

LEHRBUCH

Stephanie Margarete Müller  
Claudia Winkelmann  
Martin Grunwald

# Lehrbuch Haptik

Grundlagen und Anwendung in Therapie,  
Pflege und Medizin

 Springer

---

# Lehrbuch Haptik

---

Stephanie Margarete Müller ·  
Claudia Winkelmann · Martin Grunwald

# Lehrbuch Haptik

Grundlagen und Anwendung in  
Therapie, Pflege und Medizin

 Springer

Stephanie Margarete Müller  
Haptik-Forschungslabor am Paul-  
Flechsig-Institut für Hirnforschung  
Universität Leipzig  
Leipzig, Deutschland

Claudia Winkelmann  
University of Applied Sciences  
Alice-Salomon-Hochschule Berlin  
Berlin, Deutschland

Martin Grunwald  
Haptik-Forschungslabor am Paul-  
Flechsig-Institut für Hirnforschung  
Universität Leipzig  
Leipzig, Deutschland

ISBN 978-3-662-64011-1      ISBN 978-3-662-64012-8 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-64012-8>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Eva-Maria Kania

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

---

## Vorwort

Der direkte körperliche Kontakt zum Menschen ist eines der wesentlichen Kennzeichen präventiver, kurativer, rehabilitativer, palliativer und pflegerischer Tätigkeiten in allen Gesundheitsberufen. Trotz moderner Technik und zum Teil roboterassistierter Technologien sind physische Kontakte zum Menschen elementarer Bestandteil der verschiedenen Heil- und Pflege Tätigkeiten. Der physische Kontakt reicht hierbei von einfachen Begrüßungsgesten bis hin zu schmerzhaften, aber unumgänglichen Maßnahmen; vom Kontakt zu einem Frühgeborenen bis hin zu Handlungen an pflegebedürftigen Senioren und Seniorinnen. Je nach Berufsfeld ist der körperliche Kontakt zu anderen Menschen häufig und intensiv oder sporadisch und von geringer Intensität. Nicht selten verfolgt der direkte Körperkontakt auch unabhängig von der beruflichen Intention aus einem Bedürfnis der Anteilnahme und als Zeichen der Mitmenschlichkeit. Die körperlichen Interaktionen in den Heil- und Pflegeberufen sind demnach vielfältig und fester Bestandteil des Berufsalltags. So selbstverständlich die zwischenmenschlichen Berührungen in den verschiedenen Gesundheitsberufen zwischen Patient/Patientin und Fachkraft sind, so wenig selbstverständlich ist die genaue Kenntnis über die psychischen, sozialen und körperlichen Wirkungen des professionellen Körperkontaktes. Denn nur selten bzw. gar nicht wird innerhalb der Gesundheitsfachbereiche über die vielfältigen Wirkungsebenen der menschlichen Tastwahrnehmung reflektiert und fachspezifisches Wissen in die Lehre implementiert. Um zu verstehen, wie sich Berührungseignisse auf den Patienten und Klienten auswirken und welche gesundheitlichen Wirkungen selbst kleinste Berührungsreize entfalten können, ist eine hinreichend genaue Kenntnis über das menschliche Tastsinnessystem unerlässlich. Denn nicht das visuelle oder das akustische Sinnessystem sind die Analysatoren von sozial vermittelten, professionellen Berührungsreizen, sondern das Tastsinnessystem ist der biologische Verwerter von Berührungen. Dieses Sinnessystem ist nicht nur hinsichtlich seiner Komplexität grundverschieden gegenüber allen übrigen Sinnessystemen, sondern es ist aufgrund seiner Mehrdimensionalität auch das größte Sinnessystem des

Menschen. Diese Komplexität und Größe mag dazu beigetragen haben, dass der Tastsinn des Menschen in der Wissenschaftsgeschichte nur randständig behandelt wurde. Doch in den letzten 30 Jahren erfährt dieses Sinnessystem einen rasanten Zuwachs an Aufmerksamkeit und fachwissenschaftlicher Beachtung. Dies spiegelt sich in einer wachsenden Anzahl grundlagenwissenschaftlicher Befunde wider, aber auch konkrete und klinisch relevante Anwendungsbefunde werden mehr und mehr erbracht. Waren Studien über die Funktionsweise des menschlichen Tastsinnessystems vor 30 Jahren eher vereinzelt, so füllen diesbezügliche Publikationen heute ganze Regalreihen bzw. digitale Ordner. Der Wissenszuwachs hat somit eine Größe erreicht, für die es dringend erforderlich ist, die stabilen Essenzen daraus in Form von Lehrbüchern zu extrahieren. Das Autorenteam dieses Buches hat vor diesem Hintergrund den Versuch unternommen, sowohl grundlagenwissenschaftliche als auch fachspezifisch relevante Befunde über Aufbau, Funktion und Wirkungen des Tastsinnessystems zusammenzutragen. Dabei wurde der Ansatz vertreten, ein möglichst breites Spektrum an Themen so aufzubereiten, dass es als Lehrgrundlage für verschiedene Gesundheitsfachberufe und Gesundheitsberufe dienlich sein kann. Das Autorenteam hofft, mit diesem Lehrbuch die Lehrenden und Lernenden unter anderem in den Bereichen Physiotherapie, Ergotherapie, Gesundheits- und Krankenpflege, Hebammenwesen und Geburtshilfe, Logopädie, Altenpflege, Podologie und Humanmedizin bei der Entwicklung tastsinnesspezifischer Kompetenzen zu unterstützen.

Leipzig und Berlin  
März 2022

Stephanie Margarete Müller  
Claudia Winkelmann  
Martin Grunwald

---

## Danksagung

Dieses Lehrbuch konnte nur durch die tatkräftige Mithilfe vieler Menschen entstehen, bei denen sich die Autoren an dieser Stelle noch einmal herzlich für ihre Unterstützung bedanken möchten. Dieser Dank gilt insbesondere Herrn Prof. em. Dr. Lothar Beyer, der aufgrund seiner Expertise in der Lehre, speziell in der Manuellen Medizin sowie als Herausgeber des Journals Manuelle Medizin – European Journal of Manual Medicine und einschlägiger Publikationen, schon vor längerer Zeit sehr eindringlich auf die Notwendigkeit eines solchen Lehrbuches hingewiesen hat.

Ein Lehrbuch lebt von Abbildungen und Tabellen. Daher bedanken wir uns herzlich bei Julius Ecke, Maria Hüttig, Verena Kühn und Anna Zender, die uns beim Erstellen sehr kreativ, engagiert und geduldig unterstützt haben.

Für die mühevollen Endkorrektur des Manuskripts und wertvollen Hinweise danken wir Jente Spille, Alina Mohr und Sven Martin. Ohne die strukturelle Unterstützung durch die Medizinische Fakultät der Universität Leipzig sowie durch die Alice Salomon Hochschule und das Institut für Angewandte Forschung Berlin hätte das Buchprojekt nicht abgeschlossen werden können. Nicht zuletzt danken wir dem Springer Verlag und ganz speziell Ulrike Niesel und Eva-Maria Kania für die allzeit konstruktiven Hinweise im Verlauf dieses Buchprojektes.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Wahrnehmungsdimensionen des haptischen Systems</b> . . . . .	<b>1</b>
	Stephanie Margarete Müller und Martin Grunwald	
1.1	Sensibilität der Haut und Wahrnehmung von Umweltreizen (Exterozeption) . . . . .	2
1.1.1	Taktile Wahrnehmung . . . . .	4
1.1.2	Bewegte taktile Reize . . . . .	6
1.1.3	Haptische Wahrnehmung . . . . .	7
1.1.4	Haare – Sensibilität . . . . .	10
1.1.5	Zwischenmenschliche Berührungen . . . . .	11
1.1.6	Temperaturwahrnehmung der Körperoberfläche . . . . .	15
1.1.7	Schmerzwahrnehmung der Körperoberfläche . . . . .	16
1.2	Wahrnehmung des Körperinneren (Interozeption) . . . . .	18
1.2.1	Bedeutung der Interozeption . . . . .	19
1.2.2	Organtätigkeit und Viszerozeption . . . . .	20
1.2.3	Temperaturwahrnehmung im Inneren des Körpers . . . . .	23
1.2.4	Schmerzwahrnehmung im Inneren des Körpers (Tiefenschmerz) . . . . .	23
1.3	Lage- und Bewegungswahrnehmung (Propriozeption) . . . . .	25
1.3.1	Gewichtskräfte . . . . .	26
1.3.2	Stütz- und Zielmotorik . . . . .	26
1.3.3	Rolle des Gleichgewichtssystems . . . . .	27
1.4	Körperschema . . . . .	27
1.4.1	Phantomgliedmaßen und Körperschema . . . . .	28
1.4.2	Ontogenese des Körperschemas . . . . .	29
1.4.3	Körperschema und Wachstumsprozesse . . . . .	30
1.4.4	Störungen des Körperschemas . . . . .	31
1.4.5	Kortikale Lokalisation des Körperschemas . . . . .	34
1.5	Körperbild . . . . .	34
1.5.1	Positives Körperbild . . . . .	35
1.5.2	Negatives Körperbild und Körperbildstörungen . . . . .	35



1.5.3	Körperschema beeinflusst Körperbild – nicht vice versa .....	36
1.6	Zusammenfassung .....	37
	Literatur .....	39
<b>2</b>	<b>Anatomische und physiologische Grundlagen</b> .....	<b>49</b>
	Stephanie Margarete Müller und Martin Grunwald	
2.1	Rezeptoren des haptischen Systems .....	50
2.1.1	Räumliches Auflösungsvermögen, rezeptive Felder und Adaptation .....	50
2.1.2	Meissner-Körperchen .....	53
2.1.3	Merkel-Zellen .....	55
2.1.4	Vater-Pacini-Rezeptoren .....	56
2.1.5	Ruffini-Körperchen .....	57
2.1.6	Muskelspindeln .....	58
2.1.7	Golgi-Sehnenorgane .....	59
2.1.8	Freie Nervenendigungen .....	59
2.1.9	Haarzellen des auditiven und vestibulären Systems .....	62
2.1.10	Zusammenfassung .....	62
2.2	Neuronale Verarbeitung des haptischen Systems .....	64
2.2.1	Periphere sensorische Fasern .....	64
2.2.2	Rückenmark .....	64
2.2.3	Kortikale Verarbeitung .....	69
2.3	Bindegewebe und Faszien .....	72
2.3.1	Was sind Bindegewebe und Faszien? .....	72
2.3.2	Aufbau des Bindegewebes .....	73
2.3.3	Funktionen des Bindegewebes .....	74
2.3.4	Densifikation und Fibrosierung von Bindegeweben – Einfluss von Stress, Schmerz, Entzündungen, Dehnung .....	75
2.4	Physiologische Effekte angenehmer Berührungen (auf Hormone, Neurotransmitter und Immunsystem) .....	78
2.4.1	Oxytocin .....	79
2.4.2	Serotonin/Dopamin .....	80
2.4.3	Stresshormone .....	81
2.4.4	Immunsystem .....	83
2.4.5	Schmerzwahrnehmung .....	85
	Literatur .....	86
<b>3</b>	<b>Wahrnehmungsschwellen und Störungen der Tastsinneswahrnehmung</b> .....	<b>91</b>
	Stephanie Margarete Müller und Martin Grunwald	
3.1	Das Tastsinnessystem im Lebensverlauf .....	91
3.1.1	In utero .....	91
3.1.2	Neonatal und erstes Lebensjahr .....	95
3.1.3	Kindheit und Jugend .....	97
3.1.4	Erwachsenenalter und Alter .....	100

