

# Optische Tomographie

---

Seminar Experimentelle Methoden der Biophysik  
Vortrag von Oskar Weinfurtnner 3390440 am 26.06.17







# Gliederung

---

1. Problemstellung

2. Photonen Transport Physik

3. Messaufbau und Methoden

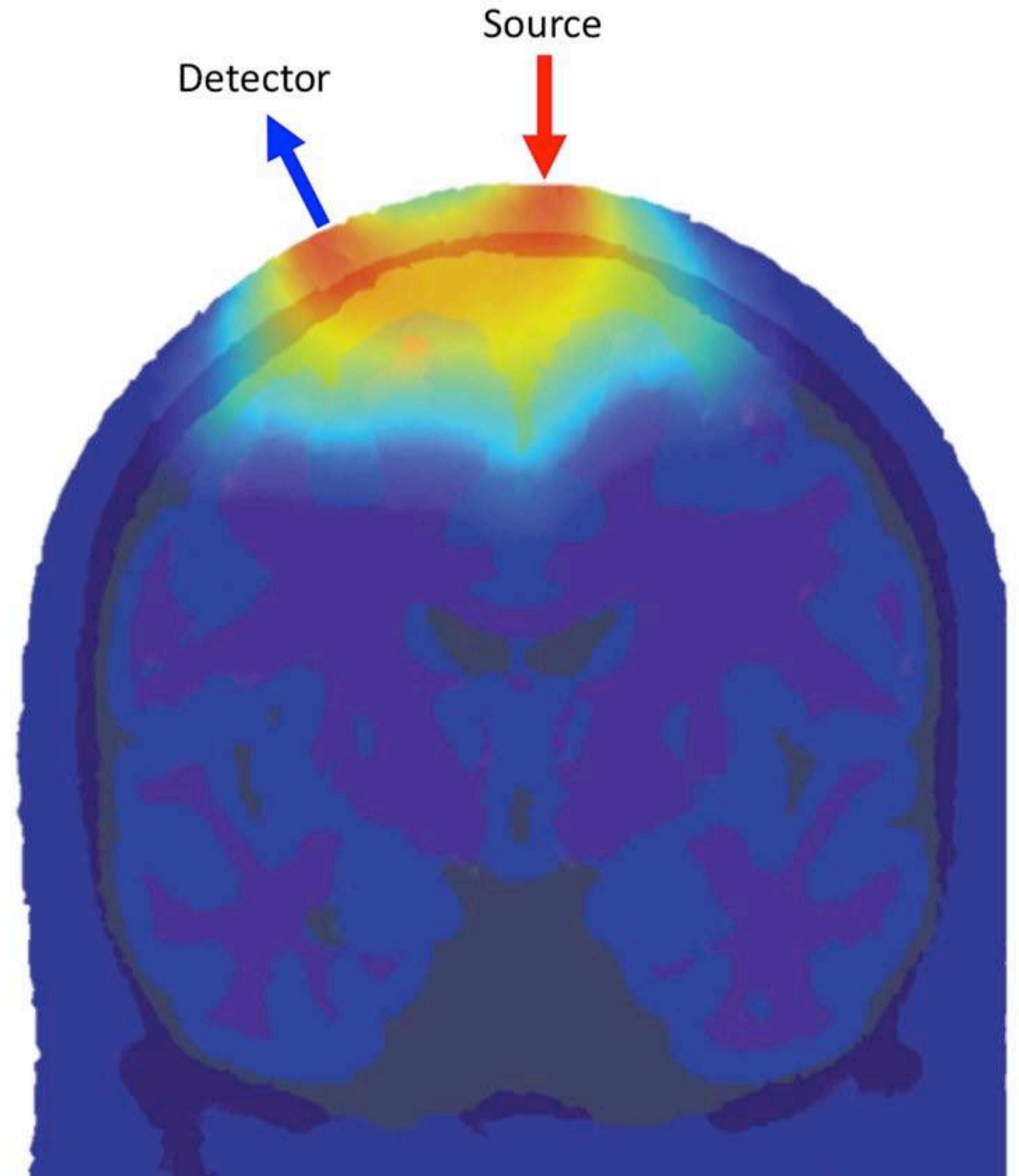
4. Daten und Auswertung

5. Anwendung

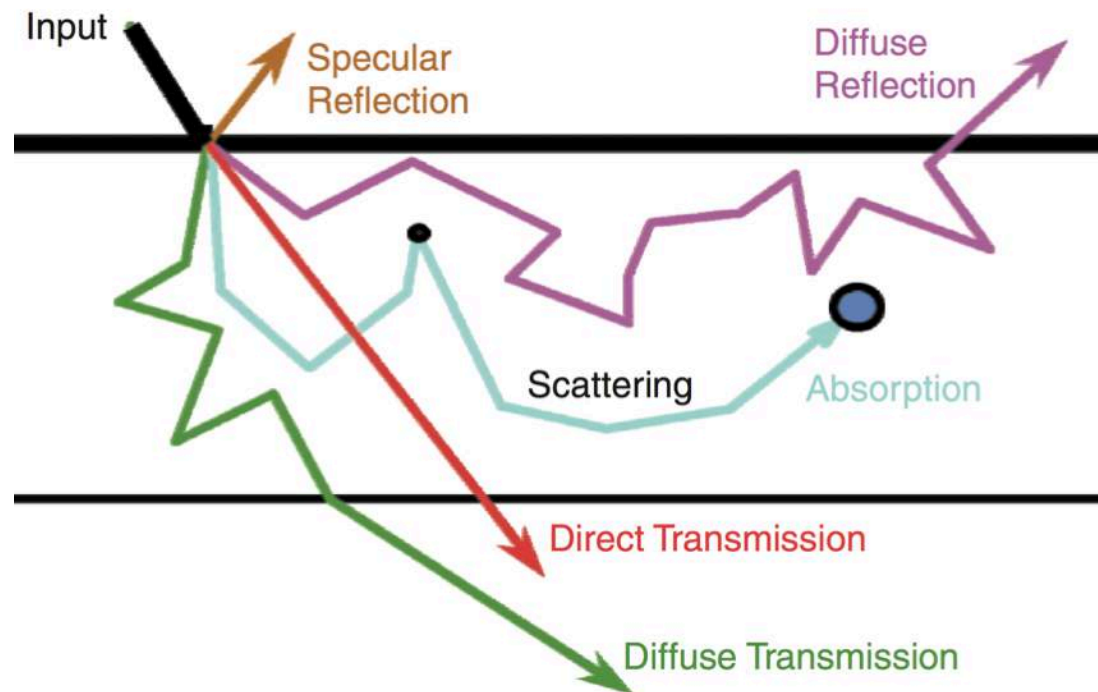


# Problemstellung

- Gewebe beleuchten mit infrarotem Licht, Eindringtiefe von einigen Zentimetern
- Absorption von Licht durch Blut und Gewebe
- Blut transportiert Sauerstoff, zeigt Zellwachstum (Tumore) und neuronale Aktivität (neurovascular coupling)
- Aufgabe: Absorption lokalisieren
- Problem: Diffuse Streuung

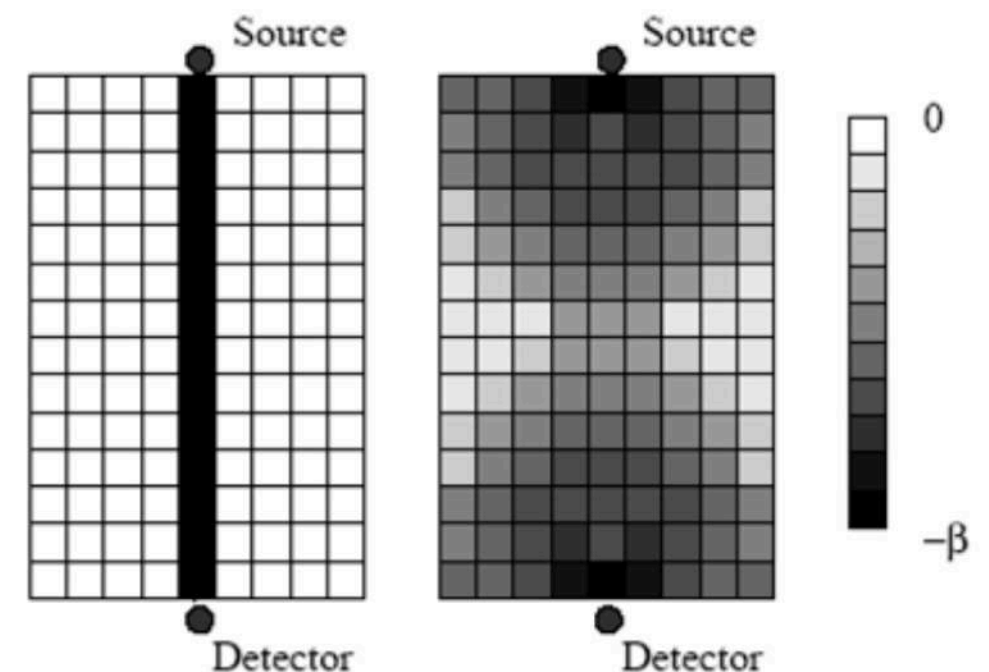
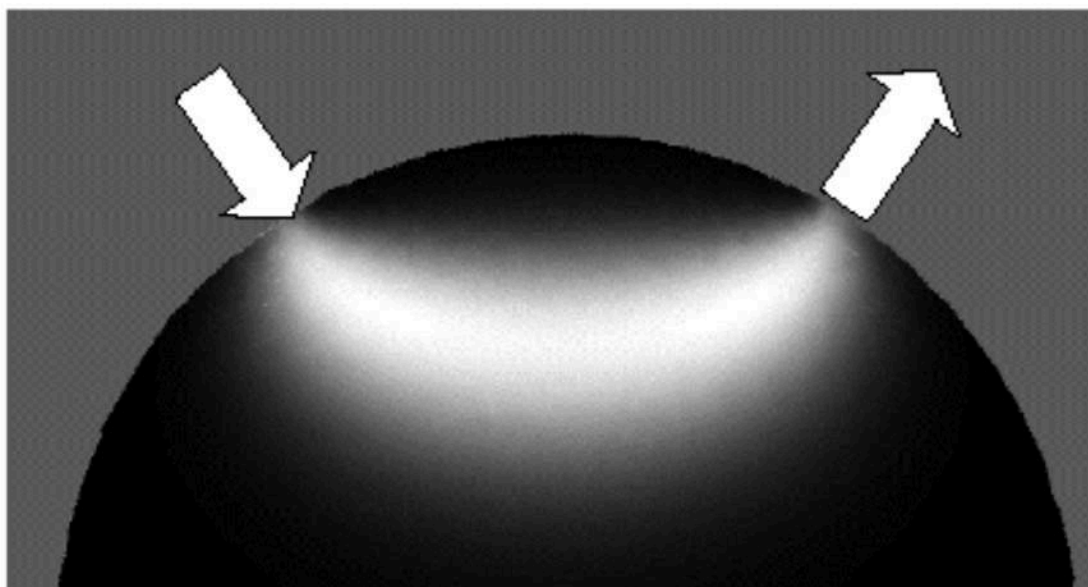


