

aus: Grunwald, M. (2012): Haptik: Der handgreiflich-körperliche Zugang des Menschen zur Welt und zu sich selbst. In: Werkzeug-Denkzeug. (Hrsg.) Thomas H.Schmitz. Transcript Verlag (in press).

Haptik: Der handgreiflich-körperliche Zugang des Menschen zur Welt und zu sich selbst

PD Dr. Dipl. Psych. Martin Grunwald

Einleitung

Dass wir uns selbst als zur äußeren Umwelt abgrenzbare individuelle Person und Körper, als physische Einheit, als zeitlich und dreidimensional existierenden Organismus erleben können, ist eine Elementarleistung unseres Tastsinnessystems. Kein anderer Sinnesbereich trägt substantiell zu dieser Selbsterkenntnis bei. Denn weder visuelle noch auditive Informationen unterrichten uns auf signifikante Weise, wie wir selbst oder unsere äußere Umwelt materiell beschaffen sind. Allenfalls liefern diese Sinnessysteme orientierende oder nötigenfalls korrigierende Informationen; aber wie wir an geburtsblinden Menschen beobachten können, ist menschliches Bewusstsein und Erkenntnisbildung über die physische Beschaffenheit des eigenen Körpers und der äußeren physikalischen Umwelt auch ohne fakultative Unterstützung visueller und auditiver Informationen möglich. Wenn auch die Erarbeitung der physikalischen Eigenschaften der äußeren Welt für geburtsblinde Menschen gewisse Probleme und zeitliche Verzögerungen mit sich bringen, kann bei ausreichender sozialer Einbindung und Stimulation ein adäquates Abbild der physikalischen Außenwelt und des eigenen Körpers – mit entsprechenden Einschränkungen – durch die Betroffenen erarbeitet werden. Diese vielen und ausführlich beschriebenen Leistungen der Geburtsblinden, sind dabei nicht nur ein Hinweis auf die enormen Leistungsbereiche des Tastsinnessystems, sondern sie verweisen auf einen noch viel bedeutenderen Aspekt: auf die direkte Beteiligung des Tastsinnessystems bei der Entwicklung von Bewußtseinsprozessen. Die vielfach beschriebenen Beispiele von Blinden und taubblinden Menschen belegen eindrucksvoll, dass visuelle und akustische Informationsverarbeitung nicht notwendige Bedingungen für die Ausbildung menschlichen (Selbst) Bewusstseins darstellen. Die Verortung des eigenen Körpers und der eigenen Person im physikalischen Raum und im „sozialen Raum“ ist nicht von der Bereitstellung visueller Informationen abhängig. Die als höchste Form bezeichnete Leistung des menschlichen Gehirns, Bewusstsein zu generieren, ist, folgt man diesen Beispielen, nicht an die Ausbildung des visuellen oder auditorischen Systems gebunden. Sowenig wie sich menschliches Bewußtsein ohne das Tastsinnessystem entwickeln kann, so ist bislang auch kein Mensch lebendig geboren worden, der nicht über ein funktionierendes Tastsinnessystem verfügen würde. Und ebenso ist es nicht möglich – ohne zu sterben – alle Funktionsbereiche des Tastsinnes durch Verletzung oder Erkrankung einzubüßen. Jedes andere Sinnessystem kann bei Geburt vollständig fehlen oder im Verlauf des Lebens durch verschiedene Umstände nicht mehr zur Verfügung stehen. Für das Tastsinnessystem des Menschen, mit seinen vielfältigen Subdimensionen, gibt es kein adäquates Parallelsystem, so daß eine Nichtausbildung oder der vollständige Verlust des gesamten Systems mit den biologischen Grundprinzipien des Lebens nicht vereinbar ist.

Das Tastsinnessystem mit seinem millionenfachen Sensornetzwerk wirkt als direkter Vermittler zwischen der äußeren physikalischen Umwelt und der physikalischen Beschaffenheit unseres eigenen

Organismus. Nur physikalischer Direktkontakt zwischen unserem Organismus und die sensorisch-kognitive Analyse des materiellen Kontaktes können unmissverständliche Informationen generieren, nach denen wir mit Sicherheit annehmen können, dass es eine in Relation zu unserem Körper äußere und unabhängige physikalische Umwelt gibt. Alles andere ist Illusion; man denke an das Höhlengleichnis von Platon. Weder Auge noch Ohr können in direkten materiellen Kontakt mit der äußeren Welt geraten (mit Ausnahme bei verletzenden Kräften); die materielle Beschaffenheit des eigenen Körpers und der äußeren Welt kann nur gewiss über Tastsinnesinformationen vermittelt werden. Ein Blick oder eine Stimme kann uns im metaphorischen Sinne begegnen – berühren –, aber diese Sinnbildlichkeit basiert allein auf Tastsinneserfahrungen, die sich schon in der Begriffsbildung – begreifen – niederschlägt.

Kontakt mit Strukturen des eigenen Körpers und der äußeren Welt herzustellen, ist somit eine Grundeigenschaft aller lebenden Organismen. Selbst jeder einzellige Organismus ist dieser Notwendigkeit des physischen Kontaktes mit der ihn umgebenden Umwelt unterworfen. Und wie am Beispiel der Amöben besonders eindrucksvoll zu sehen ist, sind Körpereigenberührungen unumgänglich. Das heißt, mit dem Vorhandensein von Masse ist jedes Biosystem, jedes Lebewesen regelrecht gezwungen von der ihn umgebenden Umwelt berührt zu werden und diese seinerseits - mindestens mit den ausgebildeten Grenzflächen - zu berühren. Diese Grundsätzlichkeit der Verhältnisse zeigt sich auch darin, dass Organismen jeglicher Art – von Einfach bis Komplex – weder eine phylogenetische noch eine ontogenetische Wahlmöglichkeit hinsichtlich des körperlichen Kontaktes besitzen. Deutlicher: Die Evolution hat keine Wahl! Physisches Leben auf dieser Erde setzt von allen beteiligten Lebewesen sowohl das Kontaktvermögen als auch die Kontaktnotwendigkeit voraus. In Umkehrung des Watzlawikschen Kommunikationsdogmas kann man es auch so formulieren: Man kann nicht nicht berühren!

Der aktive und passive Vermittler des physischen Kontaktvermögens ist das Tastsinnessystem des menschlichen Körpers, das immer auch gleichzeitig als Grenzflächenverwalter und Grenzanalysator des gesamten Körpers fungiert. Dieses System, das aufgrund seiner funktionellen Vielgestaltigkeit nicht gut als ein in sich geschlossener Sinn verstanden werden kann, integriert eine millionenfache Informationsflut sehr unterschiedlicher Qualitäten pro Millisekunde aus allen Teilen des Körpers und formt auf hochkomplexe Weise aus physikalischen und biochemischen Prozessen Wahrnehmungsgebilde, die wir als aktive oder passive Berührungen wahrnehmen können. Das Tastsinnessystem ist Akteur und Verwalter jeder Handlung und jedes Kontaktes zu uns selbst und zur äußeren Umwelt. Damit Umweltkontakt oder Körpereigenkontakt als solche überhaupt wahrgenommen werden können, muss auf elementarer Ebene das physikalische Kontaktereignis zwischen eigener Körperoberfläche und äußerer Umwelt registriert, gemessen und sinnvoll in Wahrnehmungen umgewandelt werden. Die biologische Basis hierfür sind Millionen einzelner Messwerkzeuge – Rezeptoren –, die sich in verschiedener Form und in unterschiedlicher Anzahl im gesamten Körper befinden. Ohne diese Rezeptoren könnte das physikalische Ereignis des Grenzflächenkontaktes, zum Beispiel zwischen menschlichen Körpern und externen Werkzeugen nicht als >Berührung< oder >Handhabung< wahrnehmbar werden. Die Rezeptoren des Tastsinnessystems sind somit der messtechnische Ausgangspunkt einer physikalisch-materiellen Körperinteraktion und unabdingbare Voraussetzung für jede Form der Körperkommunikation und des direkten Werkzeuggebrauchs. Insofern ist die genaue bio-physikalische Kenntnis über den Aufbau und die Funktionsweise der im Körper integrierten Rezeptoren ein wichtiger Schritt zum Verständnis von menschlichen >Berührungshandlungen< und >Berührungswahrnehmungen<. Denn die Rezeptoren des Tastsinnessystems sind jene bio-physikalischen Einheiten, die am Anfang einer

lebensnotwendigen Transformation stehen müssen, um die schlichte Physik des Kontaktes in eine Informationsflut umzuwandeln, mit der unser Organismus – insbesondere unser Gehirn – bedeutungsvolle Inhalte in Zusammenhang bringen bzw. generieren kann. Darum, und weil man sonst nur ungenügend den Leistungsumfang unseres Tastsinnessystem verstehen kann, sollen nachfolgend die wesentlichsten Tastsinnesrezeptoren kurz dargestellt und beschrieben werden.

