

Aufbau und dosimetrische Charakterisierung einer „in vitro“-Expositionseinrichtung



cand.-Ing. Christian Adami

- Einleitung
- Normung
- Messaufbau zur Bestimmung der Impulsantworten der Retina
- Expositionseinrichtung
- Integration des Messaufbaus in die Expositionseinrichtung
- Numerische Berechnungen
- Simulationsergebnisse
- Charakterisierung
- Zusammenfassung

- Öffentliche Diskussion über Einflüsse elektromagnetischer Strahlung von Mobiltelefonen und funkbasierten Technologien auf Mensch und Umwelt
- In einem Projekt des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) im Rahmen des Mobilfunkforschungsprogramms: Klärung des Einflusses von hochfrequenten elektromagnetischen Mobilfunkfeldern auf Retinazellen
- In dieser Arbeit: Aufbau einer Expositionseinrichtung
- Integration eines existierenden Messaufbaus zur Messung von Impulsantworten von Retinazellen in eine Expositionseinrichtung
- Messung der Aktivität der Ganglienzellen durch Multielektrodenarray bei bestimmten SAR-Intensitäten
- Genaue Bestimmung der SAR in der Retina

- Basisgrenzwerte: Spezifische Absorptionsrate

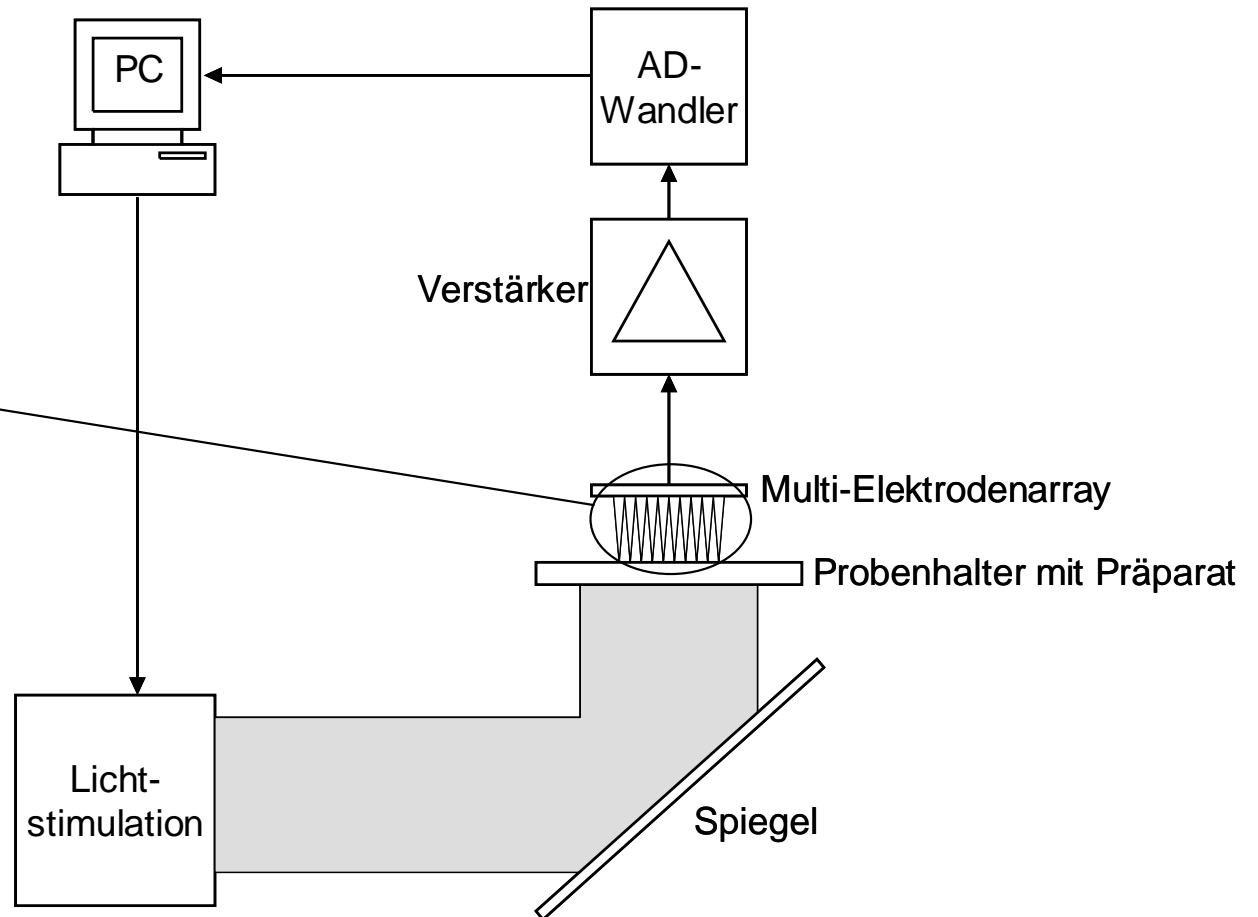
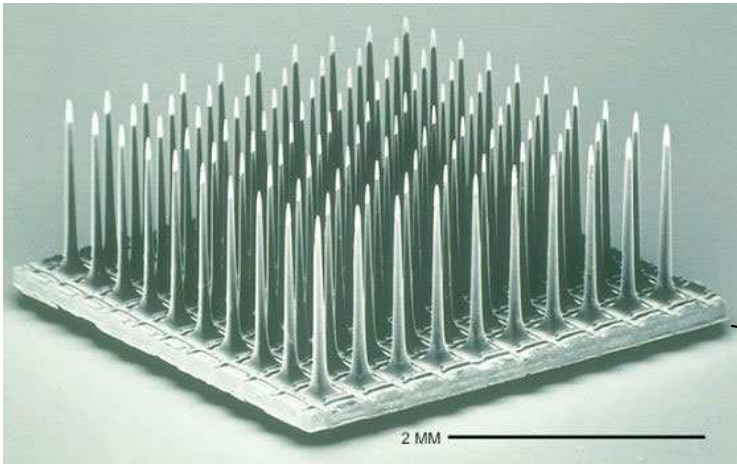
$$SAR = c \frac{dT}{dt} = \frac{\sigma E^2}{\rho}$$

- Übersicht über die gültigen Personenschutzgrenzwerte:

Standart	Status	Basisgrenzwert
ICNIRP 1998	Richtlinie	$SAR_{10g} = 2,0 \text{ W/kg}$
ANSI C95.1	Norm	$SAR_{1g} = 1,6 \text{ W/kg}$

