

2 Konzeptionelle und theoretische Grundlagen als Erklärungsrahmen für die haptische Wahrnehmungswirkung

2.1 Physiologische Grundlagen des Tastsinns

Um aktive oder passive Berührungen überhaupt wahrnehmen zu können, wird der physikalische Kontakt zwischen Körper und Tastobjekt erfasst, gemessen und verarbeitet. Die Grundlage hierfür stellen verschiedene Rezeptoren im Körper dar (vgl. Grunwald 2012, S. 97).

Grundsätzlich werden zwei Gruppen von Rezeptoren des Tastsinns unterschieden, die Reize vermitteln. Die Tiefensensoren befinden sich in Muskeln und Sehnen und geben Auskunft über die statische und dynamische Haltung des Körpers (kinästhetische Wahrnehmung). Die Oberflächensensoren liegen in der Haut und liefern Informationen über die Reizung der Haut (kutane Wahrnehmung) (vgl. Loomis / Lederman 1986, S. 31-2; Meyer 2001, S. 59 ff.). Für die haptische Wahrnehmung sind sowohl die Informationen der kinästhetischen als auch der kutanen Wahrnehmung von Bedeutung, da beim aktiven Tasten immer eine Bewegung der Finger notwendig ist (vgl. Loomis / Lederman 1986, S. 31-3; Gibson 1962, S. 477).

Die Haut ist das erste funktionsfähige (ab der achten Embryonalwoche) und flächenmäßig das größte Sinnesorgan des Menschen und hinsichtlich ihrer Funktion weitaus mehr als eine rein passiv schützende Körperhülle (vgl. Zimmermann 2005, S. 296; Quilliam 1978, S. 1). Die Bedeutung des Tastsinns wird dadurch verdeutlicht, dass bislang kein lebensfähiger Mensch ohne den totalen Verlust dieses Sinnes geboren wurde und ein Verlust dieser Sinneswahrnehmung zum Tod führt, wenngleich eine Kompensation anderer Sinne, wie die akustische oder visuelle Wahrnehmung, möglich ist (vgl. Grunwald 2008a, S. 45). Die Leistungsfähigkeit verschiedene Materialeigenschaften unterscheiden zu können, ist grundsätzlich bei allen gesunden Menschen vorhanden,

wird allerdings durch individuelle Lernprozesse bei ausreichender Stimulation fein ausgeprägt oder schwach entwickelt. Die Genauigkeit / Feinheit der haptischen Wahrnehmung ist demnach von der Vielfalt der Materialien, die aktiv gefühlt und damit kennengelernt werden, abhängig (vgl. Grunwald 2008a, S. 50 f.). Die Genauigkeit des Tastsinns kann sich daher bei gleichaltrigen Personen unterscheiden (vgl. Stevens / Patterson 1995, S. 43).

In der Zukunft können bei Kindern Einschränkungen der taktilen und haptischen Wahrnehmung, aufgrund einer nicht ausreichenden Stimulation des Tastsinns, zum Beispiel durch homogene Oberflächen bei Kunststoffspielzeug, feststellbar sein. Die Diskriminierungsfähigkeit von Materialien kann aufgrund dessen bei älteren Generationen im Vergleich zu jüngeren Generationen insgesamt besser ausgeprägt sein und dieser Trend wird sich wahrscheinlich weiter fortsetzen (vgl. Grunwald 2008a, S. 51). Darüber hinaus kann die Häufigkeit des Tastens die haptische Wahrnehmungsleistung steigern (vgl. Dinse 2008, S. 539). Insgesamt ist die Leistungsfähigkeit des Tastsinns im Laufe eines Lebens demnach nicht konstant. Nach der Entwicklung und Verfeinerung des Tastsinns durch Anwendung und Erfahrung, verschlechtert sich die Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Alter (vgl. Dinse / Wilimzig / Kalisch 2008, S. 165). Untersuchungen zeigen, dass die Genauigkeit bei der haptischen, aktiven Exploration von feinen Oberflächenstrukturen, ungefähr im Alter zwischen 20 und 80 Jahren, jährlich beinahe um ein Prozent abnimmt (vgl. Stevens / Patterson 1995, S. 43; Legge / Madison / Vaughn et al. 2008, S. 1475; Thornbury / Mistretta 1981, S. 36) und die Fingerspitzen besonders betroffen sind (vgl. Stevens / Patterson 1995, S. 43). Im Alter zwischen 50 und 60 Jahren ist die stärkste Erhöhung der Reizschwelle erfolgt (vgl. Bruce 1980, S. 733).

