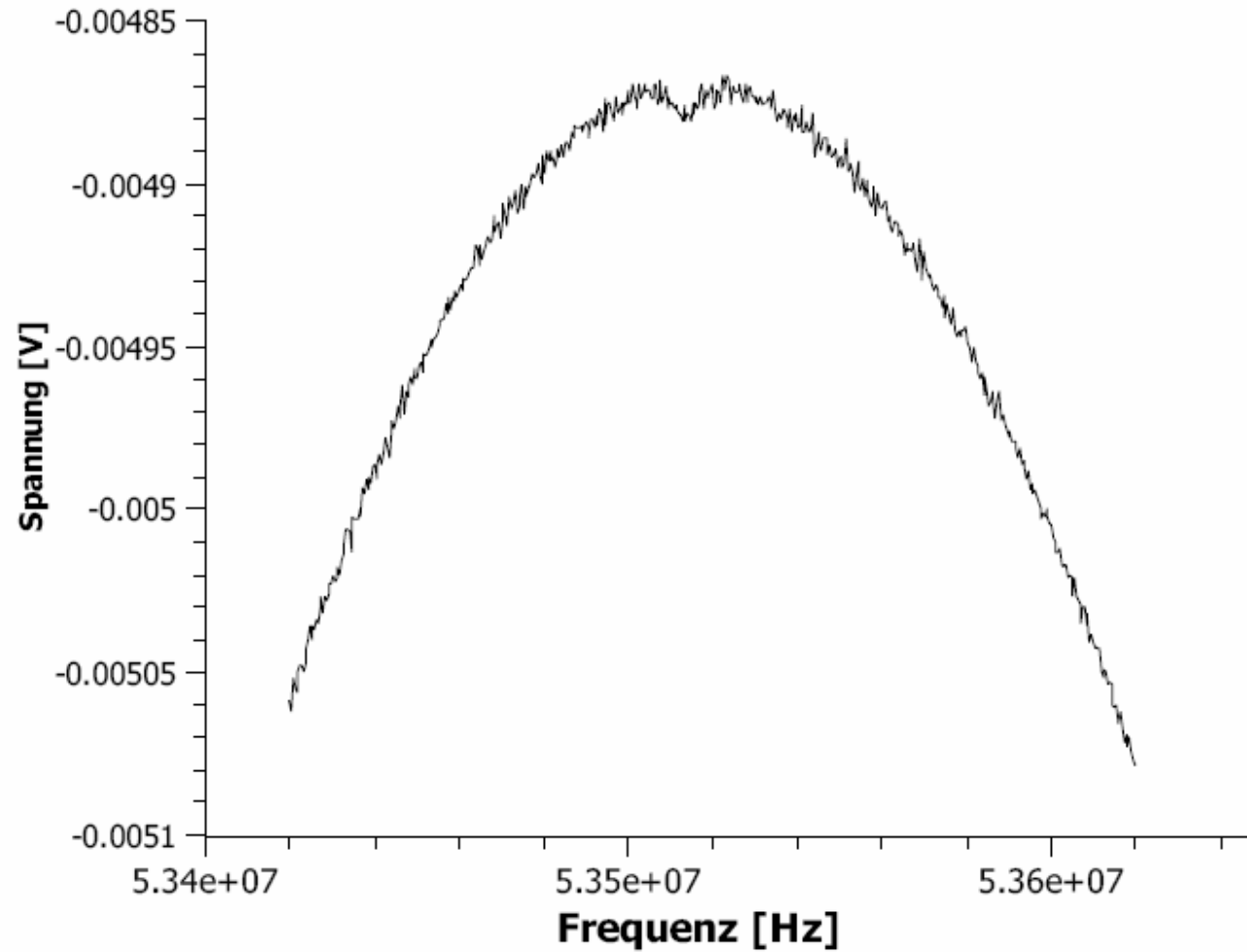
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

