Die Welt und uns selbst erspüren

Das somatosensorische System

von Jana Schlütter | **dasgehirn.info/** [3]

Vom kribbelnden Kuss bis zum schmerzlichen Anfassen der Herdplatte – das somatosensorische System [von griech. soma = Körper, latein. sensus = Sinn; das System für allgemeine Sensibilität. H.S.] beschert höchst angenehme und ziemlich unangenehme Sinnesempfindungen. Um Umwelt und eigenen Körper wahrzunehmen, ist es unabdingbar, bei Klein und Groß.

Plumps musste überall mit, ohne ihn tat Julia keinen Schritt. Bereits als Baby drehte sie einen seiner mit Watte ausgestopften Knöpfe vor dem Einschlafen – später wurde der kleine Stoffbär von ihr umhergeschleppt, gestreichelt und geküsst. Sauberer wurde er so nicht. Den Versuch ihrer Mutter, die abgewetzte Puppe durch ein neues Exemplar zu ersetzen, entlarvte Julia sofort: “Das ist nicht Plumps”, erklärte sie. Die Knöpfe fühlten sich anders an.

Wenn kleine Kinder die Welt entdecken, dann reicht es ihnen nicht, nur zuzuschauen und zuzuhören. Die Rassel wandert unwillkürlich von den Händen in den Mund, und auch der mit Badewasser vollgesogene Schwamm ist wohl zum Trinken da. Alles Neue müssen sie anfassen, um Form, Textur und Bedeutung zu begreifen. Und auch über die Babyjahre hinaus bleibt der Tastsinn ein wichtiges Hilfsmittel, um neue Dinge zu lernen.

Der Tastsinn ist aber nur ein – wenn auch essentieller Teil – des somatosensorischen Systems. Darüber hinaus besteht es aus mindestens drei weiteren Sinnen: dem Temperatursinn, dem Schmerzsinn und der Tiefensensibilität oder Propriozeption [4]. Während Letztere der Eigenwahrnehmung des Körpers dient, also Informationen von innen liefert, ist die wichtigste Außenstelle des somatosensorischen Systems unser mit Abstand größtes Sinnesorgan – die Haut (siehe: Außenstelle des Gehirns [5]). Von dort gelangen permanent Signale über das Rückenmark [6] ins Gehirn. Genauer gesagt zum somatosensorischen Cortex [7], der bei der Umwandlung der Reize in Wahrnehmungen hilft (siehe:Der Weg des Kusses [8]).

Es sind Wahrnehmungen, die nicht nur unabdingbare Informationen über die Umwelt und den eigenen Körper liefern, sondern unser gesamtes (Er-)Leben enorm bereichern. Was wäre ein Strandspaziergang, würden wir nicht die warme Sonne auf der Haut und den Sand unter den Füßen spüren? Zärtlichkeit und Sex ohne die Fähigkeit, Berührungen zu empfinden?

► Spüren ist lebenswichtig

Verglichen mit anderen Sinnen, vor allem dem Sehsinn, wird dem somatosensorischen System trotzdem oft wenig Beachtung geschenkt – auch von der Forschung. So gibt es in Deutschland nur ein einziges Labor, das sich speziell mit dem Tastempfinden beschäftigt (siehe: Der Homo hapticus [9]). Dabei erfüllen somatosensorische Wahrnehmungen lebenswichtige Aufgaben.

Schmerzen warnen uns, dass eine Verletzung oder eine Krankheit Leib und Leben bedroht. Ein Kribbeln auf der Haut signalisiert Parasiten. Durch Kalt- und Warmrezeptoren in der Haut erspüren wir die Temperatur von Gegenständen und der Umgebung, außerdem ermöglicht der Temperatursinn eine sehr feine Regulation der inneren Körpertemperatur – je nachdem wie heiß oder kalt es um uns herum ist. Vibration verheißt vielen Tieren nahe Beute oder auch Gefahr aus dem Hinterhalt. Und ohne die Rezeptoren [10] in Muskeln und Gelenken, die über die Position des Körpers im Raum informieren, würden uns selbst einfache Bewegungen schwer fallen. Über Berührung bestärken wir außerdem soziale Kontakte: In den Arm genommen zu werden, beruhigt in Notsituationen mehr als tausend Worte.