1. Das Netzwerk der Tastsinnesrezeptoren

Liegen die Sinnesrezeptoren für alle anderen Sinne direkt im oder am jeweiligen Sinnesorgan, so kann dieses Verhältnis für das Tastsinnessystem nicht festgestellt werden. Tastsinnesrezeptoren sind buchstäblich im gesamten Körper, als dichtes Netzwerk verteilt. Gemeinhin gilt die menschliche Haut als prominentester Ort des Körpers, der mit einer hohen Dichte kontaktrelevanter Rezeptoren ausgestattet ist. Diese Aussage ist jedoch nur teilweise richtig. Denn nicht die unbewehrte, haarfreie Haut ist regelhaft die erste Kontaktfläche des menschlichen Körpers mit der äußeren Umwelt, sondern es ist diejenige Hautfläche die über fünf Millionen Körperhaare enthält (Price & Griffiths 1985, S. 87). Diese Haare haben unterschiedlichste Form, Größe und Verteilung und dienen als Grenzflächenverwalter der Körperhaut die – Antennen gleich – bei Berührungen mit der äußeren Umwelt den physikalischen Erstkontakt registrieren. Selten wird uns bewusst, dass über 80% der Körperhaut von Haaren, zumeist sehr feinen, kaum sichtbaren, bedeckt ist. Der wenigste Haaranteil – und das nicht nur bei Männern in einem bestimmten Alter – wird dabei durch das Kopfhaar gebildet. Das Haar selbst, als geschuppte röhrenförmige Hornhaut, maximal 170µm im Durchmesser, entspringt einer Struktur unterhalb der äußeren Hautschicht die als Haarfollikel (Abb. 1A) bezeichnet wird.¹ In dieser wird das Haar schichtweise gebildet; es findet hier Halt, wird mittels feiner Blutgefäße mit Nährstoffen versorgt und wird über die nahestehenden Talgdrüsen gefettet, damit es nicht brüchig wird. Bedingt durch die Lage des Haarfollikels zur Hautgrenze treten die meisten Haare des menschlichen Körpers in einem Winkel von 70° aus. Erst durch das Wirken eines winzigen Muskels, der sich an jedem (!) Haarfollikel befindet, (muskulus arrector pili, siehe Abbildung 1B) kann das Haar eine Winkelstellung von 90° erreichen (z.B. bei der sogenannten >Gänsehaut<). Um die Wand des Haarfollikels sind im Bereich von wenigen Mikrometern verschiedene Rezeptoren integriert; die Sensitivität dieser Rezeptoren kann man an beliebigen Orten des Körpers dadurch überprüfen, indem man die Krümmung eines einzelnen Haares herstellt. In der Regel ist dieses minimalste Kontaktereignis für uns wahrnehmbar. Es finden sich also – an jedem Haar! – in der Form von umliegenden Packungen an den Wänden der Haarfollikel verschiedene Rezeptortypen z.B. die sogenannten Merckelschen Nervenendigungen, Ruffinische Körperchen und sogenannte freie lanzettenförmige Nervenendigungen in großer Zahl (Abb. 1C). Jeder Rezeptortyp ist an jedem Haar mehrfach ausgebildet, so dass eine Gesamtanzahl von ca. 50 Rezeptoren pro Haar geschätzt werden kann. Berechnet man auf dieser Grundlage die Anzahl der auf die Haare des Menschen bezogenen tast- und berührungssensitiven Rezeptoren so erhält man einen Wert von 250 Millionen. Zeitlich und

¹ Um die in diesem Beitrag häufig verwendeten Maßeinheiten richtig interpretieren zu können, ist es wichtig die Einheit µm (Mikrometer) korrekt zu deuten. Dabei gilt, dass 1 Millimeter aus 1000µm besteht; Und in Relation zu unserer visuellen Wahrnehmung: erst einen Gegenstand der ca. 80-100µm (also 0,08 bis 0,1 Millimeter) groß ist, können wir mit bloßem Auge sehen (einen Krümel zum Beispiel). Eine tastbare Erhebung auf einer glatten Oberfläche von nur 1µm ist demnach für das unbewaffnete Auge gar nicht als Umweltunterschied erkennbar.

räumlich betrachtet verhelfen uns die Körperhaare zu einem geringen aber nicht unwichtigen Vorteil, gegenüber äußeren Reizen die auf unsere Körperoberfläche auftreffen werden. Überdies vergrößert die Haaroberfläche die tastsensitive Fläche der Körper-Hautgrenze wesentlich.

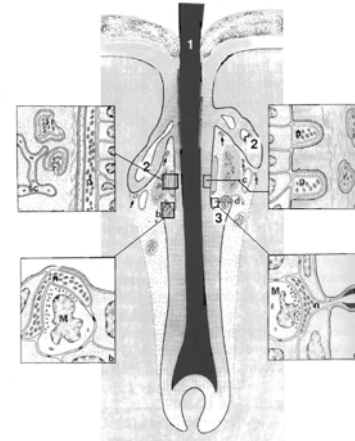
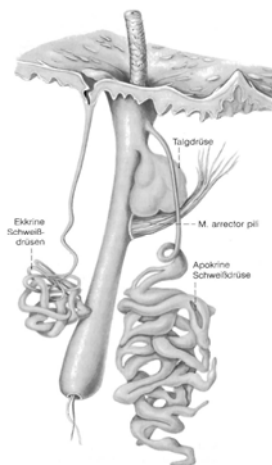
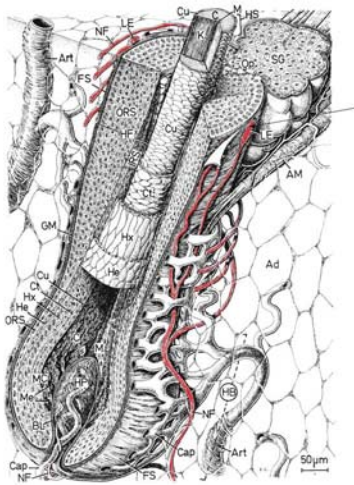


Abb.: 1 a)

Abb.: 1 b)

Abb.: 1 c)

Abb. 1a) Aufgeschnittener Haarfollikel mit Haar. Dunkel hervorgehoben (Pfeil) Geflecht aus freien Nervenendigungen (aus Krstić 1997, S. 459), Abb. 1b) Haarfollikel mit Haar und angrenzenden Schweiß- und Talkdrüsen. Der Muskel Arrector pili geht vom Haarfollikel ab und führt bei Kontraktion zu Lageveränderung des Haares und gleichzeitig zum Auspressen der Talkdrüsen (aus Fritsch 1994, S. 806), Abb. 1c) Haar (schwarz) und Haarfollikel mit schematischer Darstellung der integrierten Rezeptoren (aus Halata 1990).

Dass sich das Rezeptorgeflecht der Haare um die 3mm langen Haarfollikel webt und sich dieses Sensornetz in der äußeren Hautschicht befindet, folgt jener biologischen Logik, die der Haut im gesamten Tierreich als äußere Körpergrenzfläche eine extrem wichtige Position innerhalb der Körpersensorik zuweist. Zur Unmittelbarkeit des Lebensnotwendigen dieser Funktionen gehört es, dass die Haut aller Lebewesen nicht nur Schutz-, Stütz- und Haltefunktionen erfüllt, sondern vor allem ein Ort hochverdichteter sensorischer Rezeptoren ist. In keinem anderen Organ des Menschen befinden sich, bezogen auf die Gesamtfläche, derartig viele tastsinnessensible Rezeptoren, die u.a. für die bio-chemische Kodierung physischer Kontakt Ereignisse verantwortlich sind. Die genaue Anzahl der verschiedenen Rezeptortypen in der Haut, die tastsinnesrelevante Informationen übertragen, ist bis heute nicht bekannt. Sie kann derzeit nur geschätzt werden und beläuft sich, je nach Autor und Methodik, auf zwischen 300-600 Millionen. Sicher ist, dass die räumliche Dichte, also die Anzahl der Rezeptoren pro Hautgebiet, unterschiedlich ist. Eine besonders hohe Rezeptordichte findet sich beim Menschen in Körpergebieten die für die physische Umwelterkundung eine besondere Bedeutung haben. So sind die Hautgebiete der Innenhand, der Lippen und der Zunge mit einer auffällig hohen Anzahl tast- und berührungssensibler Rezeptoren ausgestattet. Bedingt durch die große Anzahl der Rezeptoren in diesen Körperbereichen können mikroskopisch kleine Umweltunterschiede (bei aktiver Tastexploration ab 1µm; Louw et al. 2000) oder kaum messbare Hautdeformationen infolge von Berührungen innerhalb dieser Hautgebiete bewusst wahrgenommen werden. Grundlage dieser Wahrnehmungen sind bio-physikalische Veränderungen innerhalb der Rezeptoren, die durch äußere physische und innerzelluläre bio-chemische Veränderungen hervorgerufen werden.

Die am nächsten zur Körperoberfläche gelegenen Rezeptoren sind die so genannten freien Nervenendigungen und die Meissnerschen Körperchen (Abbildung 2). Sie werden aufgrund ihrer Lage in der Haut als Erstes mit der physischen Mikrodeformation der oberen Hautschicht konfrontiert und registrieren so hauchzarte Berührungen. Die freien Nervenendigungen reagieren auf mechanische Verformung der Haut, sowie auf Temperaturreize und auf Verletzungen der oberen Hautschicht. Bis zu 5 dieser einfachsten Berührungsempfindungsrezeptoren können auf einem μm^2 vorhanden sein.² Entgegen der schlichten Gestalt der freien Nervenendigungen sind die Meissnerschen Körperchen wesentlich größer und von filigraner Gestalt. Sie sind ca. 40 μm breit und ca. 100 μm lang und reagieren auf Verformung der Haut die durch Druckreize auf die Haut entstehen. Sie sind somit hochspezialisiert Berührungsreize im Bereich von wenigen Milligramm zu registrieren. Im mittleren Lebensalter können ca. 24 dieser Rezeptoren pro mm^2 in der Leistenhaut der Finger enthalten sein (Halata 1993). Die durchschnittliche Anzahl von Meissnerschen Körperchen in der gesamten Körperhaut wird auf 12 Millionen geschätzt.

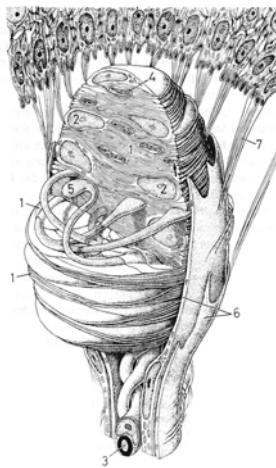


Abb.: 2 Meissnersches Körperchen

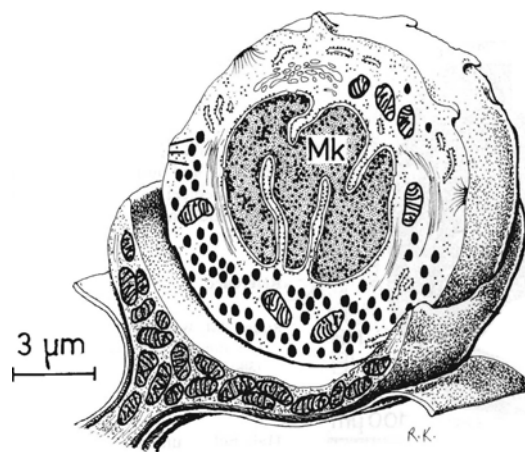


Abb: 3 Merkelsche Nervenendigung

Dem prinzipiellen Schichtaufbau der Haut folgend, ist auch der nächste Rezeptortyp in der Haut angeordnet: dieser wird als Merkelsche Nervenendigungen (Abbildung 3) bezeichnet und liegt wenige Mikrometer unterhalb der Hautschicht, in denen sich die Meissnerschen Körperchen befinden. Dieser Rezeptortyp ist ellipsoid geformt und hat einen Durchmesser von 9-19 μm . Das erstaunliche dieses Rezeptortyps ist seine Multifunktionalität: er reagiert sowohl auf statische und auf dynamisch wechselnde Druckreize.

