

DIN EN ISO 9241-910

ICS 13.180; 35.180

**Ergonomie der Mensch-System-Interaktion –
Teil 910: Rahmen für die taktile und haptische Interaktion
(ISO 9241-910:2011);
Deutsche Fassung EN ISO 9241-910:2011**

Ergonomics of human-system interaction –
Part 910: Framework for tactile and haptic interaction (ISO 9241-910:2011);
German version EN ISO 9241-910:2011

Ergonomie de l'interaction homme-système –
Partie 910: Cadre pour les interactions tactiles et haptiques (ISO 9241-910:2011);
Version allemande EN ISO 9241-910:2011

Gesamtumfang 68 Seiten

Normenausschuss Ergonomie (NAErg) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 9241-910:2011) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 159 „Ergonomics“ (Sekretariat DIN, Deutschland) der Internationalen Organisation für Normung (ISO) in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee 122 „Ergonomie“, dessen Sekretariat ebenfalls vom DIN (Deutschland) gehalten wird, erarbeitet.

Das zuständige deutsche Gremium ist der NA 023-00-04 GA „Ergonomie für Informationsverarbeitungssysteme“ im Normenausschuss Ergonomie (NAErg).

Für die im Inhalt zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen.

ISO 9241-5	siehe DIN EN ISO 9241-5
ISO 9241-12	siehe DIN EN ISO 9241-12
ISO 9241-14	siehe DIN EN ISO 9241-14
ISO 9241-15	siehe DIN EN ISO 9241-15
ISO 9241-16	siehe DIN EN ISO 9241-16
ISO 9241-17	siehe DIN EN ISO 9241-17
ISO 9241-110	siehe DIN EN ISO 9241-110
ISO 9241-210	siehe DIN EN ISO 9241-210
ISO 9241-400	siehe DIN EN ISO 9241-400
ISO 9241-410	siehe DIN EN ISO 9241-410
ISO 11064-4	siehe DIN EN ISO 11064-4

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 9241-5, *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten — Teil 5: Anforderungen an Arbeitsplatzgestaltung und Körperhaltung*

DIN EN ISO 9241-12, *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeit mit Bildschirmgeräten — Teil 12: Informationsdarstellung*

DIN EN ISO 9241-14, *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten — Teil 14: Dialogführung mittels Menüs*

DIN EN ISO 9241-15, *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten — Teil 15: Dialogführung mittels Kommandosprachen*

DIN EN ISO 9241-16, *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten — Teil 16: Dialogführung mittels direkter Manipulation*

DIN EN ISO 9241-17, *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten — Teil 17: Dialogführung mittels Bildschirmformularen*

DIN EN ISO 9241-110, *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion — Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung*

DIN EN ISO 9241-210, *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion — Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme*

DIN EN ISO 9241-400, *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion — Teil 400: Grundsätze und Anforderungen für physikalische Eingabegeräte*

DIN EN ISO 9241-410, *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion — Teil 410: Gestaltungskriterien für physikalische Eingabegeräte*

DIN EN ISO 11064-4, *Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen — Teil 4: Auslegung und Maße von Arbeitsplätzen*

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Ergonomie der Mensch-System-Interaktion —
Teil 910: Rahmen für die taktile und haptische Interaktion
(ISO 9241-910:2011)

Ergonomics of human-system interaction —
Part 910: Framework for tactile and haptic interaction
(ISO 9241-910:2011)

Ergonomie de l'interaction homme-système —
Partie 910: Cadre pour les interactions tactiles et haptiques
(ISO 9241-910:2011)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 8. Juli 2011 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	5
Einleitung.....	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Begriffe	8
3 Einführung in die Haptik	10
4 Erforschung der haptischen Wahrnehmung des Menschen	11
4.1 Bedeutung des haptischen Sinns	11
4.2 Haptische Wahrnehmung und Gesichtssinn	12
4.2.1 Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen haptischer Wahrnehmung und Gesichtssinn.....	12
4.2.2 Kollokation des visuellen und haptischen Raums.....	12
4.2.3 Schlussfolgerungen für haptische Anzeigen	13
4.3 Manuelle Erkundung von Objekten.....	13
4.4 Training in Erkundungsprozeduren.....	13
4.5 Die Schwierigkeit, mit der haptischen Wahrnehmung einen Überblick über einen Vorgang zu erhalten	13
4.6 Physikalische Mindeststimulation: absolute Reizschwellen	14
4.7 Für die Wahrnehmung erforderliche Mindestunterschiede	14
4.8 Wahrnehmung geometrischer Eigenschaften von Objekten	14
4.9 Wahrnehmung der Masse	14
4.10 Wahrnehmung der Materialeigenschaften	15
4.11 Anzahl und Größe der Kontaktflächen in taktilen/haptischen Geräten.....	15
4.12 Zusammenfassung	15
5 Verwendung taktiler/haptischer Interaktionen	16
5.1 Allgemeines	16
5.2 Zugänglichkeit.....	16
5.3 Desktop-Interaktionen	17
5.4 Mobile Interaktionen	17
5.5 Robotertechnik.....	18
5.6 Medizinische Anwendungen.....	18
5.7 Spiele	19
5.8 Kunst und Kreativität	20
5.9 Multimodale Anwendungen und Simulatoren	20
6 Gestaltung taktiler/haptischer Interaktionen	21
6.1 Gestaltungsrichtlinien für taktile/haptische Interaktion	21
6.1.1 Benutzerorientierte Gestaltung	21
6.1.2 Gestaltung individueller Interaktionen	21
6.1.3 Gestaltung taktiler/haptischer Schnittstellen	21
6.2 Gestalten des taktilen/haptischen Raums	22
6.2.1 Allgemeines	22
6.2.2 Gestalten des logischen Raums	22
6.2.3 Gestalten des physikalischen Raums	22
6.3 Adressierbarkeit und Auflösung in der taktilen/haptischen Interaktion.....	23
6.3.1 Allgemeines	23
6.3.2 Taktile/haptische Adressierbarkeit der Ausgabe	23
6.3.3 Taktile/haptische Auflösung der Eingabe	24
6.3.4 Taktile/haptische Auflösung und deren Beziehung zur taktilen/haptischen Adressierbarkeit.....	24
7 Durch den Benutzer eingeleitete interaktive Elementaraufgaben	25

