

Thermographie

Die Thermographie als medizinisches Diagnoseverfahren stellt die Temperaturverteilung an der Körperoberfläche dar.

Dabei soll die Frage beantwortet werden, welches Organ oder welcher Körperteil produziert wieviel Wärme:

Hintergrund: Tumore produzieren mehr Wärme (z.B. Mammakarzinom)
Entzündungen produzieren mehr Wärme.

Probleme: Der Körper versucht, die Temperatur auf 37° C zu regeln, d.h. die resultierenden Temperaturunterschiede sind sehr klein (einige Grad maximal).

Die Temperaturerhöhung fällt mit dem Abstand zum betroffenen Organ sehr schnell ab. Durch die Messung der Hauttemperatur werden deshalb nur oberflächennahe Organe erfaßt.

Thermographie

Bei folgenden Erkrankungen beobachtet man eine lokale Temperaturerhöhung:

Mamma-Karzinom: $\Delta T = 1,5$ bis 4 K

Maligne Melanome: $\Delta T = 2,0$ bis 4 K

Gefäßerkrankungen
(z.B. Thrombose): $\Delta T = 1,0$ bis 2 K

Entzündungen
(z.B. Rheuma): $\Delta T = 1,0$ bis 2 K

Die Thermographie hat sich bisher nicht als Standardmethode in der Medizin durchgesetzt, insbesondere weil die Spezifität oft nicht ausreichend ist.

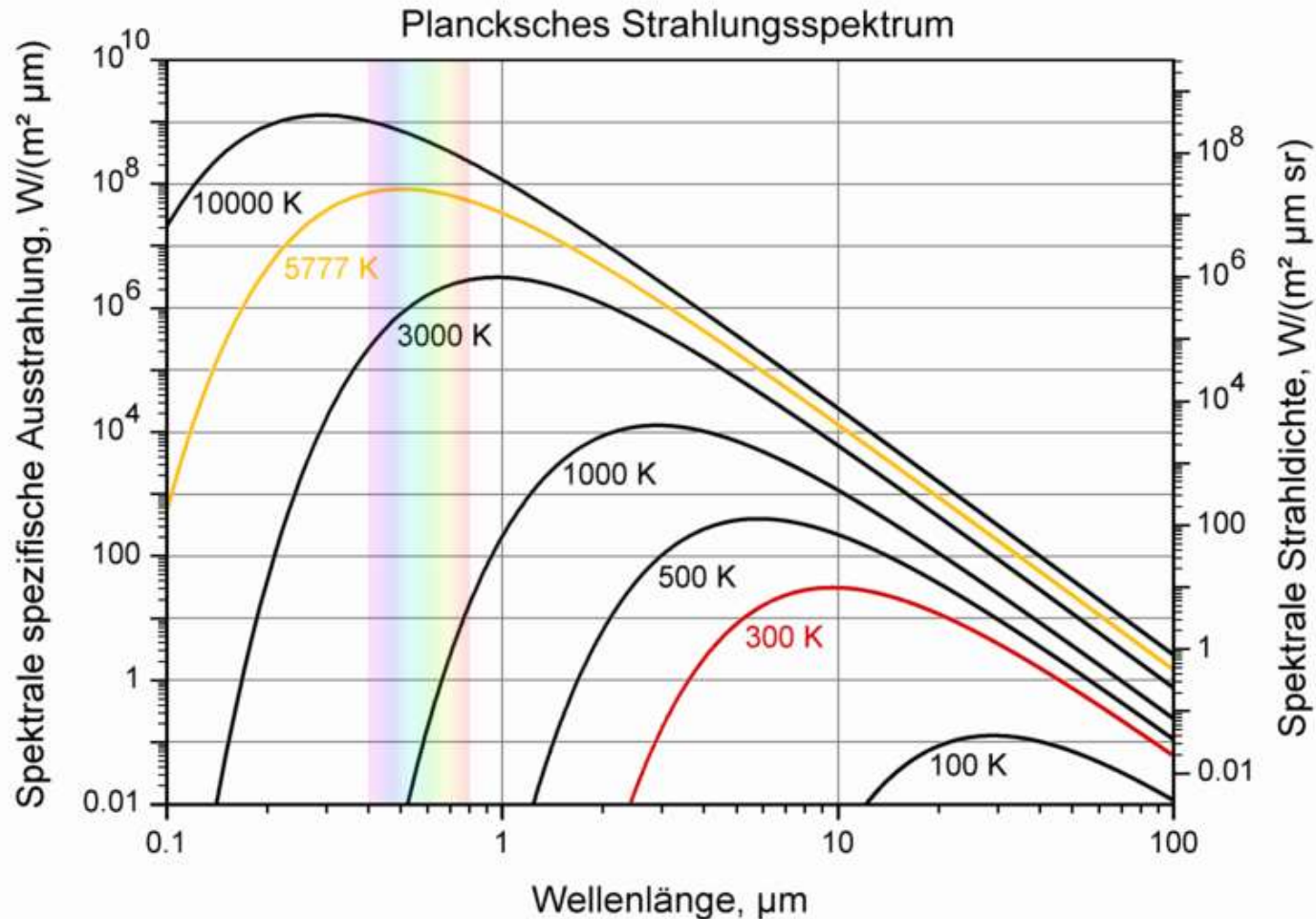
Thermographie

Infrarotkameras

Eine Wärmebildkamera (auch als Thermografie-, Thermal-, oder Infrarotkamera, oder beim Militär Wärmebildgerät (dort oftmals als FLIR für Forward Looking Infrared) bezeichnet) ist ein bildgebendes Gerät ähnlich einer herkömmlichen Kamera, das jedoch Infrarotstrahlung empfängt.

Die Infrarotstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von ca. $0,7 \mu\text{m}$ bis $1000 \mu\text{m}$. Wärmebildkameras nutzen allerdings aufgrund der typischen Emissionswellenlängen in der Nähe der Umgebungstemperatur (Wiensches Verschiebungsgesetz) den Spektralbereich von ca. $3,5$ bis $15 \mu\text{m}$ (mittleres und langwelliges Infrarot). Dieser Bereich ist auch für die Messung und bildliche Darstellung von Temperaturen im Umgebungstemperaturbereich geeignet, wenn der Emissionsgrad bekannt ist. Dieser streut allerdings materialabhängig sehr zwischen $0,012$ und $0,98$ - entsprechend ungenau kann die Temperaturzuordnung ausfallen.

Thermographie



Spektrale Verteilung der Intensität der Schwarzkörperstrahlung. Die Temperatur der Sonne ist orange, die Umgebungstemperatur rot gekennzeichnet

Thermographie

Infrarotkameras

Detektoren: Photodioden, Phototransistoren

Techniken

- Scannen der Hautoberflächen mit Einzeldetektoren
- direkte Bildgewinnung mittels Detektor-Arrays
bzw. Detektor-Matrizen

Thermographie

Aufgebaut ist eine Wärmebildkamera im Prinzip wie eine normale elektronische Kamera für sichtbares Licht, die Sensoren unterscheiden sich aber in Aufbau und Funktionsweise je nach zu detektierender Wellenlänge. Es ist nicht möglich, mit herkömmlichen Filmen sehr langwellige Strahlung aufzunehmen, weil die fotoempfindliche Emulsion auch in verpacktem Zustand durch die thermische Eigenstrahlung „belichtet“ würde.

