Rainer Rosenzweig (Hrsg.)

Nicht wahr?!

Sinneskanäle, Hirnwindungen und Grenzen der Wahrnehmung

mentis
PADERBORN

Hubert R. Dinse

Gehirne begreifen und erfassen

Tasten – der unterschätzte Sinn

1. Besonderheiten des Tastsinns

Sehen, Hören und Tasten sind unsere wichtigsten Sinne. Aber wie wichtig ist der Tastsinn, was unterscheidet ihn von den anderen Sinnen, beziehungsweise: Gibt es überhaupt Unterschiede?

1.1 Nah- und Fernsinn

Unsere Augen und Ohren nehmen Sinneseindrücke auf, die aus unterschiedlich weiter Entfernung auf uns treffen. Schall können wir noch aus einer Entfernung von vielen Kilometern wahrnehmen, das Licht entfernter Galaxien kann Millionen von Lichtjahren entfernt sein. Um jedoch Tasteindrücke zu empfangen, muss unser Körper – unsere Haut – in direkten, unmittelbaren Kontakt mit einem Gegenstand gebracht werden. Es gibt keinen Tasteindruck über Entfernungen hinweg. Aus diesem Grund bezeichnet man den Tastsinn als Nahsinn, den Seh- oder Hörsinn dagegen als Fernsinn.

1.2 Spezialisierungen in der Haut

Die Haut: Kaum ein anderes Organ hat so viele Funktionen, nicht nur biologische, sondern auch kulturelle und soziale. Die Haut dokumentiert unser Leben, sie offenbart Gesundheit, Stimmung, Alter, kulturelle Herkunft, wir nutzen sie zur Gestaltung unserer Außenwirkung und unseres Selbstwertgefühls, und wir benötigen sie zur Empfindung von Lust, Schmerz, Wärme, Liebe und Erotik.

Die Haut mit einer Fläche von ungefähr 2 m^2 wird zu Recht oft als unser größtes Organ bezeichnet. In der Haut befinden sich die so genannten Rezeptoren oder Sensoren, die für die Umwandlung eines

Reizes in einen Nervenimpuls zuständig sind, cirka 150 pro cm^2. Die Rezeptoren in der Haut sind äußerst vielgestaltig und hochspezialisiert – und dadurch in der Lage, ganz unterschiedliche Aspekte der uns umgebenden mechanisch-physikalischen Reize aufzunehmen und umzuwandeln (Abb. 1).

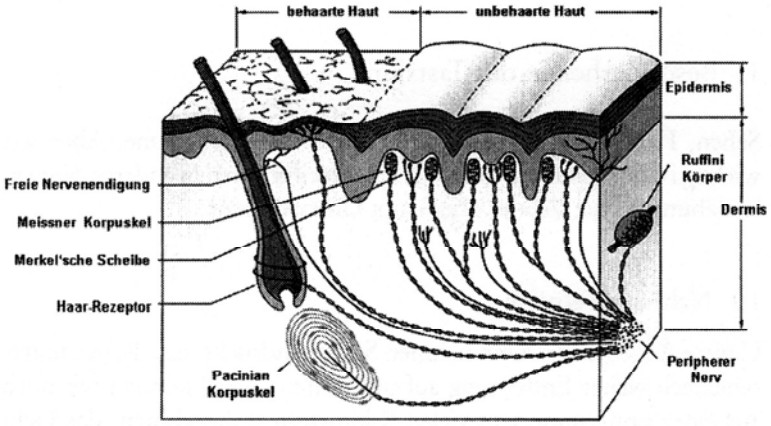


Abb. 1: Schematische Darstellung des Aufbaus der Haut mit den wichtigsten Hautrezeptoren.

So gibt es Rezeptoren, die auf einen lang andauernden Reiz (z.B. das Körpergewicht, welches beim Stehen auf der Fußsohle lastet) spezialisiert sind, andere sprechen auf Druck und Zug an (Merkel-Tastscheiben). Wieder andere vermitteln Informationen über die Dehnung der Haut (*Ruffini-Körperchen*), über Bewegungen oder allgemeiner über Veränderungen der Reizstärke (*Meissner-Körperchen*, die man als Geschwindigkeitssensoren bezeichnet), oder über Veränderungen der Geschwindigkeit, also über die Beschleunigung eines Reizes (*Vater-Pacini-Körperchen*). Schließlich verfügen wir über Temperatursensoren, die Kälte und Wärmeempfindungen vermitteln. Dabei hängen Oberflächenbeschaffenheit und Temperatur eng zusammen: Glatter Stein und glattes Metall werden als kalt, stark strukturiertes Holz dagegen als warm empfunden.[1]

[1] Gibson (1962); Craig und Rollman (1999).

Neben diesen Komponenten, die der Wahrnehmung der Außenwelt über die Haut dienen, umfasst der Tastsinn noch den großen Bereich der Propriozeption (von lateinisch proprius »eigen« und recipere »aufnehmen«), also der Wahrnehmung des eigenen Körpers[2], worauf später genauer eingegangen wird (Abschnitt 2.6).

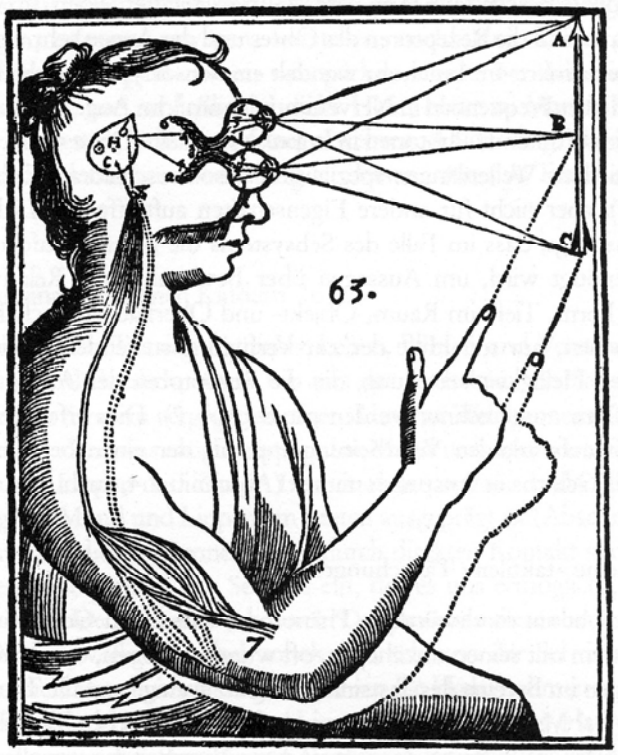


Abb. 2: Zeichnung von René Descartes (1596–1650) aus »Meditations métaphysiques«, die die Repräsentation eines Reizes aus der Außenwelt durch die Augen (Fernsinn) im Gehirn illustriert. Sichtbar wird auch, dass der Tastsinn den Reiz in der Ferne nicht erreichen kann.

(Quelle: de.wikipedia.)

[2] Grunwald und Beyer (2001), vgl. auch den Beitrag von H.H. Bülthoff in diesem Band.

1.3 Spezialisierte Sensoren der Haut erleichtern die weitere Verarbeitung der Tastinformation

Wenn wir also in direkten Kontakt mit einem Gegenstand kommen, sind die Hautrezeptoren bereits in der Lage, wichtige Eigenschaften wie seine Oberfläche, Temperatur, Form, sein Gewicht und seine dreidimensionale Beschaffenheit an das Gehirn weiter zu melden. Im Gegensatz dazu sind die Rezeptoren des Ohres und der Augen sehr viel weniger spezialisiert. Im Innenohr wandelt ein Sensortyp den Schall unterschiedlicher Frequenzen in Nervenimpulse um[3], im Auge gibt es Sensoren, die auftretende Photonen in Impulse wandeln. Diese sind zwar für verschiedene Wellenlängen spezialisiert (also verschiedene Farben des Lichts), aber nicht für andere Eigenschaften auftreffender Lichtreize. Daraus folgt, dass im Falle des Sehsystems die gesamte Information, die benötigt wird, um Aussagen über Bewegung und Relativbewegung, Form, Tiefe im Raum, Objekt- und Oberflächenbeschaffenheit zu machen, nur mit Hilfe der zur Verfügung stehenden zweidimensionalen Helligkeitsverteilung, die die Rezeptoren des Auges liefern, im Gehirn ausgerechnet werden muss (Abb. 2). Dies erfordert einen äußerst aufwändigen Verarbeitungsapparat, der einen beträchtlichen Teil des Gehirns in Anspruch nimmt (Abschnitt 2.4, auch Abb. 4)[4].

1.4 Keine »taktilen« Täuschungen?

Ist es nicht ein merkwürdiges Phänomen, dass es im Gegensatz zum Sehsystem mit seinen unzähligen, oft wunderschönen, optischen Täuschungen im Bereich des Tastsinns nur ganz wenige »taktile Täuschungen« gibt? Man geht heute davon aus, dass die optischen Täuschungen aus Fehlern im Rahmen der aufwändigen Verarbeitung visueller Information entstehen. Im Falle des Tastsinns ist dieser Verarbeitungsapparat überflüssig, da bereits die Rezeptoren der Haut hoch spezialisierte Informationen aufnehmen. Wahrscheinlich fehlen damit weitgehend die Voraussetzungen zur Erzeugung taktiler Täuschungen.

---

[3] Vgl. Beitrag von B. Kollmeier in diesem Band.
[4] Vgl. Beitrag von K. Gegenfurtner in diesem Band.