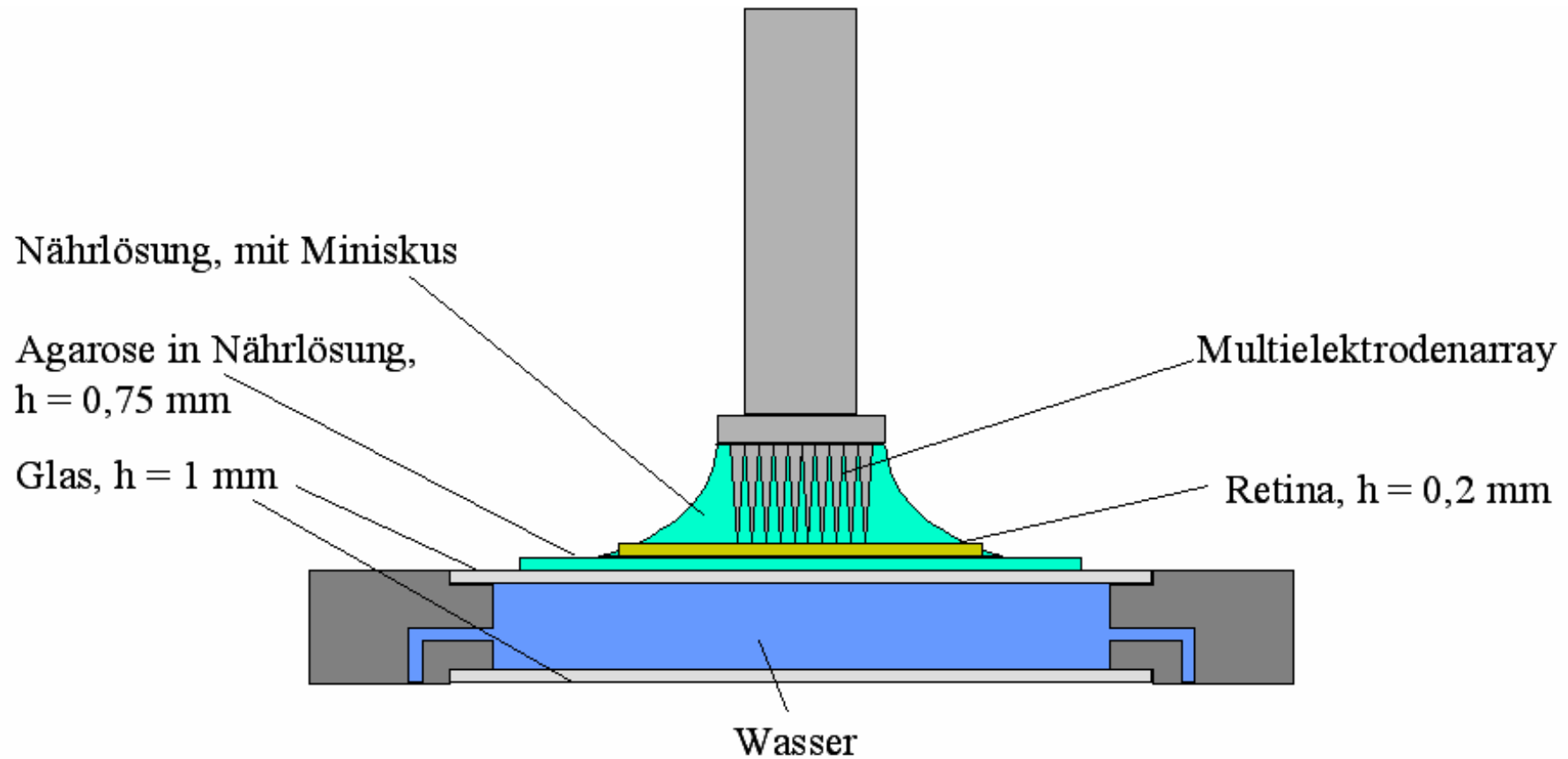
Messaufbau zur Bestimmung der Impulsantworten der Retina

Messaufbau mit Multielektrodenarray



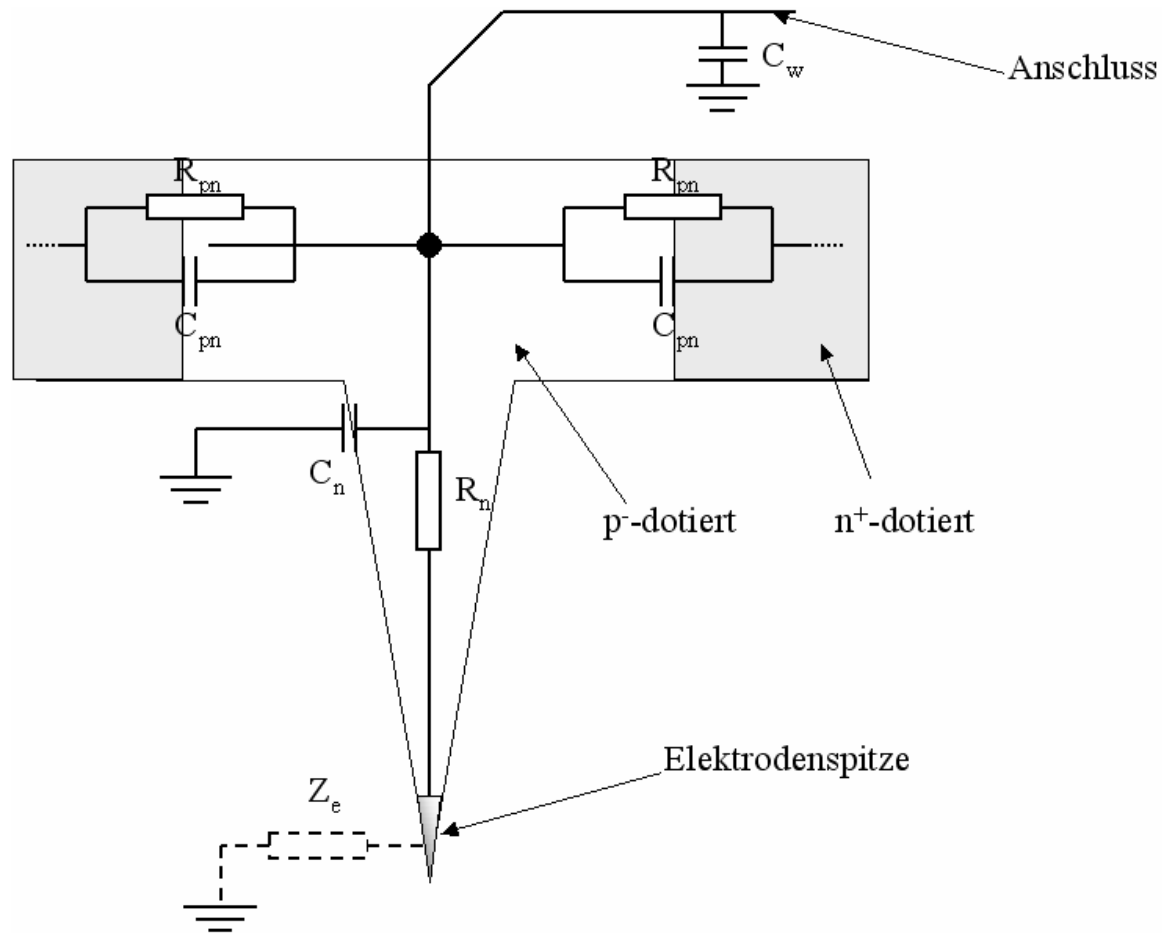
Messaufbau zur Bestimmung der Impulsantworten der Retina

Messaufbau mit Multielektrodenarray Probenhalter ohne Exposition



Messaufbau zur Bestimmung der Impulsantworten der Retina

NF-Ersatzschaltbild für eine Elektrode des Elektrodenarrays



$$C_w = 8,7 \text{ pF}$$

$$R_{pn} = 300 \text{ M}\Omega$$

$$C_{pn} = 5,0 \text{ pF}$$

$$R_n = 50 \text{ }\Omega$$

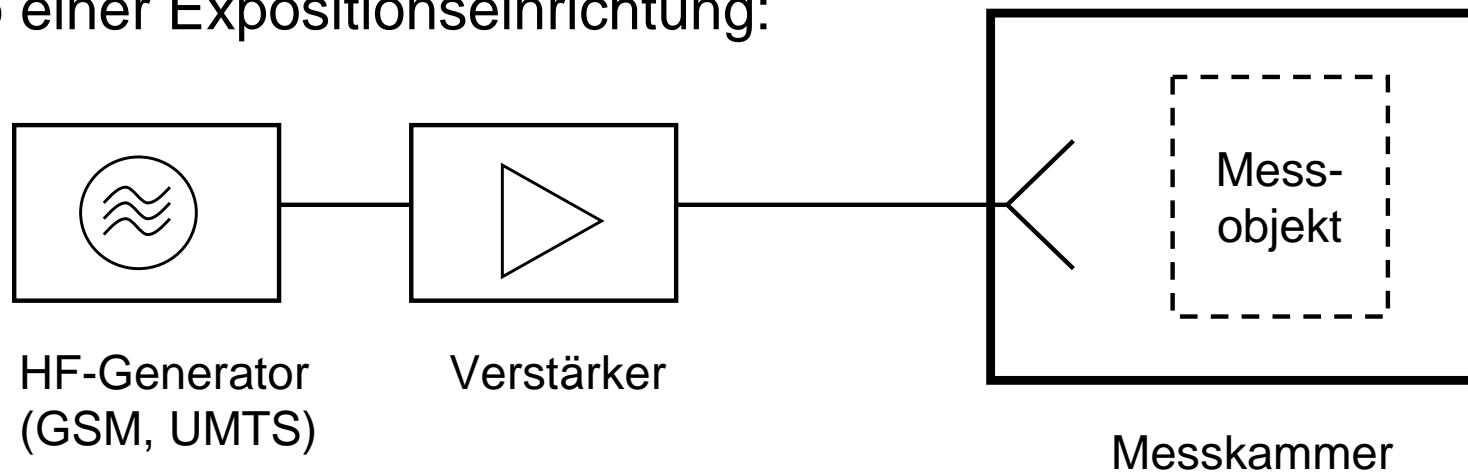
$$C_n = 1,4 \text{ pF}$$

$$Z_e = 15 \text{ k}\Omega$$

Anforderungen [Hansen 1997]