Die Haut als Sinnesorgan ermöglicht die Empfindung von Druck / Berührung, Wärme / Kälte sowie Schmerz (vgl. Zimmermann 2005, S. 296; Gerrig / Zimbardo 2008, S. 137, Graumann / Sasse 2005, S.194). Diese unterschiedlichen Eindrücke des Hautsinns werden als Qualitäten bezeichnet, die über spezifische Sensor- / Rezeptortypen übertragen werden (vgl. Birbaumer / Schmidt

2006, S. 300 f.). Im Folgenden wird nur der Tastsinn der Haut, also die Mechanorezeption, betrachtet. Die Thermorezeption (Temperaturempfinden) und Nozizeption (Schmerzempfinden) bleiben aufgrund ihrer geringen Relevanz für diese Arbeit unberücksichtigt. Schmerz ist dabei ein negatives Ergebnis, das mit einer vorliegenden oder möglichen Gewebeschädigung einhergeht und stellt eine eigene Sinnesmodalität dar (vgl. Birbaumer / Schmidt 2010, S. 342). Durch den Schnitt mit einem Blatt Papier auf der Haut können Schmerzen erzeugt werden, dies im Kontext der Papierwahl bei der Direct Mail-Gestaltung zu berücksichtigen erscheint hinsichtlich der formulierten Zielstellung zu weitreichend und nicht zielführend. Die Raum- / Zweipunktschwelle der Thermorezeption ist im Vergleich zur Mechanorezeption relativ groß (vgl. Birbaumer / Schmidt 2010, S. 332). Bei sehr kalten Händen (Abkühlung der Hände bis zum Schmerzeintritt) kann Papier nicht mehr als Papier identifiziert und Unterschiede zwischen Papieren können nicht mehr wahrgenommen werden (vgl. Katz 1925, S. 127). Da bei einer geringen Abkühlung der Hände eine Differenzierung von Papieroberflächen möglich ist (vgl. Katz 1925, S. 127) und in dem Untersuchungskontext nicht von Extremsituationen auszugehen ist, wird die Thermorezeption nicht weiter berücksichtigt. Wobei anzumerken ist, dass der thermische Charakter von Materialien, bedingt durch dessen Wärmeleitfähigkeit, für die Wiedererkennung verschiedener Materialien von großer Bedeutung ist (vgl. Katz 1925, S. 163 f.).

Die Haut besteht aus verschiedenen Schichten, der Oberhaut (Epidermis), Lederhaut (Corium oder Dermis) und Unterhaut (Subcutis). In den beiden letztgenannten Schichten befinden sich die sogenannten Mechanorezeptoren (vgl. Beyer / Weiss 2001, S. 29; Quilliam 1978, S. 6 ff.). Diese Rezeptoren reagieren auf Druck, Dehnung oder Vibration, also auf eine mechanische Hautstimulation (vgl. Goldstein 2008, S. 335). Es werden vier Typen von Mechanorezeptoren unterschieden: SA I, SA II, RA sowie PC. Diese weisen jeweils eine charakteristische und histologisch erkennbare Nervenendigung auf, die als Merkel-Zelle (SA I), Ruffini-Körperchen (SA II), Meissner-Körperchen (RA) oder Pacini-Körperchen (PC) bezeichnet wird (vgl. Treede 2007, S. 308).

Eine funktionelle Gruppierung der Mechanorezeptoren kann anhand ihres Antwortverhaltens auf einen konstanten Reiz erfolgen. Diese Eigenschaft ist ebenfalls namensgebend für die Mechanorezeptoren. SA steht dabei für slowly adapting und RA für rapidly adapting. Während langsam adaptierende Rezeptoren auf einen Reiz konstant antworten, senden die schnell adaptierenden Rezeptoren nur zu Beginn und z. T. auch am Reizende, aber nicht über die gesamte Reizdauer (vgl. Beyer / Weiss 2001, S. 31; Handwerker 1996, S. 37; Greenspan / Bolanowski 1996, S. 33). Des Weiteren unterscheiden sich die Rezeptoren hinsichtlich der Größe ihrer rezeptiven Felder. Als rezeptives Feld wird dabei die Fläche bezeichnet, von dem ein Sensor durch einen adäquaten Reiz erregt werden kann (vgl. Birbaumer / Schmidt 2006, S. 327; Greenspan / Bolanowski 1996, S. 33 f.). Aufgrund der Art der Reize, auf die die Mechanorezeptoren antworten, weisen SA I und RA kleine, klar begrenzte und SA II sowie PC große rezeptive Felder auf (vgl. Treede 2007, S. 309).

