

Laboruntersuchung zu ergonomischen Effekten von Curved Monitoren

Roberto KOCKROW

*Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Arbeitspsychologie,
Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg,
Siemens-Halske-Ring 14, D-03046 Cottbus*

Kurzfassung: Am Markt etablieren sich zusehends sogenannte Curved Monitore und finden immer häufiger auch in der Arbeitswelt Anwendung. Es stellt sich jedoch die Frage, welchen Mehrwert die Verwendung von Curved Monitoren im Kontext sicherheitskritischer Infrastrukturen erzeugen kann. Vermutete Vorteile derartig gewölbter Geräte lassen sich zwar schnell herleiten, allerdings zeigt sich noch ein großer Bedarf an unabhängiger, arbeitswissenschaftlicher Forschung zur ergonomischen Wirksamkeit und möglichen Belastungspotenzialen. Aus diesem Grund wurde für eine Laborstudie ein Versuchssetting mit Curved Monitoren aufgebaut, um die Auswirkungen auf die visuelle Wahrnehmung sowie das subjektive Nutzerempfinden zu evaluieren. In diesem Zusammenhang wurden auch allgemeine ergonomische Aspekte analysiert. Darüber hinaus erlaubt die Studie eine Vergleichbarkeit mit Daten eines zuvor durchgeführten DFG-geförderten Forschungsprojektes unter Verwendung von halbkreisförmig angeordneten, herkömmlichen Monitoren. Es zeigt sich, dass bezüglich der Signalentdeckungsleistung keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Versuchsdesigns nachweisbar waren.

Schlüsselwörter: Curved Monitore, Visualisierungsbogen, visuelle Wahrnehmung, Belastungsfaktoren, UX

1. Motivation und Problemstellung

Bei Gaming-Anwendern bereits weitverbreitet, drängen Curved Monitore in den letzten Jahren verstärkt und mit einem spürbaren Druck auch in die Arbeitswelt. Diese Displaytypen besitzen eine mehr oder minder starke horizontale Wölbung über die Breite der Visualisierungsfläche. Als Maß für die Wölbungsintensität gilt der Radius, wobei kleine Radien für ausgeprägte Wölbungen stehen. Angepriesen wird das immersivere Nutzungserlebnis durch Angleichung der Bildfläche an die visuellen Wahrnehmungseigenschaften des Menschen. Die Wölbung führt dazu, dass die Sehabstände auf der gesamten Visualisierungsfläche eine geringere Varianz besitzen, was Verzerrungseffekte in den Seitenbereichen reduzieren soll. Hersteller von entsprechenden Geräten preisen diese Vorteile sehr marketingwirksam an und konstruieren häufig Kausalketten für die Herleitung vermeintlich positiver Eigenschaften. Wissenschaftliche Studien dazu sind zwar zu finden, jedoch werden häufig idealisierte Versuchsdesigns verwendet, um Vorteile von Curved Monitoren im Gegensatz zu planaren Anzeigeflächen zu analysieren. Eine vielfach zitierte Studie nutzt zur Erforschung der Vorteile gewölbter Anzeigesysteme ein aus mehreren, planaren

Displays bestehendes Versuchsetting, welches in verschiedenen Radien konfigurierbar ist (Park et al 2017). Mit zentralen Sehabständen von 400 mm (Luo et al. 2016) bzw. 500 mm bei einer maximalen Visualisierungsbreite von 1220 mm (Kyung & Park 2021) oder unter Umgebungsbeleuchtungen von 15 lx (Park et al. 2019) konnten grundlegende Unterschiede bezüglich UX und Leistung statistisch signifikant nachgewiesen werden. Wie so oft stellt sich jedoch die Frage, ob aus diesen idealisierten Versuchen praxistaugliche Ableitungen für die Nutzung von Curved Monitoren in realen Arbeitssystemen getroffen werden können.

