

Software-ergonomische Aspekte der Studierumgebung blinder Menschen

Kurzfassung der Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegt an der
Technischen Universität Dresden
Fakultät Informatik

eingereicht von

Dipl.-Inform. Thomas Kahlisch

Betreuender Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Wünschmann

Dresden im Dezember 1997

1 Einleitung

Im Mittelpunkt der Dissertation steht die Auseinandersetzung mit software-ergonomischen Aspekten der Studierumgebung blinder Menschen. Die Studierumgebung bezeichnet dabei eine begriffliche Zusammenfassung organisatorischer, technischer und sozialer Gesichtspunkte, die die unmittelbaren Studienbedingungen an Hochschulen und Universitäten kennzeichnen. Neben einer Diskussion dieser gesamtheitlich zu berücksichtigenden Prozesse bilden die Fragen der Gestaltung des Zugangs zu computergestützten Arbeits- und Hilfsmitteln für blinde Studierende den Schwerpunkt der Arbeit.

Das im theoretischen Teil der Dissertation erarbeitete Analyse- und Bewertungsverfahren von speziellen Mensch-Computer-Dialogsituationen beinhaltet ein formales Konzept, das auf der Ermittlung quantitativer Maße zur Beurteilung der adaptiven Gestaltung eines Dialogsystems beruht. Auf der Grundlage dieses Konzeptes lassen sich geeignete Verfahren des Usability-Engineerings für assistive Informationstechnologien entwickeln.

Nachfolgend werden die Schwerpunkte der Arbeit kurz vorgestellt und in Thesen zusammengefaßt.

2 Studieren in der Informationsgesellschaft

Im ersten Kapitel erfolgt eine kurze Einleitung in die Problematik.

Das zweite Kapitel beschreibt die Anforderungen und Tätigkeitsmerkmale, die ein Studium an Hochschulen und Universitäten in der Informationsgesellschaft ausmachen. Der erste Abschnitt charakterisiert die damit verbundenen neuen Anforderungen an die akademische Ausbildung. Darauf aufbauend werden die bildungstechnologischen Gestaltungsziele einer modernen Studierumgebung beschrieben.

Zur Einordnung dieser Gestaltungsziele in software-ergonomische Modelle wird Studieren als ein Problemlösungsprozeß diskutiert. Die dabei charakterisierten Zusammenhänge bilden den Ausgangspunkt für die im folgenden vorgenommene Erörterung der Besonderheiten einer Studierumgebung blinder Menschen.

3 Studierumgebung blinder Menschen

Dieses Kapitel beginnt mit einer Darstellung der Besonderheiten der Behinderungsart Blindheit sowie einer Herausarbeitung der schädigungsbedingten Einschränkungen, denen blinde Studierende an Hochschulen und Universitäten unterliegen. Darauf aufbauend werden die verschiedenen Möglich-

keiten zur Unterstützung blinder Studierender bei der Kompensation behinderungsbedingter Defizite im Universitätsalltag erörtert. In den folgenden thesenhaft formulierten Aussagen sind die wichtigsten Ergebnisse zusammengefaßt:

1. Die Kompensation behinderungsbedingter Defizite blinder Studierender erfordert eine gesamtheitliche Betrachtung der Studienbedingungen:

Zur Sicherung der territorialen Mobilität blinder Menschen im Hochschulalltag sind folgende Unterstützungsangebote besonders bedeutsam:

- Organisation von Orientierungs- und Mobilitätstraining
- Bereitstellung von Mobilitätsplänen sowie anderer taktiler und auditiver Informationsangebote
- behindertengerechte Gestaltung des öffentlichen Verkehrsraumes (z. B. Lichtsignalanlagen mit akustischen oder haptischen Signalgebern oder Fahrstühle mit Sprachausgabe)

Die informationelle Mobilität blinder Studierender kann insbesondere durch die folgenden Maßnahmen verbessert werden:

- Einrichtung, Wartung und Pflege moderner und vernetzter Computerarbeitsplätze, die mit adaptiver Technik ausgerüstet sind
- Bereitstellung geeigneter Studienmaterialien in traditionellen und computergestützten Darstellungsformen
- Sicherstellung der Zugänglichkeit von elektronischen Informations- und Kommunikationsangeboten

Die soziale Kompetenz blinder Studierender kann durch eine Studienberatung sowie durch die Einbeziehung und Unterstützung von Selbsthilfegruppen verbessert werden.