Zwei weitere Rezeptortypen ergänzen das Spektrum der Sensorstrukturen, um einwirkende Kräfte auf die Körperhaut zu registrieren. Nur wenige Mikrometer von der Wirkebene der Merkelschen Körperchen entfernt, sind die sogenannten Ruffinischen Körperchen angeordnet. Ruffinische Körperchen (Abbildung 4) sind darauf spezialisiert, langsame Dehnungen oder Quetschungen der Haut zu registrieren. Wenn Sie an dieser Stelle noch einmal einige Seiten vorblättern, werden Sie u.a. feststellen, dass alle die bisher hier kurz beschriebenen Rezeptortypen schon bei der sensorischen

² Beim erwachsenen Menschen beträgt die Fläche der Haut ca. 2m^2 . Umgerechnet in die Flächeneinheit mm^2 ergibt sich ein Wert von 2000000mm^2 oder $2 \times 10^{12} \mu\text{m}^2$. Schätzt man nun die Gesamtanzahl der freien Nervenendigungen der Haut pro μm^2 mit $1\text{ pro } \mu\text{m}^2$ ergibt sich zwangsläufig eine Anzahl von 2×10^{12} von freien Nervenendigungen in der Haut, welche tast- und berührungssensible Informationen registrieren.

Charakterisierung der Haarfollikel genannt wurden. D.h., die Natur hat zweckmäßiger Weise in die >Antennen der Haut< - wenn man die Haare und ihre Haarfollikel einmal so bezeichnen wollte - gleiche oder ähnliche Rezeptorstrukturen integriert, wie sie im umgebenden Hautgewebe selbst auch zu finden sind. Haar und Haut sind damit auf eine Weise sensorisch gekoppelt, wie man es zweckmäßiger nicht hätte einrichten können.

Unterhalb der Schichtebene in der die Ruffinischen Körperchen integriert sind, befindet sich in der Dermis ein Rezeptortyp der als Vater-Pacinische Körperchen (Abbildung 5) bezeichnet wird. Nicht nur hinsichtlich seiner Größe unterscheidet sich dieser Rezeptortyp von den anderen erwähnten - er kann einen Durchmesser von 10 bis 200µm und eine Länge bis zu 500µm aufweisen - sondern auch hinsichtlich der Bauweise sind die Vater-Pacinische Körperchen eine äußerst erstaunliche Konstruktion. Die länglich runden Rezeptorgebilde haben einen sogenannten Innenkolben der aus bis zu 60 Lamellen besteht und die darum angeordnete Kapsel besteht wiederum aus 50 Schichten. Bedingt durch seine Baueigenschaften reagiert dieser Rezeptortyp besonders gut auf Vibrationsreize ab 40Hz bis über 1000Hz.³ Auf den ersten Blick scheint dieser Rezeptortyp ohne Bedeutung für unser Leben. Aber tatsächlich kann uns insbesondere dieser Rezeptor wesentliche Informationen über die Außenwelt liefern, die durchaus sicherheitsrelevant sein können. Denn dass manchmal Gefahrensituationen weder visuell noch akustisch erfassbar sind, zeigen verschiedene Situationen z.B. im Straßenverkehr. So führt ein defekter Reifen u.a. zu charakteristischen Vibrationen, die sich über die gesamte Karosserie ausbreiten und am Lenkrad wahrnehmbar werden. Die in solchen Fällen vertraute Grundvibration des Fahrzeuges wird verändert und kann als Warnsignal interpretiert werden. Die praktisch-stille Zuverlässigkeit der Vibrationsrezeptoren zeigt auch ihre kommerzielle Nutzung im Bereich der Mobiltelefone. Mitfühlende Zeitgenossen verzichten auf lärmende Melodien ihres Mobiltelefons und nutzen stattdessen die >Vibrationsfunktion<. Denn sofern das Gerät die Hautoberfläche berührt, genügen kleinste Reizamplituden, um die Aufmerksamkeit auf einen ankommenden Telefonruf oder eine digitale Nachricht zu lenken. Und nicht zuletzt können größere Umweltverwerfungen, zum Beispiel bei Erdbeben und anderen geotektonischen Prozessen, selten akustisch oder visuell, sondern vornehmlich durch die entstehenden Vibrationen als relevante Ereignisse durch diese Rezeptoren registriert werden. Die Analyse von Vibrationsereignissen dient also der Wahrnehmung von Ereignissen, die durchaus sehr weit weg vom wahrnehmenden Körpersystem stattfinden können. Spätestens an dieser Stelle wird deutlich, dass das menschliche Tastsinnessystem nicht ausschließlich als >Nahsinn< bezeichnet werden kann.

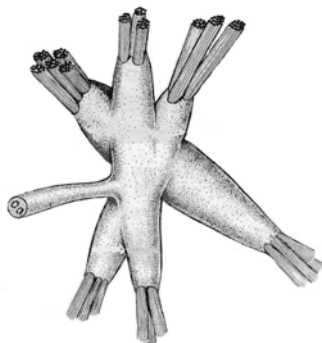


Abb.: 4 . Ruffinisches Körperchen

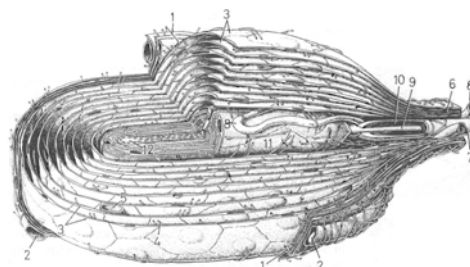


Abb: 5 Vater-Pacinische Körperchen

³ Alle hier beschriebenen Rezeptortypen befinden sich natürlich nicht nur in der Haut des Menschen. Sie sind auch in den Gelenken, Sehnen, Muskeln und in anderen Gewebestrukturen (z.B. Organen) in sehr großer Anzahl zu finden.

Wir können uns auf das unbemerkte Wirken des Tastsinnes und seiner integrierten Rezeptoren sicher verlassen, so daß nicht nur die äußere Welt erkundbar wird sondern auch unser eigener Körper in seiner dreidimensionalen Perspektive bei allen Handlungen „mitgerechnet“ wird. Dieses „Mitrechnen“ des Tastsinnessystems, wo und auf welche Weise sich unser Körper im Raum befindet, ist u.a. die Voraussetzung dafür, dass wir ohne visuellen Eindruck eine Treppe nach oben oder unten steigen können. Im Sekundenbruchteil erfasst das Tastsinnessystem die reale Höhe der ersten Treppenstufen, sowie deren Tiefe. Dabei werden parallel sowohl die Informationen der Haut-, Sehnen- und Gelenkrezeptoren verarbeitet. Ebenso reagieren hochsensible Dehnungsrezeptoren in den Muskeln auf die Spannungsänderungen während der Tastbewegungen mit dem Fuß. Diese besonderen Rezeptoren in den Muskeln werden als Muskelspindeln bezeichnet und stellen ein feines Geflecht aus sensiblen Fasern dar, das die Muskulatur -Faser für Faser - durchzieht. Verändert sich die Spannung des Muskels, z.B. bei größerer Kraftanstrengung, so senden die beteiligten Muskelspindeln Signale an das Gehirn. Aber auch im umgekehrten Fall sind die Muskelspindeln von Bedeutung. Dann nämlich, wenn der Muskel eine bestimmte Spannung erreichen soll, liefern diese Rezeptoren die nötigen Informationen über den aktuellen Spannungszustand der Muskelfaser. Nur so ist es möglich, die Muskelspannung je nach Anforderung richtig zu dosieren und das ist natürlich auch beim Treppensteigen von Bedeutung. Denn so schnell wie die haptischen Erfahrungen der ersten Treppenstufe verarbeitet werden, so schnell wird der ganze Körper und der notwendige Bewegungsablauf für das Treppensteigen auf die Startparameter eingestellt. Die nachfolgenden Bewegungen des Treppensteigens verlaufen daher in der Regel fehlerlos und ohne bewusste Aufmerksamkeitszuwendung. Fuß, Knie und nachfolgende Körperbereiche werden auf die notwendigen Sollwerte der erwarteten Treppenstufen justiert, so dass das Bein nicht zu hoch und auch nicht zu tief angehoben wird. Lediglich dann, wenn nur eine einzige Stufe um wenige Millimeter in ihrer Höhe oder Tiefe von allen anderen abweicht ist das Stolpern vorprogrammiert. Dann nämlich stimmen die Sollwerte des Tastsinnessystems nicht mehr mit der Realität überein und die Umwelt muss neu, in diesem Fall mit den Beinen, erkundet werden. Dieses „Treppen-Beispiel“ soll verdeutlichen, dass bei haptischer Wahrnehmung ein abhängiges und hochkomplexes Zusammenspiel aus sensorischen und motorischen Informationen stattfindet. Wie und auf welche Weise diese großen Informationsmengen letztlich im Gehirn zu einer bewussten oder nicht bewussten haptischen Wahrnehmung verarbeitet werden ist eine wichtige Fragestellung, die lange noch nicht beantwortet wurde.