2. Was wir wissen

Die bereits genannten Studien belegen einige Vorteile von Curved Monitoren im Vergleich zu planaren Anzeigen mit statistischer Signifikanz. Verzerrungen in Randbereichen werden reduziert, allerdings nur unter der Maßgabe, dass der Nutzer direkt vor dem Monitor sitzt (Zannoli & Banks 2017). Dann erfordern visuelle Reize geringere Exzentritäten bei der Informationsdarbietung auf gewölbten Anzeigen (Klatt & Smeeton 2020). Park et al. (2017) berichten von einer Reduktion der visuellen Ermüdung sowie einer messbaren Verbesserung der visuellen Aufgabenleistung. In nachfolgenden Studien konnte die Forschergruppe auch Effizienzvorteile bei Such- und Schreibaufgaben sowie Formausrichtungs- und Zeichenaufgaben belegen (Park et al. 2020). Diese unter Idealbedingungen analysierten Effekte lassen sich gut erklären, wird die psychophysische Wahrnehmungsforschung, im Speziellen die visuelle Horopterlinie, herangezogen. Für eine ausführliche Erläuterung dieses Konzeptes sei auf Prinz (1992 S. 55 ff.) verwiesen. Der Horopter beschreibt eine fiktive, im Sichtfeld entstehende und näherungsweise bogenförmige Linie, auf der Orte einer wahrgenommenen Äquidistanz mit fehlender Querdissipation liegen. Das liefert zumindest eine starke Plausibilität, warum eine konkav gewölbte Visualisierungsfläche die genannten positiven Effekte in den Laborversuchen hervorruft. Ergonomische Vorteile für Monitore und Fernsehgeräte werden aber insbesondere dann erreicht, wenn der Krümmungsradius dem Betrachtungsabstand entspricht (Park 2018). Die Aufmerksamkeitsleistung bei gewölbten Anzeigen kann positiv unterstützt werden, wobei aber keine Vorteile für die Wahrnehmungs- und Entscheidungsleistung nachweisbar waren (Klatt & Smeeton 2020). Im Vergleich zu planaren Monitoren wurden in dieser Studie bei Curved Settings im peripheren Blickfeld höhere Genauigkeitsraten bei der Informationswahrnehmung erreicht, innerhalb eines 40°-Blickwinkels waren keine Unterschiede belegbar. Ferner ist bekannt, dass gewölbte Monitore ein größeres Gefühl der Immersion erzeugen, was auch eine höhere Präferenz für diesen Monitortypus beim Nutzer erzeugt (Urakami et al. 2020). Eine ophthalmologisch motivierte Studie belegte bei stark gewölbten Monitoren die geringste Varianz des Nahakkomodationspunktes während der Bildschirmarbeit. Wird diese Akkomodationsstörung über längere Zeit aufrechterhalten, ist dies ein wesentlicher Ermüdungsfaktor und begünstigt Asthenopie. (Lee & Kim 2016) Dem gegenüber erfragten Luo et al. (2016) die subjektive Wahrnehmung von CVS-Symptomen, die bei Nutzung von Curved Monitoren hier deutlich geringer ausfiel. Unter dem CVS (Computer Vision Syndrome) werden u. a. Symptome wie Augenermüdung, Kopfschmerzen, trockene oder tränende Augen, Augenirritationen, Diplopie (Doppelbilder) oder verschwommenes Sehen zusammengefasst (Blehm et al. 2005). Luo und

Kollegen konnten darüber hinaus auch keine Unterschiede in den Suchzeiten zwischen den Versuchsaufbauten belegen. Es wurde aber deutlich, dass allgemeine Ermüdungserscheinungen bei Nutzung realer Curved Monitore häufiger berichtet wurden (Luo et al. 2016). Interessant für eine anwendungspraktische Entscheidung ist auch die Erkenntnis, dass gewölbte Monitore die Wahrscheinlichkeit verringern, dass Reflexionen von Lichtquellen aus der Umgebung auf dem Bildschirm wahrgenommen werden. Treten diese jedoch auf, sind sie im Allgemeinen größer als bei flachen Bildschirmen (Zannoli & Banks 2017).

3. Laborversuche am Fachgebiet Awip

3.1 Grundlagenstudie „Informationsvisualisierung im peripheren Blickfeld“

Auf Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) führte das Fachgebiet Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie bereits Studien zu Auswirkungen auf die Signalentdeckungsleistung im peripheren Blickfeld bei grafisch komplexer Oberflächengestaltung und bogenförmiger Informationsvisualisierung durch (Hoppe et al. 2022). Das Versuchssetting bestand aus fünf planaren Monitoren, die mit einem Radius von $r = 766 \text{ mm}$ angeordnet waren (Abb. 1 links). Gezeigt wurde die simulierte Oberfläche, welche einem Prozessleitsystem nachempfunden wurde. Darauf wurden in zufälliger Reihenfolge Signalreize dargeboten, welche kleine Elemente der komplexen Umgebung hervorhoben. Die dargestellten Reizereignisse unterschieden sich in Helligkeitskontrast und Blinkfrequenz voneinander. Sie wurden mit einer Exzentrizität von 15° , 40° , 65° und 90° ausgehend vom Mittelpunkt des zentralen Monitors, jeweils in unterschiedlichen Darstellungshöhen, nach dem Zufallsprinzip dargeboten.