3.2	Ursachen für interindividuelle Unterschiede . . . . .	105
3.2.1	Veranlagung . . . . .	106
3.2.2	Umwelteinflüsse . . . . .	108
3.3	Störungen des haptischen Systems durch Läsionen und degenerative Erkrankungen des Nervensystems . . . . .	109
3.3.1	Schädigungen des peripheren Nervensystems . . . . .	109
3.3.2	Schädigungen des zentralen Nervensystems . . . . .	110
3.3.3	Vertiefung: Degenerative Erkrankungen des ZNS (am Beispiel Alzheimer-Demenz und Parkinson- Syndrom) . . . . .	111
3.4	Störungen des haptischen Systems bei psychiatrischen Erkrankungen und neuronalen Entwicklungsstörungen. . . . .	114
3.4.1	Störungen der Propriozeption, der sensorischen Integration und des Körperschemas bei psychiatrischen Erkrankungen . . . . .	115
3.4.2	Tastsinnesfähigkeit und taktile Abwehr bei Entwicklungsstörungen . . . . .	117
3.4.3	Interozeption (Psychosomatik). . . . .	122
	Literatur. . . . .	125
<b>4</b>	<b>Testung, Trainierbarkeit und Rehabilitation . . . . .</b>	<b>135</b>
	Martin Grunwald, Stephanie Margarete Müller und Claudia Winkelmann	
4.1	Trainierbarkeit und Rehabilitation . . . . .	135
4.1.1	Hand: Training der manuellen Wahrnehmungsschwellen (gesunde Erwachsene bis hohes Lebensalter) . . . . .	136
4.1.2	Obere Extremität: Sensorische Rehabilitation nach Schlaganfall und anderen Hirnverletzungen . . . . .	140
4.1.3	Untere Extremität: Balance und Propriozeption bei verschiedenen Erkrankungen und im Alter . . . . .	146
4.2	Neuropsychologische Test- und Trainingsverfahren für Ausbildung und Praxis. . . . .	155
4.2.1	Klinische diagnostische Testverfahren für Kinder und Erwachsene . . . . .	156
4.2.2	Taktile Fähigkeitstests . . . . .	157
4.2.3	Haptische Fähigkeitstests . . . . .	157
4.2.4	Propriozeptive Fähigkeitstests . . . . .	160
4.2.5	Trainingsverfahren für gesunde Erwachsene . . . . .	161
4.3	Propädeutikum zur aktiven Tastsinnesleistung im Rahmen der Aus- und Weiterbildung (PakT). . . . .	163
4.3.1	Didaktische Vorbetrachtungen . . . . .	163
4.3.2	Lehrveranstaltungsplanung . . . . .	169
4.3.3	PakT . . . . .	175
	Literatur. . . . .	183

<b>5 Psychologische Aspekte von Berührung</b> .....	193
Stephanie Margarete Müller	
5.1 Ethische Aspekte .....	194
5.1.1 Berührung von Patienten .....	194
5.1.2 Akzeptable Körperbereiche und Situationen .....	195
5.1.3 Kulturelle und religiöse Unterschiede .....	197
5.2 Kurze Berührungen und ihre Folgen .....	198
5.2.1 Erwartungs- und Geschlechtseffekte .....	198
5.2.2 Wahrnehmung von Emotionen und Intentionen .....	201
5.2.3 Beeinflussung von Einstellungen: Bewertung einer Person oder des Settings .....	203
5.2.4 Beeinflussung von Verhalten: prosoziales Verhalten und Teilnahmebereitschaft .....	204
5.3 Placeboeffekte, Adhärenz und Kompetenz .....	206
5.3.1 Nonverbale Kommunikation in der Behandler- Patient-Beziehung .....	207
5.3.2 Compliance, Adhärenz und Selbstheilungskräfte .....	209
5.3.3 Tipps für die Lehre .....	213
5.4 Embodiment .....	214
5.4.1 Gesichts-Feedback-Hypothese .....	214
5.4.2 Körperhaltung .....	214
5.5 Emotionale und soziale Aspekte .....	217
5.5.1 Gesundheitsfolgen von Einsamkeit und sozialer Isolation .....	217
5.5.2 Nutzen sozialer und emotionaler Berührungen in der Pflege .....	218
5.5.3 Berührungen nahestehender Personen beeinflussen Wohlbefinden, Stress und Schmerz .....	225
5.5.4 Haustiere, tiergestützte Interventionen und soziale Robotik .....	230
5.6 Zusammenfassung .....	238
Literatur .....	239
<b>6 Relevanz von Berührung während Schwangerschaft und Geburt</b> .....	249
Stephanie Margarete Müller und Martin Grunwald	
6.1 Effekte manueller Techniken im Schwangerschaftsverlauf ...	249
6.1.1 Hintergrund: Folgen von Stress während der Schwangerschaft .....	249
6.1.2 In-vitro-Fertilisation .....	251
6.1.3 Prävention von Schwangerschaftskomplikationen ...	252
6.1.4 Schwangerschaftsbedingte Schmerzen .....	253
6.1.5 Massage bei pränataler Depression .....	254
6.1.6 Effekte auf die Reifung des Fötus .....	254
6.1.7 Vorsichtsmaßnahmen für Massagen während der Schwangerschaft .....	255

6.2	Geburt. . . . .	257
6.2.1	Manuelle Techniken wie Akupressur und Effleurage . . . . .	257
6.2.2	Perinealmassage . . . . .	259
6.2.3	Kaiserschnitt und vaginale Geburt . . . . .	260
	Literatur. . . . .	262
<b>7</b>	<b>Relevanz von Berührung für die frühkindliche Entwicklung. . .</b>	<b>267</b>
	Martin Grunwald und Stephanie Margarete Müller	
7.1	Frühgeborene . . . . .	267
7.1.1	Frühgeborene und nachgeburtlicher Körperkontakt. . . . .	268
7.1.2	Biologisches Wirkungsmodell des Körperkontakts bei Frühgeborenen . . . . .	271
7.2	Frühkindliche Entwicklung und Körperkontakt. . . . .	272
7.2.1	Adäquate Berührungsreize vs. inadäquate Berührungsreize . . . . .	272
7.2.2	Wachstumsprozesse durch soziale Berührungsreize . . . . .	273
7.2.3	Stressregulation durch soziale Berührungsreize. . . . .	274
7.2.4	Bindung und soziale Aufmerksamkeit durch Berührungsreize . . . . .	274
7.2.5	Fehlentwicklung und pathologische Störungen durch Berührungsmangel . . . . .	275
7.2.6	Sprachentwicklung und sozial vermittelte Tast- sinneserfahrungen. . . . .	275
	Literatur. . . . .	276
<b>8</b>	<b>Berührung ein Lebensmittel: Einfluss auf die körperliche und geistige Gesundheit . . . . .</b>	<b>281</b>
	Stephanie Margarete Müller	
8.1	Effekte von Massagen und anderen Berührungsinter- ventionen bei verschiedenen Erkrankungen. . . . .	282
8.1.1	Krebserkrankungen . . . . .	282
8.1.2	Diabetes mellitus . . . . .	287
8.1.3	Asthma . . . . .	289
8.1.4	Dialyse bei chronischer Nierenerkrankung . . . . .	290
8.1.5	HIV/Aids . . . . .	292
8.1.6	Depression und Angststörungen. . . . .	293
8.1.7	Posttraumatische Belastungsstörung . . . . .	296
8.1.8	ADHS und Autismus . . . . .	299
8.1.9	Exkurs: Gewichtsdecken und Gewichtswesten . . . . .	304
8.1.10	Bluthochdruck und Herz-Kreislauf-Erkrankungen . .	306
8.1.11	Zusammenfassung . . . . .	308

---

8.2	Kontraindikationen und Nebenwirkungen von Massage . . . . .	309
8.2.1	Nebenwirkungen . . . . .	309
8.2.2	Kontraindikationen . . . . .	309
8.3	Blick über den Tellerrand: körperliche Aktivität als Medikament . . . . .	310
	Literatur . . . . .	313
<b>Glossar</b>	. . . . .	<b>323</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	. . . . .	<b>327</b>

---

## Über die Autoren

**Dr. Stephanie Margarete Müller**, Diplompsychologin, forscht seit 2011 zum klinischen Schwerpunkt am Haptik-Forschungslabor an der Universität Leipzig. Arbeitsschwerpunkte umfassen u.a. körperorientierte und tast-sinnesbasierte Behandlungsansätze sowie Testung und Training der menschlichen Tastwahrnehmung.

**Prof. Dr. Claudia Winkelmann**, Physiotherapeutin und Stiftungsrätin der Stiftung Manuelle Medizin Berlin. Für die Lehre entwickelte sie das Propädeutikum aktiver Tastsinnesleistungen (PakT) für Gesundheitsberufe. Forschungstätigkeit u.a. zum Thema Haptik in den Hebammenwissenschaften und der Geriatrie.

**Prof. Dr. Martin Grunwald**, Diplompsychologe, gründete 1996 das weltweit erste Haptik-Labor (Universität Leipzig). Er ist international renommierter Wissenschaftler und Autor zu neurobiologischen und klinischen Grundlagen sowie diagnostischen und therapeutischen Ansätzen der aktiven Tastwahrnehmung (Haptik).