# Licht im Medium



Optische Ereignisse:

- Brechung
- Reflexion
- Streuung
- Absorption



# Absorption von Licht

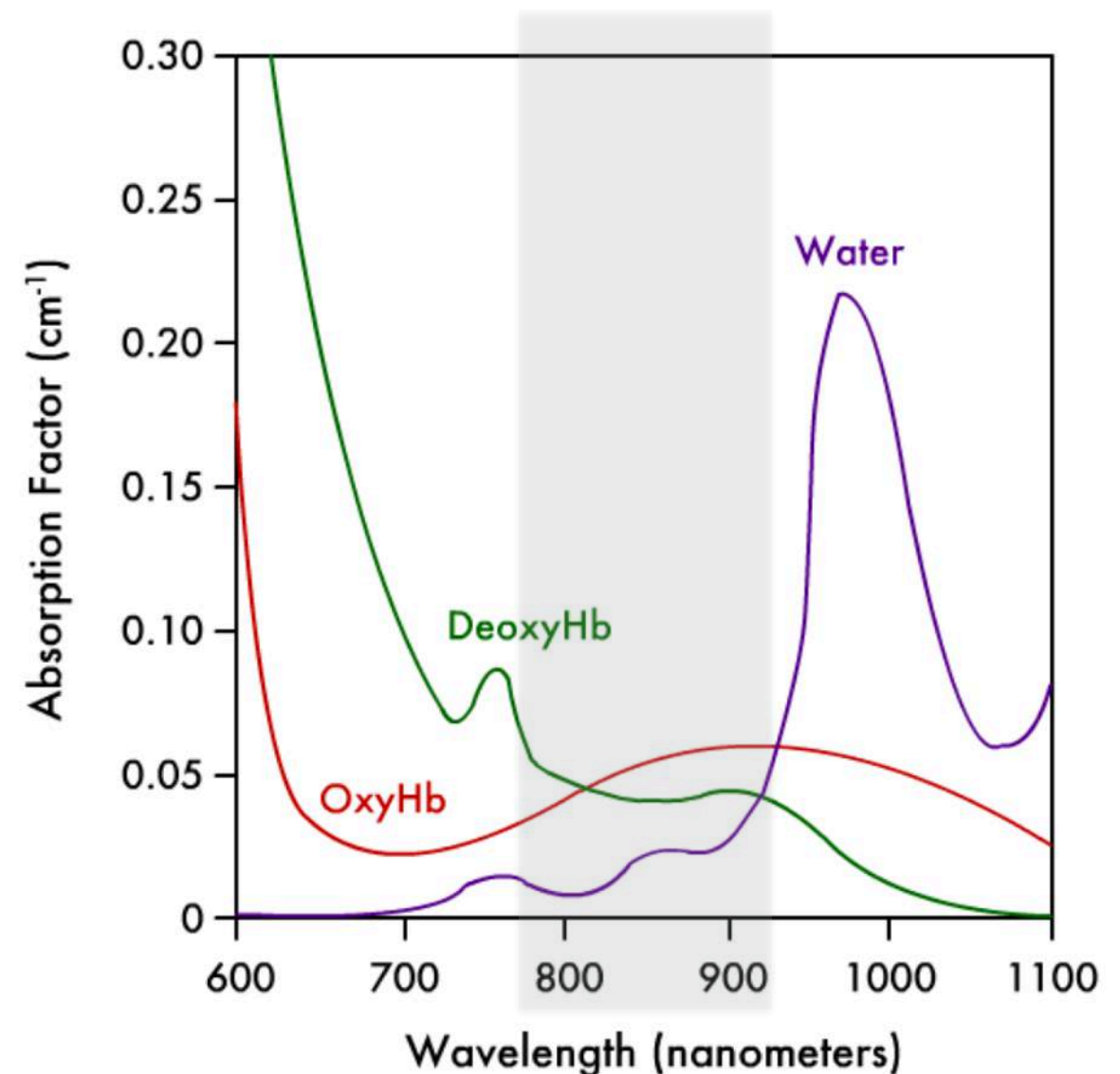
Statische Absorber:

- Melanin (Hautpigmente)
- Lipide (Zellmembranen)
- Wasser und Fluide

Dynamische Absorber:

- Hämoglobin (oxygeniert bzw deoxygeniert, Blutfarbstoff)
- Cytochrome (farbige Proteine, Zellatmung)

Optisches Fenster im IR-Bereich



# Gliederung

---

1. Problemstellung

2. Photonen Transport Physik

3. Messaufbau und Methoden

4. Daten und Auswertung

5. Anwendung



# Photonen Transport Physik

- Modellierung der Gewebeparameter:

- Streulänge  $l_s \longrightarrow \mu_s = \frac{1}{l_s}$

- Absorptionslänge  $l_a \longrightarrow \mu_a = \frac{1}{l_a}$

- Ausbreitung des Lichts beschreiben:

- Allgemein: Boltzmann'scher Strahlungstransport

- Näherung: Diffusionsgleichung

# Boltzmann Transport Gleichung

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t} L}_{\text{Änderung im Voxel}} = \underbrace{-(\mu_s + \mu_a) L v}_{\text{Streuung \& Absorption}} \underbrace{- \nabla \cdot L \Omega v}_{\text{Transport in Richtung } \Omega} \underbrace{+ \mu_s v \int_{4\pi} f L d\Omega'}_{\text{Streuung in Voxel hinein}} \underbrace{+ v Q}_{\text{Quell-term}}$$

$L(\vec{r}, \Omega, t)$   $\left[ \frac{W}{m^2 sr} \right]$  Strahldichte am Punkt  $r$  in Richtung  $\Omega$

$f(\Omega, \Omega')$  Normalisierter differentieller Wirkungsquerschnitt

- Licht als Partikel ohne gegenseitige Wechselwirkung
- Analytische Lösungen nur für einfache Szenarien
- Numerische Lösungen rechenintensiv

# Näherung: $P_N$ Approximation

- Strahldichte  $L(\vec{r}, \Omega, t)$  isotrop (räumlich gleichverteilt) annehmen  
Dies ist gegeben, wenn  $\mu_s \gg \mu_a$   
Streuung ist in Gewebe 10 bis 1000 mal so stark wie Absorption
- Definiere Photonen Fluss Dichte  $\Phi(\vec{r}, t) \equiv \int_{4\pi} L(\vec{r}, \Omega, t) d\Omega$
- Reihenentwicklung von  $L$  in Kugelflächenfunktionen (Taylor)  
Reihe abbrechen bei  $N = 1$  (linearisieren)
- Quelle ebenfalls isotrop annehmen

Anmerkungen:

Keine Isotropie an Grenzflächen, dort spezielle Randbehandlung nötig

Bei komplexem Gewebe Terme höherer Ordnung nicht vernachlässigbar

# Photonen Diffusions Gleichung

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t}\Phi}_{\text{Änderung}} = \underbrace{-\mu_a v \Phi}_{\text{Absorption}} + \underbrace{\nabla \cdot (D \nabla \Phi)}_{\text{Diffusion}} + \underbrace{+vS}_{\text{Quelle}}$$

$\Phi(\vec{r}, t) \left[ \frac{W}{cm^2} \right]$  Photonen Fluss Dichte

$D(r) \equiv \frac{v}{3[\mu'_s(r) + \mu_a(r)]}$  Diffusions Koeffizient

$S(\vec{r}, t) \left[ \frac{W}{cm^3} \right]$  Isotrope Quellfunktion

- Lösbar im Zeitbereich und Frequenzbereich (Fouriertransformation)
- Lösungsansatz durch Greensche Funktionen mit Randbedingungen

