

2.07

# Die Zukunft lag schon immer im Advanced Systems Engineering

## OLIVER RIEDEL

Von der Arbeitsplatzgestaltung zum Metaverse: Dieser Ritt durch die Geschichte des Arbeitswissenschaftlers Prof. Dr. Wilhelm Bauer gelingt eigentlich ganz einfach, wenn man den Systemgedanken hinter all diesen Themen in den Vordergrund stellt.

Hinter dem Systemgedanken steht der Wunsch, die Wirkungsweise und Eigenschaften von komplexen Mensch-Technik-, Mensch-Maschine- und Mensch-Umwelt-Systemen besser zu verstehen und zu optimieren. Solche Systeme haben gemeinsame Struktureigenschaften: Sie nehmen Informationen und Signale aus ihrer Umgebung auf, verarbeiten oder speichern diese und geben letztendlich Informationen oder Signale als Ergebnis der Verarbeitung in die Umgebung wieder ab. Die Verarbeitung wiederum erfolgt mit dem Ziel, einen erwünschten Systemzustand zu erreichen und auch bei Änderungen der Umwelt aufrecht zu erhalten, oder die Wirkungsweise des Systems so lange zu verbessern, bis ein Optimum erreicht ist. Norbert Wiener hat diesen Zusammenhang bereits 1948 erkannt und formuliert (Wiener, 1949), etwas später außerdem den Begriff ‚Menschmaschine‘ (Wiener, 1952).

## ARBEITSPLATZGESTALTUNG ALS SYSTEMGESTALTUNG

Die Arbeitsplatzgestaltung und ihre ergonomischen Aspekte sind ein zentrales Thema im Bereich der Arbeitsorganisation. Sie befasst sich mit der optimalen Anpassung der Arbeitsbedingungen und der physischen Arbeitsumgebung an die Bedürfnisse der Mitarbeitenden – sozusagen als System aus Mensch und Arbeitsumgebung. Dabei stehen neben ergonomischen Aspekten auch organisatorische Faktoren im Mittelpunkt. Die moderne ergonomische Arbeitsplatzgestaltung hat sich schon früh den Einsatz digitaler Methoden erschlossen – lange bevor computergraphische Verfahren in der Breite eingesetzt wurden.

### Videosomatographie und Virtuelle Realität

Bereits vor der Verfügbarkeit digitaler Entwurfsmethoden und Hilfsmitteln wie Computer Aided Design (CAD) wurde die Somatographie als eine Form der anthropometrischen Betrachtung (Flügel et al., 1986) genutzt, um den menschlichen Körper in technischen Systemen als Teil graphischer Zeichnungen darzustellen. Es wurden Zeichenschablonen verwendet, die den Körper in unterschiedlichen statischen Posen, aber ohne individuelle Merkmale, z. B. der Körpergröße, darstellten. Die Erweiterung des Verfahrens um die Aufnahme des individuellen Menschen mittels einer Videokamera, deren Bild entweder mit einer Zeichnung oder einem CAD-Modell per Chroma Keying verschmolzen wurde, führte zu der Möglichkeit, individuelle und dynamische Untersuchungen durchzuführen – der einzige Nachteil war aber immer noch die fehlende Wahrnehmung der Versuchsperson in Bezug auf die virtuelle Umgebung der Zeichnung oder des CAD-Modells (Bauer & Kern, 1985). Eine Weiterentwicklung war dann die interaktive CAD-Video-Somatographie (Lorenz, 1989), die teilweise die Nachteile kompensierte, aber immer noch keine direkte Einbindung der Versuchsperson in die zu untersuchende Szene zugelassen hat. Aus den ersten Erfolgen der CAD-Video-Somatographie wurden dann auch als Ersatz für die 2D-anthropometrischen Daten die ersten digitalen 3D-Menschmodelle für die direkte Systemintegration von CAD-Systemen erstellt und bis heute kontinuierlich weiterentwickelt (Bullinger-Hoffmann & Mühlstedt, 2016).