Durch ein Objektiv mit Linse(n) wird ein Bild auf einen elektronischen Bildsensor projiziert. Kameras für den Wellenlängenbereich von 8 bis 14 μm verwenden eine Optik aus feuchteempfindlichen Salzen wie Natriumchlorid (Kochsalz), Silbersalze oder aus einkristallinen Halbleitermaterialien wie Germanium oder Zinkselenid.

Für die elektronischen Bildsensoren werden geeignete Halbleitermaterialien verwendet; zum Beispiel verwendet man für Wellenlängen von 1 bis 2 μm (SWIR) Indium-Gallium-Arsenid-Sensoren (InGaAs) oder Bleisulfid-Sensoren.

Thermographie

Thermografiekameras können gekühlte oder ungekühlte Infrarotbilddetektoren besitzen. Nach dem photoelektrischen Effekt arbeitende Detektoren werden oft auf Temperaturen im Bereich um 70K gekühlt, damit die Eigenstrahlung der Kamera und des Detektors die Messung nicht beeinflusst. Hierdurch kann sich die thermische Empfindlichkeit (Temperaturauflösung) des Thermografiesystems gegenüber den ungekühlten Systemen entscheidend erhöht.

Ungekühlte Infrarot-Sensoren werden durch thermoelektrische Kühler, die Peltierelemente, auf konstanter Temperatur gehalten, um Signaldrift der Empfänger-Elemente zu verringern. Solche Systeme kommen ohne kostspielige, evtl. unhandliche Kühlvorrichtungen aus. Damit sind diese Thermografiesysteme deutlich kleiner und kostengünstiger als gekühlte Systeme. Sie liefern aber ein vergleichsweise schlechteres Ergebnis. Ungekühlte Detektoren verwenden pyroelektrische oder Mikrobolometer-Arrays.

Thermographie

Infrarotkamera an einem Polizeihubschrauber



Thermographie

Mobile Wärmebildkamera

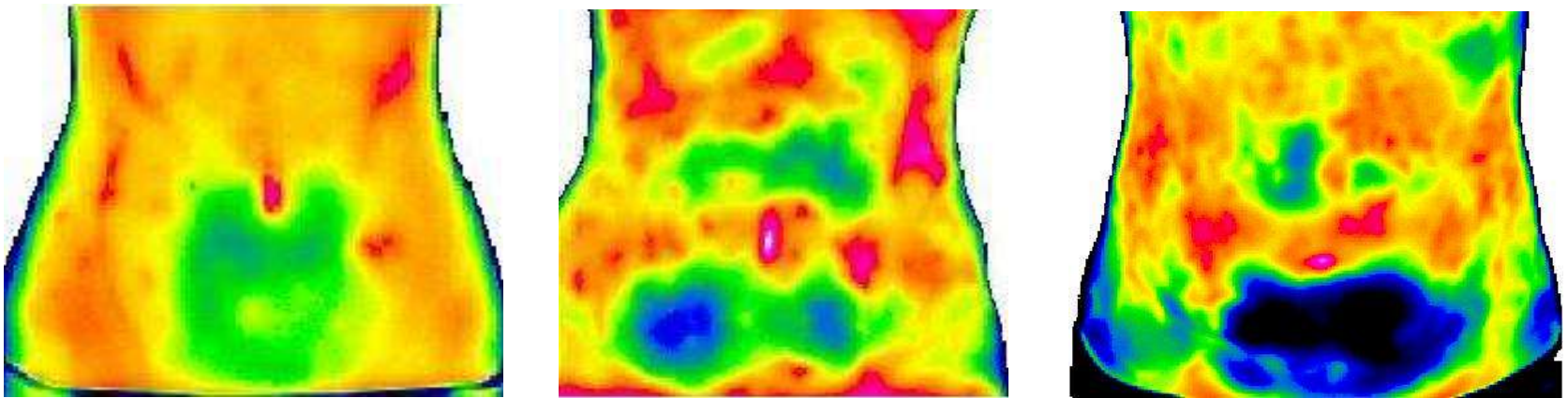


Thermographie



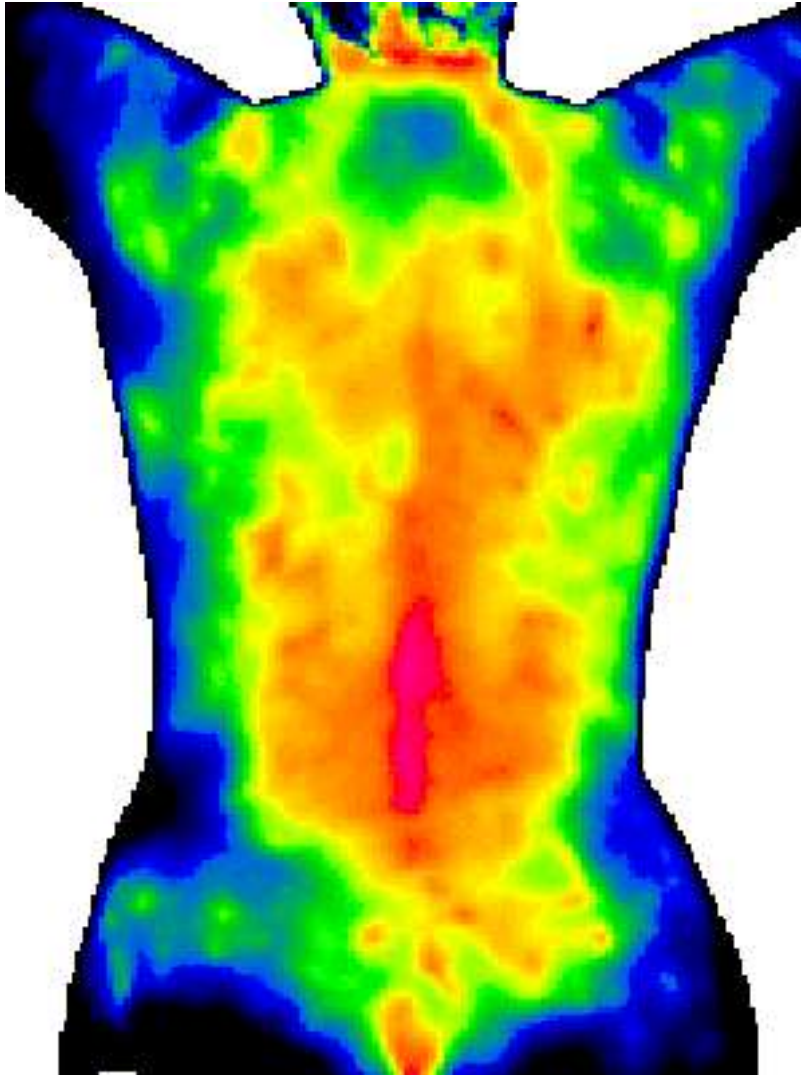
Technische Anwendung der Thermographie: Erkennung von Wärmeverlusten an Gebäuden.

Thermographie



Verschiedene abdominale Temperaturverteilungen.

Thermographie



Auffällige
Temperaturverteilung des
Rückens.

