

Kolloquium zu biologischen Projekten im Rahmen  
des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms  
Neuherberg, 11.-12. Oktober 2005

---

---

„Wirkmechanismen an Zellen unter Exposition mit  
hochfrequenten EMF der Mobilfunktechnologie.  
Demodulation / Kommunikation“

**Stand der Expositionseinrichtungen  
und erste Resultate**

Jan Sakowski, Lehrstuhl für Biophysik, Universität Rostock

## Verwendete Expositionseinrichtungen für EMF im GHz-Bereich

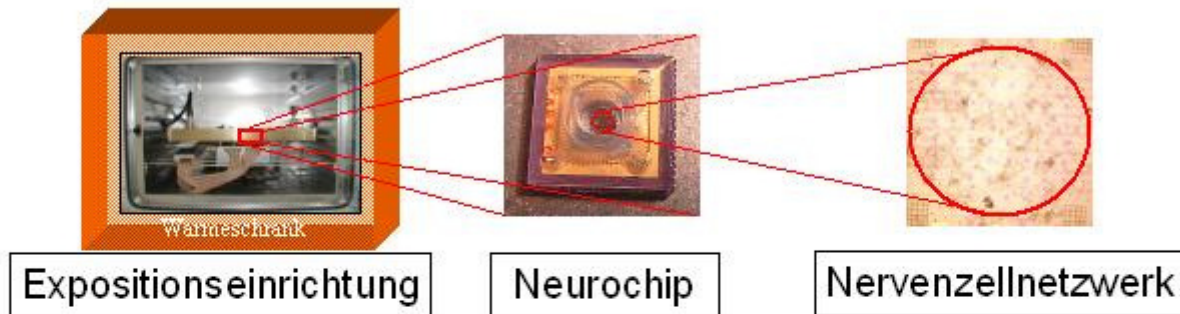
---

---

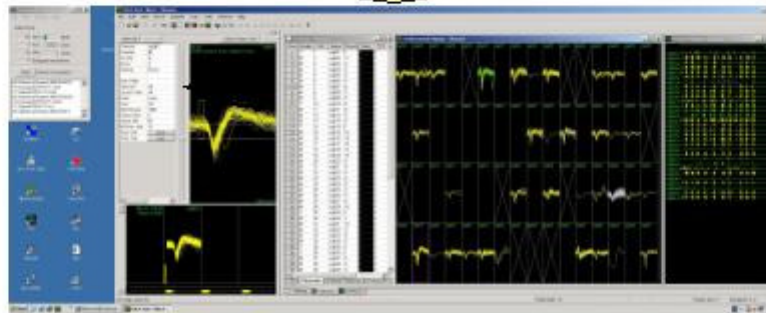
- |                          |   |
|--------------------------|---|
| I. Rechteckhohlleiter    | Exposition neuronaler Netzwerke auf Mikrochips                |
| II. Koaxiale Fluidkammer | Exposition von Zellsuspensionen                               |
| III. Mikrostrukturkammer | Dielektrische Spektroskopie an Einzelzellen (Elektrorotation) |

# I. Exposition neuronaler Netzwerke auf Mikrochips mit Hohlleiterwellen

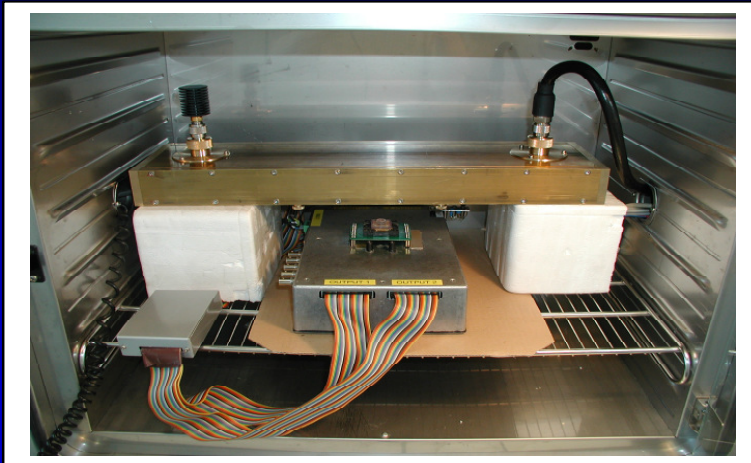
Zielstellung: Neuronale Aktivität unter Feldeinfluss:  
Exposition mit CW EMF und UMTS bei 2 GHz.  
Frage: Existiert eine direkte Wirkung?



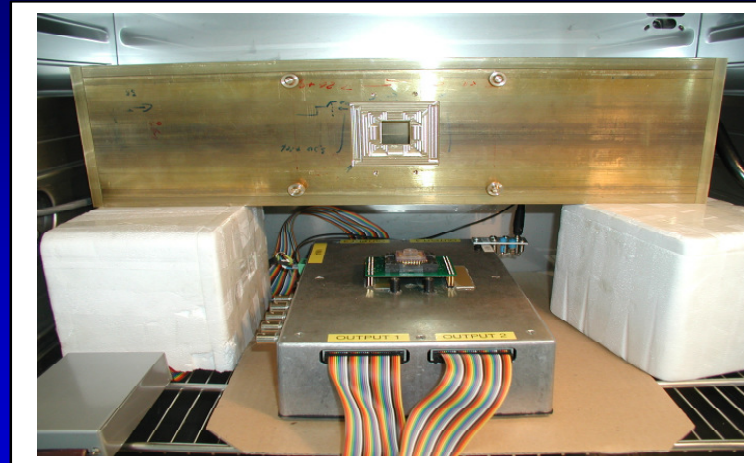
Aktionspotentiale der Nervenzellen



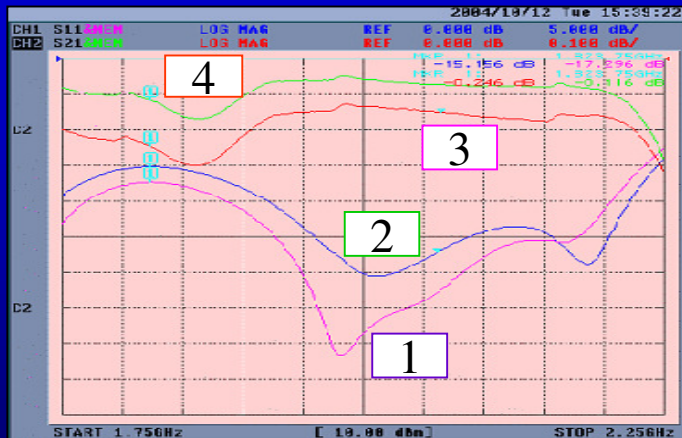
# Versuchsaufbau und Testung



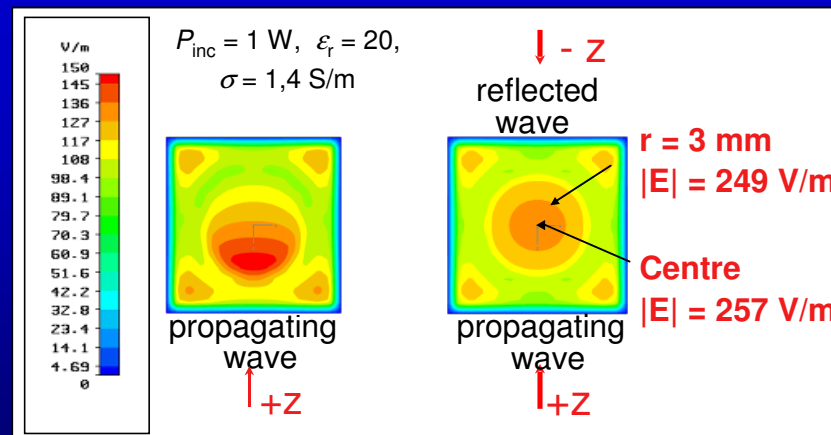
Hohlleiter, rechts Signaleinspeisung, links 50  $\Omega$  Abschlusswiderstand, darunter Neurochip mit Sockel und Nachverstärker.