2. Wie wichtig ist der Tastsinn?

2.1 Die Bedeutung des Tastsinns

Unsere Sprache ist voller Haut- und Berührungsmetaphern: Beispielsweise wird der Begriff des »Lernens« durch viele Ausdrücke gespiegelt, die aus dem Bereich des Tastens kommen: auffassen, begreifen, einprägen, erfassen, erwägen, feststellen, nachfühlen. Dann gibt es Ausdrücke wie ergriffen sein, sich packen lassen, berührt sein, fassungslos sein, und schließlich ehrliche Haut, Haut zu Markte tragen, seine Haut retten, sich seiner Haut erwehren. All das zeigt »beeindruckend« die elementare Bedeutung all dessen, was mit Tasten zu tun hat.

2.2 Tastsinn bei kleinen Kindern

Wie wichtig der Tastsinn für unser Leben, Lernen und Verstehen der Welt ist, wird deutlich, wenn wir uns das Verhalten von Säuglingen und kleinen Kindern vergegenwärtigen: Um ihre Welt kennenzulernen, nehmen sie alles, was möglich ist, in den Mund und erkunden Objekte mit Mund, Lippen und Zunge. Das ist auch sinnvoll, da der Tastsinn an Fingern, Mund und Lippen am besten ausgeprägt ist (Abschnitt 3.).

Erst nach diesem Kennenlernen durch direkten Kontakt springt in späteren Lebensjahren der Sehsinn ein, der es uns ermöglicht, durch bloßes Betrachten Dinge zu erkennen: Dazu müssen diese aber bekannt sein. Sind sie völlig neu und unbekannt, scheitert der Sehsinn – wir müssen die Dinge buchstäblich wieder »in die Hand nehmen«.

Das Erkunden mit Mund und Lippe im Säuglingsalter erlaubt nicht nur eine genaue Exploration von Gegenständen, sondern ist darüber hinaus in hohem Grade lustvoll und macht Spaß – sonst würden kleine Kinder dies auch nicht so exzessiv tun. Ein Überbleibsel aus diesen frühen Lebensjahren ist das Küssen mit ebenfalls hohem emotionalem Gehalt. Küssen ist ein Beispiel für ritualisierte Berührung unter Erwachsenen.

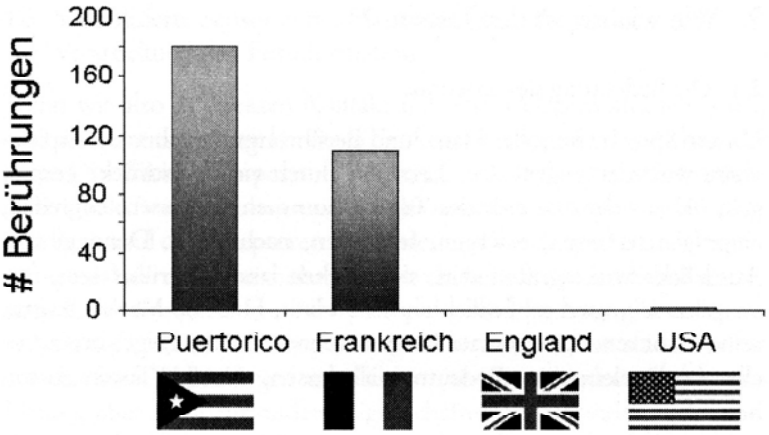


Abb. 3: Kulturelle Abhängigkeit von Berührungstabus. Anzahl beobachteter Berührungen zwischen Gästen eines Cafés während einer Stunde in verschiedenen Ländern.

2.3 Ritualisierte Berührung

Aufgrund der damit verbundenen Emotionalität sind Körperberührungen besonders geeignet, soziale Interaktionen und Hierarchien in Gruppen zu regulieren. Der feste Handschlag ist ein Überbleibsel davon, ebenso wie die ungeschriebenen Gesetze, wo man sein Gegenüber berühren darf: Ein leichter Schlag auf den Oberarm oder auf den Rücken wird akzeptiert, Gesicht, Brust, und Teile »unterhalb der Gürtellinie« sind dagegen tabu. So darf beispielsweise der Chef einen Untergeben am Oberarm berühren, das Umgekehrte dagegen ist völlig undenkbar.[5] Allerdings gibt es bezüglich Tabus und »no-go«-Bereichen erstaunliche kulturelle Unterschiede: Man unterscheidet Länder und Kulturen mit hohem oder niedrigem Berührungstabu (Abb. 3). Länder mit hohem Berührungstabu sind beispielsweise Japan, die USA, Großbritannien, die nordeuropäischen Länder und Australien. Länder mit mittlerem Berührungstabu sind Frankreich, China und Indien, und Länder mit geringem Berührungstabu Italien sowie Länder des mittleren Ostens und Südamerika. Mit anderen Worten: In Ländern mit niedrigem Tabu gilt ein Kuss auf die Wange als nette Begrüßung, während

[5] Viele Details dazu in Schmitz (2004).

dies beispielsweise in Schweden als aufdringlich und anmaßend wahrgenommen wird.[6] Warum wird trotzdem heutzutage der Tastsinn als wenig wichtig eingeschätzt und dadurch allgemein in seiner Bedeutung unterschätzt?

2.4 Gründe für die Unterschätzung des Tastsinns

Gerade in unserer heutigen, durch visuelle Medien geprägten Gesellschaft ist ein wichtiger Faktor die Omnipräsenz von Bildern. Es scheint so, als wäre der Tastsinn vollständig überflüssig, um sich in der Welt von Fernsehen und Internet zurechtzufinden.

Ein weiterer wichtiger Grund ist die Tatsache, dass es im Alltagsleben praktisch keine objektive Beurteilung der Qualität des Tastsinns gibt. Lässt beispielsweise der Sehsinn nach, fällt das sofort auf, da man das Kleingedruckte nicht mehr lesen kann. Lässt das Gehör nach, versteht man sein Gegenüber nicht mehr. Zur Erlangung des Führerscheins wird jeder auf die Qualität seines Sehsinns geprüft. Für die Beurteilung der Qualität des Tastsinns gibt es nichts Vergleichbares. Wenn also ein Individuum über einen schlechten Tastsinn verfügt, gibt es im Alltag nichts, was eindeutig darauf hinweisen würde. Wie wir später sehen werden, ist der Tastsinn individuell sehr unterschiedlich, ein schlechter Tastsinn wird aber in der Regel – sofern er nicht vollständig ausfällt – von der betroffenen Person nicht bemerkt werden, da es nichts gibt, was dessen Beeinträchtigung signalisieren würde (Abschnitt 3.1).

Sogar innerhalb der Neurowissenschaften kann man das Phänomen der Unterschätzung des Tastsinns beobachten. So finden während der jährlich stattfindenden internationalen Tagung der Gesellschaft für Neurowissenschaften (*Annual Meeting of the Society for Neuroscience*) etwa 32 Sitzungen zum visuellen System, aber nur 8 Sitzungen zum taktilen System statt, was ungefähr 1000 neuen Forschungsbeiträgen pro Jahr aus dem Bereich Sehen, aber nur 250 aus dem Bereich Tasten entspricht.

Wir wissen heute sehr genau, welche Gehirngebiete für welche Funktionen zuständig sind. Bekannt geworden sind Darstellungen, wonach bei höheren Affen nahezu die Hälfte des Großhirns für die Verarbeitung visueller Information zuständig ist (Abb. 4). Daraus wird oft

[6] Harper (2006).

gefolgert, dass dies ein weiterer Hinweis für die Dominanz des Sehens sei. Vor dem Hintergrund dessen, was oben über den Nah- und Fernsinn gesagt wurde, heißt das zunächst aber nur, dass es tatsächlich enorm aufwendig ist, aus der Ferninformation alle die Dinge auszurechnen, die eben nicht durch direkten Kontakt wie beim Tastsinn gewonnen werden können. Ob dies ein Beweis für die Dominanz des Sehens ist, muss vor diesem Hintergrund fraglich bleiben.

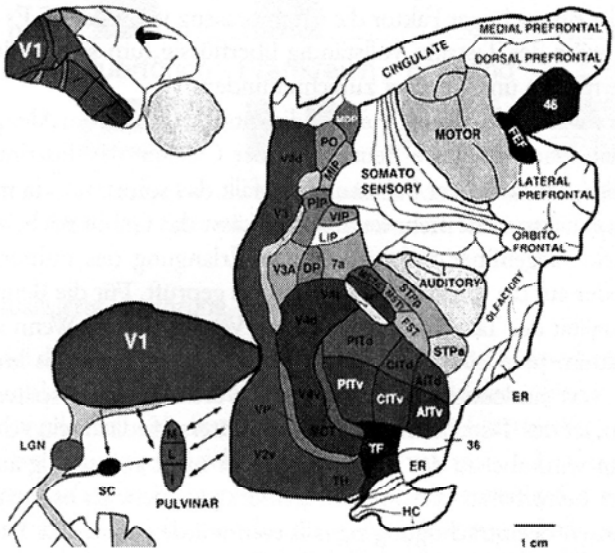


Abb. 4: Gehirngebiete des Affen, die visuelle Information verarbeiten (graue Schattierungen). Danach sind fast 50% des Gehirns »visuell«, und nur ein kleiner Bereich für den Tastsinn zuständig (»somatosensory«).
(Mit Genehmigung aus van Essen et al., 1992.)

