

Diplomarbeit

**Neurophysiologisches und  
neurospektroskopisches Mapping –  
Effekte der Akupunktur**

eingereicht von

**Waltraud Anderle**

Mat.Nr.: 0433293

zur Erlangung des akademischen Grades -

**Doktorin der gesamten Heilkunde  
(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin,  
Forschungseinheit für biomedizinische Technik in Anästhesie  
und Intensivmedizin und am TCM Forschungszentrum Graz**

unter der Anleitung von

**Univ.-Prof. DI Dr.techn. Dr.scient.med. Gerhard Litscher und**

**Univ.-Ass. Dr.med. Lu Wang**

### *Eidesstattliche Erklärung*

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

*Graz, am .....*

*Unterschrift*

### **Geschlechterbezeichnung:**

Im Sinne der leichteren Lesbarkeit der Diplomarbeit wird bei Personenbezeichnungen in der Regel die männliche Form verwendet. Es sind jedoch jeweils weibliche und männliche Personen gemeint.

## Danksagungen

Für die Bereitstellung des Diplomarbeitsthemas, die persönliche und wissenschaftliche Betreuung gilt mein besonderer Dank Univ.-Prof. DI Dr.techn. Dr.scient.med. Gerhard Litscher, der mir jederzeit mit großem Engagement unterstützend zur Seite stand.

Ebenso möchte ich mich bei Assoc.Prof. Xin-Yan Gao MD PhD und Univ.-Ass. Dr.med. Lu Wang für ihre Hilfe bei den Messungen bedanken.

Ein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Institutes für ‚Knowledge Discovery‘ (Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Christa Neuper) der Technischen Universität Graz, im Besonderen Assoc.Prof. DI Dr.techn. Gernot Müller-Putz, DI Günther Bauernfeind und Hanna Hiebel für ihre Hilfe, ihr Engagement und die Bereitstellung des Labors und des technischen Equipments.

Ein großes Dankeschön gilt natürlich auch den Probanden, die sich für die Messungen zur Verfügung gestellt haben und so einen wesentlichen Teil zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben.

Vor allem möchte ich mich von ganzem Herzen bei meiner Familie, insbesondere meinen Eltern bedanken. Dafür, dass sie mir dieses Studium ermöglicht und mich dabei immer liebevoll unterstützt haben!

Zuletzt möchte ich mich noch bei meinen Freunden und Studienkollegen für den Zusammenhalt, den Rückhalt und die schöne Studienzeit bedanken!

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Das neurophysiologische und neurospektroskopische Mapping von zerebralen Effekten der Akupunktur ist ein Gebiet der Forschung, das sich zunehmend umfangreicher gestaltet. Das Elektroenzephalogramm (EEG) und die Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) geben als nicht-invasive Methoden Aufschluss über Art, Lokalisation und zeitlichen Verlauf von Änderungen der zerebralen Aktivität. Die vorliegende Diplomarbeit gibt einerseits einen Überblick über bisher publizierte Studien auf diesem Gebiet der Forschung und befasst sich andererseits mit der Frage, ob durch die nicht-invasive Lasernadelakupunktur, die per se einen rein optischen Reiz darstellt, auch eine kurzfristige kortikale Reizantwort in Form eines evozierten Potentials ausgelöst wird.

**Methoden:** Die beschriebene Literatur wurde via Internet recherchiert, sowie auch vom Grazer Forschungszentrum für Traditionelle Chinesische Medizin (TCM) zur Verfügung gestellt.

Bei den durchgeführten Messungen handelt es sich um die Aufzeichnung eines 32-Kanal-EEGs bei einer gesunden 26-jährigen Probandin. Die nicht-invasive Stimulation erfolgte mittels Lasernadelakupunktur am Akupunkturpunkt Neiguan und an einem neutralen Kontrollpunkt.

**Ergebnisse:** Durch Akupunktur bedingte Änderungen der zerebralen Aktivität betreffen im Frequenzbandbereich des EEG hauptsächlich  $\alpha$ - und  $\theta$ -Wellen. Bei Messungen mit der Nahinfrarot-Spektroskopie zeigen sich die Effekte auf die regionale Oxygenierung hauptsächlich über dem frontalen Kortex; hierbei handelt es sich meist um eine Zunahme der Sauerstoffkonzentration. Die Stimulation mit rotem Laser an Neiguan führte bei der 26-jährigen Probandin zum Auftreten von evozierten Potentialen über der zentralen und in geringerem Maße auch frontalen Region des Kortex.

**Konklusion:** Die Stimulation an Akupunkturpunkten der TCM führt zu spezifischen Alterationen im zentralen Nervensystem. EEG und NIRS ermöglichen eine objektive Darstellung der zerebralen Effekte und tragen dazu bei, dass diesem Gebiet der TCM auch in der westlichen Welt immer größere Bedeutung beigemessen wird.

## Abstract

**Background:** The field of research concerning the neurophysiologic and neurospectroscopic mapping of acupuncture-specific cerebral effects is extensively growing. Non-invasive techniques, such as electroencephalogram (EEG) and near-infrared-spectroscopy (NIRS), allow a mapping of changes in brain activity and give information about their character, localisation and dependence on time. The two aims of this diploma thesis are to summarize the current literature and to answer the question if laserneedle acupuncture can cause an evoked potential in the human brain.

**Methods:** The literature reviewed in this thesis has been derived from the internet databases and also from the TCM (Traditional Chinese Medicine) Research Center Graz

A healthy 26-year-old female volunteer participated in the trial. While the acupoint Neiguan and a placebo point were stimulated with non-invasive laserneedle acupuncture, 32-channel EEG data was used to analyze the cerebral effects.

**Results:** The observed effects on the EEG frequency bands were concentrated on  $\alpha$ - and  $\theta$ -waves. Acupuncture-specific changes of the cerebral regional oxygenation, mostly increases in  $O_2Hb$ , measured with NIRS, can especially be seen in the frontal area of the brain. In case of the 26-year-old volunteer, stimulation on Neiguan with red laser induced evoked potentials in the central and, with a minor amplitude, also in the frontal area.

**Conclusion:** Stimulation on acupoints of TCM induces specific changes in the activity of the central nervous system. EEG and NIRS are non-invasive methods that allow an objective demonstration of cerebral effects and therefore they are a part of many reasons why acupuncture is getting more and more accepted in Western Medicine.

# Inhaltsverzeichnis

<b>DANKSAGUNGEN</b>	<b>IV</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>VI</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN</b>	<b>IX</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>X</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>XI</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>1.1 NEUROPHYSIOLOGISCHES UND NEUROSPEKTROSKOPISCHES MAPPING</b>	<b>2</b>
1.1.1 Das Elektroenzephalogramm (EEG) als Methode des neurophysiologischen Mappings	2
1.1.2 Die Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) als Methode des neurospektroskopischen Mappings	5
<b>1.2 Akupunktur</b>	<b>7</b>
1.2.1 Morphologie	7
1.2.2 Reizarten	7
1.2.3 De-Qi-Gefühl	11
1.2.4 Lokalisationsmethoden in der Körperakupunktur	11
<b>1.3 Eigene Messungen</b>	<b>13</b>
<b>2 MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Literaturrecherche</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Eigene Messungen</b>	<b>14</b>
2.2.1 Studiendesign	14
2.2.2 Proband	14
2.2.3 Akupunkturpunkte	15
2.2.4 Akupunkturmethode	16

2.2.5	Labor	16
2.2.6	EEG	17
2.2.7	Messvorgang	18
2.2.8	Kontrollmessung	19
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Literaturrecherche</b>	<b>20</b>
3.1.1	Neurophysiologisches Mapping-EEG	20
3.1.2	Neurospektroskopisches Mapping-NIRS	31
3.1.3	Eigene Messungen	38
<b>4</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>Parallelen und Interpretation bereits publizierter Daten</b>	<b>40</b>
4.1.1	Einfluss der Akupunktur auf neurophysiologische Parameter	40
4.1.2	Einfluss der Akupunktur auf die zerebrale Oxygenierung	42
<b>4.2</b>	<b>Spezielle Schwierigkeiten auf dem Gebiet der Akupunkturforschung</b>	<b>43</b>
<b>4.3</b>	<b>Reizantworten im sensomotorischen Kortex bei Lasernadelakupunktur?</b>	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>KONKLUSION UND ZUKUNFTSASPEKTE</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>49</b>

## Glossar und Abkürzungen

BIS	Bispektral-Index
BPV	Blutdruckvariabilität
cHb	Gesamthämoglobin
EA	Elektroakupunktur
EEG	Elektroenzephalogramm
HF	Hochfrequenz
HHb	Deoxygeniertes Hämoglobin
HRV	Herzratenvariabilität
ICP	Intrakranieller Druck
LF	Niederfrequenz
NA	Nadelakupunktur
NIRS	Nahinfrarot-Spektroskopie
O <sub>2</sub> Hb	Oxygeniertes Hämoglobin
rCBF	Regionaler zerebraler Blutfluss
SEF	Spektrale Eckfrequenz
TCD	Transkranialer Doppler
TCM	Traditionelle Chinesische Medizin
TENS	Transkutane elektrische Nervenstimulation
TOI	Geweboxygenierung (Tissue Oxygenation Index)

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bispektral-Index [4] .....	5
Abbildung 2: Modifiziertes Lambert Beer'sches Gesetz [6].....	6
Abbildung 3: Zhen Jiu [13].....	9
Abbildung 4: Lasernadelakupunktur [15].....	10
Abbildung 5: Finger–Cun [17].....	12
Abbildung 6: Neiguan [19] .....	15
Abbildung 7: Positionierung der Elektroden nach dem internationalen 10-20-System .....	17
Abbildung 8: Montage der Elektroden auf der Messhaube (mit freundlicher Genehmigung des Probanden). .....	17
Abbildung 9: Testung der Elektrodenimpedanz;.....	17
Abbildung 10: Probandin mit Messhaube und Laserschutzbrille. Die Arme mit den Laserdioden sind abgedeckt.....	18
Abbildung 11: Schematische Darstellung der zeitlichen Abfolge der Versuche....	19
Abbildung 12: Evozierte Potentiale: Roter vs. violetter Laser .....	39
Abbildung 13: Visuell evozierte Potentiale .....	39

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Frequenzbandeinteilung des Spontan-EEG .....	3
Tabelle 2: Akupunkturstudien mit neurophysiologischem Mapping (EEG) .....	30
Tabelle 3: Akupunkturstudien mit neurospektroskopischem Mapping (NIRS) und Mikroelektroden (Chen und Erdmann) zur Bestimmung der zerebralen Oxygenierung .....	37

# 1 Einleitung

Die Akupunktur ist eine alte chinesische Therapiemethode und repräsentiert in der traditionellen Chinesischen Medizin (TCM) neben der Lehre der Arzneipflanzen eines der beiden wichtigsten Heilungsverfahren. Das zunehmende Interesse an der Erforschung ihrer Effekte auf das menschliche Gehirn beruht unter anderem darauf, dass die Akupunktur in den letzten Jahren immer häufiger auch in der westlichen Medizin, vor allem im Bereich der Schmerztherapie, eingesetzt wird. Durch die Entwicklung neuer Verfahren auf dem Gebiet des funktionellen Neuroimaging wird ein immer detaillierterer Einblick darauf ermöglicht, ob, wo und auf welche Art und Weise sich Akupunktur-assoziierte Effekte in der Hirnaktivität zeigen. Um die Funktionsweise der Akupunktur besser verstehen zu können, werden unter anderem das Elektroenzephalogramm (EEG) und die Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) als Mapping-Methoden eingesetzt.

Die vorliegende Arbeit befasst sich zum Einen mit der Zusammenfassung von bereits publizierten Studien auf dem Gebiet des neurophysiologischen (EEG) und des neurospektroskopischen (NIRS)-Mappings, und zum Anderen mit den selbst durchgeführten Messungen, anhand derer erstmals erforscht werden sollte, ob es möglich ist, durch Lasernadel-Akupunktur evozierte Potentiale im EEG zu induzieren.

## **1.1 NEUROPHYSIOLOGISCHES UND NEUROSPEKTROSKOPISCHES MAPPING**

### **1.1.1 Das Elektroenzephalogramm (EEG) als Methode des neurophysiologischen Mappings**

Das EEG ermöglicht eine nicht-invasive Darstellung der elektrischen Hirnaktivität in Millisekunden und ist somit die Methode der Wahl wenn es um die Frage geht, „wann“ Änderungen der Aktivität stattfinden. Eine topographische Zuordnung ist nur eingeschränkt möglich und bezieht sich hauptsächlich auf die grobe Einteilung in frontal, parietal, temporal und okzipital. Der Grund warum eine präzise Zuordnung zu einzelnen anatomischen Strukturen unmöglich ist, ist das sogenannte „ill-posed inverse problem“: Das an der Kopfhaut registrierte elektrische Potential kann seinen Ursprung sowohl im Kortex als auch in tiefer gelegenen Strukturen des Gehirns haben. In beiden Fällen wird bei der nicht-invasiven EEG-Messung an der Oberfläche eine Aktivität registriert, jedoch können keinerlei Rückschlüsse auf den Entstehungsort gezogen werden [1].

Neben der Registrierung der einzelnen Frequenzbänder machen neue technische Entwicklungen es möglich noch weitere Parameter aus den EEG-Signalen zu errechnen. Da diese auch in der Akupunktur-Forschung immer häufiger ihre Anwendung finden, sollen im folgenden Teil dieser Arbeit neben den Frequenzbändern auch die evozierten Potentiale und der BIS-Index kurz beschrieben werden.

#### **1.1.1.1 Frequenzbänder im EEG**

Im spontanen EEG sind Signale unterschiedlicher Frequenz sichtbar, die man in  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , und  $\delta$ -Wellen unterteilt. Je nach Wachheitsgrad lassen sich die diversen Frequenzen messen. In der nachstehenden Tabelle werden die einzelnen Bereiche in Hinblick auf Frequenz- und Amplitudenbereich, Region des stärksten Auftretens und den jeweils dazugehörigen Aufmerksamkeitszustand beschrieben.

<b>Frequenzband bzw. Wellentyp (Hz)</b>	<b>Frequenzbereich (Hz)</b>	<b>Amplitudenbereich (<math>\mu</math>V)</b>	<b>Region des stärksten Auftretens</b>	<b>Aufmerksamkeitszustand</b>
<b>Delta <math>\delta</math></b>	0,5-4	20-200	variabel	Tiefschlaf, Koma
<b>Theta <math>\theta</math></b>	5-7	5-100	frontal, temporal	Leichter Schlaf, frontal: hohe Konzentration
<b>Alpha <math>\alpha</math></b>	8-13	5-100	okzipital, parietal	Entspannter Wachzustand
<b>Beta <math>\beta</math></b>	14-30	2-50	präzentral, frontal	Psychische Belastung, angespannter Wachzustand
<b>Gamma <math>\gamma</math></b>	30-50	2-10	präzentral, frontal	Wachzustand, Schlaf deprivation

**Tabelle 1: Frequenzbandeinteilung des Spontan-EEG [2]**

### **1.1.1.2 Evozierte Potentiale**

Im klinischen Alltag werden mittels evozierter Potentiale die motorischen (magnetoelektrisch evozierte Potentiale, MEP), die sensiblen (somatosensorisch evozierte Potentiale, SEP), die auditorischen (akustisch evozierte Potentiale, AEP) und die optischen (visuell evozierte Potentiale, VEP) Bahnen untersucht.