Öffnung an der Unterseite des Hohlleiters, in welche nur der Fluidtrog (neuronales Netzwerk im Medium) aufgenommen wird.

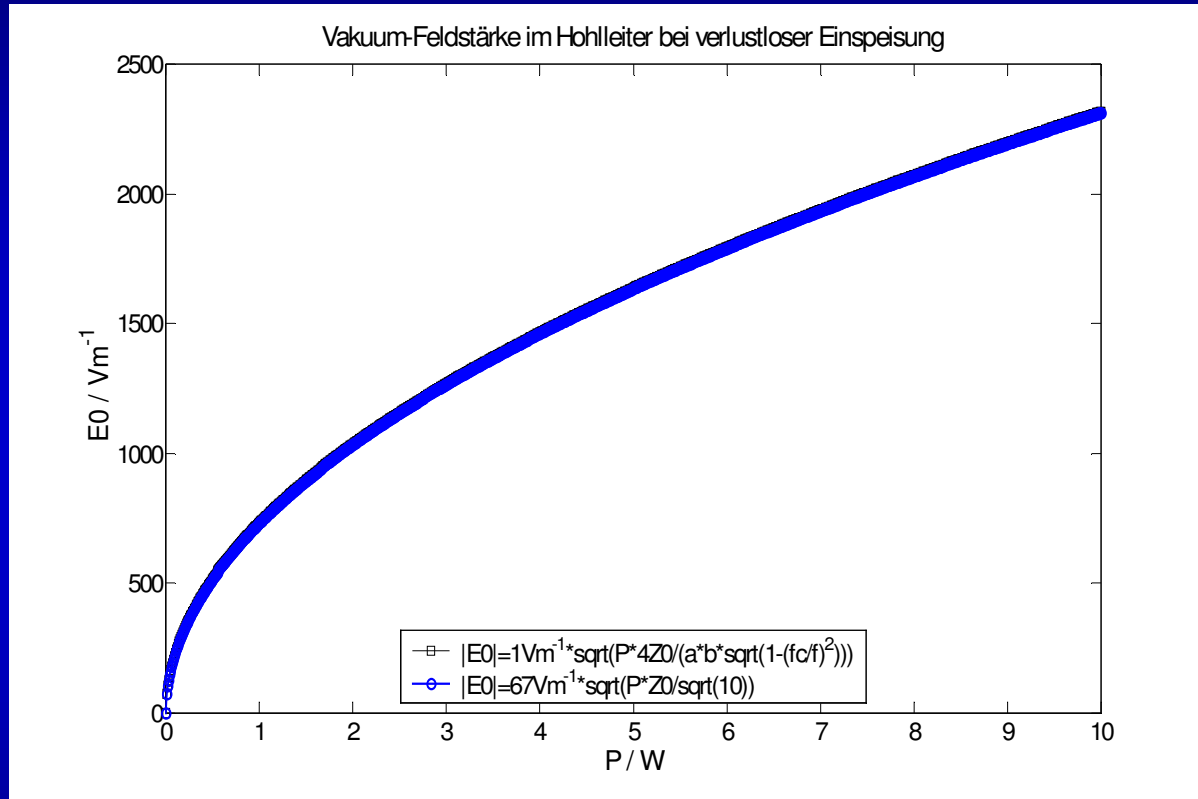


Charakteristik der Wellenausbreitung im Hohlleiter.



Feldverlauf am Boden des Fluidtrog (H.-W. Glock).

# Feldstärke der Hohlleiterwelle am Ort des Neurochips bei 2 GHz



$|E_0|$ : Vakuumfeldstärke, P: eingespeiste Leistung,  
 $a \cdot b$ : Querschnittsfläche des Hohlleiters,  
 $Z_0$ : Wellenwiderstand im Vakuum.

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} |E|^2 = \frac{\sigma}{2\rho} \left| \frac{E_0}{\epsilon_r} \right|^2.$$

$\sigma$ ,  $\epsilon_r$ ,  $\rho$ : diel. Parameter  
 und Dichte des Mediums.

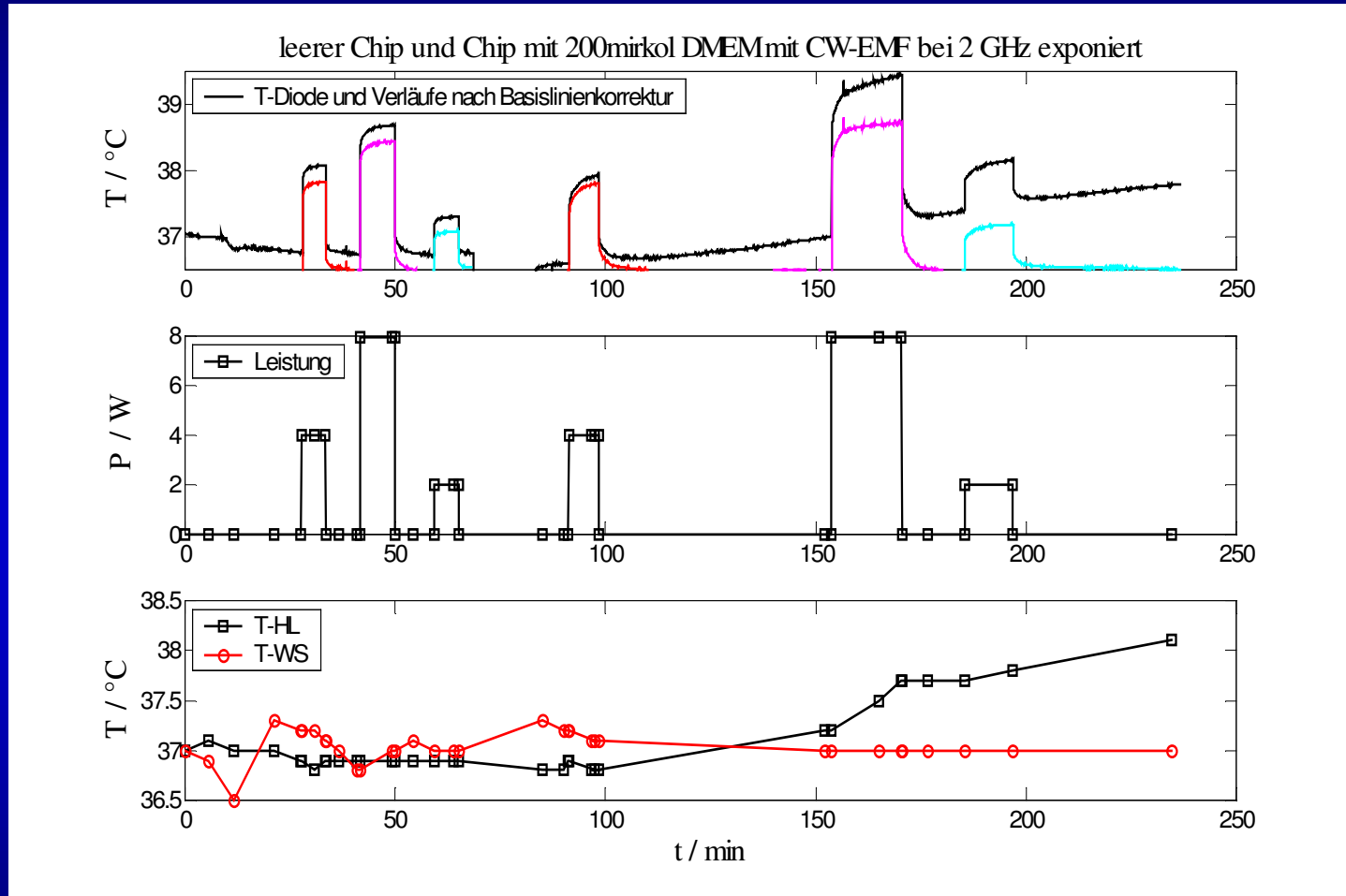
$$E_0(1\text{W}) = 732 \frac{\text{V}}{\text{m}},$$