2. Die Studienunterstützung Blinder sollte Maßnahmen im organisatorischen, technischen und sozialen Bereich umfassen:

- Organisatorischer Bereich:
Studienberatung, Angebot spezieller Aufbau- und Trainingskurse sowie Sondervereinbarungen zur Kompensation behinderungsbedingter Defizite in Studien- und Prüfungsordnungen

- Technischer Bereich:
Bereitstellung behindertengerecht ausgestatteter Arbeits- und Hilfsmittel, Studienmaterialien und anderer Informationsangebote
 - Sozialer Bereich:
Unterstützung der Arbeit von Interessengemeinschaften und Selbsthilfeorganisationen
3. Die moderne Informationsgesellschaft eröffnet blinden Studierenden einerseits Chancen und bereitet ihnen andererseits auch kommunikative Barrieren, den Wissensaneignungsprozeß zu gestalten:

Durch den Einsatz computergestützter Informations-, Kommunikations- und Rechercsysteme kann der derzeit zu verzeichnende akute Mangel an nutzergerechten Studienmaterialien beseitigt werden. Blinden Studierenden wird damit die Möglichkeit gegeben, sich integriert in den regulären Studienablauf Wissen anzueignen.

4 Studienmaterialien für blinde Menschen

Bei konsequenter Anwendung der in diesem Kapitel beschriebenen Konzepte und Methoden lassen sich wirksame Beiträge leisten, den Mangel an Studienmaterialien für blinde Studierende zu vermindern. Die nachfolgend thesenhaft zusammengefaßten Entwicklungen erlauben es, das Angebot an Studienmaterialien sowohl in traditionellen Darstellungsformen als auch unter Nutzung moderner elektronischer Medien zu verbreitern:

1. Realisierung geeigneter Transponierungsverfahren zur Überführung von Originaldaten in sehgeschädigtengerechte Formate:

Durch den Einsatz der erläuterten Transponierungsverfahren lassen sich aufwendig auszuführende Auflesearbeiten im Prozeß der Studienmaterialbereitstellung vermeiden. Dokumente in strukturierten Dokumentenformaten sind dabei aus den von Autoren oder Verlagen bereitgestellten Originaldaten flexibel in sehgeschädigtengerechte Darstellungen überführbar. Diese Herangehensweise ermöglicht die Bereitstellung von Sachinhalten in unterschiedlichen Darstellungsformen wie Brailleschrift, Großdruck oder anderen speziellen Formaten. Das Verfahren erhöht den Freiheitsgrad des Benutzers, sich zur Lösung einer konkreten Aufgabe das jeweils geeignete Darstellungsmittel auszuwählen.

2. Einsatz modularer und erweiterbarer Richtlinien zur Strukturierung sehgeschädigtengerecht umgesetzter Studienmaterialien:

Die vom Autor entwickelten und in diesem Kapitel ausführlich erläuterten Richtlinien zur Gestaltung elektronischer Texte stellen zusammen mit der ASCII-Mathematikschrift ein alle notwendigen Darstellungsmittel umfassendes Regelwerk zur Auszeichnung sehgeschädigtengerecht umgesetzter Studienmaterialien dar. Dokumente, die diesem modularen Regelwerk entsprechen, besitzen eine höhere Qualität gegenüber derzeit von blinden Studierenden eingesetzten Studienmaterialien. Sie können:

- unter Einsatz adaptiver Technik system- und plattformunabhängig gelesen werden,
- aufgrund intermedialer Eigenschaften in unterschiedliche sehgeschädigtengerechte Darstellungsformen transponiert werden und
- als Grundlage zur Gestaltung eines Hypertext-Systems dienen.

Das Regelwerk kann um zusätzliche Komponenten wie z. B. strukturierte Auszeichnungsmodelle für Mathematik-, Chemie- oder Notenschrift erweitert werden.

3. Realisierung von Transponierungsdiensten zur flexiblen Konvertierung strukturierter Dokumentenformate in unterschiedliche Darstellungsformen:

Mit dem Einsatz von Transponierungsdiensten wie dem HTML-to-Braille-Service können elektronisch verfügbare Informationsangebote in komfortabler Art und Weise in unterschiedliche sehgeschädigtengerechte Formate überführt werden. Die Integration solcher Übertragungsangebote in das WWW ermöglicht es:

- diese Dienstleistung system-, plattform- und anwendungsunabhängig weltweit anzubieten,
- dem Benutzer des Systems einen hohen Freiheitsgrad bei der Entscheidung zu überlassen, in welcher Form (z. B. taktil auf der Braillezeile oder akustisch über die Sprachausgabe) und in welchem Format (z. B. Blindenvoll- oder Kurzschrift) er die Informationen aufnimmt sowie
- die Weiterentwicklung, Wartung und Pflege des Systems an zentraler Stelle von qualifiziertem Personal auszuführen.