Biophysologisch stellt ein evoziertes Potential das neuroelektronische Korrelat einer hirnelektrischen Aktivitätsänderung dar, die durch einen externen Reiz hervorgerufen wird. Diese hirnelektrische Aktivitätsänderung hat ihr verborgenes Abbild im Oberflächen-EEG, das registriert und speziell technisch aufbereitet wird. Nach der technischen Weiterverarbeitung erhält man das evozierte Potential als alleiniges Extrakt der reizinduzierten Aktivitätsänderung des Oberflächen-EEG. Ohne eine solche Aufbereitung wären die reizinduzierten Hirnaktivitätsänderungen

im Oberflächen-EEG nicht sichtbar, da sie mit sehr kleinen Amplituden zur Darstellung kommen, so dass sie normalerweise von der „zufälligen“ höheramplitudigeren oberflächlichen EEG-Aktivität überlagert werden. Die Auftrennung der im Oberflächen-EEG versteckten evozierten Potentiale gelingt durch eine Signalverarbeitung, die man „averaging“ (=Durchschnittsbildung) nennt [3].

### **1.1.1.3 Bispektral-Index (BIS)**

Die Grundlage für den Bispektral-Index bildet die Tatsache, dass sich die Hirnströme von wachen und anästhesierten Patienten auf charakteristische Weise voneinander unterscheiden. Da ein EEG jedoch mit großem Aufwand, schwierigem Handling und hohen Kosten verbunden ist, kommt es als Monitoringmethode für die Narkosetiefe nicht in Frage. Bei der BIS-Analyse werden die frontal abgeleiteten Hirnstromkurven in eine Reihe einzelner Komponenten zerlegt, die dann nach verschiedenen Kriterien miteinander verglichen werden. Unter anderem werden hierbei Amplitude, Frequenz und Synchronisierung berücksichtigt. Anhand dieser Daten wird über einen komplexen Algorithmus der Bispektral-Index errechnet. Es handelt sich hierbei um einen dimensionslosen Parameter, mit einer willkürlich gesetzten Skalierung von null bis 100, wobei 100 mit höchster Wachheit und null mit einem isoelektrischen EEG korreliert.

Der Bispektral-Index gibt also Auskunft über den Wachheitsgrad des Patienten beziehungsweise liefert eine kontinuierliche Information über die Hypnosetiefe. Aus diesem Grund findet er seine Anwendung hauptsächlich im Bereich der Anästhesie, auf den Gebieten des intraoperativen Monitorings, wie auch der Patientenüberwachung auf der Intensivstation. Mit dem Ziel das Handling zu vereinfachen wurden die Geräte im Laufe der Zeit für eine ausschließlich frontale Anwendung optimiert.

Die folgende Abbildung zeigt die BIS-Werte mit dem jeweils dazugehörigen Wachheits- bzw. Sedierungsgrad.

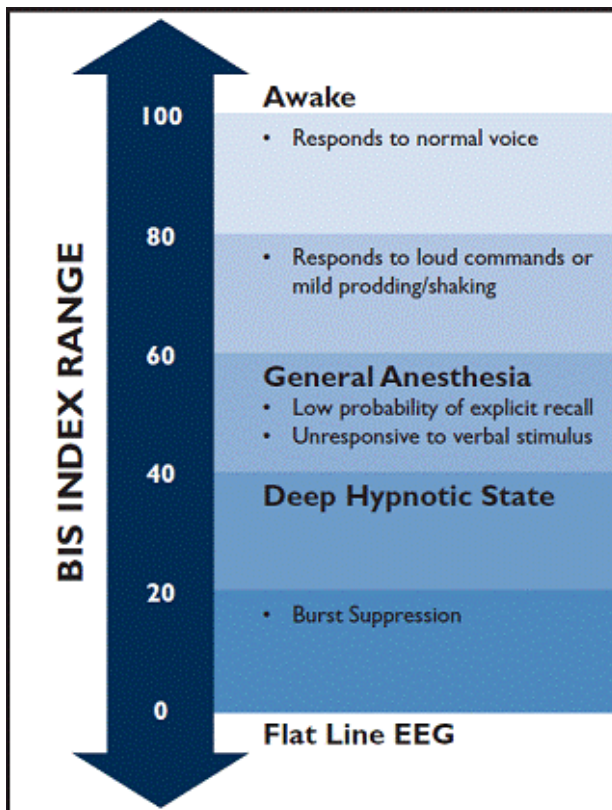


Abbildung 1: Bispektral-Index [4]

### 1.1.2 Die Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) als Methode des neurospektroskopischen Mappings

Die Methodik der NIRS, welche durch den intakten knöchernen Schädel eine Bewertung der Oxygenation im Gehirn ermöglicht, hat in der Akupunkturforschung aufgrund ihrer Nichtinvasivität zunehmend an Bedeutung gewonnen [5].

Licht im Infrarotbereich (700-1000 nm) durchdringt biologisches Gewebe und wird durch Streuung und Absorption von zerebralen „Farbstoffen“ bzw. Chromophoren, insbesondere durch oxygeniertes und deoxygeniertes Hämoglobin ( $[O_2Hb]$ ,  $[HHb]$ ) und die mitochondriale Cytochromoxidase a<sub>3</sub> ( $[CytOx]$ ) geschwächt. Da diese Chromophore jeweils spezifische Extinktionskoeffizienten besitzen, können ihre Konzentrationsänderungen aus der Schwächung des aufgefangenen Lichtes anhand des Lambert-Beer-Gesetzes errechnet werden. Voraussetzung dafür ist, dass sowohl der Anteil der Streuung als auch die optische Weglänge der Photonen konstant bleiben. Da in kommerziellen NIRS-Geräten die optische Weglänge nach „time-of-light“ und „frequency-domain“-Studien nur geschätzt wird, muss das Lambert-Beer-Gesetz um diesen Faktor modifiziert werden (Abb. 2). Es

können daher nur Änderungen der Chromophorenkonzentration (und nicht ihr biologischer Nullwert) in absoluten Werten gemessen werden ([O<sub>2</sub>Hb], [HHb] und [CytOx]; µmol/l) Da NIRS-Messungen beim Erwachsenen nicht im Transmissions-, sondern nur im Reflexionsmodus möglich sind, beträgt die Eindringtiefe ins Gehirn lediglich ca. 1 cm.

Änderungen des regionalen Blutflusses (rCBF) und der zerebralen Oxygenierung führen zu der mittels NIRS erfassbaren Änderung von [O<sub>2</sub>Hb] und [HHb]. Dies ist die physiologische Basis für funktionelle Studien, zerebrales Monitoring und Untersuchungen der Vasomotorenreaktivität [6].

Modifiziertes Lambert Beer'sches  
Gesetz

$$\Delta c = \frac{\Delta A}{\Delta \alpha \times DPF \times d}$$

Abbildung 2: Modifiziertes Lambert Beer'sches Gesetz [6]

## **1.2 Akupunktur**

In der TCM geht man davon aus, dass ein Mensch nur dann gesund ist, wenn seine Lebensenergie, das Qi, ungehindert in seinem Körper, entlang bestimmter Leitungsbahnen, den 14 Meridianen, fließen kann. Nach diesem ganzheitlichen Konzept führen Änderungen des Qi-Flusses zu Krankheit. Es kann sich dabei sowohl um einen lokalen Stau wie auch um das Fehlen von Qi handeln. In beiden Fällen führt dieses Ungleichgewicht dazu, dass spezielle Punkte entlang der Meridiane spontan oder auf Druck schmerzhaft sein können. Mithilfe der Akupunktur, der gezielten Stimulation dieser Punkte an der Körperoberfläche, ist es nun möglich, die Eigenregulation des Körpers zu aktivieren und damit den gleichmäßigen Fluss von Qi wiederherzustellen

### **1.2.1 Morphologie**

Geprägt durch westlich analytische Vorstellungen wurde über Jahrzehnte versucht, eine spezifische Struktur für die Akupunkturpunkte und die Leitbahnen zu finden. Die entsprechenden Untersuchungen stammen demzufolge zu einem Großteil aus der westlichen Welt, was möglicherweise auch dadurch bedingt ist, dass in China ein Dissektionswesen bis ins 19. Jahrhundert hinein unbekannt war [7].

1987 gelang es dem deutschen Anatom *Hartmut Heine* [8], ein morphologisches Korrelat eines Akupunkturpunktes zu finden. Es handelt sich dabei um die Durchtrittsstelle eines Gefäß-Nerven-Bündels durch die oberflächliche Hautfaszie, was nach *Heine* in 80% aller Akupunkturpunkte der Fall ist. Da dieses Gefäß-Nerven-Bündel an dieser Stelle in eine bindegewebige Umgebung eingebettet ist, soll an dieser Stelle der elektrische Hautwiderstand geringer sein als in den umliegenden Arealen. Das gehäufte Vorkommen von Meissner-Tastkörperchen, das u.a. als charakteristisches Merkmal von Akupunkturpunkten gilt, wurde erstmals von *Kellner* [9] beschrieben.

### **1.2.2 Reizarten**

Die Stimulation eines Akupunkturpunktes kann über verschiedene Methoden erfolgen. Bei der klassischen Akupunktur (lat. acus=Nadel, punctio=das Stechen)

wird der Reiz durch einen Nadeleinstich erzeugt. Die Stimulation kann aber auch durch Druck (Akupressur), Wärme (Moxibustion), Laser oder zusätzlich zur Nadel mit elektrischem Strom (Elektroakupunktur) erfolgen.

Nachstehend werden die am häufigsten in der Praxis und in wissenschaftlichen Studien angewandten Techniken beschrieben.

### **1.2.2.1 Nadelungstechnik**

Heute verwendet man zur Akupunktur fast ausschließlich Nadeln aus Stahl. Gold- und Silbernadeln benutzt man häufig für die Ohrakupunktur. Die am meisten verwendeten Nadeln für die klassische Akupunktur sind sogenannte „filiforme“ Nadeln, bestehend aus einer Spitze, einem „Nadelstiel“ und einem Nadelgriff. Die Längenangabe bezieht sich auf den Nadelstiel, also ohne den Nadelgriff. Bei den meisten chinesischen Nadeln besteht der Nadelgriff aus einem dünnen Silber- oder Kupferdraht, der um die Nadel gedreht ist. Bei zahlreichen neuen Nadeltypen ist der Griff aus Kunststoff. Dies sind reine Einmalnadeln, die nicht sterilisierbar sind.

Dauernadeln für die Ohr- und Körperakupunktur sind im Gebrauch, jedoch ist die Gefahr der lokalen Infektion bei diesen Nadeln hoch, weil die Nadeln für einige Tage im Körper verweilen.

Die Einstichtiefe variiert je nach Akupunkturpunkt zwischen einigen Millimetern und fünf und mehr Zentimetern [10].

### **1.2.2.2 Akupressur**

Akupressur, chin. „Tuina“, ist die gezielte Massage von Akupunkturpunkten [10], die Stimulation erfolgt durch Druck. Die einfachste Form der Akupressur ist leichter, mittlerer oder fester Druck mit der Fingerkuppe des Daumens, Zeige- oder Mittelfingers auf den Akupressurpunkt. Die nötige Druckstärke ist bei den einzelnen Punkten von Mensch zu Mensch verschieden. Es ist Sache des Fingerspitzengefühls, die Druckstärke bei einem bestimmten Punkt herauszufinden, bei der das Qi am besten fließt [11].

### 1.2.2.3 Moxibustion

Bei der Moxibustion werden die Akupunkturpunkte durch Wärmereize stimuliert. Moxibustion ist aus den japanischen Wörtern „mo“ (brennen) und „kusa“ (Kraut) zusammengesetzt [7].

Bei der traditionellen Form wird die Wärme erzeugt, indem getrocknete Blätter des Beifußkrautes (lat. Name: *Artemisia vulgaris*) verbrannt werden. Wahrscheinlich wird gerade diese Pflanze verwendet, weil die getrockneten Blätter beim Abbrennen eine Temperatur entwickeln, die für die therapeutische Anwendung günstig ist. Die Moxibustion ist offensichtlich gemeinsam mit der Akupunktur entstanden und wird auch schon in der vor 2100 Jahren fertiggestellten chinesischen Enzyklopädie „Innere Klassiker des Gelben Kaisers“ beschrieben. Ein weiterer Hinweis auf die lange Geschichte der Moxibustion ist das chinesische Wort für Akupunktur „ZhenJiu“, wobei „Zhen“ Nadel und „Jiu“ abbrennen bedeutet [12].



Abbildung 3: Zhen Jiu [13]

### 1.2.2.4 Laserakupunktur

Nachdem in den 70er Jahren Laserlicht auch außerhalb der Physiklabore nutzbar wurde, wurden damit zahlreiche Nutzungsmöglichkeiten in der Medizin entwickelt, so auch diese Alternative zur traditionellen Akupunktur. Die Laserakupunktur ist so schmerzlos wie die Akupressur und dabei so punktgenau wie die Akupunktur mit Nadeln [12]. Die Lichtquellen werden an der Hautoberfläche angebracht, sodass diese Technik eine nichtinvasive Methode darstellt. Neben der Akupressur kann auch dieses Verfahren bei Kindern jedes Alters angewandt werden. Der Augenschutz vor Laserlicht muss dabei jedoch beachtet werden. Diese Form der Akupunktur wird auch bei schmerzempfindlichen erwachsenen Patienten

eingesetzt [12]. In der Behandlung von Kindern und Patienten mit Nadelphobie hat die Lasernadelakupunktur an großer Bedeutung gewonnen [14].

Die Laserakupunktur beruht auf der Anwendung einer speziellen Lichtquelle, die sich durch stark gebündelte Strahlung im sichtbaren als auch im ultravioletten und infraroten Bereich auszeichnet. Man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von Lasern:

- Gaslaser (HeNe-Laser)
- Festkörperlaser (Infrarothalbleiterlaser)

Der Begriff „Laser“ steht für „Light Amplification by stimulated Emission of Radiation“. In der Akupunktur finden sogenannte Mid- und Softlaser Anwendung. Hierbei liegt meist eine geringe Ausgangsleistung von 1-100 mW vor.

Die Wirkungsweise der Lasertherapie wird zum Einen durch die technischen Voraussetzungen der Geräte, zum anderen aber auch durch die biologischen und optischen Eigenschaften des menschlichen Gewebes geprägt. Hierbei ist festzuhalten, dass ein HeNe-Laser mit einer Wellenlänge von ca. 632 nm eine eher geringe Eindringtiefe besitzt, während bei Infrarotlasern mit einer Wellenlänge von 820-904 nm eine Eindringtiefe von bis zu 4 cm beschrieben wird [7].



**Abbildung 4: Lasernadelakupunktur [15]**

### 1.2.2.5 Elektroakupunktur

Bei dieser Methode werden die Akupunkturpunkte zusätzlich elektrisch gereizt, indem die eingestochenen Nadeln unter einen schwachen Strom gesetzt werden. Verwendet wird Wechselstrom mit einer Frequenz von bis zu 60 Hz, Spannungen bis 20 V und Stromstärken bis 10 mA. Die Geräte entsprechen den TENS (transkutane elektrische Nervenstimulation), nur befinden sich keine Flächenelektroden, sondern Klemmen am Kabelende zum Patienten. Diese werden nahe der Haut an zwei Akupunkturadeln angeschlossen. Der Strom, den die Patienten als leichtes Kribbeln spüren, intensiviert die Wirkung am Akupunkturpunkt. Allerdings ist die Methode nicht für alle Patienten geeignet: Schwangere, Personen mit Herzschrittmachern oder unter Schock und Epileptiker sollten so nicht behandelt werden [12].

