

Der Mensch auf Standby: Wie Automatisierung unser Denken und Handeln in technischen Systemen beeinflusst

Romy MÜLLER, Sebastian PANNASCH

Ingenieurpsychologie und angewandte Kognitionsforschung
Technische Universität Dresden
Helmholtzstraße 10, D-01069 Dresden

Kurzfassung: In unserer modernen Welt erscheint der Traum der vollständigen Automatisierung zum Greifen nah: Entwickler arbeiten an vollständig vernetzten Häusern oder selbstständig fahrenden Autos und in der Industrie versprechen cyber-physische Systeme den Übergang zu einer hochautonomen und gleichzeitig flexiblen Produktion. Der Mensch übernimmt vielfach die Rolle eines passiven Überwachers und soll nur noch in Notfällen eingreifen; er steht gewissermaßen „auf Standby“. Aber welche Auswirkungen hat diese Automatisierung auf menschliches Denken und Handeln? Welche Probleme müssen bei der Nutzung derzeitiger Automatisierungstechnologien berücksichtigt werden? Wie kann Automatisierung so gestaltet werden, dass menschliche Fähigkeiten erhalten bleiben? Dieser Beitrag diskutiert einige Probleme im Umgang mit hochautomatisierten Systemen und schlägt exemplarisch Lösungsansätze im Bereich der Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen vor.

Schlüsselwörter: Mensch-Maschine-Interaktion, Ironien der Automatisierung, Interface-Gestaltung

1. Einleitung

Automatisierte Systeme können danach klassifiziert werden, welche Schritte der menschlichen Informationsverarbeitung (Informationssammlung, Informationsanalyse, Entscheidungsauswahl, Handlungsimplementierung) sie auf welchem Automatisierungsgrad unterstützen (Parasuraman, Sheridan, & Wickens, 2000). So weisen zum Beispiel Computerprogramme zur Datenauswertung einen hohen Automatisierungsgrad hinsichtlich der Informationsanalyse auf, bieten aber keine direkte Unterstützung bei der Entscheidungsauswahl oder Handlungsimplementierung. Dagegen geben Bodenannäherungs-Warnsysteme in Flugzeugen eine Entscheidung vor und Autopiloten führen die entsprechende Handlung sogar selbst aus. Angesichts dieser Vielfalt an Möglichkeiten stellt sich die Frage, wie sich die unterschiedlichen Formen von Automatisierung auf menschliches Denken und Handeln auswirken.

2. Probleme im Umgang mit automatisierten Systemen

Viele Ansätze zur Automatisierung beruhen auf der Grundannahme, dass der Mensch im Vergleich zu Maschinen unzuverlässig, ablenkbar und störanfällig ist und daher durch zuverlässige Maschinen ersetzt werden soll. Daraus ergibt sich jedoch eine Anzahl paradoxer Sachverhalte, die unter dem Namen *Ironien der Automatisierung* bekannt wurden (Bainbridge, 1983). Einerseits muss die

zuverlässige Technik von unzuverlässigen Menschen geplant, programmiert, kontrolliert und repariert werden. Weiterhin soll der unzuverlässige Mensch in kritischen Situationen, in denen die zuverlässige Technik versagt, eingreifen. Dies wird allerdings dadurch erschwert, dass Fähigkeiten verkümmern, wenn sie nicht genutzt werden. Werden menschliche Tätigkeiten durch Automatik ersetzt, so verliert der Mensch kurzfristig an Aktivierung, Aufmerksamkeit und Situationsbewusstsein, langfristig verliert er seine Fähigkeit zur Kontrolle des Prozesses. Daraus entstehen Probleme im Umgang mit Automatisierung, welche sowohl die Leistung, die Gesundheit als auch das Vertrauen des Nutzers in die Automatisierung betreffen.

