

# Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion

## 4. Kapitel

### 4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

**Ziel:** benutzergerechte Gestaltung der physischen und psychischen Arbeitsbedingungen an Bildschirmarbeitsplätzen

**Weg:** Minimierung der physischen und psychischen Belastungen !

## Bildschirmarbeitsplatz

### Bildschirmarbeitsplatz:

- **Nutzung des Bildschirms ist zur Aufgabenerledigung notwendig**
- **Häufigkeit:** überwiegend <--> gelegentlich
- **Unterschiedliche Nutzungsarten:**
  - **Dateneingabe**
  - **Datenabfrage**
  - **interaktive Bearbeitung**

## Physische Belastungen

- **Statische Haltearbeit**  
= Muskelanspannung ohne Bewegung
- **Einseitige dynamische Muskularbeit**  
= häufige Bewegungen kleiner Muskelgruppen  
z.B. RSI "repetitive strain injury" = Karpaltunnelsyndrom
- **Augenbelastungen**  
Adaptation (hell-dunkel-Anpassung)  
Akkommodation (Entfernungsanpassung)  
Reflexe, Blendung, Flimmern (Störungen)
- **Ohrenbelastungen**  
Hörbarkeit akustischer Signale  
Lärmbelastung
- **Strahlung, Klima**

## Gestaltungsbereiche

- **Arbeitsplatzgestaltung**
  - Tische
  - Sitzgelegenheit und Fußstütze
  - Vorlagenhalter und Arbeitsunterlagen
- **Arbeitsumgebung**
  - Lärm
  - Raumklima
  - Beleuchtung
  - Raumgestaltung
- **Hardware**
  - Auswahl und Aufstellung von Bildschirmen
  - Tastatur und Maus
  - Drucker

## Arbeitsplatzgestaltung

- Ausgangspunkt:  
Menschliche Körpermaße
- Auslegung so, dass 90% der Benutzergruppe optimale Bedingungen haben (5. bis 95. Perzentil)
- Für den Rest sind Sondermaßnahmen zu treffen

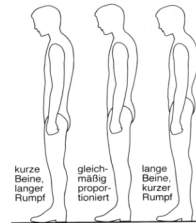
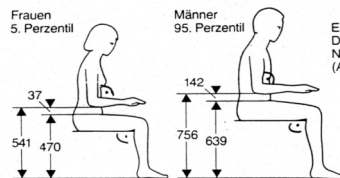


Bild 25: Unterschiedliche Bein- und Rumpflängen (DIN 33 402 Teil 2, Beiblatt 1, S.2)



Ergänzungsmaße zur Norm  
DIN 33402, Teil 2, Entwurf  
November 1979  
(Angaben in mm)

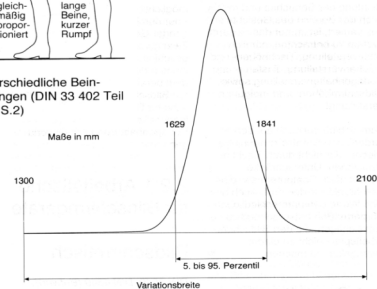
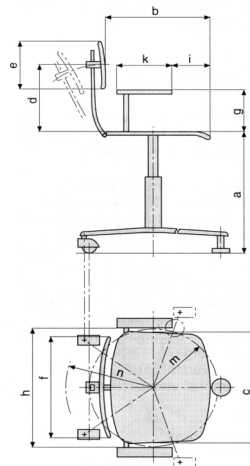


Bild 24: Verteilung der Körperhöhe erwachsener Männer (0. bis 100. Perzentil) (DIN 33 402 Teil 2, Beiblatt 1, S.1)