Prof. Bauer erkannte als einer der ersten Forscher das Potenzial der Virtuellen Realität (VR) für die Arbeitsgestaltung, um einen wesentlich höheren Grad der Einbindung = Immersion der Probanden in die zu untersuchende Szene zu erreichen (Bauer & Riedel, 1993). Bereits in den 1990er-Jahren, als die VR-Technologie noch in den Kinderschuhen steckte, entwickelte er Verfahren, die sowohl interaktive Computergrafik als auch direkte 3D-Interaktion für ergonomische Bewertungen nutzten. Dies kann durchaus als bahnbrechend bezeichnet werden und mündete in die Dissertationsschrift von Prof. Bauer (Bauer, 1997), aber nicht ohne dieses neue Interfacesystem kritisch zu betrachten (Bauer et al., 1995; Deisinger et al., 1997).

### Erweiterung der Gestaltungsaufgabe auf größere Systeme

Eine der zentralen Fortschritte in der Arbeitsgestaltung war die Ausdehnung des zu betrachtenden Systems von singulären und einfachen Arbeitsplätzen zu komplexeren Fragestellungen in Büro und Produktion (Bauer et al., 2003), ganzen Fabrikanlagen, kommunalen Plätzen, Bezirken bis hin zu Städten (Bewick & Riedel, 1995). Auch in die Methodenentwicklung flossen immer

wieder neue Trends ein, z. B. Expertensysteme. Dies hat zwar das System der Gestaltungsaufgabe immer komplexer gemacht, aber dazu geführt, dass schnellere und präzisere Beurteilungen durchgeführt werden konnten. Insbesondere die immer bessere Verfügbarkeit von großen Datenmengen und die Methoden der Data Science machen heute selbst die Modellierung von der Bewertung großer Stadtsysteme möglich (Braun, 2024) – auch hier war Prof. Bauer wesentlicher Impulsgeber.

## NEUE METHODEN FÜR DAS ENGINEERING KOMPLEXER SYSTEME

Die zunehmende Komplexität der Systeme und daneben der Methoden zur Modellierung und Bewertung dieser Systeme macht auch das Systems Engineering immer aufwendiger. In neuen Forschungsvorhaben beschäftigt sich u. a. das Fraunhofer IAO mit dem sogenannten „Advanced Systems Engineering (ASE)“, welches viele Technologien zu einem einheitlichen und für den Menschen quasi intuitiv zu bedienenden Methodenbaukasten zusammenbringen soll. Neben der bereits beschriebenen Rolle der VR, die zu Mixed Realität weiterentwickelt wurde, sind auch die Anwendungen dieser Technologie in immer mehr Bereichen eingesetzt. Weitere Technologien ermöglichen nun noch breitere und besser nutzbare Anwendungen.

### Rolle der KI

Viele Unternehmen erkennen, dass Künstliche Intelligenz (KI) einen entscheidenden Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit im Engineering leisten kann. Insbesondere mit der Veröffentlichung von ChatGPT und anderen Large Language Models hat das Themenfeld der KI einen großen Aufschwung erfahren. Selbst Domänen, bei denen die Arbeit bisher als schwer durch Algorithmen zu ersetzen galt, werden nun mit den Fähigkeiten der neuen Werkzeuge konfrontiert. Beispiele hierfür sind die Medizin, die Softwareentwicklung und das Engineering. KI-Anwendungen, insbesondere im Bereich Natural Language Processing, unterstützen das Ermitteln neuer Technologien durch maschinelle Analyse von Patenten und wissenschaftlichen Texten. Bei der Planung und Installation von Produktionssystemen können KI-Algorithmen die optimale vorausschauende Wartungsstrategie berechnen. Der Einsatz von KI bei autonomen Systemen wie Robotern, autonomen Fahrzeugen und Drohnen zur Analyse der Umgebung ist bereits weit verbreitet. Bis vor kurzem war der Einsatz von KI im Engineering aufgrund der Art der Aufgaben stark im Fokus. Aufgrund der genannten Trends ist jedoch eine breitere Anwendung und eine zentralere Rolle von KI im Engineering zu erwarten (Bauer & Warschat 2021).