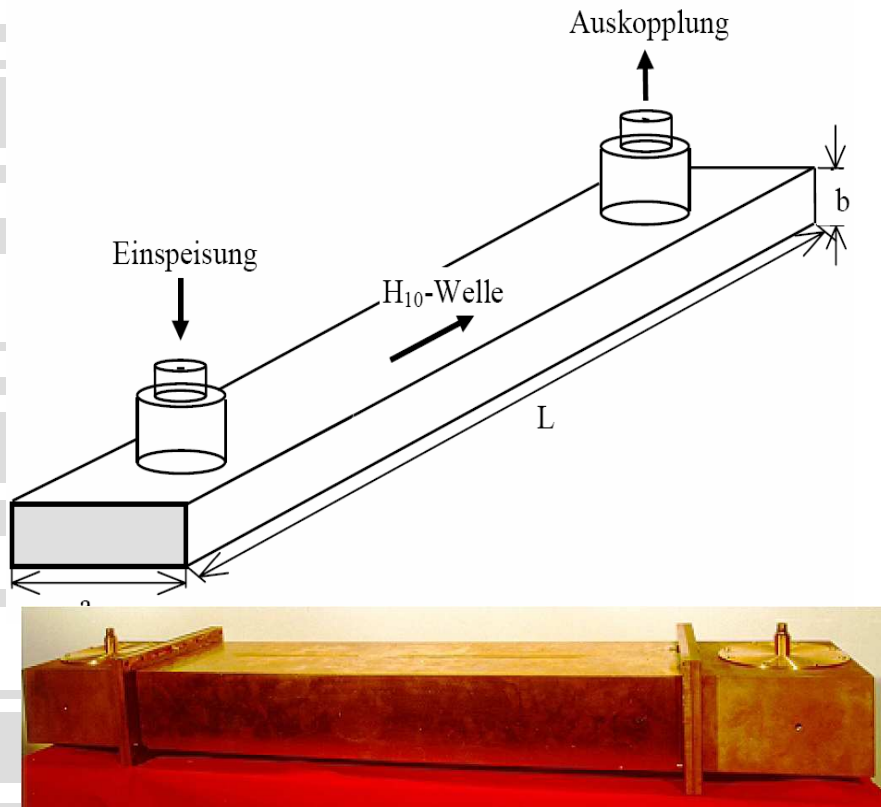
- Biologische Anforderungen, wie z.B. konstante Temperatur der Probe, einfache Zugänglichkeit der Probe
- Technische Anforderungen, wie z.B. Analyse der Feldverteilung, HF-Abschirmung
- Testsignale: GSM, UMTS

Prinzip einer Expositionseinrichtung:



Stand der Technik

Hohlleiterexpositionseinrichtungen [Streckert 1998, Bitz 2003]



- Für „patch clamp“-Technik
- Elektrode als elektrolytgefüllte Glaspipette ausgeführt
- Variation der SAR-Verteilung: ± 1 dB
- Schlechter Wirkungsgrad (SAR < 2 W/kg bei 1 W Leistung)
- Prinzip ist für dieses Projekt nicht geeignet

Stand der Technik

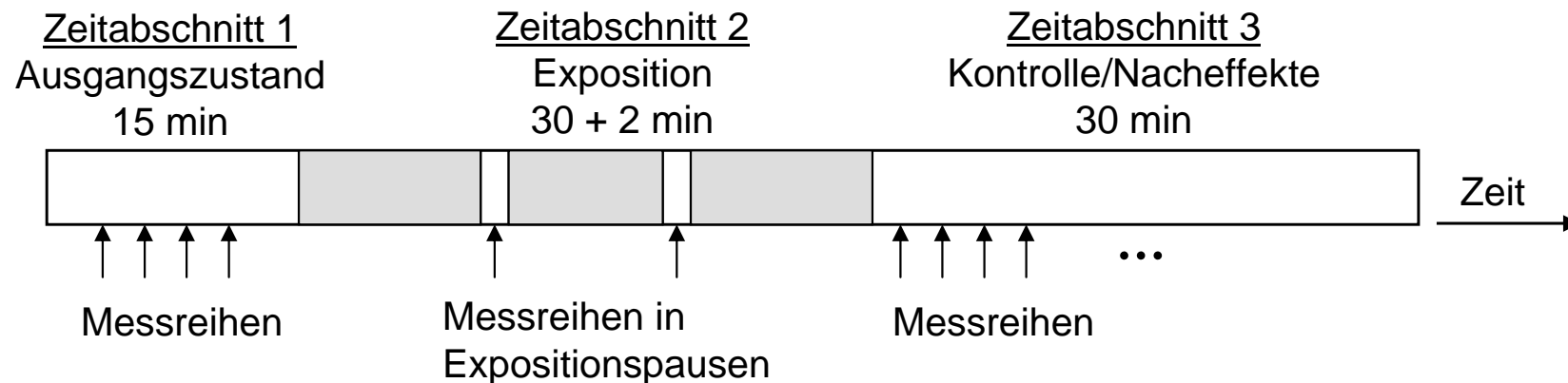
Hohlleiterresonator [Schuderer 2004]



- Für 1800 MHz
- Exposition von sechs Proben in den H-Feld-Maxima
- Hoher Wirkungsgrad (> 20 W/kg bei 1 W Leistung)
- Variation der SAR-Verteilung: $\pm 1,6$ dB
- Prinzip ist für dieses Projekt geeignet

Integration des Probenhalters in die Expositionseinrichtung

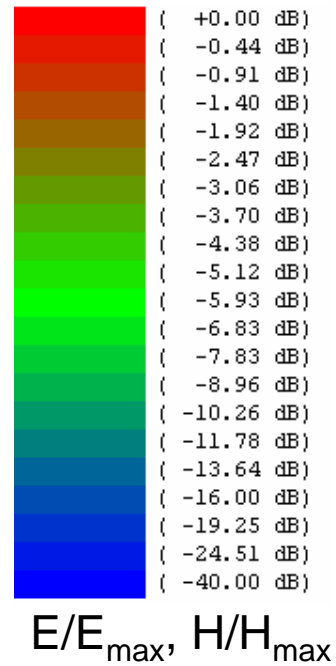
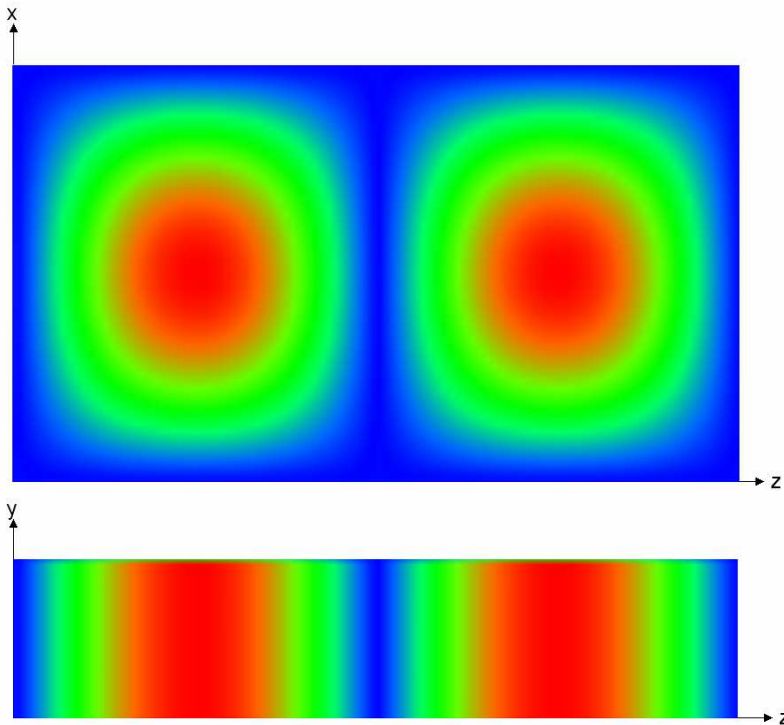
- Verwendung von Hohlraumresonatoren zur Erreichung hoher SAR-Werte (20 W/kg)
- Betriebsfrequenzen: 900 MHz, 1750 MHz, 1966 MHz
- Integration des Messaufbaus mit Multielektrodenarray in den Resonator
- Versuchsdurchführung: Messungen mit verschiedenen Intensitäten von 0,02 W/kg bis 20 W/kg; Elektrodenarray verbleibt vor und während der Exposition für Messreihen in der Retina