7.1	Allgemeines	25
7.2	Suchen	25
7.3	Überblick verschaffen	25
7.4	Navigieren	26
7.5	Markieren	26
7.6	Auswählen	26
7.6.1	Allgemeines	26
7.6.2	Objekt- oder Funktionsauswahl	26
7.6.3	Auswahl der Gruppe	27
7.6.4	Auswahl des Raums	27
7.6.5	Auswahl der Systemeigenschaft	27
7.7	Betätigen	27
7.7.1	Allgemeines	27
7.7.2	Zoomfunktion	27
7.7.3	Neuausrichtung	27
7.7.4	Verschieben	27
7.7.5	Dimensionierung	27
7.7.6	Betrachtung von charakteristischen Eigenschaften	28
7.7.7	Erstellen und Löschen	28
7.7.8	Verändern von charakteristischen Eigenschaften (charakteristische Eigenschaften und Beziehungen)	28
8	Taktile/haptische Interaktionselemente	28
8.1	Allgemeines	28
8.2	Taktile/haptische funktionale Effekte	28
8.2.1	Allgemeines	28
8.2.2	Aktivierung und Deaktivierung von Effekten	28
8.2.3	Kraftvektor	29
8.2.4	Kraftfeld	29
8.2.5	Federeffekt	29
8.2.6	Dämpfungseffekt	29
8.2.7	Masseneffekt	29
8.2.8	Temperaturfeld	29
8.3	Taktile/haptische Eigenschaften von Objekten	29
8.3.1	Objekteigenschaften	29
8.3.2	Allgemeine Objekteigenschaften	30
8.3.3	Oberflächeneigenschaften	30
8.4	Steuerelemente	31
8.4.1	Elemente mit haptischer Rückmeldung	31
8.4.2	Elemente ohne haptische Rückmeldung	31
8.5	Verwendung von Mehrpunkt-Kontaktschnittstellen	31
8.6	Kombinieren von Elementen und Effekten	32
8.7	Unterscheidbarkeit	32
9	Der Bereich der taktilen/haptischen Schnittstellengeräte	32
9.1	Allgemeines	32
9.2	Auswahlkriterien	32
9.2.1	Mobilität	32
9.2.2	Geräte-Körper-Schnittstelle	33
9.2.3	Freiheitsgrade (en.: Degrees of freedom (DOF))	33
9.2.4	Maximale Steifheit	34
9.2.5	Bewegungsbereich	35
9.2.6	Kraft und Drehmoment	35
9.2.7	Freiraum-Bewegungswiderstand	36
9.2.8	Trägheit	37
9.2.9	Spitzenbeschleunigung	37
9.2.10	Reibung	37
9.2.11	Zeitliche Parameter	38
9.2.12	Umgebungsfaktoren	39
9.2.13	Sicherheit	40

9.2.14	Überlegungen zur Körperhaltung	41
9.2.15	Adaptierbarkeit.....	42
9.2.16	Wiedergabetreue.....	43
Anhang A (informativ) Taktile Geräte		44
A.1	Allgemeines	44
A.2	Vibrierendes Funkmeldegerät/Telefon	44
A.3	Taktiler Linear-Aktuator	44
A.4	Vibrierender Handheld-Controller.....	45
A.5	Anzeigen mit Stiftanordnung.....	45
A.6	Shear-Displays	46
A.7	Vibrierende Westen und Gürtel	46
A.8	Thermische Geräte	47
A.9	Elektrische Geräte	47
Anhang B (informativ) Taktile/haptische Force-Feedback-Geräte		48
B.1	Allgemeines	48
B.2	Haptische Geräte mit Reglerhandgriff	48
B.3	Force-Feedback Joysticks	48
B.4	Force-Feedback Lenkräder und Pedale	49
B.5	Auf einem Punkt basierende haptische Geräte	50
B.6	Auf einem Griffel beruhende haptische Geräte	51
B.7	Auf einer Hand beruhende haptische Geräte	51
B.8	Force-Feedback Maus	52
Anhang C (informativ) Physiologie der haptischen Wahrnehmung		53
C.1	Somatosensorisches System.....	53
C.2	Sensoren des Tastsinns	54
C.2.1	Allgemeines	54
C.2.2	Mechanorezeptoren	54
C.2.3	Thermorezeptoren	54
C.2.4	Nozizeptoren	55
C.2.5	Chemorezeptoren	55
C.2.6	Elektrotaktile Stimulation.....	55
C.3	Kinästhetische Sensoren	56
C.3.1	Allgemeines	56
C.3.2	Kinästhetische Rezeptoren.....	56
C.3.3	Differenzielle Wahrnehmbarkeitsschwelle (en.: Just noticeable difference (JND)).....	56
C.3.4	Kinästhetisches Empfindungsvermögen	56
C.4	Sensorisch-motorische Steuerung	57
Literaturhinweise		59

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 9241-910:2011) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 159 „Ergonomics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 122 „Ergonomie“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2012, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2012 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 9241-910:2011 wurde vom CEN als EN ISO 9241-910:2011 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

ISO 9241 besteht unter dem allgemeinen Titel *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)* aus folgenden Teilen:

- *Part 1: General introduction*
- *Part 2: Guidance on task requirements*
- *Part 4: Keyboard requirements*
- *Part 5: Workstation layout and postural requirements*
- *Part 6: Guidance on the work environment*
- *Part 9: Requirements for non-keyboard input devices*
- *Part 11: Guidance on usability*
- *Part 12: Presentation of information*
- *Part 13: User guidance*
- *Part 14: Menu dialogues*
- *Part 15: Command dialogues*

— *Part 16: Direct-manipulation dialogues*

— *Part 17: Form-filling dialogues*

ISO 9241 besteht zudem aus den folgenden Teilen unter dem allgemeinen Titel *Ergonomics of human-system interaction*:

— *Part 20: Accessibility guidelines for information/communication technology (ICT) equipment and services*

— *Part 100: Introduction to standards related to software ergonomics [Technical Report]*

— *Part 110: Dialogue principles*

— *Part 129: Guidance on software individualization*

— *Part 143: Forms*

— *Part 151: Guidance on World Wide Web user interfaces*

— *Part 171: Guidance on software accessibility*

— *Part 210: Human-centred design for interactive systems*

— *Part 300: Introduction to electronic visual display requirements*

— *Part 302: Terminology for electronic visual displays*

— *Part 303: Requirements for electronic visual displays*

— *Part 304: User performance test methods for electronic visual displays*

— *Part 305: Optical laboratory test methods for electronic visual displays*

— *Part 306: Field assessment methods for electronic visual displays*

— *Part 307: Analysis and compliance test methods for electronic visual displays*

— *Part 308: Surface-conduction electron-emitter displays (SED) [Technical Report]*

— *Part 309: Organic light-emitting diode (OLED) displays [Technical Report]*

— *Part 310: Visibility, aesthetics and ergonomics of pixel defects [Technical Report]*

— *Part 400: Principles and requirements for physical input devices*

— *Part 410: Design criteria for physical input devices*

— *Part 411: Evaluation methods for the design of physical input devices [Technical Specification]*

— *Part 420: Selection of physical input devices*

— *Part 910: Framework for tactile and haptic interaction*

— *Part 920: Guidance on tactile and haptic interactions*

Die folgenden Teile sind in Vorbereitung:

— *Part 154: Interactive voice response (IVR) applications*

„Benutzerorientierte Gestaltung und Bewertungsmethoden“, „optical characteristics of autostereoscopic displays“ und „Anforderungen, Analysen und Prüfungen auf Übereinstimmung zur Verringerung von photosensitiven Anfällen“ sind Themen der zukünftigen Teile 230, 331 und 391.

Einleitung

Taktile und haptische Interaktionen erfahren eine zunehmende Bedeutung als in Frage kommende Interaktionsmodalitäten in Computersystemen, wie z. B. Sonder-Computerumgebungen (z. B. Simulation) und assistive Technologien.