H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

4 – 99  
WS 2011/12

## Bürostuhl und Arbeitstisch



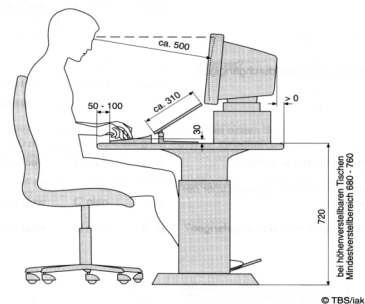
a = 420-530, b = max. 400, c = 400-480,  
d = 170-230, e = min. 220, f = 360-480,  
g = 230 +20, h = 490 +20, i = 100-180,  
k = min. 200, m = min. 195, n = m x 1,34

Bild 32: Bürodrehstuhl (Angaben nach DIN 4551)

### Bildschirmtisch

1. Ist der nicht höhenverstellbare Tisch 720 mm hoch oder verfügt der höhenverstellbare Tisch über einen Verstellbereich von 680 mm - 760 mm?

Die Werte können mit einem Metermaß überprüft werden.



2. Ist der Tisch zwischen 1200 mm und 1600 mm breit (bei besonderen Arbeitsaufgaben (wie CAD) über 1600 mm)?
3. Ist der Tisch zwischen 800 mm und 1000 mm tief (bei hintereinander angeordneter Tastatur, Vorlagenhalter und Bildschirmgerät mind. 900 mm tief)?
4. Ist der Glanzgrad der Tischplatten höchstens halbmatt bis seidenmatt (geringer Reflexionsgrad)?

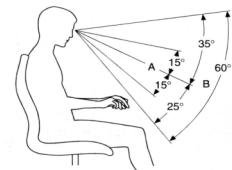
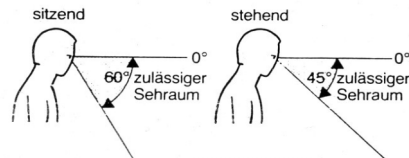
Wenn die subjektive Einschätzung einen Mangel vermuten lässt, dann müssen Messungen durchgeführt werden.

H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

4 – 100  
WS 2011/12

## Sehraum

- Der gesamte Bereich, in dem durch Augen- und Kopfbewegungen Sehobjekte wahrgenommen werden
- Horizontale Bewegungen sind leichter als vertikale Bewegungen.



A - optimales Blickfeld  
B - maximales Blickfeld ohne Kopfbewegung  
C - erweitertes Blickfeld einschließlich zulässiger Kopfbewegungen

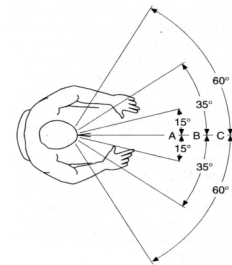


Bild 27: Blick- und Gesichtsfeldgrenzen (Sicherheitsregeln ZH 1/618, S.22)

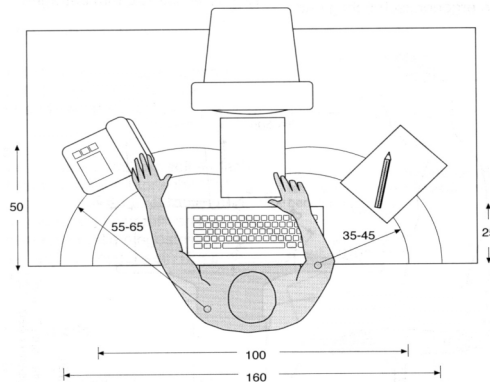
H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

4 – 101  
WS 2011/12

## Greifraum

Der gesamte Bereich, der von den Händen erreicht werden kann.

- horizontal  
zwischen 35/45 (min 0) und 55/65 (max 75) cm
- vertikal  
-10 (max -35) cm bis 25 (max 60)



Horizontaler Greif- und Arbeitsraum auf Tischhöhe. Der Greifraum entspricht der Distanz Schulter-Greifhand, der Arbeitsraum der Distanz Ellbogen-Greifhand. Die Werte berücksichtigen die 5. Perzentile und gelten somit für kleine Männer (höhere Werte) und für kleine Frauen (niedrigere Werte).