Leistungsbezogene Probleme entstehen vor allem dann, wenn der Mensch in hochautomatisierten Systemen nicht mehr Teil des Regelkreises ist (*Out-of-the-Loop Problem*, Endsley & Kiris, 1995). Dadurch fällt es ihm schwer, sich in der Situation zu orientieren und dadurch auf Fehler angemessen zu reagieren – es kommt zu einer Verringerung seines Situationsbewusstseins (Endsley, 1995), also der Fähigkeit zur Wahrnehmung relevanter Elemente, deren Verständnis und der Ableitung von Vorhersagen. Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge können nicht mehr angemessen repräsentiert werden, weil die Ausbildung geeigneter mentaler Modelle (Johnson-Laird, 1983) durch den Mangel an direkter Erfahrung im Steuern des Systems behindert wird. Dadurch fällt es ihm schwer, in Problemsituationen die richtigen Entscheidungen zu treffen.

Verschiedene empirische Studien legen nahe, dass eine hohe Automatisierung vor allem dann problematisch sein kann, wenn sie dem Menschen Entscheidungsprozesse abnimmt (z.B. Crocoll & Coury, 1990; Layton, Smith, & Mc Coy, 1994; Sarter & Schroeder, 2001). Zum Beispiel ließen Layton et al. (1994) Piloten in einer Laborstudie Flugrouten mithilfe eines Flugplanungsprogramms an veränderte Witterungsbedingungen anpassen. Je nach Versuchsbedingung nutzten die Piloten eines von drei Programmen mit unterschiedlichem Automatisierungsgrad: (A1) selbständiges Skizzieren der Route und Machbarkeitsfeedback durch das Programm, (A2) gezieltes Anfragen nach einer Route mit bestimmten Eigenschaften und entsprechende Vorschläge vom Programm, (A3) autonome Empfehlung einer Flugroute durch das Programm. Die Ergebnisse zeigten, dass Piloten in A3 meist die erste angebotene Route annahmen, ohne weitere Alternativen zu prüfen. Selbst wenn sie explorierten, bestimmte der Systemvorschlag maßgeblich ihre Suche. Vor allem wenn die Automatik suboptimal funktionierte und die Piloten daher mehrere Routen explorieren mussten, wurden in A2 die besten Ergebnisse erzielt. Fehlentscheidungen treten also vor allem dann auf, wenn angesichts einer nicht hundertprozentig zuverlässigen Automatik Bewertungskompetenz gefragt ist, die jedoch infolge des hohen Automatisierungsgrades nicht hinreichend ausgebildet werden konnte.

Ein gesundheitsbezogenes Problem im Umgang mit hochautomatisierten Systemen ergibt sich aus dem häufigen *Wechsel zwischen Über- und Unterforderung*. Im Normalbetrieb besteht die Aufgabe des Menschen vor allem im Überwachen und Abwarten. Dagegen sind bei technischen Störungen plötzlich komplexe Problemlösefähigkeiten der Ursachendiagnose, der Entwicklung von Lösungsansätzen und der Entscheidungsfindung gefordert. Da sich sowohl Über- als auch Unterforderung negativ auf Gesundheit und Wohlbefinden auswirken können (Grech, Neal, Yeo, Humphreys, & Smith, 2009; Ilies, Dimotakis, & De Pater, 2010; Matthews & Desmond, 2002), besteht eine wesentliche Herausforderung darin, die Funktionsallokation zwischen Mensch und Maschine so zu gestalten, dass derartige Wechsel zwischen Unter- und Überforderung vermieden werden (siehe unten).