2.5 Keine Begrifflichkeit für den Ausfall des Tastsinns

Um noch mehr über die Besonderheit und Bedeutung eines Sinnes in Erfahrung zu bringen, kann man der Frage nachgehen, was passiert, wenn der betreffende Sinn ausfällt. Fällt der Sehsinn aus, spricht man von Blindheit. Der Betroffene muss zwar viele Einbußen hinnehmen und seine Lebensqualität ist deutlich gemindert, aber er ist lebensfähig und kann weiterhin in vielen Bereichen des privaten und öffentlichen

Lebens teilnehmen. Dank der Blindenschrift ist er in der Lage, Bücher und Zeitschriften zu lesen und so an der allgemein üblichen Form von Kommunikation teilzuhaben. Bemerkenswerter Weise springt der Tastsinn ein, um das Lesen der Blindenschrift mit Hilfe der Finger zu ermöglichen.

Im Fall des Hörsinns spricht man von Taubheit – hier gilt ähnliches wie für die Blindheit, obwohl allgemein die Behinderung und Isolierung aufgrund der fehlenden sprachlichen Kommunikation (sieht man von den neuen technologischen Entwicklungen ab, die mittels Cochlea-Implant möglich werden) als schwerwiegender eingeschätzt wird. Im Fall des Tastens gibt es keinen Begriff, der den Ausfall dieses Sinnes beschreiben würde. Wie oben schon erwähnt: Sprache ist ein sehr empfindlicher Gradmesser, der Aussagen über unsere Wirklichkeiten zulässt. Bedeutet die fehlende Begrifflichkeit, dass es den Ausfall des Tastsinns gar nicht gibt?

2.6 Ein seltener Fall: Leben ohne Tastsinn

Sieht man von unseren modernen Zivilisationen mit ihren enormen medizinischen Versorgungsmöglichkeiten ab, sind Menschen ohne Tastsinn tatsächlich nicht überlebensfähig. Ein Säugling ohne Tastsinn hätte keine Möglichkeit die Welt zu erkunden und zu verstehen. Während Seh- und Hörsinn sich auf die Sinnesorgane Augen und Ohren konzentrieren, und daher sehr anfällig für verletzungsbedingte Schäden sind, ist der Tastsinn über den ganzen Körper verteilt; der vollständige Verlust des Tastsinns ist sehr selten.

Es gibt jedoch selten vorkommende Krankheiten, die Nervenbahnen, die die Tastinformation zum Gehirn leiten, selektiv schädigen. In dem sehr berührenden Buch »Pride and A Daily Marathon« beschreibt der Arzt Jonathan Cole den Fall des Patienten Ian Waterman, der praktisch über Nacht seinen Tastsinn verlor, und daher eigentlich den Rest seines Lebens im Rollstuhl hätte verbringen müssen.[7] Durch schier jahrelanges unglaubliches Training und enorme Selbstdisziplin (daher der Titel des Buches) fand er zu einem fast normalen Leben zurück.

---

[7] Cole (1995).

Um die Konsequenzen eines Verlustes des Tastsinns richtig zu verstehen, muss man sich erinnern, dass der Tastsinn nicht nur die »Berührungsempfindlichkeit« vermittelt, sondern auch die als Propriozeption bezeichnete Eigenwahrnehmung darüber, wo sich unser Körper und unsere Körperteile im Raum befinden, welche Anspannung die Muskeln haben und welche Stellung die Gelenke in jedem Augenblick einnehmen (Abschnitt 1.2). Fällt diese Information weg, weiß der Betroffene nicht, wo sein Körper ist, wo sich beispielsweise seine Arme, Beine und Hände befinden. Im Fall des Patienten Waterman musste dieser lernen, seine Gliedmaßen mit Hilfe des Sehsinns, also durch ständiges Hinsehen, zu kontrollieren. Die Konsequenz war, dass er immer bei Licht schlief, da er im Dunklen nicht in der Lage gewesen wäre, seine Bewegungen zu überwachen und zu steuern.

2.7 Haptic design

Die weitreichende Bedeutung des Tastsinns und seiner meist unbewusst wahrgenommenen Konsequenzen kann an einer neueren Entwicklung festgemacht werden, die sich *haptic design* nennt. Während Design im Bereich von Form und Farbe von Objekten und Gebrauchsgegenständen eine jahrzehntelange Tradition hat, ist dies für den Bereich des Tastsinns relativ neu. Ziel von *haptic design* ist es, auch die taktile Wahrnehmung hinsichtlich Funktionalität und Ästhetik zu optimieren, und damit nichts dem Zufall zu überlassen. Häufig zitierte Beispiele sind die Bedienungselemente im Kraftfahrzeugbereich[8] wie Lenkrad und Schaltung oder die von hochwertigen Stereoanlagen. Hochwertigkeit und damit verbunden Preis und Reputation werden in der Regel völlig unbewusst über das Gewicht wahrgenommen und eingeschätzt. Aber auch im Bereich der Papier- und Banknotengestaltung spielt *haptic design* eine immer größere Rolle. So signalisiert ausgeprägte Taktilität von Banknoten situativ und automatisch ein hohes Gefühl an Authentizität und dient damit der Fälschungssicherheit.[9]

---

[8] Tietz (2008).
[9] Dinse (2008).

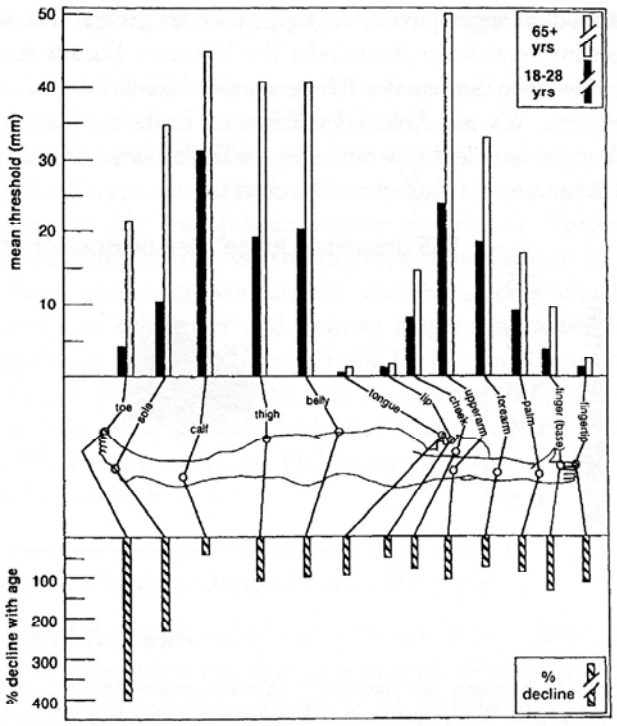


Abb. 5: Mittlere Diskriminationsschwellen (*mean threshold*) in Millimetern gegen verschiedene Punkte auf der Haut. Gezeigt sind Daten von jungen Probanden (18–28 Jahre, schwarze Balken) und von älteren Versuchspersonen (älter als 65 Jahre, helle Balken).

(Mit Genehmigung aus Stevens und Choo, 1996.)

3. Psychophysik des Tastsinns

Um Aussagen über die Qualität des Tatsinns machen zu können, bedarf es eines Instruments der Quantifizierung. Analog zur »Sehschärfe« kann beim Menschen die »Tastschärfe« gemessen werden. Die so genannte »räumliche Zwei-Punkt-Diskriminationsschwelle« definiert den Abstand zwischen zwei Reizen auf der Haut, die gerade noch als getrennte Reize wahrgenommen werden können. Allerdings ist die Dichte der Rezeptoren höchst unterschiedlich: Sie ist besonders hoch an

der Hand, den Fingerspitzen, der Lippe und der Zunge, aber sehr viel niedriger im Bereich der Arme oder des Rückens. Daraus resultieren an verschiedenen Stellen des Körpers unterschiedliche Diskriminationsschwellen. Wie aus Abb. 5 deutlich wird, ist die Auflösung an den Fingerkuppen und der Lippe am besten, während sie an Oberschenkeln oder Rücken um ein Vielfaches schlechter ist.

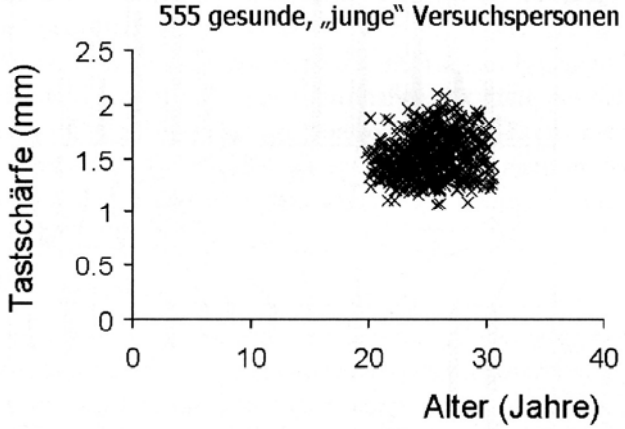


Abb. 6: Streuung der Tastschärfe (Diskriminationsschwellen) von 555 jungen Versuchspersonen. Die mittlere Schwelle liegt bei etwa 1,5 mm.

3.1 Variabilität des Tastsinns

Neben riesigen Unterschieden der Tastempfindlichkeit einzelner Körperbereiche bestehen ebenfalls große interindividuelle Unterschiede. Wie in Abb. 6 dargestellt, liegt die Tastschwelle für den Zeigefinger gesunder junger Probanden (20 bis 30 Jahre) etwa zwischen 1 und 2 mm, der Mittelwert bei etwa 1,5 mm. Um diese Werte einschätzen zu können, muss man wissen, dass die Tastschwellen von Musikern, deren Tastschärfe signifikant besser ist als die von Nichtmusikern, bei etwa 1 mm liegen.[10] Unterschiede in den Tastschwellen von 0,5 mm stellen also bereits eine relevante Abweichung dar. Wie oben ausgeführt,

[10] Ragert et al. (2004).

bleibt diese Streuung im Alltag in der Regel verborgen und unentdeckt (Abschnitt 2.4).