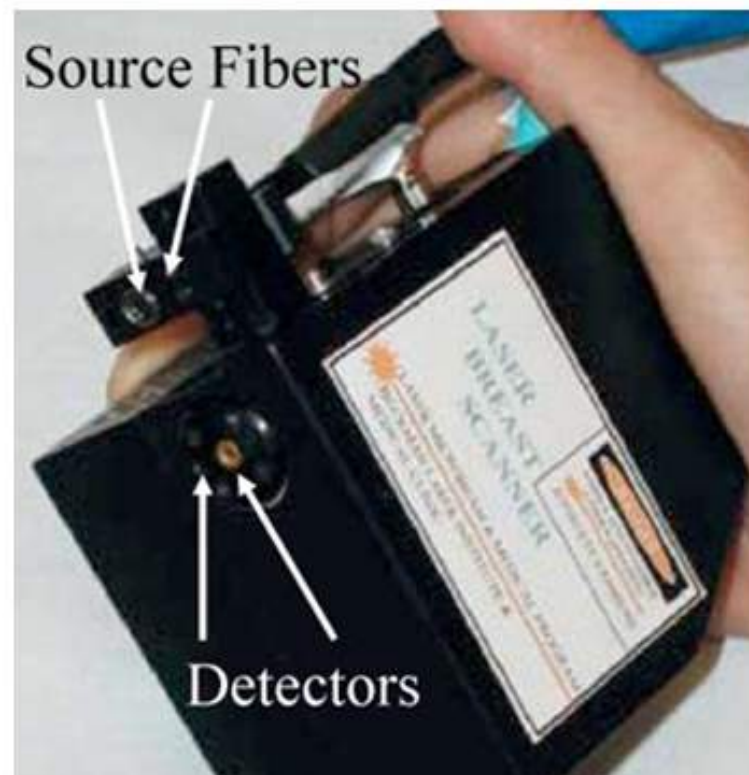
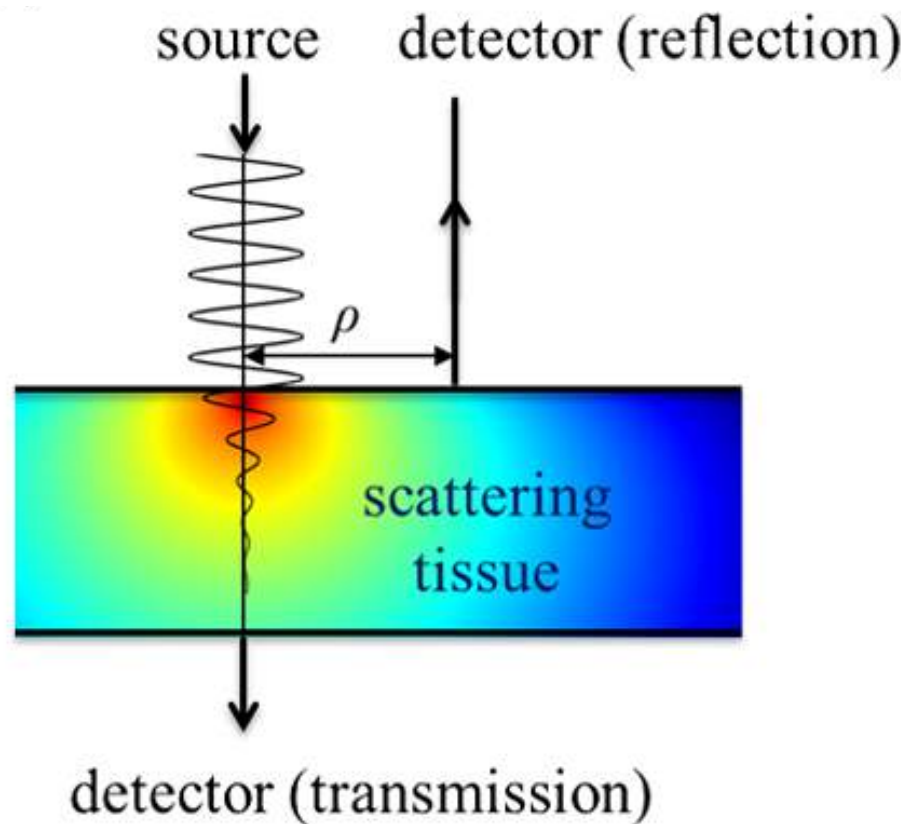