### 1.2.3 De-Qi-Gefühl

Typische Empfindungen beim Liegen der Nadel oder manueller Stimulation, wie Taubheitsgefühl, Druck, Schweregefühl, Kribbeln, Wärme- oder Kältegefühl, werden als „De-Qi“ Sensation bezeichnet und sind charakteristisch für eine richtig durchgeführte Akupunktur. Auch ein Gefühl ähnlich einer Elektrisierung kann empfunden werden [10].

### 1.2.4 Lokalisationsmethoden in der Körperakupunktur

Akupunkturpunkte können nach verschiedenen Methoden lokalisiert werden:

**Anatomischer Bezug:** Viele Akupunkturpunkte liegen an anatomisch markanten Stellen, z.B. in Vertiefungen, an Knochenvorsprüngen, an Muskel- und Sehnenansätzen etc.

- **Fixe Orientierungsmarker**, die sich nicht durch unterschiedliche Körperhaltungen oder –bewegungen verändern: Sie beinhalten Knochenmarker wie Vertiefungen oder Prominenz des knöchernen Skelettsystems, aber auch z.B. Nagelfalzwinkel, Mammillen, Bauchnabel etc. Die Körper-Cun-Messung beruht zum großen Teil auf der Basis der fixen Orientierungsmarker.

- **Bewegliche Orientierungsmarker**, die man durch die Einnahme einer spezifischen Körperhaltung oder –bewegung finden oder besser darstellen kann: Beispiele sind hier die Beugung des Ellbogens zur eindeutigen Kennzeichnung der Ellbogenfalte.

Außerdem können Punkte aufgrund veränderter Konsistenz der Haut, durch Druckschmerzhaftigkeit, Verquellung und Bremswirkung beim zarten Übergleiten des palpierenden Fingers ertastet werden.

**Proportionale Punktabstandsmessung:** Für Punkte, die nicht unmittelbar an markanten Strukturen liegen, benutzt die Chinesische Medizin die individuelle Maßeinheit Cun.

Die Chinesen verwenden als Maßeinheit für Entfernungen am Körper das Cun. Im Gegensatz zum offiziellen chinesischen fixen Cun (1 Cun entspricht 2,5 cm) bezieht es sich in der Medizin als relatives Maß auf individuelle Körperproportionen.

Diese relative Maßeinheit ist durch Distanzen an den Fingern des jeweiligen Patienten (Finger-Cun) oder durch Strecken zwischen bestimmten Körperabschnitten des Patienten (Körper- oder Strecken-Cun) definiert [16].

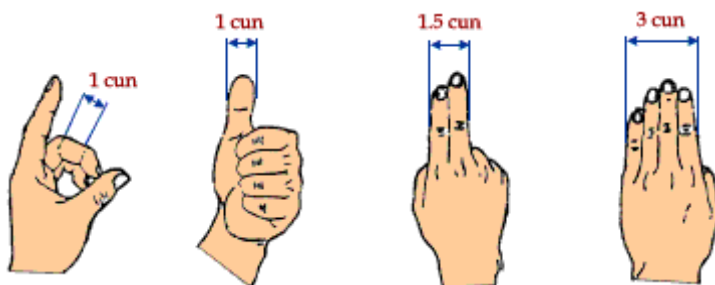


Abbildung 5: Finger-Cun [17]

### **1.3 Eigene Messungen**

Vor allem in der westlichen Welt ist man sehr daran interessiert, die Effekte der Akupunktur objektivieren und verstehen zu können. Zahlreiche Forschergruppen beschäftigen sich weltweit mit der Fragestellung, inwieweit und über welchen Mechanismus die zerebrale Aktivität durch die Akupunktur beeinflussbar ist. Dank der raschen technologischen Entwicklung gestaltet sich das Feld des Brain-Imagings, also den verschiedenen Möglichkeiten zerebrale Aktivitätsänderungen objektiv darzustellen, mittlerweile sehr breit (z.B.: EEG, NIRS, fMRT), und auch auf dem Gebiet der Stimulationsmethoden eines Akupunkturpunktes kommen immer häufiger Hightech-Geräte zum Einsatz (z.B.: Lasernadel-Akupunktur, Elektrostimulation).

*Bossy et al.* [18] zeigten bereits 1984, dass auf eine Stimulation mittels Nadelstichakupunktur eine zerebrale Reizantwort in Form eines somatosensorisch evozierten Potentials folgt. Spätere Arbeiten auf diesem Gebiet befassten sich hauptsächlich mit den Fragestellungen, ob und inwieweit evozierte Potentiale (akustisch, somatosensorisch, visuell) durch Akupunktur modulierbar sind. Diese Studien lieferten umfangreiche Ergebnisse, die belegen, dass die verschiedenen Formen evozierter Potentiale mithilfe der Nadel-, aber auch der Lasernadelakupunktur wie auch der Elektrostimulation beeinflussbar sind.

Die Frage, ob durch die Lasernadelakupunktur, die ja per se einen rein optischen Reiz darstellt, auch eine kurzfristige Reizantwort in Form eines evozierten Potentials ausgelöst wird, wurde bis heute noch nicht aufgegriffen. Die im Rahmen der Diplomarbeit durchgeführten Messungen beschreiben erstmals die Zusammenhänge zwischen dieser spezifischen Form der zerebralen Reizantwort und der Lasernadelstimulation an einem Akupunkturpunkt der TCM. Spezielles Augenmerk wird dabei auf unterschiedliche Effekte von blauem/violetter (diskret sensorisch wahrnehmbarem) und rotem (sensorisch nicht wahrnehmbarem) Laser gelegt. Eine Aussage darüber, ob es sich um Akupunktur-spezifische Effekte handelt, ist möglich, da die Messungen gleichermaßen an einem Akupunkturpunkt der TCM (hier: Neiguan) und einem neutralen Kontrollpunkt erfolgten.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Literaturrecherche**

Die in dieser Arbeit behandelte Literatur ist die Summe der Publikationen, die im Internet recherchiert, sowie auch freundlicherweise vom Grazer TCM Forschungszentrum zu Verfügung gestellt wurden. Die Recherche im Internet erfolgte bis März 2011 über die wissenschaftlichen Datenbanken PubMed und Cochrane Library, mit den kombinierten Suchbegriffen „acupuncture AND eeg“ bzw. „acupuncture AND nirs“.

### **2.2 Eigene Messungen**

#### **2.2.1 Studiendesign**

Die Versuchsreihe war als eine experimentelle, plazebokontrollierte Studie mit einfacher Verblindung geplant. Die Lasernadeln wurden von einer chinesischen Expertin auf dem Gebiet der Traditionellen Chinesischen Medizin (TCM) an den entsprechenden Punkten platziert. Um eine Aussage über die Spezifität der möglichen Effekte im EEG treffen zu können, erfolgten die Messungen gleichermaßen an Neiguan und an einem neutralen Kontrollpunkt; beide wurden jeweils mit rotem und violetter Laser stimuliert. Die Wahl, mit welcher Reihenfolge roter und violetter Laser eingesetzt wurden, war randomisiert, wobei die Stimulationsfrequenz von 1 Hz stets konstant blieb.

#### **2.2.2 Proband**

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden die Effekte der Laserakupunktur an einer gesunden 26-jährigen, weiblichen Probandin untersucht. Die Probandin stand zum Zeitpunkt der Messungen nicht unter dem Einfluss von zentral wirkenden Pharmaka. Sie wurde vor Durchführung der Versuche über die Vorgehensweise und den Ablauf der Untersuchungen im Detail informiert und gab eine schriftliche Einwilligung (informed consent).

### 2.2.3 Akupunkturpunkte

Die nachstehend beschriebenen Punkte wurden in der vorliegenden Studie simultan links- und rechtsseitig stimuliert.

#### Perikard 6 (Pe 6), Neiguan

#### („Passtor des Inneren“)

##### Anatomische Leitstruktur

Sehnen des M. palmaris longus und

des M. flexor carpi radialis

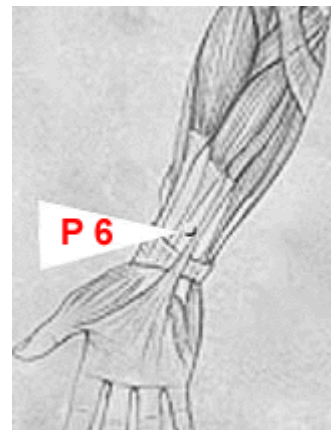


Abbildung 6: Neiguan

[19]

##### Lokalisation

2 Cun proximal der Handgelenkbeugefalte, proximal des Os pisiforme, zwischen den Sehnen des M. palmaris longus und des M. flexor carpi radialis. Es handelt sich um diejenige Handgelenksfalte, die zwischen Radius und Ulna sowie der proximalen Handwurzelreihe liegt.

Es empfiehlt sich zur exakten Punktlokalisierung die Technik der „dynamischen Palpation“. Bei volarem Verschieben der Hautfalte zwischen M. flexor carpi radialis und M. palmaris longus nach proximal entsteht eine deutliche Faltenverdickung und „Hängenbleiben“ bei Pe 6.

Stichtiefe (bei konventioneller Nadelakupunktur): 0,5 Cun senkrecht

##### Hauptindikationsbereiche

Übelkeit, Erbrechen, Singultus

Schmerzhafte Funktionsstörungen von Unterarm und Handgelenk, z.B.

Karpaltunnelsyndrom

Funktionelle Herzbeschwerden

Psychosomatische Funktionsstörungen

### Weitere Indikationen

Funktionelle Störungen des Magens

Gynäkologische Funktionsstörungen mit schmerzhaftem Spannungsgefühl [7]

### **Kontrollpunkt**

Als Kontrollpunkt wurde ein nach TCM neutraler Punkt ulnar am proximalen Unterarm gewählt.

### **2.2.4 Akupunkturmethode**

Die Stimulation der jeweiligen Punkte erfolgte mittels Lasernadelakupunktur; das verwendete Gerät wurde vom Grazer Forschungszentrum für TCM zur Verfügung gestellt. Die Lasernadelakupunktur ist eine schmerzlose und gleichzeitig punktgenaue Methode zur Stimulation einzelner Akupunkturpunkte. Es handelt sich um ein nichtinvasives Verfahren, bei dem die Laserdioden auf der intakten Haut angebracht und nicht eingestochen werden. Für die zwei Stimulationsmodi wurden in der vorliegenden Studie rotes Laserlicht mit einer Wellenlänge von 685 nm und violettes Laserlicht mit einer Wellenlänge von 405 nm verwendet. Die Wahl der Reihenfolge dieser beiden verschiedenen Reizarten war randomisiert. Die Stimulationsfrequenz betrug stets 1 Hz.

### **2.2.5 Labor**

Die Versuche fanden im Labor des Institutes für ‚Knowledge Discovery‘ (Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Christa Neuper) der Technischen Universität Graz statt. Die Probandin saß während der Messungen auf einem bequemen Stuhl und war alleine in einer licht- und schallgedämpften separierten Kammer. Computer und Lasergerät befanden sich außerhalb davon. Die Untersuchungen fanden unter Beisein von qualifiziertem Fachpersonal sowohl auf dem Gebiet der TCM als auch im technischen Bereich statt.

## 2.2.6 EEG

Bei den verwendeten Geräten handelt es sich um zwei USB BIOSIGNAL AMPLIFIER (g<sup>®</sup>.USBamp generation 3.0), mit jeweils 16 Input-Kanälen. Die für alle Kanäle simultane Samplingrate beträgt 512 Hz, bei einer 24 bit-Auflösung.

In der vorliegenden Studie wurden 32 Kanäle EEG abgeleitet. Dabei erfolgte die Montage der Elektroden auf der Messhaube (Abb. 8) nach dem 10-20-System (Abb. 7); die Referenz-Elektrode wurde auf der Nase, die Ground-Elektrode retroaurikulär über dem Proc. mastoideus platziert. Die Elektrodenimpedanz betrug an jeder Position weniger als 5 kOhm (Abb. 9).

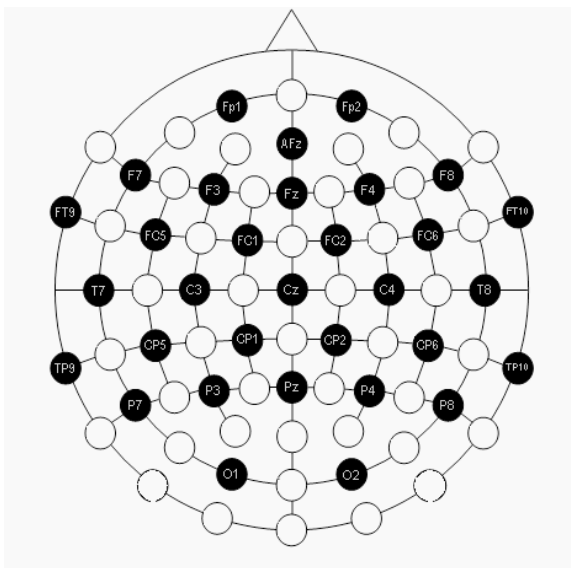


Abbildung 7: Positionierung der Elektroden nach dem internationalen 10-20-System



Abbildung 8: Montage der Elektroden auf der Messhaube (mit freundlicher Genehmigung des Probanden).

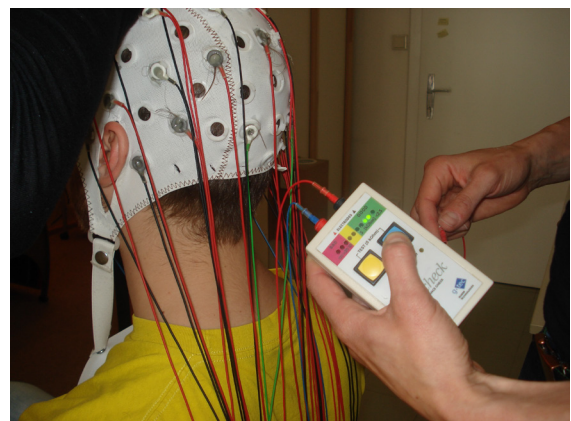
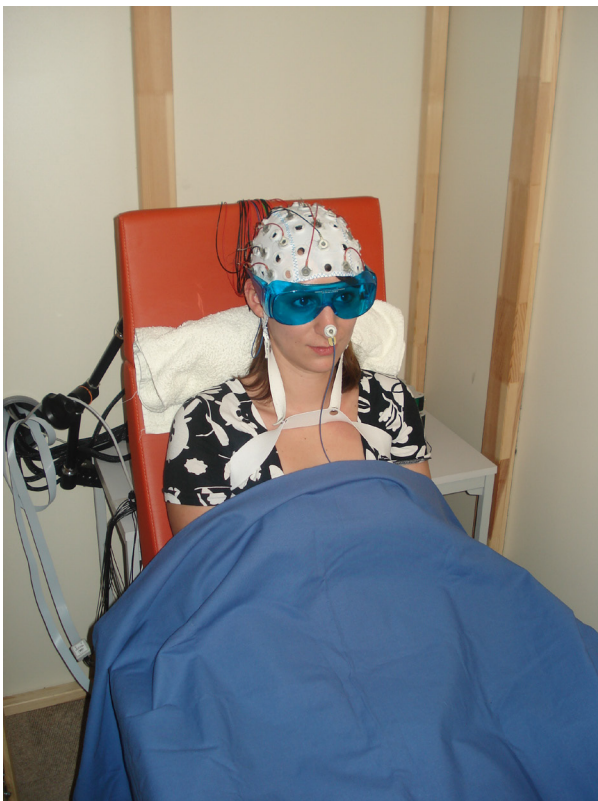


Abbildung 9: Testung der Elektrodenimpedanz; grüner Bereich: < 5 kOhm

### 2.2.7 Messvorgang

Nach dem Anbringen der 32 EEG-Elektroden auf der Messhaube nahm die Probandin auf einem bequemen Stuhl in einer licht- und schallgedämpften Kammer Platz und erhielt eine Laserschutzbrille. Die anschließende Platzierung der Lasernadeln erfolgte durch eine auf dem Gebiet der TCM qualifizierte Expertin (MD, PhD).