# Wahrnehmungsdimensionen des haptischen Systems

1

Stephanie Margarete Müller und Martin Grunwald

## Inhaltsverzeichnis

1.1	Sensibilität der Haut und Wahrnehmung von Umweltreizen (Exterozeption) . . . . .	2
1.1.1	Taktile Wahrnehmung . . . . .	4
1.1.2	Bewegte taktile Reize . . . . .	6
1.1.3	Haptische Wahrnehmung . . . . .	7
1.1.4	Haare – Sensibilität . . . . .	10
1.1.5	Zwischenmenschliche Berührungen . . . . .	11
1.1.6	Temperaturwahrnehmung der Körperoberfläche . . . . .	15
1.1.7	Schmerzwahrnehmung der Körperoberfläche . . . . .	16
1.2	Wahrnehmung des Körperinneren (Interozeption) . . . . .	18
1.2.1	Bedeutung der Interozeption . . . . .	19
1.2.2	Organtätigkeit und Viszerozeption . . . . .	20
1.2.3	Temperaturwahrnehmung im Inneren des Körpers . . . . .	23
1.2.4	Schmerzwahrnehmung im Inneren des Körpers (Tiefenschmerz) . . . . .	23
1.3	Lage- und Bewegungswahrnehmung (Propriozeption) . . . . .	25
1.3.1	Gewichtskräfte . . . . .	26
1.3.2	Stütz- und Zielmotorik . . . . .	26
1.3.3	Rolle des Gleichgewichtssystems . . . . .	27
1.4	Körperschema . . . . .	27
1.4.1	Phantomgliedmaßen und Körperschema . . . . .	28
1.4.2	Ontogenese des Körperschemas . . . . .	29
1.4.3	Körperschema und Wachstumsprozesse . . . . .	30
1.4.4	Störungen des Körperschemas . . . . .	31
1.4.5	Kortikale Lokalisation des Körperschemas . . . . .	34
1.5	Körperbild . . . . .	34
1.5.1	Positives Körperbild . . . . .	35
1.5.2	Negatives Körperbild und Körperbildstörungen . . . . .	35
1.5.3	Körperschema beeinflusst Körperbild – nicht vice versa . . . . .	36
1.6	Zusammenfassung . . . . .	37
	Literatur . . . . .	39

Die zentralen Aufgaben jedes Sinnessystems bestehen darin, den jeweiligen Organismus sowohl über die Eigenschaften der physikalisch-chemischen Außenwelt als auch über Eigenschaften und Zustände des eigenen Organismus zu informieren.

Die nach außen gerichtete Funktion eines Sinnessystems wird als **Exterozeption** (Abschn. 1.1) bezeichnet. Alle Sinnessysteme – visuelles, auditives, gustatorisches, olfaktorisches und das haptische System – ermöglichen

es dem Organismus, physikalisch-chemische Eigenschaften der äußeren Umwelt und deren Veränderungen zu registrieren.

Eigenschaften und Funktionen des eigenen Organismus können zudem über Epiphänomene an der Körperoberfläche mittels visueller, auditiver, gustatorischer und olfaktorischer Rezeptoren wahrgenommen werden. So können Sekrete gerochen und geschmeckt, Farb- und Formveränderungen der Haut, der Augen und der Schleimhäute gesehen oder Magenknurren gehört werden. Im Gegensatz dazu beinhaltet einzig das haptische System die Möglichkeit, Zustandsinformationen direkt aus dem Körperinneren zu empfangen. Selbst unabhängig vom Einsatz der Hände können u. a. Herzschlag, Darmperistaltik und Dehnung des Brustkorbs wahrgenommen werden. Diese sogenannte **Interozeption** (Abschn. 1.2) wird durch eine weitere Besonderheit des haptischen Systems ermöglicht: Während alle anderen Sinnessysteme über spezialisierte biologische Rezeptoren verfügen, die in einer bestimmten Region des Körpers konzentriert sind (Auge, Ohr, Nase, Mund), befinden sich die Rezeptoren des haptischen Systems in unterschiedlicher Konzentrationsdichte überall im Körper. Aus dem gleichen Grund sind auch die interozeptiven und exterozeptiven Funktionen des haptischen Systems nicht auf eine bestimmte Region des Organismus beschränkt. Die Hauptfunktion dieser Rezeptoren ist es, jede Verformung des Organismus zu registrieren (Mechanosensorik). Die physikalischen Ursachen einer jeden „Verformung“ sind **Krafteinwirkungen in Form von Druck-, Dehnungs-, Vibrations- oder Scherreizen** auf den Organismus (oder durch entsprechende Veränderungen im Inneren des Organismus). Hinzu kommen **Schmerz- und Temperatursensationen**. Für alle aktiven und passiven Bewegungs- und Tastprozesse ist eine weitere Klasse von Wahrnehmungsqualitäten des haptischen Systems von entscheidender Bedeutung. **Propriozeption** (Abschn. 1.3) bezeichnet die Fähigkeit eines Organismus, die Position, Kraft und Bewegung der eigenen Gliedmaßen jederzeit in Relation zum eigenen

Körper und in Relation zur äußeren Umwelt adäquat abzubilden. Diese Wahrnehmungsleistung stellt die Grundlage für alle explorativen und motorischen Aktivitäten eines Körpers dar und ist sowohl für exterozeptive als auch interozeptive Prozesse entscheidend.

Um sowohl exterozeptive, propriozeptive als auch interozeptive Wahrnehmungsleistungen erbringen zu können, verfügt das haptische System über ein hochsensibles und sehr differenziertes Netzwerk an verschiedensten **Rezeptoren** (Abschn. 2.1), die sich an den Haarfollikeln, in der Haut, den Bindegeweben, den Organen, in der Muskulatur, den Sehnen und in den Gelenken befinden.

► **Definition:** Das **haptische System** umfasst alle Wahrnehmungsprozesse des menschlichen Tastsinnessystems, bei aktiver und passiver Stellung des wahrnehmenden Subjekts zur Reizquelle, die sich aus einzelnen oder kombinierten exterozeptiven, propriozeptiven und interozeptiven Prozessen ergeben, einschließlich Schmerz- und Temperaturwahrnehmung. Psychologische Prozesse (z. B. Bewertungen, Erwartungen, Emotionen) und Wahrnehmungsprozesse des haptischen Systems beeinflussen sich gegenseitig. (In diesem Lehrbuch werden die Begriffe haptisches System und Tastsinnessystem synonym verwendet.)

---

## 1.1 Sensibilität der Haut und Wahrnehmung von Umweltreizen (Exterozeption)

Exterozeption bezeichnet die Wahrnehmung von äußeren Umweltreizen (externe Reize) durch ein Lebewesen. Für eine möglichst realistische Wahrnehmung der Eigenschaften der äußeren Umwelt werden Signale aus allen Sinnessystemen – visuelles, auditives, gustatorisches, olfaktorisches und des haptischen Systems – durch das Zentralnervensystem verarbeitet und ergänzen sich gegenseitig zu einem multisensorischen Gesamteindruck. Umweltreize, die durch das Tastsinnessystem verarbeitet werden,

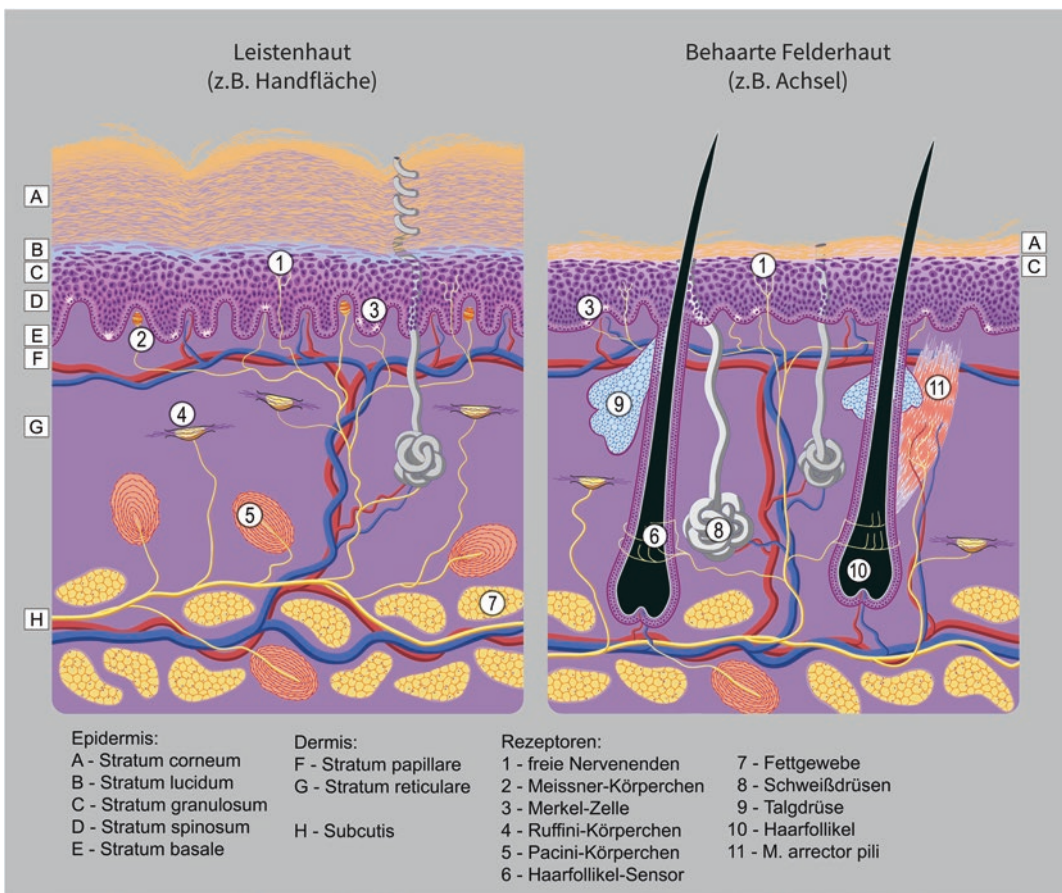


werden grundsätzlich zuerst von der **Haut als Grenzorgan und den Körperhaaren** registriert. Je nach Intensität und Form der von außen einwirkenden Reize können zusätzlich jedoch auch Rezeptoren tieferer Gewebeschichten, beispielsweise der Muskulatur, Bindegewebe und Gelenke sowie des Gleichgewichtsorgans erregt werden.

Zur besseren Übersichtlichkeit werden die Wahrnehmungsdimensionen der Haut und der tiefer im Körper gelegenen Rezeptoren in getrennten Kapiteln beschrieben (Abschn. 1.2 und 1.3).

Die Körperhaut ist mit einer Fläche von rund 2 m<sup>2</sup> das größte menschliche Organ. Sie bildet die sensorische Grenze des menschlichen Körpers, ist Wahrnehmungsorgan,

Kommunikationsmittel und Schutzschicht zugleich. Das dichte Netzwerk von Rezeptoren der Haut und der darunterliegenden Fett- und Bindegewebe registriert unter anderem alle mechanischen, thermischen und ggf. chemischen Veränderungen, die auf sie wirken (Abb. 1.1). Bemerkenswert ist neben der funktionellen Komplexität der Mechanorezeptoren v. a. deren große Anzahl: Jeder Quadratzentimeter Körperhaut ist mit mindestens 300 sensiblen Einheiten ausgestattet (für eine Schätzung der Anzahl der sensiblen Einheiten im gesamten Körper siehe Abschn. 2.1.1). Sinnvollerweise variiert die Dichte der Rezeptoren je nach Körperareal. Insbesondere in der Nähe von Körperöffnungen als potenzielle Schwachstellen des Organismus ist



**Abb. 1.1 Grafische Darstellung der Hautschichten.** Lokalisation der Mechanorezeptoren in den Hautschichten der unbehaarten (*links*) und der behaarten (*rechts*) Haut. (© Illustration hegasy.de, bearbeitet)

die Rezeptordichte sehr hoch (Grunwald, 2019). In gleicher Weise sind die manipulativen Bereiche der Extremitäten (Handflächen und Fußsohlen), die einen häufigen Kontakt zur äußeren Umwelt haben, mit einer höheren Rezeptordichte ausgestattet.