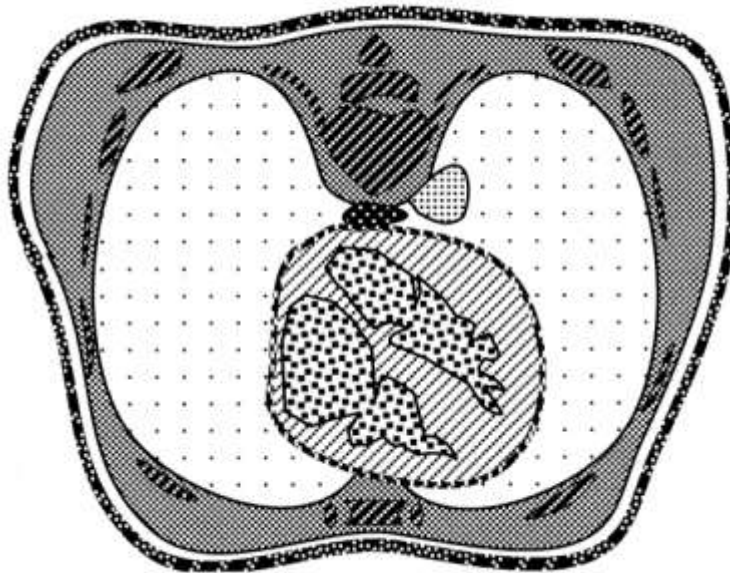
Impedanz-Tomographie

Abbildungen der Verteilung der elektrischen Impedanzen

Messung: Mittels Elektroden wird dem Körper ein hochfrequenter elektrischer Strom eingeprägt. Durch Spannungsmessungen wird die resultierende Feldverteilung gemessen und hieraus die Impedanzverteilung bestimmt (Inverses Problem).

Anwendungen: Darstellung der Anatomie des Körpers,
Bestimmung des Flüssigkeitsstatus der Lunge,
Bestimmung des Herzschlagvolumens.

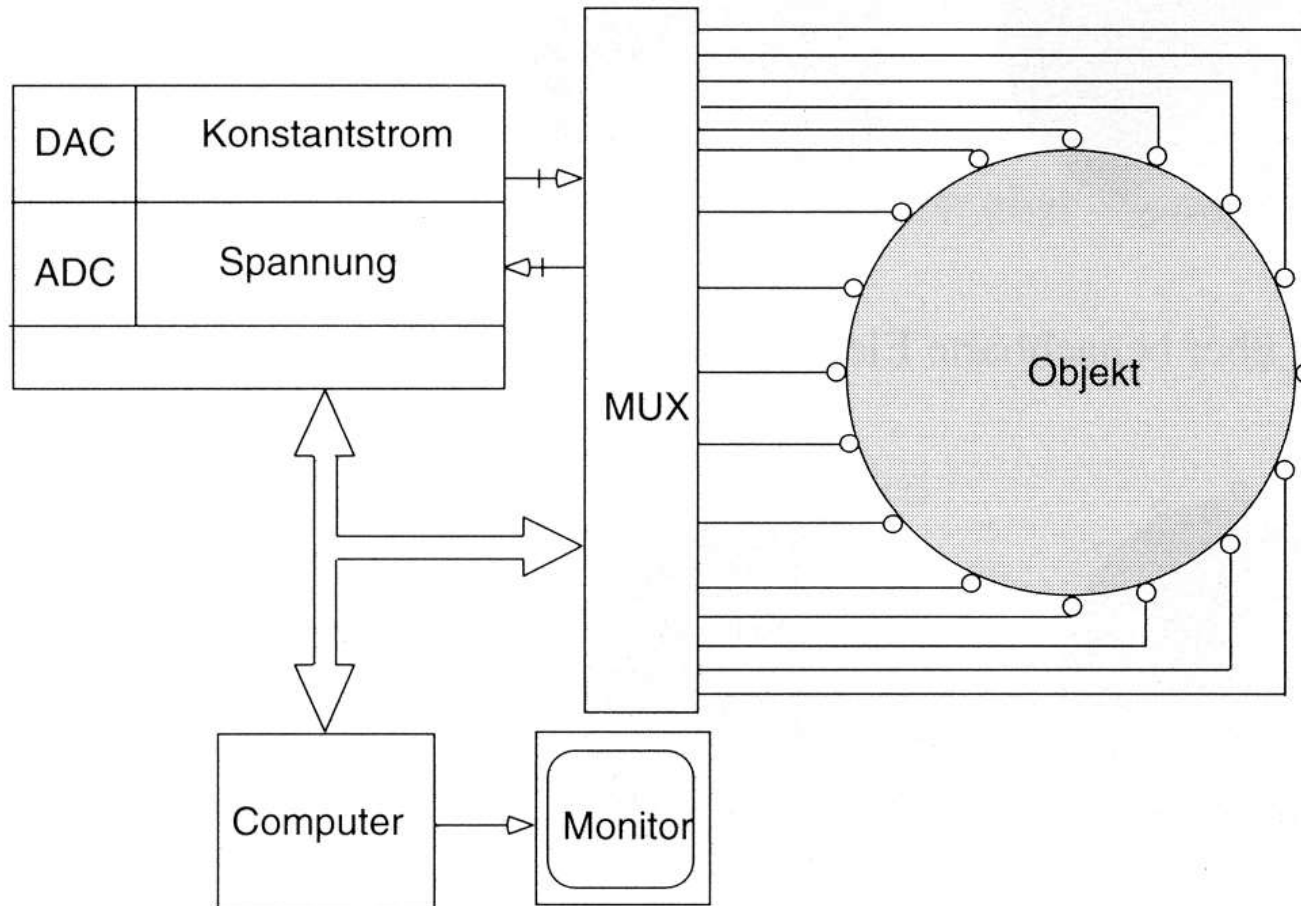
Impedanz-Tomographie



Gewebe	Spez. Widerstand [Ωm]
Blut	1,5
Herzmuskel	1,6 längs 4,2 quer
Skelettmuskel	1,2 längs 18 quer
Lungen	20
Fett	25
Knochen	166

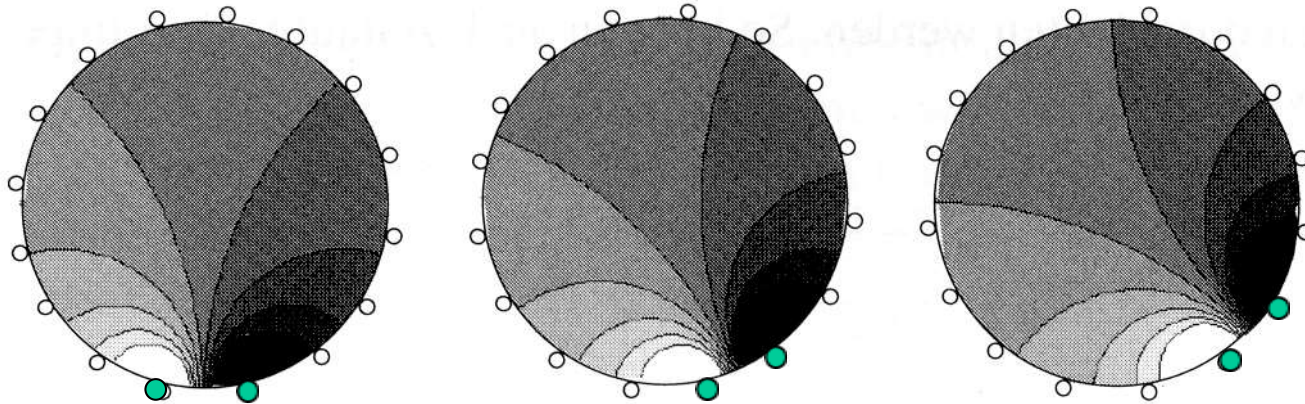
Querschnitt des Thorax mit den typischen spezifischen Widerständen