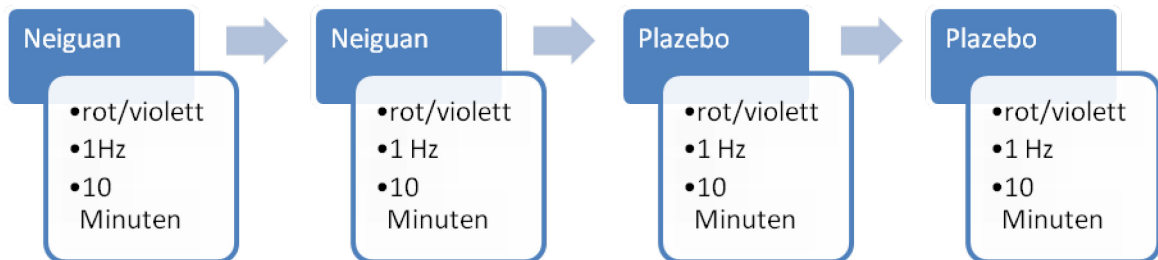
Die Probandin wurde dazu angehalten, sich während der Messungen so gut wie möglich zu entspannen und ihren Blick auf einen zuvor definierten Punkt zu fixieren. Die Arme wurden mit einem dunklen Tuch abgedeckt, sodass kein visueller Reiz vonseiten der Lasernadeln wahrnehmbar war (Abb. 10).



**Abbildung 10: Probandin mit Messhaube und Laserschutzbrille. Die Arme mit den Laserdioden sind abgedeckt.**

Die EEG-Aufzeichnungen starteten zeitgleich mit dem Beginn der jeweiligen Stimulation und wurden nach Stimulationsende erst nach einer kurzen Ruhephase (5 Minuten bei der ersten Messung, dann jeweils 1 Minute) gestoppt. Die Stimulation mit rotem bzw. violetter Laserlicht erfolgte für jeweils 10 Minuten erst an Neiguan und anschließend an den Kontrollpunkten, wobei die zwei

verschiedenen Wellenlängen in randomisierter Reihenfolge zur Anwendung kamen.



**Abbildung 11: Schematische Darstellung der zeitlichen Abfolge der Versuche**

### **2.2.8 Kontrollmessung**

Einmalig erfolgte eine 10-minütige Messung, bei der das Laserlicht für die Probandin visuell wahrnehmbar war. Um eine direkte Einstrahlung auf das Auge zu vermeiden, wurde die Lichtquelle hinter einer Abschirmung platziert. Der optische Reiz war somit also kein direkter, sondern ausschließlich die diffuse Reflexion des roten Lasers an der Wand.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Literaturrecherche**

#### **3.1.1 Neurophysiologisches Mapping-EEG**

##### **3.1.1.1 Studien am Tiermodell**

*Tanaka et al.* [20] beschrieben 2002 im Rahmen ihrer tierexperimentellen Studie als eine der ersten EEG-Veränderungen im Zusammenhang mit Akupunktur. Die theoretische Grundlage für ihre Arbeit war die Tatsache, dass die Akupunktur im sakralen Segment nach TCM zu einer Besserung bei Harninkontinenz, sowie zu einer Zunahme der Kapazität der Harnblase führe. Um dies wissenschaftlich zu untermauern wurden narkotisierte Ratten im sakralen Segment akupunktiert und währenddessen mittels Blasen-Druck-Katheter und EEG monitorisiert.

In 36 von 68 (53%) Versuchen kam es zu einer Unterdrückung der Harnblasenaktivität. In 22 dieser 36 Versuche (61%) wurde während des Absinkens des Blasendrucks eine Zunahme in allen abgeleiteten Frequenzbereichen ( $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ) im EEG beobachtet. Die Stimulation eines Kontrollpunktes im lumbalen Bereich führte lediglich in sechs Versuchen ebenfalls zu einer Abnahme der Blasenkontraktilität, was dafür spricht, dass es einen kausalen Zusammenhang zwischen der Akupunktur im sakralen Segment und der Blasenaktivität gibt. Das zeitgleiche Auftreten von EEG-Veränderungen und Kontraktionen ließ sich allerdings auch ohne Akupunktur im 30-Minuten-Rhythmus beobachten, was einen engen Zusammenhang zwischen zerebraler Aktivität und Harnblasenkontraktion vermuten lässt.

### 3.1.1.2 Nicht plazebokontrollierte Studien

2001 wollten *Rosted et al.* [21] erforschen, ob bzw. welche Effekte die Akupunktur an Hegu (Dickdarm 4) auf das EEG hat. Bei 14 gesunden Probanden wurde der Akupunkturpunkt manuell mit der Nadel stimuliert, während die Hirnaktivität über ein 1-Kanal-EEG registriert wurde. Die Auswertung der Daten ergab keinerlei signifikante Ergebnisse; vereinzelt aufgetretene EEG-Änderungen verschwanden sofort nach der Intervention. Aufgrund dieser Resultate schlussfolgerten die Forscher, dass die Akupunktur an Hegu keinen Effekt auf die zerebralen Frequenzbänder von 2-30 Hz hat und dass mögliche Änderungen im Bereich unter 2 Hz unspezifisch sind. Um erfahren zu können ob die Akupunktur Effekte auf das EEG hat, schlagen *Rosted et al.* Untersuchungen mit Stimulation anderer Akupunkturpunkte vor. Ein möglicher Grund für die negativen Ergebnisse der Studie wäre ein Mangel an verwertbaren Daten, aufgrund der Verwendung eines 1-Kanal-EEGs.

*Sugiura et al.* [22] waren daran interessiert, die zerebralen wie auch die vegetativen Effekte der Akupunktur zu erforschen. Ihre Arbeit befasste sich mit der Aufzeichnung und Analyse von EEG- und HRV-Veränderungen während und nach manueller Akupressur an beiden Fußsohlen. Die Stimulationen erfolgten ausschließlich an Akupunkturpunkten, es wurde keine Kontrollgruppe in die Studie inkludiert. An 22 gesunden Probanden erfolgte die Stimulation in Form manueller Akupressur an beiden Fußsohlen nacheinander, erst rechts dann links. Bei Beginn der Akupressur an der rechten Fußsohle kam es bei allen Probanden zu einer signifikanten Reduktion der Herzfrequenz, die über die gesamte restliche Dauer des Versuchs und auch noch mindestens fünf Minuten danach bestehen blieb. Die Effekte im EEG variierten sehr stark zwischen den einzelnen Individuen und brachten kein signifikantes Ergebnis. Um diese Daten verstehen zu können, bedürfte es nach *Sugiura et al.* einer speziellen Einteilung der Probanden, die auch das subjektive Empfinden einer Akupressur der Fußsohle mit einbezieht. Die Abnahme der Herzfrequenz war signifikant und spricht für den beruhigenden Effekt der Akupressur, jedoch lässt sich aufgrund des Fehlens einer Kontrollgruppe keine Aussage über die Spezifität treffen.

Eine weitere nicht plazebokontrollierte Studie war jene von *Sakai et al.* [23], die sich mit dem möglichen Zusammenhang zwischen dem für die Akupunktur typischen de-Qi-Empfinden und dessen Auswirkungen auf Vegetativum und EEG befasste. In den bis dato publizierten Studien wurde de-Qi nur wenig berücksichtigt, obwohl die Effektivität einer Akupunkturtherapie schon seit jeher anhand dieses speziellen Gefühls gemessen wird.

Sechzehn gesunde Probanden wurden im vorderen Anteil des M. trapezius manuell akupunktiert, wobei die Nadel solange bewegt wurde, bis es zum Auftreten von de-Qi kam. Sobald dieses Gefühl wieder verschwunden war, wurde die Nadel abermals solange bewegt, bis erneut de-Qi empfunden wurde. Im EEG zeigten sich signifikante Anstiege der  $\alpha$ - wie auch der  $\theta$ -Wellen, die auch nach Ende der Akupunktur bestehen blieben und diffus über dem gesamten Kortex messbar waren. In den parietalen Ableitungen kam es nach Ende der Akupunktur zu einem signifikanten Anstieg der Amplitude der  $\beta$ -Wellen. Im Frequenzbereich der  $\gamma$ -Wellen waren keine signifikanten Veränderungen zu sehen.

Die gemessenen vegetativen Parameter (Herzfrequenz, Herzratenvariabilität, Blutdruck) deuteten, mit Ausnahme eines signifikanten Blutdruckanstiegs, einheitlich auf eine Abnahme der Sympathikusaktivität hin. Es zeigten sich signifikante Abnahmen im Bereich der Herzfrequenz, der LF-Komponente der HRV, wie auch der LF-Komponente der BPV. Die HRV wie auch die BPV sind als Maß für die Anpassungsfähigkeit des Organismus an die jeweilige Situation zu verstehen. Die LF-Komponenten spiegeln dabei Aktivitäten des sympathischen Nervensystems wider, während Änderungen der HF-Komponenten auf Aktivitäten des parasympathischen Nervensystems zurückzuführen sind. Eine Erklärung für den Blutdruckanstieg wäre nach *Sakai et al.* ein nicht-autonomer, durch Akupunktur getriggelter Mechanismus, der zu einer Erhöhung des Gefäßmuskeltonus führt.

Mit der Anzahl der de-Qi-Empfindungen kam es zu einer Zunahme der HF-Komponente der HRV, wie auch zu einer Abnahme des LF/HF-Verhältnisses; es zeigte sich ein linearer Zusammenhang zwischen vegetativen Effekten und der Anzahl der provozierten de-Qi-Empfindungen.

Neben einem zeitlichen Zusammenhang zwischen de-Qi und EEG-Veränderungen wurden auch deutlich geringere Effekte der Akupunktur auf EEG und Vegetativum beim Fehlen von de-Qi beschrieben. Die Forschergruppe schlussfolgert, dass die

Veränderungen im vegetativen Nervensystem, die durch de-Qi induziert werden auch über das ZNS, insbesondere das Frontalhirn, reguliert werden und dass sich die Provokation von de-Qi, durch eine Hemmung der Sympathikusaktivität, positiv auf das Schmerzempfinden auswirken könnte.

### 3.1.1.3 Plazebokontrollierte Studien

Ein bedeutender Akupunkturpunkt in der Lehre der TCM ist Yintang, dessen Stimulation sowohl psychische als auch physische Entspannung hervorrufen soll.

*Litscher et al.* [24] gelang es anhand der Dokumentation des EEG-Bispektralindex (BIS) und der spektralen Eckfrequenz (SEF) von 25 gesunden Probanden, den beruhigenden Effekt der Stimulation von Yintang zu zeigen. Die Stimulation an Yintang und einem Kontrollpunkt (2 cm lateral der linken Augenbraue) passierte mittels Akupressur, Akupunktur und rotem Laser. BIS und SEF finden normalerweise Verwendung auf dem Gebiet der Anästhesiologie im intraoperativen Monitoring. BIS ist ein aus EEG-Einzelfraktionen errechneter dimensionsloser Parameter, dessen Skalierung von 0-100 reicht, wobei der höchste Wert Wachheit und der niedrigste hirnelektrische Stille (tiefster Narkosezustand) repräsentieren. Für eine adäquate chirurgische Toleranz werden Werte zwischen 40-60 angegeben. Die Stimulation von Yintang führte in der Arbeit von *Litscher et al.* zu einer signifikanten Reduktion des BIS wie auch der SEF. Die gemessenen BIS-Werte lagen bei 10 Probanden unter 50, bei 21 Probanden unter 60. Nach Beenden der Akupunktur/Akupressur stiegen die BIS- und SEF-Werte wieder bis zum jeweiligen Ausgangsniveau an. Während Akupunktur und Laserstimulation waren zwar gering signifikante Ergebnisse messbar, denen jedoch keine klinische Relevanz zugesprochen wurde. Die Akupressur am Kontrollpunkt führte zu keinerlei signifikanten Veränderungen.

Anhand dieser statistisch hochsignifikanten Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass durch die Akupressur an Yintang bei wachen Probanden die gleichen BIS und SEF-Werte wie bei narkotisierten Patienten erreicht werden können.

Auch *Arai et al.* [25] vermuteten, dass die psychische Entspanntheit, die nach TCM durch Stimulation an Yintang erreicht wird, einen Einfluss auf das autonome Nervensystem haben müsste. Sich an der Studie von *Litscher et al.* [24] anlehnend umfassten die erhobenen Daten den EEG-BIS und die HRV. Die Stimulation an Yintang bzw. an einem Kontrollpunkt (auch hier 2 cm lateral der linken Augenbraue) erfolgte bei 48 gesunden Probanden mittels manueller Akupressur.

Analog zu den bereits beschriebenen Ergebnissen (*Litscher et al.* [24]) führte die Akupressur an Yintang in dieser Studie zu einer signifikanten Reduktion der BIS-Werte, die deutlich stärker war als jene in der Kontrollgruppe. *Arai et al.* beobachteten diesen Effekt ausschließlich während der Stimulationsphase bei Frauen und Männern gleichermaßen. In keiner der beiden Gruppen kam es zu einer signifikanten Veränderung der Herzfrequenz. Akupressur per se bewirkte eine Reduktion des LF/HF-Verhältnisses der HRV, wobei sich nur bei den weiblichen Probanden der Verumakupressur-Gruppe eine signifikante Abnahme erheben ließ, die auch nach Beenden der Akupressur bestehen blieb. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Yintang-Akupressur unterschiedliche Auswirkungen auf das männliche bzw. weibliche Vegetativum hat. Bezüglich des BIS beweist die Arbeit von *Arai et al.* die Reproduzierbarkeit der Daten von *Litscher et al.*, die zeigen, dass Akupressur per se zwar zu einer Reduktion des BIS führt, die Ergebnisse bei Stimulation an Yintang aber eine wesentlich höhere Signifikanz aufweisen.

Obwohl *Rosted et al.* [21], wie bereits erwähnt, in ihrer Studie beschrieben haben, dass die Stimulation an Hegu zu keinen signifikanten Effekten im EEG führt, wählten *Chen et al.* [26] denselben Punkt um die neurophysiologischen Auswirkungen der Akupunktur zu studieren. Ein wesentlicher Unterschied der beiden Arbeiten war die Wahl des Monitorings, das in der nachstehend beschriebenen Studie wesentlich präziser war. *Chen et al.* analysierten die Unterschiedlichkeit der Effekte, die sich bei Verum- und Shamakupunktur beziehungsweise HF- und LF-Stimulation im EEG zeigen. Außerdem befassten sie sich mit der Frage, ob Akupunktur zu spezifischen Änderungen einzelner EEG Frequenzbänder bzw. zu Änderungen der Aktivität einzelner Regionen führt. Die Datenerhebung erfolgte über ein 124-Kanal-EEG an 12 gesunden Probanden. Die Akupunktur mittels elektrischer transkutaner Nadel erfolgte in der Verumgruppe (A) an Hegu, in der Kontrollgruppe (C) am M. interosseus IV. Für die Stimulationen wählten die Forscher 100 Hz in der Hochfrequenzgruppe (HF) bzw. 2 Hz in der Niederfrequenzgruppe (LF).