2. Haptik als Wissenschaftsgebiet: Terminologische Aspekte

Das Tastsinnessystem des Menschen ist nicht nur hinsichtlich des gigantischen Rezeptornetzwerkes (ca. 600-700 Millionen tastsinnessensible Rezeptoren), sondern auch wegen seiner verschiedenen Funktionsdimensionen das größte und komplexeste Wahrnehmungssystem des Menschen (s. Abbildung 6). Es ist dafür verantwortlich, daß sowohl Berührungen des Körpers, Berührungen externer Strukturen als auch körpereigenbewegungen als solche wahrnehmbar sind. Im ersteren Fall nutzt man in der wissenschaftlichen Terminologie den Begriff der *taktilen Wahrnehmung*. Entscheidend ist hierbei, dass sich das wahrnehmende Subjekt dem Reiz gegenüber passiv verhält. Das heißt, wenn sich ein Mensch in einer bewegungslosen Ruhesituation befindet und sein Körper zum Beispiel durch einen anderen Menschen oder einen Gegenstand berührt wird, entstehen durch hirnhysiologische Verarbeitungsprozesse im passiv Berührten taktile Wahrnehmungen. Die taktile Wahrnehmungsschwelle beträgt auf der Fingerkuppe ca. 1mm. D.h., wenn auf die menschliche Fingerkuppe ein Oberflächenunterschied von ca. 1mm appliziert wird, dann ist dieser Unterschied für uns bei passiv taktiler Reizung spürbar. Dagegen entstehen im aktiv handelnden Menschen *haptische Wahrnehmungen*, mit einem extrem hohen Komplexitätsgrad selbst bei einfachsten Handlungen. Haptische Wahrnehmungsprozesse integrieren gleichzeitig körpereigene Informationen, die sich aus

der Eigenaktivität des handelnden Körpers selbst ergeben – die sogenannten interozeptiven Informationen (Interozeption). Diese setzen sich aus den Lage- und Stellungsinformationen des gesamten Körpers - den sogenannten propriozeptiven Informationen (Propriozeption) - und den Informationen aus den verschiedenen inneren Organen - den viszerozeptiven Informationen (Viszerozeption) - zusammen. Zusätzlich werden während haptischer Wahrnehmungsprozesse noch exterozeptive Informationen (Exterozeption) integriert; diese entstehen aus der Perspektive des Tastsinnessystems wenn der Körper (sein Grenzflächenorgan die Haut oder tiefer gelegene Strukturen wie Muskeln, Sehnen, Gelenke) mit anderen Objekten oder Subjekten in direkten physischen Kontakt tritt. Exterozeptive Informationen liefern demnach, vermittelt über den Körperkontakt, direkt oder indirekt (Vibration) physische Informationen über die Eigenschaften von externen Objekten und Subjekten (siehe Abbildung 7).

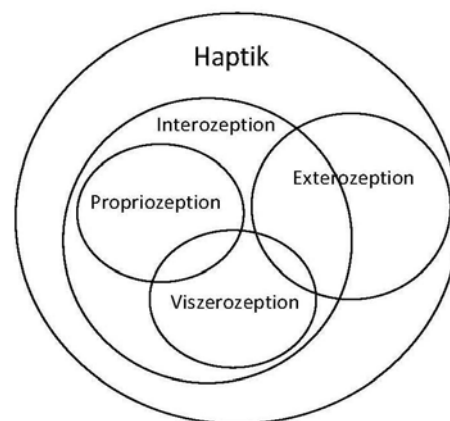
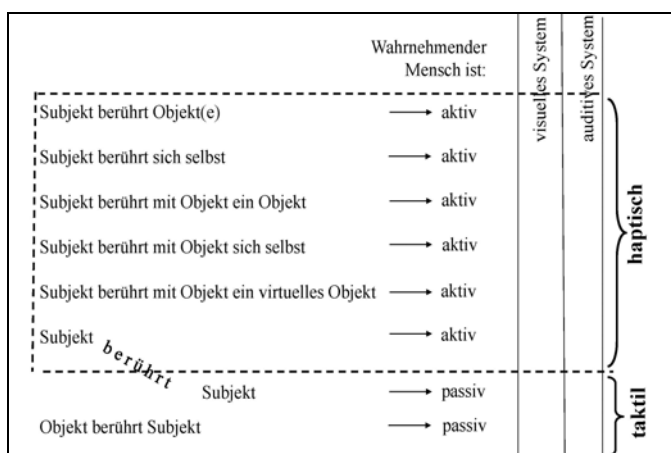


Abb.: 6 Dimensionen des Tatsinnessystems

Abb: 7 Perceptuelle Ebenen der Haptik

Bei aktiv agierenden Menschen, die sich selbständig bewegen und z.B. Gegenstände oder andere Menschen durch Ihre Körperteile berühren, werden demnach sehr komplexe Wahrnehmungen generiert, die mit einfachen taktilen Wahrnehmungen nicht vergleichbar sind. Die Wahrnehmungsschwelle für haptische Reize ist um den Faktor 1000 niedriger als für taktile Reize. D.h., bei aktiven Tastbewegungen können wir Oberflächenunterschiede von weniger als 1µm feststellen. Die Stellung des Subjektes zum Reiz ist somit hinsichtlich der Differenzierung von Wahrnehmungsprozessen wesentlich.

Aus methodischen Gründen hat sich in der Wissenschaft ein relativ breites Spektrum an Wissen zur taktilen Wahrnehmung etabliert. Der methodische Vorteil dieser Perspektive besteht darin, dass bei Untersuchungen zur taktilen Wahrnehmung in der Regel ein an sich hochbewegliches und stets aktiv agierendes Subjekt durch entsprechende Laborrestriktionen in ein hochgradig passives Subjekt verwandelt werden kann. Erreicht wird dies durch entsprechende Fixierung z.B. des Hand-Arm-Komplexes oder durch anderweitige Sanktionierung der natürlichen Bewegungsfreiheit. Auf diese Weise können dann sogenannte >Elementarprozesse der Tastwahrnehmung< untersucht werden. In Wirklichkeit sind jedoch taktile Wahrnehmungen ein im Alltag nur sehr selten anzutreffender Fall, da es das bewegungslose, passive Subjekt nur in Sonderfällen (z.B. bei neurologischen Erkrankungen) gibt. David Katz (1925), ein Pionier der deutschsprachigen Tastsinnesforschung, hat die isolierte

Analyse taktiler Prozesse überspitzt wie folgt kritisiert: „Die meisten Menschen dürften sterben, ohne je die Reizung eines isolierten Druck- oder Wärmepunkteserlebt zu haben.“ (S. 11). Trotz und wegen dieser methodischen Limitierungen wissen wir heute sehr viel über die psychophysiologischen Prozesse bei taktilen Wahrnehmungsprozessen und nur sehr wenig über haptische Wahrnehmungsprozesse. In der nachfolgenden Graphik soll verdeutlicht werden, in welchen Dimensionen das Tastsinnessystem von Bedeutung ist und wie sich hierzu die wissenschaftliche Terminologie verhält. Der Begriff *Haptik*, als Terminus zur Bezeichnung der wissenschaftlichen Lehre über das Tastsinnessystem, wurde von dem Berliner Psychologen Max Dessoir (1892) in Anlehnung an die Begriffe „Optik“ und „Akustik“ eingeführt. Mit dieser Begriffswahl versuchte Dessoir die außerordentliche funktionale Vielfalt der Leistungen des Tastsinnessystems in eine Fachgebiets- und Gegenstandsbezeichnung zu integrieren ohne sich explizit darüber zu äußern, welche akademische Disziplin dieses Fachgebiet - Haptik - vorzugsweise und federführend bearbeiten sollte. Denkbar ist, daß schon Dessoir erkannte, daß die Haptik nicht von einer einzelnen akademischen Disziplin, zum Beispiel der Psychologie oder der Physiologie vermessen und gestaltet werden kann. Denn heute mehr als gestern ist es durch die international etablierte und eingeschränkte Themen- und Gegenstandslogik der akademischen Psychologie ausgeschlossen, daß die wissenschaftliche Psychologie das gesamte Spektrum der Haptik als Fachgebiet bewältigen könnte. Die historisch entwickelte Zergliederung innerhalb der wissenschaftlichen Psychologie macht es zudem scheinbar unmöglich, daß sich diese Disziplin als thematisch-methodisch integrierender Motor zur systematischen Erforschung des Fachgebietes Haptik eignen würde. Ähnliches gilt für weite Bereiche der Physiologie. Allein die fatale und folgenreiche Trennungslogik beider Disziplinen hinsichtlich der sensorischen, motorischen und kognitiven Aspekte menschlichen Handelns machen deutlich, daß die thematischen und methodischen Grundlagen beider Fächer derzeit nicht genügen, um jeweils allein eine empirisch begründete Theorie der menschlichen Haptik zu entwickeln bzw. sich eine solche als zielführendes Programm vorzuschreiben⁴. Abgesehen davon, das sich keine der beiden genannten Disziplinen auch nur annähern ein solches Ziel gesetzt hätte, - die Perspektive einer dieser beiden Disziplinen allein kann per se nicht genügen, um einen integrierten Ansatz der Haptik zu erarbeiten. Vielmehr wird zu erwarten sein, daß sich die Haptik eines Tages als souveränes Fachgebiet innerhalb eines traditionsgelösten Fächerkanons der Lebenswissenschaften entwickeln und etablieren wird.

Der aktuelle Zustand der Haptik-Forschung ist gegenwärtig vor allem dadurch gekennzeichnet, daß die stärksten Forschungsanstrengungen in technikkwissenschaftlichen Bereichen stattfinden. Diese Entwicklung wird einerseits durch die ingenieurwissenschaftliche Forderung nach einer besseren Gerätehandhabung und geringerer Fehlbedienung befördert und andererseits ergibt sich in den vielfältigen Bereichen der Robotik der unbedingte Wille zur technischen Simulation und Implementierung von einfachen bis komplexen - maschinell vermittelten - Tastsinneseindrücken. Weltweit werden deshalb in diesen Fachbereichen die weitaus größten Forschungsressourcen für die biowissenschaftliche Grundlagenforschung und die Entwicklung anwendungsbedingten Wissens bereitgestellt (Grunwald 2009). Vor diesem Hintergrund und auch angesichts des sonstigen starken Anwendungsinteresses von Haptik-Forschung (Marketing, Werbung, Rehabilitationstechnologie u.a.)

⁴ Emil von Skramlik (1886-1970) unternahm als Physiologe an der Friedrich-Schiller-Universität zu Jena den Versuch, das seinerzeit denkbare Spektrum der Haptik umfassend und empirisch-analytisch darzustellen. Sein monumentales Werk von mehr als 900 Seiten „Die Psychophysiologie der menschlichen Tastsinne“ (1937) dokumentiert diesen Versuch der sowohl von Seiten der Psychologie als auch durch die Physiologie erst vollständig ignoriert und dann ebenso vollständig vergessen wurde. Ein Abriß zur Geschichte der deutschsprachigen Tastsinnesforschung wird in Grunwald & John (2008) vorgestellt.

ist die aktuelle inhaltliche und strukturelle Zurückhaltung der lebenswissenschaftlichen Forschungsbereiche eher unverständlich.