# Gliederung

---

1. Problemstellung
2. Photonen Transport Physik
3. Messaufbau und Methoden
4. Daten und Auswertung
5. Anwendung

# Messaufbau: Belichtung

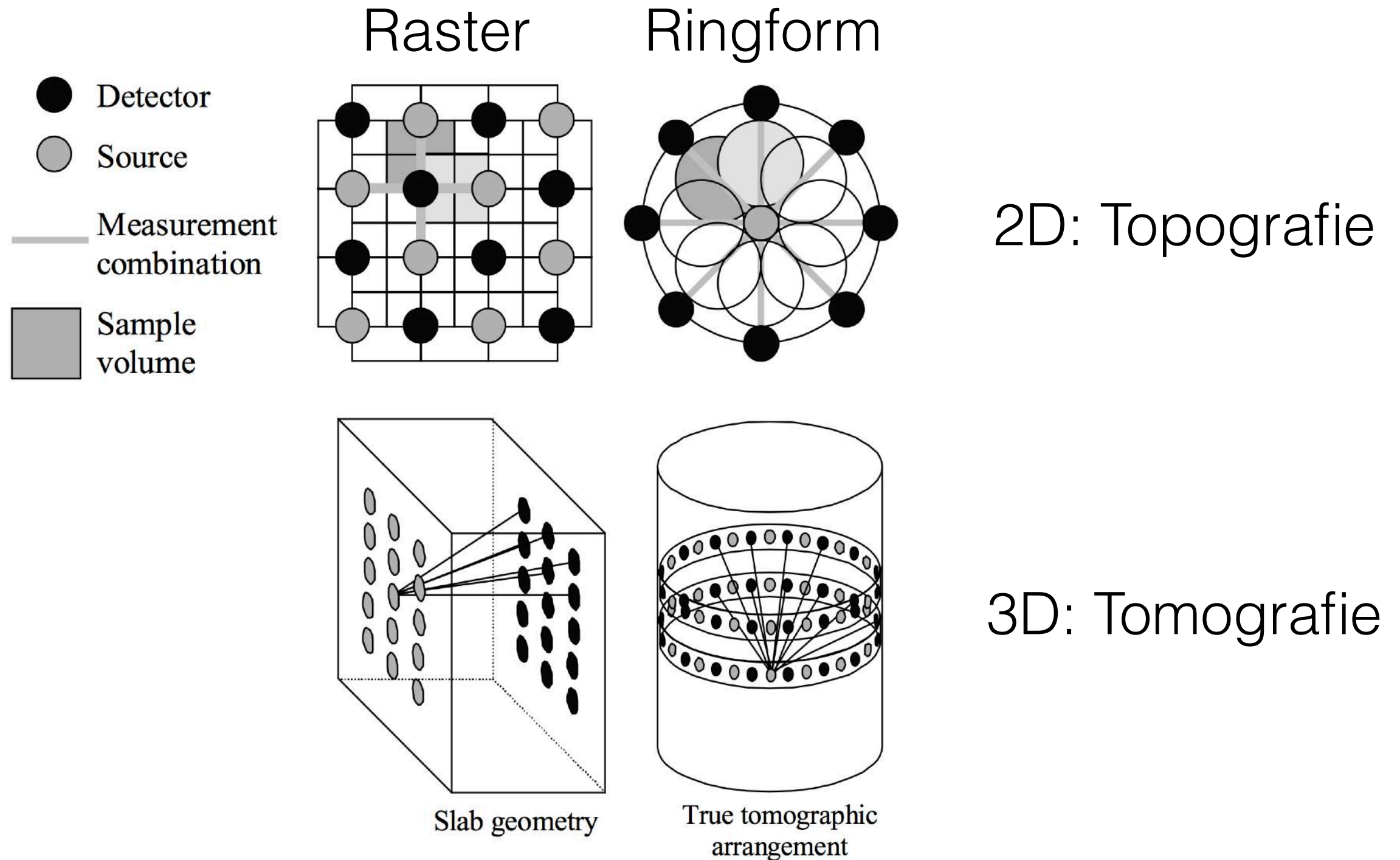


Reflexion

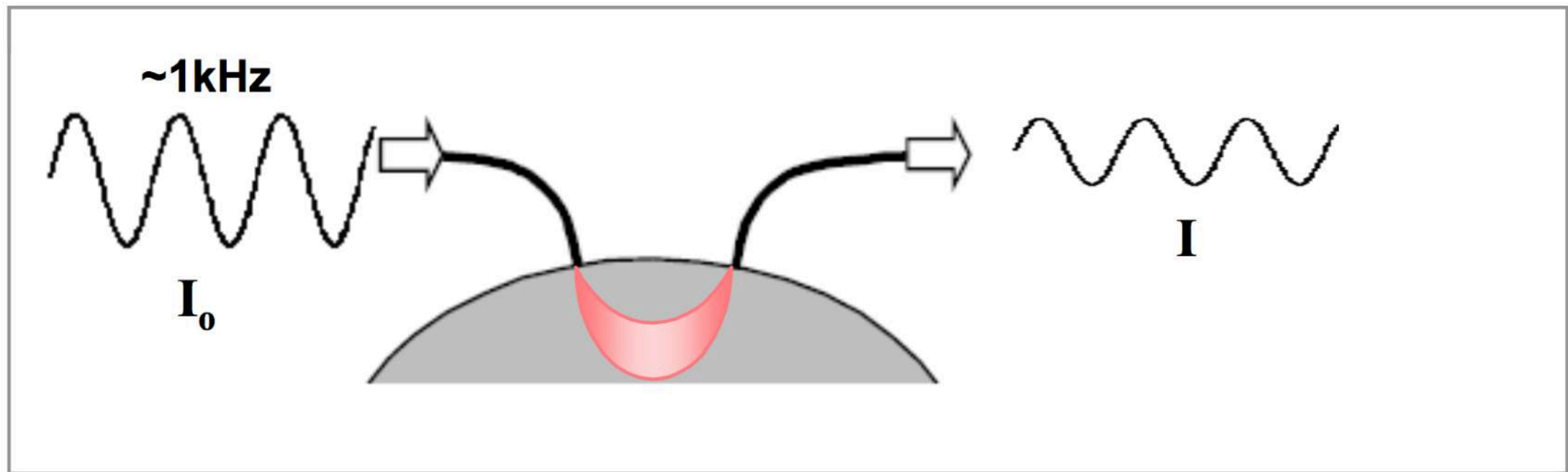


Transmission

# Messaufbau: Geometrie



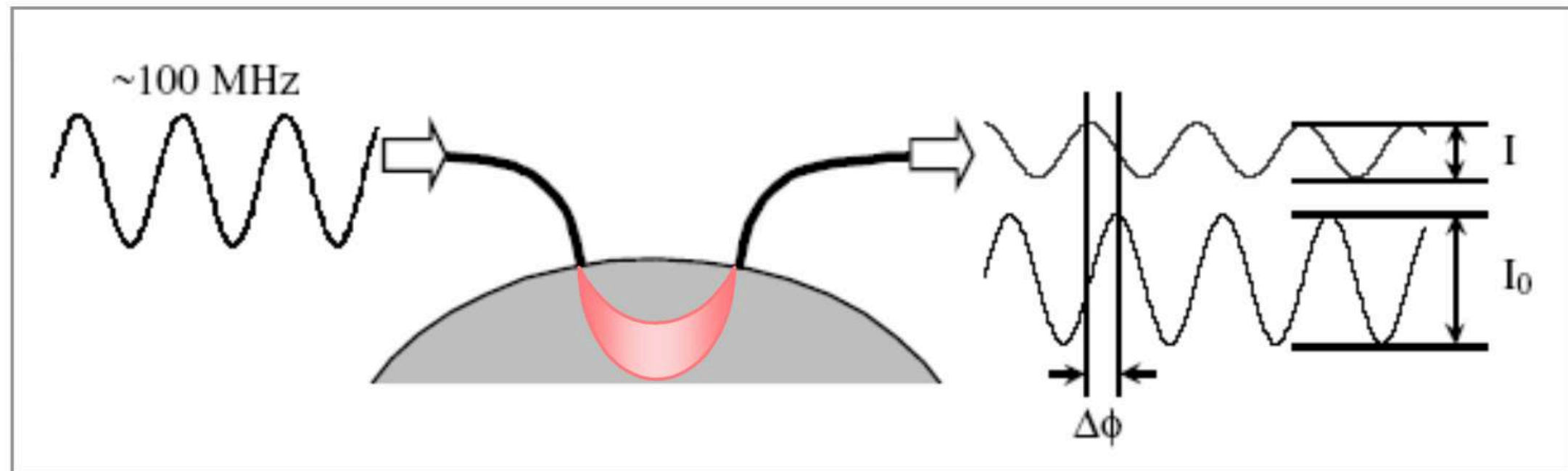
# Methode 1: Continuous Wave



- Input: Kontinuierliches Lichtsignal
- Messung: Veränderte Intensität bei Austritt
- Ergebnis: Absorptionswert (bei geschätzter Streuung)

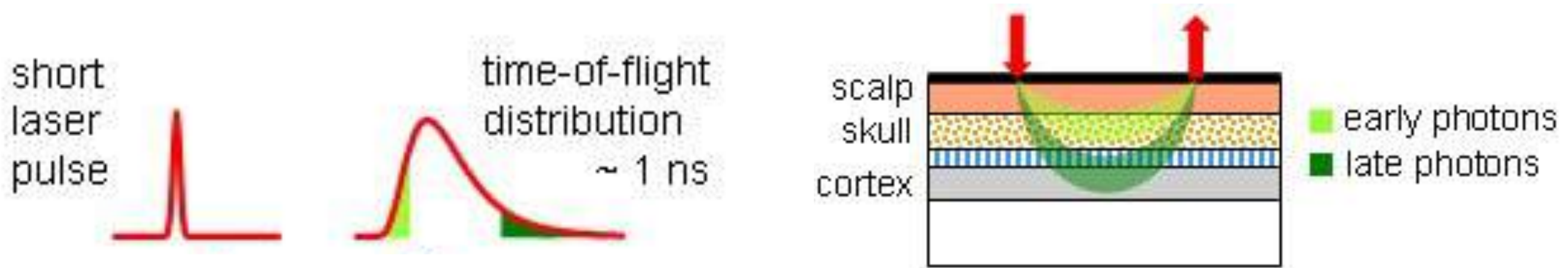


# Methode 2: Frequency Domain



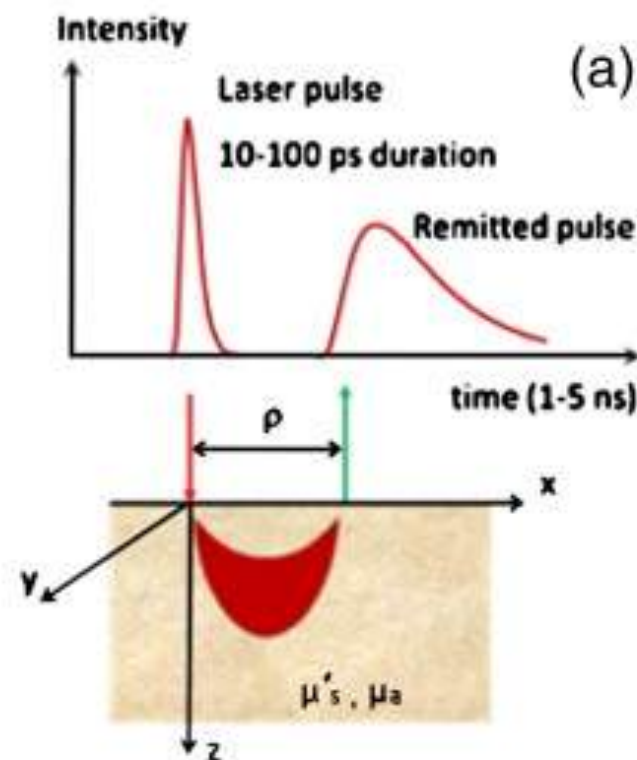
- Input: Hochfrequent moduliertes Licht (100MHz-1GHz)
- Messung: Amplitude und Phasenverschiebung
- Ergebnis: Dämpfung und mittlere Transitzeit, daraus sind Absorption und Streuung berechenbar

# Methode 3: Time Domain

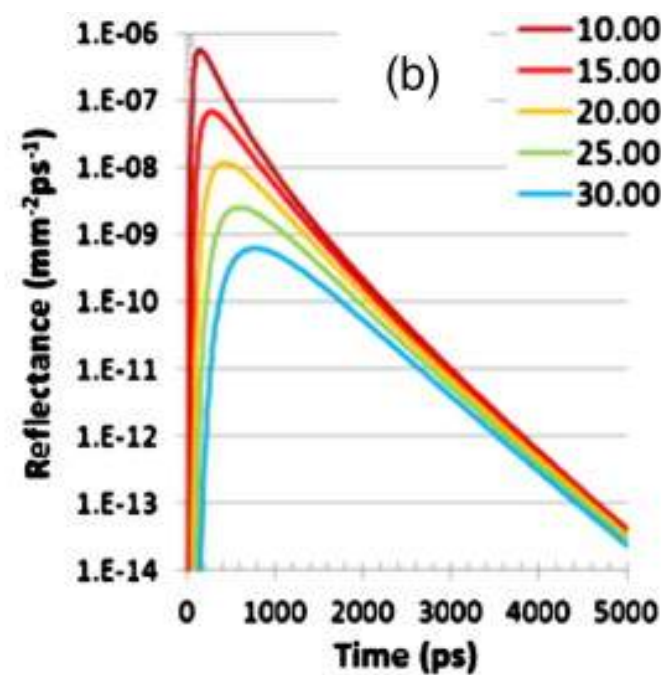


- Input: Laserpuls ~10-100 Picosekunden
- Messung: Intensität zeitaufgelöst im Subnanosekundenbereich
- Ergebnis: DTOF = Distribution of Time of Flight  
TPSF = Temporal Point Spread Function

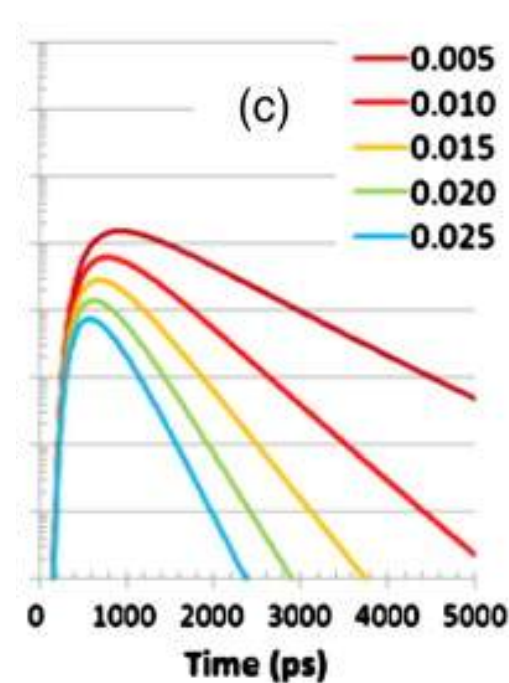
# Punktabbildungsfunktion (TPSF)



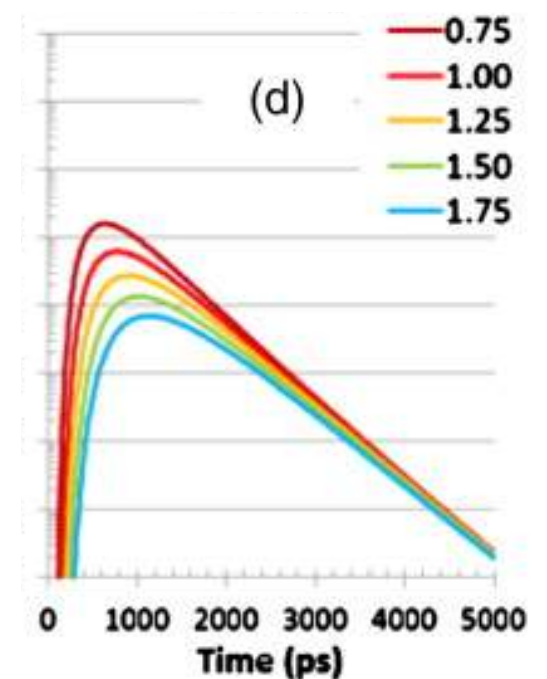
$\rho$ : Abstand  
 $a$ : Absorption  
 $s$ : Streuung