Impedanz-Tomographie

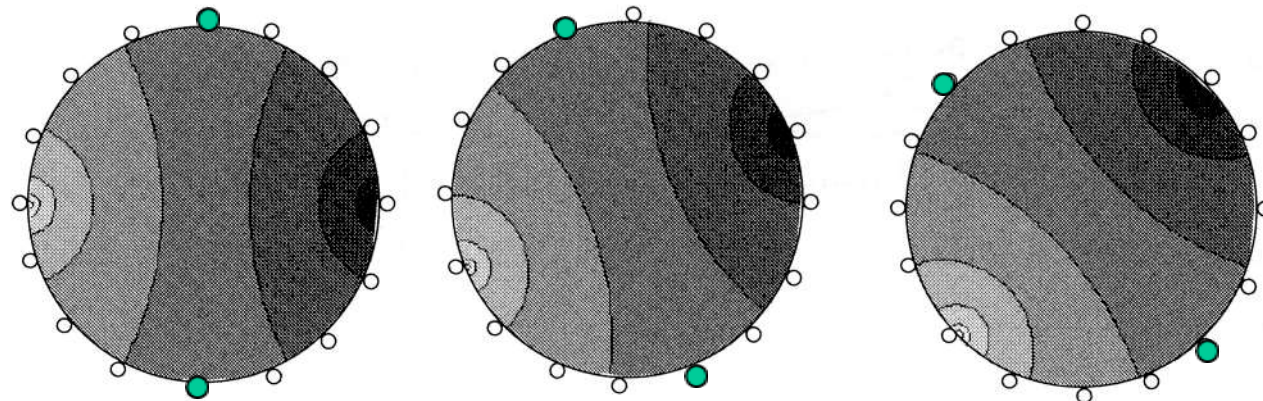


Impedanztomographiesystem

Impedanz-Tomographie



Feldverteilung bei Stromeinspeisung über benachbarte Elektroden

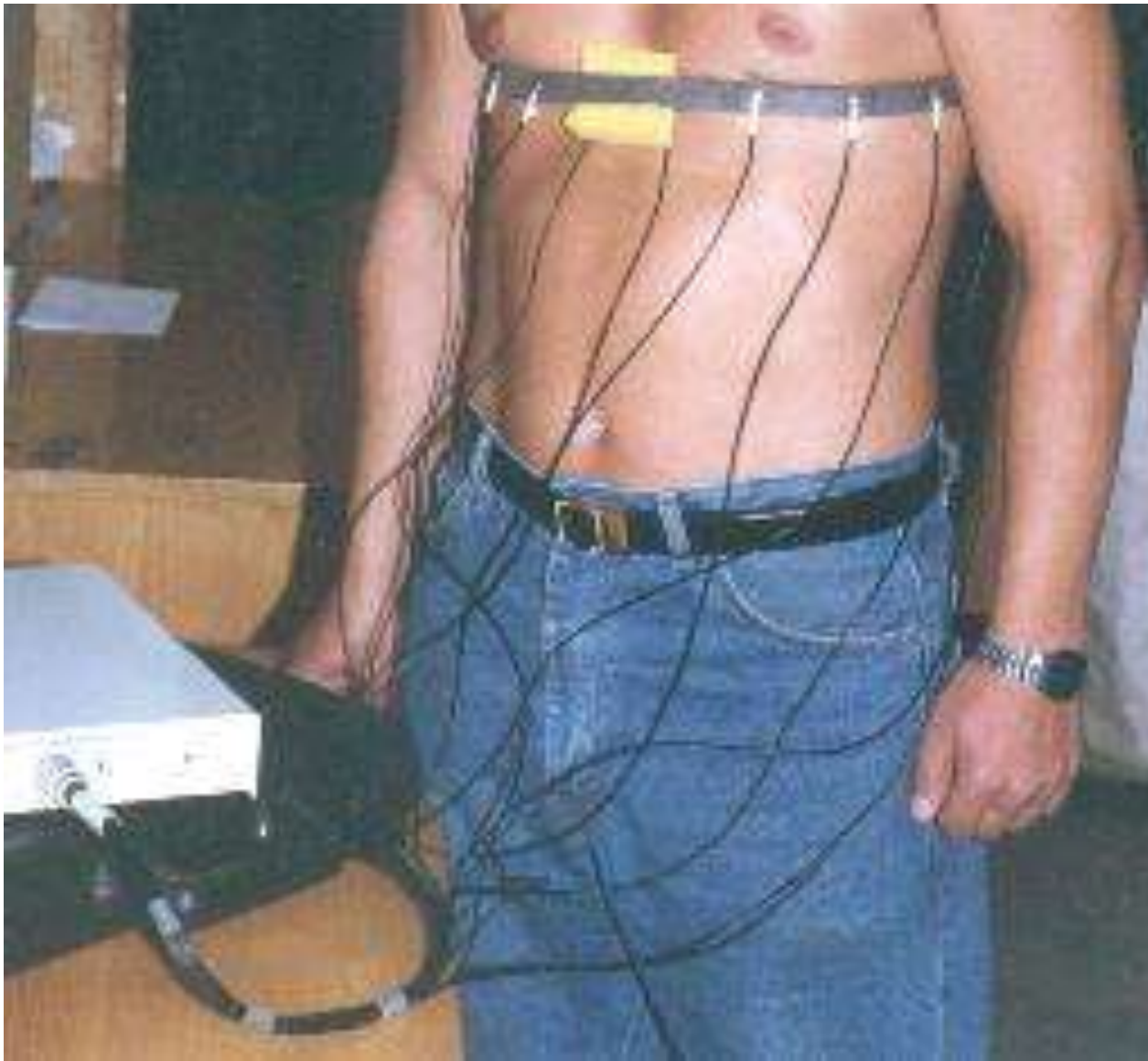


Feldverteilung bei Stromeinspeisung über gegenüberliegende Elektroden

Impedanz-Tomographie

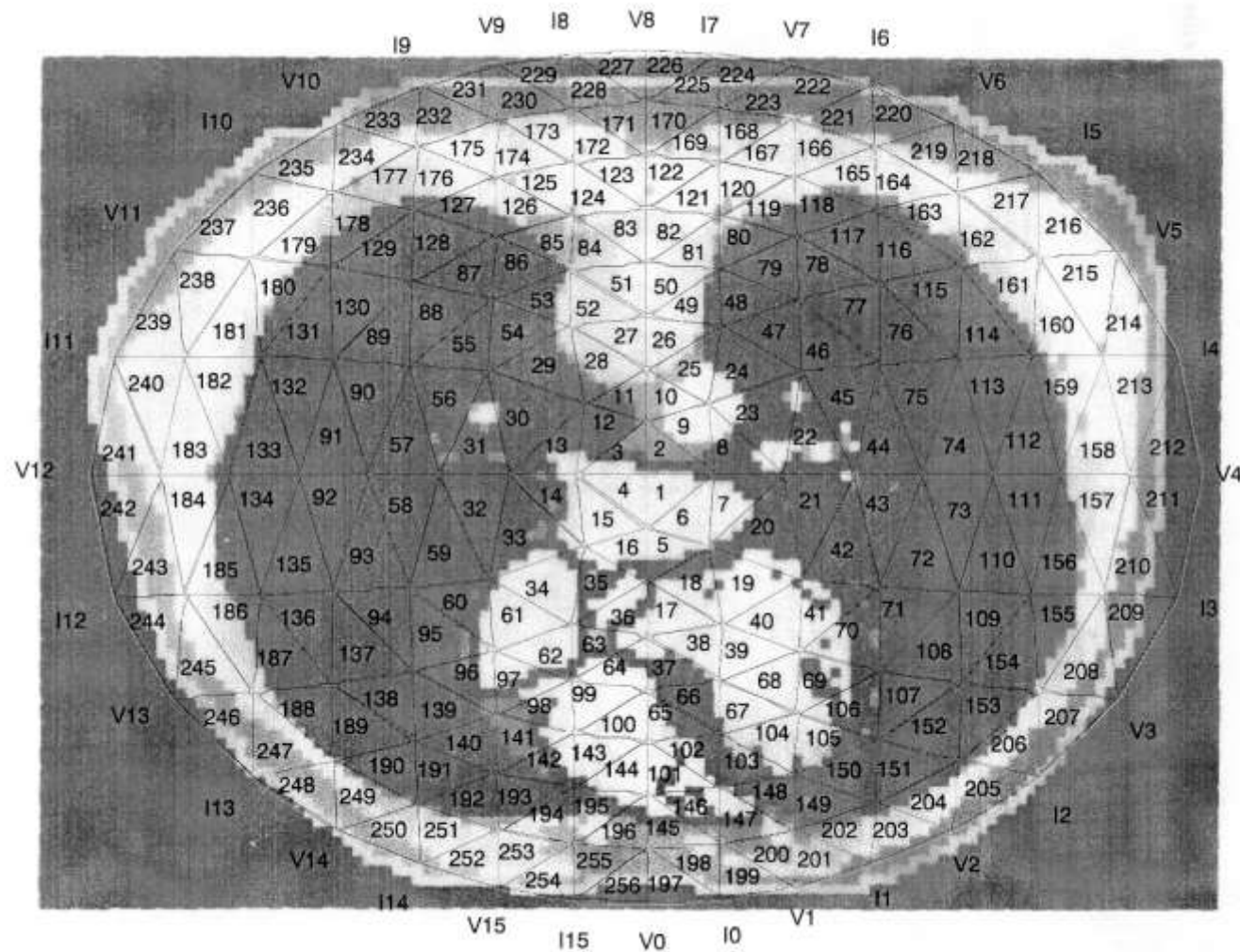
Tabelle 9.2. Stromelektrodenpaare und entsprechende Spannungsmessungen

Stromdipol	Spannungsmessungen zwischen Paaren	Anzahl
[1, 2]	[3, 4], [4, 5], [5, 6], ... [14, 15], [15, 16]	13