Das Vertrauen des Nutzers in die Technik kann durch Automatisierung in zwei Richtungen negativ beeinflusst werden. Erstens kann eine imperfekte Automatisierung, wie zum Beispiel gekennzeichnet durch häufige falsche Alarmer, zu mangelndem Vertrauen führen. Folglich tritt ein Phänomen auf, das als *Cry-Wolf-Effekt* bezeichnet wird (Bresnitz, 1984): Alarmer werden immer häufiger ignoriert, was unvermeidlich auch ein Ignorieren korrekter Alarmer zur Folge hat. Zweitens kann vor allem im Umgang mit sehr zuverlässigen Systemen ein Übervertrauen in die Technik auftreten (*Complacency* oder *Automation Bias*, Parasuraman & Manzey, 2010). Der Nutzer denkt nicht mehr mit, kontrolliert die Aktionen des Systems nur noch unzureichend und befolgt Anweisungen auf unkritische Weise.

3. Kompetenzförderliche Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion

Aus den vorab geschilderten Problemen ergibt sich ein Bedarf nach geeigneten Designprinzipien, um den Verlust menschlicher Fähigkeiten zu vermeiden und eine angemessene Nutzung von Automation zu fördern. Gestaltungsempfehlungen zielen darauf ab, (1) den Aufbau geeigneter mentaler Repräsentationen zu fördern, (2) Veränderungen verstehbar und vorhersagbar zu machen, (3) die Unsicherheit des Systems explizit zu machen, (4) den Nutzer auf angemessene Art und Weise anzuleiten und (5) die Aufgabenteilung zwischen Mensch und Automatik flexibel zu gestalten.

Eine Förderung geeigneter mentaler Repräsentationen (*Representation Aiding*, Bennett, 1992) kann dadurch erfolgen, dass dem Nutzer keine Lösungen vorgegeben sondern Information so dargeboten werden, dass die korrekte Lösung offensichtlich wird. Auf diesem Prinzip basiert der Ansatz des *Ecological Interface Design* (Vicente & Rasmussen, 1992), eine praktische Umsetzung erfolgt zum Beispiel durch den Einsatz von *Configural Displays* (Bennett, Toms, & Woods, 1993). Diese Displays integrieren mehrere Variablen in einem einzigen grafischen Objekt, so dass relevante Information über deren Zusammenhänge unmittelbar visuell hervortritt. Weitere Gestaltungsmittel umfassen den Einsatz geeigneter Metaphern, Affordances, Erklärungen und impliziter Zustandsinformation, aus welchen der Nutzer unmittelbar erkennen kann, welche Handlungsoptionen bestehen und welche Konsequenzen diese haben.

Um Veränderungen im System verstehen und vorhersagen zu können, ist Feedback über Handlungskonsequenzen von essentieller Bedeutung und eine unzureichende Feedbackgestaltung kann als eine der Hauptursachen für Probleme im Umgang mit automatisierten Systemen angesehen werden (Norman, 1990). Feedback sollte dem Nutzer vermitteln, dass seine Handlungen registriert wurden, ihm den Status von Prozessen rückmelden und ihn letztendlich über die erfolgte Zielerreichung informieren. Neben der Information über die Konsequenzen bereits erfolgter Handlungen erlauben Vorhersagen über zukünftige Systemzustände ein frühzeitiges, planvolles Eingreifen. Solche Vorhersagen können zum Beispiel mithilfe von *Predictive Displays* getroffen werden (Yin, Wickens, Helander, & Laberge, 2015).

Automatisierte Systeme arbeiten vielfach nicht hundertprozentig reliabel. Um negative Konsequenzen zu vermeiden (z.B. Cry-Wolf-Effekt), sollte diese Unsicherheit für den Nutzer transparent gemacht werden. Zum Beispiel liefern *Likelihood-Alarmsysteme* mit drei oder mehr Warnstufen eine nach Wahrscheinlichkeiten gestufte Warnung und führen dazu, dass tatsächlich relevante Alarmer seltener ignoriert werden (Wiczorek & Manzey, 2014). Außerdem kann es hilfreich sein, den Nutzer in Prozesse der Informationsselektion und Bewertung einzubeziehen. Dies

kann zum Beispiel ermöglicht werden, indem potentiell irrelevante Information nicht durch die Maschine entfernt, sondern lediglich in abgeschwächter Form dargestellt wird (Yeh & Wickens, 2001) oder indem der Nutzer Zugriff auf die Rohdaten erhält, um im Falle eines Alarms gegenprüfen zu können (Gérard & Manzey, 2010).