Anders als beim Hören, Riechen, Schmecken oder Sehen sind die Sinneszellen des somatosensorischen Systems nicht auf einen Körperteil wie Ohr, Nase, Mund oder Augen beschränkt. Im Gegenteil: Seine etwa 20 verschiedenen Rezeptortypen sind in unterschiedlicher Dichte über den gesamten Körper verteilt. Wer eine schnurrende Katze auf seinem Schoß kräftig streichelt, benutzt gleich drei Gruppen von Tastsinneszellen:

• Die Meissner-Körperchen [11] sind für leichte Berührungen zuständig und vermelden das seidige Fell,

• die lamellenartigen Vater-Pacini-Körperchen [12] registrieren Vibration und somit das Schnurren.

• Und die auf Druck spezialisierten, scheibenförmigenMerkel-Zellen [13] [benannt nach dem Göttinger Anatomen

Friedrich Merkel [14]; H.S.] leiten Informationen über das Gewicht der Katze weiter.

► Ist das mein Bein?

Sie alle haben eine Gemeinsamkeit: Es handelt sich um Mechanorezeptoren [15]. Das heißt, sie registrieren Verformungen von Haut- und Haarzellen und wandeln diese in elektrische Signale um. In welcher Frequenz sie diese über verschiedene Schaltstationen Richtung Gehirn schicken, hängt davon ab, wie stark der Reiz ist, wie geübt wir in seiner Wahrnehmung [16] sind, wie müde oder gestresst wir uns gerade fühlen und wie lange der Reiz bereits von außen auf uns einwirkt.

Sind Mechanorezeptoren für unsere Umwelt zuständig, so sind Propriorezeptoren [17] Rezeptoren für das Selbst. Sie melden aus den Muskeln und Gelenken, wo sich unsere Körperteile gerade im Raum befinden, was sie tun und wie unsere Haltung ist. So ermöglichen sie komplexe Bewegungen und Handlungen. Ohne ihre Signale wären wir gezwungen, ständig unsere Gliedmaßen im Auge zu behalten: Ist der rechte Arm angehoben? Hält die linke Hand etwas fest? Ist das wirklich mein Bein, das ich da sehe?

Das aus den propriozeptiven Wahrnehmungen im somatosensorischen Cortex kreierte Bild des eigenen Körpers ist allerdings flexibel und unterliegt auch Illusionen (siehe: Wenn die Grenzen des Körpers verschwimmen [18]). Dies zeigen erstaunliche Experimente und ein erstaunliches Phänomen: der Phantomschmerz [19] – Empfindungen aus einem Körperteil, der gar nicht mehr da ist (siehe: Wenn die fehlende Hand schmerzt [20]).

► Nicht Brüder, sondern nur enge Verwandte

Dass Sinneseindrücke nicht eins zu eins wiedergeben, wie die Welt „wirklich“ ist, verdeutlichen zwei andere somatosensorische Empfindungen: „normaler“ Schmerz und Juckreiz. Für beides gibt es in der Umwelt keine Entsprechung – nichts, was per se weh tut oder kribbelt. Und trotzdem fühlen sich diese mentalen Konstrukte unseres Gehirns sehr real an.

Wird die Haut oder das Gewebe darunter verletzt, schlagen freie Nervenendigungen – so genannte Nozizeptoren [21] – Alarm und wir fühlen einen stechenden Schmerz. Diese Signale der Nozizeptoren – vom lateinischen ‘nocere’ für ‘schaden’ abgeleitet – gehen noch einen direkteren Weg. Sie aktivieren Reflexbahnen im Rückenmark, sodass wir uns schnellstmöglich in Sicherheit bringen können. Entzündungen verursachen dagegen dumpfe Schmerzen (siehe: Schmerzlich aber unabdingbar [22]).