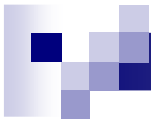
# Aufbau

*Trityldotierte Brenztraubensäure*



J. Philipp,  
2008





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

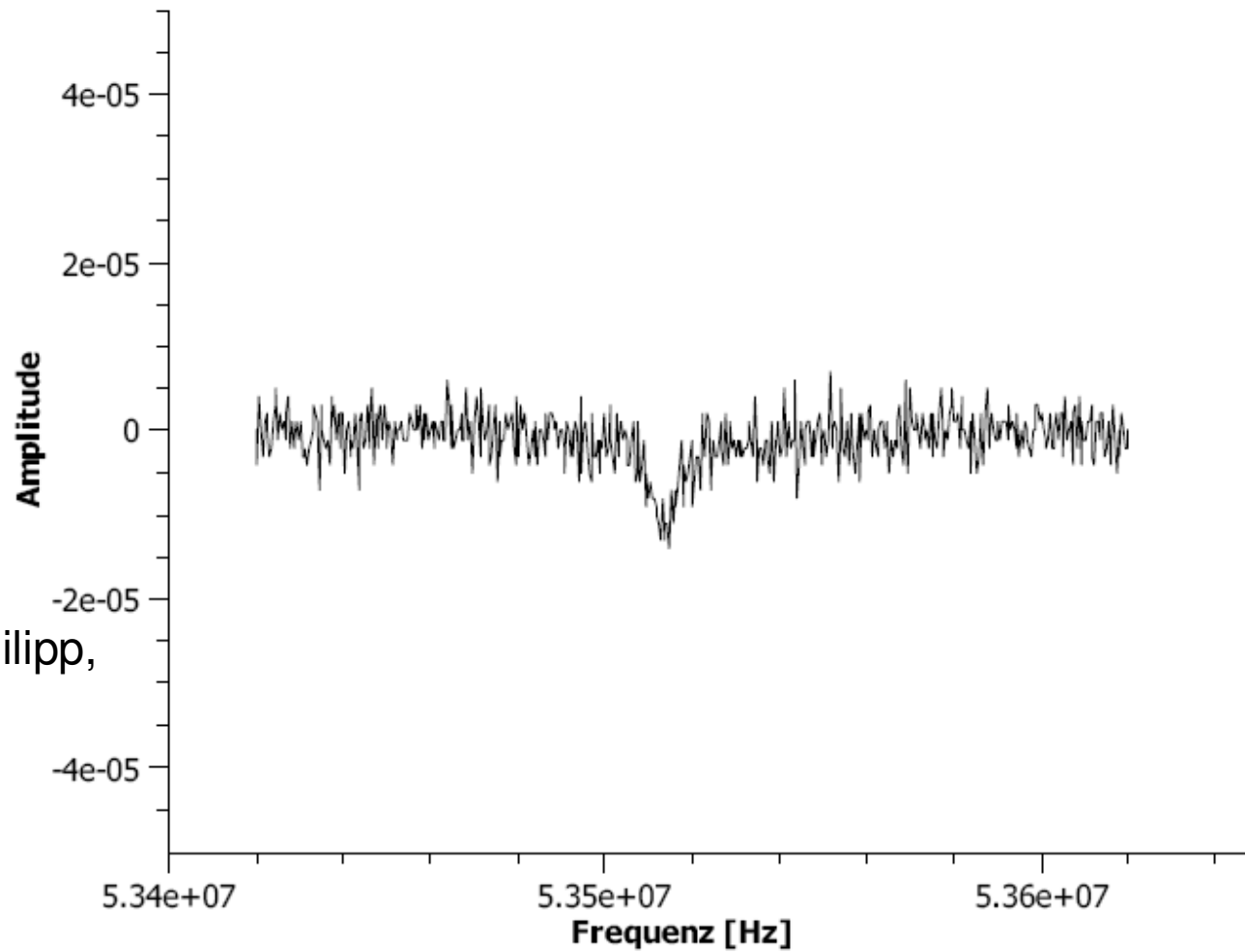
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