© TBS/iak

Bild 26: Horizontaler Greif- und Arbeitsraum (Angaben nach Grandjean 1991, S.65)

H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

4 – 102  
WS 2011/12

## Arbeitsumgebung

### ▪ Raumklima

- 21 - 23 Grad Celsius
- Rel. Luftfeuchtigkeit 40 - 65 %
- Keine Zugluft
- Keine Wärmestrahlung (direkte Sonne, Geräte)
- Keine Belastung durch Toner, Ozon, ... ??

### ▪ Lärm und Vibration

- Schalldruckpegel möglichst < 40 dB(A)
  - < 70 dB(A) bei Routinetätigkeiten
  - < 55 dB(A) bei höheren geistigen Tätigkeiten
  - < 40 dB(A) bei sprachlicher Kommunikation
- geräuscharme Geräte: Lüfter, Laufwerke, Drucker, ...  
ggf. Schallschutzhaube
- Drucker auf gesondertem Tisch, falls Vibrationen möglich

## Arbeitsumgebung (2)

### ▪ Beleuchtung

- 500 Lux auf dem Tisch
- keine Blendquellen im Gesichtsfeld
- Begrenzung von Blendung und Reflexen
  - matte Flächen
  - Jalousien, Sichtblenden
  - richtige Aufstellung der Arbeitsplätze

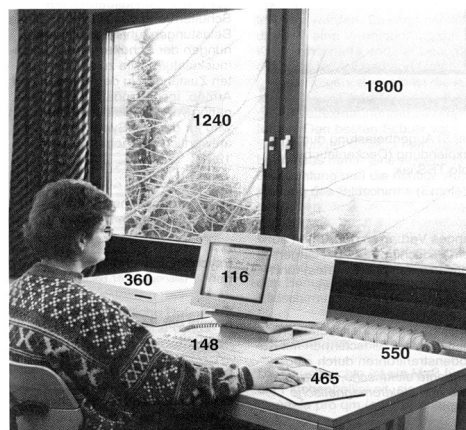


Bild 4: Augenbelastungen durch unterschiedliche Helligkeiten (Leuchtdichten gemessen in Candela pro qm (cd/qm)); Foto: TBS/iak

## Arbeitsumgebung (3)

### Leuchten im Raum, Bildschirmaufstellung

- Direktblendung
- Reflexblendung

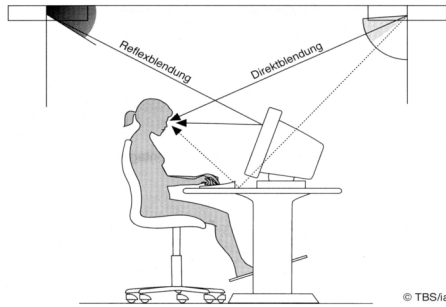


Bild 41: Reflexblendung durch spiegelnde Oberflächen wie Bildschirm und Tisch, Direktblendung durch Deckenleuchten

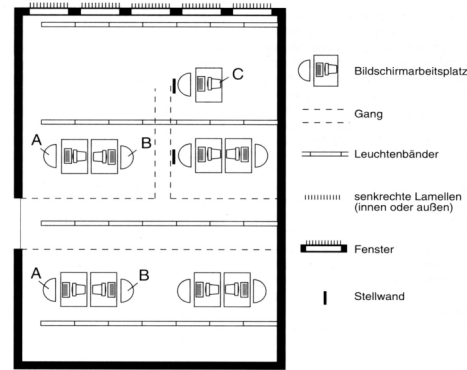


Bild 42: Bildschirmarbeitsplätze in Räumen mit Leuchten in Lichtbandanordnung (DIN 66 234 Teil 7, S.3)

H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

4 – 105  
WS 2011/12

## Bildschirme am Arbeitsplatz

### ■ CRT-Bildschirm: Probleme

- monochrom oder Farbe ?
- Positiv-/ Negativdarstellung
- Flimmern
- Trauerrand (schwarzer Bereich)
- unscharfe Konturen am Rand
- Wischeffekt beim Blättern