Die topographische Zuordnung der einzelnen EEG Frequenzen in der Ruhephase zeigte zwei Maxima der  $\theta$ -Wellen: erstens über dem frontalen Mittellinien-Areal, als Projektion der Aktivität im anterioren zingulären Kortex (ACC), sowie zweitens

im kontralateralen präfrontalen Areal, als Darstellung des sensomotorischen Kortex.  $\alpha$ 1-Wellen wurden, bei unklarem Ursprung, hauptsächlich über dem parietalen Mittellinien-Areal gemessen,  $\alpha$ 2 fokal über dem okzipitalen Areal, dem visuellen Kortex zuzuordnen;  $\beta$ -Wellen wurden diffus über den gesamten Kortex detektiert. Fokal bilateral über dem temporalen Areal gemessene  $\gamma$ -Wellen waren das elektrophysiologische Korrelat zu Kontraktionen der Kaumuskulatur.

Während der Versuche zeigten sich signifikante Änderungen in der Stärke der  $\theta$ - sowie der  $\alpha$ 1-Wellen. Eine signifikante Abnahme der  $\theta$ -Wellen war ausschließlich in der A/HF-Gruppe messbar. Während der übrigen drei Messungen (A/LF, C/HF, C/LF) kam es - verglichen mit den jeweiligen Baseline-Daten - zu einer Zunahme in diesem Frequenzbereich. Der Effekt bestand ausschließlich während Stimulation; in der post-Akupunktur-Phase näherten sich die Werte wieder ihrem ursprünglichen Niveau.

Eine signifikante Zunahme von  $\alpha$ 1, die auch nach Beenden der Akupunktur bestehen blieb, wurde in allen Versuchen (A/HF, A/LF, C/HF, C/LF) gemessen und ist daher als unspezifisch zu werten. *Chen et al.* [26] glauben, dass die Ursache dafür eine Zunahme des subjektiven Entspannungsgrades ist, welche durch die Akupunktur per se ausgelöst werden könnte.

Die gemessene  $\theta$ -Aktivität wird in dieser Studie hauptsächlich dem subkortikal gelegenen ACC zugeordnet, welcher eine tragende Rolle im Prozess der Schmerzwahrnehmung spielt. *Chen et al.* [26] vermuten einen positiven Einfluss auf die Nozizeption durch HF-Stimulation an Hegu.

Auch *Streitberger et al.* [27] befassten sich mit den Effekten auf EEG und HRV, die während und nach Akupunktur an Hegu auftreten. Obwohl es sich um den selben Akupunkturpunkt wie in der Arbeit von *Chen et al.* [26] handelt, weichen die erhobenen Daten in den beiden Studien voneinander ab. Im Unterschied zu *Chen et al.*, in deren Studie, wie oben beschrieben, Verum- und Kontrollpunkt elektrisch stimuliert wurden, wurde die Verumakupunktur in der vorliegenden Arbeit ohne elektrische Stimulation durchgeführt. Die Plazeboakupunktur erfolgte nichtinvasiv an einem neutralen Punkt am M. biceps brachii, mithilfe der teleskopischen Streitberger-Nadel. Die Daten von 20 gesunden Probanden wurden mittels EEG, EKG sowie eines Fragebogens erhoben.

Im Vergleich zur Plazebogruppe kam es während der Akupunktur an Hegu fokal im okzipitalen Areal zu einem signifikanten Anstieg von  $\alpha 1$ . Gleichzeitig zeigte sich diffus über dem gesamten Kortex eine signifikante Verschiebung des  $\alpha 1/\theta$ -Verhältnisses zugunsten von  $\alpha 1$ . In den ebenfalls beobachteten Frequenzbereichen  $\delta$ ,  $\beta$ , und  $\alpha 2$  waren keine signifikanten Veränderungen zu beobachten.

Kurzzeitige Anstiege der HR und des HF/LF-Verhältnisses während einer manuellen Stimulation in der VA-Gruppe interpretierten Streitberger und Kollegen als eine Reaktion des Vegetativums, ausgelöst durch Schmerz bzw. de-Qi-Gefühl. Hierbei sollte allerdings erwähnt werden, dass ein Schmerzreiz normalerweise eine Zunahme der  $\beta$ -Wellen im EEG auslöst, welche in dieser Studie jedoch wie bereits erwähnt stets konstant blieben.

Die Auswertung des Fragebogens ergab in 11 von 40 Versuchen Zeichen für die Aktivierung des vegetativen Nervensystems (Wärmegefühl, Schwitzen, Schwindel, Gänsehaut, Übelkeit), davon 10 in der Gruppe der VA. Eine Empfindung des Nadelstichs sowie auch das Auftreten von de-Qi wurden in beiden Gruppen in mehr als der Hälfte der Versuche geschildert.

*Streitberger et al.* [27] gehen davon aus, dass die Zunahme von  $\alpha 1$  im okzipitalen Areal ein für die Akupunktur, jedoch nicht für einen bestimmten Akupunkturpunkt spezifischer Effekt ist. Die Zusammenschau der Ergebnisse zeigt, dass die Akupunktur einen Einfluss auf das zentrale wie auch das autonome Nervensystem hat.

*Chang et al.* [28] beschrieben in ihrer Arbeit die Auswirkungen der Akupunktur an Neiguan auf das EEG. Zwei Gruppen zu jeweils sechs gesunden Probanden wurden an Neiguan bzw. einem nahegelegenen neutralen Kontrollpunkt manuell akupunktiert, während die zerebrale Aktivität über ein 12-Kanal-EEG registriert wurde. Während in der Kontrollgruppe keine nennenswerten Änderungen im EEG zu beobachten waren, zeigte sich in der Verumgruppe eine Reihe signifikanter Ergebnisse. An dieser Stelle sollte erwähnt werden, dass ausschließlich in der Verumgruppe die Nadel bis zum Eintreten von de-Qi bewegt wurde. In allen Versuchen dieser Gruppe kam es im Bereich der  $\alpha$ -Wellen zu einer signifikanten Zunahme in der Amplitude sowie auch zu einer zunehmenden Synchronisation während der Akupunktur. Nach Entfernung der Nadel zeigte sich, bei einer

Standardabweichung von nur mehr  $2.03E-07$  Hz, das Bild von komplett synchronisierten  $\alpha$ -Wellen in allen 12 EEG-Kanälen. Außerdem wurde beobachtet, dass diese Veränderungen im EEG bei allen Versuchen in dieser Gruppe für mindestens 10 Minuten nach Beendigung der Akupunktur bestehen blieben. Ebenso wie bereits erwähnte Forscher vermuten auch *Chang et al.* [28], dass die im EEG messbaren Effekte der Akupunktur mit dem autonomen Nervensystem korrelieren.

Autor	Jahr	Titel	n	Stimulationspunkt(e)	Stimulationsmethode(n)	EEG- Effekt(e)	p- value
Rosted et al. <sup>(21)</sup>	2001	Is there an effect of acupuncture on the resting EEG?	14	Di 4	NA	Keine signifikanten Ergebnisse	-
Tanaka et al. <sup>(20)</sup>	2002	Effects of acupuncture to the sacral segment of the bladder activity and encephalogram	27 Ratten	Sakrales Segment	NA	↑ $\delta$ , $\theta$ , $\beta$ , $\alpha$	-
Litscher et al. <sup>(24)</sup>	2004	Effects of acupressure, manual acupuncture and Laserneedle® acupuncture on EEG bispectral index and spectral edge frequency in healthy volunteers	25	Yintang	NA Akupressur Laser	↓BIS- Index	< 0,001
Chen et al. <sup>(26)</sup>	2006	Mode and site of acupuncture modulation in the human brain: 3D (124-ch) EEG power spectrum mapping and source imaging	12	Di 4	EA: 100 Hz  EA: 2 Hz	↓ $\theta$ präfrontal, ↑ $\alpha 1$ nicht spezifisch	< 0,05 <0,05  <0,05 <0,05
Sakai et al. <sup>(23)</sup>	2007	Specific acupuncture sensation correlates with EEGs and autonomic changes in human subjects	16	M. trapecius dext.	NA	↑ $\theta$ während A ↑ $\theta$ nach A  ↑ $\alpha$ während A ↑ $\alpha$ nach A	< 0,01 = 0,058  < 0,01 < 0,01

						$\uparrow\beta$ während A in P3 + P4	< 0,05
<b>Sugiura et al.</b> <sup>(22)</sup>	2007	Heart rate and electroencephalogram changes caused by finger acupressure on planta pedis	22	Planta pedis	Akupressur	Keine signifikanten Ergebnisse	
<b>Streitberger et al.</b> <sup>(27)</sup>	2008	Effects of verum acupuncture compared to placebo acupuncture on quantitative EEG and heart rate variability in healthy volunteers	20	Di 4	NA	$\uparrow\alpha_1$ okzipital $\alpha_1/\theta$ Verhältnis zugunsten von $\theta$ verschoben	< 0,03 < 0,04
<b>Arai et al.</b> <sup>(25)</sup>	2008	The influence of acupressure at extra 1 acupuncture point on the spectral entropy of the EEG and LF/HF ratio of heart rate variability	48	Yintang	Akupressur	$\downarrow$ state entropy $\downarrow$ response entropy	< 0,05 < 0,05
<b>Chang et al.</b> <sup>(28)</sup>	2009	Effects of acupuncture at Neiguan (PC 6) on electroencephalogram	12	Pe 6	NA	$\uparrow\alpha$ $\alpha$ -Synchronisation	< 0,05 < 0,01

Tabelle 2: Akupunkturstudien mit neurophysiologischem Mapping (EEG)

### 3.1.2 Neurospektroskopisches Mapping-NIRS

Bereits 1978 führte die Forschergruppe um *Chen und Erdmann* [29] Versuche durch, um zu erforschen welchen Einfluss die Akupunktur auf den zerebralen Sauerstoffgehalt hat. Es handelte sich um eine tierexperimentelle Studie, die an Ratten durchgeführt wurde. Während der Nadelakupunktur und Elektrostimulation wurden die Änderungen der zerebralen Oxygenierung über im frontalen Kortex implantierte Mikroelektroden registriert. Die Stimulation an Jen-Chung führte zu einer signifikanten Zunahme der Konzentration von oxygeniertem Hämoglobin. Die beobachtete Änderung war auf die Dauer der manuellen Stimulation begrenzt und wurde von Chen und Erdmann als spezifisch für den Akupunkturpunkt Jen-Chung beschrieben, da die Stimulationen (Nadelakupunktur und Elektrostimulation) an anderen Punkten zwar auch zu einem Anstieg der Sauerstoffkonzentration führten, diese jedoch einen anderen Verlauf aufwiesen.

Seit 1997 befassen sich vor allem *Litscher* [30-34,37,38], *Schwarz* [36] und *Széles* [35] mit der Erforschung der Zusammenhänge zwischen Akupunktur und den mittels NIRS erfassbaren Alterationen der regionalen zerebralen Oxygenierung. In ihren zahlreichen Studien gingen sie auf die verschiedenen technischen Stimulationsmethoden (konventionelle Nadelakupunktur, Akupressur, Lasernadelakupunktur, elektrische Stimulation) ebenso ein wie auf die diversen Akupunkturschemata (Akupunkturpunkte der TCM, Koreanische und Chinesische Handakupunktur, Ohrakupunktur). Die Optoden des NIRS-Systems wurden dabei meist in der Frontalregion platziert [30-33,35-38], einige Arbeiten umfassten auch die Registrierung von Alterationen über der Zentralregion des Kortex [34,38].

Die Ergebnisse einer Reihe von experimentellen Studien der oben genannten Forscher zeigten, dass es während der Stimulation spezifischer Akupunkturpunkte zu einem signifikanten Anstieg der regionalen O<sub>2</sub>Hb-Konzentration kommt.

Aufgrund der engen Beziehung zwischen Sauerstoffgehalt und der arteriellen Blutflussgeschwindigkeit wurde auch dieser Parameter in einige der Messungen miteinbezogen. Die jeweiligen Messmethoden waren die NIRS beziehungsweise die transkranielle Doppler-Sonografie (TCD-Sonografie).

In einer ihrer ersten Arbeiten auf diesem Gebiet beschrieben *Litscher et al.* [30], dass die Stimulation bestimmter Akupunkturpunkte zu einer signifikanten

Zunahme der Blutflussgeschwindigkeit sowie auch der Konzentration von oxygeniertem Hb führt. Die Studie umfasste 12 gesunde Probanden, an denen das NIRS-Monitoring im Stirnbereich platziert und über die TCD-Sonografie die Flussgeschwindigkeit in der A. cerebri media aufgezeichnet wurde. Die konventionelle Nadelakupunktur erfolgte zeitgleich an vier definierten Punkten (Neiguan, Qi Hai, Zusanli, Sanyinjiao), einer Kombination, die nach TCM zu einer generalisierten Stärkung des Qi führt. Dabei wurden die einzelnen Punkte solange stimuliert bis es zum Eintreten von de-Qi kam. Bei Insertion der Nadeln zeigten sich parallele Anstiege der O<sub>2</sub>Hb-Konzentration und der Blutflussgeschwindigkeit. Die Werte lagen auch nach der Akupunktur noch über dem Ausgangsniveau.

Dass die geschilderten Effekte in der frontalen NIRS-Messung auch bei Anwendung der Lasernadelakupunktur auftreten, konnten *Litscher et al.* [31] erstmals im Jahr 2000 zeigen. Unter Anwendung der konventionellen Nadel- wie auch der Lasernadelakupunktur wurden bei drei gesunden Probanden in einer plazebokontrollierten Studie Änderungen der O<sub>2</sub>Hb-Konzentration während der Stimulation an 11 Akupunkturpunkten beobachtet. Im Verlauf der Laserakupunktur wie auch der manuellen Nadelung zeigten sich Anstiege in den Parametern O<sub>2</sub>Hb, cHb und TOI (Tissue Oxygenation Index). Deutlich ausgeprägter waren diese Effekte unter Anwendung der manuellen Nadelakupunktur. Nadelinsertionen am Plazebopunkt führten zu keinen wesentlichen Veränderungen.

Ähnliche Ergebnisse lieferten die Messungen einer umfassenden Studie von *Litscher et al.* [32], an der 88 Probanden teilnahmen. Das NIRS-Monitoring wurde auch diesmal über der frontalen Region platziert, während die Stimulationen mittels konventioneller Nadelung und Laser an 7 unterschiedlichen Akupunkturpunkten sowie an einem neutralen Kontrollpunkt erfolgten. Die konventionelle sowie auch die Laser-Nadelakupunktur führte, analog zu den Ergebnissen bereits publizierter Daten [29-31], zu einer signifikanten Zunahme der Konzentration von O<sub>2</sub>Hb, die nach Entfernung der Nadel zwar wieder absank, jedoch immer noch über dem Ausgangsniveau lag. Dieser Konzentrationsanstieg stellte sich bei der konventionellen manuellen Nadelakupunktur nahezu exponentiell, bei der Lasernadel-Akupunktur weniger intensiv, plateauförmig dar. Gleichzeitig kam es in beiden Gruppen zu einer Abnahme der HHb-Konzentration.

In der Kontrollgruppe, in der der Placebopunkt mittels manueller Nadelakupunktur stimuliert wurde, ließen sich keine signifikanten neurospektroskopischen Veränderungen beobachten.

In einer weiteren placebokontrollierten Studie von *Litscher et al.* [33] sollten die mittels NIRS darstellbaren Effekte der Ohrakupunktur im Vergleich zur Traditionellen Chinesischen Akupunktur und zur Koreanischen Handakupunktur objektiviert werden. Auch in dieser Arbeit wurden die NIRS-Optoden frontal platziert, während die Stimulation der verschiedenen Punkte bei 20 Probanden mittels konventioneller Nadelung passierte. Zu markanten Änderungen im Sinne einer Zunahme von O<sub>2</sub>Hb kam es lediglich während der Ohrakupunktur, wobei auch nach Entfernen der Nadel ein plateauförmiges Persistieren der Parameter zu beobachten war.