Auch der Juckreiz warnt vor Gefahren: ganz akut, wenn ein Parasit in unsere Haut eindringt oder auch über Wochen, wenn Nerven oder Haut krank sind. Das unerträgliche Kribbeln ist aber nicht einfach der kleine Bruder des Schmerzes. Werden die Nozizeptoren nur leicht gereizt, so juckt es, lautete lange eine These. Ein Team um Zhou-Feng Chen [23] vom Schmerzzentrum der 'Washington University School of Medicine' im amerikanischen St. Louis hat das im Jahr 2009 widerlegt. Es wies nach, dass man bei Mäusen den Juckreiz ausschalten kann, ohne dabei das Schmerzempfinden zu beeinflussen. Also müssen eigene Signalwege von diesen Nervenenden bis zum Gehirn für beide Empfindungen vorhanden sein.

Zuvor hatte Prof. Dr. Martin Schmelz, vormals Physiologe an der Universität Erlangen, jetzt in der Translationalen Schmerzforschung an der Universität Heidelberg, bereits zeigen können, dass es freie Nervenenden in der Haut gibt, die nur für das Jucken zuständig sind. Sie reagieren ausschließlich auf den Botenstoff Histamin [24], der zum Beispiel nach einem Mückenstich die Haut anschwellen lässt.

► Achtung, hier passiert etwas!

Eine weitere Familie der Schmerzrezeptoren [25] mit Sitz in den oberen Hautschichten dient als Messstation für kalt oder warm. Die Kaltpunkte liegen in den oberen Hautschichten, sie reagieren auf Temperaturen zwischen 5 und 36 Grad Celsius, die Warmpunkte übermitteln Werte von 25 bis 45 Grad. Kommen wir von einem klimatisierten Gebäude in die pralle Sommersonne, so feuern vor allem die Warmrezeptoren; die für Kälte bleiben stumm.

Beim Baden im Meer ist es umgekehrt. Allerdings stellen sich diese freien Nervenendigungen schnell auf die neue Temperatur ein. Die Messung ist also keineswegs objektiv, sondern hängt unter anderem von der Ausgangstemperatur der Haut ab, der Geschwindigkeit der Temperaturänderung und der Größe der Hautfläche, die der Temperatur ausgesetzt ist.

Das meiste, was uns das somatosensorische System meldet, dringt allerdings gar nicht erst in unser Bewusstsein. Und das ist auch gut so. Würden wir jeden einzelnen Berührungsreiz wahrnehmen, wäre zum Beispiel Kleidung unerträglich. Es sind die Änderungen, die wir registrieren. “Achtung! Hier passiert etwas”, melden dann die Nervenzellen [26]. Schürft sich ein Kind das Knie auf, so wird die Verletzung sofort zu Tränen führen. Rempelt uns jemand an, werden wir uns nach dem Übeltäter umschauen.

Doch auch Aufmerksamkeit [27] und Erwartungen steuern, was wir wahrnehmen. Sind wir durch den Anrempler abgelenkt, hat auf der anderen Körperseite ein Taschendieb leichtes Spiel. Und das Kind, dessen Knie blutet, wird den Schmerz wohl intensiver wahrnehmen als ein Soldat, der im Feld schwer verletzt um sein Leben kämpfen muss. Hier greifen zwei Prozesse ineinander: Die Informationen, die die spezialisierten Sinneszellen mit an das Gehirn weitergeben – und wie das Gehirn diese verarbeitet und bewertet.

► Mit Fingerspitzengefühl die Welt entdecken

Für das Gehirn sind nicht alle Körperregionen gleich. Je größer die Dichte an Rezeptoren in einem bestimmten Körperteil, desto größer ist auch der Bereich des somatosensorischen Cortex, der sich mit ihren Informationen beschäftigt. Die Fingerspitzen nehmen daher den größten Teil dieses landkartenähnlich organisierten Systems in der Hirnrinde [28] ein, gefolgt von Lippen, Gesicht und Mund. “Fingerspitzengefühl” kommt also nicht von ungefähr, wohl kaum einer käme auf die Idee, etwas mit dem Ellenbogen ertasten zu wollen. Auch dass kleine Kinder ganz automatisch alles zur näheren Erkundung in den Mund stecken, wird vor diesem Hintergrund verständlich.