$\rho$  variiert  
 $a$  und  $s$  fest



$a$  variiert  
 $s$  und  $\rho$  fest



$s$  variiert  
 $\rho$  und  $a$  fest

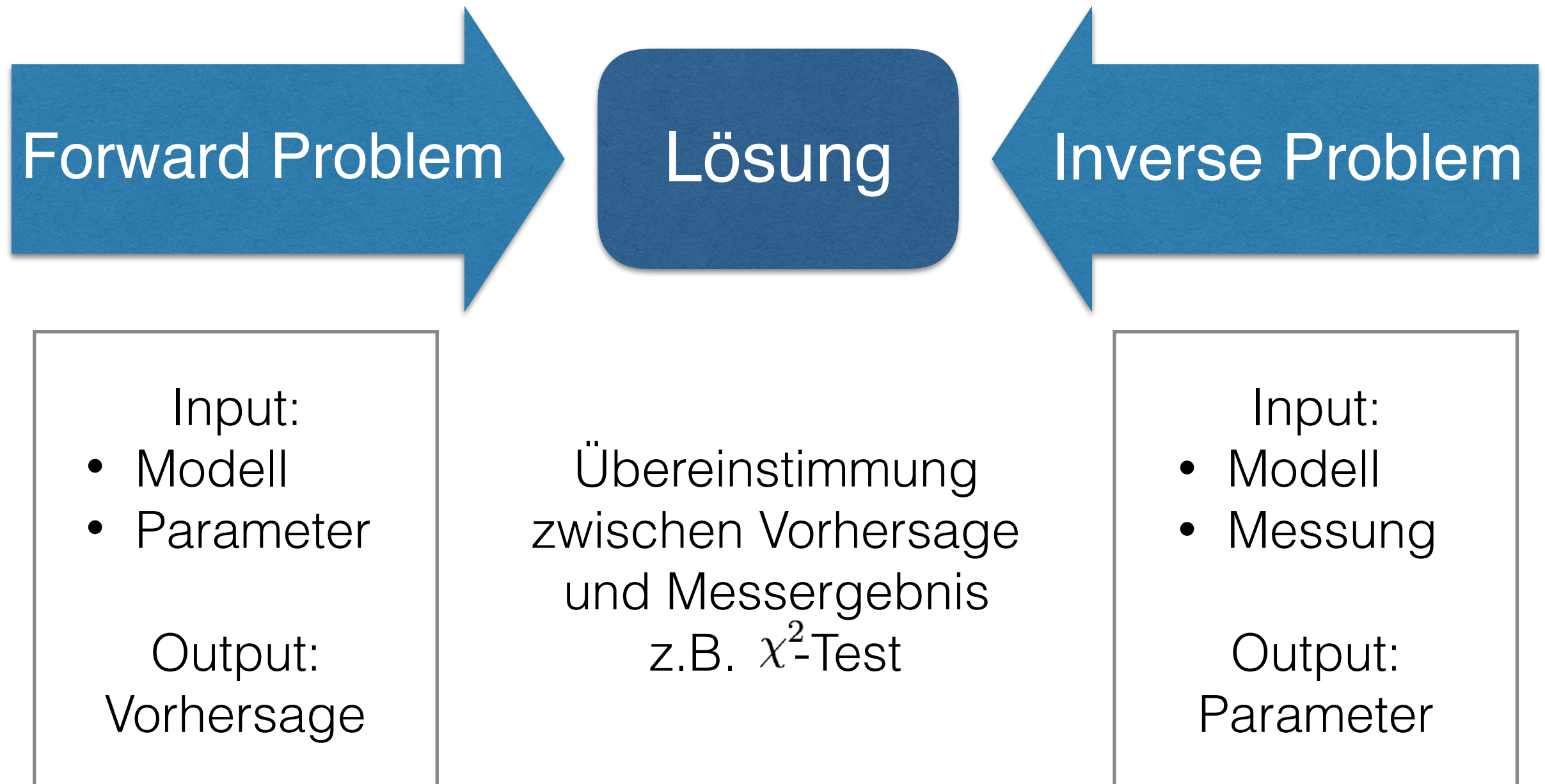
# Gliederung

---

1. Problemstellung
2. Photonen Transport Physik
3. Messaufbau und Methoden
4. Daten und Auswertung
5. Anwendung



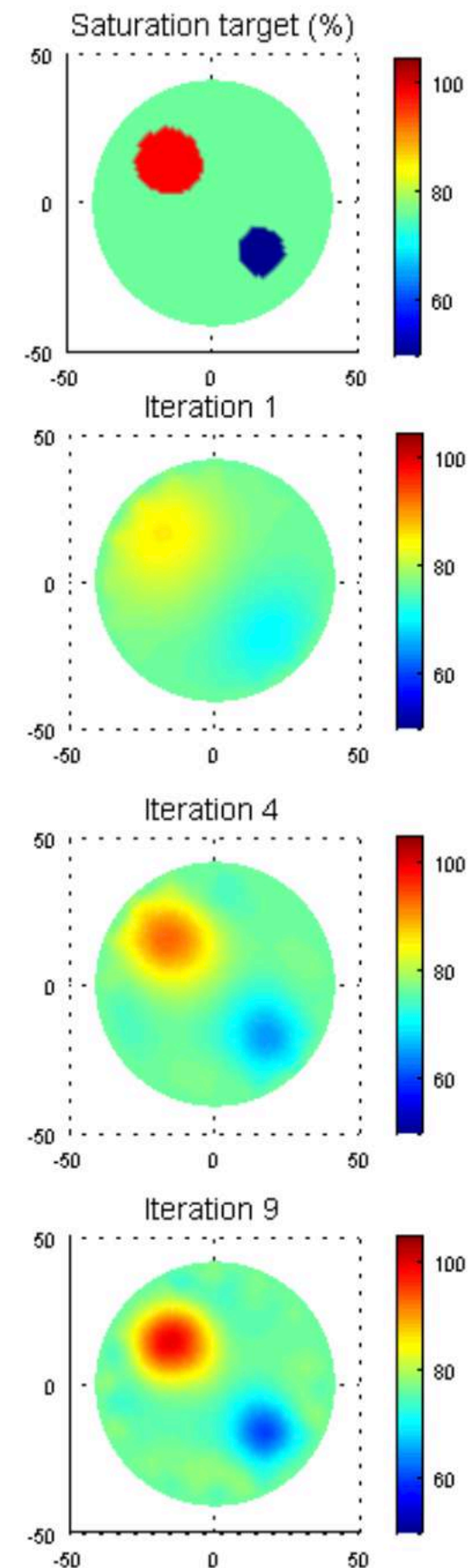
# Modellierung



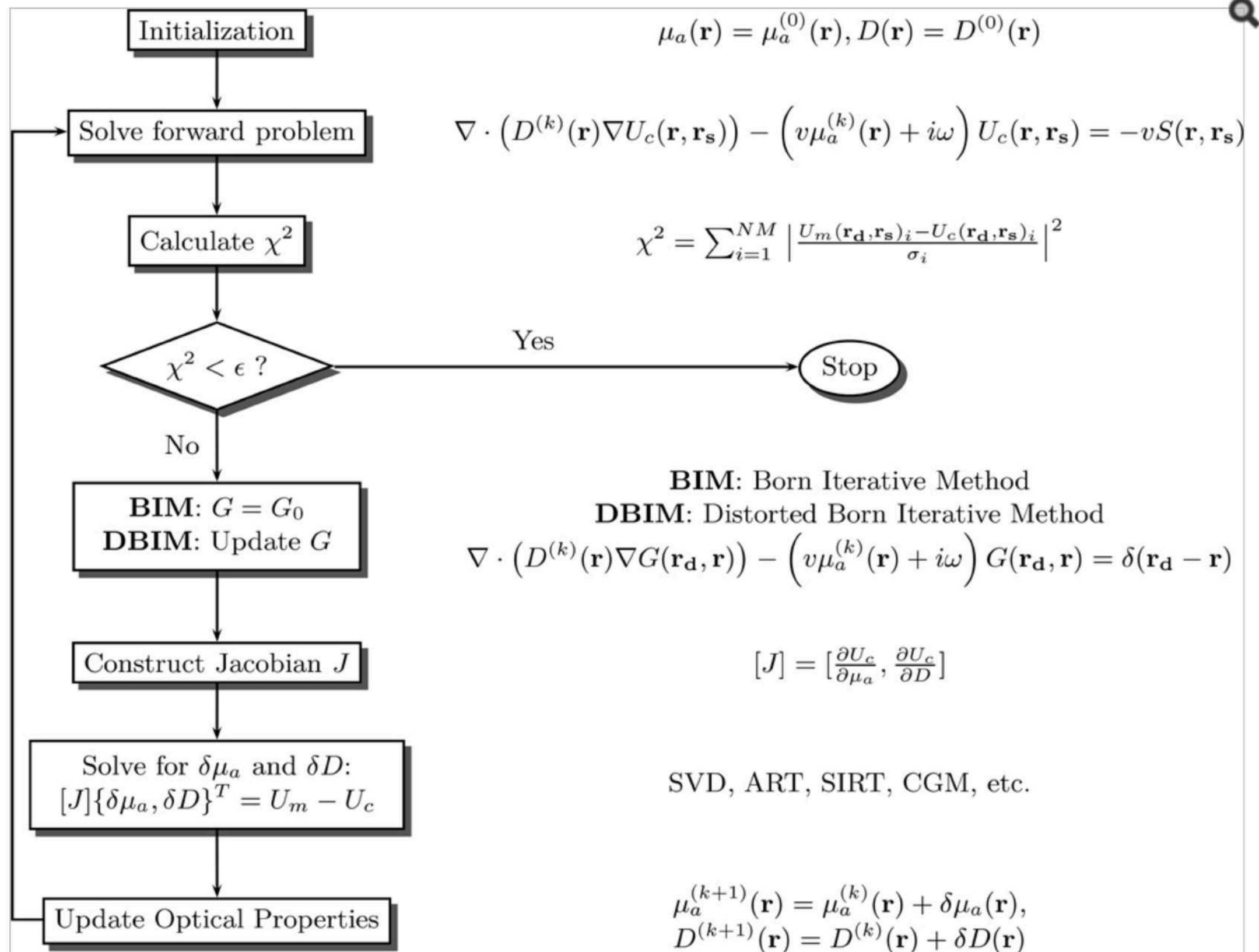
Aus bekannten Systemparametern kann Bild erzeugt werden

# Verschiedene Modelle

- Monte Carlo Simulation
  - Geometrie und Gewebeeigenschaften definieren
  - Nacheinander Wege einzelner Photonen simulieren
  - Zählt als „Goldstandard“ der numerischen Simulation
- Nicht-Lineare Modelle
  - Störungsansatz erstellen und linearisieren
  - Funktionaler Zusammenhang als Matrixgleichung
  - Weight Matrix / Jacobian invertieren liefert Parameter
  - Lösung vergleichen, mit variierter Störung wiederholen