Dadurch können Objekte erkannt, Rauheit, Festigkeit und Temperatur wahrgenommen, zwischenmenschliche Berührungen gefühlt und verarbeitet werden. Durch ihre hochsensible Signalfunktion schützt die Haut außerdem vor dem Eindringen kleinster Insekten ebenso wie vor Verletzungen.

### 1.1.1 Taktile Wahrnehmung

Zur Charakterisierung der exterozeptiven Funktionen des menschlichen Tastsinnessystems ist es sinnvoll zu unterscheiden, ob sich die wahrnehmende Person aktiv bewegt oder ob sie selbst passiv und unbewegt ist und berührt wird. Diese Unterscheidung ist deshalb wichtig, weil davon die Komplexität der Verarbeitungsprozesse und die resultierenden Wahrnehmungsschwellen stark abhängen. Entsprechend werden die Empfindungen, die in einem unbewegten Subjekt entstehen, das passiv berührt wird, als **taktile Wahrnehmungen** bezeichnet. Wird der Organismus jedoch im Rahmen selbstständiger Bewegung (Exploration) verformt, dann entstehen in dem sich bewegenden Organismus **haptische Wahrnehmungen** (Tab. 1.1). Eine Sonderform bilden bewegte taktile Reize (Abschn. 1.1.2).

### Wahrnehmungsschwellen punktueller taktiler Hautreize

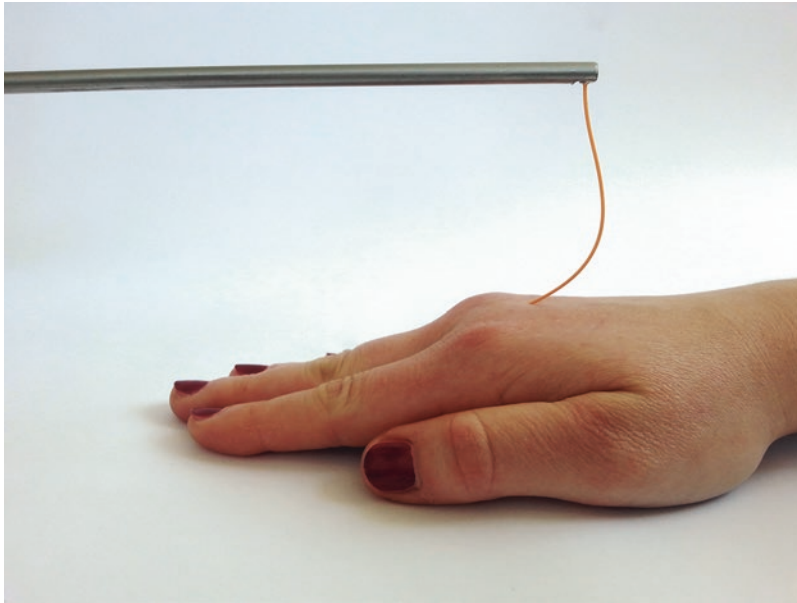
*Punktuelle* Wahrnehmungsschwellen werden meist an den Fingern, der Hand oder am Unterarm von unbewegten Probanden gemessen. Die niedrigsten Wahrnehmungsschwellen treten üblicherweise an den Fingerspitzen auf, während Hand und Unterarm vergleichsweise weniger sensibel sind. Entsprechend konnte experimentell festgestellt werden, dass an der Fingerspitze eine Druckkraft von nur 0,1 mN (entspricht einem Gewicht von 0,01 mg), bei einer Hautverformungstiefe von weniger als 10 µm (Johansson et al., 1980), bereits sicher wahrgenommen werden kann. Für diesen Test wurden sogenannte **von-Frey-Haare (alternative Bezeichnung: Semmes-Weinstein Monofilamente)** verwendet (Abb. 1.2). Dabei stellte bereits von Frey (der Erfinder dieser Methode) fest, dass ein rascheres Aufsetzen der Reizhaare die Empfindung verbessert (Abschn. 1.1.2, Bewegte taktile Reize; Frey, 1896). Wie alle taktilen und haptischen Wahrnehmungsdimensionen ist auch diese einfachste Empfindungsschwelle durch starke interindividuelle Unterschiede (Abschn. 3.2) und ein Nachlassen der Sensibilität mit dem Alter gekennzeichnet (Abschn. 3.1).

### Räumliches Auflösungsvermögen

Die *Genauigkeit* der taktilen Wahrnehmung wird klassisch mittels Zwei-Punkt-Diskrimination gemessen. Dabei werden gleichzeitig zwei abgestumpfte Zirkelspitzen leicht auf die Haut aufgesetzt. Der kleinste Abstand, bei dem die bei-

**Tab. 1.1** Taktile vs. haptische Wahrnehmung

	Taktile Wahrnehmung	Haptische Wahrnehmung
Wahrnehmendes Subjekt	Unbewegt	Bewegt
Berührungsart	Passiv	Aktiv
Kognitiver Anspruch	Gering	Hoch (Berührungs- und Bewegungsinformationen)
Relevante Körpergebiete	Körperoberfläche	Alle Körpergewebe
Beispiel	Ruhendes Subjekt fühlt, wie es durch andere Person/Objekt berührt wird	Eine Person ertastet ein Objekt
Absolute Wahrnehmungsschwelle	10 µm	1 µm
Interindividuelle Sensibilitätsunterschiede	Ja	Ja
Alterseffekte	Abnehmende Sensibilität	Ggf. abnehmende Sensibilität

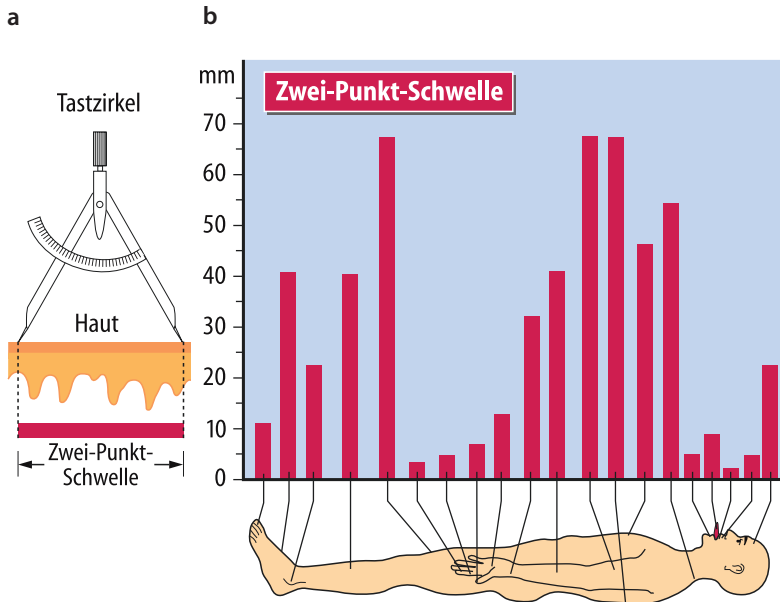


**Abb. 1.2 Taktile Sensibilitätsprüfung mit von-Frey-Haaren.** Die Monofilamente aus Nylon sind durch ihre unterschiedliche Dicke gekennzeichnet. Von der Dicke des Filaments hängt die jeweilige Biegsamkeit ab. Jedes Filament wird im rechten Winkel mit leichtem Druck auf die Haut aufgesetzt, bis es sich biegt. Die Biegsamkeit bestimmt die erforderliche Kraft und damit auch den wahrnehmbaren Druck. Das dünnste Filament in der Testserie verbiegt sich bei einer Druckkraft von nur 0,008 g. Das dickste Filament verbiegt sich erst bei einer Druckkraft von 300 g. (© Abb. Haptik-Forschungslabor, Universität Leipzig)

den Zirkelspitzen noch als zwei getrennte taktile Reize unterschieden werden können, wird als **Zwei-Punkt-Schwelle (simultane Raumschwelle)** bezeichnet. Die Zwei-Punkt-Schwelle und damit das räumliche Auflösungsvermögen der taktilen Wahrnehmung unterscheidet sich an verschiedenen Stellen des Körpers. Zunge, Lippen und Fingerspitzen sind die Gebiete mit dem besten Auflösungsvermögen. An diesen Stellen genügen Abstände von 2–4 mm, um zwei *gleichzeitig auftreffende* taktile Reize unterscheiden zu können (Lederman & Klatzky, 2009). Oberarm, Oberschenkel und Rücken zeigen hingegen das geringste Auflösungsvermögen. Dort sind Zwei-Punkt-Abstände von 50–100 mm erforderlich (Abb. 1.3). Aufgrund größerer Objektivität bei der Durchführung werden in wissenschaftlichen Untersuchungen vornehmlich **Grating Domes** (Stempel mit unterschiedlich großen Rillenabständen, Abschn. 4.2.2) eingesetzt.

► **Merke:** Die größere taktile Oberflächen sensitivität im Gesicht, an den Händen und den Füßen beruht auf der größeren Dichte tastsensibler Rezeptoren in diesen Körperteilen. Außerdem sind diese Körperteile mit größeren Repräsentationsgebieten im primären somatosensorischen Kortex und Thalamus verknüpft (Birbaumer & Schmidt, 2006).

Eine Rasterung der menschlichen Oberflächen sensitivität anhand des räumlichen Auflösungsvermögens (Abb. 1.3) ist sehr anschaulich. Sie gibt allerdings nur einen geringen Teil des Wahrnehmungsspektrums und der tatsächlichen Sensibilität der Körperoberfläche wieder. Durch haptische Reize sowie durch Berührung der Körperhaare können wesentlich geringere Schwellen erreicht werden.



**Abb. 1.3** a Testapparat zur Messung der Zwei-Punkt-Schwelle. b Zwei-Punkt-Schwelle an verschiedenen Körperstellen. (Aus Birbaumer & Schmidt, 2006, S. 323)

#### Fazit

Dank höherer peripherer Rezeptordichte haben die Zunge, Lippen und Fingerspitzen eine niedrigere Zwei-Punkt-Schwelle – also ein **höheres (!) räumliches** Auflösungsvermögen – als andere Gebiete der Körperoberfläche. „Niedrige Schwellenwerte“ bedeutet, ein Mensch verfügt über eine höhere Sensibilität; „hohe Schwellenwerte“ bedeutet demnach, dass ein Mensch über eine geringere Sensibilität verfügt.