[2, 3]	[4, 5], [5, 6], [6, 7], ... [15, 16], [16, 1]	13
[3, 4]	[5, 6], [6, 7], [7, 8], ... [15, 16], [16, 1]	12
[4, 5]	[6, 7], [7, 8], [8, 9], ... [15, 16], [16, 1]	11
...	...	...
[12, 13]	[14, 15], [15, 16], [16, 1]	3
[13, 14]	[15, 16], [16, 1]	2
[14, 15]	[16, 1]	1
[15, 16]	-	
[16, 1]	-	
	Summe:	104



Elektrodenband zur
Messung eines
Impedanztomogramms
in einer Ebene

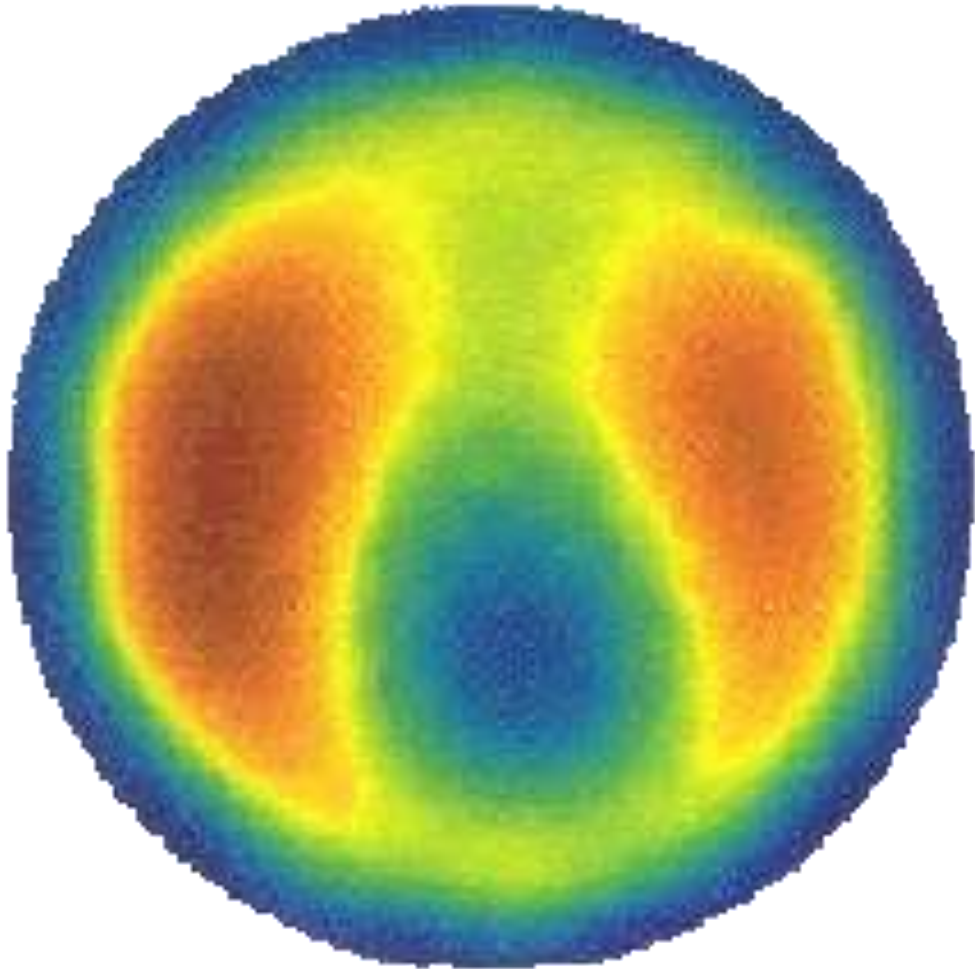
Impedanz-Tomographie



Finite Elemente Modellierung des Thorax zur Rekonstruktion des Impedanztomogramms