Die Merkmale, die allein die Tastrezeptoren liefern, reichen jedoch noch nicht aus, um in einer Handtasche einen Gegenstand als Hausschlüssel oder Handy zu ertasten. Dazu ist ein weiterer Schritt nötig: Die Assoziationsgebiete im Gehirn vergleichen die eingehenden Informationen mit unseren bisherigen Erfahrungen und fügen sie wie ein Puzzle zu einem schlüssigen Gesamtbild zusammen.

So ist die Brailleschrift [29] für die meisten Sehenden unverständlich, mit viel Übung jedoch kann sie ein Blinder aber lesen. Ein Masseur kann Verspannungen erkennen, von denen ein Laie nichts ahnt. Und so konnte auch Julia den Trick ihrer Mutter entlarven – obwohl der neue Stoffbär genauso aussah wie der alte. Die Erwachsenen hatten einfach nicht begriffen, dass es auf die vom vielen Knuddeln ‘unüberspürbar’ verformten Knöpfe ankommt.

Jana Schlütter, freie Wissenschaftsjournalistin mit Arbeitsschwerpunkt Kognitive Neurowissenschaften.

Prof. Dr. Martin Schmelz, Klinik für Anästhesiologie | Experimentelle Schmerzforschung, Mannheim. (Wissenschaftliche Betreuung des Artikels).

► **Quelle:** Dieser am 30.11.2017 aktualisierte Artikel erschien im Bereich 'WAHRNEHMEN⇒ FÜHLEN' auf der Webseite **dasgehirn.info/** [3] >> **Artikel** [30]. Der Artikel ist unter folgenden Nutzungsbedingungen verfügbar: Namensnennung-Nicht kommerziell 3.0 Deutschland (CC BY-NC 3.0 DE [31]).

Habe 2x das im Ursprungsartikel verwendete Wort 'Stoffclown' durch 'Stofftier' ersetzt, damit es zu den ausgesuchten Bildern passt. Zudem gibt es einige zusätzliche Anmerkungen in eckigen [..] Klammern. H.S.!

ACHTUNG: Die Bilder, Grafiken, Illustrationen und Karikaturen im Artikel sind nicht Bestandteil des Originalartikels und wurden von KN-ADMIN Helmut Schnug eingefügt. Für sie gelten ggf. andere Lizenzen, siehe weiter unten. Grünfärbung von Zitaten im Artikel und einige Verlinkungen wurden ebenfalls von H.S. als Anreicherung gesetzt.

► Bild- und Grafikquellen:

1. Kleinkind ergreift sein Stofftier: Wenn kleine Kinder die Welt entdecken, dann reicht es ihnen nicht, nur zuzuschauen und zuzuhören. Die Rassel wandert unwillkürlich von den Händen in den Mund, und auch der mit Badewasser vollgesogene Schwamm ist wohl zum Trinken da. Alles Neue müssen sie anfassen, um Form, Textur und Bedeutung zu begreifen. Und auch über die Babyjahre hinaus bleibt der Tastsinn ein wichtiges Hilfsmittel, um neue Dinge zu lernen. **Foto:** Counselling / Ulrike Mai, Cape Town/South Africa. **Quelle**: Pixabay [32]. Alle Pixabay-Inhalte dürfen kostenlos für kommerzielle und nicht-kommerzielle Anwendungen, genutzt werden - gedruckt und digital. Eine Genehmigung muß weder vom Bildautor noch von Pixabay eingeholt werden. Auch eine Quellenangabe ist nicht erforderlich. Pixabay-Inhalte dürfen verändert werden. Pixabay Lizenz [33]. >> Foto [34].

2. Baby umklammert den Finger eines Erwachsenen. Durch den Haut- und Körperkontakt erfährt es Zuneigung, Sicherheit und Vertrauen. Der Tastsinn ist aber nur ein – wenn auch essentieller Teil – des somatosensorischen Systems. Das Kind vertraut seinen Eltern, seinen Bindungspersonen, an denen es sich orientiert. Sie sind seine Welt, die es um jeden Preis erhalten will. **Foto:** diowcnx / Suchart Sriwichai, Chiang Mai/Thailand. **Quelle**: Pixabay [32]. Alle Pixabay-Inhalte dürfen kostenlos für kommerzielle und nicht-kommerzielle Anwendungen, genutzt werden - gedruckt und digital. Eine Genehmigung muß weder vom Bildautor noch von Pixabay eingeholt werden. Auch eine Quellenangabe ist nicht erforderlich. Pixabay-Inhalte dürfen verändert werden. Pixabay Lizenz [33]. >> **Foto [35]**.