4. Implementierung nutzergerechter Präsentationsfunktionen und Navigationshilfen für Hypertext-basierte Lese- und Recherchesysteme:

Durch die Realisierung nutzergerechter Präsentationsfunktionen und Navigationshilfen sind blinde Studierende in der Lage, sich komplexe wissenschaftliche Dokumente, die in geeigneter Form verfügbar sind, zu erschließen und den elektronischen Mehrwert speziell aufbereiteter hypermedialer Informationsangebote zu nutzen. Die im prototypisch entwickelten Lese-System INTAB, insbesondere im darin integrierten Tabellen-Browser für blinde Computerbenutzer realisierten Unterstützungskonzepte, ermöglichen es dem Anwender, komplexe tabellarische Darstellungen unter Einsatz adaptiver Technik effektiver zu lesen.

5 Analyse und Bewertung von Dialogsituationen

Um ein bislang nicht verfügbares umfassendes Analyse- und Bewertungskonzept für spezielle Mensch-Computer-Dialogsituationen, die unter Nutzung adaptiver Technik ablaufen, zu erarbeiten, wurden im theoretischen Teil der Arbeit moderne Konzepte zur Usability-Beurteilung auf ihre Anwendbarkeit untersucht und für diesen Spezialfall weiterentwickelt. Als Grundlage dafür wurde ein formal beschriebener produkt- und aufgabenbezogener Bewertungsansatz zur Quantifizierung des Interaktions- und Ausleseverhaltens blinder Computerbenutzer entwickelt. Die erzielten Ergebnisse lassen sich in den folgenden thesenhaft formulierten Aussagen zusammenfassen:

1. Die produktbezogene Bewertung eines Mensch-Computer-Dialogsystems ermöglicht es, software-ergonomische Eigenschaften objektiv und unabhängig von der konkreten Benutzersituation zu ermitteln:

Die in der Arbeit spezifizierten Maße zur Bestimmung des Feedbacks der Elemente einer Benutzungsoberfläche ermöglichen es, den Anteil wahrnehmbarer Objekte und funktionaler Interaktionspunkte eines Dialogkontextes objektiv zu ermitteln. Objekte bezeichnen Elemente der Benutzungsoberfläche, auf denen der Benutzer Anwendungs- oder Dialogfunktionen ausführen kann. Funktionale Interaktionspunkte (FIP) sind Interaktionselemente mit denen der Benutzer Anwendungs- und Dialogfunktionen ausführt.

Die beschriebenen Feedbackmaße erfassen nicht den zusätzlichen Interaktionsaufwand, den ein Anwender adaptiver Technik auszuführen hat.

2. Der Anwender adaptiver Technik führt aufgrund der eingeschränkten Darstellungsmöglichkeiten des adaptiven Fokus bewußt zusätzliche und als Ausleseaufwand meßbare Interaktionshandlungen aus:

Mit dem einfachsten in diesem Zusammenhang ermittelten Maß *adaptives Verhältnis der Elemente einer Benutzungsoberfläche* (AV), läßt sich eine erste Abschätzung über die adaptive Gestaltung eines Dialogsystems angeben.

AV spiegelt dabei das Verhältnis der im adaptiven Fokus angezeigten zu den im vollständigen Dialogkontext verfügbaren Elementen wider. Dieses Maß läßt jedoch noch keine Bewertung des vom Benutzer einzusetzenden Ausleseaufwandes zu.

3. In die empirisch ermittelte Funktion zur Bestimmung des notwendigen Ausleseaufwandes gehen Variablen ein:
 - zur Quantifizierung der Mindestschrittanzahl in einem Dialogkontext auszuführender Ausleseschritte und
 - zur Bewertung des Größenverhältnisses von adaptivem Fokus zu vollständigem Dialogkontext.

Als eine formal erfaßbare Größe zur Bestimmung des Ausleseaufwandes kann die minimale Anzahl von Ausleseschritten *Mindestschrittanzahl* (MS) gelten. MS ist die minimale Anzahl von Ausleseschritten, die benötigt wird, um alle Elemente eines vollständigen Dialogkontextes mindestens einmal im adaptiven Fokus zu repräsentieren.