Es liegen beachtliche Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet vor, die eine große Vielfalt von Begriffen, Begriffsbedeutungen, Standpunkten, Software- und Hardwareobjekten, Merkmalen und Interaktionen beinhalten. Diese Vielfalt kann zu ernsten ergonomischen Schwierigkeiten sowohl bei den Entwicklern als auch den Benutzern taktiler und haptischer Interaktionen führen.

Dieser Teil von ISO 9241 bietet einen einheitlichen Satz von Begriffen, Definitionen und Beschreibungen der unterschiedlichen zentralen Auffassungen der Gestaltung und Anwendung taktiler/haptischer Interaktionen. Sie schließt eine grundlegende Anleitung (einschließlich der Verweisungen auf zugehörige Normen) für die Gestaltung taktiler/haptischer Interaktionen ein. Sie bietet auch einen Überblick über den Bereich taktiler/haptischer Anwendungen, Objekte, Merkmale und Interaktionen.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der ISO 9241 bietet ein Rahmenwerk für das Verständnis und den Austausch über die verschiedenen Aspekte der taktilen/haptischen Interaktion. Sie definiert Begriffe, beschreibt Strukturen und Modelle, und gibt Erläuterungen, die auf andere Teile der Normenreihe 9241 "900" Bezug nehmen. Sie bietet auch Anweisungen, wie verschiedene Formen der Interaktion auf unterschiedliche Anwenderaufgaben angewendet werden können.

Sie ist für alle Typen von Interaktionssystemen, die taktile/haptische Geräte und Interaktionen anwendbar.

Sie spricht keine rein kinästhetischen Interaktionen, wie Gesten, an, auch wenn es für das Verständnis derartiger Interaktionen nützlich sein könnte.

2 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

2.1
Haptik
haptische Wahrnehmung
sensorische und/oder motorische Aktivität, die in der Haut, in den Muskeln, Gelenken und Sehnen begründet ist

ANMERKUNG Haptik besteht aus zwei Teilen: Tastsinn und Kinästhesie.

2.2
haptisch
sich auf Haptik beziehend

ANMERKUNG Während in den meisten Wörterbuchdefinitionen kein Unterschied zwischen *haptisch* und *taktil* besteht, verwenden auf dem Gebiet der Haptik die Forscher und Entwickler *haptisch*, um alle haptischen Empfindungen einzuschließen, während *taktil* auf die mechanische Stimulation der Haut begrenzt ist. In ISO 9241 umfasst das Wort *haptisch* alle Berührungsempfindungen und *taktil* wird auf eine spezifischere Weise angewendet. Es können auch beide Begriffe gemeinsam verwendet werden um bei einer Suche zu helfen.

2.3
Tastsinn
Sinn, der auf den Rezeptoren in der Haut beruht

ANMERKUNG Hautrezeptoren werden für das Wahrnehmen von Berührungen genutzt.

2.4
kutan
zur Haut gehörend

ANMERKUNG Hautrezeptoren sprechen auf mechanische Stimulation und Temperaturveränderungen an.

2.5
taktil
zur Berührung gehörend

2.6
vibrotaktil
auf Vibration beruhende Stimulation der Haut

BEISPIEL Ein Mobiltelefon verwendet die vibrotaktile Stimulierung, um den Nutzer zu alarmieren.

2.7

Kinästhesie

auf den Muskeln, Gelenken und Sehnen beruhende Empfindungsfähigkeit und motorische Aktivität

ANMERKUNG 1 Kinästhesie schließt Eingabe und Ausgabe ein.

ANMERKUNG 2 Rezeptoren in den Muskeln, Gelenken und Sehnen werden für die Wahrnehmung der Kinästhesie verwendet.

ANMERKUNG 3 Muskeln, Sehnen und Gelenke werden für die motorische Aktivität genutzt.

2.8

kinästhetisch

zur Kinästhesie zugehörend

ANMERKUNG 1 Typen der kinästhetischen Empfindung entstehen aus Kraft, Bewegung, Position, Verlagerung und Gelenkwinkel.

ANMERKUNG 2 Typen kinästhetischer Handlungen umfassen Bewegung, Ausübung von Kraft und Drehmoment und Erreichen von Position, Verlagerung und Gelenkwinkel.

ANMERKUNG 3 Propriozeption bezieht sich auf die Empfindungsfähigkeit der eigenen Körperposition und -bewegung. Diese Benennung wird oftmals auswechselbar mit Kinästhesie verwendet, auch wenn sich die letztgenannte Benennung stärker auf Bewegung bezieht. Der Gleichgewichtssinn, zum Beispiel, könnte stärker unter Propriozeption als unter Kinästhesie fallen.

2.9

Force-feedback

Krafrückmeldung

Kraft die durch einen Benutzer hervorgerufen und wahrgenommen wird

ANMERKUNG Der Begriff „Force-Feedback“ wird in diesem Zusammenhang häufig verwendet, obwohl dies nicht unbedingt Rückmeldung mit einschließt.

2.10

Wahrnehmungstäuschung

Wahrnehmung, die mit der physikalischen Messung einer Reizquelle nicht übereinstimmt

2.11

sensorische Adaption

zeitliche Veränderung der Empfänglichkeit des sensorischen Systems für einen konstanten Reiz

2.12

räumliche (taktile/haptische) Maskierung

auftretende Wirkung, wenn ein Distraktor-Reiz, der sich dicht am Zielreiz befindet, die Wahrnehmung des Ziels verschlechtert

2.13

zeitliche (taktile/haptische) Maskierung

auftretende Wirkung, wenn ein Distraktor-Reiz, der unmittelbar vor oder nach einem Zielreiz auftritt, die Wahrnehmung des Ziels verschlechtert

2.14

taktiler/haptischer Objekt

Komponente eines interaktiven Systems, mit der ein Anwender haptisch interagieren kann

2.15

(taktiler/haptischer) Element der Benutzungsoberfläche

Einheit einer Benutzerschnittstelle, die in einer taktilen/haptischen Form vorliegt

2.16

(taktile/haptische) Elementaraufgabe

Grundsätzliche Aktion eines Benutzers, um die Aufgabe durchzuführen, für welche ein Gerät gestaltet wurde

2.17

taktile Beschriftung

Beschriftung eines Elements der Benutzungsoberfläche, das in der taktilen/haptischen Modalität vorliegt

2.18

taktile Karte

Karte, die in der taktilen/haptischen Modalität mit Eingabefunktionen vorliegt

ANMERKUNG 1 Die Eingabefunktionen umfassen Berühren, Abheben oder Bewegen des Fingers von einer bzw. über eine Karte zum Erzeugen einer Position und Auswahl.

ANMERKUNG 2 Taktile Karten werden oftmals als Navigationshilfe für blinde Menschen verwendet.

2.19

Steifheit

Härte

Elastizität

die haptische Antwort auf Interaktionen, die eine Kraft senkrecht zu einer virtuellen Objektoberfläche zur Folge haben

ANMERKUNG 1 „Steifheit“ ist oftmals bei der Anwendung auf einen steifen Werkstoff als Härte bekannt.