2004 untersuchten *Schwarz et al.* [36] die Effekte eines individuell adaptierten Akupunkturschemas im Fall einer 77-jährigen Patientin mit dem Krankheitsbild einer vaskulär bedingten Demenz. Wie schon in der oben erwähnten Studie von *Litscher et al.* [30] kam auch hier die TCD-Sonografie als ergänzende Methode zur NIRS zur Anwendung. Die beobachteten Parameter umfassten neben Veränderungen des klinischen Status auch Alterationen der Blutflussgeschwindigkeit in der A. cerebri media und Änderungen der zerebralen regionalen O<sub>2</sub>Hb- Konzentration. Während die Stimulation der spezifischen Punkte zu einer Verbesserung des klinischen Zustandsbildes der Patientin führte (Sprache, Artikulation, Koordination, Kurzzeitgedächtnis), ließen sich paradoxerweise eine Zunahme der Blutflussgeschwindigkeit ebenso wie eine Abnahme der zerebralen O<sub>2</sub>-Sättigung erheben. Diese auf den ersten Blick widersprüchlichen Ergebnisse brachten *Schwarz et al.* [36] zu dem Schluss, dass eine Reduktion der regionalen Sauerstoff- Konzentration nicht zwingend durch ein vermindertes Angebot bedingt sein muss, sondern ebensogut Zeichen einer gesteigerten Utilisation sein kann.

Den Einfluss von Elektrostimulationen am Ohr auf Änderungen der Sauerstoffkonzentration im frontalen Bereich des Gehirns untersuchten *Széles et al.* [35] im Jahr 2004. Bei einer 27 Jahre alten gesunden Probandin wurden

spezielle Akupunkturpunkte am Ohr nacheinander in zwei Sessions mit unterschiedlicher Frequenz elektrisch gereizt und währenddessen über die frontal platzierte NIRS-Optode die zerebrale Sauerstoffkonzentration dokumentiert. Die Stimulationsfrequenz von 1 Hz führte zu einem geringen Absinken von O<sub>2</sub>Hb, wobei dieser Effekt ausschließlich auf die Stimulationsphase begrenzt war. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei einer Stimulationsfrequenz von 100 Hz ein deutlicher Anstieg der O<sub>2</sub>Hb-Konzentration, der auch nach einer Ruhephase von 30 Minuten in derselben Probandin reproduzierbar war.

Bereits zwei Jahre zuvor hatten auch *Litscher et al.* [34] ein Absinken der zerebralen O<sub>2</sub>Hb-Konzentration während der Anwendung von Akupunktur beschrieben. Im Vergleich zu den oben beschriebenen Studien wurden hier die NIRS-Optoden ausschließlich über der Zentralregion des Kortex platziert. Die Reizung erfolgte bei insgesamt 16 gesunden Probanden mittels konventioneller Nadelakupunktur am Akupunkturpunkt Hegu. Fünf Minuten nach Setzen der Nadel wurde eine neuerliche Stimulation durch manuelle Manipulation (Rotation, Heben und Senken der Nadel) ausgeübt. Beurteilt wurden Alterationen der O<sub>2</sub>Hb- und der HHb-Konzentration über der Zentralregion. Ein markantes Absinken von O<sub>2</sub>Hb und cHb (Gesamthämoglobin) zeigte sich bei Nadelinsertion und auch infolge der erneuten Stimulation. Die HHb-Konzentration betreffend wurde ein diskreter Anstieg beschrieben.

Die Effekte der Stimulation von Ma 7 und 3E 22, die nach TCM bei Patienten mit erhöhtem Hirndruck (ICP) zu signifikanten, reversiblen ICP-Anstiegen führt, untersuchten *Litscher et al.* [37] 2005 an 34 gesunden Probanden. Während die Messungen der Blutflussgeschwindigkeit in der A. cerebri media teilweise signifikante Ergebnisse lieferten, zeigten sich in den zusätzlich durchgeführten NIRS-Messungen über dem frontalen Kortex keine Veränderungen der regionalen O<sub>2</sub>Hb-Konzentration.

Jüngste Messungen von *Litscher et al.* [38] zeigten, dass auch die elektrische Stimulation bestimmter Akupunkturpunkte am Ohr zu einer Änderung der zerebralen Oxygenierung führt. Im Speziellen handelt es sich dabei um Punkte, die in der TCM hauptsächlich zur Schmerzausschaltung verwendet werden und

seit kurzer Zeit auch Anwendung auf dem Gebiet der sogenannten „battlefield acupuncture“ [39] finden. Im Fall der vorliegenden Studie erfolgten die Reize am Ohr mit einer Stromstärke von 1 mA und mit einer Frequenz von 1 Hz. Mithilfe eines 50-Kanal-NIRS-Systems, welches weltweit zum ersten Mal im Zusammenhang mit der Forschung auf dem Gebiet der Akupunktur eingesetzt wurde, konnte bei einer Probandin eine stimulationsbezogene, signifikante Abnahme der zerebralen Oxygenierung gemessen werden. Dieser Effekt zeigte sich am markantesten in den 12 Kanälen über dem frontalen Kortex, war jedoch auch in weiteren Kanälen zu beobachten.

Autor	Jahr	Titel	n	Stimulationspunkt(e)	Stimulationsmethode(n)	Effekte*	p-value
<b>Chen und Erdmann<sup>(29)</sup></b>	1978	Effects of acupuncture on tissue oxygenation of the rat brain	10 Ratten	Jen Chung	NA EA	Mikroelektroden: ↑ O <sub>2</sub> Hb	
<b>Litscher et al.<sup>(30)</sup></b>	1997	Transcranial near infrared spectroscopy and Doppler sonography during acupuncture	12	Pe 6 Qi Hai Zusanli Sanyinjiao	NA	↑ O <sub>2</sub> Hb	< 0,01
<b>Litscher et al.<sup>(31)</sup></b>	2000	Zerebrale Nahinfrarot-Spektroskopie und Akupunktur - Ergebnisse einer Pilotstudie	3	11 Punkte an Kopf, Hand, Fuß	NA Laser	↑ O <sub>2</sub> Hb ↑ O <sub>2</sub> Hb	
<b>Litscher et al.<sup>(32)</sup></b>	2002	Near-infrared spectroscopy for objectifying cerebral effects of needle and laserneedle acupuncture	88	2 TCM-AP 2 Ohr-AP 2 Kor. HA 1 Chin. HA	NA Laser	↑ O <sub>2</sub> Hb, exponentiell ↑ O <sub>2</sub> Hb, plateauförmig	
<b>Litscher G.<sup>(33)</sup></b>	2002	Quantifizierung zerebraler Effekte der Ohrakupunktur durch innovative computergestützte Verfahren: Vergleiche mit der Traditionellen Chinesischen Körperakupunktur und der Koreanischen Handakupunktur	2	Ohr- AP TCM- AP Kor. HA	NA	↑↑ O <sub>2</sub> Hb ↑ O <sub>2</sub> Hb ↑ O <sub>2</sub> Hb	
<b>Litscher G.<sup>(34)</sup></b>	2002	Veränderungen zerebraler nahinfrarot-spektroskopischer Parameter während manueller Akupunkturnadelstimulation	16	Di 4	NA	Zentral: ↓ O <sub>2</sub> Hb ↑ HHb	< 0,001 = 0003
<b>Széles et al.<sup>(35)</sup></b>	2004	Objectivation of cerebral effects with a new continuous electrical auricular stimulation technique for pain management	1	Ohr-AP	EA: 1 Hz EA: 100 Hz	↓ O <sub>2</sub> Hb ↑↑ O <sub>2</sub> Hb	

<b>Schwarz et al.</b> <sup>(36)</sup>	2004	Pseudoparadoxical dissociation of cerebral oxygen saturation and cerebral blood flow velocity after acupuncture in a woman with cerebrovascular dementia: a case report	1	He 5, He 7, Sp 6, UB 10, UB 17, UB 23, St 36	NA	↓ O <sub>2</sub> Hb
<b>Litscher et al.</b> <sup>(37)</sup>	2005	Intrakranieller Druckanstieg nach zerebralen Blutflussgeschwindigkeitsänderungen durch Akupressur, Nadelakupunktur und Lasernadelakupunktur	34	Ma 7, 3E 22	Akupressur NA Laser	Keine signifikanten Ergebnisse
<b>Litscher et al.</b> <sup>(38)</sup>	2011	Battlefield Acupuncture and near-infrared spectroscopy	11	Ohr-A.	EA	1-Kanal frontal: keine sign. Ergebnisse  50-Kanal: ↓ O <sub>2</sub> Hb

**Tabelle 3: Akupunkturstudien mit neurospektroskopischem Mapping (NIRS) und Mikroelektroden (Chen und Erdmann) zur Bestimmung der zerebralen Oxygenierung**

\* falls nicht anders bezeichnet, handelt es sich um 1-Kanal- Messungen über dem frontalen Kortex

### **3.1.3 Eigene Messungen**

#### **3.1.3.1 Subjektive Wahrnehmung**

Bei der Stimulation mit violetterm Laser schilderte die Probandin ein deutlich wahrnehmbares Gefühl, welches nach der Dauer von ca. 2 Minuten abnahm. Das Gefühl wurde als kontinuierlich, also nicht in der Stimulationsfrequenz von 1 Hz registriert. Die Empfindung wurde als eine Art Kribbeln und Wärmegefühl beschrieben, jedoch nie als schmerzhaft.

Die Stimulation mit rotem Laser an Neiguan wurde anfangs nicht wahrgenommen. Die Probandin schilderte, dass es nach einiger Zeit zu einem unspezifischen Wärmegefühl kam, das nach proximal ausstrahlte.

#### **3.1.3.2 Effekte im EEG**

Die Stimulationen mit rotem und violetterm Laser am Akupunkturpunkt Neiguan führten zu unterschiedlichen Effekten im EEG. Zur Detektion eventuell auftretender evozierter Potentiale wurden die über die Dauer von jeweils 10 Minuten gemessenen Signale für jeden einzelnen Kanal gemittelt. Die Subtraktion der einzelnen Mittelungen zeigt, dass es bei Stimulation mit rotem Laser an Neiguan zum Auftreten von evozierten Potentialen kommt. Diese zeigten sich vorwiegend in den zentralen Ableitungen, waren aber auch im frontalen Bereich zu sehen. In der Abbildung 12 wurden die jeweiligen Mittelungen von den Stimulationen mittels rotem und violetterm Laser transparent übereinander gelegt, um so die evozierten Potentiale graphisch darzustellen (Abb. 12).

Bei den Stimulationen an den Plazebopunkten führten weder der rote noch der violette Laser zu signifikanten Änderungen im EEG. Bei keinem der sechs Probanden konnten in dieser Versuchsserie evozierte Potentiale gemessen werden.

Bei der Kontrollmessung mit optisch wahrgenommenen Signalen über den roten Laser zeigten sich in den gemittelten EEG-Signalen eindeutige evozierte Potentiale. Diese waren in den okzipitalen Ableitungen, über dem visuellen Kortex lokalisiert (Abb. 13).