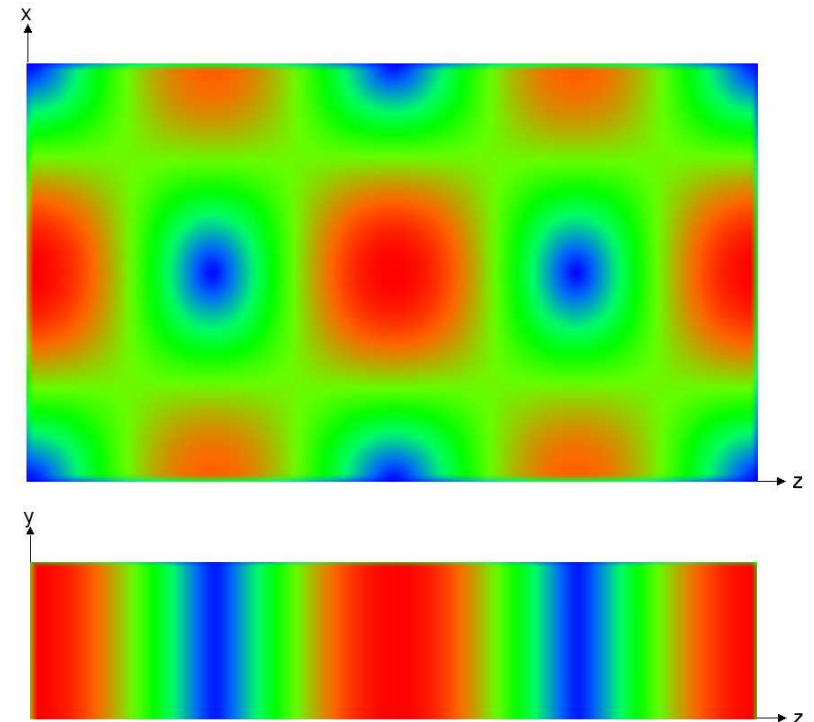
Numerische Berechnungen

Feldverteilung im Resonator, H_{102} -Mode

Elektrisches Feld

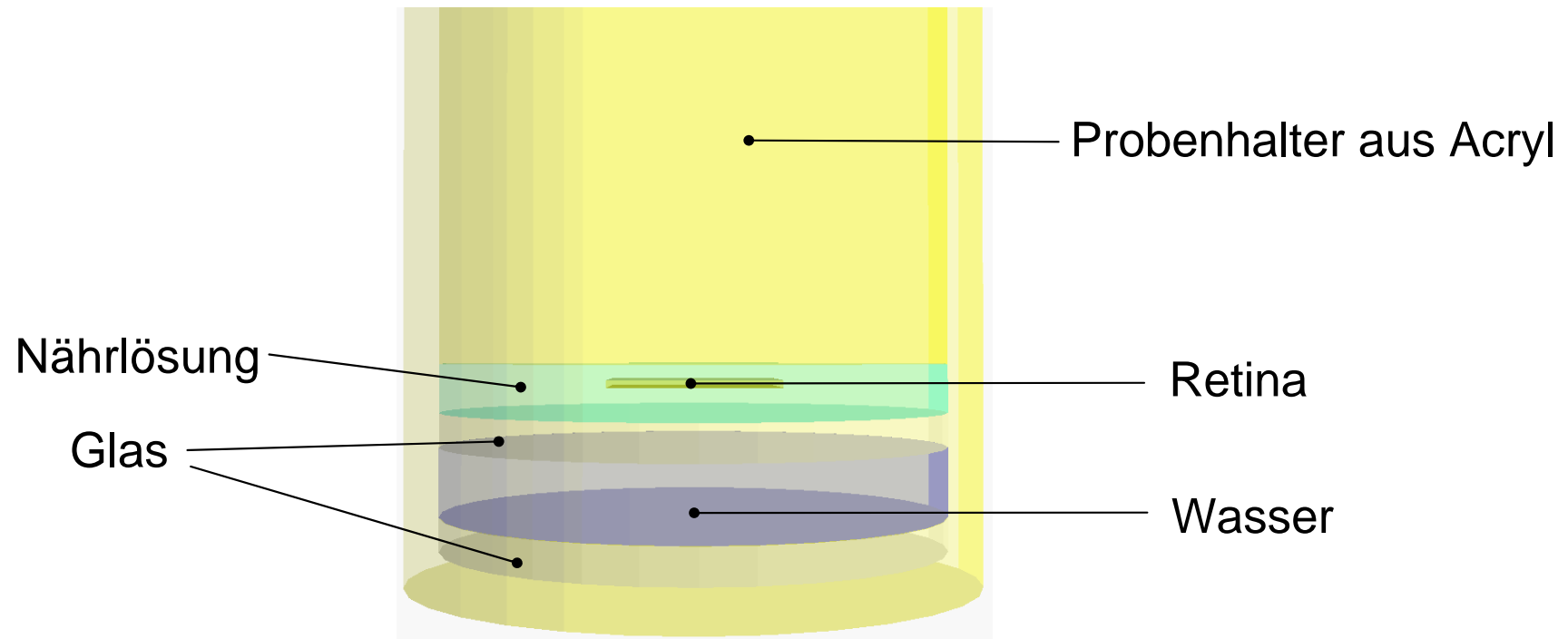


Magnetisches Feld



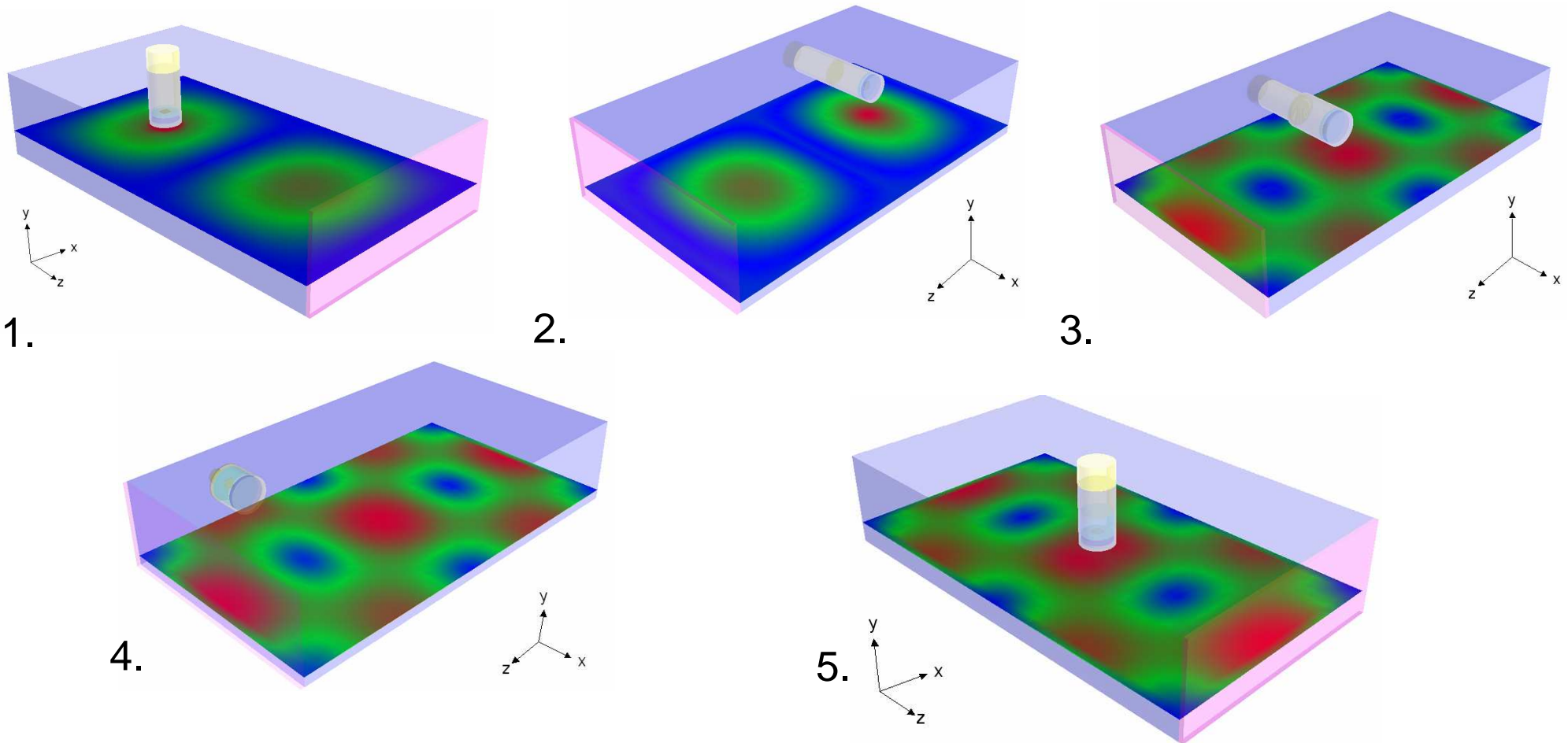
Numerische Berechnungen

Numerisches Modell des Probenhalters für die Expositionseinrichtung



Numerische Berechnungen

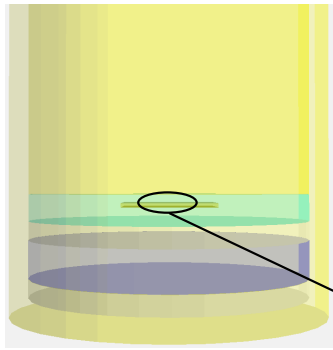
Positionen des Probenhalters im Resonator



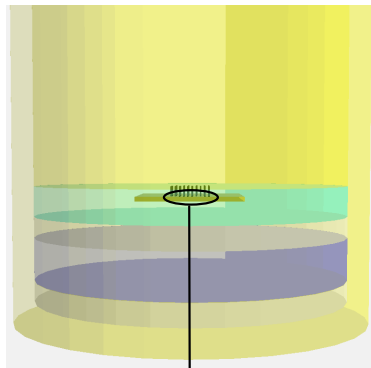
Simulationsergebnisse

Auswertung für drei Konfigurationen pro Position