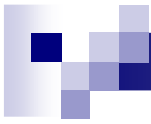
# Aufbau

*Trityldotierte Brenztraubensäure*



J. Philipp,  
2008





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

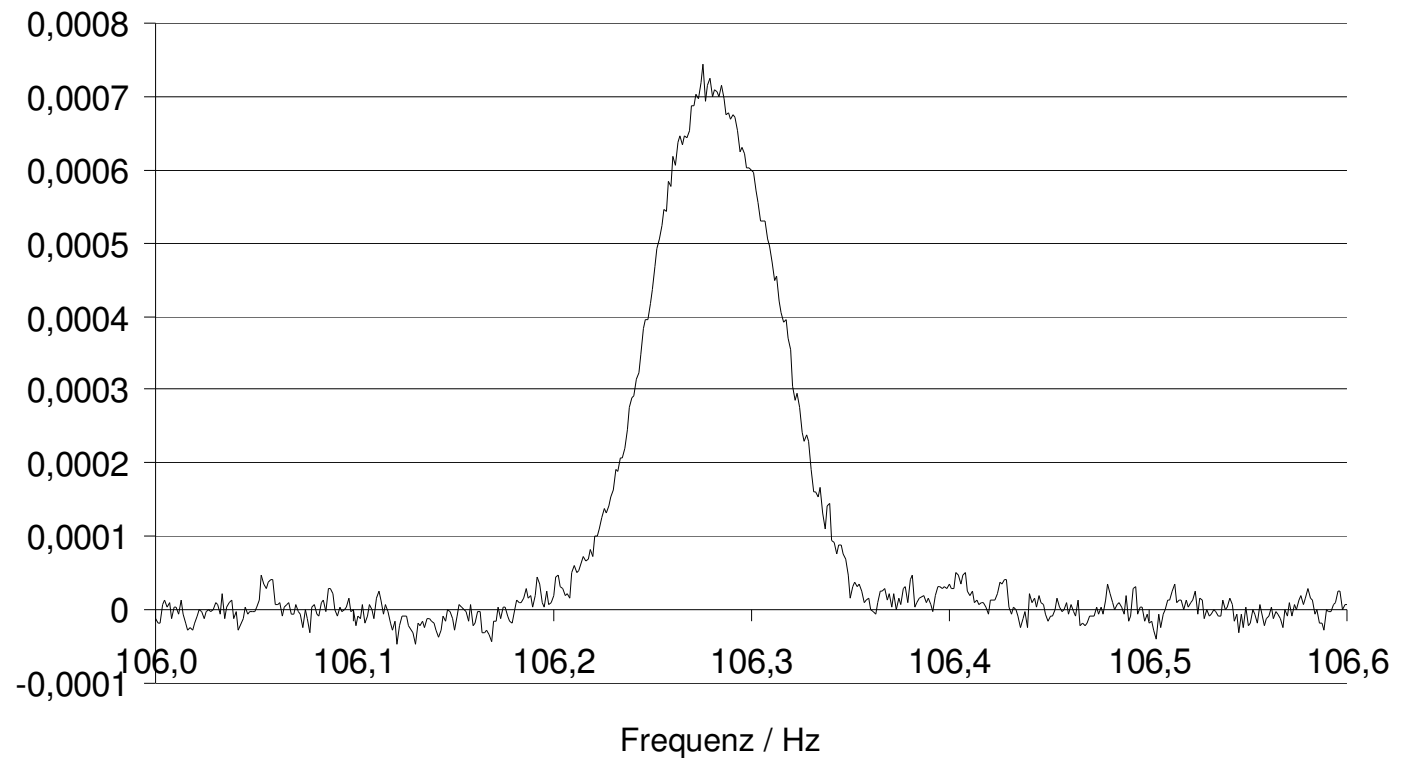
Aufbau

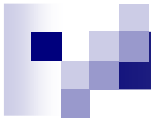
Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau

*H-Butanol, 0,5% TEMPO*





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

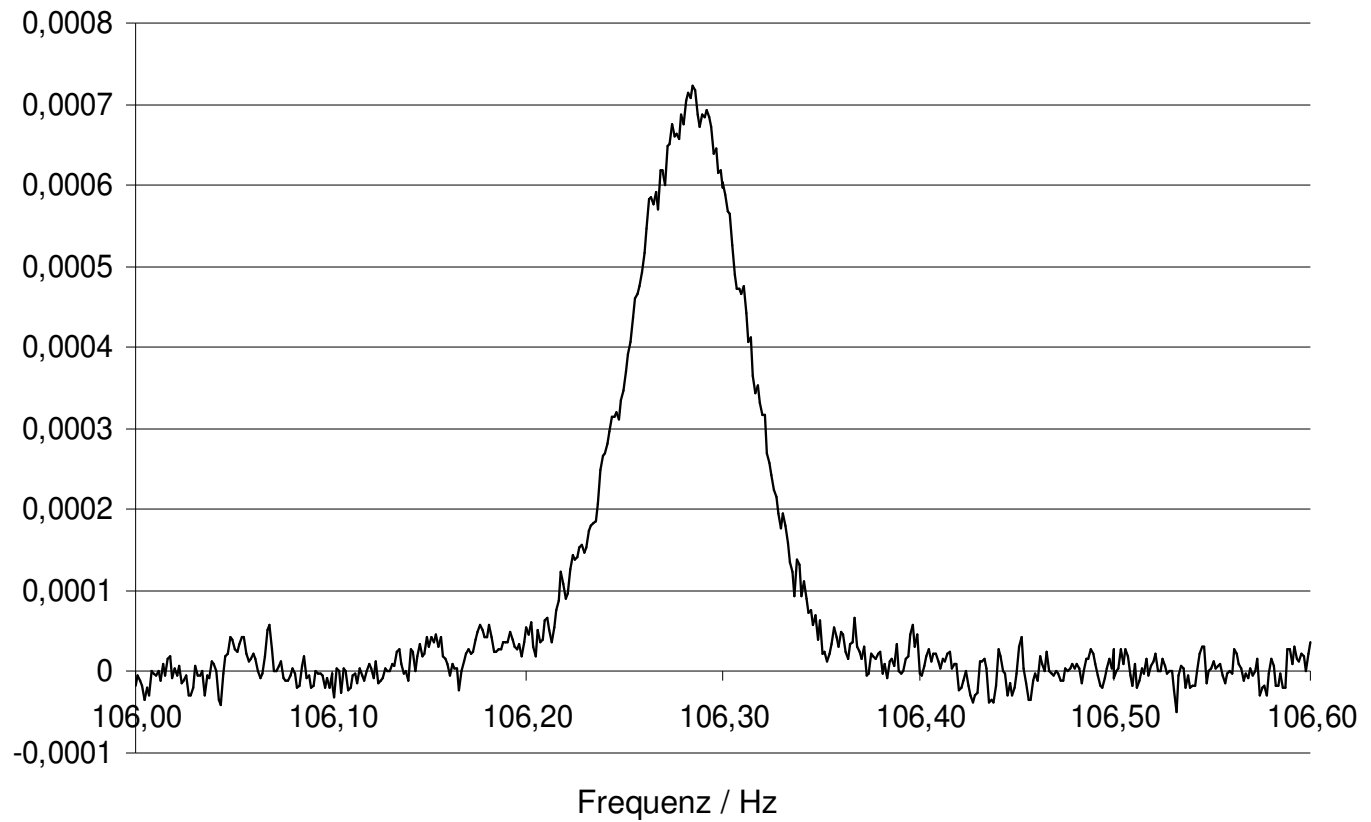
Aufbau

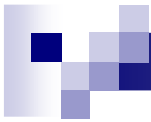
Kryostat

NMR-Modul

# Aufbau

*H-Butanol, 0,5% TEMPO*

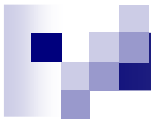




# Zusammenfassung

- Neuentwicklung des Liverpoolmoduls
  - Neue elektronische Komponenten (aufgrund von Unzugänglichkeit älterer, etc.)
  - Kompaktes und modulares Design
- Ausblick
  - Elektromagnetische und Temperatur-Abschirmung
  - Temperatur- und Langzeitstabilität der neuen elektronischen Komponenten
  - Linearitätstest