- **SA I / Merkel-Zellen** reagieren auf Druck und liefern sowohl Informationen über die Reizintensität als auch über die Dauer der Hautdeformation, da sie langsam adaptierend sind (vgl. Graumann / Sasse 2005, S. 195; Birbaumer / Schmidt 2006, S. 325). Die Anzahl der Merkel-Zellen pro Quadratzentimeter Haut an den Fingerspitzen beträgt ca. 100 (vgl. Gegenfurtner 2011, S. 63). Mit ihrer Hilfe können feine Details wahrgenommen werden (vgl. Goldstein 2008, S. 337). Grobe und mittlere raue Oberflächen (200 µm) können mit Hilfe der Merkel-Zellen erkannt werden (vgl. Hollins / Bensmaïa 2007, S. 184).
- **SA II / Ruffini-Körperchen** geben, ebenso wie die Merkel-Zellen, Informationen über den Druck (Reizintensität). Allerdings reagieren sie über die Hautdehnung und deren Richtung (vgl. Graumann / Sasse 2005, S. 198; Birbaumer / Schmidt, 2006, S. 326).
- **RA / Meissner-Körperchen** sind schnell adaptierende Sensoren und reagieren auf Reizänderungen, die gesendeten Impulse hängen dabei insbesondere von der Geschwindigkeit der Reize ab. Sie werden der Gruppe der Berührungssensoren zugeordnet (vgl. Graumann / Sasse

2005, S. 198; Birbaumer / Schmidt 2006, S. 326; Handwerker 1996, S. 38). Die Anzahl der Meissner-Körperchen pro Quadratzentimeter Haut beträgt in den Fingerspitzen bis zu 150 Stück (vgl. Gegenfurtner 2011, S. 64). Sie sind bedeutend für kontrolliertes Greifen, zum Beispiel bei der Handhabung von Werkzeugen (vgl. Goldstein 2008, S. 337).

- **PC / Pacini-Körperchen** sind schnell adaptierende Vibrationssensoren. Sie reagieren nur mit einem Impuls am Reizbeginn und -ende und messen daher die Reizbeschleunigung (vgl. Graumann / Sasse 2005, S. 200; Birbaumer / Schmidt 2006, S. 326 f.). Diese Rezeptoren sind wichtig, wenn die Finger bewegt werden, um Oberflächenstrukturen, beispielsweise von Papier, wahrzunehmen (vgl. Goldstein 2008, S. 337). Insbesondere die Rauheit von feinen Oberflächen kann mit Hilfe der Pacini-Körperchen erkannt werden (vgl. Hollins / Bensmaïa 2007, S. 184). Schätzungsweise 2.000 Pacini-Körperchen befinden sich in der Haut, davon etwa ein Drittel in den Fingern (vgl. Quilliam 1978, S. 10).

Mittels dieser vier Sensortypen können die Merkmale eines Reizes codiert, an das zentrale Nervensystem weitergeleitet und dort verarbeitet werden. Insbesondere beim aktiven (Er-) Tasten von Gegenständen ist nicht nur einer, sondern sind mehrere dieser Mechanorezeptoren daran beteiligt, das Objekt, das die Hautdeformation verursacht, zu beschreiben (zum Beispiel Kontur, Bewegungsgeschwindigkeit sowie Beschaffenheit) (vgl. Beyer / Weiss 2001, S. 36; Zimmermann 2005, S. 301). Beim aktiven Tasten werden verschiedene Explorationsprozeduren, also stereotype Bewegungsmuster der Hände, angewandt (vgl. Lederman / Klatzky 1987, S. 344). So werden Informationen hinsichtlich der Textur eines Gegenstandes, d. h. die Mikrostruktur einer Oberfläche, durch seitliche Bewegungen und das Gewicht durch Festhalten des Gegenstands gewonnen (vgl. Lederman / Klatzky 1987, S. 345 ff.; Lederman / Klatzky 2004, S. 107).