ANMERKUNG 2 „Steifheit“ ist oftmals bei der Anwendung auf einen weichen Werkstoff als Elastizität bekannt.

ANMERKUNG 3 *Maximale Steifheit* ist die höchste äquivalente Federkonstante einer virtuellen Oberfläche, die von dem Gerät ohne mangelnde Stabilität abgegeben werden kann.

2.20

Burst-Impuls

absichtliche kurze taktile/haptische Stimulation

ANMERKUNG Ein Burst-Impuls dauert typischerweise zwischen 10 ms und 1 s.

2.21

Sonde

Objekt in einem virtuellen Raum, das der Kontrolle eines taktilen/haptischen Geräts untersteht

2.22

räumliche Auflösung

Ausmaß, bis zu dem die physikalische Ausgabe eines Benutzers von dem Gerät verwendet werden kann

2.23

Adressierbarkeit

Fähigkeit, einen bestimmten Punkt oder einen Satz von Punkten in einem Arbeitsraum anzusprechen

3 Einführung in die Haptik

Die Wissenschaft der Haptik und die Schaffung taktiler/haptischer Geräte werden von der Kenntnis des menschlichen Körpers, insbesondere seiner Fähigkeit zum Fühlen, sowohl durch Berühren der Haut als auch durch kinästhetische Aktivität in den Extremitäten und Körpergelenken bestimmt.

Bild 1 zeigt die Beziehung zwischen den Bestandteilen, aus denen der Bereich der Haptik besteht. Dieser Bereich ist in das Studium des Tastsinns und in das Studium der Kinästhetik unterteilt.

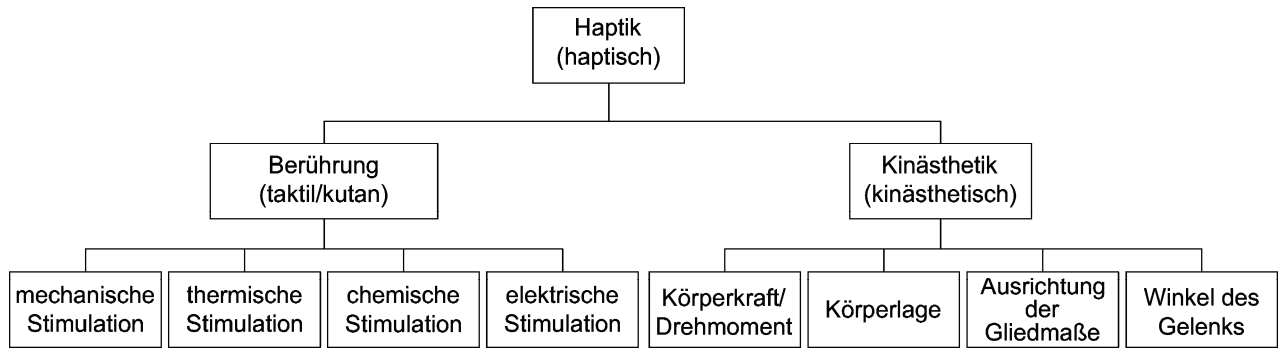


Bild 1 — Bestandteile der Haptik

„Tastsinn“ schließt diverse Reize, wie mechanische, thermische, chemische und elektrische Stimulation der Haut ein. Spezielle Nerven und Sinnesorgane in der Haut sprechen auf diese Reize mit unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Auflösungen an.

Der „kinästhetische“ Sinn kann durch kinästhetische Aktivität angepasst werden, mit der ein Benutzer eine Kraft oder ein Drehmoment auf ein Objekt außerhalb des aktiven Körperteils ausübt. Mit der Kombination aus kinästhetischem Sinn und kinästhetischer Aktivität kann der Benutzer die Kraft und das Drehmoment feststellen, mit denen der Körper der Kraft und dem Drehmoment eines taktilen/haptischen Geräts widersteht. Desgleichen kann der Benutzer durch Auferlegen einer gemessenen Kraft oder eines gemessenen Drehmoments auf ein Objekt die Makroeigenschaften, wie dessen Trägheit, bestimmen.

Kinästhesie ist folglich bidirektional, indem sie sowohl die Umgebung erfasst und diese auch aktiv in einem gegenseitigen Austausch von Information und Aktion manipuliert.

ANMERKUNG 1 Aktiver Tastsinn schließt Kinästhesie ein, passiver Tastsinn nicht. Aktiver und passiver Tastsinn sind oftmals sehr nützliche Konzepte, um Interaktionen zu unterscheiden. Bei Interaktionen ist es nicht immer möglich, die beiden Konzepte bei bestimmten Geräten zu erkennen. In Abhängigkeit von dem Arbeitsschritt kann eine Form des Tastsinns über der anderen stehen.

ANMERKUNG 2 Interaktion mit taktilen/haptischen Geräten kann unterschiedliche Kombinationen dieser haptischen Komponenten an vielfachen Kontaktpunkten benutzen.

ANMERKUNG 3 Zu Einzelheiten der Physiologie der menschlichen Haptik siehe Anhang C.

4 Erforschung der haptischen Wahrnehmung des Menschen

4.1 Bedeutung des haptischen Sinns

Die haptische Wahrnehmung ist für das menschliche Leben von großer Bedeutung; wesentlich größer als allgemein anerkannt. Wenn man zum Beispiel in einer Tasche oder einem Beutel ohne die Hilfe des Gesichtssinns nach einem Gegenstand sucht, ist die haptische Wahrnehmung daran beteiligt. Wenn man den gesuchten Gegenstand erkennt, mit der entsprechenden Kraft ergreift und diesen herausnimmt, beruhen diese Handlungen auf der Haptik. Dieser Sinn kann übliche Objekte recht wirkungsvoll mit nahezu perfekter Unterscheidung innerhalb weniger Sekunden erkennen, insbesondere, wenn der Beobachter eine bestimmte Erwartung bezüglich der Möglichkeiten hat.

Durch Palpieren der Oberfläche eines Körpers kann ein Mediziner Informationen über den Zustand von Organen unter der Haut und unter Fettschichten erhalten, d. h. über Zustände, die visuell nicht wahrgenommen werden können.

Der haptische Sinn kann also auch ein Fernabtasten ermöglichen, wenn ein entferntes Objekt mit einem Werkzeug untersucht wird. Zum Beispiel kann eine sehbehinderte Person einen Stock verwenden, um die Eigenschaften des Bodens am Stockende wahrzunehmen.

Insbesondere die Hände hatten eine außerordentliche Bedeutung bei der biologischen und kulturellen Entwicklung der mit ihrer Umgebung in Kontakt stehenden Menschen. Sie sind zur gleichen Zeit sowohl für die Wahrnehmung als auch für die Aktion in einer kontinuierlichen Interaktion mit der Umgebung von Nutzen. Eine Hand hat die eindrucksvolle Fähigkeit, sich vielen unterschiedlichen Arten von Bedienungsaufgaben anzupassen, von sehr kleinen, die eine hohe Präzision erfordern bis hin zu großen Aufgaben, bei denen große Kräfte erforderlich sind. Die Handlungen werden zu allen Zeiten von einer haptischen Rückmeldung geleitet.