- spiegelnde / matte Oberfläche
- Platzbedarf, Gewicht
- Energiebedarf
- Belastung durch Strahlung und elektromagnetische Felder ?
- Umweltbelastungen

### ■ TFT-Schirme: Probleme

- Winkelabhängigkeit
- Farbtreue
- Auflösung
- Bewegungsunschärfe (Schlieren)

H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

4 – 106  
WS 2011/12

## Bildschirme am Arbeitsplatz (2)

- **Bildschirm-Aufstellung**
  - Sehabstand 50 bis 100 cm
  - Oberste Zeile in Augenhöhe
  - Bildschirm und Tastatur getrennt
  - Abschluss mit hinterer Tischkante
- **Bildschirm-Verstellung**
  - nach hinten neigbar
  - Falls höhenverstellbar? Bereich 11 cm
  - Seitlich verschiebbar auf der Arbeitsfläche
  - $\pm 45$  Grad drehbar
- **Wärmeabgabe:** möglichst gering
- **Krümmung der Bildschirmoberfläche:** möglichst gering
- **Gehäuse:** matt, reflexionsarm, helle bzw. schwach gesättigte Farbe

H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

4 – 107  
WS 2011/12

### CRT-Bildschirm

- Größe: Anzeigefeld, sichtbarer Bereich, Glaskörper ?  
aufgabenabhängig ! ab 14"
- Auflösung:
 

800 x 600	bei 14 - 16"
1024 x 768	bei 17 - 18"
1280 x 1024	bei 19 - 22"
1600 x 1200	über 22"
- Darstellung: (fast) nur noch positiv!
- Bildwiederholfrequenz:  $\geq 72$  Hz bei Positivdarstellung auf CRT
- Farbtreue: gut
- Zeichengröße:  $> 2.6$  mm
- Konturschärfe, Abstände, .....
- Blinkfrequenz von Zeichen: 2-5 Hz, einstellbar
- Helligkeit:  $10 - 20 \text{ cd / m}^2$ , regelbar
- Kontrast:  $10 : 1$  (6:1), regelbar
- Röntgenstrahlung: ist sehr gering
- Elektrostatisches Potential: "Staubbomben" (abhängig von Luftfeuchte)
- Elektromagnetische Felder: Wirkungen ungeklärt
- Stromverbrauch, umweltbelastende Produktion, Recycling

H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

4 – 108  
WS 2011/12

### TFT-Schirme: Vorteile

- scharfes und kontrastreiches Bild
- keine Verzerrungen an den Bildschirmkanten
- flimmerfrei
- nur geringe Reflexionen
  
- platzsparend
  - Beispiel iMac: alles im Bildschirm integriert ! Aber Geräusche ?)
- geringes Gewicht
- stromsparend
- weitgehend strahlungsfrei
- geringe Wärmeentwicklung
  
- Statussymbol?

Aber .....

### TFT-Schirme: Probleme

- Feste physische Auflösung
  - Z.B. 1400 x 1050 Pixel bei 32 bit Farbtiefe
  - Höhere Auflösung führt oft zu **zu kleiner** Schrift!
  - Schlechtere Auflösung oder Zoomen -> Schärfeverlust !
  - Evtl. Texte auf Buttons abgeschnitten, .....
- Reaktionszeit: Umschaltzeit zwischen zwei Farbzuständen
  - Beobachtbare Bewegungsunschärfe, selbst bei 2 ms
  - Ab 12 ms: „schlierenfrei“, speziell für Gamer
- Farbverfälschungen durch diffuse Lichtbrechung möglich.
- Winkелеmpfindlichkeit:  
Während ältere Modelle nur etwa senkrecht zur Bildoberfläche ein gutes Bild liefern, ermöglichen teurere TFT-Monitore einen Ablesewinkel von mindestens 160 Grad.
- Neue (noch teure) Techniken
  - Vertical Alignment (MVA, PVA): Bester Kontrast bei größten Blickwinkeln, Farbtreue