### 1.1.2 Bewegte taktile Reize

- ▶ **Merke:** Streng betrachtet existieren keine unbewegten Reize: die Geschwindigkeit mit der ein Reiz die Haut trifft und sie verformt, ist in sich eine Bewegung. Hinzu kommt, dass ein lebendes Subjekt niemals vollständig unbewegt ist: es atmet, der Körper pulsiert durch den Herzschlag. Folglich sind sowohl taktile als auch haptische Reize auf

einer Dimension von mehr oder weniger Bewegung charakterisiert. (Abschn. 1.1.3).

#### Sukzessive Raumschwelle

Wird die Körperoberfläche statt mit statischen Stimuli mit bewegten mechanischen Reizen berührt, ergeben sich in der Regel bessere Werte der Oberflächensensibilität. Von der simultanen Zwei-Punkt-Schwelle kann beispielsweise die sukzessive Raumschwelle (zeitlich aufeinander folgende Reize) unterschieden werden. Dabei werden zwei Zirkelspitzen mit kurzer zeitlicher Abweichung aufgesetzt. So können, je nach Körperregion, bis zu vier Mal geringere Abstände der Zirkelspitzen als zwei räumlich getrennte Reize wahrgenommen werden. Beispielsweise beträgt diese sukzessive Punktlokalisationsfähigkeit an der Fingerspitze nur 1–2 mm (Lederman & Klatzky, 2009).

#### Vibrationsreize

Vibrationen stellen an sich eine Bewegung dar. Im Vergleich zu anderen taktilen Reizen ist die Vibrationswahrnehmung beim Menschen

besonders gut ausgeprägt. Die absolute Schwelle für bewusst wahrnehmbare Vibrationsempfindungen liegt im Frequenzbereich von 100–300 Schwingungen pro Sekunde (Hertz) bei Schwingungsamplituden (Tiefe der Hauteinbuchtung pro Schwingung) von nur 1  $\mu\text{m}$  (Talbot et al., 1968). In höheren und niedrigeren Frequenzbereichen sind größere Schwingungsamplituden erforderlich, um eine bewusste Vibrationsempfindung zu erzeugen (Abb. 2.3 in Abschn. 2.1.4).

- ▶ **Merke:** Unbehaarte Hautgebiete (z. B. Handflächen, Fußsohlen) sind tendenziell sensibler für Vibrationen als Gebiete mit behaarter Haut (Merzenich & Harrington, 1969; Talbot et al., 1968). Die größte Sensibilität für Vibrationsreize zeigen knöcherne Vorsprünge, Nägel und Zähne. Über sie werden Vibrationen auf die umliegenden Hautgebiete (z. B. Nagelbett, Zahnfleisch) übertragen.

### Messung der Vibrationswahrnehmung

Durch Aufsetzen einer in Schwingung versetzten Stimmgabel auf Knochenvorsprünge kann die Vibrationsempfindung (Pallästhesie) auf einfache Weise gemessen werden. Dieser sogenannte **Stimmgabeltest** (Rydell-Seifer-Test) wird bei neurologischen Untersuchungen zur Beurteilung der Vibrationswahrnehmungsfähigkeit und der Tiefensensibilität genutzt (Martina et al., 1998; Rydel und Seiffer, 1903). Die Untersuchung erfolgt von distal (an der unteren Extremität z. B. am Großzehengrundgelenk) nach proximal. Der Patient hält dabei die Augen geschlossen und gibt an, wenn er die abklingende Vibration nicht mehr spürt. Vermindertes Vibrationsempfinden (Pallhypästhesie) tritt typischerweise in Folge von Polyneuropathien (z. B. im Rahmen von Diabetes mellitus Typ I und II, Vitamin-B<sub>12</sub>-Mangel oder Nierenerkrankungen) und demyelinisierenden Erkrankungen auf.

### 1.1.3 Haptische Wahrnehmung

Streng genommen gilt, dass taktile Wahrnehmungen nur unter experimentellen Bedingungen entstehen. Im Alltag ist der Mensch in der Regel *haptischen* Wahrnehmungsprozessen ausgesetzt. Im Gegensatz zur taktilen Diskrimination ist die haptische Wahrnehmung komplexer und ermöglicht die Unterscheidung kleinerer Oberflächen- und Raumunterschiede (Libouton et al., 2010; Mueller et al., 2014; Grunwald, & Beyer, 2001).

Haptische Wahrnehmungsergebnisse entstehen dann, wenn sich das wahrnehmende Subjekt aktiv bewegt. Das bedeutet, dass gleichzeitig zur Berührungsinformation immer auch Bewegungsinformationen verarbeitet werden müssen. Dabei muss ständig geprüft werden, ob diese Bewegungen für die haptische Erkennung relevant sind oder nicht. Irrelevante Bewegungsinformationen (oder andere ablenkende Reize, z. B. visuell) können die haptische Wahrnehmung stören und müssen folglich ständig gefiltert werden (s. Beispiel).

- ▶ **Merke:** Im Rahmen haptischer Wahrnehmungsprozesse müssen gleichzeitig zur Berührungsinformation immer auch Bewegungs- und Stellungsinformationen verarbeitet werden.

#### Beispiel: Komplexität haptischer Wahrnehmung

- a) Die Person sitzt mit geschlossenen Augen und soll ein Objekt (z. B. Ball) erkennen, das ihr in beide Hände gelegt wird. Bei der beidhändigen Exploration eines Balls fließen neben Informationen aus der Fingerhaut auch die Informationen der Muskulatur und Gelenke aus Fingern, Händen, Armen und Schultergürtel in den Erkennungsprozess von Größe, Gewicht und Festigkeit des Balls mit ein. Ist der Ball sehr groß oder sehr schwer, können zusätzlich Informationen der Wirbelsäule,

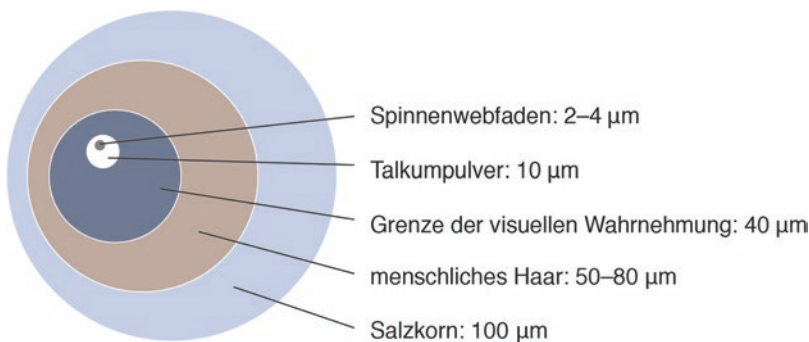
des Thorax und der unteren Extremitäten für die Erkennung von Gewicht und Größe relevant sein.

- b) Irrelevante Bewegungsinformationen: Die Person im Experiment trainiert auf einem Fahrradergometer, als ihr das Objekt (z. B. Ball) gereicht wird. Neben der für die Erkennung erforderlichen Informationen aus Muskeln, Gelenken und Sehnen müssen gleichzeitig die ganzkörperlichen Veränderungen, die durch die Radfahrbewegungen entstehen, verarbeitet werden. Die Radfahrbewegungen müssen dabei vom Gehirn als irrelevant für die Objekterkennung erkannt und ausgeblendet werden. ◀

### Absolute haptische Wahrnehmungsschwelle

Damit ein gesunder erwachsener Mensch mit seiner Fingerspitze auf einer ansonsten glatten Oberfläche eine Erhebung wahrnehmen kann, genügt ein scharfer Höhenunterschied von  $1\ \mu\text{m}$  (Johansson & LaMotte, 1983; Louw et al., 2000, 2002). Das entspricht einer Höhe von  $0,001\ \text{mm}$ ! Zum Vergleich: ein menschliches Haar ist zwischen  $30$  und  $100\ \mu\text{m}$  ( $0,03$ – $0,1\ \text{mm}$ ) dick. Die meisten Pollen sind zwischen  $10$  und  $100\ \mu\text{m}$  groß. Partikel des sogenannten Feinstaubs sind  $10\ \mu\text{m}$  und kleiner (Abb. 1.4). Die Grenze des visuellen Auflösungsvermögens liegt bei idea-

ler Beleuchtung bei einer Partikelgröße von etwa  $40\ \mu\text{m}$  (z. B. aufgewirbelter Staub/Pollen im Sonnenlicht). Entscheidend für das Erreichen der absoluten haptischen Schwelle ist **hohe Konzentration auf die Exploration** und, dass der explorierende Finger über die Oberfläche bewegt wird. Statischer (taktiler) Kontakt reicht für dieses Wahrnehmungsergebnis nicht aus. Der Aspekt der **Bewegung bei der haptischen Exploration** ist auch der Grund dafür, dass die Verteilungsdichte der Mechanorezeptoren in der Haut für die haptische Wahrnehmungsschwelle weniger eine Rolle spielt als für taktile Schwellentests (Zwei-Punkt-Schwelle). Für die taktile Zwei-Punkt-Diskrimination ist erforderlich, dass jeder der beiden Zirkelspitzen das rezeptive Feld eines diskreten Mechanorezeptors reizt. Treffen beide Zirkelspitzen in das rezeptive Feld des gleichen Rezeptors, wird dies nur als ein Punkt wahrgenommen. Wird hingegen die Haut über zwei Punkte bewegt, dann werden sukzessive verschiedene Mechanorezeptoren gereizt, wodurch wesentlich kleinere Unterschiede wahrgenommen werden können. Demzufolge kann von taktilen Testergebnissen nicht auf die haptische Sensibilität geschlossen werden. Bekannt ist beispielsweise, dass bei altersbedingt verringerter Rezeptordichte zwar die Zwei-Punkt-Schwelle schlechter wird, die Rauheitsdiskrimination (z. B. von Sandpapier) aber stabil bleibt (Abschn. 3.1.4).



**Abb. 1.4** Veranschaulichung der relativen Größe eines Mikrometers. Damit Objekte mit einer Größe von etwa  $40\ \mu\text{m}$  noch mit bloßem Auge wahrgenommen werden können, sind optimale Lichtverhältnisse (z. B. helles Sonnen-/Gegenlicht) erforderlich. (© Illustration Verena Kühn)

- ▶ **Merke:** Entscheidend für das Erreichen der absoluten haptischen Schwelle ist hohe Konzentration auf die Exploration und dass der explorierende Finger aktiv über die Oberfläche bewegt wird. Statischer (taktiler) Kontakt reicht für dieses Wahrnehmungsergebnis nicht aus.