Was sind die Gründe für die enorme Streuung? Zunächst gibt es Fluktuationen aufgrund genetischer Faktoren. So wie jeder Mensch anders aussieht, unterschiedlich groß und schwer ist, ist auch die Ausstattung der Rezeptorendichte von Person zu Person unterschiedlich. Die Dinge sind aber wie oft komplizierter. So zeigt der Vergleich der Rezeptorendichte und der Tastschärfe, dass beide Größen in gewissen Grenzen unabhängig voneinander sind. So ist beispielsweise die Tastschärfe von Zeigefinger und kleinem Finger unterschiedlich (die des Zeigefingers ist erheblich besser), die Dichte der Rezeptoren auf beiden Fingern aber gleich. Ein anderes Beispiel betrifft die Tastschärfe des Zeigefingers von Männern und Frauen, die im Mittel gleich ist, obwohl Männer eine niedrigere Dichte von Sensoren auf dem Zeigefinger aufweisen als Frauen.[11]

3.2 Rolle der Übung für die Qualität des Tastsinns

Es müssen daher noch andere Faktoren eine Rolle spielen, auf die im nächsten Abschnitt näher eingegangen wird. Wesentlich ist an dieser Stelle, dass der Tastsinn trainierbar ist und damit von der, wie man sagt, »Benutzung« der Hand abhängt. Man spricht daher von »gebrauchsabhängiger Plastizität« – »*use dependent plasticity*«. Dies gilt nicht nur für extreme Fälle wie Blindenschriftleser und Musiker, sondern auch für kleinere Unterschiede im Grad der Benutzung, die aufgrund von unterschiedlichen Anforderungen durch Berufsausübung, persönliche Vorlieben und Hobbys zustande kommen. Man spricht daher von einer idiosynkratischen Ausprägung des Tastsinns.

Trotz jahrelanger Forschung warten viele Fragen immer noch auf Antwort. So ist nicht klar, ob die Anzahl der Hautrezeptoren während der frühen kindlichen Entwicklung zunimmt, um sich der durch das Körperwachstum ausdehnenden Hautfläche anzupassen. Wäre die Anzahl konstant, hätten kleine Kinder eine höhere Dichte pro Fläche als Erwachsene und müssten daher über eine bessere Tastschärfe als

---

[11] Dillon et al. (2001).

Erwachsene verfügen, was aber nicht der Fall ist. Etwas Vergleichbares passiert – allerdings reversibel – während der Schwangerschaft. Der Bauch wächst, und damit die Hautfläche, während die Anzahl der Rezeptoren unverändert bleibt. Die Folge wäre eine Abnahme des Tastsinns auf dem Bauch während der Schwangerschaft, was bisher ebenfalls nicht untersucht wurde.

Wie oben dargestellt wurde, ist der Tastsinn trainierbar. Das gilt im Prinzip für alle Sinne und wird unter dem Begriff »Perzeptuelles Lernen« zusammengefasst.[12] Man kann aber festhalten, dass die Trainierbarkeit des Tastsinns besonders stark ausgeprägt ist. Da die Rezeptorendichte weitgehend konstant ist, bleibt als Ort, in dem Lernprozesse ablaufen, das Gehirn, genauer die Großhirnrinde. Um also lernbedingte Änderungen des Tastsinns zu verstehen, werfen wir zunächst einen kurzen Blick darauf, wie die Tastinformation ins Gehirn kommt.

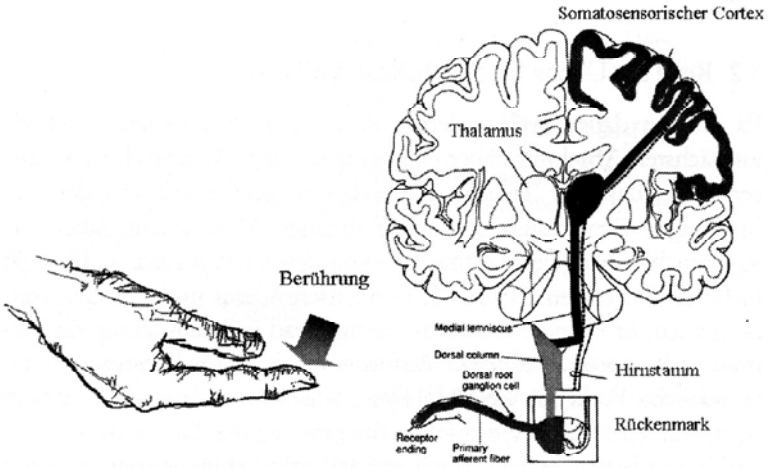


Abb. 7: Tastpfad. Weg der Tastinformation (Berührung des Zeigefingers) ins Gehirn, via Rückenmark, Hirnstamm, Thalamus bis zum somatosensorischen Kortex.

[12] Goldstone (1998); Fahle und Poggio (2002); Seitz und Dinse (2007); Dinse et al. (2008).

4. Tastsinn und Gehirn

4.1 Wie kommt die Tastinformation ins Gehirn?

Die Verarbeitung der Tastinformation folgt einem einfachen Schema: In den Rezeptoren wird das, was in der Außenwelt passiert, in elektrische Nervenimpulse umgewandelt. Über spezielle Leitungsbahnen wird diese Information dann über das Rückenmark und zwei weitere Umschaltstationen in der Medulla oblongata (verlängertes Rückenmark) und dem Zwischenhirn (Thalamus) bis ins Großhirn geleitet (Abb. 7). Dieses Schema »Rezeptoren – Thalamus – Großhirn« ist allen Sinnesmodalitäten gemeinsam.

4.2 Eine Karte des Körpers im Gehirn – der Homunkulus

Wenn Information aus der Peripherie ins Gehirn gelangt, so geschieht dies nicht zufällig, sondern in hochgeordneter Weise. Dabei werden Orte, die auf der Haut benachbart sind, auch im Gehirn benachbart »abgebildet«. Dehnt man dieses Prinzip auf die gesamte Körperoberfläche aus, entsteht im Gehirn eine »Karte« oder »Abbildung« (im englischen *representation* oder *map*) der Körperoberfläche. Man bezeichnet dieses Prinzip daher als nachbarschaftserhaltende, oder »topographische« Abbildung. Dieses Prinzip gilt wiederum für alle Sinne. Für den Tastsinn heißt das, dass in einem speziellen Bereich der Großhirnrinde (dem *somatosensorischen* Kortex) eine Karte des Körpers existiert. Diese ist schon lange bekannt und wird als »Homunkulus« bezeichnet (lateinisch »kleines Männchen«). Entdeckt wurde sie in den 50iger Jahren des letzten Jahrhunderts von dem kanadischen Neurochirurgen Wilder Penfield.[13] Bei Versuchen am Menschen, bei denen am offenen Gehirn (zwecks späterer Operation zur Entfernung von schweren Epilepsiezentren) bestimmte Bereiche elektrisch stimuliert wurden, entdeckte er, dass die Körperoberfläche nicht etwa willkürlich, sondern hoch geordnet in Form einer Karte angeordnet war (Abb. 8).

In Zusammenarbeit mit einem Team des Museums »Turm der Sinne« in Nürnberg haben wir basierend auf neueren Daten, die mittels

[13] Penfield und Rasmussen (1950).

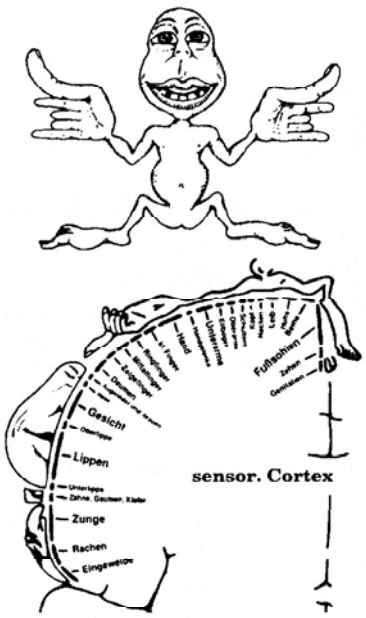


Abb. 8: Sensorischer Homunkulus. Oben: Originalzeichnung von Wilder Penfield, unten ein Querschnitt durch das Gehirn und den somatosensorischen Kortex mit einer groben Skizzierung des Homunkulus. (Quelle: Love, R.J. und Webb, W.G.: Neurology for the Speech-Language Pathologist, Butterworth-Heinemann, 1992, S. 19., de.Wikipedia, Autor: ralf@ark.in-berlin.de.)

EEG und fMRT gewonnen wurden, eine neue, aktuelle Version des Homunkulus rekonstruiert (Abb. 9). Diese wurde schließlich nicht nur im Computer animiert, sondern auch als eindrucksvolles 3-D-Modell für das Museum »Turm der Sinne« nachgebaut (Abb. 10).