3. Kleines Mädchen mit Katze auf ihrem Schoß. Wer eine schnurrende Katze auf seinem Schoß kräftig streichelt, benutzt gleich drei Gruppen von Tastsinneszellen. **Foto:** ThePixelman / Hong Kong. **Quelle**: Pixabay [32]. Alle Pixabay-Inhalte dürfen kostenlos für kommerzielle und nicht-kommerzielle Anwendungen, genutzt werden - gedruckt und digital. Eine Genehmigung muß weder vom Bildautor noch von Pixabay eingeholt werden. Auch eine Quellenangabe ist nicht

erforderlich. Pixabay-Inhalte dürfen verändert werden. Pixabay Lizenz [33]. >> Foto [36].

4. Hautschichten: Schnitt durch die verschiedenen Schichten der menschlichen Haut (unbeharte und beharte Haut). **Urheber/Grafik:** Madhero88 and M.Komorniczak. **Quelle:** Wikimedia Commons [37]. Diese Datei ist unter der Creative-Commons-Lizenz „Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 nicht portiert“ lizenziert (CC BY-SA 3.0 [38]).

5. Mädchen spielt an einem Wasserbrunnen. Propriozeption bezeichnet die Wahrnehmung des eigenen Körpers nach dessen Lage im Raum, den Stellungen von Kopf, Rumpf und Gliedmaßen zueinander sowie deren Veränderungen als Bewegungen mitsamt dem Empfinden für Schwere, Spannung, Kraft und Geschwindigkeit. Es handelt sich dabei um eine Eigenempfindung. **Foto:** pasja1000 / Julita, Bodensee/Schweiz. (geboren in Polen, in der Schweiz lebend).**Quelle**: Pixabay [32]. Alle Pixabay-Inhalte dürfen kostenlos für kommerzielle und nicht-kommerzielle Anwendungen, genutzt werden - gedruckt und digital. Eine Genehmigung muß weder vom Bildautor noch von Pixabay eingeholt werden. Auch eine Quellenangabe ist nicht erforderlich. Pixabay-Inhalte dürfen verändert werden. Pixabay Lizenz [33]. >> Foto [39].

6. Insektenstiche (Schnakenstiche) verursachen Hautrötungen, dann zunächst ein leichtes Kribbeln bis hin zum heftigen Juckreiz. **Foto:** Hans / Hans Braxmeier, Neu-Ulm. Hans ist einer der Mitbegründer von Pixabay. Er hat sich schon immer für neue Technologien interessiert, Informatik in Ulm (Deutschland) studiert und mehrere Webprojekte gestartet. **Quelle**: Pixabay [32]. Alle Pixabay-Inhalte dürfen kostenlos für kommerzielle und nicht-kommerzielle Anwendungen, genutzt werden - gedruckt und digital. Eine Genehmigung muß weder vom Bildautor noch von Pixabay eingeholt werden. Auch eine Quellenangabe ist nicht erforderlich. Pixabay-Inhalte dürfen verändert werden. Pixabay Lizenz [33]. >> Foto [40].

7. Schemazeichnung: Aufbau der menschlichen Haut mit Beschriftung (schematic of human skin).**Urheber/Grafik:** Sgbeer. **Quelle:** Wikimedia Commons [41]. Diese Datei ist unter den Creative-Commons-Lizenzen „Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 nicht portiert“ (CC BY-SA 3.0 [38]), „2.5 generisch“, „2.0 generisch“ und „1.0 generisch“ lizenziert.