Im Gegensatz zur optischen Wahrnehmung können die verschiedenen Objekteigenschaften nicht gleichzeitig bzw. in kürzester Zeit erfasst, sondern nur nacheinander analysiert werden (vgl. Gentaz / Hatwell 2003, S. 145). Erkennungsleistungen von Objekten sind besser, wenn bei der haptischen Exploration sowohl Objekt als auch Handbewegung nicht sichtbar sind. Schlechtere Erkennungsleistungen treten auf, wenn die Exploration visuell verfolgt werden kann, das Objekt allerdings weiterhin nur haptisch wahrnehmbar ist. Die Beobachtung eigener Handbewegungen erschwert also die haptische Wahrnehmung. Dies kann vermutlich darauf zurückgeführt werden, dass visuelle und haptische Informationen um die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses konkurrieren (vgl. Mueller / Habermann / Dudda et al. 2013, S. 422).

Für die Wahrnehmung von Oberflächenstrukturen, wie beispielsweise der Papieroberfläche, sind sowohl räumliche als auch zeitliche Oberflächenreize notwendig. Durch räumliche Oberflächenreize können grobe Oberflächenstrukturen, wie die Braille-Schrift oder die Zinken eines Kammes, mittels der Merkel-Zellen wahrgenommen werden. Dies erfolgt durch Auskerbungen oder Einbuchtungen der Oberfläche. Feine Oberflächenstrukturen, wie die von (Sand-) Papieren, werden durch zeitliche Oberflächenreize wahrnehmbar. Sie entstehen durch die Vibrationsfrequenz beim Fahren der Finger über diese fein strukturierte Oberfläche, die durch die etwa 4 mm langen Pacini-Körperchen erfasst werden. Ohne die Bewegung der Finger wäre eine Wahrnehmung einer feinen Struktur nicht möglich (vgl. Goldstein 2008, S. 344 ff.; Grunwald 2008a, S. 47). Tabelle 3 gibt einen Überblick über die wesentlichen Merkmale der Mechanorezeptoren.

	Typ			
	RA	PC	SA I	SA II
Adaption	Schnell	Schnell	Langsam	Langsam
Rezeptives Feld	Klein	Groß	Klein	Groß
Nervenendigung	Meissner	Pacini	Merkel	Ruffini
Lage	Dermis	Subkutis	Basale Epidermis	Apikale Dermis
Innervationsdichte (cm ²):				
Fingerspitze	140	21	70	49
Fingerglieder, außer Spitze	77	15	42	28
Handfläche	25	9	8	16
Wahrnehmung	Zittern, Kontrolle des Greifens	Vibration, Wahrnehmung der Oberflächenstruktur bei Fingerbewegung	Feine Details	Dehnung
SA: slowly adapting; RA: rapidly adapting; PC: Pacini				

Tab. 3: Mechanorezeptoren der Haut

(Quelle: in Anlehnung an Greenspan / Bolanowski 1996, S. 35; Treede 2007, S. 309; Goldstein 2008, S. 337)

Die Sensoren des Tastsinns sind als ziemlich empfindlich einzustufen und reagieren bereits auf Deformationen der Haut von weniger als einem Millimeter (vgl. Handwerker 2001, S. 231). Die in etwa 30-40 µm breiten und 80-100 µm langen Meissner-Körperchen weisen dabei die geringste Reizschwelle auf. Bereits das Eindringen der Haut von 5-10 µm ist durch sie wahrnehmbar (vgl. Beyer / Weiss 2001, S. 31; Zimmermann 2005, S. 302; Grunwald 2008a, S. 47; Quilliam 1978, S. 8). Sie ermöglichen die Wahrnehmung von Berührungen, die visuell nicht erfasst werden können (vgl. Grunwald 2008a, S. 47). Allerdings erbringt der Tastsinn nicht an allen Körperstellen identische Leistungen. Hände, insbesondere Daumen und Zeigefinger, und Mundregion sind hinsichtlich des Tastsinns am leistungsstärksten, d. h. sie stellen die bedeutendsten sensorischen Informationen bereit (vgl. Zimmermann 2005, S. 298; Gerrig / Zimbardo 2008,

S. 95). Dies ist mit einer größeren Dichte von Nervenendigungen zu begründen. Auf einem Quadratcentimeter Haut der Fingerspitzen ist eine große Anzahl Meissner-Körperchen, circa 140 Stück, verteilt (vgl. Birbaumer / Schmidt 2006, S. 324).