Das Auffälligste am Homunkulus sind die Verzerrungen, die darauf hindeuten, dass es sich bei dieser Form der Karte nicht um eine 1:1-Abbildung handelt. Sie kommen dadurch zustande, dass die Rezeptorendichte über den Körper ungleich verteilt ist. Das hat zur Folge, dass unterschiedlich viel Gehirnfläche für verschiedene Körperteile zur Verfügung steht. Diejenigen Körperteile mit der höchsten Rezeptorendichte, und damit mit der höchsten Tastschärfe, sind Gesicht und Hände, die auch am meisten Platz einnehmen, und damit im Homunkulus am größten sind. Umgekehrt weisen Torso und Beine eine geringe Rezeptorendichte auf und nehmen daher im Gehirn auch nur wenig Platz ein. Für den drastischen Unterschied der Tastschärfe zwischen Rücken und Finger spielt die Dichte und Anzahl der Rezeptoren eine entscheidende Rolle. Darüber hinaus gibt es signifikante Unterschiede

Abb. 9: Darstellung eines neu rekonstruierten Homunkulus aus dem Museum »Turm der Sinne« in Nürnberg. Für ausgewählte Körperteile wurde das Verhältnis von Körperoberfläche zu repräsentierter Gehirnoberfläche berechnet und dann am Computer zum äußeren Erscheinungsbild des »*Heiner*« (= *H*irn-*E*rregungen des *I*dealisierten *N*ormalbürgers bei *E*mpfindungs-*R*eizen) gemorpht.

der Tatschärfe für die Fingerkuppen. Im Gegensatz zum Unterschied Rücken-Finger scheint für die Unterschiede auf dem Finger die Rezeptorendichte eher eine untergeordnete Rolle zu spielen.

Dass der Homunkulus nur in der »männlichen« Variante auftaucht, liegt daran, dass an den primären Geschlechtsorganen keine umfangreichen Messdaten von weiblichen Versuchspersonen vorliegen. An allen anderen Körperstellen besteht der Homunkulus aus Durchschnittsdaten über eine größere Population von Versuchspersonen, unter denen sich natürlich auch Frauen befinden. Insofern ist die »männliche« Darstellung des Homunkulus zwar einerseits aufgrund der Datenlage zwingend, aber andererseits auch irreführend.

Eine weitere Auffälligkeit besteht darin, dass im Gehirn Körperteile aneinander stoßen, die dies in Wirklichkeit nicht tun, wie Hände und Gesicht (im 3-D-Modell wurde dies naturgemäß nicht berücksichtigt). Der Grund für das Zustandekommen dieser nicht der Realität entsprechenden Grenzen besteht darin, dass man die Haut des Körpers, der ja ein dreidimensionales Gebilde ist, an mehreren Stellen aufschneiden muss, um sie als zweidimensionale Fläche darstellen zu können –

ähnlich wie man einen Ball an mehreren Stellen aufschneiden muss, um ihn flach auszubreiten. Eine weitere Trennstelle liegt zwischen Füßen und Geschlechtsteilen (Abb. 8).

Abb. 10: Dreidimensionales Modell des Homunkulus in Nürnberg (links), computeranimierte Posen (rechts), siehe auch www.turmdersinne.de/dl/Exponat_Homunkulus.pdf.

4.3 Neuroplastizität des Tastsinns

Mittels neuer nicht-invasiver Imagingmethoden wie beispielsweise fMRT kann man sich heute von außen ein Bild des Gehirns und der Gehirnaktivierung machen. Wenn also aufgrund des idiosynkratischen Charakters der Tastsinn zweier Personen über eine unterschiedlich gute Tastschärfe verfügt, muss dies auch Unterschiede im Homunkulus bedingen: In der Tat wird die typischerweise zu beobachtende interindividuelle Variabilität bei der Messung des Homunkulus in dieser Weise interpretiert. Das Gleiche gilt für Training: Wird der Tastsinn trainiert, muss sich der Homunkulus ändern. Diese lernbedingten Änderungen des Tastsinns sind an Form und Größe des Homunkulus nachzuweisen.

So wurde gezeigt, dass Blinde, die Blindenschrift lesen, und Musiker – die Paradebeispiele für *use-dependent plasticity* – nicht nur über einen erheblich besseren Tastsinn verfügen, sondern auch über deutlich

größere Repräsentationen der Finger und Hände im Kortex, d.h. die Finger des Homunkulus sind größer.[14]

Eine spannende Frage, die erst vor kurzem beantwortet wurde, betrifft die Kehrseite der *use-dependent plasticity*: Was passiert bei »Weniger-Benutzung«? Wir haben dazu in unserer Arbeitsgruppe zusammen mit der Abteilung für Neurologie des Knappschaftskrankenhauses Bergmannsheil in Bochum Personen untersucht, die für einige Wochen einen Gipsverband am Arm tragen müssen. Jeder weiß aus eigener Erfahrung – oder durch Bekannte und Freunde –, dass nach Abnahme eines Gipsverbandes die Muskeln massiv geschrumpft sind. Was passiert aber mit dem Tastsinn und was passiert im Gehirn? Wir konnten zeigen, dass bereits nach wenigen Tagen der Tastsinn der Finger einer eingegipsten Hand drastisch schlechter wird, was von deutlichen Verkleinerungen der Repräsentationen im Gehirn, also der Hand des Homunkulus, begleitet wird. Nicht-Benutzung wird demnach vom Gehirn genauso beantwortet wie intensivere Benutzung. Mit anderen Worten: Abhängig davon was man tut, ob nichts oder sehr viel, das Gehirn reagiert immer darauf und diese Reaktionen führen zu Veränderungen der Wahrnehmung und des Verhaltens.

5. Neue Methoden des Lernens

Der Königsweg zur Auslösung von Lernen von Fähigkeiten und damit zur Leistungsverbesserung ist Training, Praxis, häufiges Üben und Wiederholen. Beim Lernen unterscheidet man zwei große Bereiche: das Erlernen von Fähigkeiten (prozedurales oder implizites Lernen) und das Erlernen von Wissen (explizites Lernen). Beispiele für ersteres ist Lernen Fahrrad zu fahren, für zweites Fakten zu lernen oder das Wissen um die eigene Biographie (was habe ich letztes Jahr im Urlaub gemacht?). Beide Formen des Lernens unterscheiden sich in vielen Aspekten. Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal liegt darin, dass prozedurales Lernen nur über Praxis und möglichst viele Wiederholungen funktioniert, während für explizites Lernen manchmal ein einziges Erlebnis aus-

[14] Pascual-Leone und Torres (1993); Elbert et al. (1995).

reicht, um es ein Leben lang nicht zu vergessen.[15] Während explizites Lernen aus Büchern möglich ist (was ist die Hauptstadt von Italien?), funktioniert das nicht, wenn ich Fahrradfahren lernen will. Wenn an dieser Stelle von Lernen die Rede ist, ist immer prozedurales Lernen gemeint.

In der letzten Zeit sind zunehmend Anstrengungen gemacht worden, Alternativen zu finden, um Lernprozesse auszulösen. Diesen ist gemeinsam, das bisherige Wissen über Lernen und Plastizität so anzuwenden, dass dabei sozusagen »Anleitungen« für das Design von Lernprotokollen gewonnen werden können.

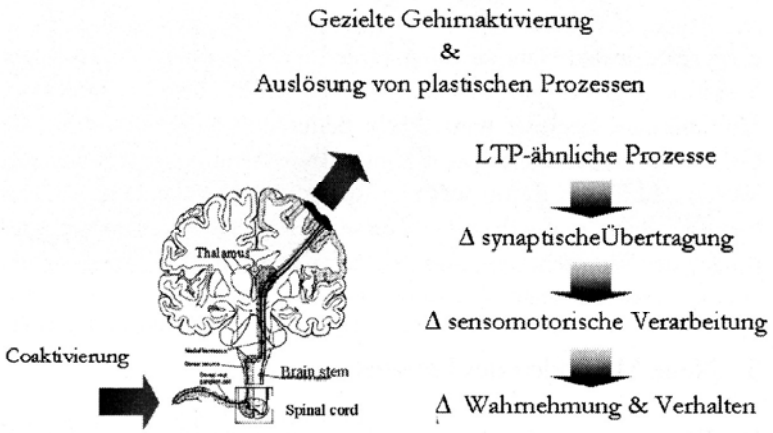


Abb. 11: Schematische Darstellung taktilen Lernens durch Coaktivierung. Auslösung von Lernprozessen durch Darbietung taktiler Reize, die zur Auslösung von Neuroplastizität optimiert sind.

5.1 Taktile Coaktivierung zur Verbesserung des Tastsinns

In meiner Arbeitsgruppe (www.neuralplasticitylab.de) haben wir eine Form der taktilen Stimulation entwickelt – die sog. Coaktivierung –, bei der die Finger einer Hand in spezifischer Weise stimuliert werden. Die verwendeten Protokolle nutzen zwei entscheidende Prinzipien,

[15] Müsseler und Prinz (2002).

die für die Auslösung von Lernprozessen essentiell sind: hohe Frequenz (= viele Wiederholungen) und Gleichzeitigkeit in Raum und Zeit (Abb. 11). Letzteres spiegelt sich in der so genannten Hebb'schen Lernregel, die eine zentrale Grundlage für Lernen bildet.[16]

Werden die Finger für einige Stunden oder sogar nur Minuten »coaktiviert«, verbessert sich das Tastempfinden der stimulierten Hand. Dies ist von Vergrößerungen der kortikalen Repräsentation begleitet, also einer Vergrößerung der stimulierten Körperteile des Homunkulus.[17] Das Spannende dabei ist, dass die kortikalen Veränderungen mit dem individuell beobachtbaren Lernerfolg korrelieren: Personen, die sich hinsichtlich ihrer taktilen Wahrnehmung stark verbessern, zeigen auch große kortikale Änderungen, während solche, die sich nur wenig verbessern, auch nur geringe kortikale Veränderungen zeigen.[18] Einerseits ist dies ein starker Hinweis darauf, dass die Veränderungen des Homunkulus direkt mit der beobachtbaren Leistungsveränderung zu tun haben, also ein kausaler Zusammenhang zwischen Gehirnveränderung und Wahrnehmungsveränderung besteht (Abb. 12). Andererseits haben diese Beobachtungen weitreichende Implikationen: Im Prinzip wird es durch die Begutachtung von Aktivierungsbildern des Gehirns möglich, einen Lernerfolg von außen objektiv zu beurteilen und unabhängig von einem Test der Performanz vorherzusagen, wie gut oder wie schlecht eine Person etwas leisten kann – wenn man so will, eine Form von Gedankenlesen.