Um den vom Benutzer zu leistenden *Notwendigen Aufwand an Ausleseschritten* (NAA) zu bestimmen, wurde neben der MS auch das Darstellungs- bzw. Größenverhältnis von adaptivem Fokus zu vollständigem Dialogkontext in die Betrachtung einbezogen. Der dazu ermittelte Wichtungsfaktor C repräsentiert den nicht im adaptiven Fokus angezeigten Anteil des vollständigen Dialogkontextes.

4. Die Adaptive Direktheit der Elemente einer Benutzungsoberfläche:
 - quantifiziert das Verhältnis der Informationen, die dem Anwender über die adaptive Technik zur Verfügung stehen zu den In-

formationen, die auf der visuell orientierten Benutzungsoberfläche repräsentiert werden und

- wichtet dieses Verhältnis durch das Ausmaß des notwendigen Ausleseaufwandes.

Zur Bestimmung des Ausmaßes an Informationen, welches der blinde Anwender über seine adaptive Technik angeboten bekommt, und einer gleichzeitigen Wichtung dieses Ausmaßes durch den Aufwand an Auslesehandlungen läßt sich aus AV und NAA das produktbezogene Maß *Adaptive Direktheit* (AD) ableiten.

Die AD der FIP eines Dialogsystems berechnet sich wie folgt:

$$AD = 1/k \sum_{D=1}^k \frac{\#FIP_{F,D}}{\#FIP_D} * NAA \quad (1)$$

Die AD der Objekte eines Dialogsystems berechnet sich aus dem AV der Objekte und dem Wichtungsfaktor NAA:

$$ADO = 1/k \sum_{D=1}^k \frac{\#O_{f,D}}{\#O_D} * NAA \quad (2)$$

Über die Bestimmung der Maße AD und ADO lassen sich objektive Aussagen in den folgenden Bereichen treffen:

- Bewertung der adaptiven Gestaltung einer Mensch-Computer-Dialogsituation
 - Vergleich von adaptiven Konzepten
5. Die Aufgabenbezogene Adaptive Direktheit repräsentiert das Verhältnis der zur eigentlichen Aufgabenlösung eingesetzten Interaktionsschritte zu der Gesamtzahl an Interaktions- und Ausleseschritten:

Um eine Quantifizierung des Ausleseaufwandes, bezogen auf die Lösung einer konkreten Aufgabenstellung, zu ermitteln, lassen sich die im Verlaufe einer Bearbeitung auszuführenden Interaktions- und Ausleseschritte in einem Interaktionspfad erfassen. Die *Aufgabenbezogene Adaptive Direktheit* (AAD) kann auf der Grundlage dieser Interaktionspfade wie folgt ermittelt werden:

$$AAD = 1/k \sum_{D=1}^k \frac{\#IS_D}{\#IS_D + \#ZS_D} \quad (3)$$

$\#IS$ repräsentiert die Anzahl der auszuführenden Interaktionsschritte und $\#ZS$ die Anzahl der vom blinden Computerbenutzer zusätzlich auszuführenden Ausleseschritte.

Die AAD ermöglicht es, über die Quantifizierung eines konkret vom Benutzer zu leistenden Ausleseaufwandes hinaus:

- unterschiedliche Interaktionsformen, die zur Lösung einer Aufgabenstellung eingesetzt werden, bezüglich ihrer adaptiven Gestaltung zu vergleichen,
 - den Ausleseaufwand zur Ermittlung von Präsentationseigenschaften zu berücksichtigen und
 - benutzerspezifische Besonderheiten bei der Gestaltung von Ausleseprozessen zu bewerten.
6. Mittels spezieller Keystroke-Level-Operatoren können die beim Einsatz adaptiver Technik zu berücksichtigenden Besonderheiten auf feiner Granularitätsstufe quantifiziert werden:

Um eine beispielhafte Usability-Bewertung durchführen zu können, wurden in einem Benutzertest die folgenden speziellen Keystroke-Level-Operatoren ermittelt:

- H Der Homing-Operator bezeichnet die durchschnittliche Zeit, die ein geübter Anwender benötigt, um die Hände von der Tastatur auf die Braillezeile und wieder zurück zu bewegen.
- R Der Read-Operator bezeichnet die durchschnittliche Zeit, die ein geübter Anwender benötigt, um ein Zeichen eines auf der Braillezeile angezeigten Wortes zu ertasten.

Die ermittelten Werte stimmen weitestgehend mit den in der Fachliteratur bislang nur sehr allgemein gehaltenen Aussagen überein.