Dennoch ist die haptische Wahrnehmung innerhalb der Computeranwendungen im Vergleich mit visuellen und akustischen Interaktionen neu und noch relativ begrenzt. Die heute vorhandenen taktilen/haptischen Geräte erfordern noch viel Entwicklung, bis sie das Leistungsvermögen des haptischen Sinns vollständig nutzen können.

Der Tastsinn wird auch oftmals verwendet, um die Informationen zu bestätigen, die wir über die Wirklichkeit der Welt erlangen.

4.2 Haptische Wahrnehmung und Gesichtssinn

4.2.1 Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen haptischer Wahrnehmung und Gesichtssinn

Die haptische Wahrnehmung hat mit dem Gesichtssinn viele Gemeinsamkeiten. Sie kann benutzt werden um Objekte im Verhältnis zum Betrachter im Nahraum zu lokalisieren (jedoch nur in der Reichweite der Arme, sofern kein Werkzeug verwendet wird), auf der Oberfläche trennende Kanten zu finden und die Größe und Form von Objekten wahrzunehmen (die nicht zu groß sind, um von einer Person erkundet zu werden). Bei der Wahrnehmung der Struktur gibt es nicht nur eine Übereinstimmung der haptischen Wahrnehmung mit dem Gesichtssinn, unter zahlreichen Bedingungen ist sie diesem überlegen.

Bei bestimmten Aufgaben liegt die haptische Wahrnehmung beträchtlich hinter dem Gesichtssinn zurück oder kann die Aufgabe überhaupt nicht erfüllen. Zum Beispiel kann sie nicht dazu benutzt werden um einen Überblick über einen Schauplatz zu erhalten, den dreidimensionalen Raum hinter der Reichweite der Arme wahrzunehmen, Farben zu erkennen oder Kanten in einem zweidimensionalen Bild ohne Erhebung wahrzunehmen.

Bei anderen Aufgaben ist die haptische Wahrnehmung dem Gesichtssinn überlegen. Mit der haptischen Wahrnehmung kann man direkt das Gewicht von Objekten, wie auch deren Härte und Temperatur beurteilen. Der Gesichtssinn kann bis zu einem bestimmten Ausmaß derartige Objekteigenschaften wahrnehmen, jedoch nur über das Beobachten des Verhaltens einer anderen Person.

4.2.2 Kollokation des visuellen und haptischen Raums

In der realen Welt werden Objekte üblicherweise wahrgenommen, um visuell und taktil den selben Ort einzunehmen, in der virtuellen Welt ist das nicht zwangsläufig der Fall. Das visuelle Objekt kann auf einem Bildschirm vorgefunden werden, während das haptische Objekt einen anderen Ort einnimmt, z. B. auf einem taktilen/haptischen Gerät neben der Tastatur dargestellt wird. Die Vorzüge der Kollokation haben sich beim Anvisieren eines Objektes und bei der Wahrnehmung der Form gezeigt. Informell hat sich auch gezeigt, dass das Ausführen von Aufgaben, wie das Auffinden von Reglern und das Wiederherstellen des Kontakts mit verlorengegangenen virtuellen Objekten, unter Kollokationsbedingungen erleichtert wurde.

Das Kombinieren der visuellen und haptischen Modalitäten kann die Wahrnehmung eines Schauplatzes durch einen Benutzer bereichern. Der Gesichtssinn könnte zuerst dominieren, indem ein schneller Überblick über einen Schauplatz und die Identifikation der Objekte an dem Schauplatz ermöglicht werden. Eine taktile Anzeige kann aber eine schnellere Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit eines Objektes erlauben. Die relativen Entfernungen der Objekte können innerhalb des persönlichen Raumes durch eine Stärkung der visuellen Beurteilung von Entfernungen haptisch wahrgenommen werden. Anschließend können Objekteigenschaften, wie Masse und Verformbarkeit nur durch den haptischen Sinn bestätigt werden.

BEISPIEL Ein Pianist, der Musik vom Blatt spielt, vertraut auf haptische Wahrnehmungen, um die Lage der Noten auf der Tastatur aufzufinden, wenn er jedoch aus dem Gedächtnis spielt, werden visuelle und haptische Modalitäten zusammen angewendet, wodurch die Vorstellung entspannter ist und folglich bereichert wird.

4.2.3 Schlussfolgerungen für haptische Anzeigen

Die Unterschiede zwischen dem Gesichtssinn und der haptischen Wahrnehmung machen es riskant, einfach Kopien von visuellen Objekten wiederzugeben, um diese haptisch darzustellen. Ein derartiges Kopieren könnte in einfachen Fällen erfolgreich sein, in schwierigeren Fällen werden jedoch oftmals Probleme auftreten. Es ist wichtig, dass die Schaffung effektiver haptischer Schauplätze die Berücksichtigung ihrer Eigenschaften vom haptischen Standpunkt aus einbezieht. Eine effektive visuelle Wiedergabe eines Schauplatzes ist keine Garantie, dass derselbe Schauplatz in einem haptischen Sinn erfolgreich wiedergegeben werden kann.

Ein Vorteil kann aus der Fähigkeit des Körpers gezogen werden, crossmodale Karten seiner Umgebung schnell abzustimmen. Sowohl der Gesichtssinn als auch der taktile Sinn können zusammenwirken, um die schnellere Lokalisierung eines Reizes zu ermöglichen, als es mit einer einzelnen Modalität möglich wäre.

Andere Vorhersageexperimente haben gezeigt, dass die dynamische taktile Information verwendet werden kann, um die visuelle Aufmerksamkeit neu auszurichten und die dynamische visuelle Information kann benutzt werden, um die taktile Information fehlerfrei neu auszurichten.

4.3 Manuelle Erkundung von Objekten

Die Bewegungen eines Betrachters während der haptischen Erkundung der Umgebung sind typischerweise nicht willkürlich, sie sind aber speziell darauf gerichtet, die gewünschte Information zu erhalten. Diese als Erkundungsprozeduren bezeichneten Bewegungsmuster bestehen aus einer Reihe von Basisprozeduren, wie:

- a) Überstreichen der Oberfläche zum Wahrnehmen der Beschaffenheit,
- b) Drücken zum Wahrnehmen der Härte,
- c) Nicht unterstütztes Halten zum Wahrnehmen des Gewichts,
- d) Umfassen (Umfassen eines Objekts mit einer Hand oder mit beiden Händen) zum Wahrnehmen der gesamten Form und des Volumens, und
- e) Konturen nachfahren zum Wahrnehmen der gesamten Form und der exakten Form.

Taktile/haptische Geräte könnten die dem Benutzer zur Verfügung stehenden Erkundungsprozeduren begrenzen und somit die Erkundungsleistung signifikant herabsetzen. Ein Spezialtraining der für bestimmte Anzeigen nützlichen Bewegungen kann diesen Mangel teilweise ausgleichen.