$$SAR(1\text{W}) \approx 23 \frac{\text{W}}{\text{kg}}.$$

Prof. Dr. Ing. V. Hansen und Dr. Ing. J. Streckert,  
 Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik,  
 Bergische Universität - Gesamthochschule Wuppertal:

Edition Wissenschaft, FGF Ausgabe Nr. 14, Juni 1998  
 „Feldtheoretische Simulation der Hohlleitungs-  
 Experimente...“

# Feldwirkung auf das Medium und die Sensoren

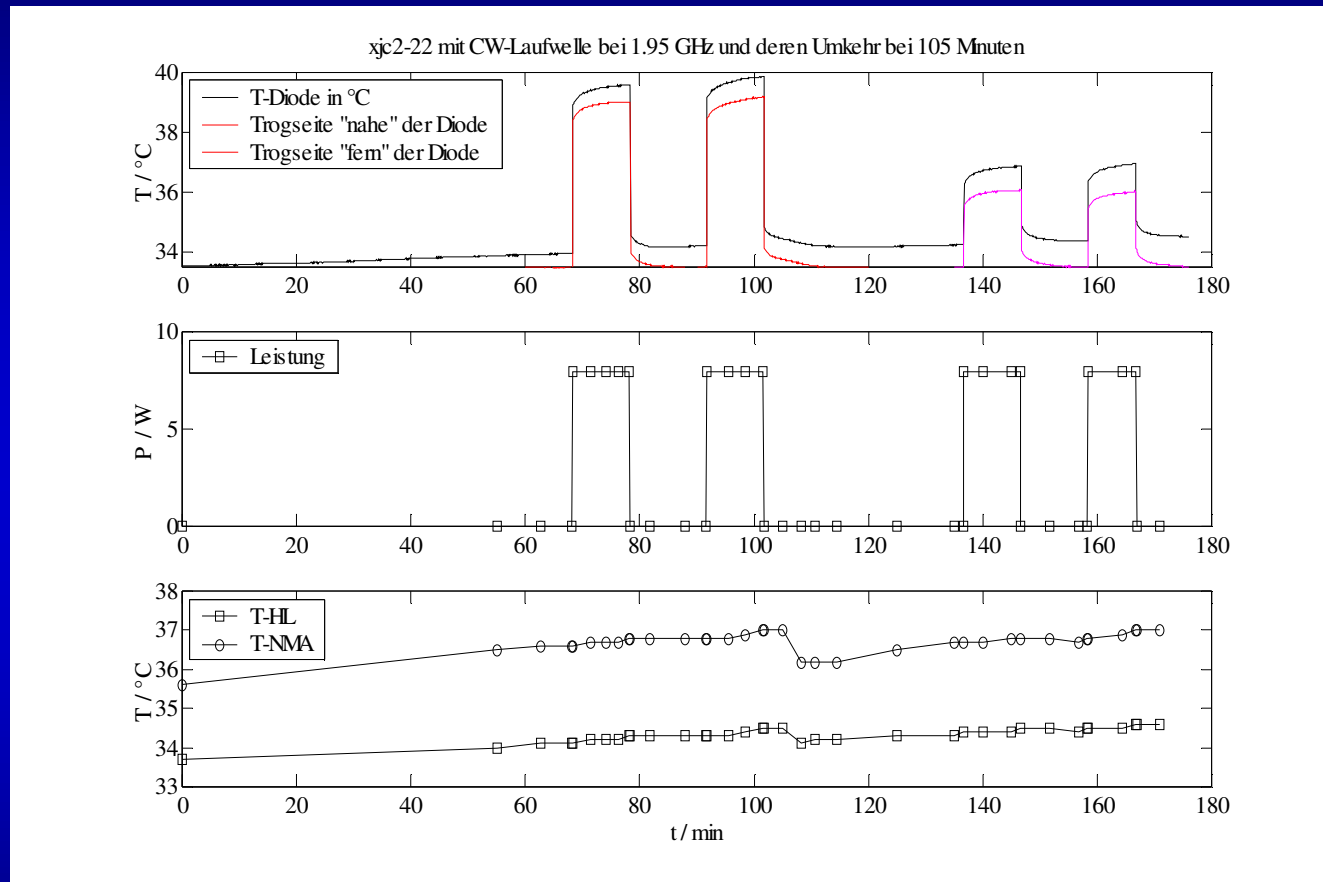


Sprungverhalten:  $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$ ; Erwärmung des Mikrochips:  $\sigma(T) = C_0 \exp[-W_a / (k_B T)]$ .

0.06 °C/W = Sensorkopplung (SAR ≈ ??? W/kg);

0.05 °C/W = Mediumkopplung (SAR ≈ 23 W/kg bei 1 W Feldleistung und 2 GHz).