Ursächlich für die abnehmende Leistungsfähigkeit des Tastsinns im Alter ist wahrscheinlich die abnehmende Dichte von Mechanorezeptoren (Pacini-Körperchen, Meissner-Körperchen und Merkel-Zellen) sowie deren morphologische Veränderung (vgl. Vega-Bermudez / Johnson 2004, S. 65 f.). Meissner-Körperchen verändern beispielsweise ihre Form, Größe und Lage in der Haut, unabhängig vom Geschlecht, sie sind allerdings nicht der Hauptgrund für die Abnahme des Tastempfindens (vgl. Bruce 1980, S. 732 f.; Quilliam 1978, S. 9). Es gibt Hinweise, dass die mit dem Alter sinkende Anzahl von Meissner-Körperchen einen allgemeinen Abbau der peripheren Innervation reflektiert und nicht direkt mit der verminderten Leistungsfähigkeit des Tastsinns zusammenhängt (vgl. Bruce 1980, S. 730). Ein Vergleich zwischen blinden und sehenden Personen zeigt, dass von der Abnahme der Genauigkeit der haptischen Explorationsfähigkeit nur die sehenden Personen betroffen sind (vgl. Legge / Madison / Vaughn et al. 2008, S. 1475). Möglicherweise kann die Tastschärfe bei ihnen durch die verstärkte Nutzung im Alltag erhalten bleiben. Zudem ist die Tastschärfe bei blinden Personen im Vergleich zu Sehenden insgesamt besser ausgeprägt (vgl. Legge / Madison / Vaughn et al. 2008, S. 1475 ff.).

Das haptische Wahrnehmungsvermögen von Frauen ist besser als das von Männern. Dieser Tatsache liegen jedoch keine geschlechtsspezifischen physiologischen Ursachen zu Grunde, sondern vielmehr die Größe der Finger, die ein wesentlicher Einflussfaktor der Tastgenauigkeit des taktilen räumlichen Auflösungsvermögens ist. Mit abnehmender Fingergröße steigt das haptische Wahrnehmungsvermögen und da Frauen im Durchschnitt kleinere Finger als Männer haben, weisen sie eine bessere Wahrnehmungsfähigkeit auf. Demzufolge verfügen Frauen und Männer bei einer identischen Fingergröße über ein vergleichbares Wahrnehmungsvermögen in den Fingerspitzen (vgl. Peters /

Hackeman / Goldreich 2009, S. 15756 ff.). Da Männer und Frauen eine ähnlich große Anzahl von Meissner Körperchen in ihren Fingern aufweisen, ist die Dichte dieser, aufgrund der unterschiedlichen Handgröße, bei Männern im Durchschnitt geringer. Dies kann als Ursache für die unterschiedliche Wahrnehmung angesehen werden (vgl. Dillon / Haynes / Henneberg 2001, S. 577).

Einen Hinweis auf die Innervationsdichte der Mechanorezeptoren der Haut, die die Anzahl der afferenten Fasern pro Quadratzentimeter misst, und die Bedeutung verschiedener Körperregionen für den Tastsinn kann die sogenannte Zweipunktschwelle oder simultane Raumschwelle liefern (vgl. Beyer / Weiss 2001, S. 30; Handwerker 2001, S. 235; Zimmermann 2005, S. 302). Die Zweipunktschwellen verschiedener Körperregionen wurden bereits im 19. Jahrhundert durch Selbstversuche ermittelt (vgl. Weber 1846, S. 538 ff.). An den Fingerspitzen, die für das Tasten von besonderer Bedeutung sind, ist die Innervationsdichte von SA I und RA-Rezeptoren hoch und PC sowie SA II-Rezeptoren niedrig (vgl. Handwerker 2001, S. 233).