Neue Arbeiten haben gezeigt, dass die Veränderungen aufgrund der Coaktivierung unabhängig von der Aufmerksamkeit der Versuchsperson sind. Im Gegensatz zu trainingsbasiertem Lernen, bei dem Aufmerksamkeit eine essentielle Rolle spielt, erfolgt die Induktion der Lernprozesse bei der Coaktivierung durch passive Stimulation. So gehen in unseren Versuchen die Versuchspersonen während der Stimulation anderen Tätigkeiten wie beispielsweise Lesen oder Spazierengehen nach. Jüngste Versuche haben gezeigt, dass die Coaktivierung sogar während des Schlafens zu vergleichbaren Effekten wie während des

---

16 Hebb (1949).
17 Pleger et al. (2001); (2003).
18 Pleger et al. (2001); (2003); Dinse et al. (2003).

Wachseins führt.[19] Aufgrund dieser Vorteile, die nur geringe Anforderungen an die Selbstdisziplin der Probanden stellt, sind Verfahren wie die Coaktivierung besonders geeignet, ergänzend im Bereich der Therapie und Intervention nach zentralnervösen Schädigungen wie beispielsweise Schlaganfall Verwendung zu finden.[20] Auf die Wirkung der Coaktivierung im Alter soll weiter untern eingegangen werden (Abschnitt 6.6).

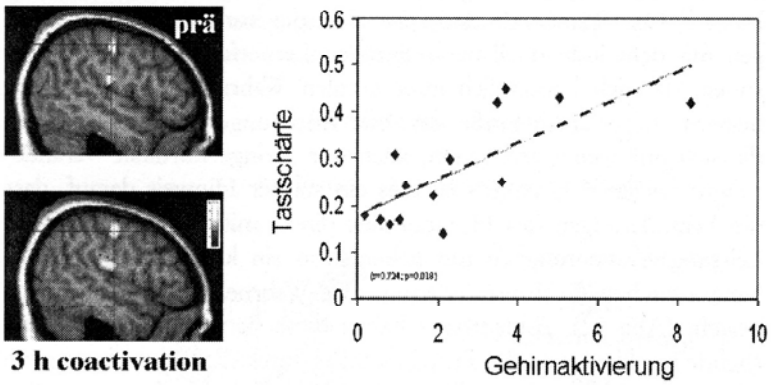


Abb. 12: Gehirnaktivierungen (links) vor (»prä«) und nach Applikation des Coaktivierungsprotokolls zeigen deutliche Größenzunahmen im Bereich der Repräsentation der Finger. Rechts: Zusammenhang zwischen der Zunahme der Gehirnaktivierung und der Verbesserung der taktilen Wahrnehmung (jeder Punkt ist eine Versuchsperson).

(Mit Genehmigung aus Pleger et al., 2003.)

5.2 Transkranielle Magnetstimulation – der direkte Weg ins Gehirn

Die wohl bisher extremste Form neuartiger Formen der Induktion von Lernprozessen ist die transkranielle Magnetstimulation TMS.[21] Bei diesem Verfahren werden über eine Spule über dem Schädel Magnetpulse appliziert, die ihrerseits im Gehirn Ströme induzieren und damit die unterhalb der Magnetspule liegenden Gehirnregionen aktivieren. Auf

---

[19] Czech et al. (2008).

[20] Dinse et al. (2005); (2008); Smith et al. (2009).

[21] Eine hervorragende deutschsprachige Übersicht in Siebner und Ziemann (2007).

diese Weise ist es möglich, durch Wahl des Ortes der Spule an beliebigen Stellen des Gehirns lokal Lernprozesse auszulösen.

Seit einigen Jahren wird TMS in vielen Bereichen als zusätzliche Behandlungsmethode eingesetzt, unter anderem zur Behandlung von Tinnitus, Schmerz, Depression, Migräne, Schlaganfall und Dystonie. In der Regel werden positive Ergebnisse berichtet, die allerdings nur kurze Zeit andauern. Bei gesunden Probanden steht die Untersuchung von Lernprozessen im Vordergrund. Es gibt Berichte, wonach durch TMS Wahrnehmung, Sprachvermögen, motorische Fähigkeiten und Reaktionszeiten – ebenfalls auf einer Zeitskala von wenigen Stunden – verbessert werden können. Vor kurzem ging die spektakuläre Nachricht durch die Presse, dass mittels TMS »Genie-ähnliche« Fähigkeiten ausgelöst werden können. Die Autoren vertreten die Idee, dass jeder Mensch über genie-hafte Fähigkeiten verfügt, diese aber im Gehirn durch hemmende Prozesse unterdrückt werden. Wird nun mittels TMS diese Hemmung beseitigt, kann sich das Genie-hafte offenbaren.[22] Weitere Studien werden zeigen, inwieweit diese Annahmen und Befunde Bestand haben. Weit weniger spektakulär waren Versuche, die wir in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Neurologie des Knappschaftskrankenhauses Bergmannsheil in Bochum durchgeführt haben. Wir unterzogen Probanden einer etwa 30 Minuten andauernden TMS über dem Fingerbereich des Homunkulus. Danach war der Tastsinn der Finger deutlich verbessert und die Hand des Homunkulus war vergrößert.[23] Diese Arbeiten sind von großer Bedeutung, um neue Wege zu prüfen, wie es möglich ist, den Tastsinn von Menschen zu verbessern.

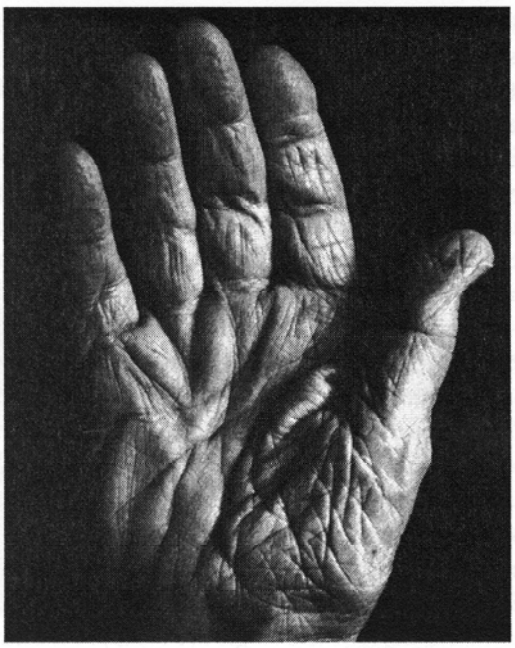
6. Tastsinn im Alter

Neben den bisher genannten Einflussgrößen gibt es einen weiteren elementaren Faktor, der entscheidenden Einfluss auf die Güte des Tastsinns nimmt: das Lebensalter. Wie praktisch alle denkbaren Funktionen nimmt auch der Tastsinn im Alter ab (Abb. 5 und 13). Im Falle des Tastsinns verschlechtert sich die Tastschärfe bereits um etwa die Hälfe im

---

22 Young et al. (2004); Snyder et al. (2006).

23 Tegenthoff et al. (2005); Dinse et al. (2007).



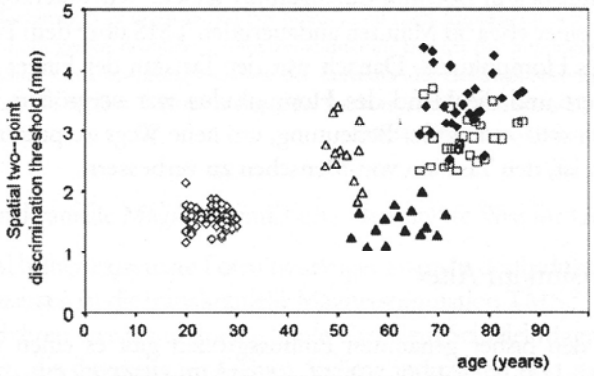


Abb. 13: Alterung der Hände (oben). Unten: Altersabhängigkeit der Tastschärfe. Junge Versuchspersonen (VP): weiße Rhomben, mittelalte VP: weiße Dreiecke, ältere VP: schwarze Rhomben. Nach 3 Stunden Coaktivierung verbessert sich der Tastsinn der älteren VP auf Werte von etwa 50-jährigen: weiße Quadrate. Ältere blinde VP, die Blindenschrift lesen, zeigen keine altersbedingten Beeinträchtigungen: schwarze Dreiecke. (Mit Genehmigung aus Dinse et al., 2009.)

Alter von 40 bis 50 Jahren, um sich dann im zunehmenden Alter noch weiter zu verschlechtern. Ein weiteres typisches Altersphänomen ist die drastisch zunehmende Streuung – wir hatten gesehen, dass diese bei jungen Probanden bereits beträchtlich ist. Im Alter allerdings nimmt diese noch mal um ein Vielfaches zu.

6.1 Was bedeutet der Verlust des Tastsinns im Alter?

Inwieweit ist die Verschlechterung des Tastsinns im Alter überhaupt ein Problem? Wir haben gesehen, dass ein intakter Tastsinn weit über die Erfassung von Oberflächenstrukturen hinaus für den gesamten Bereich der Propriozeption und Sensomotorik von entscheidender Bedeutung ist. Beispiele aus dem Alltag sind Knöpfe schließen, Schuhe zubinden oder mit Schlüsseln und Kleingeld hantieren. Diese Fähigkeiten werden oft als Alltagskompetenz bezeichnet und hängen alle von einem intakten Tastsinn ab.