8. Baby und sein geliebter Spinat: Je mehr Ihr Baby die Kunst des Greifens für sich entdeckt, umso mehr lernt es, sowohl die Hände als auch den Mund für seine Erfahrungen zu nutzen. Um den sechsten Monat, wenn es auch immer mehr in Kontakt mit Getränken und Lebensmitteln kommt, wendet es diese Erkenntnis allzu gern an. Das heißt: Lebensmittel und Getränke werden auch mit den Händen gründlich erforscht. Nicht immer zur Freude der Eltern, da dies mitunter zu sehr chaotischen Mahlzeiten führen kann. (Zitat aus Windeln.de [42]). **Foto:** Ajale / Andrea, Slovenčina. **Quelle**: Pixabay [32]. Alle Pixabay-Inhalte dürfen kostenlos für kommerzielle und nicht-kommerzielle Anwendungen, genutzt werden - gedruckt und digital. Eine Genehmigung muß weder vom Bildautor noch von Pixabay eingeholt werden. Auch eine Quellenangabe ist nicht erforderlich. Pixabay-Inhalte dürfen verändert werden. Pixabay Lizenz [33]. >> Foto [43].

9. Kleines Mädchen beim Kuscheln mit seinem Stoffbärchen. Stofftiere oder auch Puppen simulieren Nähe, Wärme und Geborgenheit - Grundbedürfnisse in unserem Leben. Kuscheltiere wie Stoffclowns, Teddybären, handgefertigte Wolltiere oder Puppen sind Begleiter eines Kleinkindes auf dem Weg, Liebe, Empathie und Fürsorge zu entwickeln. Sie sind Freunde und Trostspender. **Foto:** Pezibear / Petra, Österreich. **Quelle**: Pixabay [32]. Alle Pixabay-Inhalte dürfen kostenlos für kommerzielle und nicht-kommerzielle Anwendungen, genutzt werden - gedruckt und digital. Eine Genehmigung muß weder vom Bildautor noch von Pixabay eingeholt werden. Auch eine Quellenangabe ist nicht erforderlich. Pixabay-Inhalte dürfen verändert werden. Pixabay Lizenz [33]. >> Foto [44].

Quell-URL: https://kritisches-netzwerk.de/forum/die-welt-und-uns-selbst-erspueren-spueren-ist-lebenswichtig

Links
[1] https://kritisches-netzwerk.de/user/login?destination=comment/reply/9031%23comment-form
[2] https://kritisches-netzwerk.de/forum/die-welt-und-uns-selbst-erspueren-spueren-ist-lebenswichtig
[3] https://www.dasgehirn.info/
[4] https://www.dasgehirn.info/glossar?search_letter=p&item=propriozeption
[5] https://www.dasgehirn.info/wahrnehmen/fuehlen/aussenstelle-des-gehirns
[6] https://www.dasgehirn.info/glossar?search_letter=r&item=rueckenmark
[7] https://de.wikipedia.org/wiki/Somatosensorischer_Cortex
[8] https://www.dasgehirn.info/wahrnehmen/fuehlen/wahrnehmen/fuehlen-koerper/der-weg-des-kusses
[9] https://www.dasgehirn.info/wahrnehmen/fuehlen/der-homo-hapticus
[10] https://www.dasgehirn.info/glossar?search_letter=r&item=rezeptor
[11] https://de.wikipedia.org/wiki/Meissner-K%C3%B6rperchen
[12] https://www.dasgehirn.info/glossar?search_letter=v&item=vater-pacini-koerperchen
[13] https://de.wikipedia.org/wiki/Merkel-Zelle
[14] https://de.wikipedia.org/wiki/Friedrich_Merkel_(Mediziner)
[15] https://de.wikipedia.org/wiki/Mechanorezeptor
[16] https://www.dasgehirn.info/glossar?search_letter=w&item=wahrnehmung
[17] https://de.wikipedia.org/wiki/Propriorezeptor
[18] https://www.dasgehirn.info/wahrnehmen/fuehlen-koerper/wenn-die-grenzen-des-koerpers-verschwimmen
[19] https://www.dasgehirn.info/glossar?search_letter=p&item=phantomschmerz
[20] https://www.dasgehirn.info/wahrnehmen/fuehlen-koerper/wenn-die-fehlende-hand-schmerzt
[21] https://de.wikipedia.org/wiki/Schmerz#Nozizeption