4.4 Training in Erkundungsprozeduren

Die Beschaffenheit ist weniger ein Problem für die Wahrnehmung von Objekten als für die Form. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Erkundungsprozedur für die Beschaffenheit einfacher ist als die für die Form. Bei der Erkundung der Beschaffenheit könnte der Benutzer beliebige Bewegungen über der Objektoberfläche machen, während die Erkundung der Form spezifische Bewegungen erfordert. Dennoch kann ein Training in geeigneten Erkundungsprozeduren für eine vorgegebene Form zu einer wesentlich verbesserten Leistung führen. Dieses ist insbesondere bei der Bewertung haptischer Anzeigen zu berücksichtigen, da in diesem Fall die Gefahr besteht, die Nützlichkeit eines Geräts zu unterschätzen, wenn die Benutzer keine ausreichenden Erfahrungen mit diesem Gerät haben.

4.5 Die Schwierigkeit, mit der haptischen Wahrnehmung einen Überblick über einen Vorgang zu erhalten

Eines der schwierigsten Probleme mit der haptischen Wahrnehmung besteht in vielen praktischen Zusammenhängen darin, einen Überblick über einen Vorgang zu erhalten. Beim Gesichtssinn erfolgt dieser Überblick fast unmittelbar. Es gibt Situationen, in denen ein „haptischer Streifblick“ (kurzer Kontakt mit dem Objekt) etwas von der gleichen Qualität, wie der Gesichtssinn bieten kann, insbesondere, wenn der Betrachter Hypothesen bezüglich des gefragten Objekts hat. Dennoch ist es üblicherweise eine arbeits- und zeitaufwendige Aufgabe, Objekte unter komplexeren Bedingungen nur mithilfe der haptischen Wahrnehmung zu identifizieren. Es ist oftmals nützlich, die haptische Wahrnehmung mit akustischen oder visuellen Informationen anzureichern. Zum Beispiel könnte es eine verbale oder Textinformation über die Objekte oder Anweisungen darüber geben, wie der Vorgang zu erkunden ist.

4.6 Physikalische Mindeststimulation: absolute Reizschwellen

Die haptische Wahrnehmung beruht auf vielen Arten von Sensoren in der Haut, sowie in den Muskeln, Sehnen und Gelenken. Eine als absolute Reizschwelle bezeichnete physikalische Mindeststimulation ist erforderlich, damit die Sensoren reagieren und Signale senden können, die den Betrachter mit Erfahrungen versorgen. Zahlreiche physikalische Ereignisse, von dem Einfall eines Lichtbündels bis zum Druck durch Spitzen, Kanten, Ecken und Rundungen, können die Haut stimulieren. Sie können zu einer Hautbewegung, Dehnung der Haut oder Vibration führen und benötigen in unterschiedlichem Maß Energie, um wahrgenommen zu werden. Die räumliche Tastschärfe der Haut beträgt etwa 1 mm. Im Allgemeinen ist bei der räumlichen Unterscheidung die Hand weniger gut als das Auge, aber besser als das Ohr. Im Bezug auf die zeitliche Unterscheidung ist die Hand besser als das Auge, aber schlechter als das Ohr.

Die Haut ist ein großes Sinnesorgan und die verschiedenen Teile unterscheiden sich in der Sensitivität. Die Fingerspitzen zählen zu den empfindlichsten Teilen und sind zum Erkunden der Umgebung am besten geeignet. Die Lippen und der Mund sind ebenfalls sehr empfindlich. Diese Erkenntnis der teilweisen Sensibilität wurde in letzter Zeit für die Entwicklung eines taktilen/haptischen Geräts verwendet, das im Mund angeordnet wird. Weniger empfindliche Teile des Körpers, wie z. B. der Magen und der Rücken, wurden auch als Positionen für taktile/haptische Geräte verwendet, die räumliche Auflösung an diesen Positionen ist jedoch geringer als in den Händen und im Mund.

Es ist von Bedeutung, das Alter potenzieller Benutzer von taktilen/haptischen Geräten zu berücksichtigen, da die haptische Sensitivität mit dem Alter beträchtlich abnimmt.

4.7 Für die Wahrnehmung erforderliche Mindestunterschiede

Ein Minimum an physikalischer Unterscheidung zwischen zwei Stimulationen ist für einen Betrachter erforderlich, um den Unterschied zu erfahren. Dieser wird als Wahrnehmungsschwelle oder auch "eben noch bemerkbarer Unterschied" (en: Just Noticeable Difference, JND) bezeichnet.

BEISPIEL 1 Bei der Wahrnehmung des Unterschiedes in der Richtung von zwei Kräften beträgt der Unterschied wenigstens 33° im Bezug auf den nachzuweisenden Unterschied.

BEISPIEL 2 Bei dem Vergleich von Objekten durch das Drücken ist die Widerstandskraft des einen ungefähr 7 % größer die des anderen in Bezug auf den nachzuweisenden Unterschied.

4.8 Wahrnehmung geometrischer Eigenschaften von Objekten

Objekteigenschaften können in geometrische und Materialeigenschaften unterteilt werden. Größe und Form sind für die Identifikation von Objekten allgemein verwendete geometrische Eigenschaften. In der realen Welt werden die Erkundungsprozeduren des Umfassens und Nachfahrens der Konturen verwendet, um diese Information zu erhalten. Mit gebräuchlichen haptischen Anzeigen sind diese Prozeduren nicht in jedem Fall möglich. Die Wahrnehmung der Form ist mit derartigen Anzeigen möglich, aber weniger effizient und zeitaufwendiger als in der realen Welt. Ein entscheidender Grund dafür besteht darin, dass die meisten taktilen/haptischen Geräte einen einzigen Kontaktpunkt anbieten.

4.9 Wahrnehmung der Masse

Die haptische Wahrnehmung der Masse wird seit dem neunzehnten Jahrhundert untersucht. Diese Studien haben in der neueren Zeit eine neue Richtung bei der Betrachtung angenommen, wie Menschen die Masse auf der Grundlage der Handhabung des zu beurteilenden Objekts bewerten. Die Stimulation in diesem Fall ist der Widerstand gegen das von dem haptischen System aufgenommene Drehmoment. Eigenschaften, wie die Länge eines Stabes oder die Form eines Objektes, können mithilfe der Handhabung des Stabes oder des Objektes beurteilt werden. Das Flüssigkeitsvolumen in einem lichtundurchlässigen Behälter kann durch haptische Wahrnehmung nur beurteilt werden, wenn der Behälter geschüttelt wird.

4.10 Wahrnehmung der Materialeigenschaften

Die Oberfläche eines Objekts kann viele Materialeigenschaften haben. Sie kann sowohl hart bis weich, als auch glatt bis rau sein. Die letztgenannte Eigenschaft wird Textur genannt und wird von der Mikrostruktur der Oberfläche bestimmt, d. h. regelmäßige oder unregelmäßige Abweichungen von der vollständigen Ebenheit. Der Mikrostruktur kann die Makrostruktur gegenübergestellt werden, die die Form ergibt. Weich/hart und glatt/rau sind die beiden wesentlich wahrnehmbaren Maße von haptisch wahrgenommenen Objekten. Eine andere Eigenschaft ist klebrig/rutschig, die auf dem Grad des Widerstandes einer Oberfläche beruht, um auf dieser Oberfläche Bewegungen auszuführen. Es hat Bemühungen gegeben, thermische Eigenschaften darzustellen, diese waren aber bis jetzt noch nicht sehr erfolgreich.