Die Probanden mussten dabei auf dem zentralen Monitor eine stark aufmerksamkeitsbindende Aufgabe bewältigen und wahrgenommene Veränderungen auf den links- und rechtsseitig bis weit ins periphere Blickfeld reichenden Monitoren mit Prozessvisualisierungen protokollieren. Sämtliche Umgebungsparameter wurden im Ergonomielabor konstant gehalten. An der Studie nahmen insgesamt 52 Proband*innen (Altersdurchschnitt $M = 34,1$ Jahre, Standardabweichung $SD = 14,70$; 40,4 % männlich, 59,6 % weiblich) teil.



Abbildung 1: 3D-Nachbildung der beiden verwendeten Versuchsaufbauten.

3.2 Studie zur Nutzung von Curved Monitoren

In der ergänzend durchgeführten Laborstudie wurde angestrebt, die Anforderungen und das Versuchsdesign des gerade genannten Versuchs bestmöglich zu adaptieren. Dies gelang nicht vollumfänglich, da die verwendeten Monitore (zentral 49" curved, peripher je 27" curved) wegen des Radius $r = 1000$ mm die Geräteanordnung vorbestimmten. Dadurch, dass ein ultrabreiter Curved Monitor verwendet wurde, musste aus technischen Gründen auch die Hauptaufgabe angepasst werden. Anstelle der Tower of London-Aufgabe kam daher ein Macworth Clock Test zur frontalen Aufmerksamkeitsbindung zum Einsatz. Die Aufgabenstellung, flankierende Parameter und der Versuchsablauf entsprachen weitgehend der zuvor durchgeführten Studie. Zur Anwendung kam ein reduziertes Merkmalsetting. Die peripheren Signale wurden in verschiedenen Winkelbereichen (40° , 65° und 90°), Kontraststufen (100 %; 75 %) und Blinkfrequenzen (0,5 Hz; 2,5 Hz) dargeboten. Diese Reduktion ermöglichte eine komprimierte Versuchsdurchführung unter Berücksichtigung der im DFG-Versuch verwendeten Signale, welche dort peripher gut aufmerksamkeitslenkend wirkten. Da die Probandengruppe mit $N = 18$ deutlich kleiner und jünger ausfiel, wurde die DFG-Stichprobe anhand des Altersmerkmals geteilt, um eine bessere Vergleichbarkeit beider erhobenen Datensätze abzusichern (nach Anpassung: $M_{\text{Alter,DFG}} = 24,55$; $SD = 4,21$ zu $M_{\text{Alter,Curved}} = 25,83$; $SD = 2,94$).

Die Proband*innen wurden in einem nachgelagerten Explorationsgespräch nach subjektiven Eindrücken bzgl. der Arbeit mit den Curved Monitoren befragt. Mehrfach wurde dabei genannt, dass die verhältnismäßig starke Krümmung der Monitore zunächst ein befremdliches Gefühl (27,7 % der Nennungen) erzeugte, was sich bei anderen auch in einem wahrgenommenen Gefühl des Umschlossenseins (22,2 %) bis hin zu Unwohlsein (11,1 %) äußerte. Eine gefühlte Ermüdung über die Versuchsdauer von 60 Min. berichteten 38,9 % der Befragten, wobei nur wenige (11,1 %) diese allein auf das Monitorsetting zurückführten. Interessant war weiterhin, dass sich nach einer gewissen Eingewöhnungsphase die wahrgenommenen Nachteile des umschließenden Settings durch die Hälfte der Probanden relativiert wurde. Gamer und standardmäßige Nutzer von Curved Monitoren waren dabei nicht unter den Versuchsteilnehmern. Alle verfügten über (teils nach Korrektur) normalsichtige Eigenschaften ohne relevante visuelle Einschränkungen.