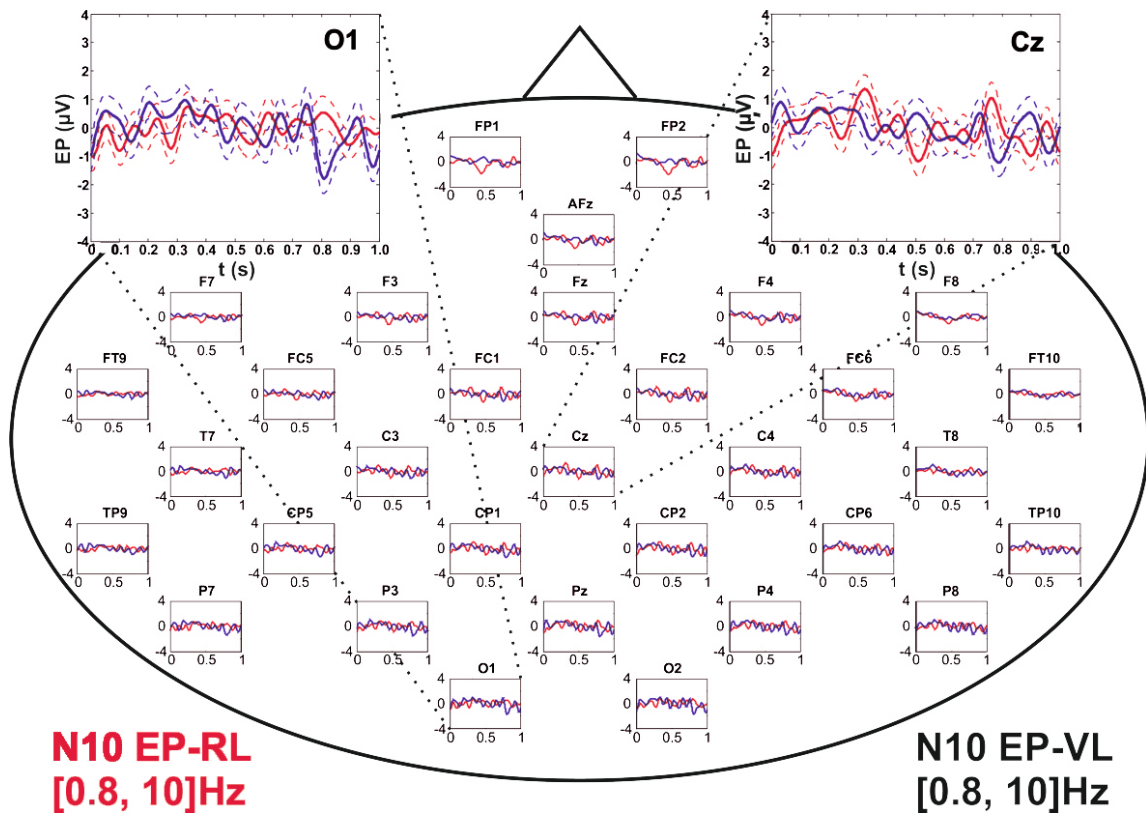


Abbildung 12: Evozierte Potentiale: Roter vs. violetter Laser

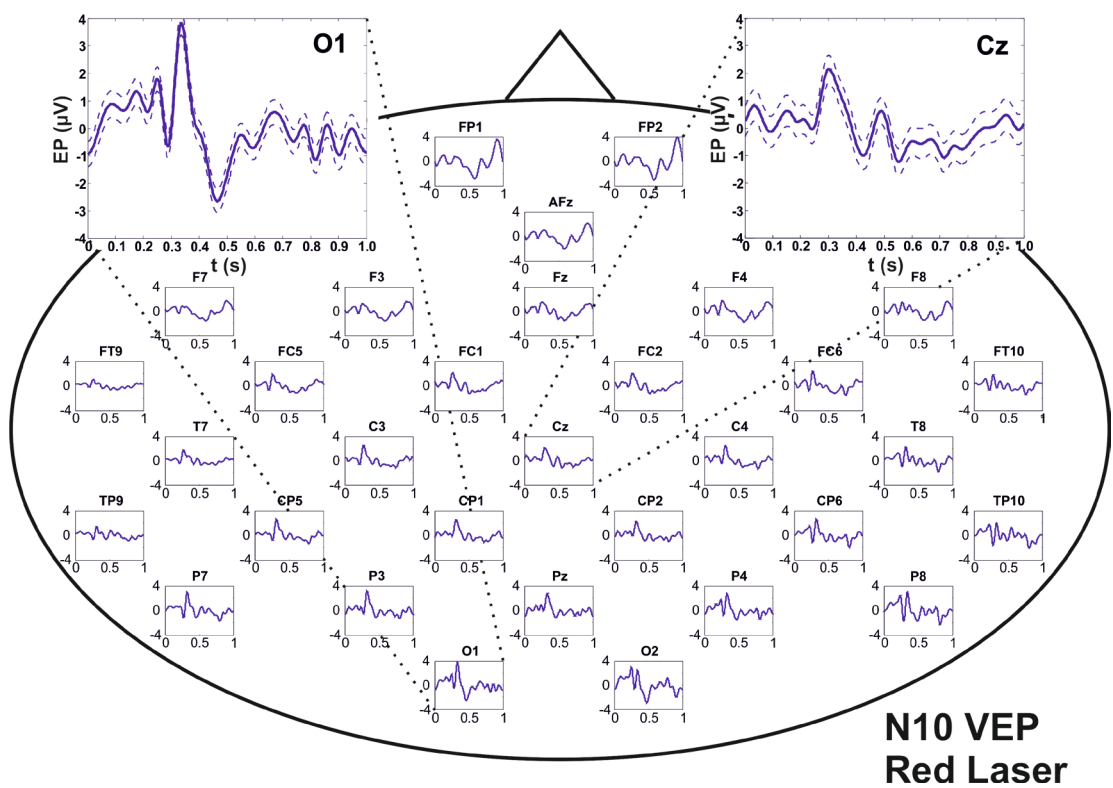


Abbildung 13: Visuell evozierte Potentiale

## 4 Diskussion

### 4.1 Parallelen und Interpretation bereits publizierter Daten

In der westlichen Welt spiegeln sich das steigende Interesse an der Akupunktur und der Wunsch danach, ihre Wirkmechanismen verstehen zu können, in den zahlreichen Studien wider, die auf diesem Gebiet durchgeführt werden. Neben der Beobachtung vegetativer und subjektiv empfundener Effekte wird heute durch den Einsatz hoch technologischer und sich stets weiterentwickelnder Methoden auch ein immer detaillierterer Einblick in die Abläufe des menschlichen Gehirns ermöglicht. In diesem Zusammenhang besitzen das Elektroenzephalogramm und die NIR-Spektroskopie als extrem sensitive Messverfahren einen hohen Stellenwert, da sie ein kontinuierliches Mapping der zerebralen Effekte ermöglichen. Im Gegensatz zum Beispiel zum fMRT (Funktionelle Magnetresonanztomographie) ist mit Hilfe dieser Methoden, wie bereits eingangs erwähnt, eine genaue Dokumentation der zeitlichen Zusammenhänge zwischen Akupunktur und den zerebralen Reaktionen möglich, zu der zusätzlich auch eine gewisse topographische Zuordnung möglich ist.

#### 4.1.1 Einfluss der Akupunktur auf neurophysiologische Parameter

Die Ergebnisse der Literaturrecherche bestätigen, dass die Akupunktur nachweislich Effekte im menschlichen Gehirn induziert, wobei diese sich in den einzelnen neurophysiologischen Studien sehr unterschiedlich darstellen und auch der dahinter stehende Mechanismus bis heute nicht eindeutig geklärt werden konnte. Trotz dieser Heterogenität der Ergebnisse zeigen sich im EEG gewisse Parallelen in den Veränderungen einzelner EEG-Frequenzbänder. So führte die Stimulation bestimmter Akupunkturpunkte hauptsächlich zu signifikanten Veränderungen im Bereich der  $\alpha$ - und  $\theta$ -Wellen [20,23,26-28], während nur vereinzelt Alterationen in  $\beta$ ,  $\delta$  und  $\gamma$  [20-23] beschrieben wurden. Bemerkenswert ist hierbei, dass es sich bei den Änderungen im  $\alpha$ -Bereich ausnahmslos um signifikante Anstiege handelte, die in der Arbeit von *Chang et al.* [28] sogar mit einer kompletten Synchronisation über dem gesamten Kortex verbunden waren. Vermutungen, dass diese Zunahme von  $\alpha$  nicht durch die Stimulation eines Akupunkturpunktes der TCM, sondern durch den Nadelstich per se hervorgerufen

werden könnte [26], wurden von *Streitberger* und *Chang* widerlegt. Sie kamen gleichermaßen zu dem Ergebnis, dass es sich bei den Anstiegen von  $\alpha$  um TCM-Akupunktur-spezifische Alterationen handelt, wobei in diesen beiden plazebokontrollierten Studien die Stimulationen an den Kontrollpunkten mittels Teleskopnadel [27] sowie auch direkter Nadelung [28] erfolgten.

Bei den durch Akupunktur induzierten Änderungen im Bereich der  $\theta$ -Wellen handelt es sich ebenfalls hauptsächlich um Zunahmen der Amplitude [20,23,26], wobei *Chen et al.* [26] diesen Effekt unter Anwendung der Elektroakupunktur ausschließlich im Niederfrequenzbereich von 2 Hz beobachten konnten. Die Erhöhung auf 100 Hz hatte eine signifikante Abnahme der  $\theta$ -Wellen zu Folge. Eine signifikante Verschiebung des Verhältnisses  $\alpha/1/\theta$  zugunsten von  $\theta$  beschrieben *Streitberger et al.* [27].

Während die dokumentierten Amplitudenänderungen einander ähneln, gibt es große Variationen, was ihre Lokalisationen betrifft. Während die Beobachtungen von *Streitberger et al.* sich ausschließlich auf die Ableitungen über dem okzipitalen Kortex beschränkten, projizierten sich in der Arbeit von *Chen et al.* [26] die größten Änderungen über den präfrontalen Kortex. Die Synchronisation der  $\alpha$ -Wellen bei *Chang et al.* [28] wurde in allen 12-EEG-Ableitungen beobachtet und war somit nicht lokal begrenzt. Welche zerebralen Strukturen in die Effekte der Akupunktur involviert sind, ist bis heute nicht im Detail geklärt, jedoch lässt sich aufgrund ihrer Wirksamkeit im Bereich der Schmerztherapie vermuten, dass es sich vorwiegend um Bereiche handelt, die auch in der Nozizeption eine tragende Rolle spielen.

$\alpha$ - und  $\theta$ -Wellen sind physiologisch während des entspannten Wachzustandes bzw. bei leichtem Schlaf messbar. Dass die Stimulation verschiedener Akupunkturpunkte der TCM im EEG hauptsächlich zu Alterationen dieser beiden Frequenzbereiche, im Sinne einer Zunahme der Amplitude führte, spricht für ihren entspannenden Effekt, der sich auch durch Änderungen in einzelnen Parametern des vegetativen Nervensystems zeigte (Herzfrequenz, LF/HF-Komponenten von Herzfrequenz und Blutdruck [22,23,25,27]. *Sakai et al.* [23] beobachteten, dass all diese Effekte deutlich ausgeprägter waren, wenn während der Stimulation ein de-

Qi-Gefühl ausgelöst wurde und untermauert damit den hohen Stellenwert dieses spezifischen Empfindens, das in der traditionellen Akupunktur als Maß für die Behandlungseffektivität gilt. Den engen Zusammenhang zwischen zerebralen und vegetativen Effekten der Akupunktur beschrieben auch *Tanaka et al.* [20] in ihrer tierexperimentellen Studie, während der die EEG-Effekte nur dann auftraten, wenn durch die Akupunktur Änderungen im autonomen Nervensystem induziert wurden.

Da bei all diesen Studien unterschiedliche Punkte stimuliert wurden, sprechen die beschriebenen Änderungen in zerebralen und vegetativen Parametern für eine allgemein beruhigende Wirkung, die zwar spezifisch für die Akupunktur, jedoch nicht spezifisch für einzelne Akupunkturpunkte ist.

Einen Beweis für die sedierende Wirkung der Stimulation an Yintang, einem Akupunkturpunkt, der in der TCM zur allgemeinen Beruhigung eingesetzt wird, lieferten *Litscher* [24] und *Arai* [25]. Die Anwendung des Bispektral-Index machte in diesem Zusammenhang erstmals eine objektive Beurteilung des Grades der Entspannung möglich. Durch Stimulation an Yintang wurden bei wachen Probanden BIS-Werte in einem Bereich gemessen, der in der Anästhesie einer für chirurgische Eingriffe angestrebten Narkosetiefe entspricht.

#### **4.1.2 Einfluss der Akupunktur auf die zerebrale Oxygenierung**

Die Ergebnisse des neuspektroskopischen Mappings im Zusammenhang mit der Akupunktur zeigten mit einer Zunahme des zerebralen Sauerstoffgehalts über dem frontalen Kortex ein weitgehend homogenes Bild. Jene Effekte, die *Chen und Erdmann* [29] bereits 1978 über implantierte Mikroelektroden dokumentieren konnten, sind mit Hilfe der Methode der NIRS seit 1997 nichtinvasiv messbar. Abhängig von verschiedenen Akupunkturschemata und Stimulationsmethoden zeigten sich stark variierende Ausprägungen dieser Änderungen der frontalen O<sub>2</sub>Hb-Konzentration. *Litscher et al.* [33] beschrieben einen deutlich höheren Anstieg der Parameter während der Anwendung der Ohrakupunktur im Vergleich zur Körperakupunktur nach TCM bzw. zur Koreanischen Handakupunktur.

Der Vergleich zwischen Nadelakupunktur und Laserstimulation zeigt einen unterschiedlichen Kurvenverlauf der Konzentrationsänderung. Während die

direkte Nadelung zu einem exponentiellen Anstieg der O<sub>2</sub>Hb-Konzentration führt, bewirkt die Stimulation mittels Laser eine etwas flachere, plateauförmige Kurve. Analog zu *Chen et al.* [26] beschrieben auch *Széles et al.* [35], unter der Anwendung der Elektroakupunktur, unterschiedliche zerebrale Effekte in Abhängigkeit der Stimulationsfrequenz. Die Reizung im Niederfrequenzbereich, hier 1 Hz, führte zu einem geringen Abfall der Sauerstoffkonzentration, während bei der Stimulation mit einer Frequenz von 100 Hz ein deutlicher Anstieg zu beobachten war.

Aus technischen Gründen blieb der Einblick in die Änderungen der zerebralen Sauerstoffkonzentration lange Zeit auf kleine Regionen begrenzt; wie bereits erwähnt, wurden die Optoden meist im frontalen Bereich platziert. 2002 zeigten Messungen über dem zentralen Kortex [34], dass es hier während der Akupunktur zu einem Abfall der O<sub>2</sub>Hb-Konzentration kommt. 2011 gelang mit Hilfe eines komplexen 50-Kanal-NIRS-Systems [38] erstmalig eine Darstellung der Konzentrationsänderungen über dem gesamten Kortex. Es zeigte sich, dass die markanten Änderungen, die auf die Akupunktur zurückzuführen sind, hauptsächlich im frontalen Bereich stattfinden. Die Reizungen erfolgten in dieser Studie am Ohr, mittels Elektrostimulation. Interessanterweise hatte auch hier die Stimulation im Niederfrequenzbereich von 1 Hz einen Abfall der Sauerstoffkonzentration zu Folge.

#### **4.2 Spezielle Schwierigkeiten auf dem Gebiet der Akupunkturforschung**

Dass für die Interpretation der Ergebnisse weitere Parameter von Nöten sind, wird vor allem im Hinblick auf die Arbeit von *Schwarz et al.* [36] deutlich, in der die Effekte der Akupunktur bei einer Patientin mit vaskulärer Demenz beobachtet wurden. Während sich durch die Akupunktur der klinische Status deutlich verbesserte, zeigte sich ein Abfall der frontalen O<sub>2</sub>Hb-Konzentration gleichzeitig mit einer Zunahme der Blutflussgeschwindigkeit in der A. cerebri media. In Zusammenschau all dieser Resultate lässt sich vermuten, dass eine Abnahme der Sauerstoff-Konzentration nicht zwingend ein vermindertes Angebot, sondern auch eine gesteigerte Ausschöpfung im Gewebe bedeuten kann.

Auch in den Studien, die sich mit dem neurophysiologischen Mapping der durch Akupunktur induzierten Effekte beschäftigen, sind zusätzlich erhobene Parameter für die Aufklärung der Mechanismen und Wirkungen der Akupunktur von großer Bedeutung. Beispielsweise können hier anhand der HRV Rückschlüsse auf Änderungen im Vegetativum gezogen werden [22-25,27].

Auch ohne zusätzliche Informationen ergeben sich auf diesem komplexen Gebiet der Forschung, in dem es um die objektive Darstellung zerebraler Effekte der Akupunktur geht, einige Schwierigkeiten. Vor allem wenn es darum geht, einzelne Studien miteinander in Beziehung zu bringen, zeigt sich, dass Material und Methoden stark divergieren und eine Interpretation der Ergebnisse erschweren.

Bei der Anwendung hoch sensibler Messmethoden, wie EEG und NIRS, ist neben einer Minimierung potentieller Störsignale, wie zum Beispiel Kontraktionen der Kaumuskulatur, die das registrierte Signal der Hirnströme überlagern können, die Anzahl der abgeleiteten Kanäle von großer Bedeutung. Die negativen Ergebnisse von *Rosted et al.* [21] lassen sich möglicherweise durch den Mangel an Information erklären, der sich daraus ergibt, dass die Ableitung der Hirnströme über lediglich eine Elektrode nur einen sehr begrenzten Einblick in die Änderungen zerebraler Aktivität erlaubt. Die Stimulation am gleichen Akupunkturpunkt führte in der Studie von *Chen et al.* [26], die mit einem 124-Kanal-EEG arbeiteten, zu eindeutigen Effekten.

Ähnliches gilt für die NIRS, auf deren Gebiet die erstmalige 50-Kanal-Messung einen enormen Fortschritt bedeutet und einen wesentlich umfassenderen Einblick in die Änderungen zerebraler Sauerstoffkonzentration erlaubt, als er bis dahin mittels einfachen Optoden möglich war [38].

Obwohl es sich bei allen in der Forschung verwendeten Stimulationsmethoden um anerkannte Techniken der Akupunktur handelt, zeigte sich doch ein gewisser Unterschied in ihren Wirkungen. Eine direkte Nadelung bewirkte beispielsweise einen deutlich höheren Ausschlag in der Amplitude der O<sub>2</sub>Hb-Konzentration als die Lasernadelakupunktur [32], und auch bei der Elektroakupunktur gibt es, wie bereits beschrieben, in Abhängigkeit der Stimulationsfrequenz deutliche Unterschiede in der zerebralen Reizantwort [26,35].

Weitere Faktoren, die eine einheitliche Beurteilung der Resultate erschweren, sind neben der Auswahl der Akupunkturpunkte auch die Plazebokontrollen. *Litscher et al.* [32] beschreiben, dass verschiedene Akupunkturschemata sowie auch kombinierte Stimulationen mehrerer Akupunkturpunkte zu unterschiedlichen zerebral messbaren Effekten führen können. Da in der Mehrheit der Studien meist nicht auf die spezifischen Indikationen einzelner Akupunkturpunkte der TCM eingegangen wird, sondern die Effekte beobachtet werden, die durch Reizung von Akupunkturpunkten im Allgemeinen entstehen, wäre es im Sinne einer besseren Vergleichbarkeit sinnvoll, die Messungen an einem genormten Punkt der TCM durchzuführen.