### Sukzessive und simultane Informationsverarbeitung

**Sukzessiv:** Eine Besonderheit der haptischen Exploration ist, dass die Form eines Objekts oder einer Oberfläche Stück für Stück erkundet werden muss. Das heißt, um ein Objekt oder Relief erkennen zu können, müssen viele einzelne Informationen, die **zeitlich nacheinander (sukzessive)** wahrgenommen werden, im Gedächtnis behalten und auf neuronaler Ebene integriert werden. Haptische Wahrnehmung erfordert also, dass ausreichend freie Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses zur Verfügung stehen. Da die **Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses** eng begrenzt sind, können ablenkende Reize oder Konzentrationsmangel den Erkennungsprozess stören. Wahrscheinlich ist das der Grund, weshalb die meisten Personen bei schwierigen haptischen Explorationsaufgaben unwillkürlich die Augen schließen oder aufhören zu Sprechen. Experimentell konnte gezeigt werden, dass sogar die Sichtbarkeit der eigenen Handbewegungen während der Exploration die haptische Erkennung komplexer Stimuli beeinträchtigen kann (Mueller et al., 2013). Im Gegensatz dazu kann der starre Blick in Richtung der explorierenden Gliedmaße die Fokussierung der Aufmerksamkeit verbessern, was die haptische Erkennung erleichtern kann (Tipper et al., 1998).

- ▶ **Merke: Haptische Wahrnehmung** erfordert, dass viele Einzelinformationen der Exterozeption, der Propriozeption und der Interozeption im Gedächtnis gehalten und auf neuronaler Ebene integriert werden. Aus diesem Grund können ablenkende Reize und

Konzentrationsmangel den haptischen Wahrnehmungsprozess stören.

**Simultan:** Im Gegensatz zur sukzessiven Wahrnehmung von Formeigenschaften können einige Tastsinneseindrücke **simultan, also gleichzeitig**, verarbeitet werden. Das betrifft vor allem Eigenschaften der Temperatur und des Materials (z. B. Rauheit, Härte, Weichheit) eines Gegenstandes.

### Sensorische Integration

Neben der sukzessiven Informationsverarbeitung ist der haptische Erkennungsprozess durch eine weitere Besonderheit gekennzeichnet (vgl. Bsp. Komplexität der haptischen Wahrnehmung in diesem Kapitel): Während haptischer Exploration treffen aus allen Körperteilen gleichzeitige sich ständig verändernde Informationen der Haut, Muskulatur, Bindegewebe, Sehnen und Gelenke im Gehirn ein.

Die Flut an Informationen muss vom Gehirn geordnet und sinnvoll zusammengefügt werden. Diese Fähigkeit wird als sensorische Integration bezeichnet (s. Definition). Ist die sensorische Integrationsfähigkeit gestört, wirkt sich dies u. a. negativ auf die haptische Erkennungsfähigkeit aus (vertiefend s. Abschn. 3.3.2 und 3.4.1). Aufgaben und Tests, die haptische Erkennungsleistungen erfordern, werden deshalb auch als diagnostisches Mittel für Störungen der sensorischen Integration und des Körperschemas eingesetzt (vertiefend zum Körperschema s. Abschn. 1.4; Test- und Trainingssysteme s. Abschn. 4.2).

- ▶ **Merke:** Eine klare Trennung zwischen den Wahrnehmungsdimensionen (Extero-, Intero- und Propriozeption) des Tastsinnesystems ist nur eingeschränkt möglich. Denn nur streng räumlich begrenzte taktile Berührungs- oder Temperatureize führen zu einer ausschließlich exterozeptiven Wahrnehmung. Bei jeder haptischen Wahrnehmung werden hingegen Informationen aus allen Körperteilen

integriert und umfassen damit Aspekte aus allen drei Wahrnehmungsdimensionen.

► **Definition: (Multi-) Sensorische Integration**

bezeichnet die Fähigkeit des Gehirns, Sinnesreize (ggf. aus verschiedenen Sinneskanälen) zu ordnen und sinnvoll zu einer Gesamtwahrnehmung zu verknüpfen. Die Entwicklung dieser Fähigkeit beginnt bereits im Mutterleib und hängt ihrerseits von eintreffenden Sinnesreizen ab. Dem Tastsinnessystem, dem ersten Sinn der sich im Embryo entwickelt (ab 7. SSW), kommt dabei eine besondere Stellung zu. Nachgeburtlich reift die sensorische Integrationsfähigkeit besonders durch die kindliche Auseinandersetzung mit der Umwelt (u. a. haptische Exploration) und dem eigenen Körper (z. B. Berührungs- und Bewegungsreize). Störungen der sensorischen Integration werden mit unterschiedlichsten Lern- und Entwicklungsbeeinträchtigungen in Zusammenhang gebracht und begünstigen wahrscheinlich die Entstehung von psychischen Erkrankungen und Verhaltensstörungen (Levit-Binnun und Ghassemzadeh et al., 2012; Golland, 2011). Mittels angemessener Körper- und Bewegungstherapien im Kindesalter (z. B. Sensorische Integrations-therapie nach Jean Ayres) können Defizite der sensorischen Integrationsfähigkeit im Rahmen der psychomotorischen Entwicklung gemildert werden (Ayres, 1992; Bundy et al., 2007).

**Fazit**

- Um **taktile Wahrnehmungen** zu erzeugen, muss der unbewegte Mensch berührt werden. Diese Form der Stimulation ist aufgrund physiologisch nicht auszuschließender Bewegung (u. a. durch Atmung) nur bedingt möglich und kommt überwiegend unter experimentellen Bedingungen oder in Testsituationen (Diagnostik) vor. Die kleinsten taktilen Wahrnehmungsschwellen können durch punktuelle Druckreize erzeugt werden und liegen bei 10 µm Hautverformungstiefe.

- **Haptische Wahrnehmungen** entstehen, wenn eine bewegte Person berührt wird oder die Person etwas aktiv berührt. Die absolute haptische Wahrnehmungsschwelle beträgt an der Fingerspitze 1 µm (entspricht 0,001 mm). Das heißt, bei aktiver Exploration können feinere Unterschiede wahrgenommen werden als bei passiver Berührung oder durch visuelle Wahrnehmungsprozesse.
- Haptische Wahrnehmungsprozesse erfordern Arbeitsgedächtniskapazität und kognitive Ressourcen zur sensorischen Integration. Die hohe Komplexität der haptischen Wahrnehmung setzt sich aus mehreren Aspekten zusammen:
  - die Informationsverarbeitung erfolgt sowohl sukzessiv als auch simultan,
  - Bewegungsinformationen aus allen Teilen des Körpers müssen verarbeitet werden, (multisensorische Integration)
  - irrelevante Reize (sowohl Bewegungsreize als auch aus anderen Sinneskanälen) müssen als solche erkannt und gefiltert werden.

#### 1.1.4 Haare – Sensibilität

An jeder Stelle des Körpers kann die Berührung eines einzelnen Haares zu einer lokalen und bewussten Berührungssensation führen. Das ist möglich, weil zusätzlich zu den verstreut in der Haut liegenden Rezeptoren, jeder Haarfollikel (Haarwurzel) von einem **Netz aus Mechanorezeptoren** umgeben ist. An jeder Haarwurzel wird dadurch jede noch so kleine Verformung des zugehörigen Körperhaares registriert (Abschn. 2.1).

Bei der Ermittlung der Oberflächensensibilität wird in der Regel vernachlässigt, dass die Haare wie Fühler oder Antennen über die Körperoberfläche hinausragen. Folglich kann eine Berührungsempfindung bereits ausgelöst werden, wenn noch kein direkter Hautkontakt besteht. Das Haar wirkt dabei als Kraftverstärker indem es das auftreffende Gewicht (z. B. eines Insekts) gebündelt an eine kleine Hautfläche um den Haarfollikel weiterleitet. Dieser Verstärkereffekt



kann besonders gut an rasierter Haut beobachtet werden: Die Wahrnehmungsschwellen für leichte Berührungsreize sind an denselben Hautstellen im rasierten Zustand grundsätzlich höher (das heißt, rasierte Haut ist weniger sensibel; Frey, 1896).

Welche Kraft genau erforderlich ist, um eine wahrnehmbare Haarverformung an unterschiedlichen Körperstellen zu erzeugen, ist bisher nicht systematisch untersucht. Am Mittelglied des Zeigefingers wurde ein verformendes Gewicht von 0,4 mg als wahrnehmbar ermittelt (Frey, 1896). Anekdotisch kann ein 0,075 mg leichter Flügel einer Stubenfliege, der auf die menschliche Stirnbehaarung trifft, wahrgenommen werden (Becker-Carus & Wendt, 2017; Grunwald, 2017). Da die Rezeptoren der Haarfollikel besonders auf Bewegung und Kraftveränderungen reagieren, kann plausibel angenommen werden, dass bewegte Reize, die nacheinander mehrere Haare verformen, bei noch geringerem Gewicht wahrnehmbar sind.

Mit ihrer großen Anzahl und hohen Sensibilität übernehmen die Körperhaare höchstwahrscheinlich eine Schutzfunktion für die Haut und vor allem für die verschiedenen Körperöffnungen (Grunwald, 2017).

- ▶ **Merke:** Dank der hochsensiblen innervierten Körperhaare können Berührungsempfindungen bereits ausgelöst werden, wenn noch kein direkter Hautkontakt besteht.

### 1.1.5 Zwischenmenschliche Berührungen

Bei direktem zwischenmenschlichem Körperkontakt entstehen bei allen Beteiligten, sowohl Sender als auch Empfänger, Informationen über sich und die jeweils andere Person. Dabei gilt, dass je großflächiger die Berührung, desto mehr Informationen können in kurzer Zeit wahrgenommen und übermittelt werden. Das trifft sowohl auf physikalische Merkmale (Körpergröße, -umfang, Feuchtigkeit) als auch auf emotionale Aspekte zu. Bei einer Umarmung kann beispielsweise sofort bemerkt werden, ob ein Umarmter

herzlich zurückdrückt oder sich unwohl fühlt, versteift oder zurückzieht, was sich in der Regel auf die Form und Dauer der Umarmung auswirken wird. Gleichzeitig werden dadurch Gedanken und Gefühle in beiden Umarmenden ausgelöst.