In der realen Welt bestehen komplexe Wechselwirkungen zwischen der haptischen, der visuellen und der akustischen Empfindungsfähigkeit, wenn die Textur wahrgenommen wird. Manchmal ergänzen diese einander, manchmal stehen sie zueinander im Widerspruch und manchmal kann eine die anderen dominieren. Die kombinierten Effekte aller drei Aspekte sind zu berücksichtigen, wenn die multisensorische Wiedergabe betrachtet wird.

Die Textur wird typischerweise wahrgenommen, wenn eine texturierte Oberfläche in direktem Kontakt mit einem reibenden Finger ist. Die Textur kann aber auch auf andere Weise wahrgenommen werden, z. B. mithilfe eines Handwerkzeugs — einer starren Verbindung zwischen der Haut und der Oberfläche. Dieses Verfahren kann in virtuellen Umgebungen zum Übertragen der Textur nützlich sein.

Im Gegensatz zur Form sind die Eigenschaften einer virtuellen Oberfläche durch haptische Wahrnehmung, sowohl in der realen als auch in der virtuellen Welt relativ leicht zu beurteilen. In einem Experiment, bei dem die Rauheit von realem und virtuellem Sandpapier mit einem Griffel untersucht wurde, waren die Beurteilungen sehr ähnlich. Dennoch bestehen manchmal Probleme bei der Wiedergabe komplexer, realistischer haptischer Texturen.

4.11 Anzahl und Größe der Kontaktoberflächen in taktilen/haptischen Geräten

Wenn eine Hand auf natürliche Weise funktioniert, gibt es verschiedene Kontaktoberflächen, wobei die Spitzen mehrerer Finger typischerweise gleichzeitig auf einer Oberfläche aufliegen. Bei vielen heutigen haptischen Anzeigen ist die Anzahl an Kontakten niedrig und in den meisten Fällen ist nur ein einziger vorhanden. Die virtuelle Kontaktoberfläche selbst wird, bis auf wenige Geräte, durch nur einen einzigen Punkt dargestellt. Dieser gibt ein Kontaktanalogon, aber nicht eine realistische Simulation.

Wenn nur ein einziger Kontaktbereich verwendet wird, ist es nicht möglich, eine simultane Information von mehreren Kontaktbereichen zu erhalten; es steht nur eine aufeinanderfolgende Information zur Verfügung.

Die Verwendung von nur einem Finger bedeutet, dass ein Umfassen nicht verwendet werden kann.

ANMERKUNG Das Umfassen ist eine wichtige Erkundungsprozedur zum Wahrnehmen der gesamten Form, bei der mehrere Finger ein Objekt ergreifen.

Ergebnisse aus Wahrnehmungsstudien haben gezeigt, dass das Fehlen einer räumlich verteilten Information über die Kontaktpunkte wichtiger ist, als die tatsächliche Anzahl an Kontaktpunkten.

4.12 Zusammenfassung

Selbst wenn das haptische Empfindungsvermögen keinen unmittelbaren Überblick über einen Raum bieten und Entfernungen außerhalb der Reichweite der Arme erfassen kann, besteht ein großer Wirkungsgrad bei der Bereitstellung von Informationen über Objekte und Ereignisse im Nahraum. Die Hände können in realen Umgebungen zahlreiche Aufgaben sehr gekonnt ausführen. Sie können geometrische Eigenschaften und Eigenschaften der Materialoberfläche mithilfe spezifischer Erkundungsprozeduren beurteilen. Sie können die Masse und die Form durch Handhaben des Objekts bestimmen und die translatorische und rotatorische Trägheit fühlen (wie bei der Ermittlung des Flüssigkeitsvolumens in einem geschüttelten Behälter).

Bei der Wiedergabe von Objekten und Ereignissen für die haptische Wahrnehmung ist es von Bedeutung, die speziellen Merkmale der haptischen Sinne zu berücksichtigen. Die gegenwärtig zur Verfügung stehenden Geräte und Software bieten gute analoge Anhaltspunkte, die die partielle Wiedergabe haptischer Vorgänge ermöglichen. Auf der anderen Seite begrenzen sie die Möglichkeiten, dass der Benutzer einen Vorgang mit haptischen Möglichkeiten wahrnehmen kann. Zukünftige Geräte werden sicher in stärkerem Maß dem menschlichen Operator zur Verfügung stehende haptische abtastende Modalitäten verwenden.

5 Verwendung taktiler/haptischer Interaktionen

5.1 Allgemeines

Taktile und haptische Geräte können in vielen unterschiedlichen Situationen und für viele unterschiedliche Aufgaben verwendet werden. Bei einigen Aufgaben sind sie wechselseitig austauschbar, bei einigen können sie gemeinsam verwendet werden und bei anderen bedeutet die Art der speziellen Rückmeldung, dass nur ein Typ am wirkungsvollsten ist.

Aufgrund ihrer kompakten Größe und der Leistungsanforderungen bieten taktile Anzeigen eine diskrete, finanziell erschwingliche Möglichkeit, den Zugang zu Daten über den Tastsinn herzustellen. Taktile Anzeigen sind oftmals klein genug, um an anderen Interaktionsgeräten, wie z. B. einer Maus, einer Tastatur oder an Spielekonsolen oder an tragbaren Geräten, wie z. B. Mobiltelefonen und PDAs (oder sogar an taktilen/haptischen Force-Feedback-Geräten) angeschlossen zu werden. Taktile Informationen werden in großem Maß innerhalb der Videospieglergemeinschaft als preisgünstige Möglichkeit verwendet, eine Berührungsrückmeldung in Handheld-Spielekonsolen zu erhalten. Taktile Empfindungen sind entscheidend für den Erfolg bei der Objektmanipulation, dem Auffinden von Kanten und der Wahrnehmung der Oberflächentextur. Sie sind auch an aussagekräftigeren und qualitativen Kontexten, wie z. B. an der nicht visuellen Kommunikation (z. B. einem leichten Schlag auf die Schulter oder einem Streicheln der Hand) und an Wahrnehmungen der Produktqualität beteiligt.

Taktile/haptische Force-Feedback-Geräte sind typischerweise viel größer als rein taktile und erfordern eine größere Leistung, um stärkere Kräfte auszuüben. Folglich sind sie üblicherweise nicht tragbar. Sie sind allgemeiner darauf gerichtet, Aufgaben der realen Welt zu simulieren, z. B. Arbeit und Schulung an der Simulation eines chirurgischen Eingriffs. Deren hohe Wiedergabetreue und Genauigkeit bedeutet, dass sie verwendet werden können, um sehr feine, auf dem Tastsinn beruhende Fertigkeiten zu lehren, auch wenn diese die Simulation sehr schwerer oder dynamischer Objekte erfordern.