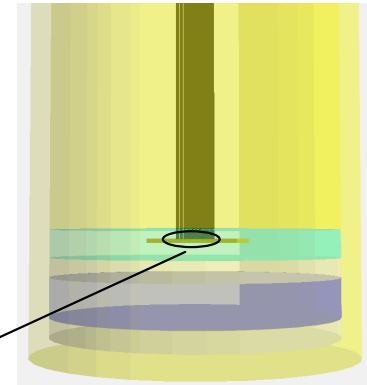
a) Ohne Elektrodenarray



b) Mit Elektrodenarray



c) Mit Elektrodenarray und Zuleitungen

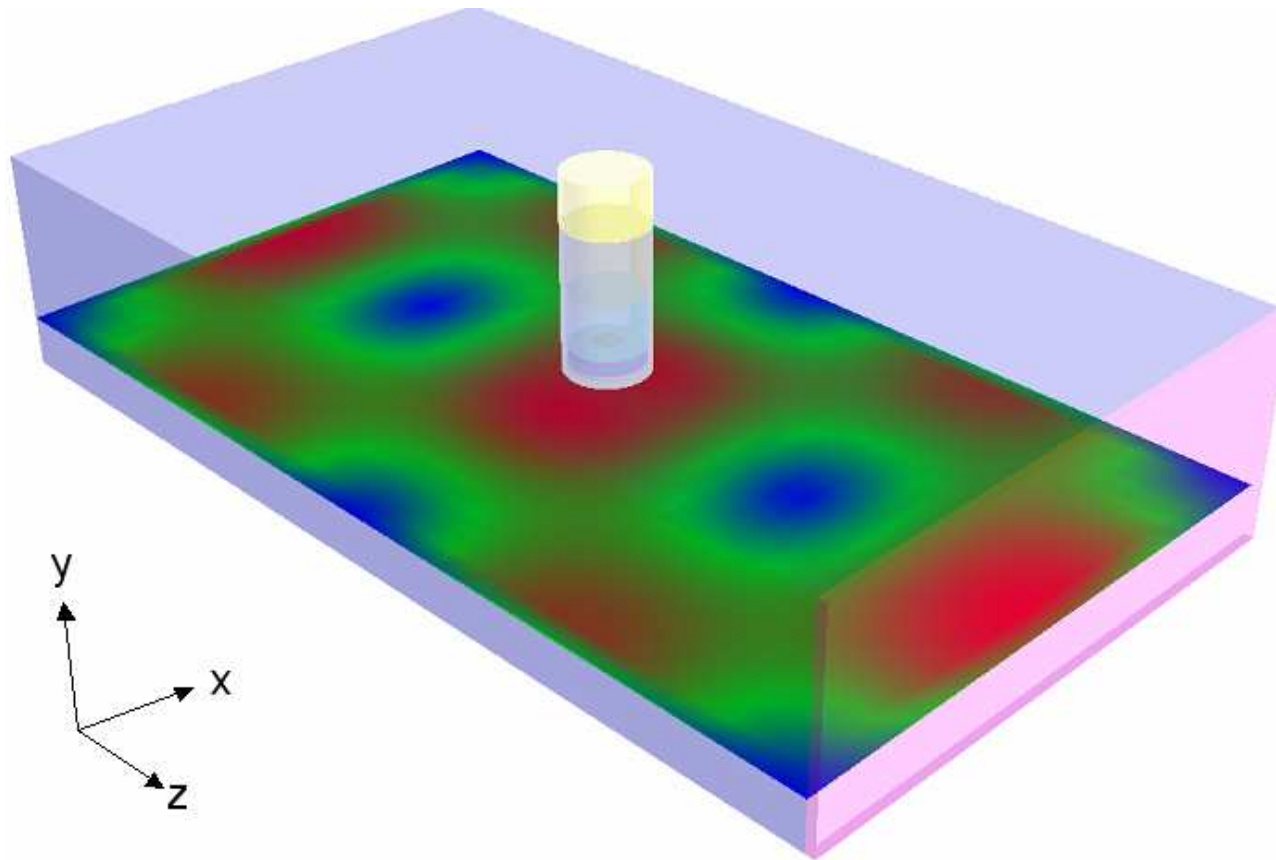


Auswertung:

- Auswertebereich unterhalb des Elektrodenarrays, 2 mm * 2 mm * 120 µm
- SAR-Werte auf H_{\max}^2 bezogen
- mittlere SAR/ H_{\max}^2 und Standardabweichung
- Darstellung der SAR-Verteilung in Histogrammen

Simulationsergebnisse

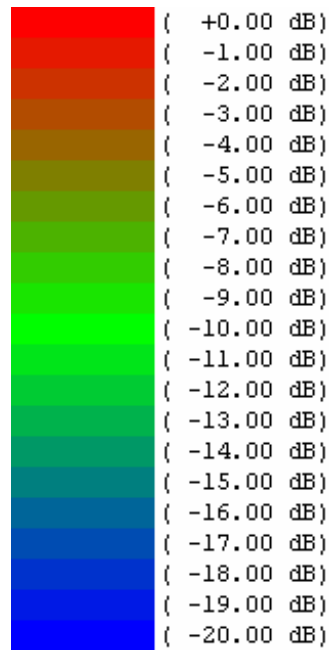
Beispiel einer Auswertung anhand der Position 5 bei 1966 MHz: Probenhalter im H-Feld Maximum