## Tastaturen

- getrennte Aufstellung
- dünn, neigbar, rutschfest
- Handauflagefläche vor der Tastatur
- matte, konkave Tastenoberfläche
- abriebfeste, lesbare Beschriftung (besser: schwarz auf hellgrau)
- Rückmeldung der Betätigung (taktil: Druckpunkt, evtl. akustisch)
- QWERTZ/QUERTY-Belegung
- frei programmierbare Funktionstasten
- Funktionstasten und Funktionsblöcke abgesetzt
- Sicherung besonders bedeutsamer Tasten

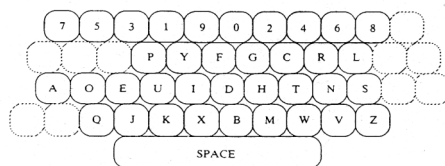
Dvorak-Tastatur, gebogene Tastatur, geteilte Tastatur ??

H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

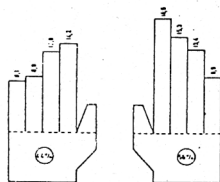
4 – 111  
WS 2011/12

## verbesserte Tastaturen

- **Dvorak-Tastatur** (patentiert 1932)



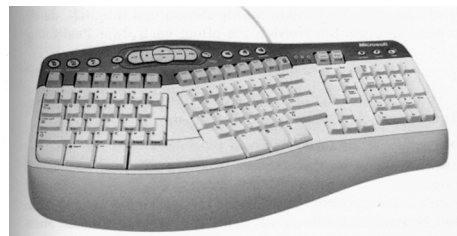
22 %  
70%  
8%



- ergonomischer
- hat sich nicht durchgesetzt

### MS Natural Keyboard

- gebogene Anordnung
- einstellbare Neigung
- Handballenauflage



H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

4 – 112  
WS 2011/12

## Zeigegeräte

Unterschiede: Direktheit, Genauigkeit, Anzahl der Funktionen, Anbringung, ....

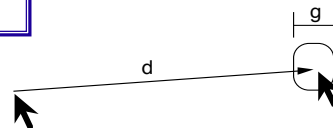
- Maus - indirektes Zeigen auf ebener Fläche
  - anatomische Form
  - flexible Kabel, besser: Funkverbindung
  - gutes Gleiten, verschleißfest, staubsicher
  - 1 - 3 Tasten mit Feedback (taktil oder akustisch (abstellbar))
  - einstellbares Übertragungsverhältnis, beschleunigungsabhängig
  - Nutzung durch Linkshänder unterstützen
  - integriertes Scrollrad nützlich
- Steuerknüppel (Joystick) - indirektes Zeigen, vor allem für Navigation, evtl. mit force-feedback
- Stifte - direktes Zeigen, auch bei beweglicher Fläche, Zeichengesten
- *Forschungsprototyp:*  
*Swapper-Stuhl, ChairIO: 3D-Navigation durch Körperbewegung*

H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

4 - 113  
WS 2011/12

### Positionierzeit und Genauigkeit für Zeigegeräte Gesetz von Fitts (1954) = „Fitts' Law“

**Wie lange braucht man, um über die Entfernung  $d$  ein Ziel der Größe  $g$  zu treffen ?**



Positionierzeit:  $T = a + b \cdot S$        $a, b$  geräteabhängige Konstante

Schwierigkeit:  $S = \log_2 (d / g + 1)$ ,  $S \leq 3$  gilt als gut !

Beispiel: Zeigen mit der Maus (McKenzie et al. 1991):

$a = 230$  msec,  $b = 166$  msec

Für  $S = 3$ :  $230 + 3 \cdot 166$  msec = 728 msec

Für  $S = 7$ :  $230 + 7 \cdot 166$  msec = 1392 msec, fast das Doppelte !