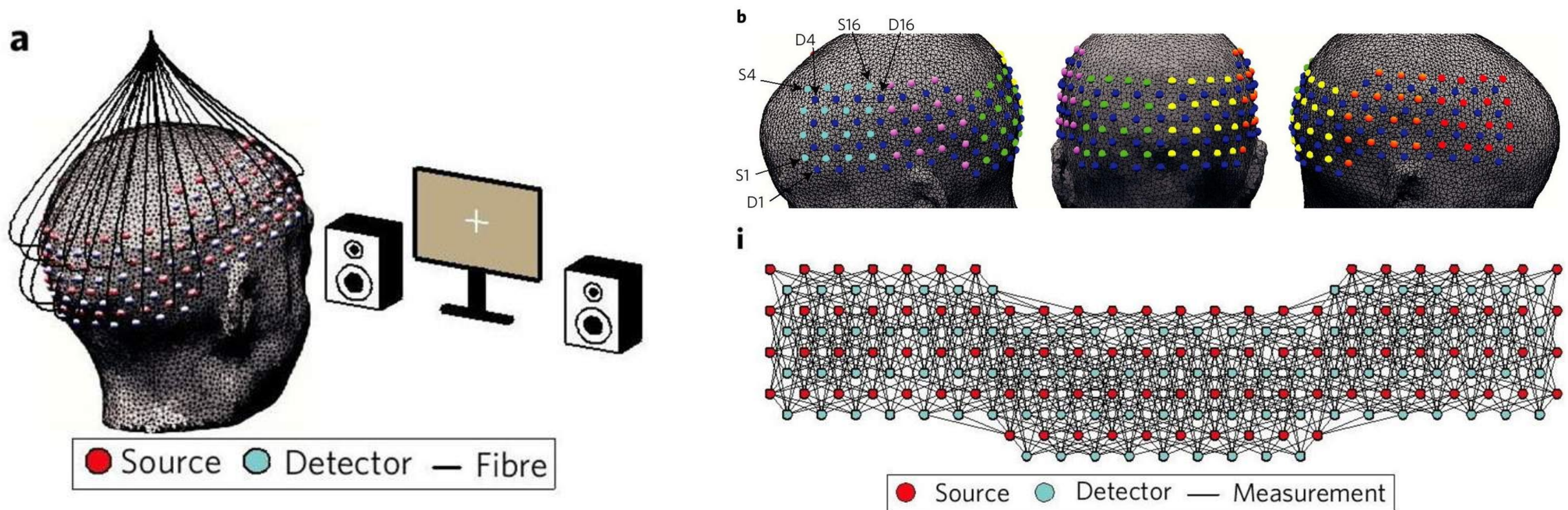
# Flowchart zu „Nonlinear Numerical Inversion“





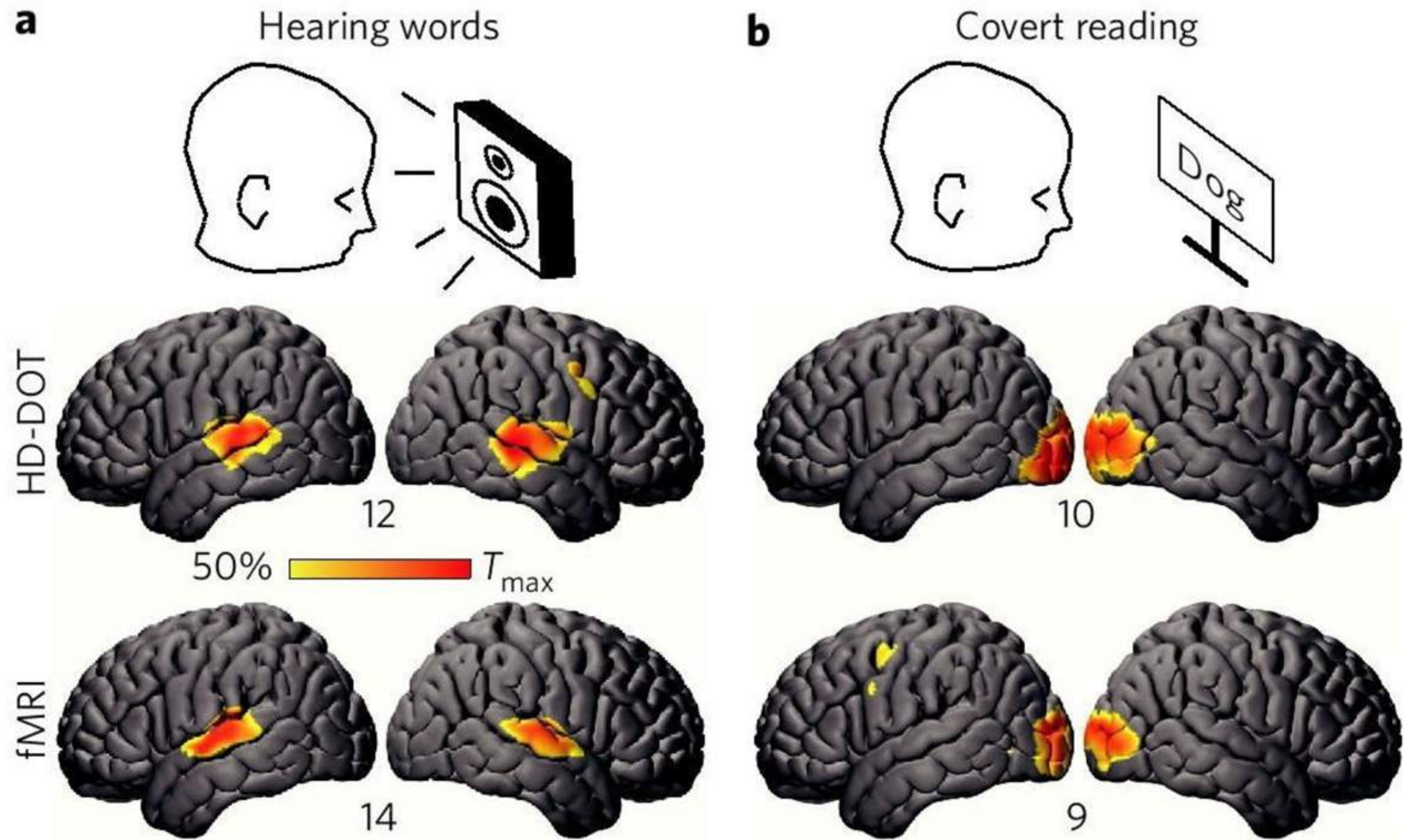
# Neue Resultate: HD-DOT (2014)

- High Density Diffuse Optical Tomography
- Hohe räumliche Auflösung und zugleich großes Sichtfeld
- Array mit 96 Quellen und 92 Detektoren (zuvor <36 Detektoren)
- Vergleich mit fMRI in Sprachtests