In den vorangegangenen Abschnitten wurden ausschließlich die sensorischen Aspekte des Tastsinnessystems (z. B. Temperatur, räumliches Auflösungsvermögen, Wahrnehmungsschwellen) betrachtet. Durch Berührungen, taktil oder haptisch, können jedoch sowohl sensorische als auch emotionale Empfindungen erzeugt werden. Die meisten **durch Berührung ausgelösten Emotionen** entstehen durch Bewertung der Berührungsreize sowie erlernten Assoziationen. Das heißt, jede zwischenmenschliche Berührung wird zunächst einer eingehenden Prüfung unterzogen: wer ist der Berührende, welche Körperstelle wird berührt, wie sind die Umgebungsbedingungen und welche Eigenschaften hat die Berührung. Die Ergebnisse dieser Prüfung werden mit Erinnerungen und Assoziationen verknüpft. (Vertiefend zu den psychologischen Aspekten zwischenmenschlicher Berührungen s. Kap. 5)

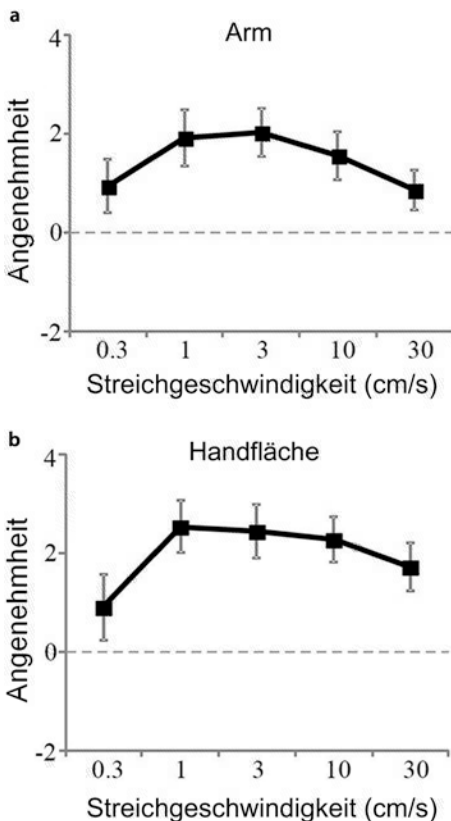
- ▶ **Merke:** Bei jeder zwischenmenschlichen Berührung werden von allen Beteiligten immer sowohl physikalische (u. a. Temperatur, Feuchtigkeit, Rauheit) als auch emotionale Informationen vermittelt und empfangen.

#### Streichelnde Berührungen

Einige neuere Studien deuten darauf hin, dass eine bestimmte Form von Hautstimulation (langsames sanftes Streichen) direkt als positiver emotionaler Reiz wahrgenommen werden kann. Demnach existiert in der behaarten Haut eine spezielle Rezeptorart (C-taktile Fasern, Abschn. 2.1.8), die spezifisch auf streichelnde Berührungen reagiert und diese Information direkt an Hirnregionen (Insula/limbisches System, Abschn. 2.2.3) weiterleitet, die für emotionale Verarbeitung zuständig sind (Morrison et al., 2011). Ähnliche direkte Verknüpfungen zu subkortikalen Bewertungszentren des Gehirns sind für Schmerzreize und Reize aus dem Inneren des Körpers (Viszeroseption) bekannt.

Mittels Studien, bei denen mit einem weichen Pinsel über die behaarte Haut gestrichen wird, konnte gezeigt werden, dass ein enger Zusammenhang zwischen der Streichgeschwindigkeit und dem positiven Gefühl, das dadurch ausgelöst wird, besteht. Streichgeschwindigkeiten von 1–10 cm/s werden als am angenehmsten empfunden (Abb. 1.5). Langsamere und schnellere Streichbewegungen führen ebenfalls zu positiven, aber weniger intensiven Empfindungen (Ackerley et al., 2014b).

Das heißt, diese Rezeptorart reagiert spezifisch auf solche Berührungen, wie sie typischerweise während liebevoller menschlicher Körper-



**Abb. 1.5 Angenehmheit verschiedener Streichgeschwindigkeiten auf der Haut.** Geschwindigkeiten zwischen 1 und 10 cm/s werden als am angenehmsten empfunden. In behaarten Hautregionen (a) wird dies mit der Reizschwelle C-taktile Fasern in Zusammenhang gebracht. In unbehaarten Hautregionen (b) führen auch schnellere Streichgeschwindigkeit (30 cm/s) zu positiven Gefühlen. (Aus Ackerley et al., 2014b, S. 5; Übersetzung der Autoren)

interaktion vorkommen. Dabei gibt es eine weitere Besonderheit: Die C-taktilen Fasern reagieren dann besonders stark auf die langsamen Streichbewegungen, wenn diese bei Hauttemperatur ausgeführt werden (Ackerley et al., 2014a). Aus diesen Gründen wird diskutiert, dass dieser Mechanismus spezialisiert ist, direkte Haut-auf-Haut-Berührungen zu verarbeiten. Dadurch wird wahrscheinlich zwischenmenschlicher Kontakt gefördert, da die positiven Empfindungen wie ihr eigener positiver Verstärker wirken.

Bei experimenteller Aktivierung der C-Fasern sind außerdem angstlösende, beruhigende und schmerzreduzierende Effekte beobachtet worden. Möglicherweise sind es diese Fasern, die die Ausschüttung von Oxytozin (Abschn. 2.4.1.) bei Körperkontakt vermitteln (Walker et al., 2017).

Auch diese Form der Berührung kann jedoch durch kognitive Prozesse oder emotionale Erfahrungen beeinflusst werden, wodurch sie als weniger angenehm oder gar negativ bewertet werden können. Entscheidend für die Entstehung angenehmer Empfindungen sind folglich ein vertrauensvolles Verhältnis zur berührenden Person, eine angemessene Umgebungssituation sowie psychische Faktoren der berührten Person.

► **CAVE:** Einige Personen lehnen sanfte Berührungen ab oder fühlen sich dabei unwohl. Diese Gefühle sind stets ernst zu nehmen und zu respektieren.

Im Unterschied zur behaarten Haut existieren, nach heutigem Wissensstand, in der unbehaarten Haut keine C-taktilen Fasern. Dennoch können auch an unbehaarten Hautstellen (z. B. Handinnenfläche) durch streichelnde Berührungen positive Empfindungen ausgelöst werden. Dort ist der U-Zusammenhang zwischen Berührungsgeschwindigkeit und Wohlempfinden jedoch nicht so stark ausgeprägt. Das heißt, verschiedene Geschwindigkeiten streichender Berührungen an der Handfläche werden als etwa gleichbleibend angenehm beurteilt. Im Unterschied zur behaarten Haut führen hier auch sanfte Streichbewegungen mit schnellerer Geschwindigkeit

(30 cm/s) zu positiven Gefühlen (Ackerley et al., 2014b). Es wird vermutet, dass Berührungen an unbehaarten Hautstellen erst über neuronale Umwege an Assoziationsareale des Gehirns weitergeleitet werden müssen und erst in nachgeordneten Verarbeitungsschritten eine emotionale Bewertung erfahren.

- ▶ **Merke:** C-taktile Fasern in der behaarten Haut tragen zur Entstehung angenehmer Empfindungen im Rahmen sozialer Berührungen und bei direktem Hautkontakt bei. Als besonders angenehm werden Streichgeschwindigkeiten von 1–10 cm/s empfunden.

### Hemmung von Eigenberührungen

Selbstberührungen des eigenen Körpers werden anders und weniger intensiv wahrgenommen als solche, die von außen auf uns eintreffen (Chapman, 1994). Menschen können sich beispielsweise nicht selbst kitzeln (Blakemore et al., 1998). Dieser Effekt entsteht durch einen räumlich-zeitlichen Vorhersageprozess: Wenn wir eine Bewegung ausführen, prüft unser Gehirn, ob diese Bewegung zu einer Eigenberührung führen könnte, gegebenenfalls auch mit einem festgehaltenen Objekt (Blakemore et al., 1999). Daraus können die sensorischen Konsequenzen der Berührung vorhergesagt werden. Die Wahrnehmung selbstausgelöster Berührungen erfolgt daraufhin gedämpft. Dieser Mechanismus wird auch als **Reafferenzprinzip** bezeichnet (Holst & Mittelstaedt, 1950).

Höchstwahrscheinlich handelt es sich dabei um einen Schutzmechanismus. Untersuchungen mittels funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT) deuten darauf hin, dass durch Selbst- und Fremdberührungen teils unterschiedliche Hirnareale aktiviert werden (Boehme et al., 2019). Bei Fremdberührungen, auch wenn diese mit einem Objekt ausgeführt werden, wird demnach die soziale und emotionale Bedeutung der Berührung stärker analysiert.

### Haut-Weichheits-Illusion (Wahrnehmungsillusion)

Bisher ist wenig erforscht, welche Motivation einen Menschen dazu bringt, eine andere Person auf eine für sie angenehme Weise zu berühren. Neben prosozialen und emotionalen Faktoren sowie der Hoffnung, ebenfalls in den Genuss von „Streicheleinheiten“ zu kommen, liegen möglicherweise in der Berührung selbst motivationale Aspekte. Hinweise darauf liefert eine erst kürzlich entdeckte Wahrnehmungsillusion: die Haut anderer Personen fühlt sich weicher und angenehmer an als die eigene Haut (Gentsch et al., 2015). Die Wahrnehmungsillusion ist deshalb so bedeutsam, weil sie nur während langsamer Streichelbewegungen (1–10 cm/s) und nur an behaarten Hautstellen auftritt. Das heißt genau an den Stellen und bei den Berührungsformen, die mit C-taktilen Fasern (Abschn. 2.1.8) in Verbindung gebracht werden und die auch für die berührte Person am angenehmsten sind.

Für die Entstehung der Wahrnehmungsillusion ist es außerdem entscheidend, dass die Berührung aktiv (willkürlich) ausgeführt wird und dass die Hand über die behaarte Haut *bewegt* wird. Bei einfacher statischer (taktiler) Berührung bleibt die Wahrnehmungsillusion aus.

### Reduzierte Oberflächensensibilität während Berührung

Sowohl während Fremd- als auch während Selbstberührungen ist die Oberflächensensibilität der jeweiligen Gliedmaße stark verringert. Dies trifft auch auf Körperstellen zu, die durch das eigene Körpergewicht gegen einen Widerstand gepresst werden (z. B. beim Stehen oder Liegen). Je nach Art der Stimulation wurden 20- bis 100-fach erhöhte Wahrnehmungsschwellen gemessen (Boehme et al., 2019; Katz, 1948). Wahrscheinlich trägt dieser Mechanismus dazu bei, dass beispielsweise beim Stehen oder Laufen nicht ständig der Druck der Fußsohlen auf den Boden als aufdringlicher Reiz wahrgenommen wird. Wahrscheinlich ist

der Impuls, eine schmerzhafte oder juckende Körperstelle zu reiben, ebenfalls darin begründet (Abschn. 2.1.8).

Ähnliche hemmende Effekte auf die Oberflächensensibilität sind auch durch willkürliche Gliedmaßenbewegungen bekannt (Angel & Malenka, 1982; Lee & White, 1974). Demzufolge ist die Berührungswahrnehmung während aktiver Bewegungen verringert.

#### Fazit

Fremdberührungen, auch wenn sie mit einem Objekt ausgeführt werden, werden intensiver wahrgenommen als Eigenberührungen. Zum Schutz des Organismus wird bei Fremdberührungen deren soziale und emotionale Bedeutung verstärkt analysiert.