Das Ziel heutiger Altersforschung ist weniger, Leben zu verlängern, als vielmehr zu erreichen, möglichst lange gesund leben zu können. Dazu gehört beispielsweise, möglichst lange unabhängig und selbständig zu wohnen, wofür wiederum die Fähigkeit Voraussetzung ist, möglichst viele Alltagsverrichtungen erfolgreich zu bewältigen. Lässt der Tastsinn im Alter nach, fällt die Erledigung dieser Tätigkeiten immer schwerer.

6.2 Strategien zur Kompensation

Dass auch im Alter die zunehmende Verschlechterung des Tatsinns weitgehend unbemerkt bleibt, hat zwei Gründe: Wenn die Sehkraft ganz allmählich nachlässt, bleibt dies in der Regel recht lange unbemerkt, einfach weil die Änderungen zu klein sind, um sie zu bemerken – man gewöhnt sich daran. Ähnliches passiert mit dem Tastsinn. Dazu kommt, dass die Rolle und Bedeutung des Tastsinns sowieso unterschätzt wird, und offensichtliche Marker, wie die Fähigkeit ohne Brille Zeitung zu lesen, im Bereich des Tastsinns fehlen. Wenn also eine ältere Person die Knöpfe des Hemdes nicht mehr ordentlich schließen kann, wird dies in der Regel auf die Motorik der Hände geschoben statt auf den Tastsinn. Und dass die Motorik im Alter nachlässt, ist etwas,

was einfach als unabwendbar akzeptiert wird. Darüber hinaus gibt es im Alltag viele Möglichkeiten, den Verlust taktiler Fähigkeiten zu kompensieren, etwa Klettverschluss statt Knöpfe. Interessanterweise hat aber die Industrie in den letzten Jahren den Markt für Senioren entdeckt: Beispielsweise Mobiltelefone mit extra großen Tasten – nicht der Augen wegen, sondern des Tastsinns!

6.3 Etwas tun gegen altersbedingte Verschlechterungen des Tastsinns

Nach allem, was über die Trainierbarkeit des Tastsinns gesagt wurde, stellt sich hier die Frage: Sind altersbedingte Verschlechterungen des Tastsinns unausweichlich? Oder kann man etwas dagegen tun?

Neuere Untersuchungen haben nahegelegt, dass altersbedingte Änderungen nur zu einem Teil irreversibel sind. So gibt es zahllose degenerative Prozesse, die zu einer starken Beeinträchtigung von Funktionen führen. Daneben gibt es aber Kompensationsprozesse, die sozusagen versuchen, jeweils das Beste aus den gegebenen Randbedingungen herauszuholen. Dazu gehört beispielsweise, dass ältere Menschen größere und andere Gehirngebiete zur Erledigung einer Aufgabe aktivieren, als dies junge Menschen tun, um so altersbedingte Defizite auszugleichen.

Neben degenerativen Prozessen sind für die Entwicklung von altersbedingten Verschlechterungen aber noch andere Faktoren beteiligt: Wir haben weiter oben gesehen, dass das Prinzip der *use-dependent plasticity* positiv bei erhöhter Aktivität, aber negativ bei vermindertem Gebrauch wirksam ist. Auf das Alter bezogen hat dies eine fatale Konsequenz: Wird der allgemeine aktive Lebensstil in zunehmendem Alter aufgrund mangelnder Herausforderungen, Bequemlichkeit, aber auch aufgrund von sich im Alter einstellenden Schmerzen zugunsten größerer Passivität eingeschränkt, dann wird ein gefährlicher Teufelskreis in Gang gesetzt: Das Gehirn passt sich an mangelnde Aktivität und Gebrauch durch Schwund und Aktivitätsverringerung an, was den Grad der »Wenig-Benutzung« im Alltag potenziert. In diesem Szenario wird also der natürliche Alterungsprozess durch passiven Lebensstil weiter verstärkt.[24]

---

[24] Dinse (2007).

6.4 Blinde ältere Menschen bewahren ihren guten Tastsinn

Ein gutes Beispiel dafür, dass die beschriebenen Einschränkungen des Tastsinns nicht unbedingt in dieser Form auftreten müssen, sind ältere blinde Personen, die regelmäßig mit ihren Fingern Blindenschrift lesen. Wie aus Abb. 13 ersichtlich ist, liegt deren Tastschärfe im Bereich von jungen sehenden Versuchspersonen. Andauernde Übung und Aktivität ist also geeignet, den sonst auftretenden altersbedingten Verlust des Tastsinns fast vollständig zu verhindern.

6.5 Ältere Menschen mit aktivem Lebensstil bewahren ihren guten Tastsinn

Inwieweit der persönliche Lebensstil Einfluss auf die Entwicklung altersbedingter Beeinträchtigungen ausübt, zeigen Ergebnisse einer jüngst abgeschlossenen wissenschaftlichen Studie. Darin haben wir ältere Menschen zwischen 65 und 85 Jahren untersucht, die seit vielen Jahren regelmäßig tanzen.[25]

Warum untersuchen wir Tanzen? Werden im Tierversuch alte Ratten in einem so genannten *enriched environment* gehalten, hat dies positive Auswirkungen auf alle Ebenen neuronaler Verarbeitung und Verhalten. Mit *enriched environment* ist eine Umwelt gemeint, die einerseits möglichst gut den Bedürfnissen eines Organismus angepasst ist, andererseits viele körperliche und mentale Anforderungen stellt, um diese zu trainieren.. Auf der Suche nach einem entsprechenden Äquivalent für ältere Menschen sind wir auf die Idee gekommen, Tanzen zu untersuchen. Tanzen stellt ebenfalls viele und sehr unterschiedliche Anforderungen an den Tänzer wie Fitness, Balance und Rhythmusgefühl. Darüber hinaus werden sehr stark emotionale, affektive und soziale Komponenten angesprochen.

Musik, Rhythmus und Tanzen kennzeichnen den *Homo Sapiens* seit Beginn seiner Entwicklung. Seit einiger Zeit nehmen sich auch Medizin und Neurowissenschaften des Themas Tanzen an, da erkannt wurde, dass Tanzen nicht nur Spaß macht, sondern darüber hinaus viele positive Auswirkungen hat. So wird Tanzen zunehmend als Instrument zur

---

[25] Kolankowska et al. (2007).

Therapie und Intervention bei Bewegungsstörungen wie beispielsweise Parkinson oder nach einem Schlaganfall eingesetzt.

In unserer Studie fanden wir heraus, dass die Teilnehmer in allen getesteten Bereichen besser abschnitten als Vergleichspersonen, die nicht regelmäßig tanzten. Interessanterweise waren bessere Leistungen nicht auf die Bereiche Balance und Motorik beschränkt, sondern erstreckten sich auch auf kognitive und intellektuelle Fähigkeiten sowie auf sensorische Wahrnehmungsleistungen – und damit auch auf die Güte des Tastsinns. Regelmäßiges Tanzen scheint also ein sehr geeignetes Mittel zu sein, um körperliche und geistige Fitness bis ins hohe Alter zu bewahren.

6.6 Verbesserung des Tastsinns durch taktile Coaktivierung auch bei älteren Menschen

Kann man auch etwas tun, wenn die Beeinträchtigungen bereits eingetreten sind? Um dieser Frage nachzugehen, haben wir eine Gruppe älterer Probanden im Alter zwischen 65 und 89 Jahren der Coaktivierung unterzogen.[26] Eine einmalige Stimulation der Finger führte auch bei diesen Versuchspersonen zu einer deutlichen Verbesserung des Tastsinns (Abb. 13), wodurch die Leistung von 80-jährigen in etwa in den Bereich von 50-jährigen verschoben werden konnte. Weitere Optimierung des verwendeten Stimulationsprotokolls lassen vermuten, dass diese Verbesserungen sogar noch weiter gesteigert werden können.

All diesen Versuchen ist gemeinsam, dass altersbedingte Änderungen in Grenzen reversibel sind und zumindest in ihrer Ausprägung verlangsamt werden können. Dabei ist allen Maßnahmen wie Stimulation, Training, Übung oder aktivem Lebensstil gemeinsam, dass sie die Neuroplastizität des Gehirns nutzen, die bis ins hohe Alter wirksam ist, und die damit zu einem entscheidenden Faktor zur Ausgestaltung des individuellen Lebensverlaufs und Schicksals wird.

---

[26] Dinse et al. (2005); Kalisch et al. (2008).

7. Resümee

Der Tastsinn informiert uns in zuverlässiger Weise, ohne dass wir uns dessen bewusst werden, über Eigenschaften von Oberflächen und Objekten, und liefert Informationen über den Zustand unseres Körpers. Gerade da er so unbemerkt und zuverlässig arbeitet, wird seine Bedeutung leicht übersehen und unterschätzt. Ohne Tastsinn wären wir nicht lebensfähig.

Die Güte des Tastsinns (Tastschärfe) ist in mehrfacher Hinsicht variabel: Die Tastschärfe variiert über den Körper, sie variiert von Mensch zu Mensch und sie verändert sich über die Lebensspanne. Über die Güte des Tastsinns entscheiden die Dichte der Hautrezeptoren und die Art der neuronalen Verarbeitung im Gehirn.