7. Die Usability-Bewertung eines speziellen Dialogsystems ist, wie am Beispiel des Tabellen-Browsers gezeigt, durch den Einsatz der hier entwickelten produkt- und aufgabenbezogenen quantitativen Maße möglich:

Zur Abschätzung der Usability-Komponenten (Effektivität, Effizienz und Benutzerzufriedenheit) wurde zur Gewährleistung der Kontextbezogenheit neben einer allgemeinen Bewertung des Dialogsystems eine

auf der Ausführung konkreter Aufgabenstellungen basierende Analyse von Interaktionspfaden durchgeführt.

- **Effektivität:**
Wie die Darstellung der Interaktionspfade in Zustandsübergangnetzwerken belegt, kann der blinde Anwender unter Einsatz verschiedener Tabellenlesehendungen die Beispielaufgaben lösen.
- **Effizienz:**
Die für die ersten beiden Aufgaben ermittelten Werte der AAD spiegeln den hohen Ausleseaufwand wider, den ein Anwender adaptiver Technik zu leisten hat. Der für die dritte Aufgabe ermittelte vergleichsweise geringe Wert der AAD kennzeichnet die hohe Effizienz der vom Dialogsystem bereitgestellten Navigationsfunktionen.
- **Benutzerzufriedenheit:**
Aus den hier zusammengefaßten produkt- und aufgabenbezogenen Bewertungen lassen sich Bewertungskriterien ableiten, die auch Schlußfolgerungen für die Zufriedenheit der Benutzer des Dialogsystems ermöglichen.

8. Der formale Nachweis der Effektivität und Effizienz eines Dialogsystems kann als ein Indikator für ein hohes Maß an Benutzerzufriedenheit gelten. Quantitative Aussagen hierzu sind jedoch nur durch Benutzerbeteiligung zu erbringen:

Die Annahme, daß die hier ermittelte Effektivität und Effizienz zu einer hohen Benutzerzufriedenheit führt, muß in zukünftigen Untersuchungen mit Benutzerbeteiligung nachgewiesen werden. Um den Weg zu operationalisierten Kriterien für die Beurteilung assistiver Informationstechnologien weiter auszubauen, sollten die in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse in Benutzertests überprüft und das entwickelte Bewertungsverfahren an weiteren, verschiedenartigen Dialogsituationen erprobt werden.

Das nachfolgende Literaturverzeichnis enthält eine Auswahl der wichtigsten in der Dissertation verwendeten Veröffentlichungen.

Literaturverzeichnis

- Behnke, C.: Computergestützte Lern- und Arbeitsumgebung. Berlin 1994. ISBN 3-631-48551-4
- Bullinger, H.-J.: Ergonomie: Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. Stuttgart 1994. ISBN 3-519-06366-2
- Europäische Norm, prEN 29241:1993 „Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten“
Teil 11: „Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze“
- Engbring, D.; Keil-Slawik, R.; Selke, H.: Neue Qualitäten in der Hochschulausbildung - Lehren und Lernen mit interaktiven Medien. In: Informatik und Gesellschaft, Heinz Nixdorf Institut (Hrsg.), Bericht Nr. 45, Paderborn 1995.
- Hacker, W.; Fritsche, B.; Richter, P.; Iwanowa, A.: Tätigkeitsbewertungssystem (TBS). In: Ulich, E. (Hrsg.): Mensch Technik Organisation. Bd 7. Zürich 1995. ISBN 3-7281-2079-0
- Körndle, H.: Mensch-Computer-Interaktion: Psychologische Aspekte des Umgangs mit komplexen technischen Systemen. Wiesbaden 1993. ISBN 3-8244-4129-2.
- Rath, W.; Hudelmayer, D.: Pädagogik der Blinden und Sehbehinderten Berlin 1985. ISBN 3-7864-1686-9
- Rauterberg, M.: Ein Konzept zur Quantifizierung software-ergonomischer Richtlinien. Zürich 1995. ISBN 3-906509-11-7.
- Triebe, J. K.; Wittstock, M.: Anforderungskatalog für Softwareentwicklung - Auswahl und Anwendung.
Bundesanstalt für Arbeitsschutz (Hrsg.). Bremerhaven 1996. ISBN 3-89429-745-X.
- Wünschmann, W.; Kahlisch, Th.: Abschlußbericht:
SGML-Transkription und Nutzerakzeptanz, TU Dresden. Institut für Informationssysteme. Januar 1996.
URL: <http://elvis.inf.tu-dresden.de/projekte/stnz.html>