Viele Aufgaben der Inbetriebnahme, Wartung, Steuerung und Problemdiagnose in automatisierten Systemen erfordern ein komplexes, mehrstufiges Vorgehen, das durch eine angemessene Anleitung des Nutzers unterstützt werden kann. Eine wesentliche Herausforderung besteht darin, die richtigen Handlungen zur richtigen Zeit auszuführen und relevante Schritte auch angesichts von Unterbrechungen nicht zu vergessen (Grundgeiger, Sanderson, & Dismukes, 2014). Dabei können Nutzer unterstützt werden, indem externe Hinweisreize an die aktuelle Aufgabe erinnern (Loft, Smith, & Remington, 2013), oder eine Orchestrierung von Apps auf mobilen Assistenzsystemen so erfolgt, dass dem Nutzer stets diejenigen Programme zur Verfügung gestellt werden, die er aktuell benötigt (Pfeffer, Graube, Ziegler, & Urbas, 2013).

Letztlich kann die Interaktion mit automatisierten Systemen verbessert werden, indem die Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine flexibel gestaltet wird. So kann das technische System dem Nutzer zum Beispiel in Abhängigkeit von dessen aktueller Belastung Aufgaben abnehmen oder zuteilen, um einen optimalen Grad an Belastung zu erreichen (Kaber & Endsley, 2004; Parasuraman, Mouloua, & Molloy, 1996). Die Aufgabenzuteilung kann entweder durch den Menschen oder die Maschine gesteuert werden (*adaptive* vs. *adaptierbare* Automatisierung), wobei erstere Strategie mit reduzierter Belastung einhergeht aber gleichzeitig eine erhöhte Unvorhersagbarkeit zur Folge hat (Miller & Parasuraman, 2007).

4. Zusammenfassung

Automatisierung kann Arbeitsaufgaben wesentlich erleichtern, ist aber auch mit einer Vielzahl von Problemen verbunden. Diese Probleme entstehen vor allem dann, wenn der Mensch nicht mehr Teil des Prozesses ist, aber angesichts einer nicht vollkommen zuverlässigen Automatik dennoch in der Lage sein muss, den Prozess zu verstehen und effektiv einzugreifen. Um ein solches Eingreifen zu erlauben, muss die Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion darauf fokussieren, Bewertungs- und Entscheidungskompetenz zu bewahren und zu fördern. Ansätze einer solchen Gestaltung zielen darauf ab, aktuelle und zukünftige Systemzustände verstehbar zu machen und die Anleitung und Aufgabenteilung situationsangemessen zu optimieren.

5. Literatur

- Bainbridge, L (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775-779.
- Bennett, K (1992). Representation aiding: complementary decision support for a complex, dynamic control task. *IEEE Control Systems*, 12(4), 19-24. doi: 10.1109/37.204946
- Bennett, K, Toms, M L, Woods, D (1993). Emergent features and graphical elements: designing more effective configural displays. *Human Factors*, 35(1), 71-97. doi: 10.1177/001872089303500105
- Bresnitz, S (1984). *Cry-wolf: The psychology of false alarms*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Crocoll, W M, & Coury, B G (1990). *Status or Recommendation: Selecting the Type of Information for Decision Aiding*. Paper presented at the Human Factors and Ergonomics Society 34th Annual Meeting.
- Endsley, M R (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64.