$S = 3$  ergibt sich z.B. bei  $d = 14,0$  cm,  $g = 2,0$  cm

$S = 7$  ergibt sich z.B. bei  $d = 12,7$  cm,  $g = 0,1$  cm

H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

4 - 114  
WS 2011/12

## Was kann man tun ?

- **Bildschirme mit Prüfsiegel** der TCO kaufen

TCO = Zentralorganisation der Angestellten und Beamten in Schweden

TCO'92      geringe Gesundheitsgefährdung (Strahlungen, Felder)

TCO'95      + geringe Belastungen

TCO'99      + geringere Belastungen + Ökologieanforderungen

TCO'03      CRT / TFT: getrennte striktere Anforderungen für Leuchtdichte, Kontrast, Winkelabhängigkeit, Farbwiedergabe, Verstellbarkeit  
+ neue EU-Öko-Anforderungen

TCO'06      Media Displays



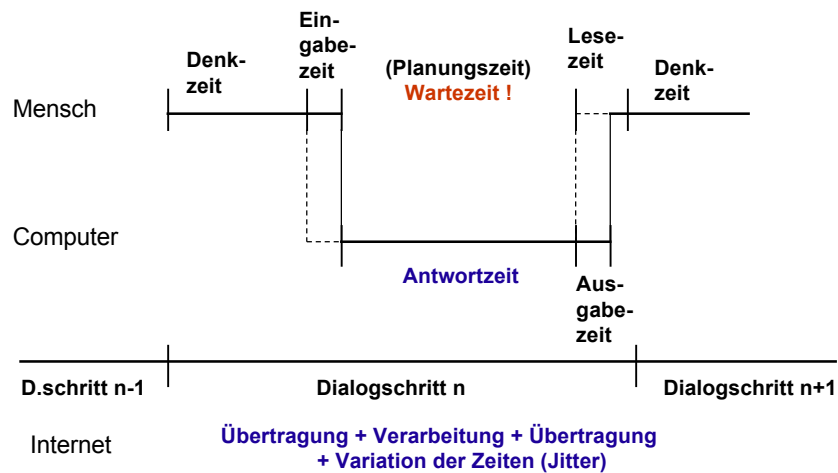
- **Arbeitsplatzüberprüfung**

Döbele-Martin, C., Martin, P. (2002). Ergonomie-Prüfer. Handlungshilfe. Technologieberatungsstelle beim DGB Landesbezirk NRW, Düsseldorf, 3. Auflage.

## Zeitverhalten interaktiver Systeme

- Systeme, die langsamer als erwartet reagieren, machen Benutzer unsicher, verärgert, frustriert, ...
- Systeme, die zu schnell reagieren, können zu hastiger Arbeit, zu Fehlern und auch zu Unzufriedenheit führen
- Was sollte man über Antwortzeiten wissen?
- Was beeinflusst die Antwortzeiten?

## Phasen in Dialogschritten



H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

4 – 117  
WS 2011/12

## Kognitive Randbedingungen

- Gedächtnis
  - Kurzzeitgedächtnis:  $7 \pm 2$  Chunks  
max. 15 - 20 sec präsent, bei Ablenkung viel kürzer
  - **zu lange** Antwortzeit: Vergessen von Teilplänen oder Teilergebnissen
  - **zu kurze** Antwortzeit: Überflutung, zu wenig Zeit zur Übernahme von Chunks in das Langzeitgedächtnis (etwa 8 sec / chunk)
- Handlungsregulationsebenen und erwartetes Zeitverhalten
  - Problemlösen: Geduld entsprechend dem erwarteten Aufwand
  - flexible Muster: gemäß Erfahrung
  - senso-motorisch: schnell, z.B. für Auge-Hand-Koordination
- Fehler bei unerwartetem Zeitverhalten durch Vergessen, Verunsicherung, Angst, zu frühen Eingriff oder Abbruch, Hast, ....