3. Ontogenetische Aspekte des Tastsinnessystems

Die Notwendigkeit der erheblichen biologisch-evolutionären Aufwendungen, die zur Gestaltung des Tastsinnessystems beim Menschen beigetragen haben, wird in ihrer Funktion und Bedeutung erst dann hinreichend verständlich, wenn man die Wirkungsweise des Tastsinnessystems aus ontogenetischer Perspektive betrachtet. Dieses Sinnessystem des Menschen ist die entscheidende Voraussetzung für die Fähigkeit zur aktiven und passiven Rezeption von Berührungsreizen in Relation zu den körpereigenen Bewegungen. Und so ist es aus biologischer Sicht folgerichtig, dass die erste Sensitivitätsreaktion eines Fötus auf externe Reize diejenige für Druckreize auf die Lippenhaut ist. Druck, d.h. Berührungsreize, die pränatal im Lippenbereich des Fötus appliziert wurden, führten bereits in der 8. Schwangerschaftswoche – bei einer Körpergröße von ca. 2.5cm – zu heftigen Ganzkörperbewegungen des Ungeborenen. Die Sensitivität auf externe Druckreize verändert sich in den folgenden Entwicklungswochen und breitet sich über den gesamten Körper des Fetus aus. Im gleichen Maße entwickelt sich die Fähigkeit zur koordinierten Bewegungen des gesamten Körpers. Die Reifungsentwicklung des Fetus innerhalb des Mutterleibes erreicht in der 12.-13. Schwangerschaftswoche einen derartig hohen Stand, dass man zielgerichtete Greifbewegungen der Hände um die Nabelschnur und schließlich die Nuckelbewegungen am eigenen Daumen mittels Ultraschalluntersuchungen beobachten kann (Krens & Krens 2006, Hepper 2008). Hierbei muss bedacht werden, dass all diese Aktivitäten unter völligem Ausschluss visueller Informationen stattfinden. Das Ungeborene entwickelt demnach lange, bevor die Reifung im Mutterleib durch die Geburt beendet wird, ein reichhaltiges und sehr komplexes Bewegungs- und haptisches Explorationsrepertoire, das es ihm ermöglicht explorativ-haptisch Informationen – auch über den eigenen Körper – zu erlangen und (!) zu verarbeiten. Neben den akustischen und olfaktorischen Informationen, die nachweislich auch nachgeburtlich dem Neugeborenen zur Verhaltensregulation zur Verfügung stehen, ist davon auszugehen, dass die Tast-Körpererfahrungen eine basale neuronale Matrix im Gehirn des Neugeborenen hinterlassen, die ein zentraler Bezugspunkt für alle anderen, später ausreifenden sensorischen Systeme ist. Wie diese Prozesse im Einzelnen reguliert werden, ist heute noch ungewiss.

Aber wie schon bei einzelligen Lebewesen gilt auch für die pränatale Entwicklung des Menschen, dass die innerorganismische Kodierung der körpereigenen Grenzen und der physikalischen Außenwelt über die basalen Funktionen des Tastsinnessystems generiert werden. Mit dieser grundsätzlichen Verortung des Organismus im Raum wird nicht nur die eigene Position des Organismus in der physikalischen Welt definiert, sondern es wird überdies ein perzeptiv-kognitiver Bezugspunkt bereitgestellt, auf den sich alle nachfolgend entwickelnden Sinnessysteme beziehen können und müssen. Denn kein akustischer, visueller oder olfaktorischer Reiz würde >an sich< für den Organismus von Bedeutung sein, solange dieser nicht eine Relation zu sich selbst und der physikalischen Außenwelt erarbeitet hat. Erst mit diesem Schritt, der sensorischen Verkörperung des Zellensembles als eigenständiger Organismus, wird die nachfolgende sensorische Zergliederung externer Reize durch die Ausbildung verschiedener Sensorsysteme für den Organismus sinnvoll. Nach dieser Annahme ist die zeitversetzte Entwicklung der Sinnessysteme innerhalb der menschlichen Ontogenese ein notwendiger Schritt und die Sonderstellung des Tastsinnessystems eine im wahrsten Sinne des Wortes natürliche Notwendigkeit.

Vor diesem Hintergrund wird auch verständlich, weshalb in der nachgeburtlichen Entwicklung der Tastsinn und die aktiv haptische Exploration der Umwelt eine hochdominante Form des Umwelterkennens beim Neugeborenen darstellt. Entwicklungspsychologen haben diesen Umstand schon sehr lange und ausführlich dokumentiert. Der eigene Körper sowie alle physikalischen Gegebenheiten der äußeren Welt, einschließlich die Körper der sozialen Bezugspersonen, sind intensiver Gegenstand des haptischen Erkundungsverhaltens von Kleinkindern (Damon 2006, Kiese-Himmel 2008). Die Bindung des Umwelterkennens ist nicht nur elementar mit der explorativen Natur des Tastsinnes verbunden, sondern die Fähigkeit zur Verarbeitung taktiler, passiver Berührungsreize stellt für die Neugeborenen ein >Lebensmittel< der besonderen Art dar. Wie aus zahlreichen Humanen- und Tierstudien bekannt ist, folgen wichtige Reifungsprozesse des Gehirns nur, wenn der jeweilige Organismus eine hinreichende, adäquate taktile und sozialvermittelte Stimulation seines Körpers erfährt. Fehlt dieser Stimulus oder ist er inadäquat (etwa im Sinne von Gewalterfahrungen), dann folgt mit naturgesetzlicher Sicherheit eine fehlerhafte Hirnreifung mit pathologischen Folgen für das soziale Verhalten und höhere kognitive Prozesse –im extremen Fall kann jene Mangelstimulation sogar zum Tode führen (Essman 1971, Prescott 1971, Zubek 1979, Bryan & Riesen 1989, Blum 2002).

4. Phylogenetische Aspekte Tastsinnessystems am Beispiel amöboider Haptik

Wenn auf wissenschaftlich-empirischer und schließlich auch auf praktischer Ebene ein Verständnis der funktionalen Bedeutung des Tastsinnessystems erarbeitet werden soll, genügt es nicht, nur die menschlich-ontogenetische Perspektive herauszuarbeiten. Vielmehr ist es für eine hinreichende Theoriebildung zur Haptik unabdingbar den phylogenetischen, d.h., den biologischen Kern der taktilen und haptischen Wahrnehmung an Lebewesen zu analysieren, in denen die Prinzipien des Lebens - der Fremd- und Eigenwahrnehmung - in ursprünglichster Form ausgebildet sind. Denn die Fähigkeit zur aktiv tastenden Umweltexploration und die dazugehörige Verarbeitung von Berührungs-, Bewegungs- und Druckreizen sind Leistungen, die nicht erst bei den sogenannten höheren Lebensformen - im Sinne von Jacob von Uexküll (1921) - ausgebildet sind. Vielmehr ist es eine vielfach und zuerst in der Biologie beschriebene und bestaunte Tatsache, dass einzellige Organismen taktile und haptische Reize adäquat für die Bewältigung ihrer Anpassungsleistungen verarbeiten können. Bereits Ernst Haeckel und seine Zeitgenossen (z.B. Max Verworn 1889, 1892) beschreiben elementare Lernleistungen von einzelligen Organismen, die wohlgerne über keine (!) einzige Nervenzelle verfügen. Diese großartigen Elementarleistungen der einzelligen Organismen haben zu recht Ernst Haeckel ermuntert, auf einer Tagung vom 22. März 1878 die Forderung an die Psychologie zu stellen, das „Seelenleben“ dieser einfachsten Organismenformen zu erkunden (Haeckel 1909). Und in der gleichen Abhandlung hebt E. Haeckel das Gesetz vom „Ursprung aller Sinne aus der Haut“ (Haeckel 1909, S. 13) hervor. Mehr als hundert Jahre nach dieser Tagung ist die Forderung von Haeckel auf Seiten der Psychologie noch immer nicht eingelöst. Auch wenn sich derzeit solche namhaften Physiker wie R. Penrose mit dem Problem der Informationsverarbeitung bei einzelligen Organismen beschäftigen (Penrose 2002) oder Nakagaki (2000), Tero (2008) die in eindrucksvollen Experimenten bestätigen konnte, daß einzellige Lebewesen nach gewissen Durchläufen in einem Nahrungslabyrinth irgendwann den kürzeren Weg zur Nahrungsquelle wählen. Doch nicht nur den Elementarprinzipien der Reizverarbeitung einzelliger Lebewesen wird innerhalb der Psychologie wenig bis gar keine Aufmerksamkeit geschenkt, sondern auch die phylogenetische und ontogenetische Sonderstellung der Haut bei der Entwicklung der verschiedenen Sinnessysteme

hat kaum oder gar nicht in aktuelle psychologische Perspektiven Einzug gehalten. Dabei ist allen einzelligen Lebewesen gemeinsam, daß sie sich auf der Basis verschiedener Fibrillentypen in den ihnen gemäßen Umgebungsbedingungen bewegen können. Diese Bewegungen dienen der Nahrungssuche und auch der Umsetzung von Fluchtreaktionen (!). Dieses Verhalten setzt nicht nur ein internes Abbild zur Erhaltung der eigenen Organismusstruktur voraus, sondern es werden auch Bewegungs- und Berührungsreize des eigenen Organismus relevant verarbeitet. Diese Verarbeitungsmechanismen müssen als elementare Basis den wesentlichen Unterschied zwischen *eigener Struktur* und *äußerer Umgebung* erfassen. Im anderen Fall könnten die Organismen nicht unterscheiden, was zu ihrer eigenen Organismusstruktur gehört und würden sich gegebenenfalls selbst als Nahrungsquelle bestimmen. Dass dies nicht der Fall ist, sollte uns zeigen, dass körperbezogene haptische Reize, die infolge von aktiven Bewegungen im Raum erfolgen, nicht erst bei höheren Organismen verarbeitet werden, sondern bereits in einzelligen Systemen. Weiterhin belegen diese Beobachtungen, daß einzellige Organismen etwas Ähnliches generieren, daß wir beim Menschen als „Körperschema“ bezeichnen: ein internes, neuronales Abbild der eigenen Körpergrenzen – der räumlichen Ausdehnung des eigenen Organismus.