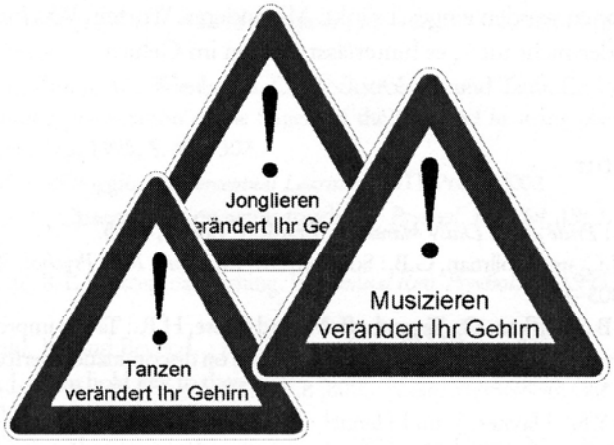


Abb. 14

Das wichtigste Merkmal von Gehirnen ist Plastizität und Lernfähigkeit (Neuroplastizität). Auf der Basis neuroplastischer Mechanismen ist der Tastsinn in hohem Maße trainierbar. Menschen, die einen sehr aktiven Lebensstil führen und ihre Hände viel Benutzen (Musiker), verfügen über einen überdurchschnittlich guten Tastsinn. Die Kehrseite davon ist: »Nicht-Benutzung« führt durch »negative« Neuroplastizität zu Einbußen des Tastsinns (Gipsverband) und zu einer Reduzierung von Gehirnaktivität.

Im Alter lässt der Tastsinn – ebenfalls oft unbemerkt – dramatisch nach, schon ab dem 40. Lebensjahr. Neuroplastizität ist zwar bis ins hohe Alter wirksam, allerdings hat sie dort eine positive und eine negative Wirkung: Einerseits hilft sie, altersbedingte Beeinträchtigungen – beispielsweise des Tastsinns – bei Aufrechterhaltung eines aktiven Lebensstils weitgehend zu mildern, andererseits verstärkt sie im Falle eines passiven Lebensstils altersbedingte Änderungen noch weiter.

Genau wie ein Muskel durch Training gestärkt wird, so wird ein aktiver Lebensstil durch Förderung neuroplastischer Prozesse dafür sorgen, dass Gehirnfunktionen auch im Alter weitgehend unbeeinträchtigt bleiben. Genauso wie ein Muskel bei Nichtgebrauch verkümmert, so führt ein passiver Lebensstil dazu, dass Gehirnaktivierung abnimmt und durch »negative« Plastizität Leistungsvermögen nachlässt. Das bedeutet: Tut man nichts, passiert im Gehirn nicht nichts, sondern Gehirnfunktionen werden eingeschränkt. Mit anderen Worten: Was man auch tut – oder nicht tut –, es hinterlässt Spuren im Gehirn.

Literatur

Cole, J.: *Pride and a Daily Marathon*, Bradford Books, 1995.

Craig, J.C. und Rollman, G.B.: Somesthesis. In: *Annu. Rev. Psychol.* 50, 1999, S. 305–331.

Czech, B., Höffken, O., Tegenthoff, M. und Dinse, H.R.: Tactile improvement during sleep – Effects of passive stimulation on discrimination performance. In: *Soc. for Neurosci. Abstr.*, 2008, S. 177.14.

Dillon, Y.K., Haynes, J. und Henneberg, M.: The relationship of the number of Meissner's corpuscles to dermatoglyphic characters and finger size. In: *J. Anat.* 199, 2001, S. 577–584.

Dinse, H.R.: Cortical reorganization in the aging brain. In: *Prog. Brain Res.* 157, 2006, S. 57–80.

Dinse, H.R.: Haptic banknote design. In: *Human Haptic Perception – Basics and Applications*, hg. von M. Grunwald. Birkhäuser, 2008, S. 537–547.

Dinse, H.R., Ragert, P., Pleger, B., Schwenkreis, P. und Tegenthoff, M.: Pharmacological modulation of perceptual learning and associated cortical reorganization. In: *Science* 301, 2003, S. 91–94.

Dinse, H.R., Kalisch, T., Ragert, P., Pleger, B., Schwenkreis, P. und Tegenthoff, M.: Improving human haptic performance in normal and impaired human

populations through unattended activation-based learning. In: *Transaction Appl. Perc.* 2, 2005, S. 71–88.

Dinse, H.R., Kleibel, N., Kalisch, T., Ragert, P., Wilimzig, C. und Tegenthoff, M.: Tactile coactivation resets age-related decline of human tactile discrimination. In: *Ann. Neurol.* 60, 2006, S. 88–94.

Dinse, H.R., Ragert, P. und Tegenthoff, M.: Somatosensorik. In: *Das TMS-Buch. Transkranielle Magnetstimulation*, hg. von H. Siebner, U. Ziemann. Springer, 2007, S. 439–448.

Dinse, H.R., Wilimzig, C. und Kalisch, T.: Learning effects in haptic perception. In: *Human Haptic Perception – Basics and Applications*, hg. von M. Grunwald. Birkhäuser, 2008, S. 165–182.

Dinse, H.R., Bohland, J., Kalisch, T., Kraemer, M., Freund, E., Beeser, E., Hömberg, V. und Stephan, K.M.: Repetitive sensory stimulation training in stroke. In: *European Journal of Neurology* 15, (Suppl. 3), 2008, S. 400.

Dinse, H.R., Tegenthoff, M., Heinisch, C. und Kalisch, T.: Ageing and Touch. In: *The Sage Encyclopedia of Perception*, hg. von B. Goldstein. Sage, 2009, in Druck.

Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B. und Taub, E.: Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. In: *Science* 270, 1995, S. 305–307.

Fahle, M. und Poggio, T.: *Perceptual Learning*, MIT Press, 2002.

Gibson, J.J.: Observations on active touch. In: *Psychol. Rev.* 69, 1962, S. 477–491.

Goldstone, R.L.: Perceptual learning. In: *Annual Rev. Psychol.* 49, 1998, S. 585–612.

Grunwald, M. und Beyer, L.: *Der bewegte Sinn*, Birkhäuser, 2001.

Harper, J.: Men hold key to their wives' calm. In: *The Washington Times*, 2006, S. A10.

Hebb, D.O.: *The Organization of Behavior*, Wiley and Sons, New York 1949.

Kalisch, T., Tegenthoff, M. und Dinse, H.R.: Improvement of sensorimotor functions in old age by passive sensory stimulation. In: *Clin. Interv. Aging* 3(4), 2008, S. 673–690.

Kolankowska, I., Kalisch, T., Böhmer, G. und Dinse, H.R.: Superior sensory, motor and cognitive performance in elderly subjects with long-year dancing activities. In: *Soc. for Neurosci. Abstr.*, 2007, S. 175.10.

Müsseler, J. und Prinz, W.: *Allgemeine Psychologie*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin 2002.

Pascual-Leone, A. und Torres, F.: Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers. In: *Brain* 116, 1993, S. 39–52.

Penfield, W. und Rasmussen, T.: *The Cerebral Cortex of Man. A Clinical Study of Localization of Function*, The Macmillan Comp., New York 1950.

Pleger, B., Dinse, H.R., Ragert, P., Schwenkreis, P., Malin, J.P. und Tegenthoff, M.: Shifts in cortical representations predict human discrimination improvement. In: Proc. *Natl. Acad. Sci. USA* 98, 2001, S. 12255–12260.

Pleger, B., Foerster, A.F., Ragert, P., Dinse, H.R., Schwenkreis, P., Nicolas, V. und Tegenthoff, M.: Functional imaging of perceptual learning in human primary and secondary somatosensory cortex. In: *Neuron* 40, 2003, S. 643–653.

Ragert, P., Schmid, A., Altenmüller, E. und Dinse, H.R.: Superior tactile performance and learning in professional pianists: Evidence for meta-plasticity in musicians. In: *Europ. J. Neurosci.* 19, 2004, S. 473–478.

Schmitz, K.W.: *Haptisches Verkaufen. Kaufen ist be-greifen*, Redline Wirtschaft bei moderne industrie, 2004.

Seitz, A. und Dinse, H.R.: A common framework for perceptual learning. In: *Curr. Op. Neurobiol.* 17, 2007, S. 148–153.

Siebner, H. und Ziemann, U.: *Das TMS-Buch: Handbuch der transkraniellen Magnetstimulation*, Springer, Berlin 2007.

Smith, P.S., Dinse, H.R., Kalisch, T., Johnson, M. und Walker-Batson, D.: Effects of repetetive sensory stimulation on sensorimotor performance in chronic stroke. In: *Arch. Phys. Med. Rehab.*, 2009, in Druck.

Snyder, A., Bahramali, H., Hawker, T. und Mitchell, D.J.: Savant-like numerosity skills revealed in normal people by magnetic pulses. In: *Perception* 35, 2006, S. 837–845.

Stevens, J.C. und Choo, K.K.: Spatial acuity of the body surface over the life span. In: *Somatosensory and Motor Research* 13, 1996, S. 153–166.

Tegenthoff, M., Ragert, P., Pleger, B., Schwenkreis, P., Förster, A.F., Nicolas, V. und Dinse, H.R.: Persistent improvement of tactile discrimination performance and enlargement of cortical somatosensory maps after 5 Hz rTMS. In: *PloS Biol.* 3, 2005, S. e362.

Tietz, W.: Haptic design of vehicle interiors at AUDI. In: *Human Haptic Perception – Basics and Applications*, hg. von M. Grunwald. Birkhäuser, 2008, S. 439–444.

van Essen, D.C., Anderson, C.H. und Felleman, D.J.: Information processing in the primate visual system: an integrated systems perspective. In: *Science* 255, 1992, S. 419–423.

Young, R.L., Ridding, M.C. und Morrell, T.L.: Switching skills on by turning off part of the brain. In: *Neurocase* 10, 2004, S. 215–222.