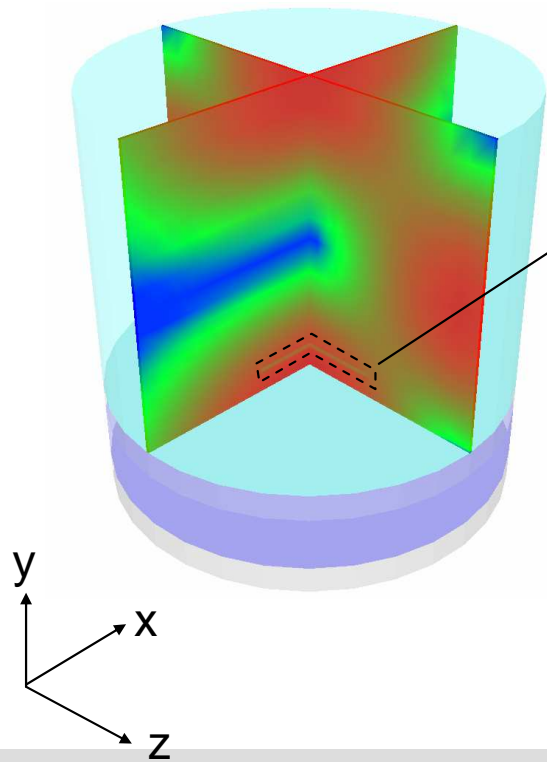
Simulationsergebnisse

Beispiel Position 5: Probenhalter im H-Feld Maximum

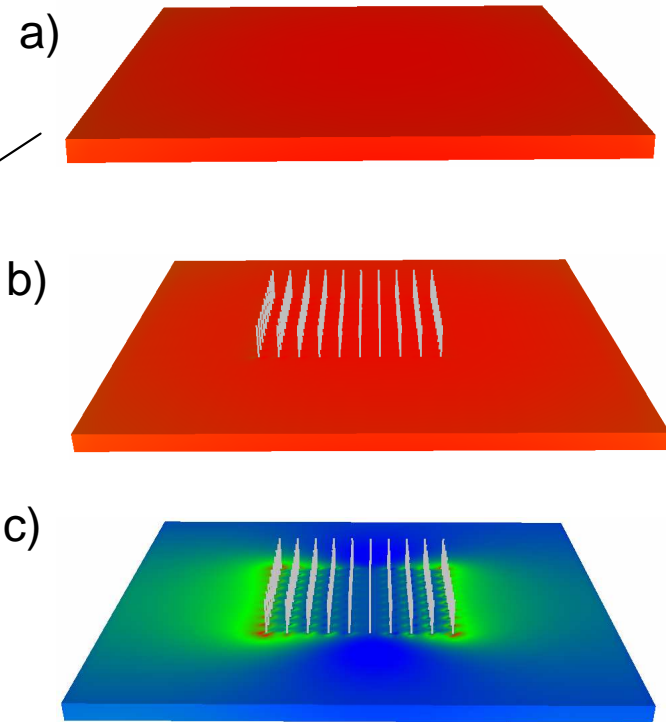
SAR-Verteilung in der Nährlösung:



SAR/SAR_{max}

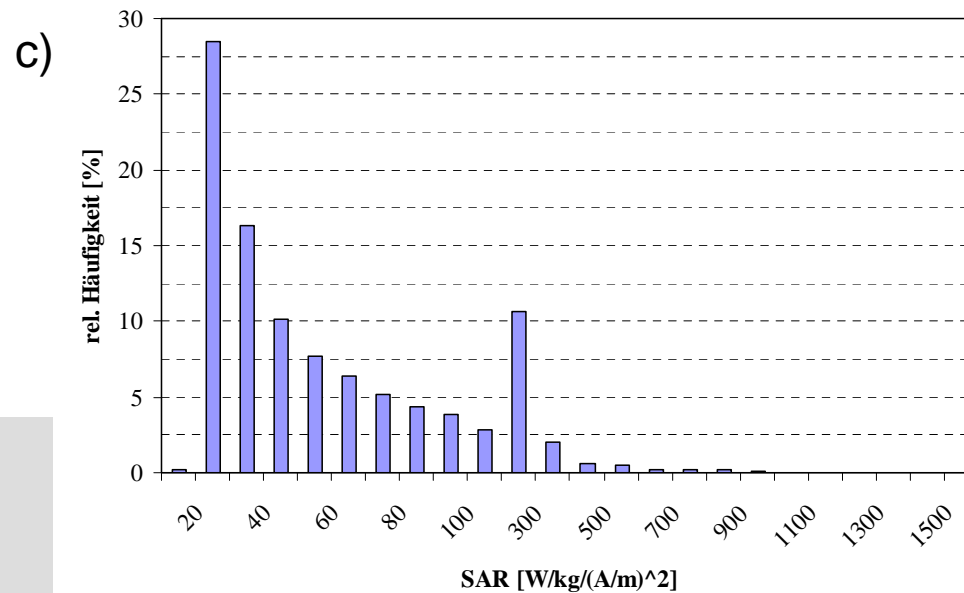
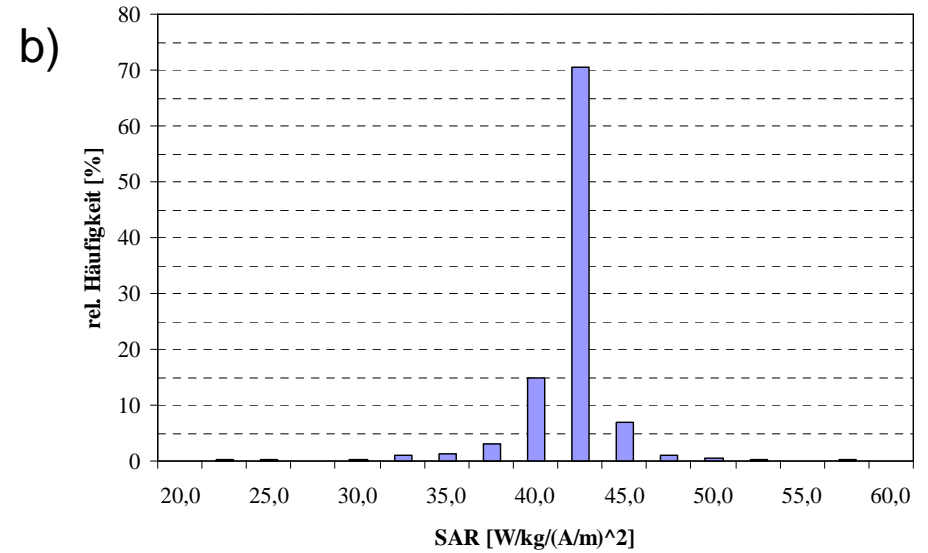
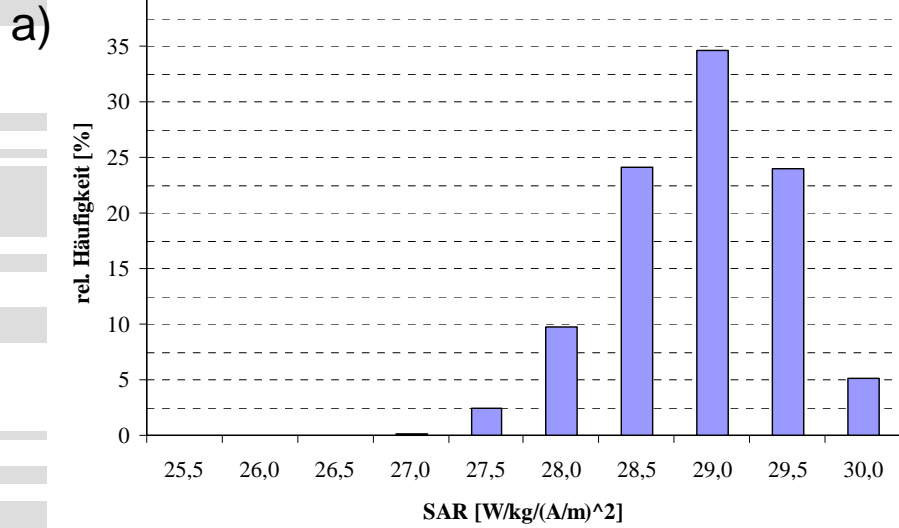