Der Autor sieht in diesen Leistungen ein evolutionäres und auf phylogenetischer Ebene verwirklichtes Grundprinzip der Biologie, daß jeder sich selbst bewegende Organismus auf elementarer Stufe Körper- und Bewegungsreize verarbeiten kann. Diese Form der Tastsinnesreizverarbeitung, wie wir sie bei Einzellern beobachten können, ermöglicht die Analyse von physischen Reizen, welche direkt auf den Körper einwirken (taktile Reize) und in Kombination mit dem eigenen Bewegungssystem (haptische Reize), die zielgerichtete Fortbewegung im Raum. Damit sind alle für einen bewegungsfähigen einzelligen Organismus nötigen Voraussetzungen geschaffen, die Relation zwischen Innen (Organismus) und Außen (physikalische Außenwelt) auf eine uns bis heute nicht bekannte Weise zu kodieren. Die Fähigkeit, Körpereigene- und Tastsinnesreize zu verarbeiten, findet sich im gesamten Tierreich, wobei sich eine Vielzahl spezialisierter Höchstleistungen aufführen ließe. Diese übertreffen in der Regel bei Weitem die Tastsinnesleistungen des Menschen und belegen, das sich über die Phylogenese der Organismen die Tastsinnesfähigkeit als Basisleistung erhalten und jeweils Artspezifisch entwickelt hat (Smith 2000). Zudem stellen die Druck- und Mechanorezeptoren das sensorische Grundgerüst für die Entwicklung des auditiven und vestibulären Systems dar.

In eigenen Pilotstudien sind wir der Frage nachgegangen, ob einzellige Organismen - in unserem Falle amoeba proteus (ca. 80-100µm groß) - in der Lage sind, Oberflächenunterschiede haptisch wahrzunehmen und ob hinsichtlich dieser Umweltmerkmale Gedächtnisspuren im Verhalten dieser Einzeller nachzuweisen wären. Zur Überprüfung der Annahmen nutzten wir aufgeraute Glasflächen als experimentelles Setting. Mittels eines Diamantfräasers wurde die Oberfläche eines normalen Objektträgerglases (wie es standardmäßig in der Mikroskopie verwendet wird) auf einer Länge von 10mm mit einer Breite von 1mm (Tiefe ca. 100µm) aufgeraut. Dieses Experimentierfeld wurde nun in eine Petrischale mit amöbenspezifischer Nährlösung gegeben. Im Anschluß daran wurde aus einer Kolonie von amoeba proteus ein Individuum ausgewählt und dieses mittels Mikromanipulation auf das Experimentierfeld, in unmittelbare Nähe der aufgerauten Struktur, gebracht. Mittels Videomikroskopieaufzeichnung (Infrarot) erfolgte die Langzeitregistrierung und Beobachtung der Bewegungsaktivitäten des Organismus. Wesentliches Resultat dieses ersten experimentellen Teils ist es, dass alle fünf von uns untersuchte Organismen in charakteristischer, jedoch individueller Weise, die raue Glasoberflächen haptisch exploriert hatten. Als Maß für diese Beurteilung nutzten wir die Verweildauer des Organismus auf der rauen Oberflächenstruktur im Vergleich zur glatten Oberflächenstruktur, die nachträglich durch frame-to-frame Analysen ermittelt wurde. Die gesamte

Beobachtungszeit pro Organismus betrug zwischen 14-17h. Jeder Organismus zeigte zu Anfang der Experimentalsituation eine längere Verweildauer auf der rauen Glasstruktur als auf der gewohnten glatten Oberfläche. Im Verlauf des Experiments verkürzten sich die Verweildauern auf der rauen Oberfläche bei jedem untersuchten Organismus. Ein typischer Verlauf der haptischen Exploration der Glasoberflächen (rau vs. glatt) wird schematisch in der Abbildung 8 dargestellt. Zweifellos stellte diese Form der Umweltänderung, die wir durch die Aufrauung der Glasoberfläche künstlich hergestellt hatten, eine Reizstruktur dar, die von den untersuchten Amöben registriert wurde. Die anfänglich lange Verweildauer auf der rauen Fläche und späterhin die deutliche Abnahme der Verweildauer deutet daraufhin, daß diese Reizstruktur nach und nach ihren Neuheitswert für die Amöben eingebüßt hat. Da sich offenbar die raue Oberflächenanteil des Experimentierfeldes für die Amöben nicht dauerhaft als nützlich oder nahrungsrelevant erwiesen hat, zeigten die Organismen ein individuell zeitlich begrenztes Explorationsverhalten der aufgerauten Fläche. Allein dieser Umstand ist bemerkenswert und es dürfte einige Anstrengungen erfordern, diese Verhaltensregulation der Organismen auf chemisch-physikalische Vorgänge innerhalb und außerhalb der Amöbe zurückzuführen.

Um nun zu prüfen, ob sich durch die haptische Exploration bei den Organismen Gedächtnisspuren ausgebildet hatten, isolierten wir die Experimentalorganismen jeweils nach dem ersten Durchgang und verlegten sie in eine einzelne Petrischale ohne andere Organismen für die Dauer von 24 Stunden. Diese schwierige mikromanipulatorische Prozedur gelang jedoch lediglich bei einem Organismus. Dieser (Labornamen „Anton 2“) wurde nach der Isolation wiederum auf das Experimentierfeld verbracht und es folgte die erneute Aufzeichnung der Bewegungsaktivitäten des Organismus auf und neben der aufgerauten Glasoberfläche. Zu unserem Erstaunen zeigte die Amöbe im gesamten zweiten Beobachtungszeitraum nur zwei relativ kurze Verweildauern auf der rauen Oberflächenstruktur. Danach wandte sie sich endgültig der Exploration der sonstigen Umgebung zu und verließ die Fläche des Experimentierfeldes (Abbildung 9). Sicherlich ist diese Beobachtung an einem Organismus nicht geeignet um generelle Aussagen zu möglichen Gedächtniseffekten bei Einzellern zu entwickeln. Dennoch kann diese Einzelfallbeobachtung hypothesengenerierend genutzt werden: sollten keine anderen Verhältnisse das Verhalten der Amöbe in diesem zweiten Experiment beeinflusst haben, so ist anzunehmen, daß sich der Organismus - auf welche Weise auch immer - an die für ihn irrelevante Oberflächenstruktur der rauen Glasoberfläche „erinnerte“ obgleich in diesem Falle das biologische Substrat dieser Leistung uns nicht bekannt wäre. Grundsätzlich verweisen die Beobachtungen aus unserer Pilotstudie auf die prinzipielle Möglichkeit einer haptischen Orientierungsreaktion und möglicher Weise auch auf haptische Gedächtnisleistungen bei einzelligen Organismen. Notwendig sind nunmehr systematische Folgeuntersuchungen, weitere experimentelle Modifikationen und die Reproduktion der bisherigen Befunde an einer größeren Anzahl amöboider Organismen.⁵

⁵ Videobeispiele aus diesen Experimenten werden auf der Web-Seite des Haptik-Labors (www.haptik-labor.de) präsentiert.

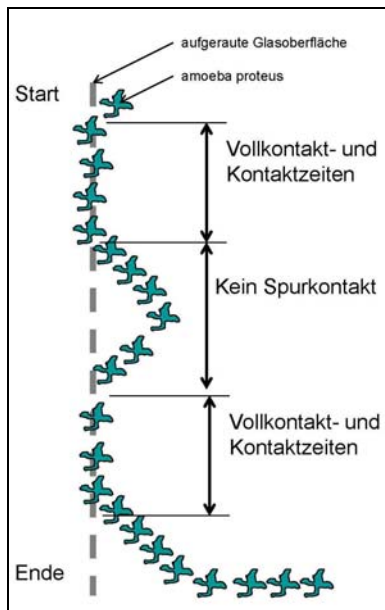


Abb.: 6 Explorationsweg einer amoeba proteus auf aufgerauter Glasspur

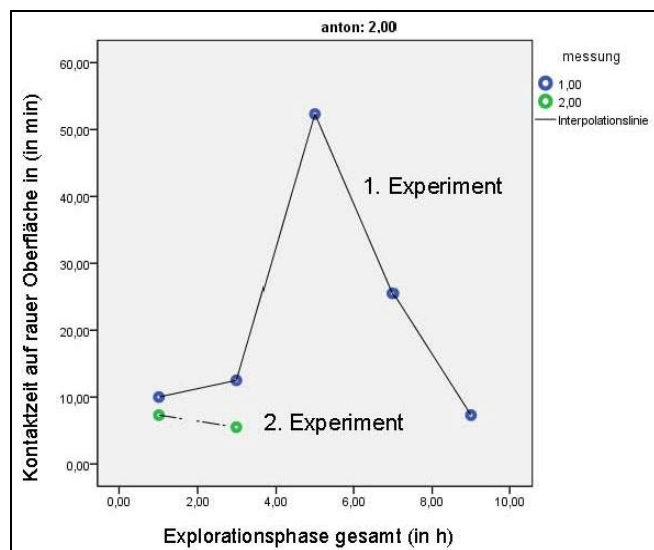


Abb: 7 Kontaktzeiten einer amoeba proteus auf aufgerauter Glasspur im 1. und 2. Experiment

5. Sinn und Funktion von Selbstberührungen

Gemeinhin richtet sich die wissenschaftliche und populäre Aufmerksamkeit auf das Wahrnehmungsgeschehen, das durch Berührung des eigenen Körpers – durch andere Subjekte oder Objekte - stattfindet. Wenig Aufmerksamkeit erzielt dabei ein alltäglicher Sonderfall von Berührungsaktivität und Berührungswahrnehmung, der nur durch seine geringe Beachtung innerhalb der Tastsinnesforschung zu einem Sonderfall wird. Tatsächlich sind wir aufgrund unserer Körperform und der Anordnung unserer Körperteile in der Lage, eigene Körperpartien vorzugsweise mit unseren Extremitäten selbst zu berühren. Im alltäglichen Regelfall berühren wir mehrere hundert Mal am Tag Bereiche unserer Gesichtshaut mit den Fingern oder der gesamten Handfläche; auch andere Körperpartien werden ohne anderen Funktionszusammenhang durch unsere Hände täglich berührt. Diese körpereigenen Berührungen, auch Selbstberührungen genannt, finden in der Regel ohne bewusste Wahrnehmung statt. Die zeitliche Dauer solcher körperlichen Selbstberührungen kann sehr kurz sein – zwischen 1-3 Sekunden. Zur Charakterisierung der hier besprochenen Selbstberührungen ist wichtig zu bemerken, dass nur jene Formen gemeint sind, die funktional nicht durch die Regulation von Schmerz- oder Juckereignissen, oder durch die Regulation von Sexualfunktionen motiviert sind. Denn die weitaus häufigste Form der körpereigenen Selbstberührung kann nicht einer der o.g. Funktionen zugeordnet werden. Selbstberührungen in Form von Gesichtsberührungen, Kopfkratzen, Naseberühren, Nasezupfen, Kinnkratzen, Ohrzupfen, Augenlider reiben usw. treten auf, wenn die betreffende Person allein ist oder sich in Gesellschaft mit anderen Menschen befindet.