# Testung des Temperaturgradienten im Laufwellenmode

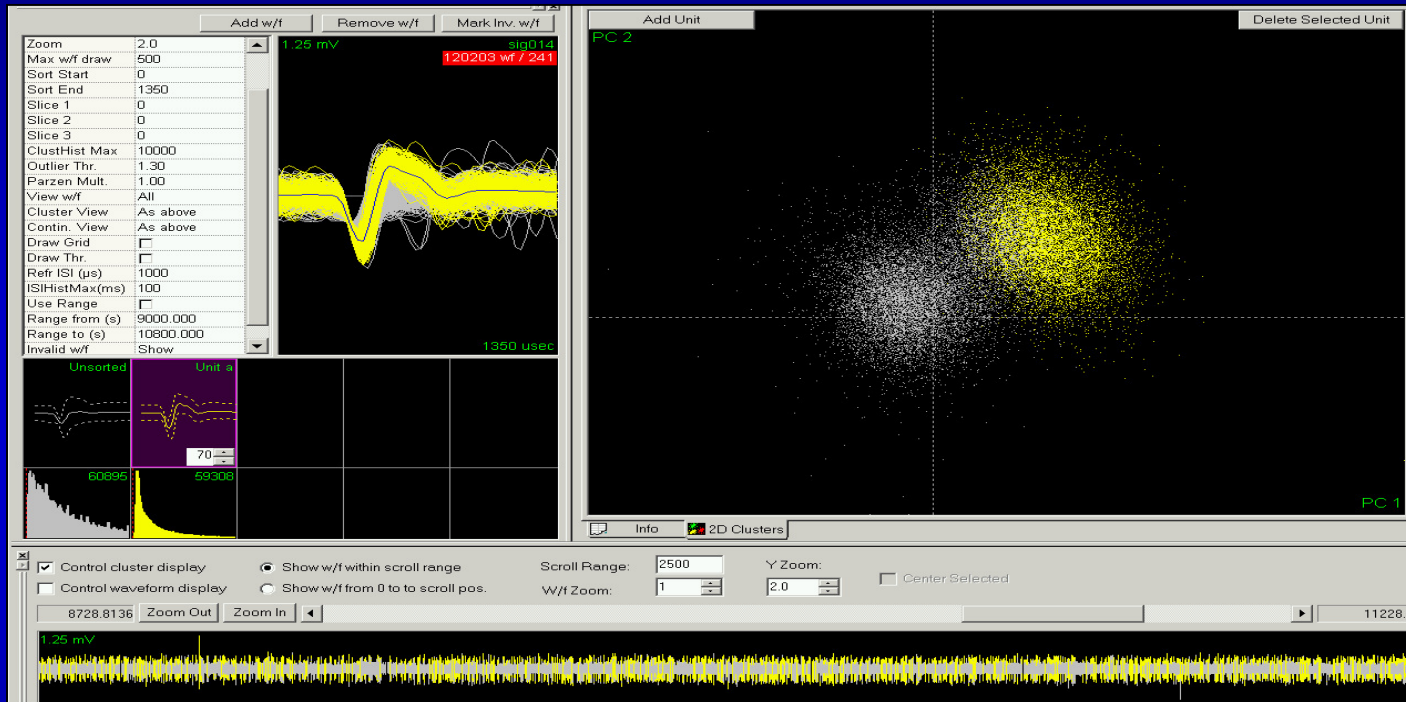


Laufrichtung 1:  $\Delta T_1/P \approx 0.76 \text{ } ^\circ\text{C}/8\text{W}$ ;    Laufrichtung 2:  $\Delta T_2/P \approx 0.58 \text{ } ^\circ\text{C}/8\text{W}$ .

Nach Abzug der Sensorkopplung folgt bei 8 W über 3 mm der Trogfläche:

$$\Delta SAR \approx 38 \text{ W/kg} \text{ und } \Delta|E| \approx 13 \text{ V/m.}$$

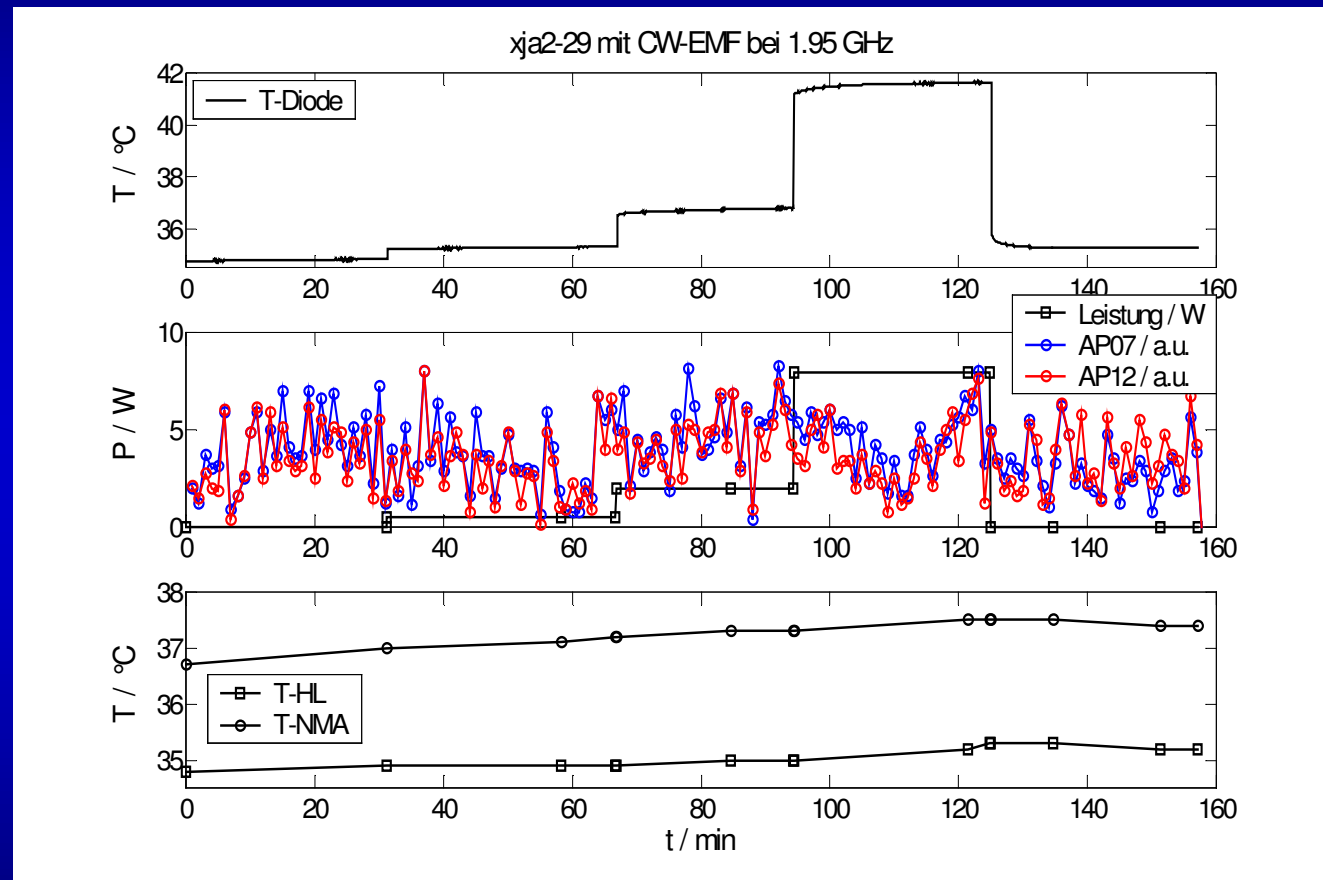
# Aufbereitung der Ableitungsdaten



Aufgabe: Filterung der Stör- und Netzsignalen (weißer Cluster) von den neuronalen Signalen (gelber Cluster).