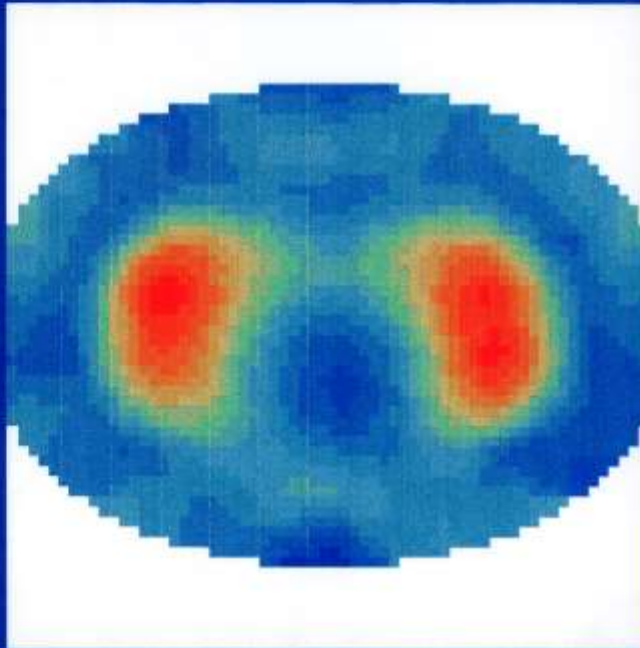
Impedanz-Tomographie

Aufnahme Flüssigkeitsstatus
der Lunge (Phantom)



0: 0:15

FILE:LUNG2



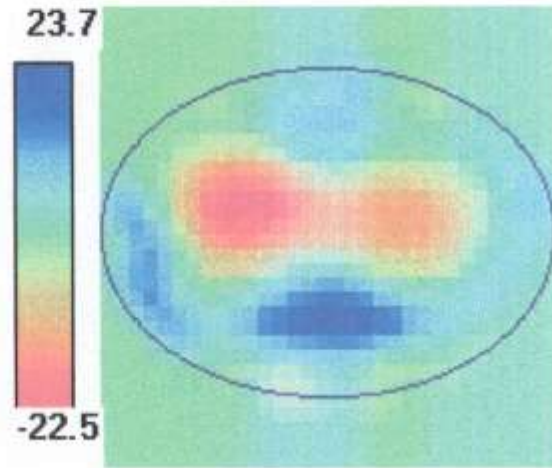
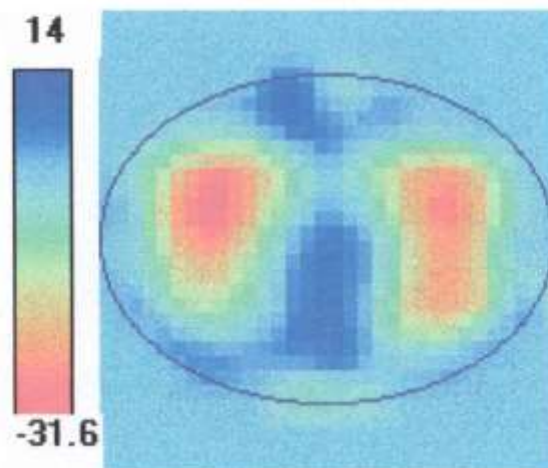
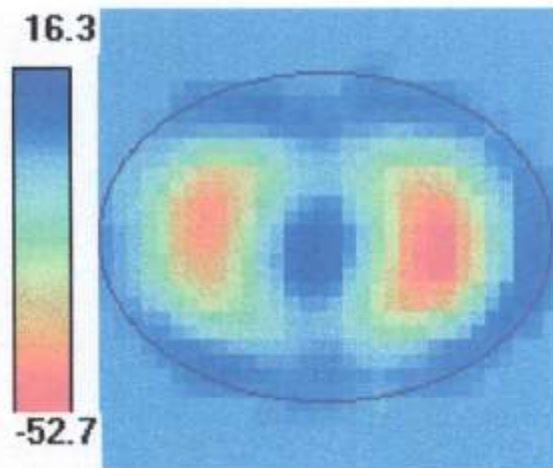
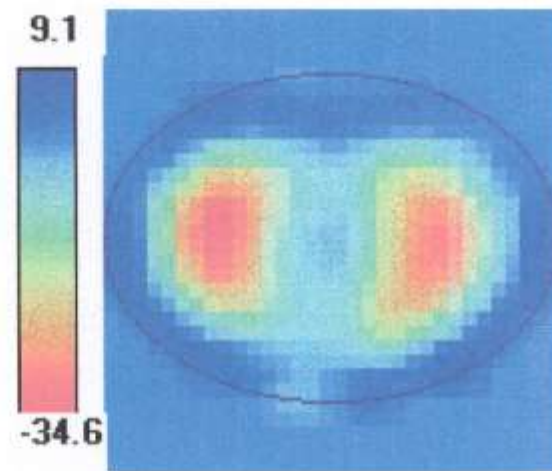
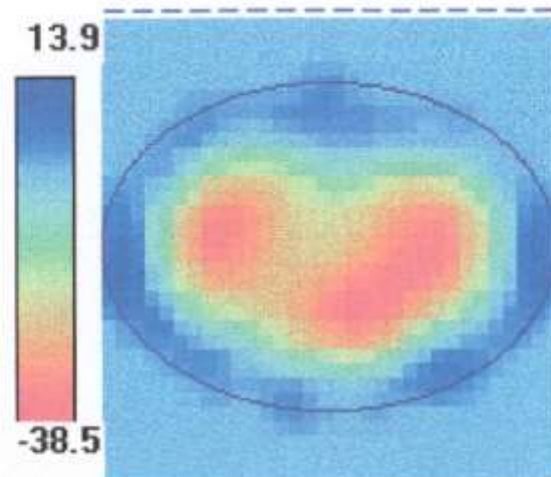
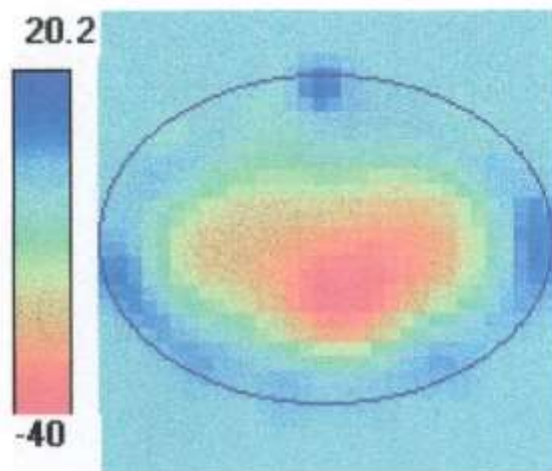
113.7
116.0
118.4
120.8
123.2
125.5
127.9
130.3
132.7
135.0
137.4
139.8
142.2
144.6
146.9
149.3

[Ohm*cm]