### Methoden des ASE

Ein klarer Trend in vielen Branchen geht hin zu mechatronischen, intelligenten und vernetzten Systemen: den sogenannten Advanced Systems (AS). Diese bestehen aus komplexen elektronischen Komponenten, individueller Software und auch KI-Technologien, die zu Produkt-Service-Systemen kombiniert werden können. Besonders autonome Systeme müssen ihre Umgebung präzise analysieren, um die richtigen Entscheidungen treffen zu können. Dabei ist es notwendig, die Mensch-Computer- bzw. Mensch-System-Schnittstelle neu zu denken. Die Realisierung von Advanced Systems erfordert die

Zusammenarbeit mehrerer Fachdisziplinen, darunter Naturwissenschaften, Ingenieurwissenschaften, Informatik, Mathematik, Psychologie, Arbeitswissenschaften und Soziologie. Um die entstehende Komplexität zu bewältigen, ist ein übergreifendes Systems Engineering (SE) auf den Ebenen Projekt, Produkt und Unternehmen unerlässlich. Dies umfasst nicht nur das Engineering selbst, sondern auch intelligente Prozesse, agile Projekte, durchgängige Digitalisierung und neue Formen der Arbeit. All diese Aspekte des Systems Engineering und des Advanced Engineering werden unter dem Begriff ‚Advanced Systems Engineering‘ (ASE) zusammengefasst. Die Aufgabe des ASE besteht darin, all diese Aspekte zu berücksichtigen, einen handhabbaren Entstehungsprozess sicherzustellen und die Advanced Systems über deren Lebenszyklen zu begleiten (Albers et al., 2022).

### **Nachhaltigkeit im Engineering**

In den letzten Jahren hat sich die Bedeutung von Nachhaltigkeit stark verändert. Früher wurde Nachhaltigkeit lediglich als eine von vielen Anforderungen für Produkte und Prozesse betrachtet, doch mittlerweile ist klar, dass Nachhaltigkeit eine zentrale Anforderung darstellt. Allerdings bleibt es eine Herausforderung, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit miteinander zu vereinen. Das Engineering muss daher neue Wege gehen, zum Beispiel, indem Ökobilanzen berücksichtigt werden und Produkte und Fertigungsprozesse ressourcenschonend entwickelt werden. Auch die Weiterentwicklung der Accounting Systeme und die Nutzung von modellbasierten Methoden zur Optimierung sind notwendig (Schneider et al., 2022). Besonders im Bereich der Mobilität gibt es eine Vielfalt an Technologien wie batteriegetriebene Fahrzeuge, synthetische Kraftstoffe, Brennstoffzellen und Wasserstoff. Elektrochemie wird dabei zu einem wichtigen Wissensgebiet im Engineering. Die Sharing Economy spielt ebenfalls eine Rolle, da digitale Plattformen neue Geschäftsmodelle ermöglichen, die eine bessere Nutzung von Produkten und Kostenreduktion für die Nutzer zulassen. Schließlich bietet die Übertragung von Funktionalität der Hardware auf Software die Möglichkeit, Ressourcen zu schonen und physikalische Varianz zu reduzieren.

### **AUSBLICK**

Prof. Bauer hat viele Themen getrieben und wissenschaftliche Trends gesetzt: Virtuelle, augmentierte und erweiterte Realität, die Rolle der KI, Methoden des ASE und Nachhaltigkeit im Engineering sind nur einige davon. Auch die neuen Potenziale von KI und des Advanced Systems Engineerings in verschiedenen Fachdisziplinen hat er aufgegriffen und wertvolle Impulse gegeben.