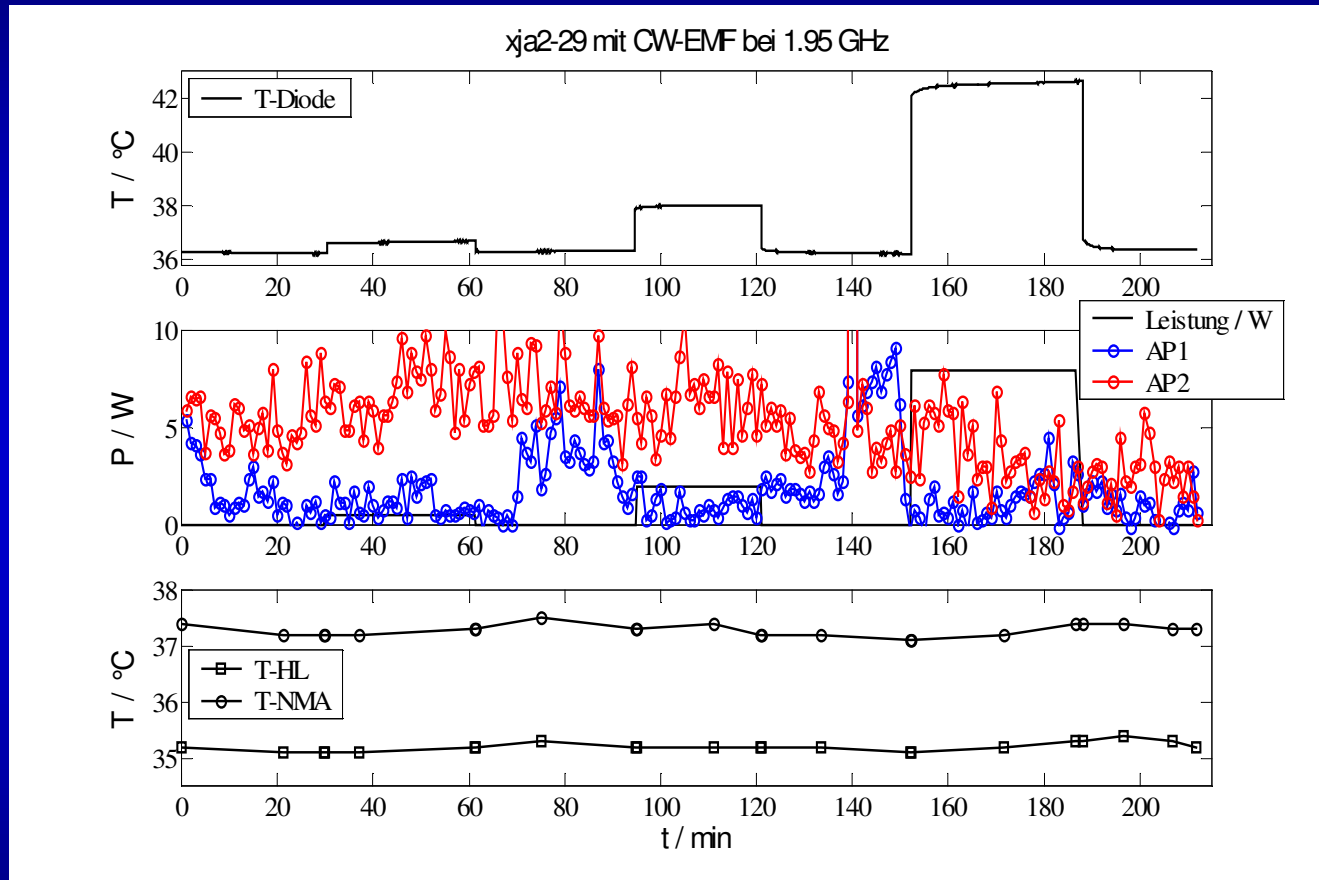
# Neuronale Aktivität (NA) unter CW-EMF bei stufenweise anwachsender Leistung



Zeitlicher Verlauf der neuronalen Aktivität an zwei Elektroden wie ein schwingendes System.

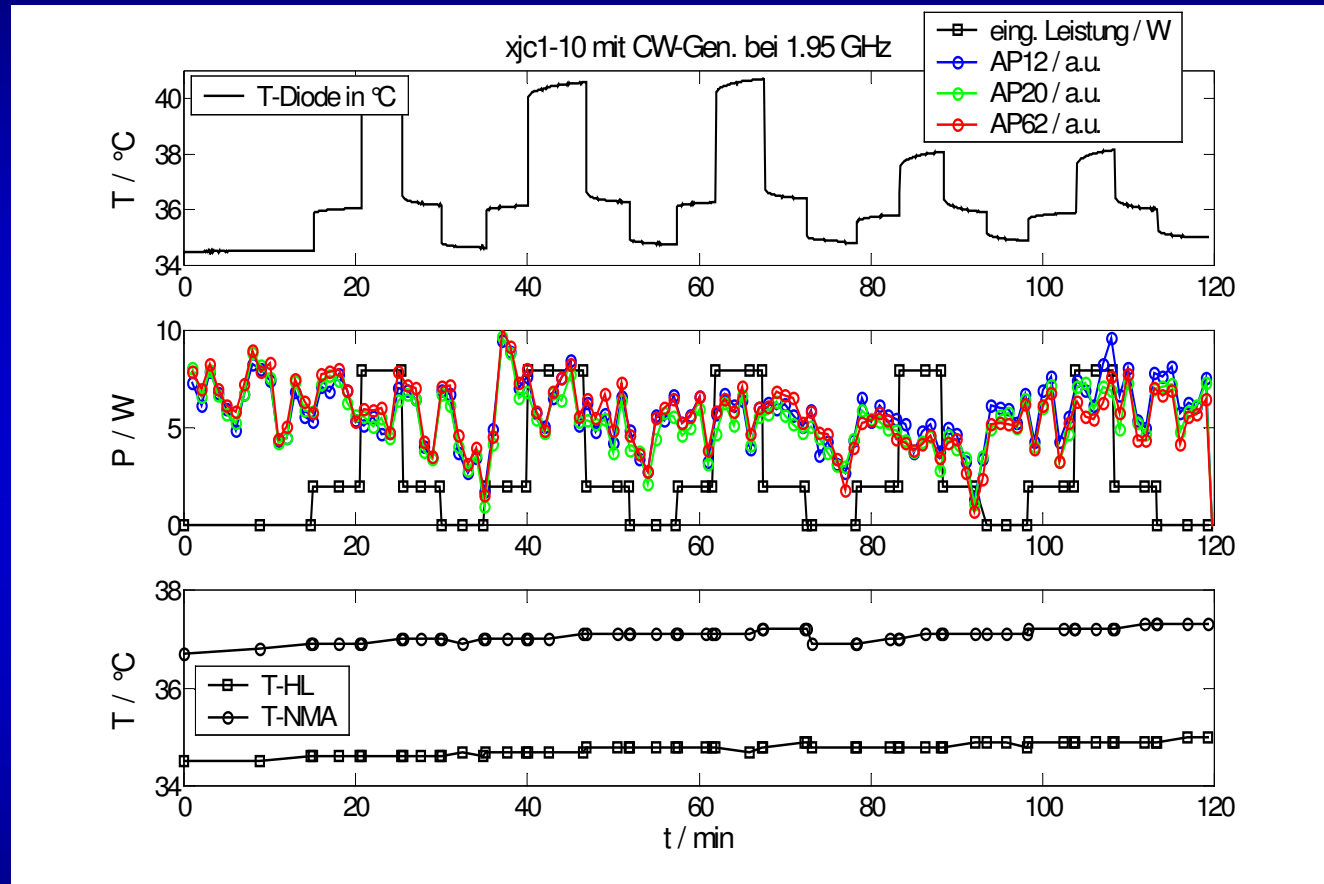
Frage nach einer Korrelation zur Expositionsleistung.

# Neuronale Aktivität unter CW-EMF bei 1.95 GHz in Intervallen



Schwingendes System. Existiert eine Korrelation zur Expositionsleistung?

# Ableitungen unter Exposition mit CW-EMF bei 1.95 GHz



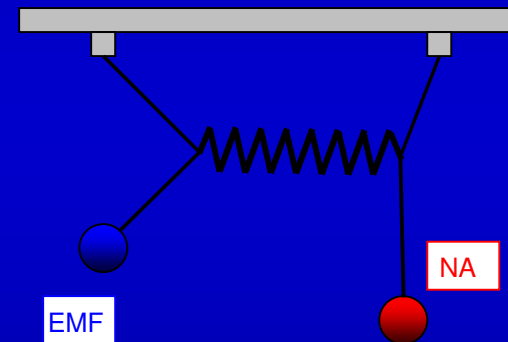
Kombination einer Leistungsänderung in ca. 5 Minuten-Schritten mit Umstellung vom Laufwellen- zum Stehwellenmode nach ca. 75 Minuten.