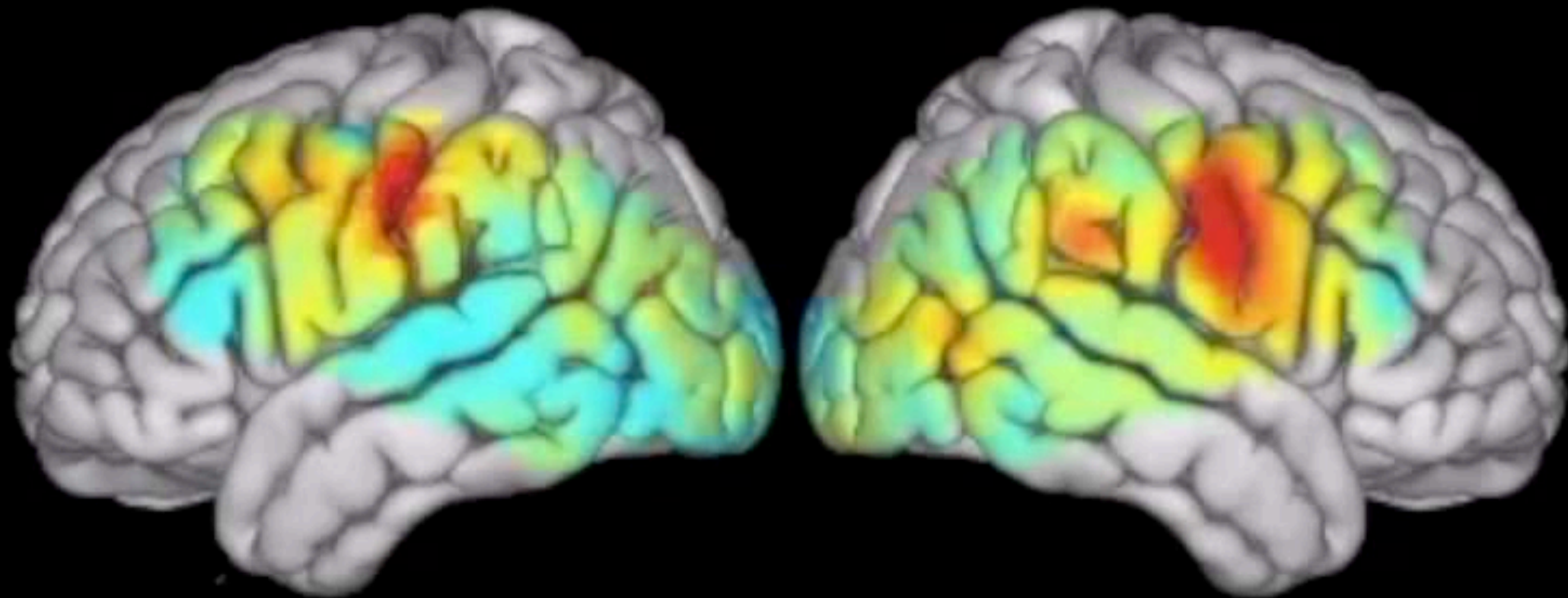




# HD-DOT vs fMRI



# Near Infrared Spectroscopy - NIRS



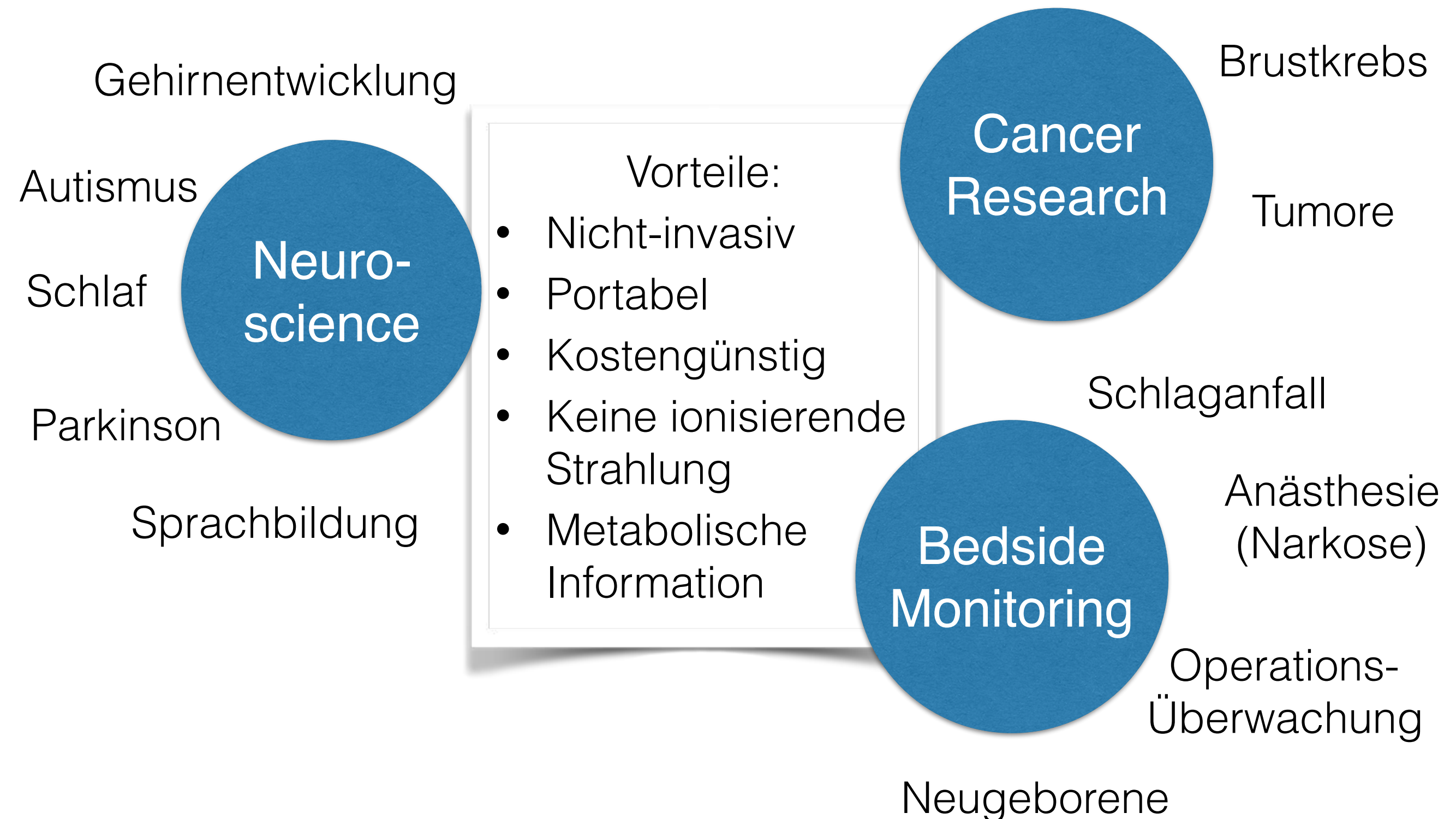
# Gliederung

---

1. Problemstellung
2. Photonen Transport Physik
3. Messaufbau und Methoden
4. Daten und Auswertung
5. Anwendung

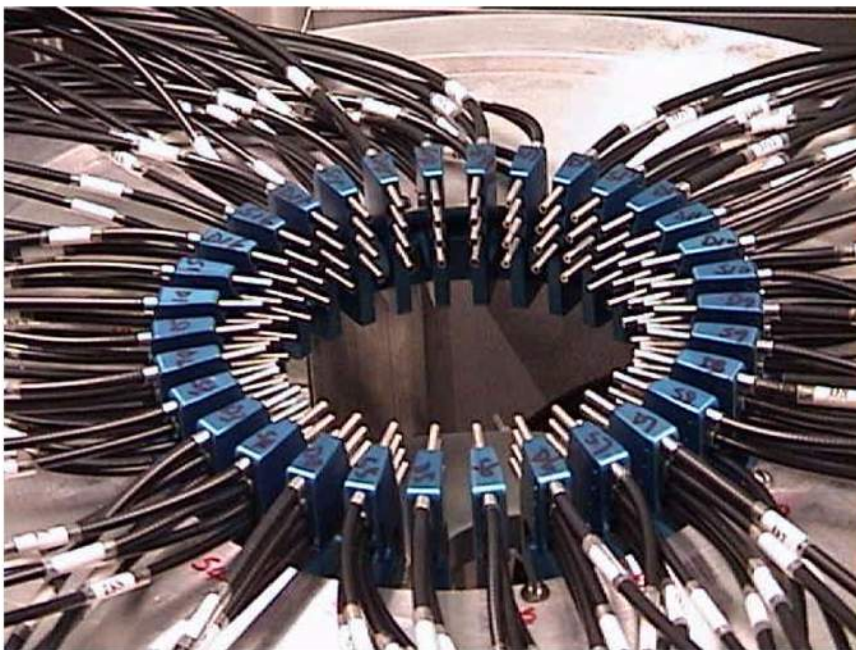


# Anwendung

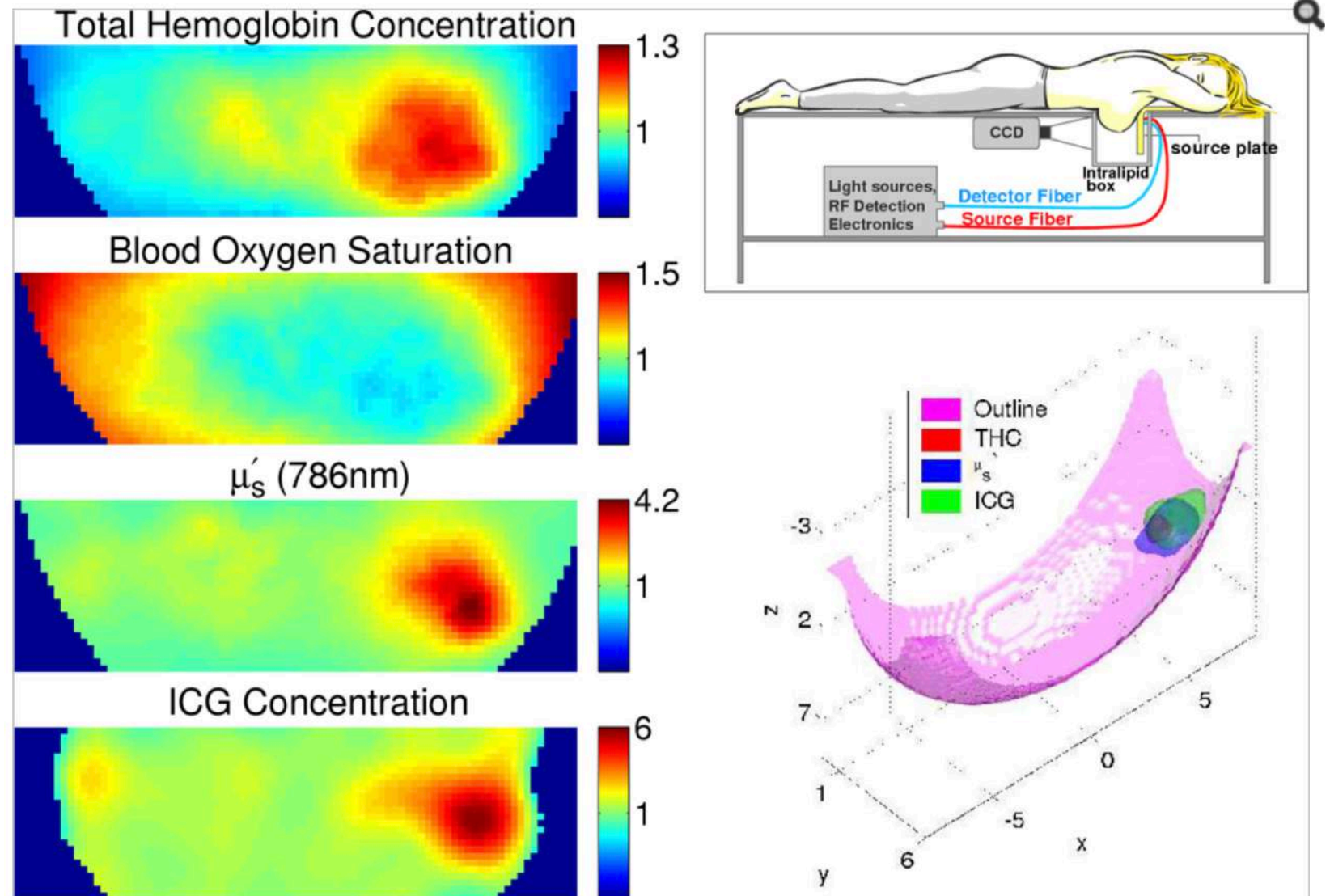


# Brustkrebs Diagnose

## Instrumentierung



Quelle: [https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\\_tomography](https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_tomography)



Quelle: Paper „Diffuse Optics for Tissue Monitoring and Tomography“ Durduran et al.