Für die Zukunft ist zu erwarten, dass KI eine noch zentralere Rolle im Engineering einnehmen wird. Durch Fortschritte in der Technologie und die Verfügbarkeit neuer Modelle werden weitere Anwendungen und Einsatzmöglichkeiten entstehen. ASE wird weiterhin eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung komplexer Systeme spielen, da die Zusammenarbeit verschiedener Fachdisziplinen in einer immer komplexeren Systemwelt unerlässlich ist. Nachhaltigkeit wird weiter an Bedeutung gewinnen und das Engineering wird sich verstärkt darauf fokussieren, ökologische Aspekte zu berücksichtigen und ressourcenschonende Lösungen zu entwickeln.

## DANKSAGUNG

Herzlichen Dank an Hendrik von Linde für die Unterstützung bei der Erstellung dieses Beitrags.

## LITERATUR

- Albers, A., Dumitrescu, R., Gausemeier, J., Lindow, K., Riedel, O. & Stark, R. (2022). Strategie Advanced Systems Engineering. Leitinitiative zur Zukunft des Engineering und Innovationsstandorts Deutschland. München.
- Bauer, W., Bullinger, H.-J., Rößler & A. (1995). Virtual reality—the ultimate interface? In: Symbiosis of Human and Artifact, Proceedings of the Sixth International Conference on Human-Computer Interaction, Bd. 20: Elsevier (Advances in Human Factors/Ergonomics), 587-596.
- Bauer, W. & Riedel, O. (1993). Virtual reality design of office workplaces. In: Proceedings of the 12th International conference on production research, Lappeenranta, Finland, 88-91.
- Bauer, W., Spath, D. & Kern, P. (2003). Office 21. Zukunftsoffensive Office 21: Mehr Leistung in innovativen Arbeitswelten. Köln: Vgs.
- Bauer, W. & Warschat, J. (2021). Smart Innovation durch Natural Language Processing. Mit Künstlicher Intelligenz die Wettbewerbsfähigkeit verbessern. München: Hanser.
- Bauer, W. H. (1997). Entwicklung des Systems zur virtuellen ergonomischen Arbeitsgestaltung. In: Wilhelm H. Bauer (Hrsg.): Entwicklung eines Systems zur virtuellen ergonomischen Arbeitsgestaltung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 86-116.
- Bauer, W. & Kern, P. (1985). Video-Somatographie als Methode der Arbeitsplatzgestaltung. In: WT. Werkstattstechnik (1989) 75 (1), 33-36.
- Bewick, N. & Riedel, O. (1995). Enhancing-architectural details using virtual environments. In: Proceedings of Virtual Reality World 95, 91-98.
- Braun, S. (2024). Mustersprache für Innovationsdiffusion in urbanen Systemen. Hrsg. v. Katharina Hölzle. Stuttgart: Fraunhofer Verlag (Beiträge zum Stuttgarter Maschinenbau, 24).
- Bullinger-Hoffmann, A. C. & Mühlstedt, J. (2016). Homo Sapiens Digitalis – Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Deisinger, J., Cruz-Neira, C., Riedel, O. & Symanzik, J. (1997). The effect of different viewing devices for the sense of presence and immersion in virtual environments. In: Advances in human factors/ergonomics, 881-884.
- Flügel, B., Greil, H. & Sommer, K. (1986). Anthropologischer Atlas. Grundlagen und Daten, Alters- und Geschlechtsvariabilität des Menschen (1. Aufl.). Frankfurt/Main: Ed. Wötzel.
- Lorenz, D. (1989). CAD-Video-Somatographie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schneider, B., Riedel, O. & Bauer, W. (2022). Review: Model-based Systems Engineering and Artificial Intelligence for Engineering of Sustainable Systems. In: Peter Plapper (Hrsg.): Digitization of the work environment for sustainable production. GITO Verlag, 37-59.
- Wiener, N. (1949). Kybernetik. Phys. Bl. 5 (8), 355-362. DOI: 10.1002/phbl.19490050802.
- Wiener, N. (1952). Mensch und Menschmaschine. Berlin: Albert Metzner Verlag.