1.Iteration

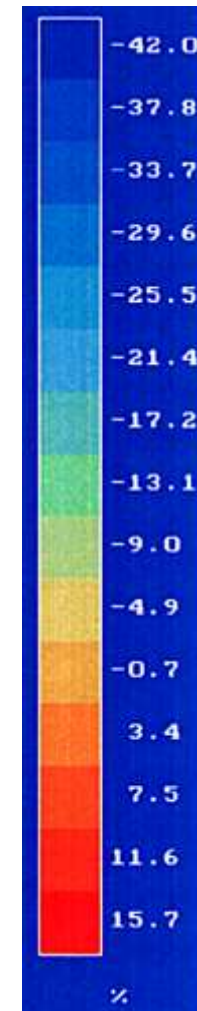
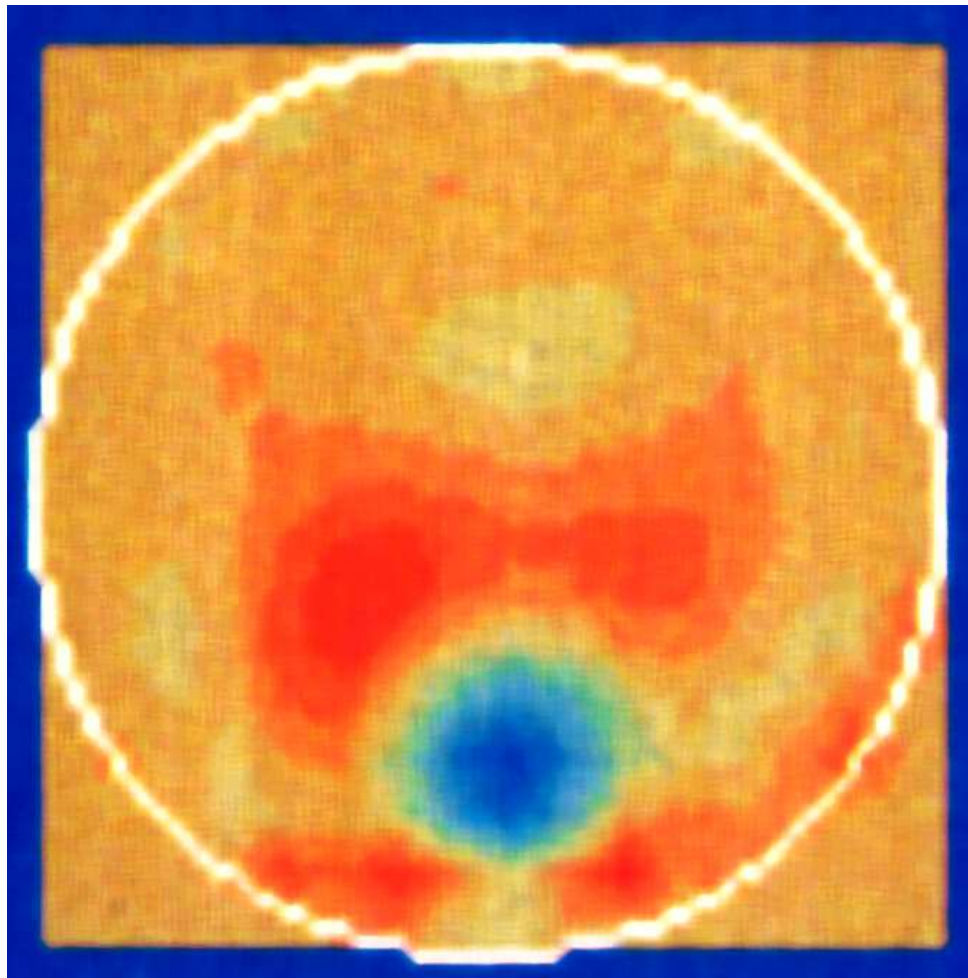
Weiter mit bel. Taste

Aufnahme Flüssigkeitsstatus der Lunge (Proband, IBMT)



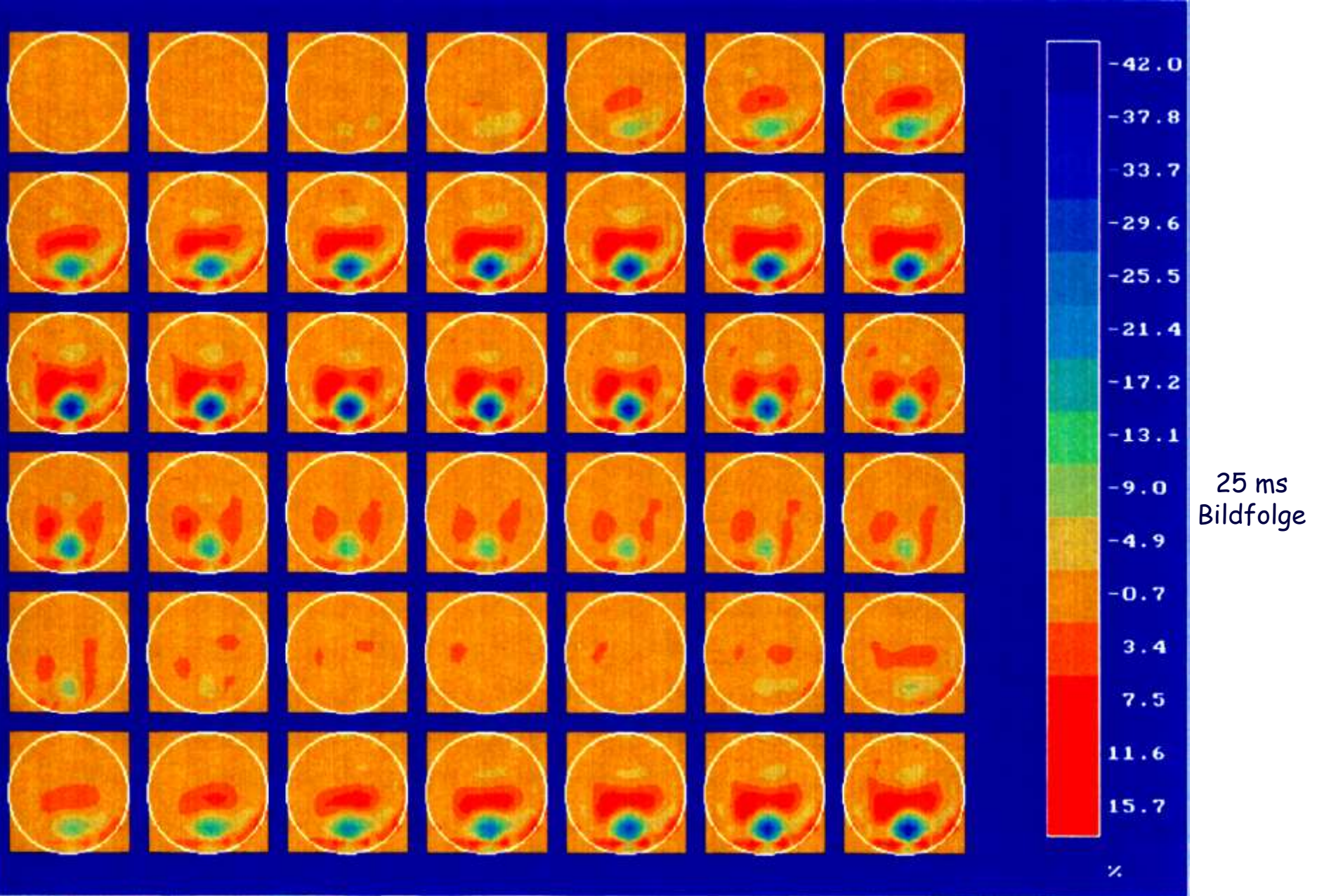
Aufnahme Flüssigkeitsstatus der Lunge: mehrere Ebenen (Proband, IBMT)

Impedanz-Tomographie



Farbskala für
prozentuale
Änderung der
Impedanz

Aufnahme des Blutflusses in der aufsteigenden Aorta (Proband, IBMT)



Sequenz: Blutfluss in der aufsteigenden Aorta (Proband, IBMT)

CLARITY (Klarheit)

Tiefer Einblick: Neue Technik macht Mäusehirn transparent



CLARITY

Die neue Technologie erlaubt es Wissenschaftlern, Organe komplett durchsichtig zu machen – so wie das in der vorangehenden Abbildung zu sehende Gehirn einer Maus.