Tempo

H. Oberquelle  
4.3 Ergonomische Arbeitsplätze

4 – 118  
WS 2011/12

## "Passendes Tempo" ?

- Hohe Arbeitsleistung, wenige Fehler, große Zufriedenheit bei
  - ausreichendem Wissen über Objekte und Operationen des Anwendungsbereiches
  - passendem mentalen Modell des Systems
  - ersichtlichem Grad der Zielerreichung (passendes Feedback)
  - angstfreier Situation
  - Fehlervermeidung durch das System oder leichter Korrektur
  - der Schwierigkeit der Aufgabe angepasstem Tempo
  - fehlenden Ablenkungen
- Unerfahrene Benutzer arbeiten mit langsameren Antwortzeiten erfolgreicher.
- Erfahrene Benutzer und Experten erwarten kürzere Antwortzeiten
- Bei leicht korrigierbaren Fehlern wird höheres Tempo bevorzugt.

## Eingabezeit und Ausgabezeit

### Eingabe:

- Texte           Tastatur und Übung (10-Finger-blind?)
- Zahlen         Ziffernblock ?
- Zeigen         "sofort", verzögerungsfreie Mauszeiger(Cursor)bewegung  
                  aber: Fitts' Law !
- Sprache        normal oder langsam und deutlich sprechen ?

### Ausgabe:

- Texte           Ausgaberate: 30 - 1.000 char / sec  
                  Mitlesen bei 30 char / sec gut möglich  
                  sonst: andere Lesestrategie
- Zeichnungen   Elemente können abhängig vom Algorithmus in  
                  unerwarteten Reihenfolgen erscheinen  
                  besser: Doppeltes Puffern - Bildaufbau im Hintergrund + Anzeige
- Bilder           ganze Darstellung  
                  bei großen Bildern: ganzes Bild grob + Verfeinerung !

## Antwortzeit

- normale Anwendungen: 2-4 sec, besser unter 1 sec.
  - Abweichungen von 10% bei Antwortzeiten von 2-4 sec werden bemerkt
  - Abweichungen von 50% von der üblichen Antwortzeit werden als störend empfunden.
- Die untere und obere Grenze hängt von persönlichen Präferenzen und Leistungsmerkmalen ab.
- Zeitkritische Aktivitäten (z.B. in Editoren, bei Steuerung und Überwachung von Prozessen, bei direkter Manipulation) beschränken die Antwortzeiten nach oben.
- Rechnerleistung, Rechnernetzung und Komplexität der Algorithmen beschränken die Antwortzeit nach unten.
- Bei zu langen Antwortzeiten muss der Fortschritt angezeigt werden
  - Zustandsmeldungen
  - Visuelle Fortschrittsanzeigen

## Richtlinien / Guidelines von Ben Shneiderman

- Benutzer bevorzugen kurze Antwortzeiten.
- Antwortzeiten über 15 sec. unterbrechen die Arbeit.
- Benutzer passen sich an Antwortzeitverhalten an ( *Interaktions-Rhythmus!* ).
- Kürzere Antwortzeiten führen zu verkürzten Denkzeiten.
- Höheres Tempo kann zur Erhöhung der Fehlerrate führen.
- Die optimale Antwortzeit hängt von Leichtigkeit und Zeitaufwand für die Fehlerkorrektur ab.
- Die Antwortzeit sollte aufgabenangemessen sein:
  - Tippen, Zeigerbewegung, Selektion mit der Maus: 50 - 150 msec
  - einfache wiederkehrende Aufgabe:  $\leq 1$  sec
  - übliche Aufgabe:  $\leq 2 - 4$  sec
  - komplexe Aufgabe:  $\leq 8 - 12$  sec
- Benutzer sollten über längere Verzögerungen informiert werden.
- Leichte Variation in der Antwortzeit ist erträglich, unerwartete Verzögerungen führen zur Unterbrechung und Ablenkung.
- Empirische Tests können bei der Bestimmung der angemessenen Zeit helfen.