SAR-Verteilung in der Retina:



Simulationsergebnisse

Häufigkeitsverteilung innerhalb des Auswertebereichs (Position 5)



Ergebnisse Position 5

Konfiguration	gemittelte SAR [mW/g/A ² /m ²]*	Abweichung [%]
a)	28,65	1,9
b)	40,87	6,1
c)	61,37	145,72

* SAR bezogen auf H_{\max}^2

- Große SAR-Dynamik durch das Elektrodenarray mit Zuleitungen auf die lokale SAR-Verteilung

Simulationsergebnisse

Zusammenfassung
Ergebnisse für die
Positionen 1 bis 4
des Probenhalters
im Resonator

Position	Konfiguration	gemittelte SAR [W/kg/(A/m) ²]	Abweichung [%]
1)	a)	0,257	3,44
	b)	0,455	33,15
	c)	4843,75	82,75
2)	a)	7,49	1,9
	b)	7,04	2,0
	c)	36,61	210,9
3)	a)	13,36	5,38
	b)	12,76	5,51
	c)	10,54	15,05
4)	a)	90,1	1,08
	b)	94,9	1,11
	c)	79,4	45,19

Simulationsergebnisse

Vergleich der Ergebnisse der Positionen 3, 4, und 5 des Probenhalters im Resonator bei 900 MHz

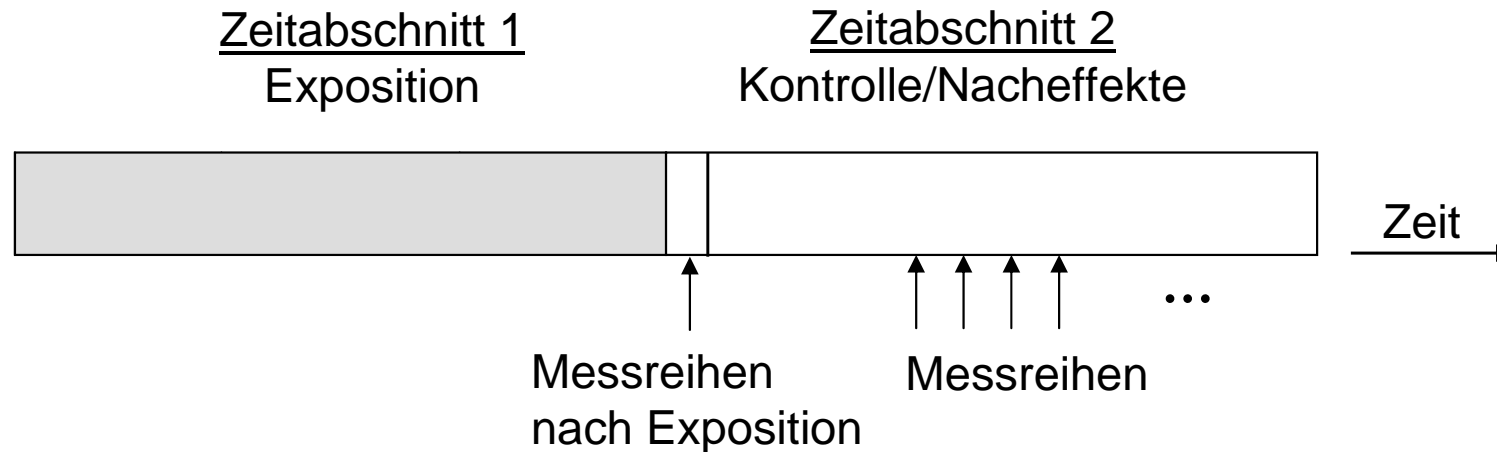
Konfiguration	Position	gemittelte SAR [W/kg/A ² /m ²]*	Abweichung [%]
Ohne Elektrodenarray	3)	0,99	14,25
	4)	1,09	1,71
	5)	0,69	2,16
Mit Elektrodenarray und Zuleitungen	3)	1,01	14,06
	4)	0,91	76,12
	5)	3,77	46,21

Diskussion der Simulationsergebnisse

- Hohe Dynamik der lokalen SAR bei allen Positionen des Probenhalters mit Elektrodenarray und Zuleitungen
 - Metallspitzen sind nicht im Detail auflösbar
 - hohe zusätzliche Dynamik durch Spitzeneffekte in den betroffenen Ganglienzellen können im Detail nicht erfasst werden
 - Forderung nach definierter Feldverteilung in der Retina/
Probenhalter ist mit Elektrodenarray und Zuleitungen nicht erfüllt
- Exposition ist mit Elektrodenarray nicht geeignet!

Diskussion der Simulationsergebnisse

- Exposition nur mit alternativem Versuchsdesign möglich:

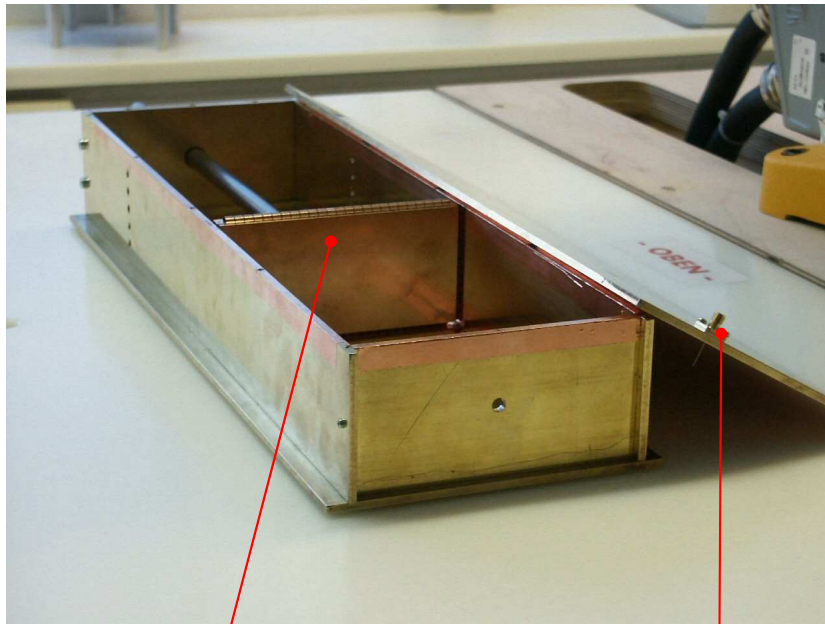


- Hier: Exposition erfolgt ohne Elektrodenarray, Messungen in der Retina nach Exposition
- Nachteil: Messergebnisse sind in einem statistischen Zusammenhang zu bringen