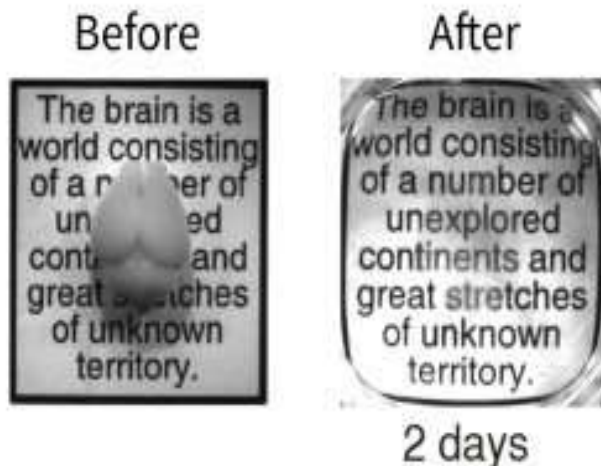
Das Verfahren trägt den Namen „Clarity“ und erlaubt es, gezielt bestimmte Strukturen einzufärben, die sich dann deutlich vom transparenten Rest des Untersuchungsobjekts abheben. Auf diesem Weg können tiefe Einblicke in das innere lebender Organismen gewonnen werden, ohne diese aufschneiden zu müssen. Gerade beim Gehirn ist das sehr interessant, da die dort vorhandenen Nervenbahnen und –netze so komplex sind, dass ein operativer Eingriff sie unweigerlich verletzen oder zerstören würde.

Clarity erlaubt es Wissenschaftlern aber auch, noch deutlich kleinere Strukturen zu erkennen – sogar Nukleinsäuren, Proteinkomplexe und die Wege von Botenstoffen im Gehirn lassen sich damit verfolgen.

CLARITY

Es wurde eine Präparationsmethode entwickelt, die einen dreidimensionalen Blick auf Hirnstrukturen ermöglicht.

Dazu wird mithilfe einer Chemikalienmischung das **Fett entfernt**, das die unverschleierte Sicht auf die Nervenzellen verhindert. Die Erforschung neuronaler Grundlagen von Erkrankungen wie beispielsweise Autismus werden dadurch nach Ansicht der Wissenschaftler einen Schub erhalten.



Nach zwei Tagen der Fettentfernungsprozedur ist das Mäusehirn zur Durchsichtigkeit gelangt. Die störenden Lipide, Fettbestandteile sämtlicher Zellmembranen des Körpers, zum Verschwinden, ohne die Gesamtstruktur der Zellen zu zerstören.

CLARITY

Das Hirngewebe wird mit einer Substanzenmischung infiltriert, die nach einer Erhitzungsprozedur ein sogenanntes Hydrogel bildet. Im Gewebe formt es ein Gerüst, das alle Zellbestandteile fixiert. Mit einem elektrochemischen Verfahren werden die Lipide dann ausgesondert, woraufhin die Zellmembranen lichtdurchlässig werden.

CLARITY ist neben der Anwendung in der Hirnforschung prinzipiell auch dafür tauglich, andere Strukturen im menschlichen Körper zu durchleuchten. Denn Fett ist nicht nur dem Schlankheitsideal hinderlich, sondern auch dem freien Blick auf die Details vieler Gewebe im menschlichen Körper.

Magnetic Particle Imaging

Die Maus trifft es immer zuerst. Im Hamburger Philips-Forschungslabor für Medizintechnik liegt sie in einer engen Röhre mit etwa 12 Zentimeter Durchmesser. Als allererstes Lebewesen weltweit wird sie mit einem völlig neuartigen Bildgebungsverfahren durchleuchtet. Winzige Eisenpartikel zirkulieren dazu durch ihren Blutkreislauf. Mittels eines komplexen Zusammenspiels von Magnetfeldern liefern sie millimetergenau Daten für ein dreidimensionales Video über den Blutkreislauf. "Magnetic Particle Imaging" (MPI) taufte das Team um Erfinder Bernhard Gleich dieses Verfahren. Es soll ohne radioaktive Kontrastmittel schonender als Röntgenstrahlung, genauer als Ultraschall und schneller als die Kernspintomografie gefährliche Gefäßverengungen und Krebsgeschwüre aufspüren, berichtet Technology Review in seiner Online-Ausgabe. Die Chancen dafür stehen nicht schlecht. Denn den Kern der Technologie, der in der exakten Abstimmung statischer und fluktuierender Magnetfelder liegt, haben die Forscher gut im Griff.

Und die als Kontrastmittel geeignete Suspension mit den 3 bis 60 Nanometer kleinen Eisenpartikeln ist unter dem Markennamen Resovist bereits für klinische Anwendungen zugelassen.

Magnetic Particle Imaging (MPI)

MPI ist ein neues tomographisches Bildgebungsverfahren, mit dem sich die lokale Konzentration von magnetischen Nanopartikeln quantitativ sowohl mit hoher Empfindlichkeit als auch mit hervorragender räumlicher Auflösung in Echtzeit darstellen lässt. Diese Vorteile gegenüber etablierten Verfahren, die oft nur einen der Bereiche abdecken können oder nicht quantitativ sind, lassen ein hohes klinisches Potenzial in vielen Anwendungen erwarten. Die Grundidee besteht in der Nutzung der nichtlinearen Magnetisierungskurve der magnetischen Nanopartikel.

Das Verfahren nutzt dazu zwei überlagernde Magnetfelder, zum einen ein statisches Selektionsfeld, zum anderen ein dynamisches Wechselfeld. Werden die Nanopartikel in das Wechselfeld gebracht, ändert sich ihre Magnetisierung nichtlinear, was mit einer Empfangsspule gemessen werden kann. Aufgrund der Nichtlinearität enthält das gemessene Signal neben der Grundfrequenz des Wechselfelds auch Harmonische. Nach Separation der Harmonischen von dem eingespeisten Grundsignal kann die Konzentration der Nanopartikel ermittelt werden. Eine örtliche Kodierung wird durch das statische Selektionsfeld erreicht, das einen feldfreien Punkt erzeugt. Die inhaltliche Ausrichtung dieses Beitrages konzentriert sich auf die Bildrekonstruktion im Frequenzraum sowie die dazugehörigen Bildgebungssysteme und beschreibt kurz alternative Konzepte, wie die Bildrekonstruktion im Zeitbereich und die Bildgebung mit einer feldfreien Linie. Zusammenfassend wird ein Überblick über den gegenwärtigen Stand von MPI-Bildgebungssystemen gegeben.

Optical Coherence Tomography

Optical Coherence Tomography, or ‘OCT’, is a technique for obtaining sub-surface images of translucent or opaque materials at a resolution equivalent to a low-power microscope. It is effectively ‘optical ultrasound’, imaging reflections from within tissue to provide cross-sectional images. One of the benefits of OCT is that it provides tissue morphology imagery at much higher resolution than other imaging modalities such as MRI or ultrasound. The key benefits of OCT are live sub-surface images at near-microscopic resolution, instant, direct imaging of tissue morphology, no preparation of the sample or subject, and no ionizing radiation.

Commercially available OCT systems are employed in diverse applications, including diagnostic medicine, notably in ophthalmology where it can be used to obtain detailed images from within the retina, all the way to art conservation. Recently it has also begun to be used in interventional cardiology to help diagnose coronary artery disease.

Optische Tomographie

Hauptprobleme: Absorption, Streuung

Abbildung bioelektrischer Quellen

Hauptprobleme: geringe Feldstärken, Lösung des inversen Problems

Kernspin