In bestimmter Hinsicht ist es einfacher, die zum Interagieren mit Objekten erforderlichen größeren Kräfte kinästhetisch zu simulieren, als die kleineren Kräfte für eine taktile Rückmeldung; so können Geräte, die ein Force-Feedback liefern, oftmals Objekte mit einem realistischeren Gefühlseindruck herstellen als es taktile Geräte können. In den folgenden Abschnitten werden einige der größeren Anwendungsbereiche taktiler und Force-Feedback-Anzeigen umrissen.

5.2 Zugänglichkeit

Haptische Anzeigen können einen alternativen Kanal für die Darstellung von Informationen bieten, wenn andere Sinnesempfindungen beeinträchtigt sind. Die traditionelle Verwendung von Codierungen, wie dem Brailleschriftcode, ist bei der nicht visuellen Darstellung textlicher Informationen effektiv, aber auch der Tastsinn kann verwendet werden, um für Menschen mit eingeschränktem Sehvermögen ikonische und bildliche Daten darzustellen oder zu verstärken. Alternativ kann für Menschen mit Hörproblemen der Tastsinn zum Einsatz kommen, um Alarmsignale oder sonstige Nachrichten darzustellen, die anderenfalls als Geräusch ausgegeben würden. Der Prozess der sensorischen Substitution umfasst das Abtasten von Reizen mit elektronischen Mitteln, die Transformation des Reizes über die Signalverarbeitung und die Darstellung des transformierten Reizes in einer anderen sensorischen Modalität.

Dynamische, aktualisierbare Brailleschrift-Anzeigen bieten Flexibilität und Unabhängigkeit. Diese können mit tragbaren taktilen/haptischen Geräten, wie z. B. Rückmeldung gebende taktile/haptische Keypads/Keyboards und Informationsanzeigen für blinde Menschen angewendet werden. Größere Anordnungen können unter einer Computer-Tastatur befestigt werden. Die am häufigsten verwendeten taktilen Anzeigen rufen Empfindungen mithilfe einer mechanischen Störung der Haut hervor. Dieses erfolgt üblicherweise durch das Vibrieren einer kleinen, gegen die Haut gepressten Platte oder über einen Stift oder eine Anordnung von Stiften auf der Fingerspitze. Hierbei handelt es sich um Systeme, die Menschen mit Sehbehinderungen über das Internet Zugang zu virtuellen Karten geben, die auf dem Druck von Karten auf einem Brailleschrift-Drucker und der Positionierung auf einem berührungsempfindlichen Tablett für die Eingabe beruhen.

Taktile/haptische Geräte können verwendet werden, um sehgeschädigten Menschen Informationen zu vermitteln die den Zugang zu Materialien, wie grafischen Darstellungen, Schaubildern und Tabellen schwierig machen. Die Brailleschrift ist gut für die Darstellung textlicher Informationen, nicht gut jedoch für komplexe Bilder. Visualisierungssysteme, wie Liniendiagramme oder Balkendiagramme, können als Furchen dargestellt werden, die dem Benutzer deren Erkundung erlauben, um die Form ihrer Daten zu fühlen. Diese sind sehr erfolgreich und sie können Informationen effektiver darstellen, als erhabene Papieralternativen, sie können dynamisch sein, während Papier nicht abgeändert werden kann und sie können es dem Benutzer ermöglichen, die Daten selbst zu bearbeiten und zu ändern, ohne dass die Hilfe eines Sehenden dafür erforderlich ist.

5.3 Desktop-Interaktionen

Die haptische Rückmeldung kann in grafischen Benutzungsoberflächen für Desktop-Computer verwendet werden, z. B. mithilfe einer Vibrationsmaus. Während der Vibrationseffekt bei dem Erhalt von Einzelzielen die Zieldauer wahrscheinlich nicht wesentlich verringern wird, kann er die Zeit verringern, die der Benutzer über dem Ziel verbringt. Die Ergänzung einer taktilen Rückmeldung (z. B. in Form einer konstanten Vibration von 200 Hz, wenn sich die Maus über dem Zielobjekt befindet) kann die Zielgeschwindigkeit für kleine, verborgen angeordnete Ziele verbessern. Wenn jedoch vielfältige Ziele vorhanden sind, kann die taktile Rückmeldung zu Verwirrungen führen und die Leistung herabsetzen, da sich die Rückmeldungen von unterschiedlichen Zielen gegenseitig beeinflussen.

Force-Feedback kann verwendet werden, um das Planen von Objekten auf der grafischen Benutzerschnittfläche des Desktops für Menschen mit und ohne Sehvermögen zu unterstützen. Verschiedene Teile der üblichen Benutzungsoberfläche können haptische Effekte erhalten, z. B. können Fensterränder einen Höcker erhalten, um diese leichter nachziehen zu können oder Fenster können durch hartes Drücken nachgezogen werden, so als ob man Papier über einen Schreibtisch nachzieht.

5.4 Mobile Interaktionen

Das taktile Rückmelden wird sehr wirkungsvoll bei Mobiltelefonen und Funkrufempfängern (Pagern oder Piepsern) verwendet. Vibrationsmotoren bieten eine Benachrichtigung bei ankommenden Anrufen und Nachrichten. Die Tatsache, dass sich das Gerät in einer Tasche befinden kann, bedeutet, dass man die Anzeige nicht sehen muss. Der weite Bereich akustischer Umgebungen, in denen sich das Telefon befinden kann, bedeutet, dass manchmal eine akustische Rückmeldung unangebracht ist (z. B. würde in einer Bibliothek der Klingelton stören; in einer lauten Gruppe könnte der Klingelton überhaupt nicht gehört werden). Eine taktile Rückmeldung löst viele dieser Probleme und ist bei den Benutzern äußerst beliebt.

Die Verwendung von Vibrationen kann über das einfache Alarmieren und Meldung geben eines Telefons hinausgehen. Touchscreen-Telefone sind jetzt üblich und verfügen über keine physikalische Tastatur. Auch wenn die bei Touchscreen-Geräten verwendeten Tastaturen auf den ursprünglich physikalischen Tastaturen beruhen, ist ein wichtiges Merkmal verloren gegangen: die Schaltflächen können nicht die taktile Antwort geben, die physikalische Tasten bei Berührung oder beim Anklicken geben können. Dies führt zu einer viel schlechteren Schreibleistung. Mit der Ergänzung einer von dem internen Vibrationsmotor des Telefons bereitgestellten zusätzlichen taktilen Rückmeldung kann die Leistung beim Drücken der Touchscreentasten auf das Niveau einer realen physikalischen Tastatur wiedererlangt werden.

Taktile Fortschrittsanzeigen können taktile Impulse nutzen, um den Umfang eines ausstehenden Arbeitsschritts anzuzeigen (wie z. B. das Laden einer Webseite oder das Herunterladen von Fotos), sodass der Benutzer während des Wartens auf etwas anderes sehen kann. „Haptische Emoticons“ können für das Ausdrücken von Emotionen anstelle grafischer Emoticons, wie „☺“, verwendet werden. Diese haptischen Icons können so gestaltet sein, dass sie durch das Eintippen des textlichen Äquivalents ausgelöst und anschließend an den Vibrationsmotor des Telefons gesendet werden können.