3. Auswertung und Diskussion der Erkenntnisse

Die in Laborversuchen unter idealisierten Bedingungen ermittelten Daten zeigen in der ersten Betrachtung, dass es keine Unterschiede in den Reaktionszeiten gibt, die Rückschlüsse auf größeren Vor- oder Nachteile von Curved Monitoren zulassen. Die Reaktionszeiten waren dabei in allen Fällen nahezu identisch. Den Argumentationen folgend, dass Curved Monitore bessere Eigenschaften auf die Erkennungsleistung besitzen, wurde eine gerichtete Hypothese formuliert. Somit ist der durchgeführte, strengere Signifikanztest als belastbar zu betrachten.

Die Prüfung erfolgte mittels t-Test, dessen Ergebnisse sich in Tabelle 1 darstellen. Die mit beiden Stichproben durchgeführten Mittelwertvergleiche belegten keine signifikanten Unterschiede in den Mittelwerten der Erkennungszeiten sowie der Varianzen (mit Ausnahme eines Falls).

Tabelle 1: Mittelwertvergleiche der Signale mit T-Test für gepaarte Stichproben

	Exzentr. 40° Freq. 0,5 Hz Kontrast 75 %	Exzentr. 40° Freq. 2,5 Hz Kontrast 100 %	Exzentr. 40° Freq. 2,5 Hz Kontrast 75 %	Exzentr. 65° Freq. 0,5 Hz Kontrast 75 %	Exzentr. 65° Freq. 2,5 Hz Kontrast 100 %	Exzentr. 65° Freq. 2,5 Hz Kontrast 75 %	Exzentr. 90° Freq. 2,5 Hz Kontrast 75 %
	Signal 1	Signal 2	Signal 3	Signal 4	Signal 5	Signal 6	Signal 7
MW _{t, reakt} (DFG)	3,258	2,170	2,154	3,866	2,465	2,771	3,240
SD _{t, reakt} (DFG)	3,004	0,656	1,439	2,456	1,157	1,392	3,104
MW _{t, reakt} (Curved)	2,477	1,895	1,718	3,938	2,474	3,271	3,319
SD _{t, reakt} (Curved)	1,269	0,724	0,691	2,422	1,665	2,634	3,125
t-Wert	0,895	1,245	0,998	-0,078	-0,018	-0,622	-0,076
p-Wert (einseit.)	0,188	0,110	0,162	0,469	0,493	0,272	0,470

Es kann demnach vermutet werden, dass die Verwendung von Curved Monitoren keine nachweisbaren Unterschiede für die Signalentdeckungsleistung im Gegensatz zu bogenförmig angeordneten, planaren Monitoren bedingt. Dennoch ist eine Diskussion der Vor- und Nachteile sinnvoll, da sowohl individuelle Präferenzen, die subjektiven Wahrnehmungen sowie einige technische und arbeitsorganisatorische Fragestellungen berücksichtigt werden müssen, wenn es um die Entscheidung „Für oder Wider“ des Einsatzes von Curved Monitoren geht. Grundsätzlich sind unter idealen Sehabständen und Sitzpositionen bessere Leistungsparameter nachweisbar gewesen. Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht bleibt allerdings fraglich, ob diese Bedingungen in der Anwendung permanent erreicht werden können, weil daraus bei handelsüblichen Geräten ($r > 1000$ mm) Abweichungen von den empfohlenen und erprobten Sehabständen für die Bildschirmarbeit resultieren können.

In vielen Praxisprojekten des Fachgebietes werden insbesondere bei Ertüchtigungsmaßnahmen in Leitwarten verstärkt ultrabreite Curved Monitore vorgeschlagen und aufgrund der modernen Optik häufig präferiert. Notwendige Prozessgrafiken und Bedieninstrumente können hierbei unter Anwendung von Fenstertechniken auch unterbrechungsfrei visualisiert werden. Im Kontext kritischer Infrastrukturen muss jedoch auch abgewogen werden, inwiefern ein technischer Ausfall eines solchen Monitors tolerierbar ist. Auch die mangelnde Absetzbarkeit der zugehörigen Rechentechnik sorgt für unnötige Wärme- und Geräuscheinträge in die Arbeitsbereiche konzentrativer Tätigkeiten. Fixe Radien der Geräte geben zudem das Arbeitsplatzlayout vor. Diese mangelnde Flexibilität bei der Ausrichtung der Geräte ist ein weiterer Faktor, der gerade bei Mehrpersonenbenutzung die Individualisierbarkeit der Arbeitsumgebung beeinträchtigt.