- Endsley, M R, & Kiris, E O (1995). The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation. *Human Factors*, 37(2), 381-394. doi: 10.1518/001872095779064555
- Gérard, N, & Manzey, D (2010). Are false alarms not as bad as supposed after all? A study investigating operators' responses to imperfect alarms. In D de Waard, A Axelsson, M Berglund, B Peters & C Weikert (Eds.), *Human factors. A system view of human, technology and organisation* (pp. 55-69). Maastricht, Netherlands: Shaker.
- Grech, M R, Neal, A, Yeo, G, Humphreys, M & Smith, S (2009). An examination of the relationship between workload and fatigue within and across consecutive days of work: Is the relationship static or dynamic? *Journal of Occupational Health Psychology*, 14, 231-242. doi: 10.1037/a0014952b
- Grundgeiger, T, Sanderson, P, & Dismukes, R K (2014). Prospective memory in complex sociotechnical systems. *Zeitschrift für Psychologie*, 222(2), 100-109. doi: 10.1027/2151-2604/a000171
- Ilies, R, Dimotakis, N, & De Pater, I E (2010). Psychological and physiological reactions to high workloads: Implications for well-being. *Personnel Psychology*, 63, 407-436.
- Johnson-Laird, P N (1983). *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kaber, D B, & Endsley, M R (2004). The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 5(2), 113-153.
- Layton, C, Smith, P J, & Mc Coy, E (1994). Design of a cooperative problem-solving system for en-route flight planning: An empirical evaluation. *Human Factors*, 36(1), 94-119. doi: 10.1177/001872089403600106
- Loft, S, Smith, R E, & Remington, R W (2013). Minimizing the disruptive effects of prospective memory in simulated air traffic control. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 19(3), 254-265. doi: 10.1037/a0034141
- Matthews, G, & Desmond, P A (2002). Task-induced fatigue states and simulated driving performance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55A, 659-686.
- Miller, C A, & Parasuraman, R (2007). Designing for flexible interaction between humans and automation: delegation interfaces for supervisory control. *Human Factors*, 49(1), 57-75. doi: 10.1518/001872007779598037
- Norman, D A (1990). The "problem" of automation: Inappropriate feedback and interaction, not "over-automation". In D E Broadbent, A Baddeley & J T Reason (Eds.), *Human factors in hazardous situations* (pp. 585-593). Oxford: Oxford University Press.
- Parasuraman, R & Manzey, D (2010). Complacency and bias in human use of automation: an attentional integration. *Human Factors*, 52(3), 381-410. doi: 10.1177/0018720810376055
- Parasuraman, R, Mouloua, M & Molloy, R (1996). Effects of adaptive task allocation on monitoring of automated systems. *Human Factors*, 38(4), 665-679. doi: 10.1518/001872096778827279
- Parasuraman, R, Sheridan, T B, & Wickens, C D (2000). A model for types and levels of human interactions with automation. *Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 30(3), 286-297. doi: 10.1109/3468.844354
- Pfeffer, J, Graube, M, Ziegler, J, & Urbas, L (2013). Vernetzte Apps für komplexe Aufgaben in der Industrie. *atp edition - Automatisierungstechnische Praxis*, 55(3), 34-41.
- Sarter, N B, & Schroeder, B (2001). Supporting decision making and action selection under time pressure and uncertainty: the case of in-flight icing. *Human Factors*, 43(4), 573-583. doi: 10.1518/001872001775870403
- Vicente, K, & Rasmussen, J (1992). Ecological interface design: Theoretical foundations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22, 1-18.
- Wiczorek, R, & Manzey, D (2014). Supporting attention allocation in multitask environments: effects of likelihood alarm systems on trust, behavior, and performance. *Human Factors*, 56(7), 1209-1221. doi: 10.1177/0018720814528534
- Yeh, M, & Wickens, C D (2001). Attentional filtering in the design of electronic map displays: a comparison of color coding, intensity coding, and decluttering techniques. *Human Factors*, 43(4), 543-562. doi: 10.1518/001872001775870359
- Yin, S, Wickens, C, Helander, M, & Laberge, J C (2015). Predictive displays for a process-control schematic interface. *Human Factors*, 57(1), 110-124. doi: 10.1177/0018720814542104