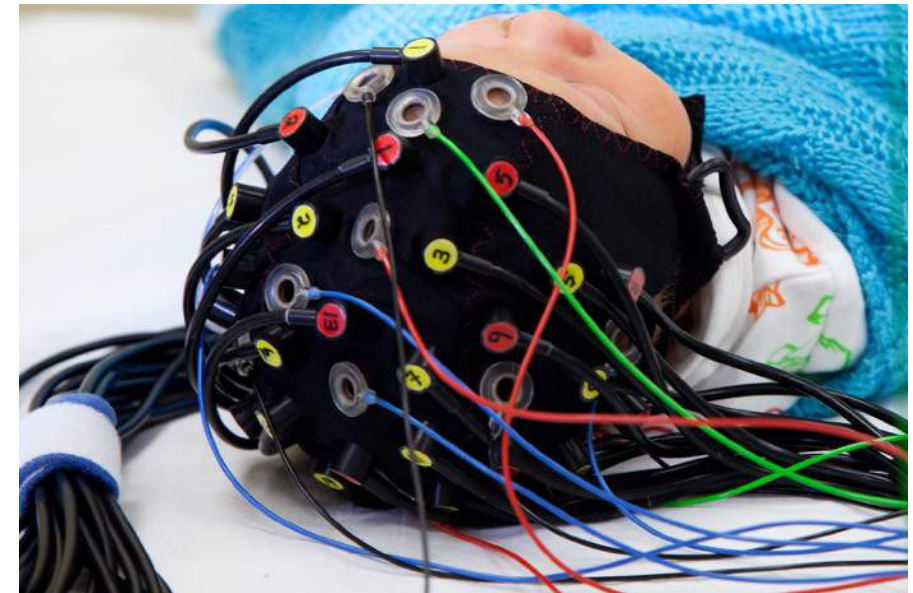
# Hirnforschung

NTS Optical Imaging System



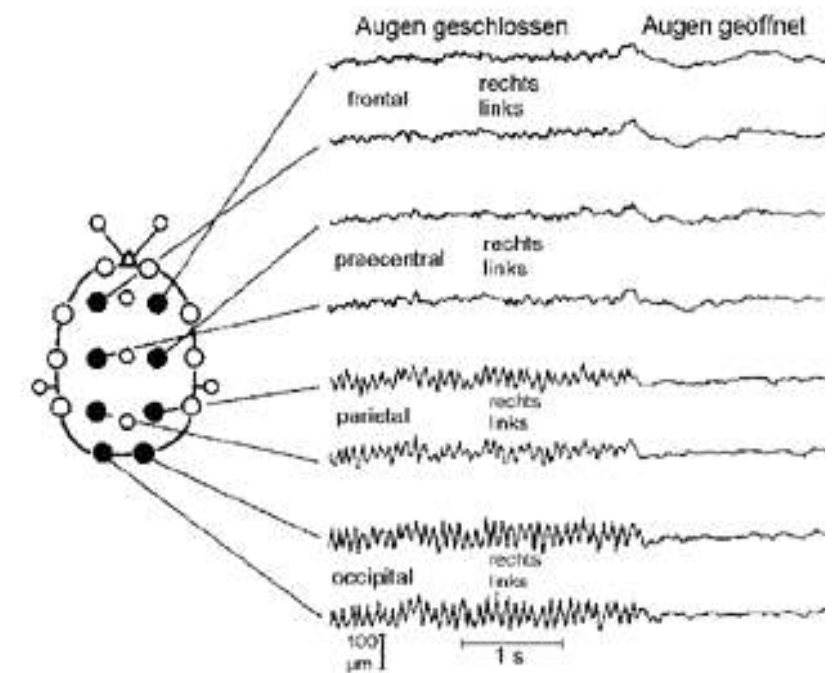
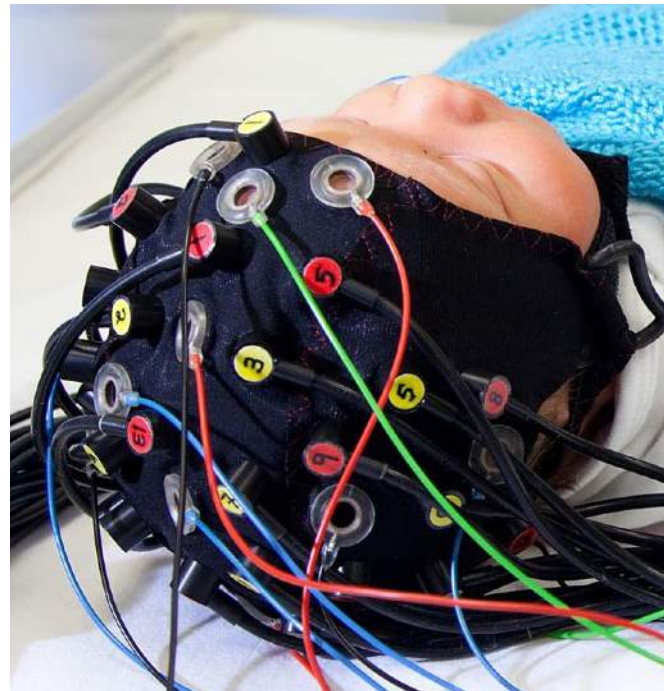
Quelle: <http://www.gowerlabs.co.uk/nts/>

fNIRS Headgear





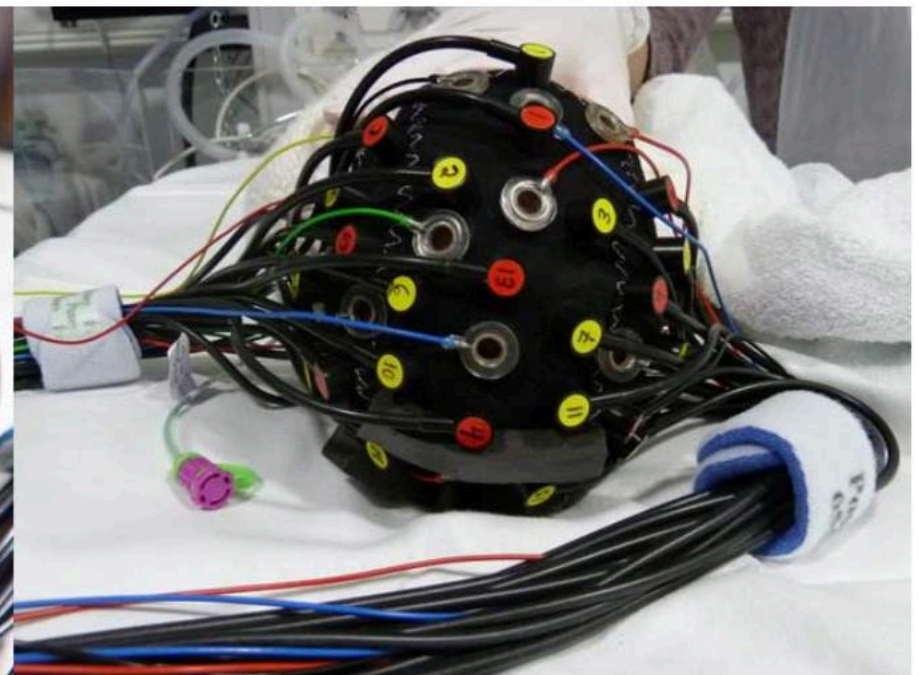
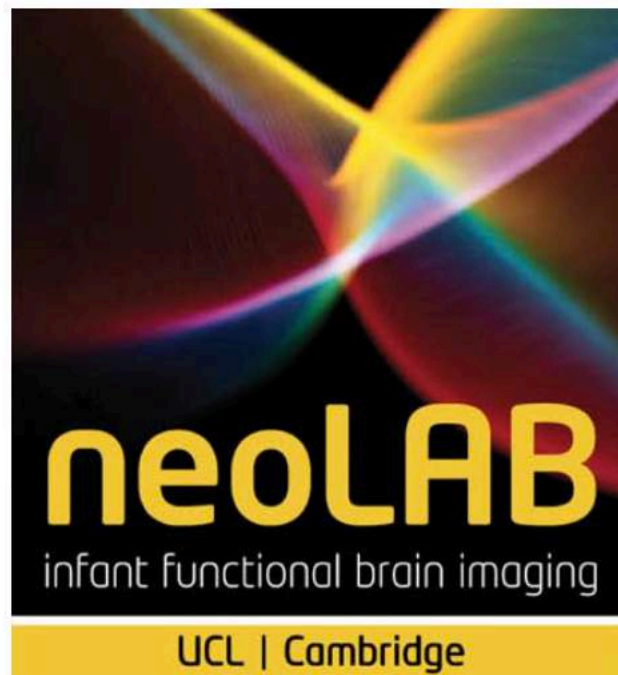
# fNIRS im Vergleich



Auflösung	fMRI	fNIRS	EEG
räumlich	sehr gut	gut	schlecht
zeitlich	schlecht	gut	sehr gut



# Neugeborenen Intensivstation



# Facebook Launches "Moon Shot" Effort to Decode Speech Direct from the Brain

Can the social media giant's bold claims live up to the hype?

---

By Larry Greenemeier on April 27, 2017

Mark Chevillet, a former program manager of applied neuroscience at Johns Hopkins University, says he and his team want to build a modified version of the functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) systems used today for neuroimaging. Whereas conventional fNIRS systems work by bouncing light off a tissue sample and analyze all of the returning photons no matter how diffuse, Building 8's prosthetic would detect only those photons that have scattered a small number of times—so-called quasi-ballistic photons—in order to provide the necessary spatial resolution.



# Take Home Points

- Infrarotes Licht kann tief in Gewebe eindringen
- Blut absorbiert Licht und zeigt Aktivität von Zellen
- Problem: Streuung erschwert Lokalisation
- Lösung: Modelle um Daten auszuwerten
- Ergebnis: Nichtinvasives bildgebendes Verfahren

# Fragen zu Optischer Tomographie?

Früher



Bildquelle: <http://bookofjoe.typepad.com/photos/uncategorized/2008/06/17/hrytu.jpg>

Heute



Bildquelle: <https://www.youtube.com/watch?v=6UkcwkxbmXI>

# Literatur

- Imaging the Body with Diffuse Optical Tomography, David A. Boas, Dana H. Brooks et al.
- Experimental and theoretical investigations of near infrared tomographic imaging methods and clinical applications. Doktorarbeit von Elisabeth M. C. Hillman
- Creating three-dimensional images with diffuse light, Book Excerpt
- Mapping distributed brain function and networks with diffuse optical tomography, Adam T. Eggebrecht et al.
- Time domain functional NIRS imaging for human brain mapping, Alessandro Torricelli et al.
- Diffuse Optics for Tissue Monitoring and Tomography, T. Durduran et al.