In der Forschung zu nonverbalen Gesten existieren verschiedene Versuche, körperbezogene Selbstberührungen zu klassifizieren (Freedman et al. 1973; Freedman & Hoffman 1967; Wallbott 1979; Wallbott 1982; Harrigan 1985). Entsprechende Klassifikationen fokussieren jedoch vorwiegend die Relation von Körpergesten zu Sprachproduktions- und Kommunikationsprozessen. Selbstberührungen fördern oder hemmen demnach sprachliche Ausdrucksbemühungen. Wallbott (1979, 1982) entwickelt aus seinen Beobachtungen die Vermutung, dass es einen u-förmigen

Zusammenhang⁶ von Erregungsniveau und Häufigkeit der Selbstberührung geben könnte: danach würden Selbstberührungen bei geringerer emotionaler und kognitiver Erregung eine Steigerung der Aktivität ermöglichen und gleichzeitig könnten sie bei einem zu hohen Erregungsniveau beruhigend wirken. Damit ist Wallbott einer der ersten, der eine psychophysiologische Funktion der Selbstberührungen annimmt. Harrigan (1985, 1986) versucht in ihren Untersuchungen zu belegen, dass Selbstberührungen mit emotionalen Zuständen der ausführenden Person in Zusammenhang stehen. Sie konnte beobachten, dass diese Form der Berührungen vermehrt bei angstauslösenden Situationen, kognitiven Spannungszuständen und in feindlich aggressiven Situationen bei Menschen auftritt. Studien an Primaten ergaben ähnliche Befunde: Maestriperi (1992) beschreibt das Körper selbstberührungen bei Primaten besonders in Konfliktsituationen auftreten, insbesondere beim Treffen von Entscheidungen oder wenn das Tier von der Zielerreichung abgehalten wird. Es wird vermutet, dass in Konfliktsituationen zunächst Spannung erzeugt wird, die durch Selbstberührungen abgebaut werden (s.a. Tinbergen 1952). Die direkte Verknüpfung zwischen Selbstberührungen und dem aktuellen emotionalen Handlungsniveau wurde in einer pharmakologischen Studie an Primaten experimentell untersucht. So führt die Gabe von angststeigernden Medikamenten zu einer erhöhten Rate der Selbstberührungen (Ninan et al. 1982), während sie bei angstdämpfender Medikation (Anxiolytika) sinkt (Schino et al. 1991). Die derzeit vorliegenden Befunde sprechen demnach dafür, eine direkte Beziehung zwischen dem Auftreten von Selbstberührungen und dem emotionalen Status des handelnden Subjekts anzunehmen. Zudem kann vermutet werden, dass Selbstberührungen eine regulatorische Funktion besitzen, in dem Sinne, dass mit und durch die Ausführung von Selbstberührungen innere Prozesse im Organismus beeinflusst werden.

Die zugrundeliegenden physiologischen Mechanismen dieser Regelfunktionen sind jedoch noch nicht bekannt. Auch aus diesem Grund haben wir eine Studie zur Aufklärung der neurophysiologischen Grundlagen von Selbstberührungen durchgeführt (Details siehe Grunwald et al. 2011 (submitted)). Ebenso wollten wir prüfen, ob die Funktionen der Selbstberührungen sich tatsächlich nur auf mögliche emotionale Regelbereiche erstrecken oder ob nicht auch basale kognitive Prozesse, wie Aufmerksamkeit und Gedächtnis über den Prozess der Selbstberührung modifiziert werden. In der Studie, deren eigentlicher Zweck erst zum Abschluss der Untersuchungen den Probanden vollständig aufgeklärt wurde, sollten die Probanden einen komplexen haptischen Stimulus erkennen und sich über eine Zeitspanne von fünf Minuten merken. Nach der Merkzeit sollten dann die Probanden den erkannten Stimulus aufzeichnen. Innerhalb der Merkzeit wurden den Probanden aus einer sogenannten Sound-Batterie (Bradley & Lang 2000) relativ unangenehme akustische Beispiele wie Kindergekreisch, Unfallgeräusche usw. vorgespielt. Während der gesamten Prozedur leiteten wir das EEG der Probanden ab und zeichneten zudem noch ein Videosignal des Oberkörpers auf. Wie zu erwarten störten die akustischen Einspielungen die Probanden, bzw. die externen Informationen störten die Prozesse der Merkleistung; eigentlich wollten und sollten sich die Probanden ganz auf den komplizierten Stimulus konzentrieren, den sie nach mühsamer Exploration erkannt hatten damit sie ihn nach der fünfminütigen Wartezeit auch richtig reproduzieren konnten. In dieser belastenden

⁶ Als u-förmigen Zusammenhang werden Verhältnisse bezeichnet, bei denen die Verteilung der Werte zweier Variablen eine bildhafte U-Form ergibt. In diesem Beispiel würde das Maß des Erregungsniveaus auf der x-Achse abgetragen und die Anzahl der Selbstberührungen auf der y-Achse. Ein geringes Erregungsniveau (niedrige Werte auf der x-Achse) würde hypothetisch eine hohe Anzahl von Selbstberührungen provozieren. Ein mittleres Erregungsniveau, eine geringe Anzahl von Selbstberührungen und ein sehr hohes Erregungsniveau würde wiederum eine hohe Anzahl von Selbstberührungen nach sich ziehen. Der Wertegraph dieser Verhältnisse würde dann eine U-Form ergeben.

Versuchsphase zeigte nun ein großer Teil der Probanden (männliche ebenso wie weibliche) die erwarteten gesichtsbezogenen Selbstberührungen. Die Probanden berührten ihre Nase, oder die Wange, die Mundpartie oder das Ohr u.ä.. Am Ende des ersten Versuchsteils baten wir die Probanden sich u.a. fünf Mal an die Nase, an die Wange usw. zu fassen. Auch hierbei wurde wieder das EEG aufgezeichnet. Wir verglichen die hirnelektrische Aktivität unmittelbar vor Beginn der Selbstberührungen (3 Sekunden) mit der Aktivität unmittelbar nach Abschluss der Selbstberührungen (3 Sekunden). Sollten die Selbstberührungen Ereignisse sein, die keinen Einfluss auf die Hirnaktivität haben, dann wäre zu erwarten, dass sich im Vergleich der Hirnaktivität kurz vor der Selbstberührung und kurz danach keine wesentlichen Änderungen zeigen. In diesem Fall würde sich die Hirnaktivität also durch die Selbstberührung nicht verändern. Die Analyse zeigte jedoch das genaue Gegenteil. Die Hirnaktivität ändert sich nach der Selbstberührung im Vergleich zur Phase davor signifikant in zwei Frequenzbereichen. Zum einen im langsamen Theta-Band (4.0–8.0 Hz) und im schnellen Beta-Band (13.0–24.0Hz). In beiden Frequenzbereichen nimmt die Hirnaktivität in der Nachberührungsphase zu. Entscheidend ist nun, dass diese EEG-Veränderungen nicht zu beobachten waren, wenn wir die Hirnaktivität der Selbstberührungen untersuchten, die auf unsere Anweisungen hin durchgeführt wurden. D.h., nur bei den spontan ausgeführten Selbstberührungen konnten wir Änderungen der Hirnaktivität überhaupt feststellen (s. Abbildung 10). Anders formuliert: Selbstberührungen sind erst dann Selbstberührungen im neurophysiologischen Sinne, wenn sie spontan ausgeführt werden.

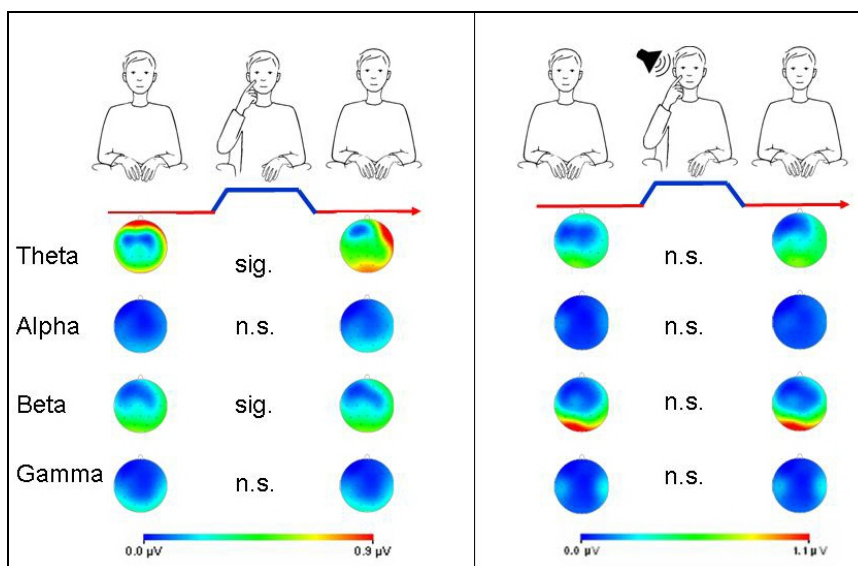


Abb.: 10 Spektrale EEG Leistung in verschiedenen Frequenzbändern vor und nach spontaner Selbstberührung (linke Abbildung), sowie vor und nach aufgeforderter Selbstberührung. Signifikante Veränderungen der EEG-leistung traten nur bei spontanen Selbstberührungen auf.