### Zwischenmenschliche Berührung mit einem Objekt

Während Menschen mit extremer Genauigkeit unterscheiden können, ob sie durch menschliche Haut oder ein unbelebtes Objekt berührt werden, ist noch unklar, inwieweit wohlwollende Berührung durch ein unbelebtes Objekt, mehr oder weniger angenehm wahrgenommen wird als direkter Hautkontakt. Zum aktuellen Zeitpunkt existiert nur eine Studie, die diese Frage explizit untersucht hat (Kress et al., 2011). Die meisten Studien zum emotionalen Empfinden bei Berührungen (s. oben) werden mittels weicher Pinsel durchgeführt. Demgegenüber wurde im Rahmen dieser Studie der Unterarm der Probanden entweder mit der Handfläche des Versuchsleiters gestreichelt oder mit einem Lineal, das mit Samt überzogen war. Das Lineal wurde durch den Versuchsleiter in gleicher Weise über den Unterarm bewegt wie zuvor seine Hand. Die Teilnehmer gaben an, dass der direkte Hautkontakt als angenehmer empfunden wurde. Das direkte Streicheln mit der Hand erzeugte zudem stärkere Aktivierung solcher Hirngebiete, die mit Wohlbefinden (linke posteriore Insula, fMRT-Untersuchung) in Verbindung gebracht werden. Das heißt, direkter zwischenmenschlicher Hautkontakt wird aufgrund der Material- und Temperaturunterschiede so-

fort als solcher erkannt und anders verarbeitet als eine Berührung mittels eines Objekts. Die unterschiedlichen Effekte werden wahrscheinlich verursacht durch die mit zwischenmenschlichem Hautkontakt assoziierten Gefühle und Gedanken. Inwieweit dieses Ergebnis auf andere Objekte/Materialien oder andere Formen der Berührung übertragbar ist, ist noch nicht untersucht. Anzunehmen ist, dass die emotionale Bewertung einer Berührung mittels eines Objekts (hierzu zählt auch das Tragen von sterilen Handschuhen) ähnlich wie direkte Berührungen stark von Umgebungsfaktoren, zum Beispiel von der ausführenden Person, der Situation und der berührten Körperstelle, abhängt (vertiefend s. Abschn. 5.1 und 5.2).

#### Fazit

Zwischenmenschliche Berührungen mit direktem Hautkontakt werden intensiver empfunden und im ZNS anders verarbeitet als zwischenmenschliche Berührungen, die mittels eines Objekts ausgeführt werden. Die Richtung der ausgelösten Gefühle ist jedoch gleich.

### Technisch-vermittelte Berührung

Die Entwicklungen der letzten 20 Jahre im Bereich der interaktiven Robotik, digitaler Kommunikationsmedien (Telekommunikation), virtueller Realität und künstlicher Intelligenz führen zunehmend zur Frage, ob Berührungen, die durch unbelebte Objekte vermittelt werden, direkten Körperkontakt nachahmen können. Solche technisch-vermittelten Berührungen unterscheiden sich auf drei Dimensionen von direkten zwischenmenschlichen Berührungen (Huisman, 2017):

1. Es ist **kein zweiter Mensch unmittelbar anwesend**. Die subtilen körperlichen Informationen, die sonst bei zwischenmenschlichem Körperkontakt von beiden Beteiligten vermittelt und wahrgenommen werden, bleiben folglich aus. Außerdem stehen auch auf allen Sinneskanälen weniger Informationen über den berührenden Menschen, dessen Zustand

und Intension zur Verfügung. Die emotionale Bewertung von Berührungen hängt jedoch stark davon ab, in welchem Zusammenhang eine Berührung stattfindet, welches Geschlecht der Sender hat und ob es sich um eine vertraute Person handelt. Im Fall sozialer Roboter existiert sogar gar kein menschlicher Kommunikationspartner, sondern soziale Berührungen sind als Programme standardisiert abrufbar.

2. Neben der räumlichen Distanz kann die technisch vermittelte Berührung zudem **zeitlich versetzt** stattfinden: Es ist möglich, dass ein Sender eine Berührung aufzeichnet und versendet, die später als taktile Nachricht empfangen werden kann.
3. Technisch vermittelte Berührungen unterscheiden sich in ihren **physikalischen Eigenschaften** (Materialien, Bewegungen) stark von direktem zwischenmenschlichen Hautkontakt. Durch Aktuatoren oder Roboterarme können beispielsweise Wärme-, Druck- oder Vibrationsreize auf einzelne Körpergebiete (z. B. den Unterarm) übertragen werden. Diese Berührungen sind in der Regel stark vereinfacht und wirken nur auf wenigen Wahrnehmungsdimensionen.

### Fazit

Die Wahrnehmung technisch-vermittelter Berührungen kann durch kognitive Prozesse beeinflusst werden. Das heißt, je nachdem, welche Informationen über den Sender (Geschlecht, Intension etc.) zum Beispiel als Text oder Video mitgeliefert werden, verändert sich die emotionale Bewertung der technisch-vermittelten Berührung (Huisman, 2017). Ähnlich der zwischenmenschlichen Berührungen mit einem Objekt sind die ausgelösten Empfindungen schwächer als bei direktem Hautkontakt. Technisch-vermittelte Berührungen und soziale Roboter, die auf Berührung reagieren, haben jedoch das Potenzial, soziale Kommunikation über große Distanzen zu unterstützen (z. B. Fernbeziehungen),

als pflegeleichter Haustierersatz zu dienen (z. B. Robbe „Paro“ im Pflegeheim) oder Berührungsängste abzubauen (z. B. Autismus). (Vertiefend s. Abschn. 5.5.3)

## 1.1.6 Temperaturwahrnehmung der Körperoberfläche

### Thermozeption

Temperaturreize werden stets im Verhältnis zur Temperatur der Körperoberfläche interpretiert. Dabei können Reize mit einer Temperatur im Bereich zwischen 30–35 °C nur sehr kurz wahrgenommen werden, bis die Temperaturempfindung adaptiert und als neutral wahrgenommen wird (Indifferenztemperatur). Niedrigere (5–35 °C) und höhere Temperaturen (30–45 °C) werden dauerhaft als kalt bzw. warm wahrgenommen. Ursache dafür sind zwei verschiedene Rezeptortypen, die spezifisch auf Warm- und Kaltreize reagieren (Abschn. 2.1.8).

Paradoxe Kälteempfindungen bei Hitzereizen (>45 °C) entstehen durch verfehlte Reizung von Kaltrezeptoren. Im Gegensatz dazu werden paradoxe Hitzeempfindungen bei extremen Kältereizen (z. B. beim Vereisen mit –200 °C kaltem Flüssigstickstoff) durch Disinhibition der wärmeleitenden Neurone verursacht.

### Schutzreflexe

Temperaturreize von weniger als 15 °C oder mehr als 45 °C verursachen Schmerzreize. Plötzlicher Kontakt zu entsprechenden Temperaturreizen löst Schutzreflexe aus (z. B. Wegziehen der Hand von einer heißen Herdplatte).

### Thermoregulation

Die körpereigene Messung der Temperatur der Körperoberfläche trägt außerdem zur Regulation und Aufrechterhaltung einer stabilen Körperkerntemperatur von rund 37 °C bei. Dazu werden Temperaturinformationen aus der Muskulatur, den inneren Organen und dem Gehirn mit denen der Körperoberfläche verrechnet (Abschn. 1.2) und physiologische Prozesse ausgelöst, welche die Körpertemperatur regulieren

(z. B. Schwitzen oder Zittern). Ein Absinken oder Ansteigen der Körpertemperatur wirkt zudem handlungsmotivierend, solche Umgebungsbedingungen zu schaffen, die eine optimale Körpertemperatur ermöglichen (z. B. mehr oder weniger Bewegung, Anpassung der Kleidung, Aufsuchen von Schatten).

#### Fazit

- Externe Temperaturreize werden stets im Verhältnis zur Temperatur der eigenen Körperoberfläche interpretiert.
- Externe Temperaturreize von weniger als 15 °C oder mehr als 45 °C verursachen Schmerzreize.

### 1.1.7 Schmerz Wahrnehmung der Körperoberfläche

Durch Umgebungsreize verursachte Schmerz- und Temperaturwahrnehmungen gehören zu den am besten erforschten Dimensionen des Tastsinnesystems und werden in Lehrbüchern für Physiologie oder für Biologische Psychologie ausführlich beschrieben. Aus diesem Grund werden diese beiden Wahrnehmungsdimensionen der Exterozeption und Interozeption an dieser Stelle nicht vertieft, sondern lediglich cursorisch dargestellt. Zur Verarbeitung von Schmerz- und Temperaturreizen des Körperinnern sowie Entstehung chronischer Schmerzzustände s. Abschn. 1.2.4. Zur Modulation der Schmerz Wahrnehmung durch Berührungreize s. Abschn. 5.5.3.

#### Akuter Schmerz

##### ► Definition: Schmerz und Nozizeption

- „Der Schmerz ist ein unangenehmes Sinnes- oder Gefühlserlebnis, das mit aktuellen oder potentiellen Gewebeschädigungen verknüpft ist oder mit Begriffen solcher Schädigungen beschrieben

wird“ (Definition der International Association for the Study of Pain [IASP], 1979)

- Nozizeption bezeichnet die objektiven neuronalen Verarbeitungsprozesse, die durch noxische Reize ausgelöst werden. Als noxisch werden mechanische, thermische oder chemische Reize bezeichnet die gewebeschädigend wirken können.
- Schmerz, im Gegensatz zu allen anderen Sinneseindrücken, geht fast immer mit negativen Gefühlen einher und bildet so einen Antrieb zur Vermeidung, Schonhaltungen sowie Abwehr- und Fluchtverhalten.
- Schmerz verursacht neurophysiologische Veränderungen des peripheren und zentralen Nervensystems, die zur Chronifizierung beitragen können.

Schmerz- und Tastsinnesereignisse sind eng miteinander verknüpft, denn bei ausreichender Intensität können alle mechanischen und thermischen Reize sowohl Schmerzen als auch Gewebeschäden verursachen. Gewebeschädigende Reize werden jedoch durch spezifische Rezeptoren registriert (Nozizeptoren, Abschn. 2.1.8) sowie über eigenständige neuronale Verknüpfungen weitergeleitet und verarbeitet (Abschn. 2.2). Das heißt, trotz eines scheinbar fließenden Übergangs einer Druckempfindung bei zunehmender Druckstärke in eine Schmerz Wahrnehmung werden die schmerzhaften Druckreize nicht durch Druckrezeptoren übertragen. Vielmehr werden bei überschwelliger Reizung zusätzlich Nozizeptoren aktiviert. Nozizeptoren adaptieren nur dann, wenn ein Reiz zwar überschwellig aber nicht gewebeschädigend ist. Das heißt, hält ein gewebeschädigender Reiz an, dann hält der Schmerz ebenfalls an.

- **Merke:** Nozizeptoren adaptieren langsam bei überschwelliger, nichtschädigender Reizung. Bei schädigender Reizung adaptieren sie nie. Das heißt, anhaltender Schmerz ist stets ein Warnsignal.