Diese Zweipunktschwelle kann mit Hilfe eines einfachen Tests ermittelt werden, um das räumliche Auflösungsvermögen des Tastsinns an unterschiedlichen Körper- bzw. Hautstellen zu messen (vgl. Handwerker 2001, S. 235; Zimmermann 2005, S. 300 ff.). Als taktiler räumlicher Auflösungsvermögen wird die Fähigkeit bezeichnet feine räumliche / mehrdimensionale Details unterscheiden zu können (vgl. Vega-Bermudez / Johnson 2004, S. 60). Beim Messen der Zweipunktschwelle werden beide Enden eines Zirkels auf der Haut positioniert, der Abstand, bei dem beide Spitzen als ein Reiz wahrgenommen werden, bezeichnet man als Zweipunktschwelle (vgl. Handwerker 2001, S. 235; Zimmermann 2005, S. 300 ff.). Es ist anzumerken, dass das räumliche Auflösungsvermögen durch Training verbessert werden kann. Hierbei verringert sich nicht nur die Zweipunktschwelle des trainierten Hautareals, sondern auch die der anderen Körperstellen. Bei fehlender Übung schwindet jedoch die gewonnene Verbesserung (vgl. Birbaumer / Schmidt 2006, S. 234).

2.2 Haptische Wahrnehmungsdimensionen

Zentrale Wahrnehmungsdimensionen, anhand derer sich Papiere voneinander unterscheiden lassen, sind die Oberflächenrauheit sowie die Papiersteifheit (vgl. Summers / Irwin / Brady 2008, S. 532). Werden andere Untersuchungsobjekte als Papier betrachtet, variieren die relevanten Wahrnehmungsdimensionen (vgl. Bergmann Tiest / Kappers 2006, S. 13 ff.; Picard / Dacremont / Valentin et al. 2003, S. 172 ff.). Allerdings nimmt die Rauheit einen besonderen Stellenwert ein, da sie auch bei anderen Untersuchungsgegenständen ein relevanter Faktor ist, anhand dessen sich Oberflächen voneinander unterscheiden lassen (vgl. Bergmann Tiest / Kappers 2006, S. 13 ff.; Picard / Dacremont / Valentin et al. 2003, S. 172 ff.; Hollins / Faldowski / Rao et al. 1993, S. 702 ff.; Bergmann Tiest 2010, S. 2775). Ihr wird daher insgesamt in der wissenschaftlichen Forschung der haptischen Wahrnehmung die größte Aufmerksamkeit geschenkt (vgl. Lederman / Klatzky 2009, S. 1442; Bergmann Tiest 2010, S. 2775). Die Wahrnehmung der Rauheit wird dabei im Wesentlichen durch den Höhenunterschied zwischen den Elementen, die die Oberfläche definieren, bestimmt. Die Weite bzw. Größe dieser Elemente beeinflusst sie ebenfalls (vgl. Lederman / Klatzky 2009, S. 1443; Bergmann Tiest / Kappers 2006, S. 10). Die gegensätzliche Ausprägung der Dimension Rauheit ist die Glätte einer Oberfläche (vgl. Stevens / Rich Harris 1962, S. 490; Ekman / Hosman / Lindström 1965, S. 24; Bergmann Tiest / Kappers 2006, S. 14 ff.; Hollins / Faldowski / Rao et al. 1993, S. 702 ff.).

Dabei gibt es zwei Arten der Oberflächenrauheit zu unterscheiden, die ebenfalls auf unterschiedliche Weise, d. h. über verschiedene Mechanorezeptoren, aufgenommen werden. Zum einen die mittlere und starke Rauheit (Abstand der Oberflächenelemente ist größer als 200 μm) sowie die feine Rauheit (Abstand der Oberflächenelemente ist geringer als 200 μm) (vgl. Hollins / Bensmaïa 2007, S. 184; Bergmann Tiest 2010, S. 2778). Letzteres ist auf Papiere zutreffend. Eine Unterscheidung von Papieroberflächen ist insbesondere von der Tastbewegung abhängig. Eine Diskriminierung von Papieroberflächen ist ohne

Die haptische Gestaltung von Direct Mailings
Dargestellt am Beispiel der Papierbeschaffenheit von
Anschreiben und Kuvert

Barkhof, A.

2016, XVII, 259 S. 66 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-11961-4