[22] https://www.dasgehirn.info/wahrnehmen/fuehlen-koerper/schmerzlich-aber-unabdingbar
[23] https://itch.wustl.edu/people/zhou-feng-chen-phd/
[24] https://de.wikipedia.org/wiki/Histamin
[25] https://www.dasgehirn.info/glossar?search_letter=n&item=nozizeptor
[26] https://www.dasgehirn.info/glossar?search_letter=n&item=neuron
[27] https://www.dasgehirn.info/glossar?search_letter=a&item=aufmerksamkeit
[28] https://www.dasgehirn.info/glossar?search_letter=c&item=cortex
[29] https://de.wikipedia.org/wiki/Brailleschrift
[30] https://www.dasgehirn.info/wahrnehmen/fuehlen/die-welt-und-uns-selbst-erspueren-das-somatosensorische-system
[31] https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/de/
[32] https://pixabay.com/
[33] https://pixabay.com/de/service/license/
[34] https://pixabay.com/de/photos/kind-baby-kinderh%C3%A4nde-h%C3%A4nde-finger-917365/
[35] https://pixabay.com/de/photos/baby-hand-liebe-kinder-pflege-951092/
[36] https://pixabay.com/de/photos/kind-spielen-gl%C3%BCcklich-kinder-489685/
[37] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hautschichten.png
[38] https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de
[39] https://pixabay.com/de/photos/brunnen-wasser-gr%C3%BC%C3%9Fe-kindheit-5443073/
[40] https://pixabay.com/de/photos/stiche-schnakenstich-juckreiz-59774/
[41] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schemazeichnung_haut.svg
[42] https://www.windeln.de/magazin/baby/entwicklung-baby/die-orale-phase-warum-babys-alles-in-den-mund-nehmen.html
[43] https://pixabay.com/de/photos/gesicht-kind-klein-essen-baby-1083872/
[44] https://pixabay.com/de/photos/kind-m%C3%A4dchen-kuscheltier-liebevoll-653592/
[45] https://kritisches-netzwerk.de/tags/anfassen
[46] https://kritisches-netzwerk.de/tags/baby
[47] https://kritisches-netzwerk.de/tags/beruhrungsreiz
[48] https://kritisches-netzwerk.de/tags/beruhrungen
[49] https://kritisches-netzwerk.de/tags/bewusstsein
[50] https://kritisches-netzwerk.de/tags/blindenschrift
[51] https://kritisches-netzwerk.de/tags/brailleschrift
[52] https://kritisches-netzwerk.de/tags/eigenwahrnehmung
[53] https://kritisches-netzwerk.de/tags/elektrische-signale
[54] https://kritisches-netzwerk.de/tags/empfindungen
[55] https://kritisches-netzwerk.de/tags/erspuren
[56] https://kritisches-netzwerk.de/tags/ertasten
[57] https://kritisches-netzwerk.de/tags/fingerspitzen
[58] https://kritisches-netzwerk.de/tags/fingerspitzengefuhl
[59] https://kritisches-netzwerk.de/tags/friedrich-merkel
[60] https://kritisches-netzwerk.de/tags/fuhlen
[61] https://kritisches-netzwerk.de/tags/gehirn
[62] https://kritisches-netzwerk.de/tags/haptische-wahrnehmung
[63] https://kritisches-netzwerk.de/tags/haut
[64] https://kritisches-netzwerk.de/tags/hautflache
[65] https://kritisches-netzwerk.de/tags/hautkribbeln
[66] https://kritisches-netzwerk.de/tags/hautschichten
[67] https://kritisches-netzwerk.de/tags/haut-und-korperkontakt
[68] https://kritisches-netzwerk.de/tags/hirnrinde
[69] https://kritisches-netzwerk.de/tags/histamin
[70] https://kritisches-netzwerk.de/tags/homo-hapticus
[71] https://kritisches-netzwerk.de/tags/horen
[72] https://kritisches-netzwerk.de/tags/jana-schlutter
[73] https://kritisches-netzwerk.de/tags/juckreiz
[74] https://kritisches-netzwerk.de/tags/kaltpunkte
[75] https://kritisches-netzwerk.de/tags/kaltrezeptoren
[76] https://kritisches-netzwerk.de/tags/kognitive-neurowissenschaften
[77] https://kritisches-netzwerk.de/tags/kribbeln
[78] https://kritisches-netzwerk.de/tags/kuscheltiere
[79] https://kritisches-netzwerk.de/tags/martin-schmelz
[80] https://kritisches-netzwerk.de/tags/mechanorezeptoren
[81] https://kritisches-netzwerk.de/tags/merkel-zellen
[82] https://kritisches-netzwerk.de/tags/merkelzellen
[83] https://kritisches-netzwerk.de/tags/nervenendigungen
[84] https://kritisches-netzwerk.de/tags/nervenzellen
[85] https://kritisches-netzwerk.de/tags/neugeborene
[86] https://kritisches-netzwerk.de/tags/neugeborenes
[87] https://kritisches-netzwerk.de/tags/nozizeptoren
[88] https://kritisches-netzwerk.de/tags/orale-phase
[89] https://kritisches-netzwerk.de/tags/phantomschmerz