NMR

Theorie

cw-NMR

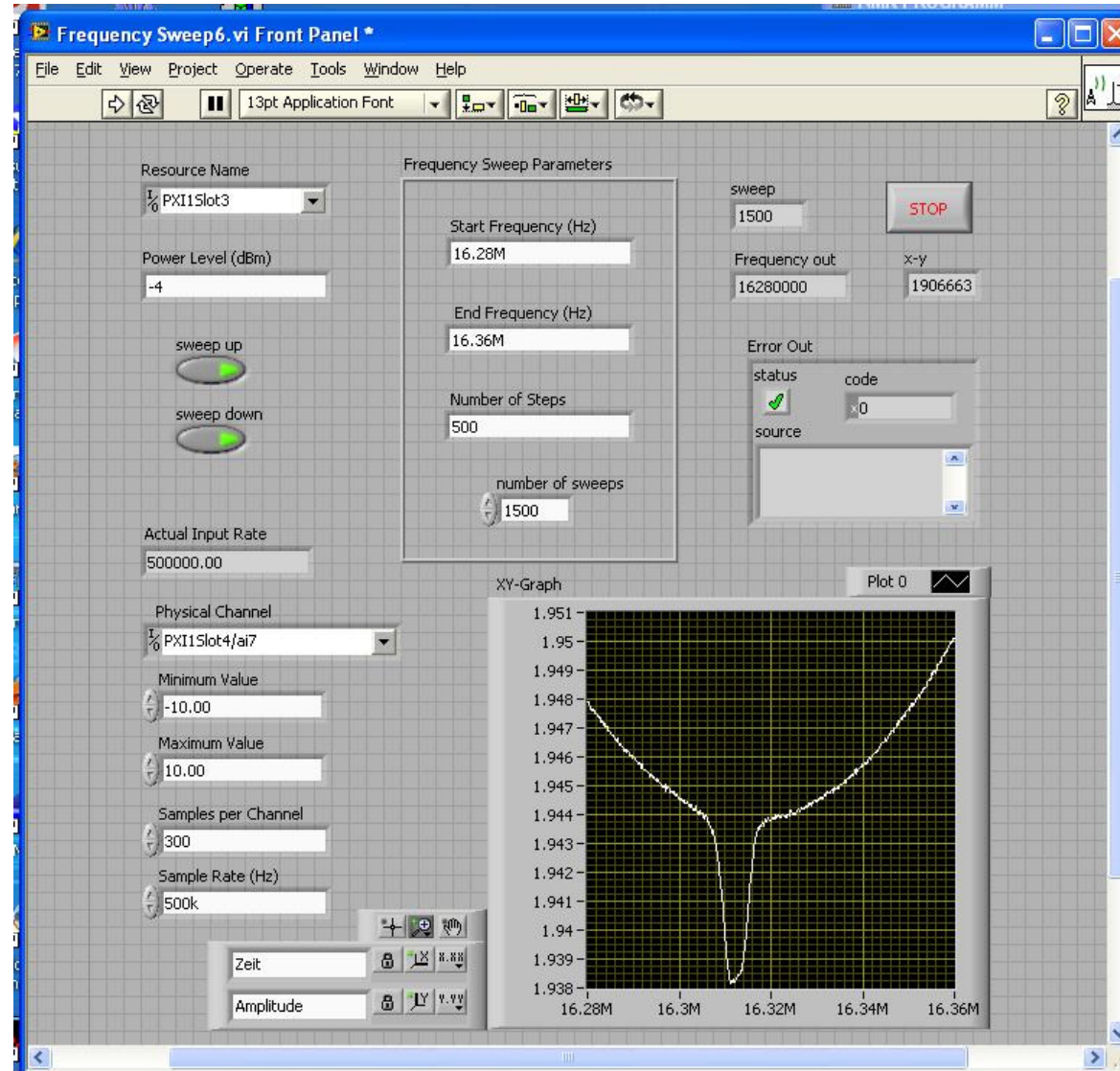
Q-Meter

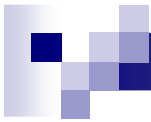
Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

# Backup





NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

Aufbau

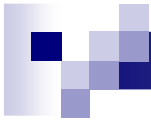
Kryostat

NMR-Modul

# Backup

- Phase sensitive detection (PSD) with fixed tuning
- Synchronous Resonance Tuning (SRT)
- Synchronous Phase Tuning (SPT)





# Backup

NMR

Theorie

cw-NMR

Q-Meter

Aufbau

Kryostat

NMR-Modul