## Ausblick zur Exposition neuronaler Netzwerke auf Mikrochips mit Hohlleiterwellen

---

---

- Längere Messreihen zur Prüfung der Reproduzierbarkeit und Gegenüberstellung der Aktivität ohne Feld
- Auswertung der Aktivitätsspektren durch Fourieranalyse auf Linien des Expositionsmusters
- Auswertung und Erweiterung der Expositionsversuche mit UMTS

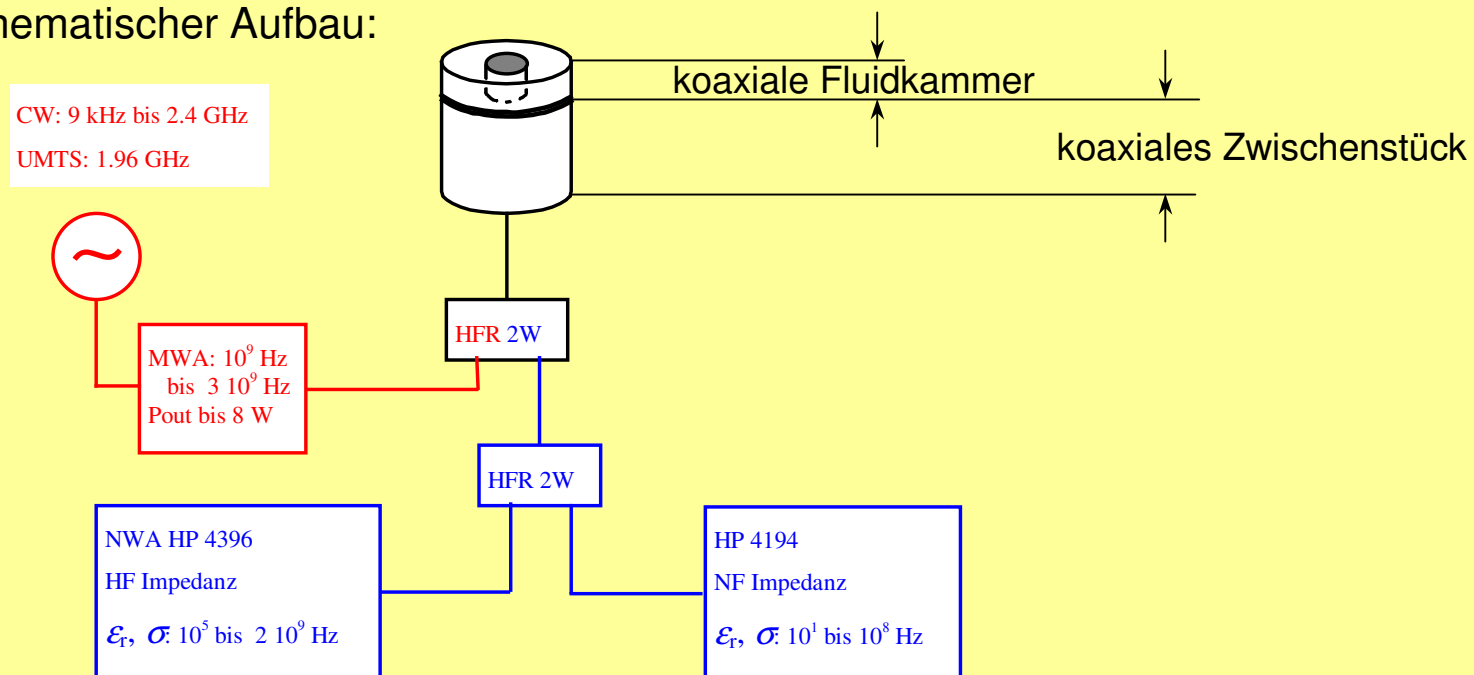


## II. Exposition von Zellsuspensionen in einer koaxialen Fluidkammer

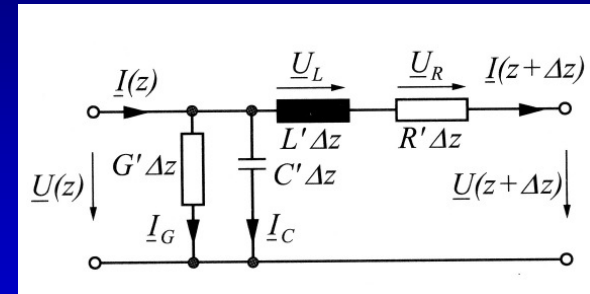
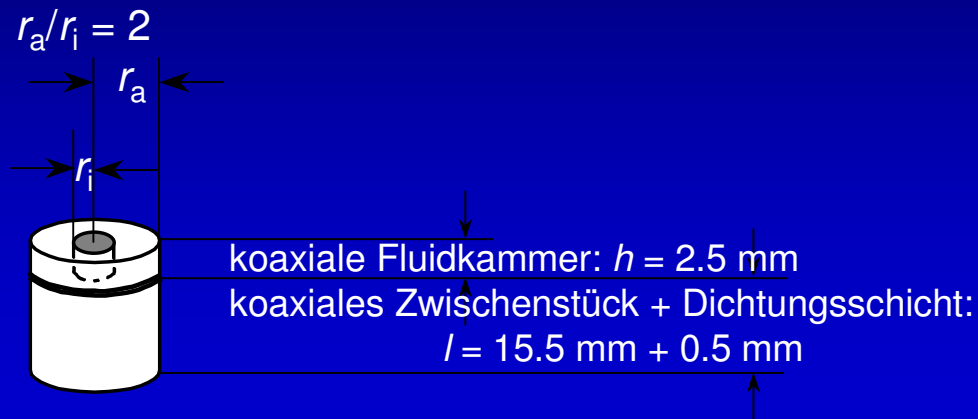
Zielstellung: Eigenbau einer kombinierten Expositions- und Messkammer für Zellsuspensionen im GHz-Bereich.

Frage: Existieren zusätzliche feldinduzierte Transportprozesse durch die Zellmembran bei 2 GHz ?

Schematischer Aufbau:



# Leitungsmodell der Fluidkammer



Ersatzschaltbild einer TEM-Leitung.

$$\vec{Z}_E(l_0) = \vec{Z}_W \left\{ \frac{1 + j \frac{\vec{Z}_W}{\vec{Z}_A} \tan(k_{l_0} l_0)}{\frac{\vec{Z}_W}{\vec{Z}_A} + j \tan(k_{l_0} l_0)} \right\},$$