[90] https://kritisches-netzwerk.de/tags/pluschtiere
[91] https://kritisches-netzwerk.de/tags/propriorezeptoren
[92] https://kritisches-netzwerk.de/tags/propriozeption
[93] https://kritisches-netzwerk.de/tags/reiz
[94] https://kritisches-netzwerk.de/tags/rezeptoren
[95] https://kritisches-netzwerk.de/tags/ruckenmark
[96] https://kritisches-netzwerk.de/tags/schmerz
[97] https://kritisches-netzwerk.de/tags/schmerzempfinden
[98] https://kritisches-netzwerk.de/tags/schmerzrezeptoren
[99] https://kritisches-netzwerk.de/tags/schmerzsinn
[100] https://kritisches-netzwerk.de/tags/seesinn
[101] https://kritisches-netzwerk.de/tags/sehen
[102] https://kritisches-netzwerk.de/tags/sensibilitat
[103] https://kritisches-netzwerk.de/tags/sinneseindrucke
[104] https://kritisches-netzwerk.de/tags/sinnesempfindungen
[105] https://kritisches-netzwerk.de/tags/sinnesmodalitat
[106] https://kritisches-netzwerk.de/tags/sinnesorgane
[107] https://kritisches-netzwerk.de/tags/sinneszellen
[108] https://kritisches-netzwerk.de/tags/somatosensorik
[109] https://kritisches-netzwerk.de/tags/somatosensible-cortex
[110] https://kritisches-netzwerk.de/tags/somatosensorischer-cortex
[111] https://kritisches-netzwerk.de/tags/somatosensorisches-system
[112] https://kritisches-netzwerk.de/tags/spinat
[113] https://kritisches-netzwerk.de/tags/spuren
[114] https://kritisches-netzwerk.de/tags/stofftiere
[115] https://kritisches-netzwerk.de/tags/tastempfinden
[116] https://kritisches-netzwerk.de/tags/tastrezeptoren
[117] https://kritisches-netzwerk.de/tags/tastsinn
[118] https://kritisches-netzwerk.de/tags/tastsinneszellen
[119] https://kritisches-netzwerk.de/tags/temperatursinn
[120] https://kritisches-netzwerk.de/tags/teddybaren
[121] https://kritisches-netzwerk.de/tags/tiefensensibilitat
[122] https://kritisches-netzwerk.de/tags/trostspender
[123] https://kritisches-netzwerk.de/tags/vater-pacini-korperchen
[124] https://kritisches-netzwerk.de/tags/wahrnehmen
[125] https://kritisches-netzwerk.de/tags/wahrnehmung
[126] https://kritisches-netzwerk.de/tags/wahrnehmungspsychologie
[127] https://kritisches-netzwerk.de/tags/warme-und-geborgenheit
[128] https://kritisches-netzwerk.de/tags/warmpunkte
[129] https://kritisches-netzwerk.de/tags/warmrezeptoren
[130] https://kritisches-netzwerk.de/tags/zhou-feng-chen