Was die Plazebokontrolle bei der Nadelakupunktur betrifft, sollte die von *Streitberger* [41] entwickelte Teleskopnadel erwähnt werden. Mit dieser Methode ist eine nichtinvasive Kontrolle an neutralen Punkten und Verumakupunkturpunkten möglich, bei der der Proband nur schwer zwischen echter und Plazebonadel unterscheiden kann. Kritisch betrachtet erlaubt diese Methode jedoch keine Aussage über die Spezifität der Ergebnisse im Bezug auf die Akupunkturpunkte der TCM, sondern beschreibt die zerebrale Antwort auf einen Nadelstich. Eine Beurteilung der Spezifität, also die Unterscheidung, ob die Stimulation eines Akupunkturpunktes zu anderen Effekten führt als die Stimulation eines neutralen Punktes, ist nur dann möglich, wenn beide Punkte auf die gleiche Weise gereizt werden. Die wohl optimale Methode für die Plazebokontrolle auf diesem Forschungsgebiet ist die Laserakupunktur (rotes bzw. nahinfrarotes Laserlicht), da sie für den Probanden nicht spürbar ist.

Nachdem *Tanaka et al.* [20] die beschriebenen EEG-Alterationen nur in Zusammenhang mit Akupunktur-induzierten Änderungen im autonomen Nervensystem beobachten konnten und auch *Sakai et al.* [23] einen direkten Zusammenhang zwischen dem Auftreten von de-Qi und den Effekten im EEG beschrieben, empfiehlt es sich, diese spezifischen Akupunktur-Sensationen bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Aufgrund all dieser variablen Faktoren unterscheiden sich einzelne Studien stark in ihrem jeweiligen Setting, was wiederum einen direkten Vergleich nur schwer

erlaubt. Für das Verständnis der Akupunktur und ihrer Mechanismen wäre die Verwendung einheitlicher Materialien und Methoden von großer Bedeutung.

### **4.3 Reizantworten im sensomotorischen Kortex bei Lasernadelakupunktur?**

Ein vollkommen neuer Aspekt in der Akupunkturforschung und im Speziellen in der Erforschung der Effekte der Lasernadelstimulation ist die EEG-Analyse im Hinblick auf evozierte Potentiale. Evozierte Potentiale ermöglichen es, eine Aussage über die Funktion der jeweils stimulierten Hirnregion zu tätigen [5]. Bis dato durchgeführte Studien auf diesem Teilgebiet der Akupunkturforschung beobachteten einerseits sensomotorisch evozierte Potentiale unter Anwendung von direkter Nadelung oder Moxibustion und andererseits, inwieweit es durch Akupunktur möglich ist evozierte Potentiale in ihrer Intensität zu modifizieren [5]. Noch nie wurde systematisch auf die Frage eingegangen, ob diese Reizantworten im EEG auch mittels Laserakupunktur provoziert werden können.

Bei der vorliegenden Messung waren die evozierten Potentiale deutlich während der Stimulation mit rotem Laser am Verumakupunkturpunkt messbar. Ihre Lokalisation, die sich auf die zentrale Region konzentrierte, aber sich auch in geringerer Intensität auf die Frontalregion ausdehnte, lässt vermuten, dass es sich hierbei um sensomotorisch evozierte Potentiale handelt. Hierbei sollte erwähnt werden, dass der rote Laser für die Probandin nicht dezidiert spürbar war. Interessanterweise führte die Anwendung des violetten Lasers zu geringeren Effekten im EEG, obwohl diese Wellenlänge von der Probandin auf der Haut eindeutig wahrgenommen wurde. Eine Erklärung dafür könnte die unterschiedliche Eindringtiefe der verschiedenen Wellenlängen in die Haut sein: üblicherweise beträgt die Gewebepenetration bei violetterem Laserlicht nur ca. 2 mm, während das rote Laserlicht 2-3 cm tief eindringt [40].

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der Kontrollmessung und jener mit rotem Laser an Neiguan zeigt deutlich die Unterschiede in der jeweiligen Lokalisation der auftretenden evozierten Potentiale und liefert somit den Beweis, dass es sich bei den gefundenen Ergebnissen nicht um Artefakte im Sinne eines

visuellen Reizes handelt. Während sich die Effekte bei der Kontrollmessung über dem visuellen Kortex, also okzipital zeigten, waren die zerebralen Reizantworten bei der Verumakupunktur, wie bereits erwähnt, ausschließlich zentral und in geringerem Ausmaß auch frontal zu sehen.

Ebenso bemerkenswert ist die Spezifität der dokumentierten Resultate in Hinblick auf den Akupunkturpunkt. Bei der Stimulation am Plazebopunkt konnte weder bei violetter noch bei rotem Laser ein vergleichbarer Effekt beobachtet werden.

Analog zu den beschriebenen Ergebnissen im neurophysiologischen und neurspektroskopischen Mapping zeigte sich auch hier, dass die Stimulation an einem Akupunkturpunkt der TCM anders registriert und zerebral verarbeitet wird, als jene an einem neutralen Punkt (sog. Plazebopunkt) an der Hautoberfläche.

Ob das während der Stimulation mit rotem Laser an Neiguan von der Probandin empfundene unspezifische Wärmegefühl, welches als de-Qi-Sensation gewertet werden kann, einen Einfluss auf das Auftreten der evozierten Potentiale hatte, ist unklar, sollte aber wie bereits erwähnt in weiteren Studien berücksichtigt werden.

Im Hinblick auf die von *Chen* [26] und *Széles* [35] berichteten Ergebnisse, die zeigten, dass es bei der Elektroakupunktur zu unterschiedlichen Effekten in Abhängigkeit von der Stimulationsfrequenz kommt, wäre es interessant, ob sich auch die evozierten Potentiale bei der Laserakupunktur frequenzabhängig unterschiedlich darstellen.

All diese Ergebnisse sprechen dafür, dass die Rot- bzw. Nahinfrarotlicht-Laserakupunktur an Neiguan, obwohl sie unter der sensiblen Wahrnehmungsschwelle liegt, trotzdem eine Reizantwort im sensomotorischen Kortex auslöst. In Zusammenschau mit den bisher publizierten Daten, die die Effektivität der Laserakupunktur zeigen konnten [24,31,32,37], bedeuten diese Ergebnisse mit Sicherheit eine wichtige weitere Erkenntnis für das Verstehen der Wirkmechanismen der Akupunktur und könnten auch den Stellenwert dieser punktgenauen und vor allem schmerzlosen Stimulationsmethode erhöhen.

## 5 Konklusion und Zukunftsaspekte

Das neurophysiologische und neurospektroskopische Mapping von zerebralen Effekten der Akupunktur ist ein Gebiet der Forschung, das sich zunehmend umfangreicher gestaltet. Obwohl der Aufbau und die Dokumentation der Daten in den einzelnen Studien stark divergieren, steht es außer Zweifel, dass die Stimulation an Akupunkturpunkten der Traditionellen Chinesischen Medizin zu spezifischen Alterationen im zentralen Nervensystem führt.

Hoch komplexe, technologisch aufwendige Messmethoden wie etwa die über den gesamten Kortex registrierte Nahinfrarotspektroskopie und Elektroenzephalographie, ermöglichen eine immer präziser werdende Darstellung jener zerebralen Regionen, die in den Prozess der Reizverarbeitung integriert sind.

Mit der Erkenntnis, dass es möglich ist, bei einer gesunden Probandin mittels Lasernadelakupunktur den sensomotorischen Kortex zu aktivieren, wurde mit Sicherheit ein Grundstein für weitere Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet gelegt.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Dhond RP., Kettner N., Napadow V. Neuroimaging acupuncture effects in the human brain. *J Altern Complement Med* 2007;13(6):603-16
2. Ribback S. Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen. Available at: URL: <http://opus.kobv.de/ubp/volltexte/2005/87/>. Accessed: March 5, 2011
3. Maurer K., Lang N., Eckert J. Praxis der evozierten Potentiale: SAP, AEP, MEP, VEP. 2nd ed., Darmstadt: Steinkopff; 2005. p.1
4. Arnesano C. Intraoperative Detection of Awareness. Available at: [http://bme240.eng.uci.edu/students/09s/arnesanc/bispectral\\_analysis.html](http://bme240.eng.uci.edu/students/09s/arnesanc/bispectral_analysis.html). Accessed: May 11, 2011
5. Bahr F., Bushe-Centmayer K., Dorfer L., Jost F., Litscher G., Suwanda S. et al. Das große Buch der klassischen Akupunktur. München: Elsevier; 2007. p.68, 83, 81-102
6. Terborg C., Keller E. Nahinfrarotspektroskopie (NIRS). In: Schwab S., Schellinger P., Werner C., Unterberg A., Hacke W. *NeuroIntensiv*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2008. p.95f
7. Hecker HU., Steveling A., Peucker ET. *Praxis-Lehrbuch Akupunktur*. Stuttgart: Hippokrates Verlag; 2010. p.9, 72, 92, 321
8. Heine H. Zur Morphologie der Akupunkturpunkte. *Dt Ztschr f Akup* 1987;30:75-9
9. Kellner G. Bau und Funktion der Haut. *Dt Ztschr f Akupunkt* 1966;1:1-31
10. Stux G. *Akupunktur Einführung*. 7th ed., Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2007. p.187, 190, 198
11. Eckert A. *Das Tao der Akupressur und Akupunktur: Die Psychosomatik der Punkte*. 3rd ed., Stuttgart: Haug; 2005. p.44
12. Nickel K., Velling P., Mall M. *Ganzheitliches Praxismarketing: Mit naturheilkundlichen Angeboten Vertrauen schaffen und Patienten binden*. Stuttgart: Haug ; 2005. p. 77, 80f
13. Zhen jiu. Available at: <http://www.praxiscammilleri.de/akupunktur.php>. Accessed: May 5, 2011

14. Litscher G., Wang L., Schikora D., Rachbauer D., Schwarz G., Schoepfer A. et al. Biological effects of painless laserneedle acupuncture. *Medical Acupuncture* 2004;16(1):24-9
15. Laserneedles- pain free to treatment success. Available at: <http://www.laserneedle.eu/>. Accessed: May 11, 2011
16. Focks C., Maerz U. *Leitfaden Akupunktur: Punktlokalisation und Stichtechnik*. München: Urban und Fischer;2005. P.2-4
17. Cun Measurements of the Body. Available at: [www.tcmstudent.com/study\\_tools/Cun\\_Measurements.html](http://www.tcmstudent.com/study_tools/Cun_Measurements.html). Accessed: May 9, 2011
18. Bossy J., Prat D., Sambuc F. Sensory potentials evoked by stimulations of the Jing points at the hand. *Acupunct Electrother Res* 1984;9(4):95-201
19. Neiguan. Available at: [http://www.acupunctureamerica.com/acupuncture\\_heartdisease.html](http://www.acupunctureamerica.com/acupuncture_heartdisease.html)  
Accessed: May 5, 2011
20. Tanaka Y., Koyama Y., Jodo E., Kayama Y., Kawauchi A., Ukimura O. et al. Effects of acupuncture to the sacral segment on the bladder activity on electroencephalogram. *Psychiatry Clin Neurosci* 2002;56:249-50
21. Rosted P., Griffiths PA., Bacon P., Gravill N. Is there an effect of acupuncture on the resting EEG? *Complement. Ther. Med.* 2001;9:77-81
22. Sugiura T., Horiguchi H., Suguhara K., Takeda C., Samenjima M., Fujii A. et al. Heart rate and electroencephalogram changes caused by finger acupressure on planta pedis. *J Physiol Anthropol* 2007;26(2):257-9
23. Sakai S., Hori E., Umeno K., Kitabayashi N., Ono T., Nishijo H. Specific acupuncture sensation correlates with EEGs and autonomic changes in human subjects. *Auton Neurosci* 2007;133:158-69
24. Litscher G. Effects of acupressure, manual acupuncture and Laserneedle® acupuncture on EEG bispectral index and spectral edge frequency in healthy volunteers. *Eur J Anaesthesiol* 2004;21:13-9
25. Arai YCP., Ushida T., Matsubara T, Shimo K., Ito H., Sato Y et al. The influence of acupressure at Extra 1 acupuncture point on the spectral entropy of the EEG and the LF/HF ratio of heart rate variability. *Evid Based Complement Alternat Med* 2011; Article ID 503698,1-6

26. Chen ACN., Liu FJ., Wang L., Arendt-Nielsen L. Mode and site of acupuncture modulation in human brain: 3D (124-ch) EEG power spectrum mapping and source imaging. *NeuroImage* 2006 Feb 15;29(4):1080-91
27. Streitberger K., Steppan J., Maier C., Hill H., Bäckes J., Plaschke K. Effects of verum acupuncture compared to placebo acupuncture on quantitative EEG and heart rate variability in healthy volunteers. *The Journal of alternative and complementary medicine* 2008;14(5):505-13
28. Chang S., Chang ZG., Li SJ., Chiang MJ., Ma CM., Cheng HY. et al. Effects of acupuncture at Neiguan (PC6) on electroencephalogram. *Chinese Journal of Physiology* 2009;52(1):1-7
29. Chen GS., Erdmann W. Effects of acupuncture on tissue oxygenation of the rat brain. *South Med J* 1978;71:392-8
30. Litscher G., Schwarz G., Sandner-Kiesling A., Hadolt I., Eger E., Lenhard H. Transcranial near infrared spectroscopy and Doppler sonography during acupuncture. In: Litscher G., Schwarz G. *Transcranial cerebral oximetry*. Lengerich: Pabst Science Publishers; 1997. p.184-98
31. Litscher G., Wang L. Zerebrale Nahinfrarot- Spektroskopie und Akupunktur-Ergebnisse einer Pilotstudie. *Biomed Technik* 2000;45:215-8
32. Litscher G., Schikora D. Near- infrared spectroscopy for objectifying cerebral effects of needle and laserneedle acupuncture. *Spectroscopy* 2002;16:335-42
33. Litscher G. Quantifizierung zerebraler Effekte der Ohrakupunktur durch innovative computergestützte Verfahren: Vergleiche mit der Traditionellen Chinesischen Körperakupunktur und der Koreanischen Handakupunktur. *Der Akupunkturarzt/Aurikulotherapeut* 2002;4:4-13
34. Litscher G., Wang L., Huber E. Veränderungen zerebraler nahinfrarot-spektroskopischer Parameter während manueller Akupunkturnadelstimulation. *Biomed Technik* 2002;47:76-9
35. Széles JC., Litscher G. Objectivation of cerebral effects with a new continuous electrical auricular stimulation technique for pain management. *Neurol Res* 2004;26:797-800
36. Schwarz G., Litscher G., Sandner-Kiesling A. Pseudoparadoxical dissociation of cerebral oxygen saturation and cerebral blood flow velocity

- after acupuncture in a woman with cerebrovascular dementia: a case report. *Neurol Res* 2004;26:698-700
37. Litscher G., Wang L., Schwarz G., Schikora D. Intrakranieller Druckanstieg nach zerebralen Blutflussgeschwindigkeitsänderungen durch Akupressur, Nadelakupunktur und Laserakupunktur? *Forsch Komplementärmed Klass Naturheilkd* 2005;12:190-5
38. Litscher G., Bauernfeind G., Gao XY., Mueller-Putz G., Wang L., Anderle W. et al. Battlefield acupuncture and near-infrared spectroscopy-miniaturized computer-triggered electrical stimulation of battlefield ear acupuncture points and 50-channel near-infrared spectroscopy mapping. *Medical Acupuncture* 2011;in press
39. Niemtow RC. Battlefield acupuncture. *Medical Acupuncture* 2007;19(4):225-8
40. Litscher G, Xie Z, Wang L, Gaischek I. Blue 405 nm laser light mediates heart rate – investigations at the acupoint Neiguan (Pe.6) in Chinese adults. *North Am J Med Sci* 2009;1:226-31
41. Streitberger K, Kleinhenz J. Introducing a placebo needle into acupuncture research. *Lancet* 1998;352:364-5