$\vec{Z}_E(l_0)$ : Eingangsimpedanz einer Leitung der Länge  $l_0$

$\vec{Z}_A$ : Abschlussimpedanz dieser Leitung

$k_{l_0}$ : Wellenzahl in Ausbreitungsrichtung

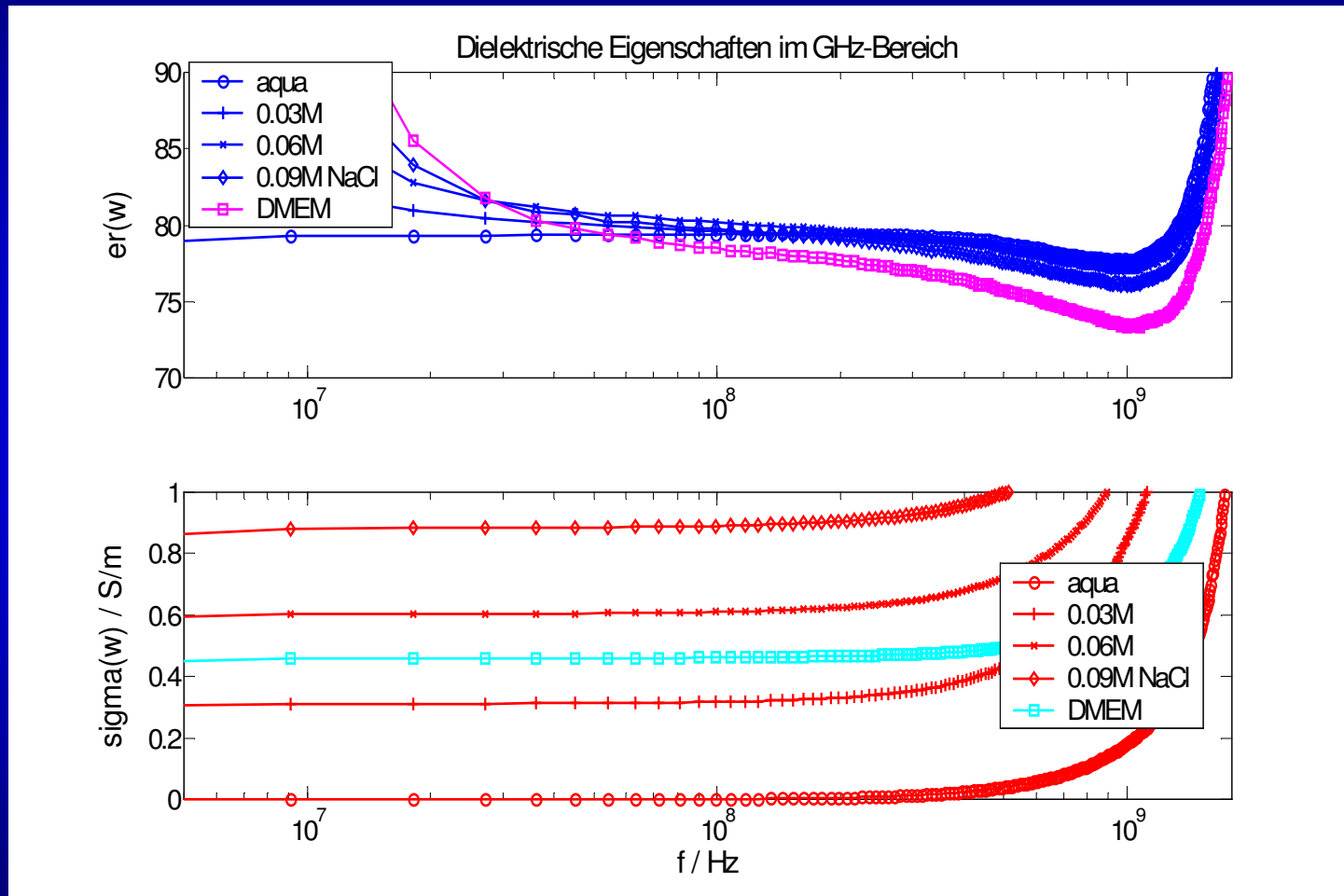
$\vec{Z}_W$ : Wellenwiderstand des Leitungsstücks.

$$G' + j\omega C' = \left\{ \frac{j \frac{\vec{Z}_E(h+l)}{\vec{Z}_E(h)} \tan\left(\frac{\omega l}{c}\right)}{j \vec{Z}_E(h) \tan\left(\frac{\omega l}{c}\right) + \vec{Z}_E(h+l)} \right\} \frac{1}{h},$$

$G' = \frac{2\pi}{\ln(r_a/r_i)} \sigma(\omega)$ : Leitwertbelag der Fluidkammer

$C' = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln(r_a/r_i)} \epsilon_r(\omega)$ : Kapazitätsbelag der Fluidkammer.

# Dielektrische Eigenschaften von Standardfluiden



Messbarkeit bis mindestens 0.5 GHz. Fluide über Leitfähigkeit charakterisierbar.

## Ausblick zu Expositionen von Zellsuspensionen im GHz-Bereich

---

---

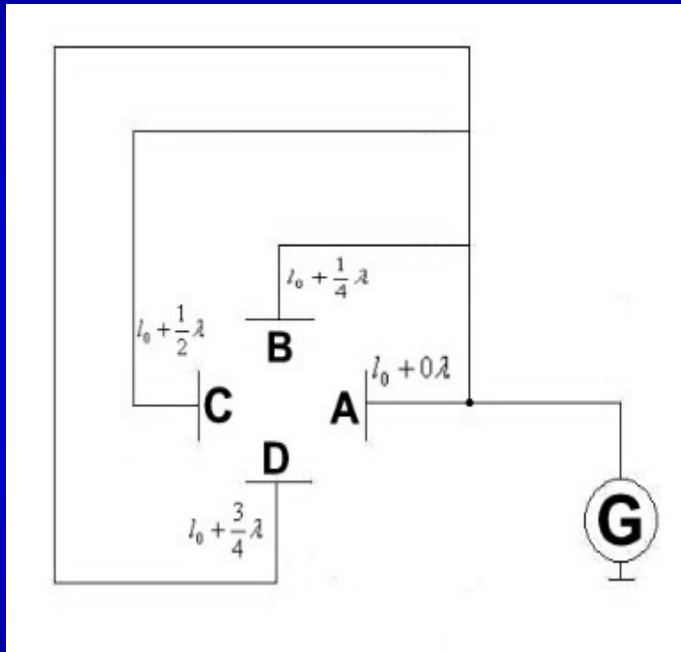
- Verbesserung des Leitungsmodells für GHz-Frequenzen – kapazitive Abschlussimpedanz des Deckels der Messkammer und frequenzabh. Wellenwiderstand des coaxialen Zwischenstücks müssen berücksichtigt werden.
- Testung des kombinierten Expositions- und Messaufbaus an Standardsuspensionen und am Zellmedium.
- Aufnahme der Kinetik von Transportprozesse durch die Zellmembran in Abhängigkeit von Feldstärke und Expositionszeit – Vergleich der Zeitabläufe ohne EMF.



## Elektrorotation im GHz-Bereich

---

---

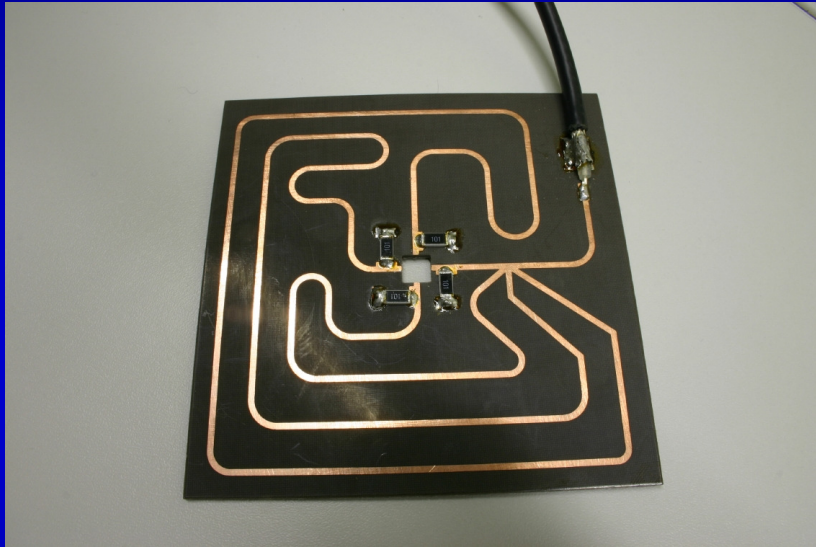


- Erzeugung des elektrischen Drehfeldes mittels passiver Verzögerungsleitungen:  
4 Abschlusspunkte (A,B,C,D) mit benachbarten Phasenwinkel von 90 Grad
- Laufzeitdifferenzen durch definierte Längenunterschiede der Zuleitungen