Die Nachteile breiter planarer Anzeigen wurden eingängig diskutiert. Alle Befunde belegen eindeutig, dass eine Wölbung der Visualisierungsfläche aus ergonomischer Sicht zu begrüßen ist. Inwiefern reale Curved Monitore objektive Vorteile gegenüber der bogenförmigen Anordnung von planaren Geräten aufweisen, sollte in weiterführenden Studien evaluiert werden. Aktuell werden aus diesem Grund anknüpfende ergonomische Analysen mit verschiedenen Gerätekonstellationen und anderen Radien im Labor des Fachgebiets durchgeführt, um die Erkenntnisse der vorgestellten Studie zu erweitern.

6. Literatur

- Blehm C, Vishnu S, Khattak A, Mitra S, Yee RW (2005) Computer vision syndrome: a review. *Survey of Ophthalmology* 2005; 50 (3).
- Hoppe A, Ganßauge R, Geißler U, Henke AS, Reßut N (2022) Untersuchung von Aufmerksamkeitseffekten für die gezielte Gestaltung von Visualisierungsoberflächen für zeitgemäße Mensch-Maschine-Interaktion. *Z. Arb. Wiss.* 76, 65–82.
- Klatt S, Smeeton NJ (2020) Immersive screens change attention width but not perception or decision-making performance in natural and basic tasks. *Appl. Ergon.* 82.
- Kyung G, Park S (2020) Curved versus Flat Monitors: Interactive Effects of Display. Curvature Radius and Display Size on Visual Search Performance and Visual Fatigue. *Human Factors*, 0018720820922717.
- Lee HJ, Kim S-J (2016) Factors Associated with Visual Fatigue from Curved Monitor Use: A Prospective Study of Healthy Subjects. *PLoS ONE* 11 (10): e0164022.
- Luo G, Chen Y, Doherty A, Liu R (2016) 66–2: Comparison of Flat and Curved Monitors: Eyestrain Caused by Intensive Visual Search Task. *SID Symposium Digest of Technical Papers* 47 (1): 903–906.
- Park D, Seo W, Cho JE, Hong HR, Kim YJ, Park YK (2020) P-197: Late-News-Poster: Visual Advantages of Curved Displays for Working Efficiency. *SID Symposium Digest of Technical Papers*. 51 (1): 1423–1426.
- Park S, Choi D, Yi J, Lee S, Lee JE, Choi B, Kyung G (2017) Effects of display curvature, display zone, and task duration on legibility and visual fatigue during visual search task. *Appl. Ergon.* 60, 183–193.
- Park S, Kyung G, Choi D, Yi J, Lee S, Choi B, Lee S (2019) Effects of display curvature and task duration on proofreading performance, visual discomfort, visual fatigue, mental workload, and user satisfaction. *Appl. Ergon.* 78, 26–36.
- Park S (2018) Curved Displays, Empirical Horopters, and Ergonomic Design Guidelines. Dissertationsschrift. Ulsan National Institute of Science and Technology.
- Prinz W (1992) Wahrnehmung. In: Spada H (Hrsg.) *Lehrbuch Allgemeine Psychologie*. 2. korr. Aufl. Bern Göttingen Toronto Seattle: Huber: 25–114.
- Urakami J, Matulis H, Miyafuji S, Li Z, Koike H, Chignell M (2021) Comparing immersiveness and perceptibility of spherical and curved displays. *Applied Ergonomics*, Volume 90.
- Zannoli M, Banks MS (2017) The perceptual consequences of curved screens. *Trans. Appl. Percept.* 15 (1), 1–16.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Nachhaltig Arbeiten und Lernen

**Analyse und Gestaltung lernförderlicher
und nachhaltiger Arbeitssysteme
und Arbeits- und Lernprozesse**

69. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

01. – 03. März 2023

GfA-Press

Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 01. – 03. März 2023

**Fakultät Maschinenbau, Institut für Berufswissenschaften der Metalltechnik (IBM) und
Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA), Leibniz Universität Hannover**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Sankt Augustin: GfA-Press, 2023
ISBN 978-3-936804-32-4

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© GfA-Press, Sankt Augustin

Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de