Charakterisierung

Hohlraumresonatoren für 900 MHz und 1966 MHz

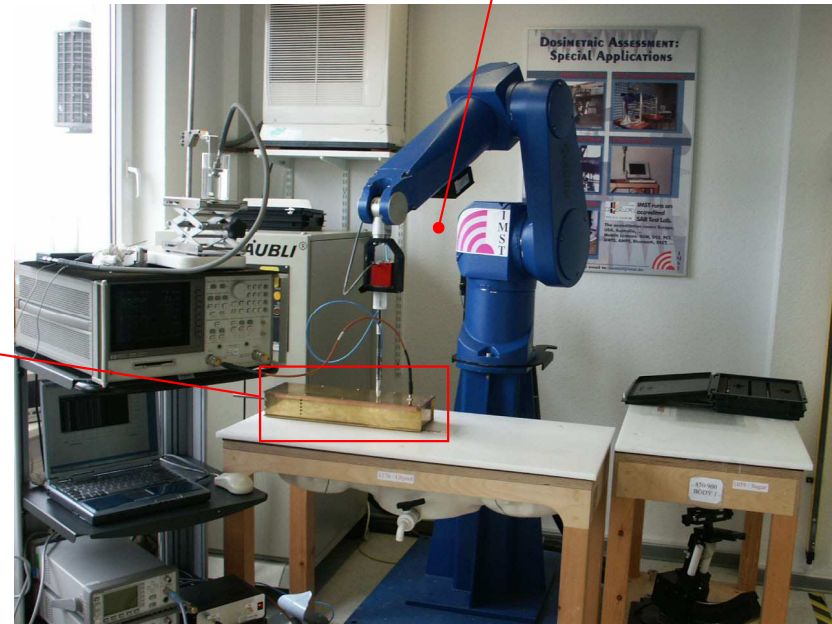
Resonator 1966 MHz



Kurzschlusschieber

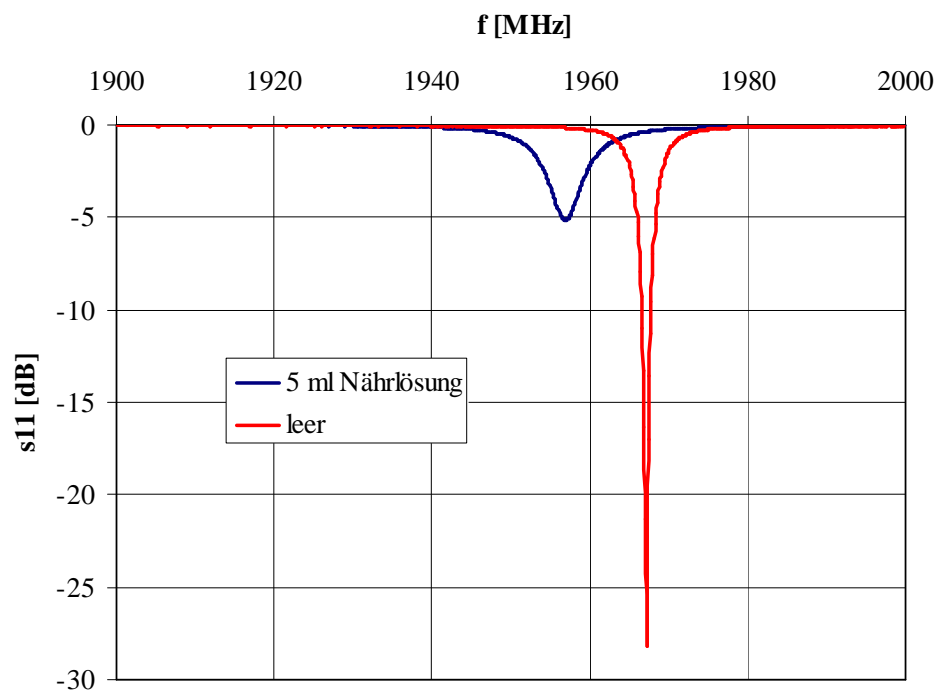
Koax. Anregung

Messsystem DASY

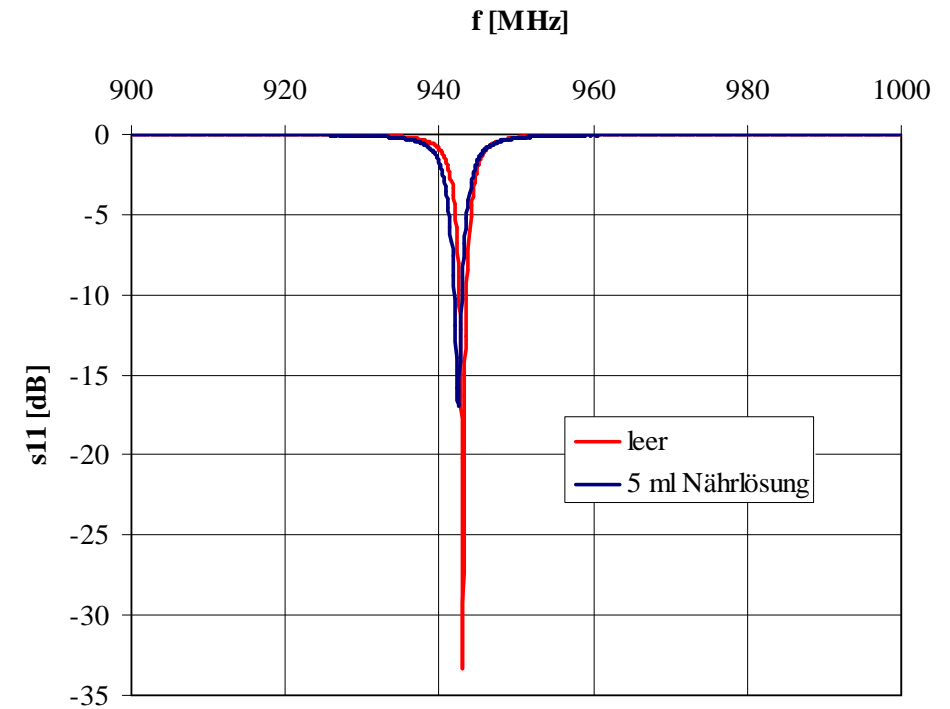


Messergebnisse für Reflexionsfaktor s_{11}

Resonator 1966 MHz



Resonator 900 MHz



E- und H-Feldmessungen im Resonator für 900 MHz und 1966 MHz

Resonator	Frequenz [MHz]	E [V/m]*	H [A/m]*
leer	900	2042,83	3,79
	1966	3636,62	9,93
mit 5 ml Nährlösung	900	2003,94	3,18
	1966	1837,28	3,29

* bezogen auf 1 W Leistung (CW)

Bestimmung der Eingangsleistung für 20 W/kg für Positionen im H-Feld-Maximum

Position des Probenhalters	Frequenz [MHz]	$SAR_s/H_{\max,s}^2$ [W/kg/(A/m) ²]*	SAR_M [W/kg]**	P [W] für 20 W/kg
3)	900	0,99	10,01	2,00
	1966	13,36	144,61	0,138
4)	900	1,09	11,02	1,81
	1966	92,70	1003,39	0,02
5)	900	0,69	6,98	2,86
	1966	28,65	310,11	0,065

* Ergebnisse der Simulationen, bezogen auf $H_{\max,s}^2$

** Ergebnisse der SAR bei 1 W Leistung (CW)

- Expositionseinrichtung nur mit Hohlraumresonatoren für geforderte SAR von 20 W/kg sinnvoll
- Hohe SAR-Effizienz im H-Feld-Maximum
- Versuchsdurchführung mit Elektrodenarray während der Exposition führt zu großer Dynamik der lokalen SAR-Verteilung in der Retina mit Elektrodenarray und Zuleitungen
 - ➔ Versuchsdurchführung nicht geeignet!
- Alternative Versuchsdurchführung mit Exposition ohne Elektrodenarray
 - ➔ Nachteil: Nur statistische Zusammenhänge, wodurch mehr Präparate notwendig sind

[Bitz 2003]

A. Bitz: *Numerische Feldberechnung im biologischen Gewebe: Exposition von Personen, Tieren und isolierten biologischen Systemen in elektromagnetischen Feldern*. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, 2003.

[Hansen 1997]

V. Hansen: *Leitfaden für Experimente zur Untersuchung der Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf biologische Systeme – Hochfrequenztechnische Aspekte*. Newsletter Edition Wissenschaft der Forschungsgemeinschaft Funk e.V., Nr. 11, September 1996.

[Schuderer 2004]

J. Schuderer, T. Samaras, W. Oesch, D. Spät, N. Kuster: *High Peak SAR Exposure Unit With Tight Exposure and Environmental Control for In Vitro Experiments at 1800 MHz*. IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. 52, No.8, 2004, 2057-2066.

[Streckert 1998]

J. Streckert: *Anwendung feldtheoretischer Verfahren auf Untersuchungen zur Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Mensch und Umwelt*. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, 1998.