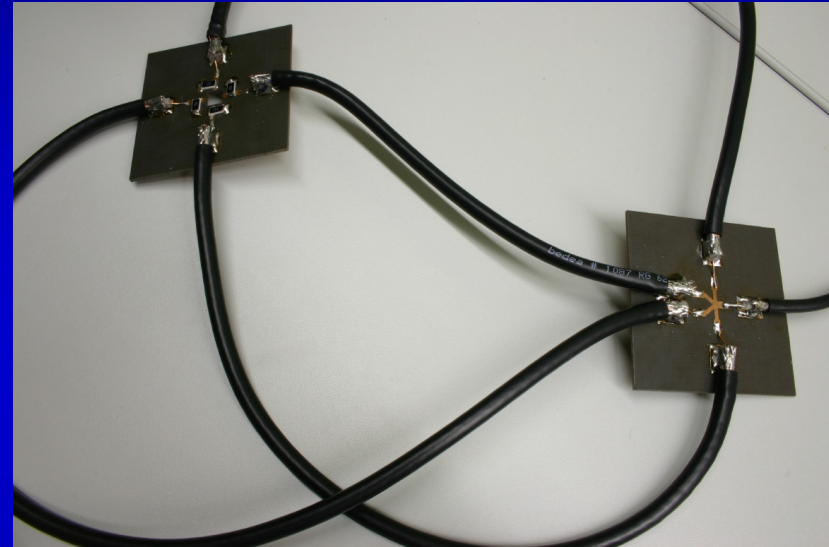
# Elektrorotation im GHz-Bereich

---

---

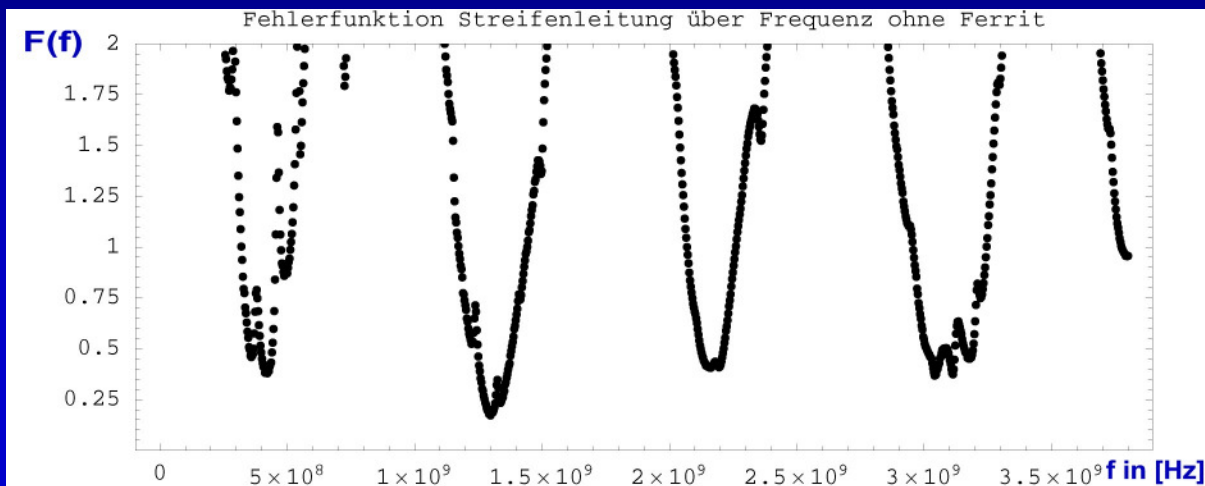


Chipträger mit Streifenleitung

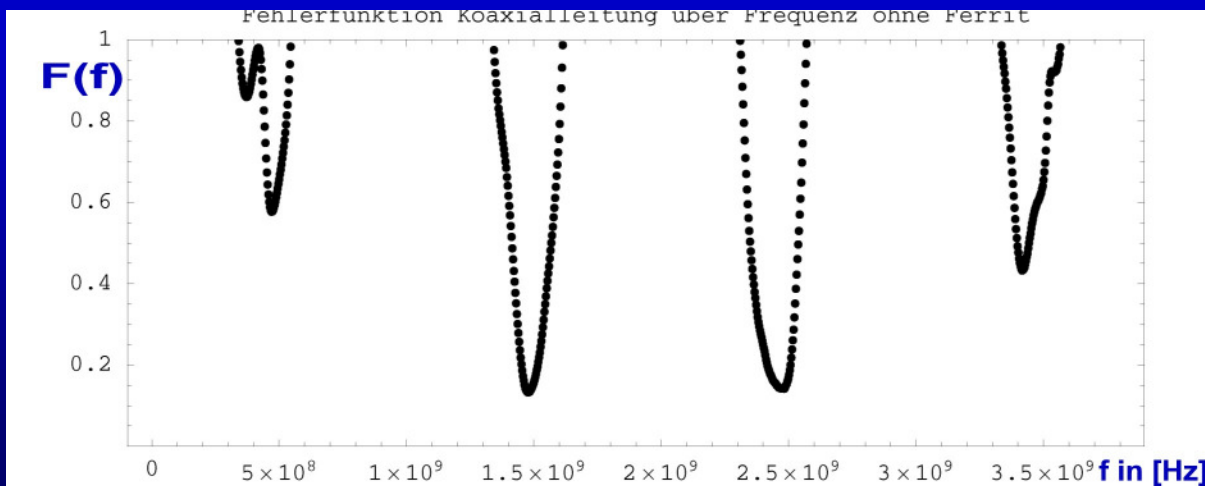


Chipträger mit Koaxialleitung

# Güte des Drehfeldes zwischen den Abschlusspunkten



Chipträger mit  
Streifenleitung



Chipträger mit  
Koaxialleitung

## Ausblick zur Elektrorotation an Einzelzellen im GHz-Bereich

---

---

- Testung der Chipträger mit mikrostrukturierter 4-Elektrodenkammer an roten Blutzellen und anderen biol. Objekten geeigneter Größe und sphäroider Geometrie in Fluiden geringer Leitfähigkeit.
- Aufnahme des Rotationsverhaltens dieser Objekte um die ermittelten Frequenzpunkte für bestmögliche Rotationsfeldsymmetrie bis 5 GHz.

# Danksagung

---

---

- Mitarbeiter des Lehrstuhls für Biophysik der Universität Rostock und des Forschungsprojekts, insbesondere Herr Prof. Dr. Jan Gimsa, Herr Philipp Köster, Frau Dr. Anke Scheunemann, Frau Jutta Donath, Herr Dr. Werner Baumann, Herr Dr. Erik Schreiber, Fa. Bionas GmbH
- Herr Dr. Hans-Walter Glock, Institut für Allgemeine Elektrotechnik
- Herr Prof. Dr. Ing. V. Hansen, Herr Dr. Ing. J. Streckert, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Bergische Universität Wuppertal, Herr Dr. Friedrich, FGF
- Bundesamt für Strahlenschutz für die Finanzierung der Forschung