Die EEG-Veränderungen, die wir in unserer Studie nachweisen konnten, deuten darauf hin, dass Selbstberührungen im Bereich des Gesichtes mindestens zwei Funktionen haben. Zum einen regulieren sie offenbar unseren emotionalen Zustand in der Weise, dass bei sehr hoher emotionaler Erregung und der damit verbundenen physiologischen Übererregung durch die Selbstberührungsstimulation unser emotionaler Erregungszustand einen mittleren Wert erreichen kann. Des Weiteren stützen unsere Ergebnisse die Annahme, dass gesichtsbezogene Selbstberührungen einen Einfluß auf die Regulation von Arbeitsgedächtnisprozessen ausüben. Die Veränderungen in der Theta-Aktivität deuten darauf hin, dass die Selbstberührungsstimulation ein

weiteres Abfallen der Theta-Aktivität, bedingt durch die emotionalen Stressoren der Untersuchungssituation, verhindert. Denn die Aufrechterhaltung einer aufgabenbezogenen, prominenten Theta-Aktivität sichert die Behaltensleistung über die Versuchsdauer hinweg. Können im Rahmen des Versuchs die störenden und belastenden Begleitinformationen und die damit einhergehenden emotionalen Störungen nicht adäquat kompensiert bzw. unterdrückt werden, dann würden die Probanden am Schluß der akustischen Störsequenz den Inhalt ihres Arbeitsgedächtnisses - die zu merkende Figur - vergessen haben. Möglicher Weise ist die neurophysiologische Basis dieser Regelprozesse direkt an Hormone, wie zum Beispiel das Oxytocin gebunden, die bei der Selbstberührungstimulation kurzzeitig freigesetzt werden. Denkbar ist auch ein anderer biochemischer Prozess der zum Beispiel an der Regulation der stressinduzierten Cortisolproduktion beteiligt ist. Der direkte Nachweis dieser Annahmen bedarf jedoch eines erheblichen biochemisch-experimentellen Untersuchungsaufwandes, der vorzugsweise in zukünftige Untersuchungen gewagt werden wird. Auch wenn, wie schnell zu sehen ist, noch sehr viel Detailarbeit notwendig sein wird, um nur allein diese hochalltägliche Verhaltensregulation der Selbstberührung hinreichend gut zu verstehen, so kann man doch heute schon mit einiger Sicherheit davon ausgehen, dass diese Form der Berührungen weder sinn frei noch ohne Zweck erfolgen. Vielmehr scheint es so zu sein, dass wir mittels dieses regulativen Minimalwerkzeuges doch ganz erstaunliche Dinge in und mit uns organisieren können, ohne dass wir auf die berührende Unterstützung eines anderen Subjektes angewiesen sind. Das Tastsinnessystem ist vor diesem Hintergrund nicht nur ein probates Werkzeug im Umgang mit der Welt außerhalb unseres Körpers, sondern es stellt gleichzeitig Mittel zur Verfügung damit das Körpersystem in nicht sozial unterstützten Belastungssituationen adäquat handlungsfähig bleibt. Dieses Beispiel sollte auch zeigen, auf welcher elementaren und bisher unverstandenen Ebene Körper(eigen)berührungen den Handlungsstatus unseres Organismus wesentlich verändern. Es ist zu hoffen, dass diese komplexen Funktionen zukünftig durch verschiedene Wissenschaftsbereiche integrativ - mit dem Ziel einer Theorie der Haptik - erforscht werden, damit wir die vielfältigen Funktionen des Tastsinnessystems – und damit uns selbst – besser, und zum eigenen Wohl, begreifen.

Referenzen

- Blum, D. (2002): Harry Harlow: Love at Goon Park: Harry Harlow and the Science of Affection. Perseus Publishing. [Übersetzung von Sabine Grunwald: Die Entdeckung der Mutterliebe. Die legendären Affenexperimente des Harry Harlow. Beltz Verlag 2010].
- Bradley, M. M., Lang, P.L. (2000): Affective reactions to acoustic stimuli. *Psychophysiology* 37.2, 204-15.
- Bryan, Guy K., Riesen, A.H. (1989): Deprived Somatosensory-Motor Experience in Stumptailed Monkey Neocortex: Dendritic Spine Density and Dendritic Branching of Layer IIIB Pyramidal Cells. *The Journal of Comparative Neurology* 286: 208-217.
- Damon, William. (Ed.) (2006): *Handbook of Child Psychology*. Wiley.
- Dessoir, Max. (1892): Über den Hautsinn. *Arch. f. Anat. u. Physiol., Physiol. Abt.*, 175–339.
- Essman, W.B. (1971): Neurochemical changes associated with isolation and environmental stimulation. *Biological Psychiatry*, 3: 141.
- Freedman, N. & Hoffman, S.P. (1967): Kinetic behavior in altered clinical states: approach to objective analysis of motor behavior during clinical interviews. *Percept. Mot. Skills* 24, 527-539.
- Freedman, N., Blass, Thomas, Rifkin, Arthur & Quitkin, Frederic (1973): Body movements and the verbal encoding of aggressive affect. *J. Pers. Soc. Psychol.* 26, 72-85.
- Fritsch, B. (1994): Haut. In: D. Drenckhahn, W. Zenker (Hrsg.) *Anatomie, Band 2*, Urban & Schwarzenberg Verlag, S. 806ff.
- Grunwald, M.(Ed.) (2008): *Human Haptic Perception – Basics and Applications*. Berlin, Basel, New York: Birkhäuser Verlag.
- Grunwald, M., John, M. (2008): German pioneers of research into human haptic perception. In: M. Grunwald (Ed) *Human Haptic Perception – Basics and Applications*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser 2008, 15-39.
- Grunwald, M. (2009): Der Tastsinn im Griff der Technikwissenschaften? Herausforderungen und Grenzen aktueller Haptikforschung. *LIFIS-Online*: 09.01.2009 ISSN 1864-6972.
- Grunwald, M., Rall, L., Mueller, S., Weiss, T.: Emotional Stress and Facial Self-Touch Gestures. (2011 submitted).
- Haeckel, E. (1909): *Zellseelen und Seelenzellen*. Leipzig: Alfred Kröner Verlag.
- Halata, Z. (1990): Sensory innervation of the hairless and hairy skin in mammals including humans. In: Zenker, W., W. Neuhuber (eds.) *Primary Efferent Neuron: A Survey of Recent Morpho-functional Aspects*. pp. 19-34. Plenum Publishing Corporation, New York.
- Halata, Z. (1993): Sensible Nervenendigungen. In: Drenckhahn, D., Zenker, W. (Hrsg.): *Makroskopische Anatomie, Embryologie und Histologie des Menschen, Band 2.*, Urban und Schwarzenberg, S. 812-823.
- Harrigan, J. A. (1985): Self-touching as an indicator of underlying affect and language processes. *Soc. Sci. Med* 20, 1161-1168.
- Harrigan, J.A., Kues, J.R. & Weber, J.G. (1986): Impressions of Hand Movements - Self-Touching and Gestures. *Perceptual and Motor Skills* 63, 503-516.
- Hepper, P.G. (2008): Haptic perception in the human foetus. In: M. Grunwald (Ed) *Human Haptic Perception – Basics and Applications*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser, 149-154.
- Katz, D. (1925): *Der Aufbau der Tastwelt*. Leipzig, J.A. Barth.

- Kiese-Himmel, C. (2008): haptic perception in infancy and first acquisition of object words: Developmental and clinical approach. In: M. Grunwald (Ed) Human Haptic Perception – Basics and Applications. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser, 321-333.
- Krens, I., Krens H. (Hrsg.) (2006): Das Pränatale Kind: Grundlagen einer vorgeburtlichen Psychologie. Vandenhoeck & Ruprecht 2006.
- Krstić, R.V. (1997): Human Microscopic Anatomy. Springer Verlag.
- Louw, S., Kappers, A.M.L. Koenderink, J.J. (2000): Haptic detection thresholds of Gaussian profiles over the whole range of spatial scales. *Exp. Brain Res.* 132, 369-374.
- Maestripieri, D., Schino, G., Aureli, F., Troisi, A.A. (1992): Modest Proposal - Displacement Activities As An Indicator of Emotions in Primates. *Animal Behaviour* 44, 967-979.
- Delgado, M.R. (2008): Fool Me Once, Shame on You; Fool Me Twice, Shame on Oxytocin. *Neuron*, Volume 58, Issue 4, 470-471.
- Nakagaki, T., Yamada, H., Tóth, A. (2000): Maze-solving by an amoeboid organism. *Nature.* 28;407 (6803):470.
- Ninan, P.T. (1982): Benzodiazepine receptor-mediated experimental >anxiety< in primates. *Science* 218, 1332-1334.
- Penrose, R. (2002): Das Große, das Kleine und der menschliche Geist. Spektrum - Akademischer Verlag.
- Prescott, J.W. (1971): Early somatosensory deprivation as an ontogenetic process in the abnormal development of the brain and behavior. In: I.E. Goldsmith and J. Moor-Jankowski (Eds). *Medical Primatology*. S. Karger, Basel, New York.
- Price, M.L. & Griffiths, W.A.D. (1985): Normal body hair—a review, *Clinical and Experimental Dermatology*, (10), 87-97.
- Schino, G., Troisi, A., Perretta, G., Monaco, V. (1991): Measuring anxiety in nonhuman primates: effect of lorazepam on macaque scratching. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 38, 889-891.
- Skramlik, E. von (1937): *Psychophysiologie der Tastsinne*. Bd. 1 u. II. *Archiv für die gesamte Psychologie*: 4. Ergänzungsband, Leipzig: Akad. Verlags-Gesellschaft.
- Smith, C.U.M. (2000): *Biology of Sensory Systems*. Wiley.
- Tero, A., Yumiki, K., Kobayashi, R., Saigusa, T., Nakagaki, T. (2008): Flow-network adaptation in *Physarum amoebae*. *Theory Biosci.* 127(2):89-94.
- Tinbergen, N. (1952): 'Derived' activities; their causation, biological significance, origin, and emancipation during evolution. *Q. Rev. Biolog.* 27, 1-32.
- Uexküll, J.v. (1921): *Umwelt und Innenwelt der Tiere*. J. Springer: Berlin.
- Verworn, M. (1889): *Psychophysiologische Protistenstudien*. Jena: Fischer.
- Verworn, M. (1892): *Die Bewegung der lebendigen Substanz*. Jena: Fischer.
- Wallbott, H.G. (1979): *Nonverbale Kommunikation: Forschungsberichte zum Interaktionsverhalten*. Scherer, K.R. & Wallbott, H.G. (eds.), pp. 103-108 (Beltz, Weinheim, Basel).
- Wallbott, H.G. (1982): *Nonverbale und verbale Ausdrucksgestaltung in der Behandlung von Sprech-, Sprach- und Hörstörungen*. Lotzmann, G. (ed.), pp. 60-80 (Beltz, Weinheim, Basel).
- Zubek, J.P. (Ed.) (1969): *Sensory deprivation: Fifteen years of research*. Appleton Century Crofts.